

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



ΕΡΓΑΣΙΑ 8^ο ΕΞΑΜΗΝΟΥ

Τηλεπικοινωνιακή Πολιτική και Ρυθμιστικό Περιβάλλον

**Προσδιορισμός της περιοχής ραδιοκάλυψης ενός ψηφιακού
πομπού DRM για όλη την Ελληνική Επικράτεια**

ΜΑΤΣΙΕΙ ΡΑΤΚΙΕΒΙΤΣ 19012

ΕΡΜΙΝΑ ΤΡΟΝΤΖΟΥ 19045

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Αναστάσιος Δ. Παπατσώρης

ΣΕΡΡΕΣ 2023

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας Περιεχομένων	ii
Πίνακας Εικόνων.....	iii
Κατάλογος Πινάκων.....	iv
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή / Θεωρητικό Μέρος	1
1.1 Κριτήρια για το σχεδιασμό της επίγειας ψηφιακής εκπομπής ήχου στη ζώνη MF	2
1.2 Διαδικασία καθορισμού του πεδίου ραδιοκάλυψης	4
1.2.1 Smooth-Earth Model	4
1.2.2 Smooth-Earth Mixed Path Model	5
Κεφάλαιο 2 Πειραματικό / Ερευνητικό Μέρος	6
2.1 Προσδιορισμός Περιοχής Ραδιοκάλυψης.....	6
2.1.1 Εφαρμογή-Παράδειγμα καθορισμού σημείου.....	7
2.1.2 Ολοκληρωμένη Περιοχή Ραδιοκάλυψης.....	9
2.2 Ανάλυση – Επεξήγηση κώδικα	10
2.2.1 Ο κώδικας της σύστασης ITU-R P.368	10
2.2.2 Το αρχείο εισόδου	11
2.2.3 Ο αλγόριθμος αναζήτησης	11
Βιβλιογραφία.....	12
Παράρτηματα	13

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Εξισώσεις για Flat Earth Approximation.....	4
Εικόνα 2: Εξισώσεις μεθόδου Millington	5
Εικόνα 3: Πολιτικός χάρτης Ελλάδας	6
Εικόνα 4: Σημείο ραδιοκάλυψης για 0 μοίρες.....	7
Εικόνα 5 : Αποτέλεσμα κώδικα για 0 μοίρες	7
Εικόνα 6: Σημείο ραδιοκάλυψης για 50 μοίρες.....	8
Εικόνα 7: Αποτέλεσμα κώδικα για 50 μοίρες	8
Εικόνα 8: Περιοχή ραδιοκάλυψης της Ελλάδας.....	9

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εύρος ζώνης για τους συνδυασμούς τρόπων ευρωστίας DRM (kHz)	2
Πίνακας 2: S/N (dB) για την επίτευξη BER 1×10^{-4} για όλους τους τρόπους ευρωστίας DRM.....	3
Πίνακας 3: Ευαισθησία δέκτη.....	3
Πίνακας 4: Minimum usable field strength (dB(μ V/m)) για την επίτευξη BER 1×10^{-4} για DRM ζώνης MF	3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ / ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η σημερινή ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη οωθεί και την ανάπτυξη της ραδιοηλεκτρονικής εκπομπής. Έτσι, στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες φανερό είναι η επιλογή της **μετάδοσης** περιεχομένου ήχου και εικόνας σε **ψηφιακή μορφή**. Η απόφαση αυτή οφείλει όχι μόνο στους δέκτες αλλά και τους ραδιοηλεκτρονικούς φορείς. Οι κυριότερες βελτιώσεις [1] είναι η ικανοποιητική πρόοδος της εικόνας και του ήχου που μεταδίδονται καθώς και η αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων που επιτρέπουν την ταυτόχρονη μετάδοση πολλαπλών καναλιών.

