



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ανάπτυξη Εργαλείου Προϋπολογισμού Ζεύξης για
Δορυφορικά Κανάλια

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Γκράνα Χαράλαμπου

Επιβλέπων :

Δημοσθένης Βουγιούκας

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Εμμανουήλ Καλλίγερος

Κωνσταντίνος Μαλιάτσος

Σάμος, Ιανουάριος , 2024

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς όλους όσους στήριξαν και καθοδήγησαν την εργασία αυτή. Οφείλω βαθιά ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Δημοσθένη Βουγιούκα για την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους αγαπητούς μου γονείς, για την ανεκτίμητη υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια αυτής της εκπαιδευτικής πορείας.

© [2024]

του

[Γκράνα Χαράλαμπου]

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Πλαίσιο διπλωματικής Εργασίας	1
1.2	Δομή της διπλωματικής	2
2	Θεωρητικό πλαίσιο.....	4
2.1	Δομή μιας ζεύξης	4
2.2	Χαρακτηριστικά Κεραίας	5
2.2.1	Κέρδος.....	5
2.2.2	Διάγραμμα ακτινοβολίας και γωνιακό εύρος δέσμης.....	5
2.2.3	Πόλωση.....	6
2.3	Ακτινοβολούμενη ισχύς.....	8
2.3.1	Ενεργός ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς	8
2.3.2	Πυκνότητα ροής ισχύος	8
2.4	Λαμβανόμενη ισχύς σήματος.....	9
2.4.1	Λαμβανόμενη ισχύ στην κεραία λήψης και απώλειες ελευθέρου χώρου	9
2.5	Πρόσθετες απώλειες.....	9
2.5.1	Απώλειες στην ατμόσφαιρα	10
2.5.2	Απώλειες στον εξοπλισμό εκπομπής και λήψης	10
2.5.3	Απώλειες μη ιδανικής ευθυγράμμισης.....	10
2.5.4	Απώλειες διαφορών στην πόλωση.....	11
2.5.5	Συμπεράσματα.....	11
2.6	Φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου στην είσοδο του δέκτη	12
2.6.1	Πηγές Θορύβου	12
2.6.2	Χαρακτηρισμός Θορύβου	12
2.6.3	Θερμοκρασία θορύβου μιας πηγής θορύβου.....	12
2.6.4	Ενεργό θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο	13
2.6.5	Ενεργός θερμοκρασίας θορύβου στην είσοδο ενός εξασθενητή	14
2.6.6	Η θερμοκρασία θορύβου κεραίας.....	14
2.6.7	Θερμοκρασία θορύβου συστήματος.....	19
2.7	Απόδοση ζεύξης.....	20
2.7.1	Ισχύς λαμβανόμενου σήματος προς την φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου στον δέκτη.....	20
2.8	Ατμοσφαιρικές Απώλειες.....	21

2.8.1	Διάθλαση	21
2.8.2	Σπινθηρισμός.....	21
2.8.3	Περιστροφή Faraday.....	22
2.8.4	Εξασθένηση βροχής.....	22
2.9	Συνολικός σηματοθορυβικός λόγος	28
2.9.1	Αναδίπλωση ισχύος εισόδου-εξόδου.....	28
2.9.2	Περιγραφή του C/NO_T στην περίπτωση χωρίς παρεμβολή.....	29
2.9.3	Περιθώριο ασφάλειας.....	30
2.9.4	Περιγραφή του C/NO_T στην περίπτωση με παρεμβολή.....	30
2.9.5	Περιγραφή του C/NO_T στην περίπτωση με παρεμβολή και ενδοδιαμόρφωσης.....	31
3	Παρουσίαση του εργαλείου.....	33
3.1	Μεθοδολογική προσέγγιση	33
3.2	Χρησιμοποιούμενα εργαλεία	35
3.3	Περιπτώσεις χρήσης.....	36
3.4	Σχεδιασμός και υλοποίηση εργαλείου	37
3.5	Διεπαφή χρήστη και λειτουργίες.....	48
3.6	Καρτέλα εισαγωγής παραμέτρων του δορυφόρου.....	49
3.7	Καρτέλα εισαγωγής παραμέτρων του επίγειου σταθμού.....	50
3.8	Καρτέλα ανάθεσης τιμών για τη διάδοση.....	52
3.9	Αποθήκευση και ανάθεση τιμών.....	53
3.9.1	Διάβασμα τιμών από αρχείο	53
3.9.2	Αποθήκευση τιμών σε αρχείο (δώσε παράδειγμα screenshot του αρχείου).....	56
3.10	Εμφάνιση αποτελεσμάτων στο εργαλείου.....	57
4	Επίλογος.....	62
4.1	Συμπεράσματα	62
4.2	Μελλοντικές επεκτάσεις	62
	Παράρτημα I [Αποσπάσματα Κώδικα].....	65

Λίστα Σχημάτων

FIGURE 1: ΤΥΠΙΚΗ ΖΕΥΞΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΝΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ ΜΕ ΕΝΑΝ ΕΠΙΓΕΙΟ ΣΤΑΘΜΟ	2
FIGURE 2: ΔΟΜΗ ΜΙΑΣ ΖΕΥΞΗΣ.....	4
FIGURE 3 : ΠΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΕΡΑΙΑΣ [1]	6
FIGURE 4: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΥΟ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΟΛΩΣΗ.	7
FIGURE 5 : ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ ΑΠΟ ΜΙΑ ΚΕΡΑΙΑ ΛΗΨΗΣ [1].....	9
FIGURE 6 : ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΟΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ.....	10
FIGURE 7 : ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΗ ΙΔΑΝΙΚΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ [1]	11
FIGURE 8: ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΛΕΥΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ [1]	12
FIGURE 9 : ΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΙΑΣ ΠΗΓΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ [1]	13
FIGURE 10 : ΕΝΕΡΓΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΕΝΟΣ ΤΕΤΡΑΘΥΡΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ [1]	13
FIGURE 11 : ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ [1]	14
FIGURE 12 : ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΚΗΣ ΘΕΣΗΣ. [1]	16
FIGURE 13 : ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ESA/EUTELSTAT ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ ΣΤΗΝ ΖΩΝΗ Κ _U [1].....	17
FIGURE 14 : ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ (Α) ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΙΘΡΙΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ ΚΑΙ (Β) ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΒΡΟΧΗΣ [1].....	17
FIGURE 15 : ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΑΙΘΡΙΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ [1]	18
FIGURE 16 : ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΛΗΨΗΣ	19
FIGURE 17 : Η ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΜΙΑΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ.....	23
FIGURE 18: BILINEAR INTERPOLATION	25
FIGURE 19: ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ MVC	34
FIGURE 20: CLASS DIAGRAM	38
FIGURE 21: ΚΛΑΣΗ APP	38
FIGURE 22: ΚΛΑΣΗ MODEL	39
FIGURE 23: ΚΛΑΣΗ VIEWFACTORY(1/3).....	40
FIGURE 24: ΚΛΑΣΗ VIEWFACTORY(2/3).....	41
FIGURE 25: ΚΛΑΣΗ VIEWFACTORY(3/3).....	42
FIGURE 26: ΚΛΑΣΗ CLIENTMENUCONTROLLER.....	43
FIGURE 27: ΚΛΑΣΗ CLIENTCONTROLLER.....	43
FIGURE 28: ΚΛΑΣΗ DASHBOARDCONTROLLER	44
FIGURE 29: ΚΛΑΣΗ SATELLITECONTROLLER.....	45
FIGURE 30: ΚΛΑΣΗ EARTHSTATIONCONTROLLER	46
FIGURE 31: ΚΛΑΣΗ PROPAGATIONCONTROLLER(1/2).....	47
FIGURE 32: ΚΛΑΣΗ PROPAGATIONCONTROLLER(2/2)	47
FIGURE 33: ΚΑΡΤΕΛΑ DASHBOARD	48
FIGURE 34 : ΚΑΡΤΕΛΑ SATELLITE	49
FIGURE 35: ΚΑΡΤΕΛΑ EARTH STATION	50
FIGURE 36: ΚΑΡΤΕΛΑ PROPAGATIONS	52
FIGURE 37: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΓΙΑ ΔΙΑΒΑΣΜΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟ ΑΡΧΕΙΟ	53
FIGURE 38: ΚΑΡΤΕΛΑ SATELLITE ΜΕ ΤΙΜΕΣ	54
FIGURE 39: ΚΑΡΤΕΛΑ EARTH STATION ΜΕ ΤΙΜΕΣ	55

FIGURE 40: ΚΑΡΤΕΛΑ PROPAGATIONS ΜΕ ΤΙΜΕΣ	56
FIGURE 41: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ	57
FIGURE 42: ΚΑΡΤΕΛΑ DASHBOARD ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	58
FIGURE 43: CHARTS CONTROLLER	61
FIGURE 44: ΓΡΑΦΗΜΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ FSPL ΣΗΜΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	61

Ακρωνύμια

ITU	International Communication Union
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
XPI	Cross Polarisation Isolation
XPD	Cross Polarisation Discrimination
LNA	Low Noise Amplifier
IBO	Input Back-Off
OBO	Output Back-Off
CSS	Cascading Style Sheets
IDE	Integrated Development Environment
MVC	Model-View-Controller
GUI	Graphical User Interface
XML	eXtensible Markup Language
UML	Unified Modeling Language

Περίληψη

Η ραγδαία εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών νέας γενιάς και ιδίως των δορυφορικών επικοινωνιών δημιουργεί την ανάγκη για την υλοποίηση εξειδικευμένων εργαλείων σχεδίασης και μελέτης των τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων. Στο πλαίσιο αυτό, στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η σχεδίαση και υλοποίηση ενός εργαλείου-εφαρμογής για τον προϋπολογισμό των δορυφορικών ζεύξεων (Link Budget), χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Java και συγκεκριμένα την τεχνολογία JavaFX. Με τη χρήση της τεχνολογίας JavaFX, προσφέρεται μια φιλική προς τον χρήστη διεπαφή, παρέχοντας ταυτόχρονα πληθώρα λειτουργιών και δυνατοτήτων. Αυτό το εργαλείο αναμένεται να διευκολύνει τον σχεδιασμό και την διαχείριση δορυφορικών ζεύξεων προσφέροντας σημαντική υποστήριξη στον ευρύτερο τομέα των επικοινωνιών.

Συγκεκριμένα, το πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζει το πλαίσιο της διπλωματικής, καθώς και τη δομή αυτής. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο είναι αναγκαίο να γνωρίζουν οι σχεδιαστές δορυφορικών ζεύξεων και βασίζεται η υλοποίηση του εργαλείου. Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται ενδελεχής παρουσίαση του εργαλείου, καθώς και των διαφορετικών δυνατοτήτων που προσφέρει. Επίσης, παρουσιάζονται η μεθοδολογική προσέγγιση και οι τεχνολογίες και τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του. Τέλος, το τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο, όπου παρουσιάζονται τα συμπεράσματα αναφορικά με την υλοποίηση του εργαλείου, καθώς επίσης προτείνονται τυχόν μελλοντικές επεκτάσεις που θα μπορούσαν να ενταχθούν στο εργαλείο και να ενισχύσουν την απήχηση του.

Λέξεις Κλειδιά: Εργαλείο, Εφαρμογή, JavaFX, Δορυφορικές ζεύξεις, τεχνολογία

Abstract

The rapid development of new-generation telecommunications, especially satellite communications, compels the implementation of specialized tools for the design and study of telecommunication links. In this context, this thesis presents the design and implementation of a tool/application for satellite link budget analysis using Java programming language, specifically JavaFX technology. JavaFX technology provides a user-friendly interface while offering many features and capabilities. This tool is expected to facilitate the design and management of satellite links, providing significant support to the broader field of communications.

More specifically, the first chapter discusses the framework of the thesis as well as its structure. The second chapter presents the theoretical background that satellite communication engineers need to be familiar with, and it is the base of the developed tool. Furthermore, the third chapter provides a detailed presentation of the tool as well as the different capabilities that offers. More specifically, the methodological approach, the technologies, and the tools used for the development of the satellite link tool are described. Finally, in the fourth and final chapter, a conclusion is drawn concerning the tool's development, as well as future directions and extensions that could potentially enrich the tool's capabilities and features.

Keywords: Tool, Application, JavaFX, Satellite links, technology

1

Εισαγωγή

1.1 Πλαίσιο διπλωματικής Εργασίας

Τα εργαλεία σχεδιασμού τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων χρησιμοποιούνται ευρέως στον χώρο των τηλεπικοινωνιών για σκοπό τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη βελτιστοποίηση των επικοινωνιακών συστημάτων. Ο χώρος των τηλεπικοινωνιών αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα, τα οποία απαιτούν εξειδικευμένα εργαλεία για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους. Η προκλητική φύση του περιβάλλοντος των συσκευών επικοινωνιών με τους επίγειους σταθμούς επιβάλλει τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών σχεδιασμού για την αντιμετώπιση των προκλήσεων. Ένα από τα βασικά προβλήματα είναι το φαινόμενο της παρεμβολής τα οποία συνήθως οφείλονται σε αντανάκλασεις του σήματος και από παρεμβολές τρίτων, ενώ η διαχείριση των συχνοτήτων και η επίδραση των καιρικών συνθηκών απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό. Επιπλέον, η βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας αποτελεί κρίσιμη πτυχή για τη μακροζωία των δορυφόρων, ενώ ο ενεργειακός σχεδιασμός και η επιλογή βέλτιστων παραμέτρων αποτελούν σημαντικά κριτήρια για τη συνολική απόδοση των συστημάτων επικοινωνίας. Συνολικά, τα εργαλεία σχεδιασμού τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων προσφέρουν λύσεις που προσαρμόζονται στις απαιτήσεις και τις προκλήσεις αυτού του περίπλοκου πεδίου.

Έτσι λοιπόν, στο πλαίσιο της νέας εποχής αναφορικά με τις τηλεπικοινωνίες, το διαστημικό τμήμα έχει προταθεί ως ελπιδοφόρα λύση για την ενίσχυση της απόδοσης των επίγειων ετερογενών δικτύων πέμπτης γενιάς (5G) και πέρα από αυτό. Ως εκ τούτου, προκύπτει ανάγκη για την ανάπτυξη εξειδικευμένων εργαλείων με σκοπό το βέλτιστο σχεδιασμό των δορυφορικών ζεύξεων. Με γνώμονα αυτή την παρατήρηση, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, τίθενται οι βάσεις για την ανάπτυξη ενός τέτοιου εργαλείου. Συγκεκριμένα, θα αναπτυχθεί ένα εργαλείο σχεδιασμού δορυφορικών ζεύξεων το οποίο θα προσφέρει ολοκληρωμένη ανάλυση για το σχεδιασμό ζεύξης μεταξύ ενός δορυφόρου και ενός επίγειου σταθμού όπως ακριβώς φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, λαμβάνοντας υπόψιν τις προηγμένες απαιτήσεις των σύγχρονων επικοινωνιακών συστημάτων. Με απλά λόγια το εργαλείο θα περιέχει μία λεπτομερή ανάλυση των παραμέτρων ενός δορυφόρου και ενός επίγειου σταθμού, πράγμα που θα επιτρέπει την αποδοτική σχεδίαση και την αξιοπιστία των επικοινωνιακών συστημάτων της νέας εποχής.

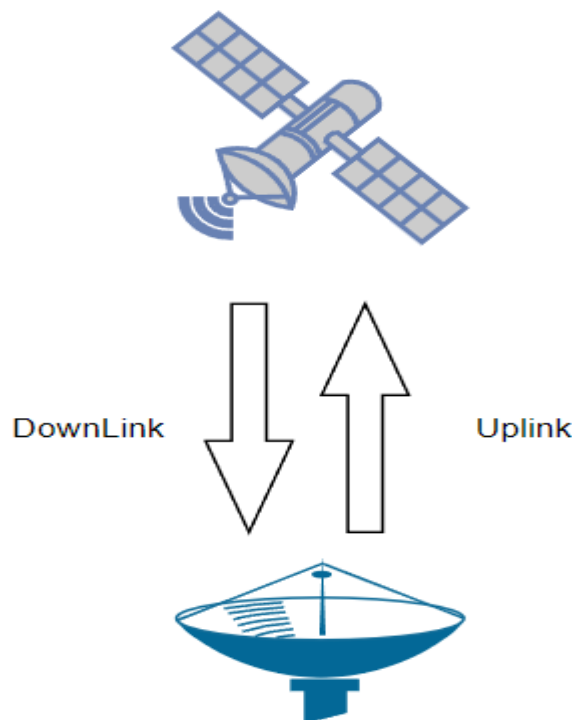


Figure 1: Τυπική ζεύξη μεταξύ ενός δορυφόρου με έναν επίγειο σταθμό

1.2 Δομή της διπλωματικής

Η δομή της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται στα εξής κεφάλαια:

- Εισαγωγή
- Θεωρητικό πλαίσιο
- Παρουσίαση του εργαλείου
- Επίλογος

Το κάθε κεφάλαιο περιέχει τις δικές του υπό-ενότητες οι οποίες είναι ανάλογα με το περιεχόμενό του. Στο κεφάλαιο της εισαγωγής περιγράφονται τα περιεχόμενα των άλλων κεφαλαίων. Το δεύτερο κεφάλαιο, Θεωρητικό πλαίσιο, εμπεριέχει κάποιες βασικές έννοιες που είναι ανάγκη ο αναγνώστης να καταλάβει για την περιγραφή του σηματοθορυβικού λόγου (C/N_0) ο οποίος αποτελεί τον πιο σημαντικό δείκτη για της δορυφορικές ζεύξεις. Πιο συγκεκριμένα ερευνάται η δομή μιας ζεύξης και την απόδοση της, παρέχοντας την κατάλληλη θεωρία για την κατάρτιση του προϋπολογισμού ισχύος του φέροντος και του προϋπολογισμού της συνεισφοράς του θορύβου. Έπειτα εξετάζεται η έννοια της απόδοσης της ζεύξης για την συνολική διαδρομή του σήματος, από την αρχική του θέση μέχρι τον προορισμό. Στο παρών κεφάλαιο δίνεται ο τρόπος που χρησιμοποιεί το εργαλείο για τον υπολογισμό της εξασθένησης λόγω βροχής που αποτελεί έναν από τους πιο κύριους λόγους να διακοπεί μία ζεύξη ανάμεσα σε έναν επίγειο σταθμό και έναν δορυφόρο, για αυτό το λόγο είναι από τους πιο σημαντικούς δείκτες που πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τους οι σχεδιαστές τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων και κατ' επέκταση δορυφορικών ζεύξεων. Στην συνέχεια,

στο κεφάλαιο τρία γίνεται η παρουσίαση του εργαλείου προϋπολογισμού ζεύξης για δορυφορικά κανάλια που αναπτύχθηκε, παρουσιάζοντας τις λειτουργίες που διαθέτει καθώς και την μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την υλοποίησή του, ακόμη αναφέρονται τα εργαλεία και οι τεχνολογίες τα οποία χρησιμοποίησα κατά την διάρκεια της ανάπτυξης αυτού του εργαλείου. Τέλος στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα για το εργαλείο το οποίο δημιουργήθηκε. Επιπλέον στο ίδιο κεφάλαιο δίνονται ιδέες επεκτάσεις που το εργαλείο μπορεί να λάβει έτσι ώστε να αναβαθμιστεί ακόμη περισσότερο.

2

Θεωρητικό πλαίσιο

2.1 Δομή μιας ζεύξης

Στην παρακάτω εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται μια ζεύξη. Όπως φαίνεται αποτελείται από ένα εξοπλισμό εκπομπής T_X ο οποίος μέσω ενός τροφοδότη συνδέεται με την κεραία εκπομπής με κέρδος G_T προς την διεύθυνση του σταθμού λήψης. Η ισχύς P_T η οποία ακτινοβολείται από τον εξοπλισμό εκπομπής προς την κατεύθυνση του εξοπλισμού του δέκτη και η απόδοση του εξοπλισμού εκπομπής εκφράζεται από την ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ενεργό ισχύ (EIRP):

$$EIRP = P_T G_T \quad (W) \quad (2.1)$$

Κατά την διάρκεια μετάδοσης, η ακτινοβολούμενη ισχύ υφίσταται κάποιες απώλειες L .

Αντίστοιχα ο εξοπλισμός του δέκτη απαρτίζεται από την κεραία λήψης που έχει κέρδος G_R ως προς την κατεύθυνση του εξοπλισμού εκπομπής και μέσω ενός τροφοδότη συνδέεται με τον εξοπλισμό λήψης R_X . Στην είσοδό του ο δέκτης λαμβάνει ισχύς ενός διαμορφωμένου φέροντος C καθώς όλες οι συνιστώσες θορύβου του συστήματος που λαμβάνουν χώρα στην ζεύξη συνεισφέρουν στην θερμοκρασία θορύβου του συστήματος T . Η θερμοκρασία αυτή καθορίζει την πυκνότητα φασματικής ισχύος του θορύβου N_0 , η οποία εν τέλει επηρεάζει την απόδοση της ζεύξης. Η απόδοση του εξοπλισμού λήψης μετριέται από τον λόγο, όπου G είναι το συνολικό κέρδος του εξοπλισμού λήψης.

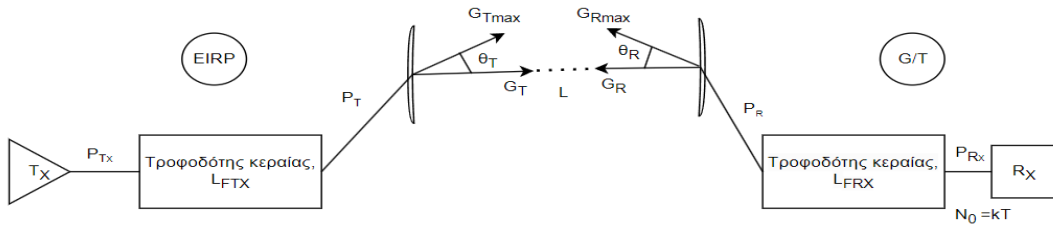


Figure 2: Δομή μίας ζεύξης.

2.2 Χαρακτηριστικά Κεραίας

2.2.1 Κέρδος

Το κέρδος ή απολαβή μιας κεραίας είναι ο λόγος της ισχύος που η κεραία ακτινοβολεί προς (ή λαμβάνει από) μια συγκεκριμένη κατεύθυνση ανά μονάδα στερεάς γωνίας, προς την ισχύ που ακτινοβολείται προς (ή λαμβάνει από) μία κατεύθυνση ανά μονάδα στερεάς γωνίας μίας ιστροπικής κεραίας η οποία τροφοδοτείται με την ίδια ισχύ. Περιγράφεται από την εξίσωση:

$$G_{\max} = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) A_{\text{eff}} \quad (W) \quad (2.2)$$

Όπου το λ είναι ίσο με, c είναι η ταχύτητα του φωτός ίση με $3 * 10^8 \frac{m}{s}$ και f είναι η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το A_{eff} συμβολίζει το ενεργό άνοιγμα μίας κεραίας, για μία κεραία με κυκλικό άνοιγμα ή ανακλαστήρα με διάμετρο ίση με D και γεωμετρική επιφάνεια $A = \frac{\pi D^2}{4}$, το ενεργό άνοιγμα είναι $A_{\text{eff}} = nA$, το n είναι η απόδοση της κεραίας.

Άρα η εξίσωση (2.2) είναι:

$$G_{\max} = n \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 = n \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \quad (2.3)$$

Το μέγιστο κέρδος της κεραίας εκφρασμένο σε dBi είναι :

$$G_{\max} = 10 \log n \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 = 10 \log n \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \quad (2.4)$$

2.2.2 Διάγραμμα ακτινοβολίας και γωνιακό εύρος δέσμης

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται μία τυπική μορφή ακτινοβολίας κεραίας με κυκλική επιφάνεια. Όπως φαίνεται στον κύριο λοβό εμπεριέχεται η διεύθυνση όπου το κέρδος ακτινοβολίας είναι μέγιστο. Παράλληλά οι πλευρικοί λοβοί θα πρέπει να διατηρούνται όσο το δυνατόν λιγότερο έντονοι. Το γωνιακό εύρος είναι η γωνία στην οποία οι διευθύνσεις που αντιστοιχούν σε μία συγκεκριμένη μείωση κέρδους σε σχέση με την μέγιστη τιμή. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τρόπος είναι το εύρος ζώνης 3dB το οποίο αντιστοιχεί στην γωνία θ_{3dB} , όπου το κέρδος έχει υποδιπλασιαστεί σε σχέση με την μέγιστη τιμή.

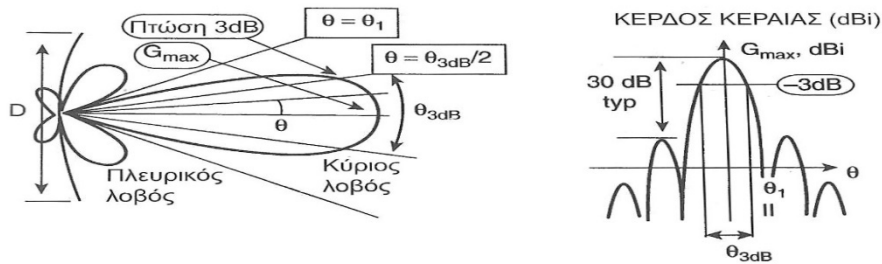


Figure 3 : Πολική και καρτεσιανή αναπαράστασή ακτινοβολίας κεραίας [1].

Η τιμή του κέρδους κατά την κατεύθυνση θ ορίζεται σε σχέση με το μέγιστο κέρδος αφαιρώντας τις απώλειες σκόπευσης οι οποίες είναι ίσες με $12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2$. Δηλαδή το κέρδος είναι ίσο:

$$G(\theta)_{dBi} = G_{max} - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2 \text{ (dBi)} \quad (2.5)$$

Η παραπάνω σχέση είναι έγκυρη μόνο για γωνίες οποίες βρίσκονται στο διάστημα $0 < \theta < \frac{\theta_{3dB}}{2}$

2.2.3 Πόλωση

Το κύμα που εκπέμπεται αποτελείται από δύο συνιστώσες το μαγνητικό πεδίο και το ηλεκτρικό πεδίο. Αυτές οι δύο συνιστώσες είναι κάθετες μεταξύ τους και κάθετες προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η πόλωση ενός κύματος ορίζεται από το ηλεκτρικό πεδίο. Το ίχνος της πόλωσης ενός κύματος αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο αλλάζει η πόλωση του κύματος σε κατά την διάρκεια μετάδοσης του. Έτσι η πόλωση χαρακτηρίζεται από τις παραμέτρους οι οποίες ακολουθούν:

- Την διεύθυνση περιστροφής : Δεξιόστροφη (ωρολογιακή φορά) ή αριστερόστροφη (Ανθορολογιακή φορά).
- Τον αξονικό λόγο : Δηλαδή τον λόγο του μεγάλου προς τον μικρό άξονα της έλλειψης. Όταν η έλλειψη είναι κύκλος τότε έχουμε κυκλική πόλωση, ενώ όταν η έλλειψη εκφυλίζεται σε ευθεία έχουμε γραμμική πόλωση.
- Την κλίση της έλλειψης.

