ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Διπλωματική Εργασία

Αλγοριθμική Βελτιστοποίηση Τοπολογίας Κεραιών RFID

Μάριος Σκίτσας

Επιτροπή
Διονύσιος Πνευματικάτος (Επιβλέπων)
Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης
Απόστολος Δόλλας

Χανιά, 28 Σεπτεμβρίου 2012

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Καθηγητές μέλη της επιτροπής κ. Διονύσιο Πνευματικάτο για την επίβλεψη του και την καθοδήγηση του, τον κ. Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη για τις χρήσιμες συμβουλές του καθώς επίσης και τον κ. Απόστολο Δόλλα για το ενδιαφέρον και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις που αφορούν την εργασία αυτή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κυπριανό Παπαδημητρίου για τις πολύτιμες συμβουλές του και τη συνεχή καθοδήγηση του στην επίλυση των προβλημάτων τα οποία συναντήσαμε μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ ακόμη τον κ. Μάρκο Κιμιωνή που όποτε χρειάστηκε να βοηθήσει ήταν εκεί. Καθώς και τον Θανάση Ανδριανάκη για την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου κ. Αντρέα Σκίτσα και κα. Αργυρούλα Σκίτσα για την υποστήριξη και την βοήθεια που μου έδωσαν τόσα χρόνια. Για τη συνεχή χρηματοδότηση και για τις πολύτιμες συμβουλές τους. Καθώς και την αδελφή μου Πολυξένη Σκίτσα που ήταν δίπλα μου όποτε τη χρειάστηκα και όλους τους φίλους και συμφοιτητές μου που με υποστήριξαν.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τον αδελφό μου κ. Μιχάλη Σκίτσα που αγωνίστηκε μαζί μου από την αρχή μέχρι το τέλος αυτής της διπλωματικής εργασίας, για τις πολύτιμες συμβουλές του και για τις ώρες που αφιέρωσε για να με βοηθήσει.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων 5
Κατάλογος Πινάκων 9

1 Εισαγωγή στα RFID συστήματα **13**
1.1 Εισαγωγή στα RFID συστήματα 13
1.2 Περιγραφή Υλικού και Τεχνικά Χαρακτηριστικά 14
1.3 Υλικό 17
1.3.1 Τύποι Ετικετών και Χαρακτηριστικά 17
1.3.2 Τύποι Αντενών / Κεραιών και Χαρακτηριστικά 19
1.3.3 Τύποι και Χαρακτηριστικά Αναγνωστών - Μονάδα Ελέγχου 19
1.3.4 Εφαρμογές RFID συστημάτων και Σύγκριση με Barcode 20

2 Προβλήματα και μέθοδοι αντιμετώπισης **23**
2.1 Προβλήματα για Επίλυση 23
2.2 Μέθοδοι Αντιμετώπισης και Σχετικές δουλειές (Related work) 24
2.3 Γενετικός αλγόριθμος 26
2.3.1 Απεικόνιση Ατόμων σε Δυαδικές Ακολουθίες 27
2.3.2 Πλεονεκτήματα Γενετικών Αλγορίθμων και Εφαρμογές 28

3 Περιγραφή και Αποτελέσματα Πειραμάτων **31**
3.1 Χαρτογράφηση Κεραίας ως προς τον τύπο των Ετικετών 32
3.2 Υπολογισμός συχνότητας ανάγνωσης ετικετών ως προς την απόσταση τους από την κεραία (Rate Vs Distance) 34
3.3 Ευαισθησία ανάγνωσης με διάφορα υλικά (Tag Material Sensitivity) 35
3.4 Συχνότητα διαβάσματος ετικετών σε διάφορες ταξιθετήσεις 38
3.4.1 Στοιχισμένες ετικέτες 39
3.4.2 Ετικέτες σε Στοίβα και Μάζα 41
3.4.3 Εναλλαγή στον αριθμό Κεραιών 42
3.5 Σειρά Ανάγνωσης ετικετών σε διαφορετικές αποστάσεις στο πεδίο κάλυψης της κεραίας 43
3.6 Μέγιστη απόσταση ανάγνωσης ετικέτας ανάλογα με την ενέργεια του Αναγνώστη 44

3.7 Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σε διαφορετικές τιμές ισχύς εξόδου του αναγνώστη . . . 45

4 Υλοποίηση και Περιγραφή Αλγόριθμου 49
4.1 Περιγραφή Προβλήματος . . . 49
4.1.1 Παράμετροι Συνάρτησης Καταλληλότητας (Fitness-Function) . . . 51
4.2 Υλοποίηση ΓΑ και συναρτήσεις υπολογισμού Παραμέτρων σε MATLAB . . . 51
4.2.1 Είσοδοι ΓΑ . . . 52
4.2.2 Είσοδος Διαστάσεις Χώρου . . . 54
4.2.3 Λειτουργία Γενετικού Αλγορίθμου . . . 55
4.3 Υπολογισμός Συντελεστών που καθορίζουν τις τελικές Παραμέτρους της ΣΚ . . . 57
4.3.1 Αρχικός Υπολογισμός Παραμέτρων με Τριγωνομετρικές Εξισώσεις . . . 58
4.3.2 Υπολογισμός με Πλαίσιο Τετραγώνων . . . 62
4.4 Συνάρτηση Καταλληλότητας – Fitness-Function . . . 68

5 Αποτελέσματα και Συγκρίσεις 75
5.1 Αποτελέσματα . . . 75
5.1.1 Προσομείωση δύο κεραιών . . . 75
5.1.2 Προσομείωση για τρεις και τέσσερις κεραίες . . . 78
5.1.3 Προσομοίωση τριών Κεραιών με μη έγκυρη περιοχή . . . 80
5.1.4 Προσομοίωση δύο Κεραιών με διαφορετικά ποσοστά σε Γενετετικές Λειτουργίες . . . 81
5.2 Συγκρίσεις Μεθοδολογίας . . . 82

6 Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία 91
6.1 Συμπεράσματα . . . 91
6.1.1 Τοπολογική Μελέτη . . . 91
6.1.2 Συμπεράσματα Πειραμάτων . . . 92
6.1.3 Γενετικός Αλγόριθμος . . . 92
6.2 Μελλοντικές Εργασίες . . . 92

Α΄ Υλικό και Λογισμικό Που Χρησιμοποιήσαμε 97

Β΄ Οδηγός Προγράμματος Γενετικού Αλγορίθμου 101

Κατάλογος σχημάτων

1.1 RFID System 14
1.2 Διάφοροι Τύποι RFID Ετικετών 18
1.3 Πεδίο Κάλυψης Laird S8658PRJ Κεραίας 19
1.4 Παράδειγμα χρήσης RFID σε εργοστάσιο 20
1.5 Παράδειγμα χρήσης RFID σε ζώα 21
1.6 Παράδειγμα χρήσης RFID σε μετρό και λεωφορεία 21

2.1 Παράδειγμα "κακής" (α) και "καλής" (β) λύσης. Παρατηρώντας τις δύο εικόνες βλέπουμε ότι στην (α) υπάρχει ακάλυπτος χώρος ως προς τη ροή των ετικετών με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα κάποιες από τις ετικέτες αν περάσουν από εκείνο το σημείο να μην διαβαστούν. 24
2.2 Θέση Κεραίας στο Χώρο 28
2.3 Διάγραμμα ροής γενετικού αλγορίθμου 30

3.1 Χαρτογράφηση που αφορά ετικέτα τύπου LabID UH3D40 33
3.2 Χαρτογράφηση που αφορά ετικέτα τύπου Impinj Satellite 34
3.3 Χαρτογράφηση που αφορά ετικέτα τύπου Alien ALN-9640 35
3.4 Σύγκριση των Ετικετών στο πείραμα Χαρτογράφησης 36
3.5 Σύγκριση ρυθμού ανάγνωσης Impinj Satellite ετικέτας ως προς την απόσταση . . 37
3.6 Ισχύς ανάγνωσης ετικέτας τοποθετημένης σε υλικό 38
3.7 Συχνότητα διαβάσματος ως προς Ποσότητα για Impinj Satellite ετικέτες 39
3.8 Συχνότητα διαβάσματος ως προς Ποσότητα για Alien ALN-9540 ετικέτες 41
3.9 Σχέση απόστασης με ισχύ εξόδου αναγνώστη για Impinj Satellite ετικέτα 46
3.10 Σχέση απόστασης με ισχύ εξόδου αναγνώστη για LabID UH3D40 ετικέτα 47
3.11 Κατανάλωση Ηλεκτρικού ρεύματος σε σχέση με την ισχύ εξόδου του αναγνώστη 47

4.1 στο σχήμα αυτό φαίνεται η φορά κίνησης των ετικετών σε κάθετη ροή 50
4.2 Σε αυτή την Σχήμα φαίνεται η φορά κίνησης των ετικετών σε οριζόντια ροή . . . 50
4.3 Μορφή πλαισίου όπου απεικονίζεται ο χώρος εφαρμογής σε 64x64 κουτιά 53
4.4 Παρουσιάζεται ο τρόπος που κατανέμονται τα bits 53
4.5 Παράδειγμα "νεκρού" χώρου. 55

4.6 (a)Τα άτομα σε δυαδική μορφή πριν υποστούν διασταύρωση, (b) Μετά την εφαρμογή διασταύρωσης . . . 57
4.7 Εφαρμογή μετάλλαξης στο 18 γονίδιο του ατόμου . . . 57
4.8 Γραφική απεικόνιση μιας πιθανής λύσης όπου οι δύο κεραίες έχουν ενέργεια 3 και ακτίνα 9 και ο χώρος είναι τετράγωνο με πλευρά 24 μέτρα. (1:3 κλίμακα) . . 59
4.9 Η μπλε περιοχή είναι η περιοχή επικάλυψης του εύρους των 2 κεραιών. Τα κίτρινα σημεία είναι τα σημεία τομής των δύο κύκλων . . . 60
4.10 Matlab κώδικας που χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό του εμβαδού επικάλυψης 61
4.11 Περίπτωση πλήρης εκμετάλλευση του εύρους κάλυψης της κεραίας μας. Επικάλυψη = εμβαδόν κύκλου. . . . 62
4.12 Περιπτώσεις στις οποίες το εύρος της κεραίας είναι μειωμένο επειδή καλύπτει και περιοχές εκτός του χώρου. . . . 63
4.13 Τοποθέτηση των δύο κεραιών στο χώρο. Μαύρο είναι η κάλυψη του χώρου και κόκκινο η επικάλυψη. . . . 64
4.14 Παρατηρούμε τις δύο περιπτώσεις και τις διαφορές τους . . . 65
4.15 Παρατηρώντας το σχήμα βλέπουμε ότι η δεύτερη κεραία καλύπτει μόνο ήδη καλυπτόμενο χώρο . . . 66
4.16 Πρώτο παράδειγμα ανωφελών κεραιών . . . 67
4.17 Δεύτερο παράδειγμα ανωφελών κεραιών . . . 68
4.18 Στο Σχήμα αυτή με μαύρο φαίνεται ο λοβός της κεραίας μας Και με κόκκινο δείχνουμε ότι μπορεί να προσεγγιστεί με κύκλο . . . 69
4.19 Χωρίζουμε το χώρο μας σε υποπεριοχές και ανάλογα με το που βρίσκεται η κεραία μεταφέρουμε τη θέση της από το κέντρο του κύκλου στη κατεύθυνση που γράφει η περιοχή στη οποία βρίσκεται. . . . 70
4.20 Σε αυτή τη περίπτωση οι μηδενικές στήλες είναι 3 άρα η μεταβλητή completeness παίρνει τη τιμή 64-3 δηλαδή completeness=61. . . . 71
4.21 Διάγραμμα ροής προγράμματος . . . 73

5.1 Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας ως προς των αριθμό των γενιών. Παρατηρούμε ότι η τιμή της ΣΚ αυξάνεται από γενιά σε γενιά . . . 76
5.2 Τοποθέτηση Κεραιών μετά το πέρας των 100 γενιών με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα. Αναφέρεται στο πρώτο παράδειγμα και στο σχήμα 5.1 . . . 77
5.3 Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας ως προς των αριθμό των γενιών . . . 78
5.4 Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 100 γενιών με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα. Αναφέρεται στο δεύτερο παράδειγμα και στο σχήμα 5.3 . . . 79
5.5 Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας ως προς των αριθμό των γενιών . . . 80
5.6 Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 60 γενιών με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα. Αναφέρεται στο τρίτο παράδειγμα και στο σχήμα 5.5 . . . 81
5.7 Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας σε μια “κακιά” λύση . . . 82
5.8 Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 60 γενιών σε “κακιά” λύση με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα. Αναφέρεται στο τέταρτο παράδειγμα και στο σχήμα 5.7 . . 83

5.9 Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας για τρεις κεραίες 84
5.10 Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 100 γενιών με τρεις κεραίες με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα Αναφέρεται στο πέμπτο παράδειγμα και στο σχήμα 5.9 . . . 85
5.11 Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας για τέσσερις κεραίες 86
5.12 Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 100 γενιών με τέσσερις κεραίες. Αναφέρεται στο έκτο παράδειγμα και στο Σχήμα 5.9 87
5.13 Παράδειγμα τοποθέτησης κεραιών σε οριζόντια ροή αποφεύγοντας τα μη-έγκυρα σημεία. Οι διαστάσεις του χώρου μας είναι 28x28 μέτρα 88
5.14 Σε αυτό το γράφημα παρατηρούμε πως συμπεριφέρεται η Fitness Function στους διαφορετικούς συνδιασμούς των ποσοστών των γενετικών λειτουργιών 89

Β΄.1 Ιδανική περίπτωση κάλυψης χώρου χωρίς ποσοστό επικάλυψης 103
Β΄.2 Σε αυτό το σχήμα φαίνεται ο τρόπος που κατανέμεται το ποσό κάλυψης και επικάλυψης όταν το ποσοστό επικάλυψης είναι 10% 104

Κατάλογος πινάκων

1.1 Δομή EPC Κώδικα 16
1.2 Κλάσεις Ετικετών 18

3.1 Πίνακας αποτελεσμάτων για στοιχισμένες Impinj Satellite ετικέτες 40
3.2 Πίνακας αποτελεσμάτων για στοιχισμένες Alien ALN-9540 ετικέτες 40
3.3 Πίνακας αποτελεσμάτων για Impinj Satellite ετικέτες σε στοίβα 41
3.4 Πίνακας αποτελεσμάτων για Alien ALN-9540 ετικέτες σε στοίβα 42
3.5 Πίνακας αποτελεσμάτων για εναλλαγές κεραιών 43
3.6 Πίνακας όπου βλέπουμε μερικές από τις μετρήσεις μας 45

4.1 Ακτίνα Κεραιών βάση της ενέργειας τους 58
4.2 Παράδειγμα τοποθέτησης κεραίων 64

5.1 Πίνακας στον οποίο παρατηρούμε τους συνδιασμούς των πιθανοτήτων Crossover και Mutation καθώς και το πλήθος εφαρμογής τους 89
5.2 Πίνακας στον οποίο καταγράφονται οι διαφορές των παραμέτρων των δουλειών 90
5.3 Πίνακας στον οποίο καταγράφονται οι διαφορές των δουλειών 90

Α΄.1 Impinj Speedway® Revolution Reader IPJ-REV 97
Α΄.2 Laird technologies S8658PLJ και S8658PRJ 98
Α΄.3 CS-777 BrickyardTM Near-Field Antenna 98
Α΄.4 Impinj MINI-GUARDRAIL ANTENNA 98
Α΄.5 Διάφοροι Τύποι Κεραιών 99

Β΄.1 Πρόταση Τιμών για Γενετικό Αλγόριθμο 102
Β΄.2 Πρόταση Τιμών ποσοστό επικάλυψης 103

Εισαγωγή

Η Αλγοριθμική Βελτιστοποίηση της Τοπολογίας RFID κεραιών είναι μέρος της συνολικής μελέτης που αφορά ένα RFID σύστημα. Μια σωστή τοπολογική μελέτη είναι σημαντική και χρήσιμη για τους χρήστες αυτής της τεχνολογίας τόσο σε κόστος όσο και σε ασφάλεια του συστήματος τους και αυτό αποτέλεσε το κίνητρο μας για αυτήν τη διπλωματική εργασία.

Τα RFID συστήματα αποτελούνται από αναγνώστες, κεραίες/αντένες, ετικέτες και μονάδα ελέγχου/αποθήκευσης. Ο αναγνώστης είναι άμεσα συνδεδεμένος με τις κεραίες και προαιρετικά με τη μονάδα ελέγχου. Αν μια ετικέτα βρεθεί στο πεδίο κάλυψης της κεραίας, τότε η ετικέτα ενεργοποιείτε και στέλνει τα δεδομένα της. Το πρόβλημα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε έχει να κάνει με την κάλυψη του χώρου της εφαρμογής μας από RFID κεραίες με σκοπό να ανιχνεύονται όλες οι RFID ετικέτες που μπαίνουν στο χώρο εφαρμογής μας. Θεωρούμε ότι οι ετικέτες που μπαίνουν στο χώρο μας ακολουθούν μια διαδρομή δηλαδή εισέρχονται στο χώρο μας από πάνω ή από κάτω και κινούνται κάθετα, ή εισέρχονται από δεξιά ή αριστερά και κινούνται οριζόντια. Στόχος μας είναι να μην επιτρέψουμε σε καμιά ετικέτα να βρει διαδρομή η οποία δεν καλύπτετε από κάποια κεραία.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τα RFID συστήματα, τα υλικά τα οποία το αποτελούν καθώς και για τα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών. Θα αναφερθούμε επίσης σε τεχνικά χαρακτηριστικά των RFID συστημάτων καθώς και στα πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιούν για αποφυγή συγκρούσεων. Θα αναφερθούμε στις διάφορες εφαρμογές οι οποίες χρησιμοποιούν αυτά τα συστήματα και θα εξηγήσουμε για πιο λόγο μπορούν να είναι εύχρηστα και αξιοποιήσιμα. Καθώς επίσης θα αναφέρουμε και για τις διαφορές μεταξύ RFID τεχνολογίας και Barcode.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα προβλήματα που συναντάμε και τους τρόπους αντιμετώπισης. Θα εξηγήσουμε πιο αναλυτικά πιο είναι το πρόβλημα το οποίο έχουμε να αντιμετωπίσουμε, καθώς και γιατί πρέπει να γίνει περεταίρω μελέτη όσο αφορά την τοπολογία των κεραιών σε RFID συστήματα. Θα μιλήσουμε επίσης για το Γενετικό Αλγόριθμο που τελικά θα χρησιμοποιήσουμε για την επίλυση του προβλήματος μας. Ο Γενετικός Αλγόριθμος είναι ένας γρήγορος αλγόριθμος για τον οποίο όμως δεν μπορεί να υπάρξει μαθηματικό μοτίβο που να μπορεί να αποδείξει ότι συγκλίνει σε βέλτιστη λύση. Εμείς τον διαλέξαμε επειδή είναι γρήγορος, αξιόπιστος και αποφεύγει τη σύγκλιση σε τοπικά ακρότατα, παρά μόνο σε ολικά ακρότατα.

Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο, θα αναφερθούμε σε διάφορα πειράματα τα οποία έγιναν με σκοπό να λάβουμε κάποια σημαντικά συμπεράσματα όσο αφορά την τεχνολογία των RFID

συστημάτων. Συμπεράσματα τα οποία είναι χρήσιμα όσο αφορά την τοπολογική μελέτη και την αξιοπιστία του συστήματος μας. Θα εξηγήσουμε σε ποιες συνθήκες έγιναν αυτά τα πειράματα καθώς θα παρουσιάσουμε γραφικό αποτέλεσμα. Τα πειράματα έγιναν με σκοπό την πλήρη κατανόηση και εξοικείωση με τον εξοπλισμού μας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται και περιγράφετε ο αλγόριθμο που επιλύει το πρόβλημα μας. Θα δούμε αναλυτικά πως εφαρμόζεται ο αλγόριθμος στο πρόβλημα μας καθώς και κάποιες συναρτήσεις που είναι χρήσιμες για τις παραμέτρους τις οποίες χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος μας. Οι συναρτήσεις που υλοποιήθηκαν είναι χρήσιμες επειδή υπολογίζουν κάποιους συντελεστές οι οποίοι είναι απαραίτητοι στον υπολογισμό της συνάρτησης καταλληλότητας. Η συνάρτηση καταλληλότητας (ΣΚ / Fitness-Function) είναι ένα από το πιο σημαντικό κομμάτι του γενετικού αλγορίθμου. Σε αυτό το κεφάλαιο εξηγούμε επίσης το πώς προέκυψε η ΣΚ και οι παράμετροι της.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου που υλοποιήσαμε για διαφορετικές εισόδους και διαφορετικά προβλήματα. Για κάθε αποτέλεσμα που παρουσιάζεται, γίνετε περιγραφή του προβλήματος καθώς και των εισόδων από τα οποία προέκυψε το αποτέλεσμα. Στη συνέχεια του πέμπτου κεφαλαίου γίνεται σύγκριση των παραμέτρων του αλγορίθμου μας, καθώς και της συνολικής μας εργασίας με άλλες σχετικές εργασίες.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο θα παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα πειράματα και την υλοποίηση του αλγορίθμου. Συμπεράσματα τα οποία είναι πολύ χρήσιμα για χρήστες RFID συστημάτων και έχουν να κάνουν τόσο με την ασφάλεια όσο και με το κόστος και τη λειτουργικότητα των συστημάτων. Και τέλος σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφέρονται και μελλοντικές επεκτάσεις που μπορούν να γίνουν για να κάνουν τον αλγόριθμο μας πιο γρήγορο ή ακόμα να τον χρησιμοποιήσουν για επίλυση άλλων προβλημάτων.

Κεφάλαιο 1

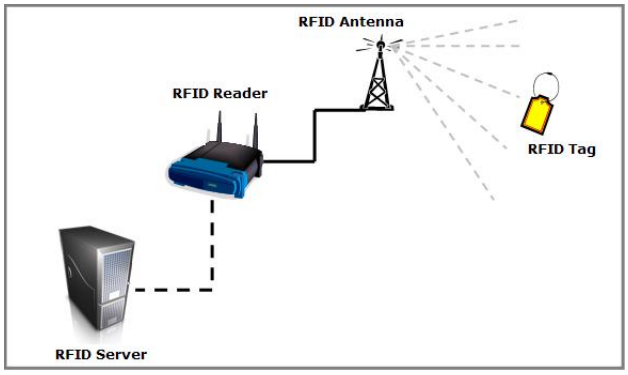
Εισαγωγή στα RFID συστήματα

1.1 Εισαγωγή στα RFID συστήματα

Το RFID είναι τα αρχικά του όρου "Radio-Frequency Identification", που μεταφράζεται στα ελληνικά σαν "Ταυτοποίηση μέσω Ραδιοσυχνοτήτων". Είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για μεταφορά πληροφορίας από τις RFID ετικέτες (RFID tags), χρησιμοποιώντας ένα αναγνώστη (Reader/Interrogator), με σκοπό την αναγνώριση της πληροφορίας αυτής. Ο όρος Interrogator μεταφράζεται ως ανακριτής και χρησιμοποιείται επειδή στην πραγματικότητα ο αναγνώστης "ανακρίνει" την ετικέτα η οποία έχει ένα πιο παθητικό ρόλο στα RFID συστήματα. Η ανάγνωση των ετικετών μπορεί να γίνει από απόσταση και χωρίς οπτική επαφή του αναγνώστη και της ετικέτας. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τη πολεμική αεροπορία της Αγγλίας κατά τη διάρκεια του Β΄ παγκοσμίου πολέμου με σκοπό να διακρίνουν τα φιλικά από τα εχθρικά αεροπλάνα. Με τη πάροδο του χρόνου άρχισε να εδραιώνεται η χρήση και η εκμετάλλευση της τεχνολογίας, σε πειραματικό και εργαστηριακό επίπεδο για να φτάσουμε στο Γενάρη του 1973 όταν ο Mario W Cardullo, όπως ισχυριζόταν, έλαβε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ για μία ενεργή ετικέτα (active Tag) με επανεγγράψιμο μνήμη. Την ίδια χρονιά ο Charles Walton έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα παθητικό αναμεταδότη(passive tag) που χρησιμοποιούνταν για να ξεκλειδώνει μια πόρτα χωρίς κλειδί. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που σχετίζονται με τη συντομογραφία RFID χορηγήθηκε στον Charles Walton το 1983.

Το RFID χρησιμοποιεί ετικέτες που βρίσκονται ενσωματωμένες στα αντικείμενα που πρόκειται να προσδιοριστούν και οι οποίες περιλαμβάνουν ένα μικρό πομπό και δέκτη ραδιοσυχνοτήτων (RF). Ένα αναγνώστη ο οποίος στέλλει ένα αποκωδικοποιημένο ραδιοφωνικό σήμα στη ετικέτα και ανακρίνει(interrogate) την ετικέτα. Οι αναγνώστες RFID έχουν ενσωματωμένα μια κεραία (RFID antenna) και μια μονάδα ελέγχου(Backend System / RFID Server). Όταν η ετικέτα λάβει το μήνυμα τότε απαντά με τα στοιχεία αναγνώρισης της. Οι πληροφορίες της ετικέτας είναι αποθηκευμένες σε μία μη-πτητική μνήμη(non-volatile memory). Η επικοινωνία μπορεί να είναι εφικτή σε αποστάσεις μικρότερες των 10 μέτρων.

Στο Σχήμα 1.1 παρατηρούμε τον τρόπο επικοινωνίας και μεταφοράς πληροφορίας από τον



Σχήμα 1.1: RFID System

αναγνώστη προς την ετικέτα και αντίθετα. Καθώς επίσης και την καταγραφή των δεδομένων σε μονάδα ελέγχου και αποθήκευσης.

1.2 Περιγραφή Υλικού και Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε στις συσκευές/υλικά που αποτελούν ένα RFID σύστημα και στα πια χαρακτηριστικά πρέπει να έχουν για να είναι προσιτό και εύχρηστο (Σχ. 1.1). Ένα RFID σύστημα αποτελείται από:

- RFID Αναγνώστη (Reader / Interrogator)
- Κεραίες / Αντένες (RFID antennas)
- Ετικέτες (RFID tags) και
- Μονάδα ελέγχου ή Μονάδα αποθήκευσης και επεξεργασίας (Back-End System)

Τα RFID συστήματα δουλεύουν σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων ανάλογα με τις προδιαγραφές κατασκευής των αναγνωστών.

- LF (125kHz)
- HF (13.56MHz)
- UHF (865MHz)
- MW (2.4GHz)

Και το πεδίο ανάγνωσης τους διακρίνεται σε κοντινό (Near-Field) και μακρινό (Far-Field). Το όριο διαχωρισμού μεταξύ κοντινού και μακρινού πεδίου είναι:

$$R = \frac{\lambda}{2\pi}$$

Η σηματοδοσία μεταξύ ετικετών και αναγνωστών γίνεται με διάφορους τρόπους ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιεί η ετικέτα. Ετικέτες που λειτουργούν σε LF και HF συχνότητες πρέπει να είναι , βάση του μήκους ράδιο-κύματος τους, πολύ κοντά στην αντένα με το όριο απομάκρυνσης τους να ορίζεται σε λιγότερο από ένα μήκος κύματος. Σε αυτό το κοντινό πεδίο η ετικέτα είναι στενά συνδεδεμένη με τον αναγνώστη. Ενώ σε UHF και Micro-Waves συχνότητες η ετικέτα μπορεί να ανιχνευθεί και να αναγνωστεί σε αποστάσεις μεγαλύτερες του ενός μήκος κύματος. Εμείς έχουμε στη διάθεση μας εξοπλισμό ο οποίος δουλεύει σε UHF συχνότητες.

Ένας Ηλεκτρονικός Κωδικός Προϊόντος (Electronic Product Code, EPC) είναι ένας κοινός τύπος των δεδομένων που αποθηκεύονται στην ετικέτα. Ένας από τους βασικούς παράγοντες που εμπόδιζαν μέχρι σήμερα – και εξακολουθούν να καθυστερούν – την υλοποίηση της νέας τεχνολογίας στο χώρο του λιανεμπορίου είναι το αυξημένο κόστος των RFID ετικετών. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, οι ετικέτες έπρεπε να διαμορφωθούν όσο το δυνατόν απλούστερες. Έτσι, αντί να αποθηκεύουν και να επεξεργάζονται πληροφορίες, αναπτύχθηκε η ιδέα να λειτουργούν ως δείκτες σε πληροφορίες που θα αποθηκεύονται σε υπολογιστές, με τρόπο ανάλογο με αυτόν που διέπει τη λειτουργία του διαδικτύου. Η απόδοση ενός μοναδικού EPC σε κάθε προϊόν εξυπηρετεί τον σκοπό αυτό, παρέχοντας άμεση πρόσβαση σε λεπτομερείς πληροφορίες του προϊόντος, σε οποιοδήποτε στάδιο της ροής της εφοδιαστικής αλυσίδας κι αν βρίσκεται. Η δομή του ηλεκτρονικού κωδικού προϊόντος είναι ανάλογη με εκείνη του Παγκόσμιου Κωδικού Προϊόντος (Universal Product Code, UPC) που χρησιμοποιείται σήμερα στα barcodes, καθώς το μέγεθός του ποικίλει από 64 έως 256 bits και αποτελείται από τέσσερα διακριτά πεδία. Αυτό που διαφοροποιεί τον EPC είναι η σειριακή αρίθμηση που ακολουθείται και η οποία επιτρέπει τον διαχωρισμό της μοναδικότητας του κάθε είδους και την ανίχνευσή του κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Τα επιμέρους τμήματα που δομούν τον EPC είναι τα ακόλουθα:

Επικεφαλίδα (Header): Το αρχικό πεδίο του κωδικού, με μήκος 8 bits. Η τιμή του προσδιορίζει το μέγεθος του κωδικού. Για παράδειγμα, η τιμή "01" δηλώνει έναν ηλεκτρονικό κωδικό προϊόντος τύπου 1, ο οποίος έχει συνολικό μήκος 96 bits.

EPC Διαχειριστής (EPC Manager): Προσδιορίζει τον κατασκευαστή του προϊόντος, που φέρει τον συγκεκριμένο κωδικό.

Κατηγορία Αντικειμένου (Object Class): Αναφέρεται στον ακριβή τύπο του προϊόντος, κατ' αναλογία με ένα SKU (Stock Keeping Unit).

Σειριακός Αριθμός (Serial Number): Παρέχει και διασφαλίζει τον μοναδικό προσδιορισμό των προϊόντων. Για παράδειγμα, ένας κωδικός μήκους 96 bits μπορεί να ταυτοποιήσει μοναδικά έως 296 είδη.

Στον Πίνακα 1.1 απεικονίζεται σχηματικά η αναλυτική δομή ενός EPC κωδικού, μήκους 96 bits

Header (0-7 bits)	EPC Manager (8-35 bits)	Object Class (36-59 bits)	Serial Number (60-69 bits)
01	000A89	00016F	000169DC0

Πίνακας 1.1: Δομή EPC Κώδικα

Οι εφαρμογές των RFID συστημάτων αναφέρονται σε ανταπόκριση περισσότερων από μίας ετικέτας σε έναν αναγνώστη. Πολλά προϊόντα μπορούν να σταλούν σε ένα αναγνώστη την ίδια στιγμή και για αυτό το λόγω πρέπει να χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο το οποίο να ανιχνεύει και να αντιμετωπίζει συγκρούσεις για να μπορέσει να επιτραπεί η ανάγνωση δεδομένων. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται είναι:

- Anti-Collision [15, 16, 17]
  - Binary Tree
  - Aloha

Στο δικό μας σύστημα χρησιμοποιείται τόσο το Binary Tree όσο και το πρωτόκολλο Aloha και συγκεκριμένα το Aloha με σχισμές (slotted-Aloha). Αρχικά χρησιμοποιείται το δυαδικό δέντρο με σκοπό να ομαδοποιήσει ετικέτες που έχουν κοινά αναγνωριστικά bits. Ο αναγνώστης επιλέγει '0'ή '1' για αρχικοποίηση. Αν ο αναγνώστης κάνει μια επιλογή, η διαδικασία της ταυτοποίησης πρέπει να κρατήσει τον τρόπο επιλογής της και όταν το δέντρο διασπάται σε κόμβους. Τότε ο αλγόριθμος δυαδικού δένδρου λειτουργεί ως εξής:

Βήμα 1 Ο αναγνώστης εκπέμπει k-μήκος προθέματος.

Βήμα 2 Οι ετικέτες στέλνουν το (k +1)bit, αν τα πρώτα k bits των αναγνωριστικών ετικετών είναι ίδια με το πρόθεμα.

Βήμα 3 Αν τα bits που λαμβάνονται συγκρούονται, τότε στο εκτεταμένο πρόθεμα επισυνάπτεται '0' ή '1' και αναμεταδίδονται από τον αναγνώστη. Εάν δεν συγκρούονται, το πρόθεμα του λαμβανομένου bit συνδέεται με το επόμενο πρόθεμα. Εάν δεν υπάρχει ανταπόκριση, η διακλάδωση αγνοείται. Επίσης, αν η σύγκρουση συμβαίνει στο τελευταίο bit του αναγνωριστικού της ετικέτας, ο αναγνώστης υποθέτει υπάρχουν δύο ετικέτες λόγω της μοναδικότητας των αναγνωριστικών των ετικετών.

Βήμα 4 Ο αναγνώστης επαναλαμβάνει τη διαδικασία μέχρι να ερευνηθούν όλοι οι κλάδοι.

Αφού ο αναγνώστης χρησιμοποιήσει το δυαδικό δέντρο για ομαδοποίηση ετικετών στη συνέχεια για να αποφύγει συγκρούσεις σε αυτές τις ομάδες χρησιμοποιεί το slotted-Aloha πρωτόκολλο. Το πρωτόκολλο slotted-Aloha είναι μια βελτίωση του αρχικού Aloha που και έχει καταφέρει με την τεχνική των χρονοθυρίδων/σχισμών (timeslots) να αυξήσει την απόδοση του και να μειώσει τις συγκρούσεις. Η αποστολή πληροφορίας γίνεται μόνο στην αρχή μιας σχισμής και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην γίνονται συγκρούσεις κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Αν υπάρξει σύγκρουση σημαίνει ότι μια πληροφορία δεν τροχοδρομήθηκε, επειδή μια άλλη πρόλαβε να πάρει τη σχισμή, και τότε η πληροφορία θα σταλεί σε μια επόμενη σχισμή. Αν μόνο μία ετικέτα βρίσκετε στο πεδίο της κεραίας τότε η επικοινωνία και η αποστολή της πληροφορίας γίνεται με 100% επιτυχία. Σε περιπτώσεις όμως περισσότερων ετικετών στο χώρο- αυτό είναι που μας ενδιαφέρει- το πρωτόκολλο αυτό έχει επίδοση 36%. Τα RFID συστήματα δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη να μειώσει ή να αυξήσει το μέγεθος της σχισμής μεταβάλλοντας το timeout. Ο αναγνώστης του εργαστηρίου μας έχει αυτόματη λειτουργία αυξομείωσης του timeout.

1.3 Υλικό

Όπως ήδη αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, ένα RFID σύστημα αποτελείται από τις πιο κάτω συσκευές/υλικά:

- RFID Αναγνώστη (Reader / Interrogator)
- Κεραίες / Αντένες (RFID antennas)
- Ετικέτες (RFID tags) και
- Μονάδα ελέγχου ή Μονάδα αποθήκευσης και επεξεργασίας (Back-End System)

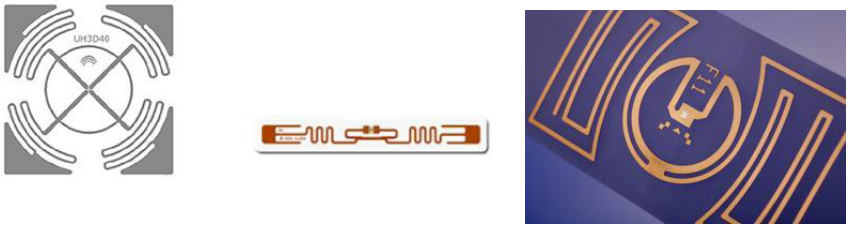
Συσκευές και υλικά τα οποία υπάρχουν σε πολλές μορφές και με διάφορα χαρακτηριστικά τα οποία θα δούμε στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου.

1.3.1 Τύποι Ετικετών και Χαρακτηριστικά

Στις εφαρμογές RFID συστημάτων τα αντικείμενα που πρόκριτε να ανιχνευθούν πρέπει να φέρουν μια RFID ετικέτα τοποθετημένη πάνω τους. Αποτελούνται από μικροσκοπικά κυκλώματα που τοποθετούνται πάνω σε μία αντένα της ετικέτας (Tag Antenna) και έχουν σκοπό τους την αποστολή και λήψη πληροφορίας. Το υλικό κατασκευής τους μπορεί να διαφέρει και ο όγκος πληροφοριών που μπορεί να αποθηκεύσουν εξαρτάται από την κατασκευάστρια εταιρεία και από την εφαρμογή.

Οι ετικέτες όπως ήδη αναφέραμε μπορούν να ανήκουν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο επικοινωνίας τους με τους αναγνώστες:

- Ενεργές Ετικέτες (Active Tags)



(α′) (β′) (γ′)

Σχήμα 1.2: Διάφοροι Τύποι RFID Ετικετών

- Παθητικές Ετικέτες (Passive Tags) και
- Ημι-Παθητικές Ετικέτες (Semi-Passive Tags).