Ο τρόπος με τον οποίο διαδίδεται το ψηφιακό ραδιοφωνικό σήμα στην ατμόσφαιρα ορίζεται ως **Radiowave Propagation**. Η συγκεκριμένη εργασία αναφέρεται σε μια από τις μεθόδους διάδοσης και συγκεκριμένα στην διάδοση κύματος εδάφους (ground wave), η οποία ακολουθεί την κυρτότητα της επιφάνειας της Γης, καθώς μελετάει την διάδοση χαμηλής συχνότητας μέχρι τα 30MHz.

Η ένωση που συντονίζει και καθορίζει παγκόσμια τις προδιαγραφές και απαιτήσεις που πρέπει να ακολουθήσει ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο είναι η **International Telecommunication Union (ITU)**. Αυτή δηλαδή έχει ορίσει και κατηγοριοποιήσει τις ζώνες συχνοτήτων [2]. Τα ραδιοκύματα που πραγμαγματεύεται η εργασία περιγράφονται ως χαμηλής συχνότητας σήματα και κατηγοριοποιούνται στην Middle Frequency Band (**MF**) καθώς αυτή η ζώνη καλύπτει τις ραδιοηλεκτρονικές εκπομπές AM, τις επικοινωνίες από ακτή σε θάλασσα, τα σήματα έκτακτης ανάγκης κ.λπ.

Για την ψηφιακή ραδιοφωνική εκπομπή οι φορείς χρησιμοποιούν το πρότυπο **Digital Radio Mondiale (DRM)**. Το συγκεκριμένο, και ακόμη πιο συγκεκριμένα το DRM30 μοντέλο σχεδιάστηκε από τον οργανισμό ETSI ο οποίος βασίστηκε και ακολούθησε τις συστάσεις της ITU. Αυτός παρέχει υψηλής ποιότητας υπηρεσίες ήχου και φωνής στην ζώνη MF και χρησιμοποιείται αρκετά καθώς προσφέρει την συνύπαρξη της ψηφιακής εκπομπής με την αναλογική, την αυξημένη ποιότητα ήχου και την παροχή εξελιγμένων τεχνολογιών [3]. Στόχος της εργασίας είναι η κατανόηση του συνδιασμού των παραπάνω πληροφοριών και η χρήση τους στην κατασκευή ενός τέτοιου δικτύου.

1.1 Κριτήρια για το σχεδιασμό της επίγειας ψηφιακής εκπομπής ήχου στη ζώνη MF

Το πρότυπο DRM αποτελεί 4 μεθόδους (robustness modes) για να πετύχει την ορθογωνική διαίρεση της συχνότητας. Η εργασία αυτή αναφέρεται στην μέθοδο A2 όπου το A επισημαίνει τις συνθήκες για ένα ground wave στην MF ζώνη και το 2 υποδεικνύει ότι το φάσμα του σήματος είναι στα 9kHz (Πίνακας 1).

Εξίσου σημαντικό κριτήριο σχεδίασης για την εκπομπή είναι το σχήμα διαμόρφωσης του DRM. Υπάρχουν 2 επιλογές, η διαμόρφωση 16QAM ή 64QAM. Αυτές, με τα αντίστοιχα επίπεδα προστασίας τους (2 για την 16QAM ή 4 για την 64QAM) καθορίζουν στον διαμορφωτή τον ρυθμό κωδικοποίησης. Στην εργασία θα χρησιμοποιηθεί δέκτης που λειτουργεί με 64QAM για επίπεδο προστασίας 3. Αυτό σημαίνει ότι οι μέσος ρυθμός κωδικοποίησης θα είναι 0.78.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το πρότυπο DRM προσφέρει μια αξιόπιστη εκπομπή ήχου και εικόνας. Ωστόσο, για να υλοποιηθεί πλήρως η μέγιστη ποιότητα θα πρέπει να επιτευχθεί $BER = 1 \times 10^{-4}$. Η ITU στο ITU-R BS.1615-2 [4] συστήνει για τις παραπάνω παραμέτρους το κατάλληλο S/N (Πίνακας 2) στα 18.7 dB, στο οποίο αν του προστεθεί η τιμή 24.5dB (Πίνακας 3) τότε γνωστή θα γίνει η σημαντική παράμετρος minimum usable field strength (dB(μV/m)) ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό BER. Αυτή η τιμή δίνεται στον Πίνακα 4 της σύστασης και συγκεκριμένα είναι η 43.2 dB(μV/m) (Πίνακας 4).

