



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΜΠΟΔΙΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΕΛΛΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Δρ. Βαρζάκας Παναγιώτης

Καθηγητής Α' βαθμίδας, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Λαμία 2023 – 2024



SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

RADIO COVERAGE STATISTICAL MODELS IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS IN A PROPAGATION ENVIRONMENT WITH OBSTACLES

GEORGIOS BELLOS

FINAL THESIS

ADVISOR

Dr. Varzakas Panagiotis

Professor

University of Thessaly

Department of Computer Science and Telecommunications

Lamia 2023 – 2024

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.

2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία

3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια.

4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: ...23.../...3.../2024....
Ο – Η Δηλ.

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία εξετάζει τα στατιστικά μοντέλα ραδιοκάλυψης που εφαρμόζονται στα συστήματα κινητών επικοινωνιών, με ιδιαίτερη έμφαση στα προβλήματα διάδοσης του σήματος σε περιβάλλοντα με εμπόδια. Παρουσιάζεται η δομή και οι βασικές λειτουργίες των κινητών συστημάτων, αναλύονται τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοση και την αξιοπιστία τους, όπως το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση, η αξιοπιστία, και η κάλυψη. Κεντρικό ρόλο στην εργασία έχουν τα μοντέλα Okumura-Hata και COST-231 Hata, τα οποία είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα για την πρόβλεψη της απώλειας διαδρομής του σήματος σε διάφορα αστικά, προαστιακά και αγροτικά περιβάλλοντα. Τα μοντέλα αυτά προσαρμόζουν τις αρχικές μετρήσεις σε μαθηματικές εξισώσεις που λαμβάνουν υπόψη παραμέτρους όπως η συχνότητα, το ύψος της κεραίας, και η απόσταση, βοηθώντας έτσι στον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των δικτύων.

Abstract

The thesis examines statistical radio coverage models applied to mobile communication systems, with particular emphasis on signal propagation issues in environments with obstacles. It presents the structure and basic functions of mobile systems, analyzes the characteristics that affect their performance and reliability, such as bandwidth, latency, reliability, and coverage. The Okumura-Hata and COST-231 Hata models play a central role in this work, as they are widely used for predicting signal path loss in various urban, suburban, and rural environments. These models adapt initial measurements into mathematical equations that consider parameters such as frequency, antenna height, and distance, thus aiding in the design and optimization of networks.

Κεφάλαιο 1ο

Συστήματα κινητών επικοινωνιών

Η σύγχρονη κοινωνία έχει εξελιχθεί σε έναν κόσμο συνδεδεμένο μέσω των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, αποτελώντας τον θεμέλιο λίθο για την αλληλεπίδραση και την επικοινωνία. Σε αυτό το πλαίσιο, η προχωρημένη μελέτη των συστημάτων αυτών αποκαλύπτει την σύνθεσή τους, τα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ξεχωριστά και τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουν. Από την δομή τους, που επικεντρώνεται στα εκτεταμένα δίκτυα, μέχρι τις προκλήσεις της αποτελεσματικής μετάδοσης σημάτων, αυτά τα συστήματα διαμορφώνουν το ψηφιακό περιβάλλον. Αναλύοντας τον θεμέλιο ρόλο τους, αναδεικνύεται η κρίσιμη συμβολή τους στην καθημερινότητά μας, αποτελώντας παράλληλα τον καταλύτη για την συνεχή εξέλιξη των επικοινωνιακών δεικτών της κοινωνίας.

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών αποτελούνται από πολύπλοκες δομές που επιτρέπουν την ασύρματη μετάδοση δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ κινητών συσκευών.

1. Κινητά τερματικά (Mobile Terminals): Είναι οι συσκευές που χρησιμοποιούν οι χρήστες. Όπως κινητά τηλέφωνα, smartphones κ.λπ.
2. Βάσεις Σταθμών (Base Stations): Είναι σταθμοί που διαχειρίζονται τις ασύρματες συνδέσεις με τα κινητά τερματικά. Κάθε βάση σταθμού εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη περιοχή, γνωστή ως «κύτταρο».
3. Δίκτυο κινητής επικοινωνίας (Mobile Network): Αποτελείται από τις βάσεις σταθμούς, το κεντρικό σύστημα ελέγχου (Mobile Switching Center), και άλλες υποδομές που διασφαλίζουν την λειτουργία του δικτύου.
4. Δίκτυο πρόσβασης (Access Network): Συνδέει τα κινητά τερματικά με τον κύριο ελεγκτή μέσω ασύρματων και ενσύρματων τεχνολογιών όπως GSM, 3G, 4G, 5G, Wi-Fi κ.λπ.
5. Διασύνδεση Μεταξύ Δικτύων (Interconnection Network): Επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ διαφορετικών κινητών δικτύων και συστημάτων επικοινωνιών.

Η συνεργασία αυτών των στοιχείων επιτρέπει τη μετάδοση και τη λήψη δεδομένων, τις τηλεφωνικές κλήσεις, την πρόσβαση στο διαδίκτυο και άλλες υπηρεσίες κινητής επικοινωνίας. Η δομή αυτή εξελίσσεται συνεχώς με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών όπως οι γενιές των κινητών (3G, 4G, 5G) για να ανταποκριθεί στις αυξημένες απαιτήσεις των χρηστών.

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών έχουν διάφορα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την απόδοση, την αξιοπιστία και τη λειτουργία τους. Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν:

1. Εύρος Ζώνης (Bandwidth): Το εύρος ζώνης αντιπροσωπεύει την ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν σε ένα δίκτυο κατά μήκος του χρόνου. Η αύξηση του εύρους ζώνης συχνά οδηγεί σε μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης.
2. Καθυστέρηση (Latency): Η καθυστέρηση αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται για να μεταδοθούν δεδομένα από την πηγή στον προορισμό. Η χαμηλή καθυστέρηση είναι

σημαντική για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως οι τηλεφωνικές κλήσεις και τα online παιχνίδια.

3. Αξιοπιστία (Reliability): Η αξιοπιστία αφορά τη σταθερότητα της σύνδεσης και την ικανότητα του συστήματος να διαχειρίζεται πιθανές αποτυχίες ή διακοπές στη μετάδοση.

4. Κάλυψη (Coverage): Η κάλυψη αναφέρεται στην περιοχή εντός της οποίας μπορεί ένα σύστημα να παρέχει σταθερή σύνδεση. Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών προσπαθούν να επεκτείνουν την κάλυψή τους για να εξυπηρετήσουν όσο το δυνατόν περισσότερες περιοχές.

5. Απόδοση (Performance): Η απόδοση περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες, όπως την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, την αποτελεσματικότητα του συστήματος και την ικανότητα να υποστηρίζει πολλαπλές συνδέσεις ταυτόχρονα.

6. Ασφάλεια (Security): Η ασφάλεια αφορά την προστασία των δεδομένων από ανεπιθύμητη παρακολούθηση ή παρεμβάσεις. Οι σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας περιλαμβάνουν πολλά μέτρα ασφαλείας.

Αυτά τα χαρακτηριστικά παίζουν κρίσιμο ρόλο στην απόδοση και την εμπειρία των χρηστών στα συστήματα κινητών επικοινωνιών. Η συνεχής εξέλιξη σε αυτούς τους τομείς επιτρέπει την αντιμετώπιση των αυξανόμενων απαιτήσεων των χρηστών και την προσφορά υψηλής ποιότητας υπηρεσιών.

Η διάδοση σήματος σε ένα σύστημα κινητών επικοινωνιών αντιμετωπίζει διάφορα προβλήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την αποτελεσματική επικοινωνία. Κάποια από τα κύρια προβλήματα διάδοσης σήματος περιλαμβάνουν:

1. Απώλεια σήματος (Signal Attenuation): Κατά τη διάδοση, το σήμα υποβάλλεται σε απώλειες λόγω της απορρόφησης, ανακλάσεων και διασποράς. Αυτές οι απώλειες μπορούν να επηρεάσουν την ισχύ και την ποιότητα του σήματος.

2. Πολλαπλοί Δρόμοι (Multipath Fading): Κατά τη διάδοση, το σήμα μπορεί να φτάσει στον προορισμό του μέσω πολλαπλών διαδρόμων, προκαλώντας πολλαπλασιαστικές και αποκλίνουσες κυματομορφές, γνωστές ως fading.

3. Θόρυβος (Noise): Ο θόρυβος προέρχεται από πολλές πηγές, όπως ηλεκτρονικές συσκευές, άλλα σήματα και παρεμβολές. Ο θόρυβος επηρεάζει την ποιότητα του σήματος και την ικανότητα ανίχνευσης του.

4. Σκίαση (Shadowing): Η σκίαση προκαλείται από τα εμπόδια μεταξύ του πομπού και του δέκτη, όπως κτίρια ή φυσικά στοιχεία. Η σκίαση μπορεί να δημιουργήσει περιοχές με χαμηλή ή μηδενική λήψη σήματος.

5. Διασπορά (Dispersion): Η διασπορά είναι η εκτέλεση του σήματος με διαφορετικές ταχύτητες, προκαλώντας παραμορφώσεις. Η διασπορά είναι ειδικά σημαντική σε ψηφιακά σήματα.

6. Παρεμβολή (Interference): Η παρεμβολή προκαλείται όταν άλλα σήματα επικαλύπτονται με το επιθυμητό σήμα, δημιουργώντας παρεμβάσεις και μειώνοντας την ποιότητα της επικοινωνίας.

Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων απαιτεί τη χρήση πολύπλοκων τεχνικών και τεχνολογιών, όπως κωδικοποίηση σήματος, αντιστάθμιση πολλαπλών δρόμων, και άλλα μέσα για την εξασφάλιση αξιόπιστης και αποτελεσματικής επικοινωνίας σε ασύρματα δίκτυα.

Κεφάλαιο 2ο

Το μοντέλο Okumura- Hata

Το μοντέλο Okumura-Hata, που συχνά αναφέρεται ως μοντέλο Hata, είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος εμπειρικός τύπος για την πρόβλεψη της απώλειας διαδρομής σε αστικές, προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Προέρχεται από εκτενείς εμπειρικές μετρήσεις που διεξήγαγε ο Υ. Okumura και βελτιώθηκε περαιτέρω από τον Μ. Hata. Το μοντέλο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον σχεδιασμό δικτύων κινητής τηλεφωνίας και έχει εφαρμοστεί εκτενώς στο σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση συστημάτων κινητής επικοινωνίας. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια λεπτομερή ανάλυση του μοντέλου Okumura-Hata, συμπεριλαμβανομένης της διατύπωσης, της εφαρμογής, των δυνατοτήτων και των περιορισμών του.

Το μοντέλο Okumura-Hata, που προέρχεται από εκτενείς μετρήσεις, προσφέρει μια ρεαλιστική προσέγγιση για την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής σε αστικές περιοχές. Αυτό το μοντέλο προσαρμόζει τα αρχικά δεδομένα του Okumura σε έναν υπολογιστικό τύπο κατάλληλο για διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των προαστιακών και αγροτικών περιβαλλόντων, εισάγοντας διορθωτικούς παράγοντες που αντιστοιχούν σε διαφορετικές πυκνότητες εδάφους και εμποδίων. Το μοντέλο χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της ισορροπίας μεταξύ πολυπλοκότητας και ακρίβειας, καθιστώντας το ακρογωνιαίό λίθο στο σχεδιασμό κινητής επικοινωνίας [1]

Διατύπωση του μοντέλου Okumura-Hata

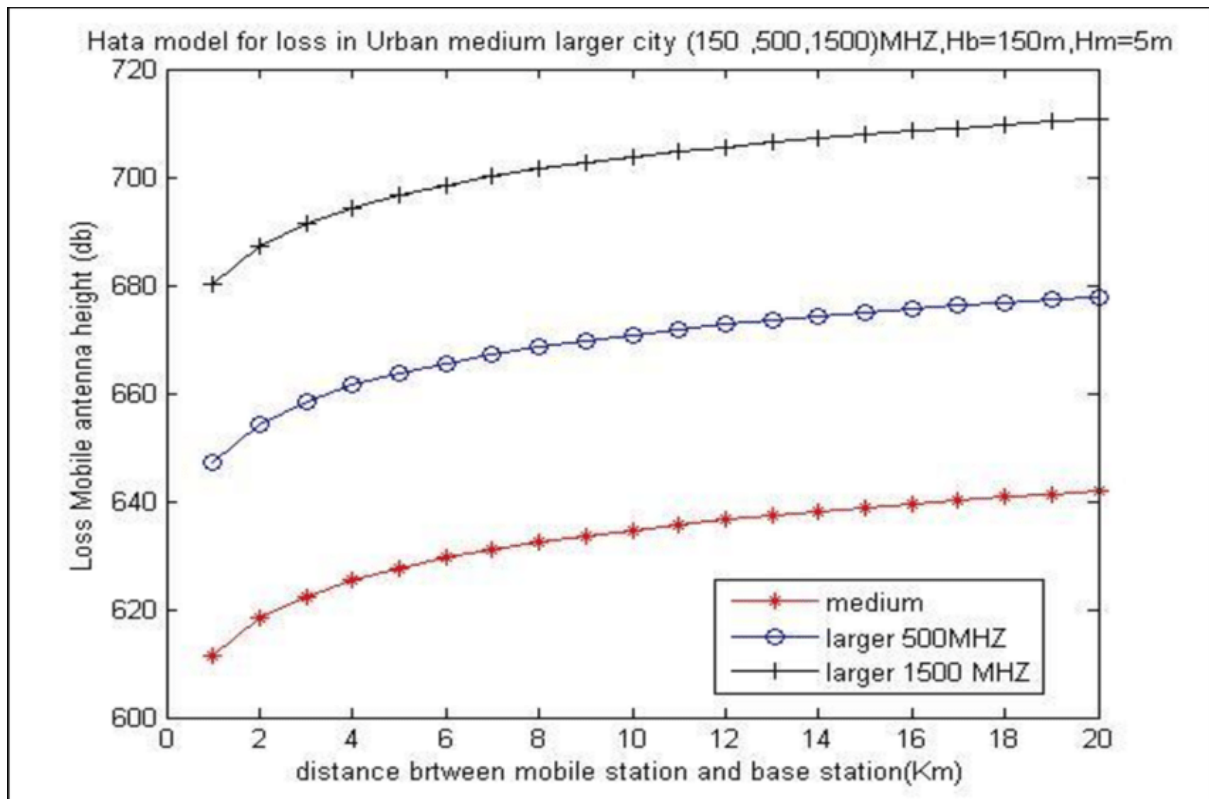
Το μοντέλο Okumura-Hata είναι μια επέκταση του αρχικού μοντέλου Okumura, το οποίο βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα που συλλέγονται σε διάφορα περιβάλλοντα. Το μοντέλο Hata παρέχει ένα σύνολο εξισώσεων για την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής σε διαφορετικά περιβάλλοντα:

Αστικές περιοχές:

$$L_{\text{urban}} = \frac{69.55 + 26.16}{\log_{10}(f)} - \frac{13.82}{\log_{10}(h_b)} - a(h_m) + \frac{\text{left}(44.9 - 6.55)\log_{10}(h_b)\text{right}}{\log_{10}(d)} \quad (1)$$

οπου:

- f είναι η συχνότητα μετάδοσης σε MHz (150 MHz to 1500 MHz).
- h_b είναι το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης σε μέτρα (30m to 200m).
- h_m είναι το ύψος της κεραίας του κινητού σταθμού σε μέτρα (1m to 10m).
- d είναι η απόσταση μεταξύ του σταθμού βάσης και του κινητού σταθμού σε χιλιόμετρα (1km to 20km).