Και χωρίζονται σε πέντε κλάσεις ανάλογα με τον τρόπο εγγραφής και διαβάσματος τους. Στο εργαστήριο εμείς έχουμε παθητικές ετικέτες κλάσης 2. Δηλαδή ετικέτες οι οποίες δεν χρησιμοποιούν μπαταρία και που είναι επανεγγράψιμες.

Tag Class	Features	
Class 0	Passive	Read Only
Class 1	Passive	Write Once, Read Many
Class 2	**Passive**	**Read, Write**
Class 3	Semi-Passive	Read, Write
Class 4	Active	Read, Write

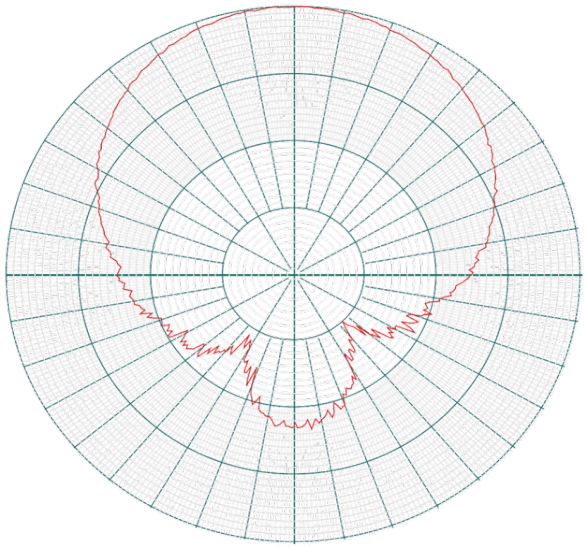
Πίνακας 1.2: Κλάσεις Ετικετών

Οι παθητικές ετικέτες είναι μικρές και φθηνές επειδή δεν έχουν μπαταρία και περιορίζονται στο να αντλούν ενέργεια από τον αναγνώστη. Με αυτό τον τρόπο ενεργοποιεί τα κυκλώματα της και στέλνει τις πληροφορίες που έχει στη μνήμη της. Παρατηρώντας τον πιο Πίνακα 1.2 βλέπουμε ότι οι παθητικές ετικέτες μπορούν να ανήκουν μέχρι και στην κλάση 2, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να υποστηρίζουν είτε λειτουργίες μόνο ανάγνωσης είτε λειτουργίες πολλαπλών αναγνώσεων και επανεγγραφών. Οι ενεργές ετικέτες είναι μεγάλες σε μέγεθος και ακριβές για χρήση. Πολλές ενεργές ετικέτες σήμερα, έχουν εύρος λειτουργίας εκατοντάδες μέτρων και η μπαταρία τους διαρκεί από μερικούς μήνες έως 10 χρόνια. Οι ενεργές ετικέτες μπορεί να περιέχουν μεγαλύτερη μνήμη από τις παθητικές και την ικανότητα να αποθηκεύσουν πρόσθετες πληροφορίες ερχόμενες από τον αναγνώστη. Έχουν πιο αξιόπιστες επικοινωνίες με τον αναγνώστη και ανήκουν στη τελευταία κλάση ετικετών. Τέλος οι ημι-παθητικές ετικέτες, είναι παρόμοιες με τις ενεργές στο ότι έχουν μπαταρία. Η διαφορά είναι ότι η μπαταρία τους δίνει ενέργεια στο κύκλωμα που περιέχουν και δεν τροφοδοτεί την αποστολή του σήματος. Δηλαδή δρουν ενεργητικά

στην ενεργοποίηση του κυκλώματος τους, για αποστολή των πληροφοριών τους, αλλά παθητικά στο γράψιμο και στην ανάγνωση τους, δηλαδή δεν χρειάζονται να αντλήσουν ενέργεια από τον αναγνώστη για να ενεργοποιήσουν το κύκλωμα τους. Ανήκουν στην κλάση 3 και υποστηρίζουν λειτουργίες πολλαπλών αναγνώσεων και επανεγγραφών.

1.3.2 Τύποι Αντενών / Κεραιών και Χαρακτηριστικά

Οι κεραίες που χρησιμοποιούν οι αναγνώστες διακρίνονται σε κοντινού και μακρινού πεδίου (Near Field and Far Field) και είναι υπεύθυνες για την επικοινωνία -αποστολή και λήψη πληροφοριών- με τις ετικέτες όταν αυτές βρεθούν στο μαγνητικό τους πεδίο. Δηλαδή είναι το μέσω το οποίο χρησιμοποιεί ο αναγνώστης για την επίτευξη επικοινωνίας. Ανάλογα με την εφαρμογή, ο χρήστης RFID συστήματος πρέπει να διαλέξει ποιου τύπου και πόσες κεραίες θα χρησιμοποιήσει. Κάποιες εφαρμογές χρησιμοποιούν κεραίες οι οποίες είναι ενσωματωμένες στον αναγνώστη, αλλά οι περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούν αυτές που συνδέονται με τον αναγνώστη μέσω καλωδίου και μπορούν να είναι απομακρυσμένες από αυτόν. Οι αντένες των αναγνωστών όπως είπαμε κατηγοριοποιούνται με βάση το εύρος κάλυψης πεδίου που προσφέρουν. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται παράδειγμα πεδίου κάλυψης μιας μακρινού πεδίου κεραίας(FFC antenna).



Σχήμα 1.3: Πεδίο Κάλυψης Laird S8658PRJ Κεραίας

1.3.3 Τύποι και Χαρακτηριστικά Αναγνωστών - Μονάδα Ελέγχου

Ο χρήστης ενός RFID συστήματος πρέπει να διαλέξει ποιου τύπου αναγνώστη θα χρησιμοποιήσει, καθώς επίσης αν θα χρειαστεί μονάδα ελέγχου η οποία είναι υπεύθυνη για την απο-

θήκευση και επεξεργασία των πληροφοριών που λαμβάνουν οι αναγνώστες. Όπως αναφέραμε πριν υπάρχουν και χειροκίνητοι αναγνώστες που έχουν ενσωματωμένη κεραία αλλά και αυτή που μπορούν να επικοινωνήσουν με την κεραία μέσω καλωδίου. Οι αναγνώστες ανάλογα με την εταιρεία κατασκευής τους έχουν κάποια χαρακτηριστικά/δυνατότητες όπως:

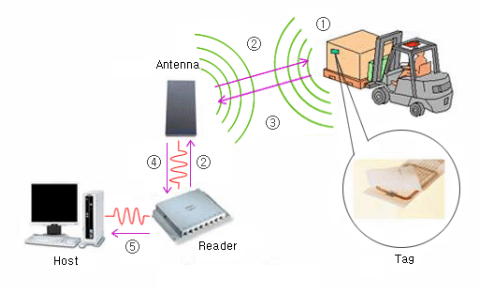
- Συχνότητα επικοινωνίας
- Ισχύ επικοινωνίας σε dBm
- Πρωτόκολλο επικοινωνίας
- Πρωτόκολλο αντιμετώπισης συγκρούσεων
- Πηγή ενέργειας (είτε με μπαταρία, είτε με ηλεκτρικό καλώδιο, είτε με Ethernet)
- Πληροφορία για κατανάλωση ενέργειας
- Δυνατότητα επικοινωνίας με λογισμικό και με βάση δεδομένων

Αλλά και κάποια άλλα χαρακτηριστικά όπως:

- Διαστάσεις
- Βάρος
- Επιπλέων λειτουργίες πχ. καταγραφεί θερμοκρασίας

Κάποιος χρήστης RFID συστήματος πρέπει να μελετήσει τα χαρακτηριστικά διάφορων αναγνωστών ώστε να κάνει σωστή επιλογή προϊόντος.

1.3.4 Εφαρμογές RFID συστημάτων και Σύγκριση με Barcode



Σχήμα 1.4: Παράδειγμα χρήσης RFID σε εργοστάσιο

Είναι μια τεχνολογία η οποία αποτελεί την εξέλιξη των ραβδωτών κωδικών, των γνωστών Barcode. Έχουν πολλές διαφορές από τα Barcodes με σημαντικότερη ότι οι ετικέτες μπορούν να διαβαστούν από απόσταση και χωρίς οπτική επαφή μεταξύ αναγνώστη και ετικέτας. Κάποια άλλα πλεονεκτήματα των RFID είναι:

- Δυνατότητα αποθήκευσης περισσοτέρων δεδομένων σε σχέση με τα Barcode,
- Μπορούν να μην είναι ορατά στο ανθρώπινο μάτι τα RFID tags μιας και για την αναγνώριση τους δεν χρειάζεται οπτικό μέσο,
- Δυνατότητα προγραμματισμού εξ αποστάσεως,
- Περισσότερες από μία αναγνώσεις (μπορεί να διαβαστούν εκατοντάδες ετικέτες σε ένα δευτερόλεπτο) και
- Επιπρόσθετες λειτουργίες. Π.χ. Παρακολούθηση και καταγραφή της θερμοκρασίας.

Σχήμα 1.5: Παράδειγμα χρήσης RFID σε ζώα

Σχήμα 1.6: Παράδειγμα χρήσης RFID σε μετρό και λεωφορεία

Η προοπτική των εφαρμογών τους είναι τεράστια καθώς λόγω της φύσης τους οι ετικέτες μπορούν να τοποθετηθούν σε αντικείμενα και να χρησιμοποιούνται για διαχείριση και παρακολούθηση αποθεμάτων, ανθρώπων, ζώων κλπ. Έτσι μπορούν να αξιοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών όπως:

- Διαχείριση πρόσβασης (Access management)
- Παρακολούθηση εμπορευμάτων (Tracking of Goods)
- Παρακολούθηση ανθρώπων και ζώων (Tracking of persons and animals)
- Ταξιδιωτικά έγγραφα (Travel Documents)
- Εισιτήρια μετρό, λεωφορείων, αεροπλάνων, πλοίων κα.

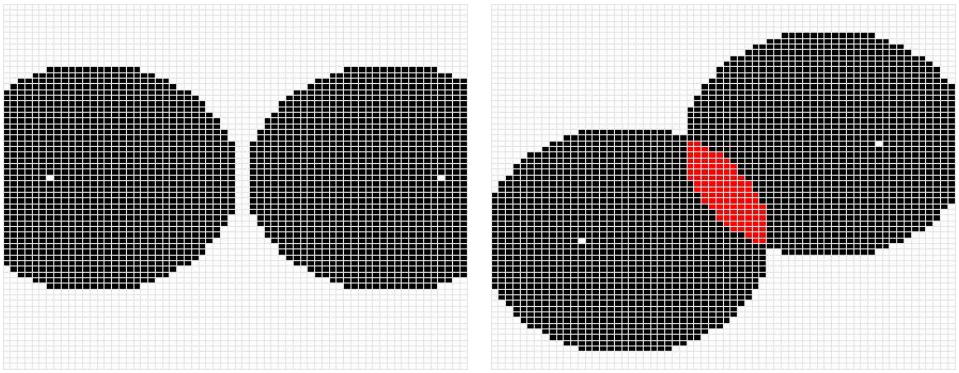
Κεφάλαιο 2

Προβλήματα και μέθοδοι αντιμετώπισης

2.1 Προβλήματα για Επίλυση

Το αντικείμενο με το οποίο θα ασχοληθούμε σε αυτή τη διπλωματική εργασία έχει σκοπό να εμβαθύνει στο τομέα της τοπολογίας των RFID κεραιών σε μια εφαρμογή. Η μελέτη της τοπολογία θα γίνετε με ένα έξυπνο και αξιόπιστο αλγόριθμο και σκοπό θα έχει την καλύτερη και ασφαλέστερη τοποθέτηση των κεραιών στο χώρο μας. Θέλουμε να καταλήξουμε σε ένα αλγόριθμο ο οποίος θα δέχεται σαν είσοδο τις διαστάσεις του χώρου και τον αριθμό από κεραίες τις οποίες έχουμε στη διάθεση μας και θα μας επιστρέφει μια αξιόπιστη λύση. Αρχικά πρέπει να αποφασίσουμε πια είναι τα προβλήματα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε και στη συνέχεια να σκεφτούμε ένα έξυπνο αλγόριθμο για την επίλυση τους. Κατανοώντας τις διάφορες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται RFID συστήματα παρατηρούμε ότι κάποια προβλήματα μπορούν να απασχολήσουν τους χρήστες και αυτά τα προβλήματα έχουν να κάνουν με το κόστος και την ασφάλεια. Ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο μπορεί να συναντήσουμε είναι η ανάγκη ανάγνωσης περισσότερων ετικετών από το ρυθμό ανάγνωσης του αναγνώστη. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είτε πρέπει να αυξηθεί ο αριθμός αναγνωστών και κεραιών, είτε να αυξηθεί ο χρόνος αναμονής των ετικετών στο χώρο κάλυψης των κεραιών. Αυτό το γεγονός γεννά ερωτήματα κατά πόσο μπορεί ένα σύστημα RFID να είναι ουσιαστικά εύχρηστο και συμφέρον για ευρεία χρήση. Για να επιλυθούν αυτά τα προβλήματα πρέπει να γίνει περεταίρω έρευνα στο θέμα ασφάλειας του RFID συστήματος και στην τοπολογία των κεραιών. Μια καλή μελέτη μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλέστερες λύσεις και με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος. Για το θέμα ασφάλειας γίνονται μελέτες κρυπτογράφησης και κωδικοποίησης στην επικοινωνία μεταξύ αναγνώστη και ετικέτας. Αλλά μια βαριά κωδικοποίηση ή κρυπτογράφηση μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη μείωση του ρυθμού διαβάσματος των ετικετών και να καταλήξουμε στο αρχικό μας πρόβλημα που είναι η ανάγκη ανάγνωσης περισσότερων ετικετών από το ρυθμό ανάγνωσης του αναγνώστη. Στο θέμα κόστους πρέπει να γίνει μελέτη σχετικά με τον τρόπο επιλογής των κεραιών βάση της ανάγκης της εφαρμογής. Αφού επιλεχθεί ο τύπος και ο αριθμός των κεραιών τότε πρέπει να γίνει περεταίρω έρευνα στο θέμα της τοπολογίας των κεραιών αυτών για να είναι το όλο σύστημα αποδοτικό και χρή-

σιμο. Αν για παράδειγμα αποφασίσουμε ότι θα καλύψουμε το χώρο μας με δύο κεραίες και δεν τις τοποθετήσουμε σωστά στο χώρο τότε θα έχουμε ελλιπές κάλυψη χώρου και κατά συνέπεια μια πολύ "κακή" λύση στο πρόβλημα μας. Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις στις οποίες καλύπτουμε ένα χώρο με δύο κεραίες αρχικά με μια κακή λύση και μετά με μία καλή λύση όταν έχουμε κάθετη ροή ετικετών.



(α΄) (β΄)

Σχήμα 2.1: Παράδειγμα "κακής" (α) και "καλής" (β) λύσης. Παρατηρώντας τις δύο εικόνες βλέπουμε ότι στην (α) υπάρχει ακάλυπτος χώρος ως προς τη ροή των ετικετών με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα κάποιες από τις ετικέτες αν περάσουν από εκείνο το σημείο να μην διαβαστούν.

2.2 Μέθοδοι Αντιμετώπισης και Σχετικές δουλειές (Related work)

Αρχικά έπρεπε να κατανοήσουμε τι ακριβώς είναι ένα RFID σύστημα και ποιες μπορεί να είναι οι εφαρμογές τους στην καθημερινότητα και στην εποχή μας. Η πρώτη ανάγνωση για τη μελέτη αυτής της τεχνολογίας έγινε με σκοπό την κατανόηση και εξοικείωση με την τεχνολογία αυτή [1 4 5και 6]. Μελετήσαμε διάφορα άρθρα και σχετικές δημοσιεύσεις μέσα από τις οποίες κατανοήσαμε τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να διαχειριστούμε, για να λύσουμε, τα προβλήματα μας. Κατηγοριοποιήσαμε τις ανάγκες των προβλημάτων μας και με τη βοήθεια άρθρων, βιβλίων και περιοδικών σχετικά με το αντικείμενο μας και ξεκινήσαμε την περαιτέρω μελέτη όσο αφορά την τοπολογία των κεραιών [2 3 4 και 6]. Έγιναν πολλές μελέτες και έρευνες όσο αφορά το θέμα της βέλτιστης τοπολογίας των κεραιών ενός RFID συστήματος. Ένα τέτοιο πρόβλημα πρέπει να λύνεται σωστά και βέλτιστα επειδή μία κακή λύση μπορεί να προκαλέσει αύξηση κόστους και σπατάλη χρόνου. Η λύση τέτοιων προβλημάτων βασίζεται σε πολλές παραμέτρους οι οποίες δεν έχουν γραμμική σχέση μεταξύ τους με αποτέλεσμα να πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ευρυστικές μεθόδους [10] για την επίλυση των προβλημάτων αυτών. Στις περισσότερες εφαρμογές γίνεται χρήση Γενετικού Αλγόριθμου ο οποίος μπορεί να δώσει μια πολύ καλή και ισορροπημένη, ως προς τις παραμέτρους της, λύση και είναι εύκολα επεκτάσιμος σε περαιτέρω προβλήματα και

προσαρμόζεται σε παραλλαγές τις δουλειάς μας ή σε σχετικές δουλειές [8 και 9]. Για την επίλυση αυτού του είδους προβλημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες ευρυστικές και όχι μόνο μεθόδοι. Για παράδειγμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε:

- Simulated Annealing Search
- Hill Climbing
- Ακόμα και PSO

Κατανοώντας το πόσο σημαντικό είναι το να αποφύγουμε την οικονομική σπατάλη και να έχουμε βέλτιστη λύση στο πρόβλημα μας και συνοψίζοντας όλα τα πιο πάνω καταλήξαμε στην τελική απόφαση μας που ήταν να χρησιμοποιήσουμε Γενετικό Αλγόριθμο ο οποίος θα δέχεται σαν αρχική είσοδο πιθανές λύσεις του προβλήματος μας και θα μας επιστρέφει βέλτιστες τοπολογίες των κεραιών οι οποίες προκύπτουν από γενιά σε γενιά. Ο τρόπος λειτουργίας του Γενετικού Αλγόριθμου περιγράφετε στη επόμενη ενότητα του κεφαλαίου. Η τελική επιλογή των παραμέτρων μας έγινε συγκρίνοντας παραμέτρους από δημοσιευμένα άρθρα [8] τα οποία επιλύουν το πρόβλημα με γενετικό αλγόριθμο. Επιλέξαμε ότι τελικά θα μας ενδιαφέρει να κοιτάξουμε τέσσερις παραμέτρους οι οποίες είναι ικανοποιητικές για να μας δώσουν λύση στο πρόβλημα μας. Στο σχετικό άρθρο γινόταν λόγος για έξι παραμέτρους από τις οποίες χρησιμοποιούμε τις τρεις που θεωρήσαμε πιο σημαντικές και προσθέσαμε και μία καινούργια παράμετρο η οποία έχει να κάνει με την εικόνα 2.1 και με το γεγονός ότι θέλουμε να έχουμε πλήρως καλυμμένη συνιστώσα ως προς τη φορά της ροής των ετικετών. Οι παράμετροι οι οποίες τελικά χρησιμοποιούμε είναι :

- Overlapping (Ποσοστό επικάλυψης κεραιών)
- Useless Antenna (Ανωφελής κεραία)
- Redundant Antenna (Πλεονάζουσα κεραία)
- Completeness (Πληρότητα ως προς τη ροή)

Οι παράμετροι τις οποίες δεν χρησιμοποιήσαμε από το σχετικό άρθρο είναι :

- Antennas located out of deployment area. Το συνυπολογίζουμε στη παράμετρο των ανωφελών κεραιών.
- Tags Covered. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τη πιθανότητα να διαβαστεί σωστά μια ετικέτα και τον αριθμό τον οποίο μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα μας. Μια όμοια παράμετρος αναφέρεται στη μελλοντική δουλειά.
- Tags located in overlapped readings areas. Εμείς θεωρούμε ότι η πιθανότητα να διαβαστεί μια ετικέτα σε επικαλυμμένη περιοχή δεν μας επηρεάζει επειδή θα έχει μονή ανάγνωση και δεν μας ενδιαφέρει από πια αντένα. Θα μας ενδιέφερε αν είχαμε δύο αναγνώστες.

Ακόμα μια σημαντική διαφορά από το συγκεκριμένο άρθρο είναι ότι εμείς δουλέψαμε με πρότυπο μακρινού πεδίου κεραίες, τύπου Laird, εικόνα 1.3 και έτσι δεν θεωρούμε τη θέση της κεραίας το κέντρο του κύκλου που σχηματίζει το πεδίο κάλυψης της κεραίας αλλά μια θέση λίγο απομακρυσμένη από το κέντρο του κύκλου. Ο λόγος και ο τρόπος που γίνεται αυτό, καθώς και η σημασία των παραμέτρων και ο λόγος επιλογής τους, εξηγούνται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.3 Γενετικός αλγόριθμος

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστης λύσης σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους, οι οποίες δεν έχουν γραμμική σχέση μεταξύ τους. Είναι μια τεχνική προγραμματισμού που εξελίχθητε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 από τον Τζον Χόλαντ και τους συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο του Michigan. Ο τρόπος λειτουργίας των Γ.Α. είναι βασισμένος στην βιολογία και στην εξέλιξη των ειδών μέσω της γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Λόγο της εξοικείωσης τους με τη βιολογική εξέλιξη της φύσης έτσι και η ορολογία που χρησιμοποιείται στους Γ.Α. είναι δανεισμένη από το χώρο της Φυσικής Γενετικής. Αναφέρονται σε άτομα (individuals) τα οποία αποτελούνται από χρωμοσώματα (chromosomes). Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από γονίδια (genes) που είναι διατεταγμένα σε σειρά και κάθε γονίδιο σχετίζεται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ατόμου και οι τιμές/καταστάσεις που παίρνουν καθορίζουν τη μορφή με την οποία εμφανίζεται το χαρακτηριστικό(π.χ. χρώμα ματιών ανθρώπου) και ονομάζονται alleles (τιμές χαρακτηριστικού γνωρίσματος). Οι Γ.Α. χρησιμοποιούν ένα πληθυσμό από πολλά άτομα και δουλεύουν σε αυτόν με σκοπό ο πληθυσμός να υποστεί μια γενετική εξέλιξη και να δημιουργήσει τη νέα γενιά ατόμων που θα είναι πιο "δυνατή" από τη προηγούμενη. Στην πράξη κάθε άτομο αντιπροσωπεύει μια πιθανή λύση στο πρόβλημα και σε κάθε γενιά γίνεται αναπαραγωγή των "δυνατών" λύσεων και απομάκρυνση των "κακών". Για να καταφέρει ο Γ.Α. να διαχωρίσει τις "καλές" από τις "κακές" λύσεις χρησιμοποιεί μια συνάρτηση καταλληλότητας/αξιολόγησης (Fitness Function) που αποτελεί το περιβάλλον στο οποίο εξελίσσεται ο πληθυσμός. Η F.F. αξιολογεί κάθε άτομο του πληθυσμού δίνοντας του μία τιμή καταλληλότητας (Fitness Value). Η επιλογή των γονέων που θα αναπαραχθούν γίνεται βάση τις F.V. και έτσι με μεγαλύτερη πιθανότητα επιλέγονται τα "κατάλληλα" άτομα. Οι γονείς υπόκεινται σε γενετικές λειτουργίες όπως διασταύρωση (crossover) και μετάλλαξη (mutation) και τα νέα άτομα που παράγονται καλούνται "παιδιά". Για τη σωστή λειτουργία του Γ.Α. τα άτομα κωδικοποιούνται συνήθως σε δυαδική ακολουθία και κάθε bit, ή μια ομάδα από bits, αντιπροσωπεύει ένα γονίδιο. Κατά την αξιολόγηση των ατόμων τα γονίδια μπορούν να αποτελούν από μόνα τους παράμετρο της F.F. ή έμμεσα να χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της παραμέτρου. Για παράδειγμα μπορεί ο Γ.Α. να πρέπει να υπολογίσει τη θέση μιας κεραίας και ένα γονίδιο να αντιπροσωπεύει τη θέση στο ύψος και ένα άλλο την θέση στο χώρο της κεραίας, ο συνδυασμός αυτών των δύο αποτελεί παράμετρο της F.F. αλλά μπορεί αυτό να μην ήταν το άμεσο ζητούμε στο πρόβλημα και απλά να ήταν υποπαράμετρος της παραμέτρου. Δηλαδή αν το ζητούμενο ήταν η κλίση της κεραίας τότε τα δύο γονίδια δεν μπορούν να

είναι παράμετρος της F.F. παρά μόνο υποπαράμετροι [10 11 και 12].

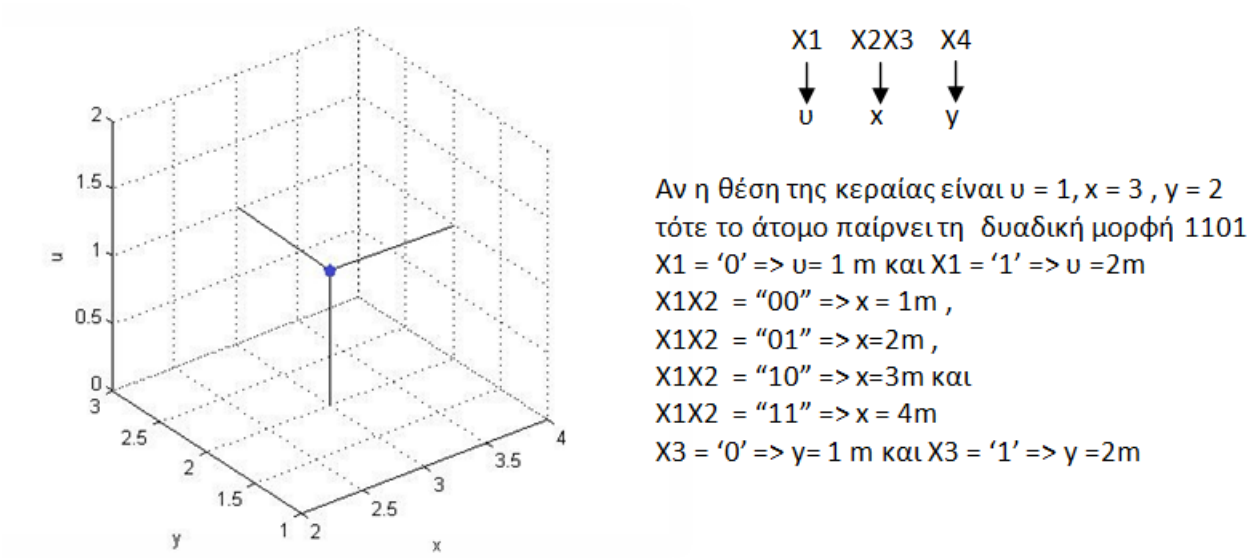
Συνοψίζοντας καταλαβαίνουμε ότι ο Γ.Α. για να είναι αξιοποιήσιμος πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Πιθανές λύσεις κωδικοποιημένες σε Γενετική αναπαράσταση. Δηλαδή πρέπει να έχει ένα κανόνα απεικόνισης των ατόμων σε κωδικοποιημένη μορφή (π.χ. δυαδική ακολουθία).
- Αρχικοποίηση : Ένα τρόπο δημιουργίας αρχικού πληθυσμού από πιθανές λύσης που συνήθως γίνεται με τυχαίο τρόπο.
- Συνάρτηση Καταλληλότητας : Η συνάρτηση καταλληλότητας σε μια εφαρμογή Γ.Α. πρέπει να είναι αντικειμενική επειδή αντιπροσωπεύει το περιβάλλον της εφαρμογής. Π.χ. αν η εφαρμογή είναι η βέλτιστη λύση μιας μαθηματικής συνάρτησης F(x) τότε η F.F. είναι η συνάρτηση F.
- Γενετικές λειτουργίες για τη δημιουργία νέων μελών. Δηλαδή επιλογή ,διασταύρωση και μετάλλαξη.
- Τιμές για τις παραμέτρους που χρησιμοποιεί ο Γ.Α. όπως το μέγεθος του πληθυσμού, αριθμό γενιών, τις πιθανότητες εφαρμογής των γενετικών λειτουργιών κτλ.

Ο τρόπος κωδικοποίησης είναι διαφορετικός σε κάθε πρόβλημα αλλά ο ίδιος για όλες τις γενιές ενός προβλήματος. Δηλαδή κάθε παιδί πρέπει να έχει τη μορφή του πατέρα του και να έχει τιμές σε όλα τα γονίδια του παρόλο που μπορεί να είναι διαφορετικές από του πατέρα. Δηλαδή αν ένα γονίδιο αντιπροσωπεύει το χρώμα των ματιών τότε το παιδί μπορεί να έχει διαφορετικό χρώμα ματιών από τον πατέρα του αλλά δεν μπορεί να μην έχει καθόλου χρώμα ματιών.

2.3.1 Απεικόνιση Ατόμων σε Δυαδικές Ακολουθίες

Ο τρόπος κωδικοποίησης είναι διαφορετικός σε κάθε πρόβλημα αλλά ο ίδιος για όλες τις γενιές ενός προβλήματος. Δηλαδή κάθε παιδί πρέπει να έχει τη μορφή του πατέρα του και να έχει τιμές σε όλα τα γονίδια του παρόλο που μπορεί να είναι διαφορετικές από του πατέρα. Δηλαδή αν ένα γονίδιο αντιπροσωπεύει το χρώμα των ματιών τότε το παιδί μπορεί να έχει διαφορετικό χρώμα ματιών από τον πατέρα του αλλά δεν μπορεί να μην έχει καθόλου χρώμα ματιών. Αν το γονίδιο που αντιπροσωπεύει το χρώμα ματιών έχει 16 πιθανές τιμές, τότε για την δυαδική του απεικόνιση χρειάζονται 4 bits. Με τον ίδιο τρόπο απεικονίζουμε σε δυαδική μορφή όλα τα γονίδια που αποτελούν το άτομο. Και τελικά προκύπτει μια δυαδική ακολουθία η οποία είναι κοινή για όλα τα άτομα του πληθυσμού μας. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία τα άτομα μας πρέπει να αντιπροσωπεύουν τοπολογικές απεικονίσεις των κεραιών στο χώρο και θα έχουν τη μορφή δυαδικής ακολουθίας. Δηλαδή μια δυαδική ακολουθία θα αντιπροσωπέυει μια τοπολογική απεικόνιση των κεραιών που έχουμε στη διάθεση μας. Στην ενότητα 4.2.2 γίνεται εκτενές περιγραφή για τον τρόπο με τον οποίο μια δυαδική ακολουθία μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα άτομο του πληθυσμού.



Σχήμα 2.2: Θέση Κεραίας στο Χώρο

Ένα παράδειγμα απεικόνισης γονιδίων σε δυαδική ακολουθία φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Οι πιθανές τιμές ύψους είναι τα 1 και 2 μέτρα (u=1,2). Οι πιθανές τιμές χώρου είναι 1,2,3 και 4 μέτρα για x και 1 και 2 για y (x=1,2,3,4 και y=1,2). Για την αναπαράσταση της λύσης χρειαζόμαστε 4 bits.

2.3.2 Πλεονεκτήματα Γενετικών Αλγορίθμων και Εφαρμογές

Οι Γ.Α. έχουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους ευριστικούς αλγόριθμους μπορούν να επιλύουν προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα, έχουν μεγάλη αποδοτικότητα και τόσο στη θεωρία, όσο και στη πράξη έχουν δείξει ότι μπορούν να αντιμετωπίσουν καλύτερα από άλλες μεθόδους προβλήματα τα οποία έχουν πολλές και δύσκολα προσδιορισμένες λύσεις. Είναι εύκολα εξελίξιμοι και επεκτάσιμοι με αποτέλεσμα να μπορούν να προσομοιωθούν σε όποια μορφή τους χρειάζεται ο προγραμματιστής. Υπήρξαν περιπτώσεις στις οποίες οι λειτουργίες του γενετικού αλγόριθμου έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές ή δεν έχουν δανειστεί καθόλου τις λειτουργίες τους από τη φύση. Κάποιες φορές οι παραλλαγές τους είναι αναγκαίες ώστε να καταφέρει ο προγραμματιστής να πάρει το ζητούμενο αποτέλεσμα. Έχουν τη δυνατότητα να εφαρμοστούν σε πολλά πεδία επειδή έχουν ελευθερία επιλογής των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται στο τεχνικό περιβάλλον. Και αυτός είναι ο λόγος που τους συναντάμε σε πάρα πολλές εφαρμογές. Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι ότι μπορούν να επιλύσουν μη γραμμικά προβλήματα και αυτό το καταφέρνουν με την ιδιότητα τους να μην έχουν, και να μην απαιτούν, περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται. Δεν ενδιαφέρονται για την υπό εξέταση πληροφορία παρά μόνο η αντικειμενική συνάρτηση που πρέπει να βελτιστοποιήσουν και αυτό το γεγονός εγγυάται

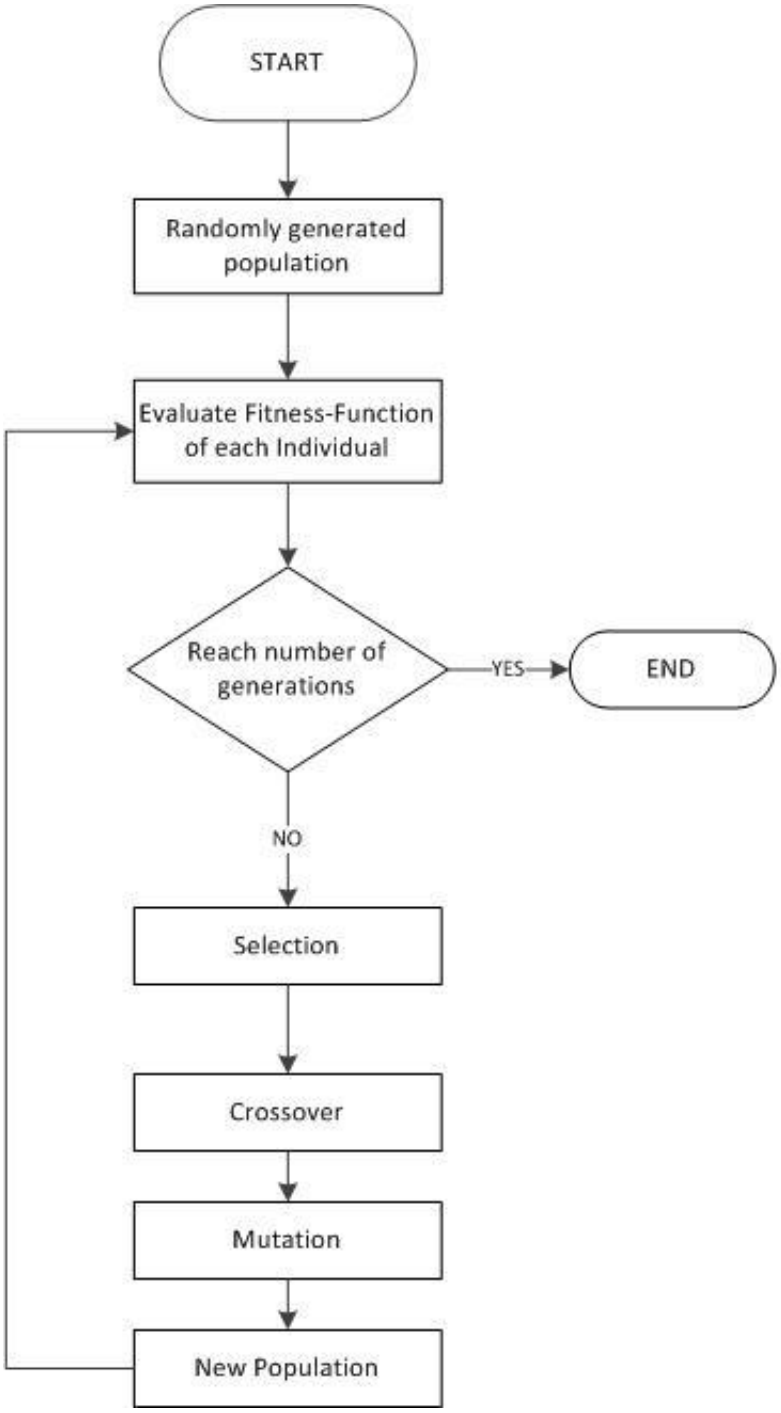
την επιτυχία τους παρά τη σημασία του προβλήματος και σε περίπτωση που δεν καταφέρουν να λύσουν ένα πρόβλημα καταλαβαίνουμε ότι η αιτία αποτυχίας τους δεν είναι το πληροφοριακό περιεχόμενο του προβλήματος αλλά η φύση του χώρου που ερευνούν.

Λόγω της φύσης τους μπορούν να εκμεταλλευτούν τις παράλληλες μηχανές και εύκολα να δεχτούν παράλληλη υλοποίηση. Είναι ένα χαρακτηριστικό που αυξάνει την απόδοση τους και δεν συναντάται σε άλλες μεθόδους. Επιτυχαίνουν ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας. Δεν ‘‘κολλάνε’’ σε τοπικά ακρότατα αλλά αντιθέτως οδηγούν στο ολικό ακρότατο είτε αυτό είναι μέγιστο είτε ελάχιστο. Αυτό οφείλεται κυρίως στις λειτουργίες τους και συγκεκριμένα στη μετάλλαξη.

