



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη και ανάλυση δορυφορικών ζεύξεων με
χρήση διαδικτυακής εφαρμογής»



Των φοιτητών
Χρήστου Ελμπασίδη και Αχιλλέα
Γκέκα
Αρ. Μητρώου: 164658, 164649

Επιβλέπουσα
Δρ. Αγάπη Μεσοδιακάκη
Έκτακτο Διδακτικό Προσωπικό

17 Ιουνίου 2024

Τίτλος Δ.Ε. Μελέτη και ανάλυση δορυφορικών ζεύξεων με χρήση διαδικτυακής εφαρμογής
Κωδικός Δ.Ε. 23115

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/ών Χρήστος Ελμπασιδής και Αχιλλέας Γκέκας

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Δρ. Αγάπη Μεσοδιακάκη

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 21-02-2023

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.

Βεβαιώνουμε ότι είμαστε οι συγγραφείς αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχουμε καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Χρήστου Ελμπασιδή και Αχιλλέα Γκέκα που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Αυτή η πτυχιακή είναι αφιερωμένη σε όσους θεωρούν την εκπαίδευση και την έρευνα γέφυρες προς νέους κόσμους και δυνατότητες. Σηματοδοτεί όχι μόνο την κατάκτηση ενός στόχου αλλά και το ξεκίνημα για αμέτρητες νέες περιπέτειες στη γνώση και την αυτοβελτίωση.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε από κοινού από τον Γκέκα Αχιλλέα και τον Ελμπασίδη Χρήστο υπό την καθοδήγηση και επίβλεψη της κα. Μεσοδιακάκη Αγάπη. Μέσα από την έρευνα και την ανάλυση που παρουσιάζεται, φιλοδοξούμε να συμβάλλουμε στην κατανόηση της σημασίας των δορυφορικών ζεύξεων στην επίτευξη πιο αποτελεσματικής και ολοκληρωμένης παγκόσμιας επικοινωνίας.

Η πτυχιακή αυτή εργασία επιχειρεί να εξερευνήσει την εξέλιξη και την εφαρμογή των δορυφορικών ζεύξεων, με έμφαση στη χρήση μιας συγκεκριμένης διαδικτυακής εφαρμογής.

Αναγνωρίζοντας τη σημαντικότητα της δορυφορικής επικοινωνίας στη σύγχρονη κοινωνία, αυτή η μελέτη προσπαθεί να παρέχει μια συνεκτική και εμπειρισταωμένη ανάλυση των κύριων τεχνολογικών και λειτουργικών πτυχών, καθώς και των προκλήσεων που συναντούν οι επαγγελματίες του κλάδου. Μέσα από την έρευνα και την ανάλυση που παρουσιάζεται, φιλοδοξούμε να συμβάλλουμε στην κατανόηση της σημασίας των δορυφορικών ζεύξεων στην επίτευξη πιο αποτελεσματικής και ολοκληρωμένης παγκόσμιας επικοινωνίας.

Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία με τίτλο "Μελέτη και ανάλυση δορυφορικών ζεύξεων με χρήση διαδικτυακής εφαρμογής" εξετάζει τη μελέτη και ανάλυση των δορυφορικών επικοινωνιών, δίνοντας έμφαση στην ενσωμάτωσή τους με διαδικτυακές εφαρμογές. Η έρευνα επικεντρώνεται στη βελτίωση της κατανόησης και της λειτουργικότητας των δορυφορικών ζεύξεων μέσω μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης που συνδυάζει τεχνική ανάλυση και πρακτικές εφαρμογές.

Ο κύριος στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση των τεχνικών χαρακτηριστικών και των πρακτικών εφαρμογών των δορυφορικών ζεύξεων, ιδίως πώς μπορούν να ενσωματωθούν αποτελεσματικά με διαδικτυακά εργαλεία για τη βελτίωση της παγκόσμιας συνδεσιμότητας και της μετάδοσης δεδομένων καθώς και πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκπαίδευση.

Η ερευνητική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται, περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και προγραμματισμό μιας διαδικτυακής εφαρμογής χρησιμοποιώντας HTML, CSS και JavaScript για τη δημιουργία μιας διαδραστικής διεπαφής για τους χρήστες. Η εφαρμογή στοχεύει στην προσομοίωση σεναρίων δορυφορικών ζεύξεων και στην παροχή εκπαιδευτικών πληροφοριών. Επίσης, περιλαμβάνει την ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων με την ενσωμάτωση του API της Space-Track.org για την ανάκτηση πραγματικών δεδομένων δορυφόρων. Επιπλέον, εφαρμόστηκαν διαδραστικά στοιχεία διεπαφής, όπως κουμπιά και αναδυόμενα παράθυρα με επεξηγηματικές πληροφορίες, για την ενίσχυση της εκπαιδευτικής αξίας της εφαρμογής. Η εφαρμογή αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε σε φάσεις για να διασφαλιστεί η λειτουργικότητα, η ακρίβεια των υπολογισμών και η ευκολία χρήσης.

Συμπερασματικά, η παρούσα πτυχιακή εργασία αναδεικνύει ορισμένα βασικά ευρήματα με την λεπτομερή εξέταση των παραγόντων που επηρεάζουν τις δορυφορικές ζεύξεις, όπως τα μοντέλα προϋπολογισμού ισχύος και η διάδοση σημάτων. Επιπλέον, περιγράφει την ανάπτυξη και επιτυχή εφαρμογή ενός διαδικτυακού εργαλείου για τη μελέτη των δορυφορικών ζεύξεων, το οποίο παρέχει πολύτιμους εκπαιδευτικούς πόρους στους χρήστες. Τέλος, ταυτοποιεί προκλήσεις στην ενσωμάτωση πραγματικών δεδομένων και προτείνει λύσεις μέσω δυναμικών υπολογισμών και διαδραστικών χαρακτηριστικών.

Εν κατακλείδι, η έρευνα μας οδηγεί στο ότι η ενσωμάτωση των δορυφορικών επικοινωνιών με διαδικτυακές εφαρμογές προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση της παγκόσμιας συνδεσιμότητας και της ανταλλαγής δεδομένων. Η μελέτη προτείνει επίσης αρκετούς τομείς για μελλοντική έρευνα, όπως η βελτίωση της ενσωμάτωσης πραγματικών δεδομένων από πηγές όπως το Space-Track.org για την ενίσχυση της ακρίβειας και της λειτουργικότητας της εφαρμογής, η ενσωμάτωση περισσότερων προχωρημένων διαδραστικών και οπτικών στοιχείων για τη βελτίωση της εμπλοκής των χρηστών και των εκπαιδευτικών αποτελεσμάτων, και η διερεύνηση πρόσθετων εφαρμογών των δορυφορικών ζεύξεων σε διάφορους εκπαιδευτικούς και επαγγελματικούς τομείς.

Study and Analysis of Satellite Links Using an Web-based Application

Achilleas Gkekas - Christos Elmpasidis

Abstract

The thesis titled "Study and analysis of satellite links using a web-based application" examines the study and analysis of satellite communications, with an emphasis on their integration with web applications. The research focuses on improving the understanding and functionality of satellite links through a comprehensive approach that combines technical analysis and practical applications. Purpose: The main objective of the thesis is to investigate the technical characteristics and practical applications of satellite links, specifically how they can be effectively integrated with web tools to enhance global connectivity and data transmission, as well as their use in education.

The research methodology that is used, includes the design and programming of a web application using HTML, CSS, and JavaScript to create an interactive interface for users. The application aims to simulate satellite link scenarios and provide educational information. It also involves data analysis and processing by integrating the Space-Track.org API to retrieve real satellite data. Additionally, interactive interface elements such as buttons and pop-up windows with explanatory information were implemented to enhance the educational value of the application. The application was developed and tested in phases to ensure functionality, accuracy of calculations, and ease of use.

Summarizing, the thesis highlights several key findings with a detailed examination of the factors affecting satellite links, such as link budget models and signal propagation. Additionally, it describes the development and successful implementation of a web-based tool for studying satellite links, which provides valuable educational resources to users. Finally, it identifies challenges in integrating real data and proposes solutions through dynamic calculations and interactive features.

In conclusion, the research concludes that integrating satellite communications with web applications offers significant potential for improving global connectivity and data exchange. The study also suggests several areas for future research, such as improving the integration of real data from sources like Space-Track.org to enhance the accuracy and functionality of the application, incorporating more advanced interactive and visual elements to improve user engagement and educational outcomes, and exploring additional applications of satellite links in various educational and professional fields.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες προς όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της και μας υποστήριξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Ιδιαίτερα οφείλουμε να ευχαριστήσουμε την αγαπητή καθηγήτρια Μεσοδιακάκη Αγάπη, η οποία με την πολύτιμη καθοδήγησή και την ατελείωτη υπομονή της, όχι μόνο μας κατεύθυνε στην προσέγγιση της εργασίας, αλλά συνέβαλε στην ανάπτυξη ικανοτήτων που θα μας συνοδεύουν στην επαγγελματική μας πορεία.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το ΔΙ.ΠΑ.Ε., το προσωπικό και τους καθηγητές για την συνεχή προσφορά, υποστήριξη και τις εκπαιδευτικές ευκαιρίες που μας προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Τέλος, δεν μπορούμε να παραλείψουμε την ευγνωμοσύνη προς τους συμφοιτητές, τους φίλους και τις οικογένειές μας, που παρέμειναν στο πλευρό μας, προσφέροντάς μας συμπαράσταση και κίνητρο καθ' όλη τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού.

Αυτή η εμπειρία ήταν ανεκτίμητη και οφείλουμε μεγάλο μέρος της ολοκλήρωσής της σε αυτούς που μας πίστεψαν και μας ενθάρρυναν σε κάθε βήμα.

Σας ευχαριστούμε!

Περιεχόμενα

Πρόλογος	iv
Περίληψη	v
Abstract	vi
Περιεχόμενα	viii
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Κατάλογος Πινάκων	ix
Συντομογραφίες	x
1 Εισαγωγή	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Γενιές κινητής τηλεφωνίας από το 0G ως το 5G	1
1.3 6η γενιά κινητής τηλεφωνίας	7
1.3.1 Κριτήρια ποιότητας	7
1.3.2 Τεχνολογίες κλειδιά και ανοικτά προβλήματα	9
1.4 Δομή πτυχιακής και μεθοδολογία	12
1.5 Επίλογος	14
2 Βιβλιογραφική έρευνα και προσεγγίσεις	15
2.1 Εισαγωγή	15
2.2 Βιβλιογραφική έρευνα	15
2.3 Επίλογος	24
3 Δορυφορικές Ζεύξεις	25
3.1 Εισαγωγή	25
3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν μια δορυφορική ζεύξη	25
3.3 Μοντέλο προυπολογισμού ισχύος	34
3.4 Επιπλέον Συναρτήσεις της εφαρμογής	37
3.5 Επίλογος	45
4 Παρουσίαση και ανάλυση online εργαλείου εκπαίδευσης	47
4.1 Εισαγωγή	47
4.2 Περιβάλλον εργαλείου	47
4.2.1 Εγκατάσταση – διασύνδεση εφαρμογών	47
4.2.2 Περιβάλλον της HTML ανάπτυξης	54
4.3 Παρουσίαση εργαλείου	55
4.4 Επίλογος	59
5 Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης	60
5.1 Εισαγωγή	60
5.2 Επίλογος	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62
A ΚΩΔΙΚΑΣ	69

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Γενιές κινητής τηλεφωνίας	2
1.2	Κύματα Terahertz	10
1.3	Επικοινωνίες με χρήση Έξυπνης Ανακλαστικής Επιφάνειας (IRS)	11
3.1	Τα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας [1]	28
3.2	Απορρόφηση ενέργειας εξαιτίας ατμοσφαιρικών αερίων συναρτήσει της συχνότητας και της γωνίας ανύψωσης [1]	30
3.3	41
4.1	Space-Track.org	48
4.2	Στοιχεία δορυφόρου Starlink - Κώδικας	50
4.3	Πληροφορίες δορυφόρου - Keplerian Elements - Κώδικας	50
4.4	Στοιχεία δορυφόρου Hellas-Sat 3 - Κώδικας	51
4.5	Στοιχεία δορυφόρου Hellas-Sat 4 - Κώδικας	51
4.6	Φάκελοι του project Δορυφορικές Ζεύξεις	53
4.7	Αρχική σελίδα εφαρμογής "Μελέτη Δορυφορικών Ζεύξεων"	56
4.8	Εμφάνιση πληροφοριών "Απόστασης Επίγειου Σταθμού - Δορυφόρου"	57
4.9	Αποτελέσματα υπολογισμών	58

Κατάλογος Πινάκων

1.1	Χαρακτηριστικά 1G (Πρώτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας)	2
1.2	Χαρακτηριστικά 2G (Δεύτερη Γενιά κινητής τηλεφωνίας))	3
1.3	Χαρακτηριστικά 3G (Τρίτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας))	4
1.4	Χαρακτηριστικά 4G (Τέταρτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας).	6
1.5	Χαρακτηριστικά 5G (Πέμπτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας))	7
1.6	Σύγκριση Βασικών Χαρακτηριστικών δικτύου 5G και 6G	9
2.1	Μελέτες της παρούσας ενότητας	21
3.1	Οι συντελεστές a και b συναρτήσει της συχνότητας για οριζόντια και κάθετη πόλωση, 1/3	32
3.2	Οι συντελεστές a και b συναρτήσει της συχνότητας για οριζόντια και κάθετη πόλωση, 2/3	33
3.3	Οι συντελεστές a και b συναρτήσει της συχνότητας για οριζόντια και κάθετη πόλωση, 3/3	34
3.4	Υπολογισμός Αζιμούθιου	43

Συντομογραφίες

1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
GSM	Global System for Mobile Communications
SMS	Short Message Service
MMS	Multimedia Messaging Service
GPRS	General Packet Radio Service
CDMA	Code Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
ISDN	Integrated Services Digital Network
LTE	Long-Term Evolution
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Personal Area Network
FDD	Frequency Division Duplex
TDD	Time Division Duplex
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
MAC	Media Access Control
DAS	Distributed Antenna System
IoT	Internet of Things
TB	Tera Byte
AI	Artificial intelligence
THz	Terahertz
Tbps	Terabit per second
VLC	Visible Light Communication
RIS	Reconfigurable Intelligent Surfaces
GHz	Gigahertz
HTML	Hyper Text Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
API	Application Programming Interface
LEO	Low Earth Orbit
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UDP	User Datagram Protocol
ALOHA	Advocates of Linux Open-source Hawaii Association
VPN	Virtual Private Network
QUIC	Quick UDP Internet Connections
SAN	Satellite Access Networks
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access
OMA	Orthogonal Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
3GPP	3rd Generation Partner- ship Project
NR	New Radio

GEO	Geostationary orbit
NMC	Network Management Centre
FSO	Free Space Optical
RF	Radio Frequency
AoA	Angle of Attack
PAT	Port Address Translation
BPP	Binomial Point Process
NGSO	Non-Geostationary Orbit
GSO	Geostationary Orbit
Gbps	Gigabits per second
ML	Machine Learning
VHF	Very High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
PIMTs	Propagation Impairment Mitigation Techniques
FMT	Fade Mitigation Techniques
QoS	Quality of Service
ACM	Association for Computing Machinery
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
PSK	Phase Shift Keying
MEO	Medium Earth Orbit
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
FSPL	Free Space Path Loss
SNR	Signal-to-Noise Ratio
VS Code	Visual Studio Code
JSpOC	Joint Space Operations Center
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
URL	Uniform Resource Locator
TLE	Two Line Element
JSON	JavaScript Object Notation
ISS	International Space Station

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή, που οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν ξεπεράσει κάθε προηγούμενο, η δορυφορική επικοινωνία έχει αναδειχθεί σε ζωτικό παράγοντα για τη σύνδεση της παγκόσμιας κοινότητας. Ο τρόπος αυτός μετάδοσης δεδομένων, άλλαξε σημαντικά τα δεδομένα στον τρόπο επικοινωνίας των ανθρώπων, στην ανταλλαγή πληροφοριών και στην πρόσβαση σε υπηρεσίες.

Οι δορυφορικές συνδέσεις αποτελούν βασικό πυλώνα της σύγχρονης επικοινωνίας, καθώς επιτρέπουν την ανεμπόδιστη συνδεσιμότητα σε κάθε τοποθεσία, γεφυρώνοντας τεράστιες αποστάσεις και συνδέοντας απομακρυσμένες περιοχές. Ενσωματώνοντας ποικίλες διαδικτυακές εφαρμογές, αυτού του τύπου οι συνδέσεις παρέχουν στους χρήστες αυξημένη προσβασιμότητα και αποτελεσματικότητα [2]. Επιπρόσθετα, ο συνδυασμός των δορυφορικών ζεύξεων με τις εφαρμογές του Διαδικτύου και η αξιοποίηση των ισχυρών σημείων των δύο αυτών τεχνολογιών, έχει ανοίξει τον δρόμο σε ένα πλήθος νέων και καινοτόμων δυνατοτήτων. Είτε πρόκειται για εικονικές συσκέψεις, είτε για μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, είτε για διαμοιρασμό πόρων μέσω cloud κλπ., οι δορυφορικές συνδέσεις σε συνδυασμό με τις διαδικτυακές εφαρμογές έχουν μεταμορφώσει και εμπλουτίσει τη ζωή των ανθρώπων σε όλα τα επίπεδα, αποτελώντας πλέον απαραίτητα εργαλεία στη σύγχρονη κοινωνία [3].

Ωστόσο, θεμέλιο αυτής της σύγχρονης επικοινωνίας αποτελούν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Η λειτουργία των δικτύων κινητής τηλεφωνίας βασίζεται σε μια διαδικασία που περιλαμβάνει τη μετάδοση σημάτων μέσω κεραιών και σταθμών βάσης προς τις κινητές συσκευές και αντίστροφα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ραδιοκυμάτων που επικοινωνούν μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του δικτύου. Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας οδηγεί σε συνεχείς βελτιώσεις των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Για αυτό η μετάβαση από το δίκτυο 0G στο δίκτυο 5G συνιστά μια σημαντική πρόοδο στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας. Ειδικά, οι νέες γενιές, όπως το 5G, υπόσχονται ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες, χαμηλότερη καθυστέρηση και αυξημένη χωρητικότητα, επιτρέποντας την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και εφαρμογών που θα αλλάξουν τον τρόπο επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης [3].

1.2 Γενιές κινητής τηλεφωνίας από το 0G ως το 5G

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας έχουν φέρει επανάσταση σε ποικίλους τομείς, μεταξύ αυτών και στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και της κινητής τηλεφωνίας. Από την αρχική φάση της κινητής επικοινωνίας, το 0G, μέχρι σήμερα, που έχει πλέον καθιερωθεί η τεχνολογία 5G και αναμένεται το επόμενο πρότυπο στην τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών, το 6G, έχουν πολύ σημειωθεί σημαντικές αλλαγές, εξελίσσοντας δραστικά τον συγκεκριμένο τομέα [4] (4.9).

Στη συνέχεια, εξετάζονται αναλυτικά οι γενιές κινητής τηλεφωνίας, από το 0G ως το 5G και

οι αλλαγές που έχουν επιφέρει.



Σχήμα 1.1: Γενιές κινητής τηλεφωνίας [5]

• 0G (Zero Generation)

Η τεχνολογία 0G εισήχθη το 1940-1950. Το 0G είναι το αρχικό στάδιο της κινητής επικοινωνίας και αναφέρεται στην τεχνολογία πριν από την έλευση των κινητών τηλεφώνων, όπως αυτή που χρησιμοποιούνταν στα ραδιοτηλέφωνα ορισμένων αυτοκινήτων. Η κάλυψη της τεχνολογίας αυτής ήταν ιδιαίτερα περιορισμένη, επιτρέποντας μόνο μια στοιχειώδη φωνητική επικοινωνία [6].

• 1G (Πρώτη Γενιά)

Το 1G είναι η πρώτη γενιά κινητής τηλεφωνίας, που εισήχθη το 1980, σηματοδοτώντας την έλευση της ουσιαστικής κινητής επικοινωνίας. Η τεχνολογία αυτή ήταν βασισμένη απόλυτα στο αναλογικό σήμα και ήταν εστιασμένη στη φωνητική μετάδοση. Παρείχε τη δυνατότητα φωνητικών κλήσεων με χαμηλή ποιότητα και περιορισμένη κάλυψη, που απαιτούσε τη χρήση μεγάλων συσκευών κινητών τηλεφώνων. Επίσης, η ασφάλεια των κλήσεων ήταν χαμηλή, λόγω της αναπαραγωγής τους σε πύργους ραδιοφώνου που τις καθιστούσαν ευάλωτες σε πιθανές υποκλοπές [7]. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1), παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά της πρώτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας.

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Τεχνολογία	Αναλογική
Εύρος ζώνης	Αναλογική τηλεπικοινωνία (30KHz)
Συχνότητα	150MHz / 900MHz
Χωρητικότητα (ρυθμός δεδομένων)	2kbps
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> — Κακή ποιότητα κλήσεων — Έλλειψη ασφάλειας κλήσεων — Χαμηλή χωρητικότητα — Περιορισμένη κάλυψη — Χρήση ογκωδών συσκευών κινητών τηλεφώνων

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά 1G (Πρώτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας)

• 2G (Δεύτερη Γενιά)

Την δεκαετία του 1990, κυκλοφόρησε η δεύτερη γενιά κινητής τηλεφωνίας (2G), φέρνοντας ένα σύνολο σημαντικών βελτιώσεων. Η αναλογική τεχνολογία αντικαταστάθηκε από την ψηφιακή, με αποτέλεσμα να βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα φωνής κατά τη διάρκεια των κλήσεων. Με τη γενιά αυτή, εισήχθησαν τα δίκτυα με κυψελοειδή μορφή (GSM - Global System for Mobile Communications). Πρόκειται για μια τεχνολογία που παρέχει τη δυνατότητα κρυπτογράφησης για αυξημένη ασφάλεια, καθώς και αποστολής σύντομων γραπτών μηνυμάτων κειμένου (SMS - Short Message Service) και εικονομηνυμάτων (MMS - Multimedia Messaging Service). Επιπλέον, τα κυψελοειδή δίκτυα οδήγησαν στην αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος και της ποιότητας της επικοινωνίας [4]. Στον Πίνακα 2, συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά της δεύτερης γενιάς κινητής τηλεφωνίας.

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Τεχνολογία	Ψηφιακή, GSM
Εύρος ζώνης	900 MHz (25 MHz)
Συχνότητα	1,8 GHz (900 MHz)
Χωρητικότητα (ρυθμός δεδομένων)	64kbps
Πρόσθετα στοιχεία	Αποστολή γραπτών μηνυμάτων (SMS) και εικονομηνυμάτων (MMS)

Πίνακας 1.2: Χαρακτηριστικά 2G (Δεύτερη Γενιά κινητής τηλεφωνίας)

Ένα ενδιάμεσο στάδιο, πριν από την έλευση της τρίτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας, ήταν τα στάδια 2.5G και 2.75G, κατά τα οποία η ταχύτητα των δεδομένων βελτιώθηκε αισθητά και άνοιξε ο δρόμος για πιο προηγμένες εφαρμογές. Στο στάδιο 2.5G εισήχθη το τεχνολογικό πρότυπο GPRS (General Packet Radio Service). Το GPRS παρέχει τη δυνατότητα ταχείας λήψης και αποστολής δεδομένων, με την χρήση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας 2G. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπηρεσίες επικοινωνίας μέσω Διαδικτύου (π.χ. πρόσβαση και περιήγηση στο Διαδίκτυο, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο). Η χρέωση της μεταφοράς δεδομένων GPRS γίνεται με βάση τα megabytes και της παραδοσιακής επικοινωνίας δεδομένων, ανά λεπτό σύνδεσης [4]. Τέλος, έκαναν την εμφάνισή τους τα πρώτα παιχνίδια για κινητά τηλέφωνα.

Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά των δικτύων 2,5G και 2,75G είναι:

- Τεχνολογία GPRS
- Email
- Περιήγηση στο διαδίκτυο
- **3G (Τρίτη Γενιά)**

Στις αρχές της νέας χιλιετίας, κυκλοφόρησε η τρίτη γενιά κινητών (3G), σηματοδοτώντας ένα σημείο καμπής για τα δεδομένα κινητής τηλεφωνίας. Πρόκειται για τα νέα κινητά τηλέφωνα πολυμέσων ή αλλιώς τα πρώτα «έξυπνα» τηλέφωνα. Το εύρος ζώνης και η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι πλέον πολύ μεγαλύτερη, επιτρέποντας την ταχύτερη σύνδεση των κινητών

συσκευών στο Διαδίκτυο και τη χρήση εφαρμογών Ιστού και υπηρεσιών πολυμέσων (βιντεοκλήσεις κλπ.).

Η γενιά αυτή ενσωματώνει τρεις τύπους τεχνολογίας: α) CDMA , β) UMTS , γ) EDGE. Το CDMA 2000 είναι ένα πρότυπο 3G τεχνολογίας, για την αποστολή φωνής και δεδομένων και σημάτων μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και των τοποθεσιών κινητής τηλεφωνίας. Το πρότυπο WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) (UMTS) και το EDGE επιτρέπουν την αποστολή και λήψη μηνυμάτων και email, την ταυτόχρονη πραγματοποίηση κλήσεων και τη μετάδοση δεδομένων, την περιήγηση στο διαδίκτυο, παρέχοντας πλήρη ασύρματη κάλυψη και υψηλή ταχύτητα δεδομένων [8]. Τα βασικά χαρακτηριστικά του 3G παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3).

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Τεχνολογία	CDMA, UMTS, EDGE
Εύρος ζώνης	100 MHz
Συχνότητα	1,6 – 2,0 GHz
Χωρητικότητα (ρυθμός δεδομένων)	144kbps – 2Mbps
Πρόσθετα στοιχεία	Αποστολή γραπτών μηνυμάτων (SMS) και εικονομηνυμάτων (MMS)
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> — Αυξημένη ταχύτητα — Γρήγορη επικοινωνία — Ψηφιακή ευρυζωνικότητα — Βιντεοκλήσεις — Multigaming

Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά 3G (Τρίτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας))

Το CDMA είναι ένα σύστημα ευρέος φάσματος άμεσης ακολουθίας. Λειτουργεί απευθείας σε ψηφιακά σήματα 64 bit/sec. Αυτά τα σήματα μπορούν να είναι ψηφιοποιημένα φωνητικά κανάλια ISDN. Στο CDMA κάθε συνομιλία διαμορφώνεται στον ψηφιακό τομέα, με έναν μοναδικό κωδικό (ψευδοθόρυβος κωδικός) που την κάνει να διακρίνεται από τις άλλες κλήσεις στο φάσμα συχνοτήτων. Χρησιμοποιώντας έναν υπολογισμό συσχέτισης, η κωδικοποίηση με ψηφιακό σήμα ήχου μπορεί να εξαχθεί από το άλλο σήμα που μεταδίδεται από άλλα τηλέφωνα στο δίκτυο. Εφόσον υπάρχει επαρκής διαχωρισμός μεταξύ των κωδικών, το επίπεδο θορύβου θα είναι αρκετά χαμηλό για την ανάκτηση του ψηφιακού σήματος. Το γεγονός ότι το CDMA μοιράζεται τη συχνότητα με τον γειτονικό πύργο κελύφους επιτρέπει την εύκολη εγκατάσταση επιπλέον χωρητικότητας προσθέτοντας επιπλέον τοποθεσίες κυψελών και συρρικνώνοντας το επίπεδο ισχύος των κοντινών τοποθεσιών [9].

Το Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) είναι μια από τις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (3G). Το W-CDMA είναι η τεχνολογία πίσω από το UMTS που είναι μια διεπαφή αέρα κινητής τηλεφωνίας 3G ευρυζωνικού φάσματος που χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα. Το UMTS διαχειρίζεται ένα μικτό εύρος κίνησης, χρησιμοποιώντας μια διάταξη μεικτής κυψέλης, η οποία αποτελείται από μακρο-κελιά που επικαλύπτονται πάνω από μικρο-κελιά και pico-κελιά [10]. Επίσης, το Enhanced Data Rates για το δίκτυο GSM Evolution (EDGE) έγινε πιο γνωστό το 2003 προσφέροντα υψηλότερες ταχύτητες για την εποχή. Η μέγιστη ταχύτητά του είναι 217 kilobits το δευτερόλεπτο.

Η τεχνολογία 3G στα κινητά τηλέφωνα είχε σχεδιαστεί με συγκεκριμένες παραμέτρους στο εύρος ζώνης, τη συχνότητα και τη χωρητικότητα, οι οποίες προσφέρουν τις κατάλληλες συνθήκες για αποτελεσματική επικοινωνία και μεταφορά δεδομένων μέσω του δικτύου, το εύρος ζώνης στα 3G κινητά τηλέφωνα είναι 100 MHz, προσφέροντας αρκετό εύρος για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ του τηλεφώνου και του δικτύου, ενώ επέτρεπε τη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων. Επίσης, η συχνότητα στα 1,6 – 2,0 GHz είναι επιλεγμένη για να εξασφαλίζει αποδοτική μετάδοση σήματος, μειώνοντας τις παρεμβολές και εξασφαλίζοντας σταθερή επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ η χωρητικότητα του 3G δικτύου κυμαίνεται από 144kpbs έως 2Mbps. Αυτή η ευρεία χωρητικότητα επιτρέπει στα τηλέφωνα να μεταφέρουν δεδομένα με διάφορες ταχύτητες, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής ή της υπηρεσίας που χρησιμοποιείται [8].

• 4G (Τέταρτη Γενιά)

Η τέταρτη γενιά τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας (4G) κυκλοφόρησε στα τέλη του 2000, εξελίσσοντάς τις δυνατότητες και τις ταχύτητες των δεδομένων. Οι δυνατότητες που παρείχε ήταν όμοιες με εκείνες της 3G γενιάς, με κάποιες επιπρόσθετες, όπως νέες υπηρεσίες ψυχαγωγίας, MMS, ψηφιακή τηλεόραση, τηλεδιάσκεψη. Κύριο συστατικό του 4G ήταν η ανάπτυξη της τεχνολογίας LTE(Long-Term Evolution), ως εξέλιξη των προηγούμενων προτύπων GSM και UMTS. Το LTE ενίσχυσε την αποτελεσματικότητα του δικτύου και τη συνολική εμπειρία χρήστη, αυξάνοντας την ταχύτητα και τη χωρητικότητα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας [11]. Παρακάτω, ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα κύρια γνωρίσματα της τέταρτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας.

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Τεχνολογία	LTE
Εύρος ζώνης	100 MHz
Συχνότητα	2 – 8 GHz
Χωρητικότητα (ρυθμός δεδομένων)	100Mbps – 1Gbps
Πρόσθετα στοιχεία	—Υψηλή ταχύτητα — Υψηλή ασφάλεια — Μεγαλύτερη χρήση μπαταρίας τηλεφώνου

Πίνακας 1.4: Χαρακτηριστικά 4G (Τέταρτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας).

• 5G (Πέμπτη Γενιά)

Το 5G αποτελεί το τελευταίο ορόσημο της τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας. Η κυκλοφορία του ξεκίνησε το 2019, παρέχοντας αξιοσημείωτες βελτιώσεις στην χωρητικότητα, την ταχύτητα δεδομένων και τη συνδεσιμότητα. Το πρότυπο 5G σχεδιάστηκε με στόχο την ικανοποίηση των αναγκών και την παροχή των καλύτερων δυνατών υπηρεσιών στους χρήστες. [10].

Το WLAN (ασύρματο LAN), παρέχει πρόσβαση στο internet στο εσωτερικό κτιρίων (π.χ. οικιακά δίκτυα, δίκτυο γραφείου), συνδέοντας ένα ρούτερ (με καλώδιο ή οπτική ίνα) με τον τοπικό πάροχο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας. Το WMAN υποστηρίζει ασύρματα δίκτυα σε μεγάλες περιοχές, παρέχοντας πρόσβαση των χρηστών στο διαδίκτυο εκτός κτιρίου. Το WPAN αφορά ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής, καλύπτοντας μια πολύ συγκεκριμένη και περιορισμένη περιοχή (συνήθως μέχρι 100 μέτρα). Χρησιμοποιεί πρωτόκολλα Bluetooth και Zigbee για την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ συσκευών. Τα πρωτόκολλα αυτά, επιτρέπουν την πραγματοποίηση κλήσεων hands-free, τη σύνδεση του κινητού με ακουστικά και τη μετάδοση σημάτων ανάμεσα σε διάφορες «έξυπνες» συσκευές [12]. Ο Πίνακας 5, συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά του 5G.

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Τεχνολογία	WLAN, WMAN, WPAN
Εύρος ζώνης	100 MHz
Συχνότητα	2 – 8 GHz
Χωρητικότητα (ρυθμός δεδομένων)	1Gbps - Απεριόριστο
Πρόσθετα στοιχεία	<ul style="list-style-type: none"> — Υψηλή ταχύτητα και χωρητικότητα — Ταχύτερη μετάδοση δεδομένων — Αυξανόμενη εμβέλεια — Διαδραστικά πολυμέσα — Ροή υψηλής ευκρίνειας

Πίνακας 1.5: Χαρακτηριστικά 5G (Πέμπτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας))

1.3 6η γενιά κινητής τηλεφωνίας

1.3.1 Κριτήρια ποιότητας

Η 6η γενιά κινητής τηλεφωνίας (6G) αποτελεί τον διάδοχο του 5G και αναπτύσσεται επί του παρόντος. Δεδομένου ότι δεν έχει ακόμα οριστικοποιηθεί, δεν είναι γνωστή η ακριβής του λειτουργία. Ωστόσο, βάσει των προηγούμενων γενιών κινητής τηλεφωνίας, το 6G αναμένεται να διαθέτει τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά.

Κατ' αρχήν, η λειτουργία του 6G είναι βασισμένη στη χρήση του ελεύθερου φάσματος. Το 6G είναι εστιασμένο στο να μεταδίδει δεδομένα σε ιδιαίτερα υψηλές συχνότητες. Ενώ οι συχνότητες που υποστηρίζονται από το 5G φτάνουν θεωρητικά μέχρι τα 100GHz, δε είναι μέχρι στιγμής δυνατή η χρήση συχνοτήτων πάνω από τα 39GHz. Για την έκτη γενιά κινητής τεχνολογίας, επιδιώκεται να καταστεί δυνατή η μεταφορά δεδομένων σε κύματα εκατοντάδων GHz ή ακόμα και THz (terahertz), αξιοποιώντας ένα πολύ μεγάλο τμήμα αχρησιμοποίητου φάσματος που θα αυξήσει εκπληκτικά την ταχύτητα με την οποία μεταφέρονται τα δεδομένα [13].

Συγχρόνως με την αξιοποίηση του ελεύθερου φάσματος, αναμένεται να βελτιωθεί και η αποτελεσματικότητά του. Με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες, είναι δυνατή η ταυτόχρονη μεταφορά και λήψη δεδομένων γίνεται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα. Προκειμένου η επικοινωνία να είναι αμφίδρομη, είναι απαραίτητη η διαίρεση των ροών από τους χρήστες, είτε σύμφωνα με τη συχνότητα (FDD - Frequency Division Duplex) είτε ορίζοντας χρονικές περιόδους (TDD - Time Division Duplex). Με την τεχνολογία 6G, η αποτελεσματικότητα της τρέχουσας παροχής φάσματος μπορεί να ενισχυθεί, επιτρέποντας τη μετάδοση και λήψη στην ίδια συχνότητα ταυτόχρονα [12].