Σχήμα 1 Μοντέλο Hata για απώλεια σε προαστιακή συχνότητα και απόσταση

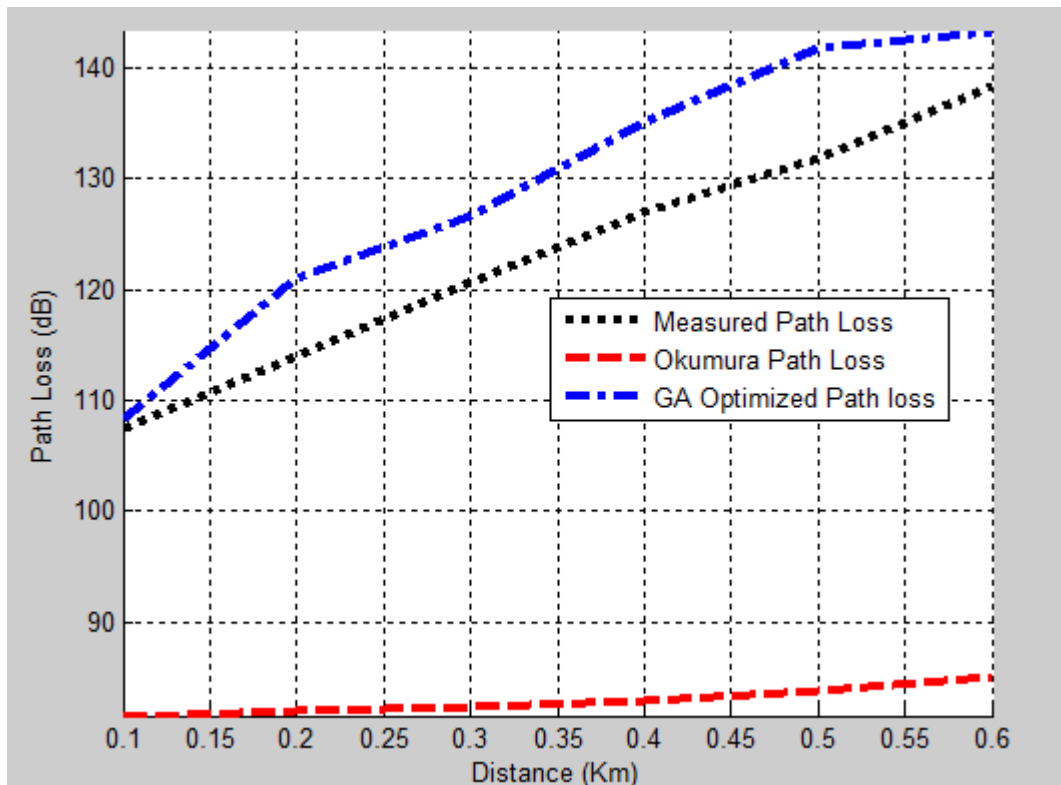
Προαστιακές περιοχές:

$$a(h_m) = 3.2 (\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97 \quad (2)$$

Αγροτικές περιοχές:

$$a(h_m) = \left(\frac{1.1}{\log_{10}(f) - 0.7} \right) h_m - \frac{1.56}{\log_{10}(f) - 0.8} \quad (3)$$

Αυτές οι εξισώσεις επιτρέπουν στους σχεδιαστές δικτύων να εκτιμήσουν την απώλεια διαδρομής σε διαφορετικά εδάφη και περιβάλλοντα, διευκολύνοντας τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη δικτύων κινητής επικοινωνίας.



Σχήμα 2 Pathloss των τιμών του μετρημένου, του βελτιστοποιημένου GA και του μοντέλου Okumura-Hata σε σχέση με την απόσταση για το σταθμό βάσης LTE 1

Εφαρμογή του μοντέλου Okumura-Hata

Το μοντέλο Okumura-Hata χρησιμοποιείται κυρίως στο σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των κυψελοειδών δικτύων. Οι εφαρμογές του περιλαμβάνουν:

Σχεδιασμός Κάλυψης:

Προσδιορισμός της περιοχής κάλυψης των σταθμών βάσης.

Εκτίμηση της ισχύος του σήματος σε διάφορες αποστάσεις από το σταθμό βάσης.

Σχεδιασμός συχνότητας:

Αξιολόγηση της επίδρασης διαφορετικών συχνοτήτων στην απώλεια διαδρομής.

Βελτιστοποίηση μοτίβων επαναχρησιμοποίησης συχνότητας για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών.

Πρόβλεψη χωρητικότητας:

Αξιολόγηση των απαιτήσεων χωρητικότητας με βάση τη διανομή του χρήστη και την ποιότητα του σήματος.

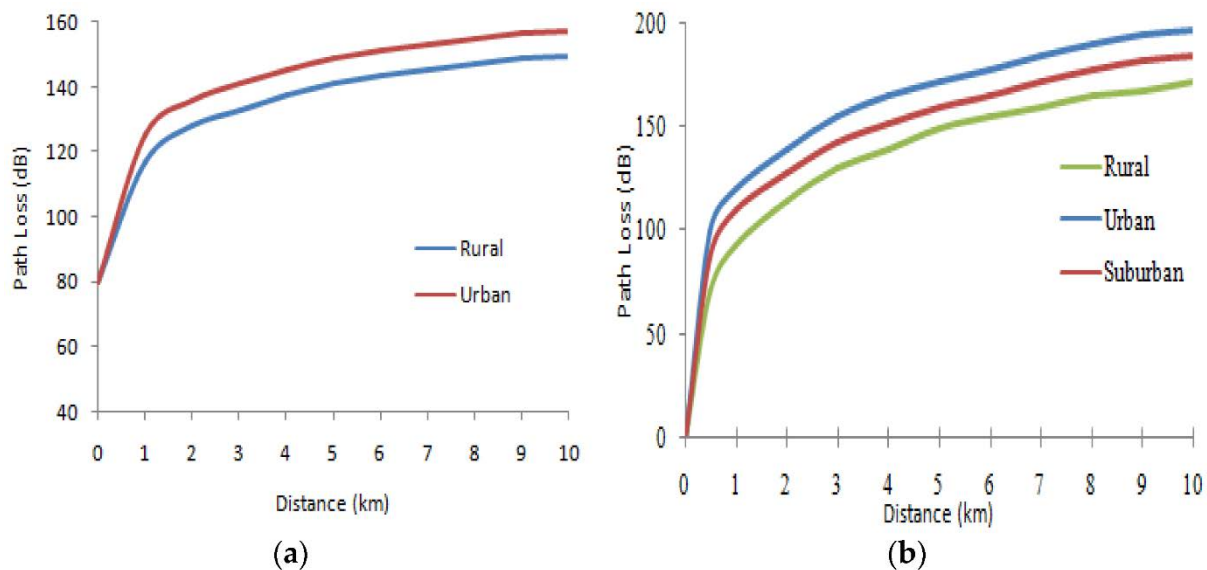
Εξασφάλιση επαρκούς κάλυψης και χωρητικότητας για αστικές, προαστιακές και αγροτικές περιοχές.

Βελτιστοποίηση δικτύου:

Ρύθμιση ύψους κεραίας και ισχύος πομπού για ενίσχυση της κάλυψης.

Βελτιστοποιήστε τις παραμέτρους δικτύου για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης.

Δυνατά σημεία του μοντέλου Okumura-Hata



Σχήμα 3 Επίδραση της απόστασης και του τύπου του μέσου στη διάδοση: (α) Κόστος 231 μοντέλο Hata. (β) Μοντέλο Okumura-Hata.

Το μοντέλο Okumura-Hata έχει πολλά πλεονεκτήματα που το καθιστούν μια προτιμώμενη επιλογή για τον προγραμματισμό δικτύου:

Εμπειρικό Ίδρυμα:

Το μοντέλο βασίζεται σε εκτενή εμπειρικά δεδομένα, παρέχοντας αξιόπιστες και ακριβείς προβλέψεις απώλειας διαδρομής για διάφορα περιβάλλοντα.

Απλότητα:

Οι εξισώσεις του μοντέλου είναι σχετικά απλές και εύχρηστες, επιτρέποντας γρήγορους υπολογισμούς και ανάλυση.

Ευστροφία:

Μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και περιβαλλόντων, καθιστώντας το κατάλληλο για διαφορετικούς τύπους κυψελοειδών δικτύων.

Αποδοχή κλάδου:

Το μοντέλο Okumura-Hata είναι ευρέως αποδεκτό και χρησιμοποιείται στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών, διασφαλίζοντας συνέπεια στο σχεδιασμό και το σχεδιασμό του δικτύου.

Περιορισμοί του μοντέλου Okumura-Hata

Παρά τα δυνατά του σημεία, το μοντέλο Okumura-Hata έχει ορισμένους περιορισμούς:

Εύρος συχνότητας:

Το μοντέλο περιορίζεται σε συχνότητες μεταξύ 150 MHz και 1500 MHz, οι οποίες ενδέχεται να μην καλύπτουν όλα τα σύγχρονα συστήματα επικοινωνίας.

Περιβαλλοντική ιδιαιτερότητα:

Η ακρίβεια του μοντέλου μπορεί να επηρεαστεί από συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το έδαφος, το φύλλωμα και τα κτίρια, οι οποίοι δεν υπολογίζονται ρητά στις εξισώσεις.

Περιορισμοί ύψους κεραίας:

Το μοντέλο υποθέτει συγκεκριμένα εύρη για ύψη κεραίας σταθμού βάσης και κινητού σταθμού, τα οποία μπορεί να μην είναι πάντα εφαρμόσιμα σε σενάρια πραγματικού κόσμου.

Η μέθοδος που προτείνεται από τους Okumura, Ohmori και Kawano ενσωματώνει εμπειρικά δεδομένα που συλλέγονται από εκτεταμένες μετρήσεις πεδίου. Αναλύοντας τη διάδοση του σήματος σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τις διακυμάνσεις του εδάφους, της κτιριακής πυκνότητας και της βλάστησης. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση επιτρέπει την ακριβή πρόβλεψη της ισχύος του ραδιοφωνικού σήματος κινητής τηλεφωνίας, η οποία είναι κρίσιμη για το σχεδιασμό αποτελεσματικών δικτύων επικοινωνίας [2]

Στατική φύση:

Το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη δυναμικούς παράγοντες όπως η κινητικότητα των χρηστών, οι καιρικές συνθήκες και οι διακυμάνσεις της ώρας της ημέρας, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος.

Το μοντέλο Okumura-Hata παραμένει ακρογωνιαίος λίθος στον τομέα της ασύρματης επικοινωνίας, παρέχοντας βασικά εργαλεία για τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των κυψελοειδών δικτύων. Η εμπειρική του βάση, η απλότητα και η ευελιξία του το καθιστούν ανεκτίμητο για την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής σε διάφορα περιβάλλοντα. Ωστόσο, οι σχεδιαστές δικτύων πρέπει να γνωρίζουν τους περιορισμούς του και να εξετάσουν πρόσθετους παράγοντες και μοντέλα για να επιτύχουν τα πιο ακριβή και αποτελεσματικά αποτελέσματα σχεδιασμού δικτύου. Καθώς το τοπίο των τηλεπικοινωνιών εξελίσσεται, η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη είναι ουσιαστικής σημασίας για τη βελτίωση και την επέκταση των δυνατοτήτων των μοντέλων απώλειας διαδρομής όπως το Okumura-Hata για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των σύγχρονων και μελλοντικών συστημάτων επικοινωνίας.

Κεφάλαιο 3ο

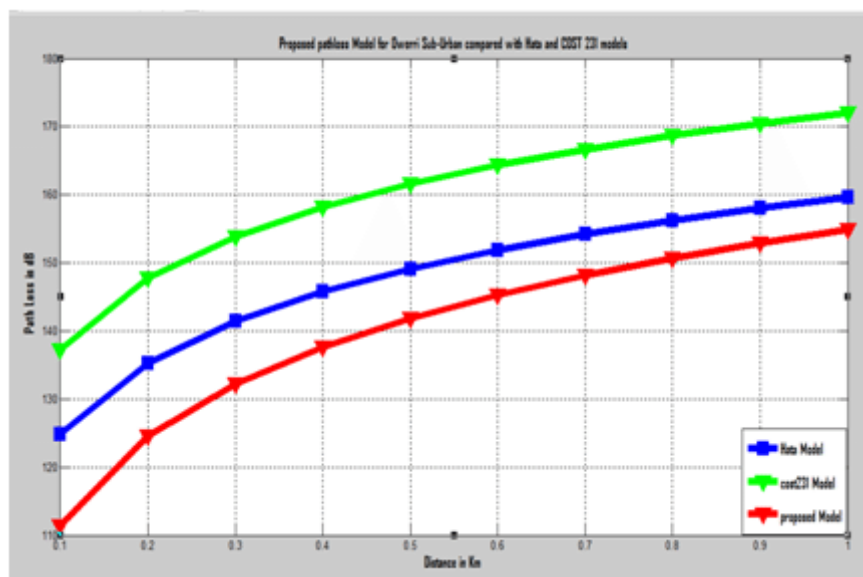
Το μοντέλο COST-231 Hata

Το μοντέλο COST-231 Hata αποτελεί ένα από τα πλέον καταξιωμένα μοντέλα για την πρόβλεψη της διάδοσης σήματος σε κινητά δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Αρχικά αναπτύχθηκε από την Επιτροπή Τεχνικών Συμβουλών (COST) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής τη δεκαετία του 1980 και έκτοτε έχει εδραιωθεί ως ένα ευρέως αποδεκτό εργαλείο για μηχανικούς τηλεπικοινωνιών σε όλο τον κόσμο.

Οι προβλέψεις του COST-231 Hata καλύπτουν μια ευρεία γκάμα παραμέτρων που επηρεάζουν τη διάδοση σημάτων, όπως η συχνότητα λειτουργίας, το ύψος των κτιρίων και η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Χρησιμοποιείται ευρέως για τη σχεδίαση και τη βελτιστοποίηση κυψελωτών δικτύων, καθώς και για την ανάλυση κάλυψης και ποιότητας σε διάφορα περιβάλλοντα.

Παρόλο που το COST-231 Hata έχει αποδειχθεί αξιόπιστο σε πολλές εφαρμογές, παρουσιάζει και ορισμένους περιορισμούς, ιδίως σε περιβάλλοντα με έντονη παρεμβολή και σε υψηλές συχνότητες λειτουργίας.

Το μοντέλο COST-231 Hata αναπτύχθηκε από τον Prof. Yoshihisa Okumura το 1980 στο πλαίσιο της Επιτροπής Τεχνικών Συμβουλών (COST) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, με στόχο την ανάπτυξη ενός μοντέλου για την πρόβλεψη της διάδοσης σήματος σε κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Στη συνέχεια, το μοντέλο επεκτάθηκε και βελτιώθηκε από τους καθηγητές David Falconer και John Parsons.



Σχήμα 4 Σύγκριση του μοντέλου Hata, του μοντέλου COST 231 και του προτεινόμενου μοντέλου για το προάστιο Owerri

Από τότε, το COST-231 Hata έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών και έχει γίνει ένα από τα πιο δημοφιλή μοντέλα για την πρόβλεψη της κάλυψης σε κυψελωτά δίκτυα. Η συνεχής ανάπτυξη του οδήγησε σε διάφορες εκδοχές του μοντέλου, καθώς και σε προσαρμογές για διάφορα περιβάλλοντα, όπως αστικά, υπαίθρια και υπογεία περιβάλλοντα, καθώς και σε διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας.

Κατά τη δεκαετία του '90, το μοντέλο COST-231 Hata συνέχισε να αποτελεί ένα από τα κύρια εργαλεία για την πρόβλεψη και τον σχεδιασμό κυψελωτών δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Κατά τη δεκαετία αυτή, παρατηρήθηκε μια γενικευμένη επέκταση της χρήσης των κινητών τηλεπικοινωνιών σε παγκόσμιο επίπεδο, ιδιαίτερα με την έλευση των δικτύων 2G και την εξέλιξη προς τα 3G συστήματα.

Κατά τη δεκαετία του '90, το μοντέλο COST-231 Hata εφαρμόστηκε ευρέως σε πολλές εφαρμογές, τα κυριότερα κινητά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα βασίζονταν στην τεχνολογία 2G (GSM, CDMA κλπ.). Το μοντέλο COST-231 Hata χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη αυτών των δικτύων, βοηθώντας στην πρόβλεψη της κάλυψης και της χωρητικότητας.

Η τεχνολογία 3G, από την άλλη άρχισε να αναπτύσσεται και να εφαρμόζεται. Το μοντέλο COST-231 Hata χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των πρώτων δικτύων 3G, βοηθώντας στην πρόβλεψη των απαιτήσεων κάλυψης και χωρητικότητας. Παράλληλα, είδαμε επίσης μια εξέλιξη στην τεχνολογία των κεραιών, με νέες και βελτιωμένες κεραιές που αντικατέστησαν τις παλαιότερες. Το μοντέλο COST-231 Hata χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει την απόδοση αυτών των νέων κεραιών και να βοηθήσει στον σχεδιασμό των αντίστοιχων δικτύων.

Κατά τη δεκαετία του 2000, το μοντέλο COST-231 Hata συνέχισε να έχει σημαντική επίδραση στην βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών, ενώ παράλληλα προσαρμόστηκε και εξελίχθηκε για να αντιμετωπίσει τις ανάγκες των αυξανόμενων απαιτήσεων σε κινητές επικοινωνίες και νέες τεχνολογίες.

Κατά τη δεκαετία, λοιπόν του 2000, επεκτάθηκαν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας σε όλο τον κόσμο με την εισαγωγή των τεχνολογιών 3G και 4G. Το μοντέλο COST-231 Hata εφαρμόστηκε για την πρόβλεψη της κάλυψης και της χωρητικότητας αυτών των νέων δικτύων και για τον σχεδιασμό των αντίστοιχων κεραιών.