[13] Οι πιθανές εφαρμογές είναι πολλές:

- η καλύτερη δυνατή οργάνωση του ωραρίου ενός σχολείου,
- η μελέτη της βέλτιστης κατανομής ενός δικτύου από πλατφόρμες πετρελαίου αλλά και
- η δημιουργία υπολογιστών που θα βελτιώνουν τον τρόπο λειτουργίας τους "μαθαίνοντας" από την εμπειρία τους.
- εξερεύνηση των δυναμικών βιολογικών διαδικασιών, και της θεωρίας της εξέλιξης. Παράδειγμα ο Καρλ Σημς (1994) έκανε Γενετικούς Αλγόριθμους που δημιούργησαν εικονικά "πλάσματα", κάποια από τα οποία θυμίζουν πραγματικά.

Στο σχήμα 2.3 παρατηρούμε το διάγραμμα ροής ενός γενετικού αλγορίθμου ο οποίος ξεκινά με τυχαία παραγωγή αρχικού πληθυσμού και προχωρά στη δημιουργία νέων γενιών βάση των γενετικών λειτουργιών του αλγορίθμου (επιλογή, διασταύρωση και μετάλλαξη). Για την αρχική αλλά και για τις υπόλοιπες γενιές υπολογίζεται πάντα η συνάρτηση καταλληλότητας της κάθε γενιάς (Fitness - Function). Ο αλγόριθμος σταματά όταν συμπληρώσει τον επιθυμητό αριθμό γενιών. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε χαρακτηριστικά τα οποία έχει ο πληθυσμός μας και σε αρχικοποιήσεις των πιθανοτήτων crossover και mutation. Καθώς επίσης και πότε καλείται ο γενετικός αλγόριθμος και τι μας επιστρέφει.



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα ροής γενετικού αλγορίθμου

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή και Αποτελέσματα Πειραμάτων

Κατάλογος Πειραμάτων

- Χαρτογράφηση Κεραίας ως προς τον τύπο των Ετικετών (Antenna Mapping Vs Tag Type)

  Πρώτο πείραμα το οποίο κάναμε ήταν να χαρτογραφήσουμε την περιοχή κάλυψης της κεραίας. Χρησιμοποιήσαμε μια Far – Field κεραία. Η χαρτογράφηση έγινε για τρία είδη ετικετών.

  - 3D ετικέτα μακρινών αποστάσεων: LabID UH3D40
  - Ετικέτα κοντινών αποστάσεων: Impinj Satellite
  - Ετικέτα μακρινών αποστάσεων: Alien ALN-9640

- Υπολογισμός συχνότητας ανάγνωσης ετικετών ως προς την απόσταση τους από την κεραία (Rate Vs Distance)

  - Impinj Satellite

- Ευαισθησία ανάγνωσης με διάφορα υλικά (Tag Material Sensitivity)

  - Οπτικό Δίσκο
  - Μεταλλικό Αντικείμενο
  - Αλουμίνιο
  - Μόνο ετικέτα

  - Πλαστικό
  - Ξύλο
  - Κάρτα PVC

- Συχνότητα διαβάσματος ετικετών σε διάφορες ταξιθετήσεις
  - Στοίβα
  - Μάζα
  - Πλήθος

- Σειρά Ανάγνωσης ετικετών σε διαφορετικές αποστάσεις στο πεδίο κάλυψης της κεραίας
  - Δύο ετικέτες σε ίση απόσταση από κεραία
  - Μία ετικέτα κοντά και μία μακριά από την κεραία

- Μέγιστη απόσταση ανάγνωσης ετικέτας ανάλογα με την ενέργεια του Αναγνώστη (Max distance Vs energy)

- Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σε διαφορετικές τιμές ισχύς εξόδου του αναγνώστη

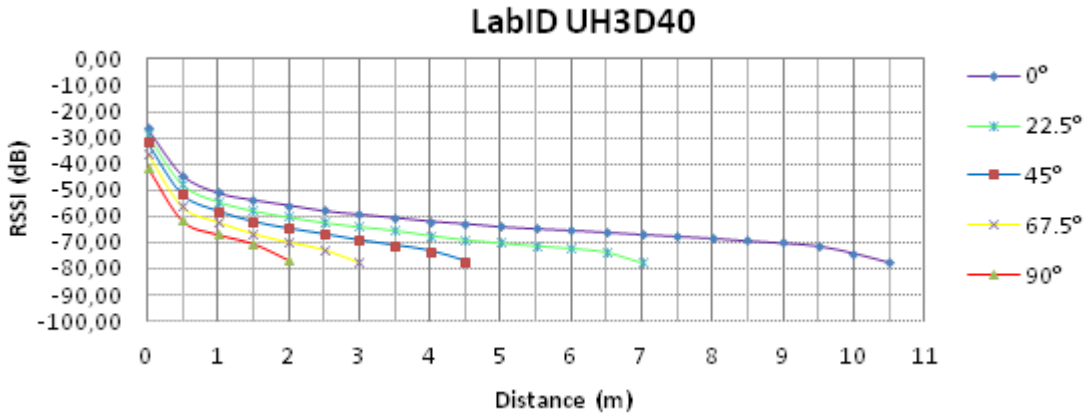
3.1 Χαρτογράφηση Κεραίας ως προς τον τύπο των Ετικετών

Σκοπός του πειράματος είναι η καταγραφή του πεδίου κάλυψης της κεραίας, καθώς και η ισχύς με την οποία μπορεί να διαβάσει μια ετικέτα στο πεδίο της. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε και σε εσωτερικό χώρο (αίθουσα διδασκαλίας) αλλά και σε εξωτερικό χώρο. Τα αποτελέσματα συγκρίνοντας τους δύο χώρους ήταν τα ίδια. Για τον τρόπο που έπρεπε να τοποθετηθεί η κεραία δεν χρειαζόταν περεταίρω μελέτη και έτσι απλά μελετήσαμε το ύψος στο οποίο έπρεπε να είχαμε την ετικέτα ως προς την κεραία. Μετά από δοκιμές αποφασίσαμε ότι το κατάλληλο σημείο για την ετικέτα ήταν να είναι στο ίδιο ύψος με την κεραία. Έτσι η τοποθέτηση της ετικέτας κατά τα πειράματα βρισκόταν στο ίδιο ύψος με την κεραία μας για όλες τις αποστάσεις που έγινε καταγραφή μέτρησης.

Χρησιμοποιήσαμε μία Far-Field κεραία τύπου Laird-S8658PLJ και τρία είδη ετικετών. Το διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 1.3 είναι αυτό που μας δίνει ο κατασκευαστής. Καταγράφαμε για συγκεκριμένες αποστάσεις την ισχύ ανάγνωσης της ετικέτας μας και το επαναλάβαμε αυτό για διαφορετικές γωνίες.

Αρχικά το πείραμα έγινε με 3D ετικέτα τύπου LabID UH3D40. Στο Σχήμα 3.1 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αφορούν την ετικέτα αυτή.

Παρατηρούμε ότι η ετικέτα ήταν αναγνώσιμη σε απόσταση μέχρι 10.5 μέτρα αν ήταν τοποθετημένη απέναντι από την κεραία. Σε όλες τις γωνίες η ετικέτα όταν ήταν κοντά στην κεραία σε



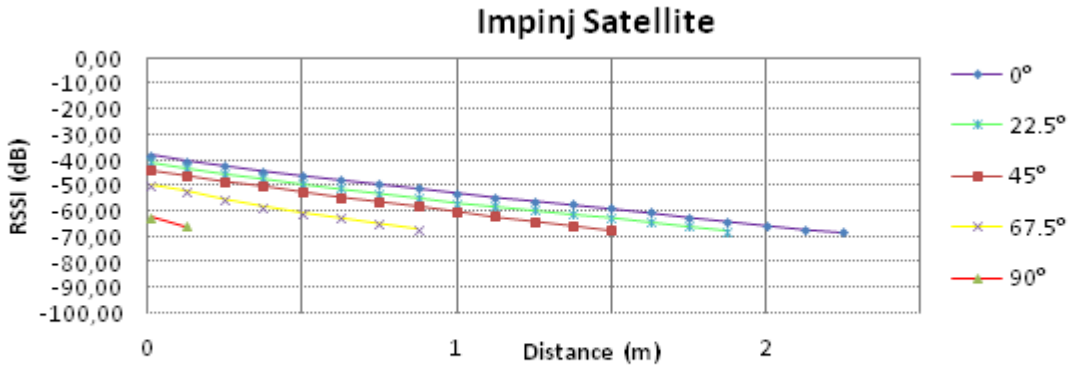
Σχήμα 3.1: Χαρτογράφηση που αφορά ετικέτα τύπου LabID UH3D40

απόσταση μικρότερη του ενός μέτρου είχε μεγάλη ισχύ ανάγνωσης. Επίσης παρατηρούμε ότι η μικρότερη ισχύς ανάγνωσης ήταν κοντά στα -80dB. Δηλαδή η ετικέτα ήταν αναγνώσιμη με πολύ μικρή ισχύ.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήσαμε μια ετικέτα κοντινών αποστάσεων τύπου Impinj Satellite. Αυτού του τύπου ετικέτες δεν είναι ανιχνεύσιμες σε μεγάλες αποστάσεις. Όταν ήταν τοποθετημένη απέναντι από την κεραία μπορούσε να ανιχνευθεί σε απόσταση λιγότερη των 2.5 μέτρων. Συγκεκριμένα έγινε καταγραφή μετρήσεων μέχρι τα 2.25 μέτρα. Η μικρότερη ισχύς ανάγνωσης της ετικέτας αυτής ήταν τα -70dB. Επίσης ήταν πολύ δύσκολα αναγνώσιμη σε γωνιά 90ο και σε πολύ μικρή απόσταση από την κεραία. Το γράφημα στο Σχήμα 3.2 φαίνεται πιο γραμμικό σε σχέση με τα υπόλοιπα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πήραμε μετρήσεις που αφορούν κοντινές μόνο αποστάσεις.

Ο τελευταίος τύπος ετικέτας που χρησιμοποιήσαμε ήταν ετικέτα που αφορά μεγαλύτερες αποστάσεις, δηλαδή ετικέτα μακρινών αποστάσεων τύπου Alien ALN-9640. Παρατηρώντας το Σχήμα 3.3 βλέπουμε ότι και αυτή η ετικέτα όπως και η 3D καταγράφεται επιτυχημένα από τον αναγνώστη σε απόσταση 10.5 μέτρα. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού πρόκειται για ετικέτα μακρινών αποστάσεων. Η σημαντική διαφορά που προκύπτει με την 3D ετικέτα είναι ότι η Alien δεν μπορεί να ανιχνευθεί με ισχύ μικρότερη των -72dB. Αλλά μπορεί να είναι σε μεγαλύτερη απόσταση ανιχνεύσιμη όταν βρίσκεται υπό γωνία απέναντι στην κεραία. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται η σύγκριση και των τριών τύπων ετικετών σε σχέση με την απόσταση στην οποία είναι αναγνώσιμες.

Βάση το Σχήμα 3.4 μπορούμε να επιλέξουμε ανάλογα με την εφαρμογή μας ποιου τύπου ετικέτες θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Όταν έχουμε κοντινές αποστάσεις μικρότερες των 2 μέτρων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Impinj Satellite. Εξοικονομούμε χρήματα επειδή είναι πιο φθηνά από τους άλλους τύπους και έχουμε περισσότερη ασφάλεια στην εφαρμογή μας. Αν στην



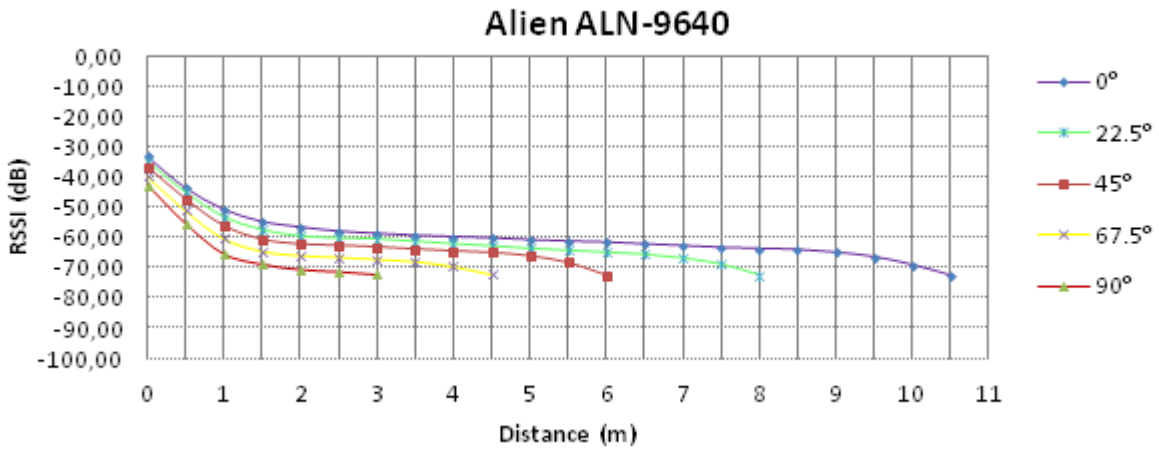
Σχήμα 3.2: Χαρτογράφηση που αφορά ετικέτα τύπου Impinj Satellite

εφαρμογή μας το μόνο που μας ενδιαφέρει είναι να καλύψουμε όσο το δυνατό μεγαλύτερο εύρος/χώρο με τις κεραίες μας τότε χρησιμοποιούμε Alien ετικέτες, γεγονός που μας δίνει μεγαλύτερο εμβαδόν κάλυψης. Όταν όμως μας ενδιαφέρει η ισχύς ανάγνωσης, και ο τρόπος που θα είναι τοποθετημένες οι ετικέτες στο χώρο μας δεν είναι προσδιορισμένος, τότε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε 3D LabID ετικέτες, οι οποίες μπορούν να διαβαστούν με μικρότερη ισχύ γεγονός που μας ικανοποιεί σε περίπτωση που η εφαρμογή μας έχει θόρυβο.

Τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος είναι πολύ σημαντικά επειδή όπως αναφέραμε πριν μας βοηθά στο να αποφασίσουμε ανάλογα με την εφαρμογή μας ποιου είδους ετικέτα θα χρησιμοποιήσουμε. Αποφασίζοντας το είδος ετικέτας τότε μπορούμε να έχουμε και το εύρος κάλυψης που θα έχουν οι κεραίες μας για να κάνουμε την τοπολογική μας μελέτη. Αυτό μπορεί να γίνει και αντίθετα, δηλαδή με την κατάλληλη τοπολογική μελέτη να αποφασίσουμε πιο είδος ετικέτας πρέπει να χρησιμοποιήσουμε.

3.2 Υπολογισμός συχνότητας ανάγνωσης ετικετών ως προς την απόσταση τους από την κεραία (Rate Vs Distance)

Το πείραμα αυτό αφορά την συχνότητα με την οποία μπορεί να διαβαστεί μία ετικέτα μεταβάλλοντας την απόσταση της σε σχέση με την κεραία μας. Σε αυτό το πειραματικό κομμάτι της διπλωματικής εργασία έγιναν μετρήσεις με Impinj Satellite ετικέτα. Και σε αυτό το πείραμα είχαμε σταθερή την κεραία μας σε ένα σημείο και μεταβάλλαμε τη θέση της ετικέτας μας. Όλες οι καταγραφές έγιναν σε διαφορετικές αποστάσεις, αλλά υπό την ίδια γωνία μεταξύ κεραίας και ετικέτας. Η ετικέτα ήταν και πάλι τοποθετημένη στο ίδιο ύψος με την κεραία και με 0ο γωνία.



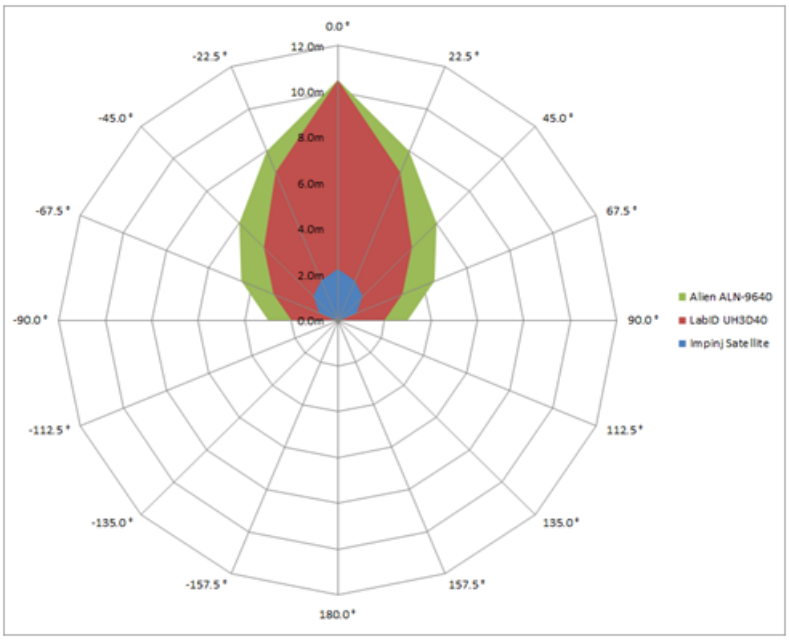
Σχήμα 3.3: Χαρτογράφηση που αφορά ετικέτα τύπου Alien ALN-9640

Δηλαδή η ετικέτα μας βρισκόταν στο ίδιο ύψος και ακριβώς απέναντι από την κεραία μας.

Στο Σχήμα 3.5 παρατηρούμε τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος. Όπως είδαμε και στο προηγούμενο πείραμα (βλ. Σχήμα 3.2) η ετικέτα αυτή είναι αναγνώσιμη σε αποστάσεις μικρότερες των 2.5 μέτρων. Στο Σχήμα 3.5 όμως παρατηρούμε ότι ο ρυθμός ανάγνωσης δεν επηρεάζεται από την απόσταση μεταξύ της ετικέτας και της κεραίας. Στη συγκεκριμένη ετικέτα είναι περίπου 20 και έχει ελάχιστες αυξομειώσεις στις διάφορες αποστάσεις. Με αυτό το πείραμα καταλαβαίνουμε ότι ο ρυθμός ανάγνωσης δεν έχει να κάνει με την ισχύ με την οποία το διαβάζει ο αναγνώστης. Αυτό είναι σημαντικό αποτέλεσμα επειδή μπορεί να μας οδηγήσει σε πιο ασφαλείς λύσεις στις εφαρμογές μας. Δηλαδή σε εφαρμογές που έχουμε λίγο θόρυβο και η ευαισθησία, της ισχύς, ανάγνωσης της ετικέτας δεν επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες μπορούμε να εκμεταλλευτούμε πλήρως το εύρος κάλυψης των κεραιών μας. Έτσι σε τέτοιου είδους εφαρμογές έχουμε πιο απλή και γρήγορη τοπολογική μελέτη, σε ιδανικότερες συνθήκες.

3.3 Ευαισθησία ανάγνωσης με διάφορα υλικά (Tag Material Sensitivity)

Το τρίτο μας πείραμα αφορά τα υλικά στα οποία μπορεί να ενσωματωθεί μια ετικέτα. Σε πραγματικές εφαρμογές οι ετικέτες μπορούν να ενσωματωθούν σε οποιοδήποτε υλικό. Υπάρχουν ετικέτες οι οποίες βρίσκονται σε πλαστικές κάρτες (PVC), σε χαρτί, σε ξύλο και σε πολλά άλλα αντικείμενα. Αυτό το πείραμα έγινε με σκοπό να μάθουμε σε μια εφαρμογή ποιο υλικό να χρησιμοποιήσουμε για να τοποθετήσουμε τις ετικέτες και αν έχουμε ήδη τοποθετήσει τις ετικέτες σε κάποιο υλικό, να ξέρουμε την απόδοση τους. Γεγονός πάρα πολύ σημαντικό επειδή αλλάζει

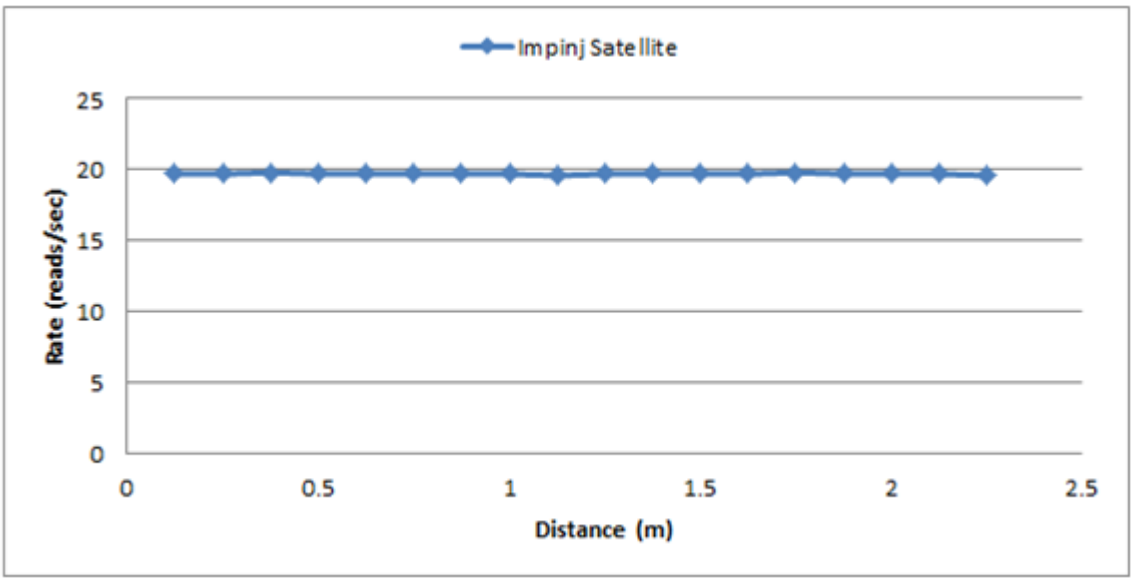


Σχήμα 3.4: Σύγκριση των Ετικετών στο πείραμα Χαρτογράφησης

την ευαισθησία ανάγνωσης των ετικετών και την απόδοση του συστήματος μας. Το πείραμα αυτό έγινε σε Impinj Satellite ετικέτα τοποθετημένη 0.5 μέτρο από τη κεραία και στο ίδιο ύψος με αυτή. Τοπολογικά μας ενδιαφέρει, επειδή η ευαισθησία των ετικετών μπορεί να επηρεάσει άμεσα την απόδοση του συστήματος είτε θετικά, είτε αρνητικά. Όπως θα δούμε στο επόμενο σχήμα, εάν μία ετικέτα τοποθετηθεί σε ξύλο θα διαβάζεται πιο δύσκολα από κάποια που θα τοποθετηθεί σε PVC κάρτα και έτσι θα πρέπει να μειώσουμε στη μελέτη μας το εύρος των κεραιών μας για να ενισχύσουμε την ολική απόδοση του συστήματος μας.

Στο Σχήμα 3.6 βλέπουμε τα αποτελέσματα από το πείραμα που κάναμε με τα υλικά πίσω από την ετικέτα καθώς επίσης και την μέτρηση που πήραμε χωρίς υλικό, έχοντας μόνο την ετικέτα. Η μέτρηση με μόνο την ετικέτα έγινε για να έχουμε μέτρο σύγκρισης. Με μπλε χρώμα έχουμε την περίπτωση στην οποία η ετικέτα δεν ενσωματώθηκε πάνω στο υλικό αλλά βρίσκεται περίπου 5 εκατοστά μπροστά. Αυτές οι μετρήσεις έγιναν επειδή όπως βλέπουμε στο σχήμα στα τρία πρώτα υλικά αν η ετικέτα τοποθετούνταν πάνω στο υλικό τότε δεν υπήρχε δυνατότητα ανάγνωσης. Δηλαδή με τη βοήθεια αυτού του πειράματος καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι δεν μπορούμε να ενσωματώσουμε τις ετικέτες μας σε υλικά όπως:

- Οπτικός δίσκος
- Μεταλλικό αντικείμενο
- Αλουμίνιο



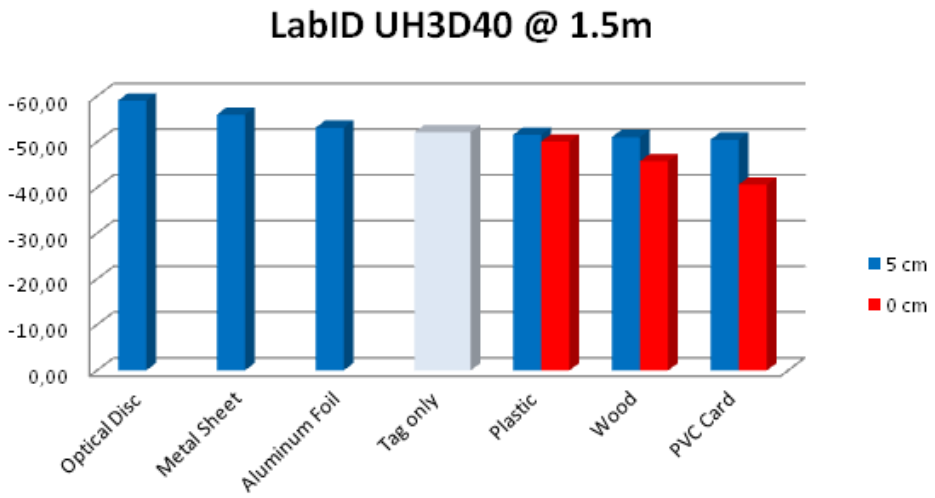
Σχήμα 3.5: Σύγκριση ρυθμού ανάγνωσης Impinj Satellite ετικέτας ως προς την απόσταση

Αυτά τα υλικά μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε σαν "μονωτικά" υλικά για ασφάλεια. Για παράδειγμα σε διαβατήρια. Όπως ήδη συμβαίνει σε αρκετές χώρες του κόσμου στα διαβατήρια υπάρχουν RFID ετικέτες οι οποίες είναι αναγνώσιμες μόνο όταν ανοίξει το διαβατήριο επειδή στα εξώφυλλα του διαβατηρίου υπάρχει μεταλλικό έλασμα. Αυτό συμβαίνει για την ασφάλεια των ατόμων που ταξιδεύουν. Έτσι με το πείραμα αυτό είδαμε πια αντικείμενα μπορούν να λειτουργήσουν σαν μονωτικά υλικά. Αλλά πρέπει να προσέξουμε ότι αν ένα από τα τρία πρώτα υλικά, βρίσκεται σε απόσταση 5 εκατοστών πίσω από την ετικέτα διαβάζεται με μικρότερη ισχύ παρά όταν έχουμε μόνο την ετικέτα. Η διαφορά στα dB ανάγνωσης όμως είναι μικρή και ακόμα πιο μικρή όταν το υλικό είναι αλουμίνιο. Άρα καταλαβαίνουμε ότι από τα υλικά, τα οποία χρησιμοποιήσαμε στο πείραμα μας, στο παράδειγμα του διαβατηρίου θα βάζαμε έλασμα αλουμινίου.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήσαμε ακόμα τρία υλικά για τα οποία πήραμε μέτρηση και σε απόσταση 5 εκατοστών πίσω, αλλά και σε επαφή με την ετικέτα.

- Πλαστικό
- Ξύλο
- PVC κάρτα

Παρατηρούμε ότι το υλικό σε απόσταση 5cm πίσω από την ετικέτα δεν αλλάζει την ευαισθησία του συστήματος μας. Το σημαντικό με αυτά τα τρία υλικά είναι η συμπεριφορά τους σε περίπτωση που η ετικέτα μας ενσωματωθεί σε αυτά. Παρατηρούμε και στα τρία υλικά ότι ισχυροποιείται η ισχύς ανάγνωσης της ετικέτας σε αυτή την περίπτωση. Σημαντικότερη βελτίωση παρατηρούμε στη χρήση PVC κάρτας.



Σχήμα 3.6: Ισχύς ανάγνωσης ετικέτας τοποθετημένης σε υλικό

Μετά το πείραμα αυτό εξάγαμε πάρα πολλά χρήσιμα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά της ισχύς ανάγνωσης μιας ετικέτας όταν την έχουμε ενσωματώσει σε διάφορα αντικείμενα και καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ένα ιδανικό αντικείμενο για να τοποθετηθεί η ετικέτα είναι η PVC κάρτα, καθώς επίσης ένα πολύ καλό μονωτικό αντικείμενο (αν χρειάζεται βάση της εφαρμογής) είναι το αλουμίνιο.

3.4 Συχνότητα διαβάσματος ετικετών σε διάφορες ταξιθετήσεις

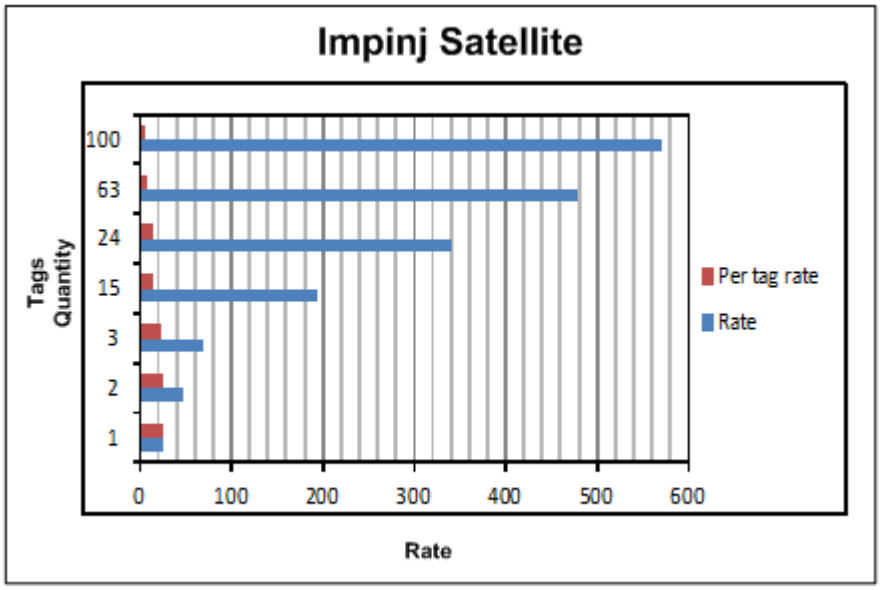
Ένα άλλο σημαντικό γεγονός το οποίο μπορεί να επηρεάσει την απόδοση ενός RFID συστήματος είναι η ποσότητα και ο τρόπος με τον οποίο οι ετικέτες είναι ταξιθετημένες στο χώρο μας. Πειραματιστήκαμε με πολλούς τύπους ετικετών και με διάφορες τοπολογίες των κεραιών μας. Τα περισσότερα αποτελέσματα αφορούν Impinj Satellite και Alien ALN-9540 ετικέτες επειδή είχαμε ποσότητα. Μελετήσαμε διάφορες περιπτώσεις όπως:

- Τι συμβαίνει όταν έχουμε μια στοίβα,
- μία άμορφη μάζα
- διαφορετικό πλήθος ετικετών
- και ενεργοποίηση δύο κεραιών.

3.4.1 Στοιχισμένες ετικέτες

Αρχικά κάναμε μετρήσεις με στοιχισμένες ετικέτες, η μία δίπλα στην άλλη χωρίς επικάλυψη, πάνω σε επιφάνεια η οποία βρισκόταν ανάμεσα σε δύο κεραίες. Έγιναν πολλές δοκιμές με διαφορετικές ποσότητες ετικετών κάθε φορά. Παρατηρήσαμε ότι όταν οι ετικέτες ήταν σωστά στοιχισμένες τότε διαβάζονταν όλες με μεγάλο ρυθμό ανάγνωσης. Χρησιμοποιήσαμε μέχρι εκατό Impinj Satellite και μέχρι δέκα Alien ALN-9540 ετικέτες.

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας για τις Impinj Satellite ετικέτες όταν ήταν παραταγμένες η μία δίπλα στην άλλη, δηλαδή στοιχισμένες.



Σχήμα 3.7: Συχνότητα διαβάσματος ως προς Ποσότητα για Impinj Satellite ετικέτες

Όπως φαίνεται στο σχήμα, όταν έχουμε εκατό ετικέτες στοιχισμένες τότε έχουμε ρυθμό ανάγνωσης ο οποίος ξεπερνά τις 570 αναγνώσεις ανά δευτερόλεπτο. Συγκεκριμένα στο παράδειγμα με τις εκατό ετικέτες έχουμε ρυθμό ανάγνωσης 570,2 και 5,7 ανά ετικέτα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι μετρήσεις από τις οποίες προέκυψε το γράφημα του σχήματος 3.7.

Από τον Πίνακα 3.1 καταλαβαίνουμε ότι μέχρι τρεις ετικέτες ο ρυθμός ανάγνωσης ανά ετικέτα δεν μειωνόταν αισθητά, πράγμα που συμβαίνει όταν χρησιμοποιούμε περισσότερες ετικέτες. Αυτού του τύπου ετικέτες όπως αναφέραμε είναι κοντινού τύπου και έτσι για το πείραμα οι κεραίες είχαν απόσταση από την επιφάνεια με τις ετικέτες μικρότερη τους ενός μέτρου.

Στη συνέχεια επαναλάβαμε το πείραμα, αλλά αυτή τη φορά χρησιμοποιήσαμε Alien ALN-9540 ετικέτες.

Σε αυτή την περίπτωση ο μέγιστος αριθμός ετικετών που χρησιμοποιήσαμε ήταν δέκα, όσες είχαμε στη διάθεση μας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8, όταν έχουμε δέκα στοιχισμένες ετικέτες,

Tag Quantity	Rate	Per Tag rate	Notes
Impinj Satellite			
1	25,4	25,40	Στοιχισμένα
2	48,8	24,40	
3	70,2	23,40	Σε όλες τις περιπτώσεις είχε απόλυτη επιτυχία στις αναγνώσεις αφού διάβαζε όλες τις ετικέτες
15	194,2	12,95	
24	341	14,21	
63	478,8	7,60	
100	570,2	5,70	

Πίνακας 3.1: Πίνακας αποτελεσμάτων για στοιχισμένες Impinj Satellite ετικέτες

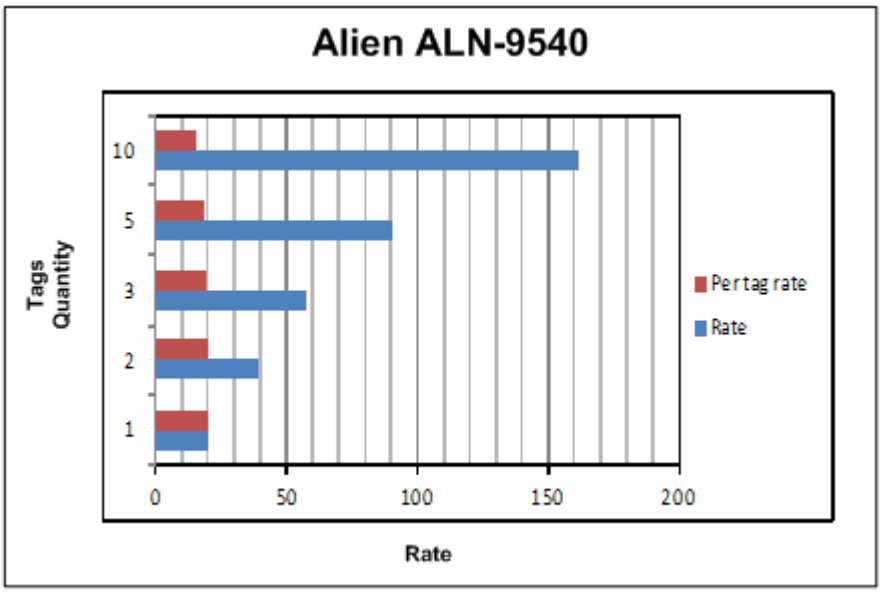
τότε έχουμε ρυθμό ανάγνωσης ο οποίος ξεπερνά τις 160 αναγνώσεις ανά δευτερόλεπτο. Και για να είμαστε πιο ακριβείς στους ρυθμούς ανάγνωσης έχουμε τον πίνακα 3.2 στον οποίο φαίνονται αναλυτικά οι μετρήσεις από τις οποίες προέκυψε το γράφημα του σχήματος 3.8.

Tag Quantity	Rate	Per Tag rate	Notes
Alien ALN-9540			
1	20,2	20,20	Στοιχισμένα
2	39,5	19,75	Σε όλες τις περιπτώσεις είχε απόλυτη επιτυχία στις αναγνώσεις αφού διάβαζε όλες τις ετικέτες
3	57,4	19,13	
5	90,5	18,10	
10	161	16,10	

Πίνακας 3.2: Πίνακας αποτελεσμάτων για στοιχισμένες Alien ALN-9540 ετικέτες

Συγκρίνοντας τους δύο τύπους ετικετών βλέπουμε ότι οι Alien ετικέτες έχουν μικρότερο ρυθμό ανάγνωσης από τις Satellite, αλλά λόγο του περιορισμένου αριθμού Alien ετικετών δεν μπορούμε να συγκρίνουμε αποτελέσματα σε μεγαλύτερες ποσότητες.