Μια κεραία η οποία σχεδιάστηκε να εκπέμπει ή να λαμβάνει κύματα σε συγκεκριμένη πόλωση δεν μπορεί να εκπέμψει ή να λάβει κύματα της αντίστοιχης ορθογώνιας πόλωσης. Για δύο κύματα τα οποία βρίσκονται σε ορθογώνια πόλωση σημαίνει ότι τα διανύσματα των ηλεκτρικών τους πεδίων διαγράφουν την ίδια έλλειψη αλλά με διαφορετική φορά. Δηλαδή για τις κυκλικές πολώσεις το ένα κύμα είναι δεξιόστροφο και το άλλο αριστερόστροφο, ενώ για τις γραμμικές πολώσεις το ένα κύμα θα είναι κάθετα (ως προς ένα τοπικό σύστημα αναφοράς) και το άλλο οριζόντια. Έτσι η ιδιότητα της ορθογωνικής πόλωσης υπάρχει η δυνατότητα για ταυτόχρονη λειτουργία δύο ζευξέων στην ίδια συχνότητα και στην ίδια περιοχή. Αυτή η τεχνική καλείται επαναχρησιμοποίηση συχνότητας μέσω ορθογώνιας πόλωσης. Για την επίτευξη αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθούν στα

άκρα της ζεύξης είτε δύο κεραίες με διαφορετική πόλωση είτε μία κεραία η οποία θα μπορεί να λειτουργεί και τους δύο τρόπους πόλωσης. Ωστόσο θα πρέπει να υπολογιστούν αφενός οι κατασκευαστικές ατέλειες της κεραίας και αφετέρου την μεταβολή της πόλωσης του σήματος που προκαλείται από το μέσο μετάδοσης, από τα οποία προκαλείται παρεμβολή μεταξύ των ζεύξεων.

Αυτό φαίνεται καθαρά στην εικόνα που ακολουθεί, η οποία αναφέρεται στην περίπτωση δύο γραμμικά ορθογώνιων πολώσεων. Όπως φαίνεται στην μεριά της κεραίας εκπομπής έχουμε δύο σήματα a και b που τα πλάτη των ηλεκτρικών τους πεδίων είναι ίσα και μεταξύ τους είναι ορθογωνιακά πολωμένα (a κάθετα, b οριζόντια). Ενώ στην μεριά της κεραίας λήψης έχουμε a_c και b_c τα οποία είναι τα πλάτη που λαμβάνονται, καθώς και a_x , b_x είναι τα ανεπιθύμητα λαμβανόμενα πλάτη τα οποία μπαίνουν από την ταυτόχρονη μετάδοση των σημάτων με ορθογώνια πόλωση.

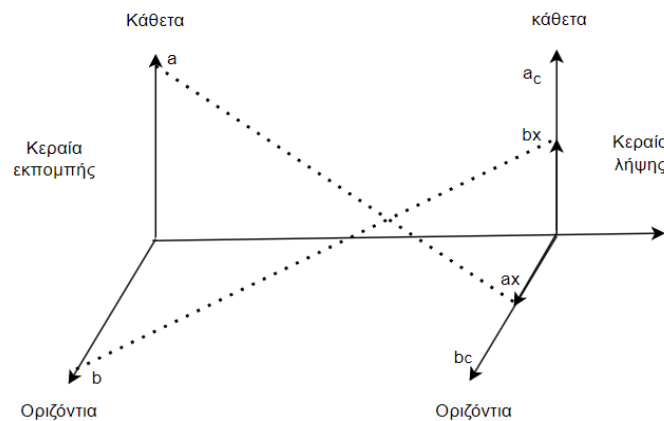


Figure 4: Περίπτωση δύο εκπεμπόμενων και λαμβανόμενων σημάτων με ορθογώνια γραμμική πόλωση.

Έτσι ορίζονται δύο έννοιες. Η πρώτη έννοια είναι η απομόνωση διασταυρούμενης πόλωσης (cross-polarisation isolation) :

$$XPI = \frac{a_c}{b_x} \quad \text{ή} \quad \frac{b_c}{a_x} \quad (2.6)$$

Επομένως σε dB είναι,

$$XPI(dB) = 20 \log \left(\frac{a_c}{b_x} \right) \quad \text{ή} \quad 20 \log \left(\frac{b_c}{a_x} \right) (dB) \quad (2.7)$$

Η δεύτερη έννοια είναι ο διαχωρισμός διασταυρούμενης πόλωσης (cross-polarisation discrimination):

$$XPD = \left(\frac{a_c}{a_x} \right) \quad (2.8)$$

Επομένως σε dB είναι,

$$XPD(dB) = 20 \log \left(\frac{a_c}{a_x} \right) (dB) \quad (2.9)$$

Άρα αυτό το οποίο δηλώνει ο δείκτης XPI είναι κατά πόσο δύο σήματα που εκπέμπονται ταυτόχρονα με αντίθετες πολώσεις θα παρεμβάλουν το ένα στο άλλο στην μεριά του δέκτη. Ενώ ο δείκτης XPD δηλώνει το ποσοστό του σήματος που σκεδάζεται στην αντίθετη πόλωση εξαιτίας μόνο του μέσου μετάδοσης.

2.3 Ακτινοβολούμενη ισχύς

2.3.1 Ενεργός ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς

Η ισχύς που ακτινοβολείται από μία ιστροπική κεραία η οποία τροφοδοτείται από μία πηγή ραδιοσυχνοτήτων με ισχύ ίση με P_T , περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{P_T}{4\pi} (W/steradian)^2 \quad (2.10)$$

Στην διεύθυνση όπου το κέρδος εκπομπής είναι G_T , μία κεραία ακτινοβολεί ισχύ ανά μονάδα στερεάς γωνίας ίση με:

$$\frac{P_T G_T}{4\pi} (W/steradian) \quad (2.11)$$

Ενεργός ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς (Effective Isotropic Radiated Power, EIRP) είναι το γινόμενο $P_T G_T$ του οποίου η μονάδα μέτρησης είναι το Watt.

2.3.2 Πυκνότητα ροής ισχύος

Αν από την κεραία εκπομπής σε απόσταση R υπάρχει μία επιφάνεια A αντίκειται σε στερεά γωνία, τότε η λαμβανόμενη ισχύ είναι:

$$P_R = \left(\frac{P_T G_T}{4\pi} \right) \left(\frac{A}{R^2} \right) = \Phi A (W) \quad (2.12)$$

2.4 Λαμβανόμενη ισχύς σήματος

2.4.1 Λαμβανόμενη ισχύς στην κεραία λήψης και απώλειες ελευθέρου χώρου

Μία κεραία λήψης η οποία βρίσκεται σε απόσταση R από την κεραία εκπομπής και έχει ενεργό επιφάνεια A_{eff} , τότε η λαμβανόμενη ισχύς είναι ίση με:

$$P_R = \Phi A_{eff} = \left(\frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \right) A_{eff} \quad (W) \quad (2.13)$$

Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

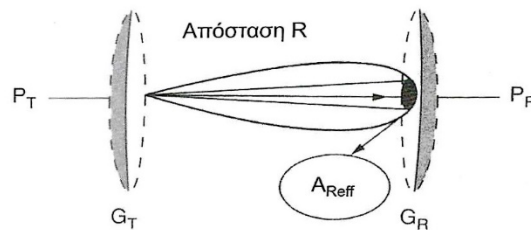


Figure 5 : Λαμβανόμενη ισχύς από μία κεραία λήψης [1].

Η ενεργό επιφάνεια μιας κεραίας περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_{eff} = \frac{G_R}{\frac{4\pi}{\lambda^2}} \quad (m^2) \quad (2.14)$$

Έτσι η εξίσωση (2.13) έχει την παρακάτω μορφή :

$$P_R = \left(\frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) G_R = (P_T G_T) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_R = (P_T G_T) \left(\frac{1}{L_{FS}} \right) G_R \quad (2.15)$$

Όπου το $L_{FS} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2$ είναι οι απώλειες ελευθέρου χώρου και όπως είναι αντιληπτό από τον τύπο είναι συνάρτηση της απόστασης και της συχνότητας.

2.5 Πρόσθετες απώλειες

Στην πράξη το σήμα δεν υφίσταται μόνο τις απώλειες ελευθέρου χώρου. Στην πραγματικότητα συνυπολογίζονται και άλλες πρόσθετες απώλειες. Όπως είναι :

- απώλειες της ατμόσφαιρας,
- απώλειες στον εξοπλισμό εκπομπής και λήψης,
- απώλειες λόγω μη ιδανικής ευθυγράμμισης,
- απώλειες λόγω διαφοράς της πόλωσης.

2.5.1 Απώλειες στην ατμόσφαιρα

Όσο η ανοδική όσο και η καθοδική ζεύξη περνάνε μέσα από την ατμόσφαιρα. Δύο είναι οι περιοχές της ατμόσφαιρας που επηρεάζουν το εκπεμπόμενο σήμα, είναι η ιονόσφαιρα και η τροπόσφαιρα. Τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής επίδρασης είναι η απορρόφηση και η μεταβολή της πόλωσης των κυμάτων εξαιτίας των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα όπως είναι το χιόνι, η βροχή, το νέφος και ο πάγος. Έτσι μπορούμε να συνυπολογίσουμε τις απώλειες στην ατμόσφαιρα, L_A , στην συνολική επίδραση στην ισχύ του λαμβανόμενου φέροντος. Επομένως οι απώλειες διαδρομής είναι: : Απώλειες στον εξοπλισμό

$$L = L_{FS} L_A \quad (2.16)$$

2.5.2 Απώλειες στον εξοπλισμό εκπομπής και λήψης

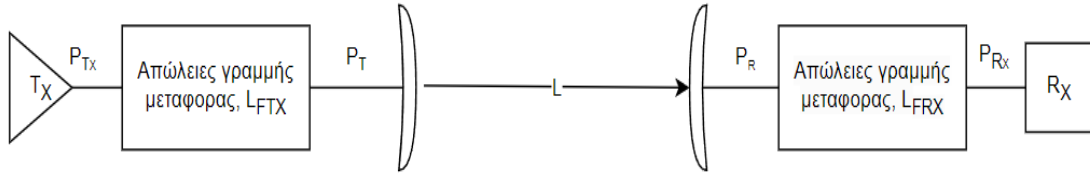


Figure 6 : Απώλειες στον εξοπλισμό.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 6, L_{FTX} είναι οι απώλειες της γραμμής μεταφοράς ανάμεσα στον πομπό και την κεραία. Για να τροφοδοτείται η κεραία με ισχύ P_T πρέπει η ισχύς εκπομπής του ενισχυτή, P_{TX} , να είναι τέτοια ώστε :

$$P_{TX} = P_T L_{FTX} \text{ (W)}$$

Επομένως η ιστροπικά ακτινοβολούμενη ενεργό ισχύ μπορεί να εκφραστεί με τον ακόλουθο τύπο:

$$EIRP = P_T G_T = \frac{P_{TX} G_T}{L_{FTX}} \text{ (W)} \quad (2.17)$$

Επίσης υπάρχουν και οι απώλειες εξοπλισμού στην μεριά του δέκτη. Οι απώλειες L_{FRX} , είναι οι απώλειες γραμμής μεταφοράς από την κεραία προς τον δέκτη. Η ισχύς στην είσοδο του δέκτη, P_{RX} , είναι ίση με:

$$P_{RX} = \frac{P_R}{L_{FRX}} \text{ (W)} \quad (2.18)$$

2.5.3 Απώλειες μη ιδανικής ευθυγράμμισης

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η περίπτωση μη ιδανικής ευθυγράμμισης. Αποτέλεσμα των ατελειών αυτών είναι οι απώλειες των κερδών τόσο στην κεραία λήψης όσο και στην κεραία εκπομπής σε σχέση με το μέγιστο κέρδος. Οι απώλειες αυτές είναι συνάρτηση της γωνίας εκτροπής από τον άξονα ευθυγράμμισης και υπολογίζονται με τον εξής τρόπο:

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

Όπου θ_T είναι η γωνία εκτροπής για την κεραία εκπομπής.

$$L_R = 12 \left(\frac{\theta_R}{\theta_{3dB}} \right)^2 (dB)$$

Όπου θ_R είναι η γωνία εκτροπής για την κεραία λήψης.

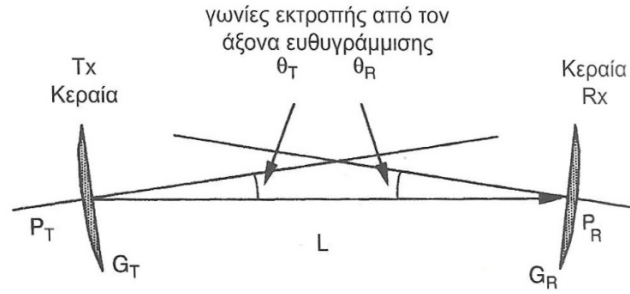


Figure 7 : Απώλειες μη ιδανικής ευθυγράμμισης [1].

2.5.4 Απώλειες διαφορών στην πόλωση

Όταν η κεραία λήψης δεν είναι προσανατολισμένη σύμφωνα με την πόλωση του λαμβανόμενου κύματος τότε έχουμε απώλειες λόγω διαφοράς πόλωσης, L_{POL} . Σε μια ζεύξη όπου το εκπεμπόμενο σήμα είναι κυκλικά πολωμένο πάνω στον άξονα της κεραίας, όταν το σήμα εκτρέπεται από τον άξονα η πόλωση μετατρέπεται σε ελλειπτική. Επίσης κατά την διέλευση του κύματος από τα στρώματα της ατμόσφαιρα ένα σήμα κυκλικής πόλωσης μπορεί να μετατραπεί σε ελλειπτική πόλωση. Ενώ αντίστοιχα στην περίπτωση της γραμμικής πόλωσης το κύμα μπορεί να επιστραφεί κατά την διάδοσή του. Επιπλέον το επίπεδο πόλωσης της κεραίας λήψης μπορεί να μην είναι ευθυγραμμισμένο με το επίπεδο πόλωσης του κύματος, επομένως αν η γωνία μεταξύ των δύο επιπέδων είναι Ψ τότε οι απώλειες, L_{POL} είναι :

$$L_{POL}(dB) = -20 \log \cos \Psi (dB)$$

2.5.5 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις απώλειες η εξίσωση της λαμβανόμενης ισχύς στην είσοδο του δέκτη έχει την παρακάτω μορφή:

$$P_{RX} = \left(\frac{P_{TX} G_{TMAX}}{L_T L_{FTX}} \right) \left(\frac{1}{L_{FS} L_A} \right) \left(\frac{G_{RMAX}}{L_R L_{FRX} L_{POL}} \right) (W) \quad (2.22)$$

Όπως φαίνεται από την εξίσωση (2.22) η ισχύς στην είσοδο του δέκτη είναι γινόμενο τριών παραγόντων. Ο πρώτος παράγοντας χαρακτηρίζει τον εξοπλισμό εκπομπής. Ο δεύτερος παράγοντας είναι για το μέσο διάδοσης, ενώ ο τρίτος είναι για τον εξοπλισμό λήψης.

2.6 Φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου στην είσοδο του δέκτη

2.6.1 Πηγές Θορύβου

Ο θόρυβος είναι ανεπιθύμητες συνιστώσες οι οποίες προστίθενται στην ισχύ του επιθυμητού φέροντος. Με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα του δέκτη να αναπαράγει την ωφέλιμη πληροφορία που μεταδίδεται.

Οι πηγές θορύβου είναι δύο:

- Οι φυσικές πηγές ακτινοβολίας οι οποίες βρίσκονται μέσα στην περιοχή της κεραίας λήψης,
- Τα εξαρτήματα του εξοπλισμού λήψης.

Τα φέροντα τα οποία εκπέμπονται από ανεπιθύμητους πομπούς συμπεριλαμβάνονται και αυτά στο θόρυβο. Αυτού του είδους ο θόρυβος περιγράφεται και ως παρεμβολή.

2.6.2 Χαρακτηρισμός Θορύβου

Ο θόρυβος μεταφέρει ισχύ που βρίσκεται εντός του εύρους ζώνης, B , του επιθυμητού διαμορφωμένου φέροντος. Το πιο δημοφιλές μοντέλο για αναπαράσταση θορύβου είναι αυτό του λευκού θορύβου. Ο λευκός θόρυβος χαρακτηρίζεται από σταθερή φασματική πυκνότητα ισχύος, N_0 , σε όλο το φάσμα. Οι πραγματικές πηγές θορύβου δεν χαρακτηρίζονται πάντα από σταθερή πυκνότητα ισχύος. Ωστόσο, το μοντέλο του λευκού θορύβου είναι κατάλληλο για την αναπαράσταση θορύβου σε ένα περιορισμένο εύρος ζώνης. Η ισοδύναμη ισχύς θορύβου, $N(W)$, η οποία λαμβάνεται σε ένα δέκτη με ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου, B , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$N = N_0 B_N(W) \quad (2.23)$$

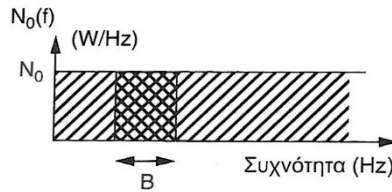


Figure 8: Φασματική πυκνότητα λευκού θορύβου [1].

2.6.3 Θερμοκρασία θορύβου μιας πηγής θορύβου

Η θερμοκρασία θορύβου σε μία δίθυρη πηγή η οποία εκπέμπει φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου N_0 περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$T = \frac{N_0}{k} (K) \quad (2.24)$$

Όπου k είναι η σταθερά Boltzmann, T η θερμοδυναμική θερμοκρασία μίας αντίστασης η οποία διανέμει την ίδια ισχύ θορύβου με αυτή της θεωρούμενης πηγής, αυτό φαίνεται στην παρακάτω στο σχήμα 9. Διαθέσιμη ισχύς θορύβου είναι η ισχύς που αποδίδεται από την πηγή σε μια διάταξη της οποίας η σύνθετη αντίσταση έχει προσαρμοστεί στην σύνθετη αντίσταση της πηγής.

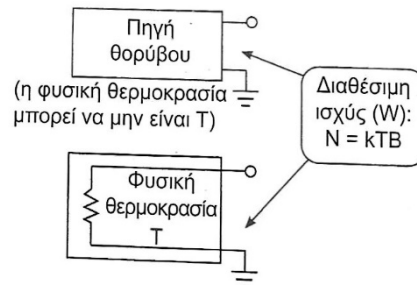


Figure 9 : Ορισμός θερμοκρασίας θορύβου μιας πηγής θορύβου [1].

2.6.4 Ενεργό θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο

Σε ένα τετράθυρο στοιχείο η ενεργός θερμοκρασία στην είσοδό του, T_e , είναι η θερμοδυναμική θερμοκρασία μιας αντίστασης την οποία τοποθετούμε στην είσοδο ενός στοιχείου το οποίο έχει απαλλαχτεί από τον θόρυβο. Έτσι στην έξοδο του εγκαθίσταται ισχύς θορύβου ίση προς την ισχύ που προκαλεί το ίδιο το στοιχείο χωρίς την πηγή θορύβου στην είσοδό του, αυτό απεικονίζεται και στο σχήμα 10. Επομένως η T_e αποτελεί μέτρο θορύβου το οποίο παράγεται από τις εσωτερικές αντιστάσεις ενός τετράθυρου στοιχείου.

Ο δείκτης θορύβου ενός τετράθυρου στοιχείου περιγράφεται από τον λόγο της συνολικής διαθέσιμης ισχύος θορύβου στην έξοδο προς την συνιστώσα αυτής της ισχύος που δημιουργείται στην είσοδο του από μια πηγή με θερμοκρασία θορύβου ίση προς την θερμοκρασία αναφοράς $T_0 = 290 \text{ K}$.

Αν υποθέσουμε ότι ένα στοιχείο έχει κέρδος G , εύρος ζώνης B και ότι οδηγείται από μία πηγή θερμοκρασίας θορύβου T_0 . Η συνολική ισχύς στην έξοδό του είναι $Gk(T_e + T_0)B$. Η συνιστώσα αυτής της ισχύος που οφείλεται στην πηγή είναι ίση με GkT_0B . Έτσι ο δείκτης θορύβου του στοιχείου περιγράφεται από την σχέση:

$$F = \frac{Gk(T_e + T_0)B}{GkT_0B} = \frac{T_e + T_0}{T_0} = 1 + \frac{T_e}{T_0} \quad (2.25)$$

Συνήθως, ο δείκτης θορύβου εκφράζεται σε dB:

$$F(\text{dB}) = 10 \log F$$

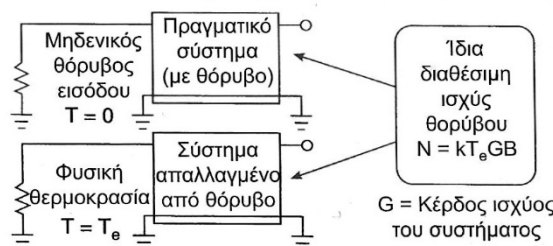


Figure 10 : Ενεργός θερμοκρασίας στην είσοδο ενός τετράθυρου στοιχείου [1].

2.6.5 Ενεργός θερμοκρασίας θορύβου στην είσοδο ενός εξασθενητή

Ο εξασθενητής είναι ένα τετράθυρο στοιχείο το οποίο περιέχει μόνο παθητικά στοιχεία θερμοκρασίας T_{ATT} η οποία, εν γένει, είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν L_{ATT} είναι η εξασθένιση που δημιουργείται από έναν εξασθενητή, η ενεργός θερμοκρασία στην είσοδο του είναι ίση με :

$$T_{eATT} = (L_{ATT} - 1)T_{ATT} (K) \quad (2.26)$$

Ενεργός θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο του δέκτη

Στο σχήμα 11 απεικονίζεται η διάταξη ενός δέκτη. Η ενεργό θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο του δέκτη εκφράζεται ως εξής:

$$T_{eRX} = T_{LNA} + \frac{T_{MX}}{G_{LNA}} + \frac{T_{IF}}{G_{LNA}G_{MX}} (K) \quad (2.27)$$

Όσο πιο υψηλό είναι το κέρδος του ενισχυτή χαμηλού θορύβου (LNA) τόσο περιορίζεται η θερμοκρασία θορύβου T_{eRX} του δέκτη στην τιμή T_{LNA} της θερμοκρασίας θορύβου του ενισχυτή LNA.

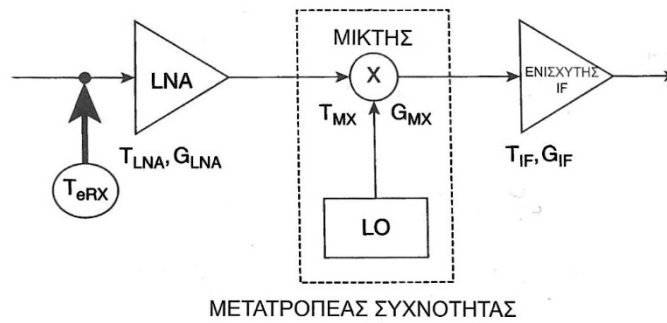


Figure 11 : Δομή ενός δέκτη [1].

2.6.6 Η θερμοκρασία θορύβου κεραίας

Ο θόρυβος που λαμβάνεται από την κεραία είναι από σώματα που ακτινοβολούν και βρίσκονται μέσα στο διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας. Ο θόρυβος στην έξοδο μιας κεραίας είναι συνάρτηση της κατεύθυνσης της οποίας σκοπεύει, του διαγράμματος ακτινοβολίας αλλά και της κατάστασης του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Κάθε κεραία θεωρείται ως πηγή θορύβου που χαρακτηρίζεται από μια θερμοκρασία θορύβου, την λεγόμενη θερμοκρασία θορύβου κεραίας και συμβολίζεται με $T_A(K)$.

Έστω ότι έχουμε την θερμοκρασία λαμπρότητας ενός ακτινοβολούντος σώματος, $T_b(\theta, \varphi)$, το οποίο βρίσκεται στην διεύθυνση (θ, φ) όπου το κέρδος της κεραίας είναι $G(\theta, \varphi)$. Ο υπολογισμός

της θερμοκρασίας θορύβου της κεραίας γίνεται ολοκληρώνοντας την συνεισφορά όλων των ακτινοβολούμενων σωμάτων μέσα στο διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας. Συγκεκριμένα:

$$T_A = \frac{1}{4\pi} \iint T_b(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi \quad (K) \quad (2.28)$$

Έτσι πρέπει να εξεταστούν δύο περιπτώσεις:

1. Η θερμοκρασία θορύβου στην κεραία του δορυφόρου (ανοδική ζεύξη)
2. Η θερμοκρασία θορύβου στην κεραία του επίγειου σταθμού (καθοδική ζεύξη)

2.6.6.1 Θερμοκρασία θορύβου στην κεραία του δορυφόρου

Στην δορυφορική κεραία ο θόρυβος που συλλαμβάνεται προέρχεται κυρίως από την γη και το εξωτερικό διάστημα. Σε μία δορυφορική κεραία το εύρος δέσμης της είναι ίσο ή μικρότερο προς την γωνία με την οποία βλέπει την γη ο δορυφόρος, δηλαδή, 17.5° για ένα γεωστατικό δορυφόρο. Υπό αυτές της συνθήκες η μεγαλύτερη συνεισφορά στον θόρυβο προέρχεται από την γη. Για εύρος δέσμης $\theta_{3dB} = 17.5^\circ$, η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας εξαρτάται από την τροχιακή θέση του δορυφόρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 12, και την συχνότητα. Για μικρότερα εύρη η θερμοκρασία εξαρτάται από την συχνότητα και την περιοχή κάλυψης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 13 οι ήπειροι εκπέμπουν περισσότερο θόρυβο από τους ωκεανούς.