Με την αύξηση της ζήτησης για υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και καλύτερη κάλυψη, οι κατασκευαστές κεραιών εξέλιξαν την τεχνολογία τους. Το μοντέλο COST-231 Hata χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της απόδοσης και της κάλυψης αυτών των νέων κεραιών.

Τέλος, έγινε μια αυξημένη ευαισθητοποίηση για το περιβάλλον και τις επιπτώσεις της κινητής τηλεφωνίας σε αυτό. Το μοντέλο COST-231 Hata χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει τις επιπτώσεις των δικτύων τηλεπικοινωνιών στο περιβάλλον και να βοηθήσει στην ανάπτυξη περιβαλλοντικά φιλικών λύσεων.

Η συχνότητα λειτουργίας του σήματος είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τη διάδοση του σήματος σε ένα κινητό δίκτυο. Η συχνότητα εκφράζει τον αριθμό των κύκλων του σήματος που παράγονται κάθε δευτερόλεπτο και μετρείται σε Hertz (Hz). Συνήθως, στα κινητά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, η συχνότητα λειτουργίας κυμαίνεται από μερικές δεκάδες MHz έως μερικά GHz.

Υψηλότερες συχνότητες έχουν την τάση να έχουν μικρότερη εμβέλεια σε σύγκριση με χαμηλότερες συχνότητες. Αυτό συμβαίνει επειδή τα υψηλότερα σήματα είναι περισσότερο επηρεασμένα από την απορρόφηση από το περιβάλλον και τις απώλειες σήματος.

Ο εμπειρικός τύπος των Yano et al. για την πρόβλεψη απώλειας διάδοσης ενισχύει σημαντικά την ακρίβεια της μοντελοποίησης της συμπεριφοράς του σήματος σε διάφορα εδάφη. Με την ενσωμάτωση εκτεταμένων δεδομένων μέτρησης, ο τύπος αντιμετωπίζει τόσο τις συνθήκες οπτικής επαφής όσο και τις συνθήκες που δεν είναι ευθεία. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση επιτρέπει πιο αξιόπιστες προβλέψεις, οι οποίες είναι κρίσιμες για το σχεδιασμό ισχυρών δικτύων κινητής τηλεφωνίας που μπορούν να χειριστούν αποτελεσματικά τις προκλήσεις που τίθενται από διαφορετικά περιβάλλοντα [3]

Σε υψηλότερες συχνότητες, το σήμα απορροφάται περισσότερο από τα εμπόδια όπως τα κτίρια, τα δέντρα και άλλα αντικείμενα, μειώνοντας έτσι την εμβέλειά του. Το σήμα, όμως, είναι πιο ευάλωτο στον θόρυβο περιβάλλοντος, όπως το θόρυβο από ηλεκτρονικές συσκευές και άλλες πηγές, που μπορεί να περιορίσει την ποιότητα της επικοινωνίας. Τα κανάλια είναι πιο στενά και επιρρεπή σε περισσότερο φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών (multipath), που μπορεί να προκαλέσουν περισσότερα προβλήματα διαμόρφωσης σήματος.

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου COST-231 Hata, η συχνότητα λειτουργίας λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της απώλειας σήματος και της κάλυψης σε ένα κινητό δίκτυο. Η κατανόηση της συχνότητας λειτουργίας είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη αποτελεσματικών κινητών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων

Η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος σε ένα κινητό δίκτυο. Καθώς η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη αυξάνεται, η ισχύς του σήματος μειώνεται συνήθως στον ελεύθερο χώρο. Αυτή η απώλεια οφείλεται στη διάδοση του σήματος σε όλες τις κατευθύνσεις από τον πομπό.

Η ανάπτυξη του εμπειρικού τύπου από τους Yano et al. αντιπροσωπεύει σημαντική πρόοδο στον τομέα της κινητής ραδιοεπικοινωνίας. Ο τύπος ενσωματώνει βασικές περιβαλλοντικές μεταβλητές όπως η αστική πυκνότητα, το φύλλωμα και το ύψος του κτιρίου, που επηρεάζουν την εξασθένηση του σήματος. Αυτή η λεπτομερής εξέταση των περιβαλλοντικών παραγόντων έχει ως αποτέλεσμα ένα πιο ακριβές και πρακτικό εργαλείο για τους μηχανικούς για χρήση στην ανάπτυξη και βελτιστοποίηση συστημάτων κινητής επικοινωνίας σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές. (3)

Επιπλέον από τη γεωμετρική απώλεια ελεύθερου χώρου, η απόσταση επηρεάζει επίσης την απορρόφηση του σήματος από το περιβάλλον, όπως τα κτίρια, τα δέντρα και άλλα εμπόδια. Παράλληλα, αυξάνεται και η πιθανότητα να εμφανιστούν φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών, όπου το σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω διαφορετικών διαδρομών με διαφορετικά χρονικά και φάσματα καθυστέρησης. Οι απώλειες λόγω εδάφους αυξάνονται με την αύξηση της απόστασης, καθώς το σήμα διανύει μεγαλύτερη διαδρομή μέσα από το έδαφος.

Κατά τον υπολογισμό της κάλυψης και της ποιότητας της επικοινωνίας σε ένα κινητό δίκτυο, η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη θεωρείται σημαντικός παράγοντας. Η κατανόηση της επίδρασης της απόστασης είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη αποτελεσματικών κινητών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Απο την άλλη, το ύψος του πομπού (h_t) όσο και του δέκτη (h_r) επηρεάζουν σημαντικά τη διάδοση του σήματος σε ένα κινητό δίκτυο. Όταν ο πομπός τοποθετείται σε μεγαλύτερο ύψος, το σήμα μπορεί να φθάσει σε μεγαλύτερες αποστάσεις λόγω μειωμένων απωλειών σήματος λόγω εμποδίων όπως κτίρια και δέντρα. Ένας υψηλός πομπός μειώνει τον αριθμό των πολλαπλών διαδρομών που μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές στο σήμα. Το ύψος του πομπού μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του σήματος και να μειώσει την πιθανότητα παρεμβολών.

Ενώ όταν δέκτης τοποθετείται σε υψηλότερο ύψος, μπορεί να λάβει το σήμα με μεγαλύτερη ισχύ και μειωμένη παρεμβολή. Ένας υψηλός δέκτης μπορεί να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης πολλαπλών διαδρομών, προσφέροντας πιο σταθερή λήψη. Τέλος η τοποθέτηση του δέκτη σε υψηλό ύψος μπορεί να μειώσει τις απώλειες σήματος λόγω εμποδίων στο έδαφος.

Ο τύπος του εδάφους (ή ο κατάλληλος συντελεστής εδάφους, K) είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη διάδοση του σήματος σε ένα κινητό δίκτυο. Ενώ έχουν διαφορετική ικανότητα ανακλάσεων και απορροφήσεων, που επηρεάζουν τη διασπορά και την απώλεια του σήματος.

Μπορούν επίσης να προκαλέσουν διαφορετικά επίπεδα ανακλάσεων και διάδοσης του σήματος. Για παράδειγμα, ένα σκληρό έδαφος μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες ανακλάσεις σε σύγκριση με ένα μαλακό έδαφος.

Ορισμένα εδάφη απορροφούν περισσότερο το σήμα από άλλα. Γενικά, πιο υγρά εδάφη έχουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα σε σύγκριση με πιο ξηρά εδάφη. Ο τύπος του εδάφους επηρεάζει τις απώλειες σήματος λόγω απορρόφησης και ανακλάσεων. Εδάφη με μεγαλύτερη απορροφητικότητα μπορεί να προκαλέσουν μεγαλύτερες απώλειες σήματος σε σχέση με εδάφη με μικρότερη απορροφητικότητα.

Οι ανακλάσεις από το έδαφος μπορούν να είναι διαφορετικές ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Ορισμένα εδάφη μπορεί να προκαλέσουν μεγαλύτερη στάση στο σήμα, ενώ άλλα μπορεί να προκαλέσουν λιγότερη ανακλάση.

Κατά την ανάπτυξη και τη σχεδίαση ενός κινητού τηλεπικοινωνιακού συστήματος, ο τύπος του εδάφους είναι σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη κατά την αξιολόγηση της κάλυψης και της ποιότητας του σήματος. Η κατανόηση του τύπου του εδάφους είναι ουσιώδης για την ανάπτυξη αποτελεσματικών και αξιόπιστων κινητών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Οι συνθήκες περιβάλλοντος επηρεάζουν επίσης τη διάδοση του σήματος σε ένα κινητό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Ας δούμε πώς ορισμένες από αυτές τις συνθήκες επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος:

- **Καιρικές συνθήκες:**
 - **Βροχή και χιόνι:** Η βροχή και το χιόνι μπορούν να απορροφήσουν ή να διασπείρουν το σήμα, μειώνοντας έτσι την ποιότητα της επικοινωνίας.
 - **Ομίχλη:** Αυτός ο παράγοντας μπορεί επίσης να μειώσει την ορατότητα του σήματος, προκαλώντας αύξηση της απώλειας σήματος και μείωση της εμβέλειας.
 - **Κακές καιρικές συνθήκες:** Ακραίες καιρικές συνθήκες όπως θύελλες και τυφώνες μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολές στη διάδοση του σήματος και να προκαλέσουν απώλειες σήματος.
- **Τοπογραφία:**
 - **Βουνά και λόφοι:** Φυσικά εμπόδια όπως τα βουνά και οι λόφοι μπορούν να μπλοκάρουν το σήμα και να δημιουργήσουν σκιές σήματος στην άλλη πλευρά τους.
 - **Κτίρια και δομές:** Τα υψηλά κτίρια και άλλες μεγάλες δομές μπορούν επίσης να μπλοκάρουν ή να απορροφήσουν το σήμα, επηρεάζοντας έτσι την ποιότητα της επικοινωνίας.
- **Παράσιτα Σήματος:**
 - **Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές:** Ηλεκτρικές συσκευές, κεραίες, γραμμές ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και άλλα παράσιτα μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολές στο σήμα, μειώνοντας την ποιότητα της επικοινωνίας.
- **Ατμοσφαιρικές Συνθήκες:**
 - **Θερμοκρασία και υγρασία:** Οι αλλαγές στη θερμοκρασία και την υγρασία μπορούν να επηρεάσουν την πυκνότητα και τη διάδοση του αέρα, επηρεάζοντας έτσι τη διάδοση του σήματος.

Κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός κινητού τηλεπικοινωνιακού δικτύου, οι συνθήκες περιβάλλοντος λαμβάνονται υπόψη για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική κάλυψη και η ποιότητα της επικοινωνίας σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

Τελος, αντηλιακή εκτροπή αναφέρεται στην επίδραση του ηλιακού φωτός στη διάδοση του σήματος σε ένα κινητό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Η φωτεινότητα του ηλιακού φωτός μπορεί να προκαλέσει διασπορά του σήματος και να μειώσει την ορατότητα του σήματος, ειδικά σε περιοχές με έντονο ηλιακό φως.

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει απώλειες σήματος λόγω ανακλάσεων και διασποράς του σήματος από τα σωματίδια του ατμοσφαιρικού φωτός. Η αντηλιακή εκτροπή μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα της επικοινωνίας μέσω της μείωσης της ισχύος του σήματος και της αύξησης του θορύβου. Οι συσκευές του κινητού δικτύου πρέπει να είναι σχεδιασμένες για να αντιμετωπίζουν τις πιθανές παρεμβολές που προκαλούνται από την αντηλιακή εκτροπή, ώστε να διατηρούνται η αξιοπιστία και η απόδοση της επικοινωνίας.

Κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός κινητού τηλεπικοινωνιακού δικτύου, η αντηλιακή εκτροπή είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου σε διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος.

Συναρτήσεις

Υπάρχουν συναρτήσεις που βασίζονται στο μοντέλο COST-231 Hata και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εκτίμησης της εμβέλειας και της ισχύος του σήματος σε ασύρματα δίκτυα. Αυτές οι συναρτήσεις είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Αρχικά, η συνάρτηση COST231_Hata_Path_Loss χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απώλειας μονοπατιού σύμφωνα με το μοντέλο COST-231 Hata. Η απώλεια μονοπατιού είναι η μείωση της ισχύος του σήματος καθώς αυτό διαδίδεται από τον πομπό στο δέκτη μέσω ενός καναλιού διάδοσης. Αυτή η απώλεια εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η απόσταση, η συχνότητα λειτουργίας, οι χαρακτηριστικές παράμετροι του περιβάλλοντος και οι χαρακτηριστικές παράμετροι των κεραίων.

Η συνάρτηση COST231_Hata_Path_Loss λαμβάνει ως είσοδο τα ακόλουθα στοιχεία:

- Συχνότητα Λειτουργίας (σε MHz): Η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος επικοινωνιών.
- Απόσταση (σε χιλιόμετρα): Η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη.
- Ύψος Πομπού (σε μέτρα): Το ύψος της κεραίας του πομπού πάνω από το έδαφος.
- Ύψος Δέκτη (σε μέτρα): Το ύψος της κεραίας του δέκτη πάνω από το έδαφος.
- Τύπος Εδάφους (K-factor): Ένας παράγοντας που αντιπροσωπεύει τις ιδιότητες του εδάφους μεταξύ του πομπού και του δέκτη.

Η συνάρτηση χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα για να υπολογίσει την απώλεια μονοπατιού σύμφωνα με το μοντέλο COST-231 Hata. Αυτό το μοντέλο λαμβάνει υπόψη την ελεύθερη επικοινωνία, την απορρόφηση από το έδαφος και τις ανακλάσεις από κτίρια και άλλα αντικείμενα για τον υπολογισμό της απώλειας σήματος. Στο τέλος, η συνάρτηση επιστρέφει την εκτιμώμενη απώλεια μονοπατιού σε dB.

Έτσι, η συνάρτηση COST231_Hata_Path_Loss επιτρέπει στους μηχανικούς και τους ερευνητές να εκτιμήσουν την απώλεια μονοπατιού με βάση τις παραμέτρους του συστήματος και τις χαρακτηριστικές παραμέτρους του περιβάλλοντος, προκειμένου να σχεδιάσουν αποτελεσματικά ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών.

Η συνάρτηση COST231_Hata_Coverage_Radius, από την άλλη, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης εμβέλειας κάλυψης ενός κινητού τηλεπικοινωνιακού συστήματος βάσει του μοντέλου COST-231 Hata. Η εμβέλεια κάλυψης είναι η μέγιστη απόσταση που μπορεί να επικοινωνήσει μια συσκευή με τη βάση του συστήματος εντός των ορίων ποιότητας του σήματος.

Η συνάρτηση COST231_Hata_Coverage_Radius λαμβάνει ως είσοδο τις παρακάτω παραμέτρους:

- Συχνότητα Λειτουργίας (σε MHz): Η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος επικοινωνιών.
- Ύψος Πομπού (σε μέτρα): Το ύψος της κεραίας του πομπού πάνω από το έδαφος.
- Ύψος Δέκτη (σε μέτρα): Το ύψος της κεραίας του δέκτη πάνω από το έδαφος.
- Τύπος Εδάφους (K-factor): Ένας παράγοντας που αντιπροσωπεύει τις ιδιότητες του εδάφους μεταξύ του πομπού και του δέκτη.
- Επιθυμητός Ελάχιστος Συντελεστής Σήματος-Θορύβου (SNR) (σε dB): Ο ελάχιστος απαιτούμενος SNR για αξιόπιστη επικοινωνία.

Η συνάρτηση χρησιμοποιεί αυτές τις παραμέτρους για να υπολογίσει την εκτιμώμενη εμβέλεια κάλυψης, δηλαδή την μέγιστη απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη που εξακολουθεί να επιτρέπει μια αξιόπιστη επικοινωνία με βάση τον προκαθορισμένο SNR.

Συνήθως, η εμβέλεια κάλυψης χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η σχεδίαση του δικτύου και να διασφαλιστεί ότι όλες οι περιοχές που απαιτούνται να καλυφθούν έχουν επαρκή σήμα. Η ακρίβεια της εκτίμησης εξαρτάται από την καταλληλότητα του μοντέλου COST-231 Hata για τις συγκεκριμένες συνθήκες διάδοσης και το περιβάλλον.

Η συνάρτηση COST231_Hata_Power_Attenuation χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μείωσης της ισχύος του σήματος με βάση την απόσταση και τις χαρακτηριστικές παραμέτρους του συστήματος. Η μείωση της ισχύος του σήματος είναι ένα σημαντικό φαινόμενο στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η απόσταση, οι αντανάκλασεις και οι αποσβέσεις.