Γενικά, παρατηρώντας και τους δύο τύπους ετικετών, παρατηρούμε σημαντικά αποτελέσματα τα οποία έχουν να κάνουν με το ρυθμό ανάγνωσης των ετικετών από τον αναγνώστη. Έχουμε μεγάλους ρυθμούς ανάγνωσης γεγονός που μας επιτρέπει πολλές εφαρμογές. Αυτό όμως συμβαίνει σε περίπτωση που οι ετικέτες μας είναι σωστά στοιχισμένες και δεν αλληλεπικαλύπτονται. Στη συνέχεια θα δούμε τι συμβαίνει όταν οι ετικέτες ταξιθετούνται σε μορφή στοίβας, δηλαδή η μία πάνω στην άλλη, καθώς και όταν βρίσκονται σε μορφή μάζας σε ένα ανοικτό χάρτινο κουτί .



Σχήμα 3.8: Συχνότητα διαβάσματος ως προς Ποσότητα για Alien ALN-9540 ετικέτες

3.4.2 Ετικέτες σε Στοίβα και Μάζα

Σε πολλές εφαρμογές δεν έχουμε τη δυνατότητα να στοιχίσουμε τις ετικέτες, υπάρχει πιθανότητα να τις συναντήσουμε να αλληλεπικαλύπτονται. Έτσι κάναμε κάποιες μετρήσεις με ετικέτες οι οποίες βρίσκονταν σε στοίβα και σε πλήρη επικάλυψη.

Αρχικά χρησιμοποιήσαμε 63 Satellite ετικέτες και τις ταξιθετήσαμε σε μία στοίβα των 63 και έπειτα σε 3 στοίβες με 21 ετικέτα έκαστες. Στον επόμενο Πίνακα 3.3 φαίνονται τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού. Βλέπουμε ότι με τις ετικέτες σε επικάλυψη έχουμε σημαντικό πρόβλημα να αντιμετωπίσουμε. Όταν οι ετικέτες είναι η μία πάνω στην άλλη, σε πλήρη επικάλυψη, έχουμε μηδενικές αναγνώσεις. Σε μια εφαρμογή RFID, δεν μπορούμε να μην έχουμε αναγνώσεις ετικετών αφού αυτό είναι καταστροφικό.

Tag Quantity	Rate	Per Tag rate	Notes	
Alien ALN-9540				
63	0	0,00	1 Στοίβα σε πλήρη επικάλυψη	Καμία Ανάγνωση
63	88,3	1,40	3 Στοίβες των 21 σε πλήρη επικάλυψη	Διαβάζει μόνο 5-7 ετικέτες

Πίνακας 3.3: Πίνακας αποτελεσμάτων για Impinj Satellite ετικέτες σε στοίβα

Στον Πίνακα 3.4 βλέπουμε ότι σε περίπτωση αλληλοεπικάλυψης και αυτού του τύπου ετικετών έχουμε το ίδιο πρόβλημα όπως και με τις Satellite ετικέτες. Στην τρίτη γραμμή του πίνακα όμως, περίπτωση που οι ετικέτες βρίσκονται σαν άμορφη μάζα ταξιθετημένα, βλέπουμε να επιτυγχάνουμε αναγνώσεις ακριβώς όπως και στην περίπτωση των δέκα στοιχισμένων ετικετών (Σχήμα 3.2). Με αυτή την καταγραφή καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για να έχουμε απώλειες στην ανάγνωση ετικετών πρέπει οι ετικέτες μας να βρίσκονται σε πλήρη επικάλυψη μεταξύ τους.

Tag Quantity	Rate	Per Tag rate	Notes	
Alien ALN-9540				
10	0	0,00	1 Στοίβα σε πλήρη επικάλυψη	Καμία Ανάγνωση
10	39,3	3,93	2 Στοίβες των 5 σε πλήρη επικάλυψη	Διαβάζει μόνο 2 ετικέτες από τη μία στοίβα
10	161	16,01	Μάζα	100% Αναγνώσεις

Πίνακας 3.4: Πίνακας αποτελεσμάτων για Alien ALN-9540 ετικέτες σε στοίβα

3.4.3 Εναλλαγή στον αριθμό Κεραιών

Στη συνέχεια του πειράματος δοκιμάσαμε τη συμβαίνει σε περιπτώσεις που έχουμε ενεργοποιημένη μία μόνο κεραία σε σύγκριση με δύο κεραίες, καθώς και δύο κεραίες ενώ στον αναγνώστη έχουμε ενεργοποιημένες τέσσερις κεραίες.

Σε ένα RFID σύστημα ο αναγνώστης, ανάλογα με το κατασκευαστικό σχεδιασμό του, μπορεί να υποστηρίζει από μία ως και περισσότερες από τέσσερις κεραίες. Στο εργαστήριο μας ο αναγνώστης υποστηρίζει μέχρι τέσσερις κεραίες. Μπορεί ο χρήστης να ενεργοποιήσει μία, δύο, τρεις ή και όλες τις κεραίες. Σε περίπτωση που χρησιμοποιεί λιγότερες από τέσσερις κεραίες τότε καλύτερα να απενεργοποιήσει τις υπόλοιπες θύρες ελέγχου των άλλων κεραιών. Αν όμως δεν τις απενεργοποιήσει, όπως βλέπουμε στον Πίνακα 3.5 η διαφορά στο ρυθμό ανάγνωσης των ετικετών είναι πολύ μικρή αλλά όχι αμελητέα. Όταν χρησιμοποιούμε δύο κεραίες με ενεργοποιημένες και τις τέσσερις θύρες, έχουμε ελαφρώς μικρότερο ρυθμό ανάγνωσης παρά να είχαμε ενεργοποιημένες μόνο τις θύρες των κεραιών που χρησιμοποιούμε. Ένα άλλο σημαντικό γεγονός που αντιλαμβανόμαστε με αυτό το πείραμα είναι ότι ο ρυθμός ανάγνωσης όταν έχουμε μία κεραία και όταν έχουμε δύο κεραίες δεν διαφοροποιείται πολύ. Η μείωση του ρυθμού στην περίπτωση των δύο κεραιών είναι αμελητέα. Θα είχαμε πρόβλημα σε περίπτωση πάρα πολλών ετικετών και μειωμένου χρόνου αναμονής τους στο πεδίο της κεραίας. Σε έτσι περίπτωση όμως οι δύο κεραίες θα ήταν αναγκαίες για να μεγαλώσουν το εύρος κάλυψης του αναγνώστη και να μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερες ετικέτες στο χώρο μας.

Tag Quantity	Rate	Per Tag rate	Notes
UH3D40 @ 0.3m			
4	89,8	22,45	1 κεραία (1 ενεργοποιημένες)
4	89,8	22,45	2 κεραίες (2 ενεργοποιημένες)
4	83,6	20,90	2 κεραίες (4 ενεργοποιημένες)
Impinj Thin Propeller (short) @ 0.3m			
6	106,2	17,70	1 κεραία (1 ενεργοποιημένες)
6	113,8	18,97	2 κεραίες (2 ενεργοποιημένες)
6	106,1	17,68	2 κεραίες (4 ενεργοποιημένες)
Alien ALN-9540 @ 0.3m			
10	188,9	18,89	1 κεραία (1 ενεργοποιημένες)
10	188,2	18,82	2 κεραίες (2 ενεργοποιημένες)
10	177,7	17,77	2 κεραίες (4 ενεργοποιημένες)

Πίνακας 3.5: Πίνακας αποτελεσμάτων για εναλλαγές κεραιών

3.5 Σειρά Ανάγνωσης ετικετών σε διαφορετικές αποστάσεις στο πεδίο κάλυψης της κεραίας

Στη συνέχεια δοκιμάσαμε τον τρόπο με τον οποίο οι ετικέτες εκμεταλλεύονται το χρόνο timeout τον οποίο έχουν για να χρησιμοποιήσουν μία σχισμή του slotted Aloha πρωτοκόλλου για να διαβαστούν. Σκοπός του πειράματος ήταν να δούμε τι συμβαίνει όταν δύο ετικέτες βρεθούν στο χώρο κάλυψης της κεραίας και με πια σειρά διαβάζονται όταν βρίσκονται σε ίση ή διαφορετική απόσταση από την κεραία.

- Δύο ετικέτες σε ίση απόσταση από κεραία

Τοποθετούμε δύο κεραίες LabID UH3D40 κοντά στη κεραία σε ίση απόσταση και οι δύο από αυτή. Ο ρυθμός ανάγνωσης τους είναι 46,5 αναγνώσεις το δευτερόλεπτο και η σειρά ανάγνωσης τους είναι πλήρης επαναλαμβανόμενη. Δηλαδή διαβάζονταν με τη σειρά χωρίς μια από αυτές

να διαβαστεί δύο συνεχόμενες φορές. Αν ονομάσουμε την μία ετικέτα A και την άλλη B τότε οι πρώτες σαράντα αναγνώσεις είχαν την εξής σειρά:

ABABABABABABABABABABABABABABABABABABAB

- Μία ετικέτα κοντά και μία μακριά από την κεραία

Στη συνέχεια επαναλάβαμε το πείραμα αυτό με τη διαφορά ότι οι δύο ετικέτες δεν βρίσκονταν σε ίση απόσταση από την κεραία. Όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, οι ετικέτες διαβάζονται διαδοχικά. Και σε αυτή την περίπτωση δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί καμιά από τις δύο ετικέτες τη θέση της προς τη κεραία για να την "ξεγελάσει" με σκοπό να διαβαστεί συνεχόμενα. Και σε αυτή την περίπτωση αν ονομάσουμε την μία ετικέτα A και την άλλη B τότε οι πρώτες σαράντα αναγνώσεις είχαν την εξής σειρά:

ABABABABABABABABABABABABABABABABABABAB

Καταλαβαίνουμε ότι από τη στιγμή που μία ετικέτα μπαίνει στην εμβέλεια της κεραίας μπορεί να διαβαστεί με τη σωστή σειρά σε όπιο σημείο και να βρίσκεται. Δηλαδή γίνεται σωστή χρήση του πρωτοκόλλου slotted Aloha από τον αναγνώστη και με κατάλληλο timeout αποφεύγει τις συγκρούσεις και τις άστοχες αναγνώσεις. Δηλαδή από τη στιγμή που δύο ετικέτες διεκδικούν σχισμή για να τροχοδρομηθούν, τότε θα την πάρουν με τη σειρά, για όλη τη διάρκεια παραμονής τους στην εμβέλεια της κεραίας.

3.6 Μέγιστη απόσταση ανάγνωσης ετικέτας ανάλογα με την ενέργεια του Αναγνώστη

Το επόμενο πείραμα το οποίο κάναμε ήταν να μετρήσουμε την απόσταση στην οποία διαβάζεται μια ετικέτα, όταν ο αναγνώστης μεταβάλει την ενέργεια του. Για το πεδίο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι πολύ σημαντικό αυτό το πείραμα, επειδή έχει άμεσο αντίκτυπο στην τοπολογία των κεραιών. Το εύρος κάλυψης μιας κεραίας είναι ευθέος ανάλογο με την ενέργεια που της δίνει ο αναγνώστης. Για την υλοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήσαμε Impinj Satellite και LabID UH3D40 ετικέτες και Laird S8658PLJ Far-Field κεραία. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

Ο Πίνακας 3.6 παρουσιάζει τις μετρήσεις που αφορούν τη μέγιστη απόσταση που μπορεί να βρίσκεται η ετικέτα μας από την κεραία ανάλογα με την ισχύ εξόδου του αναγνώστη μας. Από τον πίνακα μπορούμε να διαλέξουμε, ανάλογα με τα επίπεδα ενέργειας μας, ποιες από τις μετρήσεις μας θα χρησιμοποιήσουμε στο πρόγραμμα μας. Για παράδειγμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τέσσερα επίπεδα ενέργειας τα 31.5dB, τα 25dB, 17dB και τα 11dB. Ανάλογα με τις ανάγκες του προγράμματος μας και της εφαρμογής μας μπορούμε να διαλέξουμε τα κατάλληλα μεγέθη.

Tag Quantity Tag Quantity	Antenna Power Output(dB)	Maximum Distance(m)		Notes Notes
		LabID UH3D40	Impinj Satellite	
1	31.5	10.5	2.25	Maximum Energy
1	29	7.69	1.58	
1	27	6.03	1.20	
1	25	4.82	0.95	
1	23	3.78	0.76	
1	21	2.93	0.60	
1	19	2.31	0.47	
1	17	1.85	0.35	
1	15	1.32	0.23	
1	13	0.92	0.15	
1	11	0.63	0.07	
1	9	0.4	0.01	Minimum Energy

Πίνακας 3.6: Πίνακας όπου βλέπουμε μερικές από τις μετρήσεις μας

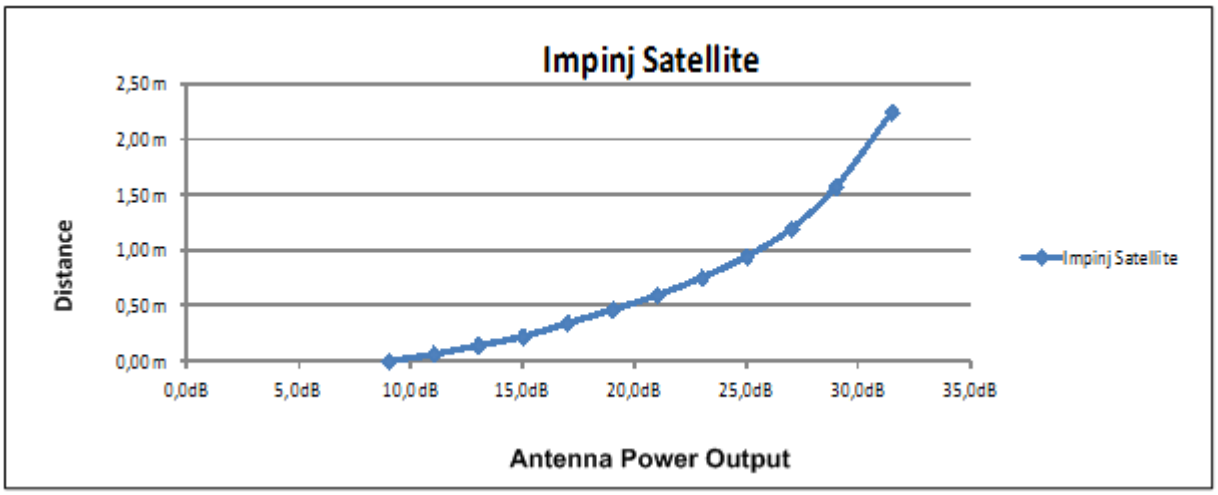
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα γραφήματα (3.9, 3.10) τα οποία προέκυψαν από τις πιο πάνω μετρήσεις, όπου φαίνεται ότι η αλλαγή της απόστασης σε σχέση με την ισχύ του αναγνώστη είναι εκθετική και για τα δύο είδη ετικετών.

Στο Σχήμα 3.9 παρατηρούμε ότι η όσο αυξάνεται η ισχύς εξόδου του αναγνώστη μας τόσο αυξάνεται και η μέγιστη απόσταση στην οποία είναι ανιχνεύσιμη η ετικέτα μας. Σε πολύ μικρή ισχύ εξόδου η ετικέτα πρέπει να βρεθεί πολύ κοντά στην κεραία για να διαβαστεί.

Και σε αυτή τη περίπτωση (Σχήμα 3.10), της LabID UH3D40 ετικέτας, παρατηρούμε επίσης μια εκθετική σχέση μεταξύ ισχύς εξόδου και μέγιστης απόστασης ανιχνεύσιμης ετικέτας. Το πείραμα αυτό είναι πολύ σημαντικό για την τοπολογία των κεραιών μας, επειδή μας βοηθά να γνωρίζουμε πως μεταβάλλεται το εύρος κάλυψης των κεραιών μας σε περίπτωση που έχουμε αλλαγή στην ισχύ εξόδου του αναγνώστη. Είναι χρήσιμο για την ασφάλεια κάποιας εφαρμογής καθώς και για την κατανάλωση ενέργειας.

3.7 Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σε διαφορετικές τιμές ισχύς εξόδου του αναγνώστη

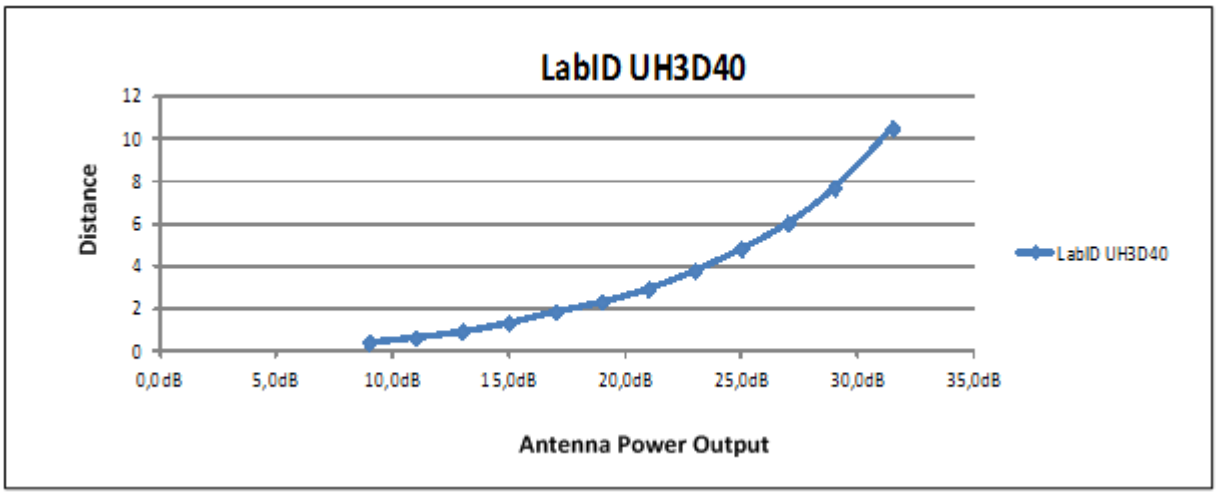
Το τελευταίο πείραμα το οποίο πραγματοποιήθηκε είχε σκοπό την καταμέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος του συστήματος μας σε διαφορετικές τιμές της ισχύς εξόδου του αναγνώστη. Το πείραμα έγινε με σκοπό να δούμε τις αλλαγές που μπορεί να υπάρχουν στην κα-



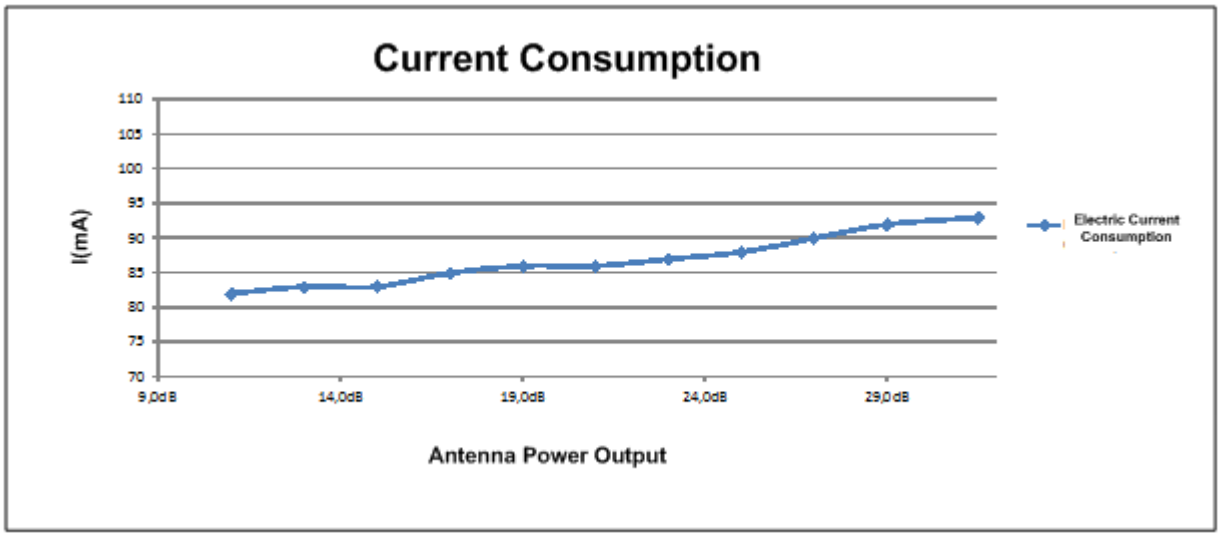
Σχήμα 3.9: Σχέση απόστασης με ισχύ εξόδου αναγνώστη για Impinj Satellite ετικέτα

τανάλωση, σε σχέση με την ισχύ εξόδου του αναγνώστη, και αν αυτές οι αλλαγές μπορούν να είναι σημαντικές στην διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Παρατηρώντας το Σχήμα 3.11 βλέπουμε ότι στις διαφορετικές τιμές της ισχύς εξόδου του αναγνώστη δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στην κατανάλωση. Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι μερικά mA γεγονός που μας επιτρέπει με την ίδια κατανάλωση να χρησιμοποιούμε όποια ισχύ εξόδου μας είναι χρήσιμη στην κάθε εφαρμογή. Αυτό το συμπέρασμα είναι πολύ σημαντικό επειδή μπορεί ένας χρήστης RFID συστημάτων να χρησιμοποιήσει όλες τις κεραίες του, αντί σε μέγιστη ισχύ εξόδου του αναγνώστη σε διαφορετικές τιμές, χωρίς επιβάρυνση σε θέμα κατανάλωσης.



Σχήμα 3.10: Σχέση απόστασης με ισχύ εξόδου αναγνώστη για LabID UH3D40 ετικέτα



Σχήμα 3.11: Κατανάλωση Ηλεκτρικού ρεύματος σε σχέση με την ισχύ εξόδου του αναγνώστη

Κεφάλαιο 4

Υλοποίηση και Περιγραφή Αλγόριθμου

4.1 Περιγραφή Προβλήματος

Όπως είδαμε στο 2ο κεφάλαιο στόχος μας είναι όσο το δυνατό καλύτερη τοποθέτηση των κεραιών στο χώρο, με αποτέλεσμα να έχουμε μέγιστη απόδοση όσο αφορά επιτυχημένες καταγραφές των ετικετών στο χώρο μας. Για να το πετύχουμε αυτό αποφασίσαμε να δουλέψουμε υλοποιώντας ένα Γενετικό Αλγόριθμο και προσαρμόζοντας το πρόβλημα μας σε αυτόν. Κάποιοι από τους λόγους που μας οδήγησαν να χρησιμοποιήσουμε ΓΑ είναι:

- Αξιόπιστος και μπορεί να μας δώσει ένα πολύ καλό αποτέλεσμα αποφεύγοντας τα τοπικά ακρότατα και οδηγώντας το πρόβλημα σε ολικό ακρότατο.
- Προσαρμόζεται εύκολα σε βελτιώσεις ή άλλες υλοποιήσεις λύσεων που αφορούν το πρόβλημα μας. Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι.
- Μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά πεδία εφαρμογών.
- Και ένας άλλος σημαντικός λόγος είναι η περεταίρω εκμάθηση της επιστήμης των ΓΑ αφού είναι ένας πολύ ενδιαφέρον και χρήσιμος κλάδος της επιστήμης υπολογιστών.

Στο πρόβλημα μας, το μόνο που χρειάζεται για να εφαρμοστεί ο ΓΑ είναι να βρούμε τις κατάλληλες παραμέτρους από τις οποίες θα εξαρτάται η λύση μας. Στόχος μας, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενα κεφάλαια, είναι να καταφέρουμε να καλύψουμε το χώρο μας με όσο το δυνατό οικονομικότερη λύση, δηλαδή με όσο πιο λίγες κεραίες γίνεται, αλλά και αξιόπιστη λύση(πλήρη κάλυψη χώρου βάση των παραμέτρων μας). Για να το επιτύχουμε αυτό έπρεπε να καταγράψουμε τις παραμέτρους που θα μας απασχολήσουν και το συνολικό βάρος που θα έχει η κάθε μια από αυτές στην τιμή καταλληλότητας του κάθε ατόμου τις γενιάς και κατά συνέπεια στη συνάρτηση καταλληλότητας της γενιάς.

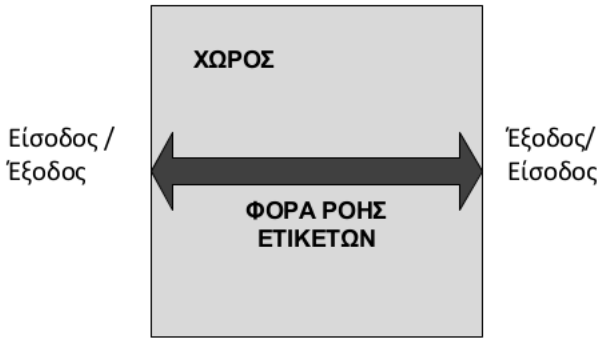
Αφού καταγράψαμε το πρόβλημα μας τότε υπολογίσαμε και τις παραμέτρους από τις οποίες θα εξαρτάται και η λύση μας. Το πρόβλημα μας τελικά προέκυψε να είναι η πλήρης κάλυψη του

χώρου σε σχέση με τη φορά ροής των ετικετών στο χώρο μας. Έτσι χωρίσαμε το πρόβλημα σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι:

- Κάθετη ροή ετικετών στο χώρο μας: Οι ετικέτες εισέρχονται στο χώρο μας από πάνω και κινούνται προς τα κάτω ή αντίθετα. Δηλαδή είσοδος Πάνω και έξοδος Κάτω ή είσοδος Κάτω και έξοδος Πάνω όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.

Σχήμα 4.1: στο σχήμα αυτό φαίνεται η φορά κίνησης των ετικετών σε κάθετη ροή

- Οριζόντια ροή ετικετών στο χώρο μας: Οι ετικέτες εισέρχονται στο χώρο μας από δεξιά και κινούνται προς αριστερά ή αντίθετα. Δηλαδή είσοδος Δεξιά και έξοδος Αριστερά ή είσοδος Αριστερά και έξοδος Δεξιά όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Σε αυτή την Σχήμα φαίνεται η φορά κίνησης των ετικετών σε οριζόντια ροή

Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει το πεδίο των κεραιών που θα χρησιμοποιηθεί να καλύπτει πλήρες το χώρο κάθετα της ροής.

4.1.1 Παράμετροι Συνάρτησης Καταλληλότητας (Fitness-Function)

Οι παράμετροι που καθορίζουν την συνάρτηση καταλληλότητας μας είναι:

- Useless Antennas: Σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να έχουμε κεραίες οι οποίες θα είναι τοποθετημένες εκτός του πλαισίου μας. Σε καμιά εφαρμογή δεν μπορούμε να βάλουμε τις κεραίες εκτός των ορίων που μας καθορίζει η εφαρμογή.

- Redundant Readers: Δεν επιτρέπεται να έχουμε πλεονάζουσες κεραίες επειδή είναι απλά σπατάλη και άσκοπη η τοποθέτηση τους. Πλεονάζουσες κεραίες έχουμε όταν το εύρος της κεραίας είναι ήδη καλυπτόμενο σημείο από μια άλλη κεραία γεγονός που κάνει τη κεραία μας ανεκμετάλλευτη.

- Overlapping: Το ποσοστό επικάλυψης των δύο κεραιών μας δεν πρέπει να είναι μεγάλο αλλά πρέπει να υπάρχει ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 10% του συνολικού χώρου του οποίου καταλαμβάνουν οι κεραίες, με σκοπό να αποφύγουν τα νεκρά σημεία μεταξύ τους και να υπάρχει ασφάλεια και σιγουριά στο ότι οι ετικέτες θα περάσουν από περιοχές που είναι καλυπτόμενες από το εύρος των κεραιών.

- Completeness: Παράμετρος η οποία έχει να κάνει με τη πληρότητα του χώρου σε κάλυψη ως προς τη ροή και κατεύθυνση των ετικετών.

Για τον υπολογισμό αυτών των παραμέτρων υλοποιήσαμε κάποιες συναρτήσεις που χρησιμοποιούμε στο πρόγραμμα μας. Οι συναρτήσεις αυτές μας επιστρέφουν κάποιες τιμές, αν θέλετε συντελεστές, τους οποίους χρησιμοποιούμε όπως θα δείτε και στη συνέχεια για τον υπολογισμό τελικά των παραμέτρων της συνάρτησης καταλληλότητας. Αρχικά θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο υλοποιήσαμε το Γενετικό Αλγόριθμο μας και στη συνέχεια θα αναφερθούμε και στις συναρτήσεις τις οποίες χρησιμοποιούμε για να πάρουμε τις τιμές που χρειαζόμαστε για τις παραμέτρους.

4.2 Υλοποίηση ΓΑ και συναρτήσεις υπολογισμού Παραμέτρων σε MATLAB

Όπως αναφέραμε πιο πάνω ένα σημαντικό κομμάτι των Γενετικών Αλγορίθμων είναι η συνάρτηση καταλληλότητας (Fitness-Function(FF)) που αποτελεί το περιβάλλον του προβλήματος και το υπολογιστικό κομμάτι το οποίο πρέπει να οδηγηθεί σε μέγιστο ή ελάχιστο ανάλογα με τις ανάγκες του προβλήματος. Στο δικό μας πρόβλημα πρέπει να βελτιστοποιήσουμε τη συνάρτηση καταλληλότητας και να βρούμε λύση με όσο το δυνατό μεγαλύτερη τιμή καταλληλότητας (Fitness-Value)(όπου FV είναι η απόδοση του κάθε ατόμου). Ο Γ.Α. πρέπει να έχει σαν είσοδο τα άτομα του πληθυσμού σε δυαδική μορφή και τις τιμές καταλληλότητας (FV) για όλα τα άτομα του πληθυσμού και σαν έξοδο τον καινούργιο πληθυσμό.

4.2.1 Είσοδοι ΓΑ

Αρχικά το πρόγραμμα ξεκινά με την main που είναι υπεύθυνη για την δημιουργία του αρχικού πληθυσμού και την κλήση των επιμέρους συναρτήσεων που χρησιμοποιούμε στο πρόγραμμα (Genetic, Grid_for_Tag_Flow). Τα δεδομένα τα οποία δίνουμε σαν είσοδο στην main είναι:

- Num_of_readers: αριθμό αντενών που πρέπει να τοποθετήσουμε στο χώρο
- Population_size: μέγεθος πληθυσμού.
- Flow: Αναφέρεται στην τροχιά κίνησης των ετικετών.
- Αν flow=1 τότε κάθετη κίνηση αλλιώς αν flow =2 οριζόντια κίνηση
- Energybits: είναι τα επίπεδα ενέργειας που μπορεί να έχουν οι κεραίες.
- Num_of_generations: αριθμός γενιών για τις οποίες θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος.
- Grid_x, Grid_y: μέγεθος πλαισίου.

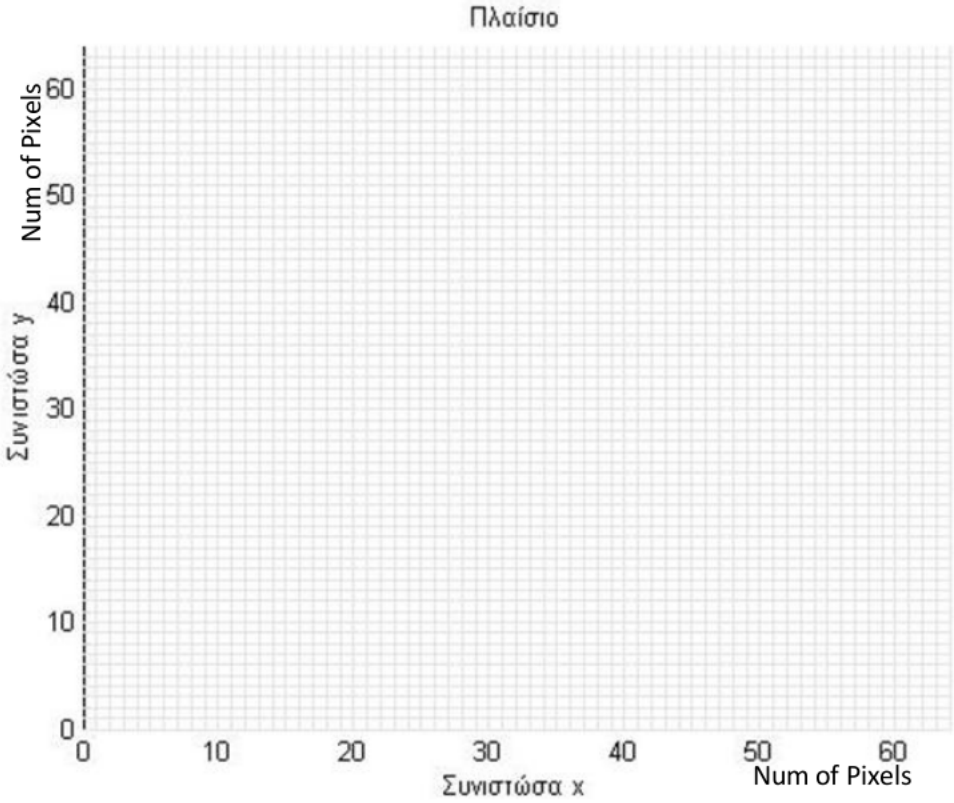
Με το μέγεθος πλαισίου αναφερόμαστε στις διαστάσεις που θα έχει ο χώρος της εφαρμογής μας. Για ευκολία αρχικοποιούμε με την ίδια τιμή το μήκος και πλάτος του τετραγώνου μας και οι τιμές που διαλέγουμε είναι σε δυνάμεις του δύο. Εμείς στον αλγόριθμο μας αρχικοποιούμε με τιμή 64 και χρειαζόμαστε 6 bits για την απεικόνιση της θέσης της αντένας στη x διάσταση και 6 bits για τη y διάσταση. Ουσιαστικά υλοποιούμε ένα 64x64 πλαίσιο (Σχήμα 4.3) το οποίο είναι χωρισμένο σε κουτάκια και ανάλογα με την εφαρμογή και τις αντένες που έχουμε στη διάθεση μας τότε μπορούμε να ανάγουμε τα 64 κουτάκια στα πραγματικά μέτρα του προβλήματος μας. Το μέγεθος του πλαισίου είναι παραμετροποιημένο στις επιμέρους συναρτήσεις γεγονός που μας επιτρέπει να το αλλάζουμε και ανάλογα με την εφαρμογή και τις ανάγκες μας να διαλέγουμε την κατάλληλη τιμή. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλαίσιο όμως τόσο πιο αργό γίνετε το πρόγραμμα μας. Η επόμενη τιμή πλαισίου που χρησιμοποιούμε είναι 128x128 κουτιά.

Δηλαδή αν έχουμε 2 Far-Field κεραίες και θέλουμε να καλύψουμε ένα χώρο 20m x 20m τότε μπορούμε να χωρίσουμε τα 20 μέτρα σε 64 μικρότερα διαστήματα και να τιμολογήσουμε το κάθε κουτί του πλαισίου μας με την ανάλογη διάσταση.

$$\frac{20m}{64} = 0.3125m,$$

άρα η κάθε πλευρά του κουτιού αντιστοιχεί σε $0.3125m$ και η συνολική πλευρά του πλαισίου σε $20m$.

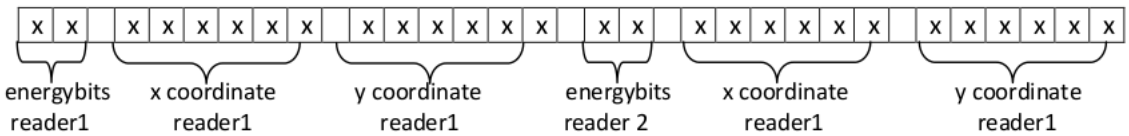
Αφού γίνει η αντιστοίχιση των διαστάσεων του κάθε κουτιού στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός των bits που θα χρειαστεί το κάθε άτομο του πληθυσμού για να απεικονιστεί σε δυαδική ακολουθία. Για να υπολογίσει αυτό τον αριθμό χρησιμοποιούνται κάποια από τα δεδομένα εισόδου:



Σχήμα 4.3: Μορφή πλαισίου όπου απεικονίζεται ο χώρος εφαρμογής σε 64x64 κουτιά

$$lenght = numofantennas * (energybits + lg(grid_x) + lg(grid_y))(1)$$

στο παράδειγμα μας έχουμε 2 κεραίες με 4 επίπεδα ενέργειας δηλαδή 2 energybits και grid_x= grid_y= 64 έτσι προκύπτει ότι χρειαζόμαστε συνολικά 28 bits για να απεικονίσουμε δυαδικά ένα άτομο.



Σχήμα 4.4: Παρουσιάζεται ο τρόπος που κατανέμονται τα bits

Σε περίπτωση που έχουμε παραπάνω από δύο κεραίες τότε η δυαδική ακολουθία μεγαλώνει ανάλογα με τον αριθμό των κεραιών μας σύμφωνα με την εξίσωση (1). Αφού υπολογιστεί το μήκος της ακολουθίας τότε δημιουργείται με τυχαίο τρόπο ο αρχικός πληθυσμός με τη χρήση της

συνάρτησης rand. Έτσι τώρα έχουμε τον αρχικό πληθυσμό σε δυαδική μορφή ο οποίος θα δοθεί σαν είσοδος στο Γ.Α. αλλά αυτό δεν αρκεί, επειδή χρειάζεται σαν είσοδο και τις τιμές καταλληλότητας του κάθε ατόμου. Για να υπολογιστούν οι τιμές καταλληλότητας πρέπει να υπολογίσουμε τις παραμέτρους που ενδιαφέρουν την συνάρτηση καταλληλότητας μας και έτσι να βρούμε την απόδοση του κάθε ατόμου.