Ακόμα ένα βασικό κριτήριο ποιότητας των δικτύων 6G είναι η δικτύωση πλέγματος, κάνοντας έτσι το επόμενο βήμα στα ασύρματα δίκτυα. Τα δίκτυα πλέγματος επιτρέπουν σε διάφορες συσκευές να συνδεθούν με ποικίλες διασυνδέσεις, παρέχοντας σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως αυξημένη κάλυψη κ.ά. Κάθε κόμβος μπορεί όχι μόνο να λαμβάνει και να μεταδίδει δεδομένα, αλλά και να συνεργάζεται με άλλους κόμβους για τη διάδοση δεδομένων στο δίκτυο. Πρόκειται για ένα ζήτημα που απασχολεί τους ειδικούς τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς τα δίκτυα 5G εί-

να βασισμένα κυρίως σε μια αρχιτεκτονική «hub-and-spoke». Επιπλέον, το 6G βασίζεται στην επιλεκτική χρήση διαφορετικών συχνοτήτων προκειμένου να προσαρμοστούν καταλλήλως τα μήκη κύματος και να αξιολογηθεί η απορρόφηση [14].

Η τεχνολογία 6G αναμένεται να παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στην ασύρματη επικοινωνία. Αρχικά, το 6G θα αποτελεί εξέλιξη των δυνατοτήτων που παρέχουν οι εφαρμογές 5G, βελτιώνοντας σημαντικά την απόδοσή τους και επιτρέποντας την υιοθέτηση καινοτόμων εφαρμογών. Χρησιμοποιώντας πολλαπλή πρόσβαση με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας (OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiple Access), τα σημεία πρόσβασης 6G θα μπορούν να εξυπηρετούν πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Αυξημένες αναμένεται να είναι και οι διασφαλίσεις των δικτύων 6G έναντι των διαφόρων απειλών (π.χ. κυβερνοεπιθέσεις κ.α.), εφαρμόζοντας ισχυρές λύσεις ασφάλειας [14].

Επιπρόσθετα, η τεχνολογία 6G πρόκειται να οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνολογιών ασύρματης ανίχνευσης. Οι συχνότητες των δικτύων 6G θα μπορούν να επιτρέψουν πολύ ταχύτερους ρυθμούς δειγματοληψίας από το 5G. Ο ρυθμός δειγματοληψίας αφορά τον αριθμό των δειγμάτων που λαμβάνονται από ένα συνεχές σήμα ανά για τον σχηματισμό ενός ψηφιακού σήματος. Ακόμη, οι ταχύτητες και η απόδοση των δεδομένων πρόκειται να είναι σημαντικά αυξημένες, ενώ η αξιοποίηση κυμάτων μικρότερων του ενός χιλιοστού και η επιλεκτικότητα συχνότητας, θα συμβάλλουν στην επιτάχυνση της εξέλιξης των τεχνολογιών ασύρματης ανίχνευσης. Το δίκτυο θα μπορεί να λειτουργεί ως αποθήκη δεδομένων κατάστασης, καθώς θα συγκεντρώνει σήματα που ανακλώνται από αντικείμενα και θα ανιχνεύει ιδιότητές τους, όπως τον τύπο, τη σχετική θέση, την ταχύτητα κ.ά. [15]. Με τον τρόπο αυτό ανίχνευσης, μπορεί να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό αντίστοιχο του πραγματικού περιβάλλοντος.

Συγχρόνως, τα οφέλη του 6G στην κοινωνία συνολικά, αναμένεται να είναι σημαντικά, καθώς θα δώσει μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη νέων τεχνολογικών καινοτομιών, που θα είναι απαραίτητες για την υποστήριξη του νέου αυτού δικτύου. Για παράδειγμα, θα καταστεί αναγκαία η ανάπτυξη των κέντρα δεδομένων, καθώς η παραγωγή δεδομένων θα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη, σε σύγκριση με τα δίκτυα 5G. Επίσης, καθώς η εξάρτηση από το λογισμικό θα είναι μειωμένη, αναμένεται η τεχνολογία 6G να συμβάλλει στην εξοικονόμηση κόστους. Η εικονοποίηση ενός αριθμού πρόσθετων στοιχείων του 6G (π.χ. έλεγχος προσπέλασης στο μέσο – MAC), δεν θα καθιστά αναγκαία πλέον την ανάπτυξη εξειδικευμένου υλικού δικτύου μειώνοντας έτσι το κόστος του εξοπλισμού δικτύωσης [14]. Συνεπώς, μια εξαιρετικά πυκνή ανάπτυξη 6G θα γίνει οικονομικά εφικτή.

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα των δικτύων 6G, θα είναι η μεγάλη διεύρυνση της περιοχής κάλυψης, με αποτέλεσμα να μειωθεί ο αριθμός ή το μέγεθος των πύργων που απαιτούνται. Παράλληλα, θα μειωθούν οι παρεμβολές μεταξύ των συσκευών και θα βελτιωθεί η εξυπηρέτηση των χρηστών. Η βελτιστοποίηση της χρήσης του δικτύου 6G σε εσωτερικούς χώρους, είναι επίσης ένα θετικό στοιχείο της νέας τεχνολογίας. Η χρήση femtocell (μικρός κυψελοειδής σταθμός βάσης χαμηλής κατανάλωσης σχεδιασμένος για οικιακή χρήση ή για μικρές επιχειρήσεις) και συστημάτων κατανομής κεραιών (DAS - Distributed Antenna System), πρόκειται να υπερπηδήσει τα εμπόδια των κυψελοειδών δίκτυα [15], τα οποία δεν καλύπτουν σωστά και

επαρκώς τους εσωτερικούς χώρους.

Συνολικά, η τεχνολογία έκτης γενιάς των δικτύων κινητής τηλεφωνίας αναμένεται να συμβάλει στην καθιέρωση νέων προτύπων, ανταποκρινόμενη στις απαιτήσεις απόδοσης που προκύπτουν από την υπάρχουσα γενιά (5G), στην ανάγκη για ένα πιο «έξυπνο» δίκτυο με μεγαλύτερη ταχύτητα και χαμηλότερη καθυστέρηση, υποστηρίζοντας μεγαλύτερο αριθμό συνδεδεμένων εφαρμογών [16]. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6), παρουσιάζονται συγκριτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων 5G και 6G.

Χαρακτηριστικό	5G	6G
Ρυθμός δεδομένων UL	10 Gbps	1 Tbps
Ρυθμός δεδομένων DL	20 Gbps	1-10 Tbps
Ρυθμός λανθάνοντος χρόνου	1 ms	< 0,1 ms
Φασματική απόδοση (SE)	30 Bps	100 Bps
Επικοινωνία ορατού φωτός (VLC)	Όχι	Ναι
Διάχυτη τεχνητή νοημοσύνη (AI)	Όχι	Ναι
Buffering σε πραγματικό χρόνο	Μη διαθέσιμο	Διαθέσιμο
Επικοινωνία THz	Όχι	Ναι
Δορυφορική ενσωμάτωση	Όχι	Ναι
Έξυπνες ανακλαστικές επιφάνειες (IRS)	Θεωρητικά	Ναι
Ομοιόμορφη εμπειρία χρήστη	50 Mbps	10 Gbps

Πίνακας 1.6: Σύγκριση Βασικών Χαρακτηριστικών δικτύου 5G και 6G
 Πηγή: Προσαρμογή από Liu et al., 2020

1.3.2 Τεχνολογίες κλειδιά και ανοικτά προβλήματα

Είναι αδιαμφισβήτητο πως το δίκτυο 6G θα είναι σε μεγάλο βαθμό καλύτερο από το 5G, καλύπτοντας τις απαιτήσεις των σύγχρονων χρηστών. Όμως, προκειμένου να είναι εφικτή η επίτευξη των προσδοκιών σε σχέση με την τεχνολογία 6G, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ορισμένων τεχνολογιών κλειδιών, που θα συμβάλλουν στη βελτίωση του συστήματος [16]. Στη συνέχεια, αναλύονται αυτές οι τομείς που θα χρειαστεί να αναπτυχθούν τεχνολογίες-κλειδιά.

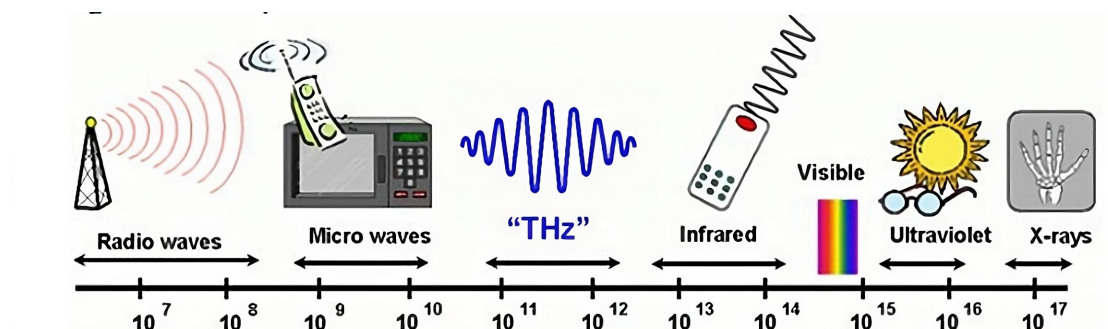
- Τεχνητή νοημοσύνη

Ένας βασικός λόγος που οδηγεί στην ανάπτυξη της τεχνολογίας επικοινωνίας 6ης γενιάς, είναι η εικονική πραγματικότητα και η τεχνητή νοημοσύνη. Με την έλευση του Internet of Things (IoT - Internet of Things), η σημαντικότητα των τεχνολογιών κινητής επικοινωνίας αυξήθηκε κατά πολύ, ούτως ώστε να χρησιμοποιούνται καλύτερα και πιο αποτελεσματικά οι τεχνολογικές συσκευές. Κάθε τεχνολογία απαιτεί υψηλότερη απόδοση δεδομένων με χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Παρόλο που η λειτουργία του δικτύου 5G προσφέρει υψηλή ταχύτητα λήψης, το νέο δίκτυο 6G θα μπορεί να προσφέρει ακόμη μεγαλύτερη ταχύτητα, φτάνοντας και το 1TB ανά δευτερόλεπτο. Για την πλήρη αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης, χρειάζεται να αναπτυχθούν νέες εφαρμογές μηχανικής νοημοσύνης. Σε επίπεδο δικτύου, η μηχανική μάθηση μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση του συστήματος επικοινωνίας στο 6G, μέσω της ενεργοποίησης στρατηγικών

αυτοοργάνωσης. Παράλληλα, για την ανάπτυξη και την πλήρη αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης δεν θα χρησιμοποιούνται οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι AI, αλλά η συνεργατική τεχνητή νοημοσύνη θα είναι το κλειδί που θα οδηγήσει στο επόμενο βήμα [17].

- **Επικοινωνία Terahertz (THz)**

Το Terahertz είναι μια μονάδα συχνότητας περίπου ενός τρισεκατομμύριου (10^{12}) κύκλων ανά δευτερόλεπτο (10^{12} hertz). Καθώς η τρέχουσα τεχνολογία αποσκοπεί στο να διευκολύνει τη σύνδεση Tbps (Terabit ανά δευτερόλεπτο), η επικοινωνία Terahertz αυξάνεται [18]. Για να δημιουργηθούν κύματα terahertz, χρησιμοποιούνται φωτονικές τεχνολογίες. Στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, τα κύματα Terahertz βρίσκονται ανάμεσα στη ζώνη μικροκυμάτων και στην υπέρυθη ζώνη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.



Σχήμα 1.2: Κύματα Terahertz [16]

Η τεχνολογία Terahertz βοηθά στη μετάδοση πληροφοριών υψηλής ταχύτητας μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών, στη δημιουργία ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN) και δικτύων προσωπικού χώρου (WPAN). Λόγω του περιορισμού της απόστασης μετάδοσης, οι ασύρματες επικοινωνίες THz μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρέως για διάφορες εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους.

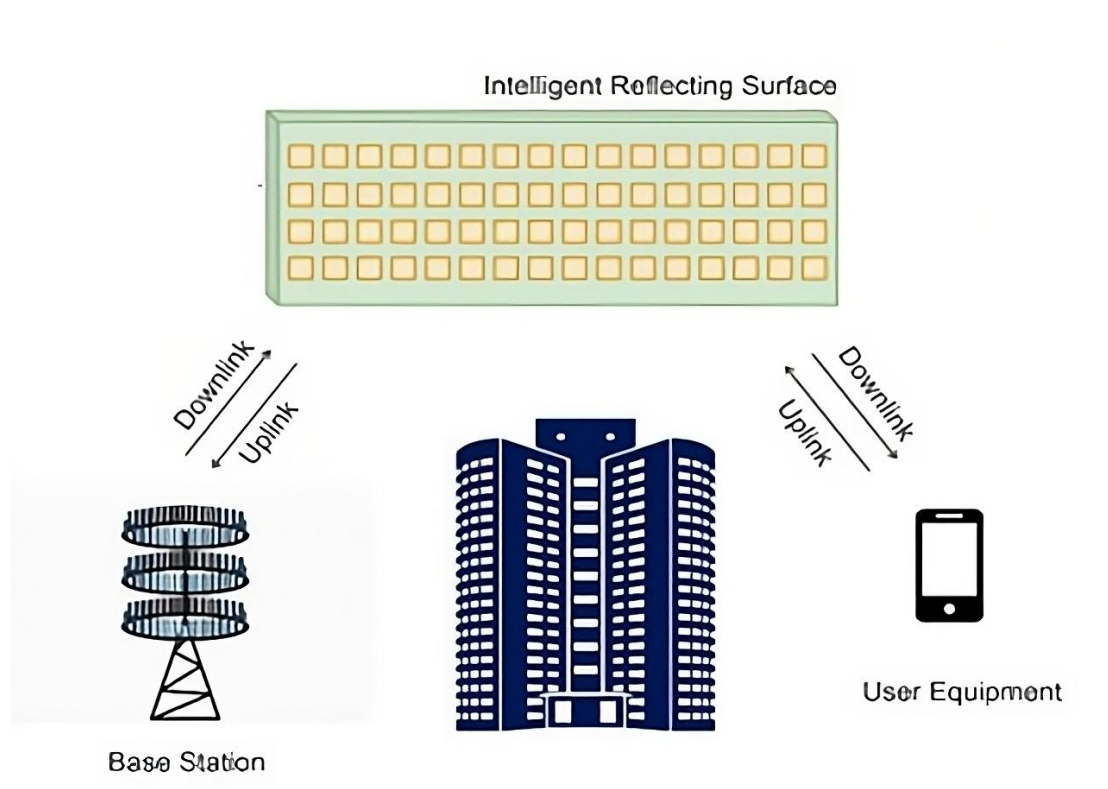
Τα συστήματα terahertz για να αναπτυχθούν, απαιτούν ισχυρή κατανόηση και ακριβή μοντελοποίηση των συνθηκών καναλιού μεταξύ του δέκτη και του πομπού. Για την υλοποίηση των ασύρματων συστημάτων THz, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός τεχνολογιών, όπως διαμορφωτές THz, μοντέλο καναλιών THz, διαμόρφωση και παρακολούθηση δέσμης THz κ.ά. Η μελέτη και έρευνα για τις επικοινωνίες Terahertz (THz), αναδεικνύει ένα σύνολο τεχνικών προκλήσεων για την εφαρμογή τους. Παρόλο που το εύρος ζώνης των επικοινωνιών THz είναι τεράστιο, μπορεί να υποστεί υποβάθμιση εξαιτίας υψηλών ατμοσφαιρικών απωλειών. Επίσης, στη ζώνη THz, οι κεραίες είναι ιδιαίτερα μικρές και για αυτό απαιτείται η χρήση κατευθυντικών κεραιών υψηλής απολαβής [19].

- **Επικοινωνία μέσω του ορατού φως (VLC - Visible Light Communication)**

Ένα σημαντικό στοιχείο που μπορεί να αξιοποιηθεί στην τεχνολογία 6ης γενιάς είναι η επικοινωνία με ορατό φως (VLC). Μέσα στην ερχόμενη δεκαετία, η εξέλιξη και πρόοδος του VLC θα

μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα που υπάρχει στην απόδοση της τεχνολογίας VLC και 5G, φτάνοντας Tbps. Η χρήση του ορατού φάσματος για επικοινωνία μπορεί να είναι μια εναλλακτική στρατηγική των μελλοντικών δικτύων 6G, με την ύπαρξη μιας εξόδου που μοιάζει με οπτική ίνα.

Η επικοινωνία μέσω του ορατού φωτός γίνεται με την ασύρματη αποστολή των δεδομένων μέσω του αέρα, με διαμόρφωση κυμάτων φωτός από το ορατό φάσμα, με εύρος μήκους κύματος από 380nm έως 750nm [20]. Ένα βασικό πλεονέκτημα του VLC είναι η παροχή ενός επιπλέον φάσματος εύρους ζώνης περίπου 300 THz, το οποίο είναι πολύ μεγαλύτερο από τα παραδοσιακά δίκτυα πρόσβασης που βασίζονται σε ραδιοσυχνότητες. Γενικά, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του VLC (υψηλό εύρος ζώνης, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας κ.ά.) το καθιστούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία [21].



Σχήμα 1.3: Επικοινωνίες με χρήση Έξυπνης Ανακλαστικής Επιφάνειας (IRS) [16]

Παρά τα πλεονεκτήματα του δικτύου 6G, υπάρχουν αρκετές τεχνολογικές προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ορισμένες από αυτές, αναφέρονται ακολούθως.

- Έξυπνες επαναδιαμορφώσιμες επιφάνειες (RIS)

Η τεχνολογία RIS αποτελείται από μεγάλο αριθμό ανακλαστικών στοιχείων υπομήκους κύματος. Κάθε ανακλαστικό στοιχείο συνδέεται με ένα ρυθμιζόμενο τσιπ για αλλαγή της σύνθετης αντίστασης φορτίου του (π.χ. δίοδος PIN). Θεωρείται μια ιδιαίτερα αποδοτική ενεργειακά τεχνολογία για το σύστημα επικοινωνίας 6G, καθώς τα ανακλαστικά στοιχεία καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και είναι χαμηλού κόστους [22]. Στα μελλοντικά δίκτυα 6G, η τεχνολογία RIS

πρόκειται να διαδραματίσει πολύ σημαντικό ρόλο και να ικανοποιήσει τη διαφορετική ποιότητα των υπηρεσιών. Η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3) δείχνει επικοινωνίες με χρήση Έξυπνης Ανακλαστικής Επιφάνειας (RIS).

- **Συχνότητες Terahertz (THz)**

Στη γενιά 6G αναμένεται να χρησιμοποιηθούν συχνότητες THz. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των υψηλών ρυθμών δεδομένων με αυξημένο εύρος ζώνης, θα χρειαστεί να είναι ελεύθερες πολλές ζώνες terahertz. Το φάσμα που χρησιμοποιείται στο 5G δεν ξεπερνά τα 140 GHz. Όμως, με βάση τα παραπάνω δεδομένα, το φάσμα που θα χρησιμοποιηθεί στο 6G θα ξεπερνά 140 GHz. Κάτι τέτοιο δημιουργεί αρκετές τεχνολογικές προκλήσεις, όπως για παράδειγμα την ανάγκη προσαρμογής του μεγέθους των κεραιών, του εύρους επικοινωνίας κλπ. Ακόμη, δεδομένου ότι η διάδοση των sub-mmWave (THz) επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες είναι ασταθείς, είναι αρκετά περίπλοκη διαδικασία μοντελοποίησης καναλιών στη ζώνη αυτή [23].

Οι τεχνολογίες κλειδιά ενσωματώνονται στα integrated terrestrial non-terrestrial δίκτυα, για να διασφαλίσουν τη συμβατότητα, την ασφάλεια και την αποτελεσματική λειτουργία τους. Τα δίκτυα αυτά είναι σχεδιασμένα να εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα τόσο των γήινων όσο και των δορυφορικών δικτύων επικοινωνιών. Οι γήινες υποδομές προσφέρουν υψηλή ταχύτητα και χαμηλή καθυστέρηση, ενώ οι δορυφορικές συνδέσεις, μπορούν να προσφέρουν ευρεία κάλυψη και ανεξαρτησία από την τοποθεσία. Η ολοκλήρωση αυτών των δύο τύπων υποδομών επιτρέπει την ανάπτυξη προηγμένων υπηρεσιών επικοινωνιών που μπορούν να προσαρμοστούν σε διάφορες ανάγκες και συνθήκες. Επίσης, μπορούν να βελτιώσουν την αξιοπιστία και την απόδοση των επικοινωνιακών συστημάτων σε διαφορετικούς τομείς όπως η τηλεπικοινωνία, η ασφάλεια και η επιχειρησιακή επικοινωνία. Οι υψηλές συχνότητες είναι ιδιαίτερα αναγκαίες για αυτά τα δίκτυα, γιατί παρέχουν ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων, οδηγώντας σε μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου και αύξηση της δυνατότητας μετάδοσης δεδομένων. Επίσης, επιτρέπουν τη μείωση της καθυστέρησης στη μετάδοση δεδομένων, προσφέροντας υψηλή απόκριση και απόδοση στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Η εφαρμογή που αναπτύσσεται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας επιτρέπει την εύρεση αυτών των δεδομένων σε σχέση με τις δορυφορικές ζεύξεις. Επομένως, η σημασία της συγκεκριμένης εργασίας έγκειται στο γεγονός ότι διευκολύνει τον εντοπισμό των διάφορων χαρακτηριστικών των δορυφορικών ζεύξεων μέσω μιας διαδικτυακής εφαρμογής που είναι ευέλικτη να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις που προκύπτουν.

1.4 Δομή πτυχιακής και μεθοδολογία

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και ανάλυση των δορυφορικών ζεύξεων με χρήση διαδικτυακής εφαρμογής. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Σχεδίαση και Προγραμματισμός: Η εφαρμογή σχεδιάστηκε με την χρήση HTML, CSS

και JavaScript, προσφέροντας μια διαδραστική διεπαφή για τους χρήστες. Το JavaScript χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία δυναμικών στοιχείων διεπαφής και την εκτέλεση υπολογισμών παραμέτρων.

2. Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων: Επιχειρήθηκε η ενσωμάτωση του API της Space-Track.org για την ανάκτηση πραγματικών δεδομένων δορυφόρων. Λόγω τεχνικών προβλημάτων, η εφαρμογή αντ' αυτού ενσωμάτωσε δυναμικούς υπολογισμούς βασισμένους σε προκαθορισμένες παραμέτρους.
3. Διαδραστικά Στοιχεία Διεπαφής: Αναπτύχθηκαν διαδραστικά στοιχεία, όπως κουμπιά για την εμφάνιση επεξηγηματικών πληροφοριών για κάθε παράμετρο, ενισχύοντας την εκπαιδευτική αξία της εφαρμογής.
4. Ανάπτυξη και Δοκιμή: Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε φάσεις, με διαδοχικές δοκιμές και βελτιώσεις. Αυτό περιελάμβανε την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας των υπολογισμών, της διεπαφής χρήστη και της δυνατότητας επέκτασης της εφαρμογής.
5. Αξιολόγηση και Προτάσεις Βελτίωσης: Μετά την ανάπτυξη, η εφαρμογή αξιολογήθηκε σε όρους διεπαφής, λειτουργικότητας και εκπαιδευτικής αξίας. Προτάσεις για βελτιώσεις περιλαμβάνουν την επίλυση των τεχνικών προβλημάτων για την ενσωμάτωση του API και την προσθήκη περισσότερων διαδραστικών και οπτικών στοιχείων.

Η συνολική μεθοδολογία ακολούθησε μια ισορροπημένη προσέγγιση μεταξύ τεχνικής ανάπτυξης, χρηστικής λειτουργικότητας και εκπαιδευτικής αξίας, προσδιορίζοντας τις βάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις.

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή στο υπό διαπραγμάτευση θέμα. Εξετάζονται οι γενιές κινητής τηλεφωνίας από το 0G έως το 5G, καθώς και η αναπτυσσόμενη 6η γενιά. Ειδικότερα, αναλύονται τα κριτήρια ποιότητας, οι τεχνολογίες κλειδιά και τα ανοικτά προβλήματα σε σχέση με την 6η γενιά κινητής τηλεφωνίας.

Επιπλέον, στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή της εργασίας και η μεθοδολογία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται βιβλιογραφική έρευνα σε σχέση με τις δορυφορικές ζεύξεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι δορυφορικές ζεύξεις. Εξετάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν μια δορυφορική ζεύξη και παρουσιάζονται μοντέλα προϋπολογισμού ισχύος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται και αναλύεται ένα online εργαλείο εκπαίδευσης.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το πέμπτο κεφάλαιο, όπου παρατίθενται τα συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.

1.5 Επίλογος

Συμπερασματικά, η ενοποίηση των δορυφορικών συνδέσεων με διαδικτυακές εφαρμογές έχει εγκαινιάσει μια νέα εποχή παγκόσμιας συνδεσιμότητας και επικοινωνίας. Αυτός ο δυναμικός συνδυασμός έχει ξεπεράσει τα όρια της απόστασης και της προσβασιμότητας, φέρνοντας επανάσταση στον τρόπο επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης των χρηστών. Ο συνδυασμός της δορυφορικής τεχνολογίας και των διαδικτυακών εφαρμογών μπορεί να προσφέρει ποικίλα οφέλη σε πολλούς τομείς, ενώ παράλληλα παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις [2].

Κεφάλαιο 2ο: Βιβλιογραφική έρευνα και προσεγγίσεις

2.1 Εισαγωγή

Οι δορυφορικές ζεύξεις συνιστούν συνδέσεις επικοινωνίας, οι οποίες διαμορφώνονται μέσω της χρήσης τεχνητών δορυφόρων στο διάστημα. Η ανάλυση και σχεδίαση μίας δορυφορικής ζεύξης αποτελεί τη σημαντικότερη επικοινωνιακή λειτουργία ενός δορυφορικού συστήματος [1]. Η δημιουργία τους επιτρέπει τη μετάδοση και τη λήψη σήματος ανάμεσα στους επίγειους σταθμούς, τους δορυφόρους ή τους τερματικούς χρήστες, διευκολύνοντας κατά αυτόν τον τρόπο την επικοινωνία μεταξύ μεγάλων αποστάσεων. Οι δορυφορικές ζεύξεις συνιστούν ένα σημαντικό μέρος των σύγχρονων συστημάτων επικοινωνίας, καθώς παρέχουν ποικίλες εφαρμογές σε διάφορα πεδία, όπως όσον αφορά τη συνδεσιμότητα στον παγκόσμιο ιστό ή ακόμα και τη διαχείριση των καταστροφών. Η διαρκής εξέλιξη αυτού του τομέα συνεπάγεται και τη συνεχή διεξαγωγή ερευνών που σκοπό έχουν να βελτιώσουν την απόδοση της δορυφορικής επικοινωνίας τόσο ως προς την αξιοπιστία όσο και ως προς την αποτελεσματικότητα.

Οι έρευνες που έχουν ως αντικείμενό τους τις δορυφορικές ζεύξεις εστιάζουν σε συγκεκριμένες πτυχές που έχουν σχέση με τη μετάδοση δεδομένων. Σε αυτό το πλαίσιο, διερευνούνται τα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών ζεύξεων, μεταξύ άλλων τη διάδοση σήματος, τις τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων ή την κατανομή του εύρου ζώνης. Επιπλέον, εξετάζονται οι ατμοσφαιρικές συνθήκες καθώς και η γεωγραφική θέση σε συνάρτηση με την αποτελεσματικότητα της δορυφορικής ζεύξης [24].

2.2 Βιβλιογραφική έρευνα

Οι δορυφορικοί σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται στο Διαδίκτυο από τη δεκαετία του 1970. Στα πρώτα στάδια του Διαδικτύου, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές συνδέσεις για τη σύνδεση ενός κόμβου με έναν άλλο. Ονομάστηκε σύνδεση από σημείο σε σημείο. Πολλές τεχνικές επικοινωνίας και τοπολογίες δικτύου έχουν αναπτυχθεί από τότε [25]. Η δορυφορική επικοινωνία βασίζεται σε τεχνητούς δορυφόρους στην τροχιά της Γης για τη μετάδοση σημάτων μεταξύ επίγειων σταθμών και κέντρων ελέγχου. Η ζεύξη επικοινωνίας αποτελείται από μεταδόσεις άνω ζεύξης (εδάφους σε δορυφόρο) και κατερχόμενης ζεύξης (από δορυφόρο σε έδαφος). Οι ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται, όπως η ζώνη C, η ζώνη Ku και η ζώνη Ka, εξαρτώνται από την εφαρμογή και κατανέμονται προσεκτικά για τη βελτίωση της απόδοσης [26]. Διαφορετικοί δορυφόροι μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετικές τοποθεσίες, καθένας από τους οποίους επηρεάζει την κάλυψη και τη σταθερότητα διαφορετικά. Οι γεωστατικές τροχιές παρέχουν συνεχή κάλυψη μιας σταθερής περιοχής, κατάλληλης για εργασίες εκπομπής και επικοινωνιών. Οι δορυφόροι Low Earth Orbit (LEO) προσφέρουν χαμηλή καθυστέρηση, αλλά απαιτούν έναν αστερισμό για να συνεχίσουν να συνδέονται, καθιστώντας τους ιδανικούς για παγκόσμια πρόσβαση στο Διαδίκτυο [27].

Σχετικά με τις δορυφορικές ζεύξεις, ένα από τα βασικά στοιχεία μελέτης είναι οι ατμοσφαι-

ρικές συνθήκες γιατί επηρεάζουν τη λειτουργία αλλά και την αποτελεσματικότητά τους. Προς επεξήγηση αυτού του φαινομένου, η έρευνα των Mandeep & Tanaka [28] εστιάζει σε δορυφορικές ζεύξεις που λειτουργούν σε τροπικά και ισημερινά κλίματα, δείχνοντας πως οι βροχοπτώσεις επηρεάζουν τους ρυθμούς των δεδομένων. Η έρευνα επικεντρώθηκε στους υγρούς μήνες και συνέλεξε μετρήσιμα δεδομένα από τα οποία εξάγονται τα αποτελέσματα που αφορούν το σήμα και τη διαδρομή του. Είναι γνωστό ότι τόσο η άνω όσο και η κάτω ζεύξη πρέπει να επιτύχουν την επίδοση που απαιτείται για ένα καθορισμένο ποσοστό χρόνου ούτως ώστε να μην υπάρξει διακοπή σε περίπτωση βροχής [1].

Επιπλέον, στα πεδία διερεύνησης όσον αφορά τον τομέα των δορυφορικών ζεύξεων ανήκει η βελτιστοποίηση πρωτοκόλλων και τεχνικών επικοινωνίας που στοχεύουν τόσο στη βελτίωση της φασματικής απόδοσης όσο και στους υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω κωδικοποίησης, μέσα από τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης ή και μέσω του μετριασμού των παρεμβολών. Το TCP/IP αποτελεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που θεωρείται θεμελιώδες για τη λειτουργία του διαδικτύου, περιλαμβάνοντας υπηρεσίες που βασίζονται σε δορυφόρους και εφαρμογές τηλεπισκόπησης [29]. Επίσης, το UDP (User Datagram Protocol) αξιοποιείται σε πραγματικό χρόνο για εφαρμογές στις οποίες η χαμηλή καθυστέρηση είναι κρίσιμης σημασίας, ενώ επιτελεί διάφορους σκοπούς στο πλαίσιο της δορυφορικής επικοινωνίας, συμπεριλαμβανόμενης τη δυνατότητα βίντεο και ροής φωνής [30].

Γενικότερα, η ανάπτυξη αλγορίθμων και σύγχρονων τεχνολογιών θα συμβάλλει στη μεγιστοποίηση της χρήσιμου διαθέσιμου εύρους ζώνης και στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας κακής ποιότητας του σήματος. Η τεχνική πρόσβασης επιλεκτικής απόρριψης (ALOHA) προσεγγίζει το θεωρητικό όριο απόδοσης των 0,368 της ασύγχρονης πολλαπλής πρόσβασης, προκαλώντας υποδιαίρεση των μηνυμάτων (subpacketizing) σε ανεξάρτητα λαμβανόμενα υποπακέτα και επαναμετάδοση μόνο εκείνων των υπο-πακέτων, που πραγματικά αντιμετωπίζουν συγκρούσεις στον δίαυλο [1]. Επομένως, η ωφέλιμη απόδοση δεδομένων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του μηνύματος, ενώ ωφέλιμη χωρητικότητα αυτής της εφαρμογής με μεταβλητό μήκος μηνυμάτων είναι συνήθως μεταξύ 0,1 - 0,2. Τα πρωτόκολλα που βασίζονται σε Aloha είναι απλές μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης, οι οποίες δεν προϋποθέτουν συντονισμό. Όμως, χαρακτηρίζονται από άλλες δυσκολίες όπως η χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με άλλες τεχνικές [31].

Τα τελευταία χρόνια το διαδίκτυο κατευθύνεται προς την υιοθέτηση κρυπτογραφημένων πρωτοκόλλων [32]. Τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (VPN - Virtual Private Network) και τα νέα πρωτόκολλα, ειδικά το QUIC(Quick UDP Internet Connections), αποτελούν βασικούς παράγοντες αυτής της αλλαγής, διότι και τα δύο είναι εν μέρει δυσλειτουργικά για την πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω γεωστατικών δορυφόρων. Αυτό συμβαίνει επειδή τα Proxies Enhancing Performance, τα οποία θα μείωναν τις αρνητικές συνέπειες των συνδέσεων υψηλής καθυστέρησης, δεν καθίστανται πλέον εφαρμόσιμα.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Endres et al. [33] η απόδοση του QUIC μέσω γεωστατικών δορυφορικών συνδέσεων είναι προβληματική λόγω της μη εφαρμογής των Διαμεσολαβητών Ενίσχυσης Απόδοσης. Ειδικότερα, όταν παρατηρείται απώλεια πακέτων, η απόδοση του QUIC

είναι ακόμα πιο περιορισμένη γιατί δεν εξαρτάται μόνο από τον διακομιστή αλλά και από την εφαρμογή πελάτη. Ένα άλλο σημαντικό θέμα που τίθεται στο πλαίσιο της έρευνας είναι η ασφάλεια της δορυφορικής ζεύξης διότι σχετίζεται με ευαίσθητα δεδομένα που μεταδίδονται μέσω των καναλιών αυτών. Πρόκειται δηλαδή για διερεύνηση διαδικασιών, όπως ο μηχανισμός ελέγχου ταυτότητας ή τα πρωτόκολλα ανταλλαγής κλειδιών ώστε να μειωθούν οι ενδεχόμενες απειλές στον κυβερνοχώρο και ταυτόχρονα να διασφαλιστεί η εμπιστευτικότητα που συνεπάγεται τις μεταδιδόμενες πληροφορίες. Στο πλαίσιο αυτό η διαθεσιμότητα και η επίδοση σφαλμάτων αποτελούν κριτήρια για τον σχεδιασμό των δορυφορικών ζεύξεων, τα οποία αναφέρονται αφενός στο ποσοστό χρόνου κατά το οποίο το σύστημα είναι λειτουργικό και αφετέρου στον ρυθμό σφαλμάτων για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το σύστημα είναι διαθέσιμο [1].

Η ανάπτυξη ασφαλών δορυφορικών ζεύξεων συνεπάγεται την ανάπτυξη τεχνικών πρόσβασης για ασύρματα συστήματα που θα παρέχουν αξιόπιστες υπηρεσίες. Με πρόσφατες σημαντικές προόδους στους αστερισμούς δορυφόρων εξαιρετικά πυκνής χαμηλής τροχιάς της Γης (LEO - Low Earth Orbit), τα δορυφορικά δίκτυα πρόσβασης (SAN - Satellite Access Networks) έχουν δείξει τη σημαντική τους δυνατότητα να ενσωματωθούν στο 5G και πέραν αυτού για να υποστηρίξουν την πανταχού παρούσα παγκόσμια ασύρματη πρόσβαση. Οι Di et al. [27] προτείνουν μια αρχιτεκτονική δικτύου ενεργοποίησης για πυκνά LEO-SAN στα οποία οι επίγειες και δορυφορικές επικοινωνίες είναι ενσωματωμένες για να προσφέρουν πιο αξιόπιστη και ευέλικτη πρόσβαση. Αυτή η αρχιτεκτονική SAN δύναται να παρέχει υψηλής ταχύτητας ασύρματες συνδέσεις για ασύρματες συσκευές μέσα από τη διαχείριση παρεμβολών και τις τεχνικές διαφοροποίησης [34].