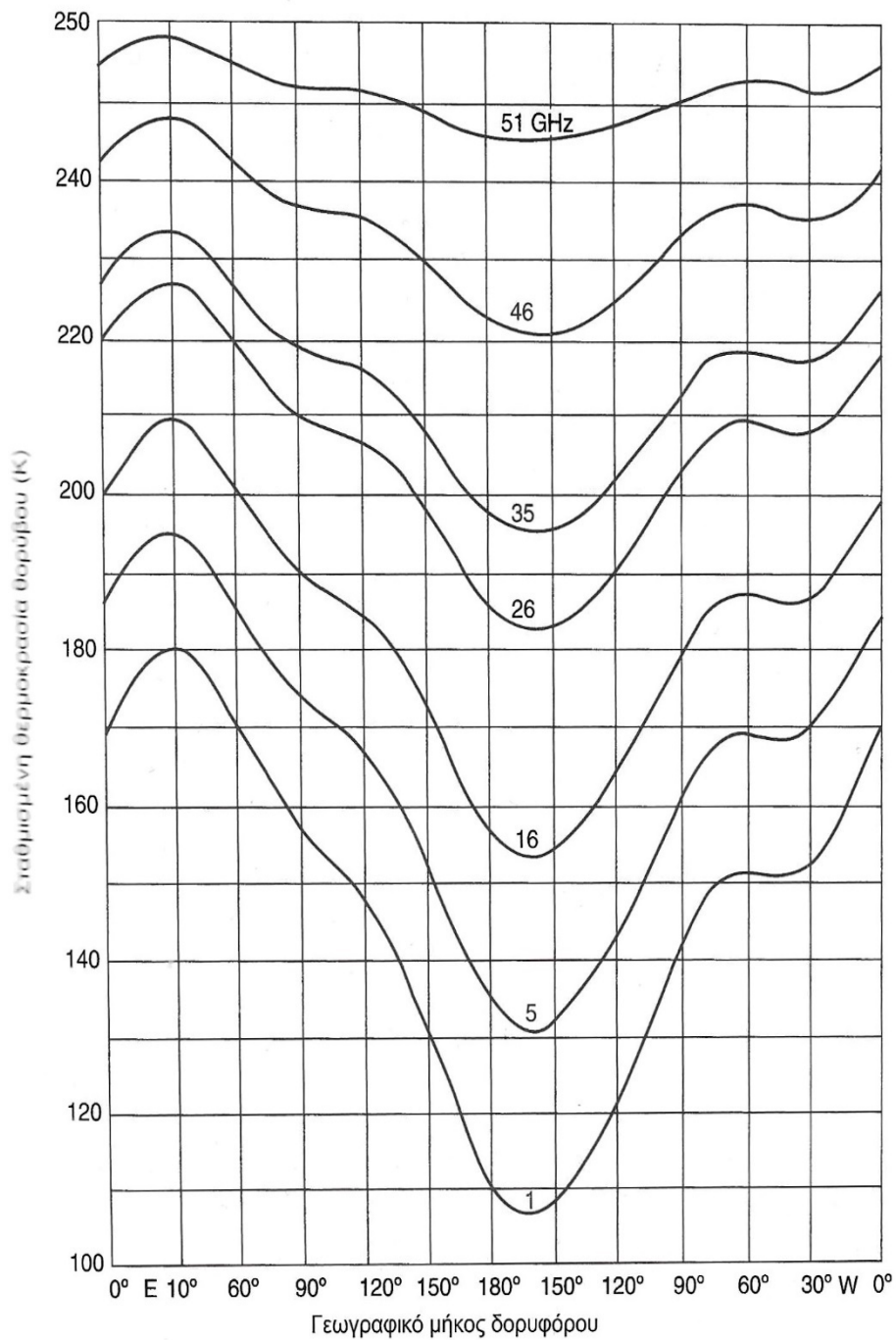


Figure 12 : Θερμοκρασία θορύβου δορυφορικής κεραίας για καθολική κάλυψη συνάρτηση της συχνότητας και της τροχιακής θέσης [1].

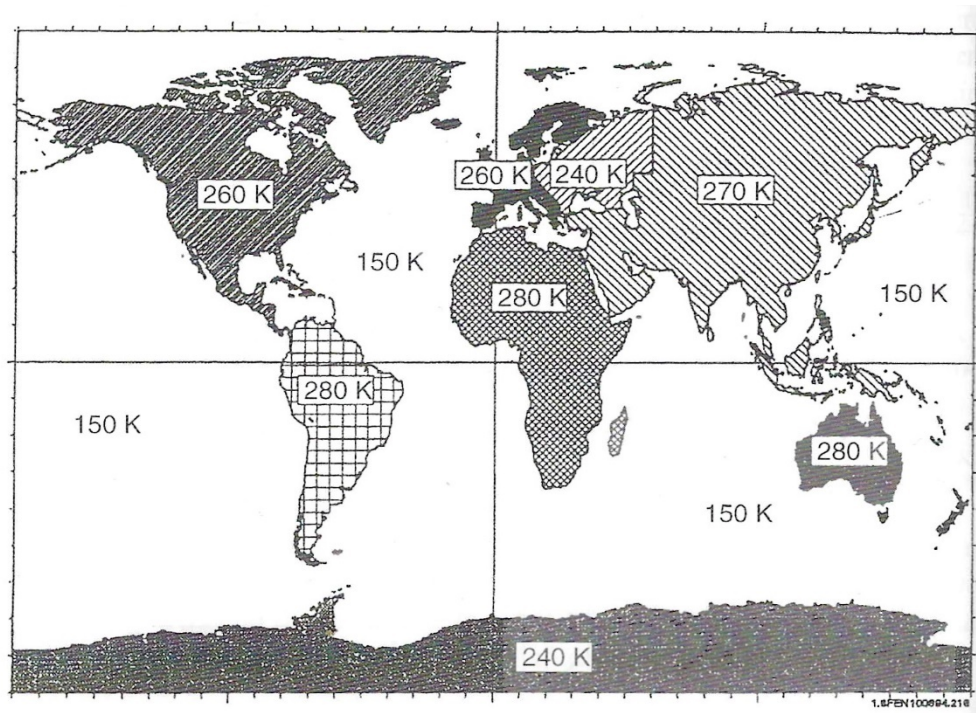


Figure 13 : Το μοντέλο ESA/EUTELSTAT για την θερμοκρασία λαμπρότητας της γης στην ζώνη Ku [1].

2.6.6.2 Θερμοκρασία θορύβου στην κεραία του επίγειου σταθμού

Στην κεραία ενός επίγειου σταθμού ο θόρυβος που συλλαμβάνεται από την κεραία ενός επίγειου σταθμού προέρχεται από τον ουρανό και από πηγές οι οποίες ακτινοβολούν στην επιφάνεια της γης όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

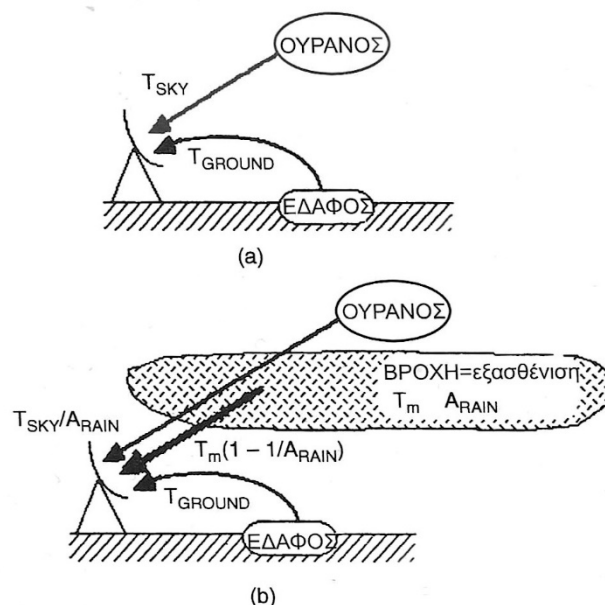


Figure 14 : Συνεισφορά στην θερμοκρασία θορύβου επίγειου σταθμού (α) σε συνθήκες αίθριου ουρανού και (b) συνθήκες βροχής [1].

2.6.6.2.1 Συνθήκες αίθριου ουρανού

Σε συχνότητες άνω των 2GHz, την μεγαλύτερη συνεισφορά θορύβου αποτελούν οι μη ιονισμένες περιοχές της ατμόσφαιρας που αποτελούν πηγές θορύβου. Στην περίπτωση που δεν εκδηλώνονται μετεωρολογικά φαινόμενα, τότε στη θερμοκρασία θορύβου της κεραίας συνεισφέρουν ο ουρανός και η επιφάνεια της γης που περιβάλλει στο σταθμό όπως φαίνεται παραπάνω στο σχήμα 14a.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η θερμοκρασία λαμπρότητας του αίθριου ουρανού ως συνάρτηση της συχνότητας και της γωνίας ανύψωσης. Η συνεισφορά του ουρανού στον θόρυβο διέπεται στην εξίσωση (2.28) όπου $T_b(\theta, \varphi)$ είναι η θερμοκρασία λαμπρότητας του ουρανού. Ωστόσο στην πράξη μόνο η περιοχή του ουρανού που βρίσκεται στον άξονα στόχευσης της κεραίας συνεισφέρει στο ολοκλήρωμα αφού μόνο στην συγκεκριμένη διεύθυνση το κέρδος έχει υψηλή τιμή. Επομένως, η συνεισφορά του αίθριου ουρανού στον θόρυβο, T_{SKY} , μπορεί να αφομοιωθεί από τη θερμοκρασία λαμπρότητας για την γωνία ανύψωσης της κεραίας.

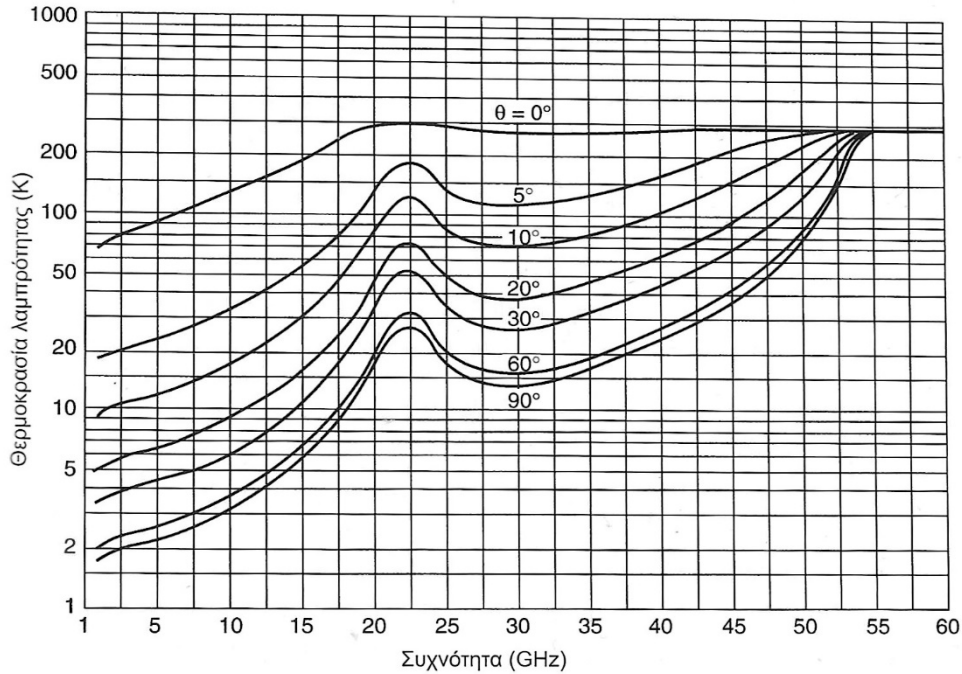


Figure 15 : Θερμοκρασία λαμπρότητας αίθριου ουρανού συναρτήσει της συχνότητας και της γωνίας ανύψωσης [1].

Όταν η γωνία ανύψωσης είναι μικρή η ακτινοβολία του εδάφους κοντά στον επίγειο σταθμό συλλαμβάνεται κυρίως από τους πλευρικούς λοβούς του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας και λιγότερο από τον κύριο λοβό. Η συνεισφορά κάθε λοβού υπολογίζεται από την εξίσωση $T_i = G_i \left(\frac{\Omega_i}{4\pi} \right) T_G$, όπου G_i είναι το μέσο κέρδος του λοβού στερεάς γωνίας Ω_i και T_G είναι η θερμοκρασία λαμπρότητας του εδάφους. Από το άθροισμα των συνεισφορών αυτών προκύπτει η τιμή T_{GROUND} . Έτσι η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$T_A = T_{SKY} + T_{GROUND} (K) \quad (2.29)$$

2.6.6.2 Συνθήκες βροχής

Κατά την διάρκεια μετεωρολογικών φαινομένων όπως η βροχή αυξάνεται η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας. Η βροχή συμπεριφέρεται σαν ένας εξασθενητής με εξασθένιση L_{rain} και μέση θερμοδυναμική θερμοκρασία T_m . Δηλαδή, η βροχή εξασθενεί τον θόρυβο που συνεισφέρει ο ουρανός, ενώ παράλληλα προσθέτει τον δικό της θόρυβο με θερμοκρασία θορύβου ίση με $T_m(1 - \frac{1}{A_{rain}})$. Έτσι η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας σε συνθήκες βροχής υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$T_A = \frac{T_{SKY}}{A_{rain}} + T_m \left(1 - \frac{1}{A_{rain}}\right) + T_{GROUND} \quad (K) \quad (2.30)$$

2.6.7 Θερμοκρασία θορύβου συστήματος

Στο σχήμα 16 απεικονίζεται ο εξοπλισμός λήψης που αποτελείται από μια κεραία η οποία συνδέεται με έναν δέκτη. Εισάγεται μία εξασθένιση L_{FRX} η οποία αντιστοιχεί σε ένα κέρδος $G_{FRX} = 1/L_{FRX}$ μικρότερο από την μονάδα. Η ενεργός θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο του δέκτη είναι T_{eRX} και μπορεί να μετρηθεί σε δύο σημεία. Στο σημείο T_1 , το οποίο είναι στην έξοδο της κεραίας πριν από τις απώλειες της γραμμής μεταφοράς, και στο σημείο T_2 στην είσοδο του δέκτη μετά τις απώλειες.

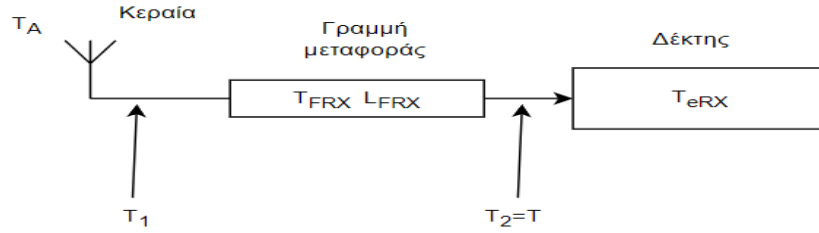


Figure 16 : Εξοπλισμός λήψης.

Έτσι θερμοκρασία του θορύβου σε αυτά τα δύο σημεία υπολογίζονται ως εξής:

1. $T_1 = T_A + (L_{FRX} - 1)T_F + \frac{T_{eRX}}{G_{FRX}}$
2. $T_2 = \frac{T_1}{L_{FRX}} - \frac{T_A}{L_{FRX}} + T_F \left(1 - \frac{1}{L_{FRX}}\right) + T_{eRX}$

Όπου T_A είναι η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας, T_{FRX} η θερμοκρασία θορύβου του εξασθενητή (καλώδιο), T_{eRX} η θερμοκρασία θορύβου του δέκτη, L_{FRX} οι απώλειες του καλωδίου και $G_{FRX} = 1/L_{FRX}$.

Παρατηρώντας τις προηγούμενες σχέσεις συμπεραίνουμε ότι όλες οι πηγές θορύβου της ζεύξης συνεισφέρουν στη θερμοκρασία θορύβου του συστήματος. Ο συνολικός θόρυβος συμπεριλαμβάνει τον θόρυβο ο οποίος συλλαμβάνεται από την κεραία, το θόρυβο που δημιουργείται στην γραμμή μεταφοράς αλλά και τον θόρυβο που δημιουργείται στον δέκτη από το καθοδικό ρεύμα.

Η Πυκνότητα φασματικής ισχύος του θορύβου που υπερτίθεται στην ισχύ του λαμβανόμενου φέροντος μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$N_0 = kT \quad (W/Hz) \quad (2.31)$$

Όπου k η σταθερά του Boltzmann , $k = 1.379 * 10^{-23} \text{ (J/K)} = -229.6 \text{ (dBJ/K)}$.

2.7 Απόδοση ζεύξης

Ο πιο συνηθισμένος λόγος για την εκτίμηση της απόδοσης μιας ζεύξης είναι C/N_0 . C είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος και N_0 η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου. Ωστόσο, η απόδοση μιας ζεύξης μπορεί να εκτιμηθεί και από άλλους δείκτες όπως είναι :

- Ο λόγος C/T ο οποίος περιγράφει την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος προς την θερμοκρασία θορύβου. Υπολογίζεται από την σχέση $C/T = C/N_0 k$, όπου k η σταθερά του Boltzmann και οι εκφράζεται σε W/K.
- Ο λόγος C/N ο οποίος περιγράφει την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος προς την ισχύ του θορύβου. Αυτός ο λόγος είναι αδιάστατος και για τον υπολογισμό του πρέπει να γνωρίζουμε το εύρος ζώνης του θορύβου στο δέκτη , B_N , η σχέση με την οποία γίνεται ο υπολογισμός είναι $C/N = (C/N_0)(1/B_N)$.

2.7.1 Ισχύς λαμβανόμενου σήματος προς την φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου στον δέκτη

Η ισχύς που λαμβάνεται στην είσοδο του δέκτη είναι η ισχύς του φέροντος, $C = P_{RX}$. Η πυκνότητα φασματικής ισχύος του θορύβου στο ίδιο σημείο είναι $N_0 = kT \text{ (W/Hz)}$. Επομένως :

$$\frac{C}{N_0} = \frac{\left(\frac{P_{TX} G_{Tmax}}{L_T L_{FTX}}\right) \left(\frac{1}{L_{FS} L_A}\right) \left(\frac{G_{Rmax}}{L_R L_{FRX} L_{POL}}\right)}{\left(\frac{T_A}{L_{FRX}} + T_F \left(1 - \frac{1}{L_{FRX}}\right) + T_{eRX}\right) k} \quad (2.32)$$

Η παραπάνω έκφραση μπορεί να αναλυθεί ως εξής:

$$\frac{C}{N_0} = (EIRP_{\text{πομπού}}) \left(\frac{1}{\text{απώλειες διαδρομής}}\right) \left(\frac{\text{σύνθετο κέρδος δέκτη}}{\text{θερμοκρασία θορύβου}}\right) \left(\frac{1}{k}\right) \text{ (Hz)} \quad (2.33)$$

Άρα είναι ξεκάθαρο ότι η εξίσωση για τον δείκτη C/N_0 περιέχει τρεις παράγοντες:

- Την ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ενεργό ισχύ (EIRP) η οποία χαρακτηρίζεται από τον εξοπλισμό μετάδοσης.
- Τον παράγοντα $1/L$, που χαρακτηρίζει το μέσο μετάδοσης.
- Τον λόγο του σύνθετου κέρδους του δέκτη προς τη θερμοκρασία θορύβου που χαρακτηρίζει τον εξοπλισμό λήψης, συνηθίζεται να καλείται και δείκτης ποιότητας του εξοπλισμού λήψης και συμβολίζεται G/T .

Έτσι μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι ο δείκτης του εξοπλισμού λήψης είναι συνάρτηση της ενεργού θερμοκρασίας θορύβου στην είσοδο του δέκτη (T_{eRX}) και της θερμοκρασίας θορύβου της κεραίας (T_A). Άρα συνοψίζοντας η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\frac{C}{N_0} = (EIRP) \left(\frac{1}{L} \right) \left(\frac{G}{T} \right) \left(\frac{1}{k} \right) \text{ (Hz)} \quad (2.34)$$

2.8 Ατμοσφαιρικές Απώλειες

Στις ζεύξεις, ανοδική και καθοδική, το φέρον περνά μέσα από την ατμόσφαιρα. Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν κυρίως μόνο δύο περιοχές που επηρεάζουν τον σήμα στην ατμόσφαιρα η τροπόσφαιρα και η ιονόσφαιρα. Η επίδραση της ατμόσφαιρας επισημάνθηκε μέσω του όρου L_A , καθώς συνδέθηκε και με την θερμοκρασία θορύβου της κεραίας. Συνήθως τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής επίδρασης είναι η απορρόφηση και η μεταβολή της πόλωσης των κυμάτων λόγω των καιρικών συνθηκών που εκδηλώνονται στην τροπόσφαιρα όπως είναι η βροχή και το χιόνι.

Όταν το φέρον διέρχεται μέσα από την ιονόσφαιρα υφίσταται διάφορα φαινόμενα εξασθένησης, όπως είναι η περιστροφή της πόλωσης, διάθλαση, σπινθηρισμός, διασπορά και καθυστέρηση διάδοσης του κύματος. Για τις δορυφορικές επικοινωνίες τα σημαντικότερα φαινόμενα είναι η περιστροφή της πόλωσης και του σπινθηρισμού.

2.8.1 Διάθλαση

Η διάθλαση αναφέρεται στο φαινόμενο όπου τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που μεταδίδονται μέσω της ατμόσφαιρας της Γης, αλλάζουν κατεύθυνση. Όταν ένας δορυφόρος εκπέμπει ένα σήμα προς έναν επίγειο δέκτη, το κύμα που μεταφέρει τα δεδομένα διαθλάται καθώς περνά από διαφορετικά στρώματα της ατμόσφαιρας. Αυτή η διάθλαση συμβαίνει κυρίως στην τροπόσφαιρα, που εκτείνεται μέχρι τα 15 χιλιόμετρα υψόμετρο, λόγω της θέρμανσης της Γης από τον Ήλιο. Η ενεργότητα στην τροπόσφαιρα λόγω αναμίξεων αερίων οδηγεί σε διάφορους δείκτες διάθλασης που επηρεάζουν την κατεύθυνση των κυμάτων. Αυτή η αλλαγή κατεύθυνσης προκαλεί διακυμάνσεις στην ισχύ του σήματος που λαμβάνεται στον δέκτη, λόγω της μεταβολής της θέσης του δορυφόρου. Τέλος, η συνεχής μεταβολή στα χαρακτηριστικά της διάθλασης, λόγω των αλλαγών στην ατμόσφαιρα, οδηγεί σε διακοπές στις δορυφορικές επικοινωνίες, καθώς τα σήματα φτάνουν στον δέκτη με διαφορετική φάση λόγω της λήψης μέσω πολλαπλών διαδρομών.

2.8.2 Σπινθηρισμός

Ο όρος σπινθηρισμός χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις γρήγορες αλλαγές στις παραμέτρους ενός ραδιοκύματος που οφείλονται σε ανωμαλίες στη διαδρομή διάδοσής τους με την πάροδο του χρόνου. Αυτές οι παράμετροι μπορεί να περιλαμβάνουν το πλάτος, τη φάση, την πόλωση και τη γωνία άφιξης του κύματος. Ο σπινθηρισμός μπορεί να παρατηρηθεί κυρίως στην ιονόσφαιρα και την τροπόσφαιρα. Στην ιονόσφαιρα, οι ανωμαλίες στην πυκνότητα ηλεκτρονίων επηρεάζουν συχνότητες έως 6GHz, ενώ στην τροπόσφαιρα, οι ανωμαλίες του δείκτη διάθλασης επηρεάζουν συχνότητες άνω των 3GHz.

Ο σπινθηρισμός στην τροπόσφαιρα οφείλεται στις διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης στα πρώτα χιλιόμετρα της τροπόσφαιρας, λόγω των στρωμάτων αναστροφής της θερμοκρασίας και της υψηλής υγρασίας. Αυτές οι χαρακτηριστικές διακυμάνσεις ποικίλουν ανάλογα με την εποχή του έτους και την περιοχή της Γης. Ο δείκτης διάθλασης ενός ραδιοκύματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και το περιεχόμενο των υδρατμών.

Στην ιονόσφαιρα, ο σπινθηρισμός προκαλείται από την ασυνήθιστη κατανομή της συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων στον χώρο. Αυτή η κατανομή αλλάζει δραματικά κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνει σημαντικά τη συγκέντρωση των ηλεκτρονίων κατά δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τις νυκτερινές ώρες. Εξαιτίας της συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων προκαλούνται γρήγορες αλλαγές στα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, με αποτέλεσμα το μεταδιδόμενο σήμα φτάνει στο δέκτη μέσω δύο διαφορετικών διαδρομών, μία απευθείας και μία μέσω διάθλασης έτσι έχουμε πολυδιαδρομική διάδοση η οποία μπορεί ανάλογα με τη φάση των σημάτων που λαμβάνονται από το δέκτη να επιφέρει ενίσχυση ή ακύρωση του σήματος.

2.8.3 Περιστροφή Faraday

Η στροφή πόλωσης, γνωστή και ως περιστροφή Faraday, αναφέρεται στη μεταβολή της πόλωσης ενός ραδιοκύματος λόγω της αλληλεπίδρασής του με τα ηλεκτρόνια στην ιονόσφαιρα. Αυτό το φαινόμενο, το οποίο ευθύνεται για τη στροφή πόλωσης, επηρεάζει κυρίως δορυφορικά συστήματα με γραμμική πόλωση. Η στροφή πόλωσης μεταβάλλει το επίπεδο της πόλωσης καθώς τα δύο περιστρεφόμενα τμήματα του κύματος διανύουν την ιονόσφαιρα με διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης. Η γωνία στροφής θ μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta = \frac{2B_{av}N_T}{f} \quad (2.35)$$

Όπου:

- θ : η γωνία στροφής πόλωσης λόγω της επίδρασης Faraday.
- B_{av} : η μέση τιμή του γήινου μαγνητικού πεδίου σε Wb/m^2 .
- f : η συχνότητα του ραδιοκύματος.
- N_T : η συνολική συγκέντρωση ηλεκτρονίων σε el/m^2 .

Καθώς η στροφή πόλωσης εξαρτάται από τη συγκέντρωση ηλεκτρονίων και τη μέση τιμή του μαγνητικού πεδίου, μπορεί να προβλεφθεί η συμπεριφορά της, η οποία επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Επομένως, με κατάλληλη προσαρμογή των επίγειων κεραιών, μπορεί να εξομαλυνθεί η επίδραση της περιστροφής Faraday. Ωστόσο, σε περιόδους μαγνητικών καταιγίδων και μεγάλων ιονοσφαιρικών απωλειών, καθίσταται δύσκολη η αντιμετώπιση της επίδρασης περιστροφής Faraday. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα δορυφορικά συστήματα που χρησιμοποιούν κυκλική πόλωση δεν επηρεάζονται από την επίδραση Faraday, διότι τροποποιεί μόνο την γραμμική πόλωση των κυμάτων.

2.8.4 Εξασθένηση βροχής

Ο πιο σημαντικός παράγοντας εξασθένησης του σήματος είναι η βροχή. Οι απώλειες εξαιτίας της βροχής υφίστανται σε συχνότητες άνω των 3GHz και ιδιαίτερα πάνω από 10GHz. Τα σταγονίδια της βροχής απορροφούν την ενέργεια του σήματος και επιπλέον εξαιτίας του μη σφαιρικού σχήματος των σταγονιδίων της βροχής προκαλείτε αλλαγή πόλωσης του σήματος. Επομένως, η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα των δορυφορικών ζεύξεων στις συγκεκριμένες συχνότητες μπορούν να μειωθούν σημαντικά. Αυτός είναι ο λόγος που στις δορυφορικές

επικοινωνίες υπολογίζονται περιθώρια απωλειών της βροχής, τα οποία βασίζονται στο ρυθμό βροχόπτωσης.

Η ένταση των ατμοσφαιρικών φαινομένων μετριούνται από τον ρυθμό βροχόπτωσης R ο οποίος εκφράζεται σε mm/h . Τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα στατιστικά περιγράφονται από την αθροιστική κατανομή πιθανότητας η οποία εκφράζει το ετήσιο ποσοστό $p(\%)$ χρόνου για τον οποίο ο ρυθμός βροχόπτωσης, $R_p (mm/h)$, υπερβαίνει ένα δεδομένο όριο. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τα δεδομένα για την εκδήλωση ατμοσφαιρικών φαινομένων στην περιοχή του επίγειου σταθμού τότε μπορούν να χρησιμοποιηθεί η οδηγία ITU-R P.837-7.

2.8.4.1 Υπολογισμός εξασθένησης λόγω βροχής

Ο υπολογισμός εξασθένησης λόγω βροχής υπολογίζονται με βάση την οδηγία της ITU (ITU-R P.618).