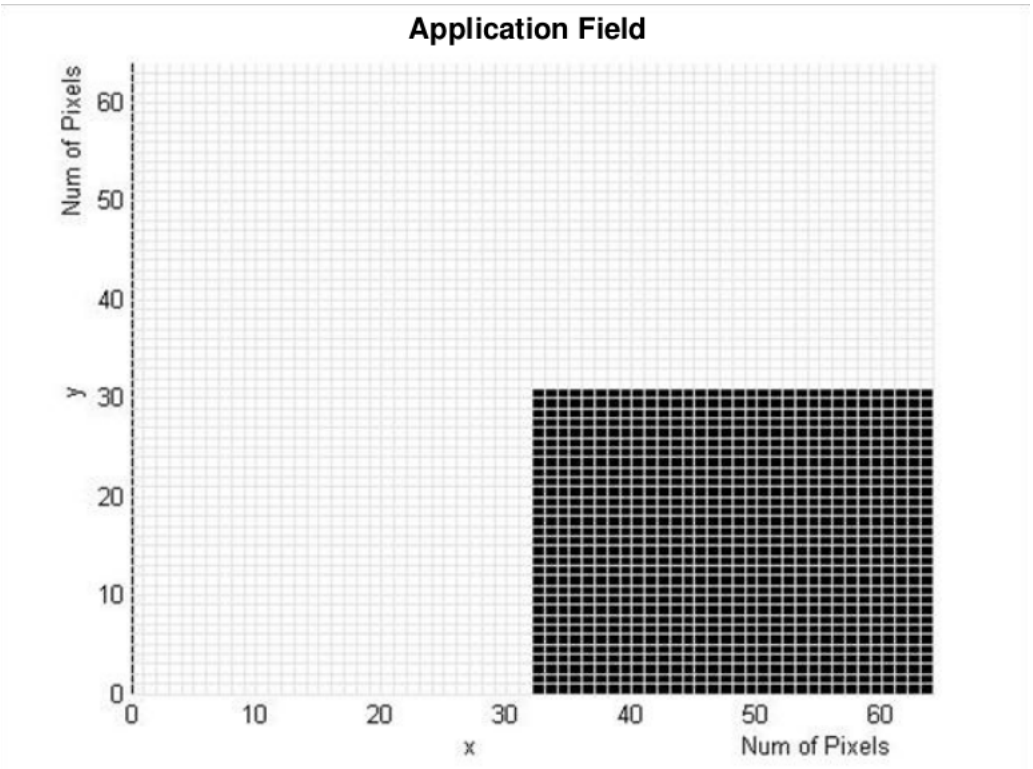
Για να γίνει αυτό καλούμε τη συνάρτηση Grid_for_Tag_Flow. Η συνάρτηση αυτή δέχεται μεταξύ άλλων εισόδων και τη μεταβλητή flow που αφορά τη φορά ροής των ετικετών. Δηλαδή ανάγει το πρόβλημα μας σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Αυτή της κάθετης και αυτή της οριζόντιας φοράς ροής των ετικετών. Μεταξύ των δύο αυτών περιπτώσεων υπάρχουν λίγες διαφορές, τις οποίες θα δούμε στην ενότητα 4.3.2. Μετά τη κλίση της συνάρτησης Grid_for_Tag_Flow, και με επεξεργασία των δεδομένων που επιστρέφουν, τότε έχουμε έτοιμες τις τιμές καταλληλότητας των ατόμων και κατά συνέπεια έτοιμα τα δεδομένα τα οποία χρειάζεται ο ΓΑ μας για να υπολογίσει την επόμενη γενιά. Αφού υπολογίσει την επόμενη γενιά τότε την επιστρέφει στην main για να επανυπολογιστούν οι τιμές καταλληλότητας της καινούργιας γενιάς και μετά ξανακαλείται ο ΓΑ. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να συμπληρωθεί ο αριθμός των γενιών που δίνει ο χρήστης. Υπάρχουν περιπτώσεις που οι γενιές δεν σταματούν σε αριθμητικό όριο αλλά μόλις συγκλίνει ο αλγόριθμος σε μοναδική λύση. Αυτό όμως είναι δύσκολα εφικτό επειδή μπορεί να χρειαστεί μεγάλος αριθμός γενιών για να συμβεί, γεγονός που επιφέρει προβλήματα χρόνου και χρήση μεγάλης υπολογιστικής ισχύος. Έτσι εμείς ορίζουμε ένα αριθμητικό όριο γενιών.

4.2.2 Είσοδος Διαστάσεις Χώρου

Στη συνέχεια κάναμε μια μικρή αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης δίνει τις εισόδους του στο σύστημα. Κάποιος νέος χρήστης RFID συστημάτων θα ενδιαφέρεται μόνο για τον χώρο του, τον οποίο θέλει να καλύψει. Έτσι και εμείς ζητάμε τώρα από το χρήστη να δώσει σαν είσοδο τα μέτρα που περιγράφουν το χώρο της εφαρμογής του παρά τον αριθμό των κεραιών.

Με αυτή την τροποποίηση το πρόγραμμα μας γίνεται πιο "έξυπνο" και σωστό ως προς το χρήστη RFID συστημάτων. Έτσι ο χρήστης πρέπει να μας ενημερώσει όσο αφορά τις διαστάσεις του χώρου και με ένα στάδιο προ-επεξεργασίας θα ενημερώνεται για το πόσες κεραίες πρέπει να χρησιμοποιήσει για την εφαρμογή του και στη συνέχεια καλείται να συμπληρώσει τις υπόλοιπες εισόδους της main όπως φαίνονται στην ενότητα 4.2.1, με εξαίρεση την είσοδο που αφορά τον αριθμό των κεραιών καθώς αυτός ο αριθμό υπολογίζεται όπως ήδη αναφέραμε βάση των διαστάσεων της εφαρμογής. Άλλη μια καινοτομία που προσθέσαμε σε αυτή την ανανεωμένη υλοποίηση του αλγόριθμου μας είναι το γεγονός ότι ο χρήστης μπορεί να διαλέξει αν υπάρχει και μια "νεκρή" περιοχή στο χώρο του. Αν για παράδειγμα ο χώρος του δεν είναι ακριβώς τετράγωνο, αλλά αποκόπτει ένα κομμάτι του. Για παράδειγμα μεταξύ των κουτιών [x= 32:64 και y = 0:32] να θεωρείται νεκρός χώρος.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5 η μαύρη περιοχή θεωρείται μη-έγκυρη, γεγονός που δεν μας επιτρέπει να τοποθετήσουμε κεραία στο σημείο αυτό. Κατανοώντας τις αλλαγές, καταλαβαίνουμε ότι με αυτές τις καινοτομίες η υλοποίηση του αλγορίθμου μας γίνεται πιο σαφές και εξειδικευμένη. Γεγονός που δίνει στο χρήστη μεγαλύτερη ελευθερία όσο αφορά τις επιλογές που έχει



Σχήμα 4.5: Παράδειγμα "νεκρού" χώρου.

ώστε να προσεγγίσει το χώρο της εφαρμογής του. Ο χρήστης μπορεί με αυτό τον τρόπο να περιορίσει το χώρο του από τετράγωνο σε ορθογώνιο σχήμα. Αν για παράδειγμα ο πραγματικός χώρος εφαρμογής είναι 20x10 μέτρα τότε ο χρήστης δίνει σαν είσοδο τα 20 μέτρα και θέτει μη-έγκυρη περιοχή τα κουτιά x= 32:64 και y = 0:64 με αποτέλεσμα ο χώρος του να γίνει το ορθογώνιο που πραγματικά έχει να καλύψει.

4.2.3 Λειτουργία Γενετικού Αλγορίθμου

Ο τρόπος επιλογής των μελών του νέου πληθυσμού γίνεται με χρήση "ρουλέτας με σχισμές" (slotted roulette wheel). Και η επιλογή γίνεται με βάση την απόδοση κάθε ατόμου του πληθυσμού. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι όσο πιο "δυνατό" είναι ένα άτομο τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχει να επιλεχθεί για την επόμενη γενιά. Τα άτομα τοποθετούνται στη ρουλέτα βάση της απόδοσης τους και της αθροιστικής πιθανότητας τους που καθορίζει μεγαλύτερες σχισμές για άτομα με μεγαλύτερη πιθανότητα.

Η ρουλέτα κατασκευάζεται ως εξής:

Για αρχή υπολογίζει τη συνολική απόδοση του πληθυσμού, την τιμή F ,που είναι το άθροισμα

όλων των FV του πληθυσμού:

$$F = \sum_{n=1}^{population_size} fv(n)(2)$$

και στη συνέχεια την πιθανότητα pi επιλογής του κάθε ατόμου n_i:

$$p_i = \frac{fv(n_i)}{F}, 0 < i \leq pop_{size}(3)$$

και τέλος υπολογίζει την αθροιστική πιθανότητα qi κάθε μέλους n_i:

$$q_i = \sum_{i=1}^{population_size} p_i(4)$$

Και στη συνέχεια για να επιλεχθούν τα μέλη του νέου πληθυσμού εκτελούνται population_size περιστροφές της ρουλέτας. Σε κάθε περιστροφή της ρουλέτας αντιστοιχούμε ένα τυχαίο αριθμό rouleta τον οποίο παίρνουμε με τη συνάρτηση rand και έχει τιμή από 0 έως 1.

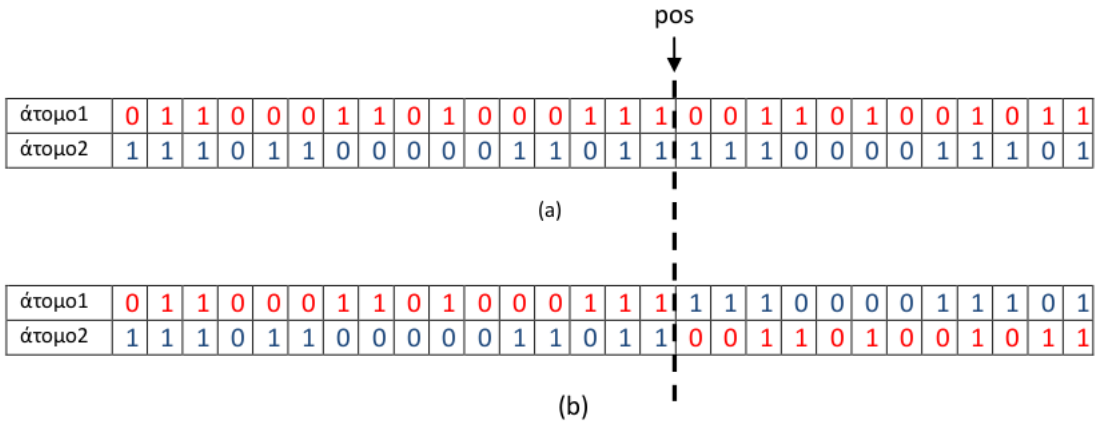
Αν $rouleta < q_1$,τότε επιλέγουμε το άτομο n_1, αλλιώς επιλέγουμε το n_i, $(2 \leq i \leq population_size)$ ούτως ώστε $q_{i-1} < r \leq q_i$. Με αυτό τον τρόπο ένα άτομο του πληθυσμού μας μπορεί να επιλεχθεί περισσότερες από μία φορές, αλλά τα "δυνατά" άτομα της προηγούμενης γενιάς έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεχθούν. Μέχρι αυτό το σημείο έγινε η επιλογή του καινούργιου πληθυσμού μας αλλά πριν επιστραφεί από το Γ.Α. πρέπει να υποστεί διασταύρωση και μετάλλαξη βάση της πιθανότητας που καθορίζεται για να συμβούν.

Διασταύρωση: Σε αυτό το σημείο εφαρμόζουμε το τελεστή διασταύρωσης στο νέο πληθυσμό. Στο δικό μας Γ.Α. πραγματοποιείται διασταύρωση ενός σημείου (single crossover point).

Η διασταύρωση γίνεται με πιθανότητα pc (συνήθως καθορίζεται 25% και λιγότερο) και για κάθε μέλος επιλέγουμε ένα τυχαίο αριθμό cross τον οποίο παίρνουμε με τη συνάρτηση rand και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Αν cross pc τότε το άτομο επιλέγεται για διασταύρωση. Με αυτό τον τρόπο επιλέγουμε περίπου pc population_size άτομα για διασταύρωση. Αφού επιλέξουμε τα άτομα προς διασταύρωση τότε τα χωρίζουμε σε ζευγάρια και για κάθε ζευγάρι επιλέγουμε ένα τυχαίο αριθμό pos = 1..b (b το μήκος της δυαδικής ακολουθίας) που θα καθορίσει το σημείο διασταύρωσης. Το Σχήμα 4.6 παρουσιάζει ένα παράδειγμα διαστάυρωσης.

Μετάλλαξη: Η μετάλλαξη επιλέγει με τυχαίο τρόμο 1 γονίδιο ενός ατόμου και του αλλάζει την τιμή του. Στην περίπτωση μας που τα γονίδια είναι δυαδικά αν υποστούν μετάλλαξη τότε αντιστρέφονται. Η μετάλλαξη γίνεται με πιθανότητα pm (συνήθως καθορίζεται 1% - 10%). Κάθε άτομο έχει pm πιθανότητα να επιλεχθεί για μετάλλαξη. Με τυχαίο τρόπο επιλέγουμε ένα αριθμό mut που παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 και αν mut pm τότε μεταλλάζουμε το γονίδιο αυτό το επαναλαμβάνουμε για κάθε γονίδιο. Το Σχήμα 4.7 παρουσιάζει ένα παράδειγμα μετάλλαξης.

Αφού τελειώσουν αυτές οι λειτουργίες του γενετικού αλγορίθμου τότε έχουμε έτοιμο το νέο πληθυσμό που θα επιστραφεί στη main για να υπολογιστούν οι τιμές καταλληλότητας των νέων



Σχήμα 4.6: (a)Τα άτομα σε δυαδική μορφή πριν υποστούν διασταύρωση, (b) Μετά την εφαρμογή διασταύρωσης

Σχήμα 4.7: Εφαρμογή μετάλλαξης στο 18 γονίδιο του ατόμου

ατόμων του καινούργιου πληθυσμού και θα επιστρέψουν στο γενετικό για τον υπολογισμό της επόμενης γενιάς.

4.3 Υπολογισμός Συντελεστών που καθορίζουν τις τελικές Παραμέτρους της ΣΚ

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων της συνάρτησης καταλληλότητας πρέπει να υπολογίσουμε κάποιες τιμές/συντελεστές τις οποίες χρειάζεται. Όπως αναφέραμε και πιο πάνω υλοποιήσαμε κάποιες συναρτήσεις που είναι υπεύθυνες για τον υπολογισμό των τιμών αυτών. Στις ενότητες που ακολουθούν θα αναφερθούμε σε αυτές τις συναρτήσεις και στο τρόπο με τον οποίο λειτουργούν για να μας δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αρχικά έγινε μια προσπάθεια υπολογισμού των τιμών αυτών με μαθηματικές και τριγωνομετρικές εξισώσεις αλλά αυτός ο τρόπος εγκαταλείφθηκε και θα δούμε στην ενότητα (4.3.1) που ακολουθεί γιατί δεν τον χρησιμοποιήσαμε τελικά.

4.3.1 Αρχικός Υπολογισμός Παραμέτρων με Τριγωνομετρικές Εξισώσεις

Καθορίζοντας το χώρο μας σαν ένα τετράγωνο στο οποίο πρέπει να τοποθετηθούν οι κεραίες μας, έπρεπε να γίνουν κάποιοι υπολογισμοί οι οποίο θα μας έδιναν κάποια χρήσιμα αποτελέσματα τα οποία θα χρειαζόμασταν για τον υπολογισμό της συνάρτησης καταλληλότητας. Κάποια από τα υπολογιστικά δεδομένα που χρειαζόμασταν είναι το εμβαδόν κάλυψης των κεραιών, το ποσοστό επικάλυψης μεταξύ τους, ο αριθμός των κεραιών, αν υπάρχουν, που είναι άχρηστες και κάποια άλλα χρήσιμα δεδομένα. Αυτή η ανάγκη οδήγησε στη δημιουργία μια συνάρτησης CareaCalculate η οποία παίρνει σαν είσοδο ένα άτομο(δηλαδή τις θέσεις των δύο κεραιών και την ενέργεια τους) και τις διαστάσεις του τετράγωνου χώρου και επέστρεφε το εμβαδόν κάλυψης των δύο κεραιών, τον αριθμό των άχρηστων κεραιών και το ποσοστό επικάλυψης των δύο κεραιών.

Το πρώτο βήμα ήταν να υπολογιστούν η ακτίνες των δύο κεραιών που υπολογίζονται σύμφωνα με την ενέργεια τους. Η ενέργεια είναι ένας αριθμός 2-bits. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται η ακτίνα κεραιών βάση της ενέργειας τους.

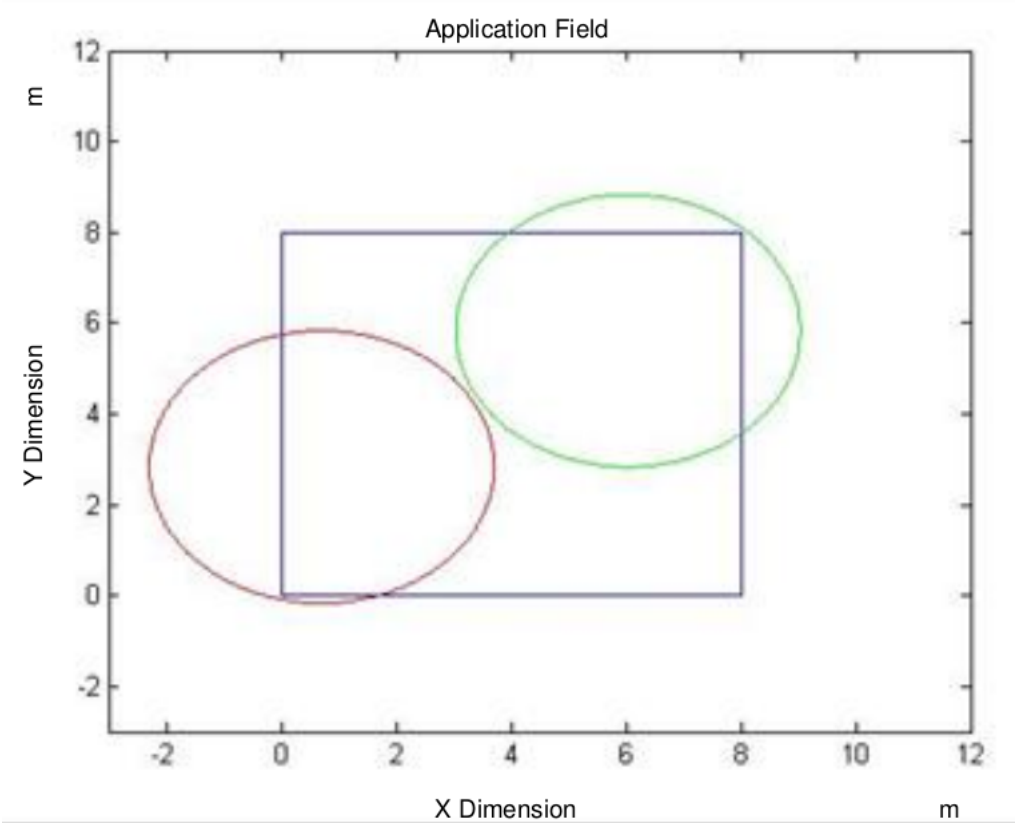
Ενέργεια		Ακτίνα
Διαδυκός Αριθμός	Δεκαδικός Αριθμός	
00	0	3m
01	1	6m
10	2	9m
11	3	12m

Πίνακας 4.1: Ακτίνα Κεραιών βάση της ενέργειας τους

Με αυτό τον τρόπο και με χρήση της συνάρτησης cylinder κατασκευάζουμε δύο κύκλους, που αντιπροσωπεύουν το εύρος κάθε κεραίας, με κέντρα τις θέσεις των κεραιών και ακτίνα ανάλογη με την ενέργεια τις κάθε κεραίας. Η συνάρτηση cylinder κατασκευάζει μια προσέγγιση κύκλου και επιστρέφει ένα διάνυσμα το οποίο αποτελείται από ένα αριθμό τιμών τον οποίο δίνει ο χρήστης. Για καλύτερη προσέγγιση κύκλου αυτός ο αριθμός πρέπει να είναι μεγάλος. Αφού η CareaCalculate κάνει αυτούς τους υπολογισμούς τυπώνει με τη χρήση της συνάρτησης plot μια γραφική απεικόνιση της λύσης μας, δηλαδή απεικονίζει το άτομο στο χώρο.

Στο Σχήμα 4.8 παρατηρούμε τις δύο κεραίες στο χώρο μας. Με κόκκινο χρώμα είναι η πρώτη κεραία και με πράσινο η δεύτερη κεραία. Στη συνέχεια πρέπει να υπολογιστεί το εμβαδόν κάλυψης των κεραιών στο χώρο και η επικάλυψη τους. Αυτό γίνεται με χρήση γεωμετρίας και τριγωνομετρικών εξισώσεων.

Επικάλυψη: Στις εφαρμογές RFID συστημάτων είναι πολύ σημαντική η μελέτη του ποσοστού επικάλυψης του εύρους των κεραιών επειδή δεν πρέπει να είναι μεγάλο και κατά συνέπεια να καθιστά κάποιες από τις κεραίες άχρηστες και πλεονάζουσες, αλλά δεν γίνεται να είναι ούτε



Σχήμα 4.8: Γραφική απεικόνιση μιας πιθανής λύσης όπου οι δύο κεραίες έχουν ενέργεια 3 και ακτίνα 9 και ο χώρος είναι τετράγωνο με πλευρά 24 μέτρα. (1:3 κλίμακα)

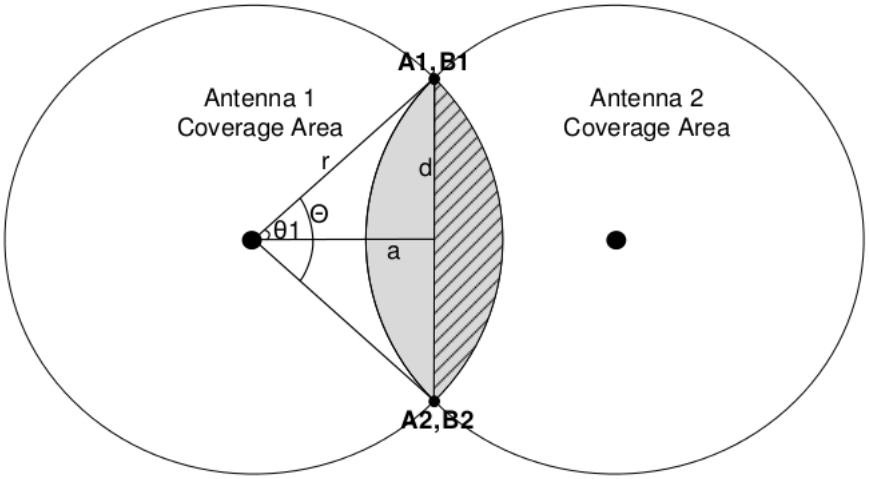
μηδενικό επειδή έτσι αφήνει "νεκρά" σημεία από τα οποία αν περάσει κάποια ετικέτα δεν θα αναγνωστεί. Σε διάφορες εφαρμογές το ποσοστό επικάλυψης ορίζεται περίπου στο 5% της συνολικής κάλυψης των κεραιών.

Για τον υπολογισμό της περιοχής επικάλυψης, γκρίζα περιοχής στο Σχήμα 4.9, πρέπει να γνωρίζουμε τα δύο κοινά σημεία των κύκλων([A1,B1] , [A2,B2]). Για τον υπολογισμό των κοινών σημείων κάνουμε μια επαναληπτική μέθοδο που συγκρίνει όλα τα σημεία των δύο κύκλων και επιστρέφει τα κοινά. Αφού υπολογίσουμε τα κοινά σημεία (A1,B1) και (A2,B2) τότε εφαρμόζουμε κάποιες μαθηματικές εξισώσεις:

Για αρχή υπολογίζουμε την απόσταση d μεταξύ των κοινών σημείων με την εξίσωση της ευκλείδειας απόστασης

$$d = \sqrt{(A1 - A2)^2 + (B1 - B2)^2}(5)$$

υπολογίζουμε επίσης την απόσταση, α, από το κέντρο του πρώτου κύκλου προς την ευθεία



Σχήμα 4.9: Η μπλε περιοχή είναι η περιοχή επικάλυψης του εύρους των 2 κεραιών. Τα κίτρινα σημεία είναι τα σημεία τομής των δύο κύκλων

που ενώνει τα δύο κοινά σημεία με τη χρήση πυθαγόρειου θεωρήματος

$$a = \sqrt{r^2 - (\frac{d}{2})^2}(6)$$

στη συνέχεια υπολογίζουμε τη γωνία θ που σχηματίζεται παίρνοντας τις ακτίνες προς τα δύο κοινά σημεία

$$\Theta = 2\dot{\theta}1 = 2\grave{a}cos\frac{(}{a}d)(7)$$

Αφού υπολογίσουμε τη γωνία θ τότε μπορούμε να υπολογίζουμε το εμβαδόν επικάλυψης με τη χρήση του γεωμετρικού τύπου:

$$E\Gamma\kappa\Pi\epsilon = 2 * E\Gamma\rho\Pi\epsilon = \frac{r^2}{2}(\theta - sin(\theta))$$

όπου $E\Gamma\kappa\Pi\epsilon$ και $E\Gamma\rho\Pi\epsilon$ είναι το εμβαδό γκρι Περιοχής και εμβαδό γραμμοσκιασμένης περιοχής.

Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε το εμβαδόν επικάλυψης του εύρους των δύο κεραιών. Αλλά εδώ συναντάμε και το πρώτο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε με αυτό τον τρόπο επεξεργασίας δεδομένων που εφαρμόσαμε. Οι πιο πάνω εξισώσεις οδηγούν σε σωστό αποτέλεσμα αν οι δύο κεραίες έχουν την ίδια ενέργεια, δηλαδή αν οι κύκλοι έχουν την ίδια ακτίνα και έτσι έπρεπε να σκεφτούμε ένα καινούργιο τρόπο υπολογισμού.

Τη λύση στο πρόβλημα αυτό τη βρήκαμε σε μία βιβλιοθήκη της Matlab [14] και έτσι με τη χρήση της συνάρτησης area_intersect_circle_analytical και τον κώδικα του σχήματος 4.10.

```
xk = (radius1^2-radius2^2+distance^2)/(2*distance);
yk = sqrt(radius1^2-xk^2);
a=distance/2;
th_half = acos(a/radius_max);
th = 2*th_half;
epikalipsi= radius1^2*atan2(yk,xk)+ radius2^2*atan2(yk,distance-xk)-distance*yk;
```

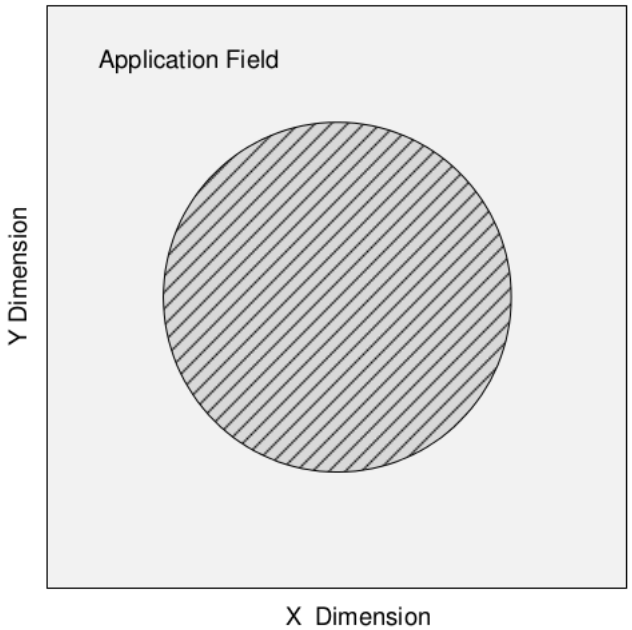
Σχήμα 4.10: Matlab κώδικας που χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό του εμβαδού επικάλυψης

Τελικά με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε τελικά το εμβαδόν της περιοχής επικάλυψης και το επιστρέφει η CareaCalculate στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια πρέπει να υπολογίσουμε και το εμβαδόν κάλυψης των δύο κεραιών.

Κάλυψη: Για τον υπολογισμό της περιοχής κάλυψης των δύο κεραιών μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε το εμβαδόν που καταλαμβάνουν μέσα στο χώρο επειδή το ποσοστό που καλύπτουν εκτός του τετραγώνου δεν μας ενδιαφέρει παρά μόνο σαν απώλεια. Για να μπορέσουμε να το υπολογίσουμε πρέπει να υπολογίσουμε της κάθε κεραίας ξεχωριστά και να προσθέσουμε τα δύο εμβαδά και μετά αφού υπολογίσαμε την επικάλυψη να την αφαιρέσουμε μια φορά από το συνολικό εμβαδόν. Αν ο κύκλος μας είναι ολόκληρος μέσα στο χώρο (Σχήμα 4.11), δηλαδή πλήρης εκμετάλλευση εύρους, τότε η επικάλυψη ισούται με το εμβαδόν του κύκλου.

Αν όμως ο κύκλος εκτείνεται και εκτός τετραγώνου τότε η κάλυψη είναι μόνο το εμβαδόν που λαμβάνει ο κύκλος εντός του τετραγώνου μας. Για τον υπολογισμό της κάλυψης της κεραίας σε αυτή την περίπτωση χωρίζουμε το πρόβλημα σε τέσσερις πιθανές μορφές όπως φαίνονται στο Σχήμα 4.12.

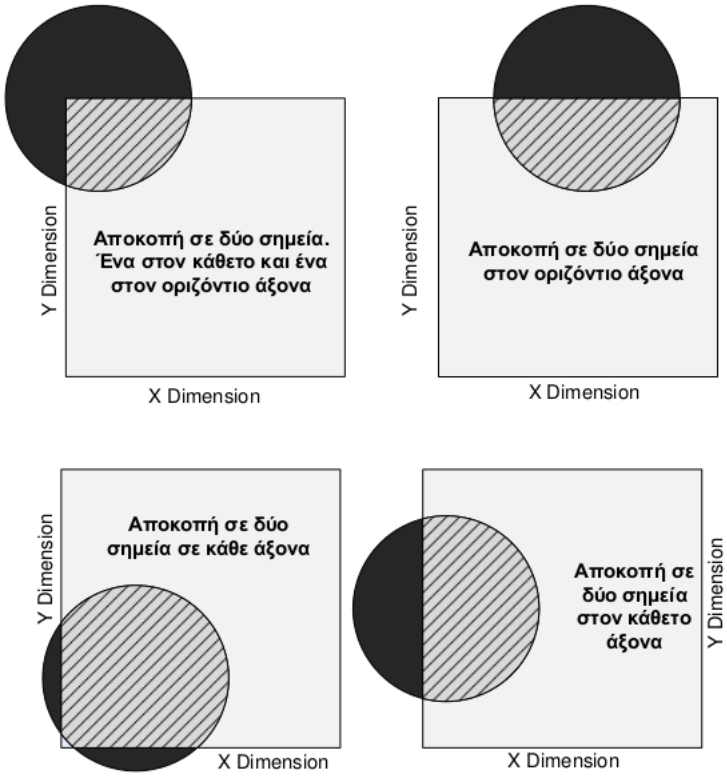
Εδώ ξεκινάμε πάλι με περίπλοκες γεωμετρικές και τριγωνομετρικές εξισώσεις τον υπολογισμό των γραμμοσκιασμένων περιοχών σε κάθε μία από τις 4 περιπτώσεις. Αλλά αυτή την ιδέα την εγκαταλείψαμε επειδή ήταν πολύ δύσκολη και πολύ περίπλοκη αφού οι κύκλοι δεν ήταν εύκολος τρόπος και ήταν και πολύ χρονοβόρος. Είχε χρήση ακριβών υπολογιστικά κομματιών αφού τα σημεία των κύκλων είναι ένα διάνυσμα και δεν υπάρχει το ακριβές σημείο τομής των κύκλων, είτε μεταξύ τους είτε με το τετράγωνο και για να υπολογιστεί έπρεπε να γίνεται εκτενή αναδρομή σε όλα τα σημεία των δύο κύκλων και σύγκριση τους μέχρι και το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο τους. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι και η δυαδική ακολουθία που απεικόνιζε τα άτομα ήταν διαφορετική από αυτή που αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου επειδή χρειαζόμασταν και δεκαδικά ψηφία για τη θέση των κεραιών μας άρα χρειαζόμασταν και περισσότερα bits για το κάθε άτομο. Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας η προσέγγιση των συντελεστών και των παραμέτρων καθώς και η απεικόνιση των κεραιών στο χώρο έγινε με διακριτοποίηση του χώρου σε πλαίσιο τετραγώνων (βλ.Σχήμα 4.3), καθώς και των περιοχών κάλυψης των κεραιών μας.



Σχήμα 4.11: Περίπτωση πλήρης εκμετάλλευση του εύρους κάλυψης της κεραίας μας. Επικάλυψη = εμβαδόν κύκλου.

4.3.2 Υπολογισμός με Πλαίσιο Τετραγώνων

Μετά από μελέτη μιας μοντελοποίησης που έγινε για δίκτυα αισθητήρων (Sensor Networks) αποφασίσαμε ότι μπορούσαμε να υπολογίσουμε ότι μας ενδιαφέρει με πιο εύκολο τρόπο και πιο γρήγορο. Για να το πετύχουμε αυτό πρέπει να γίνει μια αντιστοίχιση των δεδομένων μας ως προς το πλαίσιο στο οποίο θα δουλεύουμε. Το πλαίσιο μας θα είναι όπως αναφέραμε σε προηγούμενη αναφορά ένα τετράγωνο διαιρεμένο σε 64x64 κουτάκια (Σχήμα 4.3). Έτσι σε κάθε εφαρμογή πρέπει να γίνει μια αντιστοίχιση των δεδομένων μας σε κουτάκια. Έτσι μπορούμε κάθε πρόβλημα μας να το ανάγουμε στο μέγεθος του πλαισίου μας. Με αυτό τον τρόπο εκμεταλλευόμαστε κάποιες ιδιότητες του πλαισίου μας για τον προσδιορισμό και την καταγραφή των αντενών μας στο χώρο. Έτσι, για αρχή ο πίνακας που αντιπροσωπεύει το πλαίσιο μας, είναι αρχικοποιημένος με μηδέν σε όλες του τις θέσεις(δηλαδή όλα τα κουτάκια λευκά. Σχήμα 4.3) και στη συνέχεια σε κάθε σημείο στο οποίο τοποθετείται αντένα παίρνει τιμή και με ευκλείδεια απόσταση από το κέντρο σε σχέση με το εύρος της κεραίας όλα τα κουτάκια παίρνουν τιμή προσθέτοντας ένα στην προηγούμενη κατάσταση τους. Με αυτό τον τρόπο σε κάθε σημείο που καλύπτει η κεραία ο πίνακας έχει τιμή ένα στη συγκεκριμένη θέση και το κουτάκι μαύρο χρώμα. Και στα σημεία της επικάλυψης των κεραιών ο πίνακας έχει τιμή 2 και το κουτάκι κόκκινο χρώμα. Στο Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα τοποθέτησης των κεραίων.



Σχήμα 4.12: Περιπτώσεις στις οποίες το εύρος της κεραίας είναι μειωμένο επειδή καλύπτει και περιοχές εκτός του χώρου.