Η αξιόπιστη σύνδεση και πρόσβαση βρίσκεται σε συνάρτηση με τη δορυφορική παράδοση ως κύριο μέρος της δορυφορικής επικοινωνίας που αφορά τη διαδικασία μεταφοράς μιας συνεχούς συνόδου επικοινωνίας από έναν δορυφόρο (ή επίγειο σταθμό) σε έναν άλλο απρόσκοπτα για τη διατήρηση της συνεχούς συνδεσιμότητας [35].

Η μη ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (NOMA - Non-Orthogonal Multiple Access) έχει τη δυνατότητα να παρέχει υψηλότερη απόδοση από τη συμβατική ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (OMA - Orthogonal Multiple Access), η οποία έχει θεωρηθεί ως βασική τεχνολογία για το 5G [36]. Το NOMA είναι ένα σύστημα δορυφορικών επικοινωνιών που διακρίνεται από βελτιωμένη χωρητικότητα αλλά και φασματική απόδοση, ενώ παράλληλα παρέχει πρόσβαση από οποιονδήποτε τόπο και χρόνο. Οι Gao, Liu & Liang [36] δείχνουν ότι ο συνδυασμός NOMA και πολυπλεξίας ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) έχουν ως αποτέλεσμα καλύτερη φασματική απόδοση. Στο παραδοσιακό σχήμα NOMA, η απόφαση σφάλματος διαδικασίας του χρήστη υψηλής ισχύος θα προκαλέσει την επιδείνωση της επακόλουθης απόδοσης ανίχνευσης. Ως εκ τούτου, προτείνεται ένα σχήμα συμμετρικής κωδικοποίησης (SC) για διαφορετικούς τρόπους διαμόρφωσης για χρήστες χαμηλής ισχύος για να έχουν καλύτερη απόδοση.

Καθώς το 5G θεωρείται πλέον μία εδραιωμένη τεχνολογία, η έρευνα των Darwish et al. [37] δείχνει την κάλυψη ευρείας περιοχής που θα παρέχει το LEO SatNets για να στηρίξει την ενσωμάτωση του SatNets και της επίγειας πέμπτης γενιάς (5G) δικτύων εμπλέκοντας δραστηριότητες

3rd Generation Partner- ship Project (3GPP) για το 5G. Πιο ειδικά, το σύστημα αυτό συνεπάγεται την παροχή υπηρεσίας 5G σε μη εξυπηρετούμενες περιοχές που δεν μπορούν να καλυφθούν από επίγεια δίκτυα 5G, όπως είναι οι δυσπρόσιτες περιοχές ή ακόμα και τα μέσα μεταφοράς (αεροπλάνα), την παροχή αποτελεσματικών πόρων πολλαπλής μετάδοσης για παράδοση δεδομένων που θα προσεγγίζουν ακόμη και τον τερματικό χρήστη καθώς και την αναβάθμιση της απόδοσης περιορισμένων επίγειων δικτύων με οικονομικά αποδοτικό τρόπο [37].

Τα δορυφορικά δίκτυα χαμηλής τροχιάς (LEO) προορίζονται να καλύψουν αυτές τις αποκλίσεις που υπάρχουν όσον αφορά την ισότιμη πρόσβαση στην επικοινωνία, επιτρέποντας νέες ευκαιρίες στην αγορά και παρέχοντας συνδεσιμότητα νέου ραδιοφώνου (NR) πέμπτης γενιάς (5G) παντού, ανά πάσα στιγμή. Η έρευνα των Juan et al. [38] δείχνει ότι οι διαδικασίες παράδοσης 5G NR (HO) που βασίζονται σε μετρήσεις, που έχουν σχεδιαστεί για επίγεια δίκτυα, αποτυγχάνουν να εξασφαλίσουν τη βέλτιστη απόδοση κινητικότητας.

Στο ίδιο πλαίσιο παρατηρούνται και οι απώλειες ελεύθερου χώρου, που δημιουργούνται κυρίως λόγω των μεγάλων αποστάσεων. Το κύριο πρόβλημα ήταν το ηλιακό φως που απαγόρευε την κβαντική επικοινωνία κατά τη μετάδοση σε κανάλια που βρίσκονταν σε πολύ μακρινές αποστάσεις, πράγμα που επέτρεπε τη μετάδοση μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Για τη λύση αυτού του περιορισμού ή εμποδίου στις δορυφορικές ζεύξεις, η έρευνα των Liao et al. [39] ανέπτυξε μια τεχνολογία σύζευξης ινών μονής λειτουργίας ελεύθερου χώρου και ανιχνευτές μονοφωτονίου μετατροπής υπερχαμηλού θορύβου, ώστε να ξεπεραστεί ο θόρυβος ως αποτέλεσμα του ηλιακού φωτός. Σημαντικό είναι να επισημανθεί ότι αυτή η εργασία αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της ζώνης των οπτικών τηλεπικοινωνιών αλλά μπορεί να διεξαχθεί εξίσου σε πρακτικό επίπεδο και με δίκτυα ινών εδάφους. Επομένως, επιχειρείται να δοθεί μία κατεύθυνση προς την αξιοποίηση ενός κβαντικού δικτύου που να βασίζεται σε δορυφόρους-αστερισμούς.

Η εργασία των Su et al. [40] παρουσιάζει δύο αστερισμούς του LEO στους οποίους χρησιμοποιείται ένα υβριδικό σχήμα κάλυψης ευρείας και σημειακής δέσμης όπου το LEO παρέχει μια ευρεία δέσμη για κάλυψη μεγάλης περιοχής και αρκετές δέσμες σημείων τιμονιού για πρόσβαση σε δεδομένα υψηλής ταχύτητας. Σε αυτό το σύστημα, ο σχεδιασμός του δορυφορικού αστερισμού είναι σημαντικός με αντίκτυπο στις βασικές επιδόσεις του συστήματος, όπως η κάλυψη. Ο συντονισμός παρεμβολών μεταξύ LEO και GEO επιχειρείται μέσω ειδικών σχημάτων κάλυψης σε ευρυζωνικά συστήματα LEO. Συγκεκριμένα, οι δορυφόροι LEO θα πρέπει να απενεργοποιούνται εάν προκαλούν παρεμβολές στο GEO, ούτως ώστε να προστατεύονται οι επικοινωνίες. Η παγκόσμια διαχείριση πόρων για ευρυζωνικά συστήματα LEO είναι περίπλοκη, περιλαμβάνει μεγάλο όγκο δεδομένων και θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια δομή διαχείρισης δύο επιπέδων. Χρησιμοποιώντας αυτή τη δομή, χρησιμοποιείται ένα NMC με ισχυρές δυνατότητες αποθήκευσης και επεξεργασίας για την εκτέλεση της διαχείρισης πρώτου επιπέδου, δημιουργώντας στρατηγικές βασισμένες σε όλες τις πληροφορίες που συλλέγονται από ολόκληρο το σύστημα.

Τα τελευταία χρόνια καθώς η τεχνολογία προοδεύει σε όλα τα επίπεδα, εντοπίζονται έρευνες, οι οποίες εστιάζουν στην ανάπτυξη νέων τεχνολογικών προσεγγίσεων αναφορικά με τις δορυφορικές ζεύξεις. Η οπτική ελεύθερου χώρου (FSO - Free Space Optical), η οποία αναφέ-

ρεται σε οπτικές ασύρματες επικοινωνίες σε εξωτερικά περιβάλλοντα αποκτά σημαντικό ρόλο στη δημιουργία δορυφορικών δικτύων επόμενης γενιάς [41]. Ωστόσο, απαιτούνται συγκρίσεις της τεχνολογίας FSO με την τεχνολογία των ραδιοσυχνότητων (RF - Radio Frequency) για δορυφορικές ζεύξεις. Η έρευνα των Tiwari

& Chauhan [42] επισημαίνει την υπεροχή των οπτικών ζεύξεων επικοινωνίας ελεύθερου χώρου σε σύγκριση με τους συνδέσμους επικοινωνίας μικροκυμάτων με υψηλή ταχύτητα, χαμηλό βάρος, και αυξημένη ασφάλεια. Παρόλα αυτά, υπογραμμίζονται ορισμένες προκλήσεις, οι οποίες αφορούν τη διακύμανση της γωνίας άφιξης (AoA - Angle of Attack) αλλά και τον συντονισμό του πομπού με τον δέκτη μέσω της κατάδειξης, της απόκτησης και της παρακολούθησης (PAT).

Από την άλλη πλευρά, έρευνες έχουν επεκταθεί και στη μελέτη των δορυφορικών αστερισμών. Συγκεκριμένα, εστιάζουν στη δυναμική κατανομή πόρων για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του δικτύου αλλά και στα δορυφορικά δίκτυα χαμηλής τροχιάς (LEO).

Τα επίγεια δορυφορικά δίκτυα που βασίζονται σε μέγα αστερισμούς χαμηλής τροχιάς της Γης (LEO) αποτελούν αξιοποιήσιμη λύση για την ισότιμη πρόσβαση στο διαδίκτυο παγκοσμίως, η οποία εμποδίζεται από οικονομικούς, κοινωνικούς ή γεωγραφικούς παράγοντες [43]. Οι αστερισμοί LEO χαρακτηρίζονται από ορισμένα πλεονεκτήματα, τα οποία καλύπτουν τις ελλείψεις των επίγειων δικτύων, παρόλα αυτά, η συμπερίληψή τους έχει αντίκτυπο στον σχεδιασμό του δικτύου, διότι συνεπάγεται προκλήσεις.

Παρόλο που οι δορυφόροι LEO έχουν χαμηλότερα υψόμετρα, πράγμα που σημαίνει ότι μειώνει την καθυστέρηση του σήματος σε σχέση με τους δορυφόρους υψηλότερης τροχιάς, οι συχνές μεταφορές μεταξύ δορυφόρων συνιστούν πρόκληση, διότι μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα λανθάνουσας κατάστασης, επηρεάζοντας εφαρμογές, όπως για παράδειγμα πλατφόρμες τηλεδιάσκεψης. Επιπλέον, απαιτούνται εξελιγμένοι αλγόριθμοι προκειμένου να συντονίζονται και να παρακολουθούν την επικοινωνία ανάμεσα στους δορυφόρους και στα επίγεια δίκτυα. Για να υπάρχει χαμηλή καθυστέρηση προϋποτίθεται η ύπαρξη ενός πυκνού δικτύου επίγειων σταθμών. Εκτός αυτού, ο μεγάλος αριθμός των δορυφόρων LEO μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση φάσματος καθώς και παρεμβολή σε επίγεια δίκτυα. Γι' αυτό η διαχείριση του φάσματος κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για τη μείωση των παρεμβολών [44].

Μία άλλη προσέγγιση των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνίας είναι αυτή της στοχαστικής γεωμετρίας, την οποία προτείνουν οι Jung et al. [45]. Η εργασία αυτή εξετάζει τα συστήματα δορυφορικής επικοινωνίας χαμηλής τροχιάς της Γης (LEO), στα οποία οι δορυφόροι κατανέμονται ομοιόμορφα σε μια σφαίρα σε ένα ορισμένο ύψος σύμφωνα με μια διαδικασία ομοιογενούς διωνυμικού σημείου (BPP - Binomial Point Process). Η έρευνα έδειξε ότι το πρόβλημα που αφορά τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος σχετίζεται με τους περιορισμούς ορατότητας και διακοπής λειτουργίας του δορυφόρου. Η έρευνα διεξήγαγε μια προσομοίωση για να προσεγγίσει τη λύση του προβλήματος, αναπτύσσοντας έναν αλγόριθμο που φαίνεται να οδηγεί στη βέλτιστη απόδοση των δορυφορικών συστημάτων.

Η έρευνα των Pachler et al. [46] επισημαίνει ότι οι τεχνολογικές βελτιώσεις των τελευταίων είκοσι ετών αναδεικνύουν συνεχώς το θέμα της πρόσβασης στο διαδίκτυο από το διάστημα

χρησιμοποιώντας μη γεωστατικές τροχιές (NGSO - Non-Geostationary Orbit). Για αυτούς τους αστερισμούς, λοιπόν, αρκετοί φορείς εκμετάλλευσης δορυφόρων έχουν υποβάλλει σχετικές αιτήσεις. Πλέον, πρόκειται για δορυφόρους υψηλής απόδοσης, οι οποίοι θα συμπληρώνουν την επίγεια υποδομή του διαδικτύου όπου αυτή κρίνεται αναποτελεσματική ίσως και ανύπαρκτη.

Τα συστήματα NGSO έχουν διάφορα πλεονεκτήματα όπως μικρότερη καθυστέρηση διάδοσης, μικρότερο μέγεθος αλλά και λιγότερες πιθανότητες απώλειας σήματος σε σχέση με τους συμβατικούς δορυφόρους γεωστατικής τροχιάς (GSO - Geostationary Orbit) [47]. Έτσι, έτσι προωθούν την ταχύτητα επικοινωνίας, ωστόσο η βασική πρόκληση αυτών των συστημάτων είναι να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη ενοποίηση όχι μόνο με τα συστήματα GSO αλλά και με τα επίγεια δίκτυα.

Επιπλέον, η έρευνα των Mahmoodi Khaniabadi et al. [48] εστιάζει σε μία νέα πτυχή των τεχνολογιών διαδικτύου, αυτή της κατανάλωσης ενέργειας. Τα δίκτυα Internet of things (IoT), Cloud και Fog έχουν επεκταθεί παγκοσμίως, επομένως η έρευνα αυτή προτείνει πράσινους αλγόριθμους μέσω της τροποποίησης των πρωτοκόλλων του διαδικτύου ώστε να επιτευχθεί η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Οι Mahmoodi Khaniabadi et al. [48] προτείνουν έναν νέο πράσινο αλγόριθμο αξιοπιστίας για το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης/Πρωτόκολλο Διαδικτύου (πρωτόκολλο TCP/IP) στον Υπολογισμό Fog, ο οποίος στηρίζεται στη μεταφορά μικρότερου αριθμού πακέτων στο δίκτυο χρησιμοποιώντας το πλεονέκτημα των διαφορών μεταξύ του TCP (Transmission Control Protocol) και του Πρωτοκόλλου Δεδομένων Χρήστη (UDP - User Datagram Protocol).

Τέλος, σχετικά με το δίκτυο 6G, τη νέα γενιά προσέγγισης κινητής ασύρματης επικοινωνίας, η έρευνα των Kalbande, Haji & Haji [49] υπογραμμίζει αρχικά την ευελιξία αυτού του τρόπου επικοινωνίας. Έπειτα, αναφέρεται στα πλεονεκτήματα του δικτύου επικοινωνίας 6G, επισημαίνοντας την υψηλή ταχύτητα που θα προσφέρεται στους χρήστες (10-300 Mbps και επέκταση έως 10-11 Gbps) χωρίς διακοπές. Πέρα από την τεχνολογία ραδιοφώνου και του δικτύου των οπτικών ινών, η μεθοδολογία μετάδοσης ραδιοκυμάτων πλήρους αμφίδρομης που αξιοποιεί το δίκτυο 6G συμβάλλει στην υψηλή ταχύτητά του ανεξάρτητα από τον τρόπο συνδεσιμότητας. Το δίκτυο 6G έχει την τάση να παρέχει υπερταχεία ροή, χωρίς διακοπές και buffer, κάτι που δεν υπάρχει σε προηγούμενες γενιές δικτύου [50]. Για την ολοκλήρωση του συστήματος της επίγειας κινητής επικοινωνίας και των δορυφορικών επικοινωνιών υπάρχουν ορισμένες προϋποθέσεις. Αρχικά, να είναι συμβατή με το 5G και να ενσωματωθεί στο 6G [51].

Ως συμπληρωματικό μέρος του μελλοντικού δικτύου 6G θεωρείται το δίκτυο πρόσβασης στο διάστημα. Σύμφωνα με τους Xiao et al. [34], οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς (LEO), μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως σταθμοί βάσης για πρόσβαση στο Διαδίκτυο, δημιουργώντας το δίκτυο πρόσβασης LEO-SAN. Η LEO-SAN πρόκειται να παρέχει μαζική πρόσβαση καθώς και κάλυψη εκτεταμένου εύρους με υψηλή ποιότητα σήματος. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή εξακολουθεί να αντιμετωπίζει σημαντικές τεχνικές προκλήσεις, όπως η υψηλή κινητικότητα και ο περιορισμένος προϋπολογισμός για τα ωφέλιμα φορτία επικοινωνίας των δορυφορικών κόμβων LEO [34].

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI), συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής μάθησης, της βαθιάς μάθησης και της ενισχυτικής μάθησης, αναπτύσσεται σταθερά ως ερευνητικό πεδίο και έχει δείξει επιτυχημένα αποτελέσματα σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της ασύρματης επικοινωνίας [52]. Επομένως, η εφαρμογή των αρχών της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και της Μηχανικής Μάθησης (ML), καθώς και οι σχετικές λύσεις είναι ένας άλλος σημαντικός πυλώνας της εξέλιξης του δικτύου επικοινωνίας [53].

Η ενοποίηση δικτύων χάρη σε αυτές τις τεχνολογίες όπως επίσης και η ενσωμάτωση στρατηγικών Τεχνητής Νοημοσύνης και Μηχανικής Μάθησης σε δίκτυα επικοινωνίας έχει θεωρηθεί, ειδικά από την άποψη της τυποποίησης, ως θέμα εξέλιξης του δικτύου 6G ή Beyond 5G (B5G) αντί της ενοποίησης του δικτύου 5G. Αυτή η μεταβολή καθρεφτίζεται επίσης και στα επίγεια δίκτυα [54]. Ειδικότερα, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης σε μια μεγάλη ποικιλία πτυχών δορυφορικής επικοινωνίας έχει αποδείξει εξαιρετικές δυνατότητες, όπως beam-hopping, anti-jamming, πρόβλεψη κίνησης δικτύου, μοντελοποίηση καναλιών, εξόρυξη τηλεμετρίας, ανίχνευση ιονόσφαιρων σπινθηρισμών, διαχείριση παρεμβολών, τηλεπισκόπηση, συμπεριφορά μοντελοποίηση, ενοποίηση χώρου-αέρα-εδάφους και διαχείριση ενέργειας [52].

Οι μεγάλοι αστερισμοί έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν 6G Διαδίκτυο λόγω του μοναδικού πλεονεκτήματος της παγκόσμιας κάλυψης [55]. Οι νέοι τύποι αστερισμών, οι δυνατότητες επεξεργασίας επί του σκάφους, τα μη επίγεια δίκτυα και η συλλογή/επεξεργασία δεδομένων με βάση το διάστημα είναι θέματα που αναδεικνύονται από τους Kodheli et al. [2], παρόλα αυτά, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να υποστηριχθεί το δίκτυο 6G. Αυτές οι προκλήσεις αφορούν την κατανομή των πόρων, την ικανοποιητική διαχείριση κινητικότητας και την παρακολούθηση και μπορούν να καθιστούν διαχειρίσιμες μέσα από τη διεξαγωγή ερευνών που ακολουθούν και μπορούν να προβλέψουν την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Μελέτες της παρούσας ενότητας

Πίνακας 2.1:

Συγγραφείς	Έτος Δημοσίευσης	Αποτελέσματα	Καινοτομία παρούσας εργασίας
Mandeep Tanaka	2007	Οι βροχοπτώσεις επηρεάζουν τους ρυθμούς των δεδομένων των δορυφορικών ζεύξεων.	Η βασική διαφορά της παρούσας εργασίας με τις μελέτες αυτές έγκειται στο ότι περιλαμβάνει την ενοποίηση δορυφορικών συνδέσεων με διαδικτυακές εφαρμογές.

Continued on next page

Πίνακας 2.1: (Continued)

Endres et al.	2022	Η απόδοση του QUIC μέσω γεωστατικών δορυφορικών συνδέσεων είναι προβληματική λόγω της μη εφαρμογής των Διαμεσολαβητών Ενίσχυσης Απόδοσης.	Δηλαδή, δεν εξετάζει μόνο τα τεχνικά και φυσικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών ζεύξεων αλλά εστιάζει και στην εφαρμογή τους μέσω εργαλείων που βασίζονται στο διαδίκτυο.
Gao, Liu Liang	2020	Ο συνδυασμός NOMA και πολυπλεξίας ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM).	Αυτή η εφαρμογή βελτιώνει την αλληλεπίδραση των χρηστών και την επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας τη διαχείριση των δορυφορικών συνδέσεων πιο αποτελεσματική και προσβάσιμη για διάφορα σενάρια, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο.
Darwish et al.	2021	Η κάλυψη ευρείας περιοχής θα παρέχει το LEO SatNets για να στηρίξει την ενσωμάτωση του SatNets και της επίγειας πέμπτης γενιάς (5G) δικτύων εμπλέκοντας δραστηριότητες 3rd Generation Partnership Project (3GPP).	
Juan et al.	2022	Οι διαδικασίες παράδοσης 5G NR (HO) που βασίζονται σε μετρήσεις, που έχουν σχεδιαστεί για επίγεια δίκτυα, αποτυγχάνουν να εξασφαλίσουν τη βέλτιστη απόδοση κινητικότητας.	
Liao et al.	2017	Η τεχνολογία σύζευξης ινών μονής λειτουργίας ελεύθερου χώρου και ανιχνευτές μονοφωτονίου μετατροπής υπερχαμηλού θορύβου συμβάλλουν στη μείωση του θορύβου ως αποτέλεσμα του ηλιακού φωτός.	

Continued on next page

Πίνακας 2.1: (Continued)

Tiwari Chauchan	2020	Οι οπτικές ζεύξεις επικοινωνίας ελεύθερου χώρου υπερέχουν σε σύγκριση με τους συνδέσμους επικοινωνίας μικροκυμάτων με υψηλή ταχύτητα, χαμηλό βάρος, και αυξημένη ασφάλεια.
Jung et al.	2022	Το πρόβλημα που αφορά τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος σχετίζεται με τους περιορισμούς ορατότητας και διακοπής λειτουργίας του δορυφόρου.
Mahmoodi Khaniabadi et al.	2023	Προτείνονται πράσινοι αλγόριθμοι μέσω της τροποποίησης των πρωτοκόλλων του διαδικτύου ώστε να επιτευχθεί η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.
Mahmoodi Khaniabadi et al.	2023	Προτείνεται ένας νέος πράσινος αλγόριθμος αξιοπιστίας για το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης/Πρωτόκολλο Διαδικτύου (πρωτόκολλο TCP/IP) στον Υπολογισμό Fog, ο οποίος στηρίζεται στη μεταφορά μικρότερου αριθμού πακέτων στο δίκτυο χρησιμοποιώντας το πλεονέκτημα των διαφορών μεταξύ του TCP και του Πρωτοκόλλου Δεδομένων Χρήστη (UDP).
Xiao et al.	2022	Οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς (LEO), μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως σταθμοί βάσης για πρόσβαση στο Διαδίκτυο, δημιουργώντας το δίκτυο πρόσβασης LEO-SAN.

2.3 Επίλογος

Συνοψίζοντας, η δορυφορική επικοινωνία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη σύγχρονη υποδομή επικοινωνιών, καθιστώντας δυνατή την παγκόσμια επικοινωνία και παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών, των τηλεπικοινωνιών, των υπηρεσιών Διαδικτύου και της επιστημονικής έρευνας. Οι διαρκείς έρευνες στο πεδίο των δορυφορικών ζεύξεων αναδεικνύουν ένα ευρύ φάσμα θεμάτων προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοσή τους και να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία τους. Οι μελέτες συμβάλλουν στην εξέλιξη της δορυφορικής τεχνολογίας, που στόχο έχει τη διασφάλιση της συνδεσιμότητας στην παγκοσμιοποιημένη κοινωνία και συνάμα αντικατοπτρίζουν μια προσέγγιση για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας των σύγχρονων συστημάτων επικοινωνίας, ανοίγοντας τον δρόμο για νέες καινοτόμες προσεγγίσεις [43].

Παρόλα αυτά, εφόσον η δορυφορική τεχνολογία αποτελεί έναν συνεχώς εξελισσόμενο τομέα, η έρευνα οφείλει να προοδεύει καθώς συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που ανακύπτουν όπως επίσης και στη βελτίωση του δικτύου συνδεσιμότητας παγκοσμίως, το οποίο τείνει αν δεν συνιστά ήδη ανάγκη της ανθρώπινης κοινότητας.

Κεφάλαιο 3ο: Δορυφορικές Ζεύξεις

3.1 Εισαγωγή

Η κλιμακούμενη ανάγκη για δορυφορικές υπηρεσίες ικανές να χειρίζονται υψηλούς ρυθμούς δεδομένων καθοδηγείται από μια σειρά αναδυόμενων ή μελλοντικών υπηρεσιών, ιδιαίτερα εκείνων που σχετίζονται με τη μετάδοση πολυμέσων ή εφαρμογές που απαιτούν σημαντικούς ρυθμούς δεδομένων [56], [57]. Την τελευταία δεκαετία σημειώθηκαν σημαντικές πρόοδοι στην τεχνολογία δορυφορικών επικοινωνιών. Από νωρίς, η εστίαση ήταν κυρίως στην αύξηση του εύρους ζώνης και στη βελτίωση της ποιότητας του σήματος. Ωστόσο, οι πρόσφατες εξελίξεις έχουν στραφεί προς το να καταστούν οι δορυφορικές συνδέσεις πιο προσιτές και οικονομικά αποδοτικές.

Περαιτέρω, οι δορυφορικές ζεύξεις διαδραματίζουν απαραίτητο ρόλο στις παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες, παρέχοντας κρίσιμη συνδεσιμότητα σε περιοχές όπου τα επίγεια δίκτυα δεν είναι πρακτικά ή δεν είναι διαθέσιμα [58], [59], [60]. Δεν είναι απλώς συμπληρωματικές των επίγειων δικτύων, αλλά είναι συχνά το μόνο βιώσιμο μέσο επικοινωνίας σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές. Επιπλέον, οι δορυφορικές ζεύξεις αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο ως η βέλτιστη λύση για διάφορα σενάρια, όπως η απόκριση έκτακτης ανάγκης, ο πλεονασμός δικτύου και οι εφαρμογές Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και η εφαρμογή τους καταδεικνύει την ευελιξία και την αναγκαιότητα τους.

Ο ρόλος των εφαρμογών Ιστού στη δορυφορική ανάλυση γίνεται ολοένα και πιο καθοριστικός για την ανάλυση και τη διαχείριση των δορυφορικών ζεύξεων. Οι εφαρμογές Ιστού, με τις φιλικές προς το χρήστη διεπαφές τους και τις δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική διαχείριση δορυφορικών συνδέσεων [61]. Αυτή η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Ιστού αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό άλμα για να γίνει η δορυφορική επικοινωνία πιο προσιτή και διαχειρίσιμη, ιδιαίτερα σε σενάρια σε πραγματικό χρόνο.

Συνοπτικά, αυτή η εισαγωγή παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης και των μελλοντικών τάσεων της τεχνολογίας δορυφορικής ζεύξης, συνδυάζοντας τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις απαιτήσεις της αγοράς και τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο των διαδικτυακών εφαρμογών. Θέτει το έδαφος για μια λεπτομερή εξερεύνηση του τρόπου με τον οποίο αυτά τα στοιχεία συγκλίνουν για να διαμορφώσουν το μέλλον των δορυφορικών επικοινωνιών, προσφέροντας μια λεπτή κατανόηση τόσο των προκλήσεων όσο και των ευκαιριών σε αυτόν τον τομέα.

3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν μια δορυφορική ζεύξη

Υπάρχουν διάφορα στοιχεία που επηρεάζουν την απόδοση, την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των δορυφορικών επικοινωνιών.

Η ποιότητα της δορυφορικής ζεύξης επηρεάζεται σημαντικά από το ασύρματο περιβάλλον διάδοσης και είναι ευθύνη του μηχανικού των δορυφορικών συστημάτων να προβλέψει τον βαθμό της επίδρασης επί του μεταδιδόμενου ραδιοκύματος. Καθώς το ραδιοκύμα διαπερνά τα διάφορα επίπεδα της ατμόσφαιρας, υπόκειται σε μία σειρά από μηχανισμούς εξασθένησης και μεταβολής των χαρακτηριστικών του. Ορισμένοι από αυτούς είναι τα φαινόμενα που σχετίζονται με τον δείκτη διάθλασης, όπως η πολυδιαδρομική διάδοση και η σκέδαση, καθώς και οι απώλειες που προκαλούνται από τα υδρομετέωρα (π.χ. βροχή, πάγος, σύννεφα, ομίχλη).

Επιπλέον, εκτός από τις τροποσφαιρικές και ιονοσφαιρικές απώλειες, τα δορυφορικά συστήματα αντιμετωπίζουν προβλήματα εξαιτίας του θορύβου που προκαλείται από διάφορες κατηγορίες πηγών, καθώς και από την ολίσθηση συχνότητας, εξαιτίας του φαινομένου Doppler.

Μηχανισμοί διάδοσης

Για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων διάδοσης θα περιγράψουμε τους μηχανισμούς διάδοσης των ραδιοκυμάτων, οι οποίοι επιδρούν στα χαρακτηριστικά του ραδιοκύματος, όπως είναι η φάση και το πλάτος του.

- Απορρόφηση (absorption):

Ορίζεται ως η μείωση του πλάτους ενός ραδιοκύματος, η οποία προκαλείται από τη μη-αντιστρεπτή μετατροπή της ενέργειας του ραδιοκύματος προς την ύλη κατά τη διάδοσή του.

- Ανάκλαση (reflection):

Τα ραδιοκύματα αντανακλώνται όταν προσκρούσουν σε συγκεκριμένα αντικείμενα. Συνήθως τα μεγάλα αντικείμενα (σε σχέση με το μήκος κύματος της συχνότητας) με λείες επιφάνειες αντανακλούν το ραδιοκύμα

- Σκέδαση(scattering):

Ορίζεται ως η διαδικασία, κατά την οποία η ενέργεια ενός ραδιοκύματος διαχέεται στην κατεύθυνση διάδοσής του εξαιτίας ανομοιογενειών του μέσου διάδοσης.

- Διάθλαση(refraction):

Είναι η αλλαγή της κατεύθυνσης διάδοσης ενός ραδιοκύματος, η οποία προκύπτει από τις χωρικές διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης του μέσου διάδοσης.

- Περίθλαση (diffraction):

Είναι το φαινόμενο της αλλαγής της διεύθυνσης διάδοσης ενός ραδιοκύματος, η οποία προκαλείται από την παρουσίαση ενός εμποδίου, μίας περιορισμένης διατομής ή εξαιτίας άλλου αντικειμένου του μέσου διάδοσης.

- Πολυδιαδρομική διάδοση:

Ορίζεται ως ο τρόπος διάδοσης, κατά τον οποίο το μεταδιδόμενο ραδιοκύμα φτάνει στον προορισμό του μέσω δύο ή περισσότερων μονοπατιών. Η πολυδιαδρομική διάδοση μπορεί να προκληθεί από τις ανωμαλίες του δείκτη διάθλασης της τροπόσφαιρας ή της ιονόσφαιρας ή από σκεδάσεις στην επιφάνεια της Γης.

- Σπινθηρισμός:

Είναι το φαινόμενο των απότομων διακυμάνσεων του πλάτους και της φάσης ενός ραδιοκύματος, οι οποίες προκαλούνται από διαλείψεις μικρής κλίμακας στο μέσο διάδοσης με τον χρόνο.

- Διαλείψεις:

Ορίζονται ως οι διακυμάνσεις στο πλάτος ενός ραδιοκύματος, οι οποίες προκαλούνται από αλλαγές στο μέσο διάδοσης με τον χρόνο. Παρότι οι έννοιες διαλείψεις και σπινθηρισμός χρησιμοποιούνται συχνά για να περιγράψουν παρόμοια φαινόμενα, οι διαλείψεις περιγράφουν διακυμάνσεις, που λαμβάνουν χώρα σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, ενώ ο σπινθηρισμός αναφέρεται σε γρηγορότερες διακυμάνσεις.

Πρακτικά, κατά τη διάδοση του κύματος μπορεί να παρατηρηθούν ταυτόχρονα διάφοροι από τους παραπάνω μηχανισμούς διάδοσης και συνήθως, είναι πολύ δύσκολο να αναγνωριστεί ποιος ή ποιοι μηχανισμοί επιδρούν στα χαρακτηριστικά του ραδιοκύματος.

Τροποσφαιρικές, Ιονοσφαιρικές, Ατμοσφαιρικές και περιβαλλοντικές συνθήκες:

Η απόδοση των δορυφορικών ζευξέων επηρεάζεται από ατμοσφαιρικά φαινόμενα, ιδιαίτερα σε υψηλότερες συχνότητες όπως οι ζώνες Ka και Q/V. Η εξασθένηση που προκαλείται από βροχή, σύννεφα, οξυγόνο και υδρατμούς μπορεί να μειώσει σημαντικά την ισχύ του σήματος, ενίοτε έως και δεκάδες ντεσιμπέλ [3]. Η βροχή συντελεί στην εξασθένηση μέσω απορρόφησης και διασποράς των υδρομετεωρητών [62], [63], ενώ ο σπινθηρισμός, προκαλούμενος από τροποσφαιρικές αναταράξεις, προσθέτει επιπλέον εμπόδια [3], [64].

Επίδραση Τροπόσφαιρας

Η τροπόσφαιρα εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης μέχρι ένα ύψος, που κυμαίνεται από 6km στους πόλους μέχρι 17km στον ισημερινό [65] Καθώς ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας, μία σειρά φαινομένων θα οδηγήσει στη μείωση της ενέργειάς του. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζονται τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας, καθώς και οι συχνότητες, οι οποίες θα επηρεαστούν σε κάθε στρώμα. Πιο συγκεκριμένα, οι συχνότητες άνω των 3GHz θα επηρεαστούν στα χαμηλά στρώματα (τροπόσφαιρα), ενώ οι συχνότητες κάτω από 3GHz θα επηρεαστούν κατά τη μετάδοση από την ιονόσφαιρα. Οι απώλειες και οι διαταραχές, οι οποίες προκαλούνται στις δορυφορικές επικοινωνίες, οφείλονται στην ενεργειακή απορρόφηση και στις διάφορες διαθλάσεις του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Επίδραση Ιονόσφαιρας

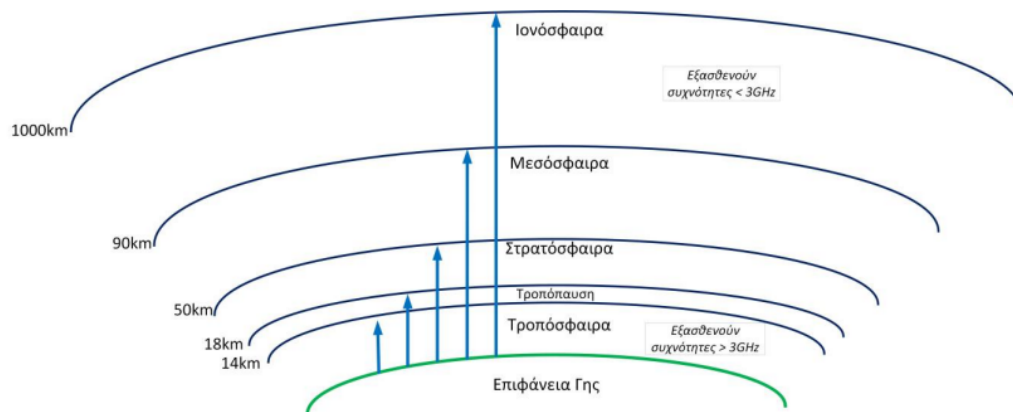
Η ιονόσφαιρα είναι η εξωτερική στρώση της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από 60km έως 1000km και είναι ιονισμένη λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι ανομοιογενής, περιέχει νέφη

κινούμενων ηλεκτρονίων και συμπεριφέρεται ως αγώγιμο στρώμα για μεγάλος εύρος συχνοτήτων, απορροφώντας και ανακλώντας τα προσπίπτοντα κύματα.