Πίνακας 1: Εύρος ζώνης για τους συνδυασμούς τρόπων ευρωστίας DRM (kHz)

Robustness mode	Spectrum occupancy type					
	0	1	2	3	4	5
A	4.208	4.708	8.542	9.542	17.208	19.208
B	4.266	4.828	8.578	9.703	17.203	19.266
C				9.477		19.159
D				9.536		19.179
Nominal bandwidth (kHz)	4.5	5	9	10	18	20

Πίνακας 2: S/N (dB) για την επίτευξη BER 1×10^{-4} για όλους τους τρόπους ευρωστίας DRM

Modulation scheme	Protection level No.	Average code rate	Robustness mode/spectrum occupancy type			
			A/2 (9 kHz)	B/3 (10 kHz)	C/3 (10 kHz)	D/3 (10 kHz)
16-QAM	0	0.5	8.6	9.3	9.6	10.2
	1	0.62	10.7	11.3	11.6	12.1
64-QAM	0	0.5	14.1	14.7	15.1	15.9
	1	0.6	15.3	15.9	16.3	17.2
	2	0.71	17.1	17.7	18.1	19.1
	3	0.78	18.7	19.3	19.7	21.4

Πίνακας 3: Ευαισθησία δέκτη

			Double sideband (DSB) (AM)		Digital	
1	Required receiving quality		Audio frequency S/N: 26 dB with 30% (-10.5 dB) modulation (Rec. ITU-R BS.703)		BER = 1×10^{-4}	
2	Required C/N for the above quality (dB)		26 + 10.5 = 36.5		x	
3	Receiver IF bandwidth (kHz)		8		10 (1 dB higher receiver intrinsic noise than DSB)	
4	Receiver sensitivity for the above C/N (dB(μV/m))	LF	66	Required in Recommendation ITU-R BS.703	30.5 + x	(x dB above the receiver intrinsic noise)
		MF	60		24.5 + x	
		HF	40		4.5 + x	
5	Receiver intrinsic noise related to field strength, for the above sensitivity (dB(μV/m))	LF	29.5	(36.5 dB (C/N) below the sensitivity)	30.5	(1 dB higher than DSB)
		MF	23.5		24.5	
		HF	3.5 ⁽¹⁾		4.5	

Πίνακας 4: Minimum usable field strength (dB(μV/m)) για την επίτευξη BER 1×10^{-4} για DRM ζώνης MF

Modulation scheme	Protection level No.	Average code rate	Robustness mode/spectrum occupancy type	
			A/0 (4.5 kHz), A/1 (5 kHz)	A/2 (9 kHz), A/3 (10 kHz)
16-QAM	0	0.5	33.3	33.1
	1	0.62	35.4	35.2
64-QAM	0	0.5	38.8	38.6
	1	0.6	40.3	39.8
	2	0.71	42.0	41.6
	3	0.78	43.7	43.2

1.2 Διαδικασία καθορισμού του πεδίου ραδιοκάλυψης

Με τα κριτήρια σχεδιασμού πλέον γνωστά μπορεί να καθοριστεί το πεδίο ραδιοκάλυψης. Πριν αναλυθεί η διαδικασία για το σενάριο που πραγματεύει αυτή η εργασία, θα πρέπει να αναφερθούν οι μέθοδοι υπολογισμού της έντασης πεδίου E κάθε απόστασης d .

Τα μοντέλα διάδοσης ενός ground wave είναι 2 και συγκεκριμένα το λεγόμενο Smooth-Earth Model και το Smooth-Earth Mixed Path Model [5] [8].