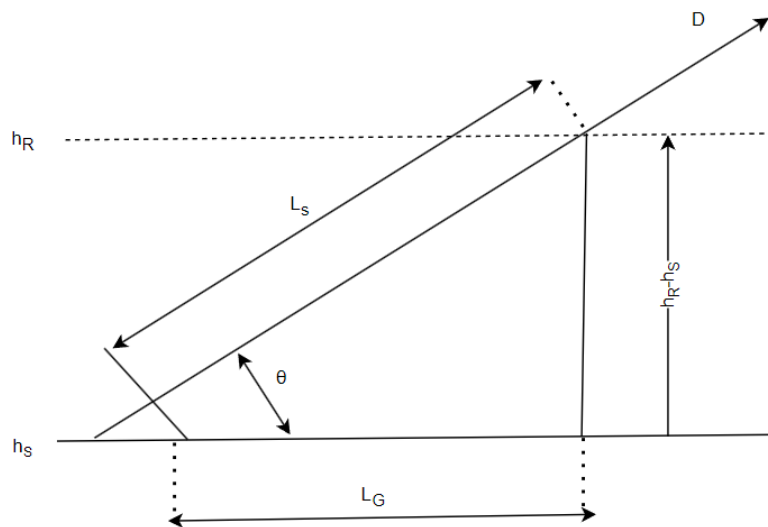


Figure 17 : Η γεωμετρία μίας δορυφορικής ζεύξης.

Η διαδικασία απαιτεί την γνώση των παρακάτω παραμέτρων, τους οποίους δέχεται ως είσοδο η διαδικασία, για τον υπολογισμό της εξασθένησης λόγω της βροχής:

- $R_{0.01}$: Ο ρυθμός βροχόπτωσης που υπερβαίνει κατά 0,01% του συνολικού χρόνου ενός τυπικού έτους για την γεωγραφική θέση στην οποία βρίσκεται ο επίγειος σταθμός. (mm/h)
- h_s : Ύψος του επίγειου σταθμού πάνω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. (km)
- θ : Η γωνία ανύψωσης. (μοίρες)
- φ : Το γεωγραφικό πλάτος του επίγειου σταθμού. (μοίρες)
- f : Η συχνότητα. (GHz)
- R_e : Ενεργός ακτίνας της γης. (8 500 km)

Εάν δεν είναι διαθέσιμα τοπικά δεδομένα για το ύψος του σταθμού επί της γης πάνω από το μέσο υψόμετρο της θάλασσας, μπορεί να ληφθεί μια εκτίμηση από τους χάρτες υψομετρικού ύψους που παρέχονται στην οδηγία ITU-R P.1511.

Για τον προσδιορισμό της εξασθένησης λόγω της βροχής ακολουθούν τα εξής βήματα :

1. Υπολογισμός του ενεργού ύψους βροχής h_R όπως ορίζεται στην οδηγία ITU-R Rec. P.839-3:

$$h_R(km) = h_0 + 0.36 (km)$$

Όπου h_0 είναι το μέσο ισοθερμικό υψόμετρο.

2. Υπολογισμός του μήκους επικλινούς διαδρομής, L_S , κάτω από το ύψος βροχής :

$$L_S = \frac{h_R - h_s}{\sin \theta}, \text{ για γωνία ανύψωσης } \theta > 5^\circ$$

$$L_S = \frac{2(h_R - h_s)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{1/2} + \sin \theta} (km), \text{ για γωνία ανύψωσης } \theta < 5^\circ$$

Στην περίπτωση που $h_R - h_s \leq 0$, τότε η εξασθένηση της βροχής είναι μηδέν και δεν χρειάζεται να υλοποιήσουμε τα παρακάτω βήματα.

3. Υπολογισμός της οριζόντιας προβολής, L_G , μήκους επικλινούς διαδρομής :

$$L_G = L_S \cos \theta (km)$$

4. Υπολογισμός του ρυθμού βροχόπτωσης, $R_{0.01}$, που υπερβαίνει το 0.01% ενός τυπικού έτους. Σύμφωνα με την οδηγία ITU-R P.837-7 σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμο από τον επίγειο σταθμό. Αν ο ρυθμός βροχόπτωσης είναι μηδέν τότε η εξασθένηση της βροχής είναι μηδέν και τα παρακάτω βήματα δεν υλοποιούνται.

Συγκεκριμένα η μέθοδος που υλοποιείται και στην ανάπτυξη του εργαλείου είναι αυτή που περιγράφεται στην παράγραφο ANNEX 2 της οδηγίας που προαναφέρθηκε. Χρειαζόμαστε τρία συγκεκριμένα αρχεία:

- LAT_R001.TXT
- LON_R001.TXT
- R001.TXT

Με την μέθοδο Bilinear Interpolation μεταξύ αυτών των αρχείων μπορούμε για κάθε συνδυασμό γεωγραφικών συντεταγμένων να λάβουμε τον ρυθμό βροχόπτωσης που υπερβαίνει το 0.01% ενός τυπικού έτους, $R_{0.01}$. Η μέθοδος Bilinear Interpolation μπορεί υλοποιείται με βάση την παρακάτω οδηγία. Η παρακάτω εικόνα βοηθάει στην κατανόηση της μεθόδου.

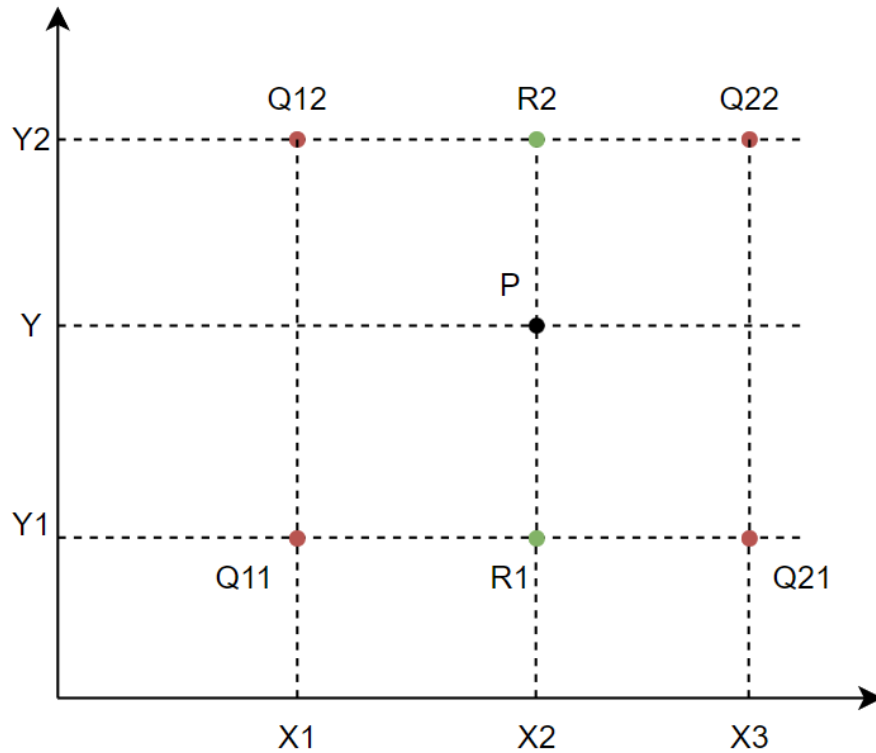


Figure 18: Bilinear interpolation.

Στην ουσία πρέπει να βρεθούν τα τέσσερα πιο κοντινά σημεία (Q11, Q12, Q21 και Q22) στο σημείο το οποίο εμείς ψάχνουμε να βρούμε (P). Στην πραγματικότητα η μέθοδος Bilinear Interpolation είναι η υλοποίηση Linear Interpolation δύο φορές στον άξονα x και μία στον άξονα y (ή δύο φορές στον άξονα y και μία στον άξονα x). Το σημείο R1 είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων Q11 και Q21 και υπολογίζεται ως εξής:

$$R_1(x, y) = \frac{Q_{11}(X_2 - X)}{X_2 - X_1} + \frac{Q_{21}(X - X_1)}{X_2 - X_1}$$

Αντίστοιχα ισχύει το ίδιο και με το σημείο R2 που είναι οι απόσταση μεταξύ των Q12, Q22:

$$R_2(x, y) = \frac{Q_{12}(X_2 - X)}{X_2 - X_1} + \frac{Q_{22}(X - X_1)}{X_2 - X_1}$$

Επομένως, μένει να κάνουμε την αντίστοιχη μέθοδο και στον άξονα y και το αποτέλεσμα που ψάχνουμε είναι ίσο με:

$$P(x, y) = \frac{R_1(Y_2 - Y)}{Y_2 - Y_1} + \frac{R_2(Y - Y_1)}{Y_2 - Y_1}$$

5. Υπολογισμός της ειδική εξασθένησης, γ_R , χρησιμοποιώντας τους συντελεστές που εξαρτώνται από τη συχνότητα που δίνονται στην οδηγία ITU-R P.838 και το ρυθμό βροχόπτωσης, $R_{0.01}$, που υπολογίστηκε στο Βήμα 4, ως εξής :

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^a \text{ (dB/km)}$$

6. Υπολογισμός του παράγοντα οριζόντιας εξασθένησης, $r_{0.01}$:

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} - 0.38(1 - e^{-2L_G})}$$

7. Υπολογισμός του παράγοντα κατακόρυφης προσαρμογής, $v_{0.01}$:

$$\zeta = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_s}{L_G r_{0.01}} \right)$$

Για $\zeta > \theta$,

$$L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \theta}$$

Αλλιώς,

$$L_R = \frac{h_R - h_s}{\sin \theta}$$

Αν $|\varphi| < 36^\circ$,

$$\chi = 36 - |\varphi|$$

Αλλιώς,

$$\chi = 0$$

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

8. Το ενεργό μήκος διαδρομής :

$$L_E = L_R v_{0.01} \text{ (km)}$$

9. Η τιμή της εξασθένησης που προβλέπεται να ξεπεραστεί για διάστημα ίσο προς 0.01% ενός έτους :

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E \text{ (dB)}$$

10. Οι τιμές της εξασθένησης που εκτιμάται ότι θα ξεπεραστούν για χρονικά διαστήματα από 0.001% έως 5% ενός τυπικού έτους καθορίζονται από την τιμή της εξασθένησης που υπερβαίνεται για διάστημα ίσο προς το 0.01% ενός τυπικού έτους :

Αν $p \geq 1\%$ ή $|\varphi| \geq 36^\circ$:

$$\beta = 0$$

Αν $p < 1\%$ ή $|\varphi| < 36^\circ$:

$$\beta = -0.005(|\varphi| - 36)$$

Αλλιώς,

$$\beta = -0.005(|\varphi| - 36) + 1.8 - 4.25 \sin \theta$$

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{(0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln(A_{0.01}) - \beta(1-p) \sin \theta)}$$

Η συγκεκριμένη διαδικασία έχει υλοποιηθεί και στην ανάπτυξη του εργαλείου που παρουσιάζεται στο 3^ο κεφάλαιο.

2.8.4.2 Αντιστάθμιση της εξασθένησης

Η διαδικασία της αντιστάθμισης θέτει μία απαιτούμενη τιμή για την οποία ο λόγος C/N_0 πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από αυτή την τιμή κατά την διάρκεια ενός δεδομένου ποσοστού του χρόνου. Δηλαδή για το 99.99% του χρόνου το p είναι ίσο με 0.01%. Με αποτέλεσμα η εξασθένηση λόγω της βροχής, A_{rain} , προκαλεί την μείωση του λόγου C/N_0 στις δύο ζεύξεις (ανοδική και καθοδική):

Για την ανοδική ζεύξη :

$$\left(\frac{C}{N_0} \right)_{rain} = \left(\frac{C}{N_0} \right)_{clear\ sky} - A_{rain}(dB) \quad (dBHz) \quad (2.36)$$

Για την καθοδική ζεύξη:

$$\left(\frac{C}{N_0} \right)_{rain} = \left(\frac{C}{N_0} \right)_{clear\ sky} - A_{rain}(dB) - \Delta \left(\frac{G}{T} \right) \quad (dBHz) \quad (2.37)$$

Ο παράγοντας $\Delta(G/T)$ είναι η μείωση του δείκτη ποιότητας του επίγειου σταθμού εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας θορύβου που εισάγεται με την παρουσία της βροχής. Ισχύει :

$$\Delta \left(\frac{G}{T} \right) = \left(\frac{C}{N_0} \right)_{clear\ sky} - \Delta \left(\frac{G}{T} \right)_{rain} \quad (2.38)$$

Επομένως, για επιτυχημένη αντιστάθμιση πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{rain} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{required} \quad (2.39)$$

Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη ένα περιθώριο $M(p)$ στον προϋπολογισμό της ζεύξης για της συνθήκες αίθριου ουρανού. Ο ορισμός αυτού του περιθωρίου μπορεί να εκφραστεί με την παρακάτω ακολουθία :

$$M(p) = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{clear\ sky} - \left(\frac{C}{N_0}\right)_{required} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{clear\ sky} - \left(\frac{C}{N_0}\right)_{rain} \quad (dB) \quad (2.40)$$

Αυτό το περιθώριο προϋποθέτει την αύξηση της εκπεμπόμενης ισχύος. Στην περίπτωση που αυτή η λύση καθίσταται αδύνατη, τότε μία εναλλακτική είναι η χρησιμοποίηση ενός επίγειου σταθμού σε άλλη περιοχή ή άλλη εναλλακτική είναι η μεταβολή των χαρακτηριστικών της ζεύξης για το χρονικό διάστημα που διαρκούν τα φαινόμενα τα οποία υποβαθμίζουν την ζεύξη.

2.9 Συνολικός σηματοθορυβικός λόγος

Μέχρι στιγμής έχει παρουσιαστεί η απόδοση μιας ζεύξης με βάση τον λόγο C/N_0 . Τώρα θα εξεταστεί η απόδοση μίας ολοκληρωμένης ζεύξης, δηλαδή η ζεύξη θα περιέχει μία ανοδική και μία καθοδική ζεύξη. Επίσης μέχρι στιγμής ο θόρυβος θεωρήθηκε μόνο ως θερμικός, στην πραγματικότητα όμως πρέπει να ληφθεί υπόψη τόσο ο θόρυβος παρεμβολής όσο και ο θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης. Ο θόρυβος παρεμβολής δημιουργείται από φέροντα που βρίσκονται στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, ενώ ο θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης από την λειτουργία πολλαπλών φερόντων στους μη γραμμικούς ενισχυτές. Αυτό σημαίνει ότι μέχρι στιγμής θεωρούσαμε ότι ο ενισχυτής λειτουργεί στην περιοχή του κόρου.

2.9.1 Αναδίπλωση ισχύος εισόδου-εξόδου

Στην πραγματικότητα, ο ενισχυτής ισχύος του δορυφορικού καναλιού δεν θέλουμε να λειτουργεί πάντα στην περιοχή του κόρου. Ο λόγος είναι ότι στην περιοχή λειτουργίας του κόρου μπορεί να προκαλέσει την παραγωγή προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης που οδηγεί σε παρεμβολές στους γειτονικούς αναμεταδότες του δορυφόρου. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη για προσδιορισμό του σημείου λειτουργίας του ενισχυτή από την ισχύ εισόδου (P_i) και την ισχύ εξόδου (P_o), σε σχέση με την ισχύ εισόδου στην περιοχή λειτουργίας του κορεσμού (P_i)_{sat} και την ισχύ εξόδου στην περιοχή λειτουργίας του κορεσμού (P_o)_{sat}. Με αυτό τον τρόπο ορίζετε η αναδίπλωση ισχύος εισόδου (input back-off, IBO) και η αναδίπλωση ισχύος εξόδου (output back-off, OBO):

$$IBO = \frac{P_i}{P_{i,sat}} \quad (2.41)$$

και

$$OBO = \frac{P_{on}}{P_{o,sat}} \quad (2.42)$$

Το κέρδος του αναμεταδότη του δορυφόρου στην περιοχή λειτουργίας στον κόρο είναι η ισχύς εξόδου προς την ισχύ εισόδου :

$$G_{sat} = \frac{P_{o,sat}}{P_{i,sat}} \quad (2.43)$$

Αντίστοιχα για οποιοδήποτε άλλο σημείο λειτουργίας ισχύει :

$$G = \frac{P_o}{P_i} = \frac{OBO P_{o,sat}}{IBO P_{i,sat}} = \frac{OBO}{IBO} G_{sat} \quad (2.44)$$

2.9.2 Περιγραφή του $(C/N_0)_T$ στην περίπτωση χωρίς παρεμβολή

Η ισχύς του φέροντος που λαμβάνει στην είσοδό του ο δέκτης του επίγειου σταθμού είναι C_D . Ο θόρυβος στην είσοδό του είναι το άθροισμα του συστήματος της καθοδικής ζεύξης που καθορίζεται από τον λόγο $(C/N_0)_D$ και είναι ίσο με $(N_0)_D = kT_D$ και από τον θόρυβο της ανοδικής ζεύξης που επανεκπέμπεται από τον δορυφόρο. Συνεπώς ο συνολικός θόρυβος είναι :

$$(N_0)_T = (N_0)_D + G(N_0)_U \quad (W/Hz) \quad (2.45)$$

Όπου G είναι το συνολικό κέρδος της ισχύος μεταξύ της εισόδου στο δέκτη του δορυφόρου και της εισόδου στο δέκτη του επίγειου σταθμού.

Επομένως, ισχύει :

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)^{-1} = \frac{(N_0)_T}{C_D} = \frac{(N_0)_D + G(N_0)_U}{C_D} = \frac{(N_0)_D}{C_D} + \frac{(N_0)_U}{C_D G^{-1}} \quad (2.46)$$

Ο παράγοντας $C_D G^{-1}$ είναι η ισχύς του σήματος στην είσοδο του δέκτη στο δορυφόρο. Έτσι,

$$\frac{(N_0)_U}{G^{-1}C_D} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} \quad (2.47)$$

Τελικά συμπεραίνουμε ότι :

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_D^{-1} \quad (2.48)$$

Παρατηρώντας την παραπάνω εξίσωση συμπεραίνουμε ότι ο συνολικός σηματοθορυβικός λόγος δεν είναι δυνατό να υπερβεί κανέναν από τους σηματοθορυβικούς λόγους της άνω και της κάτω ζεύξης. Από την παραπάνω έκφραση προκύπτουν τα εξής :

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_U = \frac{P_i}{(N_0)_U} = \frac{IBO(P_i)_{sat}}{(N_0)_U} = \frac{IBO(P_o)_{sat}}{G_{sat}(N_0)_U} = IBO \left(\frac{C}{N_0}\right)_{Usat} \quad (Hz) \quad (2.49)$$

και

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_D = OBO(EIRP_{sat})_{SL} \left(\frac{1}{L_D}\right) \left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{1}{k}\right) = OBO \left(\frac{C}{N_0}\right)_{Dsat} \quad (HZ) \quad (2.50)$$

Οι όροι $(C/N_0)_{U_{sat}}$ και $(C/N_0)_{D_{sat}}$ αναπαριστούν τους σηματοθορυβικούς λόγους για την ανοδική και την καθοδική ζεύξη αντίστοιχα όταν το δορυφορικό κανάλι λειτουργεί στον κόρο. Επίσης ο όρος L_D αντιπροσωπεύει την εξασθένηση της καθοδικής ζεύξης. Ο όρος $(G/T)_{ES}$ είναι ο δείκτης ποιότητας του επίγειου σταθμού στην κατεύθυνση του δορυφόρου. Τέλος ο όρος $(EIRP_{sat})_{SL}$ είναι η ιστροπικά ακτινοβολούμενη ενεργό ισχύς κόρου του δορυφόρου που είναι ίση με :

$$(EIRP_{sat})_{SL} = \frac{EIRP_{sat,max}}{L_T} = \frac{(P_o)_{sat} G_{Tmax}}{L_{FTX} L_T} = \frac{(P_o)_{sat}}{L_{FTX}} G_T \quad (2.51)$$

2.9.3 Περιθώριο ασφάλειας

Αυτό το οποίο πρέπει να προσέξουμε είναι η αλλαγή που προσμετράτε στο περιθώριο ασφάλειας. Πιο συγκεκριμένα αυτό το οποίο αλλάζει είναι ο σηματοθορυβικός λόγος στην κάτω ζεύξη, διότι εκτός από την επιρροή της βροχής αλλά και από την μικρότερη ισχύ εισόδου και εξόδου. Άρα σύμφωνα με τα παραπάνω έχουμε.

- Για την ανοδική ζεύξη όλα μένουν ως έχουν:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{rain,UL} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{clear\ sky,UL} - L_{rain} \text{ (dBHz)} \quad (2.52)$$

- Για την καθοδική όμως αλλάζει :

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{rain,DL} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{clear\ sky,DL} - \Delta(OBO) - L_{rain} - \Delta\left(\frac{G}{T}\right) \text{ (dBHz)} \quad (2.53)$$

2.9.4 Περιγραφή του $(C/N_0)_T$ στην περίπτωση με παρεμβολή

Η παρεμβολή είναι η συνεισφορά ανεπιθύμητης ισχύος από άλλα φέροντα τα οποία βρίσκονται στην ίδια ζώνη συχνοτήτων με το επιθυμητό φέρον. Μία ζεύξη υφίσταται τα αποτελέσματα της παρεμβολής από άλλες δορυφορικές ζεύξεις ή επίγεια συστήματα που λειτουργούν στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων. Οι τύποι παρεμβολής μεταξύ των συστημάτων ξεχωρίζονται σε τέσσερις :

- Δορυφόρος προκαλεί παρεμβολές σε γήινους επίγειους σταθμούς.
- Επίγειος σταθμός προκαλεί παρεμβολές σε ένα δορυφόρο.
- Ένας επίγειος δορυφορικός σταθμός προκαλεί παρεμβολές σε επίγειους σταθμούς.
- Ένας επίγειος σταθμός προκαλεί παρεμβολές σε επίγειους δορυφορικούς σταθμούς.

Τα φέροντα τα οποία εκπέμπονται από άλλα συστήματα υπερτίθενται στο επιθυμητό φέρον που μεταδίδεται από σταθμό σε σταθμό , σε δύο σημεία :

- Στην ανοδική ζεύξη, στην είσοδο του δορυφορικού αναμεταδότη.
- Στην καθοδική ζεύξη, στην είσοδο του δέκτη στον επίγειο σταθμό.

Το αποτέλεσμα της παρεμβολής είναι παρόμοιο με την αύξηση της θερμοκρασία θορύβου στην ζεύξη. Έτσι μπορούμε να οδηγηθούμε στην παρακάτω εξίσωση :

$$N_0 = (N_0)_{\text{χωρίς παρεμβολή}} + (N_0)_I \quad (W/Hz) \quad (2.54)$$

Όπου το $(N_0)_I$ είναι η αύξηση της φασματικής πυκνότητας ισχύος εξαιτίας της παρεμβολής. Άρα για την ανοδική και την καθοδική ζεύξη ισχύουν τα παρακάτω.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} = \left(\left(\frac{C}{N_0}\right)_U\right)_{\text{χωρίς παρεμβολή}}^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_{I,U}^{-1} \quad (Hz^{-1}) \quad (2.55)$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_D^{-1} = \left(\left(\frac{C}{N_0}\right)_D\right)_{\text{χωρίς παρεμβολή}}^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_{I,D}^{-1} \quad (Hz^{-1}) \quad (2.56)$$

Επομένως η συνολική έκφραση διατυπώνεται ως εξής:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_D^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_I^{-1} \quad (Hz^{-1}) \quad (2.57)$$

Όπου ισχύει ότι :

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_I^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{I,U}^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_{I,D}^{-1} \quad (Hz^{-1}) \quad (2.58)$$

2.9.5 Περιγραφή του $(C/N_0)_T$ στην περίπτωση με παρεμβολή και ενδοδιαμόρφωσης

Όταν ένας μη γραμμικός ενισχυτής ενισχύει πολλά φέροντα, η έξοδο εμπεριέχει εκτός από τα ενισχυμένα φέροντα αλλά και προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης. Μερικά από αυτά τα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης λαμβάνουν χώρα στο φάσμα του επιθυμητού σήματος και συμπεριφέρονται ως θόρυβος με πυκνότητα ισχύος $(C/N_0)_{IM}$.

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως ο θόρυβος της ενδοδιαμόρφωσης προστίθεται σε άλλες πηγές θορύβου. Έτσι ο λόγος $(C/N_0)_T^{-1}$ παίρνει την παρακάτω μορφή :

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_D^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_I^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_{IM}^{-1} \quad (Hz^{-1}) \quad (2.59)$$

με

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{IM}^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{IM,U}^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_{IM,D}^{-1} \quad (2.60)$$

Όπου οι λόγοι $(C/N_0)_{IM,U}^{-1}$ και $(C/N_0)_{IM,D}^{-1}$ περιγράφουν την δημιουργία θορύβου ενδοδιαμόρφωσης στον επίγειο σταθμό εκπομπής και στο κανάλι του δορυφορικού αναμεταδότη αντίστοιχα.

3

Παρουσίαση του εργαλείου

3.1 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε για την ανάπτυξη του εργαλείου λαμβάνει υπόψη την το σύνολο των πτυχών που αφορούν την ανάπτυξη ενός εργαλείου λογισμικού. Δηλαδή καλύπτονται όλες οι διαδικασίες και οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη λογισμικού, όπως η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού, η σχεδίαση της διεπαφής χρήστη, η διαχείριση του κώδικα και η ανάπτυξη των λειτουργιών της εφαρμογής. Με άλλα λόγια, η προσέγγιση είναι ολοκληρωμένη και λαμβάνει υπόψη της το σύνολο των παραγόντων που συμβάλλουν στην επιτυχή ανάπτυξη και λειτουργία του λογισμικού.

