ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΣΗΜΩΝΗ

(ΑΕΜ: 2819)

Επιβλέπων: **Ρίζου Ζωή**

Ακαδημαϊκή Υπότροφος

Καστοριά Δεκέμβριος 2021

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

Φοιτητή

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΣΗΜΩΝΗ

(ΑΕΜ: 2819)

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17/12/2021

Δημήτριος Βέργαδος Επίκουρος Καθηγητής	Σπυρίδων Νικολάου Λέκτορας	Ζωή Ρίζου Ακαδημαϊκή Υπότροφος

Καστοριά Δεκέμβριος 2021

Copyright © 2021 – ΣΗΜΩΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Περίληψη

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της χρήσης και των εφαρμογών των δορυφορικών επικοινωνιών και μελέτη του δορυφορικού διαδικτύου. Αρχικά αποδίδονται λεπτομέρειες σχετικά με την λειτουργία των δορυφόρων και τον σχεδιασμό ενός δορυφορικού συστήματος. Στην συνέχεια αναφέρονται οι τροχιές που βρίσκονται οι δορυφόροι, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση των δορυφορικών συστημάτων και γίνεται έμφαση στην δημιουργία ζεύξης μεταξύ επίγειων σταθμών και δορυφόρων άλλα και μεταξύ δορυφόρων. Έπειτα, αναλύεται η ψηφιακή διαμόρφωση του μεταδιδόμενου σήματος καθώς αναφέρονται οι τρόποι κατά τους οποίους μεταδίδεται το σήμα και ο τρόπος με τον οποίο εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η ακεραιότητα των μεταδιδόμενων σημάτων με την κρυπτογράφηση του σήματος. Στην συνέχεια αναλύεται η δομή ενός δορυφόρου και η παροχή δορυφορικού διαδικτύου σε απομακρυσμένες περιοχές .Συνοψίζοντας, αναλύονται τα δίκτυα VSATκαθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η δημιουργία και η χρήση τους. Γίνεται αναφορά στον πρώτο ελληνικό δορυφόρο της HELLASSAT και τις μελλοντικές τάσεις των δορυφορικών επικοινωνιών. Τέλος, παρουσιάζεται μια προσομοίωση με το πρόγραμμα “network simulator 2” στην οποία κάποιος χρήστης αποστέλλει πακέτα UDP μέσω δορυφόρου προς έναν εξυπηρετητή και αναλύεται η διαδικασία αποστολής των πακέτων αυτών.

Λέξεις Κλειδιά: **δορυφορικές επικοινωνίες, δορυφορικές τροχιές, ψηφιακά σήματα, δορυφορικό διαδίκτυο, VSAT, επίγεια συστήματα, δορυφόροι, διαμόρφωση σήματος.**

Abstract

The purpose of this thesis is to study the use and applications of satellite communications and the satellite internet. Initially details about the operation of satellites and the design of a satellite system are given. The following refers to the orbits of satellites, the advantages and disadvantages of the use of satellite systems and emphasises the creation of a link between ground stations and satellites and between satellites. Next, the digital configuration of the transmitted signal is analysed and the ways in which the signal is transmitted and how the security and integrity of the transmitted signals are ensured by encrypting the signal. The structure of a satellite and the provision of satellite internet in remote areas are then analysed. To summarise, the VSAT networks as well as the advantages and disadvantages of their creation and use, as well as reference is made to the Greek satellite of HELLASSAT and future trends in satellite communications, along with a simulation of a satellite network communication. In the end, a simulation using “network simulator 2” is represented, in which a user sends UDP packet through a satellite to a server and the process of the packet transmission is analysed.

Key Words: satellite communications, satellite orbits, digital signals, satellite internet, VSAT, terrestrial systems, satellites, signal configuration.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη i
Abstract ii
Πίνακας Περιεχομένων iii
Λίστα Εικόνων vi
Λίστα Πινάκων vii
Εισαγωγή 1
1. Γενικές πληροφορίες για τα δορυφορικά συστήματα 2
1.1 Ιστορική ανασκόπηση 2
1.2 Πρότυπα και Οργανισμοί 8
1.2.1 Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) 8
1.2.2 Ο Διεθνής Δορυφορικός Οργανισμός 9
1.3 Επικοινωνιακοί δορυφόροι σε τροχιά 12
1.3.1 Δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά το 2021 13
1.3.2 Ζώνες Δορυφορικών Συχνοτήτων 13
1.4 Δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών 15
1.4.1 Κόστος σε σχέση με τις υπηρεσίες 15
1.4.2 Παράγοντες για την δημιουργία συστήματος δορυφορικών επικοινωνιών 15
1.5 Σχεδιασμός και οργάνωση δορυφορικού συστήματος 18
1.5.1 Το διαστημικό τμήμα 19
1.5.2 Το επίγειο τμήμα 20
1.5.3 Οι λειτουργίες του ωφέλιμου φορτίου 20
1.6 Υπηρεσίες δορυφορικών επικοινωνιών 20
1.6.1 Δορυφορικές Υπηρεσίες 21
1.6.2 Τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες με χρήση δορυφορικών επικοινωνιών 22
1.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτωνεπικοινωνιών 23
1.7.1 Πλεονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών 24
1.7.2 Μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών 24
1.8 Τροχιές των δορυφορικών συστημάτων 25
1.8.1 Γεωστατικήτροχιά (Geostationary Earth Orbit, GEO) 25
1.8.2 ΧαμηλήΓήινηΤροχιά (Low Earth Orbit, LEO) 26

1.8.3 ΜέσηΓήινηΤροχιά (MediumEarthOrbit, MEO) 26
1.8.4 Υψηλή Ελλειπτική Τροχιά (HighEllipticalOrbit, HEO) 26
1.8.5 Πλεονεκτήματα της γεωστατικής τροχιάς (GEO) 27
1.8.6 Μειονεκτήματα της γεωστατικής τροχιάς (GEO) 27
1.8.7 Πλεονεκτήματα της χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO) 28
1.8.8 Μειονεκτήματα της χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO) 28
1.8.9 Πλεονεκτήματα της μέσης γήινης τροχιάς (MediumEarthOrbit, MEO) 29
1.8.10 Μειονεκτήματα της μέσης γήινης τροχιάς (MEO) 29
1.8.11 Πλεονεκτήματα των υψηλά ελλειπτικών τροχιών (Highly Elliptical Orbits, HEO) 30
1.8.12 Μειονεκτήματα των υψηλά ελλειπτικών τροχιών (HighlyEllipticalOrbits, HEO) 30
2.Δομή δορυφορικών συστημάτων τηλεπικοινωνιών 31
2.1Δομή του εξωτερικού μέρος των δορυφόρων 31
2.2 Δομή του εσωτερικού μέρους των δορυφόρων 33
2.3 Το σύστημα τηλεμετρίας, ιχνηλάτησης και εντολών (Telemetry, Tracking and Command, TT&C) 35
3. Δορυφορικό διαδίκτυο 37
3.1 Πλεονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου 38
3.2 Μειονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου 38
3.3 Λειτουργία του δορυφορικού διαδικτύου 39
3.4 Μονόδρομη σύνδεση 39
3.5 Αμφίδρομη σύνδεση 39
3.6 Πρωτόκολλο TCP 40
3.7 Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων 40
4. Ψηφιακή διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση 42
4.1 Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων 42
4.2 Μετάδοση πληροφορίας σε δορυφορική ζεύξη 43
4.3 Διαμόρφωση On-Off Keying (OOK) 45
4.4 ΔιαμόρφωσηFrequencyShift-Keying (FSK) 45
4.5 ΔιαμόρφωσηBinaryPhase-ShiftKeying (BPSK) 45
4.6 ΔιαμόρφωσηQuadrature Phase-Shift Keying (QPSK) 45
4.7 Διαμόρφωση Differential Phase-Shift Keying (DPSK) 46
4.8ΔιαμόρφωσηM-aryQuadratureAmplitudeModulation(M-QAM) 46
4.9 Διαμόρφωση OffsetQPSK (OQPSK) 47

4.10 Ζωνοπερατή μετάδοση ψηφιακής πληροφορίας..... 47
4.11 Πιθανότητα σφάλματος συμβόλου 47
4.12 Πιθανότητα σφάλματος δυαδικού ψηφίου 48
4.13 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων..... 48
5. Τεχνικές πολλαπλής προσπέλασης.....51
5.1 Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA..... 52
5.2 Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης TDMA 54
5.2.1 Σταθερή εκχώρηση TDMA 55
5.2.2 Εκχώρηση κατά αίτηση TDMA..... 55
5.3 Τεχνική CDMA 55
5.4 Τεχνική SDMA..... 56
5.4.1 Σύστημα SDMA/FDMA..... 57
5.4.2 Σύστημα SDMA/TDMA 57
5.4.3 Σύστημα SDMA/CDMA 57
6. Δίκτυα VSAT.....59
6.1 Τοπολογία δικτύου VSAT..... 59
6.2 Υπηρεσίες δικτύουVSAT 59
6.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματαδικτύων VSAT..... 60
6.3.1 Πλεονεκτήματα δικτύων VSAT 60
6.3.2 Μειονεκτήματα δικτύων VSAT 61
7. Σύγκριση του δορυφορικού διαδικτύου με τα σταθερά ασύρματα δίκτυα 62
7.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τον κάθε τύπο σύνδεσης..... 62
7.2 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου..... 63
7.2.1 Τα πλεονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου 63
7.2.2 Τα μειονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου 63
8. Η δορυφορική εταιρία HELLAS-SAT 64
8.1 Μελλοντικές τάσεις του δορυφορικού διαδικτύου στην Ελλάδα 64
9. Προσομοίωση δορυφορικής επικοινωνίας με την χρήση του network simulator 2(ns-2) .65
9.1 Ανάλυση της προσομοίωσης..... 65
Συμπεράσματα 70
Βιβλιογραφικές αναφορές και δικτυογραφία.....71
Παράρτημα Κώδικα 73

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Το δημοσιευμένο άρθρο του Sir Arthur C. Clarke 3

Εικόνα 2. Αντίγραφο του Sputnik 1..... 4

Εικόνα 3. Αντίγραφο του Sputnik2.....4

Εικόνα 4. Sputnik 3 5

Εικόνα 5. Εκτόξευση του Explorer 1, 1 Φεβρουαρίου 1958 5

Εικόνα 6. δορυφόρος Telstar 1..... 5

Εικόνα 7. Ο δορυφόρος Telstar 2 6

Εικόνα 8. Ο δορυφόρος Syncom..... 6

Εικόνα 9. Μια καλλιτεχνική απεικόνιση του δορυφόρου Hellas-Sat στο διάστημα..... 7

Εικόνα 10. Απεικόνιση των ζωνών συχνοτήτων με βάση την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών 8

Εικόνα 11. Η κάλυψη των δορυφόρων INMARSAT 10

Εικόνα 12. Απεικόνιση του ισορροπίας μεταξύ του κόστους και της απόστασης..... 16

Εικόνα 13. Οργάνωση συστήματος δορυφορικών επικοινωνιών..... 17

Εικόνα 14. Εξωτερική μορφή ορθογωνίου δορυφόρου 28

Εικόνα 15. Εξωτερική μορφή κυλινδρικού δορυφόρου. 29

Εικόνα 16. Φάσμα τετραγωνικών παλμών 38

Εικόνα 17. Απεικόνιση του πλήθους πακέτων και του CBR interval .....
.....64

Εικόνα 18. Απεικόνιση των κόμβων στην προσομοίωση όπως περιγράφεται παραπάνω.
..... 65

Εικόνα 19. Η εκκίνηση της προσομοίωσης σε χρόνο 0.1s 66

Εικόνα 20. Η προσομοίωση εν ενεργεία. 67

Εικόνα 21. Λήξη της προσομοίωσης αποστολή τελευταίου πακέτου σε χρόνο 4.5s .....
....68

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1.1. Οι επικοινωνιακοί δορυφόροι σε τροχιά το 2021……12

Πίνακας 1.2. Δορυφόροι σε τροχιά το έτος 2021.……12

Πίνακας 1.3. Οι ζώνες συχνοτήτων και οι τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες τους……14

Εισαγωγή

Οι δορυφόροι αποτελούν ένα σημαντικό μέρος στην ζωή των ανθρώπων σε παγκόσμιο επίπεδο. Ως δορυφόρος ορίζεται οποιοδήποτε αντικείμενο περιστρέφεται γύρω από ένα άλλο, μεγαλύτερο από αυτό. Οι δορυφόροι που κατασκευάζονται από ανθρώπους ονομάζονται τεχνητοί.Οι τεχνητοί δορυφόροι, κατέχουν ενεργητικό ή παθητικό ρόλο. Οι δορυφόροι που είναι ενεργητικοί συλλέγουν δεδομένα ή σήματα, τα επεξεργάζονται και τα εκπέμπουν πίσω στην Γη. Από την άλλη, οι παθητικοί δορυφόροι αντανακλούν απλά σήματα ή δεδομένα. Όλοι οι δορυφόροι υπόκεινται σε μία από τις τρεις κατηγορίες, αναλόγως τον σκοπό τον οποίο καλούνται να εξυπηρετήσουν. Συγκεκριμένα, υπάρχουν οι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται για τις τηλεπικοινωνίες, οι δορυφόροι μελέτης του διαστήματος και οι δορυφόροι εφαρμογών.Η κύρια πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί σε όλα τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών είναι η παροχή υπηρεσιών ευρείας ζώνης, αδιάλειπτα, ιδιαίτερα σε κινητούς χρήστες. Οι δορυφόροι είναι ζωτικής σημασίας σε αυτόν τον σκοπό, καθώς έχουν την ικανότητα να καλύψουν πολύ μεγάλες εκτάσεις της επιφάνειας της Γης και επιτρέπουν την μετάδοση σημάτων σε σημεία που δεν μπορούν να καλυφθούν από τα επίγεια μέσα.

1. Γενικές πληροφορίες για τα δορυφορικά συστήματα

1.1 Ιστορική ανασκόπηση

Το 1945 ο βρετανός συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας Sir Arthur C. Clarke ήταν ο πρώτος που αναφέρθηκε σε συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών σε άρθρο που δημοσιεύτηκε τον Οκτώβρη του 1945 στην εφημερίδα "Wireless World"με τίτλο "Extra-Terrestrial Relays: Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?". Στο άρθρο αυτό πραγματευόταν τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία πυραύλων, όμοια με αυτή που είχε χρησιμοποιηθεί στους γερμανικούς πυραύλους V-2, στην διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, για ειρηνικούς σκοπούς, εκτοξεύοντας πυραύλους σε διαστημική τροχιά. Υποστήριζε πως όσα χρειάζονταν ήταν έναν πύραυλος ικανός να ωθήσει ωφέλιμο φορτίο μεταχύτητα εισαγωγής σε τροχιά άνω των 8 χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο.

Το 1957 ο Sergei Korolev σχεδίασε τον πύραυλο Sputnik, όπου και εκτοξεύθηκε στις 4 Οκτωβρίου την ίδια χρονιά. Ήταν η πρώτη εκτόξευση δορυφόρου με τον Sputnik 1 να φτάνει στα όρια της χαμηλή τροχιάς της Γης. Ο Sputnik 1 παρείχε στους επιστήμονες πληροφορίες σχετικά με την πυκνότητα της ανώτερης ατμόσφαιρας και η διάδοση των ραδιοσημάτων έδωσε δεδομένα σχετικά με την ιονόσφαιρα. Στις 3 Νοεμβρίου 1957 χρησιμοποιήθηκε ξανά πύραυλος τύπου Sputnik, και έθεσε σε τροχιά τον δορυφόρο Sputnik 2, όπου ήταν ο πρώτος που μετέφερε έναν ζωντανό οργανισμό, ένα σκυλί με το όνομα "Laika". Στις 15 Μαΐου 1958 εκτοξεύεται ο τρίτος Σοβιετικός δορυφόρος με ονομασία "Sputnik 3", εξοπλισμένος με πληθώρα συστημάτων για γεωφυσική μελέτη της ανώτερης ατμόσφαιρας και του κοντινού διαστήματος.

Οι Αμερικανοί εκτοξεύσανε τον πρώτο τους δορυφόρο, Explorer 1 στις 1 Φεβρουαρίου 1958, ακολουθώντας τους Sputnik 1 και Sputnik 2, καθώς σήμανε και την έναρξη του Διαστημικού αγώνα στον Ψυχρό Πόλεμο μεταξύ της Σοβιετικής Ένωσης και των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής.

Στις 10 Ιουλίου 1962 εκτοξεύεται ο πρώτος επικοινωνιακός δορυφόρος Telstar 1 από την NASA, ο οποίος έκανε εφικτή την ζωντανή μετάδοση εικόνων μεταξύ ΗΠΑ και Ευρώπης. Στις 7 Μαΐου 1963 εκτοξεύθηκε ο Telstar 2 με σκοπό την μέτρηση της κατανομής ενεργητικών πρωτονίων και ηλεκτρονίων στις ζώνες VanAllen.

Στις 14 Φεβρουαρίου 1963 η NASA εκτοξεύει τον Syncom 1, όπου σχεδιάσθηκε να είναι ο πρώτος δορυφόρος γεωσυγχρονισμένων επικοινωνιών. Ο Syncom 2 τον διαδέχθηκε στις 26 Ιουλίου 1963. Αξίζει να σημειωθεί πως ο John F. Kennedy κατάφερε να πραγματοποιήσει την πρώτη τηλεφωνική κλήση μέσω δορυφόρου με τονπρωθυπουργό της Νιγηρίας Abubakar Tafawa Balewa. Επίσης, έγινε για πρώτη φορά αναμετάδοση δοκιμαστικών τηλεοπτικών μεταδόσεων από

το Fort Dix του New Jersey στον επίγειο σταθμό του Andover στην πόλη Maine. Επρόκειτο για βίντεο χαμηλής ποιότητας χωρίς ήχο, παρόλα αυτά ήταν η πρώτη επιτυχημένη τηλεοπτική μετάδοση μέσω γεωστατικού δορυφόρου.

Το 2001 με την χρήση του δορυφόρου Astra 1H, το σύστημα SES (Société Européenne des Satellites), ξεκίνησε την πρόσβαση στο διαδίκτυο για την Δυτική και Κεντρική Ευρώπη.

Το 2003 στις 13 Μαΐου η Ελλάδα σε συνεργασία με την Κύπρο εκτοξεύει τον τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο Hellas-Sat, κατασκευασμένο από την γαλλική εταιρία "Astrium". Ο δορυφόρος Hellas-Sat παρείχε τηλεοπτικές και τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες κατά την διεξαγωγή των Ολυμπιακών Αγώνων στην Αθήνα το 2004, σε παγκόσμιο επίπεδο. Παρέχει δορυφορικό Internet, συλλογή και διανομή ήχου, εικόνας, δεδομένων καθώς και ψηφιακή δορυφορική τηλεόραση. Επίσης, δίνει στον ΟΤΕ τη δυνατότητα να παρέχει υποδομές τηλεπικοινωνιών στην Ελλάδα.

October 1945 **Wireless World** . 305

EXTRA-TERRESTRIAL RELAYS

Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?

By ARTHUR C. CLARKE

ALTHOUGH it is possible, by a suitable choice of frequencies and routes, to provide telephony circuits between any two points or regions of the earth for a large part of the time, long-distance communication is greatly hampered by the peculiarities of the ionosphere, and there are even occasions when it may be impossible. A true broadcast service, giving constant field strength at all times over the whole globe would be invaluable, not to say indispensable, in a world society.

Unsatisfactory though the telephony and telegraph position is, that of television is far worse, since ionospheric transmission cannot be employed at all. The service area of a television station, even on a very good site, is only about a hundred miles across. To cover a small country such as Great Britain would require a network of transmitters, connected by coaxial lines, waveguides or VHF relay links. A recent theoretical study[1] has shown that such a system would require repeaters at intervals of fifty miles or less. A system of this kind could provide television coverage, at a very considerable cost, over the whole of a small country. It would be out of the question to provide a large continent with such a service, and only the main centres of population could be included in the network.

The problem is equally serious when an attempt is made to link television services in different parts of the globe. A relay chain several thousand miles long would cost millions, and transoceanic services would still be impossible. Similar considerations apply to the provision of wide-band frequency modulation and other services, such as high-speed facsimile which are by their nature restricted to the ultra-high-frequencies.

Many may consider the solution proposed in this discussion too far-fetched to be taken very seriously. Such an attitude is unreasonable, as everything envisaged here is a logical extension of developments in the last ten years—in particular the perfection of the long-range rocket of which V2 was the prototype. While this article was being written, it was announced that the Germans were considering a similar project, which they believed possible within fifty to a hundred years.

Before proceeding further, it is necessary to discuss briefly certain fundamental laws of rocket propulsion and "astronautics." A rocket which achieved a sufficiently great speed in flight outside the earh's atmosphere would never return. This "orbital" velocity is 8 km per sec. (5 miles per sec), and a rocket which attained it would become an artificial satellite, circling the world for ever with no expenditure of power—a second moon, in fact.

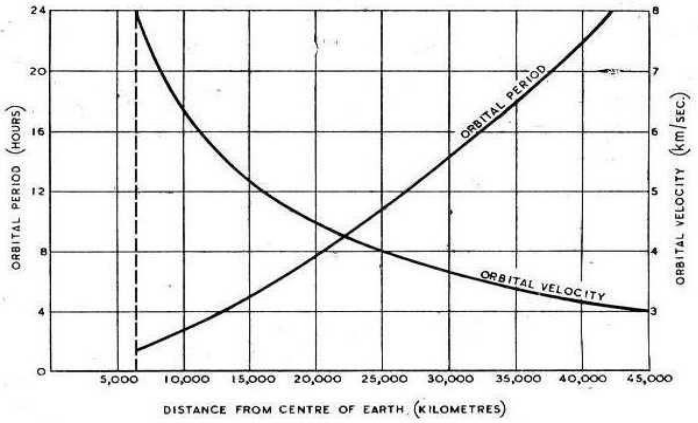


Fig. 1. Variation of orbital period and velocity with distance from the centre of the earth.

The German transatlantic rocket A10 would have reached more than half this velocity.

It will be possible in a few more years to build radio controlled rockets which can be steered into such orbits beyond the limits of the atmosphere and left to broadcast scientific information back to the earth. A little later, manned rockets will be able to make similar flights with sufficient excess power to break the orbit and return to earth.

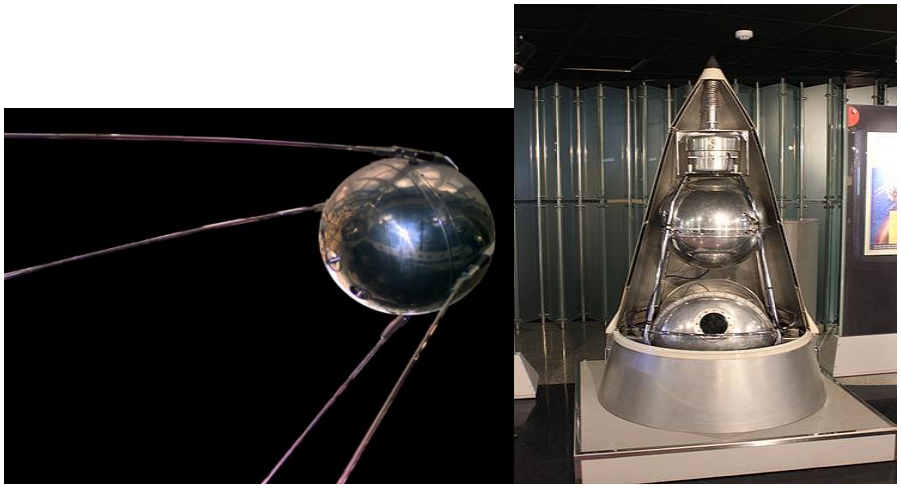
There are an infinite number of possible stable orbits, circular and elliptical, in which a rocket would remain if the initial conditions were correct. The velocity of 8 km/sec. applies only to the closest possible orbit, one just outside the atmosphere, and the period of revolution would be about 90 minutes. As the radius of the orbit increases the velocity decreases, since gravity is diminishing and less centrifugal force is needed to balance it. Fig. 1 shows this graphically. The moon, of course, is a particular case and would lie on the curves of Fig. 1 if they were produced. The proposed German space-stations would have a period of about four and a half hours.