Μέθοδος Grid_for_Tag_Flow

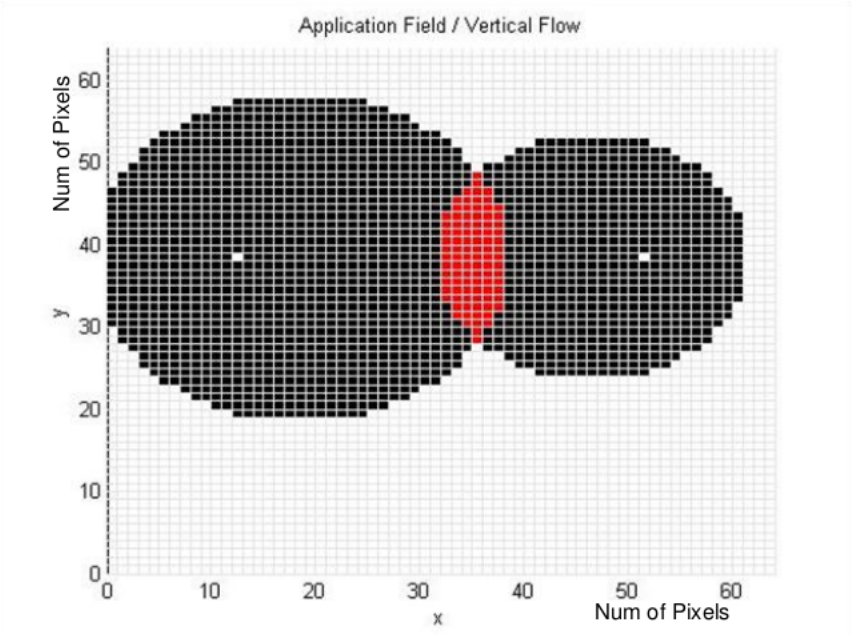
Για την εφαρμογή όλων των παραπάνω και για τον υπολογισμό όσων χρειάζεται η συνάρτηση καταλληλότητας υλοποιήσαμε τη συνάρτηση Grid_for_Tag_Flow η οποία ανάλογα με τις εισόδους τους επιστρέφει τα κατάλληλα αποτελέσματα. Χωρίζεται σε δύο περιπτώσεις ανάλογα με την τιμή που έχει η μεταβλητή εισόδου της flow. Και οι δύο αυτές περιπτώσεις έχουν ακριβώς τις ίδιες μεθόδους μεταξύ τους με μοναδικές διαφορές ότι στην πρώτη, οι ετικέτες κινούνται κάθετα στο χώρο και οι κεραίες τοποθετούνται με οριζόντια εκπομπή και στη δεύτερη τα αντίθετα, δηλαδή οι ετικέτες κινούνται οριζόντια στο χώρο και οι κεραίες εκπέμπουν κάθετα. Αυτό θα το καταλάβουμε αν προσέξουμε το Σχήμα 4.14 το οποίο δείχνει τις διαφορές στις δύο συναρτήσεις.

Στη συνέχεια θα εξηγήσουμε πως γίνεται ανάκτηση δεδομένων τα οποία χρειάζονται για τον υπολογισμό της συνάρτησης καταλληλότητας. Η συνάρτηση Grid_for_Tag_Flow καλείται από την main με εισόδους τις διαστάσεις του χώρου, ένα άτομο, τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων του ατόμου και με μία μεταβλητή που ελέγχει αν θα τυπωθεί γραφικά μια λύση ή όχι.

Grid_for_Tag_Flow (grid_x, grid_y, grid_size, population_dec, b, bits_per_reader, print, flow)

Εμβαδόν χώρου και κουτιού	Αντένα Far-Field	Αντένα 1	Αντένα 2
Field: 655.36m2 (πλευρά 25.6m)	Max coverage 10m	Energy = '11' => 10m	Energy = '10' => 7m
Box: 0.16m2 (site 0.4m)	Maximum 25 boxes	x = 13 , y = 39	x = 52 , y = 39

Πίνακας 4.2: Παράδειγμα τοποθέτησης κεραίων

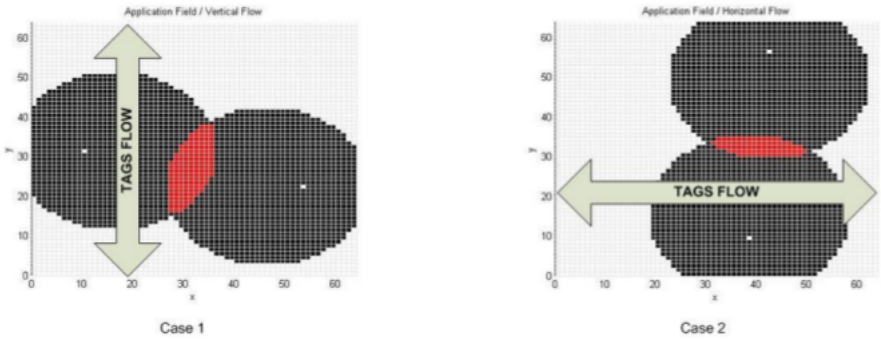


Σχήμα 4.13: Τοποθέτηση των δύο κεραιών στο χώρο. Μαύρο είναι η κάλυψη του χώρου και κόκκινο η επικάλυψη.

Εδώ πρέπει να διευκρινίσουμε ότι το άτομο το οποίο στέλνεται στις δύο αυτές συναρτήσεις δεν είναι σε δυαδική αλλά σε δεκαδική μορφή και ένα άτομο αποτελείται από ένα πίνακα 2x3 που έχει τη μορφή αυτή επειδή στη πρώτη στήλη είναι η ενέργεια της αντένας, στη δεύτερη στήλη η θέση της στον άξονα x και στην τρίτη στήλη η θέση της στον άξονα y και όλες οι τιμές σε δεκαδική μετατροπή της αντίστοιχης δυαδικής τους τιμής, ενώ στη πρώτη γραμμή συναντούμε την πρώτη αντένα και στη δεύτερη γραμμή τη δεύτερη αντένα. Σε περιπτώσεις που το άτομο αντιπροσωπεύει περισσότερες από δύο κεραίες στο χώρο τότε το άτομο στο δεκαδικό πίνακα χρειάζεται:

num_of_antennas γραμμές x 3 στήλες

και ο συνολικός πίνακας:



Σχήμα 4.14: Παρατηρούμε τις δύο περιπτώσεις και τις διαφορές τους

num_of_antennas *population_size γραμμές x 3 στήλες

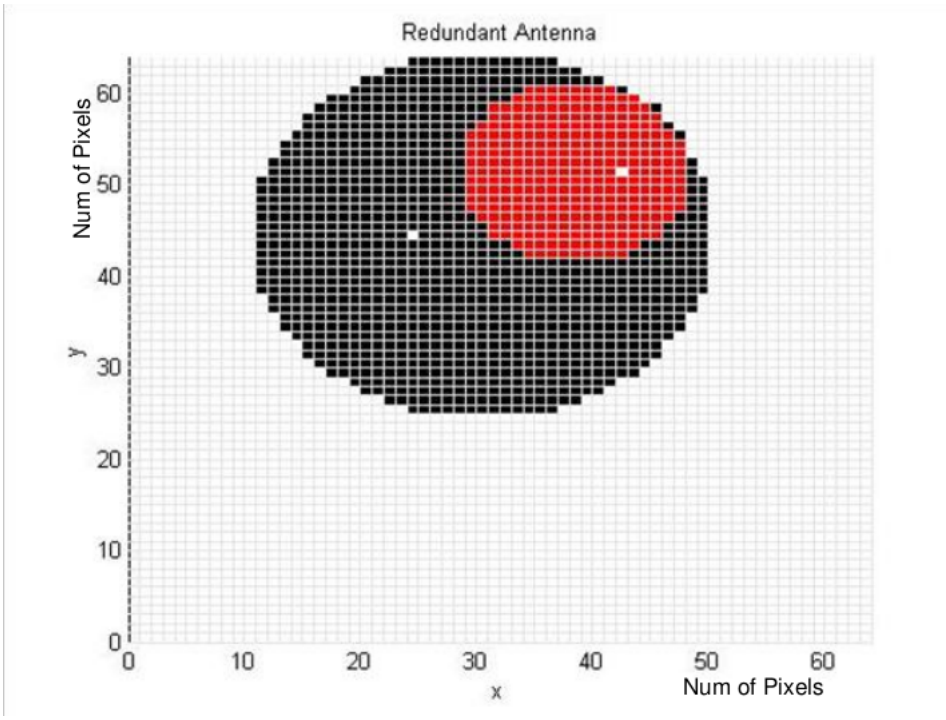
Στη συνέχεια υπολογίζεται από το άτομο το οποίο στέλνεται η θέση του στο χώρο, η ενέργεια του και οριοθετείτε το μέγεθος του εύρους του, βάση της ενέργεια του. Η πρώτη σημαντική δουλειά της συνάρτησης είναι ο υπολογισμός των πλεονάζων κεραιών. Κάνει έλεγχο με βάση τη θέση και την ενέργεια των δύο κεραιών αν υπάρχει κάποια πλεονάζουσα τότε η έξοδος της συνάρτησης Redundant παίρνει σαν τιμή τον αριθμό των πλεονάζων κεραιών. Μια κεραία θεωρείται πλεονάζουσα όταν το εύρος κάλυψης της καλύπτεται ήδη από άλλη κεραία. Με αυτό καταλαβαίνουμε ότι μια κεραία η οποία είναι πλεονάζουσα δεν χρειάζεται σε καμιά εφαρμογή RFID επειδή είναι περιττή και δεν προσφέρει καμία περεταίρω κάλυψη στο χώρο μας από αυτή που προσφέρουν οι υπόλοιπες κεραίες. Στο Σχήμα 4.15 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα περιττής κεραίας (Redundant Antenna).

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον αριθμό των ανώφελων κεραιών (useless Antennas) και η έξοδος της συνάρτησης useless παίρνει τιμή ανάλογα με το πόσες οι ανώφελες κεραίες. Μια κεραία θεωρείται ανώφελη αν είναι τοποθετημένη σε σημείο το οποίο της δίνει περιορισμένη κάλυψη στο χώρο ως προς τη ροή και κατεύθυνση των ετικετών, αν τοποθετηθεί εκτός πλαισίου παρόλο που το εύρος της καλύπτει μέρος του πλαισίου καθώς και αν είναι τοποθετημένη σε μη-έγκυρη περιοχή.

Στο Σχήμα 4.16 φαίνεται ένα παραδείγματα ανωφελών κεραιών (Useless Antennas). Η πρώτη είναι τοποθετημένη σε σημείο όπου έχει απώλειες ως προς τη κάθετη ροή. Έπρεπε να ήταν τοποθετημένη πιο δεξιά μέσα στο πλαίσιο μας και η 2η κεραία είναι τοποθετημένη σε μη-έγκυρη περιοχή κάλυψη. Το τετράγωνο με το μαύρο περίγραμμα είναι ο χώρος της μη-έγκυρης περιοχής.

Στο Σχήμα 4.17 βλέπουμε ότι η πρώτη κεραία βρίσκεται τοποθετημένη εκτός του χώρου εφαρμογής.

Οι δύο πρώτοι αυτοί χώροι μελέτης της συνάρτησης μας αποτελούν και τις δύο από τις τέσσερεις παραμέτρους της συνάρτησης καταλληλότητας. Στη συνέχεια η συνάρτηση δίνει τιμές στο πλαίσιο ανάλογα με τη κάλυψη των κεραιών βάση της διαδικασίας που αναφέραμε στο προηγούμενο μέρος του κεφαλαίου και χρωματίζει τα κουτάκια με σκοπό να έχουμε τη γραφική λύση



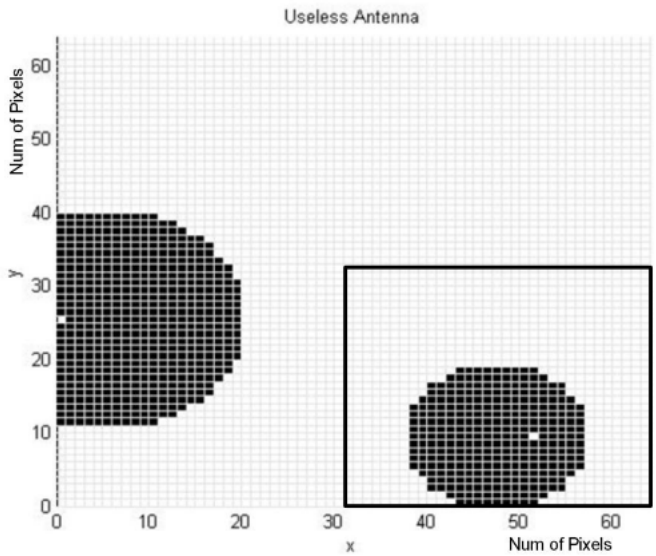
Σχήμα 4.15: Παρατηρώντας το σχήμα βλέπουμε ότι η δεύτερη κεραία καλύπτει μόνο ήδη καλυπτόμενο χώρο

που θέλουμε. Ο τρόπος με τον οποίο "ζωγραφίζεται" η κεραία στο πλαίσιο έχει να κάνει με την ευκλείδεια απόσταση από το σημείο της κεραίας. Είναι μια τροποποίηση της μεθόδου Manhattan Distance που ξεκινά από το σημείο της κεραίας και προσθέτει ένα στα κουτάκια που απέχουν λιγότερο από, ή μέχρι, ένα επιτρεπτό όριο ανάλογα με την ενέργεια της κάθε κεραίας. Για ευκολία θεωρούμε τη θέση της κεραίας το κέντρο του κύκλου αρχικά και έτσι εύκολα τιμολογούμε τα κουτάκια που ανήκουν στο εύρος κάλυψης της κεραίας. Αυτό συμβαίνει και σε περίπτωση που έχουμε περισσότερες από δύο κεραίες δηλαδή κάνουμε αντίστοιχη διαδικασία για όλες τις κεραίες της εφαρμογής. Στη συνέχεια όμως μεταφέρουμε τη κεραία από το κέντρο του κύκλου και την τοποθετούμε αριστερά ή δεξιά ή πάνω ή κάτω του κέντρου του κύκλου προσεγγίζοντας το λοβό κάλυψης της κεραίας μας (Σχήμα 4.18).

Ο τρόπος με τον οποίο διαλέγουμε που θα τοποθετηθεί η κεραία σε σχέση με τον κέντρο του κύκλου γίνεται με βάση της θέσης της κεραίας στο χώρο. Δηλαδή αν η κεραία τοποθετηθεί πάνω/κάτω ή δεξιά/αριστερά από το κέντρο εξαρτάται σε ποια από τις πιο περιοχές ανήκει σύμφωνα με το Σχήμα 4.19.

Η τελική θέση της κάθε κεραίας αρχικοποιείται με τιμή στο πλαίσιο μεγαλύτερη του αριθμού των κεραιών ούτως ώστε να έχει τιμή στο πλαίσιο που δεν μπορεί να έχει άλλο κουτάκι παρά μόνο κουτάκια με τις θέσεις των υπολοίπων κεραιών.

Αφού τώρα το πλαίσιο έχει τιμές ξέρουμε ότι όπου υπάρχει κάλυψη έχει τιμή ένα και όπου



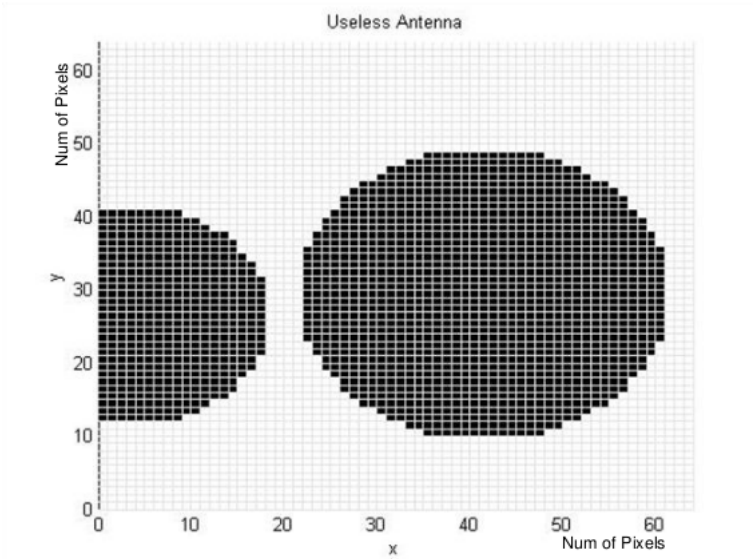
Σχήμα 4.16: Πρώτο παράδειγμα ανωφελών κεραιών

υπάρχει επικάλυψη έχει τιμή δύο. Και ανάλογα με τις κεραίες που αλληλεπικαλύπτονται έχουμε την αντίστοιχη τιμή στα κατάλληλα κουτιά. Δηλαδή αν σε μια εφαρμογή με τέσσερις κεραίες υπάρχει μια περιοχή στην οποία αλληλεπικαλύπτονται και οι τέσσερις κεραίες τότε τα κουτάκια που αντιστοιχούν στη περιοχή αυτή θα έχουν την τιμή 4. Την καταμέτρηση πολλαπλών κεραιών σαν αποτέλεσμα δεν το χρησιμοποιούμε στην εφαρμογή μας, αλλά το κρατάμε επειδή είναι εύκολο να καταμετρηθεί και μπορεί να είναι χρήσιμο σε μια μελλοντική δουλειά. Αυτό που μας ενδιαφέρει εμάς είναι ο χώρος κάλυψης και το ποσοστό επικάλυψης των δύο κεραιών (ή ζευγών από δύο κεραίες σε περίπτωση που έχουμε παραπάνω από δύο κεραίες).

Αφού το πλαίσιο μας έχει όλες τις τιμές που χρειαζόμαστε, τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε το χώρο κάλυψης και το ποσοστό επικάλυψης των κεραιών μας. Ο συνολικός χώρος κάλυψης είναι το άθροισμα όσο κουτιών έχουν τιμή ένα και η επικάλυψη όσων έχουν τιμή δύο. Αυτά είναι και οι έξοδοι τις οποίες χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό της επόμενης παραμέτρου που έχει να κάνει με το ποσοστό επικάλυψης.

Στη συνέχεια η συνάρτηση μας υπολογίζει και την παράμετρο completeness η οποία έχει να κάνει με την πληρότητα της κάλυψη ανάλογα με τη ροή των ετικετών. Εδώ καθοριστικό παράγοντα παίζει η τιμή της μεταβλητής flow που αντιστιχεί όπως είπαμε στη φορά ροής των ετικετών. Αν η μεταβλητή flow είναι ένα τότε πρόκειται για κάθετη ροή ετικετών και έτσι η Grid_for_Tag_Flow μετρά πόσες μηδενικές στήλες υπάρχουν στο χώρο μας και επιστρέφει τη διαφορά τους από το μέγεθος του πλαισίου στη μεταβλητή completeness και αντίστοιχα, αν η flow είναι δύο, μετρά τις μηδενικές γραμμές. Στο Σχήμα 4.20 φαίνεται ένα παράδειγμα για τον υπολογισμό της μεταβλητής completeness.

Ο λόγος που υπάρχει αυτή η παράμετρος, που είναι και η πιο σημαντική, είναι για να μην υπάρξουν κενά ή "νεκρά" σημεία ως προς τη κατεύθυνση των ετικετών. Αν για παράδειγμα η



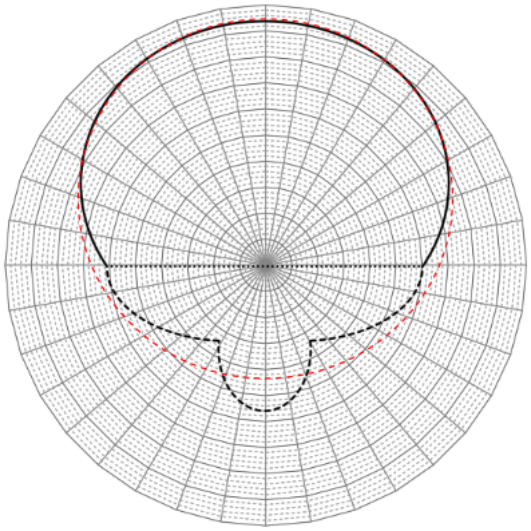
Σχήμα 4.17: Δεύτερο παράδειγμα ανωφελών κεραιών

τοπολογία των κεραιών ήταν σαν του Σχήματος 4.18 τότε μια ετικέτα με κάθετη κατεύθυνση αν περνούσε από τη στήλη 62,63 ή 64 δεν θα ανιχνευόταν.

Μετά από αυτά στην main επιστρέφονται όλα όσα χρειάζεται για να υπολογίσει την τιμή καταλληλότητας του ατόμου και αφού γίνει αυτό με όλα τα άτομα του πληθυσμού είναι έτοιμη να υπολογίσει τη συνάρτηση καταλληλότητας και να συνεχίσει με την κλίση του γενετικού αλγορίθμου. Αλλά οι συναρτήσεις αυτές δεν επιστρέψουν μόνο αυτά, αλλά επιστρέφουν και ένα πίνακα που αντιστοιχεί στο πλαίσιο, αλλά για τιμές έχει τη πιθανότητα να διαβαστεί μία ετικέτα. Αυτό γίνεται με σκοπό να μπορέσει να απαντήσει το πρόγραμμα μας, αν μετά την ολοκλήρωση της τοπολογίας, σε μια ετικέτα που βρίσκεται σε ένα σημείο κάλυψης των κεραιών πια η πιθανότητα της να διαβαστεί. Για να γίνει η αντιστοίχιση των πιθανοτήτων στο χώρο κάλυψης πρέπει να χωρίσουμε το λοβό σε τρείς ζώνες πιθανοτήτων 90%, 70% και 10%. Τα κοντινά σημεία στο κέντρο της κεραίας έχουν πιθανότητα 90%, τα λίγο πιο απομακρυσμένα 70% και τα ακόμα πιο απομακρυσμένα 10%. Σε περίπτωση επικάλυψης οι πιθανότητες των δύο κεραιών προσθέτονται επειδή η ετικέτα μπορεί να διαβαστεί είτε από την μία, είτε από την άλλη κεραία. Ο, 64x64 μεγέθους, πίνακας επιστρέφεται στη main με το όνομα probabilityArray. Η εφαρμογή του probabilityArray γίνεται μόνο όταν έχουμε δύο κεραίες και πλαίσιο 64x64.

4.4 Συνάρτηση Καταλληλότητας – Fitness-Function

Στο πρόγραμμα μας έχουμε ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης και θέλουμε σε κάθε γενιά η συνάρτηση καταλληλότητας να "δυναμώνει" δηλαδή η τιμή της να μεγαλώνει. Όπως ήδη αναφέραμε η συνάρτηση καταλληλότητας μας εξαρτάται από τέσσερις παραμέτρους:



Σχήμα 4.18: Στο Σχήμα αυτή με μαύρο φαίνεται ο λοβός της κεραίας μας Και με κόκκινο δείχνουμε ότι μπορεί να προσεγγιστεί με κύκλο

- Useless Antennas (Ανωφελής κεραίες)
- Redundant Antennas (Πλεονάζουσες κεραίες)
- Overlapping (Επικάλυψη κεραιών)
- Completeness (Πληρότητα ως προς τη ροή και κατεύθυνση των ετικετών)

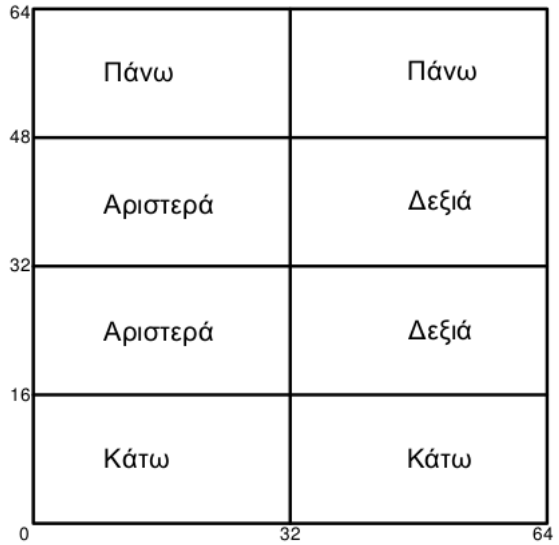
Για να υπολογίσουμε τις παραμέτρους πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που μας στέλνουν οι δύο συναρτήσεις που μελετήσαμε στο προηγούμενο μέρος. Κάθε επιστρεφόμενο αποτέλεσμα είναι χρήσιμο για τον υπολογισμό των παραμέτρων της Σ.Κ. και για να γίνει πιο κατανοητό θα παρουσιάσουμε πιο αναλυτικά τον τρόπο υπολογισμού τους.

Useless Antennas:

Number of Useless Antennas	$f1$
x	$f1 = \frac{1}{1+x^2}$

Από την εξίσωση υπολογισμού της παραμέτρου f1 που είναι υπεύθυνη για τις ανωφελής κεραίες καταλαβαίνουμε ότι όσο περισσότερες υπάρχουν τόσο πιο μικρή η τιμή του f1. Και στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τότε η f1 παίρνει τη μέγιστη τιμή της που είναι 1. Η παράμετρος αυτή έχει βάρος 10% στη συνολική συνάρτηση καταλληλότητας.

Redundant Antennas:



Σχήμα 4.19: Χωρίζουμε το χώρο μας σε υποπεριοχές και ανάλογα με το που βρίσκεται η κεραία μεταφέρουμε τη θέση της από το κέντρο του κύκλου στη κατεύθυνση που γράφει η περιοχή στη οποία βρίσκεται.

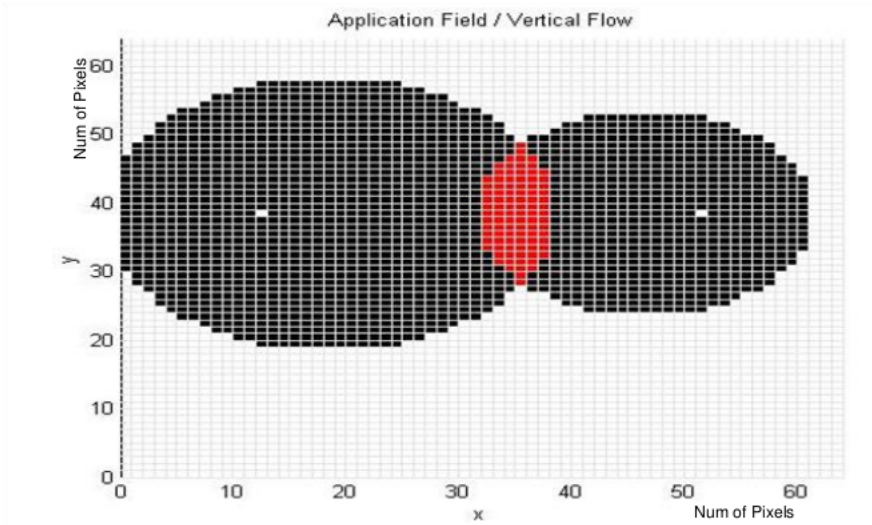
Number of Redundant Antennas	$f2$
y	$f2 = \frac{1}{1+y^2}$

Όπως και στη περίπτωση της παραμέτρου f1, έτσι υπολογίζουμε και την παράμετρο f2 που είναι υπεύθυνη για τις πλεονάζουσες κεραίες. Και στην περίπτωση αυτή όσο περισσότερες πλεονάζουσες κεραίες υπάρχουν τόσο πιο μικρή η τιμή της f2 και σε περίπτωση που δεν υπάρχουν τότε η f2 παίρνει τη μέγιστη τιμή της που είναι 1. Και αυτή η παράμετρος έχει βάρος 10% στη συνολική συνάρτηση καταλληλότητας.

Overlapping:

Coverage Area	Overlapping between two Antennas
Coverage	Overlapping
$criterion = \frac{overlapping}{coverage*5\%}$	$f3 = \frac{1}{(1+(1-criterion)^2)}$

Σε αυτή τη παράμετρο τα πράγματα είναι λίγο διαφορετικά από τις προηγούμενες επειδή το ποσό επικάλυψης από μόνο του δεν μπορεί να αποτελέσει κριτήριο και ούτε όσο πιο μεγάλο το ποσό τόσο το καλύτερο. Εδώ χρειαζόμαστε ποσοστό επικάλυψης σε σχέση με την συνολική κάλυψη των κεραιών. Το ιδανικό ποσοστό επικάλυψης το ορίζουμε στο 10% της συνολικής κάλυψης ανά δύο κεραίες και έτσι όποιο μεγαλύτερο ή μικρότερο ποσοστό τότε η f3 παίρνει μικρότερη τιμή. Τη μέγιστη της τιμή η f3 την παίρνει σε περίπτωση που το ποσοστό επικάλυψης είναι 10%. Σε



Σχήμα 4.20: Σε αυτή τη περίπτωση οι μηδενικές στήλες είναι 3 άρα η μεταβλητή completeness παίρνει τη τιμή 64-3 δηλαδή completeness=61.

περίπτωση μηδενικής κάλυψης τότε το criterion παίρνει την τιμή 0 για να πάρει η f3 μικρή τιμή. Η παράμετρος της επικάλυψης είναι πιο σημαντική από τις δύο προηγούμενες παραμέτρους και για αυτό το λόγο έχει βάρος 40% στη συνολική συνάρτηση καταλληλότητας. Το ποσοστό επικάλυψης όπως αναφέραμε είναι μεταβλητό και το δίνει ο χρήστης στην αρχή του προγράμματος.

Completeness:

Completeness	$f4$ cases
$Completeness = 64$	$f4 = 1$
$64 > Completeness \geq 60$	$f4 = 0.6$
$60 > Completeness \geq 40$	$f4 = 0.4$
$40 > Completeness \geq 10$	$f4 = 0.2$
$Completeness < 10$	$f4 = 0.1$

Τέταρτη και τελευταία παράμετρος είναι η πληρότητα. Αυτή η παράμετρος δεν υπολογίζεται με μαθηματική εξίσωση αλλά με απευθείας ανάθεση τιμής στην f4 ανάλογα με την τιμή της completeness. Παρατηρούμε ότι αν η completeness πάρει τιμή 64, που είναι και το ιδανικό αλλά και το ζητούμενο, τότε η f4 παίρνει τη μέγιστη της τιμή. Και όσο μικρότερη τιμή πάρει η completeness τόσο μικρότερη τιμή παίρνει και η f4. Αυτή η παράμετρος είναι και η πολύ σημαντική και για αυτό το λόγο έχει βάρος 40% στη συνολική συνάρτησης καταλληλότητας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να ξανά αναφέρουμε ότι η διαδικασία αυτή γίνεται σε ένα-ένα άτομο της γενιάς και όταν γίνει σε όλα τότε καλείται ο γενετικός αλγόριθμος ο οποίος υπολογίζει τη επόμενη γενιά.

Η τιμή καταλληλότητας του κάθε ατόμου τώρα παίρνει την τιμή της με το πιο κάτω τύπο:

$$FV = f1 * w1 + f2 * w2 + f3 * w3 + f4 * w4,$$

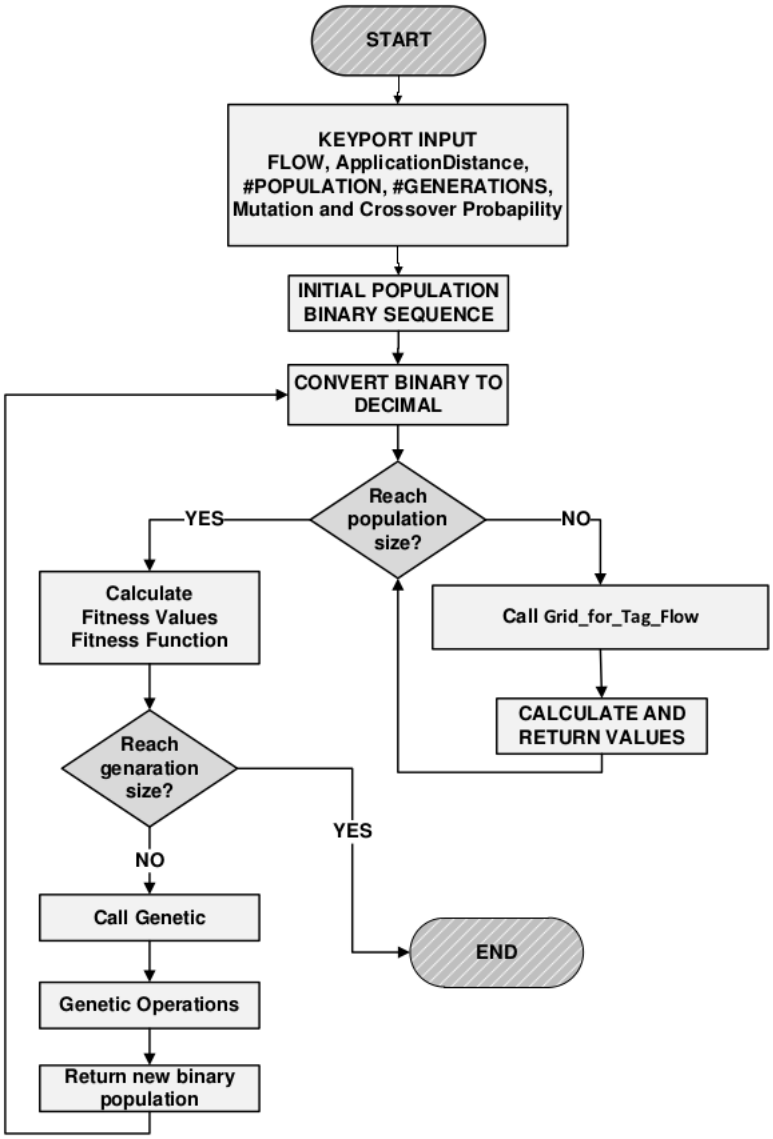
όπου $w1 = w2 = 0.1$ και $w3 = w4 = 0.4$ ή εναλλακτικά $w1 = w2 = 0.1$, $w3 = 0.3$ και $w4 = 0.4$

και η συνάρτηση καταλληλότητας παίρνει τη τιμή:

$$FF = \sum_{i=1}^{num_of_individuals} FV(i)$$

Ο τρόπος με τον οποίο επιλεχτήκαν τα συγκεκριμένα βάρη για τις παραμέτρους ήταν πειραματικός και επιλέχθηκε μετά από πολλούς συνδυασμούς. Αναμενόμενο φυσικά ήταν το γεγονός ότι η πρώτη και η δεύτερη παράμετρος θα είχαν μικρό ποσοστό επειδή μία καλή λύση με το κατάλληλο Completeness και Overlapping δεν μπορεί να έχει πλεονάζουσες ή ανωφελές κεραίες. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται είναι για ταχύτερη σύγκλιση του αποτελέσματος. Κατά συνέπεια η τρίτη και τέταρτη παράμετρος πρέπει να έχουν μεγαλύτερο ποσοστό από τις δύο πρώτες. Έτσι μετά από πολλούς πειραματισμούς καταλήξαμε στα βάρη τα οποία αναφέρουμε πιο πάνω.

Τέλος, συνοψίζοντας τα πιο πάνω, στο Σχήμα 4.21 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής για το συνολικό πρόγραμμα μας.



Σχήμα 4.21: Διάγραμμα ροής προγράμματος

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα και Συγκρίσεις

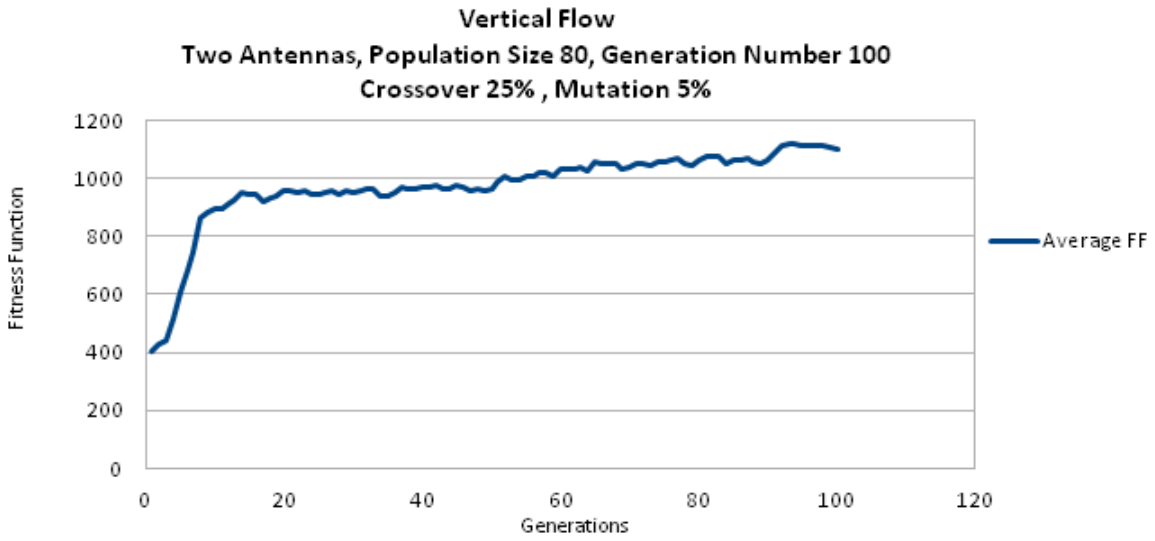
5.1 Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διάφορες προσομειώσεις που έγιναν στον αλγόριθμο μας καθώς και του συνολικούς χρόνους εκτέλεσεις που χρειάζεται ο αλγόριθμος για να καταλήξει σε μία "καλή" λύση. Ο αλγόριθμος καθώς και όλες οι συναρτήσεις που χρησιμοποιεί γράφτηκαν σε εργαλείο MATLAB και τα αποτελέσματα και οι χρόνοι, που θα περιγράψουμε στη συνέχεια, αφορούν εκτελέσεις σε αυτό το εργαλείο. Αρχικά η προσομείωση έγινε με δύο κεραίες στο χώρο. Δηλαδή κάθε άτομο αποτελούνταν από 28bits και οι γενετικές λειτουργίες, διασταύρωση και μετάλλαξη, είχαν 25% και 5% πιθανότητα να συμβούν αντίστοιχα. Ο αλγόριθμος μας παρουσιάζει βελτίωση όταν η συνάρτηση καταλληλότητας αυξάνεται γεγονός το οποίο θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια. Επειδή, όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο αλγόριθμος μας είναι παραμετροποιημένος ως προς τα μέτρα του χώρου της εφαρμογής και κατά συνέπεια ως προς τον αριθμό των κεραιών, το μέγεθος του πληθυσμού και την φορά ροής των ετικετών έτσι έγιναν προσομειώσεις και για περισότερες κεραίες αλλά και για διάφορα μεγέθη πληθυσμού ως προς τις δύο φορές ροής των ετικετών.