Η ιονόσφαιρα προκαλεί: πιο έντονα τα φαινόμενα σε χαμηλές συχνότητες (οι μεταβολές στην πυκνότητα των ελευθέρων ηλεκτρονίων → μεταβολές στον δείκτη διάθλασης της ιονόσφαιρας → ταχείες αλλαγές του πλάτους, της φάσης πόλωσης και της γωνίας άφιξης των ραδιοκυμάτων)

- Απορρόφηση (μείωση πλάτους ραδιοκύματος λόγω μεταφοράς ενέργειας στην ύλη του μέσου διάδοσης)
- Διακυμάνσεις στη κατεύθυνση όδευσης
- Σπινθηρισμούς (απτόμενες διακυμάνσεις του πλάτους και της φάσης ενός ραδιοκύματος από διαλείψεις μικρής κλίμακας στο μέσο)
- Καθυστέρηση διάδοσης
- Διασπορά συχνότητας (αλλαγή της συχνότητας και της φάσης του ραδιοκύματος)
- Στροφή Faraday (γωνία στροφής ανάλογη του f^2) (Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της Γης αναγκάζει την ιονόσφαιρα να συμπεριφέρεται ως ανισοτροπικό* μέσο διάδοσης)

***Ανισοτροπικά υλικά** ονομάζονται τα υλικά, που παρουσιάζουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες, ανάλογα με το αν θα φορτιστούν κάθετα ή παράλληλα προς τον επιμήκη άξονά τους



Σχήμα 3.1: Τα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας [1]

Επίδραση ατμόσφαιρας

Επιπρόσθετα, ατμοσφαιρικά φαινόμενα όπως η απώλεια ελεύθερου χώρου προσμετρώνται κατά τη διαδικασία σχεδιασμού των συστημάτων, διαφορετικά από την περίπτωση πιο προβλέψιμων, ντετερμινιστικών φαινομένων. Η κατανόηση και η ενσωμάτωση αυτών των περιορισμών κατά το σχεδιασμό είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας δορυφορικών ζεύξεων [64], [24] - [63]. Οι διακοπές στις ζεύξεις τροφοδοσίας μπορούν να επηρεάσουν εκτεταμένα τους τελικούς χρήστες, ιδιαίτερα στις σύγχρονες εφαρμογές που εξαρτώνται από τη δορυφορική επικοινωνία.

Σε παλαιότερες τεχνολογίες συχνοτήτων C και Ku, οι στρατηγικές μετριασμού της ατμοσφαιρικής εξασθένησης βασίζονταν σε προσθήκη ενός περιθωρίου εξασθένησης, υπολογισμένου από εμπειρικά μοντέλα και μακροπρόθεσμες στατιστικές [63]. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος είναι ανεπαρκής για ζώνες υψηλότερων συχνοτήτων όπως το Ka, όπου η εξασθένηση μπορεί να υπερβεί τα 20-30 dB κατά διαστήματα. Συνεπώς, η χρήση πιο εξελιγμένων τεχνικών για την αντιμετώπιση των ατμοσφαιρικών προκλήσεων γίνεται απαραίτητη. Αυτό καθιστά επιτακτική την ανάγκη για αναβαθμισμένη επεξεργασία και προσαρμογή του σχεδιασμού και της λειτουργίας των κεραιών, ιδίως σε συχνότητες Ka- και Ku-band, όπου οι παρόμοιου μεγέθους κεραιές παρέχουν δραστικά διαφορετικά επίπεδα κέρδους.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής εξασθένησης στις δορυφορικές επικοινωνίες, εφαρμόζονται οι Τεχνικές Μετριασμού της Εξασθένησης Διάδοσης (Propagation Impairment Mitigation Techniques, PIMTs), οι οποίες είναι γνωστές επίσης ως Τεχνικές Μετριασμού Εξασθένησης (Fade Mitigation Techniques, FMTs), 92. Οι PIMTs είναι κρίσιμες για τη διασφάλιση της Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service, QoS) και ταυτόχρονα βελτιστοποιούν τη χρήση των διαθέσιμων πόρων [66].

Οι τεχνικές αυτές στηρίζονται στη δυναμική αναδιαμόρφωση της διάδρασης μεταξύ γης και διαστήματος, με στόχο την βελτίωση της διαθεσιμότητας των δορυφορικών συνδέσεων και τη διατήρηση της απόδοσης κατά τη διάρκεια συνθηκών υψηλών απωλειών διαδρομής. Τα PIMT καταφεύγουν στην χρήση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας των ατμοσφαιρικών διαταραχών, προσαρμόζοντας παραμέτρους όπως την πολιτική κατανομής ισχύος και τα χαρακτηριστικά του σήματος της ζώνης βάσης.

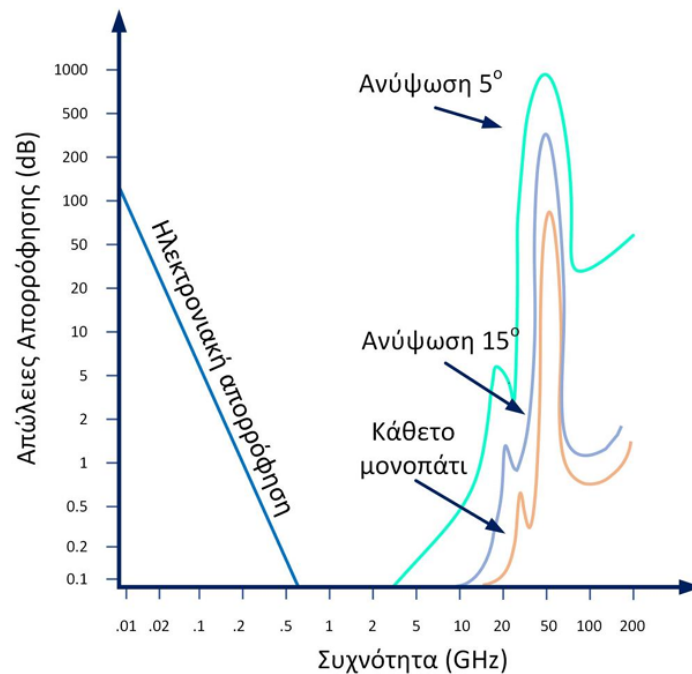
Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της τροποποίησης του σχεδιασμού του προϋπολογισμού σύνδεσης, εξισορροπώντας την ενίσχυση του σήματος για να αντιμετωπίσει την αυξημένη εξασθένηση που προκαλείται από την βροχή ή άλλα ατμοσφαιρικά εμπόδια. Μεταξύ των κύριων PIMT που συνιστώνται για συχνότητες στη ζώνη Ka και άνω είναι:

- Προσαρμογή ρυθμού, που συμπληρώνεται από Προσαρμοστική Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση (ACM) ή/και Μεταβλητή Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση (VCM)
- Στρατηγικές ελέγχου ισχύος
- Αξιοποίηση αναδιαμορφώσιμων κεραιών
- Χρήση διαφοροποίησης συχνοτήτων
- Εφαρμογή τροχιακής ποικιλομορφίας
- Τεχνικές διαφοροποίησης τοποθεσίας
- Μέθοδοι διαφοροποίησης χρόνου.

Επίδραση ενεργειακής απορρόφησης

[67] Κατά τη μετάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στην ατμόσφαιρα, η ενέργειά του απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα, καθώς απορροφάται από τα αέρια που βρίσκονται εκεί. Ένας άλλος παράγοντας, που οδηγεί στην απώλεια της ενέργειας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, οφείλεται στην ύπαρξη ελεύθερων ηλεκτρονίων, τα οποία συγκρούονται με το μεταδιδόμενο κύμα. Άλλοι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την ενεργειακή απορρόφηση στην

ατμόσφαιρα, είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία και η γωνία ανύψωσης. Πιο συγκεκριμένα, για τη γωνία ανύψωσης ισχύει ότι οποιαδήποτε μείωση της γωνίας επιφέρει αύξηση της διαδρομής, την οποία πρέπει να διανύσει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, αυξάνοντας έτσι τις ενεργειακές απώλειες.



Σχήμα 3.2: Απορρόφηση ενέργειας εξαιτίας ατμοσφαιρικών αερίων συναρτήσει της συχνότητας και της γωνίας ανύψωσης [1]

Επίδραση ατμοσφαιρικών διαθλάσεων

[68] Η διάθλαση είναι το φαινόμενο της αλλαγής κατεύθυνσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, καθώς αυτά μεταδίδονται σε διάφορα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα, όταν ένας δορυφόρος μεταδίδει ένα σήμα προς ένα επίγειο τερματικό, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο μεταφέρει την πληροφορία, θα διαθλαστεί στην τροπόσφαιρα, η οποία βρίσκεται μέχρι το υψόμετρο των 15km. Καθώς η Γη θερμαίνεται από τον Ήλιο, προκαλείται σημαντική δραστηριότητα από τις στήλες αερίων που αναμιγνύονται. Έτσι, υπάρχουν διάφοροι δείκτες διάθλασης σε διαφορετικά σημεία, προκαλώντας την αλλαγή κατεύθυνσης του μεταδιδόμενου κύματος. Αυτή η αλλαγή κατεύθυνσης προκαλεί διακύμανση στα επίπεδα της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος, εξαιτίας της αλλαγής της φαινόμενης θέσης του δορυφόρου

Αποπόλωση εξαιτίας βροχής και πάγου

Ο όρος αποπόλωση αναφέρεται στη μεταβολή των χαρακτηριστικών πόλωσης ενός ραδιοκύματος, η οποία προκαλείται από υδρομετέωρα βροχής και πάγου, καθώς και από την πολυδιαδρομική διάδοση. Η αποπόλωση μπορεί να τροποποιήσει την κατάσταση πόλωσης σε μη επιθυμητή ορθογώνια πολωμένη κατάσταση εισάγοντας φαινόμενα παρεμβολών μεταξύ των δύο ορθογώνια πολωμένων καναλιών. Η αποπόλωση εξαιτίας των μορίων βροχής και πάγου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε συχνότητες άνω των 12GHz, κυρίως σε συστήματα με επαναχρησιμοποίηση συχνότητας διαφορετικής ορθογώνιας πόλωσης.

Εξασθένηση εξαιτίας νεφώσεων και ομίχλης

Παρότι η βροχή έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην εξασθένηση του πλάτους του ραδιοκύματος, τα σύννεφα και η ομίχλη μειώνουν περαιτέρω την ισχύ του μεταδιδόμενου σήματος. [69]

Επίδραση βροχής

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, που προκαλεί ενεργειακές απώλειες στις δορυφορικές επικοινωνίες, οι οποίες λειτουργούν σε συχνότητες άνω των 3GHz και κυρίως, άνω των 10GHz, είναι η βροχή. Σε αντίθεση με τις απορροφήσεις εξαιτίας των ατμοσφαιρικών αερίων, οι απορροφήσεις από τα σταγονίδια της βροχής είναι πολύ πιο δύσκολο να προβλεφθούν. Έτσι, η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των δορυφορικών ζεύξεων σε αυτές τις συχνότητες μπορεί να μειωθούν σημαντικά. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά της πόλωσης του μεταδιδόμενου κύματος μπορεί να τροποποιηθούν εξαιτίας της μη-σφαιρικής δομής των σταγονιδίων της βροχής. Γι' αυτό τον λόγο, κατά τον σχεδιασμό μίας δορυφορικής ζεύξης εισάγονται περιθώρια απωλειών εξαιτίας της βροχής, τα οποία βασίζονται στη μελέτη των ρυθμών βροχόπτωσης, όπως δείχνεται παρακάτω, με βάση τις οδηγίες της ITU-R. [69]

Αναφορικά με τη βροχή, έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρότυπα για τη μοντελοποίηση της απόσβεσης που εισάγει. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο στην πράξη μοντέλο για την απώλεια λόγω βροχής είναι το ακόλουθο:

$$A_{\text{rain}} = \gamma_R L_e$$

όπου γ_R είναι η ειδική απόσβεση λόγω βροχής σε μονάδες dB/km και L_e είναι το ενεργό μήκος της διαδρομής υπό βροχή σε km, ενώ η εξασθένηση L_{rain} αναφέρεται σε ποσοστό χρόνου 100-p (%). Η τιμή του γ_R εξαρτάται από τη συχνότητα και τον ρυθμό βροχόπτωσης R_p (mm/h). Το αποτέλεσμα είναι μία τιμή εξασθένησης, η οποία ξεπερνιέται κατά τη διάρκεια ενός ποσοστού του χρόνου p και δίνεται από:

$$\gamma_R \text{ (dB/km)} = a \cdot R^b$$

όπου R είναι ο ρυθμός της βροχόπτωσης σε μονάδες mm/h, ο οποίος είτε μετράται σε πραγματικό χρόνο είτε δίνονται τυπικές τιμές του για κάθε περιοχή της Γης, σε ειδικούς πίνακες της ITU. Τα a, b είναι παράμετροι του προτύπου που υπολογίζονται, έτσι ώστε η συνάρτηση γ_R να προσεγγίζει τα πραγματικά δεδομένα, που δίνονται από μετρήσεις. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει η δυνατότητα να πραγματοποιηθούν τέτοιου είδους μετρήσεις, οι παράμετροι αυτές υπολογίζονται με βάση τις τυποποιημένες σχέσεις, ανάλογα με τη συχνότητα, την πόλωση, τη γωνία ανύψωσης του δορυφόρου ως προς το σημείο λήψης κ.λπ. Εμπειρικά, ο υπολογισμός των απωλειών εξαιτίας βροχόπτωσης πραγματοποιείται, βρίσκοντας την ειδική απόσβεση γ_R με βάση τη συχνότητα του φέροντος και το ύψος βροχόπτωσης, καθώς και το ενεργό μήκος υπό βροχή L_R , κάνοντας χρήση και της γωνίας ανύψωσης του ραδιοβήματος.

Οι συντελεστές a και b καθορίζονται από τη συχνότητα λειτουργίας του δορυφορικού συστήματος και από σχέσεις υπολογισμού της σκέδασης, από τις οποίες προκύπτει ο Πίνακας 3.1 για συχνότητες λειτουργίας από 1-50 GHz για οριζόντια (h) ή κάθετη (v) πόλωση.

f (GHz)	a_h	b_h	a_v	b_v
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
1.5	0.0000443	1.0185	0.0000574	0.8957
2	0.0000847	1.0664	0.0000998	0.9490
2.5	0.0001321	1.1209	0.0001464	1.0085
3	0.0001390	1.2322	0.0001942	1.0688
3.5	0.0001155	1.4189	0.0002346	1.1387
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
4.5	0.0001340	1.6948	0.0002347	1.3987
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882
6	0.0007056	1.5900	0.0004878	1.5728
7	0.0010915	1.4810	0.001425	1.4745
8	0,004115	1,3905	0,003450	1,3797
9	0,007535	1,3155	0,006691	1,2895
10	0,01217	1,2571	0,01129	1,2156
11	0,01772	1,2140	0,01731	1,1617
12	0,02386	1,1825	0,02455	1,1216
13	0,03041	1,1586	0,03266	1,0901
14	0,03738	1,1396	0,04126	1,0646
15	0,04481	1,1233	0,05008	1,0440
16	0,05282	1,1086	0,05899	1,0273
17	0,06146	1,0949	0,06797	1,0137
18	0,07078	1,0818	0,07708	1,0025
19	0,08084	1,0691	0,08642	0,9930
20	0,09164	1,0568	0,09611	0,9847
21	0,1032	1,0447	0,1063	0,9771
22	0,1155	1,0329	0,1170	0,9700
23	0,1286	1,0214	0,1284	0,9630
24	0,1425	1,0101	0,1404	0,9561
25	0,1571	0,9991	0,1533	0,9491
26	0,1724	0,9884	0,1669	0,9421
27	0,1884	0,9780	0,1813	0,9349
28	0,2051	0,9679	0,1964	0,9277
29	0,2224	0,9580	0,2124	0,9203
30	0,2403	0,9485	0,2291	0,9129
31	0,2588	0,9392	0,2465	0,9055
32	0,2778	0,9302	0,2646	0,8981
33	0,2972	0,9214	0,2833	0,8907
34	0,3171	0,9129	0,3026	0,8834
35	0,3374	0,9047	0,3224	0,8761
36	0,3580	0,8967	0,3427	0,8690
37	0,3789	0,8890	0,3633	0,8621
38	0,4001	0,8816	0,3844	0,8552
39	0,4215	0,8743	0,4058	0,8486
40	0,4431	0,8673	0,4274	0,8421
41	0,4647	0,8605	0,4492	0,8357
42	0,4865	0,8539	0,4712	0,8296
43	0,5084	0,8476	0,4932	0,8236
44	0,5302	0,8414	0,5153	0,8179

Πίνακας 3.1: Οι συντελεστές a και b συναρτήσει της συχνότητας για οριζόντια και κάθετη πόλωση, $1/3$

f (GHz)	a_h	b_h	a_v	b_v
45	0,5521	0,8355	0,5375	0,8123
46	0,5738	0,8297	0,5596	0,8069
47	0,5956	0,8241	0,5817	0,8017
48	0,6172	0,8187	0,6037	0,7967
49	0,6386	0,8134	0,6255	0,7918
50	0,6600	0,8084	0,6472	0,7871
51	0,6811	0,8034	0,6687	0,7826
52	0,7020	0,7987	0,6901	0,7783
53	0,7228	0,7941	0,7112	0,7741
54	0,7433	0,7896	0,7321	0,7700
55	0,7635	0,7853	0,7527	0,7661
56	0,7835	0,7811	0,7730	0,7623
57	0,8032	0,7771	0,7931	0,7587
58	0,8226	0,7731	0,8129	0,7552
59	0,8418	0,7693	0,8324	0,7518
60	0,8606	0,7656	0,8515	0,7486
61	0,8791	0,7621	0,8704	0,7454
62	0,8974	0,7586	0,8889	0,7424
63	0,9153	0,7552	0,9071	0,7395
64	0,9328	0,7518	0,9245	0,7366
65	0,9501	0,7485	0,9425	0,7339
66	0,9670	0,7458	0,9598	0,7313
67	0,9836	0,7428	0,9767	0,7287
68	0,9999	0,7400	0,9932	0,7262
69	1,0159	0,7372	1,0094	0,7238
70	1,0315	0,7345	1,0253	0,7215
71	1,0468	0,7318	1,0409	0,7193
72	1,0618	0,7293	1,0561	0,7171
73	1,0764	0,7268	1,0711	0,7150
74	1,0908	0,7244	1,0857	0,7130
75	1,1048	0,7221	1,1000	0,7110
76	1,1185	0,7199	1,1139	0,7091
77	1,1320	0,7177	1,1276	0,7073
78	1,1451	0,7156	1,1410	0,7055
79	1,1579	0,7135	1,1541	0,7038
80	1,1704	0,7115	1,1668	0,7021
81	1,1827	0,7096	1,1793	0,7004
82	1,1946	0,7077	1,1915	0,6988
83	1,2063	0,7058	1,2034	0,6973
84	1,2171	0,7040	1,2151	0,6958
85	1,2289	0,7023	1,2265	0,6943
86	1,2398	0,7006	1,2376	0,6929
87	1,2504	0,6990	1,2484	0,6915
88	1,2607	0,6974	1,2590	0,6902
89	1,2708	0,6959	1,2694	0,6889
90	1,2807	0,6944	1,2795	0,6876
91	1,2903	0,6929	1,2893	0,6864
92	1,2997	0,6915	1,2989	0,6852

Πίνακας 3.2: Οι συντελεστές a και b συναρτήσεως της συχνότητας για οριζόντια και κάθετη πόλωση, 2/3

f (GHz)	a_h	b_h	a_v	b_v
93	1.3089	0.6901	1.3083	0.6840
94	1.3179	0.6888	1.3175	0.6828
95	1.3266	0.6875	1.3265	0.6817
96	1.3351	0.6862	1.3352	0.6806
97	1.3434	0.6850	1.3437	0.6796
98	1.3515	0.6838	1.3520	0.6785
99	1.3594	0.6826	1.3601	0.6775
100	1.3671	0.6815	1.3680	0.6765
120	1.4866	0.6640	1.4911	0.6609
150	1.5823	0.6494	1.5896	0.6466
200	1.6378	0.6382	1.6443	0.6343
300	1.6286	0.6296	1.6286	0.6259
400	1.5860	0.6262	1.5820	0.6256
500	1.5418	0.6253	1.5366	0.6272
600	1.5013	0.6262	1.4967	0.6293
700	1.4654	0.6284	1.4622	0.6315
800	1.4335	0.6315	1.4321	0.6334
900	1.4050	0.6353	1.4056	0.6351
1000	1.3795	0.6396	1.3822	0.6365

Πίνακας 3.3: Οι συντελεστές a και b συναρτήσεως της συχνότητας για οριζόντια και κάθετη πόλωση, 3/3

Φαινόμενο Doppler

Οι γεωστατικοί δορυφόροι εμφανίζονται ακίνητοι σε σχέση με έναν τερματικό επίγειο σταθμό, ενώ στην περίπτωση των δορυφόρων σε χαμηλή τροχιά, ο δορυφόρος είναι σε σχετική κίνηση σε σχέση με το τερματικό. Αποτέλεσμα αυτής της κίνησης, συνήθως με μεγάλη ταχύτητα, είναι η ύπαρξη ορισμένων μεταβολών μεταξύ του δορυφόρου και του επίγειου τερματικού σταθμού. Καθώς ο δορυφόρος κινείται σε σχέση με τον επίγειο τερματικό σταθμό, η συχνότητα του δορυφορικού πομπού μεταβάλλεται σε σχέση με τον δέκτη του επίγειου τερματικού σταθμού. [70]

3.3 Μοντέλο προϋπολογισμού ισχύος

Το μοντέλο προϋπολογισμού ισχύος δορυφορικής σύνδεσης είναι μια θεμελιώδης έννοια που απαιτεί λεπτομερή εξερεύνηση. Αυτό το μοντέλο είναι ζωτικής σημασίας για τον προσδιορισμό της σκοπιμότητας και της αποτελεσματικότητας μιας δορυφορικής ζεύξης, χρησιμεύοντας ως κρίσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό και την ανάλυση συστημάτων δορυφορικών επικοινωνιών. Ο προϋπολογισμός ισχύος μιας δορυφορικής σύνδεσης ενσωματώνει όλα τα κέρδη και τις απώλειες από τον πομπό στον δέκτη, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της απόδοσης του συστήματος. Ο πυρήνας του Μοντέλου προϋπολογισμού ισχύος δορυφορικής σύνδεσης έγκειται στην ικανότητά του να εξισορροπεί τη μεταδιδόμενη ισχύ με την λαμβανόμενη ισχύ, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες όπως το κέρδος των κεραιών, την απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και του επίγειου σταθμού και τις εγγενείς απώλειες μέσα στο σύστημα. Τα βασικά στοιχεία αυτού του μοντέλου περιλαμβάνουν:

- Απολαβές
 - Κεραία εκπομπής, EIRP
 - Κεραία λήψης, G_{Rmax}
- Απώλειες
 - Ελεύθερου χώρου, L_{FS}
 - Ατμοσφαιρικής εξασθένησης, L_A
 - Εξοπλισμού εκπομπής και λήψης, L_{FTx} και L_{FRx}
 - Κακής ευθυγράμμισης μεταξύ των κεραιών, L_T και L_R
 - Ασυμφωνίας πολώσεων, L_{POL} [65]

Ο ακριβής υπολογισμός αυτών των παραγόντων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση αξιόπιστης μετάδοσης και λήψης σήματος, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των ζωνών υψηλής συχνότητας όπου η εξασθένηση του σήματος μπορεί να είναι σημαντική [71].

Επιπλέον, το μοντέλο προϋπολογισμού ισχύος δορυφορικής ζεύξης πρέπει να λαμβάνει υπόψη διάφορες ατμοσφαιρικές και περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος. Παράγοντες όπως η εξασθένηση της βροχής, τα ατμοσφαιρικά αέρια και οι ιονοσφαιρικές διαταραχές μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική απώλεια σήματος. Το μοντέλο, επομένως, περιλαμβάνει περιθώρια για την αντιστάθμιση αυτών των απρόβλεπτων απωλειών, διασφαλίζοντας ότι ο σύνδεσμος διατηρεί την ακεραιότητά του υπό αντίξοες συνθήκες. Αυτά τα περιθώρια υπολογίζονται προσεκτικά με βάση ιστορικά δεδομένα και προγνωστικά μοντέλα, υπογραμμίζοντας τη δυναμική φύση του μοντέλου στην προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες [71].

Απώλειες δορυφορικού συστήματος

Κατά την εκπομπή του σήματος από τον πομπό και μέχρι τη λήψη του στον δέκτη παρατηρείται σημαντική εξασθένηση της ισχύος του σήματος κατά τη διάδοσή του στον ραδιοδιάλυο. Επίσης, παρατηρούνται απώλειες στα εσωτερικά μέρη του πομπού και του δέκτη. Για να μπορέσουν να ληφθούν υπόψη οι περισσότερες εκ των απωλειών για την ανάλυση και σχεδίαση των δορυφορικών ζεύξεων, παρακάτω αναφέρονται οι παράγοντες, οι οποίοι προκαλούν απώλειες στο μεταδιδόμενο σήμα.

Παρακάτω παρουσιάζονται εν τάχει οι απώλειες δορυφορικού συστήματος που μπορεί να προκύψουν.

Απώλειες κενού χώρου (FSPL):

- – Συνιστούν την κυριότερη αιτία απωλειών, ιδιαίτερα στις δορυφορικές επικοινωνίες, εξαιτίας της πολύ μεγάλης απόστασης διάδοσης. Είναι συνάρτηση του μήκους του ακτινοβολούμενου κύματος και της απόστασης μεταξύ πομπού-δέκτη. Ορίζονται ως ο λόγος της λαμβανόμενης προς την εκπεμπόμενη ισχύ του επιθυμητού σήματος και αποτελούν ουσιαστικά την ελάχιστη απώλεια που υφίσταται το κύμα κατά τη διάδοσή του, στην ιδανική περίπτωση που ο χώρος είναι ελεύθερος εμποδίων. Συνήθως εκφράζονται σε λογαριθμική κλίμακα (dB) και προκύπτει η εξίσωση:

$$L_{rs} = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{c/f} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

- **Ατμοσφαιρική εξασθένιση, L_A**

- Απώλειες λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης
- Επίδραση της ιονόσφαιρας
- Εξασθένιση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων
- Άλλα προβλήματα διάδοσης

- **Εξοπλισμού εκπομπής και λήψης, L_{FTx} και L_{FRx}**

$$P_T = \frac{P_{Tx}}{L_{FTx}} \quad \text{και} \quad P_{Rx} = \frac{P_R}{L_{FRx}} \quad (2)$$

- **Απώλειες σκόπευσης**

- Απώλειες σκόπευσης παρατηρούνται, όταν οι κεραιές εκπομπής και λήψης δεν είναι πλήρως ευθυγραμμισμένες μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κέρδους τους σε σχέση με την τιμή στην κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας τους.

Ποσοτικά, η τιμή των απωλειών σκόπευσης δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

Απώλειες σκόπευσης πομπού (dB):

$$L_T(\text{dB}) = 12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3\text{dB}}} \right)^2 \quad (3)$$

όπου θ_i το γωνιακό σφάλμα σκόπευσης στην κεραιά πομπού και $\theta_{3\text{dB}}$ η γωνία ημίσειας ισχύος της κεραιάς λήψης

Απώλειες σκόπευσης δέκτη (dB):

$$L_R(\text{dB}) = 12 \left(\frac{\theta_r}{\theta_{3\text{dB}}} \right)^2 \quad (4)$$

όπου θ_r το γωνιακό σφάλμα σκόπευσης στην κεραιά δέκτη και $\theta_{3\text{dB}}$ η γωνία ημίσειας ισχύος της κεραιάς λήψης.

- **Απώλειες ασυμφωνίας πόλωσης**

- Λόγω της ιδιότητας των κεραιών να λαμβάνουν και να εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μία συγκεκριμένη πόλωση, σε περίπτωση που η πόλωση του λαμβανόμενου κύματος διαφέρει από αυτή της κεραιάς λήψης, παρατηρούνται απώλειες εξαιτίας ασυμφωνίας πόλωσης. Οι απώλειες αυξάνονται με την αύξηση της γωνίας μεταξύ των πολώσεων κεραιάς-κύματος και στην περίπτωση, μάλιστα, που μια κεραιά λαμβάνει σήμα σε πόλωση ορθογώνια (κάθετη) σε σχέση με αυτήν που ι-δανικά είναι κατασκευασμένη να λαμβάνει, τότε παρατηρείται πλήρης απώλεια του σήματος.

Για τη μελέτη της απώλειας ισχύος στην περίπτωση διαφορετικών πολώσεων προσπίπτοντος κύματος έχει ορισθεί ο παράγοντας απωλειών πόλωσης (polarization loss factor, PLF), ο οποίος εξετάζει την πόλωση και την κατεύθυνση του προσπίπτοντος στην κεραία κύματος και την πόλωση και την κατεύθυνση της κεραίας. Ποσοτικά, οι απώλειες, που συνεπάγεται η μη ευθυγράμμιση των δύο πολώσεων, ορίζονται από την εξίσωση:

$$L_{\text{pol}}(\text{dB}) = -20 \log(\cos(\psi)) \quad (5)$$

όπου ψ η γωνία μεταξύ της πόλωσης της κεραίας και αυτής του κύματος που λαμβάνεται

Συγκεντρώνοντας όλα τα παραπάνω, οδηγούμαστε στην λαμβανόμενη ισχύς, όπου:

Λαμβάνομενη ισχύς:

$$(P_{\text{Rx}} = (\text{EIRP}) \frac{1}{L_{\text{FS}} L_{\text{A}}} \frac{G_{\text{Rmax}}}{L_{\text{R}} L_{\text{FRx}} L_{\text{Pol}}} \text{ με } \text{EIRP} = \frac{P_{\text{Tx}} G_{\text{T}}}{L_{\text{T}} L_{\text{FTx}}}) \quad (6)$$

Θέτοντας όλες τις παραπάνω ποσότητες σε dB, π.χ., $[EIRP] = 10 \log_{10}(\text{EIRP})$, η ισχύς του σήματος λήψης, γράφεται:

$$[P_{\text{Rx}}] = [EIRP] + [G_{\text{R}}] - [L_{\text{FRx}}] - [L_{\text{R}}] - [L_{\text{Pol}}] - [L_{\text{A}}] - [L_{\text{FS}}] \quad (7)$$

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, η ενοποίηση του Μοντέλου προϋπολογισμού ισχύος δορυφορικής σύνδεσης με διαδικτυακές εφαρμογές ανοίγει νέες δυνατότητες ανάλυσης και βελτιστοποίησης. Η χρήση εργαλείων που βασίζονται στο διαδίκτυο επιτρέπει την παρακολούθηση και προσαρμογή του προϋπολογισμού ισχύος σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιώντας αλγόριθμους ανάλυσης δεδομένων και μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη και την απόκριση σε αλλαγές στις συνθήκες σύνδεσης. Αυτή η ενοποίηση μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία των δορυφορικών επικοινωνιών παρέχοντας μια πιο διαδραστική και προσαρμοστική προσέγγιση στη διαχείριση του προϋπολογισμού ενέργειας [72].

Συμπερασματικά, το μοντέλο προϋπολογισμού ισχύος δορυφορικής ζεύξης είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για το σχεδιασμό και τη συντήρηση αποτελεσματικών και αξιόπιστων συστημάτων δορυφορικής επικοινωνίας. Η λεπτομερής ανάλυσή του στην παρούσα εργασία, σε συνδυασμό με την καινοτόμο εφαρμογή εργαλείων που βασίζονται στο διαδίκτυο, προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για τη βελτιστοποίηση των δορυφορικών συνδέσεων. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση διασφαλίζει ότι τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών μπορούν να ανταποκριθούν στις αυξανόμενες απαιτήσεις για υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας δεδομένων, ακόμη και ενόψει των δύσκολων περιβαλλοντικών και ατμοσφαιρικών συνθηκών.

3.4 Επιπλέον Συναρτήσεις της εφαρμογής

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται και επεξηγούνται οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή.

1. Υπολογισμός SNR:

Σηματοθορυβικός λόγος Ο σηματοθορυβικός λόγος (Signal-to-Noise Ratio, SNR) ορίζεται ως ο λόγος της μέσης ισχύος του επιθυμητού σήματος S προς τη μέση ισχύ του θορύβου N που το συνοδεύει. Συνήθως ο λόγος SNR εκφράζεται σε dB, δηλαδή:

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) \quad (8)$$

Ο λόγος SNR είναι διαφορετικός σε διάφορα σημεία του συστήματος, με χαρακτηριστικό ότι μειώνεται, καθώς η επεξεργασία ενός σήματος προχωρεί από την είσοδο ενός συστήματος προς την έξοδό του. Γενικά, ο τελικός σκοπός ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος είναι η αξιόπιστη μετάδοση πληροφοριών. Η ποιότητα – αξιοπιστία ενός καναλιού ή μιας ζεύξης γενικότερα εκτιμάται από την τιμή του λόγου SNR. Ενδιαφέρει κυρίως η ανάλυση του λόγου SNR στην είσοδο του δέκτη, που χαρακτηρίζεται και ως λόγος ισχύος φέροντος προς την ισχύ θορύβου C/N του συστήματος. Τόσο για αναλογικά όσο και για ψηφιακά συστήματα, ο λόγος C/N στην είσοδο του δέκτη αποτελεί μια βασική παράμετρο για τον καθορισμό της αξιοπιστίας του συστήματος, που εξαρτάται κατά βάση από φαινόμενα διαλείψεων στο κανάλι μετάδοσης, καθώς επίσης και από τον θόρυβο που εισέρχεται από τις κεραίες και τις πρώτες βαθμίδες του δέκτη.

2. Υπολογισμός Χρόνου Μετάδοσης:

Ο χρόνος μεταξύ ενός δορυφόρου S και ενός επίγειου σταθμού P (σε sec) στις δορυφορικές ζεύξεις, γνωστός και ως χρόνος καθυστέρησης ή delay, είναι ο χρόνος που απαιτείται για ένα σήμα να ταξιδέψει από τον πομπό στον δέκτη μέσω του δορυφόρου. Αυτός ο χρόνος καθορίζεται από την απόσταση που πρέπει να διανύσει το σήμα και την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Για να υπολογίσουμε τον χρόνο μετάδοσης στις δορυφορικές ζεύξεις, χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$t = \frac{PS}{c}, \quad t = \frac{d}{c} \quad (9)$$

όπου:

d είναι η απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και του πομπού ή δέκτη.

c είναι 3×10^8 m/s, η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Αυτός ο τύπος είναι βασικός και ευρέως χρησιμοποιείται σε πολλά επιστημονικά και τεχνικά πεδία. Χρησιμοποιείται για να υπολογίσει πόσο χρόνο χρειάζεται το φως ή ένα άλλο ηλεκτρομαγνητικό σήμα για να ταξιδέψει από το ένα σημείο στο άλλο. Είναι ένας σημαντικός υπολογισμός στις επικοινωνίες, την αστρονομία, και άλλες επιστήμες όπου ο χρόνος μετάδοσης είναι κρίσιμος για την κατανόηση και τον σχεδιασμό συστημάτων.