It will be observed that one orbit, with a radius of 42,000 km, has a period of exactly 24 hours. A body in such an orbit, if its plane coincided with that of the

Εικόνα 1. Το δημοσιευμένο άρθρο του Sir Arthur C. Clarke

Πηγή: Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021

http://lakdiva.org/clarke/1945ww/1945ww_305.jpg



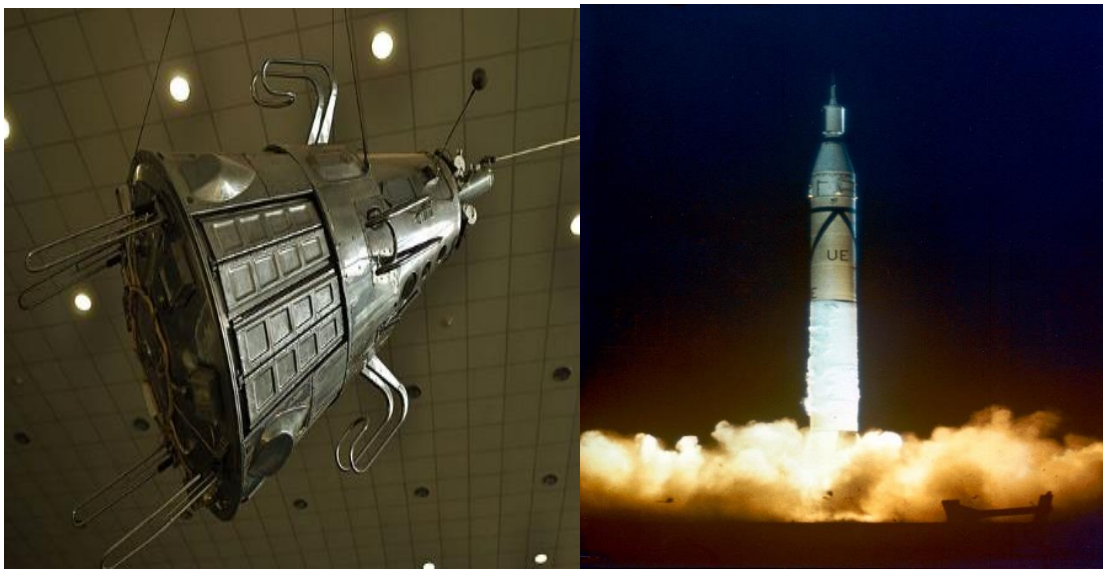
Εικόνα 2. Αντίγραφο του Sputnik 1 (αριστερά)

Πηγή: Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021https://en.wikipedia.org/wiki/Sputnik_1#/media/File:Sputnik_asm.jpg

Εικόνα 3. Αντίγραφο του Sputnik 2 (δεξιά)

Πηγή:Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laika_ac_Sputnik_2_Replica_(6995685051).jpg#/media/File:Laika_ac_Sputnik_2_Replica_(6995685051).jpg

By Laika ac from USA - Sputnik 2 Replica, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31724645



Εικόνα 4.Sputnik 3 (αριστερά)

Πηγή:Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021

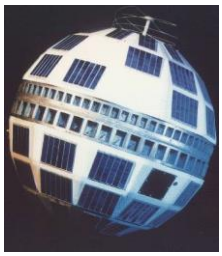
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA-3.jpg

By Енин Арсений - Own work, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17939334

Εικόνα 5.Εκτόξευση του Explorer 1, 1 Φεβρουαρίου 1958 (δεξιά)

Πηγή:Explorer 1 - Wikipedia. (2006). Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021

https://en.wikipedia.org/wiki/Explorer_1#/media/File:Launch_of_Jupiter_C_with_Explorer_1.jpg

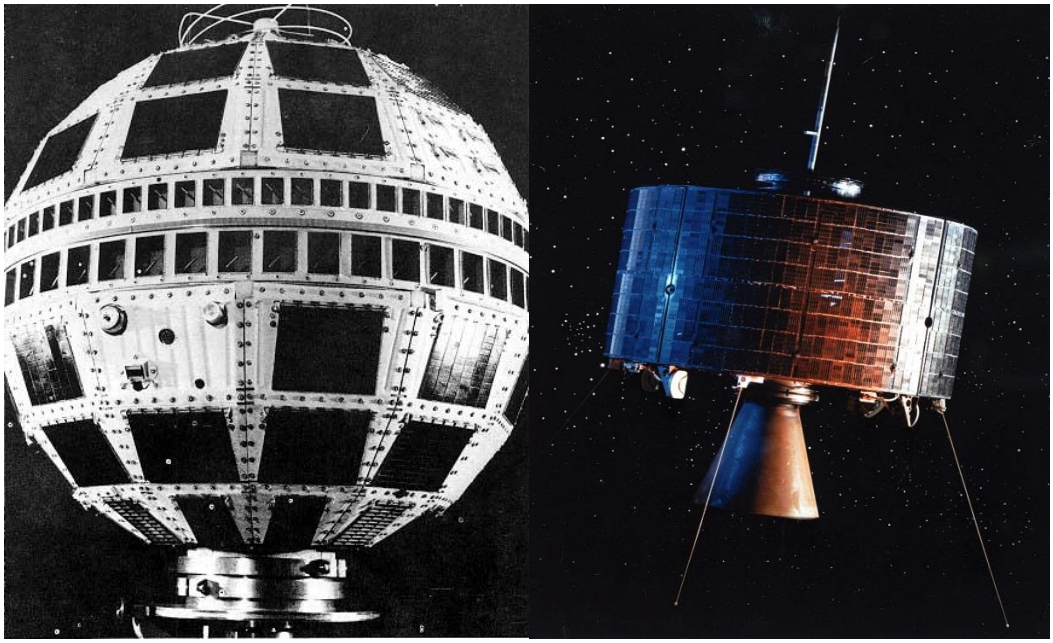


Εικόνα 6. Ο δορυφόρος Telstar 1

Πηγή: Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021

https://en.wikipedia.org/wiki/Telstar_1#/media/File:Telstar.jpg

Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=157045



Εικόνα 7. Ο δορυφόρος Telstar 2. (αριστερά)

Πηγή:

Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021

https://en.wikipedia.org/wiki/Telstar_2#/media/File:Telstar_2.jpg

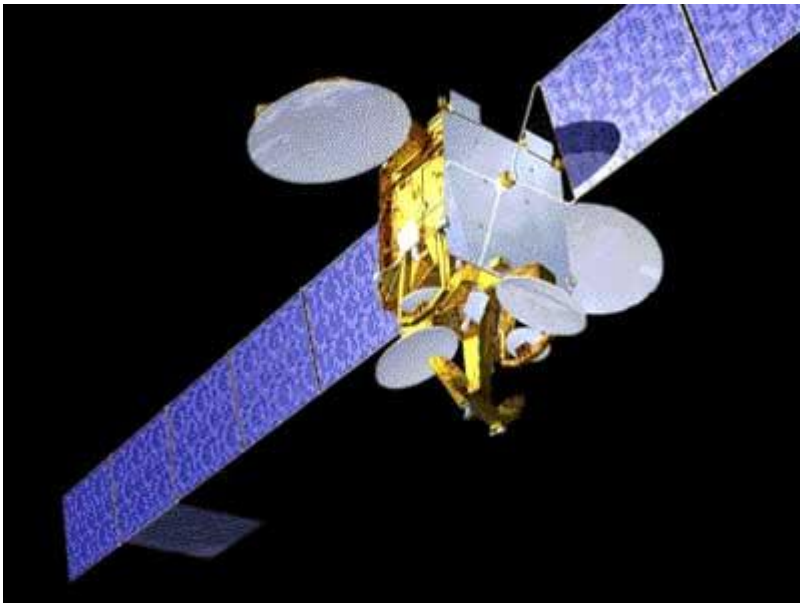
By NASA - NASA Goddard Space Flight Center, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2960006

Εικόνα 8. Ο δορυφόρος Syncom (δεξιά)

Πηγή:

Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021

http://web.archive.org/web/20110329121545/http://www.boeing.com/defense-space/space/bss/factsheets/376/syncom/83-26143.jpg



Εικόνα 9. Μια καλλιτεχνική απεικόνιση του δορυφόρου Hellas-Sat στο διάστημα.

Πηγή: Ανακτήθηκε στις 19 Μαρτίου 2021

https://spaceflightnow.com/atlas/av002/030512hellassat.html

1.2 Πρότυπα και Οργανισμοί

1.2.1 Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU)

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ιδρύθηκε το 1865 όπου δημοσιεύθηκαν και οι Κανονισμοί Ραδιοεπικοινωνιών (Radio Regulations). Από το 1994 η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών έχει χωριστεί στους εξής τρειστομείς:

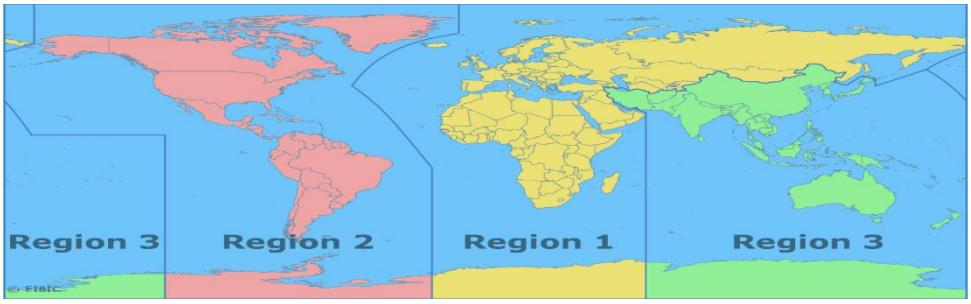
- Ο Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών (Radiocommunications Sector) του οποίου η ενασχόληση είναι όλα τα ρυθμιστικά και τεχνικά ζητήματα.
- Ο Τομέας Προτυποποίησης Ραδιοεπικοινωνιών (Telecommunications Standardization Sector) όπου συνεχίζει το έργο της Συμβουλευτικής Επιτροπής Διεθνούς Τηλεγραφίας και Τηλεφωνίας (Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy) και τις μελέτες της Συμβουλευτικής Επιτροπής Διεθνούς Ραδιοφώνου (Consultative Committee on International Radio), που ασχολούνται με την διασύνδεση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων με δημόσια δίκτυα.
- Ο Τομέας Ανάπτυξης (Development Sector) ο οποίος λειτουργεί ως σύμβουλος ανάπτυξης των επικοινωνιών στον κόσμο.

Οι βασικοί σκοποί της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών είναι οι εξής:

- Η προώθηση της ανάπτυξης και αποτελεσματικής λειτουργίας, της χρησιμότητας καθώς και της διαθεσιμότητας των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.
- Η προώθηση της ανάπτυξης των τηλεπικοινωνιών σε όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες και την μέγιστη ωφέλεια προς το ανθρώπινο σύνολο.
- Η προώθηση της υιοθέτησης μιας προσέγγισης σε ζητήματα τηλεπικοινωνιών με συνεργασία των κρατών σε παγκόσμιες διακυβερνητικές οργανώσεις καθώς και μη κυβερνητικές οργανώσεις που ασχολούνται με τις τηλεπικοινωνίες.

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών είναι υπεύθυνη για την ανάθεση και την κατανομή συχνοτήτων σε παγκόσμιο επίπεδο σύμφωνα με τις ανάγκες και τους σκοπούς που επιτελεί κάθε κράτος. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών έχει δημιουργήσει νοητές ζώνες σε παγκόσμιο επίπεδο με στόχο την ταξινόμηση των συχνοτήτων. Αναφορικά οι ζώνες αυτές είναι οι εξής:

- Ζώνη 1: Ευρώπη, Αφρική, Μέση Ανατολή και ασιατικές περιοχές της πρώην Σοβιετικής Ένωσης.
- Ζώνη 2: Αμερική.
- Ζώνη 3: Ασία (εκτός των περιοχών που ήταν μέλη της πρώην Σοβιετικής Ένωσης), και Αυστραλία.



Εικόνα 10.Απεικόνιση των ζωνών συχνοτήτων με βάση την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών.

Πηγή: Ανακτήθηκε στις 20 Μαρτίου 2021.

https://www.mapability.com/ei8ic/maps/IARU_Regions_01.png

Copyright: Tim Makins - EI8IC

https://www.mapability.com/ei8ic/maps/regions.php

1.2.2 Ο Διεθνής Δορυφορικός Οργανισμός

Αναφορικά, οι οργανισμοί διαχείρισης υπηρεσιών είναι οι εξής:

- Ο Διεθνής Δορυφορικός Οργανισμός (INTELSAT), που ασχολείται με σταθερές δορυφορικές υπηρεσίες (Fixed Satellite Service, FSS) και δορυφορικές υπηρεσίες ευρυεκπομπής (Broadcasting Satellite Service, BSS).
- Ο Διεθνής Οργανισμός Δορυφορικών Κινητών (IMSO), ο οποίος ασχολείται κυρίως με υπηρεσίες συστημάτων κινητών δορυφορικών υπηρεσιών (Mobile Satellite Services, MSS).
- Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Δορυφορικών Τηλεπικοινωνιών (EUTELSAT), με κύριο αντικείμενο ενασχόλησης του, τις υπηρεσίες FSS, BSS και τις υπηρεσίες ραδιοεντοπισμού (Radio Determination Satellite Services, RDSS).

1.2.2.1 Ο Διεθνής Δορυφορικός Οργανισμός (INTELSAT)

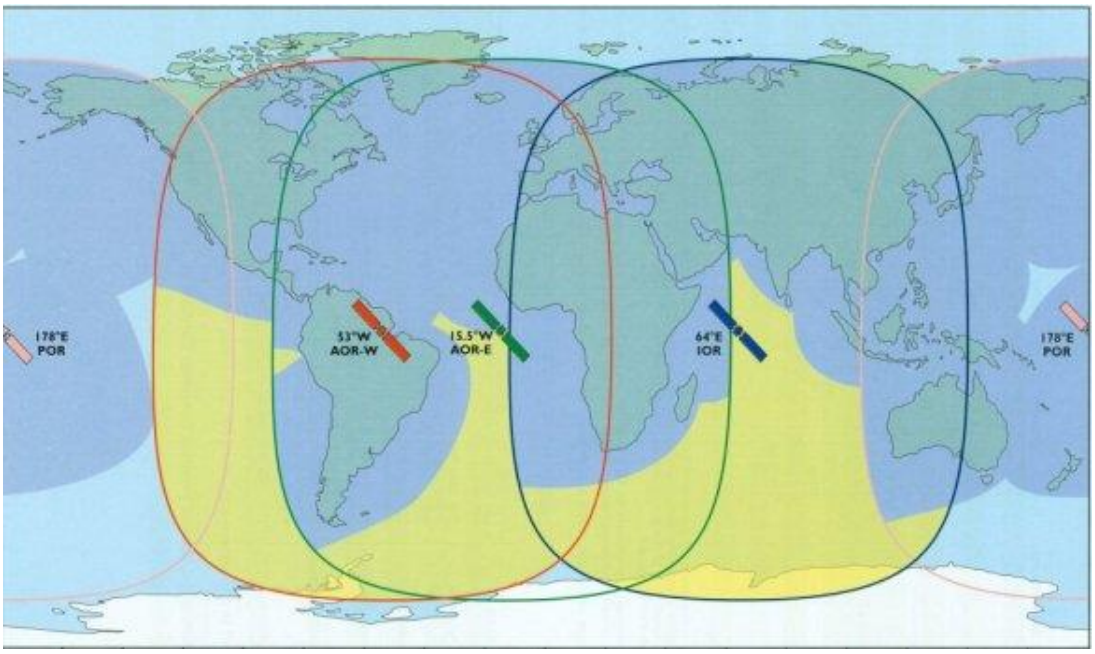
Ο διεθνής δορυφορικός οργανισμός INTELSAT (International Telecommunications Satellite) ιδρύθηκε το 1964 περιλαμβάνει περισσότερα από 140 κράτη-μέλη και περισσότερους από 40 επενδυτικούς φορείς .Η εταιρεία ιδιωτικοποιήθηκε το 2001 και από τον Μάιο του 2002 παρέχει μέσω ενός δικτύου τηλεθυρών (teleports), μισθωμένα κυκλώματα, σημεία παρουσίας (Points of Presence, PoPs) και ολοκληρωμένες λύσεις (end to end) παγκοσμίως. Η εταιρεία συγχωνεύτηκε με την εταιρία "Pan Am Sat Holding Corporation" το 2006 και αποτελεί από τότε τον μεγαλύτερο πάροχο υπηρεσιών FSS. Παρέχει υπηρεσίες διαδικτύου (Internet Trunking), δίκτυο δορυφόρων και οπτικών ινών (International Private Line) και υπηρεσίες βίντεο.

Τον πρώτο δορυφόρο της εταιρεία INTELSAT, Early Bird,διαδέχτηκαν σε λίγα χρόνια διάφοροι δορυφόροι. Η διάρκεια ζωής και η χωρητικότητα χρησιμοποιούμενων φωνητικών καναλιών αυξήθηκαν σε σημαντικό βαθμό, έπειτα από κάθε επιτυχή εκτόξευση. Οι δορυφόροι INTELSAT καλύπτουν την περιοχή του Ατλαντικού Ωκεανού (Atlantic Ocean Region, AOR), την περιοχή του Ινδικού Ωκεανού (Indian Ocean Region, IOR) και την περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού (Pacific Ocean Region, POR). Η τηλεπικοινωνιακή μετάδοση γίνεται στις ζώνες συχνοτήτων C και Ku.

Τα πιο αξιοσημείωτα επιτεύγματα των δορυφόρων της εταιρίαςINTELSAT ήταν η πρώτη ζωντανή τηλεοπτική μετάδοση σε παγκόσμιο επίπεδο, της προσελήνωσης το 1969. Το 1974 πραγματοποιεί την πρώτη διεθνή ψηφιακή τηλεφωνική υπηρεσία. Την ίδια χρονιά εγκαταστάθηκε απευθείας σύνδεση μεταξύ Λευκού Οίκου και Κρεμλίνου με ονομασία "Hotline". Το 1987 πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη τηλεδιάσκεψη με 50.000 ανθρώπους από 79 πόλεις. Το 1993 ξεκινάει την παροχή υπηρεσιών διαδικτύου. Τέλος, ένα από τα πιο πρόσφατα επιτεύγματα ήταν η ζωντανή μετάδοση των Χειμερινών Ολυμπιακών Αγώνων του 1998 στην πόλη Ναγκάνο της Ιαπωνίας.

1.2.2.2 Ο Διεθνής Οργανισμός Δορυφορικών Κινητών (INMARSAT)

Το 1979 ιδρύθηκε ο διεθνής οργανισμός δορυφορικών κινητών INMARSAT (Interim International Maritime Satellite). Το δορυφορικό τουσύστημα επιτυγχάνει την κινητή επικοινωνία στην θάλασσα, στον αέρα και στην ξηρά, καθώς και ένα σύστημα ραδιοεπικοινωνίας έκτακτης ανάγκης. Περιλαμβάνει 86 χώρες-μέλη μεταξύ των οποίων βρίσκεται και η Ελλάδα, ενώ από το 1999 έχει ιδιωτικοποιηθεί και έχει ως έδρα του το Λονδίνο.Το σύστημα του αποτελείται από 9 δορυφόρους, 4 από τους οποίους, η γενιά Inmarsat 3,καλύπτουν τις περιοχές των πόλων καθώς και ολόκληρη την υδρόγειο.Είναι τοποθετημένοι στον Δυτικό και Ανατολικό Ατλαντικό Ωκεανό, στον Ειρηνικό Ωκεανό και στον Ινδικό Ωκεανό, παρέχοντας έτσι παγκόσμια κάλυψη.Χάρη στις υπηρεσίες που προσφέρει εξυπηρετούνται πάνω από 240.000 πλοία, αεροπλάνα, οχήματα και κινητά τερματικά με υπηρεσίες φωνής, fax και μετάδοσης δεδομένων με ταχύτητες έως 64Kbps. Σε περιοχές με αυξημένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση προσφέρει την δυνατότητα διάπλασης δεσμών ενέργειας μέσω μιας σειράς δεσμών κηλίδας. Η τηλεπικοινωνιακή μετάδοση γίνεται στις ζώνες συχνοτήτων L και Ku.



Εικόνα 11.Η κάλυψη των δορυφόρων INMARSAT.

Πηγή: Ανακτήθηκε στις 20 Μαρτίου 2021

https://www.egmdss.com/gmdss-courses/mod/page/view.php?id=2967

1.2.2.3 Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Δορυφορικών Τηλεπικοινωνιών (Eutelsat)

Το 1977 στην Γαλλία ιδρύθηκε η ιδιωτική εταιρία EUTELSAT με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες της Ευρώπης στην δορυφορική επικοινωνία. Περιλαμβάνει 40 κράτη-

μέλη και η έδρα της βρίσκεται στο Παρίσι. Η εταιρία έχει 18 γεωστατικούς δορυφόρους, με τους παρέχουν κάλυψη στην Ευρώπη, την Αφρική, μέρος της Ασίας, την Μέση Ανατολή, την Ινδία και περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Προσφέρει 850 ψηφιακά και αναλογικά κανάλια, 520 ραδιοφωνικά κανάλια, καθώς επίσης καθιστά εφικτές τις επικοινωνίες της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης και της Ρωσίας. Καλύπτει τις τηλεδιασκέψεις ιδιωτικών δικτύων επιχειρηματικών κολοσσών, όπως η General Motors και η Fiat. Παρέχει επίσης κάλυψη σε ειδησεογραφικά πρακτορεία (Reuters, AFP), όπως επίσης και για υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων. Η τηλεπικοινωνιακή μετάδοση γίνεται στη ζώνη Ku.

1.3 Επικοινωνιακοί δορυφόροι σε τροχιά

Ο πίνακας 1.1 απεικονίζει μια σειρά από δορυφόρους που χρησιμοποιούνται για επικοινωνιακές εφαρμογές, με εξαίρεση τους δορυφόρους στρατιωτικής χρήσης, τους πειραματικούς δορυφόρους, τους δορυφόρους που δεν καταφέρανε να εκτοξευθούνε, καθώς και τους δορυφόρους παρατήρησης της Γης, όπως και τους δορυφόρους μετεωρολογικού σκοπού.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΤΟΞΕΥΣΗΣ	ΤΡΟΧΙΑ	ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ
CMS-01	17 Δεκεμβρίου 2020	GEO	ISRO
GSAT-30	17 Ιανουαρίου 2020	GEO	ISRO
GSAT-31	6 Φεβρουαρίου 2019	GEO	ISRO
GSAT-7A	19 Δεκεμβρίου 2018	GEO	ISRO
GSAT-11	5 Δεκεμβρίου 2018	GEO	ISRO
GSAT-29	14 Νοεμβρίου 2018	GEO	ISRO
GSAT-6A	29 Μαρτίου 2018	GEO	ISRO
GSAT-17	29 Ιουνίου 2017	GEO	ISRO
GSAT-19	5 Ιουνίου 2017	GEO	ISRO
GSAT-9	5 Μαΐου 2017	GEO	ISRO
GSAT-18	6 Οκτωβρίου 2016	GEO	ISRO

GSAT-15	11 Νοεμβρίου 2015	GEO	ISRO
GSAT-6	27 Αυγούστου 2015	GEO	ISRO
GSAT-16	7 Δεκεμβρίου 2014	GEO	ISRO

Πίνακας 1.1. Οιεπικοινωνιακοί δορυφόροισε τροχιά το 2021

Πηγή: List of Communication Satellites - ISRO. (2021). Ανακτήθηκε από https://www.isro.gov.in/spacecraft/list-of-communication-satellites

1.3.1 Δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά το 2021

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται δορυφόροι οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παροχή δορυφορικού διαδικτύου σε χρήστες στην Ελλάδα.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΤΕΒΑΣΜΑΤΟΣ (DOWNLOAD)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΒΑΣΜΑΤΟΣ (UPLOAD)
HYLAS 2	492 Kbit/s	492 Kbit/s
Eutelsat W6	4 Mbit/s	1 Mbit/s
Hellas-Sat 2	512 Kbit/s	128 Kbit/s
GX5	492 Kbit/s	492 Kbit/s
SpaceX Broadband Satellite	512 Kbit/s	128 Kbit/s

Πίνακας 1.2. Δορυφόροι σε τροχιά το έτος 2021.

Πηγή: ISP.TODAY (2021). Ανακτήθηκε από https://isp.today/gr/list-of-all-services/GREECE

1.3.2 Ζώνες Δορυφορικών Συχνοτήτων

Οι ζώνες δορυφορικών συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για πληθώρα εφαρμογών με μέσω μετάδοσης των σημάτων το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιούν την ατμόσφαιρα ως μέσο διάδοσης. Στον Πίνακα 1.3 θα γίνει απεικόνιση των διαφόρων εφαρμογών με βάση την ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται.

Ζώνη Συχνοτήτων	Συχνότητα Άνω Ζεύξης	Συχνότητα Κάτω Ζεύξης	Διαθέσιμο Εύρος Ζώνης	Κατηγορίες Τηλεπικοινωνιακών Υπηρεσιών
L-ζώνη	2 GHz	1 GHz	<100MHz	Κινητή υπηρεσία μέσω δορυφόρου
				Κινητή υπηρεσία ξηράς μέσω δορυφόρου
S-ζώνη	4 GHz	2 GHz	<100MHz	Κινητή υπηρεσία μέσω δορυφόρου
				Υπηρεσία έρευνας του διαστήματος
C-ζώνη	8 GHz	4 GHz	800MHz	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου
X-ζώνη	12.5 GHz	8 GHz	-	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου για στρατιωτικούς σκοπούς
Ku-ζώνη	19 GHz	12.5 GHz	1000MHz	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου
				Υπηρεσία ευρυεκπομπής μέσω δορυφόρου
K-ζώνη	26.5 GHz	19 GHz	1000MHz	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου
				Υπηρεσία ευρυεκπομπής μέσω δορυφόρου

- Απαιτείται από τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης η δυνατότητα της ομόχρονης και αποδοτικής υποστήριξης μεγάλου και συνεχώς μεταβαλλόμενου όγκου χρηστών.
- Είναι σημαντικό οι επίγειοι σταθμοί να είναι ελάχιστου κόστους και μέγιστης αποτελεσματικότητας όσον αφορά την επικοινωνία τους με τους δορυφόρους. Μερικές λειτουργίες που είναι μεγίστης σημασίας αποτελεί ο γρήγορος εντοπισμός των δορυφόρων και η γρήγορη προσαρμογή τους στις μεταβολές της τροχιάς.
- Τα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιούν διάφορες τροχιές οι οποίες με την σειρά τους καθορίζονται από διάφορες παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, οι παράμετροι αυτές σχετίζονται με την επιφάνεια κάλυψης του δορυφόρου, την υπό κλίση απόσταση του με την Γη και την χρονική καθυστέρηση μετάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού σήματος με τους σταθμούς στην Γη. Οι ζώνες VanAlleneίναι ζώνες φορτισμένων σωματιδίων παγιδευμένα στο μαγνητικό με αποτέλεσμα να προκαλούν ζημιές στους δορυφόρους ή ακόμα και να τους καταστρέφουν.

Το κόστος μετάδοσης σήματος από έναν δορυφόρο για χρήση αυτού σε ένα δορυφορικό κανάλι είναι αμετάβλητο και δεν λαμβάνεται υπόψη η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, όπως επίσης δεν μετριέται το πλήθος των επίγειων σταθμών που κατέχουν τον ρόλο του δέκτη αυτού του σήματος.

Εικόνα 12.Απεικόνιση του ισορροπίας μεταξύ του κόστους και της απόστασης.

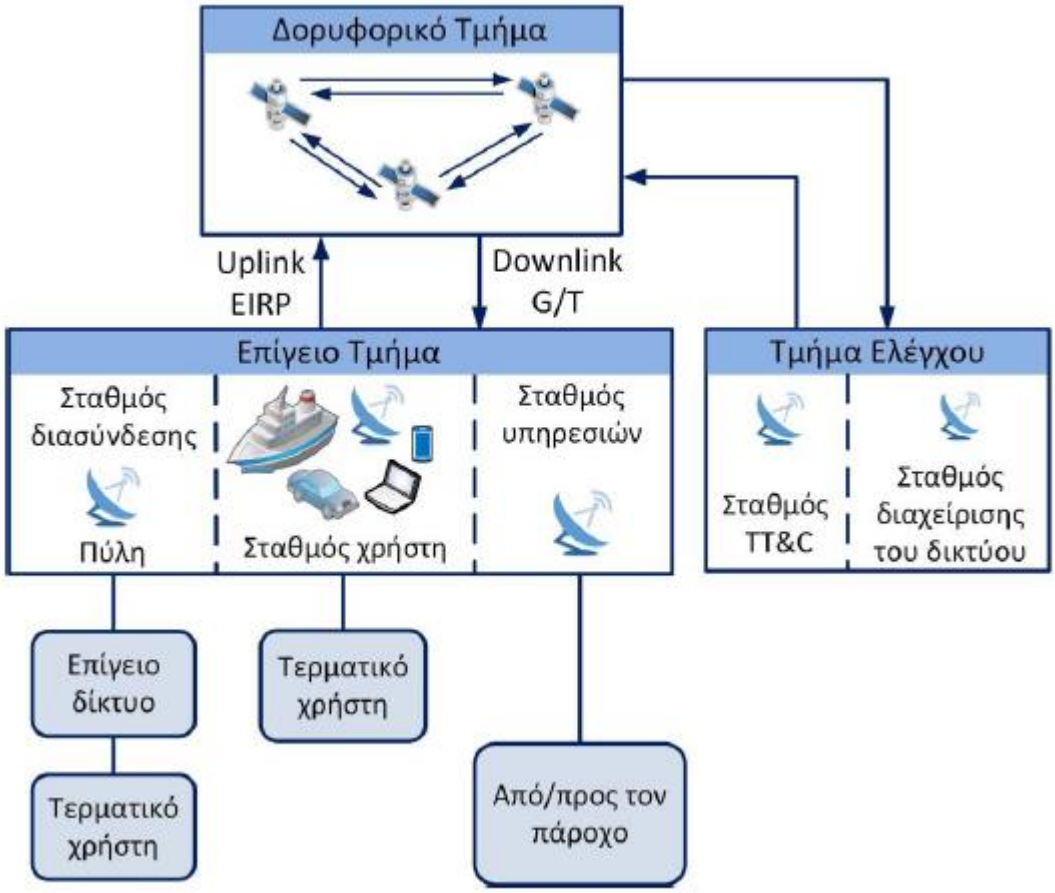
Πηγή: Ανακτήθηκε απόΒουγιούκας, Δ., 2015. 4 ‰ Œ • ” ‰ Œ • ƒ y Ž .χηλεκτρ‰ρι[ ] Αριθμός σελίδας: 38. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: http://hdl.handle.net/11419/2712

Η απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στον δορυφόρο και τις τερματικές συσκευές των χρηστών έχει μεγάλες καθυστερήσεις, σε σχέση με τα επίγεια συστήματα, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται ιδιαίτερα οι επικοινωνίες φωνής, να υπάρχει σημαντική εξασθένιση του σήματος, με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερη ισχύ μετάδοσης και μεγαλύτερο μέγεθος κεραίας. Αυτό επιλύεται σε περιπτώσεις που η απόσταση κατέχει σπουδαίο ρόλο στην επικοινωνία μεταξύ του δορυφόρου και του τερματικού του χρήστη, κάνοντας χρήση μη γεωστατικών δορυφόρων, επομένως μειώνονται οι καθυστερήσεις σήματος και το μέγεθος της κεραίας.