1.2.1 Smooth-Earth Model

Αυτό το μοντέλο αποτελείται από 2 κύριες μεθόδους υπολογισμού. Η μία, γνωστή ως Flat Earth Approximation, μελετάει τις περιπτώσεις όπου οι κεραίες πομπού και δέκτη έχουν οπτική επαφή και άρα ο υπολογισμός της έντασης E γίνεται με τις παρακάτω εξισώσεις :

$$d_{\max}(\text{km}) = 100 f^{-\frac{1}{3}} (\text{MHz}),$$

the attenuation factor A can be determined by the following set of equations:

$$A = \frac{2 + 0.3p}{(2 + p + 0.6p^2)} - \sin b \sqrt{\frac{1}{2}} p e^{-5p/8},$$

$$p = 0.582 d(\text{km}) f^2 (\text{MHz}), \quad \tan b = \frac{(\epsilon_r - 1) f}{18\sigma},$$

$$\tan b = \frac{(\epsilon_r - 1) f}{18\sigma},$$

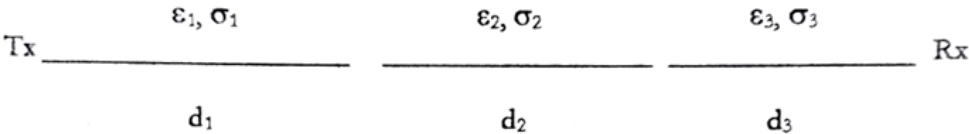
where the auxiliary parameter p is called numerical distance.

Εικόνα 1: Εξισώσεις για Flat Earth Approximation

Όταν όμως παύουν οι κεραίες να έχουν οπτική επαφή και πλέον έχουν απόσταση μεγαλύτερη του d_{\max} , τότε ένας ακόμη παράγοντας επηρεάζει το σήμα και αυτός είναι η κυρτότητα της Γης. Σε αυτήν την δεύτερη μέθοδο υπολογισμού, την Residue Series, ισχύει η προσέγγιση του Norton η οποία περιλαμβάνει πολλαπλούς περίπλοκους υπολογισμούς, οι οποίοι μπορούν είτε να γίνουν με την χρήση ενός υπολογιστή είτε σύμφωνα με τους χάρτες της ITU στην σύσταση P.368-10 [6]. Η βασική ιδέα στη χρήση του χάρτη είναι ότι αφού βρεθεί η ένταση του πεδίου για μια συγκεκριμένη συχνότητα και απόσταση, θα πρέπει να της προστεθεί ένας συντελεστής διορθωσης. Πιο συγκεκριμένα, η πραγματική ένταση πεδίου E σε $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ θα προκύψει από $E_{\text{χάρτη}} \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) + CF$ όπου $CF = 20 \log(E_1/300)$ και $E_1 = FM\sqrt{Pt} \text{ mV/m}$.

1.2.2 Smooth-Earth Mixed Path Model

Το συγκεκριμένο μοντέλο καλύπτει τις περιπτώσεις όπου αλλάζει το είδος του εδάφους ανάμεσα στον πομπό και δέκτη το οποίο είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ένταση του σήματος. Έτσι, η μέθοδος υπολογισμού της έντασης του πεδίου θα πρέπει να προσαρμοστεί ανάλογα. Αυτό το καλύπτει η μέθοδος του Millington με τον εξής τρόπο:



The diagram illustrates the Millington method for calculating the electric field strength. It shows a transmitter (Tx) and a receiver (Rx) connected by three segments. The first segment has ground parameters ϵ_1, σ_1 and distance d_1 . The second segment has ground parameters ϵ_2, σ_2 and distance d_2 . The third segment has ground parameters ϵ_3, σ_3 and distance d_3 .

$$E_f = E_1(d_1) + E_2(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3) - E_3(d_1 + d_2) - E_2(d_1)$$
$$E_r = E_3(d_3) + E_2(d_3 + d_2) + E_1(d_3 + d_2 + d_1) - E_1(d_3 + d_2) - E_2(d_3)$$
$$E = \frac{E_f + E_r}{2} \quad [\text{dB}\mu\text{V/m}].$$