Επίσης, ο χρόνος καθυστέρησης μπορεί να είναι σημαντικός σε δορυφορικές επικοινωνίες, ιδίως όταν οι δορυφόροι βρίσκονται σε υψηλότερες τροχιές, όπως οι γεωστατικοί δορυφόροι. Αυτός ο χρόνος μετάδοσης μπορεί να επηρεάσει εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ανταπόκριση, όπως τηλεδιάσκεψη ή online gaming. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται μειωμένη καθυστέρηση, οι δορυφόροι σε χαμηλότερη τροχιά (LEO) μπορούν να προσφέρουν καλύτερες λύσεις λόγω της μικρότερης απόστασης από τη Γη.

3. Υπολογισμός EIRP:

$$EIRP = P_{Tx} + G_T - L_{FTx} - L_T \quad (10)$$

Ο τύπος αναφέρεται στον υπολογισμό της Ισοδύναμης Ισχύος Ακτινοβολούμενης στο Κέντρο (Effective Isotropic Radiated Power - EIRP), η οποία είναι μια μέτρηση της ισχύος που ακτινοβολείται από μια κεραία σε μία δεδομένη κατεύθυνση σε σχέση με μια υποθετική ισότροπη κεραία (που ακτινοβολεί την ισχύ της ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις). Ο τύπος παρέχει έναν τρόπο να υπολογίσουμε την πραγματική αποτελεσματικότητα του συστήματος μετάδοσης σήματος, υπολογίζοντας την πληροφορία που παράγεται και την αποτελεσματική ακτινοβολία της κεραίας.

- P_{Tx} : Η ισχύς μετάδοσης του πομπού, συνήθως μετράται σε dBm ή watts. Πρόκειται για την ισχύ που παράγεται από τον πομπό πριν από τυχόν απώλειες μετάδοσης.
- G_T : Ο κερδοφόρος παράγοντας της κεραίας, συνήθως μετράται σε dBi. Αυτό εκφράζει το κέρδος της κεραίας σε σύγκριση με μια υποθετική ισότροπη κεραία και αναφέρεται στο πόσο αποτελεσματικά η κεραία ενισχύει το σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.
- L_{FTx} : Οι απώλειες μετάδοσης στο καλώδιο ή στα συνδετικά στοιχεία μεταξύ του πομπού και της κεραίας, συνήθως μετράται σε dB. Αυτές οι απώλειες μπορεί να περιλαμβάνουν την απώλεια λόγω του μήκους του καλωδίου, των συνδέσμων και άλλων παραγόντων.
- L_T : Οι απώλειες ανάκτησης σήματος, που μπορεί να σχετίζονται με την κεραία ή άλλα στοιχεία του συστήματος που ανακτούν το σήμα. Αυτή η μεταβλητή δεν είναι πάντα παρούσα στην αρχική εξίσωση EIRP, και ενδέχεται να υπάρχει λάθος ή παρεξήγηση στην αναφορά της.

Η EIRP υπολογίζεται λαμβάνοντας την ονομαστική ισχύ του πομπού, προσθέτοντας το κέρδος της κεραίας και αφαιρώντας τυχόν απώλειες που προκύπτουν στο σύστημα. Η τιμή που προκύπτει δίνει μια ένδειξη της αποτελεσματικής ισχύος ακτινοβολίας όπως ανιχνεύεται στον άξονα της μέγιστης κατευθυντικότητας της κεραίας. Αυτός ο δείκτης είναι κρίσιμος για τη σχεδίαση και την αξιολόγηση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, καθώς παρέχει μια εκτίμηση της ικανότητας του συστήματος να καλύπτει συγκεκριμένες αποστάσεις και να υπερβαίνει τα εμπόδια παρεμβολών.

4. Υπολογισμός Απώλειας Διαδρομής Ελεύθερου Χώρου (FSPL):

$$L_{FS} = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{c/f} \right) \text{ [dB]} \quad (11)$$

όπου,

- R είναι η απόσταση του δορυφόρου με τον επίγειο σταθμό
- λ είναι το μήκος κύματος
- c είναι ταχύτητα του φωτός
- f είναι η συχνότητα

Ο τύπος αυτός αναφέρεται στον υπολογισμό της Απώλειας Διαδρομής Ελεύθερου Χώρου (Free Space Path Loss, FSPL), ο οποίος χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες για να εκτιμήσει την απώλεια της ισχύος του σήματος καθώς αυτό διαδίδεται μέσω ελεύθερου χώρου (συνήθως μιλάμε για ατμοσφαιρικό ή εξωτερικό περιβάλλον χωρίς εμπόδια).

5. Ισχύς Θορύβου:

$$N = N_0 B = kTB, \quad (12)$$

όπου:

- $N_0 = kT$ είναι η φασματική πυκνότητα ισχύος θερμικού θορύβου,
- B είναι το εύρος ζώνης του πομπού (Bandwidth),
- k είναι $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K η σταθερά Boltzmann.

Η ισχύς θορύβου είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό και τη λειτουργία συστημάτων επικοινωνιών και ηλεκτρονικών συσκευών. Υψηλότερη ισχύς θορύβου μπορεί να μειώσει την ποιότητα του σήματος και να επηρεάσει την αξιοπιστία των δεδομένων που μεταφέρονται. Η κατανόηση και ο έλεγχος της ισχύος θορύβου επιτρέπουν την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και αξιόπιστων συστημάτων.

6. Εξασθένιση βροχής:

Για μια απλή γραμμική μοντελοποίηση, η απώλεια από βροχή A_{rain} μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$A_{rain} = \gamma_R L_e \quad (13)$$

όπου:

- L_e το ενεργό μήκος διαδρομής (effective path length) του σήματος διαμέσου της βροχής
- γ_R η ειδική εξασθένιση λόγω βροχής

Σε πρακτικές εφαρμογές, αυτός ο τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει την προσδοκώμενη απώλεια σήματος για τηλεπικοινωνιακά συστήματα κατά τη διάρκεια βροχής, είτε για την κατασκευή νέων συστημάτων είτε για την αξιολόγηση της απόδοσης υφιστάμενων συστημάτων. Στην πραγματικότητα, όμως, η απώλεια από βροχή είναι πιο πολύπλοκη και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η συχνότητα του σήματος, η πολιτική της βροχής και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Για πιο ακριβείς υπολογισμούς, χρησιμοποιούνται πιο περίπλοκα μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη αυτούς τους παράγοντες.

Για τον υπολογισμό της εξασθένισης βροχής (13), θα πρέπει να επίσης να υπολογιστούν και τα παρακάτω:

$$\gamma_R = \alpha \cdot R^b \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} [\alpha_H + \alpha_V + (\alpha_H - \alpha_V) \cos^2 E \cos(2\tau)] \quad (15)$$

όπου:

- τ η γωνία κλίσης της πόλωσης
- E η γωνία ανύψωσης σε μοίρες.

Επίσης,

$$b = \frac{1}{2a} [\alpha_H b_H + \alpha_V b_V + (\alpha_H b_H - \alpha_V b_V) \cos^2 E \cos(2\tau)] \quad (16)$$

Τα παραπάνω a_h , a_v και b_h , b_v μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τον πίνακα 3.1

Ακόμα, για την ολοκλήρωση υπολογισμού της εξίσωσης για την εξασθένηση βροχής, θα πρέπει υπολογιστεί, το ενεργό μήκος διαδρομής:

$$L_e = L_R u_{0.01} \text{ (km)} \quad (17)$$

όπου για τον υπολογισμό του L_R , θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε τον παράγοντα οριζόντιας εξασθένησης και τον παράγοντα κατακόρυφης προσαρμογής:

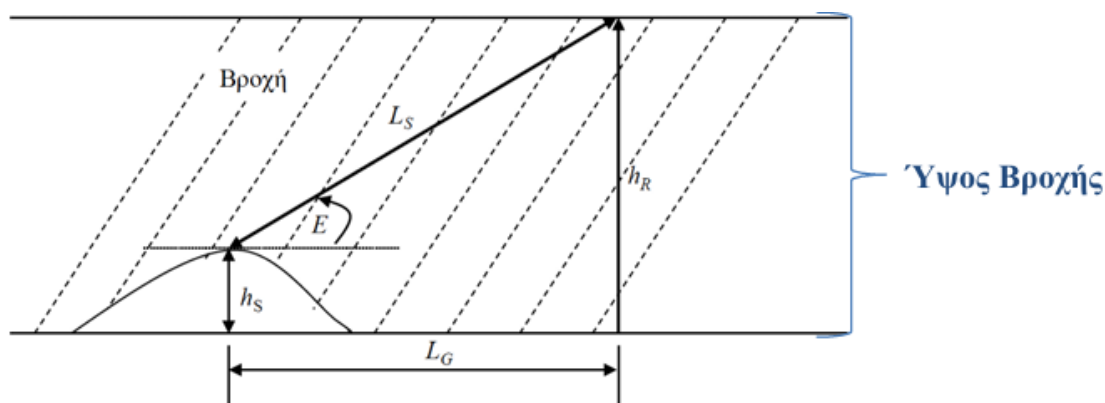
Παράγοντας οριζόντιας εξασθένησης

$$r_{0.01} = \left[1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} - 0.38(1 - e^{-2L_G}) \right]^{-1} \quad (18)$$

όπου L_G σε km, γ_R σε dB/km και f σε GHz και

$$L_G = L_S \cos(E) \quad (19)$$

όπου L_S , το γεωμετρικό μήκος της διαδρομής του σήματος διαμέσου βροχής:



Σχήμα 3.3

Γεωμετρικό μήκος της διαδρομής του σήματος διαμέσου βροχής:

$$L_S = \frac{(h_R - h_S)}{\sin(E)} \quad (20)$$

Το h_R είναι το υψηλότερο σημείο εξασθένησης λόγω βροχής:

$$h_R = \begin{cases} 3 + 0.028(\text{γεωγρ. πλ.}) [\text{km}], & \text{αν } 0^\circ < \text{γεωγρ. πλ.} \leq 36^\circ \\ 4 - 0.075(\text{γεωγρ. πλ.} - 36^\circ) [\text{km}], & \text{αν γεωγρ. πλ.} > 36^\circ \end{cases} \quad (21)$$

και το h_S είναι το ύψος του επίγειου σταθμού πάνω από την μέση στάθμη της θάλασσας.

Παράγοντας κατακόρυφης προσαρμογής

$$\zeta = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{L_{Gr0.01}} \right) \text{ deg} \quad (22)$$

Για $\zeta > E$ (γωνία ανύψωσης)

$$L_R = \frac{L_{Gr0.01}}{\cos E} \text{ km} \quad (23)$$

Διαφορετικά

$$L_R = \frac{(h_R - h_S)}{\sin E} \text{ km} \quad (24)$$

Επίσης,

Αν $|l_e| < 36$

$$\chi = 36 - |l_e| \text{ deg} \quad (25)$$

Διαφορετικά

$$\chi = 0 \text{ deg} \quad (26)$$

Τέλος,

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin E} \left(31 \left(1 - e^{-\frac{E}{1+x}} \right) \frac{\sqrt{L_R \gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right)} \quad (27)$$

Άρα, χρησιμοποιώντας

7. Γωνία ανύψωσης:

$$\cos E = \frac{R_{GEO} \sin \gamma}{R} \quad (28)$$

όπου:

- R_{GEO} είναι η απόσταση από το κέντρο της Γης μέχρι τον δορυφόρο σε γεωστατική τροχιά,
- γ είναι η κεντρική γωνία μεταξύ των διανυσμάτων RE και Rs και
- R είναι η απόσταση από τον παρατηρητή ή τον επίγειο σταθμό

Υπολογισμός γωνίας ανύψωσης:

$$E = \arctan \left\{ \left(\cos \gamma - \frac{R_E}{R_E + h_{GEO}} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma}} \right\} \quad (29)$$

όπου:

- R_E η ακτίνα της Γης,
- h_{GEO} , το ύψος της γεωστατικής τροχιάς ενός δορυφόρου από την επιφάνεια της Γης

8. Υπολογισμός Γωνίας Αζιμουθίου:

Η παράμετρος για τη γωνία αζιμουθίου (α , σε μοίρες) υπολογίζεται ως:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{\sin(|L|)}{\sqrt{1 - \cos^2(\gamma)}} \right) \quad (30)$$

όπου:

- L είναι το σχετικό γεωγραφικό μήκος,
- I είναι το Γεωγραφικό πλάτος επίγειου σταθμού

Οπότε έχοντας υπολογίσει την παράμετρο α , η γωνία Αζιμούθιου A, υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Ημισφαίριο του σταθμού	Θέση δορυφόρου σε σχέση με σταθμό	Γωνία Αζιμούθιου
Βόρειο	Ανατολικά	$A = \pi - \alpha$
Βόρειο	Δυτικά	$A = \pi + \alpha$
Νότιο	Ανατολικά	$A = \alpha$
Νότιο	Δυτικά	$A = 2\pi - \alpha$

Πίνακας 3.4: Υπολογισμός Αζιμούθιου

Η γωνία αζιμουθίου αποτελεί έναν κρίσιμο υπολογισμό στην πλοήγηση και την τοποθέτηση, ειδικά σε σχέση με την τοποθεσία ενός δορυφόρου στον ουρανό από ένα συγκεκριμένο σημείο στη Γη. Η γωνία αζιμουθίου μετρά τη γωνία οριζόντια από τον γεωγραφικό βορρά σε κατεύθυνση ανατολής προς το αντικείμενο (π.χ. έναν δορυφόρο).

9. Υπολογισμός Ταχύτητας Τροχιάς:

$$u = \sqrt{\frac{G \cdot M_E}{r}} \quad (31)$$

Όπου,

- G είναι η σταθερά της παγκόσμιας έλξης
- M_E είναι η μάζα της Γης
- r είναι η απόσταση από το κέντρο της Γης.

Ο τύπος

$$u = \sqrt{\frac{G \cdot M_E}{r}} \quad (32)$$

αποτελεί μια βασική εξίσωση στην αστροφυσική και στη βαρυτική θεωρία, και εκφράζει την ορμητική ταχύτητα (escape velocity) από τη Γη ή άλλο ουράνιο σώμα. Αυτή η ταχύτητα είναι η ελάχιστη ταχύτητα που πρέπει να έχει ένα αντικείμενο για να ξεφύγει από το βαρυτικό πεδίο της Γης, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την ατμοσφαιρική αντίσταση ή άλλες δυνάμεις (όπως την αεροδυναμική αντίσταση).

Η εξίσωση

$$u = \sqrt{\frac{G \cdot M_E}{r}} \quad (33)$$

δείχνει πως η ορμητική ταχύτητα εξαρτάται αντιστρόφως από την ρίζα της απόστασης από το κέντρο της Γης. Όσο πιο μακριά βρίσκεται κανείς από το κέντρο, τόσο μικρότερη είναι η απαιτούμενη ταχύτητα για να ξεφύγει από το βαρυτικό πεδίο της Γης. Αυτό είναι λογικό, καθώς η βαρυτική δύναμη μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης από το κέντρο μάζας. Η ταχύτητα u που προκύπτει είναι η ελάχιστη απαιτούμενη για να ξεφύγει ένα αντικείμενο από τη βαρυτική έλξη της Γης, χωρίς επιστροφή.

10. Υπολογισμός Περιόδου Τροχιάς:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{G - M_E}} \quad (34)$$

- T είναι η περίοδος της τροχιάς (η χρονική διάρκεια για μία πλήρη περιφορά).
- r είναι η μέση απόσταση από το κέντρο της μάζας του μεγάλου σώματος (π.χ., για έναν δορυφόρο, από το κέντρο της Γης).
- G είναι η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας.
- M είναι η μάζα του κεντρικού σώματος (π.χ., η μάζα της Γης).

Αυτός ο τύπος βασίζεται στον τρίτο νόμο του Κέπλερ, ο οποίος αναφέρει ότι το τετράγωνο της περιόδου της τροχιάς ενός πλανήτη (ή δορυφόρου) είναι ανάλογο του κύβου της μέσης απόστασης από το κέντρο της τροχιάς του. Η εξίσωση αυτή προκύπτει από την ισορροπία μεταξύ της κεντρομόλου δύναμης και της βαρυτικής δύναμης που ασκείται στο αντικείμενο.

$$F = \frac{GMm}{r^2} \quad (35)$$

όπου m είναι η μάζα του δορυφόρου. Για την κίνηση σε κυκλική τροχιά, η κεντρομόλος επιτάχυνση δίνεται από τον τύπο:

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (36)$$

Αντικαθιστώντας και ισορροπώντας τις δύο εξισώσεις, και αναλύοντας την ταχύτητα v με βάση την περιφερειακή διαδρομή ($v=T2\pi r$), καταλήγουμε στον τύπο για την περίοδο T .

3.5 Επίλογος

Η παρούσα εργασία παρείχε μια σε βάθος διερεύνηση της πολυπλοκότητας των αποχρώσεων της τεχνολογίας δορυφορικής ζεύξης, αλλά παρουσίασε, επίσης, και τον μετασχηματιστικό ρόλο των διαδικτυακών εφαρμογών σε αυτόν τον τομέα. Η σύγκλιση αυτών των δύο τομέων αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα στην εξέλιξη των παγκόσμιων τηλεπικοινωνιών, αντιμετωπίζοντας τις τρέχουσες προκλήσεις και ανοίγοντας το δρόμο για μελλοντικές καινοτομίες.

Η μετάβαση από την απλή βελτίωση του εύρους ζώνης και της ποιότητας σήματος σε πιο οικονομικά αποδοτικές και προσβάσιμες δορυφορικές συνδέσεις αντανακλά την ανταπόκριση του κλάδου στις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας δεδομένων. Αυτή η εξέλιξη, όπως διερευνήθηκε στις αρχικές ενότητες, καθοδηγείται από την ανάγκη υποστήριξης μιας σειράς αναδυόμενων υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών μετάδοσης πολυμέσων και IoT, που είναι ολόένα και πιο ζωτικής σημασίας στον διασυνδεδεμένο κόσμο μας.

Η πολυπλοκότητα του τρόπου με τον οποίο παράγοντες όπως τα ατμοσφαιρικά αέρια, η βροχή και οι γεωμαγνητικές καταιγίδες μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος και να επηρεάσουν αρνητικά την απόδοση της δορυφορικής ζεύξης. Αυτή η εξερεύνηση ήταν ζωτικής σημασίας για την κατανόηση των εγγενών προκλήσεων στη διατήρηση ισχυρών και αξιόπιστων δορυφορικών επικοινωνιών, ειδικά σε ζώνες υψηλότερων συχνοτήτων όπου αυτές οι επιπτώσεις είναι πιο έντονες. Οι Τεχνικές Μετριάσμου της Εξασθένησης της Διάδοσης (PIMTs) υπογραμμίζουν τη σημασία του προσαρμοστικού και ελαστικού σχεδιασμού του συστήματος για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.

Οι οικονομικές και εμπορικές πτυχές, μαζί με το ρυθμιστικό και πολιτικό τοπίο των δορυφορικών επικοινωνιών, εξετάστηκαν επίσης διεξοδικά. Παράγοντες όπως το κόστος εκτόξευσης, τα λειτουργικά έξοδα και η δυναμική της αγοράς, επιδρούν κρίσιμα στην ανάπτυξη και βιωσιμότητα των δορυφορικών συνδέσεων. Επιπλέον, οι διεθνείς κανονισμοί και οι πολιτικές διαμορφώνουν το επιχειρησιακό πλαίσιο εντός του οποίου λειτουργούν τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών, τονίζοντας την ανάγκη για στρατηγικό σχεδιασμό και καινοτομία ως απάντηση σε αυτές τις εξωτερικές επιρροές.

Η ενσωμάτωση διαδικτυακών εφαρμογών στην ανάλυση και διαχείριση δορυφορικών συνδέσεων αναδείχθηκε ως κεντρικό θέμα της παρούσας εργασίας. Η ενσωμάτωση φιλικών προς τον χρήστη διεπαφών και δυνατοτήτων επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω εφαρμογών Ιστού έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο παρακολουθούμε, ελέγχουμε και βελτιστοποιούμε τις λειτουργίες των δορυφόρων. Αυτή η συγχώνευση

δορυφορικής τεχνολογίας και λύσεων που βασίζονται στο διαδίκτυο ανοίγει το δρόμο για πιο προσιτές, αποτελεσματικές και προσαρμόσιμες δορυφορικές επικοινωνίες, καθιστώντας το απαραίτητο εργαλείο για μελλοντικές εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια ολιστική θεώρηση της τρέχουσας κατάστασης και των αναδυόμενων τάσεων στις δορυφορικές επικοινωνίες, εμπλουτισμένη από την καινοτόμο εφαρμογή των τεχνολογιών Ιστού. Οι γνώσεις που συγκεντρώθηκαν από αυτήν τη μελέτη όχι μόνο συμβάλλουν στην κατανόηση των τεχνικών και λειτουργικών πτυχών των δορυφορικών συνδέσεων, αλλά υπογραμμίζουν επίσης τις δυνατότητες για μελλοντικές εξελίξεις σε αυτόν τον ταχέως εξελισσόμενο τομέα. Καθώς κοιτάμε μπροστά, η ενοποίηση προηγμένων τεχνολογιών και προσαρμοστικών στρατηγικών θα συνεχίσει να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του μέλλοντος των δορυφορικών επικοινωνιών, διασφαλίζοντας ότι θα παραμείνει ζωντικό και ανθεκτικό στοιχείο της παγκόσμιας συνδεσιμότητας.

Κεφάλαιο 4ο: Παρουσίαση και ανάλυση online εργαλείου εκπαίδευσης

4.1 Εισαγωγή

Η online πλατφόρμα "Μελέτη Δορυφορικών Ζεύξεων" σχεδιάστηκε για να παρέχει βαθιά επιστημονική ανάλυση και πρακτική κατανόηση των δορυφορικών συνδέσεων. Η εφαρμογή είναι κατάλληλη τόσο για ειδικούς στον τομέα των δορυφορικών επικοινωνιών όσο και για φοιτητές και ερευνητές που επιθυμούν να εμβαθύνουν στις δυναμικές των δορυφορικών ζεύξεων.

Μέσα από την πλατφόρμα, οι χρήστες μπορούν να εισάγουν συγκεκριμένες παραμέτρους και να λαμβάνουν λεπτομερή αναλύσεις για κρίσιμες μετρήσεις όπως το Signal-to-Noise Ratio (SNR), την Effective Isotropic Radiated Power (EIRP), την Free Space Path Loss (FSPL), τις Pointing Losses και πολλές άλλες. Η εφαρμογή προσφέρει επίσης ενημερωτικά κουμπιά πληροφοριών που βοηθούν τους χρήστες να κατανοήσουν τη σημασία και τις εφαρμογές κάθε παραμέτρου, διευκολύνοντας τη μάθηση και την κατανόηση των δορυφορικών επικοινωνιών.

Η "Μελέτη Δορυφορικών Ζεύξεων" αποτελεί ένα ανεκτίμητο εργαλείο για την εκπαίδευση, την έρευνα και την πρακτική εφαρμογή των δορυφορικών συστημάτων. Στόχος της είναι να παρέχει έναν έξυπνο και προσβάσιμο τρόπο για την εξερεύνηση και την ανάλυση των δυναμικών της δορυφορικής επικοινωνίας, καθιστώντας την τεχνολογία αυτή πιο κατανοητή και προσιτή σε ένα ευρύτερο κοινό.

4.2 Περιβάλλον εργαλείου

4.2.1 Εγκατάσταση – διασύνδεση εφαρμογών

Visual Studio Code (VS Code) Για τη δημιουργία του online εργαλείου που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Visual Studio Code (VS Code). Το Visual Studio Code (VS Code) αποτελεί έναν εξαιρετικά δυναμικό και ευέλικτο επεξεργαστή κώδικα, ο οποίος έχει καταστεί ένα από τα προτιμώμενα εργαλεία για προγραμματιστές σε όλο τον κόσμο. Με την πλούσια συλλογή του από πρόσθετα και επεκτάσεις, καθώς και την ικανότητά του να υποστηρίζει ποικιλία γλωσσών προγραμματισμού, το VS Code ενδείκνυται για την ανάπτυξη μιας ευρείας γκάμας εφαρμογών, από απλές ιστοσελίδες μέχρι περίπλοκα συστήματα λογισμικού.

Ένα παράδειγμα της εφαρμογής του VS Code είναι και η δημιουργία της διαδικτυακής εφαρμογής για την ανάλυση δορυφορικών ζεύξεων, που δημιουργήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Αυτό το εγχείρημα απαιτήσε την ολοκληρωμένη συνεργασία διαφορετικών τεχνολογιών, όπως οι βάσεις δεδομένων, οι διαδικτυακοί διακομιστές και η γραφική διεπαφή χρήστη, ενώ παράλληλα απαιτεί την ενσωμάτωση και την ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων δορυφορικών ζεύξεων.

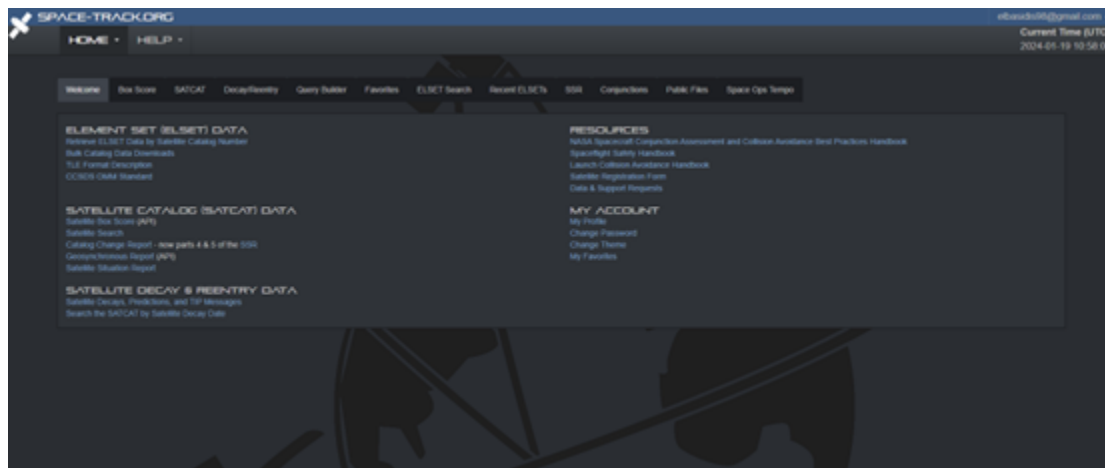
Η χρήση του VS Code σε αυτό το πρότζεκτ υπογραμμίζει την ικανότητά του να διαχειρίζεται μεγάλα και περίπλοκα εγχειρήματα, χάρη στην αποδοτική διαχείριση κώδικα, την ενσωματωμένη υποστήριξη για σύστημα ελέγχου εκδόσεων όπως το Git, και την ευκολία προσαρμογής του περιβάλλοντος εργασίας στις ανάγκες του κάθε προγραμματιστή. Αυτό καθιστά το VS Code ένα απαραίτητο εργαλείο για την ανάπτυξη καινοτόμων και τεχνικά απαιτητικών διαδικτυακών εφαρμογών, όπως αυτή για την ανάλυση δορυφορικών ζεύξεων. Το

Visual Studio Code (VS Code) αποτελεί έναν εξαιρετικά δυναμικό και ευέλικτο επεξεργαστή κώδικα, ο οποίος έχει καταστεί ένα από τα προτιμώμενα εργαλεία για προγραμματιστές σε όλο τον κόσμο. Με την πλούσια συλλογή του από πρόσθετα και επεκτάσεις, καθώς και την ικανότητά του να υποστηρίζει ποικιλία γλωσσών προγραμματισμού, το VS Code ενδείκνυται για την ανάπτυξη μιας ευρείας γκάμας εφαρμογών, από απλές ιστοσελίδες μέχρι περίπλοκα συστήματα λογισμικού [73].

Space-Track Η ιστοσελίδα Space-Track.org είναι μια εξειδικευμένη πλατφόρμα που παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες και δεδομένα σχετικά με τα τροχιακά αντικείμενα. Αυτή η πλατφόρμα διαχειρίζεται από το Joint Space Operations Center (JSPOC) του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ και προσφέρει δεδομένα για χιλιάδες δορυφόρους και άλλα αντικείμενα που κινούνται στο διάστημα.

Η Space-Track.org είναι μια κρίσιμη πηγή για όσους ενδιαφέρονται για το διαστημικό περιβάλλον, παρέχοντας αναλυτικές πληροφορίες για τις τροχιές των δορυφόρων, τις καταγραφές των εκτοξεύσεων και τα δεδομένα των διαστημικών απορριμμάτων. Οι χρήστες που έχουν πρόσβαση στην ιστοσελίδα μπορούν να αναζητήσουν δεδομένα για συγκεκριμένους δορυφόρους, να εντοπίσουν τροχιακές πορείες και να παρακολουθούν την κίνηση διαστημικών αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο.

Η Space-Track.org αποτελεί επίσης έναν σημαντικό πόρο για την διαστημική κατασκευή και την ασφάλεια, καθώς παρέχει δεδομένα που βοηθούν στην αποφυγή συγκρούσεων στο διάστημα και στον σχεδιασμό ασφαλών τροχιών για νέες εκτοξεύσεις δορυφόρων. Με τη συνεχή αύξηση της δορυφορικής δραστηριότητας και της εξερεύνησης του διαστήματος, η σημασία της Space-Track.org στην παγκόσμια διαστημική κοινότητα είναι αδιαμφισβήτητη. [74]



Σχήμα 4.1: Space-Track.org

Διασύνδεση εργαλείων Για τη δημιουργία του εργαλείου "Μελέτη Δορυφορικών Ζεύξεων", χρειάστηκε να ανακτηθούν τα δεδομένα των δορυφόρων μέσα από την online εφαρμογή Space-Track. Συγκεκριμένα στην εφαρμογή Space-Track υπάρχει η δυνατότητα μέσω queries να παραχθούν java scripts apis με τα δεδομένα των δορυφόρων. Στη συνέχεια το api που εξάγει η εφαρμογή διασυνδέεται στην δική μας εφαρμογή.

Το αρχείο 'spaceTrackApi.js' είναι ένας κώδικας JavaScript για Node.js, ο οποίος χρησιμοποιεί το Express framework και το axios για HTTP αιτήσεις. Αυτός ο κώδικας δημιουργεί έναν απλό διακομιστή API ο οποίος εκτελεί τα εξής βασικά βήματα:

1. Ρύθμιση Απαιτήσεων και Δημιουργία του Express App: Χρησιμοποιεί τα πακέτα 'express' και 'axios' και δημιουργεί ένα νέο Express application.
2. Στοιχεία Αυθεντικοποίησης: Καθορίζει σταθερές μεταβλητές για το όνομα χρήστη και κωδικό πρόσβασης, όπως και για τα URLs της Space-Track API για την αυθεντικοποίηση και ανάκτηση δεδομένων.
3. Συνάρτηση fetchData: Αυτή η ασύγχρονη συνάρτηση εκτελεί τη διαδικασία αυθεντικοποίησης στην Space-Track API με τη χρήση των παρεχόμενων στοιχείων και, αν επιτύχει, ανακτά δεδομένα από την API (π.χ. τελευταίες TLEs).
4. Εκτέλεση fetchData και Δημιουργία Σημείου Τέλους API: Η 'fetchData()' καλείται αυτόματα και επίσης χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός σημείου τέλους API '/api/satellites' που επιστρέφει δεδομένα στην μορφή JSON.
5. Εκκίνηση του Server: Ορίζει τη θύρα και ξεκινά τον διακομιστή στην καθορισμένη θύρα.

Ο παραπάνω κώδικας που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση δεδομένων από το API του Space-Track.org πρέπει να τρέχει σε ένα περιβάλλον Node.js και όχι απευθείας σε έναν web browser. Αυτό σημαίνει ότι θα χρειαστεί να γραφεί σε ένα ξεχωριστό αρχείο JavaScript και να εκτελεστεί στον server μας.

Για την παραπάνω ενέργεια τα βήματα είναι τα εξής:

1. Δημιουργία Αρχείου JavaScript: Δημιουργούμε ένα νέο αρχείο με κατάληξη .js, π.χ., spaceTrackApi.js.
2. Αντιγραφή και επικόλληση τον κώδικα που εξήγαγε το space-track.
3. Εγκατάσταση Node.js και Axios: Εάν δεν υπάρχει ήδη το Node.js εγκατεστημένο στον υπολογιστή, το κατεβάζουμε και το εγκαθιστούμε είτε από το nodejs.org είτε απευθείας μέσω του VScode
4. Ανοίγουμε το terminal ή command prompt και μεταβαίνουμε στον φάκελο που περιέχει το αρχείο spaceTrackApi.js.
5. Τρέχουμε την εντολή npm init και ακολουθούμε τις οδηγίες για να δημιουργηθεί ένα νέο Node.js project (αυτό θα δημιουργήσει ένα αρχείο package.json).
6. Στη συνέχεια, τρέχουμε την εντολή npm install axios για να εγκατασταθεί η βιβλιοθήκη Axios.
7. Εκτέλεση του Κώδικα: Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω διαδικασίες, ο κώδικας μπορεί να εκτελεστεί του αρχείου spaceTrackApi.js τρέχοντας την εντολή node spaceTrackApi.js στο terminal ή command prompt.
8. Αυτός ο κώδικας θα εκτελείται στον server και όχι στον web browser. Είναι σημαντικό να μην ενσωματωθεί τέτοιου είδους κώδικα στα HTML αρχεία που τρέχουν στον browser, ειδικά αν περιέχουν ευαίσθητα στοιχεία όπως τα στοιχεία σύνδεσης σε API.

Οι εικόνες που ακολουθούν εμφανίζουν το Api που έχει συνδεθεί με το αρχείο javascript και εμφανίζουν αποσπασματικά τα στοιχεία των δορυφόρων 'Starlink', 'Hellas-Sat 3' και 'Hellas – Sat 4'

```

1  const { getSatelliteInfo } = require("../tle.js/dist/tlejs.cjs");
2
3  const tle = `StarLink
4  1 25544U 98067A 17286.18396726 .00001961 00000-0 36771-4 0 9993
5  2 25544 51.6400 208.9163 0006317 69.9862 25.2906 15.54225995 67660 `;
6
7  const observerLat = 37.709203;
8  const observerLng = -97.427754;
9
10 console.log(getSatelliteInfo(tle, null, observerLat, observerLng, 0));
11

```

```

{
  lng: -167.98238865673352,
  lat: 22.333776437856145,
  elevation: -28.100491282519196,
  azimuth: 277.41032733904143,
  range: 6726.642779265917,
  height: 364.4384271565805,
  velocity: 7.6923343775371675
}

```

Σχήμα 4.2: Στοιχεία δορυφόρου Starlink - Κώδικας

```

{
  ORDINAL: '1',
  COMMENT: 'GENERATED VIA SPACETRACK.ORG API',
  ORIGINATOR: '18 SPACS',
  NORAD_CAT_ID: '325',
  OBJECT_NAME: 'THOR ABLESTAR DEB',
  OBJECT_TYPE: 'DEBRIS',
  CLASSIFICATION_TYPE: 'U',
  INTLDES: '610150B',
  EPOCH: '2024-01-15 20:40:03',
  EPOCH_MICROSECONDS: '915552',
  MEAN_MOTION: '14.20068959',
  ECCENTRICITY: '0.0061104',
  INCLINATION: '66.9134',
  RA_OF_ASC_NODE: '203.6405',
  ARG_OF_PERICENTER: '336.4614',
  MEAN_ANOMALY: '23.3686',
  EPHMERIS_TYPE: '0',
  ELEMENT_SET_NO: '999',
  REV_AT_EPOCH: '20758',
  BSTAR: '0.0006153',
  MEAN_MOTION_DOT: '0.00001255',
  MEAN_MOTION_DDOT: '0',
  FILE: '4162957',
  TLE_LINE0: '0 THOR ABLESTAR DEB',
  TLE_LINE1: '1 00325U 610150B 24015.86115643 .00001255 00000-0 61530-3 0 9990',
  TLE_LINE2: '2 00325 66.9134 203.6405 0061104 336.4614 23.3686 14.20068959207584',
  OBJECT_ID: '1961-0150B',
  OBJECT_NUMBER: '325',
  SEMIMAJOR_AXIS: '7203.257',
  PERIOD: '101.404',
  APOGEE: '869.136',
  PERIGEE: '781.107',
  DECAYED: '0',
},
... 25282 more items
]

```

Σχήμα 4.3: Πληροφορίες δορυφόρου - Keplerian Elements - Κώδικας

2. npm install

Αυτή η εντολή εγκαθιστά όλες τις εξαρτήσεις που αναφέρονται στο αρχείο `package.json`. Ο κατάλογος `node_modules` είναι ο φάκελος όπου το `npm` θα εγκαταστήσει τα πακέτα.