Η συνάρτηση COST231_Hata_Power_Attenuation λαμβάνει ως είσοδο τις παρακάτω παραμέτρους:

- Συχνότητα Λειτουργίας (σε MHz): Η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος επικοινωνιών.
- Απόσταση (σε χιλιόμετρα): Η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη.
- Τύπος Εδάφους (K-factor): Ένας παράγοντας που αντιπροσωπεύει τις ιδιότητες του εδάφους μεταξύ του πομπού και του δέκτη.
- Ύψος Πομπού (σε μέτρα): Το ύψος της κεραίας του πομπού πάνω από το έδαφος.
- Ύψος Δέκτη (σε μέτρα): Το ύψος της κεραίας του δέκτη πάνω από το έδαφος.

Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει τη μείωση της ισχύος του σήματος σε dB, βάσει του μοντέλου COST-231 Hata και των παραπάνω παραμέτρων εισόδου. Η μείωση της ισχύος είναι αποτέλεσμα της απορρόφησης και της διάδοσης του σήματος στο περιβάλλον, καθώς και των αποτυχημένων ανακλάσεων και αποσβέσεων που συμβαίνουν κατά τη διάδοση του σήματος στον αέρα.

Είναι χρήσιμη για τον σχεδιασμό ασύρματων δικτύων, καθώς επιτρέπει την εκτίμηση της απώλειας ισχύος και την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε διαφορετικές συνθήκες διάδοσης και αποστάσεις.

Τέλος, η συνάρτηση COST231_Hata_Received_Power χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης ισχύος του σήματος που λαμβάνεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο, λαμβάνοντας υπόψη την απώλεια μονοπατιού και τις χαρακτηριστικές παραμέτρους του δικτύου. Η εκτιμώμενη ισχύς του σήματος στον δέκτη είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της απόδοσης του ασύρματου συστήματος επικοινωνίας.

Η συνάρτηση COST231_Hata_Received_Power λαμβάνει ως είσοδο τις παρακάτω παραμέτρους:

- Ισχύς Πομπού (σε dBm): Η ισχύς του πομπού σε dBm (decibel-milliwatts).

- Απώλεια Μονοπατιού (σε dB): Η απώλεια μονοπατιού στο συγκεκριμένο σημείο, η οποία υπολογίζεται συνήθως με το μοντέλο COST-231 Hata.
- Θόρυβος (σε dBm): Ο θόρυβος στο σύστημα επικοινωνίας, ο οποίος επηρεάζει τη συνολική επικοινωνιακή απόδοση.
- Ευαισθησία Δέκτη (σε dBm): Η ελάχιστη ισχύς του σήματος που απαιτείται για την ανίχνευση στον δέκτη.

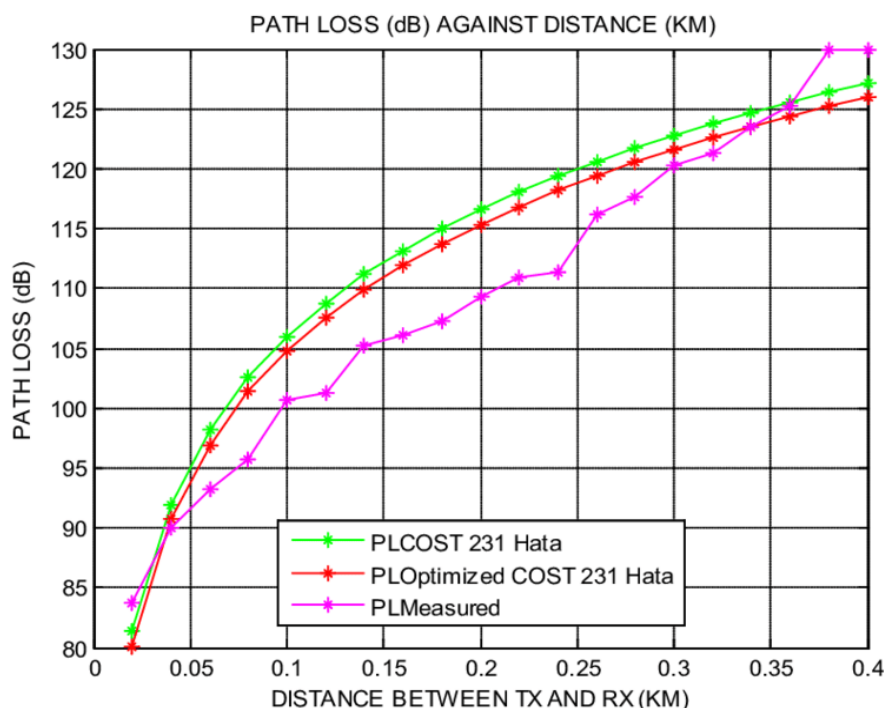
Η συνάρτηση υπολογίζει την εκτιμώμενη ισχύ του σήματος που λαμβάνεται στον δέκτη, λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ του πομπού, την απώλεια μονοπατιού και τον θόρυβο. Το αποτέλεσμα είναι η εκτιμώμενη ισχύς του σήματος στο σημείο του δέκτη, η οποία συγκρίνεται στη συνέχεια με την ευαισθησία του δέκτη για να καθοριστεί αν η επικοινωνία είναι εφικτή.

Αυτή είναι χρήσιμη για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση ασύρματων δικτύων, καθώς επιτρέπει τον υπολογισμό της πραγματικής ισχύος που λαμβάνεται σε κάθε σημείο του δικτύου.

Το μοντέλο COST-231 Hata, γνωστό και ως εκτεταμένο μοντέλο Hata-Okumura, είναι μια επέκταση του αρχικού μοντέλου Hata που έχει σχεδιαστεί για να αντιμετωπίζει ζώνες υψηλότερων συχνοτήτων και αστικά περιβάλλοντα, ιδιαίτερα στην Ευρώπη. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται ευρέως για την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής σε συστήματα κινητής επικοινωνίας, ειδικά σε αστικές, προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια λεπτομερή ανάλυση του μοντέλου COST-231 Hata, συμπεριλαμβανομένης της διατύπωσης, των εφαρμογών, των δυνατοτήτων και των περιορισμών του.

Έχει σχεδιαστεί για να προβλέπει τη διάμεση απώλεια διαδρομής στο εύρος συχνοτήτων από 1500 MHz έως 2000 MHz, καθιστώντας το κατάλληλο για GSM και άλλα συστήματα κινητής επικοινωνίας που λειτουργούν σε ζώνες υψηλότερων συχνοτήτων. Το μοντέλο ενσωματώνει πρόσθετους παράγοντες διόρθωσης για να ληφθούν υπόψη διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες.

$$L_{\{urban\}} = 46.3 + \frac{33.9}{\log_{\{10\}}(f)} - \frac{13.82}{\log_{\{10\}}(h_b)} - a(h_m) + \left(\frac{\text{left}(44.9 - 6.55)}{\log_{\{10\}}(h_b) \backslash \text{right}} \right) \log_{\{10\}}(d) + C \quad (4)$$



Σχήμα 5 Σύγκριση εμπειρικού μοντέλου και βελτιστοποιημένου μοντέλου απώλειας διαδρομής COST 231 Hata στο Oniru

οπου:

f είναι η συχνότητα σε MHz (1500 MHz έως 2000 MHz).

h_b είναι το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης σε μέτρα (30m έως 200m).

h_m , είναι το ύψος της κεραίας του κινητού σταθμού σε μέτρα (1m έως 10m).

d είναι η απόσταση μεταξύ του σταθμού βάσης και του κινητού σταθμού σε χιλιόμετρα (1km έως 20km).

$a(h_m)$, είναι ο συντελεστής διόρθωσης για το ύψος της κεραίας κινητής τηλεφωνίας.

Το C είναι ο συντελεστής διόρθωσης για το περιβάλλον (0 dB για μεσαίου μεγέθους πόλεις και προαστιακές περιοχές και 3 dB για μητροπολιτικές περιοχές).

Ο συντελεστής διόρθωσης

$a(h_m)$ ορίζεται διαφορετικά για αστικές και προαστιακές/αγροτικές περιοχές:

Για αστικές περιοχές:

$$a(h_m) = 3.2 (\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97 \quad (5)$$

Για προαστιακές και αγροτικές περιοχές:

Ο τύπος για την απώλεια διαδρομής σε προαστιακές περιοχές προσαρμόζεται από τον αστικό τύπο:

$$a(h_m) = \left(\frac{1.1}{\log_{10}(f) - 0.7} \right) h_m - \left(\frac{1.56}{\log_{10}(f) - 0.8} \right) \quad (6)$$

Ο συντελεστής διόρθωσης C

Το C επιτρέπει στο μοντέλο να λαμβάνει υπόψη διαφορετικούς τύπους αστικών περιβαλλόντων. Προσαρμόζοντας αυτήν την παράμετρο, το μοντέλο μπορεί να προβλέψει καλύτερα την απώλεια διαδρομής σε διάφορες ρυθμίσεις, από πόλεις μεσαίου μεγέθους έως πυκνές μητροπολιτικές περιοχές.

$$L_{\text{urban}} = 46.3 + \frac{33.9}{\log_{10}(f)} - \frac{13.82}{\log_{10}(h_b)} - a(h_m) + \left(\frac{\log_{10}(44.9 - 6.55)}{\log_{10}(h_b)} \right) \log_{10}(d) + C \quad (7)$$

Παραδείγματα Εφαρμογών

Οι εφαρμογές του μοντέλου COST-231 Hata είναι πολλές και ποικίλες και αφορούν κυρίως τον τομέα των τηλεπικοινωνιών και των ασύρματων επικοινωνιών. Ας εξετάσουμε μερικές από τις βασικές εφαρμογές του μοντέλου COST-231 Hata:

- Σχεδιασμός Δικτύου κινητής τηλεφωνίας: Το μοντέλο COST-231 Hata χρησιμοποιείται ευρέως για τον σχεδιασμό και τον εκσυγχρονισμό δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Με βάση τις προβλέψεις κάλυψης και τις απαιτήσεις χρηστών, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης και του αριθμού των βάσεων και των κεραιών που απαιτούνται για μια επιθυμητή κάλυψη.
- Αξιολόγηση Συστημάτων Επικοινωνιών: Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης συστημάτων κινητής τηλεφωνίας και ασύρματων επικοινωνιών. Η μοντελοποίηση της διάδοσης σήματος βοηθά στον προσδιορισμό των περιοχών με καλή και κακή κάλυψη, καθώς και στον προσδιορισμό πιθανών προβλημάτων παρεμβολών.
- Σχεδιασμός Ασύρματων Δικτύων: Χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό ασύρματων δικτύων, όπως τα δίκτυα Wi-Fi και WiMAX. Ο προσδιορισμός της κάλυψης και της εμβέλειας των ασύρματων σημείων πρόσβασης βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο μοντέλο COST-231 Hata.

- **Ανάπτυξη Τεχνολογιών Επικοινωνιών:** Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη και βελτίωση τεχνολογιών επικοινωνιών, όπως οι τεχνολογίες 5G και 6G. Η αξιολόγηση της απόδοσης και η προσομοίωση των δικτύων βασίζονται συχνά στο μοντέλο COST-231 Hata.
- **Σχεδιασμός Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (WSNs):** Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και τον προσδιορισμό της κάλυψης σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως η παρακολούθηση του περιβάλλοντος και ο έλεγχος διαδικασιών.
- **Ασύρματη Αυτοματοποίηση:** Σε εφαρμογές ασύρματης αυτοματοποίησης όπως τα έξυπνα συστήματα στα σπίτια (π.χ. έξυπνα θερμοστάτες, φώτα, κλειδαριές), το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της ασύρματης κάλυψης.
- **Δίκτυα Έκτακτης Ανάγκης (ΔΕΑ):** Σε περιπτώσεις καταστροφών ή εκτάκτων αναγκών, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της εμβέλειας και της κάλυψης των δικτύων επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις καταστάσεις.
- **Ασφάλεια και Προστασία:** Σε εφαρμογές ασφαλείας και προστασίας, όπως τα συστήματα παρακολούθησης και τα συστήματα ασφαλείας, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της κάλυψης του σήματος.

Το μοντέλο COST-231 Hata επεκτείνει την αρχική εμπειρική φόρμουλα της Hata σε υψηλότερες συχνότητες, συγκεκριμένα στην περιοχή από 1500 MHz έως 2000 MHz, καθιστώντας την πιο εφαρμόσιμη στα σύγχρονα συστήματα κινητής επικοινωνίας. Αυτό το μοντέλο εισάγει πρόσθετους παράγοντες διόρθωσης για να ληφθούν υπόψη διάφορα περιβάλλοντα όπως αστικές, προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Βελτιώνοντας τις παραμέτρους για αυτές τις συνθήκες, το μοντέλο COST-231 Hata παρέχει πιο ακριβείς προβλέψεις για την απώλεια διάδοσης, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση του δικτύου σε σύγχρονες υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας.[4]

Περιορισμοί

Οι περιορισμοί του μοντέλου COST-231 Hata πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη χρήση του για την ανάλυση και τον σχεδιασμό των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Αν και το μοντέλο αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- **Περιορισμένη Ακρίβεια:** Το μοντέλο COST-231 Hata παρέχει μια εκτιμητική προσέγγιση της κάλυψης και της εμβέλειας του σήματος, αλλά μπορεί να μην είναι ακριβές σε κάθε περίπτωση. Οι πραγματικές συνθήκες διάδοσης μπορεί να διαφέρουν από τις θεωρητικές υποθέσεις του μοντέλου.
- **Περιορισμένη Εφαρμοσιμότητα:** Το μοντέλο COST-231 Hata αναπτύχθηκε για συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος και τυπολογίες πόλεων. Οι αποκλίσεις από αυτές τις συνθήκες μπορεί να οδηγήσουν σε ανακρίβειες στα αποτελέσματα.
- **Περιορισμένη Εφαρμογή σε Συγκεκριμένα Συστήματα:** Το μοντέλο είναι κυρίως κατάλληλο για συστήματα κινητής τηλεφωνίας στις χαμηλές έως μέτριες συχνότητες. Για υψηλότερες συχνότητες ή για άλλους τύπους επικοινωνιακών συστημάτων, μπορεί να απαιτούνται διαφορετικά μοντέλα διάδοσης.

- Ανεπάρκεια σε Συγκεκριμένες Συνθήκες: Σε περιβάλλοντα με έντονη και πολύπλοκη τοπογραφία ή σε περιβάλλοντα με ιδιαίτερα ανεπτυγμένο αστικό τοπίο, το μοντέλο μπορεί να παρουσιάζει περιορισμούς στην ακρίβειά του.

Αν και το μοντέλο COST-231 Hata είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σχεδίαση και την ανάλυση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί του κατά την ερμηνεία και τη χρήση των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 4ο

Το μοντέλο Ikegami

Το μοντέλο Ikegami είναι ένα από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της απώλειας μονοπατιού σε συστήματα επικοινωνίας. Αν και λιγότερο γνωστό από το COST-231 Hata, το μοντέλο Ikegami αναπτύχθηκε από τον Ikegami K. το 1990 και συνεχίζει να χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιοχές.

Το μοντέλο Ikegami εστιάζει στην αξιολόγηση της εξάπλωσης του σήματος σε στάθμες βάσεων και στην πρόβλεψη της κάλυψης και της ικανότητας επικοινωνίας σε κινητά τηλέφωνα. Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο Ikegami είναι και η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στο μοντέλο Ikegami. Όπως και σε άλλα μοντέλα εκτίμησης εξάπλωσης, το ύψος των κεραιών πομπού και δέκτη είναι σημαντικός παράγοντας. Το μοντέλο Ikegami λαμβάνει υπόψη του τον τύπο εδάφους στην περιοχή εκπομπής.

Τελος, ο παράγοντας αποσβεστικότητας είναι ένας σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη στο μοντέλο Ikegami για τον υπολογισμό της απώλειας μονοπατιού σε συστήματα επικοινωνίας. Η αποσβεστικότητα αναφέρεται στην ικανότητα του περιβάλλοντος, όπως κτίρια, δέντρα και άλλα εμπόδια, να απορροφούν ή να ανακλούν το σήμα κατά τη διάδοσή του.

Ο παράγοντας αποσβεστικότητας μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την εξάπλωση του σήματος, καθώς η αντίκρουση με τα εμπόδια μπορεί να προκαλέσει απώλειες σήματος λόγω απορρόφησης και διάσπασης. Συνήθως, περιοχές με πυκνή δόμηση ή πολλά φυτώρια έχουν υψηλότερη αποσβεστικότητα, καθώς τα εμπόδια είναι πιθανότερο να απορροφούν το σήμα ή να το ανακλούν, μειώνοντας έτσι την ισχύ του σήματος που φτάνει στο δέκτη.