Εικόνα 2: Εξισώσεις μεθόδου Millington

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

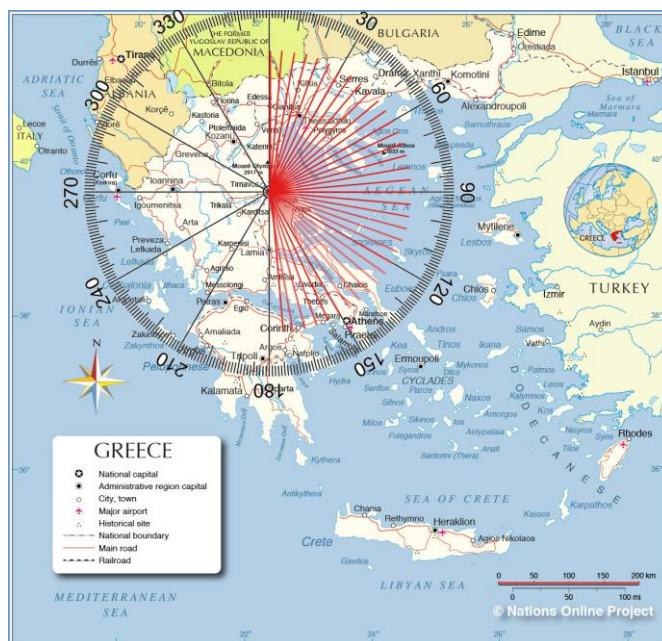
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ / ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Προσδιορισμός Περιοχής Ραδιοκάλυψης

Στόχος της εργασίας είναι να προσδιοριστεί η θεωρητική σφαιρική ραδιοκάλυψη (κάθε 5 μοίρες) ενός ψηφιακού πομπού DRM στην πόλη της Λάρισας, λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις παραμέτρους που αναλύθηκαν. Συγκεκριμένα οι τιμές τους:

- Για την κεραία:
 - SVM (Short Vertical Monopole)
 - Ισχύς 10 KW
 - Ύψος 10 m (πομπού και δέκτη)
- Για το σήμα:
 - Συχνότητα φορέα 1 MHz
 - Εύρος ζώνης 9 kHz
 - Robustness mode A2
 - 64QAM με protection level 3
 - Ground wave propagation
 - Minimum usable field strength 43.2 dB(μV)/m
- Για την διάδοση:
 - Ηλεκτρικές παράμετροι για την στεριά $\sigma=3\text{m/s}$ και $\varepsilon=22$
 - Ηλεκτρικές παράμετροι για την θάλασσα $\sigma=5\text{m/s}$ και $\varepsilon=70$

Αρχικά επιλέχτηκε ένας πολιτικός χάρτης με κλίμακα [7] ώστε να σχεδιαστούν γραμμές για κάθε 5 μοίρες. Αυτό έγινε ώστε να εντοπιστεί εύκολα στον χάρτη η κάθε απόσταση μέχρι την οποία θα εκπέμπει το σήμα, καθώς και πού βρίσκονται οι εναλλαγές μεταξύ στεριάς και θάλασσας οι οποίες επηρεάζουν την διάδοση του.



Εικόνα 3: Πολιτικός χάρτης Ελλάδας

Για τον υπολογισμό των μέγιστης χρήσιμης απόστασης κάθε γραμμής χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένα ο κώδικας της σύστασης ITU-R P.368 ως μέρος ενός προγράμματος αναζήτησης. Η ανάλυση του κώδικα γίνεται στο υποκεφάλαιο 2.2, αλλά με λίγα λόγια, το πρόγραμμα αναζήτησης παίρνει ως είσοδο τις εναλλαγές του τύπου εδάφους κάθε γραμμής και την ελάχιστη χρήσιμη στάθμη του σήματος (43.2 dB(μ V)/m). Έπειτα παίρνει πολλά δείγματα από τους υπολογισμούς του κώδικα της σύστασης και μας δίνει ως έξοδο την μέγιστη απόσταση για κάθε γραμμή έως την οποία έχουμε ραδιοκάλυψη.