Χρήση της Βιβλιοθήκης `satellite-js` Στην πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη `satellite-js` [75] για την πρόβλεψη της πορείας δορυφόρων. Αυτή η βιβλιοθήκη βασίζεται στα μοντέλα SGP4 και SDP4 για τον υπολογισμό των τροχιών.

1. Μοντέλα SGP4/SDP4

- (a) SGP4 (Simplified General Perturbations 4): Χρησιμοποιείται για δορυφόρους σε χαμηλή γήινη τροχιά (LEO). Λαμβάνει υπόψη ατμοσφαιρική αντίσταση, το μη σφαιρικό σχήμα της Γης και βαρυτικές επιρροές από τον Ήλιο και τη Σελήνη.
- (b) SDP4 (Simplified Deep Space Perturbations 4): Επεκτείνει το SGP4 για δορυφόρους σε υψηλότερες τροχιές, προσθέτοντας επιπλέον διαταραχές όπως ηλιακή ακτινοβολία και ανακλάσεις της Γης και της Σελήνης.

2. Συντεταγμένες ECI και ECF

- (a) ECI (Earth-Centered Inertial): Ένα αδρανειακό σύστημα συντεταγμένων με κέντρο τη Γη και άξονες που δεν περιστρέφονται μαζί της. Χρησιμοποιείται για την περιγραφή τροχιών δορυφόρων.
- (b) ECF (Earth-Centered Fixed): Ένα σύστημα συντεταγμένων με κέντρο τη Γη, οι άξονες του οποίου περιστρέφονται μαζί της. Χρησιμοποιείται για γεωγραφική τοποθέτηση αντικειμένων στην επιφάνεια της Γης.

3. NORAD (North American Aerospace Defense Command)

Το NORAD είναι ένας διασυνοριακός οργανισμός αεροπορικής άμυνας μεταξύ των ΗΠΑ και του Καναδά. Οι κύριες λειτουργίες του περιλαμβάνουν την αεροπορική άμυνα, την παρακολούθηση διαστημικών αντικειμένων και την παροχή ειδοποιήσεων για πυραυλικές επιθέσεις. Χρησιμοποιεί τα μοντέλα SGP4 και SDP4 για την παρακολούθηση των δορυφόρων και την ενημέρωση των TLE (Two-Line Elements) που είναι απαραίτητα για την ακριβή πρόβλεψη των τροχιών.

Εγκατάσταση της Βιβλιοθήκης `satellite-js` Η βιβλιοθήκη μπορεί να εγκατασταθεί με τους εξής τρόπους: [75]

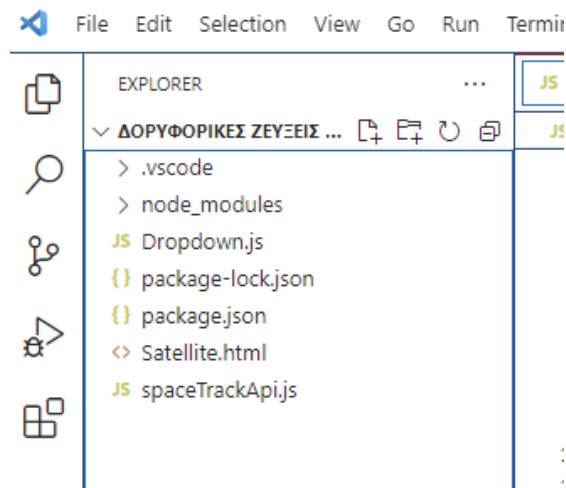
```
npm install satellite.js
```

Επεξήγηση Συναρτήσεων της Βιβλιοθήκης `satellite-js` Παρακάτω επεξηγούνται όλες οι συναρτήσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία. [75]

1. `twoline2satrec`: Μετατρέπει δύο γραμμές TLE σε ένα αντικείμενο `satrec` που περιέχει τις τροχιακές παραμέτρους του δορυφόρου.

2. propagate: Υπολογίζει τη θέση και την ταχύτητα του δορυφόρου για μια συγκεκριμένη στιγμή.
3. gstime: Υπολογίζει τον Greenwich Mean Sidereal Time για μια συγκεκριμένη ημερομηνία.
4. eciToEcf: Μετατρέπει συντεταγμένες από το σύστημα Earth-Centered Inertial (ECI) στο σύστημα Earth-Centered Fixed (ECF).
5. geodeticToEcf: Μετατρέπει γεωδαιτικές συντεταγμένες σε συντεταγμένες ECF.
6. eciToGeodetic: Μετατρέπει συντεταγμένες ECI σε γεωδαιτικές συντεταγμένες.
7. ecfToLookAngles: Υπολογίζει τις γωνίες παρατήρησης (αζιμούθιο, ύψος) και την απόσταση μεταξύ του παρατηρητή και του δορυφόρου.
8. degreesToRadians: Μετατρέπει μοίρες σε ακτίνια.
9. degreesLong: Μετατρέπει ακτίνια σε γεωδαιτικό μήκος σε μοίρες.
10. degreesLat: Μετατρέπει ακτίνια σε γεωδαιτικό πλάτος σε μοίρες.

Έλεγχος Εγκατάστασης Μετά την εκτέλεση της εντολής εγκατάστασης, ένας φάκελος `node_modules` θα πρέπει να υπάρχει στον κατάλογο του έργου. Αυτός ο φάκελος περιέχει όλα τα εγκατεστημένα πακέτα. Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται όλοι οι φάκελοι και τα αρχεία του έργου.



Σχήμα 4.6: Φάκελοι του project Δορυφορικές Ζεύξεις

Όσον αφορά το στοιχείο TLE που χρησιμοποιείται στη διασύνδεση, είναι μια μορφή δεδομένων που κωδικοποιεί μια λίστα με τα τροχιακά στοιχεία ενός αντικειμένου που περιφέρεται γύρω από τη Γη για ένα συγκεκριμένο σημείο στο χρόνο, την εποχή. Χρησιμοποιώντας κατάλληλους τύπους πρόβλεψης, η κατάσταση (θέση και ταχύτητα) σε οποιοδήποτε σημείο στο παρελθόν ή το μέλλον μπορεί να εκτιμηθεί με κάποια ακρίβεια.

Στη συνέχεια εμφανίζεται ένα παράδειγμα TLE του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού (ISS)

ISS (ZARYA)

1 25544U 98067A 20220.25765183 .00031791 00000-0 57938-3 0 9999

2 25544 51.6453 95.7043 0001117 20.0719 119.8247 15.49172948239931

Τα TLE παρέχουν μια σειρά από μαθηματικούς αριθμούς για την καταγραφή της τροχιάς του διαστημικού αντικειμένου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της προβλεπόμενης γεωγραφικού πλάτους και μήκους (μεταξύ άλλων).

Τα TLE μπορούν να αποκτηθούν από πολλές ιστοσελίδες όπως το celestrak.com, space-track.org και άλλες ιστοσελίδες. Για την εγκατάστασή τους χρησιμοποιείται η παρακάτω εντολή: `npm install tle.js`

Στην παρούσα πτυχιική εργασία τα TLE που αντλούνται από το API του Spacetrack.org σε συνδυασμό με την βιβλιοθήκη `satellite-js` μας παρέχουν τον πιο ακριβή υπολογισμό των παραπάνω πληροφοριών για ένα δορυφόρο. Αυτό συμβαίνει καθώς έχουμε την πιο πρόσφατη εργασία TLE για όλους τους δορυφόρους και έπειτα κάνουμε υπολογισμό της ακριβούς τοποθεσίας του με την βιβλιοθήκη `satellite-js` [75]

4.2.2 Περιβάλλον της HTML ανάπτυξης

Η ανάπτυξη μιας HTML σελίδας για την απεικόνιση δορυφορικών δεδομένων απαιτεί την εξέταση των διαθέσιμων τεχνικών μεθόδων διασύνδεσης και την επιλογή της πλέον κατάλληλης λύσης. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι το API της Space-Track.org, παρόλο που είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την πρόσβαση σε δορυφορικά δεδομένα, δεν παρέχει άμεση συμβατότητα με την HTML για την ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Η HTML, ως μία γλώσσα σήμανσης που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ιστοσελίδων, δεν διαθέτει από μόνη της τη λειτουργικότητα για την επεξεργασία ή την ανάκτηση δεδομένων από εξωτερικά API όπως αυτό της Space-Track.org. Συνεπώς, για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης HTML σελίδας, έγινε χρήση των δεδομένων των δορυφόρων που αποκτήθηκαν μέσω αλληλεπιδράσεων με το API μέσω ενός κατάλληλου προγραμματιστικού πλαισίου, όπως Java. Αυτό επέτρεψε την επεξεργασία και την προετοιμασία των δεδομένων σε μια μορφή που μπορεί να ενσωματωθεί και να παρουσιαστεί αποτελεσματικά στην HTML σελίδα.

Κατά συνέπεια, η τρέχουσα αρχιτεκτονική της εφαρμογής δεν επιτρέπει την άμεση διασύνδεση της HTML σελίδας με το API για την πραγματοποίηση δυναμικών ανακτήσεων δεδομένων δορυφόρων. Αντ' αυτού, η σελίδα χρησιμοποιεί προ-επεξεργασμένα δεδομένα, τα οποία έχουν εξαχθεί και διαμορφωθεί μέσω Java, επιτρέποντας την αποτελεσματική παρουσίαση και ανάλυση των δορυφορικών πληροφοριών.

Ξεκινώντας στο `head` του `html` αρχείου της Μελέτης των Δορυφορικών Ζευξέων, έχουν οριστεί κάποια `css styles` για τα κουμπιά της εφαρμογής. Ο ορισμών διαφόρων `στυλ/μορφοποιήσεων` παρέχει σημαντικά οφέλη για την εφαρμογή, και για αυτόν τον λόγο γίνεται αυτή η επιλογή. Αναλυτικότερα η χρήση `στυλ` προσφέρει:

1. **Συνοχή και Ενιαία Εμφάνιση:** Η ομοιομορφία στο `στυλιστικό` σχεδιασμό των κουμπιών σε όλη την εφαρμογή είναι κρίσιμη για τη δημιουργία μιας συνεκτικής και επαγγελματικής εμφάνισης. Η οριοθέτηση των `στυλ` στο `<head>` διασφαλίζει ότι όλα τα κουμπιά στην εφαρμογή ακολουθούν την ίδια σχεδιαστική γραμμή.
2. **Ευκολία Συντήρησης και Ενημερώσεων:** Όταν τα `στυλ CSS` για τα κουμπιά ορίζονται

κεντρικά στο '<head>', κάνει τη διαχείριση και την ενημέρωση του στυλ πιο εύκολη. Αλλαγές στο στυλ μπορούν να γίνουν σε ένα σημείο και να εφαρμοστούν αυτόματα σε όλα τα κουμπιά σε όλη την εφαρμογή.

3. Βελτιωμένη Απόδοση: Η δήλωση των στυλ στο '<head>' μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της ιστοσελίδας, καθώς τα στυλ φορτώνονται πριν από την εμφάνιση των στοιχείων στον browser. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες βλέπουν μια πλήρως στυλισμένη σελίδα από τη στιγμή που φορτώνει.
4. Διαχωρισμός Περιεχομένου και Στυλ: Η αρχή του διαχωρισμού του περιεχομένου από το στυλ είναι ένας βασικός κανόνας στον web design. Το να έχετε το CSS στο '<head>' σημαίνει ότι το HTML περιέχει μόνο το περιεχόμενο και τη δομή, ενώ το CSS χειρίζεται όλο το στυλιστικό μέρος.
5. Αυξημένη Προσβασιμότητα: Ο σχεδιασμός μπορεί να βελτιώσει την προσβασιμότητα για τους χρήστες. Τα κουμπιά με συνεκτικό στυλ είναι πιο ευανάγνωστα και ευκολότερα στην αναγνώριση, κάτι το οποίο είναι σημαντικό για όλους τους χρήστες, ειδικά για εκείνους με ειδικές ανάγκες.

Συμπερασματικά, ο ορισμός του στυλ για τα κουμπιά στο '<head>' της HTML εφαρμογής "Μελέτη Δορυφορικών Ζεύξεων" είναι μια ουσιαστική πρακτική που αυξάνει την αποδοτικότητα, τη συνοχή και την ευχρηστία της εφαρμογής.

Σκοπός και Χρησιμότητα:

1. Ο συγκεκριμένος κώδικας παρέχει μια διαισθητική διεπαφή για τον χρήστη, όπου μπορεί να εισάγει και να προσαρμόσει τιμές παραμέτρων που αφορούν τις δορυφορικές ζεύξεις.
2. Τα κουμπιά πληροφοριών διευκολύνουν την κατανόηση του ρόλου και της σημασίας κάθε παραμέτρου, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για χρήστες που μπορεί να μην είναι εξοικειωμένοι με τεχνικές λεπτομέρειες των δορυφορικών συστημάτων.

Συνολικά, ο παραπάνω κώδικας ενσωματώνει κρίσιμες λειτουργίες για την εκπαίδευση και την ενημέρωση των χρηστών σε σχέση με τις βασικές παραμέτρους των δορυφορικών επικοινωνιών, προσδίδοντας στην εφαρμογή την ικανότητα να είναι όχι μόνο λειτουργική αλλά και εκπαιδευτική.

Μετά την καταχώρηση τιμών ο χρήστης μπορεί να υπολογίσει τα αποτελέσματα πατώντας στο κουμπί Calculate.

Με αυτό τον τρόπο η εφαρμογή επιτρέπει στον χρήστη να εκτελέσει υπολογισμούς σχετικά με τις δορυφορικές ζεύξεις (ή άλλες σχετικές λειτουργίες) μέσω του κουμπιού και στη συνέχεια να δει τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών στον ορισμένο χώρο εμφάνισης. Αυτός ο συνδυασμός είναι πολύ χρήσιμος για τη διαδραστικότητα της εφαρμογής, καθώς επιτρέπει την άμεση ανατροφοδότηση και την δυναμική αλληλεπίδραση με τον χρήστη.

4.3 Παρουσίαση εργαλείου

Η αρχική οθόνη του εργαλείου της μελέτης των δορυφορικών ζεύξεων, η οποία εμφανίζεται στην εικόνα 7, αρχικά δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει ο χρήστης έναν από τους 3 δορυφόρους

που παρέχονται από το αντίστοιχο μενού «Επίλεξε δορυφόρο». Στη συνέχεια ο χρήστη μπορεί να καταχωρίσει τις τιμές που επιθυμεί, οι τιμές μπορεί να μείνουν και κενές απλά το αποτέλεσμα στα περιεχόμενα για τους αντίστοιχους υπολογισμούς θα είναι μηδενικό.

Μελέτη Δορυφορικών Ζεύξεων

Εύρος Ζώνης - Bandwidth (Mhz):	<input type="text" value="1MHz-2000MHz"/>	Πληροφορίες
Ισχύς Πομπού (dBm):	<input type="text" value="0-80dBm"/>	Πληροφορίες
Κέρδος κεραίας (dBi):	<input type="text" value="0-50dBi"/>	Πληροφορίες
Απώλειες Σκόπευσης Πομπού (dB):	<input type="text" value="0-20dB"/>	Πληροφορίες
Απώλειες Σκόπευσης Δέκτη (dB):	<input type="text" value="0-20dB"/>	Πληροφορίες
Απώλειες Καλωδίου Πομπού (dB):	<input type="text" value="0-20dB"/>	Πληροφορίες
Απώλειες Καλωδίου Δέκτη (dB):	<input type="text" value="0-20dB"/>	Πληροφορίες
Απώλειες ασυμφωνίας πολώσεων (dB):	<input type="text" value="0-20dB"/>	Πληροφορίες
Συχνότητα (GHz):	<input type="text" value="1 GHz"/>	Πληροφορίες
Περιοχή Επίγειου Σταθμού:	<input type="text" value="A"/>	Πληροφορίες
Διαθεσιμότητα (%):	<input type="text" value="99.999"/>	Πληροφορίες
Ένταση Βροχής (mm/h):	<input type="text" value="22"/>	Πληροφορίες
Πόλωση:	<input type="text" value="Οριζόντια"/>	Πληροφορίες
Θερμοκρασία Δέκτη (C):	<input type="text" value="Εισάγετε τη Θερμοκρασία"/>	Πληροφορίες
Γεωγραφικό πλάτος παρατηρητή (μοίρες):	<input type="text" value="40.6439"/>	Πληροφορίες
Γεωγραφικό μήκος παρατηρητή (μοίρες):	<input type="text" value="22.9358"/>	Πληροφορίες
Υψόμετρο παρατηρητή (km):	<input type="text" value="Εισάγετε το υψόμετρο"/>	Πληροφορίες
Γεωγραφικό πλάτος δορυφόρου (μοίρες):	<input type="text" value="Επιλέξτε δορυφόρο"/>	Πληροφορίες
Γεωγραφικό μήκος δορυφόρου (μοίρες):	<input type="text" value="Επιλέξτε δορυφόρο"/>	Πληροφορίες
Υψόμετρο Δορυφόρου (km):	<input type="text" value="Επιλέξτε δορυφόρο"/>	Πληροφορίες
Απόσταση Επίγειου Σταθμού - Δορυφόρου (km):	<input type="text" value="Επιλέξτε δορυφόρο"/>	Πληροφορίες

Με ορατότητα Συμπληρώστε την :

© 2024 Αχιλλέας Γκέκας - Χρήστος Ελμπασίδης. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
 Για μελλοντικές βελτιώσεις και προτάσεις μπορείτε να μας βρείτε στα παρακάτω email: gkekas57@gmail.com elbasidis98@gmail.com

Σχήμα 4.7: Αρχική σελίδα εφαρμογής "Μελέτη Δορυφορικών Ζεύξεων"

Επίσης ο χρήστης μπορεί να ενημερωθεί για τη λειτουργία το σκοπό και τα όρια κάθε μίας παραμέτρου πατώντας στο αντίστοιχο κουμπί δίπλα της. Η αρχική οθόνη του εργαλείου της μελέτης των δορυφορικών ζεύξεων εμφανίζεται στην εικόνα 7. Η δυνατότητα του χρήστη να ενημερώνεται για τη λειτουργία, το σκοπό και τα όρια κάθε παραμέτρου πατώντας στο αντίστοιχο κουμπί δίπλα της είναι χρήσιμη για πολλούς λόγους:

Ενίσχυση Κατανόησης: Η παροχή λεπτομερών πληροφοριών για κάθε παράμετρο βοηθά τους χρήστες να κατανοήσουν την σημασία και τη λειτουργία τους. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περίπτωση που ο χρήστης δεν είναι πλήρως εξοικειωμένος με τις δορυφορικές επικοινωνίες ή τη δορυφορική τεχνολογία.

Βελτίωση Εκπαιδευτικού Αποτελέσματος: Για φοιτητές ή εκπαιδευόμενους, η δυνατότητα να λάβουν άμεσες εξηγήσεις για κάθε παράμετρο αποτελεί έναν ισχυρό εκπαιδευτικό πόρο. Αυτό τους βοηθά να συνδέσουν τη θεωρία με την πρακτική εφαρμογή. Αυξημένη Ακρίβεια

Στη συνέχεια και αφού συμπληρωθούν οι επιθυμητές παράμετροι, πατώντας το κουμπί του υπολογισμού εμφανίζεται η παρακάτω οθόνη

Έπειτα έχουμε την δυνατότητα επιλογής δορυφόρου, και δυνατότητα φιλτραρίσματος των δορυφόρων βάση τον τύπο του. Επίσης μπορούμε να ορίσουμε την ορατότητα του παρατηρητή που θέλει να πετύχει προς τον δορυφόρο. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να φιλτράρουμε τους δορυφόρους που κινούνται αυτή τη στιγμή από πάνω μας και επιτυγχάνεται γωνία ανύψωσης προς το δορυφόρο μεγαλύτερη από αυτή που ορίζουμε στο πεδίο Γωνία Ανύψωσης.

Μια ακόμη προσθήκη που έγινε στην ιστοσελίδα είναι πως καταφέραμε να παρακολουθούμε ζωντανά την κατεύθυνση του δορυφόρου αλλά και τις αλλαγές που επηρεάζονται λόγω της κίνησης του δορυφόρου.

Απώλειες Σκόπευσης Πομπού (dB):	2	Πληροφορίες
Απώλειες Σκόπευσης Δέκτη (dB):	2	Πληροφορίες
Απώλειες Καλωδίου Πομπού (dB):	2	Πληροφορίες
Απώλειες Καλωδίου Δέκτη (dB):	2	Πληροφορίες
Απώλειες ασυμφωνίας πολώσεων (dB):	2	Πληροφορίες
Συχνότητα (GHz):	27 GHz	Πληροφορίες
Περιοχή Επίγειου Σταθμού:	K	Πληροφορίες
Διαθεσιμότητα (%):	99	Πληροφορίες
Ένταση Βροχής (mm/h):	1.5	Πληροφορίες
Πόλωση:	Κυκλική	Πληροφορίες
Θερμοκρασία Δέκτη (C):	26	Πληροφορίες
Γεωγραφικό πλάτος παρατηρητή (μοίρες):	40.6439	Πληροφορίες
Γεωγραφικό μήκος παρατηρητή (μοίρες):	22.9358	Πληροφορίες
Υψόμετρο παρατηρητή (km):	0.3	Πληροφορίες
Γεωγραφικό πλάτος δορυφόρου (μοίρες):	3.1561	Πληροφορίες
Γεωγραφικό μήκος δορυφόρου (μοίρες):	14.4262	Πληροφορίες
Υψόμετρο Δορυφόρου (km):	36102.8956	Πληροφορίες
Απόσταση Επίγειου Σταθμού - Δορυφόρου (km):	37673.0274	Πληροφορίες

Με ορατότητα Συμπληρώστε την : 45

All LEO MEO GEO

AMC-4 (GE-4) (1999-060A)

Υπολογισμός

Έναρξη Πάυση 3D Απεικόνιση

Σηματοθρομβικός Λόγος (SNR): 8.61 dB [Πληροφορίες](#)

Χρόνος μετάδοσης σήματος: 125.66 ms [Πληροφορίες](#)

Ενεργός ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP): 58.00 dBW [Πληροφορίες](#)

Απώλειες κενού χώρου (FSPL): 212.60 dB [Πληροφορίες](#)

Εξασθένιση βροχής: 3.3134 dB [Πληροφορίες](#)

Συνολική απώλεια διαδρομής: 215.91 dB [Πληροφορίες](#)

Γωνία Ανύψωσης: 45.7447 degrees [Πληροφορίες](#)

Γωνία Αζιμούθιου: 193.8123 degrees [Πληροφορίες](#)

Τροχιακή Ταχύτητα: 3.06 km/s [Πληροφορίες](#)

Περίοδος τροχιάς: 24 ώρες και 12 λεπτά [Πληροφορίες](#)

Λαμβανόμενη ισχύς: -123.91 dBm [Πληροφορίες](#)

© 2024 Αχιλλέας Γκέκας - Χρήστος Ελιμπασιδής. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Για μελλοντικές βελτιώσεις και προτάσεις μπορείτε να μας βρείτε στα παρακάτω email: gkekas57@gmail.com elbasidis98@gmail.com

Σχήμα 4.9: Αποτελέσματα υπολογισμών

4.4 Επίλογος

Καθώς φτάνουμε στο τέλος της παρουσίασης της ιστοσελίδας μελέτης δορυφορικών ζεύξεων, αναδεικνύεται η σημασία της διαδραστικότητας και της άμεσης αλληλεπίδρασης στην εκπαίδευση και στην επαγγελματική ανάλυση. Η παρούσα εφαρμογή, μέσω των διαδραστικών στοιχείων της όπως είναι τα κουμπιά πληροφοριών, τα εισαγωγικά πεδία και οι εμφανίσεις αποτελεσμάτων, προσφέρει στον χρήστη μια πλούσια και ενδιαφέρουσα εμπειρία.

Η δυναμική της ιστοσελίδας μας επιτρέπει στους χρήστες να πειραματιστούν με διάφορες παραμέτρους, να λάβουν άμεσα αποτελέσματα και να κατανοήσουν τις περίπλοκες δυναμικές των δορυφορικών επικοινωνιών. Αυτή η αλληλεπίδραση διευκολύνει την εκπαιδευτική διαδικασία, καθώς οι χρήστες μαθαίνουν μέσα από την πράξη και όχι μόνο μέσα από θεωρητικές εξηγήσεις.

Επιπροσθέτως, η ιστοσελίδα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για επαγγελματίες στον τομέα των δορυφορικών επικοινωνιών, παρέχοντας τους τη δυνατότητα να αναλύσουν σενάρια και να διερευνήσουν τις επιπτώσεις διαφόρων παραμέτρων στην πράξη. Αυτή η προσέγγιση συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση και στην βελτιστοποίηση των δορυφορικών συστημάτων.

Συνολικά, η διαδραστικότητα της ιστοσελίδας αναδεικνύει τη σημασία της ενεργού μάθησης και της άμεσης ανατροφοδότησης στην τεχνολογική εκπαίδευση και την επαγγελματική ανάπτυξη. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, τέτοιες διαδραστικές εφαρμογές θα παίζουν έναν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στη μεταφορά της γνώσης και στην ενδυνάμωση των επαγγελματιών του αύριο.

Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης

5.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της εφαρμογής για τη μελέτη δορυφορικών ζεύξεων έχει αποτελέσει μια σημαντική προσπάθεια που συνδυάζει τεχνολογία, εκπαίδευση και επικοινωνία. Καθώς κλείνουμε αυτό το στάδιο ανάπτυξης, είναι σημαντικό να εξετάσουμε τα κυριότερα ευρήματα και να προσδιορίσουμε τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται.

Συμπεράσματα

1. Τεχνολογική Ενσωμάτωση και Προκλήσεις: Ένα από τα βασικά συμπεράσματα της εφαρμογής είναι η πρόκληση της τεχνολογικής ενσωμάτωσης, ειδικά σε σχέση με τη σύνδεση με το API της Space-Track.org. Η διαδικασία της διασύνδεσης και ανάκτησης πραγματικών δεδομένων δείχνει τις δυσκολίες που μπορεί να αντιμετωπίσει μια τέτοια εφαρμογή στην πράξη.
2. Δυναμική Διεπαφή και Διαδραστικότητα: Η εφαρμογή κατάφερε να παρέχει μια δυναμική και διαδραστική εμπειρία για τους χρήστες. Η ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων όπως κουμπιά για ανακτήσεις πληροφοριών και εισαγωγή δεδομένων από τον χρήστη είναι ένα θετικό βήμα προς την ενίσχυση της εκπαιδευτικής και πρακτικής αξίας της εφαρμογής. Υπάρχουν βέβαια εφαρμογές όπως η NASA's Eyes Visualization που μπορεί να προσφέρουν πιο προχωρημένες διεπαφές, όπως γραφικές παραστάσεις δεδομένων ή διαδραστικούς χάρτες [76].
3. Εκπαιδευτική Σημασία: Η εφαρμογή αναδεικνύει τη σημασία της οπτικής αναπαράστασης και της διαδραστικότητας στην εκπαίδευση. Η δυνατότητα των χρηστών να διερευνήσουν και να κατανοήσουν περίπλοκες δορυφορικές ζεύξεις μέσω ενός διαδραστικού περιβάλλοντος είναι ένα σημαντικό βήμα προς την ενίσχυση της τεχνολογικής και επιστημονικής κατανόησης. Άλλες πλατφόρμες όπως η MIT's OpenCourseWare on Satellite Engineering μπορεί να ενσωματώνουν περισσότερα διδακτικά εργαλεία, όπως προσομοιωτές, βίντεο και περισσότερα διαδραστικά στοιχεία, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της μάθησης [77].

Προτάσεις Βελτίωσης

1. Βελτίωση Διεπαφής Χρήστη: Περαιτέρω βελτίωση της διεπαφής χρήστη θα μπορούσε να προσφέρει μια πιο ομαλή και εντυπωσιακή εμπειρία, ειδικά στην εμφάνιση πολύπλοκων δεδομένων και γραφημάτων.
2. Προσθήκη επιπλέον παραμέτρων: Η ενσωμάτωση επιπλέον παραμέτρων θα βοηθούσε στον πιο ακριβή υπολογισμό των ζητούμενων πληροφοριών και σε συνδυασμό με διαδραστικά στοιχεία θα αύξανε την πρακτική αξία της εφαρμογής για τους χρήστες.
3. Προσθήκη Εργαλείων Ανάλυσης: Η ενσωμάτωση εργαλείων ανάλυσης, όπως γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων, θα βοηθούσε τους χρήστες να κατανοήσουν καλύτερα τις δυναμικές των δορυφορικών συστημάτων.
4. Αυτοματοποιημένες Ενημερώσεις και Μηνύματα Βοήθειας: Η προσθήκη αυτοματοποιημένων ενημερώσεων και επεξηγηματικών μηνυμάτων θα βοηθούσε τους χρήστες να κατανοήσουν καλύτερα τη λειτουργία της εφαρμογής και να λάβουν βοήθεια κατά τη χρήση της.

Η συνεχής βελτίωση και εξέλιξη αυτής της εφαρμογής θα αποτελέσει σημαντική προσθήκη στον τομέα των δορυφορικών επικοινωνιών, προσφέροντας αξιόλογες εκπαιδευτικές και επαγγελματικές ευκαιρίες για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη.

5.2 Επίλογος

Η ανάπτυξη της παραπάνω εφαρμογής για την μελέτη δορυφορικών ζεύξεων αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την κατανόηση και την ανάλυση της σύνθετης και δυναμικής φύσης των δορυφορικών επικοινωνιών. Μέσω αυτής της εφαρμογής, οι χρήστες αποκτούν τη δυνατότητα να εξερευνήσουν πολύπλοκες παραμέτρους όπως το SNR, την EIRP, την FSPL, καθώς και τις γωνίες εκτίμησης και αζιμούθιου. Οι διαδραστικές λειτουργίες, όπως τα κουμπιά πληροφοριών, προσφέρουν βαθύτερη κατανόηση και εκπαιδευτική αξία, κάνοντας την εφαρμογή ιδανική τόσο για εκπαιδευτικούς όσο και για επαγγελματίες στον τομέα των δορυφορικών τεχνολογιών.

Είτε ως εκπαιδευτικό εργαλείο, είτε ως μέσο για την επαγγελματική ανάλυση, η εφαρμογή αυτή έχει διαδραστικότητα και βάθος που δεν βρίσκεται συχνά σε παρόμοια εργαλεία. Οι χρήστες μπορούν να διερευνήσουν με ποιον τρόπο, διάφορες παράμετροι επηρεάζουν την απόδοση της δορυφορικής επικοινωνίας και να κατανοήσουν τις προκλήσεις και τις δυνατότητες που παρουσιάζει ο σύγχρονος δορυφορικός τομέας.

Τέλος, η συνεχής εξέλιξη και βελτίωση τέτοιων εφαρμογών θα συνεχίσει να αποτελεί κρίσιμο στοιχείο στο μέλλον των δορυφορικών επικοινωνιών. Με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την αύξηση των διαθέσιμων δεδομένων, εργαλεία όπως αυτό θα συνεχίσουν να παίζουν έναν ζωτικό ρόλο στην παροχή προηγμένων λύσεων και πληροφοριών σε όλους όσους ασχολούνται με τον συναρπαστικό κόσμο των δορυφορικών τεχνολογιών.

Συνολικά, η εφαρμογή μας έχει πετύχει σημαντικούς στόχους σε εκπαιδευτικό και διαδραστικό επίπεδο, παρά τις τεχνολογικές προκλήσεις. Υπάρχει περιθώριο για περαιτέρω βελτιώσεις, ειδικά στην ενσωμάτωση δεδομένων και στην παροχή πιο προχωρημένων διεπαφών και εργαλείων ανάλυσης.

BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

- [1] D. Vougioukas, *Doryforikes Epikoinonies: Technologies, Systimata kai Efarmoges*. Ellinika Akadimaika Ilektronika Synggrammata, 2015.
- [2] O. Kodheli, E. Lagunas, N. Maturo, S. K. Sharma, B. Shankar, J. F. M. Montoya, J. C. M. Duncan, D. Spano, S. Chatzinotas, S. Kisseleff, J. Querol, L. Lei, T. X. Vu, and G. Goussetis, "Satellite communications in the new space era: A survey and future challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 70–109, 2021.
- [3] P. Series, "Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems," *Recommendation ITU-R*, pp. 618–12, 2015.
- [4] A. A. Salih, S. Zeebaree, A. S. Abdulraheem, R. R. Zebari, M. Sadeeq, and O. M. Ahmed, "Evolution of mobile wireless communication to 5g revolution," *Technology Reports of Kansai University*, vol. 62, no. 5, pp. 2139–2151, 2020.
- [5] "Generations of wireless communication." Available: <https://civilspedia.com/generations-of-wireless-communication>, 2024. Accessed: 2024-05-25.
- [6] H. Mehta, D. Patel, B. Joshi, and H. Modi, "0g to 5g mobile technology: A survey," *J. Basic Appl. Eng. Res*, vol. 5, pp. 56–60, 2014.
- [7] A. Kumar, D. Y. Liu, and D. J. Sengupta, "Divya4," "evolution of mobile wireless communication networks: 1g to 4g", vol. 1, issue 1," 2010.
- [8] E. Ezhilarasan and M. Dinakaran, "A review on mobile technologies: 3g, 4g and 5g," in *2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, pp. 369–373, 2017.
- [9] M. N. Dumbre, M. M. Patwa, and M. K. Patwa, "5g wireless technologies-still 4g auction not over, but time to start talking 5g," *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, vol. 2, 2013.
- [10] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, and M. Zorzi, "Towards 6g networks: Use cases and technologies," 2020.
- [11] I. Petrov and T. Janevski, "5g mobile technologies and early 6g viewpoints," *European Journal of Engineering and Technology Research*, vol. 5, no. 10, pp. 1240–1246, 2020.
- [12] M. H. Alsharif, A. H. Kelechi, M. A. Albream, S. A. Chaudhry, M. S. Zia, and S. Kim, "Sixth generation (6g) wireless networks: Vision, research activities, challenges and potential solutions," *Symmetry*, vol. 12, no. 4, p. 676, 2020.
- [13] N. Khiadani, "Vision, requirements and challenges of sixth generation (6g) networks," in *2020 6th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS)*, pp. 1–4, 2020.
- [14] M. Banafaa, I. Shayea, J. Din, M. H. Azmi, A. Alashbi, Y. I. Daradkeh, and A. Alhammadi, "6g mobile communication technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 64, pp. 245–274, 2023.
- [15] C. Lipps, S. Baradie, M. Noushinfar, J. Herbst, A. Weinand, and H. D. Schotten, "Towards the sixth generation (6g) wireless systems: Thoughts on physical layer security," in *Mobile Communication-Technologies and Applications; 25th ITG-Symposium*, pp. 1–6, VDE, 2021.