Ο παράγοντας αποσβεστικότητας συνήθως εκφράζεται σε dB/m (decibels per meter) και μπορεί να υπολογιστεί με βάση τη σύνθεση του περιβάλλοντος και τις ιδιότητες απορρόφησης ή ανάκλασης των υλικών που απαντώνται. Οι υψηλές τιμές αποσβεστικότητας υποδεικνύουν ένα περιβάλλον με περισσότερα εμπόδια και, κατά συνέπεια, μεγαλύτερες απώλειες σήματος κατά τη μετάδοση.

Το μοντέλο Ikegami, γενικότερα, αναπτύχθηκε από τον Ikegami K. και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1990. Σε αυτήν την πρώτη του μορφή, ήταν ένα από τα πρώτα μοντέλα που εξετάζουν την επίδραση του περιβάλλοντος στην εξάπλωση του σήματος σε κινητά τηλέφωνα.

Αν και το μοντέλο Ikegami δεν έχει λάβει την ίδια ευρεία αποδοχή όπως το COST-231 Hata, παραμένει σημαντικό σε ορισμένες περιοχές έρευνας και εφαρμογών. Ο Ikegami K. και η ομάδα του διεξήγαγαν πειράματα και μελέτες για να αναπτύξουν ένα μοντέλο που θα μπορούσε να προβλέψει με ακρίβεια την απώλεια μονοπατιού σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως αστικές, υπαίθριες και υπαίθριες με δάση περιοχές. [5]

Το μοντέλο Ikegami έχει εξελιχθεί και προσαρμοστεί μέσα στα χρόνια, με μερικές μελέτες που επικεντρώνονται στη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων του σε διάφορες συνθήκες. Αν και υπάρχουν πιο σύγχρονα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα για τον υπολογισμό της απώλειας μονοπατιού, το μοντέλο Ikegami παραμένει ένα σημαντικό εργαλείο στον τομέα των επικοινωνιών και των ασύρματων δικτύων.

Βασικές εφαρμογες

Σε αυτό το τμήμα θα μελετήσουμε το πως χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς το συγκεκριμένο μοντέλο. Αρχικά, ο σχεδιασμός δικτύων κινητής τηλεφωνίας είναι ένας σημαντικός τομέας όπου το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιείται ευρέως. Αυτό περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη

βελτιστοποίηση των κινητών δικτύων τηλεφωνίας, ώστε να εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή κάλυψη και ποιότητα υπηρεσιών για τους χρήστες.

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο Ikegami, μπορούμε να αναλύσουμε την κάλυψη του σήματος σε διάφορες περιοχές και συνθήκες. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον κατάλληλο τοποθετημένο και σχεδιασμό των κεραιών βάσης. Με βάση το μοντέλο μπορούμε να προβλέψουμε την ισχύ του σήματος που φτάνει σε κάθε σημείο εντός της περιοχής κάλυψης, βοηθώντας έτσι στο σχεδιασμό της τοποθέτησης των κεραιών.

Με βάση τις προβλέψεις κάλυψης και την απώλεια μονοπατιού που παρέχει το μοντέλο Ikegami, μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε την τοποθέτηση κεραιών και τον προγραμματισμό των συχνοτήτων για μέγιστη απόδοση. Με βάση την πρόβλεψη κάλυψης και την πρόβλεψη της ισχύος σήματος, μπορούμε να εκτιμήσουμε την αναμενόμενη κίνηση δεδομένων σε κάθε περιοχή του δικτύου.

Η αξιολόγηση συστημάτων επικοινωνιών, από την άλλη, είναι ένας σημαντικός τομέας όπου το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απώλειας μονοπατιού και την εκτίμηση της απόδοσης των επικοινωνιακών συστημάτων σε διάφορες συνθήκες. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ποιότητας του σήματος, την εκτίμηση της εμβέλειας κάλυψης, καθώς και την πρόβλεψη της επίδοσης του δικτύου.[5].

Αναλύοντας την αξιολόγηση συστημάτων επικοινωνιών με βάση το μοντέλο Ikegami, έχουμε τα εξής:

- Αξιολόγηση Ποιότητας Σήματος: Χρησιμοποιώντας την απώλεια μονοπατιού που παρέχει το μοντέλο Ikegami, μπορούμε να αξιολογήσουμε την ποιότητα του σήματος σε διάφορες περιοχές του δικτύου.
- Εκτίμηση Εμβέλειας Κάλυψης: Μπορούμε να εκτιμήσουμε την εμβέλεια κάλυψης του δικτύου, δηλαδή την απόσταση που μπορεί να καλύψει το σήμα με βάση την απώλεια μονοπατιού που υπολογίζεται από το μοντέλο.
- Πρόβλεψη Επίδοσης Δικτύου: Με βάση την απώλεια μονοπατιού και την εκτίμηση της ποιότητας του σήματος, μπορούμε να προβλέψουμε την επίδοση του δικτύου σε συνθήκες υψηλής κίνησης ή μεταβαλλόμενων περιβαλλοντικών συνθηκών.

Οι εφαρμογές συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας αποτελούν έναν ευρύ και σημαντικό τομέα στον οποίο το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό δικτύων και συστημάτων επικοινωνίας. Το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της κάλυψης και της απόδοσης ασύρματων δικτύων ευρείας περιοχής, όπως τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G και 5G. Το μοντέλο Ikegami μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες και την επικοινωνία με συσκευές IoT.

Η αξιολόγηση της κάλυψης και της απόδοσης ασύρματων δικτύων Wi-Fi σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους είναι μία από τις εφαρμογές του μοντέλου Ikegami. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κάλυψης και της αξιοπιστίας ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ασφαλείας και επείγουσας επικοινωνίας, όπως τα δίκτυα της πυροσβεστικής και των εκτάκτων αναγκών.

Στον τομέα της στρατιωτικής επικοινωνίας, το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούνται για επικοινωνία, παρακολούθηση και πληροφόρηση στο πεδίο της άμυνας και της ασφάλειας.

Οι εφαρμογές τηλεπικοινωνιών αποτελούν έναν ευρύ και ποικίλο τομέα, στον οποίο το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιείται για την ανάλυση, τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση διαφόρων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και υπηρεσιών. Το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιείται για την ανάλυση της κάλυψης, της εμβέλειας και της απόδοσης των κινητών τηλεπικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων 4G και 5G. Στις Σταθερές Τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιείται επίσης για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση σταθερών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, όπως τα συστήματα DSL και οπτικών ινών.

Στα Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WANs) χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό ασύρματων δικτύων ευρείας περιοχής, όπως τα δίκτυα WiMAX και LTE. Η ανάλυση της κάλυψης και της απόδοσης ασύρματων δικτύων Wi-Fi και σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους είναι άλλη μια εφαρμογή του μοντέλου Ikegami. Επίσης στα Συστήματα Δορυφορικών Επικοινωνιών (Satellite Communications) χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της επίδοσης και της κάλυψης δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών.

Τελος η αξιολόγηση και ο σχεδιασμός των υπηρεσιών δεδομένων και του διαδικτύου, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών VoIP και του cloud computing, είναι άλλες σημαντικές εφαρμογές του μοντέλου Ikegami.

Η ασφάλεια και η άμυνα αποτελούν έναν σημαντικό τομέα εφαρμογής των τηλεπικοινωνιών, και το μοντέλο Ikegami μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και τον σχεδιασμό των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων σε αυτό το πεδίο. Ορισμένες σημαντικές εφαρμογές του μοντέλου Ikegami στην ασφάλεια και την άμυνα περιλαμβάνουν:

- Επικοινωνίες Στρατιωτικών Δυνάμεων: Το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων που χρησιμοποιούνται από στρατιωτικές δυνάμεις για επικοινωνία, πληροφόρηση και συντονισμό επιχειρήσεων.
- Επικοινωνίες Ασφαλείας και Έκτακτων Αναγκών: Το μοντέλο Ikegami μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την ασφαλή και αποτελεσματική επικοινωνία κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και κρίσεων.
- Παρακολούθηση και Πληροφόρηση: Η ανάλυση της κάλυψης και της επίδοσης των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και την πληροφόρηση σε στρατιωτικούς και ασφαλείς χώρους.
- Ανάπτυξη Συστημάτων Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών (C4ISR): Το μοντέλο Ikegami μπορεί να συμβάλει στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων C4ISR που χρησιμοποιούνται για τη συντονισμό, την πληροφόρηση και τη διαχείριση των επιχειρησιακών δυνάμεων.
- Επικοινωνίες Ειρηνευτικών Αποστολών: Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και τον σχεδιασμό των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε ειρηνευτικές αποστολές για την επικοινωνία και την παρακολούθηση.

Αυτές οι εφαρμογές αναδεικνύουν τον σημαντικό ρόλο του μοντέλου Ikegami στον τομέα της ασφάλειας και της άμυνας, παρέχοντας αξιόπιστες μεθόδους για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον επίπονο τομέα.

Συναρτήσεις

Οι συναρτήσεις που συνήθως χρησιμοποιούνται στο μοντέλο Ikegami περιλαμβάνουν τις Υπολογισμούς της Απώλειας Πομπού (Path Loss), Υπολογισμός της Εμβέλειας Κάλυψης (Coverage Radius),

Υπολογισμός της Ισχύος Λήψης (Received Power), Υπολογισμός της Απόσβεσης (Attenuation) και Υπολογισμός της Απώλειας Μονοπατιού (Path Loss).

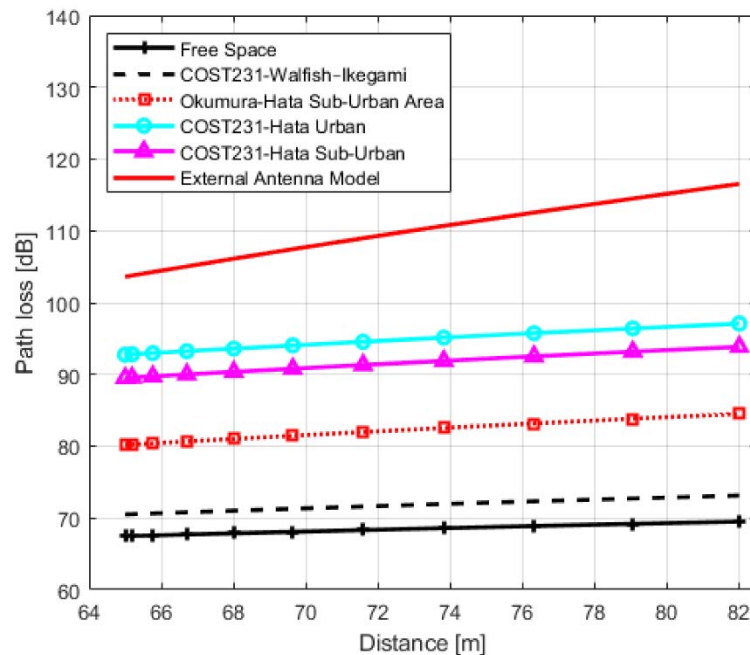
Υπολογισμός της Απώλειας Πομπού (Path Loss).

Ο υπολογισμός της απώλειας πομπού (Path Loss) είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη σχεδίαση και την ανάλυση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, καθώς περιγράφει τη μείωση της ισχύος του σήματος καθώς αυτό ταξιδεύει μέσω του μέσου διάδοσης, όπως ατμόσφαιρα, ελεύθερος χώρος ή κτήρια. Η απώλεια πομπού επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων της συχνότητας λειτουργίας, της απόστασης, του τύπου του εδάφους, και των εμποδίων στο περιβάλλον. [8]

Το μοντέλο Ikegami χρησιμοποιεί έναν αριθμό εξισώσεων και παραμέτρων για τον υπολογισμό της απώλειας πομπού. Η κλασική εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι η εξίσωση του Free-Space Path Loss (FSPL), η οποία υπολογίζει την απώλεια πομπού σε έναν ελεύθερο χώρο χωρίς εμποδία. Αυτή η εξίσωση δίνεται από την ακόλουθη μορφή:

$$FSPL(dB)=20\log_{10}(d)+20\log_{10}(f)+20\log_{10}(4\pi/c) \quad (8)$$

όπου:



Σχήμα 6 Εμπειρικό μοντέλο διάδοσης σε αστικό περιβάλλον

- d είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη (σε μέτρα)
- f είναι η συχνότητα του σήματος (σε Hz)
- c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό (περίπου 3×10^8 μέτρα ανά δευτερόλεπτο)

Εκτός από την εξίσωση FSPL, υπάρχουν και άλλες εξισώσεις που λαμβάνουν υπόψη διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος του εδάφους, η αντηλιακή εκτροπή και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάδοση του σήματος. Αυτές οι προχωρημένες εξισώσεις μπορούν να παρέχουν πιο ακριβείς εκτιμήσεις της απώλειας πομπού σε περιβάλλοντα με εμποδία ή διάφορες συνθήκες διάδοσης. [6]

Υπολογισμός της Εμβέλειας Κάλυψης (Coverage Radius)

Ο υπολογισμός της εμβέλειας κάλυψης είναι σημαντικός για την κατανόηση του εύρους που μπορεί να καλύψει ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Η εμβέλεια κάλυψης

ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, όπου η αποσβεσμένη ισχύς του σήματος είναι ακόμη επαρκής για να γίνει αναγνώριση του σήματος.

Για να υπολογιστεί η εμβέλεια κάλυψης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση του Free-Space Path Loss (FSPL), που αναφέρθηκε προηγουμένως για τον υπολογισμό της απώλειας πομπού. Ωστόσο, συνήθως χρησιμοποιούνται πιο προχωρημένες μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη πρόσθετους παράγοντες όπως η αντηλιακή εκτροπή, ο τύπος του εδάφους και άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες.

Ένας απλός τρόπος να υπολογιστεί η εμβέλεια κάλυψης είναι να αντιστοιχίσετε μια συγκεκριμένη επιθυμητή ισχύ σήματος σε ένα επίπεδο θορύβου στο δέκτη. Από εκεί, μπορείτε να υπολογίσετε την απόσταση στην οποία αυτό το επίπεδο θορύβου γίνεται αναγνώσιμο και από εκεί να προκύψει η εμβέλεια κάλυψης.

Επίσης, η εμβέλεια κάλυψης μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις ή αναλυτικές μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη πολλούς παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους, οι αντηλιακές εκτροπές και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάδοση του σήματος. Αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να παρέχουν πιο ακριβείς εκτιμήσεις της εμβέλειας κάλυψης σε πραγματικά περιβάλλοντα με εμπόδια και διαφορετικές συνθήκες διάδοσης.

Συναρτήσεις

Το μοντέλο Ikegami είναι ένα ημι-εμπειρικό μοντέλο διάδοσης που χρησιμοποιείται κυρίως για την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής σε αστικά περιβάλλοντα, ιδιαίτερα όπου επικρατούν συνθήκες οπτικής επαφής (LOS) και μη οπτικής επαφής (NLOS). Αυτό το μοντέλο, που αναπτύχθηκε από τον Fumio Ikegami και τους συνεργάτες του, είναι γνωστό για τη λεπτομερή εξέταση της διάταξης των κτιρίων και τον αντίκτυπό τους στη διάδοση του σήματος. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια εις βάθος ανάλυση του μοντέλου Ikegami, συμπεριλαμβανομένης της διατύπωσης, των εφαρμογών, των δυνατοτήτων και των περιορισμών του.

Διατύπωση του Μοντέλου Ikegami

Το μοντέλο Ikegami αποτελείται από διαφορετικές εξισώσεις για την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής υπό συνθήκες LOS και NLOS σε αστικά περιβάλλοντα. Ενσωματώνει παράγοντες όπως το ύψος του κτιρίου, το πλάτος των δρόμων και την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.

$$L_{\{\text{LoS}\}} = 42.6 + \frac{26}{\log_{10}(d)} + \frac{20}{\log_{10}(f)} \quad (9)$$

Για συνθήκες μη οπτικής επαφής, η απώλεια διαδρομής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{\{\text{NLoS}\}} = L_{\{\text{LoS}\}} + L_{\{\text{rts}\}} + L_{\{\text{msd}\}} \quad (10)$$

$$L_{\{\text{rts}\}} = -16.9 - \frac{10}{\log_{10} \log_{10}(W)(d)} + \frac{10}{\log_{10} \log_{10}(f)(d)} + \frac{20}{\log_{10}(\Delta h_{\{\text{b}\}}) \log_{10}(f)} \quad (11)$$

$$L_{\{\text{msd}\}} = \frac{2180}{\log_{10}(fd)} + \frac{20}{\log_{10}(f)} - \frac{210.80}{\log_{10}((h_{\{\text{b}\}})f)} + L_{\{\text{ori}\}} \quad (12)$$

$$L_{\{\text{ori}\}} = -10 + 0.354 \theta \quad (13)$$

$$L_{\{\text{ori}\}} = 2.5 + 0.044 \theta - 0.002 \theta^2 \quad (14)$$

Υπολογισμός της Ισχύος Λήψης (Received Power)

Ο υπολογισμός της ισχύος λήψης (Received Power) είναι σημαντικός για να κατανοήσουμε την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται από τον δέκτη σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Η ισχύς λήψης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, η ισχύς του πομπού, η απώλεια πομπού και οι παράσιτες επιδράσεις.