Για να μπορέσει να αναπτυχθεί ένα δορυφορικό σύστημα επικοινωνιών τα έξοδα που απαιτούνται για την υλοποίηση ενός γεωστατικού δορυφόρου είναι στο εύρος των 200-400 εκατομμυρίων δολαρίων για την δημιουργία και την εκτόξευση ενός γεωστατικού δορυφόρου. Η μέση διάρκεια ζωής ενός δορυφόρου ανέρχεται στα περίπου 15 χρόνια από την εκτόξευση του δορυφόρου. Για να επιτευχθεί κέρδος από έναν δορυφόρο πρέπει τα ετήσια έσοδα να είναι της τάξης των 20-30 εκατομμυρίων δολαρίων ανά έτος χρήσης του. Έτσι λοιπόν, απαιτείται μεγάλο διάστημα αναμονής από την κατασκευή του δορυφόρου μέχρι να ανακτηθούν τα έσοδα από την επένδυση αυτή.

1.5 Σχεδιασμός και οργάνωση δορυφορικού συστήματος

Τα δορυφορικά συστήματα χωρίζονται σε δύο τμήματα, το διαστημικό και το επίγειο τμήμα. Οι λειτουργίες που επιτελούνται κατά την σύνδεση αυτών χωρίζονται στην άνω ζεύξη και την κάτω ζεύξη. Μέχρι και σήμερα, οι δορυφόροι επεκτείνουν τις λειτουργίες ενός διευρυμένου φάσματος εφαρμογών, για παράδειγμα την δορυφορική τηλεόραση, το δορυφορικό διαδίκτυο και το δορυφορικό τηλέφωνο.Επίσης υπάρχουν οι μετεωρολογικοί δορυφόροι, οι δορυφόροι στρατιωτικών εφαρμογών, οι δορυφόροι διάσωσης, οι δορυφόροι εντοπισμού θέσης και πλοήγησης και οι δορυφόροι παρατήρησης της Γης. Κάθε δορυφόρος εξοπλίζεται κατάλληλα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν για την επίτευξη του σκοπού του και έτσι μπορεί να διαφοροποιείτε από τους υπόλοιπους δορυφόρους. Παρακάτω απεικονίζεται η οργάνωση των συστημάτων δορυφορικών επικοινωνιών και ακολουθεί επεξήγηση του διαστημικούκαι επίγειου τμήματος των δορυφορικών συστημάτων.



Εικόνα 13.Οργάνωση συστήματος δορυφορικών επικοινωνιών

Πηγή: Ανακτήθηκε από Βουγιούκας, Δ., 2015. 4 ‰ Œ • ” ‰ Œ • ƒ y Ž .χηλεκτ‰βλ.] Αριθμός σελίδας: 40. Σχήμα 1.7. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: http://hdl.handle.net/11419/2712

1.5.1 Το διαστημικό τμήμα

Το διαστημικό τμήμα περιλαμβάνει το δορυφορικό τμήμα και το τμήμα ελέγχου. Το δορυφορικό τμήμα περιλαμβάνει το ωφέλιμο φορτίο του δορυφόρου, στο οποίο περιλαμβάνονται οι κεραίες, ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός μεταδόσεων και η πλατφόρμα. Η πλατφόρμα έχει τον ρόλο να υποστηρίζει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό, ο οποίος αποτελείται από διάφορες κατασκευές με ξεχωριστούς σκοπούς η κάθε μία. Συγκεκριμένα, ρυθμίζει τη σταθερότητα του δορυφόρου, είναι υπεύθυνη για την παροχή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας τόσο για την ισχύ όσο και για να ρυθμίζει την τάση, ελέγχει την θερμοκρασία και απαγάγει την θερμότητα όταν απαιτείται. Επίσης, διαθέτει μηχανισμό για τον έλεγχο θέσης και σταθεροποίησης τροχιάς, είναι εξοπλισμένη με κατάλληλο εξοπλισμό πρόωσης για την παροχή ταχύτητας και ροπές. Τέλος, διαθέτει εξοπλισμό παρακολούθησης της τηλεμετρίας και ελέγχου για μετάδοση δεδομένων από και προς τον σταθμό ελέγχου. Όσον αφορά το τμήμα ελέγχου, σε

αυτό εμπεριέχονται όλες οι επίγειες εγκαταστάσεις ελέγχου, τηλεμετρίας, εντοπισμού της θέσης του δορυφόρου (Tracking, Telemetry & Command, TT&C) και το κέντρο διαχείρισης δικτύου.

1.5.2 Το επίγειο τμήμα

Το επίγειο τμήμα περιλαμβάνει τον επίγειο σταθμό, ο οποίος περιλαμβάνει τους πομπούς και τους δέκτες. Οι επίγειοι σταθμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους σταθερούς και τους κινητούς. Το σταθερό επίγειο τμήμα περιλαμβάνει τους σταθμούς δρομολόγησης τηλεπικοινωνιακής κίνησης, η συλλογή της οποίας αποτελείται από επίγεια συστήματα και σταθμούς τελικών χρηστών. Οι κινητοί σταθμοί περιλαμβάνουν σταθμούς που βρίσκονται στο έδαφος όπως είναι ένα αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί μια συσκευή παγκοσμίου συστήματος στιγματοθέτησης (Global Positioning System, GPS), στην θάλασσα (τα συστήματα ραντάρ που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό πλοίων και αποφυγή συγκρούσεων) και στον αέρα (τα αεροπλάνα χρησιμοποιούν συγκεκριμένες συχνότητες για επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου για ενημέρωση της κατάστασης και λοιπές υπηρεσίες).Μέσω τεχνικών πολλαπλής πρόσβασης πλήθος επίγειων σταθμών απαιτούν και εκπέμπουν ταυτόχρονα αιτήματα για πρόσβαση σε έναν δορυφόρο. Στα δορυφορικά συστήματα ευρείας μετάδοσης περιλαμβάνεται ένας επίγειος σταθμός, ο οποίος έχει σκοπό να εκπέμπει, καθώς επίσης περιλαμβάνονται πολλαπλοί επίγειοι σταθμοί που λειτουργούν ως δέκτες των σημάτων. (Receive only, RCVO).

1.5.3 Οι λειτουργίες του ωφέλιμου φορτίου

Οι λειτουργίες που επιτελεί το ωφέλιμο φορτίο είναι υλοποιήσιμες μέσω απλού αναμεταδότη είτε μέσω αναμεταδότη επεξεργασίας επί του σκάφους. Ο απλός αναμεταδότης εκτελεί την συλλογή μικροκυματικών σημάτων από την Γη, ενισχύει τις φέρουσες ραδιοσυχνότητες, μετατρέπει την συχνότητα του φέροντος σήματος από την συχνότητα της άνω ζεύξης σε συχνότητα κάτω ζεύξης και εκπέμπει μικροκυματικά σήματα προς την Γη. Το εύρος ζώνης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους επαναλήπτες (repeaters) χωρίζεται σε υπο-ζώνες που έχουν εύρος μερικών δεκάδων MHz. Κάθε δορυφορικός δίαυλος ενισχύει από μία υπο-ζώνη συχνοτήτων. Οι αναμεταδότες εκτελούν πολύπλοκες εργασίες όπως μεταγωγή στη συχνότητα και τον χώρο και τον χρόνο, ανάκτηση ψηφιακής πληροφορίας στον δορυφόρο και μετατροπή ρυθμού bit (bitrate conversion) και αποκωδικοποίηση διόρθωσης σφάλματος.

1.6 Υπηρεσίες δορυφορικών επικοινωνιών

Οι δορυφορικές ραδιοεπικοινωνίες είναι υποκατηγορία των υπηρεσιών ραδιοεπικοινωνιών. Ο όρος ραδιοεπικοινωνίες αναφέρεται ως " 8 x ƒ ‹ ‰ … ‹ | ƒ r • l { „ | — {

Œ r w • ‰ ƒ • … s • ˜ † v • r • • v ƒ{ x, x Œ ƒ ‰ y † ‰ • Ž ƒ ‰ • ‘ Ž. (Βσυ‰ούκας Ž Δ., 2015. 4 ‰ Œ • ” ‰ Œ • ƒ y Ž .χηλεκτρ‰ηλ˜ Αβιθμός σελίδας: 43).

1.6.1 Δορυφορικές Υπηρεσίες

Οι κανονισμοί ραδιοσυχνοτήτων ορίζουν 42 κατηγορίες ραδιοεπικοινωνιών. Παρακάτω αναφέρονται 7 από αυτές που ανήκουν στην κατηγορία των δορυφορικών ραδιοεπικοινωνιών.

- Σταθερή Δορυφορική Υπηρεσία (Fixed Satellite Service, FSS): Αναφέρεται στην ραδιοεπικοινωνία ανάμεσα σε υπάρχουσες θέσεις επίγειων σταθμών με χρήση ενός ή περισσοτέρων δορυφόρων. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου μέσω FSS υπάρχει επικοινωνία μεταξύ δορυφόρων.
- Δορυφορική Υπηρεσία Ευρυεκπομπής (Broadcasting Satellite Service, BSS): Σε αυτή την υπηρεσία τα μεταδιδόμενα σήματα από διαστημικούς σταθμούς προκαθορίζονται για άμεση λήψη.
- Κινητή Δορυφορική Υπηρεσία (Mobile Satellite Service, MSS): Η υπηρεσία αυτή αναφέρεται σε όλες τις επικοινωνίες που προκύπτουν μεταξύ κινητών επίγειων σταθμών και ενός ή παραπάνω διαστημικών σταθμών, όπως επίσης την επικοινωνία μεταξύ διαστημικών σταθμών, καθώς και μεταξύ κινητών επίγειων σταθμών μέσω ενός ή παραπάνω διαστημικών σταθμών. Σε αυτή την υπηρεσία περιέχονται τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με την επιφάνεια στην οποία πραγματοποιούνται οι επικοινωνίες. Αναφορικά είναι οι εξής:
  - Κινητή Υπηρεσία Ξηράς (Land Mobile Satellite Service, LMSS): Αφορά την κινητή δορυφορική υπηρεσία όπου οι επίγειοι σταθμοί είναι επί ξηράς.
  - Ναυτική Κινητή Δορυφορική Υπηρεσία (Maritime Mobile Satellite Service, MMSS): Πρόκειται για κινητή δορυφορική υπηρεσία στην οποία οι κινητοί επίγειοι σταθμοί είναι στα πλοία. Σε αυτήν την υπηρεσία, συμμετέχουν και σταθμοί σωστικών σκαφών, καθώς και σταθμοί ένδειξης θέσης ραδιοφάρων σε περιπτώσεις που υπάρχει επιτακτική ανάγκη για χρήση αυτών.
  - Αεροναυτική Κινητή Δορυφορική Υπηρεσία (Aeronautical Mobile Satellite Service, AMSS): Αυτή η κινητή υπηρεσία αφορά την επικοινωνία των αεροναυτικών σκαφών και σταθμών αεροσκαφών, επίσης αφορά την επικοινωνία μεταξύ σταθμών αεροσκαφών, όπου δύναται η συμμετοχή σκαφών σωστικής χρήσης. Είναι πιθανή η συμμετοχή υπηρεσιών σταθμών

ένδειξης θέσεως ραδιοφάρων (radio beacon) σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης σε συγκεκριμένες συχνότητες κινδύνου και επιτακτικής ανάγκης.

- Δορυφορική Υπηρεσία Ερασιτεχνών (Amateur Satellite Service, AmSS): Πρόκειται για μια υπηρεσία ραδιοεπικοινωνιών στην οποία παρέχεται πρόσβαση σε ραδιοερασιτέχνες σε συγκεκριμένους δορυφόρους της Γης για την εκπαίδευση των ενδιαφερόμενων, η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των ραδιοερασιτεχνών καθώς επίσης διατίθενται για ερευνητικούς σκοπούς.
- Δορυφορική Υπηρεσία Ραδιοεντοπισμού (Radio Determination Satellite Service, RDSS): Η υπηρεσία αυτή έχει ως σκοπό τον εντοπισμό μέσω ραδιοσημάτων της τοποθεσίας, της ταχύτητας καθώς και άλλων παραμέτρων που ορίζουν την θέση της συσκευής πομπού. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση πληθώρας δορυφορικών σταθμών που βρίσκονται σε συνεχή επικοινωνία με τον πομπό στην Γη.
- Δια-Δορυφορική Υπηρεσία (Inter-Satellite Service, ISS): Η δια-δορυφορική υπηρεσία ραδιοεπικοινωνιών είναι υπεύθυνη για την δημιουργία ζεύξεων μεταξύ των δορυφόρων.
- Υπηρεσία Λειτουργίας Διαστήματος (Space Operation Service, SOS): Αυτή η υπηρεσία είναι υπεύθυνη για την ορθή εκτέλεση της ιχνηλάτησης, της τηλεμετρίας καθώς και τον τηλεχειρισμό εντός του διαστημικού χώρου.

1.6.2 Τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες με χρήση δορυφορικών επικοινωνιών

Οι βασικές υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών που γίνονται εφικτές με χρήση δορυφορικών επικοινωνιών είναι οι εξής:

- Ζεύξη τηλεφωνίας και κέντρων τηλεοπτικών προγραμμάτων: Η υπηρεσία αυτή παρέχει μετάδοση μεγάλης κίνησης τηλεφωνίας και τηλεοπτικών σημάτων μεταξύ επίγειων σταθμών με μεγάλη αξιοπιστία. Σημαντικά παραδείγματα αυτής της υπηρεσίας αποτελούν τα δορυφορικά συστήματα των εταιριών INTELSAT και EUTELSAT.
- Εφαρμογές ευρυεκπομπής: Ορισμένοι δορυφόροι τοποθετούνται σε συγκεκριμένη τροχιά με σκοπό την ταυτόχρονη μετάδοση προς όλους τους τελικούς χρήστες στις περιοχές κάλυψης τους. Αυτές οι εφαρμογές είναι υπεύθυνες για την διανομή του

περιεχομένου προγραμμάτων με εικόνα και ήχο, με συνέπεια να απαιτείται μεγάλος όγκος εύρους φάσματος. Αυτές οι υπηρεσίες είναι κατά κύρια βάση οι παρακάτω:

- ❖ Ήχος: Για να καταφέρουν τα ψηφιακά ραδιόφωνα να παρέχουν υψηλή ποιότητα ήχου, γνωστή και ως ποιότητα CD, η μετάδοση του σήματος μέσω δορυφόρου αποτελεί επιτακτική ανάγκη, ώστε να γίνει εφικτή η παροχή της υψηλής ποιότητας ήχου στους ακροατές. Έχουν ιδιαίτερη σημασία οι δορυφόροι σε περιοχές που δεν διαθέτουν ραδιόφωνα με δυνατότητα διαμόρφωσης συχνότητας(Ράδιο FM, Frequency Modulation Radio).
- ❖ Τηλεόραση: Με την ανάπτυξη της ψηφιακής τηλεόρασηςκαι του προτύπου DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite) γίνεται η αντικατάσταση του προηγούμενου αναλογικού προτύπου.
- ❖ Διαδραστική τηλεόραση: Πρόκειται για εξέλιξη της αρχικά μονόδρομης ευρυεκπομπής κάνοντας χρήση ζεύξης επιστροφής του σήματος από τον τελικό χρήστη προς το κέντρο ευρυεκπομπής διαμέσου δορυφόρου.

- ➢ Ευρυζωνικές υπηρεσίες πολυμέσων: Αυτές οι υπηρεσίες είναι υπεύθυνες για τον συνδυασμό διαφόρων μεσών, όπως είναι ο ήχος και το βίντεο, μέσω της δικτύωσης περιοχών που βρίσκονται στο εύρος εκπομπής σήματος ενός δορυφόρου. Αυτό γίνεται για να έχουν οι τελικοί χρήστες που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχέςδυνατότητες επικοινωνίας.
- ➢ Κινητές επικοινωνίες: Παρά το γεγονός ότι σε παγκόσμιο επίπεδο χρησιμοποιούνται κυψελωτά συστήματα επικοινωνιών, υπάρχουν περιοχές που δεν λαμβάνουν κάλυψη από τις περιοχές που βρίσκονται στην ζώνη κάλυψης των παρόχων κυψελωτής υπηρεσίας. Έτσι λοιπόν, αυτές οι περιοχές χρησιμοποιούνται για κινητές δορυφορικές επικοινωνίες, όπως είναι η κινητή τηλεφωνία για δεδομένα και για φωνή (υπηρεσίες VoIP μέσω δορυφόρων της εταιρίας Inmarsat και άλλων).

1.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών

Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι σημαντική προσθήκη στον τομέα των επικοινωνιών και παρέχουν πληθώρα υπηρεσιών σε παγκόσμιο επίπεδο. Όλες αυτές οι υπηρεσίες που βασίζονται στις δορυφορικές επικοινωνίες όμως, έχουν και αρκετά μειονεκτήματα, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω, όπως και τα πλεονεκτήματα τους.

1.7.1 Πλεονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών

Τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών έχουν αρκετά πλεονεκτήματα που τα καθιστούν χρήσιμα σε διάφορες εφαρμογές. Παρακάτω θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα, ως εξής:

- Το κόστος των δορυφορικών κυκλωμάτων δεν μεταβάλλεται παρά τις μεταβολές που ενδέχεται να υπάρξουν στην απόσταση που πρόκειται να διανύσει ο δορυφόρος για να καλύψει τις περιοχές της Γης που ενδέχεται να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του. Έτσι λοιπόν μπορεί να βρεθεί η τιμή ισορροπίας ανάμεσα στην απόσταση που καλείται να καλύψει ο δορυφόρος σε σχέση με τα επίγεια συστήματα επικοινωνίας.
- Οι δορυφόροι μπορούν να παρακάμπτουν τα επίγεια δίκτυα και να στέλνουν το σήμα τους στις συσκευές που απαιτείται, χωρίς την διαμεσολάβηση επίγειων δικτύων.
- Τα δορυφορικά κυκλώματα παρέχουν την δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης νέων δορυφορικών συστημάτωνστο διάστημα, όπως επίσης και την εύκολη αναδιάταξη τους στο χώρο και τον συντονισμό τους στην κατάλληλη τροχιά.
- Τα δορυφορικά συστήματα είναι το μοναδικό μέσο επικοινωνίας για διάφορες περιοχές που είναι δυσπρόσιτες για την επικοινωνία μέσω επίγειων δικτύων, καθώς και σε πλοία και αεροπλάνα.
- Υπάρχει παγκόσμια παροχή κάλυψης για εκπομπές σημάτων με χρήση ευρείας ζώνης συχνοτήτων.
- Οι δορυφόροι λειτουργούν συμπληρωματικά στα επίγεια συστήματα επικοινωνιών καθώς έχουν την δυνατότητα παροχής κινητών υπηρεσιών σε μέρη που είναι αδύνατη η επαφή με τα επίγεια, για παράδειγμα στα αεροπλάνα και τα πλοία.
- Ένα τεράστιο πλεονέκτημα που παρέχουν οι δορυφόροι προς τα επίγεια συστήματα είναι η δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ των επίγειων συστημάτων μέσω δορυφόρων, χωρίς την απαίτηση συμβατής τεχνολογίας και τύπου δικτύου μεταξύ των επίγειων συστημάτων.
- Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων είναι η ορθή λειτουργικότητα τους υπό επίγειες καταστροφές, είτε φυσικές όπως είναι οι σεισμοί και οι πλημμύρες είτε ανθρώπινες, όπως είναι οι πόλεμοι.

1.7.2 Μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών

Παρά τα όσα πλεονεκτήματα έχει η χρήση δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχει πληθώρα μειονεκτημάτων στην χρήση τους με αποτέλεσμα να μπαίνουν φραγμοί στην χρήση τους για άλλες εφαρμογές που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν. Παρακάτω αναλύονται τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν στην χρήση τους:

- Λόγω της τεράστιας απόστασης και του μέσου διάδοσης των ραδιοσημάτων η δύναμη του σήματος εξασθενεί από το δορυφόρο μέχρι την στιγμή που θα φτάσει τον επίγειο σταθμό με αποτέλεσμα να μην έχει την δυνατότητα να φτάσει στην μέγιστη δυνατή συχνότητα του.
- Λόγω της μεγάλης απόστασης υπάρχει καθυστέρηση του μεταδιδόμενου σήματος και ειδικότερα στους γεωστατικούς δορυφόρους βρίσκεται στα 240ms.
- Καθώς ο αέρας αποτελεί το κύριο μέσο διάδοσης για τα ραδιοσήματα είναι ευκολότερο να παραβιαστούν τα δεδομένα που μεταφέρονται και αυτό εγείρει την ανάγκη για αύξηση της ανθεκτικότητας της ασφάλειας των δορυφορικών επικοινωνιών. Δηλαδή απαιτείται καλύτερη κρυπτογράφηση των δεδομένων που ανταλλάζονται από τους δορυφορικούς και τους επίγειους σταθμούς.
- Το κόστος για την κατασκευή και την εκτόξευση είναι αρκετά μεγάλο, ειδικότερα εφόσον η διάρκεια ζωής ενός δορυφόρου είναι περιορισμένη σε περίπου 15 έτη. Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα αποτυχίας σε κάθε εκτόξευση, όπως επίσης και οι φθορές που μπορούν ακόμα και να καταστρέψουν έναν δορυφόρο, όπως είναι η συνεχή ακτινοβολία και μικρά κομμάτια κομητών που ενδέχεται να συγκρουστούν με τον δορυφόρο.
- Είναι πολύ σημαντικό πρόβλημα η συμφόρηση στο δίκτυο που δημιουργείται συχνά ειδικά στην γεωστατική τροχιά και τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται από το ευρύ κοινό σε εφαρμογές όπως είναι οι τηλεοράσεις και τα ραδιοφωνικά συστήματα.

1.8 Τροχιές των δορυφορικών συστημάτων

Ο όρος δορυφορική τροχιά αναφέρεται στην πορεία που ακολουθεί στον χώρο ο δορυφόρος και έχει ελλειπτική μορφή. Παρακάτω θα αναλυθούν οι τροχιές που χρησιμοποιούνται για τις δορυφορικές επικοινωνίες.

1.8.1 Γεωστατική τροχιά (Geostationary Earth Orbit, GEO)

Η γεωστατική τροχιά (GEO) είναικυκλική τροχιά μηδενικής κλίσης και ισημερινής τροχιάς. Σε αυτή την τροχιά οι δορυφόροι περιστρέφονται σε ύψος 35.786 χιλιομέτρων γύρο από τον άξονα της Γης, με την ίδια φορά με αυτή. Η περίοδος αυτής της τροχιάς είναι ίση με την περίοδο που έχει η Γη και για αυτό τον λόγο ο δορυφόρος φαίνεται ως στάσιμος στον ουρανό. Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε αυτή την τροχιά παρέχουν συνεχή κάλυψη ως αναμεταδότες σήματος στις περιοχές που είναι ορατοί, δηλαδή περίπου στο 42.4% της επιφάνειας της Γης. Έτσι λοιπόν, με μόλις 3 δορυφόρους γίνεται εφικτή η πλήρη δορυφορική κάλυψη της επιφάνειας της Γης.

1.8.2 Χαμηλή Γήινη Τροχιά (Low Earth Orbit, LEO)

Στην χαμηλή γήινη τροχιά οι δορυφόροι βρίσκονται σε κυκλικές τροχιές μικρού ύψους. Σε αυτή την τροχιά οι δορυφόροι βρίσκονται σε ύψος εύρους 700 έως 1000 χιλιομέτρων. Η περίοδος που χρειάζεται ένας δορυφόρος σε αυτή την τροχιά για να διανύσει όλο το μήκος της τροχιάς γύρω από την Γη είναι της τάξης των 90 λεπτών. Έχει κλίση 90°, έτσι έχουν την δυνατότητα οι δορυφόροι σε αυτή την τροχιά να περάσουν κάθε περιοχή της Γης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται για δορυφόρους παρατήρησης. Επίσης, έχουν προταθεί αρκετά συστήματα για την δημιουργία μιας σειράς δορυφόρων σε αυτή την τροχιά με σκοπό την παροχή παγκόσμιων επικοινωνιών σε πραγματικό χρόνο.

1.8.3 Μέση Γήινη Τροχιά (Medium Earth Orbit, MEO)

Η μέση γήινη τροχιά ονομάζεται και ενδιάμεση κυκλική τροχιά (Intermediate Circular Orbit, ICO). Οι δορυφόροι στην τροχιά αυτή βρίσκονται σε ύψος ανάμεσα στα 10.000 έως 20.000 χιλιόμετρα, έχουν κλίση 50° και χρειάζονται 6 ώρες για να διανύσει όλο το μήκος της τροχιάς ένας επικοινωνιακός δορυφόρος. Με την χρήση 10 έως 15 δορυφορικών συστημάτων, είναι δυνατή η παγκόσμια κάλυψη για παροχή επικοινωνιακών υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο.