5.1.1 Προσομείωση δύο κεραιών

Αρχικά έγινε προσομείωση δύο κεραιών με συνθήκες κάθετης ροής ετικετών και αρχικοποιήσεις πληθυσμού τα 80 άτομα και αριθμό γενιών 100. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 5.1 στο οποίο βλέπουμε ότι η συνάρτηση καταλληλότητας (ΣΚ) αυξάνεται σημαντικά στις πρώτες γενιές και η τιμή της από 400 που είναι στην πρώτη γενιά, η οποία είναι η τυχαία γενιά, παρατηρούμε ότι σχεδόν τριπλασιάζεται κοντά στην εκατοστή γενιά. Παρατηρούμε επίσης ότι έχουμε σημαντική αύξηση, περίπου εκθετική, της τιμής της ΣΚ στις πρώτες δέκα περίπου γενιές και στις υπόλοιπες γενιές παρατηρούμε μια πιο γραμμική αύξηση της τιμής της. Ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης με τα πιο πάνω δεδομένα είναι 22.4 δευτερόλεπτα.

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η τελική τοποθέτηση των κεραιών στο χώρο με την ίδια προ-



Σχήμα 5.1: Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας ως προς των αριθμό των γενιών. Παρατηρούμε ότι η τιμή της ΣΚ αυξάνεται από γενιά σε γενιά

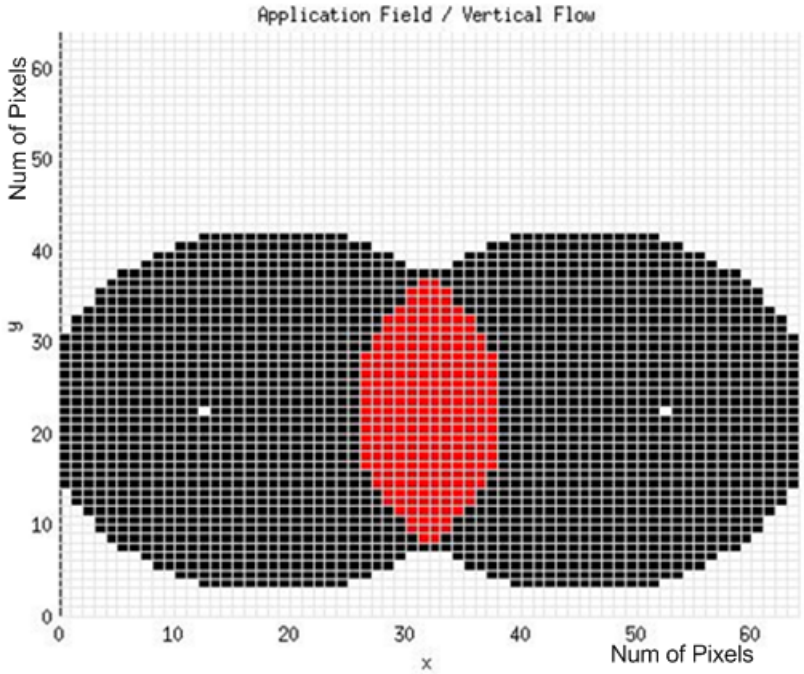
σομείωση.

Σε κάποιες γενιές στο Σχήμα 5.1 παρατηρούμε μικρή μείωση στην τιμή της ΣΚ από τις προηγούμενες γενιές και αυτό ωφείλεται στις γενετικές λειτουργίες και στην "ρουλέτα" με την οποία επιλέγονται οι γονείς που θα αναπαραχθούν. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι οι γενετικές λειτουργίες του αλγόριθμου μας, και περισσότερο η μετάλλαξη, είναι αυτές που οδηγούν τον αλγόριθμο μας στην εύρεση ολικού ακρότατου καθώς και να αποφύγει να "κολλήσει" σε τοπικό ακρότατο.

Στη συνέχεια έγινε προσομοίωση με τα ίδια δεδομένα για οριζόντια ροή ετικετών και παρουσιάζουμε πάλι τα δύο σχήματα τα οποία αφορούν την συνάρτηση καταλληλότητας και την τελική τοποθέτηση των κεραιών στον χώρο μας. Αρχικά στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τις δεύτερης προσομοίωσης.

Παρατηρούμε ότι η τιμή της ΣΚ αυξάνεται από γενιά σε γενιά αλλά με πιο αργό ρυθμό από το παράδειγμα τις οριζόντιας ροής και αυτό ωφείλεται στην τυχαιότητα και στις γενετικές λειτουργίες. Επειδή κάθε φορά που καλείται ο αλγόριθμος να μας δώσει μια λύση σε ένα πρόβλημα τότε ξεκινά με κάτι τυχαίο και καταλήγει σε ένα αποτέλεσμα. Από αυτό καταλαμβαίνουμε ότι δεν μπορούμε να έχουμε πάντα το ίδιο αποτέλεσμα. Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται η γραφική λύση με την τελική τοποθέτηση των κεραιών για την δεύτερη προσομοίωση.

Και σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος που χρειάστηκε να εκτελεστεί ο αλγόριθμος μας για να μας δώσει το αποτέλεσμα μετά το πέρας των γενιών που του ζητήσαμε (100 γενιές) ήταν 22.18 δευτερόλεπτα. Αναμενόμενος χρόνος αφού και στις δύο περιπτώσεις τα δεδομένα, και το μέγεθος τις δυαδικής ακολουθίας, είναι η ίδια.

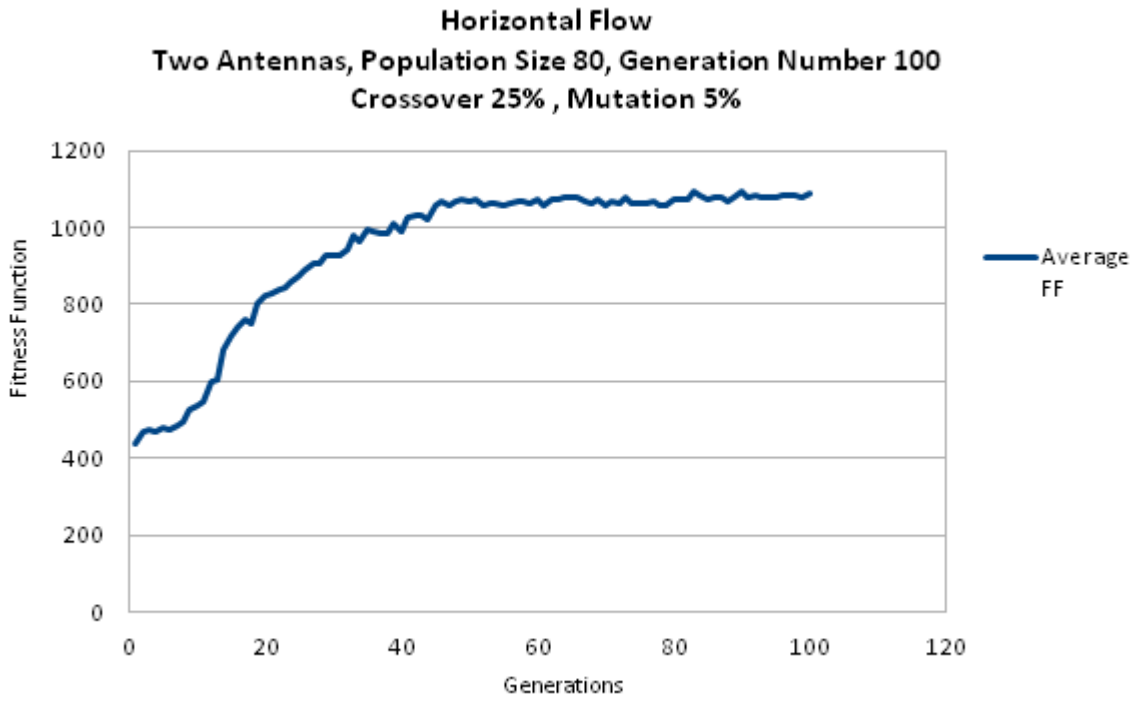


Σχήμα 5.2: Τοποθέτηση Κεραιών μετά το πέρας των 100 γενιών με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα. Αναφέρεται στο πρώτο παράδειγμα και στο σχήμα 5.1

Για να παρατηρήσουμε καλύτερα τη διαφορά που μπορεί να υπάρχει στους χρόνους εκτέλεσης με διαφορετικά δεδομένα εισόδου κάναμε και μία τρίτη προσομείωση αυτή τη φορά με διαφορετικές αρχικές τιμές. Έχουμε 60 άτομα πληθυσμό και συνολική διάρκεια εκτέλεσης του Γενετικού Αλγόριθμου 60 φορές. Τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.5. Παρατηρούμε ότι υπάρχει σημαντική αύξηση της τιμής της ΣΚ από την πρώτη γενιά μέχρι την εξικοστή γενιά, αλλά παρατηρούμε ότι για πολλές γενιές η τιμή της ΣΚ ήταν σταθερή και κυμενόταν κοντά στο 950. Γεγονός που αν δεν είχαμε τις γενετικές λειτουργίες θα μας οδηγούσε σε τοπικό ακρότατο και όχι σε ολικό.

Και το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει από την εκτέλεση 60 γενιών ως προς το που μπορούν να τοποθετηθούν οι δύο κεραίες φαίνεται στο Σχήμα 5.6.

Παρατηρούμε ότι με το πέρας των 60 γενιών ο αλγόριθμος μας πρόλαβε να συγκλίνει προς μια καλή λύση και ο χρόνος που χρειάστηκε για να εκτελεστεί ήταν 10.3 δευτερόλεπτα. Το να παίρνουμε καλές λύσεις είναι γεγονός που δεν συμβαίνει πάντα όταν έχουμε μικρό αριθμό γενιών και αυτό το καταλαβαίνει κανείς αν παρατηρήσει κανείς το Σχήμα 5.4 θα προσέξει ότι αν είχαμε λιγότερες από 50 γενιές τότε η τιμή της ΣΚ θα ήταν μικρότερη από 1000 γεγονός που μας δείχνει ότι θα είχαμε ένα κακό αποτέλεσμα. Ένα παράδειγμα κακού αποτελέσματος είναι αυτό που παρουσιάζεται στο Σχήμα5.7.



Σχήμα 5.3: Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας ως προς των αριθμό των γενιών

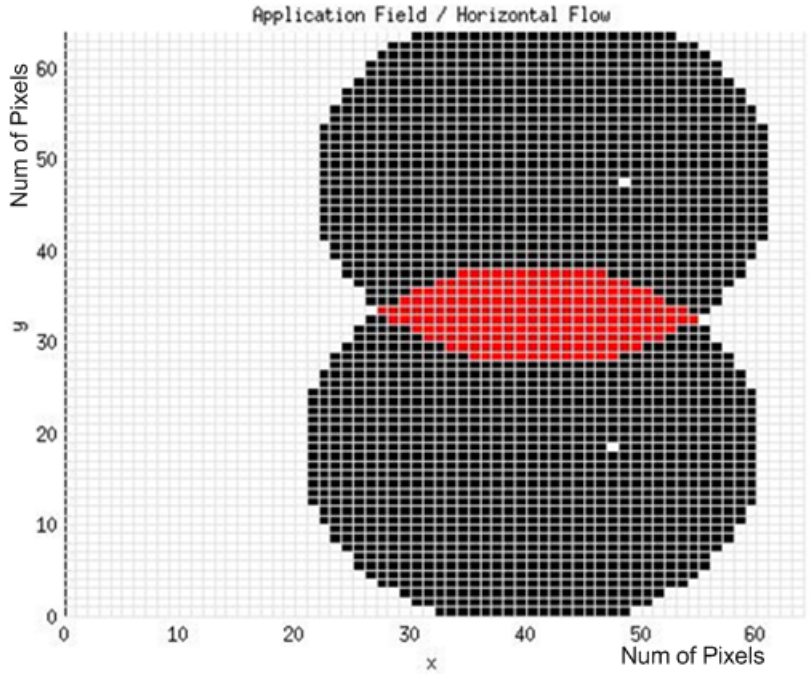
Παρατηρούμε ότι χρειάζονταν επιπλέον γενιές για να καταφέρει να ξεκωλήσει η λύση μας από το τοπικό ακρότατο. Η γραφική αναπαράσταση της λύσης αυτής φαίνεται στο Σχήμα 5.8.

5.1.2 Προσομείωση για τρεις και τέσσερις κεραίες

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο αλγόριθμος μας είναι παραμετρικοποιημένος ως προς τον αριθμό των κεραιών που μπορεί να τοποθετηθούν στο πλέγμα μας. Ο χρήστης μπορεί να διαλέξει, ανάλογα με την εφαρμογή και το χώρο τον οποίο θέλει να καλύψει, πόσες κεραίες θέλει να χρησιμοποιήσει. Σε αυτό το σημείο θα παρουσιάσουμε κάποια από τα αποτελέσματα που παίρνουμε σε προσομείωση τριών και τεσσάρων κεραιών, καθώς και κάποιες εικόνες με την τελική τοποθέτηση περισσότερων από τέσσερις κεραίες.

Προσομείωση τριών κεραιών με αρχικοποιήσεις πληθυσμού 80 άτομα, αριθμό γενιών 100 και οριζόντια ροή ετικετών. Ο συνολικός χρόνος που χρειάστηκε για να υπολογιστεί μετά από 100 γενιές η τοπολογία των κεραιών ήταν 27.72 δευτερόλεπτα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 5.9.

Και στην περίπτωση των τριών κεραιών και πάλι παρατηρούμε ότι η τιμή της ΣΚ συμπεριφέρεται όπως και στις δύο κεραίες. Δηλαδή έχει αυξητική τάση από γενιά σε γενιά, γεγονός που

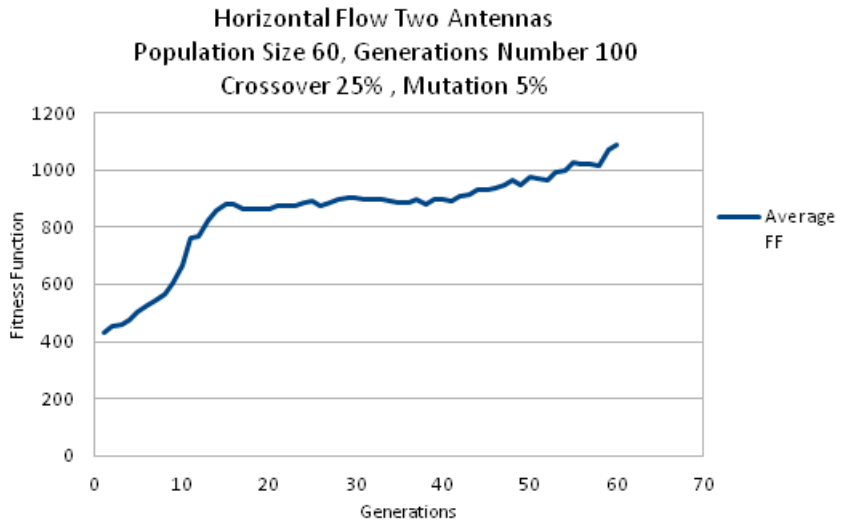


Σχήμα 5.4: Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 100 γενιών με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα. Αναφέρεται στο δεύτερο παράδειγμα και στο σχήμα 5.3

μας δείχνει ότι κάθε νέα γενιά είναι καλύτερη από τους προγόνους της. Και πάλι σε κάποιες περιπτώσεις η τιμή της ΣΚ μειώνεται στους απογόνους αλλά αυτό συμβαίνει όπως προαναφέραμε στις γενετικές λειτουργίες και στην τυχαιότητα που έχει ο Γενετικός Αλγόριθμος. Η γραφική λύση του αποτελέσματος αυτής της προσομοίωσης φαίνεται στο Σχήμα 5.10.

Σε αυτή την περίπτωση βλέπουμε ότι έχουμε πλήρης κάλυψη του χώρου ως προς οριζόντια φορά ροής ετικετών. Όμως παρατηρούμε ότι οι δύο κεραίες είναι μικρότερης ενέργειας από την Τρίτη γεγονός που μας δείχνει ότι είτε δεν χρειάζονται τρεις κεραίες για να καλύψουμε το χώρο μας, είτε ότι μπορούμε να καλύψουμε μεγαλύτερο χώρο. Συμπεραίνουμε όμως ότι με τον αλγόριθμο μας καταλήγουμε και πάλι σε "καλή" λύση.

Στο επόμενο παράδειγμα θα χρησιμοποιήσουμε τέσσερις κεραίες για να καλύψουμε το χώρο μας ως προς οριζόντια ροή ετικετών με πληθυσμό 200 ατόμων και αριθμό γενιών 150. Σε αυτή την περίπτωση όμως ο χώρος μας δεν θεωρείται ο ίδιος με τα προηγούμενα παραδείγματα αλλά μεγαλύτερος. Δηλαδή κάθε κουτάκι του πλαισίου αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη επιφάνεια και επομένως το πλαίσιο αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο χώρο εφαρμογής. Στα προηγούμενα παραδείγματα όπως αναφέραμε στο 4ο κεφάλαιο όταν θέλουμε να χωρίσουμε ένα χώρο 20x20 μέτρα στα 64 κουτάκια της κάθε πλευράς του πλαισίου, τότε κάθε κουτάκι έχει πλευρά 0.3125 μέτρα. Εμείς τώρα με 4 κεραίες μπορούμε να καλύψουμε πλευρά μεγαλύτερη των 20 μέτρων και για αυτό



Σχήμα 5.5: Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας ως προς των αριθμό των γενιών

το λόγο αντιστοιχούμε το κάθε κουτάκι σε 0.59 μέτρα και έτσι η συνολική επιφάνεια που θα καλύψουμε μπορεί να είναι 38x38 μέτρα.

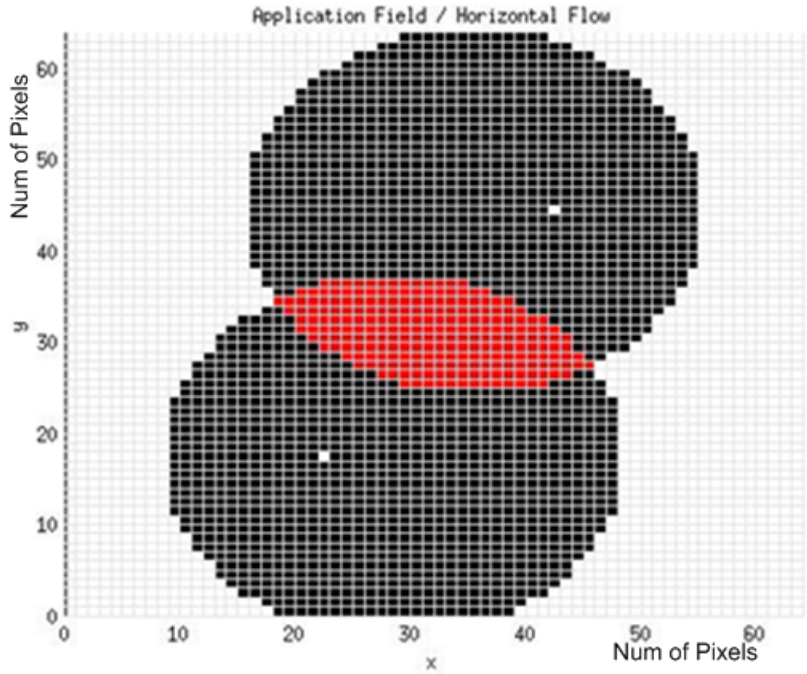
Στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζεται η βελτίωση που έχει η ΣΚ από γενιά σε γενιά και ο συνολικός χρόνος που χρειάστηκε ο αλγόριθμος μας για να καταλήξει σε αποτέλεσμα ήταν 121.18 δευτερόλεπτα. Στο παράδειγμα που ακολουθεί έχουμε 200 άτομα πληθυσμό και 150 γενιές σε οριζόντια φορά ροής ετικετών και η μεταβολή της ΣΚ φαίνεται στο Σχήμα 5.11.

Παρατηρώντας το Σχήμα 5.11 βλέπουμε ότι και σε αυτή την περίπτωση σημειώνεται αύξηση της ΣΚ από γενιά σε γενιά, αλλά για να πάρουμε "καλές" λύσεις πρέπει να αυξήσουμε τον αριθμό των γενιών καθώς και τον αρχικό πληθυσμό με τον οποίο πρέπει να αρχικοποιήσουμε το πρόβλημα μας. Οι τιμές που παίρνει τώρα η ΣΚ είναι μικρότερες από τα προηγούμενα παραδείγματα και αυτό ωφείλεται στις αλλαγές που έχουμε όσο αφορά το χώρο και το μέγεθος που αντιστοιχούμε στα κουτιά του πλαισίου. Παρατηρούμε όμως ότι αυξάνοντας τον αριθμό του πληθυσμού, των κεραιών και των γενιών τότε αυξάνεται και ο χρόνος εκτέλεσεις του αλγορίθμου μας. Σε τέτοιου είδους προβλήματα όμως μας ενδιαφέρει η σωστή και συμφέρουσα λύση και όχι η ταχύτητα με την οποία θα πάρουμε τη λύση αυτή. Στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζεται η γραφική λύση της τοποθέτησης των κεραιών.

Παρατηρούμε και στο Σχήμα 5.12 ότι και σε αυτή τη περίπτωση έχουμε πλήρης κάλυψη χώρου ως προς την οριζόντια φορά ροής ετικετών.

5.1.3 Προσομοίωση τριών Κεραιών με μη έγκυρη περιοχή

Σε αυτή την ενότητα παρατίθεται ένα παράδειγμα με τρεις κεραίες οι οποίες πρέπει να τοποθετηθούν στο χώρο εφαρμογής μας για να καλύψουν οριζόντια φορά ροής ετικετών με τη δια-



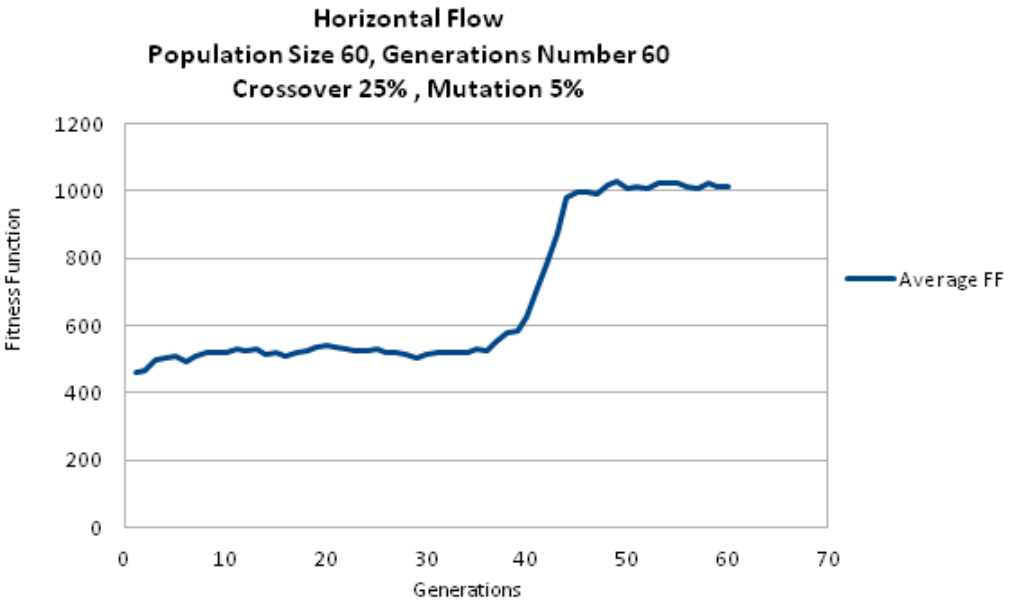
Σχήμα 5.6: Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 60 γενιών με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα. Αναφέρεται στο τρίτο παράδειγμα και στο σχήμα 5.5

φορά ότι τώρα πρέπει να αποφύγουν την περιοχή των κουτιών από x=32:64 και y=33:64 επειδή η περιοχή αυτή είναι ορισμένη σαν μη προσβάσιμη. Δηλαδή είναι περιοχή που δεν ανήκει στο χώρο της εφαρμογής μας.

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 5.13 οι τρεις κεραίες τοποθετήθηκαν σε έγκυρα σημεία της εφαρμογής αποφεύγοντας τη μη-έγκυρη περιοχή. Αυτό το παράδειγμα είχε σαν αρχικές τιμές τις 150 γενιές, τα 150 άτομα πληθυσμό, χώρο 28x28 μέτρα δηλαδή το κάθε κουτάκι του πλαισίου μας έχει διαστάσεις 0.4375x0.4375 μέτρα.

5.1.4 Προσομοίωση δύο Κεραιών με διαφορετικά ποσοστά σε Γενετετικές Λειτουργίες

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε περιπτώσεις κατά τις οποίες γίνεται συνδιασμός των πιθανοτήτων διασταύρωσης και μετάλλαξης. Έχουμε στις διαφορετικές περιπτώσεις αρχικό πληθυσμό 100 άτομα, αριθμό γενιών 100 και δύο κεραιές, για τις οποίες πρέπει να μελετήσουμε τη συμπεριφορά της Συνάρτησης Καταλληλότητας τους, στα διαφορετικά ποσοστά. Στον Πίνακα 5.1 βλέπουμε το πλήθος μεταλλάξεων και διασταυρώσεων που συμβαίνουν συνολικά σε όλες τις γενιές του πληθυσμού μας για τους διάφορους συνδυασμούς των ποσοστών που φαίνονται στον



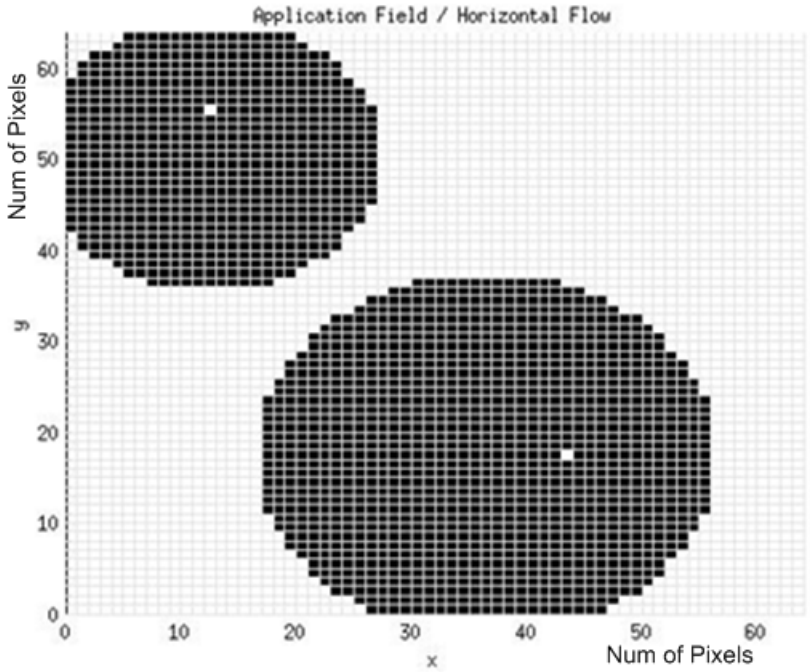
Σχήμα 5.7: Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας σε μια "κακιά" λύση

πίνακα.

Στο Σχήμα 5.14 παρατηρούμε ότι ο καλύτερος συνδιαμός ποσοστών γενετικών λειτουργιών είναι πιθανότητα διασταύρωσης 25% και μετάλλαξης 2%. Παρατηρώντας όμως όλες τις περιπτώσεις καταλήγουμε σε ένα γενικότερο συμπέρασμα το οποίο έχει να κάνει με μορφή της ΣΚ που σε όλες τις περιπτώσεις είναι αυξάνουσα από γενιά σε γενιά. Υπάρχουν και περιπτώσεις που μπορούν να θεωρηθούν καλύτερες από την Pc = 25%, Pm =2% επειδή αυτή η περίπτωση αυξάνει αργά στις γενιές. Αν προσέξουμε μεταξύ 11ης με 16ης γενιάς η περίπτωση Pc=20%, Pm=2% έχει πάει στο μέγιστο της ενώ η Pc = 25%, Pm =2% αυτό το κάνει περίπου στη τεσσαρακοστή γενιά και περίπου στην τριακοστή της γενιά ξεπερνά σε απόδοση την Pc = 20%, Pm =2%.

5.2 Συγκρίσεις Μεθοδολογίας

[8] Επιλέγοντας τις σωστές παραμέτρους για την Συνάρτηση Καταλληλότητας (Fitness-Function) έχουμε αποτελασματική λύση στο πρόβλημα μας και με αυτό το τρόπο έχουμε ένα έγκυρο γενετικό αλγόριθμο. Σημαντικός χρόνο αφιερώθηκε για την εύρεση και υπολογισμό των παραμέτρων αυτών, και ο λόγος που έγινε εκτενή μελέτη στο τομέα αυτό ήταν το γεγονός ότι θέλαμε να απορρίψουμε πιθανό ενδεχόμενο λανθασμένων αποφάσεων επειδή θα οδηγόμασταν σε μια καταστροφηκή λύση. Στο μυαλό μας για αρχικό πρόβλημα είχαμε μια εφαρμογή μεταφοράς ετικετών με συγκεκριμένη φορά κίνησης ετικετών, κάθετης ή οριζόντιας ροής. Στόχος μας ήταν η καταπολέμιση "νεκρών" διαδρομών όσο αφορά τις πιθανές διαδρομές που μπορούν να ακολουθήσουν οι



Σχήμα 5.8: Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 60 γενιών σε ‘‘κακιά’’ λύση με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα. Αναφέρεται στο τέταρτο παράδειγμα και στο σχήμα 5.7

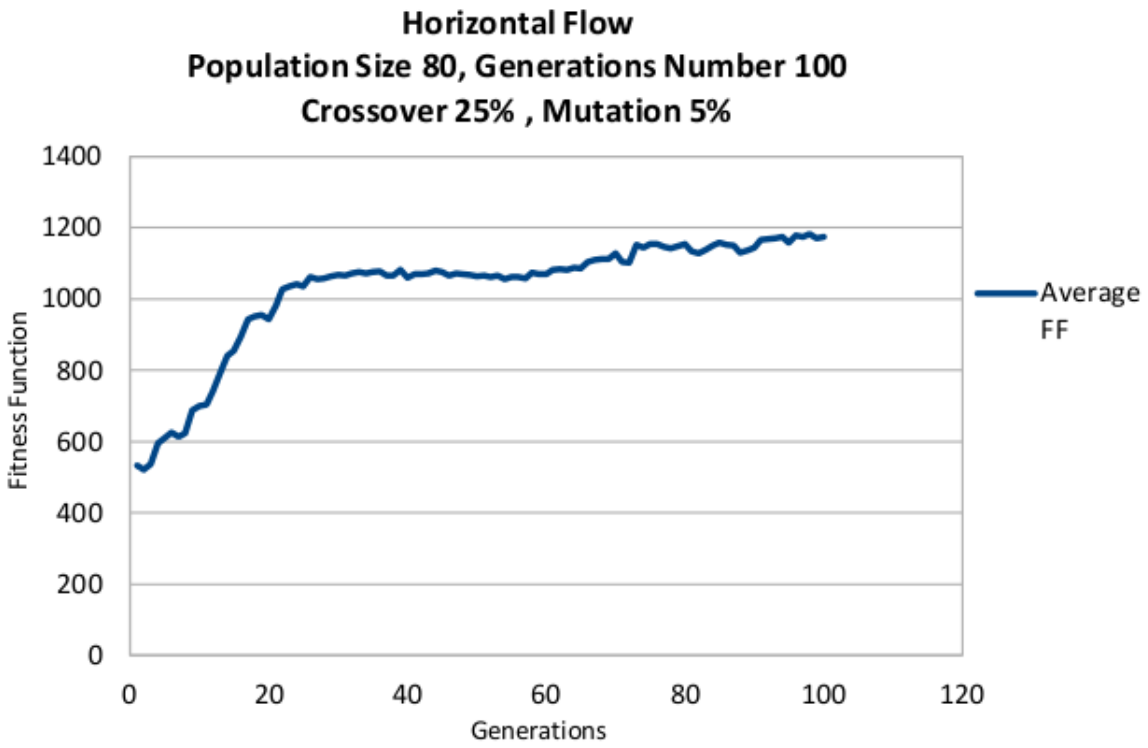
ετικέτες στο πεδίο εφαρμογής μας (Κεφάλαιο 4). Αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια ποιες παραμέτρους χρησιμοποιήσαμε και ποιος ο σκοπός της κάθε μιας απο αυτές.

Οι παράμετροι που καθορίζουν την συνάρτηση καταλληλότητας μας είναι:

- Useless Antennas: Σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να έχουμε κεραίες οι οποίες θα είναι τοποθετημένες εκτός του πλαισίου μας. Σε καμιά εφαρμογή δεν μπορούμε να βάλουμε τις κεραίες εκτός των ορίων που μας καθορίζει η εφαρμογή.

- Redundant Readers: Δεν επιτρέπεται να έχουμε πλεονάζων κεραίες επειδή είναι απλά σπατάλη και είναι άσκοπη η τοποθέτηση τους. Πλεονάζων κεραίες έχουμε όταν το εύρος της κεραίας είναι ήδη καλυπτόμενο σημείο από μια άλλη κεραία γεγονός που κάνει τη κεραία μας ανεκμετάλλευτη.

- Overlapping: Το ποσοστό επικάλυψης των δύο κεραιών μας δεν πρέπει να είναι μεγάλο αλλά πρέπει να υπάρχει ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 10% του συνολικού χώρου του οποίου καταλαμβάνουν οι κεραίες με σκοπό να αποφύγουν τα νεκρά σημεία μεταξύ τους και να υπάρχει ασφάλεια και σιγουριά στο ότι οι ετικέτες θα περάσουν από περιοχές που είναι καλυπτόμενες από το εύρος των κεραιών.

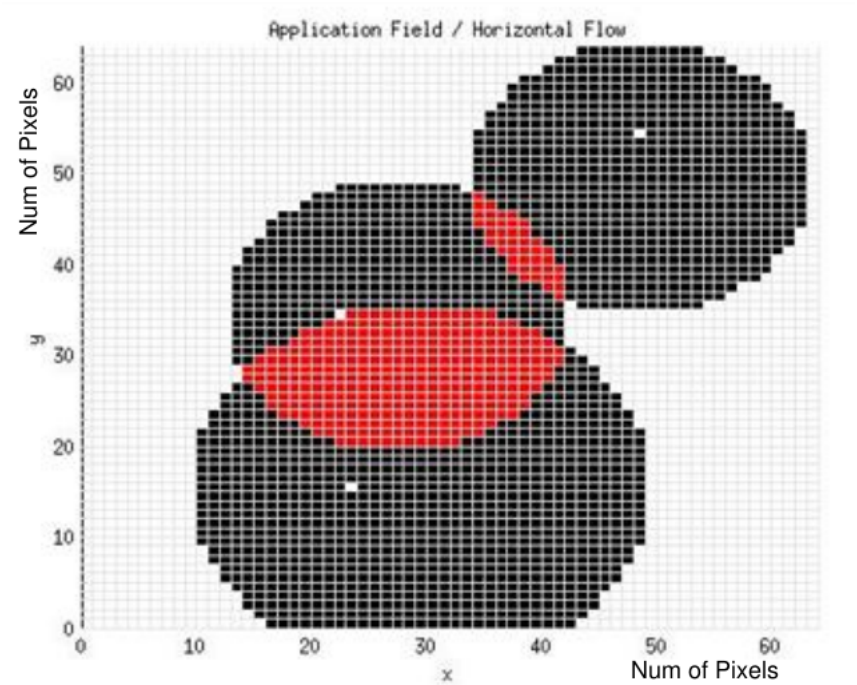


Σχήμα 5.9: Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας για τρεις κεραίες

- Completeness: Παράμετρος η οποία έχει να κάνει με τη πληρότητα του χώρου σε κάλυψη ως προς τη ροή και κατεύθυνση των ετικετών.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφέρουμε ποιες οι διαφορές των παραμέτρων μας από άλλες σχετικές δουλειές και γιατί επιλέξαμε τελικά αυτές τις τέσσερις παραμέτρους. Καθώς και ποιες άλλες σημαντικές διαφορές είχαμε με αυτές τις δουλειές. Συνοπτικά οι παραμέτροι παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.