Ένας απλός τρόπος να υπολογιστεί η ισχύς λήψης είναι να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση του Free-Space Path Loss (FSPL) για να υπολογίσουμε την απώλεια πομπού. Στη συνέχεια, αφαιρούμε αυτήν την απώλεια από την αρχική ισχύ του πομπού για να πάρουμε την εκτιμώμενη ισχύ λήψης. Αυτό μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$Prx = Ptx - FSPL \quad (15)$$

όπου:

- Prx είναι η ισχύς λήψης (Received Power)
- Ptx είναι η ισχύς πομπού (Transmit Power)
- Η FSPL είναι η απώλεια πομπού που υπολογίζεται με την εξίσωση FSPL που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Πέρα από αυτήν την απλή προσέγγιση, υπάρχουν και πιο προχωρημένες μέθοδοι για τον υπολογισμό της ισχύς λήψης, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη περισσότερους παράγοντες όπως οι αντηλιακές εκτροπές, η παρεμβολή από άλλα σήματα και η στροβιλοπίδα. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πιο ακριβείς εκτιμήσεις της ισχύς λήψης σε πραγματικά περιβάλλοντα.

Υπολογισμός της Απόσβεσης (Attenuation)

Η απόσβεση (Attenuation) αναφέρεται στη μείωση της ισχύος του σήματος καθώς αυτό διασχίζει ένα μέσο μετάδοσης. Η απόσβεση μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως η απόσταση, η απορροή από άλλα σήματα ή πηγές θορύβου, η αντηλιακή εκτροπή, η απορρόφηση από το έδαφος ή τα εμπόδια, και άλλοι παράγοντες περιβάλλοντος.

Ο υπολογισμός της απόσβεσης μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους ανάλογα με το περιβάλλον διάδοσης και τους ειδικούς παράγοντες που επηρεάζουν το σήμα. Για παράδειγμα:

- Εξίσωση FSPL: Όπως προαναφέρθηκε, η εξίσωση του Free-Space Path Loss (FSPL) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απόσβεσης σε ελεύθερο χώρο χωρίς εμπόδια. Αυτή η εξίσωση λαμβάνει υπόψη τη συχνότητα του σήματος και την απόσταση.
- Προχωρημένες μέθοδοι υπολογισμού: Υπάρχουν προχωρημένες μέθοδοι όπως το μοντέλο COST-231 Hata που λαμβάνουν υπόψη πολλούς παράγοντες όπως η συχνότητα, οι αντηλιακές εκτροπές, ο τύπος του εδάφους και άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες για να εκτιμήσουν την απόσβεση.
- Προσομοιώσεις: Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν τη διάδοση του σήματος σε πραγματικά περιβάλλοντα και να υπολογίσουν την απόσβεση με βάση αυτήν τη μοντελοποίηση.

Η ακρίβεια του υπολογισμού της απόσβεσης εξαρτάται από την ακρίβεια των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη και την πολυπλοκότητα του μοντέλου που χρησιμοποιείται.

Υπολογισμός της Απώλειας Μονοπατιού (Path Loss).

Η απώλεια μονοπατιού (Path Loss) αναφέρεται στη μείωση της ισχύος του σήματος καθώς αυτό διασχίζει το μονοπάτι μετάδοσης μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Αυτή η απώλεια οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως η απόσταση, οι αντηλιακές εκτροπές, η απορρόφηση από το έδαφος ή τα εμπόδια, η παρεμβολή από άλλα σήματα ή πηγές θορύβου και άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες.

Ο υπολογισμός της απώλειας μονοπατιού μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένων των ακόλουθων:

Εξίσωση Free-Space Path Loss (FSPL): Αυτή είναι μια απλή εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απώλειας σε ελεύθερο χώρο χωρίς εμπόδια. Η FSPL εκφράζεται ως εξής:

$$FSPL=20\log_{10}(d)+20\log_{10}(f)+147.55 \quad (16)$$

όπου

d είναι η απόσταση σε μέτρα και f είναι η συχνότητα σε MHz.

Προχωρημένα μοντέλα μονοπατιού: Υπάρχουν πιο προχωρημένα μοντέλα, όπως το μοντέλο COST-231 Hata, που λαμβάνουν υπόψη πολλούς παράγοντες όπως η συχνότητα, οι αντηλιακές εκτροπές, ο τύπος του εδάφους και άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες για να εκτιμήσουν την απώλεια μονοπατιού με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Προσομοιώσεις: Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν τη διάδοση του σήματος σε πραγματικά περιβάλλοντα και να υπολογίσουν την απώλεια μονοπατιού με βάση αυτήν τη μοντελοποίηση.

Ο υπολογισμός της απώλειας μονοπατιού είναι σημαντικός για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων καθώς επιτρέπει τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ισχύος του πομπού για να εξασφαλίσει ηλεκτρομαγνητική κάλυψη στον δέκτη.

Κεφάλαιο 5ο

Το πρότυπο Walfisch-Bertoni

Το πρότυπο Walfisch-Bertoni είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απώλειας πομπού σε αστικά περιβάλλοντα. Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος, όπως η παρουσία κτιρίων, των δρόμων, και της επίπεδης εκτροπής, με στόχο να προσομοιώσει την πολύπλοκη πραγματικότητα του αστικού περιβάλλοντος.

Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απώλειας πομπού σε διάφορα σενάρια, όπως η σχεδίαση και η βελτιστοποίηση δικτύων κινητής τηλεφωνίας σε αστικές περιοχές. Η χρήση του μοντέλου Walfisch-Bertoni βοηθά στην ανάπτυξη πιο αποδοτικών συστημάτων επικοινωνιών που μπορούν να παρέχουν καλύτερη κάλυψη και απόδοση σε αστικά περιβάλλοντα.

Τα ανθρωπογενή εμπόδια αναφέρονται σε κτίρια, οχήματα, δέντρα, και άλλα αντικείμενα που δημιουργούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος σε αστικά περιβάλλοντα. Η παρουσία αυτών των εμποδίων μπορεί να προκαλέσει απώλειες στην ισχύ του σήματος, αλλαγές στην κατεύθυνση του σήματος, και αντηλιακές εκτροπές. Τα κτίρια αποτελούν συνήθως το σημαντικότερο ανθρωπογενές εμπόδιο σε αστικά περιβάλλοντα. Η ύπαρξή τους μπορεί να προκαλέσει σημαντικές απώλειες στην ισχύ του σήματος και να δημιουργήσει σκιές στη διάδοση του σήματος πίσω από αυτά. [7]

Τα οχήματα που κινούνται σε αστικούς δρόμους μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος λόγω της κίνησής τους και της ανακλάσεως του σήματος από τα μεταλλικά μέρη τους. Τα δέντρα και τα φυτά μπορούν να δημιουργήσουν φυσικά εμπόδια στη διάδοση του σήματος, καθώς η φύλλωσή τους και η δομή τους μπορούν να απορροφήσουν ή να ανακλάσουν το σήμα. Η κίνηση των ανθρώπων μέσα σε αστικές περιοχές μπορεί να δημιουργήσει πρόσκρουση σήματος και να προκαλέσει αστάθεια στην επικοινωνία, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Καθώς το μοντέλο Walfisch-Bertoni λαμβάνει υπόψη τα ανθρωπογενή εμπόδια, μπορεί να παρέχει πιο ακριβείς εκτιμήσεις της διάδοσης του σήματος σε αστικά περιβάλλοντα και να βοηθήσει στον σχεδιασμό αποτελεσματικών συστημάτων επικοινωνίας.

Οι εκτροπές αναφέρονται στις αλλαγές κατεύθυνσης ή διάδοσης του σήματος ως αποτέλεσμα της ανακλάσης, της διάθλασης ή της σκίασης από φυσικά ή ανθρωπογενή εμπόδια. Τα σήματα μπορούν να ανακλαστούν από επιφάνειες όπως κτίρια, οχήματα και άλλα αντικείμενα. Αυτές οι ανακλάσεις μπορούν να δημιουργήσουν πολλαπλά επίπεδα σήματος και να προκαλέσουν πολυπορεία, καθώς και αυξημένη ισχύ σε συγκεκριμένες περιοχές.

Η διάθλαση συμβαίνει όταν το σήμα διαπερνά ένα εμπόδιο, όπως ένα δέντρο ή ένα κτίριο, και αλλάζει κατεύθυνση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες στην ισχύ του σήματος και σε αλλαγές στο προφίλ διάδοσης. Η σκίαση συμβαίνει όταν το σήμα εμποδίζεται πλήρως από ένα μεγάλο εμπόδιο, όπως ένα κτίριο ή ένα βουνό. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μια σημαντική μείωση της ισχύος του σήματος στην άλλη πλευρά του εμποδίου.

Οι εκτροπές αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην ανάλυση της διάδοσης του σήματος σε αστικά περιβάλλοντα, καθώς επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο το σήμα φθάνει στον δέκτη. Η κατανόηση και η μοντελοποίηση αυτών των εκτροπών είναι σημαντικές για τον σχεδιασμό αξιόπιστων συστημάτων επικοινωνίας σε αστικά περιβάλλοντα. Μέσω του μοντέλου Walfisch-Bertoni, μπορούμε να λάβουμε υπόψη τις εκτροπές αυτές και να προβλέψουμε τη διάδοση του σήματος με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Εφαρμογες

Το μοντέλο Walfisch-Bertoni έχει πολλές εφαρμογές σε περιβάλλοντα επικοινωνίας και δικτύων όπως για τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση δικτύων κινητής τηλεφωνίας σε αστικά περιβάλλοντα. Με βάση τις εκτιμήσεις του μοντέλου για τη διάδοση του σήματος, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών μπορούν να προγραμματίσουν τοποθεσίες πύργων και να βελτιστοποιήσουν τις ρυθμίσεις δικτύου για καλύτερη κάλυψη και απόδοση.

Χρησιμοποιείται επίσης για την αξιολόγηση της απόδοσης συστημάτων επικοινωνιών σε πραγματικά περιβάλλοντα, όπου η διάδοση του σήματος επηρεάζεται από τη γεωγραφία και τις ανθρωπογενείς δομές. Χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας, όπως ασύρματα δίκτυα LAN και εφαρμογές IoT, για την εκτίμηση της κάλυψης και της απόδοσής τους.

Χρησιμοποιείται για την κατανόηση της διάδοσης του σήματος σε αστικά περιβάλλοντα και την ανάπτυξη αποδοτικών συστημάτων τηλεπικοινωνίας που μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις αυτών των περιβαλλοντικών συνθηκών.

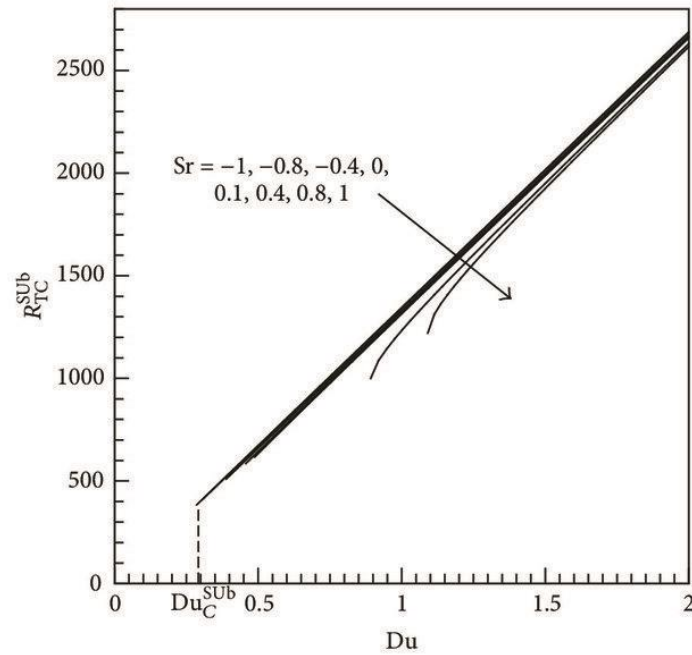
Χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση και την ανάπτυξη ασφαλών και αξιόπιστων συστημάτων επικοινωνίας σε εφαρμογές ασφαλείας και άμυνας, όπως εφαρμογές παρακολούθησης, επικοινωνίας μεταξύ στρατιωτικών μονάδων και ασφάλειας πληροφοριών.

Χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της τηλεπικοινωνιακής υποδομής σε έξυπνες πόλεις, προκειμένου να υποστηρίξει διάφορες υπηρεσίες και εφαρμογές, όπως η κυκλοφορία, η δημόσια ασφάλεια, και οι έξυπνες υποδομές. Χρησιμοποιείται για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη διαχείριση των τηλεπικοινωνιακών πόρων, όπως της εύρου ζώνης και της ενέργειας, προκειμένου να εξασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση και η οικονομική χρησιμοποίηση.

Χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση και την έρευνα για την κατανόηση των ασύρματων επικοινωνιών και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και τεχνικών βελτιστοποίησης της ασύρματης επικοινωνίας. Το μοντέλο Walfisch-Bertoni αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την εκπαίδευση μηχανικών τηλεπικοινωνιών και την πρακτική έρευνα στον τομέα.

Συναρτησεις

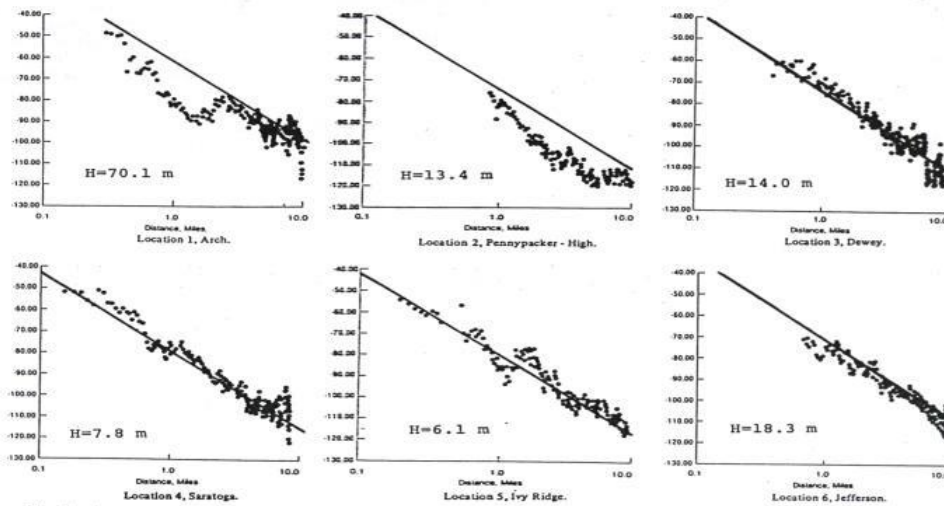
Το μοντέλο Walfisch-Bertoni είναι ένα θεωρητικό μοντέλο διάδοσης που έχει σχεδιαστεί για να προβλέπει την απώλεια διαδρομής σε αστικά περιβάλλοντα, ειδικά όπου τα κτίρια επηρεάζουν σημαντικά τη διάδοση του σήματος. Αναπτύχθηκε από τους J. Walfisch και H.L. Bertoni, αυτό το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τις επιδράσεις των στεγών, των υψών των κτιρίων και του πλάτη των δρόμων, καθιστώντας το κατάλληλο για πυκνά αστικά περιβάλλοντα. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια εις βάθος ανάλυση του μοντέλου Walfisch-Bertoni, συμπεριλαμβανομένης της διατύπωσης, των εφαρμογών, των δυνατοτήτων και των περιορισμών του.



Σχήμα 7 Η εξέλιξη του $RTCS_{ub}$ έναντι του Du για $N=1,5$ και $Le=1,1$ (περίπτωση $N > NLS_{ub}$)

Διατύπωση του Μοντέλου Walfisch-Bertoni

Το μοντέλο Walfisch-Bertoni επικεντρώνεται στην πρόβλεψη της απώλειας διαδρομής σε αστικά περιβάλλοντα λαμβάνοντας υπόψη τις πολλαπλές περιθλάσεις και διασκορπίσεις που συμβαίνουν μεταξύ των κτιρίων. Το μοντέλο συνδυάζει τη θεωρητική ανάλυση με τις εμπειρικές προσαρμογές για να ληφθούν υπόψη οι πραγματικές συνθήκες.