2.1.1 Εφαρμογή-Παράδειγμα καθορισμού σημείου

Στην γραμμή που αντιπροσωπεύει τις 0 μοίρες δεν υπάρχει εναλλαγή στο είδος του εδάφους. Χρησιμοποιώντας μόνο τον κώδικα της σύστασης ITU-R P.368, μπορούμε δοκιμάζοντας διάφορες αποστάσεις με τις ηλεκτρικές παραμέτρους του εδάφους να βρούμε πειραματικά και με σχετική ευκολία πως η ραδιοκάλυψη φτάνει μέχρι τα 123 km.

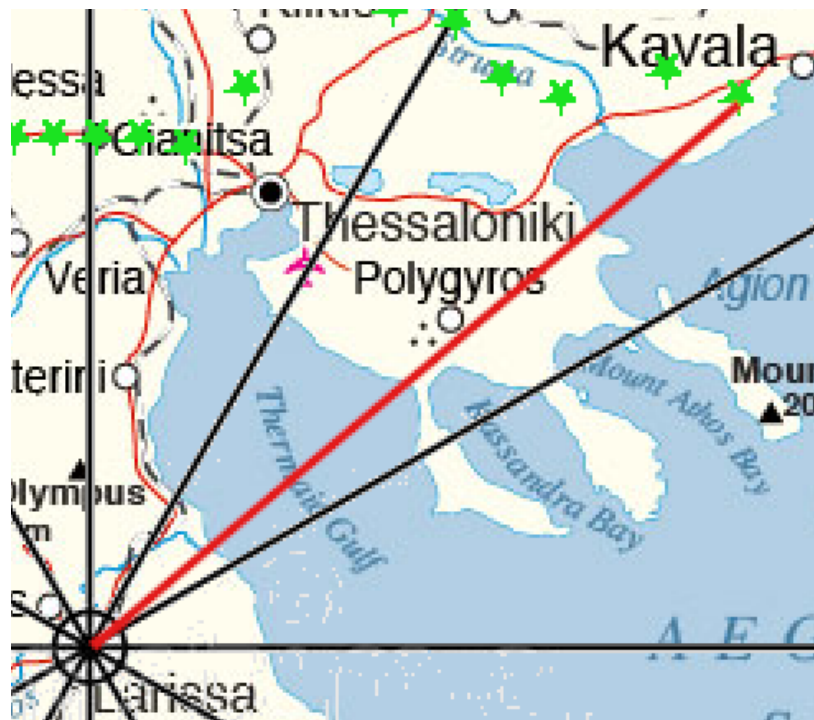


Εικόνα 4: Σημείο ραδιοκάλυψης για 0 μοίρες

```
Angle: 0  
Maximum distance: 123.282470703125 km  
Field strength: 43.200051566211485 dB( $\mu$ V)/m
```

Εικόνα 5 : Αποτέλεσμα κώδικα για 0 μοίρες

Στην γραμμή που αντιπροσωπεύει τις 50 μοίρες, υπάρχουν 5 τμήματα διαφορετικού εδάφους. Επομένως αν θέλουμε δούμε την στάθμη του σήματος κοντά στην Καβάλα, θα χρειαστεί με βάση την μέθοδο του Millington (Εικόνα 2) να υπολογίσουμε 18 εκτιμήσεις με τον κώδικα της σύστασης ITU-R P.368 και να τις συνδυάσουμε. Η πειραματική εύρεση της μέγιστης απόστασης με το χέρι επομένως συναντάει μια δυσκολία. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο αναπτύχθηκε το πρόγραμμα αναζήτησης, που μας επιστρέφει κατευθείαν το αποτέλεσμα στα 203.7 km.