1.8.4 Υψηλή Ελλειπτική Τροχιά (High Elliptical Orbit, HEO)

Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε αυτή την τροχιά έχουν κλίση 63.44° ως προς το επίπεδο του Ισημερινού. Καθώς η τροχιά αυτή δεν δέχεται μεταβολές από τις διακυμάνσεις του βαρυτικού δυναμικού της Γης και επειδή έχει την κλίση 63.44° δίνει την δυνατότητα στους δορυφόρους που την διανύουν να καλύπτουν ευρύ γεωγραφικό πλάτος για μεγάλη διάρκεια. Αυτό γίνεται εφικτό επειδή οι συγκεκριμένες περιοχές βρίσκονται υπό το απόγειο όπου κινείται ο δορυφόρος και παραμένουν υπό την επιρροή αυτού για ολόκληρη την περίοδο που διανύει την απόσταση τους ο δορυφόρος. Το περίγειο που βρίσκονται είναι στα 500 μετρα και το απόγειο

φτάνει τα 48.000 χιλιόμετρα. Η περίοδος αυτή έχει διάρκεια που κυμαίνεται μεταξύ 8 έως 12 ωρών.

1.8.5 Πλεονεκτήματα της γεωστατικής τροχιάς (GEO)

Παρακάτω θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα της γεωστατικής τροχιάς:

- Η γεωστατική τροχιά αποτελεί ένα απλό διαστημικό σύστημα με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η τοποθέτηση δορυφόρων.
- Λόγω της δομής της τροχιάς είναι δυνατή η κάλυψη μεγάλων περιοχών και με χρήση 3 έως 4 δορυφόρων υπάρχει δυνατότητα παγκόσμιας κάλυψης
- Εφόσον είναι η πιο κοντινή τροχιά με την Γη οι χρήστες μπορούν να επικοινωνούν μέσω του ίδιου του δορυφόρου χωρίς να απαιτείται μεταβίβαση του σήματος μεταξύ των δορυφόρων.
- Δεν υπάρχει απαίτηση να ανιχνεύονται και να εντοπίζονται οι δορυφόροι από τα επίγεια επικοινωνιακά συστήματα.
- Η καθυστέρηση διάδοσης παραμένει αμετάβλητη, όπως και η γωνία ανύψωσης.
- Τα φαινόμενα Doppler έχουν μικρή επίδραση και έτσι δεν δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην επιρροή τους.

1.8.6 Μειονεκτήματα της γεωστατικής τροχιάς (GEO)

Παρακάτω θα αναφερθούν τα μειονεκτήματα της γεωστατικής τροχιάς:

- Παρόλο που η γεωστατική τροχιά είναι η κοντινότερη στην Γη, δεν παύει να είναι τεράστια η μεταξύ τους απόσταση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζεται τόσο η ισχύς του σήματος που εκπέμπει, όσο και το μέγεθος που απαιτείται να έχουν οι κεραίες του δορυφόρου. Εφόσον απαιτούνται μεγαλύτερες κεραίες αυξάνεται το κόστος για την κατασκευή του καθώς και ο χρόνος που απαιτείται.
- Λόγω της τεράστιας απόστασης που υπάρχει ανάμεσα στους δορυφόρους που βρίσκονται σε αυτή την τροχιά και τους τελικούς χρήστες, υπάρχει καθυστέρηση διάδοσης, η οποία φτάνει τα 700msec, για ταυτόχρονη επικοινωνία.
- Οι γωνίες ανύψωσης είναι 10°, σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους και σε περιοχές στις οποίες υπάρχουν πολλά βουνά, με αποτέλεσμα να προκαλείται σημαντικό πρόβλημα στις κινητές επικοινωνίες.

1.8.7 Πλεονεκτήματα της χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO)

Παρακάτω θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα της χαμηλής γήινης τροχιάς:

- Οι δορυφόροι βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο σε αυτή την τροχιά έτσι λοιπόν μπορούν να χρησιμοποιηθούν δορυφόροι μικρότερου μεγέθους και χαμηλότερου κόστους, καθώς η ισχύς που απαιτείται για την ζεύξη είναι σημαντικά μειωμένη.
- Η σημαντική διαφορά μεγέθους των δορυφόρων σε αυτή την τροχιά συγκριτικά με τις υπόλοιπες, καθώς και η απόσταση της τροχιάς από την Γη συμβάλλουν στην μείωση του κόστους και του ρίσκου της εκτόξευσης αυτών των δορυφόρων.
- Λόγω της μικρής απόστασης από την Γη, οι καθυστερήσεις διάδοσης του σήματος σε αυτή την τροχιά είναι 10 έως 20msec, με αποτέλεσμα να είναι εφικτές πολλαπλές μεταδόσεις σήματος μεταξύ των δορυφόρων.

1.8.8 Μειονεκτήματα της χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO)

Παρακάτω θα αναλυθούν τα μειονεκτήματα της χαμηλής γήινης τροχιάς:

- Η τοποθέτηση του συστήματος εξαιτίας του πλήθους των δορυφόρων που απαιτείται για την λειτουργία του καθιστά την όλη διαδικασία χρονοβόρα και δαπανηρή.
- Για την εξασφάλιση αδιάλειπτης κάλυψης σε κάθε σημείο είναι αναγκαία η πλήρης ανάπτυξη του συστήματος.
- Οι απαιτήσεις του συστήματος ελέγχου του διαστημικού σταθμού είναι πολύπλοκες.
- Εξαιτίας της γρήγορης κίνησης των δορυφόρων στον χώρο υπάρχει συχνά η απαίτηση για μεταπομπές μεταξύ δορυφόρων και μεταξύ κυψελών. Συγκεκριμένα, απαιτείται μεταπομπή κάθε 10 λεπτά μεταξύ των δορυφόρων και κάθε 1 με 2 λεπτά μεταξύ των κυψελών.
- Τα φαινόμενα Doppler είναι ιδιαίτερα ισχυρά στην τροχιά αυτή, λόγω των γρήγορων κινήσεων των δορυφόρων.
- Η διάδοση του σήματος είναι ιδιαίτερα μεταβαλλόμενη καθώς υπάρχει συχνή μεταβολή της γωνίας ανύψωσης.
- Καθώς οι δορυφόροι κινούνται με μεγάλη ταχύτητα υπάρχει δυσκολία εστίασης στις κεραίες.

- Οι δορυφόροι σε αυτοί την τροχιά έχουν ιδιαίτερα χαμηλό προσδόκιμο ζωής, τα μόλις 5 χρόνια, συγκριτικά με άλλους δορυφόρους σε γεωστατική τροχιά που φτάνουν τα 15 χρόνια ζωής.

1.8.9 Πλεονεκτήματα της μέσης γήινης τροχιάς (MEO)

Παρακάτω θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα της μέσης γήινης τροχιάς:

- Οι δορυφόροι στην μέση γήινη τροχιά εκτοξεύονται σε χαμηλότερο υψόμετρο από τους δορυφόρους που εκτοξεύονται στην χαμηλή γήινη τροχιά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χρήση λιγότερων δορυφόρων για την παροχή κάλυψης σε όλο το εύρος της Γης.
- Οι δορυφόροι αυτοί εκτοξεύονται σε χαμηλότερο ύψος από αυτούς που χρησιμοποιούν την γεωστατική τροχιά. Έτσι λοιπόν, υπάρχει πολύ μικρότερη καθυστέρηση μετάδοσης από τον δορυφόρο προς την Γη και από την Γη στον δορυφόρο. Η καθυστέρηση μετάδοσης στην μέση γήινη τροχιά είναι 40ms, ενώ στην γεωστατική τροχιά είναι 120ms.
- Το σύστημα δορυφόρων σε αυτή την τροχιά κοστίζει λιγότερο συγκριτικά με τα συστήματα σε γεωστατική τροχιά.
- Οι δορυφόροι σε αυτή την τροχιά έχουν ισχυρότερη δύναμη μετάδοσης σε σύγκριση με τους δορυφόρους της γεωστατικής και της χαμηλής γήινης τροχιάς.

1.8.10 Μειονεκτήματα της μέσης γήινης τροχιάς (MEO)

Παρακάτω θα αναλυθούν τα μειονεκτήματα της χαμηλής γήινης τροχιάς:

- Τα σήματα σε αυτή την τροχιά χάνουν την ισχύ τους όταν φτάνουν στη Γη συγκριτικά με αυτά που έρχονται από την χαμηλή γήινη τροχιά. Αυτό συμβαίνει επειδή οι δορυφόροι στην μέση γήινη τροχιά βρίσκονται σε υψόμετρο μεγαλύτερο συγκριτικά με αυτούς που βρίσκονται στην χαμηλή γήινη τροχιά. Έτσι απαιτούν περισσότερη ισχύ μετάδοσης για να διανύσουν την μεγάλη απόσταση μεταξύ δορυφόρου και Γης.
- Είναι ορατοί για 2 έως 8 ώρες από την Γη, έτσι πρέπει να εντοπίζονται και να παρακολουθούνται από την Γη, λόγω της περιστροφής τους.
- Κοστίζουν περισσότερο σε σύγκριση με δορυφόρους σε κοντινότερες τροχιές.
- Επειδή το σήμα που φτάνει είναι χαμηλής ισχύος απαιτείται χρήση πολλαπλών δορυφόρων για να καλύψουν την περιοχή που καλούνται να καλύψουν.

1.8.11 Πλεονεκτήματα των υψηλά ελλειπτικών τροχιών (HEO)

Παρακάτω θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα των υψηλά ελλειπτικών τροχιών:

- Οι τροχιές αυτές έχουν γωνίες ανύψωσης της τάξης των 55° έως 60° λόγω της τροχιακής θέσης που βρίσκεται το απόγειο τους.
- Προσφέρει υπηρεσίες σε περιοχές της Γης που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο, σε αντίθεση με τους δορυφόρους γεωστατικής τροχιάς.
- Οι δορυφόροι σε αυτή τη τροχιά δέχονται λιγότερη έκθεση σε ατμοσφαιρική αντίσταση από τους δορυφόρους της μέσης και χαμηλής γήινης τροχιάς.

1.8.12 Μειονεκτήματα των υψηλά ελλειπτικών τροχιών (HEO)

Παρακάτω θα αναλυθούν τα μειονεκτήματα των υψηλά ελλειπτικών τροχιών:

- Το υψόμετρο που βρίσκονται οι δορυφόροι σε αυτές τις τροχιές έχει ως αποτέλεσμα προβλήματα κατά τις ζεύξεις.
- Οι κεραίες απαιτούν μεγάλο μέγεθος κεραιών. Ειδικότερα, για την L ζώνη συχνοτήτων έχουν μέγεθος 6 μέτρων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος και το βάρος τους.
- Λόγω της απόστασης των δορυφόρων και των επίγειων δορυφορικών συστημάτων, υπάρχει μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης του σήματος.
- Καθώς οι δορυφόροι κινούνται με μεγάλη ταχύτητα σε αυτές τις τροχιές τα φαινόμενα Doppler είναι ισχυρότερα.
- Οι ζώνες σε αυτές τις τροχιές έχουν υψηλή ακτινοβολία με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής οι δορυφόροι σε αυτές τις τροχιές
- Υπάρχει δυσκολία εστίασης των κεραιών, επειδή γίνονται συχνές μεταβολές του υψομέτρου κατά το διάστημα κάθε περιόδου.

2.Δομή δορυφορικών συστημάτων τηλεπικοινωνιών

Η βασική δομή ενός δορυφορικού συστήματος αποτελείται από το εξωτερικό και το εσωτερικό μέρος.

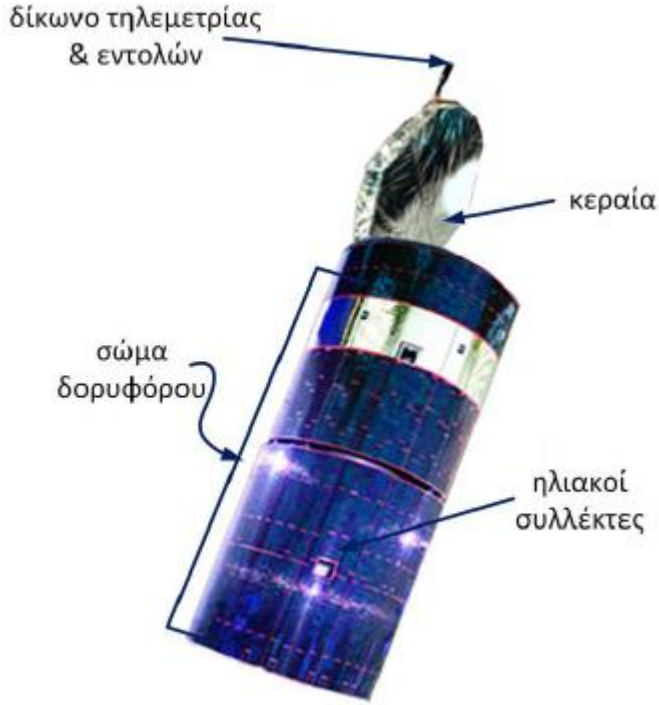
2.1 Δομή του εξωτερικού μέρος των δορυφόρων

Το εξωτερικό σχήμα ενός δορυφόρου εξαρτάται από το σύστημα σταθεροποίησης που χρησιμοποιείται για να παραμείνει στην κατάλληλη τροχιά ο δορυφόρος. Εάν πρόκειται για δορυφόρο με σύστημα σταθεροποίησης με τρεις άξονες τότε έχει ορθογώνιο σχήμα. Σε αυτό το σύστημα σταθεροποίησης οι ηλιακοί συλλέκτες προεξέχουν προς αντίθετες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα να του προσδίδουν το ορθογώνιο σχήμα του.

Εικόνα 14.Εξωτερική μορφή ορθογωνίου δορυφόρου.

Πηγή: Ανακτήθηκε απόΒουγιούκας, Δ., 2015. 4 ‰ Œ • ” ‰ Œ • ƒ y Ž .χηλεκτρ‰βιβλ.] Αριθμός σελίδας: 139. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: http://hdl.handle.net/11419/2712

Υπάρχουν όμως και οι δορυφόροι κυλινδρικού σχήματος, με το σώμα του δορυφόρου να βρίσκεται περιβαλλόμενο από τους ηλιακούς συλλέκτες με την κεραία να συνδέεται με τον υπόλοιπο δορυφόρο με μια περιστρεφόμενη συσκευή για να μένει σταθερή η κατεύθυνση της.



Εικόνα 15.Εξωτερική μορφή κυλινδρικού δορυφόρου.

Πηγή: Ανακτήθηκε απόΒουγιούκας, Δ., 2015. 4 ‰ Œ • ” ‰ Œ • ƒ y Ž .χηλεπτ‰βλ. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: http://hdl.handle.net/11419/2712

2.1.1 Δορυφορικές κεραίες

Οι κεραίες βρίσκονται στο εξωτερικό μέρος του δορυφόρου και εξυπηρετούν δύο σκοπούς. Αρχικά, χρησιμοποιούνται για την λήψη και την αποστολή των τηλεπικοινωνιακών σημάτων από και προς τους επίγειους σταθμούς και συσκευές των τελικών χρηστών, σύμφωνα με την τροχιά στην οποία βρίσκονται. Ο δορυφόρος επίσης παρέχει υπηρεσίες ελέγχου και εντοπισμού. Για να εκτελεσθούν οι λειτουργίες αυτές οι δορυφόροι χρησιμοποιούν εύρη συχνοτήτων τα οποία χωρίζονται στις ζώνες C, Ku και Ka. Οι δορυφόροι που μεταδίδουν στην ζώνη συχνοτήτων C κάνουν χρήση των συχνοτήτων μεταξύ 4 έως 8 GHz. Στη ζώνη Ku, οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι μεταξύ των 11 έως 17 GHz. Στη ζώνη Ka οι συχνότητες που κάνουν χρήση οι δορυφόροι είναι της τάξης των 20 έως 30 GHz. Για την μετάδοση του σήματος είναι σημαντικό να είναι ελάχιστο το μήκος των κεραιών και μέγιστο το μεταδιδόμενο σήμα προς την Γη, όπως και η λήψη του σήματος από την Γη. Η κάλυψη των δορυφορικών κεραιών χωρίζεται σε δέσμες, οι οποίες είναι οι εξής:

- Παγκόσμιες δέσμες (Global Beams). Οι δέσμες αυτές κάνουν χρήση κεραιών μικρού μεγέθους. Δεν κάνουν χρήση συστήματος επεξεργασίας στο δορυφόρο
- Δέσμες Ζωνών (Zone Beams). Παρέχουν υπηρεσίες σε περιοχές μικρότερου μήκους από τις παγκόσμιες, συνήθως σε περιοχές που υπάρχει αδυναμία κάλυψης από τις παγκόσμιες δέσμες. Δεν
- Δέσμες Σημείων (Spot Beams). Χρησιμοποιούν απλές κεραίες μεγάλου μήκους με μικρή κάλυψη, συνήθως με λίγους επίγειους σταθμούς για ειδικότερους σκοπούς.
- Πολλαπλές Δέσμες Σημείων (Multispot Beams). Κάνουν χρήση μεγάλων πολύπλοκων κεραιών με χρήση συστήματος επεξεργασίας στο δορυφόρο για επικοινωνία με παραπάνω του ενός επίγειων σταθμών.

2.1.2 Ηλιακοί συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι η κύρια πηγή ενέργειας για τους δορυφόρους. Αποτελούνται από ηλιακές κυψέλες κατασκευασμένες από πυρίτιο και έχουν ως στόχο την συλλογή ηλιακής ενέργειας. Το εξωτερικό μέρος του δορυφόρου επίσης χρησιμοποιεί ειδικά θερμομονωτικά υλικά για να συντηρούν την κατάλληλη θερμοκρασία για να αποφευχθεί καταστροφή του εσωτερικού μέρους του δορυφόρου, δηλαδή τα εξαρτήματα και τα κυκλώματα που είναι πιο ευαίσθητα σε αστάθειες της θερμοκρασίας, για να διασφαλίζεται η αδιάλειπτη λειτουργία του δορυφόρου. Αυτές οι επιστρώσεις θερμομονωτικών υλικών βοηθούν στην απομόνωση της εξωτερικής θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να επιμηκύνουν την ζωή του δορυφόρου.

2.2 Δομή του εσωτερικού μέρους των δορυφόρων

Στο εσωτερικό μέρος του δορυφόρου υπάρχουν τα εξαρτήματα που χωρίζονται σε 3 επίπεδα. Παρακάτω θα αναλυθούν από το χαμηλότερο προς το υψηλότερο επίπεδο.

2.2.1 Το χαμηλότερο επίπεδο

Στο πρώτο και χαμηλότερο επίπεδο του δορυφόρου υπάρχει το ωφέλιμο φορτίο. Σε αυτό περιλαμβάνεται ο αναμεταδότης σήματος, που μετατρέπει την συχνότητα του φέροντος σήματος από την συχνότητα της άνω ζεύξης σε αυτή της κάτω ζεύξης και το εκπέμπει στην απαιτούμενη συχνότητα για την λήψη του από τους επίγειους σταθμούς και τελικούς χρήστες. Επίσης, ο αναμεταδότης είναι υπεύθυνος για την ενίσχυση του φέροντος σήματος Στο ωφέλιμο φορτίο βρίσκονται και κεραίες που είναι υπεύθυνες για την ορθή επικοινωνία μεταξύ του δορυφόρου και των επίγειων σταθμών. Σε αυτό το επίπεδο υπάρχουν οι αισθητήρες

εικόνων και ψηφιακές κάμερες που έχουν σκοπό την λήψη στιγμιότυπών της Γης και αποστέλλονται στους επίγειους σταθμούς έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία τους.

2.2.2 Το μεσαίο επίπεδο

Στο μεσαίο επίπεδο που είναι δεύτερο ιεραρχικά, ανήκουν οι συσκευές τηλεμετρίας, ιχνηλάτησης και εντολών (Telemetry, Tracking & Command, TT&C). Το υποσύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για την διατήρηση της ορθής λειτουργίας του δορυφόρου. Συγκεκριμένα, είναι υπεύθυνο για την διαχείριση της τροχιάς του δορυφόρου, τον προσανατολισμό που είναι στραμμένος και την ανάλυση της κατάστασης των υπόλοιπων υποσυστημάτων. Στο επίγειο τμήμα υπάρχει ένας δείκτης τηλεμετρίας, ένα υποσύστημα ιχνηλάτησης, ένας πομπός εντολών και μονάδες επεξεργασίας και ανάλυσης. Το επίγειο τμήμα αποστέλλει εντολές ελέγχου στον δορυφόρο για να μπορεί να διασφαλίζει την ακρίβεια της θέσης του δορυφόρου στην τροχιά και την αλλαγή της κατάστασης του όταν απαιτείται. Έπειτα, ο δορυφόρος μέσω του υποσυστήματος τηλεμετρίας, ιχνηλάτησης και εντολών αποστέλλει τις πληροφορίες σχετικά με την νέα θέση και κατάσταση του στον επίγειο σταθμό για να επαληθευτεί η λειτουργία των εντολών που αποστάλθηκαν. Σε αυτό το επίπεδο βρίσκεται και ο δορυφορικός δίαυλος που υποστηρίζει τις πιο πολύπλοκες διεργασίες. Τέτοιες διεργασίες είναι η μεταγωγή σήματος στην συχνότητα είτε στον χώρο είτε στον χρόνο, είτε σε έναν συνδυασμό αυτών. Άλλη διεργασία που εκτελεί αποτελεί η ανάκτηση της ψηφιακής πληροφορίας στον δορυφόρο και η επεξεργασία βασικής ζώνης (Baseband Processing).

2.2.3 Το ανώτατο επίπεδο

Στο ανώτατο επίπεδο βρίσκονται συσκευές που ελέγχουν την θέση του δορυφόρου στην τροχιά και τον κινούν προς την απαραίτητη θέση μέσω τροχών αντίδρασης. Επίσης, υπάρχουν ανιχνευτές αστερισμών που μέσω τηλεσκοπίων εντοπίζουν άλλους δορυφόρους και αστερισμούς στο διάστημα, με σκοπό την πληροφόρηση των επίγειων σταθμών για να αποτρέψουν συγκρούσεις και να τους βοηθήσουν να προηγηθούν σωστά στον χώρο του διαστήματος. Τέλος, υπάρχουν οι μπαταρίες που χρησιμεύουν για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την ηλιοφάνεια και θέτονται σε λειτουργία όταν οι ηλιακές κυψέλες δεν δέχονται ηλιακή ροή, όπως είναι οι περίοδοι έκλειψης.

2.2.4 Δορυφορικές κεραίες

Οι δορυφορικές κεραίες χωρίζονται στις εξής 4 κατηγορίες:

- Μονόπολα και δίπολα

  Τα δίπολα έχουν ημισφαιρική μορφή διαγράμματος και ακτινοβολούν πεδίο πολωμένο με φορά προς την διεύθυνση του δίπολου.

- Χοανοκεραίες και ελικοειδείς κεραίες

  Μικρού μήκους κεραίες με υψηλή κατευθυντικότητα.

- Στοιχειοκεραίες

  Έχουν δυνατότητα ηλεκτρονικού ελέγχου του διαγράμματος ακτινοβολίας, η οποία με κατάλληλη εκλογή φάσης στην μετάδοση στοιχείων αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα σε πληθώρα εφαρμογών.

- Παραβολικά κάτοπτρα

  Είναι η πιο διαδεδομένη κεραία στις δορυφορικές ζεύξεις. Χρησιμοποιείται επειδή αποφέρει υψηλά κέρδη και έχει μικρής στάθμης πλευρικούς λομβούς.

2.3 Το σύστημα τηλεμετρίας, ιχνηλάτησης και εντολών (Telemetry, Tracking and Command, TT&C)

Το σύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για την ορθή λειτουργία του δορυφόρου. Παρακάτω θα αναλυθούν οι τρεις έννοιες που εμπεριέχονται σε αυτό.

2.3.1 Το σύστημα τηλεμετρίας

Το σύστημα τηλεμετρίας είναι υπεύθυνο για την μετάδοση της κατάστασης του δορυφόρου προς το επίγειο μέρος του υποσυστήματος τηλεμετρίας, ιχνηλάτησης και εντολών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενσωματωμένων αισθητήρων στον δορυφόρο που λαμβάνουν πληροφορίες από τα κατάλληλα υποσυστήματα, για παράδειγμα την πίεση στις δεξαμενές καυσίμων και την θερμοκρασία. Το επίγειο τμήμα λαμβάνει αυτές τις πληροφορίες, με την μορφή είτε ψηφιακών δεδομένων είτε ως αναλογικά που αργότερα ψηφιοποιούνται. Επίσης, ο ρυθμός με τον οποίο μεταδίδονται τα δεδομένα γίνεται με διαμόρφωση αυτών ως φέρον κύμα είτε κατά συχνότητα είτε κατά φάση. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι χαμηλός όπως συμβαίνει με την μετάδοση των εντολών, με αποτέλεσμα ο ρυθμός δειγματοληψίας να διαφοροποιείται ανά σήμα.

2.3.2 Το σύστημα ιχνηλάτησης

Ο δορυφόρος γίνεται ανιχνεύσιμος μέσω σημάτων που εκπέμπει ο δορυφόρος και λαμβάνει το επίγειο τμήμα του υποσυστήματος τηλεμετρίας, ιχνηλάτησης και εντολών. Η διαδικασία της ιχνηλάτησης είναι ζωτικής σημασίας κατά την εκτόξευση του δορυφόρου λόγω των διαφόρων διαταραχών που προκαλούν μετατόπιση της τροχιακής του φάσης. Έτσι λοιπόν,

το επίγειο τμήμα πρέπει να παρακολουθεί και να διορθώνει έγκαιρα την κίνηση του δορυφόρου με την χρήση των κατάλληλων εντολών. Είναι εξίσου σημαντικός ο υπολογισμός του ύψους που βρίσκεται ο δορυφόρος καθώς και η απόσταση την οποία απέχει από την Γη. Αυτά υπολογίζονται μέσω των καθυστερήσεων μετάδοσης του σήματος που λαμβάνει το επίγειο τμήμα από τον δορυφόρο.