Σχήμα 8 Σύγκριση της μέσης ισχύος σήματος ανά τομέα για διάφορες θέσεις πομπών, με θεωρητικές προβλέψεις (συμπαγείς γραμμές). Η στάθμη του σήματος είναι σε dBm, η εμβέλεια σε μίλια, η H σε μέτρα.

Απώλεια Διαδρομής

$$L = L_0 + L_r + L_m \quad (17)$$

L είναι το άθροισμα τριών συστατικών: η απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου (L_0), η απώλεια από στέγη σε στέγη (L_r), και η απώλεια περίθλασης πολλών οθονών (L_m).

Ελευθέρωση Χώρου Διαδρομής L_0

Η απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου αντιπροσωπεύει τη βασική εξασθένηση του σήματος καθώς ταξιδεύει στον ελεύθερο χώρο χωρίς κανένα εμπόδιο. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$L_0 = 32.4 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (18)$$

d είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη σε χιλιόμετρα (km).

f είναι η συχνότητα σε megahertz (MHz).

Αυτό το στοιχείο είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της απώλειας σήματος βάσης σε μια απόσταση σε μια δεδομένη συχνότητα, χρησιμεύοντας ως το θεμέλιο πάνω στο οποίο προστίθενται επιπλέον απώλειες (λόγω εμποδίων και περίθλασης).

Απώλεια Οροφής σε Οροφή L_r

Η απώλεια από στέγη σε στέγη οφείλεται στην περίθλαση και τη διάδοση του σήματος από τη μια ταράτσα στην άλλη σε ένα πυκνό αστικό περιβάλλον:

$$L_r = 10\log_{10}\left(\left(\frac{d_{rts}}{d}\right)^2 \left(\frac{4h_r h_t}{d_{rts}^2}\right)^2\right) \quad (19)$$

Οπου:

d_{rts} είναι η απόσταση από ταράτσα σε δρόμο σε χιλιόμετρα (χλμ).

h_r είναι το ύψος της κεραίας του δέκτη πάνω από το επίπεδο του δρόμου σε μέτρα (m).

h_t είναι το ύψος της κεραίας του πομπού πάνω από το επίπεδο της ταράτσας σε μέτρα (m).

Αυτό το στοιχείο μοντελοποιεί την απώλεια που συμβαίνει όταν το σήμα διαδίδεται πάνω από ταράτσες, λαμβάνοντας υπόψη τα ύψη των κεραιών του πομπού και του δέκτη και την πραγματική απόσταση μεταξύ τους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αστικές περιοχές με κτίρια διαφορετικού ύψους.

Απώλεια Περίθλασης Πολλαπλών Οθονών L_m

Η απώλεια περίθλασης πολλαπλών οθονών ευθύνεται για την πρόσθετη εξασθένηση λόγω πολλαπλών κτιρίων (οθονών) που συναντά το σήμα κατά τη διαδρομή του:

$$L_m = 20\log_{10}\left(\frac{d}{d_{rts}}\right) + L_{bsh} \quad (20)$$

Οπου:

d είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη σε χιλιόμετρα (km).

d_{rts} είναι η απόσταση από ταράτσα σε δρόμο σε χιλιόμετρα (χλμ).

L_{bsh} είναι ο συντελεστής κέρδους ύψους κεραίας του σταθμού βάσης.

Συντελεστής μέσου κέρδους ανά ύψος κεραίας

Ο συντελεστής κέρδους ύψους κεραίας σταθμού βάσης L_{bsh} αντιπροσωπεύει το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης πάνω από τις στέγες, το οποίο μπορεί να προσφέρει πρόσθετο κέρδος:

$$L_{bsh} = 18\log_{10}(ht) \quad (21)$$

Όπου:

ht είναι το ύψος της κεραίας του πομπού πάνω από το επίπεδο της ταράτσας σε μέτρα (m).

Αυτός ο παράγοντας μοντελοποιεί το κέρδος που παρέχεται από την ύπαρξη υψηλότερης κεραίας πομπού, η οποία μπορεί να μειώσει τη συνολική απώλεια διαδρομής βελτιώνοντας τις συνθήκες οπτικής επαφής και μειώνοντας τις απώλειες περίθλασης.

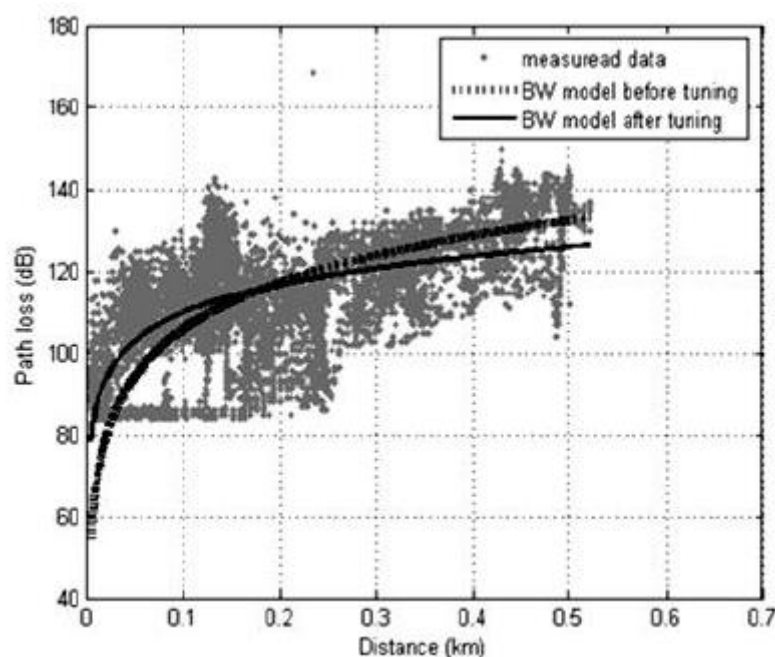
Κεφάλαιο 6ο

Το πρότυπο COST-231 Walfisch-Bertoni

Το πρότυπο COST-231 Walfisch-Bertoni είναι ένα από τα πιο γνωστά μοντέλα πρόβλεψης της απώλειας μονοπατιού σε ασύρματα δίκτυα. Αναπτύχθηκε από τους J. Walfisch και H.L. Bertoni και είναι ένα βελτιωμένο μοντέλο του προηγούμενου COST-231 Hata. Το COST-231 Walfisch-Bertoni λαμβάνει υπόψη του περισσότερους παράγοντες που επηρεάζουν την απώλεια μονοπατιού σε σύγχρονα ασύρματα δίκτυα.

Το πρότυπο λαμβάνει υπόψη την απώλεια μονοπατιού με βάση παράγοντες όπως η απόσταση, οι εμποδισμοί, οι εκτροπές και η σκίαση. Παράλληλα, το μοντέλο επιτρέπει την πρόβλεψη της απώλειας μονοπατιού για διάφορες συχνότητες λειτουργίας. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στο πρότυπο είναι σχεδιασμένοι για να παρέχουν υψηλή ακρίβεια στην πρόβλεψη της απώλειας μονοπατιού. Το COST-231 Walfisch-Bertoni είναι ευέλικτο και μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορα περιβάλλοντα και συνθήκες διάδοσης, ενώ είναι συμβατό με διάφορα είδη ασύρματων δικτύων, όπως κινητά τηλέφωνα, Wi-Fi, και ασύρματα δίκτυα ευρείας ζώνης.

Το πρότυπο COST-231 Walfisch-Bertoni λειτουργεί με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν με βάση πειραματικά δεδομένα και θεωρητικές αναλύσεις για την πρόβλεψη της απώλειας μονοπατιού σε ασύρματα δίκτυα. Το βασικό σκεπτικό πίσω από τη λειτουργία του είναι η εκτίμηση του μεγέθους της απώλειας σήματος καθώς αυτό μεταδίδεται από τον πομπό προς το δέκτη σε ένα ασύρματο κανάλι.



Σχήμα 9 Σύγκριση απώλειας διαδρομής του μοντέλου Bertoni-Walfisch πριν και μετά τον συντονισμό.

Ο υπολογισμός της απώλειας μονοπατιού βασίζεται σε διάφορους παράγοντες όπως η απόσταση μεταξύ του πομπό και του δέκτη, οι εμποδισμοί στο περιβάλλον, οι εκτροπές του σήματος λόγω αντήχησης ή διάθλασης και άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες. Οι μαθηματικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται στο πρότυπο λαμβάνουν υπόψη αυτούς τους παράγοντες και παράγουν μια εκτίμηση της απώλειας σήματος σε dB (decibels).

Το μοντέλο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα περιβάλλοντα και σε διάφορες συχνότητες λειτουργίας, καθιστώντας το κατάλληλο για την πρόβλεψη της απώλειας μονοπατιού σε ποικίλα

ασύρματα δίκτυα, όπως κινητή τηλεφωνία, ασύρματα δίκτυα ευρείας ζώνης και ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής. Οι εκτιμήσεις που παρέχει το μοντέλο βοηθούν στον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση των ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας.

Το πρότυπο COST-231 Walfisch-Bertoni έχει ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς των ασύρματων επικοινωνιών. Μερικές από τις βασικές εφαρμογές του περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη κινητών δικτύων τηλεφωνίας, ώστε να βελτιστοποιηθεί η κάλυψη και η απόδοση των δικτύων.

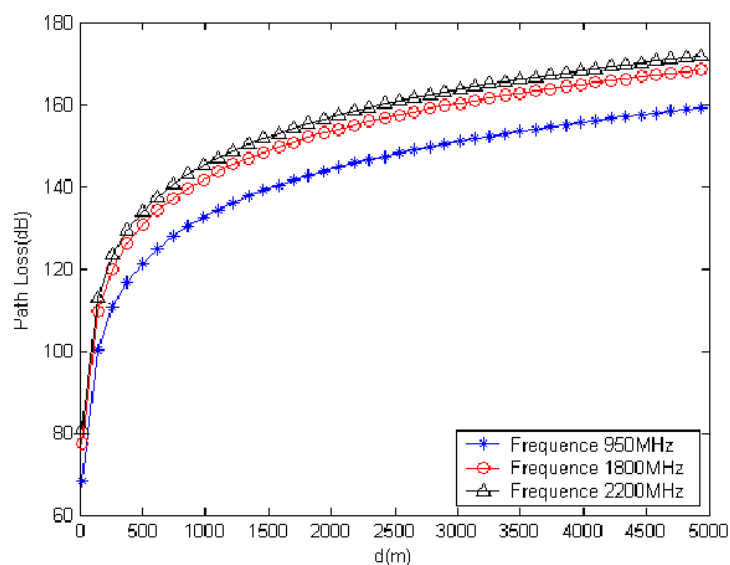
Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των απαιτήσεων και την εκτίμηση της απόδοσης ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως τα κινητά τηλέφωνα, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας ζώνης (Wi-Fi), τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (LAN) και άλλες ασύρματες επικοινωνίες.

Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών σε εφαρμογές ασφαλείας και άμυνας, όπως τον έλεγχο των συνόρων, τις στρατιωτικές επικοινωνίες και την παρακολούθηση. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως η τηλεπικοινωνία σε αστικές και αγροτικές περιοχές, η τηλεπικοινωνία σε καταστροφές και έκτακτες ανάγκες, και άλλες τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Αυτές οι εφαρμογές αποτελούν μόνο μερικά παραδείγματα του πώς το πρότυπο COST-231 Walfisch-Bertoni χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας. [9]

Αλγοριθμοί

Ο υπολογισμός της απώλειας μονοπατιού στο πλαίσιο του προτύπου COST-231 Walfisch-Bertoni βασίζεται σε πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος από τον πομπό προς το δέκτη σε ένα ασύρματο κανάλι. Ο υπολογισμός αυτός βοηθά στον προσδιορισμό της απώλειας σήματος και την εκτίμηση της επίδρασής της στην απόδοση του συστήματος επικοινωνίας. Αναλύοντας τον υπολογισμό της απώλειας μονοπατιού, μπορούμε να λάβουμε υπόψη την απόσταση, τα εμπόδια, τις εκτροπές και άλλες παράμετρους που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος.

Ο πρώτος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Καθώς η απόσταση αυξάνεται, η ισχύς του σήματος μειώνεται λόγω της διάδοσης του σε ένα μεγαλύτερο όγκο αέρα και της απορρόφησης από το περιβάλλον. Τα εμπόδια στο περιβάλλον, όπως κτίρια, δέντρα και άλλα αντικείμενα, μπορούν να προκαλέσουν απώλεια σήματος λόγω διάθλασης και ανακλάσεων.



Σχήμα 10 Ακρίβεια και απώλεια με ή χωρίς εξωτερική μνήμη χρησιμοποιώντας ενσωμάτωση εικόνας CNN (VGGNet) με κορυφαίες 3000 απαντήσεις για εκπαίδευση στα σετ train+val του σημείου αναφοράς VQA.

Οι εκτροπές του σήματος λόγω αντήχησης από τα εμπόδια μπορεί να οδηγήσουν σε πολύπλοκα μονοπάτια και αυξημένη απώλεια. Άλλοι παράγοντες, όπως οι συνθήκες και η τοπολογία του περιβάλλοντος, μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος και να προκαλέσουν απώλεια.

Ο υπολογισμός της κάλυψης στο πλαίσιο του προτύπου COST-231 Walfisch-Bertoni αναφέρεται στον προσδιορισμό της περιοχής που μπορεί να καλυφθεί από ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών, λαμβάνοντας υπόψη την απώλεια μονοπατιού και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την επικοινωνία.

Ο υπολογισμός της κάλυψης μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένων αναλυτικών μοντέλων ή αριθμητικών προσεγγίσεων. Η κάλυψη ορίζεται συνήθως ως η περιοχή όπου η ισχύς του σήματος είναι αρκετά υψηλή για να εξασφαλίσει μια σταθερή σύνδεση με το δίκτυο. Η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς λήψης καθορίζει τα όρια της κάλυψης.

Η απώλεια μονοπατιού υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ισχύος που εκπέμπεται από τον πομπό και της ισχύος που λαμβάνεται από το δέκτη. Αυτή η απώλεια είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό του εύρους της κάλυψης. Τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, όπως οι εκτροπές, η ανθρωπογενής παρεμβολή και οι φυσικές επιφάνειες, μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της κάλυψης. Άλλοι παράγοντες, όπως η χρήση κεραίας και η ισχύς του πομπού, επίσης λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό της κάλυψης.

Ο υπολογισμός της ισχύος λήψης στο πλαίσιο του προτύπου COST-231 Walfisch-Bertoni αναφέρεται στον προσδιορισμό της ισχύος του σήματος που λαμβάνεται από το δέκτη σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών. Ο υπολογισμός αυτός λαμβάνει υπόψη διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ του σήματος κατά τη διάδοσή του στο περιβάλλον.

Η κύρια επίδραση στην ισχύ λήψης είναι η απώλεια μονοπατιού, η οποία προκαλείται από την απορρόφηση, τη διάθλαση και τις ανακλάσεις του σήματος κατά τη διάδοσή του στον αέρα και στο περιβάλλον. Η ισχύς που εκπέμπεται από τον πομπό είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας, καθώς η ισχύς λήψης εξαρτάται άμεσα από την ισχύ εκπομπής και την απόσταση από τον πομπό.

Η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη επίσης επηρεάζει την ισχύ λήψης. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση, τόσο μειώνεται η ισχύς του σήματος λόγω της διάδοσής του σε ένα μεγαλύτερο όγκο αέρα. Τα εμπόδια στο περιβάλλον, όπως κτίρια, δέντρα και άλλα αντικείμενα, μπορούν να προκαλέσουν απώλεια σήματος και να μειώσουν την ισχύ λήψης.

Ο υπολογισμός της απόσβεσης στο πλαίσιο του προτύπου COST-231 Walfisch-Bertoni αφορά την εκτίμηση της απώλειας σήματος κατά τη διάδοσή του μέσα σε ένα περιβάλλον που περιλαμβάνει ανθρωπογενή και φυσικά εμπόδια. Κτίρια, αυτοκίνητα, άνθρωποι και άλλα αντικείμενα μπορούν να προκαλέσουν απορροφητική, διαθλαστική ή ανακλαστική απόσβεση του σήματος.

Δέντρα, βράχια, λόφοι και άλλα φυσικά στοιχεία μπορούν επίσης να εμποδίσουν τη διάδοση του σήματος και να προκαλέσουν απόσβεση. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσβεση του σήματος λόγω της διάδοσής του σε έναν μεγαλύτερο όγκο αέρα.