Εικόνα 6: Σημείο ραδιοκάλυψης για 50 μοίρες

```
Angle: 50  
Maximum distance: 203.70055671751967 km  
Field strength: 43.20027991798297 dB(uV)/m
```

Εικόνα 7: Αποτέλεσμα κώδικα για 50 μοίρες

2.1.2 Ολοκληρωμένη Περιοχή Ραδιοκάλυψης

Με τις διαδικασίες που περιγράφηκαν παραπάνω μπορεί πλέον να οριστεί και να φανεί η περιοχή ραδιοκάλυψης του ψηφιακού πομπού DRM στην Λάρισα:



Εικόνα 8: Περιοχή ραδιοκάλυψης της Ελλάδας

2.2 Ανάλυση – Επεξήγηση κώδικα

Το πρόγραμμα αναζήτησης αναπτύχθηκε για να αυτοματοποιήσει την εύρεση της ραδιοκάλυψης. Γράφτηκε σε Rust, η οποία είναι μια μοντέρνα υψηλού επιπέδου γλώσσα με ταχύτητα που αντιστοιχεί στην C. Η επιλογή έγινε για να υλοποιηθεί σύντομα ένα πρόγραμμα που να μπορεί να κάνει αποδοτικά τους πολλούς υπολογισμούς που χρειάζονται χωρίς σφάλματα. Οι βιβλιοθήκες της ίδιας της Rust και της κοινότητάς της μας παρέχουν εύκολη υλοποίηση πολλών κοινών διαδικασιών όπως το διάβασμα του αρχείου εισόδου και εννοιών όπως ο παραλληλισμός.

Η χρήση του προγράμματος γίνεται μέσω τερματικού, δίνοντας του ως ορίσματα το minimum usable field strength και ενδεχομένως το αρχείο με τις γεωγραφικές πληροφορίες κάθε γραμμής. Το αποτέλεσμα στην οθόνη του τερματικού είναι η απόσταση έως την οποία υπάρχει ραδιοκάλυψη για την κάθε γραμμή.

Το πρόγραμμα αναζήτησης μπορεί να χωριστεί σε 4 κομμάτια και συγκεκριμένα :

- Ο κώδικας της σύστασης ITU-R P.368
- Η ανάγνωση του αρχείου
- Ο αλγόριθμος αναζήτησης
- Τα διαδικαστικά (main, ανάγνωση ορισμάτων τερματικού κτλ)

2.2.1 Ο κώδικας της σύστασης ITU-R P.368

Ο κώδικας αυτός είναι επί της ουσίας μια βιβλιοθήκη γραμμένη σε C++. Μας ενδιαφέρει η κύρια συνάρτηση που προσφέρει, η LFMF. Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως παραμέτρους τα ύψη των κεραιών, την απόσταση μεταξύ τους, την συχνότητα του φορέα, την ισχύ του πομπού, τις ηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους και την πόλωση του σήματος. Η έξοδος της, αν οι παράμετροι είναι μέσα στα όρια που πρέπει, είναι η απώλεια διάδοσης και η τελική ισχύς του σήματος και του ηλεκτρικού πεδίου.

Για τον υπολογισμό, κοιτάζοντας την απόσταση των κεραιών και την συχνότητα του φορέα, αποφασίζει ανάμεσα σε δύο μεθόδους: την FlatEarthCurveCorrection και την ResidueSeries. Η πρώτη είναι μια γρήγορη εκτίμηση με την χρήση του Flat Earth Approximation για κοντινές αποστάσεις και η δεύτερη χρησιμοποιεί την προσέγγιση του Norton με πιο ακριβή αποτελέσματα.

Τροποποιήθηκε ο κώδικας ώστε να μην χρησιμοποιείται η μέθοδος Flat Earth Approximation ώστε να γίνει δυνατή η χρήση της συνάρτησης LFMF στην μέθοδο του Millington για μεικτά εδάφη. Επίσης τροποποιήθηκε ώστε να απενεργοποιηθεί μια συντόμευση στους υπολογισμούς της ResidueSeries επειδή προκαλούσε σφάλματα.

2.2.2 Το αρχείο εισόδου

Οι πληροφορίες για κάθε γραμμή γράφονται σε ένα αρχείο Excel. Κάθε γραμμή του Excel αντιστοιχεί σε μία γραμμή-δείγμα της περιοχής κάλυψης. Για κάθε γραμμή καταγράφεται η κατεύθυνσή της και έπειτα οι αποστάσεις από τον πομπό κάθε εναλλαγής ξηράς και θάλασσας. Το αρχείο Excel μετά εξάγεται σε CSV το οποίο διαβάζει το πρόγραμμα και μετασχηματίζει τα δεδομένα του στην μορφή με την οποία τα χειρίζεται.