2.3.3 Το σύστημα εντολών

Οι εντολές που λαμβάνουν δορυφόρο είναι ρυθμίσεις και διορθώσεις παραμέτρων του δορυφόρου όπως ο προσανατολισμός και η θέση του στην τροχιά. Οι εντολές που λαμβάνει ο δορυφόρος από το επίγειο σύστημα είναι εντολές που διορθώνουν και ελέγχουν τα στατιστικά που αποστέλλονται από το υποσύστημα τηλεμετρίας για έλεγχο και διόρθωση όταν απαιτείται. Άλλες εντολές που αποστέλλει ο δορυφόρος αφορούν την λειτουργία του αναμεταδότη σήματος, την θέση της κεραίας και την τάση των μπαταριών. Το σύστημα εντολών όμως, καθώς μεταδίδει τις εντολές μέσω φερόντων σημάτων μέσω συχνότητας ή φάσης πρέπει να διασφαλίζει την ασφάλεια από εξωτερικές απειλές. Τέτοιες απειλές αποτελούν η πρόσβαση από μη εξουσιοδοτημένο προσωπικό και ανταγωνιστές. Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα οι εντολές κρυπτογραφούνται. Όμως υπάρχει ο κίνδυνος παρεμβολής σημάτων μεταξύ των συστημάτων που τα μεταδίδουν χωρίς να έχουν σκοπό να εισβάλλουν στο σύστημα του δορυφόρου. Αυτό αντιμετωπίζεται με χρήση ραδιοζεύξης εξάπλωσης φάσματος, μέσω της οποίας γίνεται δυνατή η πολλαπλή πρόσβαση μέσω της ίδιας ζώνης συχνοτήτων χωρίς επιπλοκές μεταξύ των μεταδιδόμενων σημάτων. Εκτός των εξωτερικών παραγόντων όμως υπάρχουν και εσωτερικοί παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα προέρχονται από το σύστημα του δορυφόρου ή της ζεύξης με το επίγειο σύστημα. Μέσω της μεθόδου της επανάληψης το σύστημα επιβεβαιώνει τις εντολές που λαμβάνει προτού εκτελεστούν για να αποφευχθούν λάθη που θα αποβούν μοιραία για την ζωή του δορυφόρου. Στην περίπτωση που ανιχνευθεί μια εντολή από τον δορυφόρο ως λανθάνουσα αποστέλλεται πίσω στο επίγειο τμήμα μέσω του υποσυστήματος τηλεμετρίας για να ελεγχθεί και να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις. Μετά τον επανέλεγχο και την τυχόν διόρθωση της εντολής αποστέλλεται ξανά στον δορυφόρο και εκτελείται όπως αρχικά έπρεπε.

3. Δορυφορικό διαδίκτυο

Το δορυφορικό διαδίκτυο αποτελεί την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών με υψηλές ταχύτητες. Χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου είναι αδύνατο να υπάρξει επίγεια παροχή με καλώδια, καθώς και σε κινούμενα μέσα, όπως τα πλοία και τα αεροπλάνα. Η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται μέσω του συνδυασμού δορυφορικής και επίγειας σύνδεσης. Ο πρώτος τρόπος σύνδεσης χωρίζεται σε τρεις φάσεις και αφορά την περίπτωση που ο πάροχος προσφέρει δική του δορυφορική σύνδεση, χωρίς να κατέχει τον δορυφόρο ο ίδιος ο πάροχος. Παρακάτω ακολουθούν οι φάσεις αυτές:

- Πρώτη φάση: Σε αυτή την φάση η κλήση που πραγματοποιεί ο πελάτης χρησιμοποιεί το μόντεμ για να μεταφέρει το ψηφιακό σήμα υπολογιστή των τηλεφωνικών γραμμών προς τον διακομιστή του παρόχου της σύνδεσης με ταχύτητα της τάξης των 5kb ανά δευτερόλεπτο.
- Δεύτερη φάση: Ο πάροχος μεταφέρει την κλήση αυτή μέσω ειδικά διαμορφωμένων γραμμών μεταφοράς δεδομένων οι οποίες βρίσκονται στο διακομιστή της εταιρίας που ανήκει ο δορυφόρος. Στην συνέχεια χωρίζονται τα δεδομένα αυτά σε πακέτα με την διεύθυνση IP που πραγματοποιήθηκεη κλήση και αποστέλλονται προς τον δορυφόρο όπου θα τα εκπέμψει στην περιοχή που βρίσκεται στο εύρος ζώνης του. Η ταχύτητα αυτής εξαρτάται από τις γραμμές μεταφοράς δεδομένων που χρησιμοποιεί ο πάροχος και το πλήθος των πακέτων που αποστέλλονται την στιγμή εκείνη.
- Τρίτη φάση: Στην τελευταία φάση η κεραία του δορυφόρου λαμβάνει τα σήματα που αποστέλλονται και εφόσον ξεχωρίσει αυτά που σταλθήκαν από την διεύθυνση IP του υπολογιστή του πελάτη ολοκληρώνει την σύνδεση. Η ταχύτητα αυτής μεταβάλλεται λόγω της απόστασης και συνήθως όταν αποστέλλει το σήμα είναι χαμηλότερη η ταχύτητα.

Ο δεύτερος τρόπος σύνδεσης αναφέρεται στην περίπτωση που ο πάροχος διαθέτει δικό του δορυφορικό πιάτο έχει την δυνατότητα άμεσης αποστολής προς τον δορυφόρο υπάρχουν δύο υποπεριπτώσεις ανάλογα την ύπαρξη ή την απουσία των δεδομένων στον διακομιστή του παρόχου. Στην πρώτη περίπτωση, εφόσον τα δεδομένα υπάρχουν καταχωρημένα στον διακομιστή, υπάρχει η δυνατότητα να αποσταλούν άμεσα μέσω του δορυφορικού πιάτου στον δορυφόρο χωρίς να απαιτείται επικοινωνία με την εταιρία κάτοχο του δορυφόρου. Στην δεύτερη περίπτωση που δεν υπάρχουν αποθηκευμένα τα δεδομένα του πελάτη, ο πάροχος αποστέλλει

το αίτημα του πελάτη στην εταιρία που ανήκει ο δορυφόρος και από εκεί στον δορυφόρο. Έπειτα αποστέλλεται η απάντηση από τον δορυφόρο στο μόντεμ του πελάτη και ολοκληρώνεται η επικοινωνία.

3.1 Πλεονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου

Τα πλεονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου αναλύονται παρακάτω:

- Το δορυφορικό διαδίκτυο παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο σε χρήστες που βρίσκονται σε δυσπρόσιτες περιοχές και δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν καλώδια για την σύνδεση τους με επίγειους σταθμούς. Επίσης χρησιμοποιείται για πλοία και αεροπλάνα καθώς είναι αδύνατη η χρήση καλωδίων σε κινούμενα μέσα όπως αυτά, με αποτέλεσμα να αποτελεί την μοναδική λύση για επικοινωνία.
- Υπάρχει μεγάλη αύξηση στο πλήθος των παρόχων υπηρεσιών δορυφορικού διαδικτύου το οποίο διευκολύνει την πρόσβαση στο διαδίκτυο σε όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες.
- Η αύξηση των παρόχων επιφέρει και την μεγάλη ανάπτυξη των υπηρεσιών λόγω του ανταγωνισμού που δημιουργείται με αποτέλεσμα να εξελίσσονται συνέχεια οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παροχή δορυφορικού διαδικτύου.

3.2 Μειονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου

Τα μειονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου αναλύονται παρακάτω:

- Παρά το γεγονός ότι μπορεί να συνδέσει στο διαδίκτυο απομακρυσμένες περιοχές υπάρχει αδυναμία εξυπηρέτησης σε περιοχές που είναι ιδιαίτερα δασωμένες όπως επίσης βαθιές χαράδρες και φαράγγια.
- Ανάλογα με τον πάροχο αλλά και την απόσταση του δορυφόρου από την περιοχή καθώς και την απόσταση από το δορυφορικό πιάτο με την τερματική συσκευή υπάρχει καθυστέρηση μεταφοράς του σήματος και της πληροφορίας. Αυτό διακρίνεται ιδιαίτερα σε υπηρεσίες που απαιτούν γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ χρήστη και εξυπηρετητή, όπως είναι τα διαδικτυακά βιντεοπαιχνίδια.
- Υπάρχουν όρια στο μέγεθος δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν, της τάξης των 10 έως 150 GB. Αν υπερβεί ο χρήστης το όριο αυτό τότε ενδέχεται να

υπάρξουν επιπλέον χρεώσεις ανάλογα το μέγεθος των δεδομένων ή να μειώνεται σημαντικά η ταχύτητα της μετάδοσης των δεδομένων του.

3.3 Λειτουργία του δορυφορικού διαδικτύου

Ο δορυφόρος συνήθως βρίσκεται σε γεωστατική τροχιά, όπου αποστέλλει δεδομένα προς τα δορυφορικά πιάτα των τελικών χρηστών. Από τα δορυφορικά πιάτα αποστέλλονται τα δεδομένα αυτά με υψηλές ταχύτητες προς τον δορυφορικό δρομολογητή που συνδέεται με τον υπολογιστή του χρήστη. Υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης δορυφορικού διαδικτύου και χωρίζονται σε μονόδρομη και αμφίδρομη σύνδεση. Παρακάτω θα αναλυθούν οι δύο αυτοί τρόποι.

3.4 Μονόδρομη σύνδεση

Αυτός ο τρόπος σύνδεσης χρησιμοποιείται μόνο για υπηρεσίες λήψης δεδομένων και αποτελεί έναν συνδυασμό μεταξύ επίγειας και δορυφορικής σύνδεσης. Για να επιτευχθεί απαιτείται η χρήση ενός διακομιστή μεσολάβησης (proxy server). Στην επίγεια σύνδεση ο χρήστης αιτείται δεδομένα για λήψη και ο διακομιστής της δορυφορικής σύνδεσης τοποθετεί τα πακέτα που χωρίζονται τα δεδομένα αυτά στην ροή δεδομένων όπου εκπέμπει ο δορυφόρος προς τις τερματικές συσκευές που το λαμβάνουν οι χρήστες στην Γη μέσω των δρομολογητών με τους οποίους συνδέονται. Η ταχύτητα αυτής της σύνδεσης είναι της τάξης των 1-2Mbps. Η μέθοδος multicast αποτελεί υποκατηγορία της μονόδρομης σύνδεσης. Μέσω αυτής στέλνονται τα σήματα προς όλους τους ενεργούς χρήστες εκείνη την στιγμή και αποτελούν σημαντικό πλεονέκτημα ως προς την απλή μονόδρομη σύνδεση. Μέσω της multicast σύνδεσης μπορούν πολλοί χρήστες να εξυπηρετηθούν από μία ροή δεδομένων. Αντιθέτως, στην απλή μονόδρομη κάθε χρήστης κατέχει ένα ορισμένο μέρος της χωρητικότητας του αναμεταδότη. Έτσι, η ταχύτητα μετάδοσης στις multicast συνδέσεις είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με αυτή της απλής μονόδρομης σύνδεσης.

3.5 Αμφίδρομη σύνδεση

Αποτελεί μια σύνδεση απαλλαγμένη από επίγεια καλώδια. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα από εταιρίες με παραγωγικές μονάδες σε δύσβατες περιοχές. Η συγκεκριμένη σύνδεση δεν απαιτεί την χρήση διακομιστή μεσολάβησης, διότι η σύνδεση στο επίπεδο δικτύου ανήκει στο πρωτόκολλο σημείο προς σημείο σύνδεσης (point to point connection). Σε αυτή την σύνδεση ο χρήστης αποστέλλει δεδομένα ροής τύπου DVBMPEG-2. Η εκπομπή σήματος γίνεται σε τάξη των 14.5 GHz ενώ η λήψη σε τάξη των 11.5 GHz. Η ταχύτητα αυτή διαφέρει αναλόγως τον πάροχο της σύνδεσης, όμως για λόγους εξοικονόμησης πόρων είναι ιδιαίτερα χαμηλή η

ταχύτητα της σε σύγκριση με την μονόδρομη σύνδεση. Συγκεκριμένα, η μέση ταχύτητα λήψης είναι 128 Kbps και 512 Kbps για την απλή περιήγηση στο διαδίκτυο. Το πλεονέκτημα της σε σύγκριση με την μονόδρομη σύνδεση είναι το χαμηλό κόστος και η παροχή πρόσβασης σε ιδιαίτερα απομακρυσμένες περιοχές όπου υπάρχει αδυναμία σύνδεσης με επίγεια καλώδια.

3.6 Πρωτόκολλο TCP

Το πρωτόκολλο TCP βρίσκεται στο 4ο επίπεδο του μοντέλου OSI, δηλαδή το επίπεδο μεταφοράς. Το πρωτόκολλο TCP ξεκινάει την ζεύξη μεταξύ δύο συσκευών με την χρήση της τριμερούς χειραψίας. Παρακάτω θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά που έχει το πρωτόκολλο αυτό. Το γινόμενο καθυστέρησης επί το εύρος ζώνης του είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Το γινόμενο αυτό αφορά το μέγεθος των δεδομένων που έχει πραγματοποιηθεί η αποστολή τους από τον ένα χρήστη στον άλλο δεν έχει ληφθεί η επιβεβαίωση για την αποστολή τους. Ως εκ τούτου, δεν γίνεται χρήση ολόκληρου του καναλιού αποστολής σε κάθε ζεύξη. Το πρωτόκολλο TCP χαρακτηρίζεται επίσης από μεγάλο round trip time. Αυτό σημαίνει πως ο παραλήπτης δεν βλέπει άμεσα ότι έγινε η παράδοση του πακέτου δεδομένων του με αποτέλεσμα να προκαλείται εσφαλμένα λήξη της χρονικής προθεσμίας παράδοσης. Υπάρχει το μεγάλο μειονέκτημα όσον αφορά τα λάθη μεταφοράς όπου υπάρχει η περίπτωση το TCP πρωτόκολλο να αποδώσει την απώλεια πακέτων σε εικονική συμφόρηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χαμηλώνει τον ρυθμό με τον οποίο αποστέλλονται τα πακέτα χωρίς να υπάρχει ανάγκη. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση της απόδοσης του πρωτοκόλλου TCP όσον αφορά τις δορυφορικές επικοινωνίες. Μία από αυτές είναι η χρήση επιλεκτικής επιβεβαίωσης. Σε αυτή, χρησιμοποιείται η τεχνική SACK (Selective ACKs) που επιλέγει συγκεκριμένα πακέτα επιβεβαίωσης, με σκοπό να πραγματοποιείται αναμετάδοση μόνο των πακέτων που χάθηκαν πραγματικά. Μία ακόμη τεχνική είναι η χρήση της τεχνικής T/TCP (TCP for transaction), στην οποία η σύνδεση γίνεται με πολύ μικρότερη καθυστέρηση από ότι με το απλό TCP πρωτόκολλο. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνικής της επίμονης σύνδεσης TCP, η οποία πραγματοποιεί πολλαπλά αιτήματα HTTP με μία μόνο σύνδεση TCP.

3.7 Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι ο ρυθμός δυαδικών ψηφίων που μεταδίδονται κάθε δευτερόλεπτο κατά την διάρκεια μιας ζεύξης. Υπάρχουν τρεις διακρίσεις μεταξύ των ρυθμών μετάδοσης bit.

- Ρυθμός μετάδοσης bit πληροφορίας. Συμβολίζεται ως R_b. Αντιπροσωπεύει τον ρυθμό με τον οποίο τα bits πληροφορίας δημιουργούνται από μια πηγή δεδομένων

τα οποία μεταφέρουν δεδομένα στις τερματικές συσκευές των χρηστών κατά την διάρκεια της ζεύξης.

- Ρυθμός μετάδοσης bit διαύλου. Συμβολίζεται ως R_c. Είναι υψηλότερος από τον ρυθμό μετάδοσης bit πληροφορίας, καθώς σε συνδυασμό με τα bit πληροφορίας χρησιμοποιεί επιπλέον bit για την διόρθωση σφαλμάτων και σηματοδοσία.
- Μέσος ρυθμός μετάδοσης. Συμβολίζεται ως R. Οι ζεύξεις αυτής της τιμής ενεργοποιούνται μόνο σε τυχαία χρονικά διαστήματα συνήθως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει αυξημένη μετάδοση δεδομένων με αποτέλεσμα να έχει χαμηλή τιμή σε σχέση με τους άλλους δύο ρυθμούς μετάδοσης bit. Ο υπολογισμός αυτής μπορεί να εφαρμοστεί και για τον ρυθμό μετάδοσης bit πληροφορίας άλλα και για τον ρυθμό μετάδοσης bit διαύλου.

4. Ψηφιακή διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση

Η ψηφιακή διαμόρφωση είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση των δορυφορικών σημάτων που βρίσκονται σε ψηφιακή μορφή και τα χρησιμοποιούν οι ψηφιακές συσκευές. Η πλειοψηφία των δορυφορικών σημάτων είναι ψηφιακά. Τέτοια σήματα αποτελεί η μετάδοση δεδομένων μέσω Ίντερνετ, η επικοινωνία τερματικών σε μακρινές αποστάσεις, η ψηφιακή τηλεφωνία και τα τηλεοπτικά σήματα. Τα πιο συνήθη τηλεοπτικά σήματα αποτελούν η υψηλή τηλεοπτική ανάλυση (High Definition Television, HDTV) και η δορυφορική τηλεόραση άμεσης μετάδοσης (Direct Broadcast Satellite-Television, DBS-TV). Η ψηφιακή μετάδοση επιτυγχάνεται μέσω πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiplexing, TDM) και πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access, TDMA). Επειδή όλα τα ψηφιακά σήματα λαμβάνουν την ίδια μεταχείριση, τα αναλογικά σήματα που μεταφέρονται ψηφιακά έχουν την δυνατότητα να μοιραστούν τα ίδια κανάλια με τα ψηφιακά δεδομένα που μεταδίδονται την ίδια στιγμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι εφικτή η μεταφορά τηλεφωνικού σήματος και μετάδοσης δεδομένων ταυτόχρονα στην ίδια ψηφιακή δορυφορική ζεύξη.

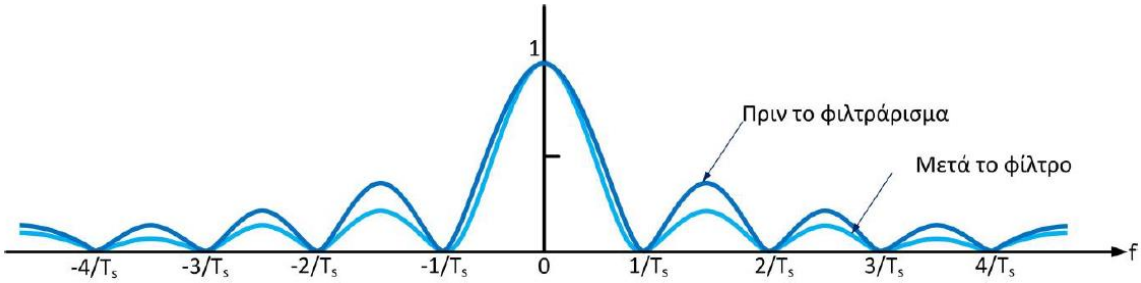
4.1 Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι ο ρυθμός δυαδικών ψηφίων που μεταδίδονται κάθε δευτερόλεπτο κατά την διάρκεια μιας ζεύξης. Υπάρχουν τρεις διακρίσεις μεταξύ των ρυθμών μετάδοσης bit.

- Ρυθμός μετάδοσης bit πληροφορίας. Συμβολίζεται ως R_b. Αντιπροσωπεύει τον ρυθμό με τον οποίο τα bits πληροφορίας δημιουργούνται από μια πηγή δεδομένων τα οποία μεταφέρουν δεδομένα στις τερματικές συσκευές των χρηστών κατά την διάρκεια της ζεύξης.
- Ρυθμός μετάδοσης bit διαύλου. Συμβολίζεται ως R_c.Είναι υψηλότερος από τον ρυθμό μετάδοσης bit πληροφορίας, καθώς σε συνδυασμό με τα bit πληροφορίας χρησιμοποιεί επιπλέον bit για την διόρθωση σφαλμάτων και σηματοδοσία.
- Μέσος ρυθμός μετάδοσης. Συμβολίζεται ως R. Οι ζεύξεις αυτής της τιμής ενεργοποιούνται μόνο σε τυχαία χρονικά διαστήματα συνήθως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει αυξημένη μετάδοση δεδομένων με αποτέλεσμα να έχει χαμηλή τιμή σε σχέση με τους άλλους δύο ρυθμούς μετάδοσης bit. Ο υπολογισμός αυτής μπορεί να εφαρμοστεί και για τον ρυθμό μετάδοσης bit πληροφορίας άλλα και για τον ρυθμό μετάδοσης bit διαύλου.

4.2 Μετάδοση πληροφορίας σε δορυφορική ζεύξη

Οι δορυφορικές ζεύξεις μεταφέρουν σήματα βασικής ζώνης εφόσον τα διαμορφώσουν με φέρουσα συχνότητα. Το σήμα που διαμορφώνεται υποβάλλεται σε ζωνοπερατό φιλτράρισμα. Μια τυχαία σειρά δυαδικών τετραγωνικών παλμών έχει πυκνότητα φάσματος ισχύος: $G(f)=T_s\left[\frac{\sin(\pi f Ts)}{(\pi f Ts)}\right]^2$, όπου, T_s, η διάρκεια του παλμού.



Εικόνα 16.Φάσμα τετραγωνικών παλμών

Πηγή: Βουγιούκας Δ. (2015). Δορυφορικές επικοινωνίες. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αριθμός σελίδας: 330. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: http://hdl.handle.net/11419/2712

Το φάσμα $\sin\pi fT_s/\pi fT_s$ απεικονίζει την ενέργεια του σήματος σε όλες τις συχνότητες. Για να διατηρηθεί ο τετραγωνικός παλμός πρέπει να υπάρχει άπειρο εύρος ζώνης. Αυτό είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί καθώς τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης. Επίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρεμβολές στις ζεύξεις με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται το μικρότερο δυνατό εύρος ζώνης από τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.Κάθε ένα σύμβολο καθορίζεται από τον ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας σε κάθε ζεύξη με τη μορφή παλμών στη βασική ζώνη, είτε με τη μορφή αλλαγών στη γωνία φάσης της φέρουσας ακτινοβολίας, για παράδειγμα στα συστήματα PSK. Η πιθανότητα λάθους του συστήματος κωδικοποίησης PSK είναι μικρότερη από κάθε άλλο σύστημα ψηφιακής κωδικοποίησης. Η πιο διαδεδομένη διαμόρφωση φάσης για μεταφορά bit ανά σύμβολο είναι η QPSK.Τα QPSK συστήματα έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι η πλέον αποδοτικότερη χρήση διαθέσιμου εύρους ζώνης ραδιοσυχνοτήτων σε σχέση με την κωδικοποίηση του συστήματος PSK. Το φάσμα του παλμού εξόδου $V_0(f)$ του δέκτη εξαρτάται από το φάσμα του παλμού εισόδου $V_i(f)$, το φίλτρο

εκπομπής $H_t(f)$, το δίαυλο $H_{ch}(f)$ και το φίλτρο του δέκτη $H_r(f)$. Δηλαδή, η σχέση που τα συνδέει είναι η εξής: $V_0(f)=V_i(f)*H_t(f)*H_{ch}(f)*H_r(f)$. Καθώς γίνεται ψηφιακή κωδικοποίηση της πληροφορίας η παραμόρφωση στο μεταδιδόμενο σήμα είναι αμελητέα, εφόσον είναι διακριτά τα δυαδικά ψηφία 0 και 1 από τον δέκτη. Για να επιτευχθεί αυτό πραγματοποιείται δειγματοληψία σε συγκεκριμένους χρόνους για να παρατηρηθεί η πολικότητα του δείγματος και ενδεχομένως της κυματομορφής που σχηματίζεται από το μεταδιδόμενο σήμα. Όμως μπορεί να υπάρξει ολίσθηση των προηγούμενων παλμών με αποτέλεσμα να παρεμβάλλουν με τον παλμό που γίνεται η δειγματοληψία και να εμφανίζονται τα τμήματα του προηγούμενου παλμού. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διασυμβολική παρεμβολή και μπορεί να προκαλέσει σφάλματα κατά την διάρκεια της λήψης πολικότητας του σήματος. Το 1940 ο Nyquist θεώρησε ότι μπορεί να ελεγχθεί το φαινόμενο αυτό με επεξεργασία των χαρακτηριστικών του φιλτραρίσματος των παλμών είτε από τον πομπό είτε από τον δέκτη. Είναι σημαντική η αναφορά της επέκτασης αυτής της θεωρίας του φιλτραρίσματος φάσματος με το μοντέλο της απόκρισης ανυψωμένου φάσματος. Προσεγγίζεται αρκετά με τον κατάλληλο σχεδιασμό. Ακολουθεί η εξίσωση που το περιγράφει.

Όπου $0<\alpha<1$ και $R_s=1/T_s$ ο ρυθμός συμβόλου σε σύμβολα ανά δευτερόλεπτο.

Ο παλμός που παράγεται στην έξοδο της ζεύξης είναι $u_{NQ}(t)$, και υπολογίζεται από αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier της εξόδου συνάρτησης ανυψωμένου συνημίτονου Nyquist. Δηλαδή, $u_{NQ}(t)=F^{-1}[V_{NQ}(t)*S(f)]$.
Εάν θεωρηθεί ως παλμός εισόδου η συνάρτηση δ(t) το φάσμα εισόδου είναι S(f)=1, έτσι γίνεται: $u_{NQ}(t)=F^{-1}[V_{NQ}(t)]$. Σύμφωνα με τον προηγούμενο ορισμό του ανυψωμένου συνημίτονου έχουμε:$u_{NQ}(t)=\left[\frac{\cos(\pi\alpha Rst)}{(1-2aRst)}\right]*\left[\frac{\sin(\pi Rst)}{(\pi Rst)}\right]$Σε περίπτωση όπου το α είναι μηδενικό, έχουμε το ελάχιστο δυνατό εύρος ζώνης μέσα στο οποίο είναι δυνατή η μετάδοση σήματος με ρυθμό συμβόλου R_s, με αποτέλεσμα μηδενική απόκλιση συχνότητας.Αυτό όμως, είναι αδύνατο πρακτικά λόγω του ότι δεν είναι εφικτή άπειρη κλίση σε μία συχνότητα. Η συνάρτηση μεταφοράς Nyquist έχει ως απαίτηση τα μέρη της ζεύξης να διαφέρουν ως προς τις συναρτήσεις μεταφοράς. Τα μέρη αυτά αποτελούν ο πομπός, η ζεύξη μετάδοσης και ο δέκτης. Η κυματομορφή του φάσματος εξόδου του δέκτη είναι: $V_r(f)=S(f)*H_t(f)*L(f)*H_r(f)$, όπου:

- S(f): Το φάσμα του σήματος στην είσοδο του πομπού.
- $H_t(f)$: Συνάρτηση μεταφοράς του πομπού
- L(f): Συνάρτηση μεταφοράς ζεύξης μετάδοσης
- $H_r(f)$: Συνάρτηση μεταφοράς δείκτη

4.3 Διαμόρφωση On-Off Keying (OOK)

Η διαμόρφωση αυτή καλείται επίσης διαμόρφωση πλάτους. Σε αυτό το τύπο διαμόρφωσης το δυαδικό σήμα είναι μονοπολικό και χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση ή μη του φέροντος σήματος. Το πλάτος έχει μία N πιθανή τιμή ενώ η συχνότητα και η φάση του σήματος που διαμορφώνεται παραμένουν σταθερά. Η γενική μορφή αυτής για n-οστό σύμβολο είναι η εξής: $s_n^{ASK}(t)=\sqrt{(\frac{2Es,n(t)}{Ts}}*\cos(2\pi f_0 t+\phi_0)$, όπου f_0 σταθερή συχνότητα και ϕ_0 σταθερή φάση.