Η συχνότητα του σήματος επίσης επηρεάζει την απόσβεση, με υψηλότερες συχνότητες να έχουν μεγαλύτερη τάση για απορρόφηση και διάθλαση. Οι καιρικές συνθήκες, όπως η βροχή, η ομίχλη και η χιονόπτωση, επίσης μπορούν να επηρεάσουν την απόσβεση.

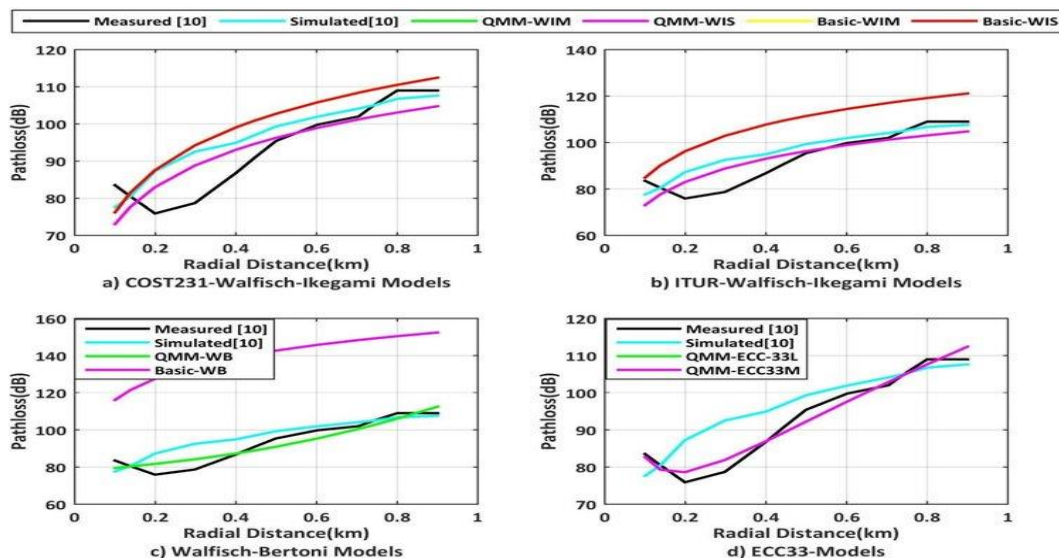
Ο υπολογισμός της επικάλυψης στο πλαίσιο του προτύπου COST-231 Walfisch-Bertoni αφορά τον προσδιορισμό της περιοχής που καλύπτεται από ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών. Η επικάλυψη αποτελεί ένα σημαντικό μέτρο για τον σχεδιασμό των δικτύων και τη διασφάλιση της ποιότητας της επικοινωνίας. Η επικάλυψη εξαρτάται σημαντικά από την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση, τόσο πιο περιορισμένη είναι η επικάλυψη. Η ισχύς εκπομπής του

πομπού επίσης επηρεάζει την επικάλυψη. Μεγαλύτερη ισχύς μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη επικάλυψη.

Η συχνότητα του σήματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Σε υψηλότερες συχνότητες, η επικάλυψη μπορεί να είναι πιο περιορισμένη λόγω της μικρότερης ικανότητας διείσδυσης του σήματος. Η δομή του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών και ανθρωπογενών εμποδίων, επηρεάζει την επικάλυψη. Σε περιοχές με πολλά εμπόδια, η επικάλυψη μπορεί να είναι περιορισμένη. Η αντηλιακή εκτροπή μπορεί επίσης να επηρεάσει την επικάλυψη, ειδικά σε περιοχές με υψηλή ηλιοφάνεια.

Συναρτήσεις

Το μοντέλο COST-231 Walfisch-Bertoni, γνωστό και ως μοντέλο COST-231 Walfisch-Ikegami, είναι ένα προηγμένο μοντέλο διάδοσης που αναπτύχθηκε για την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής σε αστικά περιβάλλοντα. Αυτό το μοντέλο βασίζεται στο αρχικό μοντέλο Walfisch-Bertoni ενσωματώνοντας πρόσθετες παραμέτρους και εμπειρικές προσαρμογές για να βελτιώσει την ακρίβειά του για διάφορες αστικές ρυθμίσεις. Αναπτύχθηκε ως μέρος του ευρωπαϊκού έργου COST-231, το μοντέλο είναι προσαρμοσμένο για την πρόβλεψη διάδοσης σήματος σε συχνότητες από 800 MHz έως 2000 MHz, καθιστώντας το κατάλληλο για σύγχρονα κυβελωτά δίκτυα. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια εις βάθος ανάλυση του μοντέλου COST-231 Walfisch-Bertoni, συμπεριλαμβανομένης της διατύπωσης, των εφαρμογών, των δυνατοτήτων και των περιορισμών του.



Σχήμα 11 Προφίλ παθολογίας που προβλέπονται από μοντέλα QMM βαθμονομημένα με δεδομένα μέτρησης για τον τομέα 1 του [10]

Το μοντέλο COST-231 Walfisch-Bertoni έχει σχεδιαστεί για να εκτιμά την απώλεια διαδρομής σε αστικά περιβάλλοντα λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις των κτιρίων, του πλάτη των δρόμων και άλλων αστικών κατασκευών. Το μοντέλο διαφοροποιεί τις συνθήκες οπτικής επαφής (LOS) και συνθηκών μη οπτικής επαφής (NLOS).

Απώλεια Διαδρομής

$$L = L_0 + L_r + L_m \quad (22)$$

Ελευθέρωση Χώρου Διαδρομής L_0

$$L_0 = 32.4 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (23)$$

Απώλεια Οροφής σε Οροφή L_r

$$L_r = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{d r_{ts}}{d} \right)^2 \left(\frac{4 h r h t}{d r_{ts}^2} \right)^2 \right) \quad (24)$$

Απώλεια Περίθλασης Πολλαπλών Οθονών L_m

$$L_m = 20 \log_{10} \left(\frac{d}{d r_{ts}} \right) + L_{bsh} \quad (25)$$

Συντελεστής μέσου κέρδους ανά ύψος κεραίας

$$L_{bsh} = 18 \log_{10}(h t) \quad (26)$$

Οπου:

d : Απόσταση πομπού και δέκτη (km).

f : Συχνότητα (MHz).

$d r_{ts}$: Απόσταση μεταξύ του πομπού στον τελευταίο όροφο και του δέκτη του δρόμου (χλμ).

$h r$: Ύψος κεραίας δέκτη πάνω από το επίπεδο του δρόμου (m).

$h t$: Ύψος κεραίας πομπού πάνω από το επίπεδο της ταράτσας (m).

Συμπεράσματα

1. Προκλήσεις στη Διάδοση Σήματος

Η διάδοση του ραδιοσήματος σε ασύρματα δίκτυα είναι ένα σύνθετο πρόβλημα, καθώς εμπλέκονται πολλοί φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του σήματος. Εμπόδια όπως κτίρια, βουνά και δέντρα μπορούν να προκαλέσουν:

- **Απώλεια σήματος (Signal Attenuation):** Οφείλεται στην απορρόφηση και τις ανακλάσεις που προκαλούνται από τα εμπόδια, μειώνοντας τη δύναμη και την ποιότητα του σήματος.
- **Πολλαπλοί δρόμοι (Multipath Fading):** Το φαινόμενο κατά το οποίο το σήμα φτάνει στον προορισμό του μέσω πολλών διαδρομών, προκαλώντας διακυμάνσεις στην ένταση του σήματος (fading).
- **Σκίαση (Shadowing):** Εξαιτίας της παρουσίας εμποδίων μεταξύ πομπού και δέκτη, δημιουργούνται περιοχές με χαμηλή ή καθόλου λήψη σήματος.
- **Θόρυβος και παρεμβολές (Noise & Interference):** Παρεμβολές από άλλες ηλεκτρονικές συσκευές ή άλλα σήματα μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα της επικοινωνίας.

Η χρήση των στατιστικών μοντέλων που εξετάζονται στην εργασία βοηθά στον υπολογισμό και την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, προκειμένου να βελτιωθεί η κάλυψη και η ποιότητα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

2. Μοντέλο Okumura-Hata

Το μοντέλο **Okumura-Hata** βασίζεται σε εμπειρικές μετρήσεις και παρέχει εξισώσεις για την πρόβλεψη της απώλειας διαδρομής του σήματος σε διάφορα περιβάλλοντα. Οι κύριες εφαρμογές του μοντέλου αφορούν αστικές, προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Το μοντέλο χρησιμοποιείται κυρίως για:

- **Σχεδιασμό κάλυψης:** Ο υπολογισμός της περιοχής κάλυψης ενός σταθμού βάσης επιτρέπει την αποδοτικότερη τοποθέτηση σταθμών και κεραιών.
- **Σχεδιασμό συχνοτήτων:** Η ανάλυση της απώλειας του σήματος σε διάφορες συχνότητες βοηθά στην αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των κυψελών του δικτύου.
- **Πρόβλεψη χωρητικότητας:** Εκτιμάται η χωρητικότητα του δικτύου, ανάλογα με τη διασπορά των χρηστών και την ποιότητα του σήματος.

Παρά τα δυνατά του σημεία, το μοντέλο παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς:

- Εφαρμόζεται μόνο σε συχνότητες μεταξύ 150 MHz και 1500 MHz, περιορίζοντας τη χρήση του σε πιο σύγχρονα δίκτυα υψηλότερων συχνοτήτων.
- Δεν λαμβάνει υπόψη περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η πυκνότητα της βλάστησης και η ακριβής μορφολογία του εδάφους, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ακρίβεια των προβλέψεων σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα.

Η εργασία τονίζει τη σημασία αυτού του μοντέλου, καθώς προσφέρει μια ισορροπία μεταξύ απλότητας και ακρίβειας, αποτελώντας ακρογωνιαίο λίθο στον προγραμματισμό δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

3. Μοντέλο COST-231 Hata

Το **COST-231 Hata** είναι μια επέκταση του μοντέλου Okumura-Hata, προσαρμοσμένη για υψηλότερες συχνότητες (έως 2000 MHz) και πυκνά αστικά περιβάλλοντα. Παρέχει διορθωτικούς παράγοντες που

προσαρμόζουν τις προβλέψεις για διάφορα είδη περιβαλλόντων, όπως αστικά και προαστιακά περιβάλλοντα, με στόχο την καλύτερη διαχείριση της απώλειας σήματος σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα κτιρίων.

Το COST-231 Hata προσφέρει:

- **Αυξημένη ακρίβεια σε αστικές περιοχές:** Καθώς λαμβάνει υπόψη την πυκνότητα των κτιρίων και την υψομετρική διαφορά, είναι πιο αξιόπιστο σε πόλεις.
- **Πρόβλεψη χωρητικότητας και κάλυψης:** Χρησιμοποιείται εκτενώς για την εκτίμηση της απόδοσης δικτύων GSM και 3G, ενώ μπορεί να προσαρμοστεί για τις απαιτήσεις της τεχνολογίας 4G και 5G.

Παρά τα πλεονεκτήματά του, το μοντέλο αυτό παρουσιάζει και κάποιους περιορισμούς:

- Μπορεί να μην είναι επαρκές σε περιβάλλοντα με πολύπλοκες περιβαλλοντικές συνθήκες ή σε δίκτυα πολύ υψηλών συχνοτήτων, όπως οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στα πιο σύγχρονα δίκτυα 5G.
- Δεν λαμβάνει πλήρως υπόψη δυναμικούς παράγοντες, όπως η κινητικότητα των χρηστών ή οι μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες.

4. Συμπεράσματα για τη Χρήση των Μοντέλων

Τα μοντέλα Okumura-Hata και COST-231 Hata προσφέρουν πρακτικά εργαλεία για το σχεδιασμό δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Παρά την απλότητά τους, οι προβλέψεις που παρέχουν είναι αρκετά ακριβείς για τη διαχείριση της διάδοσης σήματος σε περιβάλλοντα με εμπόδια, γεγονός που τα καθιστά χρήσιμα για μηχανικούς τηλεπικοινωνιών. Ωστόσο, η συνεχής εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών και οι αυξημένες απαιτήσεις των χρηστών καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη νέων μοντέλων ή την επέκταση των υπάρχοντων, ώστε να ληφθούν υπόψη επιπλέον παράγοντες, όπως οι ακραίες καιρικές συνθήκες, η μεταβαλλόμενη πυκνότητα χρήσης και η κινητικότητα των χρηστών.

Τελικό Συμπέρασμα

Η εργασία αυτή προσφέρει μια βαθιά ανάλυση των στατιστικών μοντέλων ραδιοκάλυψης, υπογραμμίζοντας τη σημασία τους στον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων κινητών επικοινωνιών. Τα μοντέλα Okumura-Hata και COST-231 Hata, αν και παρουσιάζουν περιορισμούς, αποτελούν ακρογωνιαίους λίθους στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, συμβάλλοντας στην κατανόηση της διάδοσης σήματος και στην επίλυση των προκλήσεων που θέτει η παρουσία εμποδίων στο περιβάλλον. Η συνέχιση της έρευνας και η βελτίωση των μοντέλων αυτών θα επιτρέψουν την καλύτερη αντιμετώπιση των μελλοντικών προκλήσεων στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών.

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1. Μοντέλο Hata για απώλεια σε προαστιακή συχνότητα και απόσταση

Σχήμα 2. Pathloss των τιμών του μετρημένου, του βελτιστοποιημένου GA και του μοντέλου Okumura-Hata σε σχέση με την απόσταση για το σταθμό βάσης LTE 1

Σχήμα 3. Επίδραση της απόστασης και του τύπου του μέσου στη διάδοση: (α) Κόστος 231 μοντέλο Hata. (β) Μοντέλο Okumura-Hata.

Σχήμα 4. Σύγκριση του μοντέλου Hata, του μοντέλου COST 231 και του προτεινόμενου μοντέλου για το προάστιο Owerri

Σχήμα 5. Σύγκριση εμπειρικού μοντέλου και βελτιστοποιημένου μοντέλου απώλειας διαδρομής COST 231 Hata στο Oniru

Σχήμα 6. Εμπειρικό μοντέλο διάδοσης σε αστικό περιβάλλον

Σχήμα 7. Η εξέλιξη του RTCSUB έναντι του Du για $N=1,5$ και $L_e=1,1$ (περίπτωση $N>NLSUB$)

Σχήμα 8. Σύγκριση της μέσης ισχύος σήματος ανά τομέα για διάφορες θέσεις πομπών, με θεωρητικές προβλέψεις (συμπαγείς γραμμές). Η στάθμη του σήματος είναι σε dBm, η εμβέλεια σε μίλια, η H σε μέτρα.

Σχήμα 9. Σύγκριση απώλειας διαδρομής του μοντέλου Bertoni-Walfisch πριν και μετά τον συντονισμό.

Σχήμα 10. Ακρίβεια και απώλεια με ή χωρίς εξωτερική μνήμη χρησιμοποιώντας ενσωμάτωση εικόνας CNN (VGGNet) με κορυφαίες 3000 απαντήσεις για εκπαίδευση στα σετ train+val του σημείου αναφοράς VQA.

Σχήμα 11. Προφίλ παθολογίας που προβλέπονται από μοντέλα QMM βαθμονομημένα με δεδομένα μέτρησης για τον τομέα 1 του [10]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Okumura, Y., Ohmori, E., Kawano, K., & Fukuda, K. (1968). Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service. *Review of the Electrical Communication Laboratories*, 16(9-10), 825-873.
2. Okumura, Y., Ohmori, E., & Kawano, K. (1968). Study of propagation prediction method for mobile radio telephone. *Proceedings of the General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI)*, 13, 108-118.
3. Yano, S., Hayasaka, Y., Imai, T., Kawabata, A., & Sato, T. (1970). An empirical formula for propagation loss prediction in land mobile radio services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 19(4), 20-27.
4. Hata, M. (1980). Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 29(3), 317-325.
5. Durgin, G. D., & Rappaport, T. S. (2002). Empirical propagation path loss models for wireless communication systems. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50(3), 662-670.
6. Correia, L.M., 2009, March. A view of the COST 231-Bertoni-Ikegami model. In *2009 3rd European conference on antennas and propagation* (pp. 1681-1685). IEEE.
7. Yamada, W., Sasaki, M. and Kita, N., 2021. Extended Walfisch-Bertoni propagation model to cover short range and millimeter-wave bands. *Radio Science*, 56(3), pp.1-8.
8. Ayorinde, A., Muhammed, H. and Mowete, I., 2023. On the Response of Basic Walfisch-Ikegami and Walfisch-Bertoni Models to QMM Calibration. *arXiv preprint arXiv:2302.12307*.
9. Belhadj, N., Oueslati, B. and Aguil, T., 2015, March. Adjustment of Cost231 Walfisch-Ikegami model for HSPA+ in Tunisian urban environments. In *2015 2nd World Symposium on Web Applications and Networking (WSWAN)* (pp. 1-6). IEEE.