Έτσι επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού java, συγκεκριμένα η έκδοση java21 η οποία παρέχει ένα σταθερό και ευέλικτο πλαίσιο ανάπτυξης λογισμικού, το οποίο είναι ευρέως αποδεκτό και υποστηρίζεται από μια μεγάλη κοινότητα προγραμματιστών. Η java υποστηρίζεται σε όλα τα κύρια λειτουργικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των Windows, MacOS και Linux τα οποία είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα, πράγμα που καθιστά τις εφαρμογές πλήρως φορητές και προσβάσιμες σε ευρύ φάσμα χρηστών. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στο εργαλείο με οπουδήποτε λειτουργικό σύστημα χρησιμοποιούν, χωρίς την ανάγκη για αλλαγές στον κώδικα. Επιπλέον η χρησιμοποίηση της τεχνολογίας JavaFX σκοπεύει στην ανάπτυξη εντυπωσιακών και λειτουργικών διεπαφών χρήστη η οποίες μπορούν να ανταποκριθούν στις σύγχρονες απαιτήσεις. Επίσης η τεχνολογία της JavaFX προσφέρει την δυνατότητα χρήση CSS (Cascading Style Sheet) η οποία είναι μία γλώσσα προγραμματισμού η οποία χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την μορφοποίηση του περιβάλλοντος της εφαρμογής. Επίσης, επιλέχθηκε το IntelliJ IDEA ως ένα από τα κορυφαία IDE το οποίο παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα που διευκολύνει την συγγραφή, τη διαχείριση και τη συντήρηση του κώδικα. Με αυτό τον τρόπο, η επιλογή και η οργάνωση αυτών των τεχνολογιών σε συνδυασμό με μια δομημένη μεθοδολογία ανάπτυξης εγγυάται την επιτυχή υλοποίηση του εργαλείου, προσφέροντας προϊόντα λογισμικού υψηλής ποιότητας και φιλικά προς τον χρήστη περιβάλλον. Στην αμέσως επόμενη ενότητα δίνεται μία πιο αναλυτική περιγραφή των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, ο κώδικας ακολουθεί την μέθοδο Μοντέλο-Προβολή-Ελέγχου (Model-Views-Controller, MVC). Το MVC είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς τρόπους οργάνωσης του κώδικα. Η στην ουσία το MVC στηρίζεται στην ιδέα ότι το κάθε τμήμα του κώδικα έχει έναν σκοπό. Δηλαδή, κάποιο τμήμα του κώδικα είναι υπεύθυνο για να αποθηκεύει τα δεδομένα της εφαρμογής, κάποιο άλλο τμήμα είναι υπεύθυνο για τον τρόπο που παρουσιάζεται η εφαρμογή στους χρήστες της και ένα άλλο τμήμα ελέγχει το τρόπο λειτουργίας της εφαρμογής. Έτσι λοιπόν το πρότυπο MVC καθιστά τον κώδικα οργανωμένο σε “κουτάκια”, πράγμα που τον καθιστά τον σχεδιασμό της εφαρμογής πιο εύκολο. Επομένως, τα μέρη του MVC χωρίζονται στους τρεις παρακάτω ρόλους:

- Μοντέλο (Model): Τυπικά ο κώδικας αναπαριστά πραγματικά αντικείμενα. Ο συγκεκριμένος ρόλος αποθηκεύει ακατέργαστα δεδομένα και μπορεί να ορίζει κάποια βασικά συστατικά της εφαρμογής.
- Προβολή (View): Ο συγκεκριμένος ρόλος περιέχει όλες της λειτουργίες που αλληλοεπιδρούν με τον χρήστη όσο αφορά στην προβολή της εφαρμογής. Δηλαδή, εμπεριέχει όλα τα κομμάτια του κώδικα που είναι υπεύθυνα για την εμφάνιση και την προβολή της εφαρμογής στον χρήστη.
- Ελεγκτής (Controller): Ο ελεγκτής είναι στην ουσία λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ της προβολής και του μοντέλου. Είναι ο “εγκέφαλος” της εφαρμογής, λαμβάνει τα δεδομένα που εισάγονται από τον χρήστη και αποφασίζει τι θα κάνει με αυτά.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας προσέγγισης της μεθόδου MVC.

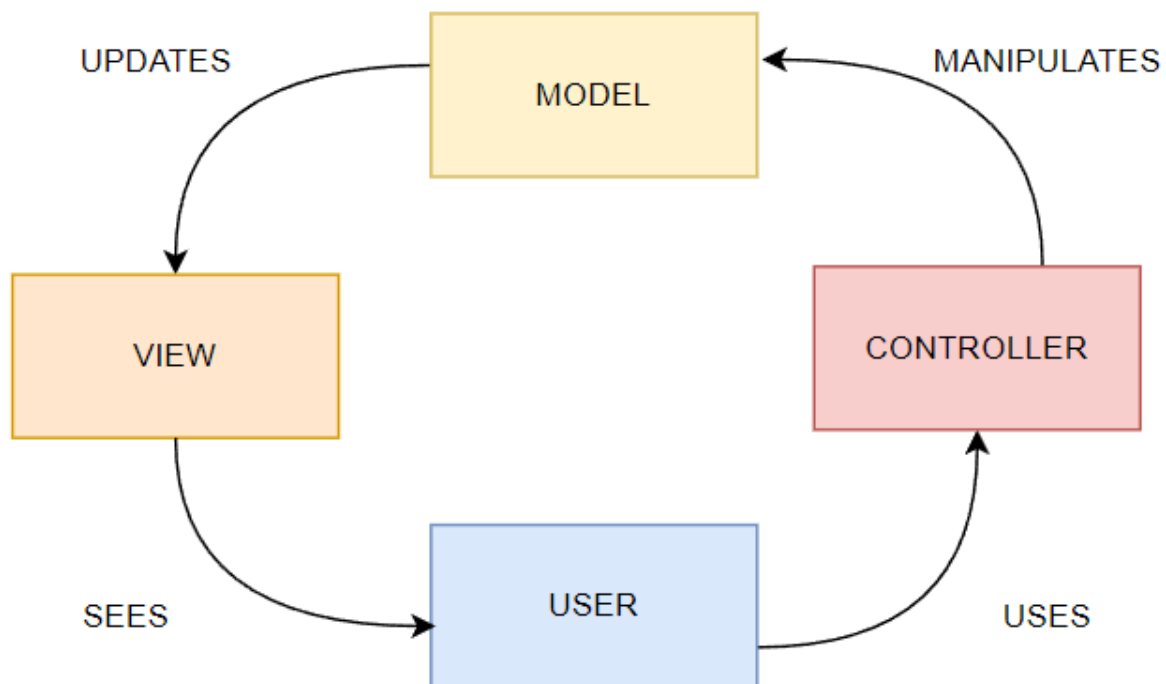


Figure 19: Μέθοδο προσέγγισης MVC.

3.2 Χρησιμοποιούμενα εργαλεία

Τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του λογισμικού αναφέρονται παρακάτω:

- **IntelliJ IDEA:** Το περιβάλλον ανάπτυξης του κώδικα επιλέχθηκε να είναι το IntelliJ IDEA. Το συγκεκριμένο IDE προσφέρει ένα μεγάλο πλήθος από επιλογές για την ανάπτυξη προγραμμάτων στην γλώσσα προγραμματισμού java και κατ' επέκταση της τεχνολογίας JavaFX. Το IntelliJ IDEA παρέχει ένα φιλικό και ευέλικτο περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών για τους προγραμματιστές, επιτρέποντας με ευκολία την πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για την ανάπτυξη, την συντήρηση αλλά και την διαχείριση μιας εφαρμογής σε JavaFX. Επίσης οι δυνατότητες του συγκεκριμένου IDEA, όπως είναι η αυτόματη ολοκλήρωση κώδικα σε συνδυασμό με ένα προηγμένο αναλυτή κώδικα και την δυνατότητα ελέγχου έκδοσης του κώδικα, η ανάπτυξη των εφαρμογών γίνεται με ταχύτητα και με υψηλή ποιότητα.
- **Αρχιτεκτονική Maven:** Το IntelliJ IDEA προσφέρει διάφορες αρχιτεκτονικές ανάπτυξης λογισμικού όπως είναι η αρχιτεκτονική ANT και η αρχιτεκτονική Gradle. Ωστόσο η αρχιτεκτονική που επιλέχθηκε είναι αυτή της Maven για διάφορους λόγους. Πρώτον, με την χρήση αυτής της αρχιτεκτονικής παρέχεται ένα απλό και ισχυρό μοντέλο παραμετροποιήσεων που επιτρέπει τη διαχείριση των εξαρτήσεων και των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής ενός έργου το οποίο αναπτύσσεται με την τεχνολογία της JavaFX. Δεύτερον, το Maven έχει μεγάλη κοινότητα χρηστών, για αυτό το λόγο προσφέρονται, πόροι και πρότυπα για την βέλτιστη απόδοση του κώδικα κατά την διάρκεια ανάπτυξης λογισμικού, ιδικά με την χρήση της τεχνολογίας JavaFX. Τέλος, η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική καθιστά εύκολη την χρησιμοποίηση βιβλιοθηκών από οποιοδήποτε repository. Συνολικά, η επιλογή μου για το Maven βασίζεται στην απλότητα, την αποδοτικότητα και την υποστήριξη που παρέχει στη διαχείριση και την ανάπτυξη λογισμικού με χρήση JavaFX.
- **Scene Builder:** Το Scene Builder είναι ένα εργαλείο το οποίο προσφέρει με ευκολία και ευελιξία την ανάπτυξη γραφικής διεπαφής του χρήστη (graphical user interface-GUI). Συγκεκριμένα το Scene Builder είναι ένα εργαλείο ανάπτυξης GUI για γραφικές διεπαφές JavaFX με απλό, ευέλικτο και ευανάγνωστο τρόπο, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία drag-and-drop. Έτσι, με το Scene Builder και την ενσωμάτωση κώδικα της JavaFX μπορώ να επικεντρωθώ στην ανάπτυξη της λειτουργικότητας του προγράμματός μου ενώ ταυτόχρονα διατηρώ την επικοινωνία με την οπτική του εμφάνιση.

Μαζί με τα εργαλεία για την υλοποίηση του εργαλείου σχεδιάσεις δορυφορικών ζεύξεων έχουν εγκατασταθεί και χρησιμοποιηθεί οι κατάλληλες βιβλιοθήκες μέσα στο πρόγραμμα. Όπως προαναφέρθηκε η αρχιτεκτονική Maven αποτελεί μία πολύ καλή επιλογή για την εύκολη εγκατάσταση αυτών των βιβλιοθηκών. Έτσι για την ανάπτυξη του εργαλείου χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω βιβλιοθήκες:

- **Η βιβλιοθήκες JavaFX-controls και JavaFX-FXML:** Είναι βιβλιοθήκες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των γραφικών σε εφαρμογές GUI στην γλώσσα προγραμματισμού Java. Επίσης η FXML, βασίζεται στην γλώσσα XML, και χρησιμοποιείται για την περιγραφή διάταξης των γραφικών στοιχείων σε μία εφαρμογή JavaFX. Στην ανάπτυξη του κώδικα FXML βοηθάει η τεχνολογία Scene Builder που

προαναφέρθηκε παραπάνω διότι με την χρήση drag-and-drop δημιουργείται αυτόματα η συγγραφή αυτού του κώδικα.

- Η βιβλιοθήκη fontawesome-fontawesome: Η χρήση αυτής της βιβλιοθήκης είναι απαραίτητη για την παροχή εικονιδίων στην εφαρμογή τα οποία είναι βασισμένα στο Font Awesome, με αυτό το τρόπο το εργαλείο θα εμφανίζεται πιο ευχάριστα στον χρήστη.
- Τέλος οι βιβλιοθήκες junit-jupiter-api και junit-jupiter-engine: Αυτές οι βιβλιοθήκες αναφέρονται στο JUnit Jupiter API και Junit Jupiter Engine αντίστοιχα και αποτελούν μέρος του Junit5 το οποίο είναι ένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία για τον έλεγχο ανάπτυξης λογισμικού σε Java. Συγκεκριμένα JUnit Jupiter API παρέχει τον πύρινα του JUnit5, που συμπεριλαμβάνει τα βασικά στοιχεία που είναι αναγκαία για την δημιουργία και την εκτέλεση δοκιμών σε εφαρμογές java. Το Junit Jupiter Engine λειτουργεί ως βοήθεια για το JUnit Jupiter API, καθώς είναι υπεύθυνο για τις δοκιμές που έχουν γραφτεί με JUnit Jupiter API. Πιο συγκεκριμένα αυτός ο μηχανισμός είναι υπεύθυνος για την εύρεση, την φόρτωση αλλά και την εκτέλεση αυτών των δοκιμών σε ένα πρόγραμμα γραμμένο σε java. Επίσης μπορεί να προσφέρει εκτέλεση δοκιμών σε παράλληλες διαδικασίες, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση των threads προσφέροντας με αυτό τον τρόπο την δυνατότητα εκτέλεσης πολλαπλών δοκιμών την ίδια χρονική στιγμή. Έτσι με την χρήση αυτών των βιβλιοθηκών μου δόθηκε ένας ισχυρός και ευέλικτος τρόπος για την εκτέλεση δοκιμών κατά την διάρκεια ανάπτυξης του εργαλείου σχεδιασμού δορυφορικών ζεύξεων βοηθώντας στην ορθή λειτουργία του κώδικά μου και κατ' επέκταση την υλοποίηση της εφαρμογής μου.

3.3 Περιπτώσεις χρήσης

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται κάποιες περιπτώσεις χρήσης για τον προσδιορισμό της κατευθυντήριας γραμμής για την σωστή χρήση του εργαλείο από τον χρήστη. Κατά την εκκίνηση του εργαλείο ο χρήστης έχει μπροστά του το μενού επιλογών και την καρτέλα όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα του σεναρίου του οποίου πρόκειται να δημιουργήσει ο ίδιος. Έτσι λοιπόν στον χρήστη δίνονται οι εξής επιλογές:

1. Μετάβαση στην καρτέλα παραμέτρων του δορυφόρου
2. Μετάβαση στην καρτέλα παραμέτρων του επίγειου σταθμού
3. Μετάβαση στην καρτέλα παραμέτρων της ζεύξης
4. Αποθήκευση του παρόντος σεναρίου
5. Φόρτωση δεδομένων από ήδη υπάρχον αρχείο
6. Εκτέλεση του σεναρίου για την παραγωγή των αποτελεσμάτων
7. Έξοδος από το πρόγραμμα.

Οι επιλογές που προαναφέρθηκαν αφορούν μόνο το μενού επιλογών. Ωστόσο υπάρχει ακόμα μία ενέργεια που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης στην καρτέλα όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα. Αυτή είναι η επιλογή για εμφάνιση διαγραμμάτων του σεναρίου, όμως στην περίπτωση που το εργαλείο δεν έχει εκτελέσει τα αποτελέσματα από το σενάριο, το οποίο είτε δημιούργησε ο χρήστης είτε φόρτωσε τα δεδομένα του από αρχείο, τότε το εργαλείο δεν του εμφανίζει τα διαγράμματα αλλά του εμφανίζει προειδοποίηση ότι λείπουν τα δεδομένα από κάποια πεδία. Για αυτό τον λόγο κατά την εκκίνηση του προγράμματος πρέπει να πραγματοποιηθούν συγκεκριμένες ενέργειες με

σκοπό την λήψη των αποτελεσμάτων και κατά συνέπεια την σωστή λειτουργία του εργαλείου. Αυτές οι ενέργειες χωρίζονται σε δύο σενάρια:

1. Ο χρήστης επιλέγει την φόρτωση δεδομένων από ήδη υπάρχον σενάριο το οποίο είχε αποθηκεύσει στο παρελθόν, στην συνέχεια επιλέγει την λειτουργία για εξαγωγή αποτελεσμάτων του εργαλείου και κατά αυτό τον τρόπο μπορεί να λάβει τα αποτελέσματα και να χειριστή στην καρτέλα των αποτελεσμάτων τα διαγράμματα που επιθυμεί να μελετήσει.
2. Ο άλλος τρόπος είναι η δημιουργία ενός νέου σεναρίου. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης πρέπει να μεταβεί στις καρτέλες του δορυφόρου, του επίγειου σταθμού αλλά και της ζεύξης και να θέσει τις τιμές στις παραμέτρους κάθε πεδίου που ο ίδιος επιθυμεί. Έπειτα μπορεί να εκτελέσει αυτό το σενάριο που δημιούργησε και το εργαλείο θα εξάγει τα αποτελέσματα. Αμέσως μετά θα έχει την δυνατότητα να μελετήσει όλα τα διαγράμματα, ακόμα και να αποθηκεύσει το νέο σενάριο που μόλις έφτιαξε για μελλοντική μελέτη.

Κατά αυτό το τρόπο το εργαλείο δύναται να λειτουργήσει και να εκτιμήσει τα αποτελέσματα σωστά. Σε περίπτωση που ο χρήστης θελήσει να μελετήσει κάποιο άλλο σενάριο δεν είναι αναγκαίο να τερματίσει την εφαρμογή μπορεί επιτόπου να κάνει τις αλλαγές που αυτός κρίνει απαραίτητες και να επιλέξει ξανά την επιλογή για την εκτέλεση των αποτελεσμάτων. Ακόμη μπορεί να κάνει το ίδιο με την χρήση ενός παλαιότερου σεναρίου που είχε αποθηκεύσει, το εργαλείο θα φορτώσει τα νέα δεδομένα και θα μπορούν πάλι να ληφθούν τα αποτελέσματα. Τέλος η επιλογή έξοδος τερματίζει την εφαρμογή όποτε ο χρήστης κρίνει απαραίτητο να γίνει αυτό.

3.4 Σχεδιασμός και υλοποίηση εργαλείου

Σε αυτή την ενότητα παραθέτω ένα διάγραμμα Unified Modeling Language (UML) και συγκεκριμένα ένα class diagram. Γενικώς τα διαγράμματα αυτού του είδους χρησιμοποιούνται κυρίως για τεκμηρίωση και βοηθούν τους προγραμματιστές ή τους αναλυτές να καταλάβουν το πρόγραμμα αλλά και το πρόβλημα το οποίο λύνει το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Στην συνέχεια θα δειχθεί για την κάθε κλάση οι μέθοδοί τους και θα εξηγηθούν οι πιο σημαντικοί από αυτούς.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το class diagram της εφαρμογής που έχει δημιουργηθεί. Όπως φαίνεται η υλοποίησή μου αποτελείται από εννέα κλάσεις. Δύο από αυτές τις κλάσεις συνδέονται με σχέση composite aggregation, αυτές οι κλάσεις είναι η κλάση Model και η κλάση ViewFactory. Συγκεκριμένα όπως συμπεραίνουμε από το σχήμα η κλάση Model περιέχει ένα αντικείμενο της κλάσης ViewFactory. Με αυτό τον τρόπο αυτές οι δύο κλάσεις επικοινωνούν μεταξύ τους και είναι κρίσιμες για την σωστή λειτουργία του εργαλείου.

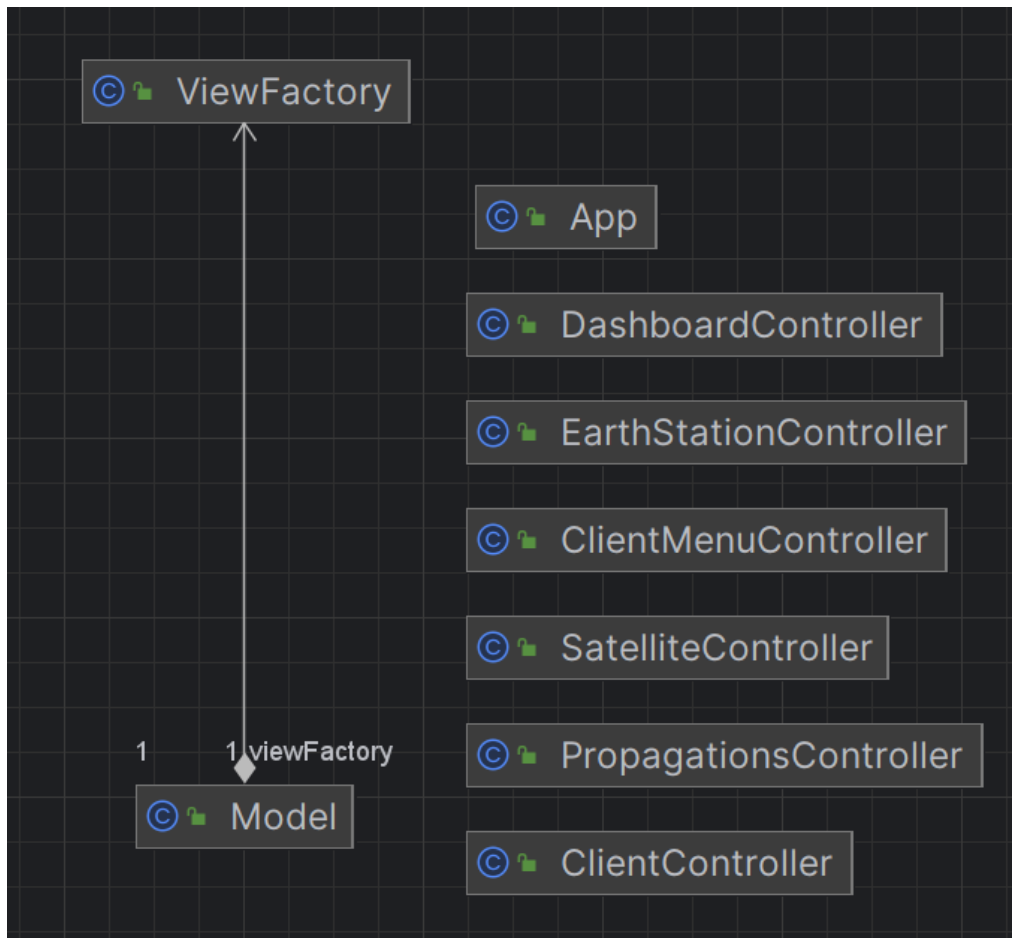


Figure 20: Class Diagram.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι κλάσεις μία προς μία και θα αναφερθούν οι πιο σημαντικές συναρτήσεις-μέθοδοι που έχουν δημιουργηθεί σε αυτές.

Αρχικά η πρώτη κλάση είναι η App η οποία απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.

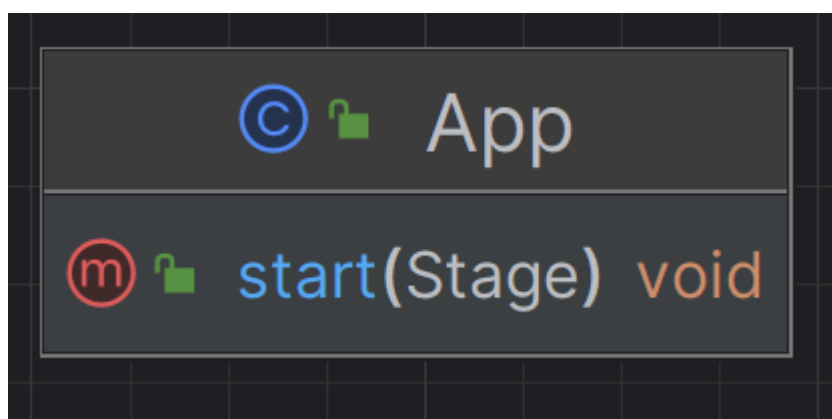


Figure 21: Κλάση App.

Όπως φαίνεται η συγκεκριμένη κλάση περιέχει την μέθοδο `start()` η οποία είναι υπεύθυνη για την εκκίνηση του προγράμματος. Σε μία εφαρμογή που χρησιμοποιείτε η τεχνολογία JavaFX η συγκεκριμένη μέθοδο δεν μπορεί να λείπει από το πρόγραμμα. Στην συνέχεια είναι η κλάση `Model` η οποία όπως φαίνεται παρακάτω περιέχει δύο μεθόδους την `getInstance()` και την `getViewFactory()`. Με την χρήση `getViewFactory` επιστρέφεται ένα αντικείμενο της κλάσης `ViewFactory` η οποία όπως θα δούμε παρακάτω είναι υπεύθυνη για την απεικόνιση του εργαλείου προς τον χρήστη αλλά και για άλλες λειτουργίες, έτσι με την χρήση της `getInstance()` που επιστρέφει ένα `Model` αντικείμενο και είναι η μέθοδος που διασφαλίζει ότι είναι εφικτή η πρόσβαση σε δεδομένα και πόρους σε πολλαπλά σημεία της εφαρμογής. Δηλαδή διασφαλίζει ότι όλα τα τμήματα της εφαρμογής μοιράζονται το ίδιο αντικείμενο της κλάσης `Model`, προσφέροντας κοινή πρόσβαση σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η δημιουργία πολλαπλών αντικείμενων στην εφαρμογή πράγμα που θα μπορούσε να οδηγήσει σε συγχίσει και ανεπιθύμητη συμπεριφορά του εργαλείου ενώ παράλληλα δίνεται η πρόσβαση σε δεδομένα σε όλα τα τμήματα του κώδικα.

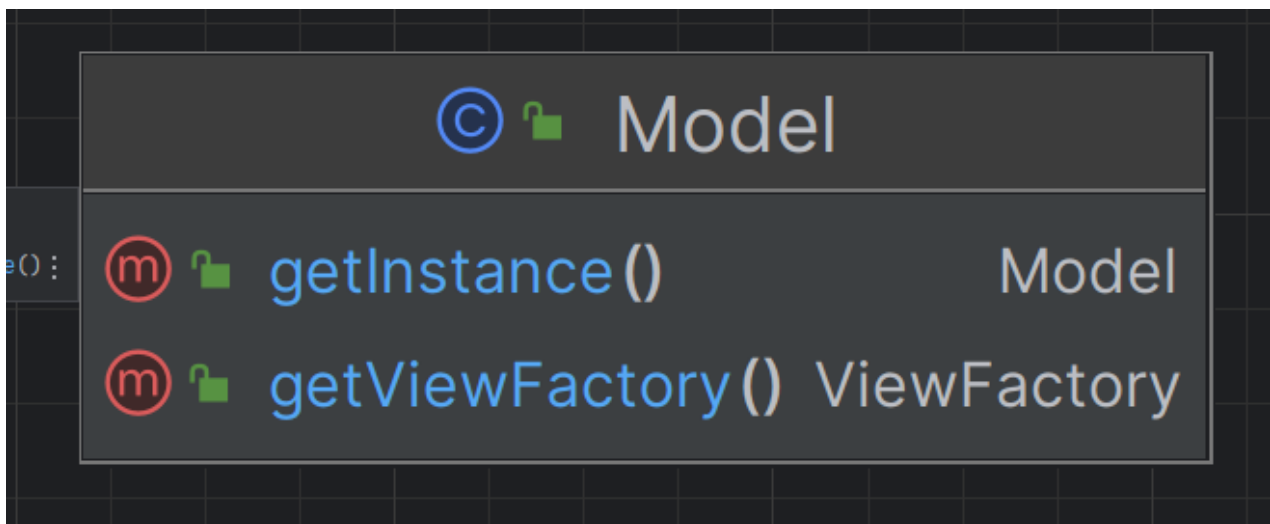


Figure 22: Κλάση Model.

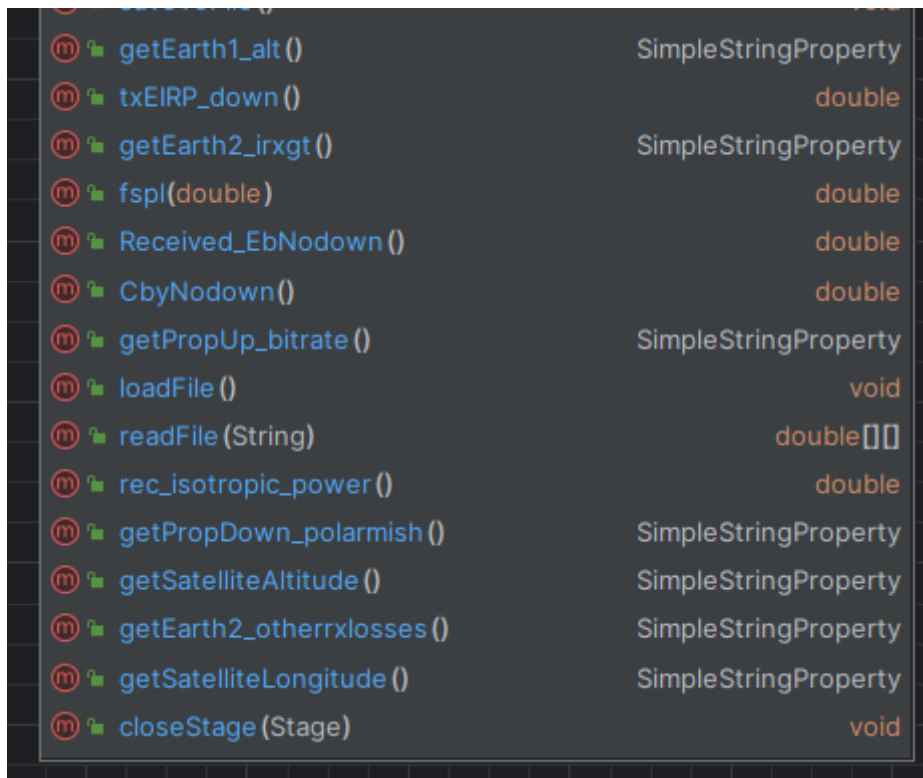
Η επόμενη κλάση που περιγράφεται είναι η κλάση `ViewFactory()`. Η συγκεκριμένη κλάση είναι υπεύθυνη για τους υπολογισμούς τους οποίους πραγματοποιεί το εργαλείο, αλλά και για την φόρτωση των αρχείων FXML έτσι ώστε να εμφανίζονται οι καρτέλες στο χρήστη όταν αυτές επιλεγούν. Εκτελούνται και οι υπόλοιπες λειτουργίες του εργαλείου μέσα σε αυτή την κλάση όπως είναι η αποθήκευση και εισαγωγή δεδομένων από αρχείο.