- [16] Q. Liu, S. Sarfraz, and S. Wang, "An overview of key technologies and challenges of 6g," in *Machine Learning for Cyber Security: Third International Conference, ML4CS 2020, Guangzhou, China, October 8–10, 2020, Proceedings, Part II 3*, pp. 315–326, Springer, 2020.
- [17] M. M. Aslam, L. Du, X. Zhang, Y. Chen, Z. Ahmed, and B. Qureshi, "Sixth generation (6g) cognitive radio network (crn) application, requirements, security issues, and key challenges," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2021, pp. 1–18, 2021.
- [18] Y. Yuan, Y. Zhao, B. Zong, and S. Parolari, "Potential key technologies for 6g mobile communications," *Science China Information Sciences*, vol. 63, pp. 1–19, 2020.
- [19] H. Elayan, O. Amin, B. Shihada, R. M. Shubair, and M.-S. Alouini, "Terahertz band: The last piece of rf spectrum puzzle for communication systems," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 1, pp. 1–32, 2020.
- [20] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira, and O. Gnawali, "Visible light communication: Concepts, applications and challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3204–3237, 2019.
- [21] L. U. Khan, "Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges," *Digital Communications and Networks*, vol. 3, no. 2, pp. 78–88, 2017.
- [22] Q. Wu and R. Zhang, "Intelligent reflecting surface enhanced wireless network via joint active and passive beamforming," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 18, no. 11, pp. 5394–5409, 2019.
- [23] Y. Golovachev, A. Etinger, G. Pinhasi, and Y. Pinhasi, "Propagation properties of sub-millimeter waves in foggy conditions," *Journal of Applied Physics*, vol. 125, no. 15, 2019.
- [24] L. J. Ippolito Jr, *Satellite communications systems engineering: atmospheric effects, satellite link design and system performance*. John Wiley & Sons, 2017.
- [25] J. Takei and J. Murai, "Satellite communication on the internet: its history and the technology," in *2003 Symposium on Applications and the Internet Workshops, 2003. Proceedings.*, pp. 3–7, 2003.
- [26] K. Igwe, O. Oyedum, M. Ajewole, and A. Aibinu, "Evaluation of some rain attenuation prediction models for satellite communication at ku and ka bands," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 188, pp. 52–61, 2019.
- [27] B. Di, L. Song, Y. Li, and H. V. Poor, "Ultra-dense leo: Integration of satellite access networks into 5g and beyond," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 2, pp. 62–69, 2019.
- [28] J. Mandeep and K. Tanaka, "Effect of atmospheric parameters on satellite link," *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, vol. 28, pp. 789–795, 2007.
- [29] K. R. Fall and W. R. Stevens, *TCP/IP illustrated, volume 1: The protocols*. Addison-Wesley, 2011.
- [30] M. M. Rasheed, N. M. Norwawi, O. Ghazali, and M. K. Faaeq, "Detection algorithm for internet worms scanning that used user datagram protocol," *International Journal of Information and Computer Security*, vol. 11, no. 1, pp. 17–32, 2019.

- [31] M.-C. Lin, Y.-Q. Yang, C.-Y. Chang, and S.-K. Lee, "An uplink random access scheme based on aloha system assisted by gain division multiple access," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 28887–28895, 2023.
- [32] J. Deutschmann, K.-S. Hielscher, and R. German, "Performance of modern web protocols over satellite links," 2021.
- [33] S. Endres, J. Deutschmann, K.-S. Hielscher, and R. German, "Performance of quic implementations over geostationary satellite links," 2022.
- [34] Z. Xiao, J. Yang, T. Mao, C. Xu, R. Zhang, Z. Han, and X.-G. Xia, "Leo satellite access network (leo-san) towards 6g: Challenges and approaches," *IEEE Wireless Communications*, pp. 1–8, 2022.
- [35] A. Gaber, M. A. ElBahaay, A. Maher Mohamed, M. M. Zaki, A. Samir Abdo, and N. AbdelBaki, "5g and satellite network convergence: Survey for opportunities, challenges and enabler technologies," in *2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, pp. 366–373, 2020.
- [36] Z. Gao, A. Liu, and X. Liang, "The performance analysis of downlink noma in leo satellite communication system," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 93723–93732, 2020.
- [37] T. Darwish, G. K. Kurt, H. Yanikomeroglu, M. Bellemare, and G. Lamontagne, "Leo satellites in 5g and beyond networks: A review from a standardization perspective," 2021.
- [38] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard, and P. Mogensen, "Handover solutions for 5g low-earth orbit satellite networks," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 93309–93325, 2022.
- [39] S.-K. Liao, H.-L. Yong, C. Liu, G.-L. Shentu, D.-D. Li, J. Lin, H. Dai, S.-Q. Zhao, B. Li, J.-Y. Guan, *et al.*, "Long-distance free-space quantum key distribution in daylight towards inter-satellite communication," *Nature Photonics*, vol. 11, no. 8, pp. 509–513, 2017.
- [40] Y. Su, Y. Liu, Y. Zhou, J. Yuan, H. Cao, and J. Shi, "Broadband leo satellite communications: Architectures and key technologies," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 2, pp. 55–61, 2019.
- [41] A. U. Chaudhry and H. Yanikomeroglu, "Free space optics for next-generation satellite networks," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 10, no. 6, pp. 21–31, 2020.
- [42] G. Tiwari and R. C. S. Chauhan, "A review on inter-satellite links free space optical communication," *Indian journal of science and technology*, vol. 13, no. 6, pp. 712–724, 2020.
- [43] B. Al Homssi, A. Al-Hourani, K. Wang, P. Conder, S. Kandeepan, J. Choi, B. Allen, and B. Moores, "Next generation mega satellite networks for access equality: Opportunities, challenges, and performance," *IEEE Communications Magazine*, vol. 60, no. 4, pp. 18–24, 2022.
- [44] Z. Qu, G. Zhang, H. Cao, and J. Xie, "Leo satellite constellation for internet of things," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 18391–18401, 2017.
- [45] D.-H. Jung, J.-G. Ryu, W.-J. Byun, and J. Choi, "Performance analysis of satellite communication system under the shadowed-rician fading: A stochastic geometry approach," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 70, no. 4, pp. 2707–2721, 2022.
- [46] N. Pachler, I. del Portillo, E. F. Crawley, and B. G. Cameron, "An updated comparison of four low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband," in *2021 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, pp. 1–7, 2021.

- [47] H. Al-Hraishawi, H. Chougrani, S. Kisseleff, E. Lagunas, and S. Chatzinotas, "A survey on nongeostationary satellite systems: The communication perspective," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 25, no. 1, pp. 101–132, 2023.
- [48] S. Mahmoodi Khaniabadi, A. Javadpour, M. Gheisari, W. Zhang, Y. Liu, and A. K. Sangiah, "An intelligent sustainable efficient transmission internet protocol to switch between user datagram protocol and transmission control protocol in iot computing," *Expert Systems*, vol. 40, no. 5, p. e13129, 2023.
- [49] D. Kalbande, Z. Khan, S. Haji, and R. Haji, "6g-next gen mobile wireless communication approach," in *2019 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, pp. 1–6, 2019.
- [50] A. Swaroop, "Gori mohamed j, vm niaz ahamed, full duplex radio-wave transmission for 6g internet (6g connectivity)," *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER)*, vol. 3, no. 07, pp. 2455–2457, 2017.
- [51] S. Chen, S. Sun, and S. Kang, "System integration of terrestrial mobile communication and satellite communication —the trends, challenges and key technologies in b5g and 6g," *China Communications*, vol. 17, no. 12, pp. 156–171, 2020.
- [52] F. Fourati and M.-S. Alouini, "Artificial intelligence for satellite communication: A review," *Intelligent and Converged Networks*, vol. 2, no. 3, pp. 213–243, 2021.
- [53] I. Ahmad, S. Shahabuddin, H. Malik, E. Harjula, T. Leppanen, L. Lovén, *et al.*, "Machine learning meets communication networks: Current trends and future challenges," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 223418–223460, 2020.
- [54] A. Galli, P. Giardina, M. Guta, L. Lossi, A. Mancina, V. Moscato, F. Patrone, C. Roseti, S. P. Romano, G. Sperli, and F. Zampognaro, "Ai for zero-touch management of satellite networks in b5g and 6g infrastructures," in *1st International Workshop on Artificial Intelligence in Beyond 5G and 6G Wireless Networks, AI6G 2022*, no. 3189, (Italy), 2022.
- [55] H. Xie, Y. Zhan, G. Zeng, and X. Pan, "Leo mega-constellations for 6g global coverage: Challenges and opportunities," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 164223–164244, 2021.
- [56] S. K. Sharma, S. Chatzinotas, and P.-D. Arapoglou, *Satellite communications in the 5G era*. Institution of Engineering and Technology, 2018.
- [57] F. Völk, K. Liolis, M. Corici, J. Cahill, R. T. Schwarz, T. Schlichter, E. Troudt, and A. Knopp, "Satellite integration into 5g: Accent on first over-the-air tests of an edge node concept with integrated satellite backhaul," *Future Internet*, vol. 11, no. 9, p. 193, 2019.
- [58] A. Gupta and R. K. Jha, "A survey of 5g network: Architecture and emerging technologies," *IEEE access*, vol. 3, pp. 1206–1232, 2015.
- [59] B. G. Evans, "The role of satellites in 5g," in *2014 7th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference and the 13th Signal Processing for Space Communications Workshop (ASMS/SPSC)*, pp. 197–202, IEEE, 2014.
- [60] K. Liolis, A. Geurtz, R. Sperber, D. Schulz, S. Watts, G. Poziopoulou, B. Evans, N. Wang, O. Vidal, B. Tiomela Jou, *et al.*, "Use cases and scenarios of 5g integrated satellite-terrestrial networks for enhanced mobile broadband: The sat5g approach," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, vol. 37, no. 2, pp. 91–112, 2019.

- [61] G. Maral, M. Bousquet, and Z. Sun, *Satellite communications systems: systems, techniques and technology*. John Wiley & Sons, 2020.
- [62] R. K. Crane, *Propagation handbook for wireless communication system design*. CRC press, 2003.
- [63] A. G. Kanatas, “3 mobile satellite channel characterization,” *Radio Wave Propagation and Channel Modeling for Earth-Space Systems*, pp. 69–104, 2017.
- [64] A. D. Panagopoulos, P.-D. M. Arapoglou, and P. G. Cottis, “Satellite communications at ku, ka, and v bands: Propagation impairments and mitigation techniques,” *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 6, no. 3, pp. 2–14, 2004.
- [65] □. Αγάπη, “Δορυφορικές Ζεύξεις,” 2022-2023.
- [66] P.-D. Arapoglou, E. T. Michailidis, A. D. Panagopoulos, A. G. Kanatas, and R. Prieto-Cerdeira, “The land mobile earth-space channel,” *IEEE vehicular technology magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 44–53, 2011.
- [67] A. K. Maini and V. Agrawal, *Satellite Technology: Principles and Applications*. UK: John Wiley & Sons Ltd., 2nd edition ed., 2011.
- [68] □. Κωττής and □. Καψάλης, *Δορυφορικές Επικοινωνίες*. Θεσσαλονίκη: Εκδ. Τζιόλα, 3η Έκδοση ed., 2012.
- [69] International Telecommunications Union, “Attenuation due to clouds and fog,” Recommendation P.840-3, International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland, 1999.
- [70] G. Maral and M. Bousquet, *Δορυφορικές Επικοινωνίες: Συστήματα Τεχνικές και Τεχνολογία*. Θεσσαλονίκη: Εκδ. Τζιόλα, 5η Έκδοση ed., 2012.
- [71] □. Σημωνής, *Μελέτη και ανάλυση των δορυφορικών επικοινωνιών και του δορυφορικού διαδικτύου*. Phd thesis, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Πληροφορικής, 2021.
- [72] M. Κάργας, “Μελέτη Συστημάτων Διαδικτύου των Πραγμάτων σε Περιβάλλον Δικτύων 6g,” master’s thesis, Name of University, 2022.
- [73] “Visual studio code - code editing. redefined.” <https://code.visualstudio.com/>, 2024. Accessed: 2023-12-10.
- [74] “Space-track.org.” <https://www.space-track.org/>, 2024. Accessed: 2023-12-10.
- [75] S. Kandadai, “Satellite-js: Modular set of functions for sgp4 and sdp4 propagation of tles.” <https://github.com/shashwatak/satellite-js>. Accessed: 2024-06-09.
- [76] “Nasa’s eyes.” <https://eyes.nasa.gov/>, 2020. Accessed: 2024-01-19.
- [77] D. Miller and J. Keesee, “Satellite engineering.” <https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/>, 2003. Accessed: 2024-01-19.
- [78] G. Interdonato, E. Björnson, H. Quoc Ngo, P. Frenger, and E. G. Larsson, “Ubiquitous cell-free massive mimo communications,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2019, no. 1, pp. 1–13, 2019.
- [79] N. Hosseinidehaj and R. Malaney, “Quantum entanglement distribution in next-generation wireless communication systems,” in *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pp. 1–7, 2017.

- [80] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, and M. Zorzi, "Toward 6g networks: Use cases and technologies," *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 3, pp. 55–61, 2020.
- [81] H. Li, G. Shou, Y. Hu, and Z. Guo, "Mobile edge computing: Progress and challenges," in *2016 4th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud)*, pp. 83–84, 2016.
- [82] P. Yang, Y. Xiao, M. Xiao, and S. Li, "6g wireless communications: Vision and potential techniques," *IEEE Network*, vol. 33, no. 4, pp. 70–75, 2019.
- [83] A. J. Roumeliotis, C. I. Kourogiorgas, and A. D. Panagopoulos, "Dynamic capacity allocation in smart gateway high throughput satellite systems using matching theory," *IEEE Systems Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 2001–2009, 2018.
- [84] V. S. Chippalkatti, R. C. Biradar, and S. Rana, "Recent technology trends in satellite communication subsystems," in *2021 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, pp. 1–5, IEEE, 2021.
- [85] B. Zhang, Y. Wu, B. Zhao, J. Chanussot, D. Hong, J. Yao, and L. Gao, "Progress and challenges in intelligent remote sensing satellite systems," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 15, pp. 1814–1822, 2022.
- [86] S. A. H. Mohsan, M. A. Khan, and H. Amjad, "Hybrid fso/rf networks: A review of practical constraints, applications and challenges," *Optical Switching and Networking*, vol. 47, p. 100697, 2023.
- [87] J. Zhang, S. Zhu, H. Bai, and C. Li, "Optimization strategy to solve transmission interruption caused by satellite-ground link switching," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 32975–32988, 2020.
- [88] V. Demyanov and Y. V. Yasyukevich, "Space weather: Risk factors for global navigation satellite systems," *Solar-Terrestrial Physics*, vol. 7, no. 2, pp. 28–47, 2021.
- [89] S. Zhang, L. He, and L. Wu, "Statistical study of loss of gps signals caused by severe and great geomagnetic storms," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, vol. 125, no. 9, p. e2019JA027749, 2020.
- [90] J. V. Karunamurthy, S. A. Bendoukha, I. Nikolakakos, T. Ghaoud, F. Ebisi, and M. R. Alkharrat, "Adaptive technique for lora communication with leo nanosatellite," in *2021 IEEE Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications (MTTW)*, pp. 182–187, IEEE, 2021.
- [91] P. Baiocco, "Overview of reusable space systems with a look to technology aspects," *Acta Astronautica*, vol. 189, pp. 10–25, 2021.
- [92] O. B. Osoro and E. J. Oughton, "A techno-economic framework for satellite networks applied to low earth orbit constellations: Assessing starlink, oneweb and kuiper," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 141611–141625, 2021.
- [93] T. Sharma, A. Chehri, and P. Fortier, "Review of optical and wireless backhaul networks and emerging trends of next generation 5g and 6g technologies," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 32, no. 3, p. e4155, 2021.
- [94] P. Yue, J. An, J. Zhang, G. Pan, S. Wang, P. Xiao, and L. Hanzo, "On the security of leo satellite communication systems: Vulnerabilities, countermeasures, and future trends," *arXiv preprint arXiv:2201.03063*, 2022.

- [95] F. Qamar, M. U. A. Siddiqui, M. N. Hindia, R. Hassan, and Q. N. Nguyen, “Issues, challenges, and research trends in spectrum management: A comprehensive overview and new vision for designing 6g networks,” *Electronics*, vol. 9, no. 9, p. 1416, 2020.
- [96] A. Abashidze, I. Chernykh, and M. Mednikova, “Satellite constellations: International legal and technical aspects,” *Acta Astronautica*, vol. 196, pp. 176–185, 2022.
- [97] N. Bhakare, “The need for evolving legal framework for regulation of space debris caused by satellite constellations,” in *Proceeding of 8th European Conference on Space Debris, the ESA Space Debris Office Ed. T. Flohrer, S. Lemmens & F. Schmitz*, 2021.
- [98] L. Miraux, A. R. Wilson, and G. J. D. Calabuig, “Environmental sustainability of future proposed space activities,” *Acta Astronautica*, vol. 200, pp. 329–346, 2022.
- [99] J. M. Klinger, “Environmental geopolitics and outer space,” *Geopolitics*, vol. 26, no. 3, pp. 666–703, 2021.
- [100] G. Νάνος, “δίκτυα 5g και εφαρμογές στην φροντίδα υγείας: Υπηρεσίες και θέματα ασφάλειας,” 2022.
- [101] A. Δημοπούλου, “πληροφορική και πληροφοριακά συστήματα στα σύγχρονα καράβια,” 2020.
- [102] A. Σημώνης, *Μελέτη και ανάλυση των δορυφορικών επικοινωνιών και του δορυφορικού διαδικτύου*. PhD thesis, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Πληροφορικής, 2021.
- [103] M. Κάργας, “Μελέτη συστημάτων διαδικτύου των πραγμάτων σε περιβάλλον δικτύων 6g,” 2022.
- [104] L. J. Ippolito, *Satellite Communications Systems Engineering: Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance*. UK: John Wiley & Sons Ltd., 2008.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ

```
Satellite.html

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">

<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <titleM > Δ      Z    </title>

  <link rel="stylesheet" href="styles.css">
  <script src="https://unpkg.com/axios/dist/axios.min.js"></script>
  <script src="node_modules/satellite.js/dist/satellite.min.js"></script>
  <script src="auth.js"></script>
  <script src="sat.js"></script>
  <script src="https://cesium.com/downloads/cesiumjs/releases/1.81/Build/
Cesium/Cesium.js"></script>
  <link href="https://cesium.com/downloads/cesiumjs/releases/1.81/Build/
Cesium/Widgets/widgets.css" rel="stylesheet">

  <style>
    label {
      display: inline-block;
      width: 500px;
      text-align: left;
    }

    input,
    select {
      font-size: large;
      width: calc(20% - 60px);
      /* Adjust width to ensure alignment */
      box-sizing: border-box;
      /* Ensure padding and border are included in width */
    }

    button {
      font-size: large;
    }
    #live, #stop, #visu {
      display: none; /* Hide the buttons initially */
    }
  </style>
</head>
<body onload="loadSatellites(); CalculateRainRate();">
  <div class="content">
    <h1 style="border-bottom: 5px solid #8BAFED;text-align: centerM    ;">
      Δ      Z    </h1>

    <div>
      <label for="bandwidthE  "> Z    - Bandwidth (Mhz):</label>
      <input type="number" id="bandwidth" value="" placeholder="1MHz
M-2000Hz">
      <button class="infoButton" onclick="showBandwidthInfo()Π      "></
button>
    </div>
    <div>
      <label for="TransmitterPowerI  "> Π    (dBm):</label>
      <input type="number" id="TransmitterPower" value="" placeholder
="0-80dBm">
    </div>
  </div>
</body>
</html>
```

```

        <button class="infoButton" onclick="showTransmitterPowerInfo()
Π      "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="AntennaGainK  ">      (dBi):</label>
        <input type="number" id="AntennaGain" value="" placeholder="0-50
dBi">
        <button class="infoButton" onclick="showAntennaGainInfo()
Π      "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="transmitterLossA  "> Σ      Π      (dB):</label>
        <input type="number" id="transmitterLoss" value="" placeholder
="0-20dB">
        <button class="infoButton" onclick="showTransmitterLossInfo()
Π      "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="receiverLossA  "> Σ      Δ      (dB):</label>
        <input type="number" id="receiverLoss" value="" placeholder="0-20
dB">
        <button class="infoButton" onclick="showReceiverLossInfo()
Π      "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="AntennaFeederLossA  "> K      Π      (dB):</label>
        <input type="number" id="AntennaFeederLoss" value="" placeholder
="0-20dB">
        <button class="infoButton" onclick="showAntennaFeederLossInfo()
Π      "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="ReceiverFeederLoss"> A K      Δ      (dB):</label>
        <input type="number" id="ReceiverFeederLoss" value="" placeholder
="0-20dB">
        <button class="infoButton" onclick="showReceiverFeederLossInfo()
Π      "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="ApoleiesPolwsewnA  ">      (dB):</label>
        <input type="number" id="ApoleiesPolwsewn" value="" placeholder
="0-20dB">
        <button class="infoButton" onclick="showApoleiesPolwsewnInfo()
Π      "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="frequencyΣ  "> (GHz):</label>
        <select id="frequency" style="font-size: large;">
            <option value="1">1 GHz</option>
            <option value="1.5">1.5 GHz</option>
            <option value="2">2 GHz</option>
            <option value="2.5">2.5 GHz</option>
            <option value="3">3 GHz</option>
            <option value="3.5">3.5 GHz</option>
            <option value="4">4 GHz</option>
            <option value="4.5">4.5 GHz</option>
            <option value="5">5 GHz</option>
            <option value="5.5">5.5 GHz</option>
            <option value="6">6 GHz</option>
            <option value="7">7 GHz</option>
            <option value="8">8 GHz</option>
            <option value="9">9 GHz</option>
            <option value="10">10 GHz</option>

```



```

        <button class="infoButton" onclick="showFrequencyInfo()Π    "></
button>
    </div>
    <div>
        <label for="GroundStationZoneΠ    "> E    E    :</label>
        <select id="GroundStationZone" style="font-size: large;" onchange
="CalculateRainRate();">
            <option value="A">A</option>
            <option value="B">B</option>
            <option value="C">C</option>
            <option value="D">D</option>
            <option value="E">E</option>
            <option value="F">F</option>
            <option value="G">G</option>
            <option value="H">H</option>
            <option value="J">J</option>
            <option value="K">K</option>
            <option value="L">L</option>
            <option value="M">M</option>
            <option value="N">N</option>
            <option value="P">P</option>
            <option value="Q">Q</option>
        </select>
        <button class="infoButton" onclick="showGroundStationZoneInfo()
Π    "></button>
        <!--  -->
    </div>
    <div>
        <label for="AvailabilityΔ    "> (%): </label>
        <select id="Availability" style="font-size: large;" onchange="
CalculateRainRate();">
            <option value="99.999">99.999</option>
            <option value="99.997">99.997</option>
            <option value="99.99">99.99</option>
            <option value="99.97">99.97</option>
            <option value="99.9">99.9</option>
            <option value="99.7">99.7</option>
            <option value="99">99</option>
        </select>
        <button class="infoButton" onclick="showAvailability()Π    "></
button>
        <!--  -->
    </div>
    <div>
        <label for="rainIntensityE    "> B    (mm/h):</label>
        <input type="number" id="rainIntensity" value="">
        <button class="infoButton" onclick="showRainIntensityInfo()
Π    "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="PolarizationΠ    ">:</label>
        <select id="Polarization" style="font-size: large;">
            <option value0    ="1"></option>
            <option valueK    ="2"></option>
            <option valueK    ="3"></option>
        </select>
        <button class="infoButton" onclick="showPolarization()Π    "></
button>
    </div>
    <div>
        <label for="temperatureθ    "> Δ    (C):</label>

```

```

        <input type="number" id="temperature" placeholderE    ="
0    ">
        <button class="infoButton" onclick="showTemperature()Π    "></
button>
    </div>
    <div>
        <label for="latitudeΓ    ">                ():</label>
        <input type="number" id="latitude" name="latitude">
        <button class="infoButton" onclick="showLatitudeInfo()Π    "></
button>
    </div>
    <div>
        <label for="longitudeΓ    ">                ():</label>
        <input type="number" id="longitude" name="longitude">
        <button class="infoButton" onclick="showLongitudeInfo()Π    "></
button>
    </div>
    <div>
        <label for="AltitudeΓ    ">                (km):</label>
        <input type="number" id="Altitude" name="Altitude" placeholder
E    ="    ">
        <button class="infoButton" onclick="showAltitudeInfo()Π    "></
button>
    </div>
    <div>
        <label for="satelliteLatitudeΓ    ">                ():</label>
        <input type="number" id="satelliteLatitude" name="
satelliteLatitude" placeholderE    ="    ">
        <button class="infoButton" onclick="showsatelliteLatitudeInfo()
Π    "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="satelliteLongitudeΓ    ">                ():</label>
        <input type="number" id="satelliteLongitude" name="
satelliteLongitude" placeholderE    ="    ">
        <button class="infoButton" onclick="showSatelliteLongitudeInfo()
Π    "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="satelliteAltitudeΓ    "> Δ    (km):</label>
        <input type="number" id="satelliteAltitude" name="
satelliteAltitude" placeholderE    ="    ">
        <button class="infoButton" onclick="showsatelliteAltitudeInfo()
Π    "></button>
    </div>
    <div>
        <label for="distanceA    "> E    Σ    - Δ    (km):</label>
        <input type="number" id="distance" placeholderE    ="    ">
        <button class="infoButton" onclick="showDistanceInfo()Π    "></
button>
    </div>
    <br>
    <divM>
        <label class="switch">
            <input type="checkbox" id="checkbox" onclick='checkboxChange(
this);'>
            <span class="slider round"></span>
        </label> Σ    :
        <input type="number" disabled placeholderΓ    ="    " id="lelos">
    </div>
    <br>
    <div>

```

```

        <div class="btn-group-filter">
            <button onclick="filterButton('all')">All</button>
            <button onclick="filterButton('leo')">LEO</button>
            <button onclick="filterButton('meo')">MEO</button>
            <button onclick="filterButton('geo')">GEO</button>
        </div>
    </div>
    <br>

    <div style="display: flex; flex-flow: column;text-align: center;
width: 100%;
justify-content: center;"> <!-- dropdown me dedomena api-->

        <div>

            <div class="dropdown">
                <button onclick="toggleDropdown()" class="dropbtn">
                    <div id="satellite-help-textE" "> Δ </div>
                </button>
                <div id="satelliteSelect" class="dropdown-content">
                    <input type="text" placeholder="Search.." id="search"
onkeyup="filterSatellites()">
                    <div id="satellite-entries">

                        </div>
                </div>
            </div>
        </div>

        <br>
    </div>

    <!-- Button to perform calculation -->
    <button id="calculateButton" onclick="calculateParameters()T" "></
button>

    <br><br>
    <button id="live" onclick="live()E" "></button>
    <button id="stop" onclick="stopLive()" disabledΠ "></button>
    <button id="visu" onclick="visu()">3D A </button>
    <br><br>

    <!-- Display the results here -->
    <div id="results"></div>
    <div id="modal" class="modal">
        <span class="close">&times;</span>
        <img class="modal-content" id="img01">
        <div id="caption"></div>
    </div>

    <div id="cesiumContainer"></div>
</div>

<footer class="footer">
    &copy; 2024 A Γ - X E . M
    <br>
    <a href="mailto:gkekas57@gmail.com" class="email-button">
gkekas57@gmail.com</a>
    <a href="mailto:elbasidis98@gmail.com" class="email-button">
elbasidis98@gmail.com</a>
</footer>

```

```
</body>
```

```
</html>
```

```
sat.js

// Constants
const speedOfLight = 299792458; // Speed of light in m/s
const k = 1.38 * Math.pow(10, -23); // Boltzmann constant in J/K

const G = 6.67430 * Math.pow(10, -11); // Universal Gravitational Constant
const ME = 5.972 * Math.pow(10, 24); // Mass of Earth in kg
const Re = 6371; // Earth's radius in km

let satellites = [];
let filtererSatellites = [];
let filteredByPeriodSatellites = [];
let checkbox = false;
function loadSatellites() {
  getSatellites().then(res => {
    satellites = res.data;
    filtererSatellites = [...satellites];
    filteredByPeriodSatellites = [...satellites];
    loadSatellitesToDropdown();
  })
}
let orbitalRadius = undefined;
let azimuthio = undefined;
let elevationAn = undefined;
function selectSatellite(id) {
  const satellite = satellites.find(sat => sat.OBJECT_ID === id);
  setSelectedSatellite(`${satellite.OBJECT_NAME} (${satellite.OBJECT_ID})`)
  ;

  var {
    azimuth,
    elevation,
    rangeSat,
    longitude,
    latitude,
    height,
    longitudeDeg,
    latitudeDeg
  } = satinfo(satellite);

  azimuthio = azimuth;
  elevationAn = elevation;
  orbitalRadius = satellite.SEMIMAJOR_AXIS;
  document.querySelector('#satelliteLongitude').value = longitudeDeg.
toFixed(4);
  document.querySelector('#satelliteAltitude').value = height.toFixed(4);
  document.querySelector('#distance').value = rangeSat.toFixed(4);
  document.querySelector('#satelliteLatitude').value = latitudeDeg.toFixed(
4);
}

function setSelectedSatellite(satellite = E " Δ ") {
  document.querySelector("#satellite-help-text").innerHTML = satellite;
}
}
```

```

function removeSatellitedFromDropdown() {
    document.querySelector('#satellite-entries').innerHTML = "";
}

function loadSatellitesToDropdown() {
    removeSatellitedFromDropdown();
    const dropdown = document.querySelector('#satellite-entries');
    filtererSatellites.forEach(sat => {
        const satDiv = document.createElement('span');
        satDiv.id = sat.OBJECT_ID;
        satDiv.innerHTML = `${sat.OBJECT_NAME} (${sat.OBJECT_ID})`;
        satDiv.onclick = (e) => {
            selectSatellite(e.target.id);
            selectedSattelite = e.target.id;
            toggleDropdown();
        }
        dropdown.appendChild(satDiv)
    });
}

function filterSatellites() {
    const input = document.getElementById("search")?.value?.toUpperCase();
    if (!input) {
        filtererSatellites = [...filteredByPeriodSatellites];
    } else {
        filtererSatellites = filteredByPeriodSatellites.filter(sat => sat.OBJECT_NAME.toUpperCase().includes(input) || sat.OBJECT_ID.toUpperCase().includes(input));
    }
    loadSatellitesToDropdown();
}

function satinfo(selectedSatellite) {
    const satrec = satellite.twoline2satrec(selectedSatellite.TLE_LINE1,
selectedSatellite.TLE_LINE2);
    const positionAndVelocity = satellite.propagate(satrec, new Date());
    const gmst = satellite.gstime(new Date());
    const positionEci = positionAndVelocity.position;
    const velocityEci = positionAndVelocity.velocity;
    const obslat = parseFloat(document.getElementById("latitude").value);
    const obslon = parseFloat(document.getElementById("longitude").value);
    const obsheight = parseFloat(document.getElementById("Altitude").value);
    const observerGd = {
        longitude: satellite.degreesToRadians(obslon),
        latitude: satellite.degreesToRadians(obslat),
        height: obsheight
    };
    const positionEcf = satellite.eciToEcf(positionEci, gmst),
observerEcf = satellite.geodeticToEcf(observerGd),
positionGd = satellite.eciToGeodetic(positionEci, gmst),
lookAngles = satellite.ecfToLookAngles(observerGd, positionEcf);

    const azimuth = toDegrees(lookAngles.azimuth)
    elevation = toDegrees(lookAngles.elevation)
    rangeSat = lookAngles.rangeSat;

    const longitude = positionGd.longitude,
        latitude = positionGd.latitude,
        height = positionGd.height;

    const longitudeDeg = satellite.degreesLong(longitude),
        latitudeDeg = satellite.degreesLat(latitude);
}

```

```

    return {
      azimuth,
      elevation,
      rangeSat,
      longitude,
      latitude,
      height,
      longitudeDeg,
      latitudeDeg
    }
  }
}

function fillCurrentLocation() {
  if ('geolocation' in navigator) {
    navigator.geolocation.getCurrentPosition((position) => {
      document.getElementById('latitude').value = position.coords.
latitude.toFixed(4);
      document.getElementById('longitude').value = position.coords.
longitude.toFixed(4);
    }, (error) => {
      console.error('Error occurred obtaining geolocation: ', error);
      alert('Unable to retrieve your location. Please enter it manually
. ');
    });
  } else {
    alert('Geolocation is not supported by your browser. Please enter
your location manually. ');
  }
}

fillCurrentLocation();

function toRadians(degrees) {
  return degrees * (Math.PI / 180);
}

function toDegrees(radians) {
  return radians * (180 / Math.PI);
}

function checkboxChange(cb) {
  document.querySelector('#lelos').disabled = !cb.checked;
  checkbox = cb.checked;
}

function CalculateRainRate() {
  const regionValue = document.querySelector('#GroundStationZone').value;
  const availabilityValue = document.querySelector('#Availability').value;
  const region = {
    'A': [22, 14, 8, 5, 2, 0.8, 0.1],
    'B': [32, 21, 12, 6, 3, 2, 0.5],
    'C': [42, 26, 15, 9, 5, 2.8, 0.7],
    'D': [42, 29, 19, 13, 8, 4.5, 2.1],
    'E': [70, 41, 22, 12, 6, 2.4, 0.6],
    'F': [78, 54, 28, 15, 8, 4.5, 1.7],
    'G': [65, 45, 30, 20, 12, 7, 3],
    'H': [83, 55, 32, 18, 10, 4, 2],
    'J': [55, 45, 35, 28, 20, 13, 8],
    'K': [100, 70, 42, 23, 12, 4.2, 1.5],
    'L': [150, 105, 60, 33, 15, 7, 2],
    'M': [120, 95, 63, 40, 22, 11, 4],
    'N': [180, 140, 95, 65, 35, 15, 5],
  }
}

```

```

    'P': [250, 200, 145, 105, 65, 34, 12],
    'Q': [170, 142, 115, 96, 72, 49, 24],
  };

  const availability = {
    '99.999': 0,
    '99.997': 1,
    '99.99': 2,
    '99.97': 3,
    '99.9': 4,
    '99.7': 5,
    '99': 6
  }

  document.querySelector('#rainIntensity').value = region[regionValue][
  availability[availabilityValue]]
}

function calculateParameters() {
  // Get the values from the input fields

  const fields = [
    { id: 'bandwidth', name: E ' Z ' },
    { id: 'TransmitterPower', name: I ' Π ' },
    { id: 'AntennaGain', name: K ' ' },
    { id: 'transmitterLoss', name: A ' Σ Π ' },
    { id: 'receiverLoss', name: A ' Σ Δ ' },
    { id: 'AntennaFeederLoss', name: A ' K Π ' },
    { id: 'ReceiverFeederLoss', name: ' A K Δ ' },
    { id: 'ApoleiesPolwsewn', name: A ' ' },
    { id: 'frequency', name: Σ ' ' },
    { id: 'GroundStationZone', name: Π ' E Σ ' },
    { id: 'Availability', name: Δ ' ' },
    { id: 'rainIntensity', name: E ' B ' },
    { id: 'Polarization', name: Π ' ' },
    { id: 'temperature', name: Θ ' ' },
    { id: 'latitude', name: Γ ' ' },
    { id: 'longitude', name: Γ ' ' },
    { id: 'Altitude', name: T ' ' },
    { id: 'satelliteLatitude', name: Γ ' ' },
    { id: 'satelliteLongitude', name: Γ ' ' },
    { id: 'satelliteAltitude', name: T ' Δ ' },
    { id: 'distance', name: A ' E Σ - Δ ' }
  ];

  if (!liveIsPressed) {
    // Check if any field is empty
    for (let field of fields) {
      const value = document.getElementById(field.id).value;
      if (value === '' || value === undefined || value === null) {
        window.alert(` "${field.name}" . Π
        .`);
        return;
      }
    }
  }

  document.getElementById('live').style.display = 'inline-block';
  document.getElementById('stop').style.display = 'inline-block';
  document.getElementById('visu').style.display = 'inline-block';

  const temp = parseFloat(document.getElementById('temperature').value);
  const systemTemperature = 273.15 + temp; // System temperature in K