2.2.3 Ο αλγόριθμος αναζήτησης

Η αναζήτηση έχει σκοπό να βρει την ραδιοκάλυψη πάνω σε μια γραμμή, δηλαδή να προσδιορίσει έως πιο σημείο της γραμμής η στάθμη του σήματος είναι πάντα ίση ή πάνω από το όριο. Επομένως οι εισοδοί είναι τα στοιχεία της γραμμής και το minimum usable field strength και η έξοδος η απόσταση του ορίου της ραδιοκάλυψης. Μετά από αρκετές δοκιμές, επιλέχθηκε μια μέθοδος "γραμμικής αναζήτησης" με σμικρυνόμενο βήμα.

Κάθε γραμμή είναι χωρισμένη σε τμήματα που το κάθε τμήμα είναι ένα είδος εδάφους. Ο αλγόριθμος στην αρχή ψάχνει ποιο είναι το πρώτο τμήμα όπου η στάθμη στο τέλος του είναι κάτω από το όριο και επικεντρώνει την αναζήτηση σε αυτό. Έστερα υπολογίζει με βήμα 5 km την ένταση του πεδίου μέχρι να φτάσει στο σημείο που η ένταση θα είναι κάτω από το όριο. Όταν γίνει αυτό, το βήμα διαιρείται δια 8 και επαναλαμβάνεται η διαδικασία από το τελευταίο σημείο όπου η έντασή του ήταν πάνω από το όριο. Η διαίρεση του βήματος και μαζί η σύγκλιση στο σημείο του ορίου της ραδιοκάλυψης γίνεται μέχρι είτε να βρεθεί το σημείο αυτό με αρκετή ακρίβεια, και οπότε το επιστρέφει ως έξοδο, ή το βήμα να γίνει μικρότερο από το 1 m. Στην περίπτωση που το βήμα έγινε μικρότερο από το 1 m ο αλγόριθμος θα έχει έξοδο το τελευταίο σημείο που η ένταση ήταν πάνω από το όριο.

Για τον υπολογισμό της έντασης του πεδίου σε κάθε απόσταση, χρησιμοποιείται η συνάρτηση `LFMF` από τον κώδικα της σύστασης ITU-R P.368 σε συνδυασμό, όπου χρειάζεται, με την μέθοδο του Millington.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Benefits of digital broadcasting, 2014, PLUM, διαθέσιμο από:

<https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2014/02/Benefits-of-Digital-Broadcasting.-Plum-Consulting.-Jan-2014.pdf>

[2] An Overview of Frequency Bands and Their Applications, Cadence PCB solutions διαθέσιμο από:

<https://resources.pcb.cadence.com/blog/2022-an-overview-of-frequency-bands-and-their-applications>

[3] Introduction, DIGITAL radio mondiale , διαθέσιμο από:

<https://www.drm.org/what-is-drm-digital-radio/summary/>

[7] Political Map of Greece, nationsonline, διαθέσιμο από:

<https://www.nationsonline.org/oneworld/map/greece-political-map.htm>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

[4] Σύσταση της ITU **BS.1615 : "Planning parameters" for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz** , διαθέσιμο από:

<https://www.itu.int/rec/R-REC-BS.1615-2-202012-I/en>

[5] Διαφάνειες του πανεπιστημιακού μαθήματος Communications Policy & Regulatory Environment

[6] Σύσταση της ITU **P.368 : Ground-wave propagation prediction method for frequencies between 10 kHz and 30 MHz**, διαθέσιμο από:

<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.368-10-202208-I/en>

[8] NTIA Report 99-368 : **Medium Frequency Propagation Prediction Techniques and Antenna Modeling for Intelligent Transportation Systems (ITS) Broadcast Applications**, August 1999, Nicholas DeMinco, διαθέσιμο από:

https://its.ntia.gov/umbraco/surface/download/publication?reportNumber=99-368_ocr.pdf