ViewFactory	
getSat_hpaobo_tra()	SimpleStringProperty
txEIRP_up()	double
getEarthStationView()	AnchorPane
getSat_hpspower_tra()	SimpleStringProperty
CbyN()	double
getEarth1_Ion()	SimpleStringProperty
getPropUp_frequency()	SimpleStringProperty
getPropDown_implemloss()	SimpleStringProperty
getSat_othertxloss_tra()	SimpleStringProperty
CbyNdown()	double
getAvailability_up()	SimpleStringProperty
rainAtt_up()	double
getPropUp_implemloss()	SimpleStringProperty
findClosestValueLatitude(double[], int, double)	double[]
polarizationLoss_down()	double
fspl_up()	double
distance_up()	double[]
getEarth1_txfeederloss()	SimpleStringProperty
getPropagationView()	AnchorPane
createStage(FXMLLoader)	void
CbyNo()	double
getClientSelectedMenuItem()	StringProperty
findClosestNumberLonR001(double[], double)	double[]
getPropUp_bandwidth()	SimpleStringProperty
polarizationLoss_up()	double
fspl2(double)	double
getPropDown_frequency()	SimpleStringProperty
getPropDown_bitrate()	SimpleStringProperty
gammaR(double, double, double, double)	double
getSat_txfeederloss_tra()	SimpleStringProperty
getPropUp_requiredebno()	SimpleStringProperty
margin()	double
getPropDown_bandwidth()	SimpleStringProperty
rainAtt_down()	double

Figure 23: Κλάση ViewFactory(1/3).

 	<code>getPropUp_polar mish ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>showLoginWindow ()</code>	<code>void</code>
 	<code>h0Return (double, double)</code>	<code>double</code>
 	<code>getPropUp_antennamisp oint ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>fspl_down ()</code>	<code>double</code>
 	<code>Received_EbNo ()</code>	<code>double</code>
 	<code>getEarth1_lat ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getDashboardView ()</code>	<code>AnchorPane</code>
 	<code>getPropDown_requiredebno ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getEarth1_txhpa power ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getAvailability_down ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getSatr_txfeederloss_rec ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getSat_rxgt_rec ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getSat_otherloss_rec ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getEarth1_txantennagain ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getEarth1_txhpaobo ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getEarth1_othertxlosses ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>norm (double [])</code>	<code>double</code>
 	<code>getEarth2_rxfeederloss ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getSat_antennagain_tra ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>showClientWindow ()</code>	<code>void</code>
 	<code>rec_isotropic_powerdown ()</code>	<code>double</code>
 	<code>getPropUp_radomeloss ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getEarth2_interloss ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getSat_intrloss_rec ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>geodetic2ITRF (double, double, double)</code>	<code>double []</code>
 	<code>getPropDown_antennamisp oint ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>getSatelliteLatitude ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>findClosestValueLongitude (double [], double, byte)</code>	<code>double []</code>
 	<code>Rreturn (double, double)</code>	<code>double</code>
 	<code>getSatelliteView ()</code>	<code>AnchorPane</code>
 	<code>margin down ()</code>	<code>double</code>
 	<code>getPropDown_radomeloss ()</code>	<code>SimpleStringProperty</code>
 	<code>saveToFile ()</code>	<code>void</code>

Figure 24: Κλάση ViewFactory(2/3).



getEarth1_alt ()	SimpleStringProperty
txEIRP_down ()	double
getEarth2_irxgt ()	SimpleStringProperty
fspl(double)	double
Received_EbNodown ()	double
CbyNodown ()	double
getPropUp_bitrate ()	SimpleStringProperty
loadFile ()	void
readFile (String)	double[]
rec_isotropic_power ()	double
getPropDown_polarmish ()	SimpleStringProperty
getSatelliteAltitude ()	SimpleStringProperty
getEarth2_otherrxlosses ()	SimpleStringProperty
getSatelliteLongitude ()	SimpleStringProperty
closeStage (Stage)	void

Figure 25: Κλάση ViewFactory(3/3).

Οι πιο σημαντικές συναρτήσεις αυτής της κλάσης είναι οι `showClientWindow()`, `getSatelliteView()`, `getPropagationView()`, `getEarthStationView()`, `getDashboardView()`. Όλες αυτές οι μέθοδοι φορτώνουν τα αρχεία FXML για την εμφάνιση τους στον χρήστη ανάλογα με την επιλογή που κάνει αυτός κάθε φορά. Επίσης σημαντικές συναρτήσεις αποτελούν αυτές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Αυτές είναι :

- `distance_up()`: η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης και της γωνίας ανύψωσης μεταξύ του δορυφόρου και του επίγειου σταθμού.
- `txEIRP_up()` και `txEIRP_down()`: Με αυτές υπολογίζεται η ισοδύναμη ισχύς εξόδου του πομπού στην άνω και κάτω ζεύξη αντίστοιχα.
- `polarization_up` και `polarization_down`: Με την χρήση αυτών των συναρτήσεων υπολογίζονται οι απώλειες λόγω πόλωσης στην ανοδική και καθοδική ζεύξη αντίστοιχα.
- `fspl_up` και `fspl_down`: Υπολογίζονται οι απώλειες μονοπατιού ελευθέρου χώρου για την ανοδική και καθοδική ζεύξη αντίστοιχα.
- `rec_isotropic_power()` και `rec_isotropic_powerdown()`: Για τον υπολογισμό ισοτροπική ισχύς που λαμβάνεται στο δέκτη για την ανοδική και καθοδική ζεύξη αντίστοιχα.
- `CbyNo()` και `CbyNodown()`: Συναρτήσεις υπολογισμού του σηματοθορυβικού λόγου C/N_0 για την ανοδική και καθοδική ζεύξη.
- `CbyN()` και `CbyNdown()`: Συναρτήσεις υπολογισμού του σηματοθορυβικού λόγου C/N για την ανοδική και καθοδική ζεύξη.
- `Received_EbNo()` και `Received_EbNodown()`: Συναρτήσεις υπολογισμού του λόγου της ενέργειας ανά bit προς θερμοκρασία θορύβου (E_b/N_0) στο δέκτη για ανοδική και καθοδική ζεύξη αντίστοιχα.

- `margin()` και `marginDown()`: Για τον υπολογισμό για το περιθώριο θορύβου για την ανοδική και καθοδική ζεύξη.
- `rainAtt_up()` και `rainAtt_down()`: Για τον υπολογισμό της εξασθένησης λόγω βροχής στην ανοδική και καθοδική ζεύξη αντίστοιχα.

Έπειτα η κλάση `ClientMenuController()` που φαίνεται αμέσως μετά περιέχει όλες τις λειτουργίες του μενού που εμφανίζονται στο χρήστη, η μέθοδο `initialize` η οποία είναι προσβάσιμη σε όλο το πρόγραμμα και με την βοήθειά το εργαλείο ενημερώνει την κλάση `Model` ποια απεικόνιση να φορτώσει από την κλάση `ViewFactory()` και έπειτα η κλάση `ClientController()` αναλαμβάνει την εμφάνιση προς το χρήστη ή εκτελεί την ενέργεια που ζητήθηκε από τον χρήστη.

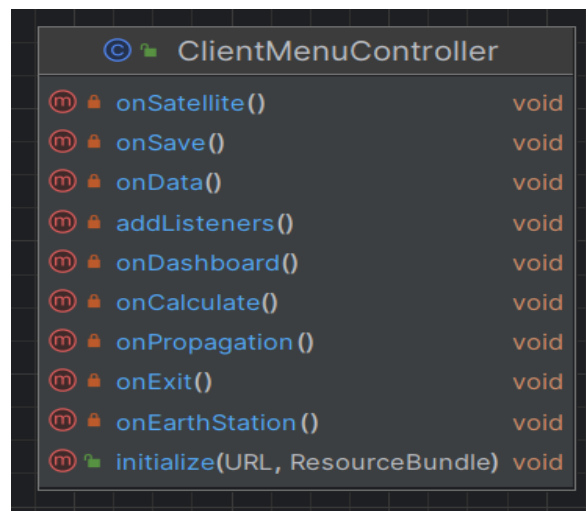


Figure 26: Κλάση ClientMenuController.

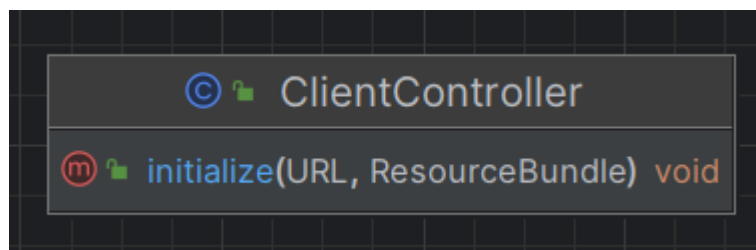


Figure 27: Κλάση ClientController.

Η κλάση `DashboardController` είναι υπεύθυνη για την τοποθέτηση των τιμών των αποτελεσμάτων στα πεδία που φαίνονται στην καρτέλα, οι υπολογισμοί αυτών των τιμών γίνονται από την κλάση `ViewFactory` όπως προαναφέρθηκε. Επίσης αυτή η κλάση εμφανίζει και τα διαγράμματα που αιτείται ο χρήστης.



Figure 28: Κλάση DashboardController.

Στην συνέχεια απεικονίζονται οι κλάσεις `SatelliteController`, `EarthStationController` και `PropagationsController`. Αυτές οι κλάσεις είναι απεύθυνες για της ίδιες λειτουργίες στην καρτέλα του δορυφόρου, του επίγειου σταθμού και της ζεύξης αντίστοιχα. Είναι υπεύθυνες για την μεταφορά των δεδομένων, που θέτει ο χρήστης στα πεδία τους, στην κλάση `ViewFactory` για να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλοι υπολογισμοί. Επίσης είναι υπεύθυνες για την εμφάνιση των

τιμών στα πεδία τους όταν αυτές διαβάζονται από αρχείο. Ακολουθούν οι εικόνες αυτών των κλάσεων.

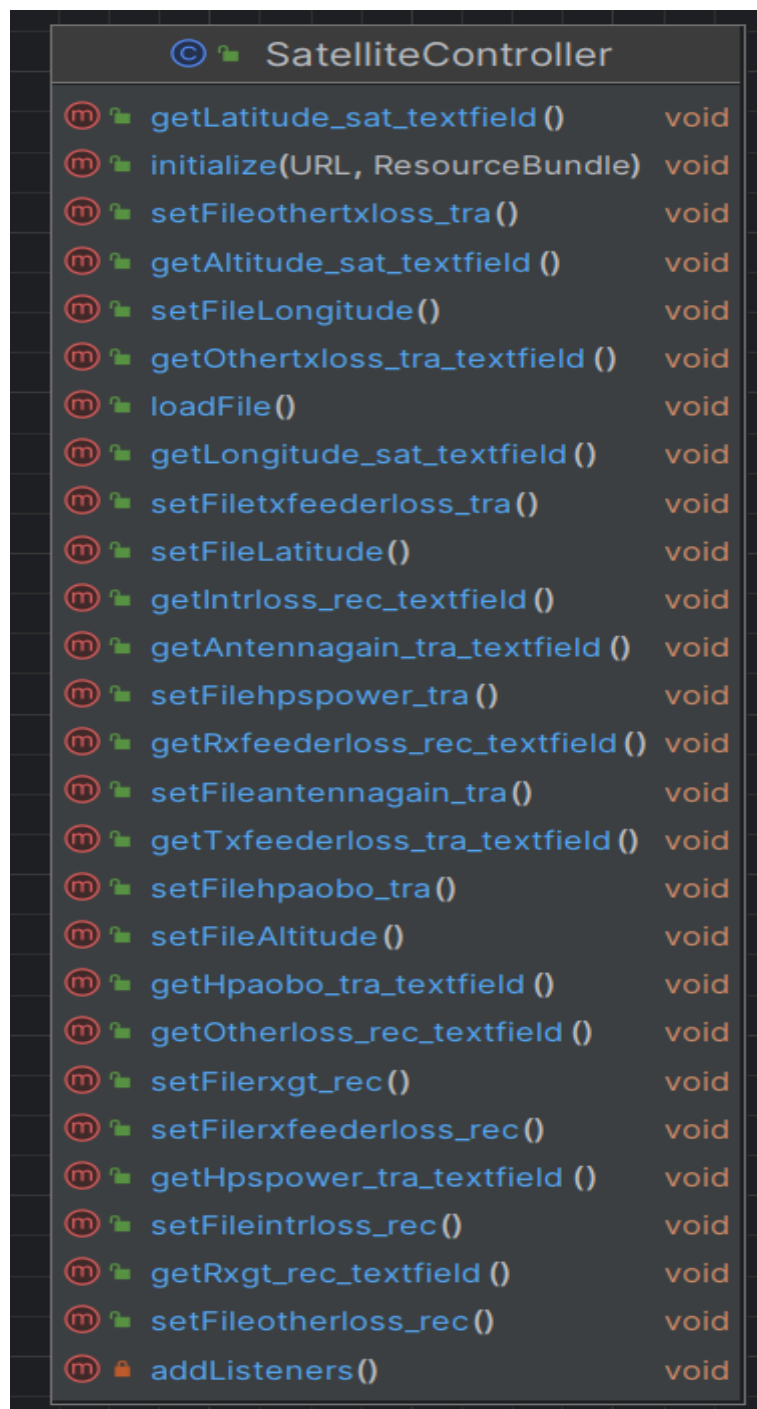
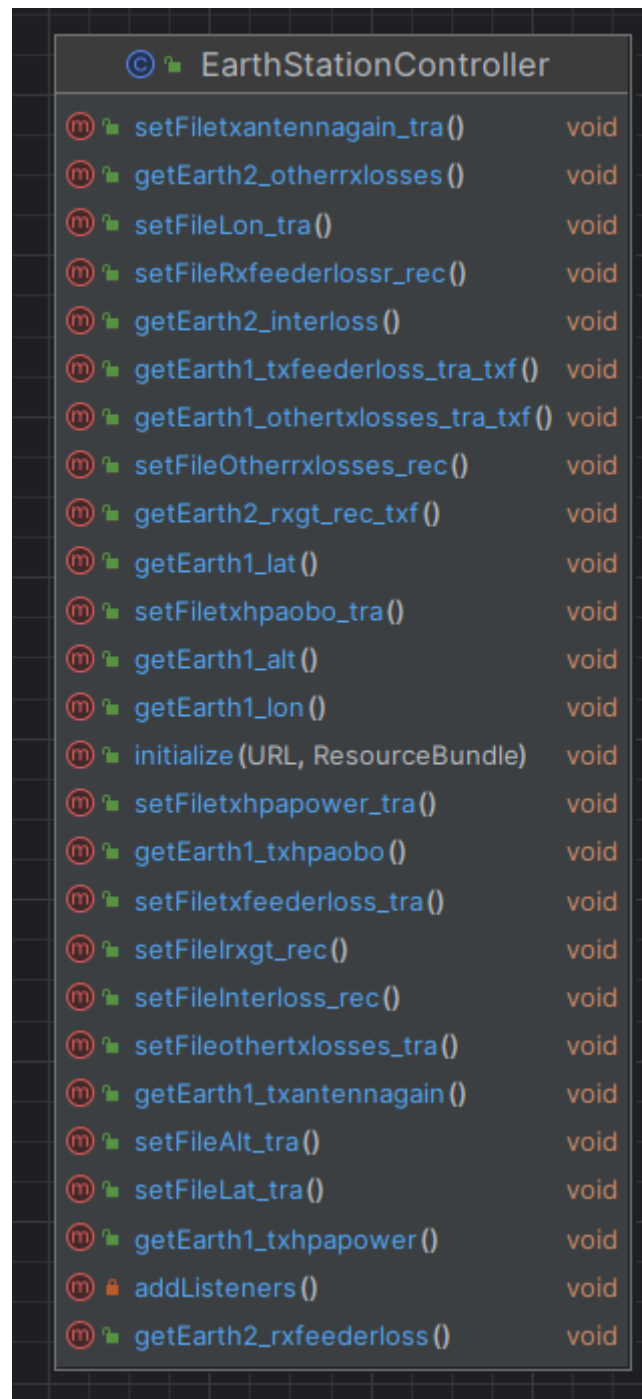


Figure 29: Κλάση SatelliteController.



© EarthStationController	
setFiletxantennagain_tra()	void
getEarth2_otherrxlosses()	void
setFileLon_tra()	void
setFileRxfeederlossr_rec()	void
getEarth2_interloss()	void
getEarth1_txfeederloss_tra_txf()	void
getEarth1_othertxlosses_tra_txf()	void
setFileOtherrxlosses_rec()	void
getEarth2_rxgt_rec_txf()	void
getEarth1_lat()	void
setFiletxhpaobo_tra()	void
getEarth1_alt()	void
getEarth1_lon()	void
initialize(URL, ResourceBundle)	void
setFiletxhpapower_tra()	void
getEarth1_txhpaobo()	void
setFiletxfeederloss_tra()	void
setFilelrxgt_rec()	void
setFileInterloss_rec()	void
setFileothertxlosses_tra()	void
getEarth1_txantennagain()	void
setFileAlt_tra()	void
setFileLat_tra()	void
getEarth1_txhpapower()	void
addListener()	void
getEarth2_rxfeederloss()	void

Figure 30: Κλάση EarthStationController.

PropagationsController	
getPolarmish_down_txf ()	void
setrequiredebno_up ()	void
setimplemloss_up_up ()	void
initialize (URL, ResourceBundle)	void
setavailability_down ()	void
getAntennamispont_up_txf ()	void
setantennamispont_up ()	void
setradomeloss_up ()	void
getRequiredebno_down_txf ()	void
getBandwidth_down_txf ()	void
getAvailability_down ()	void
getBitrate_up_txf ()	void
setbandwidth_down ()	void
getPolarmish_up_txf ()	void
getRadomeloss_down_txf ()	void
getBitrate_down_txf ()	void
getAntennamispont_down_txf ()	void
setimplemloss_down ()	void
getAvailability_up ()	void
setpolarmish_down ()	void
getRadomeloss_up_txf ()	void
setfrequency_down ()	void
setrequiredebno_down ()	void
setradomeloss_down ()	void
getFrequency_up_txf ()	void
getRequiredebno_up_txf ()	void
addListener ()	void
getBandwidth_up_txf ()	void
setantennamispont_down ()	void
getImplemloss_up_txf ()	void
getFrequency_down_txf ()	void
setbitrate_up ()	void
setFrequency_up ()	void
setBandwidth_up ()	void
setbitrate_down ()	void

Figure 31: Κλάση PropagationController(1/2).

setbitrate_down ()	void
setpolarmish_up ()	void
setavailability_up ()	void
getImplemloss_down_txf ()	void

Figure 32: Κλάση PropagationController(2/2).

3.5 Διεπαφή χρήστη και λειτουργίες

Παρακάτω εμφανίζεται η εικόνα που έχει ο χρήστης όταν εκκινεί το πρόγραμμα. Η δομή του γραφικού περιβάλλοντος βασίζεται στα tabs, δηλαδή στις καρτέλες, με σκοπό να διευκολύνει τον χρήστη να αναγνωρίσει της διαφορετικές λειτουργίες που προσφέρει το εργαλείο έτσι ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα του εργαλείου και να είναι η δομή περισσότερο φιλική στον χρήστη. Η πρώτη καρτέλα που βλέπει ο χρήστης είναι το Dashboard όπου εκεί εμφανίζονται τα αποτελέσματα τα οποία θα προκύψουν με βάση τα χαρακτηριστικά που θα δώσει ο ίδιος ως είσοδο στο πρόγραμμα σε άλλες καρτέλες όπως θα δούμε παρακάτω. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι το menu επιλογών βρίσκεται στην αριστερή μεριά της εφαρμογής, επομένως ο χρήστης θα επιλέγει από εκεί όποια καρτέλα επιθυμεί να εμφανίσει το εργαλείο έτσι ώστε να θέσει τις παραμέτρους που επιθυμεί και ακόμα να επιλέξει την λειτουργία που επιθυμεί να εκτελεστεί, όπως είναι για παράδειγμα να υπολογιστούν τα τελικά αποτελέσματα.

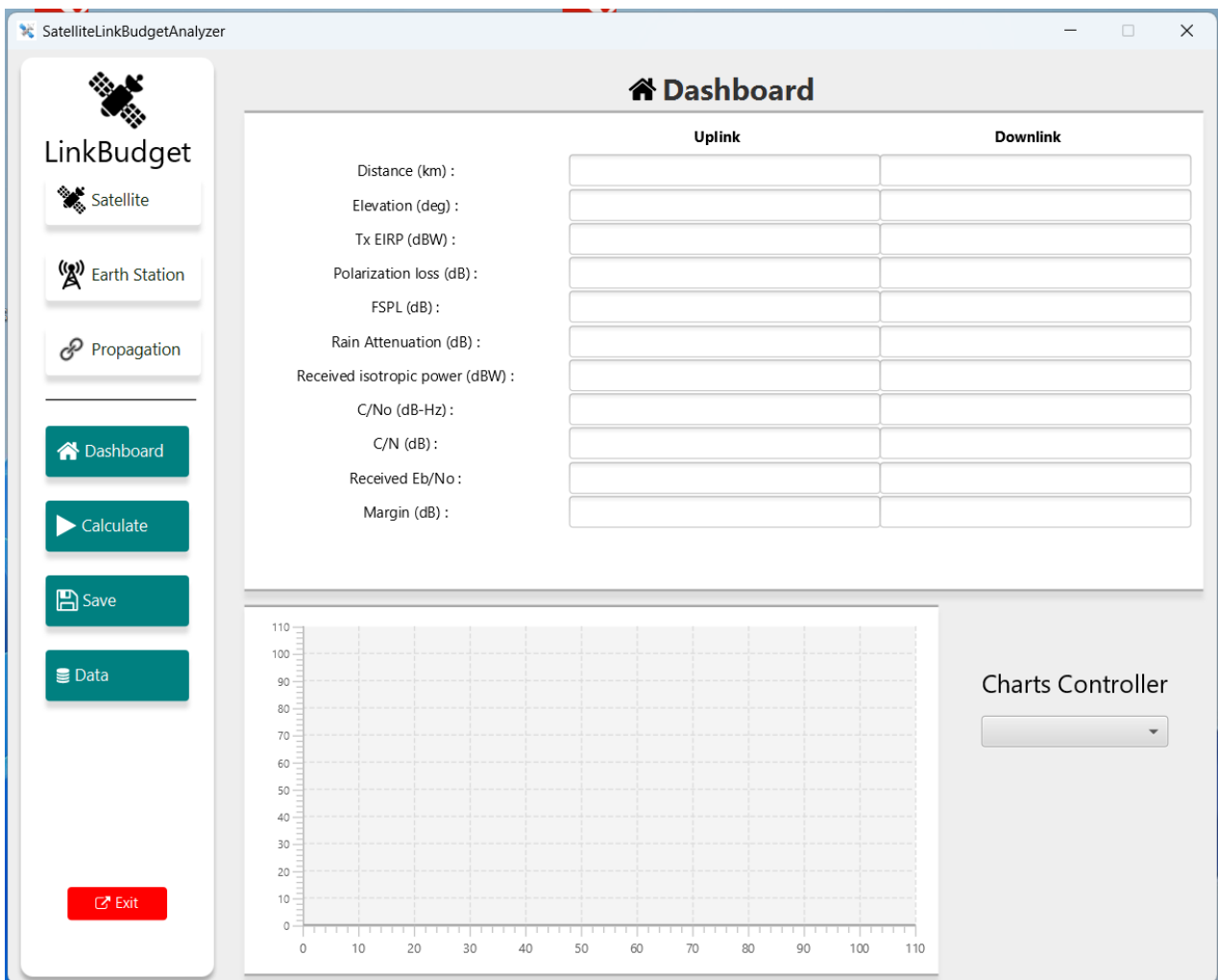


Figure 33: Καρτέλα Dashboard.

3.6 Καρτέλα εισαγωγής παραμέτρων του δορυφόρου

Πατώντας το κουμπί «Satellite» στο μενού εμφανίζονται όλες οι παράμετροι οι οποίοι ο χρήστης πρέπει να αναθέσει τιμές για τα χαρακτηριστικά που αφορούν τον δορυφόρο. Ακολουθεί η εικόνα της εφαρμογής.

The screenshot shows the 'SatelliteLinkBudgetAnalyzer' application window. On the left is a sidebar menu with options: 'LinkBudget' (selected), 'Satellite' (highlighted with a red box and a red arrow), 'Earth Station', 'Propagation', 'Dashboard', 'Calculate', 'Save', 'Data', and 'Exit'. The main area is titled 'SATELLITE' and contains the following input fields:

- Latitude (deg):** [Input field]
- Longitude (deg):** [Input field]
- Altitude (km):** [Input field]
- Receiver Section:**
 - Interference Loss (dB): [Input field]
 - Rx G/T (dB/K): [Input field]
 - Rx Feeder Loss (dB): [Input field]
 - Other Rx Losses (dB): [Input field]
- Transmitter Section:**
 - Tx Feeder Loss (dB): [Input field]
 - Other Tx Losses (dB): [Input field]
 - Tx HPA Power (dBW): [Input field]
 - Tx HPA OBO (dB): [Input field]
 - Tx Antenna Gain (dB): [Input field]

Figure 34 : Καρτέλα Satellite.

Πιο συγκεκριμένα τα πεδία που πρέπει να συμπληρώσει ο χρήστης είναι:

- **Latitude (deg):** Το γεωγραφικό πλάτος του σημείου στο οποίο είναι εγκατεστημένο το δορυφορικό σύστημα.
- **Longitude (deg):** Το γεωγραφικό μήκος του σημείου στο οποίο είναι εγκατεστημένο το δορυφορικό σύστημα.
- **Altitude (km):** Το γεωγραφικό υψόμετρο του σημείου στο οποίο είναι εγκατεστημένο το δορυφορικό σύστημα.
- **Interference Loss (dB):** Η απώλεια λόγω παρεμβολών στο σήμα.