```

```

const latitude = document.getElementById('latitude').value;
const longitude = document.getElementById('longitude').value;
const satelliteLongitude = document.getElementById('satelliteLongitude').value;
const satelliteLatitude = document.getElementById('satelliteLatitude').value;
const TransmitterPower = parseFloat(document.getElementById('TransmitterPower').value);
const distance = parseFloat(document.getElementById('distance').value);
const frequency = parseFloat(document.getElementById('frequency').value);
const transmitterLoss = parseFloat(document.getElementById('transmitterLoss').value);
const receiverLoss = parseFloat(document.getElementById('receiverLoss').value);
const rainIntensity = parseFloat(document.getElementById('rainIntensity').value);
const bandwidth1 = parseFloat(document.getElementById('bandwidth').value);
;
const bandwidth = bandwidth1 * 1000000;
const antennaGain = parseFloat(document.getElementById('AntennaGain').value);
const AntennaFeederLoss = parseFloat(document.getElementById('AntennaFeederLoss').value);
const ReceiverFeederLoss = parseFloat(document.getElementById('ReceiverFeederLoss').value);
const ApoleiesPolwsewn = parseFloat(document.getElementById('ApoleiesPolwsewn').value);

function calculateOrbitalSpeed(r) {
    const orbit = r * 1e3;
    const asdf = Math.sqrt(G * ME / orbit);
    const asfd = asdf / 1000;
    return asfd;
}

function calculateOrbitalPeriod(r) {
    const rm = r * 1000; // Orbital radius in meters
    const orbitalPeriodSeconds = 2 * Math.PI * Math.sqrt(Math.pow(rm, 3) / (G * ME));
    // Convert seconds to hours and minutes
    const orbitalPeriodHours = Math.floor(orbitalPeriodSeconds / 3600);
    const orbitalPeriodMinutes = Math.floor((orbitalPeriodSeconds % 3600) / 60);

    return {
        hours: orbitalPeriodHours,
        minutes: orbitalPeriodMinutes
    };
}

function calculateSNR() { // Calculate SNR
    const lambda = speedOfLight / (frequency * 1e9); // Convert GHz to Hz
    const antennag = Math.pow(10, antennaGain / 10);
    const distanceM = distance * 1e3;
    const P_signal = TransmitterPower * antennag * antennag * Math.pow(lambda / (4 * Math.PI * distanceM), 2) * transmitterLoss * receiverLoss;
    const P_noise = k * systemTemperature * bandwidth;
    const SNR_linear = P_signal / P_noise;
    const SNR = 10 * Math.log10(SNR_linear);
    return SNR;
}

```

```

const orbitalSpeed = calculateOrbitalSpeed(orbitalRadius);
const orbitalPeriod = calculateOrbitalPeriod(orbitalRadius);
const snrCalc = calculateSNR();
const snr = 10 * Math.log10(snrCalc); //convert to db
const distanceTT = distance * 1e3;
const transmissionTime = distanceTT / speedOfLight * 1000;
const eirp = TransmitterPower + antennaGain - AntennaFeederLoss - 30;//
DBW
function calculateFSPL(distanceKm, frequencyGHz) {
    const distanceMeters = distanceKm * 1e3; // M          km    m
    const frequencyHz = frequencyGHz * 1e9; // M          GHz   Hz

    const fspl = 20 * Math.log10(distanceMeters) + 20 * Math.log10(
frequencyHz) + 20 * Math.log10((4 * Math.PI) / speedOfLight);
    return fspl;
}
const fspl1 = calculateFSPL(distance, frequency);

const NoisePower = 10 * Math.log10(k * systemTemperature * bandwidth);

function calculateRainAttenuation(frequency, rainIntensity, latitude,
longitude, satelliteLatitude, satelliteLongitude) {
    const frequencyCoefficients = {
        "1": { ah: 0.0000259, bh: 0.9691, av: 0.0000308, bv: 0.8592 },
        "1.5": { ah: 0.0000443, bh: 1.0185, av: 0.0000574, bv: 0.8957 },
        "2": { ah: 0.0000847, bh: 1.0664, av: 0.0000998, bv: 0.9490 },
        "2.5": { ah: 0.0001321, bh: 1.1209, av: 0.0001464, bv: 1.0085 },
        "3": { ah: 0.0001390, bh: 1.2322, av: 0.0001942, bv: 1.0688 },
        "3.5": { ah: 0.0001155, bh: 1.4189, av: 0.0002346, bv: 1.1387 },
        "4": { ah: 0.0001071, bh: 1.6009, av: 0.0002461, bv: 1.2476 },
        "4.5": { ah: 0.0001340, bh: 1.6948, av: 0.0002347, bv: 1.3987 },
        "5": { ah: 0.0002162, bh: 1.6969, av: 0.0002428, bv: 1.5317 },
        "5.5": { ah: 0.0003909, bh: 1.6499, av: 0.0003115, bv: 1.5882 },
        "6": { ah: 0.0007056, bh: 1.5900, av: 0.0004878, bv: 1.5728 },
        "7": { ah: 0.0011915, bh: 1.4810, av: 0.001425, bv: 1.4745 },
        "8": { ah: 0.0041145, bh: 1.3905, av: 0.003450, bv: 1.3797 },
        "9": { ah: 0.007535, bh: 1.3155, av: 0.006691, bv: 1.2895 },
        "10": { ah: 0.01217, bh: 1.2571, av: 0.01129, bv: 1.2156 },
        "11": { ah: 0.01772, bh: 1.2140, av: 0.01731, bv: 1.1617 },
        "12": { ah: 0.02386, bh: 1.1825, av: 0.02455, bv: 1.1216 },
        "13": { ah: 0.03041, bh: 1.1586, av: 0.03266, bv: 1.0901 },
        "14": { ah: 0.03738, bh: 1.1396, av: 0.04126, bv: 1.0646 },
        "15": { ah: 0.04481, bh: 1.1233, av: 0.05008, bv: 1.0440 },
        "16": { ah: 0.05282, bh: 1.1086, av: 0.05899, bv: 1.0273 },
        "17": { ah: 0.06146, bh: 1.0949, av: 0.06797, bv: 1.0137 },
        "18": { ah: 0.07078, bh: 1.0818, av: 0.07708, bv: 1.0025 },
        "19": { ah: 0.08084, bh: 1.0691, av: 0.08642, bv: 0.9930 },
        "20": { ah: 0.09164, bh: 1.0568, av: 0.09611, bv: 0.9847 },
        "21": { ah: 0.1032, bh: 1.0447, av: 0.1063, bv: 0.9771 },
        "22": { ah: 0.1155, bh: 1.0329, av: 0.1170, bv: 0.9700 },
        "23": { ah: 0.1286, bh: 1.0214, av: 0.1284, bv: 0.9630 },
        "24": { ah: 0.1425, bh: 1.0101, av: 0.1404, bv: 0.9561 },
        "25": { ah: 0.1571, bh: 0.9994, av: 0.1533, bv: 0.9491 },
        "26": { ah: 0.1724, bh: 0.9884, av: 0.1669, bv: 0.9421 },
        "27": { ah: 0.1884, bh: 0.9780, av: 0.1813, bv: 0.9359 },
        "28": { ah: 0.2051, bh: 0.9679, av: 0.1964, bv: 0.9277 },
        "29": { ah: 0.2224, bh: 0.9580, av: 0.2124, bv: 0.9203 },
        "30": { ah: 0.2403, bh: 0.9485, av: 0.2291, bv: 0.9129 },
        "31": { ah: 0.2588, bh: 0.9392, av: 0.2465, bv: 0.9055 },
        "32": { ah: 0.2778, bh: 0.9302, av: 0.2646, bv: 0.8981 },
        "33": { ah: 0.2972, bh: 0.9214, av: 0.2833, bv: 0.8907 },
        "34": { ah: 0.3171, bh: 0.9129, av: 0.3026, bv: 0.8834 },
        "35": { ah: 0.3374, bh: 0.9047, av: 0.3224, bv: 0.8761 },
    };
}

```

```

"36": { ah: 0.3580, bh: 0.8967, av: 0.3427, bv: 0.8690 },
"37": { ah: 0.3789, bh: 0.8890, av: 0.3633, bv: 0.8621 },
"38": { ah: 0.4001, bh: 0.8816, av: 0.3844, bv: 0.8552 },
"39": { ah: 0.4215, bh: 0.8743, av: 0.4058, bv: 0.8486 },
"40": { ah: 0.4431, bh: 0.8673, av: 0.4274, bv: 0.8421 },
"41": { ah: 0.4647, bh: 0.8605, av: 0.4492, bv: 0.8357 },
"42": { ah: 0.4865, bh: 0.8539, av: 0.4712, bv: 0.8296 },
"43": { ah: 0.5084, bh: 0.8476, av: 0.4932, bv: 0.8236 },
"44": { ah: 0.5302, bh: 0.8414, av: 0.5153, bv: 0.8179 },
"45": { ah: 0.5521, bh: 0.8355, av: 0.5375, bv: 0.8123 },
"46": { ah: 0.5738, bh: 0.8297, av: 0.5596, bv: 0.8069 },
"47": { ah: 0.5956, bh: 0.8241, av: 0.5817, bv: 0.8017 },
"48": { ah: 0.6172, bh: 0.8187, av: 0.6037, bv: 0.7967 },
"49": { ah: 0.6386, bh: 0.8134, av: 0.6255, bv: 0.7918 },
"50": { ah: 0.6600, bh: 0.8084, av: 0.6472, bv: 0.7871 },
"51": { ah: 0.6811, bh: 0.8034, av: 0.6687, bv: 0.7826 },
"52": { ah: 0.7020, bh: 0.7987, av: 0.6901, bv: 0.7783 },
"53": { ah: 0.7228, bh: 0.7941, av: 0.7112, bv: 0.7741 },
"54": { ah: 0.7433, bh: 0.7896, av: 0.7321, bv: 0.7700 },
"55": { ah: 0.7635, bh: 0.7853, av: 0.7527, bv: 0.7661 },
"56": { ah: 0.7835, bh: 0.7811, av: 0.7730, bv: 0.7623 },
"57": { ah: 0.8032, bh: 0.7771, av: 0.7931, bv: 0.7587 },
"58": { ah: 0.8226, bh: 0.7731, av: 0.8129, bv: 0.7552 },
"59": { ah: 0.8418, bh: 0.7693, av: 0.8324, bv: 0.7518 },
"60": { ah: 0.8606, bh: 0.7656, av: 0.8515, bv: 0.7486 },
"61": { ah: 0.8791, bh: 0.7621, av: 0.8704, bv: 0.7454 },
"62": { ah: 0.8974, bh: 0.7586, av: 0.8889, bv: 0.7424 },
"63": { ah: 0.9153, bh: 0.7552, av: 0.9071, bv: 0.7395 },
"64": { ah: 0.9328, bh: 0.7520, av: 0.9250, bv: 0.7369 },
"65": { ah: 0.9501, bh: 0.7488, av: 0.9425, bv: 0.7339 },
"66": { ah: 0.9670, bh: 0.7458, av: 0.9598, bv: 0.7313 },
"67": { ah: 0.9836, bh: 0.7428, av: 0.9767, bv: 0.7287 },
"68": { ah: 0.9999, bh: 0.7400, av: 0.9932, bv: 0.7262 },
"69": { ah: 1.0159, bh: 0.7372, av: 1.0094, bv: 0.7238 },
"70": { ah: 1.0315, bh: 0.7345, av: 1.0253, bv: 0.7215 }
};

const selectedFrequency = frequencyCoefficients[frequency];
if (selectedFrequency) {
  const ah = selectedFrequency.ah;
  const bh = selectedFrequency.bh;
  const av = selectedFrequency.av;
  const bv = selectedFrequency.bv;
  const polar = parseFloat(document.getElementById('Polarization').
value);

  let taf;
  if (polar === 1) {
    taf = 0;
  } else if (polar === 2) {
    taf = 90;
  } else if (polar === 3) {
    taf = 45;
  } else {
    taf = 0; // Default value if polar is not 1, 2, or 3
  }

  // Calculate the elevation angle
  const deltaLongitude = satelliteLongitude - longitude;
  const distanceToSatellite = Math.sqrt(Math.pow(satelliteLatitude
- latitude, 2) + Math.pow(deltaLongitude, 2));
  const elevationAngle = Math.atan2(satelliteLatitude - latitude,
distanceToSatellite);

```

```

        const elevationAngleRadians = Math.abs(elevationAngle);

        // Ensure elevation angle is positive for the following
calculations
        const cos2E = Math.pow(Math.cos(elevationAngleRadians), 2);
        const cos2tau = Math.pow(Math.cos(toRadians(2 * taf)), 2);

        const a = 0.5 * (ah + av + (ah - av) * cos2E * cos2tau);
        const b = 0.5 * (ah * bh + av * bv + (ah * bh - av * bv) * cos2E
* cos2tau) / a;

        const gammaR = a * Math.pow(rainIntensity, b); // Specific
attenuation (dB/km)

        // Calculate L_R
        const hR = latitude < 36 ? 3 + 0.028 * latitude : 4 + 0.075 * (
latitude - 36);

        const hs = 0;

        const L_S = (hR - hs) / Math.sin(elevationAngleRadians); //
Geometric length of the path
        const L_G = L_S * Math.cos(elevationAngleRadians);

        const term1 = 1 + 0.78 * Math.sqrt((L_G * gammaR) / frequency);
        const term2 = 0.38 * (1 - Math.exp(-2 * L_G));

        const r0_01 = term1 !== term2 ? 1 / (term1 - term2) : Infinity;
// Prevent division by zero
        const zeta = Math.atan((hR - hs) / (L_G * r0_01)) * (180 / Math.
PI); // Converting radians to degrees

        const L_R = zeta > elevationAngleRadians ? (L_G * r0_01) / Math.
cos(elevationAngleRadians) : (hR - hs) / Math.sin(elevationAngleRadians);

        const x = Math.abs(latitude) < 36 ? 36 - Math.abs(latitude) : 0;
        const u0_01 = 1 / (1 + Math.sqrt(Math.sin(elevationAngleRadians)))
* (31 * (1 - Math.exp(-elevationAngleRadians * (1 + x))) * Math.sqrt(L_R
* gammaR) / Math.pow(frequency, 2) - 0.45));

        const L_e = L_R * u0_01; // Effective path length (km)

        const rainAttenuation = gammaR * L_e; // Total rain attenuation (
dB)

        return rainAttenuation;
    }
}

const rainAtten = calculateRainAttenuation(frequency, rainIntensity,
latitude, longitude, satelliteLatitude, satelliteLongitude);
const atmosphericLoss = rainAtten;
function calculateReceivedPower(eirp, antennaGain, ReceiverFeederLoss,
receiverLoss, ApoleiesPolwsewn, atmosphericLoss, fspl1) {
    return eirp + antennaGain - ReceiverFeederLoss - receiverLoss -
ApoleiesPolwsewn - atmosphericLoss - fspl1;
}

const receivedPower = calculateReceivedPower(eirp, antennaGain,
ReceiverFeederLoss, receiverLoss, ApoleiesPolwsewn, atmosphericLoss,
fspl1);

```

```

const totalpowerloss = fspl1 + rainAtten;

// Display the results
document.getElementById('results').innerHTML = Σ      ' Λ (SNR): ' +
snr.toFixed(2) + ' dB <button class="info2Button" onclick="showSNRInfo()
Π      "></button><br>' +
      X      '      : ' + transmissionTime.toFixed(2) + ' ms <button class
="info2Button" onclick="showTransmissionTimeInfo()Π      "></button><br>'
+
      E      '      (EIRP): ' + eirp.toFixed(2) + ' dBW <button
class="info2Button" onclick="showEIRPInfo()Π      "></button><br>' +
      A      '      (FSPL): ' + fspl1.toFixed(2) + ' dB <button class="
info2Button" onclick="showFSPLInfo()Π      "></button><br>' +
      E      '      : ' + rainAtten.toFixed(4) + ' dB <button class="
info2Button" onclick="showRainAttenuationInfo()Π      "></button><br>' +
      Σ      '      : ' + totalpowerloss.toFixed(2) + ' dB <button class="
info2Button" onclick="showTotalPowerLossTxInfo()Π      "></button><br>' +
      Γ      ' A      : ' + elevationAn.toFixed(4) + ' degrees <button class="
info2Button" onclick="showElevationAngleInfo()Π      "></button><br>' +
      Γ      ' A      : ' + azimuthio.toFixed(4) + ' degrees <button class="
info2Button" onclick="showAzimuthAngleInfo()Π      "></button><br>' +
      T      ' T      : ' + orbitalSpeed.toFixed(2) + ' km/s <button class="
info2Button" onclick="showOrbitalSpeedInfo()Π      "></button><br>' +
      Π      '      : ' + orbitalPeriod.hours + '      ' + orbitalPeriod.
minutes + '      ' + ' <button class="info2Button" onclick="
showOrbitalPeriodInfo()Π      "></button><br>' +
      Λ      '      : ' + receivedPower.toFixed(2) + ' dBm <button class="
info2Button" onclick="showReceivedPowerInfo()Π      "></button><br><br>';
}

function showBandwidthInfo() {
    showTextInModalT ("      (bandwidth),      Hertz (Hz),
      . Π      (bit rate)
      .");
}

function showTransmitterPowerInfo() {
    showTextInModalH ("      (Transmitter Power),      Watts (W) dBm,
      . E      ,
      .");
}

function showAntennaGainInfo() {
    showTextInModalT ("      (Antenna Gain),      dBi,
      . T
      .");
}

function showSNRInfo() {
    showTextInModalT (" SNR (Signal-to-Noise Ratio),      dB,
      . T      SNR      ,
      .");
}

function showTransmissionTimeInfo() {
    showTextInModalO ("      (Transmission Time)
      . E      ,
      .");
}

function showEIRPInfo() {
    showTextInModalT (" EIRP (Effective Isotropic Radiated Power),      dBm
      dBW,      . A
      .");
}

```

```

}

function showFSPLInfo() {
    showTextInModalH("          (FSPL),          dB,
                    . A                                .");
}

function showPointingLossTxInfo() {
    showTextInModalO("          (Transmitter Pointing Losses)
                    . E                                .");
}

function showPointingLossRxInfo() {
    showTextInModalO("          (Receiver Pointing Losses)
                    . E                                .");
}

function showRainAttenuationInfo() {
    showTextInModalH("          (Rain Attenuation),          dB,
                    . E                                (... Ku-band, Ka-band).");
}

function showElevationAngleInfo() {
    showTextInModalH("          (Elevation Angle),          ,
                    . K                                .");
}

function showAzimuthAngleInfo() {
    showTextInModalH("          (Azimuth Angle),          ,
                    . Σ                                .");
}

function showOrbitalSpeedInfo() {
    showTextInModalH("          (Orbital Speed),          m/s,
                    Γ . K                            .");
}

function showOrbitalPeriodInfo() {
    showTextInModalH("          (Orbital Period)
                    Γ ,          . E                            .");
}

function showInfo() {
    showTextInModalH("          (Signal Power),          dBm Watts,
                    . T                                .");
}

function showNoiseInfo() {
    showTextInModalO("          (Noise),          dBm Watts,
                    . E          SNR                    .");
}

function showOrbitalRadiusInfo() {
    showTextInModalH("          (Orbital Radius),          ,
                    Γ          . E                            .");
}

function showSatelliteLongitudeInfo() {
    showTextInModalT("          (Satellite Longitude),          ,
                    . K                                .");
}

function showLongitudeInfo() {

```

```

        showTextInModalT ("          (Longitude),          ,
                          . K          .");
    }

function showLatitudeInfo() {
    showTextInModalT ("          (Latitude),          ,
                      . E          .");
}

function showRainIntensityInfo() {
    showTextInModalH("          (Rain Intensity),          mm/h,
                     . E          .");
}

function showAntennaFeederLossInfo() {
    showTextInModalO ("          (Antenna Feeder Loss),          dB,
                      . E          .");
}

function showReceiverFeederLossInfo() {
    showTextInModalO ("          (Receiver Feeder Loss),          dB,
                      . M          .");
}

function showReceiverLossInfo() {
    showTextInModalO ("          (Receiver Loss)
                      . E          .");
}

function showTransmitterLossInfo() {
    showTextInModalO ("          (Transmitter Loss)
                      . E          .");
}

function showDistanceInfo() {
    showTextInModalH("          (Distance)
                     (km). E          .");
}

function showAvailability() {
    showTextInModalH("          (Availability)
                     . E          .");
}

function showAltitudeInfo() {
    showTextInModalT ("          (Altitude)          -          .
                      E          .");
}

function showsatelliteLatitudeInfo() {
    showTextInModalT ("          (Satellite Latitude),          ,
                      .");
}

function showGroundStationZoneInfo() {
    const modal = document.getElementById("modal");

    // Get the image and insert it inside the modal - use its "alt" text as a
    caption
    const img = new Image();
    const modalImg = document.getElementById("img01");
    const captionText = document.getElementById("caption");

```

```

modalImg.style.display = 'block';
img.onload = function () {
    modal.style.display = "block";
    modalImg.src = this.src;
    captionText.innerHTML = 0 "                (ground station zones)
                                                . A
    ,                . Σ
    .<br /><br />*** H E                K L.";
}

img.src = './zonemap.png';

// Get the <span> element that closes the modal
const span = document.getElementsByClassName("close")[0];

// When the user clicks on <span> (x), close the modal
span.onclick = function () {
    modal.style.display = "none";
}
}

function showTextInModal(text) {
    const modal = document.getElementById("modal");
    document.getElementById("img01").style.display = 'none';
    // Get the image and insert it inside the modal - use its "alt" text as a
    caption
    const captionText = document.getElementById("caption");
    modal.style.display = "block";
    captionText.innerHTML = text;

    // Get the <span> element that closes the modal
    const span = document.getElementsByClassName("close")[0];

    // When the user clicks on <span> (x), close the modal
    span.onclick = function () {
        modal.style.display = "none";
    }
}

function showFrequencyInfo() {
    showTextInModalH("                (Frequency),                Hertz (Hz),
                                                . Δ
    ,                L-band, S-band, C-band, X-band, Ku-band,                Ka-band.");
}

function showsatelliteAltitudeInfo() {
    showTextInModalT("                (Satellite Altitude),                ,
    Γ                .");
}

function showTotalPowerLossTxInfo() {
    showTextInModalH("                (Total Power Loss)                ,
    dB,                .");
}

function showNoisePowerInfo() {
    showTextInModalH("                (Noise Power),                dBm Watts,
    SNR.");
}

function showReceivedPowerInfo() {

```

```

    showTextInModalH("          (Received Power),          dBm Watts,
                                                                .");
}

function showApoleiesPolwsewnInfo() {
    showTextInModal0 ("          (Polarization Loss),          dB,
                                                                .");
}

function showPolarization() {
    showTextInModal(`
        <b0    > Π  :</b><br />
        H          . M
        .<br /><br />

        <bK    > Π  :</b><br />
        H          . Σ
        .<br /><br />

        <bK   > Π  :</b><br />
        T          . M
        ,          (RHCP)      (LHCP).
    `);
}

function showTemperature() {
    showTextInModal(`
        <bθ    >:</b><br />
        H          . M      K      (K)
        K      (°C). H          (Noise Temperature)
        Σ      θ  -- (SNR). T          ,
    `);
}

function toggleDropdown() {
    document.getElementById("satelliteSelect").classList.toggle("show");
}

function filterButton(filter) {
    if (filter == 'all') {
        filteredByPeriodSatellites = [...satellites];
    } else if (filter == 'leo') {
        filteredByPeriodSatellites = satellites.filter(sat => Number(sat.
PERIOD) >= 90 && Number(sat.PERIOD) <= 120);
    } else if (filter == 'meo') {
        filteredByPeriodSatellites = satellites.filter(sat => Number(sat.
PERIOD) >= 121 && Number(sat.PERIOD) <= 720);
    } else if (filter == 'geo') {
        filteredByPeriodSatellites = satellites.filter(sat => Number(sat.
PERIOD) >= 1425 && Number(sat.PERIOD) <= 1455);
    }

    if (checkbox) {
        const value = Number(document.querySelector('#lelos').value);
        filteredByPeriodSatellites = filteredByPeriodSatellites.filter(sat =>
    {
        try {
            const { elevation } = satinfo(sat);
        } catch (err) {
    }
    }
    );
}
}

```

```

        console.log(err)
    }
    return elevation > value;
});
}

filterSatellites();
}

timerInterval = undefined;
selectedSattelitelite = undefined;
liveIsPressed = false;
function live() {
    if(!selectedSattelitelite) {
        alert("aaa");
        return;
    }

    liveIsPressed = true;
    document.querySelector("#live").disabled = liveIsPressed;
    document.querySelector("#stop").disabled = !liveIsPressed;
    timerInterval = setInterval(() => {
        selectSatellite(selectedSattelitelite);
        // satinfo(selectedSattelitelite);
        calculateParameters();

        if (viewer) {
            const satellite = satellites.find(sat => sat.OBJECT_ID ===
selectedSattelitelite);
            const { longitude, latitude, height } = satinfo(satellite);

            viewer.entities.add({
                position: Cesium.Cartesian3.fromRadians(
                    longitude,
                    latitude,
                    height * 1000
                ),
                point: { pixelSize: 5, color: Cesium.Color.YELLOW }
            });
        }
        //kalese thn calculate dld afth poy kaleis otan patas ton ypologismo
    }, 1000);
}

function stopLive() {
    clearInterval(timerInterval);
    liveIsPressed = false;
    document.querySelector("#live").disabled = liveIsPressed;
    document.querySelector("#stop").disabled = !liveIsPressed;
}

viewer = undefined;
function visu() {
    if(!selectedSattelitelite) {
        alertE (" ");
        return;
    }
    if (viewer) {
        viewer = undefined;
        document.querySelector('#cesiumContainer').innerHTML = "";
        return;
    }
    document.querySelector('#cesiumContainer').innerHTML = "";
}

```

```

viewer = new Cesium.Viewer('cesiumContainer', {
  imageryProvider: new Cesium.TileMapServiceImageryProvider({
    url: Cesium.buildModuleUrl("Assets/Textures/NaturalEarthII"),
  }),
  baseLayerPicker: false, geocoder: false, homeButton: false, infoBox:
false,
  navigationHelpButton: false, sceneModePicker: false
});
viewer.scene.globe.enableLighting = false;
viewer.animation.container.style.visibility = 'hidden';
viewer.timeline.container.style.visibility = 'hidden';
viewer._cesiumWidget._creditContainer.parentNode.removeChild(viewer._
_cesiumWidget._creditContainer);
viewer.forceResize();
const satellite = satellites.find(sat => sat.OBJECT_ID ===
selectedSatellite);
const { longitude, latitude, height } = satinfo(satellite);
const satellitePoint = viewer.entities.add({
  position: Cesium.Cartesian3.fromRadians(
    longitude,
    latitude,
    height * 1000
  ),
  point: { pixelSize: 5, color: Cesium.Color.RED }
});
}

```

```

SpaceTrackApi.js

const express = require('express');
const axios = require('axios');
const cors = require('cors');

const app = express();
app.use(cors());

const username = 'elbasidis98@gmail.com';
const password = 'InternationUniversityOfGreece';

// URL
const authUrl = 'https://www.space-track.org/ajaxauth/login';

// URL (.., TLEs)
const queryUrl = 'https://www.space-track.org/basicspacedata/query/class/
tle_latest/ORDINAL/1/EPOCH/>now-30/orderby/NORAD_CAT_ID/format/json';

// Σ

let satellites = undefined;
async function fetchData() {
  try {
    // A
    const response = await axios.post(authUrl, `identity=${username}&
password=${password}`, {
      headers: { 'Content-Type': 'application/x-www-form-urlencoded' }
    });
  }
}

```

```

    if (response.status === 200) {
      // A
      const dataResponse = await axios.get(queryUrl, {
        headers: { 'Cookie': response.headers['set-cookie'] }
      });
      console.log(dataResponse.data); // E
      // satellites = dataResponse.data.filter(satellite => {
      //   const inclination = parseFloat(satellite.INCLINATION);
      //   const meanMotion = parseFloat(satellite.MEAN_MOTION);
      //   return inclination <= 10 && meanMotion <= 10 ;});
      // edw tha mou ta ferei ola, enw sthn apo pane me filtra
      satellites = dataResponse.data.sort((a,b) => a.OBJECT_NAME - b.
OBJECT_NAME);

      console.log('Filtered data:', satellites);
    } else {
      console.log('Authentication failed');
    }
  } catch (error) {
    console.error('Error fetching data:', error);
  }
}

app.get('/api/satellites', async (req, res) => {
  res.json(satellites);
});

fetchData().then(res => {
});

const PORT = process.env.PORT || 3000;
app.listen(PORT, () => console.log(`Server running on port ${PORT}`));

```

```

style.css

body {
  background-color: #FAF3ED;
  font-weight: bold;
  text-align: center;
  font-family: 'Segoe UI', Tahoma, Geneva, Verdana, sans-serif;
  font-size: large;
  display: flex;
  flex-direction: column;
  min-height: 100vh;
  margin: 0;
}

.content {
  flex: 1;
}

#calculateButton {
  font-size: 20px; /* M */
  background-color: #8BAFED; /* K */
  color: black; /* X */
  font-weight: bold; /* E */
  padding: 8px 20px; /* Π */
  border: 1px; /* X */
  border-radius: 5px; /* Σ */
}

```

```

    cursor: pointer; /* E          */
    text-align: center;
}

#calculateButton:hover {
    background-color: #FF7100 /* Σ          */
}

.infoButton {
    background-color: #8BAFED; /* A          */
    color: black; /* X          */
    border: 1px solid black; /* X          */
    padding: 2px 10px; /* Π          */
    border-radius: 5px; /* Σ          */
    cursor: pointer; /* E          */
}

.infoButton:hover {
    background-color: #FEDDCC; /* Σ          */
}

.info2Button {
    background-color: #8BAFED; /* A          */
    color: black; /* X          */
    border: 1px solid black; /* X          */
    padding: 2px 10px; /* Π          */
    border-radius: 5px; /* Σ          */
    cursor: pointer; /* E          */
}

.info2Button:hover {
    background-color: #FEDDCC; /* X lime          */
}

/**image modal**/

/* The Modal (background) */
.modal {
    display: none; /* Hidden by default */
    position: fixed; /* Stay in place */
    z-index: 1; /* Sit on top */
    padding-top: 100px; /* Location of the box */
    left: 0;
    top: 0;
    width: 100%; /* Full width */
    height: 100%; /* Full height */
    overflow: auto; /* Enable scroll if needed */
    background-color: rgb(0,0,0); /* Fallback color */
    background-color: rgba(0,0,0,0.9); /* Black w/ opacity */
}

/* Modal Content (image) */
.modal-content {
    margin: auto;
    display: block;
    width: 80%;
    max-width: 700px;
}

/* Caption of Modal Image */
#caption {
    margin: auto;
    display: block;

```

```

width: 80%;
max-width: 700px;
text-align: center;
color: #ccc;
padding: 10px 0;
height: 150px;
}

/* Add Animation */
.modal-content, #caption {
  -webkit-animation-name: zoom;
  -webkit-animation-duration: 0.6s;
  animation-name: zoom;
  animation-duration: 0.6s;
}

@-webkit-keyframes zoom {
  from {-webkit-transform:scale(0)}
  to {-webkit-transform:scale(1)}
}

@keyframes zoom {
  from {transform:scale(0)}
  to {transform:scale(1)}
}

/* The Close Button */
.close {
  position: absolute;
  top: 15px;
  right: 35px;
  color: #f1f1f1;
  font-size: 40px;
  font-weight: bold;
  transition: 0.3s;
}

.close:hover,
.close:focus {
  color: #bbb;
  text-decoration: none;
  cursor: pointer;
}

/* 100% Image Width on Smaller Screens */
@media only screen and (max-width: 700px){
  .modal-content {
    width: 100%;
  }
}

/* DROPDOWN */

.dropbtn {
  background-color: #04AA6D;
  border-radius: 5px; /* E */
  color: white;
  padding: 16px;
  font-size: 16px;
  border: none;
  cursor: pointer;
  width: 100%;
}

```

```

.dropbtn:hover, .dropbtn:focus {
  background-color: #3e8e41;
}

#search {
  width: 100%;
  height: 50px;
  box-sizing: border-box;
  background-image: url('searchicon.png');
  background-position: 14px 12px;
  background-repeat: no-repeat;
  font-size: 20px;
  padding: 14px 20px 12px 45px;
  border: none;
  border-bottom: 1px solid #ddd;
  position: sticky;
  top: 0;
}

#search:focus {outline: 3px solid #ddd;}

.dropdown {
  position: relative;
  display: inline-block;
  max-width: 300px;
  width: 300px;
  min-width: 300px;
}

.dropdown-content {
  display: none;
  position: absolute;
  background-color: #f6f6f6;
  min-width: 230px;
  overflow: auto;
  border: 1px solid #ddd;
  z-index: 1;
}

.dropdown-content span {
  color: black;
  padding: 12px 16px;
  text-decoration: none;
  display: block;
}

.dropdown span:hover {
  background-color: #ddd;
  cursor: pointer;
}

.show {display: block;}

#satelliteSelect {
  max-height: 200px;
  max-width: 300px;
  width: 300px;
  min-width: 300px;
}

/* button group filter */

```

```

.btn-group-filter button {
  background-color: #04AA6D; /* Green background */
  border: 1px solid green; /* Green border */
  color: white; /* White text */
  padding: 10px 24px; /* Some padding */
  cursor: pointer; /* Pointer/hand icon */
  float: center; /* Float the buttons side by side */
}

/* Clear floats (clearfix hack) */
.btn-group-filter:after {
  content: "";
  clear: both;
  display: table;
}

.btn-group-filter button:not(:last-child) {
  border-right: none; /* Prevent double borders */
}

/* Add a background color on hover */
.btn-group-filter button:hover {
  background-color: #3e8e41;
}

/* switch */
.switch {
  position: relative;
  display: inline-block;
  width: 60px;
  height: 34px;
}

.switch input {
  opacity: 0;
  width: 0;
  height: 0;
}

.slider {
  position: absolute;
  cursor: pointer;
  top: 0;
  left: 0;
  right: 0;
  bottom: 0;
  background-color: #ccc;
  -webkit-transition: .4s;
  transition: .4s;
}

.slider:before {
  position: absolute;
  content: "";
  height: 26px;
  width: 26px;
  left: 4px;
  bottom: 4px;
  background-color: white;
  -webkit-transition: .2s;
  transition: .2s;
}

```

```

input:checked + .slider {
  background-color: #2196F3;
}

input:focus + .slider {
  box-shadow: 0 0 1px #2196F3;
}

input:checked + .slider:before {
  -webkit-transform: translateX(26px);
  -ms-transform: translateX(26px);
  transform: translateX(26px);
}

/* Rounded sliders */
.slider.round {
  border-radius: 34px;
}

.slider.round:before {
  border-radius: 50%;
}

.footer {
  background-color: #333;
  color: white;
  padding: 1px 0;
  width: 100%;
  height: 70px;
}

.footer .footer-content {
  display: flex;
  justify-content: space-around;
  align-items: center;
}

.footer .footer-content .footer-section {
  flex: 1;
  text-align: center;
}

.footer a {
  color: #f1f1f1;
  text-decoration: none;
  margin: 0 0px;
}

.footer a:hover {
  text-decoration: underline;
}

.email-button {
  display: inline-block;
  margin-top: 10px;
  padding: 0px 3px;
  background-color: #007BFF;
  color: white;
  text-decoration: none;
  border-radius: 5px;
}

.email-button:hover {
  background-color: #0056b3;
}

```