4.4 ΔιαμόρφωσηFrequency Shift-Keying (FSK)

Σε αυτό το τύπο διαμόρφωσης το δυαδικό σήμα διαμορφώνει κατά συχνότητα το φέρον σήμα. Για να το καταφέρει αυτό χρησιμοποιεί δύο συχνότητες, γνωστές ως συχνότητες σήματος στον χώρο, μία για το δυαδικό ψηφίο 1 και μία άλλη για το δυαδικό ψηφίο 0. Η φάση και το πλάτος του σήματος το οποίο διαμορφώνεται παραμένουν σταθερά, αλλά η συχνότητά λαμβάνει μία από τις N πιθανές τιμές. Η γενική μορφή αυτής για n-οστό σύμβολο είναι η εξής: $s_n^{FSK}(t)=\sqrt{(\frac{2Es}{Ts}}*\cos(2\pi f_n t+\phi_0)$.

4.5 ΔιαμόρφωσηBinary Phase-Shift Keying (BPSK)

Η διαμόρφωση αυτή είναι γνωστή ως διαμόρφωση αναστροφής φάσης. Σε αυτό το τύπο διαμόρφωσης το δυαδικό σήμα φιλτράρεται στη βασική ζώνη προτού γίνει η διαφοροποίηση, με σκοπό την μείωση των πλευρικών ζωνών που παράγονται και μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής. Σε αυτή την διαμόρφωση το πλάτος και η συχνότητα του σήματος που διαμορφώνεται παραμένουν αμετάβλητα, όμως η φάση έχει τιμή είτε $\phi_o=\pi$ είτε $\phi_o=0$. Η γενική της μορφή είναι $s_n^{BPSK}(t) =\sqrt{(\frac{2Es}{Ts}}*\cos(2\pi f_o t+\phi_n(t))$, όπου n=0 ή n=1, η φάση δέχεται τις τιμές $\phi_n=\pi(1-n)$, δηλαδή γίνεται $\phi_0=\pi$ και $\phi_1=0$. Το αποτέλεσμα για αυτά τα bit είναι:

$s_0^{BPSK}(t)=\sqrt{\frac{2Es}{Ts}}*\cos(2\pi f_o t+\pi) = -\sqrt{\frac{2Es}{Ts}}*\cos(2\pi f_0 t)$, γιαbit0.

$s_0^{BPSK}(t)=\sqrt{\frac{2Es}{Ts}}*\cos(2\pi f_o t)$, γιαbit 1.

4.6 Διαμόρφωση Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK)

Αυτή η διαμόρφωση έχει ως σκοπό την μετατόπιση φάσης για κυματομορφές τεσσάρων συμβόλων. Μπορεί να επεκταθεί σε άνω των τεσσάρων επιπέδων όπου ονομάζεται MPSK (Multiple Phase-Shift Keying) και χρησιμοποιείται για πλήθος n μετατοπίσεων φάσης. Στη QPSK διαμόρφωση το πλάτος και η συχνότητα του σήματος που διαμορφώνεται παραμένουν

σταθερά, όμως η φάση δέχεται μία από τις 4 τιμές. Η γενική της μορφή είναι $s_n^{QPSK}(t)=\sqrt{\frac{2Es}{Ts}}*\cos(2\pi f_o t+\phi_n(t))$ όπου n=0,1,2,3 και η φάση παίρνει τιμές $\phi_n=(2n+1)\frac{\pi}{4}$, με n=0,1,2,3 και οι τιμές γίνονται $\phi_0=\frac{\pi}{4}$, $\phi_{1=}\frac{3\pi}{4}$, $\phi_{2=}\frac{5\pi}{4}$, $\phi_3=\frac{7\pi}{4}$. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της διαμόρφωσης QPSK συγκριτικά με τη BPSK είναι ότι χρειάζεται τον μισό ρυθμό bit εισερχόμενων δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται το μισό εύρος ζώνης από τη διαμόρφωση BPSK για ένα σήμα το οποίο μεταφέρει ίδια δεδομένα. Όμως υπάρχει και ένα μειονέκτημα στην χρήση της διαμόρφωσης QPSK, το οποίο είναι ότι τα κυκλώματα που βρίσκονται στον διαμορφωτή και στον αποδιαμορφωτή είναι περισσότερο πολύπλοκα, επειδή είναι δύο ισοδύναμα παράλληλα συστήματα BPSK. Επίσης, σημαντικό να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι παρότι η διαμόρφωση QPSK χρησιμοποιεί το μισό εύρος ζώνης από την BPSK είναι και οι δύο το ίδιο ευπαθείς στον θόρυβο.

4.7 Διαμόρφωση Differential Phase-Shift Keying (DPSK)

Στην διαφορική διαμόρφωση η φάση του φέροντος μεταβάλλεται μόνο σε περίπτωση που η τρέχουσα τιμή του bit είναι διαφορετική από την προηγούμενη. Οι τεχνικές αυτές είναι επίσης γνωστές ως ασύμφωνες, διότι δεν απαιτείται να είναι γνωστή η φάση του φέροντος ώστε να αποδιαμορφώσει το σήμα που λαμβάνεται. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτείται φέρον σήμα αναφοράς προς τον δέκτη για να πραγματοποιηθεί η αποδιαμόρφωση. Επίσης έχει το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτείται διάταξη ανάκτησης της συχνότητας του φέροντος απλοποιώντας έτσι την υλοποίηση του δέκτη. Όμως αυτό έχει το μειονέκτημα ότι αυξάνεται η πιθανότητα σφάλματος, κυρίως σε ριπές σφαλμάτων.

4.8 Διαμόρφωση M-ary Quadrature Amplitude Modulation(M-QAM)

Αυτό το είδος διαμόρφωσης αποτελεί πολυεπίπεδη διαμόρφωση διότι το πλάτος και η φάση του φέροντος διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελούν έναν συνδυασμό διαμορφώσεων PSK και ASK. Είναι γνωστή και ως πολυπλεξία ορθογωνικών φερόντων. Διαμορφώνεται από δύο σήματα AM-DSB-SC τα οποία προέρχονται από σήματα πληροφοριών τα οποία έχουν διαφορά φάσης 180°, όπου επιτρέπεται να βρίσκονται στο ίδιο εύρος ζώνης. Έτσι υπάρχει το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης εύρους ζώνης. Η γενική της μορφή είναι $s_n^{M\text{-}QAM}(t) =\sqrt{(\frac{2Es,n}{Ts})}*\cos(2\pi f_o t+\phi_n)$, όπου $0 \le t<T_s$ και n=0,1,…,M-1.

4.9 Διαμόρφωση Offset QPSK (OQPSK)

Αυτή η διαμόρφωση είναι επίσης γνωστή ως εναλλασσόμενη QPSK.Χρησιμοποιείται στις δορυφορικές επικοινωνίες λόγω του περιορισμού ολίσθησης της φάσης και τους πλάτους, επειδή το σήμα διέρχεται από φίλτρα ζεύξης. Οι διαμορφωμένες ακολουθίες bit μετατοπίζονται κατά $T_s/2=T_b$, δηλαδή την διάρκεια ενός bit ή το μισό της διάρκειας των συμβόλων. Από μία ροή ψηφιακών δεδομένων η οποία διαμορφώνεται σε παλμοσειρά m_k, δημιουργούνται δύο νέες,όπου η μία υπάρχει για τους παλμούς με άρτιο δείκτη και η άλλη σε παλμούς με περιττό δείκτη και διπλάσια περίοδο ίση με $2T_b$. Με αυτό τον τρόπο ο συνολικός ρυθμός είναι αμετάβλητος.Η φάση του φέροντος αλλάζει ανά περίοδο bit κατά 90°, δηλαδή βρίσκεται σε 0°, ±90° και 180°. Έτσι, καταλήγει σε μια κυματομορφή μειωμένης μεταβολής όταν το διαμορφωμένο φέρον σήμα φιλτράρεται.

4.10 Ζωνοπερατή μετάδοση ψηφιακής πληροφορίας

Η διαμόρφωση κλειδιού μετατόπισης φάσης είναι η κυρίαρχη επιλογή διαμόρφωσης για τα δορυφορικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Παρακάτω θα αναλυθεί η εξίσωση για την συνθήκη μηδενικής διασυμβολικής παρεμβολής.

$V_i(f)*H_t(f)*E_t(f)*L(f)*H_r(f)*G_{LPF}(f)=V_{NQ}(f)$, όπου:

- $V_i(f)=sinx/x$, δηλαδή το φάσμα των παλμών NRZ (Non-Return to Zero) στην είσοδο του συστήματος
- Ht(f) = Hr(f), δηλαδή η συνάρτηση μεταφοράς των φίλτρων στον πομπό και το δέκτη.
- $E_t(f)=x/sinx$, δηλαδή ο εξισορροπητής εισόδου της NRZ κυματομορφής
- L(f), είναι η συνάρτηση μεταφοράς της ζεύξης, η οποία πρέπει να είναι γραμμική
- $G_{LPF}(f)$, είναι η συνάρτηση μεταφοράς του βαθυπερατού φίλτρου

4.11 Πιθανότητα σφάλματος συμβόλου

Η πιθανότητα σφάλματος συμβόλου (Symbol Error Probability, SEP) είναι η πιθανότητα λανθασμένης αποδιαμόρφωσης συμβόλου. Ο δέκτης του σήματος πάντα λαμβάνει και θόρυβο. Αυτός ο θόρυβος ονομάζεται προσθετικός λευκός θόρυβος Gauss (AWGN, Additive White Gaussian Noise). Αυτό γίνεται ως υπόθεση για την απλοποίηση της ανάλυσης για πιθανότητα σφάλματος. Αν όμως, ο θόρυβος αυτός προέρχεται από παρεμβολή από άλλη τηλεπικοινωνιακή ζεύξη δορυφόρου τότε δεν θεωρείται έγκυρη η υπόθεση. Για να βρεθεί η πηγή του σφάλματος χρησιμοποιούνται οι τάσεις. Αν για παράδειγμα υπάρχουν τάσεις +V και -V, η έξοδος του

αποδιαμορφωτή σήματος είναι $u_o=\pm V+n_o$, όπου n_o ο θόρυβος. Αν το σήμα που στέλνεται είναι +V και $n_o< -V$, το άθροισμα σήματος και θορύβου είναι αρνητικό, με αποτέλεσμα να έχουμε σφάλμα συμβόλου. Αν το σήμα που στέλνεται είναι -V και $n_o> +V$, το άθροισμα σήματος και θορύβου είναι θετικό, με αποτέλεσμα να έχουμε σφάλμα συμβόλου. Εφόσον η κατανομή Gauss είναι τιμή κοντά στο 0 η πιθανότητα σφάλματος προκύπτει ως εξής:

$P_e=\frac{1}{2}P+\frac{1}{2}P=P=P(n_o>+V)$, η οποία υπολογίζεται από το ολοκλήρωμα θορύβου από +V έως άπειρο,

$P(n_o>+V)=\frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}}\int_{+V}^{\infty} e^{t^2/2\sigma^2}dt$, όπου σ είναι η μέση τετραγωνική ρίζα του θορύβου.

Το ολοκλήρωμα αυτό αν επιλυθεί έχει ως αποτέλεσμα $P(n_0>+V)=\frac{1}{2}\text{erfc}\left[\frac{V}{(\sigma\sqrt{2})}\right]$, όπου erfc η συνάρτηση σφάλματος. Η πιθανότητα να υπάρχει σφάλμα συμβόλου είναι: $P_e=\frac{1}{2}\text{erfc}[\sqrt{\frac{Es}{N0}}$.

4.12 Πιθανότητα σφάλματος δυαδικού ψηφίου

Η πιθανότητα σφάλματος δυαδικού ψηφίου (Bit Error Probability,BEP) αναφέρεται στην πιθανότητα εσφαλμένης αποδιαμόρφωσης δυαδικού ψηφίου. Σε περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα διαμόρφωσης αντιστοιχείται κάθε δυαδικό ψηφίο σε ένα σύμβολο, η πιθανότητα σφάλματος δυαδικού ψηφίου είναι ίση με την πιθανότητα σφάλματος συμβόλου, δηλαδή BEP=SEP. Εάν χρησιμοποιούνται N επίπεδα, ισχύει $BEP=SEP/\log_2 N$, όπου $N\geq 2$.

4.13 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων

Όταν η πληροφορία μεταδίδεται με χρήση δορυφορικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος υπάρχει το μειονέκτημα της χειροτέρευσης της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Όταν το σήμα που μεταδίδεται είναι αναλογικό η χειροτέρευση αυτή εκφράζεται ως χειροτέρευση του λόγου θορύβου του σήματος. Στην περίπτωση που μεταδίδεται ψηφιακό σήμα η χειροτέρευση της πληροφορίας εκφράζεται ως ρυθμός σφαλμάτων BER (bit error rate). Με την χρήση διαμόρφωσης PSK ανταλλάζονται το εύρος ζώνης και η ισχύς του σήματος με αποτέλεσμα χαμηλό λόγο φέρουσας προς θόρυβο. Η κύρια διαφορά μεταξύ των αναλογικών και των ψηφιακών σημάτων είναι ότι στην περίπτωση των ψηφιακών σημάτων υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας του σήματος με χρήση τεχνικών διόρθωσης σφαλμάτων. Στα αναλογικά σήματα δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα καθώς η πληροφορία τους παρεμβάλλεται από θόρυβο και είναι αδύνατο να ξεχωριστεί ηλεκτρονικά το σήμα από τον θόρυβο. Στα ψηφιακά σήματα προστίθενται επιπλέον δυαδικά ψηφία στην πληροφορία που με σκοπό την ανίχνευση των λαθών και επισημαίνοντας τα συγκεκριμένα δυαδικά ψηφία στα οποία υπάρχει το λάθος. Εφόσον γίνει η ανίχνευση του σφάλματος αυτού υπάρχει η δυνατότητα να αγνοηθεί το σφάλμα αυτό, να επισημανθεί η θέση του, να γίνει αποστολή μέρους της πληροφορίας εκ νέου ή να

εκτιμηθεί το σφάλμα αυτό και να γίνει αντικατάσταση της εσφαλμένης πληροφορίας. Όλες αυτές οι ενέργειες ανήκουν στην κατηγορία της διαχείρισης σφαλμάτων πληροφορίας. Η διαχείριση των σφαλμάτων πραγματοποιείται είτε από τους τελικούς χρήστες είτε από τους επίγειους δορυφορικούς σταθμούς. Πέρα από την κωδικοποίηση όμως της πληροφορίας γίνεται και η κρυπτογράφηση αυτής προς αποφυγή μη εξουσιοδοτημένης χρήσης της. Για να πραγματοποιηθεί κρυπτογράφηση της ψηφιακής πληροφορίας προστίθενται μία μεγάλη ακολουθία δυαδικών ψηφίων στα υπάρχοντα δυαδικά ψηφία της πληροφορίας. Έπειτα, για να γίνει η αποκρυπτογράφηση αυτής από τον δέκτη πρέπει να υπάρχει γνώση της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια της κρυπτογράφησης της πληροφορίας. Η πληροφορία αυτή βρίσκεται στο κλειδί κρυπτογράφησης που αλλάζει ανά σύντομα χρονικά διαστήματα για να διατηρείται ασφαλές. Σε κάποια συστήματα διόρθωσης λάθους χωρίς επαλήθευση (FEC, Forward Error Correction) ο αριθμός των επιπλέον δυαδικών ψηφίων είναι ίσος με αυτόν των δυαδικών ψηφίων πληροφορίας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον υποδιπλασιασμό του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας. Με την προσθήκη συστήματος διόρθωσης λάθους χωρίς επαλήθευση μισού ρυθμού όπου χρησιμοποιείται ένα δυαδικό ψηφίο πληροφορίας και ένα δυαδικό ψηφίο κωδικοποίησης στην πληροφορία, επέρχεται μείωση του ρυθμού σφάλματος στην έξοδο του δέκτη ίση με βελτίωση κατά 3db στον λόγο φέρουσας ως προς τον θόρυβο. Αυτή η βελτίωση μπορεί να γίνει δυνατή με την αύξηση της διαμέτρου της κεραίας του VSAT κατά 41%, το οποίο είναι ακριβότερο από την εισαγωγή ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος διόρθωσης λάθους χωρίς επαλήθευση. Με αυτό τον τρόπο, όλα τα δορυφορικά συστήματα έχουν χαμηλό λόγο φέρουσας προς πυκνότητα θορύβου (Carrier-To-Noise-Ratio, C/N), όπως είναι για παράδειγμα τα δίκτυα VSAT, τα δορυφορικά τηλέφωνα και οι DBS-TV τερματικές συσκευές, που χρησιμοποιούν τέτοια κυκλώματα για την βελτίωση του ρυθμού λαθών στις ζεύξεις από προς το τερματικό. Σε κάθε ψηφιακή δορυφορική τηλεπικοινωνία, αναλόγως το είδος της πληροφορίας η οποία αποστέλλεται υπάρχει δυνατότητα να μην είναι μέρος της το σύστημα διόρθωσης λάθους χωρίς επαλήθευση. Για παράδειγμα στις επικοινωνίες τύπου VoIP, σπάνια γίνεται χρήση αυτού του συστήματος. Σε περιπτώσεις ψηφιακής πληροφορίας όμως πρέπει να υπάρχουν τα κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπιση σφαλμάτων, όπως είναι η περίπτωση των οικονομικών συναλλαγών και ανταλλαγής στοιχείων σε μια βάση δεδομένων, στα οποία ο ρυθμός σφάλματος πρέπει να είναι 10^{-12}. Όταν μια ζεύξη λειτουργεί σε συχνότητες άνω των 10GHz εμφανίζουν μεγάλο ρυθμό σφαλμάτων επειδή παραμορφώνεται το σήμα από την διάδοση του. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αναγκαίο να σχεδιαστεί η ζεύξη με περιθώριο ενός συγκεκριμένου αριθμού db ώστε να μπορεί να μειωθεί ο ρυθμός σφάλματος κάτω από τα αποδεκτά όρια, δηλαδή κάτω από 10^{-6} για μικρό διάστημα ενός μήνα ή ενός έτους. Είναι πιθανό να μην υπάρξουν λάθη για αρκετά μεγάλα

χρονικά διαστήματα και να μεταδοθεί πληθώρα δυαδικών ψηφίων με απόλυτη ακρίβεια. Όμως η κωδικοποίηση συνεχίζεται αδιάλειπτη και εξασφαλίζει την δυνατότητα να αντιμετωπιστούν τα σφάλματα εγκαίρως.

5. Τεχνικές πολλαπλής προσπέλασης

Τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης είναι τέσσερα και ως σκοπό τους έχουν την εκχώρηση αποκλειστικών δορυφορικών διαύλων σε πολλαπλές τερματικές συσκευές είτε την εκχώρηση αποκλειστικών δορυφορικών διαύλων σε έναν δορυφορικό αναμεταδότη από πλήθος επίγειων σταθμών. Τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης είναι τα εξής:

- Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας FDMA (Frequency Division Multiple Access)
- Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου TDMA (Time Division Multiple Access)
- Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα CDMA (Code Division Multiple Access)
- Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χώρου SDMA (Spatial Division Multiple Access)

Μέσω των μεθόδων αυτών καθορίζεται ο τρόπος πρόσβασης σε κοινό δορυφορικό κανάλι. Για την απόκτηση πρόσβασης απαιτούνται δύο δευτερεύουσες μέθοδοι, οι οποίες υλοποιούνται σε συνδυασμό με τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης, για την παροχή πρόσβασης στον αναμεταδότη. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν την σταθερή εκχώρησηκαι την προ-εκχώρηση, στην οποία αντιστοιχεί η προ-εκχωρημένη τεχνική πολλαπλής πρόσβασης PAMA (Pre-Assigned Multiple Access). Επίσης περιλαμβάνεται η δυναμική εκχώρηση, στην οποία αντιστοιχεί η κατά αίτηση εκχώρηση τεχνική πολλαπλής πρόσβασης DAMA (Demand Assigned Multiple Access).

Όσον αφορά την περίπτωση της προ-εκχωρημένη πολλαπλή πρόσβαση, ο αναμεταδότης εκχωρείται στις τερματικές συσκευές των τελικών χρηστών, είτε για όλη την διάρκεια λειτουργίας του δορυφόρου είτε για ορισμένες περιόδους μερικών ετών. Η προ-εκχώρηση αφορά είτε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων είτε μια χρονοσχισμή είτε ως κώδικα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ζεύξη η οποία έχει προ-εκχωρημένα κανάλια, είναι δαπανηρή για τους χρήστες αλλά και καθόλου αποδοτική.

Για την περίπτωση της μεθόδου πολλαπλής πρόσβασης με κατά αίτηση εκχώρηση δίνεται σε πολλαπλούς χρήστες η δυνατότητα να μοιραστούν μία κοινή ζεύξη στην οποία απαιτείται μόνο ένα αίτημα από κάθε χρήστη προς τον σταθμό ελέγχου, όταν υπάρχει η ανάγκη σύνδεσης που θα χρησιμοποιήσει ο χρήστης. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποδοτική για τους χρήστες που απαιτείτε να πληρώσουν για να αξιοποιήσουν την χωρητικότητα του αναμεταδότη μόνο για όσο διάστημα χρησιμοποιήθηκε αντίθετα με την μέθοδο των συστημάτων προ-εκχωρημένης πολλαπλής πρόσβασης.

5.1 Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA

Στην τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας γίνεται εκχώρηση ενός μέρους του εύρους ζώνης του δορυφορικού αναμεταδότη προς κάθε φέρον σήμα το οποίο προέρχεται από επίγειο σταθμό. Ο ρυθμός μετάδοσης στον δίαυλο είναι ο καθοριστικός παράγοντας για το μέγεθος του εύρους ζώνης που εκχωρείται. Όσον αφορά την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας δίνεται η δυνατότητα σε πλήθος επίγειων σταθμών να έχουν πρόσβαση στο διαθέσιμο εύρος ζώνης που προσφέρει ο δορυφορικός αναμεταδότης, εξαιτίας των διαφόρων φερουσών συχνοτήτων, με αποτέλεσμα την αποφυγή της παρεμβολής μεταξύ των διαφόρων σημάτων. Οι συχνότητες εκχωρούνται είτε με προ-εκχώρηση είτε κατά αίτηση, το οποίο εξαρτάται από τις υπηρεσίες που αποσκοπούν να αποκτήσουν οι τελικοί χρήστες. Η προ-εκχώρηση χρησιμοποιείται όταν η ζήτηση είναι υψηλή, αντίθετα η κατά αίτηση χρησιμοποιείται όταν υπάρχει χαμηλότερη τηλεπικοινωνιακή χρήση, καθώς με την χρήση αυτού του τρόπου τα κανάλια εκχωρούνται σε μια ζεύξη μόνο όταν το αιτηθούν οι χρήστες και έχουν διάρκεια μόνο το χρονικό διάστημα της επικοινωνίας τους.Τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας έχουν ζώνες φύλαξης ανάμεσα στα κανάλια επικοινωνίας, τα οποία τους παρέχουν την δυνατότητα να αποφεύγουνε παρεμβολές μεταξύ των συχνοτήτων που διατίθενται στους χρήστες. Ο λόγος ισχύος του φέροντος σήματος προς την ισχύ του σήματος παρεμβολής αποτελεί το μέτρο διαχωρισμού των καναλιών. Είναι βασική αρχή να είναι άνω των 20db ο λόγος ισχύος του φέροντος προς την ισχύ του σήματος παρεμβολής για την αποφυγή τυχών παρεμβολών.Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το εύρος ζώνης των δορυφορικών αναμεταδοτών στο μέγιστο. Θεωρητικά, μπορεί να διατίθεται πλήθος αναμεταδοτών σε έναν δορυφόρο όπου καθένας από αυτούς να έχει ένα δικό του μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης και να εξυπηρετεί τις τηλεφωνικές υπηρεσίες στο μέγιστο. Στην πράξη όμως, κάτι τέτοιο είναι απίθανο διότι υπάρχει η ανάγκη μετάδοσης φωνής, βίντεο, δεδομένων και άλλων μορφών κίνησης. Για αυτό το λόγο οι αναμεταδότες κάνουν χρήση μεγάλου εύρους ζώνης της τάξης των 36, 54 και 72 MHz. Το μειονέκτημα της τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας υπάρχει στα δορυφορικά συστήματα τηλεπικοινωνιών όταν οι δορυφορικοί αναμεταδότες που χρησιμοποιούνται έχουν μη γραμμικά χαρακτηριστικά. Η πλειοψηφία των δορυφορικών αναμεταδοτών κάνει χρήση ενισχυτών υψηλής ισχύος με αποτέλεσμα να οδηγούνται σε κορεσμό και να προκαλείται μη γραμμική λειτουργία.

5.1.1Σταθερή εκχώρηση FDMA

Στα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας οι σχισμές συχνότητας είναι προ-εκχωρημένες στους επίγειους σταθμούς, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει

καμία ευελιξία αυτών ως προς τις συχνότητες που μπορούν να εξυπηρετούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ορισμένες σχισμές να βρίσκονται αντιμέτωπες με υπερβολική κίνηση και άλλες να δέχονται ελάχιστη έως καθόλου. Για παράδειγμα ένα δίκτυο αποτελείται από Χ δορυφορικούς σταθμούς, όπου ο καθένας από αυτούς μεταδίδει μέχρι Ψ φέροντα με ρυθμό μετάδοσης R. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν Z=Ψ*Χ φέροντα, από τα οποία το καθένα έχει μία συγκεκριμένη υποζώνη του συνολικού εύρους ζώνης του δορυφορικού αναμεταδότη. Κάθε μία από αυτές τις υποζώνες βρίσκεται σε λειτουργία όταν ο δορυφορικός σταθμός που την χρησιμοποιεί είναι ενεργός και μένει αχρησιμοποίητη όταν ο δορυφορικός σταθμός δεν δέχεται καθόλου κίνηση για να μεταδώσει. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει μετάδοση σήματος η χωρητικότητα της υποζώνης που δεν χρησιμοποιείται χάνεται. Το πλεονέκτημα που έχει η σταθερή εκχώρηση βρίσκεται στην απλή τεχνική που χρησιμοποιείται. Δεν υπάρχει φραγή του φέροντος σήματος ούτε χρόνος αναμονής για την μετάδοση του. Το μειονέκτημα αυτής ωστόσο, είναι η χωρητικότητα που απαιτείται για το δίκτυο είναι Z*R και είναι ελάχιστα χρήσιμη σε περίπτωση που η κίνηση στο δίκτυο είναι μεταβαλλόμενη. Φραγή συμβαίνει στα τερματικά χρηστών όταν ο αριθμός των αιτούμενων συνδέσεων είναι μεγαλύτερος της χωρητικότητας που διαθέτει το δίκτυο. Αυτό συμβαίνει όταν αιτούνται πολλά τερματικά ήδη συνδεδεμένα να συνδεθούν σε άλλα τερματικά του δικτύου.