- **Rx G/T (dB/K):** Ο λόγος της ενέργειας του σήματος που λαμβάνεται από τον δέκτη προς το θερμοκρασία του δέκτη.
- **Rx Feeder Loss (dB):** Η απώλεια στο καλώδιο του τροφοδοτικού του δέκτη.
- **Other Rx Losses (dB):** Άλλες απώλειες στο σύστημα λήψης, εκτός από την απώλεια του καλωδίου του τροφοδοτικού.
- **Tx Feeder Loss (dB):** Η απώλεια στο καλώδιο του τροφοδοτικού του πομπού.
- **Other Tx Losses (dB):** Άλλες απώλειες στο σύστημα πομπού, εκτός από την απώλεια του καλωδίου του τροφοδοτικού.
- **Tx HPA Power (dBW):** Η ισχύς εξόδου του υψηλής ισχύος ενισχυτή (HPA) του πομπού.
- **Tx HPA OBO (dB):** Η απώλεια στην απόδοση του υψηλής ισχύος ενισχυτή (HPA) του πομπού.
- **Tx Antenna Gain (dB):** κέρδος της κεραίας του πομπού.

3.7 Καρτέλα εισαγωγής παραμέτρων του επίγειου σταθμού

Πατώντας το κουμπί «Earth Station» στο μενού εμφανίζονται όλα τα πεδία για τα οποία ο χρήστης πρέπει να αναθέσει τιμές για τις παραμέτρους του επίγειου σταθμού. Ακολουθεί η εικόνα της εφαρμογής.

The screenshot shows the 'Earth Station' configuration screen in the SatelliteLinkBudgetAnalyzer application. The sidebar on the left contains a menu with 'Satellite', 'Earth Station' (highlighted with a red box and arrow), and 'Propagation'. The main area is titled 'Earth Station' and contains input fields for Latitude (deg), Longitude (deg), and Altitude (m). Below this, there are two columns: 'Transmitter' and 'Receiver'. The Transmitter column includes input fields for Tx feeder loss (dB), Other Tx losses (dB), Tx HPA power (dBW), Tx HPA OBO (dB), and Tx Antenna gain (dBi). The Receiver column includes input fields for Interference loss (dB), Rx G/T (dB/K), Rx feeder loss (dB), and Other Rx losses (dB). At the bottom of the sidebar is an 'Exit' button.

Figure 35: Καρτέλα Earth Station.

Πιο συγκεκριμένα τα πεδία που εμφανίζονται είναι:

- **Latitude (deg):** Το γεωγραφικό πλάτος του σημείου στο οποίο είναι εγκατεστημένος ο επίγειος σταθμός.
- **Longitude (deg):** Το γεωγραφικό μήκος του σημείου στο οποίο είναι εγκατεστημένος ο επίγειος σταθμός.
- **Altitude (m):** Το γεωγραφικό υψόμετρο του σημείου στο οποίο είναι εγκατεστημένος ο επίγειος σταθμός.
- **Interference Loss (dB):** Η απώλεια λόγω παρεμβολών στο σήμα.
- **Rx G/T (dB/K):** Ο λόγος της ενέργειας του σήματος που λαμβάνεται από τον δέκτη προς το θερμοκρασία του δέκτη.
- **Rx Feeder Loss (dB):** Η απώλεια στο καλώδιο του τροφοδοτικού του δέκτη.
- **Other Rx Losses (dB):** Άλλες απώλειες στο σύστημα λήψης, εκτός από την απώλεια του καλωδίου του τροφοδοτικού.
- **Tx Feeder Loss (dB):** Η απώλεια στο καλώδιο του τροφοδοτικού του πομπού.
- **Other Tx Losses (dB):** Άλλες απώλειες στο σύστημα πομπού, εκτός από την απώλεια του καλωδίου του τροφοδοτικού.
- **Tx HPA Power (dBW):** Η ισχύς εξόδου του υψηλής ισχύος ενισχυτή (HPA) του πομπού.
- **Tx HPA OBO (dB):** Η απώλεια στην απόδοση του υψηλής ισχύος ενισχυτή (HPA) του πομπού.
- **Tx Antenna Gain (dB):** κέρδος της κεραίας του πομπού.

3.8 Καρτέλα ανάθεσης τιμών για τη διάδοση

Πατώντας το κουμπί «Propagations» στο μενού εμφανίζονται όλες οι παράμετροι οι οποίοι ο χρήστης πρέπει να αναθέσει τιμές για την διάδοση. Αυτό αφορά και την ανοδική ζεύξη και την καθοδική, όπως ακριβώς φαίνεται στην εικόνα είναι εύκολα αντιληπτό από της ετικέτες uplink και downlink αντίστοιχα. Ακολουθεί η εικόνα της εφαρμογής.

The screenshot shows the 'SatelliteLinkBudgetAnalyzer' application window. On the left is a sidebar with a 'LinkBudget' section containing 'Satellite', 'Earth Station', and 'Propagation' (highlighted with a red box and arrow). Below this are buttons for 'Dashboard', 'Calculate', 'Save', 'Data', and 'Exit'. The main area is titled 'Propagations' and is split into 'Uplink' and 'Downlink' columns. Each column has nine input fields for various parameters: Frequency (GHz), Bandwidth (MHz), Bit Rate (Mbps), Required Eb/No (dB), Polarization mismatch (deg), Implementation loss (dB), Antenna mispointing loss (dB), Radome loss (dB), and Availability (%).

Figure 36: Καρτέλα Propagations.

Όπως φαίνεται παραπάνω έχουμε τις ίδιες παραμέτρους για την ανοδική και καθοδική ζεύξης. Πιο συγκεκριμένα:

- **Frequency (GHz):** Η συχνότητα του σήματος που χρησιμοποιείται για τη δορυφορική ζεύξη.
- **Bandwidth (MHz):** Το εύρος της συχνότητας που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση του σήματος.
- **Bit Rate (Mbps):** Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του συστήματος.
- **Required Eb/No (dB):** Ο απαιτούμενος λόγος ενέργειας ανά bit προς θερμοκρασία θορύβου (Eb/No) που απαιτείται για τη συγκεκριμένη δορυφορική ζεύξη.

- **Polarization mismatch (deg):** Η απώλεια λόγω απόκλισης πολικότητας στην δορυφορική ζεύξη.
- **Implementation loss (dB):** Η απώλεια λόγω υλοποίησης του συστήματος δορυφορικής ζεύξης.
- **Antenna mispointing loss (dB):** Η απώλεια λόγω απόκλισης της κατεύθυνσης της κεραίας.
- **Radome loss (dB):** Η απώλεια λόγω του προστατευτικού καλύμματος που καλύπτει την κεραία.
- **Availability (%):** Η πιθανότητα λειτουργίας του συστήματος κατά το διάστημα χρόνου, εκφρασμένη ως ποσοστό (%).

3.9 Αποθήκευση και ανάθεση τιμών

Το εργαλείο προσφέρει την δυνατότητα ανάθεσης τιμών, σε όλα τα παραπάνω πεδία που προαναφέρθηκαν, από αρχείο. Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα για την φόρτωση δεδομένων από αρχείο και στην συνέχεια ακολουθεί ένα παράδειγμα για αποθήκευση δεδομένων σε αρχείο.

3.9.1 Διάβασμα τιμών από αρχείο

Πατώντας στο κουμπί «Data» ανοίγει το παράθυρο των windows για επιλογή αρχείου. Το αρχείο που διαβάζει το εργαλείο πρέπει να τελειώνει σε '.sat'.

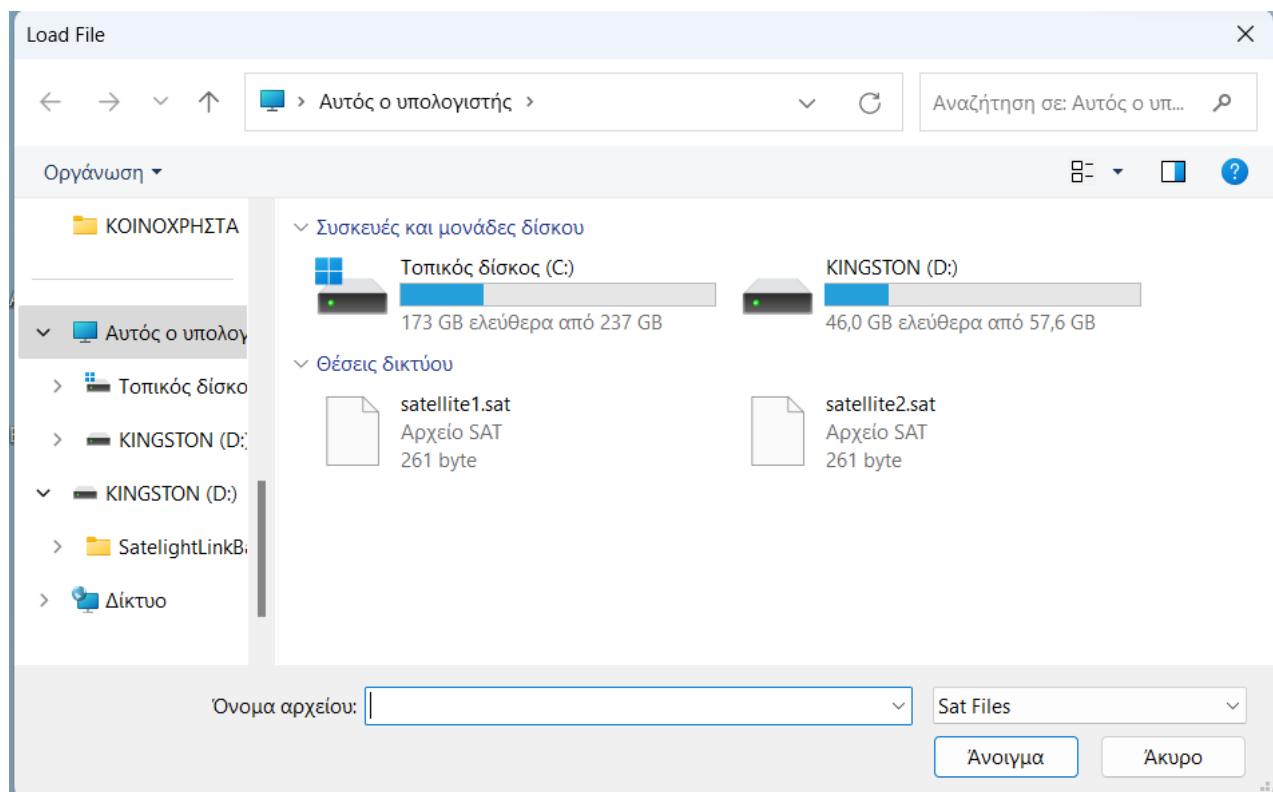


Figure 37: Παράθυρο για διάβασμα παραμέτρων από αρχείο.

Αφού επιλέξουμε το αρχείο θα δούμε ότι όλα τα πεδία έχουν συμπληρωθεί με τιμές. Ακολουθούν οι απαιτούμενες εικόνες στις οποίες απεικονίζεται η κάθε καρτέλα με τις τιμές που υπήρχαν σε είδη αποθηκευμένο αρχείο.

Καρτέλα του δορυφόρου και οι τιμές που έχουν φορτωθεί από τον αρχείο:

The screenshot shows the 'SatelliteLinkBudgetAnalyzer' application window. The 'Satellite' tab is selected in the left sidebar. The main area displays the 'SATELLITE' section with input fields for Latitude (deg): 35, Longitude (deg): -40, and Altitude (km): 2000. Below this, there are two sections: 'Receiver' and 'Transmitter'. The 'Receiver' section includes fields for Interference Loss (dB): 2, Rx G/T (dB/K): 25, Rx Feeder Loss (dB): 1, and Other Rx Losses (dB): 1. The 'Transmitter' section includes fields for Tx Feeder Loss (dB): 1, Other Tx Losses (dB): 1, Tx HPA Power (dBW): 17, Tx HPA OBO (dB): 6, and Tx Antenna Gain (dB): 38. The left sidebar contains buttons for Dashboard, Calculate, Save, Data, and Exit.

Figure 38: Καρτέλα Satellite με τιμές.

Καρτέλα του επίγειου σταθμού και οι τιμές που έχουν φορτωθεί από τον αρχείο:

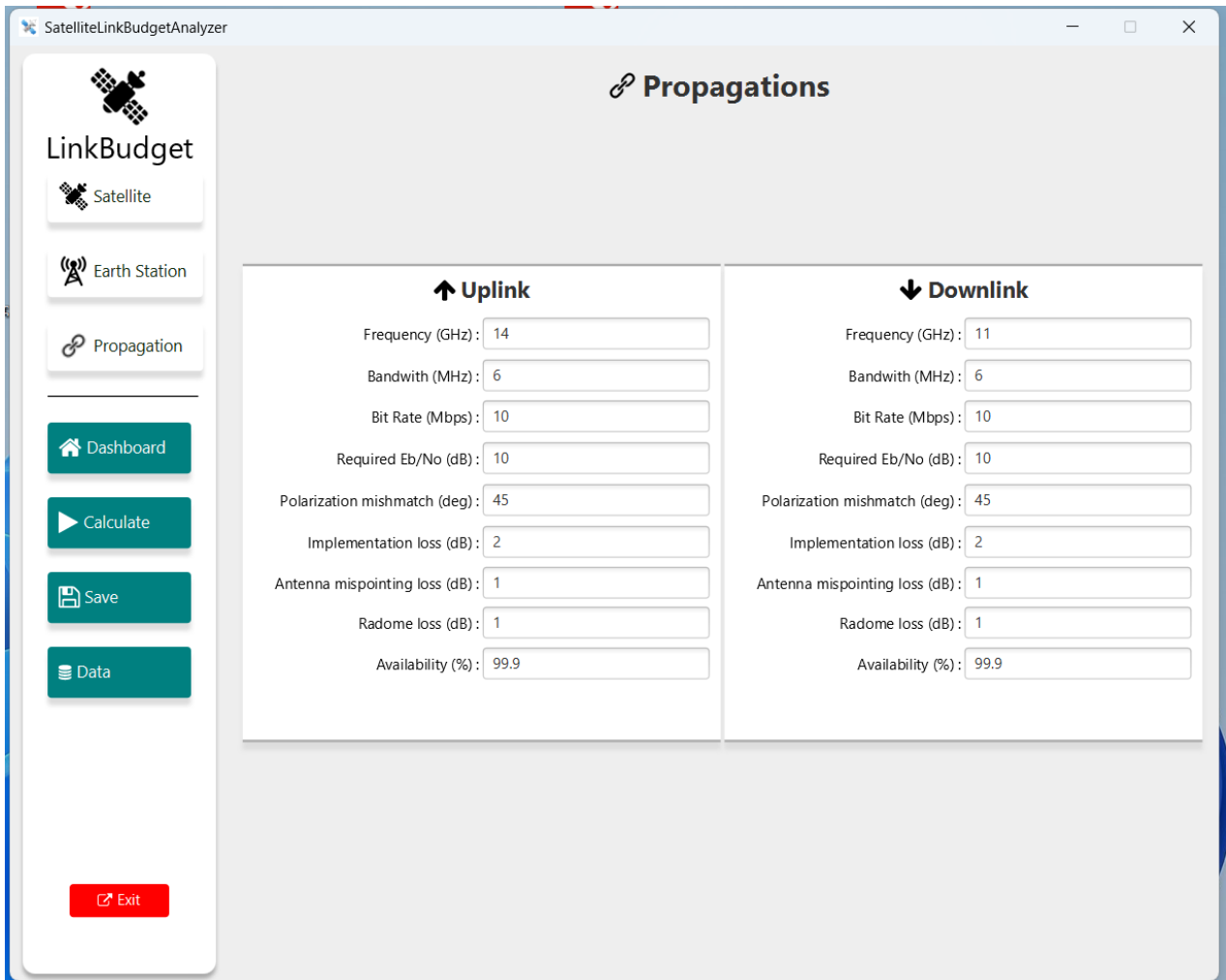
The screenshot shows the 'Earth Station' configuration window of the 'SatelliteLinkBudgetAnalyzer' software. The window has a sidebar on the left with icons for 'Satellite', 'Earth Station', and 'Propagation', and buttons for 'Dashboard', 'Calculate', 'Save', 'Data', and 'Exit'. The main area is titled 'Earth Station' and contains a form with the following fields:

Earth Station Location	
Latitude (deg) :	42.3
Longitude (deg) :	-71.35
Altitude (m) :	20

Transmitter	Receiver
Tx feeder loss (dB) :	Interference loss (dB) :
Other Tx losses (dB) :	Rx G/T (dB/K) :
Tx HPA power (dBW) :	Rx feeder loss (dB) :
Tx HPA OBO (dB) :	Other Rx losses (dB) :
Tx Antenna gain (dBi) :	

Figure 39: Καρτέλα Earth Station με τιμές.

Καρτέλα της διάδοσης και οι τιμές που έχουν φορτωθεί από τον αρχείο:



Parameter	Uplink Value	Downlink Value
Frequency (GHz)	14	11
Bandwidth (MHz)	6	6
Bit Rate (Mbps)	10	10
Required Eb/No (dB)	10	10
Polarization mismatch (deg)	45	45
Implementation loss (dB)	2	2
Antenna mispointing loss (dB)	1	1
Radome loss (dB)	1	1
Availability (%)	99.9	99.9

Figure 40: Καρτέλα Propagations με τιμές.

Όπως φαίνεται έχουν φορτωθεί επιτυχώς όλες οι τιμές που είχαν αποθηκευτεί στο αρχείο που επιλέξαμε.

3.9.2 Αποθήκευση τιμών σε αρχείο (δώσε παράδειγμα screenshot του αρχείου)

Η αποθήκευση πραγματοποιείται με την επιλογή του κουμπιού «Save». Στην συνέχεια εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα αποθήκευσης των windows (ανάλογα με το λογισμικό που φιλοξενείτε το εργαλείο ανοίγει και το κατάλληλο παράθυρο).

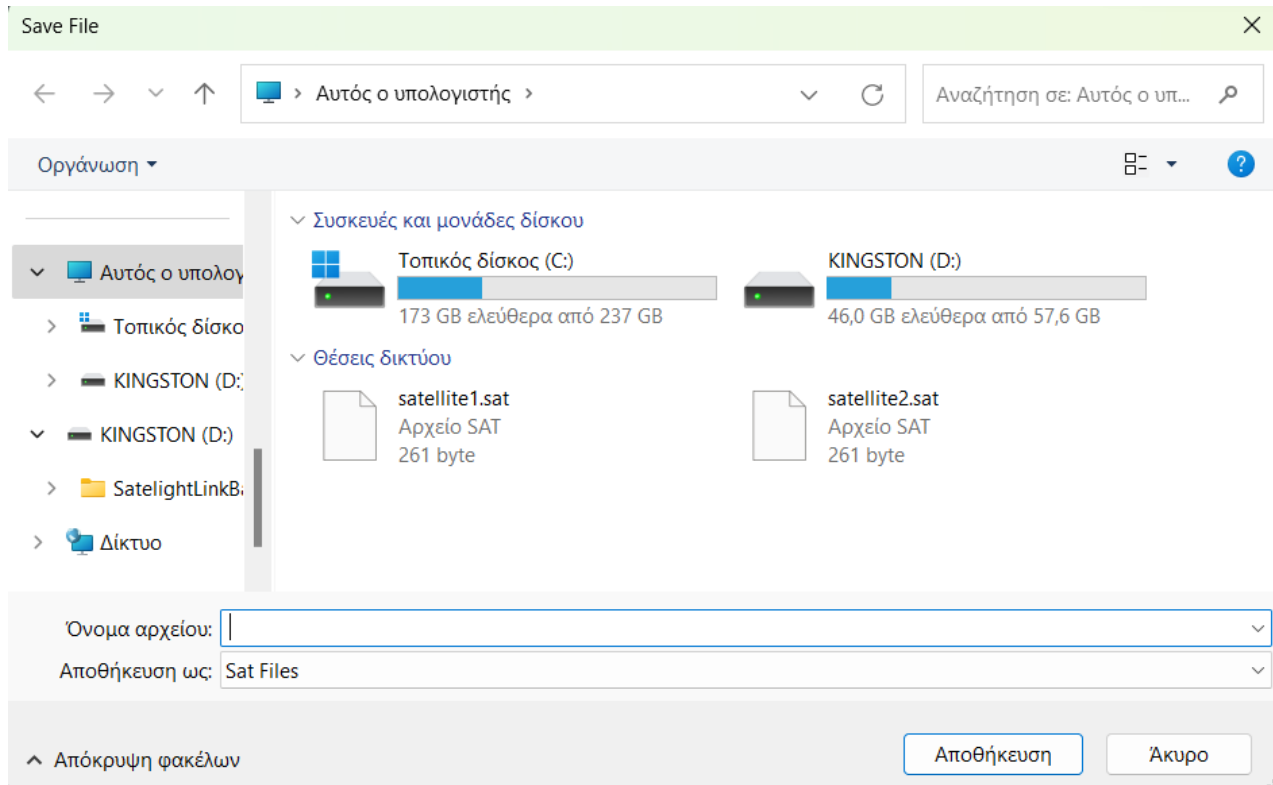


Figure 41: Παράθυρο για αποθήκευση σεναρίου.

Αφού επιλέξουμε αποθήκευση έχει δημιουργηθεί το νέο αρχείο το οποίο θα μπορεί με την προηγούμενη μέθοδο να διαβαστεί. Έτσι με αυτό τον τρόπο το εργαλείο μπορεί να αποθηκεύει σενάρια με τα οποία ο χρήστης θα μπορεί να κάνει την συνεχή μελέτη του έτσι ώστε να μπορέσει να οδηγηθεί στην βέλτιστη περίπτωση σεναρίου και να μπορέσει εν τέλει να επιλέξει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά της ζεύξης.

3.10 Εμφάνιση αποτελεσμάτων στο εργαλείο

Τα τελικά αποτελέσματα που μας δίνει το εργαλείο γίνεται με την επιλογή του κουμπιού «Calculate». Για να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί υπάρχει η προϋπόθεση ότι δεν θα υπάρχει κανένα πεδίο κενό από τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν. Έτσι στην καρτέλα Dashboard ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα για το σενάριο που εκτέλεσε. Επίσης μπορεί να δει και κάποια διαγράμματα τα οποία μπορεί να επιλέξει από το «Chart controller». Υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης αυτών των διαγραμμάτων ωστόσο προϋποθέτει την συγγραφή κώδικα. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα του σεναρίου με τις τιμές που φορτώσαμε προηγουμένως. Όπως προαναφέρθηκε τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην καρτέλα Dashboard οπότε μετά ή πριν την επιλογή «Calculate» πρέπει ο χρήστης να μεταβεί στην συγκεκριμένη καρτέλα πατώντας το κουμπί

«Dashboard». Ακολουθεί η εικόνα στην καρτέλα του Dashboard με τα αποτελέσματα να εμφανίζονται στα κατάλληλα πεδία.

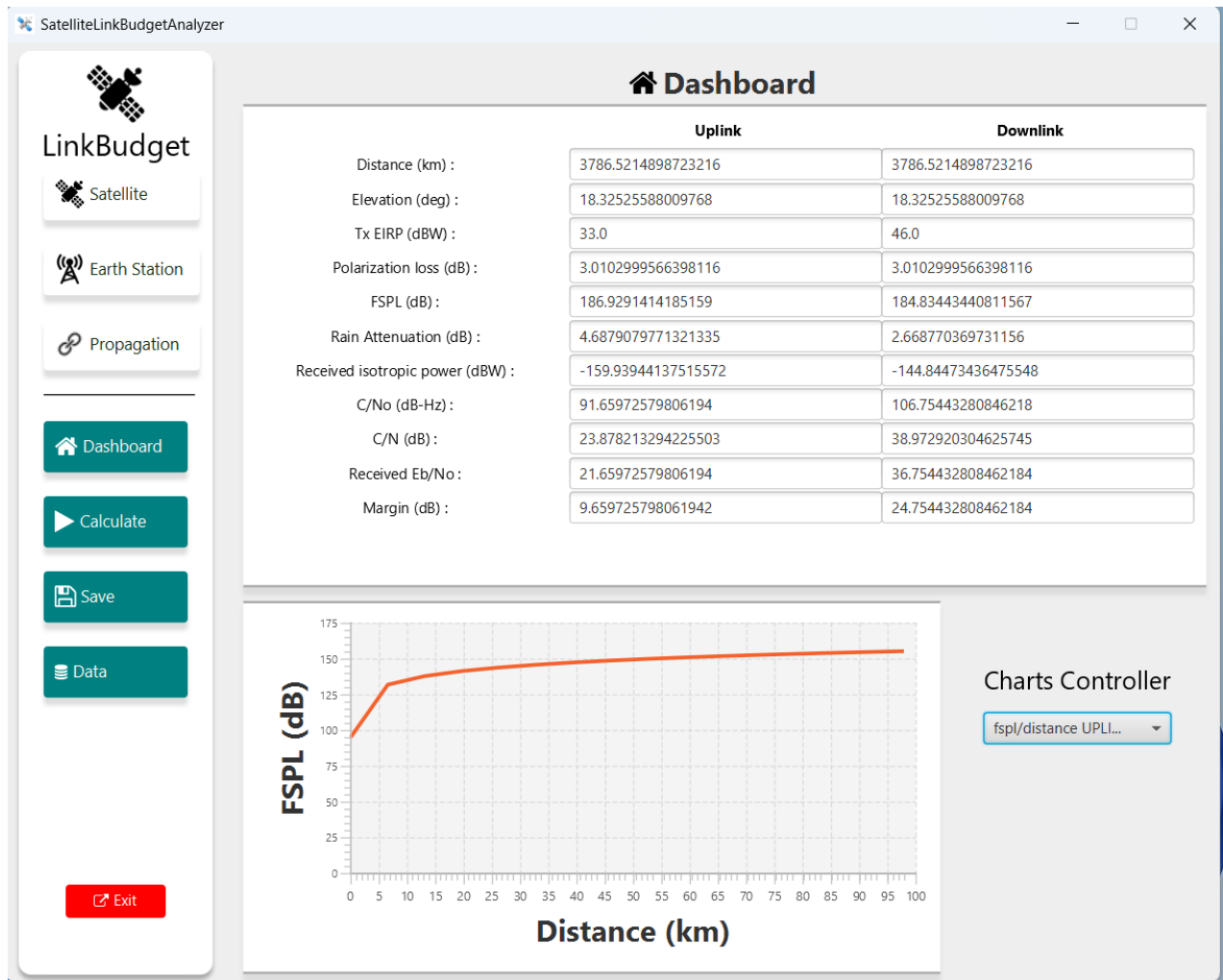


Figure 42: Καρτέλα Dashboard με αποτελέσματα.

Η έξοδος του εργαλείου, όπως φαίνεται παραπάνω, είναι:

- **Distance (km):** Η απόσταση μεταξύ του επίγειου σταθμού και του δορυφόρου.
- **Elevation (deg):** Η γωνία ανύψωσης.

Οι δύο παραπάνω τιμές υπολογίζονται και οι δύο από την συνάρτηση `distance_up()`. Αυτό το οποίο είναι αναγκαίο να μην παραβλέψει ο χρήστης να δώσει τις κατάλληλες τιμές των πεδίων Longitude, Latitude και Altitude στις καρτέλες του δορυφόρου και του επίγειου σταθμού αντίστοιχα για να εκτιμηθούν σωστά οι τιμές των δύο αποτελεσμάτων. Παρατηρούμε σε αυτήν την περίπτωση ότι οι τιμές είναι ίδιες για την ανοδική και την καθοδική ζεύξη, αυτό είναι λογικό γιατί δεν γίνεται να ισχύουν διαφορετικές τιμές για την κάθε ζεύξη, για τον λόγο αυτό αρκεί η ίδια συνάρτηση για τον υπολογισμό αυτών των τιμών.