5.1.2 Κατά αίτηση εκχώρηση FDMA

Στα συστήματα που χρησιμοποιούν την κατά αίτηση εκχώρηση πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας το εύρος ζώνης υποδιαιρείται σύμφωνα με το πλήθος των καναλιών και εκχωρείται ένα κανάλι στον επίγειο σταθμό σύμφωνα με το αίτημα που στέλνει προς τον σταθμό ελέγχου. Η κατά αίτηση εκχώρηση υλοποιείται με την μέθοδο της σταθμοσκόπησης, δηλαδή την διεργασία μέσω της οποίας ζητείται κυκλική και διαδοχική εκπομπή από τους σταθμούς δεδομένων, είτε με τη μέθοδο τυχαίας πρόσβασης. Κατά την μέθοδο της σταθμοσκόπησης ο κεντρικός επίγειος σταθμός συλλέγει δεδομένα από τους υπόλοιπους επίγειους σταθμούς και στην περίπτωση που υπάρχει αίτηση για σύνδεση, αναθέτει στον επίγειο σταθμό που έστειλε την αίτηση σχισμές συχνότητας για όλη την διάρκεια της επικοινωνίας του. Σε αυτή την μέθοδο υπάρχουν μεγαλύτερες καθυστερήσεις όταν ο αριθμός των επίγειων σταθμών είναι αρκετά μεγαλύτερος καθώς πρέπει σειριακά να λαμβάνει δεδομένα από αυτούς και όχι ταυτόχρονα από όλους. . Για παράδειγμα ένα δίκτυο αποτελείται από Χ δορυφορικούς σταθμούς στους οποίους μπορούν να μεταδοθούν Ψ φέροντα σήματα και μοιράζονται ένα μέρος των υποζωνών συχνοτήτων Z. Οι υποζώνες αυτές είναι δεσμευμένες για χρήση από τους δορυφορικούς σταθμούς. Όταν ο αριθμός των φερόντων είναι μεγαλύτερος από το διαθέσιμο πλήθος φερόντων το οποίο έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει το δεσμευμένο εύρος ζώνης του

δορυφορικού αναμεταδότη γίνεται φραγή στον δορυφορικό σταθμό που το χρησιμοποιεί και καθ' όλη την διάρκεια της κλήσης υπάρχει αδυναμία εξυπηρέτησης επιπλέον χρηστών, δηλαδή δεν εκχωρείται κανένα νέο φέρον σήμα.

5.2 Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης TDMA

Στην τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου εκχωρείται ολόκληρο το εύρος ζώνης του αναμεταδότη διαδοχικά σε κάθε έναν από τους επίγειους σταθμούς για περιορισμένο χρονικό διάστημα το οποίο έχει προκαθοριστεί. Αυτό το χρονικό διάστημα καλείται χρονοσχισμή .Δηλαδή, χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα μετάδοσης από τους επίγειους σταθμούς με ένα σήμα να εκπέμπεται κάθε χρονική στιγμή, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ του σήματος που αποστέλλεται με άλλα σήματα που στέλνονται την ίδια χρονική στιγμή. Ωστόσο, το γεγονός ότι υπάρχει μοναδική φέρουσα συχνότητα σημαίνει ότι δεν μπορεί να γίνει ενδοδιαμόρφωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να λειτουργεί στο μέγιστο ο ενισχυτής του αναμεταδότη και να παρέχει την μέγιστη ισχύ εξόδου στην προς τα κάτω ζεύξη. Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου χρησιμοποιείται αποκλειστικά για ψηφιακά σήματα, με αποτέλεσμα να μοιράζεται τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών τεχνικών. Όμως, το μειονέκτημα της είναι ότι τα αναλογικά σήματα πρέπει να υποστούν μετατροπή σε ψηφιακά προτού προβούν στην μετάδοση τους, με αποτέλεσμα να είναι πολύπλοκη η διασύνδεση με επίγεια αναλογικά συστήματα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου όλοι οι επίγειοι σταθμοί και οι αναμεταδότες πρέπει να είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους, για την αποφυγή χρονικών επικαλύψεων ανάμεσα στα σήματα που αποστέλλει ο κάθε σταθμός. Σε κάθε επίγειο σταθμό γίνεται περιοδική εκχώρηση χρονοσχισμών μέσω των οποίων ο κάθε σταθμός εκπέμπει πληροφορίες. Ανάμεσα στις χρονικές στιγμές καταχωρείται το χρονικό διάστημα φύλαξης που έχει ως σκοπό να μην επιτρέπεται η δημιουργία παρεμβολών μεταξύ των σημάτων των γειτονικών χρονοσχισμών.Η πρώτη χρονοσχισμή είναι η σχισμή αναφοράς, η οποία δεν περιέχει πληροφορία και συγχρονίζει το πλαίσιο που εκπέμπει ο επίγειος σταθμός αναφοράς ή ο επίγειος σταθμός ελέγχου. Η δομή ενός χρονικού πλαισίου πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου αποτελείται από δύο τμήματα. Στο πρώτο τμήμα υπάρχει η κεφαλίδα του σήματος, η οποία περιέχει τα σήματα συγχρονισμού, με αποτέλεσμα να ενεργοποιείται ο επίγειος σταθμός προορισμού και να τίθεται σε λειτουργία ο αποκωδικοποιητής. Στη κεφαλίδα του σήματος περιλαμβάνονται τα σύμβολα ανάκτησης φάσης του φέροντος σήματος, τα σύμβολα για την ανάκτηση του ψηφιακού χρονισμού και τα σύμβολα της λέξης ταυτότητας του επίγειου σταθμού εκπομπής. Στο δεύτερο τμήμα περιλαμβάνεται η προς μετάδοση πληροφορία από τον σταθμό εκπομπής που μεταδίδει το σήμα προς τους επίγειους

σταθμούς προορισμού. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι το πλάνο μετάδοσης είναι πολύ εύκολο ως προς την σχεδίαση και την τροποποίηση του. Ωστόσο, ένα τέτοιο σύστημα απαιτεί παγκόσμιο συγχρονισμό μεταξύ των επίγειων σταθμών το οποίο αυξάνει την πολυπλοκότητα των επίγειων σταθμών.

5.2.1 Σταθερή εκχώρηση TDMA

Κάθε ένας από τους δορυφορικούς σταθμούς μεταδίδει φέρον ριπής σε μία χρονοσχισμή. Το πλήθος των χρονοσχισμών είναι Χ και ισούται με το πλήθος των δορυφορικών σταθμών. Εφόσον παραμένουν σταθερές η θέση και η διάρκεια της κάθε ριπής η χωρητικότητα των δορυφορικών σταθμών παραμένει επίσης σταθερή, χωρίς επιρροή από την κίνηση που υπάρχει.Το πλεονέκτημα της σταθερής εκχώρησης πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου είναι ότι αποτελεί απλή τεχνική. Αυτό σημαίνει ότι δεν γίνεται φραγή στα φέροντα σήματα ούτε υπάρχει χρόνος αναμονής για την μετάδοση τους. Υπάρχει όμως το μειονέκτημα ότι είναι ελάχιστα εκμεταλλεύσιμο το εύρος ζώνης του αναμεταδότη που διατίθεται στο δίκτυο, στην περίπτωση συχνά μεταβαλλόμενης κίνησης.

5.2.2 Εκχώρηση κατά αίτηση TDMA

Ο κάθε δορυφορικός σταθμός που επιθυμεί την εγκατάσταση ζεύξης, έχει την δυνατότητα πρόσβασης προς οποιαδήποτε χρονοσχισμή του πλαισίου η οποία δεν είναι κατειλημμένη και στην περίπτωση που είναι ενεργό το πλαίσιο έχει την δυνατότητα να αυξήσει την χωρητικότητα του και έτσι να υποστηρίζει περισσότερες συνδέσεις.Αυτό όμως δεν αποκλείει το ενδεχόμενο φραγής της ζεύξης. Είναι πιθανό να υποστεί φραγή η ζεύξη όταν το πλαίσιο της τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου αποτελείται από ριπές φέροντος.

5.3 Τεχνική CDMA

Η τεχνική πολλαπλής διαίρεσης κώδικα αφορά το ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί ως προς την συχνότητα ή τον χρόνο. Υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς εκπομπής φερόντων καθώς και της κάλυψης του εύρους ζώνης του αναμεταδότη. Το σήμα διασποράς, το οποίο είναι γνωστό και ως σήμα τεράστιου εύρους ζώνης, πολλαπλασιάζει το στενής ζώνης σήμα πληροφορίας. Το σήμα διασποράς είναι μια ακολουθία ψευδοθορύβου που βασίζεται σε κώδικα και έχει ρυθμό πολύ μεγαλύτερο από αυτόν της μετάδοσης σήματος πληροφορίας. Στα συστήματα πολλαπλής διαίρεσης κώδικα οι χρήστες κάνουν χρήση του ίδιου φέροντος καθώς μεταδίδουν ταυτόχρονα. Το σήμα διαμορφώνεται κατάλληλα με χρήση μοναδικού κώδικα για το συγκεκριμένο. Μέσω αυτής της διαμόρφωσης γίνεται δυνατή η εξάπλωση του σήματος σε εύρος αρκετά μεγαλύτερο από ότι απαιτείται για την μετάδοση του. Η πλευρά του δέκτη χρησιμοποιεί κώδικα για

επανασυμπιέσει το εύρος ζώνης για τη λήψη των αρχικών δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι υπόλοιπες μεταδόσεις να λειτουργούν ως επιπλέον παρεμβολή στο σήμα και υπάρχει η δυνατότητα της εύκολης απομάκρυνσης τους. Η τεχνική πολλαπλής διαίρεσης κώδικα χρησιμοποιείται για εφαρμογές επικοινωνίας φωνής καθώς υποστηρίζει και την μετάδοση ψηφιοποιημένων δεδομένων. Σε σύγκριση με τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου και πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας η χωρητικότητα περιορίζεται λόγω παρεμβολών και όχι λόγω εύρους ζώνης. Εξίσου σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα συστήματα πολλαπλής διαίρεσης κώδικα είναι περισσότερο ανθεκτικά στον θόρυβο που προκαλείται από την πολυδιαδρομική διάδοση.Συγκριτικά με τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου και πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με κώδικα έχει αρκετά πλεονεκτήματα, τα οποία αναλύονται παρακάτω:

- Η διανομή του κώδικα γίνεται αποκλειστικά σε εξουσιοδοτημένους χρήστες με σκοπό την προστασία των προσωπικών δεδομένων των χρηστών από άλλους, συνήθως κακόβουλους χρήστες.
- Είναι συχνή η χρήση του ίδιου φάσματος συχνοτήτων από πολλαπλά δίκτυα πολλαπλής διαίρεσης κώδικα, λόγω της συμπεριφοράς του μη ανιχνεύσιμου σήματος. Δηλαδή, το μη ανιχνεύσιμο σήμα λειτουργεί ως θόρυβος Gauss προς όλους τους δέκτες του χωρίς να κατέχει γνώση του κώδικα που χρησιμοποιείται. Το πλεονέκτημα αυτό χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα μη γεωστατικά κινητά δορυφορικά συστήματα επειδή έχουν μικρό εύρος ζώνης για εκχώρηση σημάτων.
- Σε δεδομένο τμήμα της ζώνης συχνοτήτων υπάρχει χαμηλή ενέργεια διαθέσιμη με αποτέλεσμα να είναι πιο επιλεκτικές οι διαλείψεις ως προς την συχνότητα του σήματος ειδάλλως θα περιοριστεί υπερβολικά η διασπορά του σήματος ως προς την συνολική απόδοση της ζεύξης.
- Επειδή το σήμα έχει χαμηλότερη ενέργεια διαθέσιμη σε κάποιο δεδομένο τμήμα της ζώνης συχνοτήτων, είναι ανθεκτικό ως προς την μείωση της επίδρασης για την απόδοση της ζεύξης του, που μπορεί να προκληθεί ακούσια ή εκούσια από σήματα που βρίσκονται στην ίδια ζώνη συχνοτήτων με αυτό.

5.4 Τεχνική SDMA

Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χώρου παρέχει την δυνατότητα της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Δηλαδή, επίγειοι σταθμοί οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο ίχνος του δορυφόρου, έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν την ίδια συχνότητα μετάδοσης

φέροντος κάνοντας χρήση ορθογώνιας πόλωσης στη κεραία, με αποτέλεσμα την αποφυγή ομοδιαυλικής παρεμβολής. Ακόμα, οι μεταδόσεις μεταξύ δορυφόρων και πολλαπλών επίγειων σταθμών χρησιμοποιούν την ίδια φέρουσα συχνότητα με χρήση κεραιών στενής δέσμης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πλέον είναι ο διαχωρισμός της δέσμης και η πόλωση της δέσμης. Η μέθοδος του διαχωρισμού δέσμης απαιτεί δύο δέσμες να καλύπτουν δύο διαφορετικές περιοχές στην επιφάνεια της Γης χωρίς να γίνονται επικαλύψεις. Αυτό δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιείται η ίδια ζώνη συχνοτήτων που θα χρησιμοποιείται και από τις δύο δέσμες χωρίς τον κίνδυνο να υπάρξει παρεμβολή μεταξύ των σημάτων που αποστέλλουν. Από την άλλη, η πόλωση της δέσμης απαιτεί δύο ορθογώνια με πολωμένα ηλεκτρομαγνητικά κύματα για μετάδοση και λήψη σημάτων. Αυτές οι δύο μέθοδοι έχουν την δυνατότητα να διπλασιάσουν την χωρητικότητα μετάδοσης και σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν και οι δύο μαζί μπορεί να τετραπλασιαστεί η χωρητικότητα του αναμεταδότη. Στις περισσότερες περιπτώσεις η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χώρου χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Παρακάτω θα αναλυθούν οι ζεύξεις αυτών των τεχνικών με την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χώρου.

5.4.1 Σύστημα SDMA/FDMA

Σε αυτό το σύστημα ο δορυφόρος χρησιμοποιεί σταθερές συνδέσεις για την δρομολόγηση του εισερχόμενου σήματος άνω ζεύξης, το οποίο λαμβάνει από την κεραία λήψης, μια συγκεκριμένη κεραία πομπού κάτω ζεύξης.Ο συνδυασμός κεραίας εκπομπής με την κεραία λήψης αποτελούν την πηγή και τον πομπό για τους επίγειους σταθμούς.Οι ζεύξεις ρυθμίζονται στον δορυφόρο μέσω διακόπτη ο οποίος επιλέγει τις ζεύξεις όταν χρειάζεται αναδιάρθρωση.

5.4.2 Σύστημα SDMA/TDMA

Στο σύστημα αυτό ο δορυφόρος κάνει χρήση ενός πίνακα μετατροπής για τον σχηματισμό ζευγών δεσμών άνω και κάτω ζεύξεων.Όταν συνδυάζεται με το σύστημα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου επιτρέπει την κίνηση μεταξύ δεσμών άνω ζεύξης ως προς τις δέσμες κάτω ζεύξης όσο διαρκεί ένα πλαίσιο του.

5.4.3 Σύστημα SDMA/CDMA

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί την τεχνική πολλαπλής διαίρεσης κώδικα για την δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης που παρέχει στον δορυφόρο. Μέσω αυτής, ο δορυφόρος λαμβάνει δεδομένα άνω ζεύξης, τα αποκωδικοποιεί με σκοπό τον προσδιορισμό του προορισμού και έπειτα να προβεί στην δρομολόγηση της κάτω ζεύξης. Η ροή των δυαδικών ψηφίων επαναχρονίζεται, αναγεννάται και αποθηκεύεται στους επεξεργαστές που βρίσκονται στον

δορυφόρο προτού προβεί στην αναμετάδοση τους.Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει η κάτω ζεύξη να έχει την ίδια διάρθρωση με την άνω ζεύξη για να έχουν την δυνατότητα όλες οι ζεύξεις να βελτιστοποιούνται.

6. Δίκτυα VSAT

Ο όρος VSAT (Very Small Aperture Terminal) αναφέρεται στους επίγειους τερματικούς σταθμούς με χαμηλό σχετικά μήκος κατοπτρικής κεραίας μεταξύ των 1.2 και 2.4 μέτρων. Οι σταθμοί χρησιμοποιούν δορυφορικά συστήματα για την μεταξύ τους επικοινωνία. Οι σταθμοί των δικτύων VSAT αδυνατούν να υποστηρίξουν δορυφορικές ζεύξεις με μεγάλες δυνατότητες, όμως το κύριο πλεονέκτημα τους είναι το χαμηλό κόστος που έχουν κάνοντας την χρήση τους ελκυστική σε μικρότερες επιχειρήσεις. Έτσι, δημιουργούν δορυφορικές ζεύξεις γρήγορα και με ευκολία καθώς τους παρέχουν αρκετά υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Ωστόσο, τα δίκτυα VSAT χρησιμοποιούνται και από μεγάλους οργανισμούς. Η διαφορά τους με τις μικρότερες επιχειρήσεις είναι ότι οι μεγάλοι οργανισμοί χρησιμοποιούν ολοκληρωμένα δίκτυα VSAT.

6.1 Τοπολογία δικτύου VSAT

Οι μεγάλες επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τοπολογία αστέρα. Ο επαναλήπτης (hub) εφοδιάζεται με ισχυρότερο πομπό και μεγαλύτερων διαστάσεων κεραία, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δίκτυα VSAT. Ο επαναλήπτης λαμβάνει τα φέροντα σήματα και αποστέλλει δεδομένα με μονόδρομο ή αμφίδρομο τρόπο. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται επαναλήπτης η επικοινωνία μεταξύ των τερματικών συσκευών επιτυγχάνεται μέσω της τοπολογίας πλέγματος. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί μικτή αρχιτεκτονική, στην οποία ένα μέρος του VSAT χρησιμοποιεί τοπολογία πλέγματος και τα υπόλοιπα μέρη του βρίσκονται σε τοπολογία αστέρα. Αυτό υφίσταται διότι ορισμένες τερματικές συσκευές του VSAT δικτύου έχουν υψηλότερη τηλεπικοινωνιακή κίνηση και υπάρχει η δυνατότητα χρήσης τοπολογίας πλέγματος με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος ενός επαναλήπτη και ταυτόχρονα γίνεται εξοικονόμηση των δορυφορικών πόρων.

6.2 Υπηρεσίες δικτύου VSAT

Αναλόγως το είδος του δικτύου VSAT προσφέρονται και ανάλογες υπηρεσίες. Στην περίπτωση των δικτύων που χρησιμοποιούν μονόδρομη σύνδεση εφαρμόζεται κυρίως η μετάδοση δορυφορικής τηλεόρασης προς τους δέκτες λήψης των χρηστών. Όμως, το μεταδιδόμενο σήμα είναι αναλογικό στην περίπτωση της δορυφορικής τηλεόρασης και ο κλάδος αυτός θεωρείται ξεχωριστός. Έτσι, επικρατούν συγκεκριμένες εφαρμογές τόσο στις μονόδρομες όσο και τις αμφίδρομες συνδέσεις. Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες εφαρμογές δικτύων VSAT:

Μόνο λήψη δεδομένων:

- Εξ αποστάσεως διδασκαλία

- Χρηματιστήριο
- Διανομή οικονομικών αναλύσεων
- Ανανέωση δεδομένων αγοραπωλησιών
- Διανομή τηλεοπτικών προγραμμάτων και
- Διανομή μουσικής σε δημόσιους χώρους και πολυκαταστήματα

Μετάδοση και/ή λήψη δεδομένων

- Ηλεκτρονικές συναλλαγές
- Υπηρεσίες διαδικτύου
- Τηλεδιασκέψεις
- Υπηρεσίες αναζήτησης σε βάσεις δεδομένων
- Υπηρεσίες τραπεζικών συναλλαγών
- Διανομή εντολών και τηλεμετρίας
- Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
- Τηλεϊατρική

6.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματαδικτύων VSAT

Τα δίκτυα VSAT παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δίκτυα παροχής δορυφορικών υπηρεσιών. Παρακάτω αναλύονται τα πλεονεκτήματα και έπειτα τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται στα δίκτυα VSAT.

6.3.1 Πλεονεκτήματα δικτύων VSAT

- Επιλύεται το πρόβλημα lastmile. Στα επίγεια δίκτυα συχνά παρατηρείται διακοπή μίας ζεύξης όταν βρίσκεται κοντά στον δέκτη. Με τα δίκτυα VSAT αυτό παύει να υφίσταται επειδή προσφέρουν συνεχή ροή της πληροφορίας ανεξάρτητα της απόστασης που υπάρχει ανάμεσα στους σταθμούς.
- Παρέχει πρόσβαση σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές που είναι αδύνατη η χρήση επίγειων μέσων.
- Τα δίκτυα VSAT παρέχουν συνεχή σύνδεση στο δίκτυο μέχρι 99.5% χρόνο συνεχούς πρόσβασης σε σύγκριση με τις γραμμές μεταφοράς που παρέχουν 80-85%.

- Υπάρχει μεγάλη ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης αυτών των δικτύων καθώς η εγκατάσταση διαρκεί σχεδόν έναν μήνα και ο έλεγχος του δικτύου αυτού μπορεί να γίνεται από ένα μόνο σημείο με συστήματα διαχείρισης δικτύων χωρίς την απαίτηση γραμμών μεταφοράς.
- Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων VSAT είναι η ιδιαίτερη ευελιξία που παρουσιάζουν στην διεύρυνση τους. Αποτελούνται από διακριτά μέρη τα οποία προσαρμόζονται με μεγάλη ευκολία στις νέες ανάγκες.
- Το κόστος των υπηρεσιών που προσφέρουν είναι χαμηλότερο γιατί οι ζεύξεις κοστολογούνται ανάλογα το εύρος ζώνης που καταλαμβάνουν οι υπηρεσίες του δικτύου σε αντίθεση με τα επίγεια συστήματα που αυξάνεται το κόστος ανάλογα με την απόσταση που διανύεται από την πληροφορία.

6.3.2 Μειονεκτήματα δικτύων VSAT

- Υπάρχει το σημαντικό πρόβλημα των παρεμβολών σημάτων από δορυφόρους και άλλους επίγειους σταθμούς με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απαιτήσεις σε σχέση με την ισχύ σήματος και το μέγεθος του εξοπλισμού το οποίο συνεπάγεται την αύξηση του κόστους κατασκευής ενός τέτοιου δικτύου.
- Επειδή εκπέμπουν σε μεγάλο εύρος ζώνης προς την Γη οι δορυφόροι αυτών των δικτύων, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για την υποκλοπή της πληροφορίας που μεταδίδεται εκείνη την στιγμή.
- Ο αναμεταδότης του δορυφόρου είναι ζωτικής σημασίας καθώς μέσω αυτού γίνεται η μετάδοση της πληροφορίας. Σε περίπτωση βλάβης αυτού διακόπτονται όλες οι ζεύξεις και χάνεται το δίκτυο.
- Η χρονική καθυστέρηση είναι ένα πρόβλημα λόγω της απόστασης που καλείται να διανύσει το σήμα από τον Δορυφόρο μέχρι την Γη. Η καθυστέρηση ανά hop είναι 0.25 δευτερόλεπτα το οποίο είναι αμελητέο για σήματα μετάδοσης δεδομένων ή εικόνας αλλά στην μετάδοση φωνής έχει πολύ σημασία να είναι άμεση η μετάδοση.

7. Σύγκριση του δορυφορικού διαδικτύου με τα σταθερά ασύρματα δίκτυα

Η κύρια διαφορά μεταξύ του δορυφορικού διαδικτύου και του σταθερού ασύρματου διαδικτύου είναι το σημείο διανομής και η απόσταση του σημείου πρόσβασης από αυτό.Το δορυφορικό διαδίκτυο μεταδίδει τα δεδομένα μέσω ενός δορυφόρου που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από την Γη. Το σταθερό ασύρματο διαδίκτυο βασίζεται σε πιο κοντινά προς τον χρήστη μέσα, όπως είναι οι κυψελωτές κεραίες.

7.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τον κάθε τύπο σύνδεσης

Παρακάτω θα αναλυθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα των δύο μορφών σύνδεσης στο διαδίκτυο.

- Η αδράνεια (latency) είναι ο χρόνος που απαιτείται για την αποστολή των δεδομένων από το σημείο μετάδοσης προς το σημείο πρόσβασης. Με την χρήση δορυφόρων η απόσταση που πρέπει να διανυθεί είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη αδράνεια. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης θα έχει καθυστερήσεις στην σύνδεση του. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό στην περίπτωση της ζωντανής μετάδοσης δεδομένων (π.χ. βιντεοκλήσεις, διαδικτυακά παιχνίδια). Τα σταθερά ασύρματα μέσα λειτουργούν μέσω τοπικών συνδέσεων. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης θα λάβει τα δεδομένα από κάποια κυψελωτή κεραία που βρίσκεται κοντά στην τοποθεσία του. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να λάβει τα δεδομένα ταχύτερα από ότι με την χρήση δορυφόρο και η σύνδεση θα είναι με μικρότερες καθυστερήσεις.
- Οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν την μετάδοση του σήματος από τον δορυφόρο, καθώς το σήμα πρέπει να περάσει μέσω της ατμόσφαιρας. Καιρικά φαινόμενα όπως είναι η ομίχλη και οι έντονες βροχοπτώσεις παρεμβάλουν στην σύνδεση του χρήστη με τον δορυφόρο. Αντιθέτως, στα σταθερά ασύρματα δίκτυα αυτά τα προβλήματα μπορούν να αποφευχθούν εφόσον οι κεραίες έχουν εγκατασταθεί με σκοπό να είναι ασφαλισμένες από επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα, κυρίως δυνατούς ανέμους.

7.2 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου

Το δορυφορικό διαδίκτυο αποτελεί την μοναδική λύση για απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν αρκούν τα επίγεια μέσα. Παρακάτω θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχει η χρήση δορυφόρων για την πρόσβαση στο διαδίκτυο.

7.2.1 Τα πλεονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου

- Υπάρχει παγκόσμια κάλυψη με την χρήση δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη. Για αυτό τον λόγο προτιμάται από απομακρυσμένες περιοχές καθώς και αεροπλάνα και πλοία που είναι αδύνατη η επίγεια σύνδεση.
- Είναι εφικτό να φτάσει τις ταχύτητες των ευρυζωνικών δικτύων.
- Είναι ευκολότερη η ανάκαμψη μετά από καταστροφές.

7.2.2 Τα μειονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου

- Έχει αυξημένο κόστος σε σχέση με τα υπόλοιπα μέσα πρόσβασης στο διαδίκτυο.
- Η ταχύτητα του είναι χαμηλότερη σε σχέση με τις καλωδιωτές συνδέσεις και τις οπτικές ίνες.
- Είναι ευάλωτο σε καιρικά φαινόμενα.
- Έχει υψηλό χρόνο αδράνειας.

8. Η δορυφορική εταιρία HELLAS-SAT

Το 2003 στις 13 Μαΐου η Ελλάδα σε συνεργασία με την Κύπρο εκτοξεύσανε τον δορυφόρο Hellas Sat 2 σε γεωστατική τροχιά, κατασκευασμένος από την γαλλική εταιρία Astrium. Στις 29 Ιουνίου 2017 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος Hellas Sat 3 με σκοπό να αντικαταστήσει τον Hellas Sat 2. Ο δορυφόρος αυτός παρέχει δορυφορικό διαδίκτυο όπως επίσης και ψηφιακή δορυφορική τηλεόραση. Σε αυτόν βρίσκονται 30 αναμεταδότες σταθερής δορυφορικής ζώνης οι οποίοι εκπέμπουν μέσω της Ku ζώνης και λαμβάνουν σήματα με κεραίες των 60 εκατοστών. Η κατασκευή του κόστισε πάνω από 170 εκατομμύρια ευρώ. Τέλος, ο ΟΤΕ κατέχει το 83.34% του δορυφόρου και τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που προσφέρει.

8.1 Μελλοντικές τάσεις του δορυφορικού διαδικτύου στην Ελλάδα

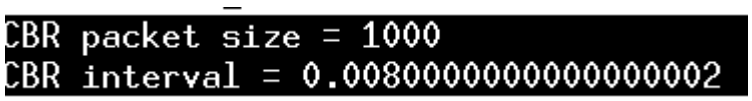
Στην Ελλάδα στα τέλη του Οκτωβρίου το 2021, ξεκίνησε η αδειοδότηση των πρότυπων κεραιών οι οποίες είναι απαραίτητες για την σύνδεση στο δορυφορικό ίντερνετ που θα προσφέρει η εταιρία Starlink. Οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να εξοπλιστούν με δορυφορικά πιάτα τα οποία λειτουργούν ως δέκτες αλλά και ως πομποί. Οι δορυφόροι της εταιρίας Starlink βρίσκονται στην χαμηλή γήινη τροχιά (LEO) και θα προσφέρουν πολύ υψηλές ταχύτητες για σύνδεση στο διαδίκτυο.

9. Προσομοίωση δορυφορικής επικοινωνίας με την χρήση του network simulator 2(ns-2)

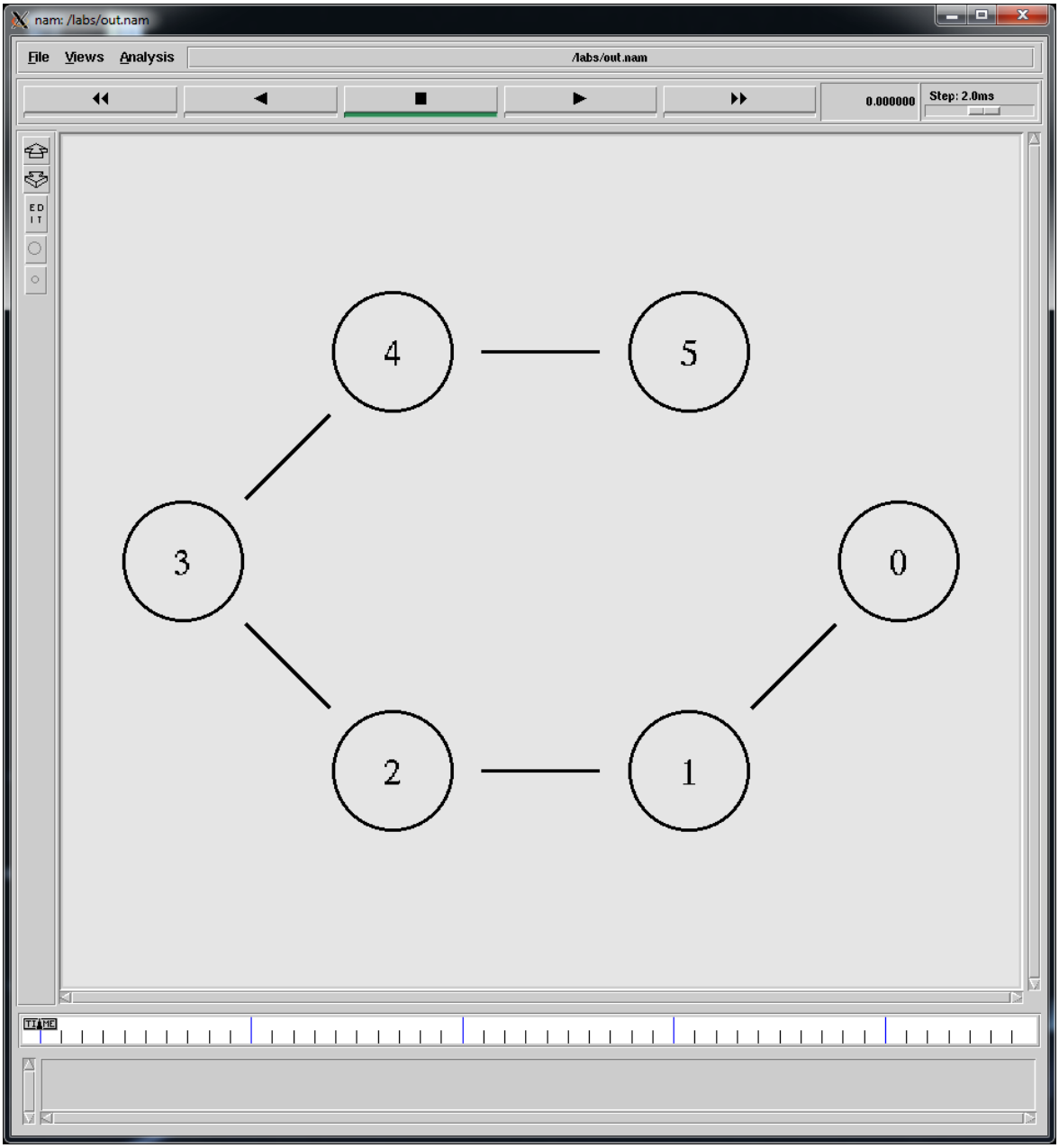
Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή της προσομοίωσης αποστολής πακέτων από έναν χρήστη προς έναν εξυπηρετητή μέσω δορυφόρου στο πρόγραμμα ns2.

9.1 Ανάλυση της προσομοίωσης

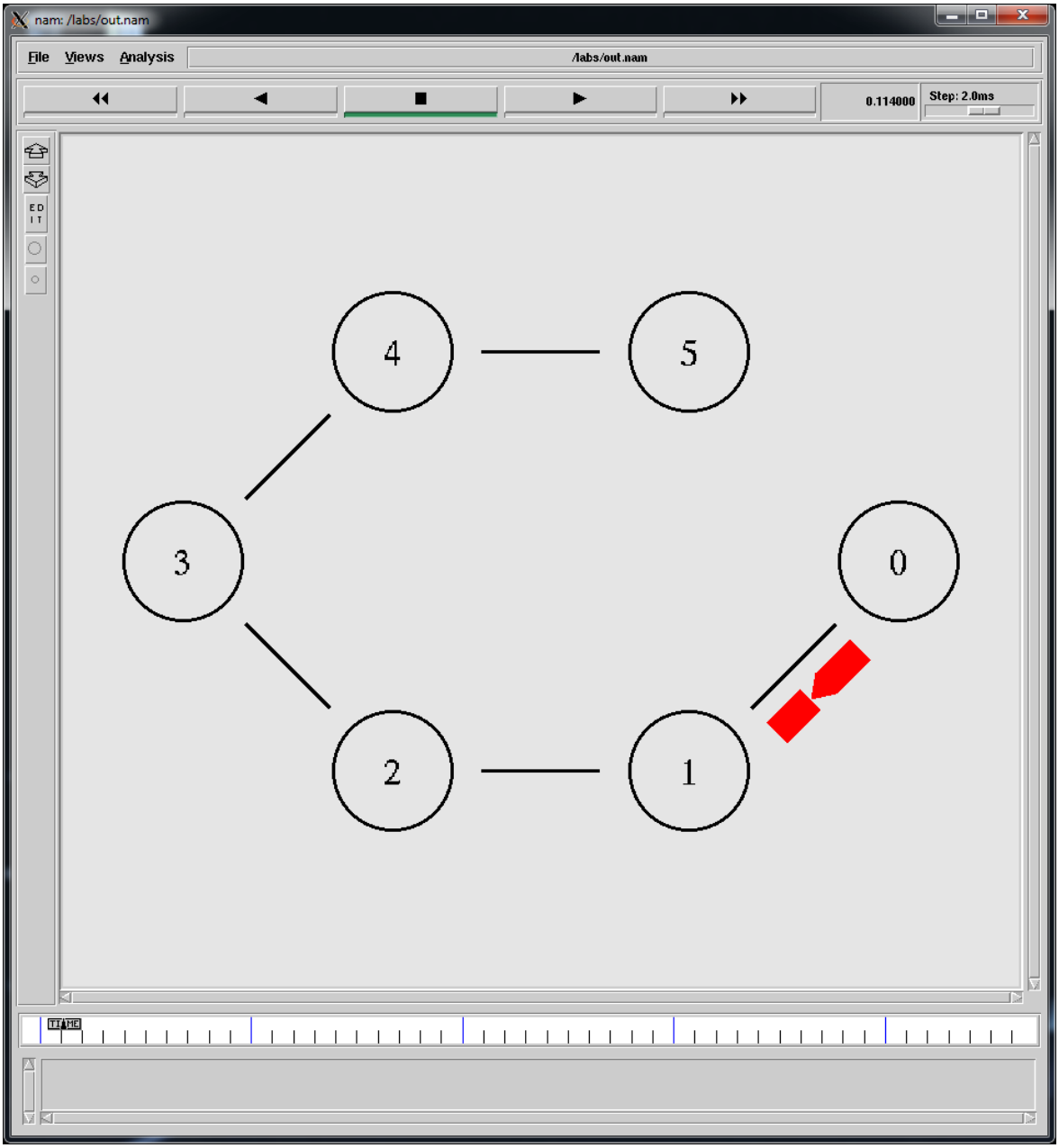
Ο κάθε κόμβος της προσομοίωσης αποτελεί και ένα μέρος ενός πραγματικού δορυφορικού δικτύου. Ο κόμβος n0 αναφέρεται στον υπολογιστή του χρήστη που χρησιμοποιείται για να συνδεθεί στο διαδίκτυο. Ο κόμβος n1 είναι ο δρομολογητής του χρήστη. Ο κόμβος n2 είναι το δορυφορικό πιάτο που συνδέει τον χρήστη με τον πάροχο μέσω των αόρατων σημάτων που αποστέλλει ο χρήστης. Ο κόμβος n3 αποτελεί τον δορυφόρο. Ο κόμβος n4 αποτελεί το δορυφορικό πιάτο που έχει ο πάροχος και δέχεται το σήμα από τον δορυφόρο. Ο κόμβος n5 είναι ο εξυπηρετητής που λαμβάνει τα δεδομένα από τον πάροχο μέσω οπτικών ινών. Έτσι η προσομοίωση καταγράφει το πλήθος των πακέτων που μεταδόθηκαν στον χρόνο που τρέχει η προσομοίωση. Ο χρήστης στέλνει 1000 πακέτα UDP με ρυθμό μετάδοσης 1mb/s. Η προσομοίωση τρέχει για 5 δευτερόλεπτα και η καταγραφή γίνεται από τα 0.1 μέχρι τα 4.5 δευτερόλεπτα. Κάθε πακέτο που αποστέλλεται είναι μεγέθους περίπου 1Kbyte. Η αποστολή των πακέτων γίνεται από την στιγμή των 0.1 δευτερολέπτων και τελειώνει στα 4.5 δευτερόλεπτα. Στο εξυπηρετητής θα λάβει το τελευταίο πακέτο στα 5 δευτερόλεπτα. Μόλις γίνει αυτό τελειώνει η προσομοίωση και ξέρουμε ότι έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς η αποστολή των UDPπακέτων. Το τελικό cbr interval είναι περίπου 0.008 ms.



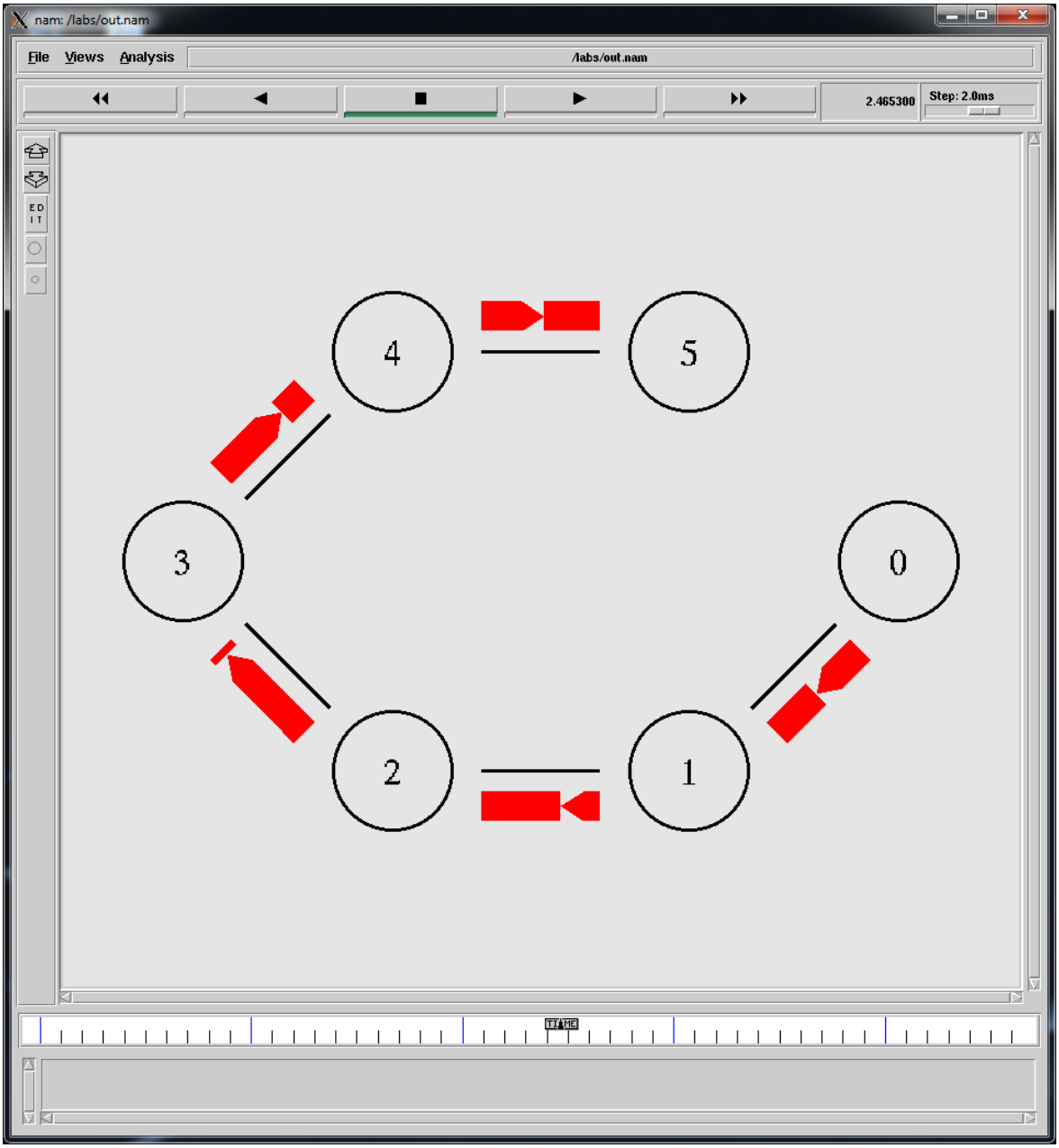
Εικόνα 17. Απεικόνιση του πλήθους πακέτων και του CBR interval



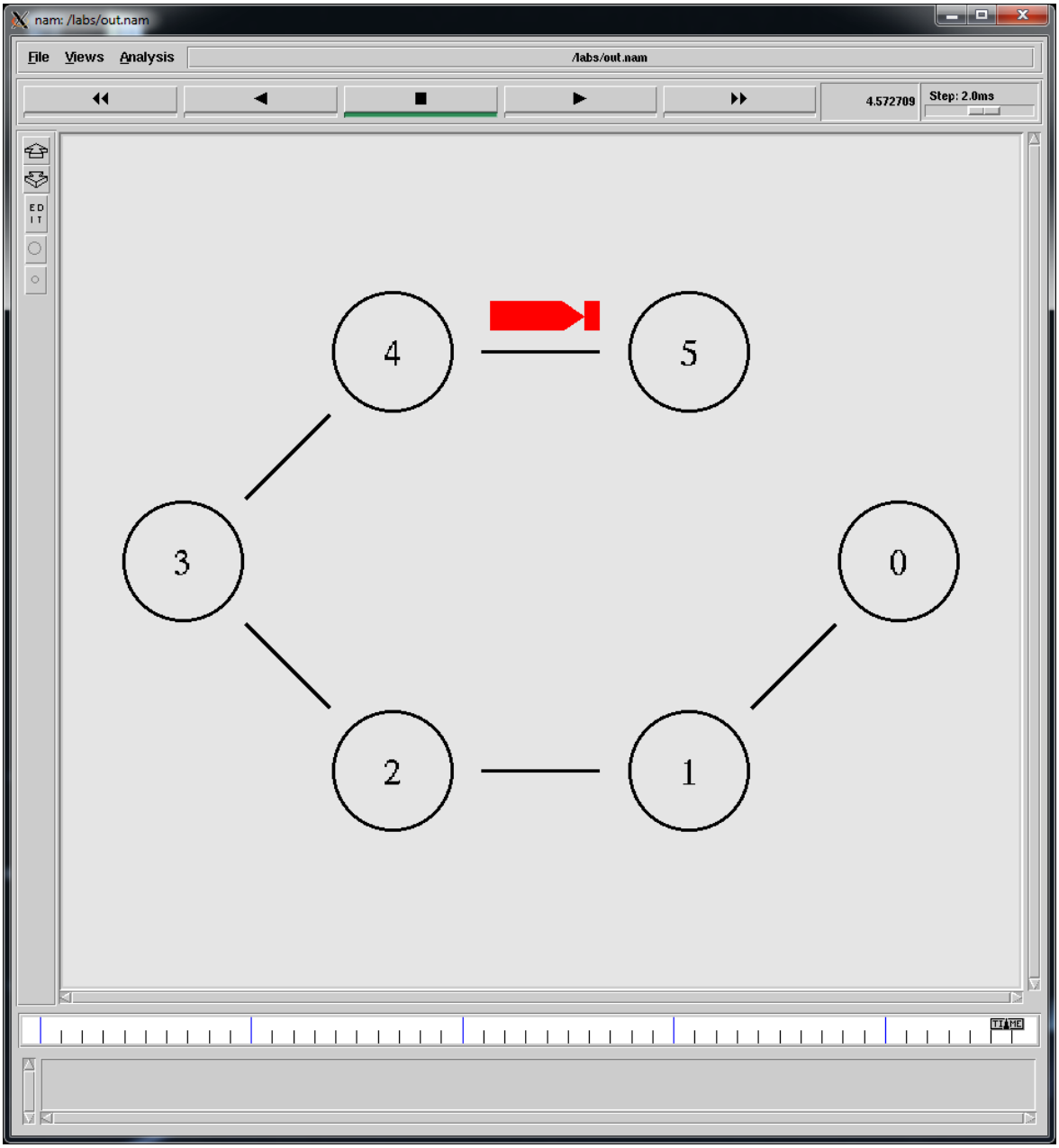
Εικόνα 18. Απεικόνιση των κόμβων στην προσομοίωση όπως περιγράφεται παραπάνω.



Εικόνα 19. Η εκκίνηση της προσομοίωσης σε χρόνο 0.1s



Εικόνα 20. Η προσομοίωση εν ενεργεία.



Εικόνα 21. Λήξη της προσομοίωσης αποστολή τελευταίου πακέτου σε χρόνο 4.5s

Συμπεράσματα

Οι δορυφορικές επικοινωνίες βρίσκονται αντιμέτωπες με ισχυρό ανταγωνισμό από τα επίγεια μέσα επικοινωνιών και έχουν μεγάλο κόστος για την κατασκευή και την συντήρηση τους. Το κύριο πλεονέκτημα αυτών είναι ότι μπορούν να παρέχουν κάλυψη σε μεγάλα εύρη ανά την υφήλιο προς όλους τους χρήστες ανεξάρτητα της τοποθεσίας τους. Παρά το μεγάλο κόστος τους, είναι η πιο οικονομική και ταχύτερη ως προς την ανάπτυξη, λύση για μέρη του κόσμου που δεν κατέχουν ενσύρματα δίκτυα όπως είναι οι τριτοκοσμικές χώρες, όπως επίσης αποτελούν την μοναδική λύση για κινούμενα ανά την υφήλιο μέσα, όπως είναι τα πλοία και αεροπλάνα που είναι αδύνατη η κάλυψη τους με ενσύρματα δίκτυα. Ορισμένες τάσεις των δορυφορικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων είναι η παγκοσμιοποίηση της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών. Σημαντική είναι επίσης η τάση ανάπτυξης νέων επιχειρήσεων, δημιουργώντας έτσι μια πιο ανταγωνιστική αγορά και ανάγκη για ταχύτερη εξέλιξη. Είναι ζωτικής σημασίας η αυξημένη ζήτηση για σύνδεση παντού και ανά πάσα στιγμή καθώς το διαδίκτυο είναι πλέον σημαντικό κομμάτι της ζωής των ανθρώπων. Ιδιαίτερα σημαντικό να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι οι χρεώσεις θα εξαρτώνται μόνο από τον χρόνο χρήσης ή το μέγεθος της πληροφορίας που μεταφέρεται σε αντίθεση με τις χρεώσεις ανάλογα την απόσταση και τον χρόνο.

Βιβλιογραφικές αναφορές και δικτυογραφία

[1]: Α. Κλιάφας& Α. Οικονομίδης(2008). 4 C F I L C F ; > 0 . Ελλάδα, Θεσσαλονίκη: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών

[2]: Δ. Βουγιούκας (2015). 4 ‰ Œ • ” ‰ Œ • ƒ y Ž .χηλεκτρονικά βιβλία]. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Ανακτήθηκε από: http://hdl.handle.net/11419/2712

[3]: Δ. Βουγιούκας 5 • • r v ˜ v | • • • Ž 4 ‰ Œ • ” ‰ Œ • ƒ y Ž 5 ‹ • ƒ ‰ • † ˜ † € x Ž

[4]: Φ. ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ (2017). 4 C F I L C F C ; > 0 ; 4 C *SATELLITE) INTERNET.*

[5]: Ι. ΛΥΤΡΑ (2006). C ;P C F I L C F ; > 5 G 5 E ; > C ; A Q A ; 5 G G H 8 A I E 8 F 5 G ; 0 H 8 G

[6]: E. Berger (2017). The first creature in space was a dog. She died miserably 60 years ago.

[7]: A. Bureau (2021). Elon Musk's Starlink Starts Operating In Greece. Ανακτήθηκε από:https://greekcitytimes.com/2021/10/18/elon-musk-starlink-operating/amp/

[8]:O. Caucaso (2021). Europe’s internet speeds are faster than ever, but not for everyone. Ανακτήθηκε από: https://www.balcanicaucaso.org/eng/Areas/Europe/Europe-s-internet-speeds-are-faster-than-ever-but-not-for-everyone-212940

[9]: Garg, V., & Wang, Y. (2005). Frequency Division Multiple Access - an overview | ScienceDirect Topics. Ανακτήθηκε από:https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/frequency-division-multiple-access

[10]: B. Hardin (2019). Can You Hear Me Now?. Ανακτήθηκε από: https://www.navalhistory.org/2019/08/23/satellite-phone-home

[11]: E. Howell (2020). Explorer 1: The First U.S. Satellite. Ανακτήθηκε από: https://www.space.com/17825-explorer-1.html#:~:text=Explorer%201%20was%20the%20United,Soviet%20Union%20was%20just%20beginning.

[12]: G. Krebs (2017). Syncom 1, 2, 3. Ανακτήθηκε από: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/syncom-1.htm

[13]: List of Communication Satellites - ISRO. (2021). Ανακτήθηκε από: https://www.isro.gov.in/spacecraft/list-of-communication-satellites

[14]: NASA - NSSDCA - Spacecraft - Details. (2021). Ανακτήθηκε από: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1963-013A

[15]: Spaceflight Now | Atlas Launch Report | The Hellas-Sat spacecraft. (2003). Ανακτήθηκε από: https://spaceflightnow.com/atlas/av002/030512hellassat.html

[16]: NASA. Telstar at 50. (2012). Ανακτήθηκε από: https://www.nasa.gov/topics/technology/features/telstar.html

[17]: The 1945 Proposal by Arthur C. Clarke for Geostationary Satellite Communications. Ανακτήθηκε από: http://lakdiva.org/clarke/1945ww/

[18]: M. Whiting (2018). 60 years ago, Soviets launch Sputnik 3. Ανακτήθηκε από: https://www.nasa.gov/feature/60-years-ago-soviets-launch-sputnik-3

Παράρτημα Κώδικα

```
#Create a simulator object

set ns [new Simulator]


#Define different colors for data flows (for NAM)

$ns color 1 Blue


#Open the NAM trace file

set nf [open out.nam w]

$ns namtrace-all $nf


#Define a 'finish' procedure

proc finish {} {

global ns nf

$ns flush-trace

#Close the NAM trace file

close $nf

#Execute NAM on the trace file

exec nam out.nam &

exit 0

}


#Create 5 nodes
```

```
set n0 [$ns node]

set n1 [$ns node]

set n2 [$ns node]

set n3 [$ns node]

set n4 [$ns node]

#Create links between the nodes

$ns duplex-link $n0 $n1 1Mb 10ms DropTail

$ns duplex-link $n1 $n2 1Mb 10ms DropTail

$ns duplex-link $n2 $n3 1Mb 10ms DropTail

$ns duplex-link $n3 $n4 1Mb 10ms DropTail


#Give node position (for NAM)

$ns duplex-link-op $n0 $n1 orient left-down

$ns duplex-link-op $n1 $n2 orient left

$ns duplex-link-op $n2 $n3 orient left-up

$ns duplex-link-op $n3 $n4 orient right-up

$ns duplex-link-op $n4 $n5 orient right


#Setup a UDP connection

set udp [new Agent/UDP]

$ns attach-agent $n0 $udp

set null [new Agent/Null]

$ns attach-agent $n5 $null
```

```
$ns connect $udp $null

$udp set fid_ 1


#Setup a CBR over UDP connection

set cbr [new Application/Traffic/CBR]

$cbr attach-agent $udp

$cbr set type_ CBR

$cbr set packet_size_ 1000

$cbr set rate_ 1mb

$cbr set random_ false


#Schedule events for the CBR agent

$ns at 0.1 "$cbr start"

$ns at 4.5 "$cbr stop"


#Call the finish procedure after 5 seconds of simulation time

$ns at 5.0 "finish"


#Print CBR packet size and interval

puts "CBR packet size = [$cbr set packet_size_]"

puts "CBR interval = [$cbr set interval_]"


#Run the simulation
```

```
$ns run
```