- **Tx EIRP (dBW):** Η ισοδύναμη ισχύς εξόδου του πομπού. Για τον υπολογισμό αυτής της παραμέτρου το εργαλείο χρησιμοποιεί τα πεδία Tx feeder loss, Other Tx Losses, Tx HPA Power, Tx HPA OBO, Tx Antenna Gain τα οποία είναι παράμετροι του transmitter είτε του δορυφόρου για την καθοδική ζεύξη είτε του επίγειου σταθμού για την ανοδική ζεύξη και επιπλέον χρειάζεται και την τιμή του πεδίου Radome Loss το οποίο δίνεται στην καρτέλα με τα χαρακτηριστικά της ζεύξης όσο για την ανοδική όσο και για την καθοδική. Ο τύπος υπολογισμού είναι:

$$T_x HPA Power - T_x HPA OBO - T_x Feeder Loss - Other T_x Losses + T_x Antenna Gain - Radome Loss$$

- **Polarization loss (dB):** Η απώλεια λόγω πόλωσης μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Για τον υπολογισμό αυτό το εργαλείο λαμβάνει την τιμή Polarization mismatch που βρίσκεται στην καρτέλα της ζεύξης για την ανοδική και καθοδική αντίστοιχα. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό είναι :

$$20 * \text{abs}(\log_{10}(\cosd(\text{Polarization mismatch})))$$

- **FSPL (dB):** Η απώλεια λόγω ελεύθερης διάδοσης (Free Space Path Loss), που οφείλεται στη διάδοση του σήματος στον ελεύθερο χώρο. Στην προκειμένη περίπτωση χρειαζόμαστε την συχνότητα λειτουργίας των ζεύξεων (ανοδική και καθοδική) η τιμή αυτή βρίσκεται στην καρτέλα που θέτουμε της παραμέτρους της ζεύξης με το όνομα Frequency. Ωστόσο είναι σημαντικό να έχει υπολογιστεί και η απόσταση μεταξύ του επίγειου σταθμού και του δορυφόρου το οποίο το εργαλείο υπολογίζει μόνο του και χρησιμοποιεί την τιμή του Distance που δείξαμε παραπάνω για τον υπολογισμό αυτής της παραμέτρου. Έτσι ο τύπος είναι :

$$20 * \log_{10} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)$$

Όπου r είναι η απόσταση σε μέτρα και $\lambda = c / \text{Frequency}$, c η ταχύτητα του φωτός.

- **Rain Attenuation (dB):** Η απώλεια σήματος λόγω βροχόπτωσης. Ο υπολογισμός αυτός δίνεται εκτενώς στο κεφάλαιο 2.8.4.1, τα πεδία τα οποία χρησιμοποιεί το εργαλείο για αυτόν τον υπολογισμό είναι τα Longitude, Latitude, Altitude του επίγειου σταθμού, το Distance και το Elevation τα οποία όπως προαναφέρθηκε υπολογίζονται από το εργαλείο, η συχνότητα λειτουργίας, Frequency, για της δύο ζεύξης καθώς αμφότερες λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες και τέλος τις τιμές στο πεδίο Polarization mismatch της ανοδικής και καθοδικής ζεύξης.
- **Received isotropic power (dBW):** Η ισχύς που λαμβάνεται στο δέκτη, αν υποθέσουμε ισοτροπική κεραία στον πομπό. Για αυτό τον υπολογισμό το εργαλείο λαμβάνει υπόψιν του τις τιμές που έχουν υπολογιστεί από τι ίδιο το εργαλείο και αναφέρθηκαν παραπάνω αυτές είναι οι Tx EIRP, Polarization Loss και FSPL καθώς και την τιμή interference loss των receivers από τον δορυφόρο και τον επίγειο σταθμό για την ανοδική και καθοδική ζεύξη

αντίστοιχα και τέλος λαμβάνει υπόψιν του και τις τιμές στα πεδία της ζεύξης (ανοδικής και καθοδικής) Antenna miss pointing loss. Ο τύπος υπολογισμού είναι:

$$T_x EIRP - Polarization\ loss - FSPL - Interference\ loss \\ - Antenna\ miss\ pointing\ loss$$

- **C/No (dB-Hz):** Ο σηματοθορυβικός λόγος (C/N_0) στο δέκτη. Για τον υπολογισμό αυτής της παραμέτρου χρειάζονται οι τιμές των Received isotropic power που υπολογίζεται παραπάνω, καθώς και τα τρία πεδία του receiver Rx G/T, Rx feeder loss, Other Rx losses είτε του δορυφόρου είτε του επίγειου σταθμού για ανοδική και καθοδική ζεύξη αντίστοιχα, έτσι ο τύπος που δίνει το αποτέλεσμα είναι:

$$Rec.\ isotropic\ power + R_x G/T - 10 * \log_{10}(k) - Rx\ feeder\ loss - Other\ Rx\ losses$$

Όπου k είναι η σταθερά του Boltzmann.

- **C/N (dB):** Ο σηματοθορυβικός λόγος (C/N) στο δέκτη. Αντίστοιχα ο δείκτης αυτός αφού υπολογίστηκε παραπάνω ο δείκτης C/N_0 και με την χρήση του Bandwidth (εκφρασμένο σε MHz) το οποίο ο χρήστης θέτει ως τιμή στην καρτέλα της ζεύξης έχουμε:

$$C/N_0 - 10 * \log_{10}(Bandwidth) - 60$$

- **Received Eb/No:** Ο λόγος της ενέργειας ανά bit προς θερμοκρασία θορύβου (E_b/N_0) στο δέκτη. Ο υπολογισμός αυτού του δείκτη είναι ο ίδιος με τον προηγούμενο μόνο που αντί για το bandwidth θα λάβουμε υπόψιν το Bit rate (εκφρασμένο Mbps) της ζεύξης, έτσι έχουμε:

$$C/N_0 - 10 * \log_{10}(Bit\ Rate) - 60$$

- **Margin (dB):** Η απόσταση ή η διαφορά μεταξύ του πραγματικού σήματος και του απαιτούμενου σήματος για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Αφού έχουν υπολογιστεί όλα τα παραπάνω, τα περιθώρια της ζεύξης μπορούν να υπολογιστούν ως εξής από την τιμή του Received E_b/N_0 , Required E_b/N_0 το οποίο θέτει ο χρήστης και το implementation loss που θέτει πάλι ο χρήστης. Έτσι έχουμε:

$$Received\ E_b/N_0 - Required\ E_b/N_0 - implementantion\ loss$$

Αφού εκτιμηθούν τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει το γράφημα το οποίο επιθυμεί να εμφανιστεί στο εργαλείο. Αυτό γίνεται επιλέγοντας το κουμπί κάτω από την ετικέτα «Charts Controller» όπως ακριβώς φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

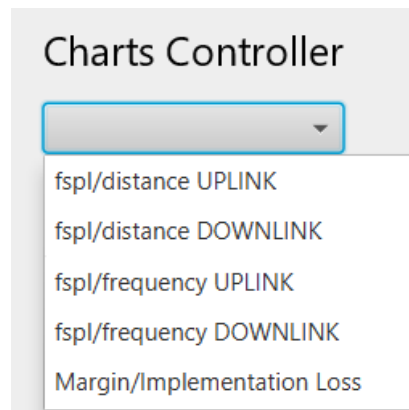


Figure 43: Charts Controller.

Για παράδειγμα ο χρήστης επιλέγει την επιλογή “fspl/distance UPLINK” το εργαλείο θα του εμφανίσει το γράφημα που φαίνεται παρακάτω.

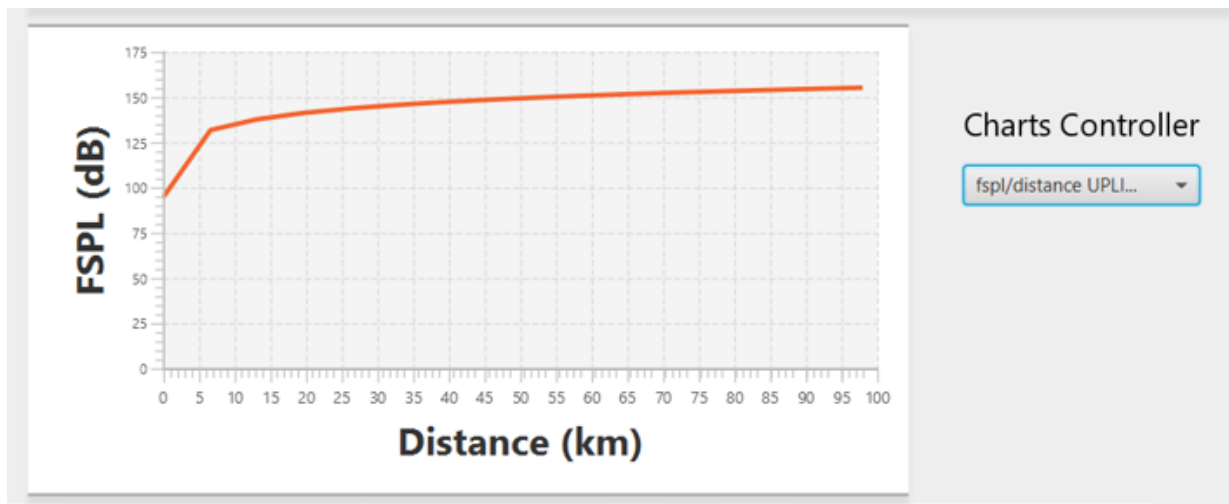


Figure 44: Γράφημα του δείκτη FSPL συναρτήσει της συχνότητας.

4

Επίλογος

4.1 Συμπεράσματα

Το εργαλείο σχεδιασμού δορυφορικών ζεύξεων που υλοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής επιτρέπει την εύκολη και αποτελεσματική σχεδίαση δορυφορικών ζεύξεων με ακρίβεια και αξιοπιστία. Η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε σε συνδυασμό με τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, για την υλοποίησή του, συνέλαβαν στην δημιουργία ενός εύκολα διαχειρίσιμο περιβάλλον χρήσης. Οι χρήστες του εργαλείου μπορούν με ευελιξία να δημιουργούν και να προσαρμόζουν τα σενάρια των ζεύξεων με τρόπο που επιθυμούν σύμφωνα με τις ανάγκες που οι ίδιοι θέτουν ως προτεραιότητά. Με την ενσωμάτωση σύγχρονων αλγορίθμων και εργαλείων ανάλυσης, το εργαλείο αυτό αποτελεί μία λύση στον διαστημικό τομέα και καθίσταται χρήσιμο για μηχανικούς και σχεδιαστές δορυφορικών ζεύξεων.

4.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η τρέχουσα έκδοση του εργαλείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως από την αγορά εργασίας, ωστόσο διαθέτει περιθώρια για την ανάπτυξη και την βελτίωσή του. Μία μελλοντική επέκταση του εργαλείου θα μπορούσε να είναι η προσθήκη σχημάτων διαμόρφωσης. Με αυτή την προσθήκη οι χρήστες θα έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν, να επεξεργάζονται και να προσαρμόζουν σχήματα διαμόρφωσης μέσα στο εργαλείο σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προδιαγραφές τους, πετυχαίνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στο σχεδιασμό των ζεύξεων.

Επίσης, μία ακόμη επέκταση θα μπορούσε να είναι η προσθήκη δορυφορικών τροχιών. Έτσι οι χρήστες θα μπορούν να υπολογίζουν με περισσότερη ακρίβεια τις απώλειες. Επομένως με αυτό τον τρόπο θα μπορούν να εκτιμούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τους σηματοθορυβικούς λόγους της ζεύξης, βελτιώνοντας έτσι την λήψη αποφάσεων για κάθε σύστημα δορυφορικών επικοινωνιών.

Επιπλέον θα μπορούσε να δίνεται η δυνατότητα να γίνονται ταυτόχρονα περισσότερες από μία προσομοιώσεις δορυφορικών ζεύξεων, όχι μόνο ανάμεσα σε επίγειο σταθμό και δορυφόρο αλλά και ανάμεσα σε δορυφόρους. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα για μελέτη σχημάτων δορυφορικών αστερισμών. Με την σύνδεση βάσεων δεδομένων που διαθέτουν πληροφορίες για ήδη υπάρχοντα συστήματα δορυφορικών ζεύξεων θα είναι εφικτή η εκπόνηση μελετών σε αυτά με περισσότερη ευκολία.

Τέλος, το εργαλείο θα μπορούσε να μετατραπεί σε μία διαδικτυακή υπηρεσία. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση της τεχνολογίας Spring Boot, η οποία αποτελεί η ίδια κομμάτι της Java και έτσι συνδυάζεται με ευκολία με την τεχνολογία JavaFX. Η τεχνολογία της Spring Boot προσφέρει λειτουργίες διαδικτύου σε προγράμματα Java. Με την συγκεκριμένη επέκταση οι χρήστες θα έχουν

πρόσβαση στο εργαλείο από οποιαδήποτε συσκευή που είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο, πετυχαίνοντας μεγαλύτερη εξάπλωση και χρήση του εργαλείο.

Συνεπώς, με αυτές τις επεκτάσεις το εργαλείο θα προσφέρει ένα πλήρες και εξελιγμένο σύνολο λειτουργιών, ενισχύοντας την θέση του στον χώρο της αγοράς εργασίας ως ένα αναγκαίο εργαλείο για τους μηχανικούς και τους σχεδιαστές δορυφορικών ζεύξεων.

Βιβλιογραφία

- [1] Maral Gerard, και Michel Bousquet. *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*. 5th ed., John Wiley & Sons, 2010.
- [2] Lutz, E., Werner, M., & Jahn, A. *Satellite Systems for Personal and Broadband Communications*. Oberpfaffenhofen, March 2000.
- [3] Vougioukas, D. *Δορυφορικές επικοινωνίες [Undergraduate textbook]*, Kallipos, Open Academic Editions, 2015. <https://hdl.handle.net/11419/2712>
- [4] ITU-R. *Recommendation ITU-R P.1144-3: Guide to the application of the propagation methods of Radiocommunication Study Group 3*. International Telecommunication Union, 2001.
- [5] ITU-R. *Recommendation ITU-R P.837-7: Characteristics of precipitation for propagation modelling (Question ITU-R 201/3)*. International Telecommunication Union.
- [6] ITU-R. *Recommendation ITU-R P.838-3: Specific attenuation model for rain for use in prediction methods (Question ITU-R 201/3)*. International Telecommunication Union.
- [7] ITU-R. *Recommendation ITU-R P.618-8: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems*. International Telecommunication Union.
- [8] Proakis, J. *Digital Communications*. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [9] Seybold, J. *Introduction to RF Propagation*. John Wiley & Sons, 2005.

Παράρτημα Ι [Αποσπάσματα Κώδικα]

Μέθοδος rainAtt_up() η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό εξασθένησης της βροχής

```

485 public double rainAtt_up(){
486     double latitude =Double.parseDouble(getEarth1_lat().get()); //in deg
487     double longitude =Double.parseDouble(getEarth1_lon().get()); // in deg
488     double altitude = Double.parseDouble(getEarth1_alt().get()); //in m
489     double[] elev=distance_up();
490     double elevAngle=elev[1];
491     double f = Double.parseDouble(propUp_frequency.get()); //In GHz
492     double Re = 8500; //In km
493     double hs= altitude/1000; //in km
494     double tau =Double.parseDouble(propUp_polarmish.get());
495     //step 1
496     double h0 = h0Return(longitude,latitude);
497     double hR = h0 + 0.30;
498     double Ap,Ls,Lg,R001,gammaR,r001,zeta,LR,x,v001,LE,A001,p=100 - Double.parseDouble(getAvailability_up().get()),beta;
499     //step 2
500     if (hR - hs <= 0){
501         Ap=0;
502     } else{
503         if(elevAngle >= 5 ){
504             Ls = (hR - hs)/Math.sin(Math.toRadians(elevAngle));
505         }else {
506             Ls = (2*(hR - hs))/(Math.pow((Math.pow(Math.sin(Math.toRadians(elevAngle))),2))+2*(hR - hs))/Re,1/2)+Math.sin(Math.toRadians(elevAngle)));
507         }
508         //step 3
509
510         Lg = Ls * Math.cos(Math.toRadians(elevAngle));
511         //step 4
512         R001 = Rreturn(longitude,latitude);
513         //step 5
514         gammaR=gammaR(elevAngle,R001,f,tau);
515         // step 6
516         //Calculation of the horizontal reduction factor
517         r001 = 1/(1 + 0.78*Math.sqrt(Lg*gammaR/f) - 0.38*(1 - Math.exp(-2*Lg)));
518
519         //step 7
520         zeta = Math.toDegrees(Math.atan((hR - hs)/(Lg*r001)));
521         if (zeta > elevAngle){
522             LR = (Lg*r001)/(Math.cos(Math.toRadians(elevAngle)));
523         }else {
524             LR = (Lg*r001)/(Math.sin(Math.toRadians(elevAngle)));
525         }
526         if(Math.abs(latitude) < 36){
527             x = 36 - Math.abs(latitude);
528         }else {
529             x=0;
530         }
531         v001 = 1 / (1 + Math.sqrt(Math.sin(Math.toRadians(elevAngle)))* (31*(1 - Math.exp(-(elevAngle/(1+x)))))*Math.sqrt(LR*gammaR) / Math.pow(f,2) - 0.45));
532         //step 8
533         LE = LR *v001;
534         //step 9
535         A001 = LE * gammaR;
536         //step 10
537         if (p>=1 || Math.abs(latitude)>=36){
538             beta = 0;
539         }else if (p<1 && Math.abs(latitude) <36 && elevAngle >=25){
540             beta = -0.005*(Math.abs(latitude)-36);
541         }else {
542             beta = -0.005*(Math.abs(latitude)-36) + 1.8-4.25*Math.sin(Math.toRadians(elevAngle));
543         }
544         Ap = A001*Math.pow(p/0.01,-(0.655+0.033*Math.log(p)-0.045*Math.log(A001)-beta*(1-p)*Math.sin(Math.toRadians(elevAngle))));
545     }
546     return Ap;
547 }
548 }

```

Μέθοδος Rreturn() για τον υπολογισμό του ρυθμού βροχόπτωσης που υπερβαίνει το 0.01% του συνολικού έτους σε [mm/h]. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιούνται τα αρχεία LON_R001.TXT , Lat_R001.TXT και R001.TXT και με Bilinear Interpolation που φαίνεται παρακάτω ο τρόπος λαμβάνουμε τον ρυθμό βροχόπτωσης.

```

815 public static double Rreturn(double longitude,double latitude){
816     double[][] LonR001 = readFile( filename: "LON_R001.TXT");
817     double[][] LatR001 = readFile( filename: "Lat_R001.TXT");
818     double[][] R001 = readFile( filename: "R001.TXT");
819     double q11=0,q12 = 0,q21=0,q22=0,R1=0,R2=0,x2x=0,x1x=0,y1y=0,y2y=0,P=0;
820
821     double[] posValueLon= findClosestNumberLonR001(LonR001,longitude);
822     double[] posValueLat = findClosestValueLatitude(LatR001, columnIndex: 0, latitude);
823     double valueLon=posValueLon[0];
824     int posLon=(int)posValueLon[1];
825     double valueLat=posValueLat[0];
826     int posLat=(int)posValueLat[1];
827     if (valueLon==longitude && valueLat==latitude){
828         return R001[posLat][posLon];
829     }
830     if (valueLon<longitude){
831         q11 = R001[posLat][posLon];
832         q21 = R001[posLat][posLon+1];
833         x1x =Math.abs(valueLon - longitude);
834         x2x =Math.abs(longitude -LonR001[0][(int)posValueLon[1]+1]);
835         R1 = q11*(x2x/0.125)+q21*(x1x/0.125);
836         if (valueLat<latitude){
837             q12 = R001[posLat+1][posLon];
838             q22 = R001[posLat+1][posLon+1];
839             y1y = Math.abs(valueLat - latitude);
840             y2y = Math.abs(LatR001[(int)posValueLat[1]+1][1]-latitude);
841             R2 = q12*(x2x/0.125)+q22*(x1x/0.125);
842             P = R1*(y2y/0.125)+R2*(y1y/0.125);
843         } else if (valueLat>latitude) {
844             q12 = R001[posLat-1][posLon];
845             q22 = R001[posLat-1][posLon+1];
846             y1y = Math.abs(valueLat - latitude);
847             y2y = Math.abs(LatR001[(int)posValueLat[1]-1][1]-latitude);
848             R2 = q12*(x2x/0.125)+q22*(x1x/0.125);
849             P = R1*(y2y/0.125)+R2*(y1y/0.125);
850         } else if (valueLat == latitude) {
851             P=R1;
852         }

```

```

854     if (valueLon>longitude){
855         q11 = R001[posLat][posLon-1];
856         q21 = R001[posLat][posLon];
857         x2x =Math.abs(valueLon-longitude);
858         x1x = Math.abs(longitude -LonR001[0][(int)posValueLon[1]-1]);
859         R1 = q11*(x2x/0.125)+q21*(x1x/0.125);
860         if (valueLat<latitude){
861             q12 = R001[posLat+1][posLon+1];
862             q22 = R001[posLat+1][posLon];
863             y1y = Math.abs(valueLat - latitude);
864             y2y = Math.abs(LatR001[(int)posValueLat[1]+1][1]-latitude);
865             R2 = q12*(x2x/0.125)+q22*(x1x/0.125);
866             P = R1*(y2y/0.125)+R2*(y1y/0.125);
867         } else if (valueLat>latitude) {
868             q12 = R001[posLat-1][posLon+1];
869             q22 = R001[posLat-1][posLon];
870             y1y = Math.abs(valueLat - latitude);
871             y2y = Math.abs(LatR001[(int)posValueLat[1]-1][1]-latitude);
872             R2 = q12*(x2x/0.125)+q22*(x1x/0.125);
873             P = R1*(y2y/0.125)+R2*(y1y/0.125);
874         } else if (valueLat == latitude) {
875             P=R1;
876         }
877     }
878
879     if(valueLon == longitude && valueLat != latitude){
880         q11=R001[posLat][posLon];
881         if (valueLat < latitude) {
882             q12 = R001[posLat + 1][posLon];
883             y1y = Math.abs(valueLat - latitude);
884             y2y = Math.abs(LatR001[(int)posValueLat[1]+1][1]-latitude);
885             P = q11*(y2y/0.125)+q12*(y1y/0.125);
886         }else if (valueLat > latitude){
887             q12 = R001[posLat - 1][posLon];
888             y1y = Math.abs(valueLat - latitude);
889             y2y = Math.abs(LatR001[(int)posValueLat[1]-1][1]-latitude);
890             P = q11*(y2y/0.125)+q12*(y1y/0.125);
891         }
892     }
893     return P;
894 }

```

Μέθοδος gammaR() για τον υπολογισμό της ειδικής εξασθένισης.

```

895 public static double gammaR(double theta,double Rp,double f,double tau){
896     double[] a ={-5.33980, -0.35351, -0.23789, -0.94158};
897     double[] b ={-0.10008, 1.26970, 0.86036, 0.64552};
898     double[] c ={1.13098, 0.45400, 0.15354, 0.16817};
899     double mk = -0.18961;
900     double ck = 0.71147;
901     double kH = a[0]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b[0])/c[0],2))+a[1]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b[1])/c[1],2))
902         +a[2]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b[2])/c[2],2))+a[3]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b[3])/c[3],2))
903         +mk*Math.Log10(f)+ck;
904     kH=Math.pow(10,kH);
905
906     double[] a1={-3.80595, -3.44965, -0.39982, 0.50167};
907     double[] b1={ 0.56934, -0.22911, 0.73042, 1.07319};
908     double[] c1={0.81061, 0.51059, 0.11899, 0.27195};
909     double mk1=-0.16398;
910     double ck1=0.63297;
911     double kV;
912     kV=a1[0]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b1[0])/c1[0],2))+a1[1]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b1[1])/c1[1],2))
913         +a1[2]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b1[2])/c1[2],2))+a1[3]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b1[3])/c1[3],2))
914         +mk1*Math.Log10(f)+ck1;
915     kV=Math.pow(10,kV);
916
917     double[] a2={-0.14318,0.29591,0.32177,-5.37610,16.1721};
918     double[] b2={1.82442, 0.77564, 0.63773,-0.96230,-3.29980};
919     double[] c2={-0.55187, 0.19822, 0.13164, 1.47828, 3.43990};
920     double ma=0.67849;
921     double ca= -1.95537;
922     double aH;
923     aH=a2[0]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b2[0])/c2[0],2))+a2[1]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b2[1])/c2[1],2))
924         +a2[2]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b2[2])/c2[2],2))+a2[3]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b2[3])/c2[3],2))
925         +a2[4]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b2[4])/c2[4],2))+ma*Math.Log10(f)+ca;
926
927     double[] a3={-0.07771,0.56727, -0.20238,-48.2991,48.5833};
928     double[] b3={2.33840,0.95545,1.14520,0.791669,0.791459};
929     double[] c3={-0.76284,0.54039,0.26809,0.116226,0.116479};
930     double ma1=-0.053739;
931     double ca1= 0.83433;
932     double aV;
933     aV=a3[0]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b3[0])/c3[0],2))+a3[1]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b3[1])/c3[1],2))
934         +a3[2]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b3[2])/c3[2],2))+a3[3]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b3[3])/c3[3],2))
935         +a3[4]*Math.exp(-Math.pow((Math.Log10(f)-b3[4])/c3[4],2))+ma1*Math.Log10(f)+ca1;
936
937     double k =(kH+kV*(kH-kV)*Math.pow(Math.cos(Math.toRadians(theta)), 2)*Math.cos(Math.toRadians(2*tau)))/2;
938     double aa=(kH*aH+kV*aV*(kH*aH-kV*aV)*Math.pow(Math.cos(Math.toRadians(theta)),2)*Math.cos(Math.toRadians(2*tau)))/(2*k);
939     double gamma_R=k*Math.pow(Rp,aa);
940     return gamma_R;
941 }

```

Παράδειγμα για την δημιουργία γραφήματος. Παρακάτω φαίνεται ο τρόπος δημιουργίας γραφήματος των απωλειών μονοπατιού ελευθέρου χώρου (FSPL) σε σχέση με την απόσταση (Distance).

```
105     public void onFsplDistance(){
106         chart.getData().clear();
107         x.setLabel("Distance (km)");
108         y.setLabel("FSPL (dB)");
109         XYChart.Series s = new XYChart.Series();
110         XYChart.Series s1 = new XYChart.Series();
111         try {
112             for (double i = 0.1; i < 100; i += 6.5) {
113                 double x = Model.getInstance().getViewFactory().fspl(i);
114                 double y = Model.getInstance().getViewFactory().fspl2(i);
115                 s.getData().add(new XYChart.Data(i, x));
116                 s1.getData().add(new XYChart.Data(i, y));
117             }
118             chart.getData().add(s);
119             chart.setLegendVisible(false);
120         } catch (NumberFormatException ex){
121             Alert alert = new Alert(Alert.AlertType.INFORMATION);
122             alert.setTitle("Information Dialog");
123             alert.setHeaderText(null);
124             alert.setContentText("Some TextFields are empty ");
125             alert.showAndWait();
126         }
127     }
128 }
```