Παρατηρώντας τις παραμέτρους που εμείς χρησιμοποιήσαμε καταλαμβαίνουμε ότι ανταποκρίνονται στις δικές μας εφαρμογές. Οι δύο παραμέτροι που δεν χρησιμοποιήσαμε καθόλου από αυτή την δουλειά είναι η 5η και 6η παράμετρος που έχουν να κάνουν με τις ετικέτες που μπορούν να καταμετρηθούν στο χώρο μας και με το ποιες και πόσες ετικέτες υπάρχουν σε επικαλυπτόμενη περιοχή. Τη 6η παράμετρο δεν τη μελετήσαμε επειδή έχουμε να κάνουμε με πολλάπλές κεραίες εμείς και όχι με πολλαπλούς αναγνώστες. Γεγονός που σε εμάς αυξάνει την πιθανότητα διαβάσματος της ετικέτας όταν αυτή βρίσκεται σε επικαλυπτόμενη περιοχή. Την 5η παράμετρο την μελετάμε μόνο σε εφαρμογή που έχει να κάνει με δύο κεραίες σε πλαίσιο 64x64 και όχι αυτή καθεαυτή επειδή εμείς απλά επιστρέφουμε πίνακα πιθανοτήτων και όχι γενικότερη μελέτη κατανομής πιθανοτήτων με σκοπό την βελτιστοποίηση της Συνάρτησης Καταλλήλότητας. Ο λόγος



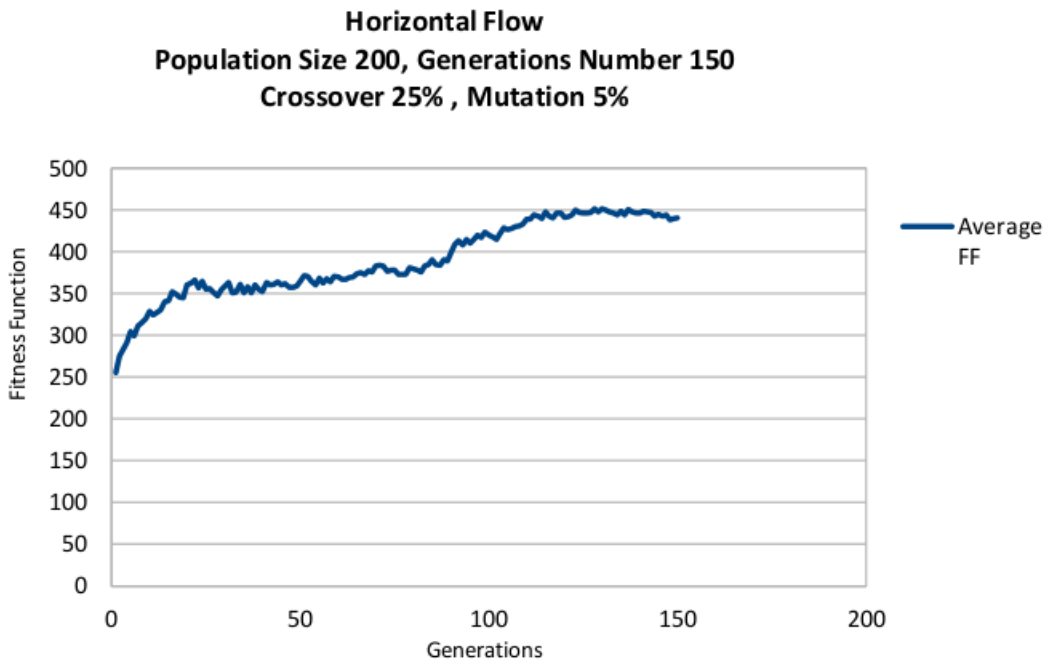
Σχήμα 5.10: Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 100 γενιών με τρεις κεραίες με διαστάσεις χώρου 20x20 μέτρα Αναφέρεται στο πέμπτο παράδειγμα και στο σχήμα 5.9

που το αποφεύγουμε αυτό είναι επειδή εμείς έχουμε σαν πρότυπο μια Laird Far-field κεραία και όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 4 προσαρμόζουμε το κέντρο του κύκλου μας που παριστάνει το πεδίο κάλυψης της κεραίας μας όπως στο Σχήμα 4.16. Αυτό το γεγονός κάνει δύσκολη τη μελέτη του χώρου πιθανοτήτων γύρω από τη κεραία. Αυτή η παραλλαγή, που είναι πιο κοντά σε πραγματικά δεδομένα, και το γεγονός ότι χρησιμοποιούμε την παράμετρο Completeness διαφοροποιούν πολύ τη δουλειά μας σε σύγκριση με άλλες δουλειές.

Διαφορές δεν υπάρχουν μόνο στη Συνάρτηση Καταλληλότητας, αλλά και σε άλλα σημεία τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3

Σημαντική διαφορά είναι ότι το πλαίσιο που χρησιμοποιούμε είναι διακριτοποιημένο, όπως αναφέραμε στο 4ο κεφάλαιο. Γεγονός που μας κάνει την εφαρμογή μας παραμετροποιημένη πλήρως, επειδή όπως εξηγήσαμε στο 4ο κεφάλαιο ο χώρος μας μπορεί να είναι διαφόρων μηκών και να αντιστοιχηθεί στα 64 ή 128 κουτάκια του πλαισίου μας. Καθώς επίσης μπορεί να αποκοπεί ένας χώρος του πλαισίου σαν μια μη-έγκυρη περιοχή.

Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο που μας δίνει τη δυνατότητα να θεωρήσουμε ότι η διπλωματική μας διαφέρει από άλλες εργασίες είναι η ευκολία του να μετατρέπεται χωρίς να αλλάξει παρά μόνο η Συνάρτηση Καταλληλότητας σε ένα διαφορετικό πρόβλημα. Η συνάρτηση grid_for_tag_flow μας επιστρέφει πολλά δεδομένα μεταξύ αυτών τον αριθμό των πλεονάζων κεραιών, των ανωφελών κεραιών, τον συνολικό αριθμό ακάλυπτων από το εύρος των κεραιών κου-



Σχήμα 5.11: Τιμή Συνάρτησης Καταλληλότητας για τέσσερις κεραίες

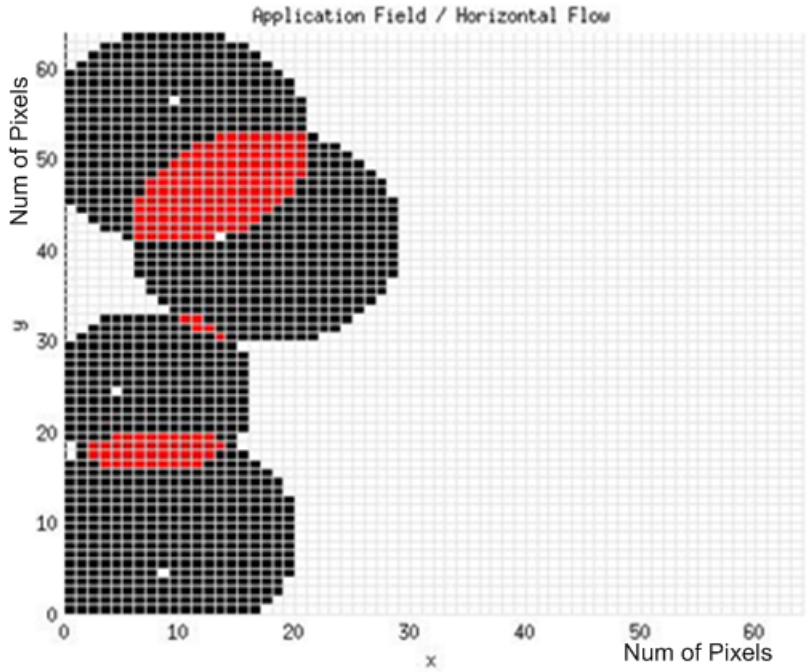
τιών καθώς επίσης και τον αριθμό των καλυμμένων κουτιών και την μεταβλητή Completeness.

Κάποια από τα δεδομένα που επιστρέφει η συνάρτηση δεν τα χρησιμοποιούμε. Όπως είναι για παράδειγμα τα ακάλυπτα κουτιά. Μια ιδέα η οποία είναι εύκολα υλοποιήσιμη είναι μία επαναληπτική μέθοδος που θα έχει σκοπό να εκμεταλλευτεί μεγάλο αριθμό κεραιών και να καλύψει όλο το χώρο του πλαισίου. Θα έχει σαν είσοδο τις διαστάσεις του χώρου και σε κάθε επανάληψη θα αυξάνει τον αριθμό των κεραιών για να πετύχει μια λύση η οποία δεν θα έχει κανένα ακάλυπτο κουτάκι. Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει να πάρουμε σαν παράμετρο το συντελεστή uncoveredarea που έχει να κάνει με τα κουτιά που είναι ακάλυπτα από το εύρος των κεραιών και τις πλεονάζουσες και ανωφελές κεραίες. Δηλαδή θα προσθέσουμε μία καινούρια παράμετρο για την οποία ήδη έχουμε τους συντελεστές που χρειάζεται για να υπολογιστεί και θα κρατήσουμε και δύο από τις παλιές παραμέτρους. Η διαφορά τώρα είναι ότι δεν θα υπολογίζει για συγκεκριμένο αριθμό κεραιών αλλά για μεταβαλλόμενο αριθμό. Κάθε φορά που εφαρμόζεται ο αλγόριθμος στον καθορισμένο αριθμό γενιών αν δεν μας καλύπτει η λύση που θα προκύψει τότε ο αλγόριθμος θα ξανατρέχει αυξάνοντας κατά μία τις κεραίες τις εφαρμογής μας.

Οι παράμετροι για το νέο πρόβλημα θα είναι:

Useless Antennas:

Number of Useless Antennas	$f1$
x	$f1 = \frac{1}{1+x^2}$



Σχήμα 5.12: Τοποθέτηση κεραιών μετά το πέρας 100 γενιών με τέσσερις κεραίες. Αναφέρεται στο έκτο παράδειγμα και στο Σχήμα 5.9

Από την εξίσωση υπολογισμού της παραμέτρου f1 που είναι υπεύθυνη για τις ανωφελής κεραίες καταλαβαίνουμε ότι όσο περισσότερες υπάρχουν τόσο πιο μικρή η τιμή του f1. Και στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τότε η f1 παίρνει τη μέγιστη τιμή της που είναι 1.

Redundant Antennas:

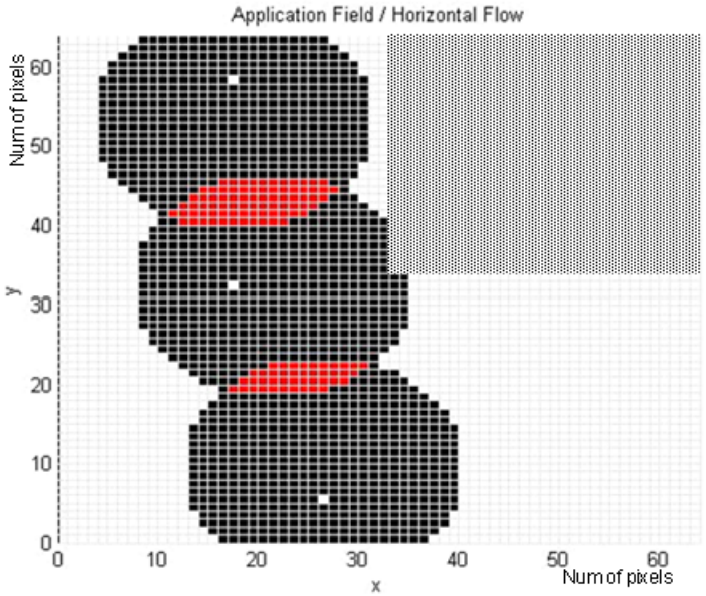
Number of Redundant Antennas	$f2$
y	$f2 = \frac{1}{1+y^2}$

Όπως και στη περίπτωση της παραμέτρου f1, έτσι υπολογίζουμε και την παράμετρο f2 που είναι υπεύθυνη για τις πλεονάζων κεραίες. Και στην περίπτωση αυτή όσο περισσότερες πλεονάζων κεραίες υπάρχουν τόσο πιο μικρή η τιμή της f2 και σε περίπτωση που δεν υπάρχουν τότε η f2 παίρνει τη μέγιστη τιμή της που είναι 1.

Και η καινούργια παράμετρος θα είναι:

Uncovered Area:

Number of Uncovered Boxes	$f5$
z	$f5 = \frac{1}{1+z^2}$



Σχήμα 5.13: Παράδειγμα τοποθέτησης κεραιών σε οριζόντια ροή αποφεύγοντας τα μη-έγκυρα σημεία. Οι διαστάσεις του χώρου μας είναι 28x28 μέτρα

Υπολογίζουμε την f5 παράμετρο όπως και τις προηγούμενες παραμέτρους. Αν τα ακάλυπτα κουτάκια πάρουν την τιμή μηδέν (το ζητούμενο) τότε και η f2 θα πάρει τη μέγιστη τιμή της που είναι το 1. Σε διαφορετική περίπτωση θα παίρνει τιμές πολύ μικρότερες του 1.

Η τιμή καταλληλότητας του κάθε ατόμου τώρα παίρνει την τιμή της με το πιο κάτω τύπο:

$$FV = f1 * w1 + f2 * w2 + f5 * w5,$$

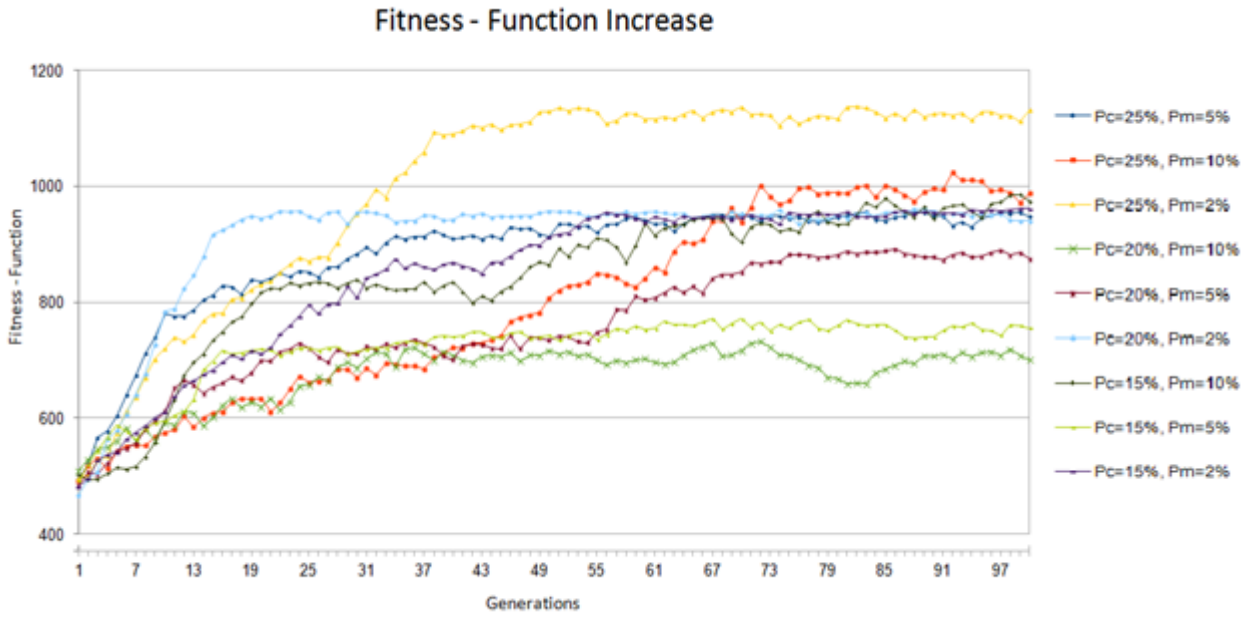
όπου $w1 = 0.2$, $w2 = 0.4$ και $w5 = 0.4$

και η συνάρτηση καταλληλότητας παίρνει τη τιμή:

$$FF = \sum_{i=1,2,5} FV(i)$$

Crossover Percent	Mutation Percent	Crossovers	Mutations
25%	10%	1259	955
	5%	1322	504
	2%	1278	222
20%	10%	1000	1000
	5%	972	459
	2%	1020	209
15%	10%	756	1022
	5%	739	532
	2%	710	187

Πίνακας 5.1: Πίνακας στον οποίο παρατηρούμε τους συνδιασμούς των πιθανοτήτων Crossover και Mutation καθώς και το πλήθος εφαρμογής τους



Σχήμα 5.14: Σε αυτό το γράφημα παρατηρούμε πως συμπεριφέρεται η Fitness Function στους διαφορετικούς συνδιασμούς των ποσοστών των γενετικών λειτουργιών

Δική μας δουλειά	O. Botero and H. Chaouchi [8]
1-Overlapping Area (5-15% of Coverage Area) Input not Fixed Based on Reader Characteristics	1-Overlapping Area (10-25% of Coverage Area) Fixed not Input Based on less iterations
2-Useless Antennas Useless and located out of the Deployment Area	2-Useless Readers
	3-Number of readers located out of the Deployment Area
3-Redundant Readers	4- Redundant Readers
4-Completeness	
	5-Number of Tags Covered
	6-Number of tags located in overlapped reading areas

Πίνακας 5.2: Πίνακας στον οποίο καταγράφονται οι διαφορές των παραμέτρων των δουλειών

	Δική μας δουλειά	O. Botero and H. Chaouchi [8]
Μέτρα χώρου εφαρμογής	Μεταβλητή τιμή που εισάγεται από το χρήστη	Σταθερά 20x20 μέτρα
Αρχικός Πληθυσμός	Μεταβλητή τιμή που εισάγεται από το χρήστη	Σταθερά 70 άτομα
Αριθμός Γενιών	Μεταβλητή τιμή που εισάγεται από το χρήστη	Σταθερά 210 γενιές
Αριθμός Κεραιών	Προκύπτει από τα μέτρα του	10 κεραίες κοντινού πεδίου
	χώρου εφαρμογής και είναι κεραίες μακρινού πεδίου	
Ετικέτες	Βασισμένο σε χαρακτηριστικά LabID UH3D40	30 ετικέτες στο χώρο σαν είσοδος του συστήματος
Λογισμικό	Matlab 7.6.0 R2008a	Java SE on the Netbeans 6.9 IDE
Εύρος Κάλυψης Κεραιών	Προέκυψε Πειραματικά (3ο κεφάλαιο)	Friis equation
Αποτελέσματα	Fitness-Function Vs Generations	Fitness-Function Vs Generations Processing Time Vs Generations

Πίνακας 5.3: Πίνακας στον οποίο καταγράφονται οι διαφορές των δουλειών

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας καθώς και για τις μελλοντικές επεκτάσεις που μπορούν να γίνουν, είτε για καλύτερη απόδοση είτε για μεγαλύτερα προβλήματα.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η Αλγοριθμική Βελτιστοποίηση της Τοπολογία των κεραιών RFID. Η τοπολογική μελέτη έγινε με χρήση Γενετικού Αλγορίθμου, γεγονός που καθιστά τη δουλειά μας εύκολα επεκτάσιμη και αξιοποιήσιμη. Κάναμε πειράματα τα οποία θεωρήσαμε σημαντικά να γίνουν και από αυτά πήραμε πολλά σημαντικά συμπεράσματα για τα RFID συστήματα. Είναι μια τεχνολογία η οποία αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς, η οποία με σωστές μελέτες και μεθοδική δουλειά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές αξιόπιστα.

6.1 Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση των πειραμάτων και την υλοποίηση του αλγορίθμου μας καταλήξαμε σε κάποια σημαντικά συμπεράσματα τα οποία είναι χρήσιμα για RFID εφαρμογές. Κάποια από τα συμπεράσματα μας έχουν να κάνουν με κόστος και κάποια άλλα με την ασφάλεια των συστημάτων.

6.1.1 Τοπολογική Μελέτη

Το πρώτο που παρατηρήσαμε είναι ότι χρειάζεται σωστή τοπολογική μελέτη για τις κεραίες, γεγονός που θα μας οδηγήσει σε σωστές και συμφέρουσες λύσεις. Μια λανθασμένη τοπολογική μελέτη μπορεί να φέρει καταστροφικά και καθόλου αξιόπιστα αποτελέσματα. Η σωστή τοπολογία των κεραιών οδηγεί σε αξιόπιστες λύσεις που μπορούν να αποφύγουν περιττές δαπάνες χρόνου και χρήματος.

6.1.2 Συμπεράσματα Πειραμάτων

Όπως είδαμε στο 3ο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας έγιναν πολλά πειράματα τα οποία μπορούν να μας βοηθήσουν σε RFID εφαρμογές. Για παράδειγμα καταλήξαμε ότι ένα από τα υλικά στα οποία μπορεί να ενσωματωθεί αποδοτικά μια RFID ετικέτα είναι το PVC, και ένα καλό μονωτικό υλικό είναι το αλουμίνιο. Είδαμε επίσης ότι μεταβάλλοντας την ισχύ εξόδου του αναγνώστη μεταβάλουμε παράλληλα και το εύρος κάλυψης της κεραίας μας, γεγονός που μπορεί να θεωρηθεί σημαντικό όσο αφορά την ασφάλεια του συστήματος μας. Επίσης είδαμε ότι μπορούμε να πετύχουμε μεγάλους ρυθμούς ανάγνωσης καθώς και περιπτώσεις στις οποίες αδυνατεί το σύστημα μας να διαβάσει τις ετικέτες.

Τα πειράματα μας ήταν σημαντικά επειδή μπορούμε με αυτά να βοηθήσουμε κάποιο χρήστη RFID συστήματος να κάνει σωστές επιλογές υλικού καθώς και αξιόπιστες.

6.1.3 Γενετικός Αλγόριθμος

Όπως αναφέραμε χρησιμοποιήθηκε για την τοπολογική μελέτη Γενετικός Αλγόριθμος. Στο 5ο κεφάλαιο περιγράψαμε κάποια αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τη χρήση του αλγορίθμου μας. Παρατηρούμε σε όλες τις περιπτώσεις ότι η Συνάρτηση Καταλληλότητας βελτιώνετε από γενιά σε γενιά, συμπεραίνοντας ότι η χρήση του Γενετικού Αλγορίθμου ήταν τελικά ορθή. Πειραματιστήκαμε με διαφορετικούς συνδυασμούς στα ποσοστά των Γενετικών Λειτουργιών και καταγράψαμε τη συνολική συμπεριφορά του αλγορίθμου μας για τους συνδυασμούς αυτούς. Με τον τρόπο που υλοποιήθηκε ο αλγόριθμος μας, παραμετροποιημένος σε όλα, επιτρέπουμε σε κάποιο χρήστη, αφού μελετήσει τα αποτελέσματα μας, να επιλέξει τις τιμές τις οποίες θέλει ανάλογα με την εφαρμογή του. Ένα άλλο συμπέρασμα που αφορά τον Γενετικό Αλγόριθμο είναι το κατάλληλο μέγεθος του αρχικού πληθυσμού. Ορίζοντας μεγάλο αρχικό πληθυσμό, καταλήγουμε σε καλύτερα αποτελέσματα.

6.2 Μελλοντικές Εργασίες

Με τη βοήθεια επόμενων διπλωματικών εργασιών μπορούμε να πετύχουμε ένα πολύ βελτιωμένο αποτέλεσμα το οποίο να είναι πιο γρήγορο και πιο αξιόπιστο (εύρεση λύσης σε μικρό αριθμό γενιών). Για να το πετύχουμε αυτό πρέπει να μελετήσουμε κάποιες επιπλέον ιδιότητες και συνθήκες που μπορεί να επηρεάζουν τη λύση μας. Σαν μελλοντική εργασία πρέπει να γίνουν:

- Χρήση πιθανοτήτων σαν παράμετρος της ΣΚ
- Μελέτη κεραιών σε συνθήκες Short και Long Range
- Μετέπειτα μελέτη της εφαρμογής όσο αφορά το ύψος και την κλίση των κεραιών
- Υλοποίηση που θα εμπεριέχει την ταχύτητα των ετικετών και το συνολικό ρυθμό ανάγνωσης των κεραιών

- Υλοποίηση Αλγορίθμου σε Αναδιατασσόμενους Πόρους

Με αυτές τις προσθήκες θα έχουμε ένα αποτέλεσμα το οποίο θα παρατηρεί πιο αναλυτικά και πιο περιγραφικά τις συνθήκες που επηρεάζουν την τοπολογία των κεραιών ενός RFID συστήματος.

References

1 http://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification
2 “Real Time Location Systems” της Clarinox Technologies Pty Ltd
3 Sensap Swiss RFID applied
4 http://www.rfidportal.gr
5 http://www.smartprintmedia.com/
6 RFID JOURNAL
7 Stepden A. Weis “RFID: Principles and Applications ”
8 '“RFID network topology design based on Genetic Algorithm”,
Oscar Botero, Hakima Chaouchi.
9 “RFID Reader Deployment Strategy using Genetic Algorithm”,
Tran Cong Hung, Nguyen Khac Huy
10 Τεχνητή Νοημοσύνη Μια σύγχρονη προσέγγιση by Stuart J. Russell και Peter Norving.
11 “Implementation of a Genetic Algorithm on a Virtex II Pro FPGA”, Μιχάλη Βαβούρα.
12 “Αναγνώρισης Προτύπων” , Ευστράτιου Φ. Γεωργόπουλου, Σπυρίδων Δ. Λυκοθανάση.
13 http://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm
14 Matlab Central area_intersect_circle_analytical (varargin)
15 Efficient Novel Anti-collision Protocols for Passive RFID Tags
16 RFID FOR DUMMIES by Patrick J. Sweeney II
17 Δίκτυα επικοινωνιών by Jean Walrand

Παράρτημα Α΄

Υλικό και Λογισμικό Που Χρησιμοποιήσαμε

Σε αυτό το παράρτημα θα μιλήσουμε για τον εξοπλισμό που είχαμε στη διάθεση μας καθώς και τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήσαμε σε λογισμικό επίπεδο για την διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ο εξοπλισμός του RFID συστήματος τον οποίο είχαμε στη διάθεση μας αποτελείται από:

- Ένα αναγνώστη (RFID Reader): Impinj Speedway® Revolution Reader IPJ-REV και συγκεκριμένα Speedway R420 – 4 port maximum performance Reader. Τα χαρακτηριστικά αυτού του αναγνώστη παρουσιάζονται στον Πίνακα Α΄.1.

Interface Protocol	EPCglobal UHF Class 1 Gen 2 ISO 18000-6C
Transmit Power	+10 to +32.5 dBm
Max Receive Sensitivity	-82dBm
Operating Temperature	-20 oC to + 50 oC
Dimensions	19x 17.5x3 cm
Weight	0.68kg

Πίνακας Α΄.1: Impinj Speedway® Revolution Reader IPJ-REV

- Δύο κεραίες μακρινού πεδίου (Two Far-Field Antennas). Laird technologies S8658PLJ και S8658PRJ. Στον Πίνακα Α΄.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους.

- Μία κεραία κοντινού πεδίου (One Near-Field Antenna). CS-777 BrickyardTM Near-Field Antenna με τα χαρακτηριστικά να παρουσιάζονται στον Πίνακα Α΄.3.

Frequency	865-868 MHz
Gain dBic	8.0
VSWR	1.5:1
Beamwidth	60o
Polarization	Circular (L) left (R) right
Weight	0.9 kg
Power	10 Watts
Dimensions	25.4x25.4x3.8 cm

Πίνακας Α΄.2: Laird technologies S8658PLJ και S8658PRJ

Dimensions	Diameter 30cm, Height 6cm
Weight	2lbs
Frequency	865-868 MHz
Gain	6 dBic max
Polarization	Near-Field Magnetic coupling

Πίνακας Α΄.3: CS-777 BrickyardTM Near-Field Antenna

- Μία κεραία κοντινού πεδίου (One Near-Field Antenna). Impinj MINI-GUARDRAIL ANTENNA με τα χαρακτηριστικά να παρουσιάζονται στον Πίνακα Α΄.4.

Dimensions	70x133x19 mm
Frequency	865-954 MHz
Gain	-20 dBic
Polarization	Linear
VSWR	1.25:1

Πίνακας Α΄.4: Impinj MINI-GUARDRAIL ANTENNA

Καθώς ακόμα είχαμε και πολλούς τύπους τους οποίους παρουσιάζουμε στον πιο Πίνακα Α΄.5.

Αυτά όσο αφορά το υλικό το οποίο είχαμε στη διάθεση μας για την υλοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Για τη καταγραφή των πειραμάτων και του αλγόριθμου χρησιμοποιήσαμε και λογισμικά προγράμματα όπως Matlab R2008a ,Microsoft Excel 2007 και Impinj MultiReader v6.6.2. Matlab, χρησιμοποιήσαμε για να υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο μας, καθώς και τις συναρτήσεις, τις οποίες χρειάζεται για να μας δώσει αποτελέσματα.

#	Manufacturer	Model	Chip	Dim	Field	EPC	Mem
11	Impinj	Thinpropeller	Monza 2	8 x 53/95	Far	96	-
213	Impinj	Satellite	Monza 2	18 x 32	Near	96	-
1	Avery Dennison	AD-223	Monza 3	8 x 95	Near	96	-
1	Avery Dennison	AD-230	Monza 3	14.5 x 70	Near	96	-
1	Avery Dennison	AD-805	Monza 3	16 x 16	Near	96	-
1	Avery Dennison	AD-828	Monza 3	15 x 40	Near	96	-
4	Lab ID	UH3D40	Monza 4	40 x 40	Far	128	512
8	Lab ID	UH600	Monza 4	9 x 29	Near	128	512
4	Trace-Tech	TE24	Monza 4	16 x 68	Far	128	512
3	Trace-Tech	TB24	Monza 4	8 x 22	Near	128	512
10	Alien	ALN-9540	Higgs 2	8 x 98.5	Far	96	-
1	Alien	ALN-9640	Higgs 3	8 x 95	Far	96	512

Πίνακας Α΄.5: Διάφοροι Τύποι Κεραιών

Σε Matlab έχουμε τα πιο κάτω scripts τα οποία υλοποιήσαμε για την διπλωματική εργασία:

- Genetic
- Main
- Grid_for_tag_Flow
- Binary_to_Decimal_converter

Η Microsoft Excel χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των πειραμάτων μας (Back-End System), καθώς και για την υλοποίηση των γραφημάτων τα οποία παρουσιάζονται στην διπλωματική εργασία. Κάποια από τα γραφήματα ήταν αποτέλεσμα του αλγόριθμου και έτσι προέρχονται από Matlab και όχι Microsoft Excel.

Και τέλος χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό το οποίο ενεργοποιούσε το RFID μας σύστημα το οποίο είναι το Impinj MultiReader v6.6.2 και με αυτό κάναμε όλες τις δοκιμές του συστήματος καθώς και όλα τα πειράματα μας.

Παράρτημα Β΄

Οδηγός Προγράμματος Γενετικού Αλγορίθμου

Σε αυτό το παράρτημα θα εξηγήσουμε τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το πρόγραμμα που υλοποιήσαμε και για τις κατάλληλες τιμές εισόδου που πρέπει να διαλέξει ο χρήστης.

Αρχικά ζητείται από το χρήστη να συμπληρώσει μια σειρά εισόδων που αφορούν τα δεδομένα του αλγορίθμου μας.

Το πρώτο μήνυμα που εμφανίζεται είναι

Give the meters of the application: σε αυτό το σημείο ο χρήστης πρέπει να συμπληρώσει το μήκος του χώρου της εφαρμογής σε μέτρα. Αν ο χρήστης γράψει 20 τότε εμφανίζεται το επόμενο μήνυμα.

For 20meters application you need 2 readers. Με αυτό τρόπο ο χρήστης ενημερώνεται για το πόσες κεραίες θα χρειαστεί για την εφαρμογή του.

Στη συνέχεια πρέπει να συμπληρώσει κάποιες άλλες τιμές που έχουν να κάνουν με τις γενετικές λειτουργίες καθώς και με άλλες παραμέτρους. Τα επόμενα μηνύματα που εμφανίζονται είναι:

Give the Population Size: Στο σημείο αυτό ο χρήστης συμπληρώνει το μέγεθος του πληθυσμού που χρειάζεται για την εφαρμογή του.

Give the Generations Number: Εδώ ενημερώνει για τον αριθμό των γενιών για τις οποίες θα εκτελεστεί ο γενετικός αλγόριθμος.

64x64 grid Accepted: Yes [y], No [n] : Επιλέγει 64x64 πλαίσιο με επιλογή ‘y’ και 128x128 επιλέγοντας ‘n’

Give the crossover percentage: Επιλέγει το κατάλληλο ποσοστό διασταύρωσης από τον πίνακα στο κεφάλαιο 5 στο Σχήμα 5.13

Give the mutation percentage: Επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία και για το ποσοστό μετάλλαξης.

Give the overlapping percentage: Καθώς και για το ποσοστό επικάλυψης

Do you want Vertical [1] or Horizontal [2] flow of tags? : Τελευταία επιλογή του χρήστη γίνετε για τη φορά ροής ετικετών. Επιλέγει κάθετη ροή πληκτρολογώντας '1' και οριζόντια πληκτρολογώντας '2'.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται προτεινόμενες τιμές για το μέγεθος πληθυσμού ανάλογα με τον αριθμό κεραιών που θα χρησιμοποιηθούν. Όπως αναφέραμε προηγουμένως ο χρηστής αφού συμπληρώσει τις διαστάσεις του χώρου τότε ενημερώνεται για τον αριθμό των κεραιών που πρέπει να χρησιμοποιήσει. Στον Πίνακα Β΄.1 φαίνονται οι προτεινόμενες τιμές για τον Γενετικό Αλγόριθμο

Antennas Number	Population Size	Generations Number	Notes
2	100	100	Για εφαρμογές 4 και περισσοτέρων κεραιών πρέπει να έχουμε πολύ μεγάλο αρχικό πληθυσμό καθώς και αριθμό γενιών
3	150	150	
x	60x	100x	

Πίνακας Β΄.1: Πρόταση Τιμών για Γενετικό Αλγόριθμο

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο στο οποίο πρέπει ο χρήστης να επιλέξει σωστά είναι στο ποσοστό επικάλυψης. Η πρόταση μας για το ποσοστό επικάλυψης είναι 10% του συνολικού χώρου κάλυψης μεταξύ δύο κεραιών. Για να επιτευχθεί αυτό και σε περισσότερες από δύο κεραίες πρέπει να επιλέξουμε τα ποσοστά όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα Β΄.2.

Το πρόγραμμα όμως ενημερώνει το χρήστη αν πρόκριτε για ιδανική περίπτωση και αν συμβαίνει αυτό τότε το ποσοστό πρέπει να μεγαλώσει κατά 5%. Οριακή περίπτωση θεωρείτε αν έχουμε χώρο τον οποίο οριακά μπορούν να καλύψουν x-1 κεραίες ενώ η πρόταση μας ήταν x. Ιδανική κάλυψη (Σχήμα Β΄.1) χώρου είναι η περίπτωση που οι κεραίες μας σε πλήρη ισχύ εξόδου του αναγνώστη καλύπτουν το χώρο μας ιδανικά χωρίς επικάλυψη.

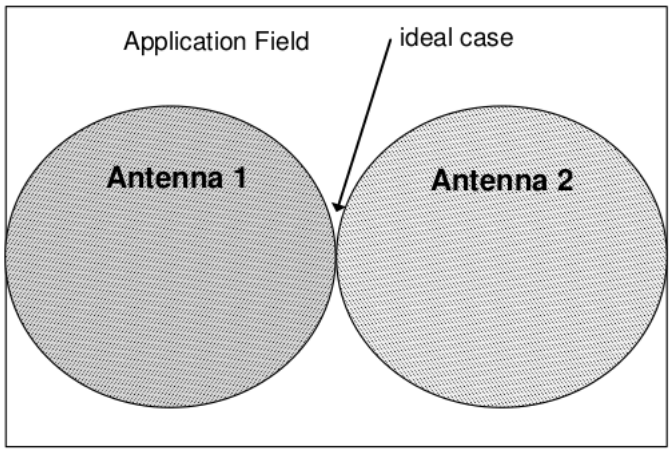
Στη συνέχεια θα δείξουμε με πιο τρόπο παίρνουμε τις τιμές του Πίνακα Β΄.2.

Για να πετύχουμε επικάλυψη σε ποσοστό 10% ανά δύο κεραίες πρέπει το συνολικό ποσοστό επικάλυψης να πάρει την τιμή του από την πιο κάτω εξίσωση:

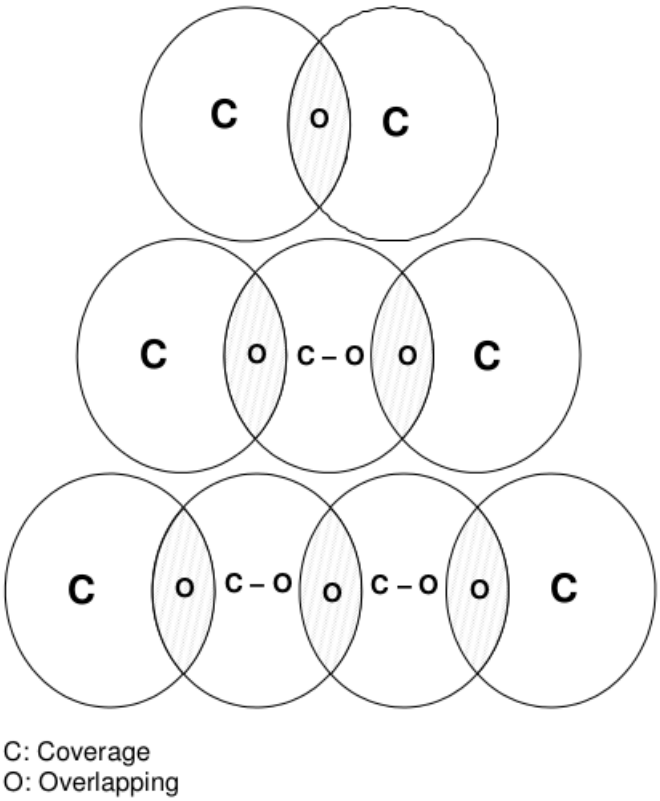
$$Overlapping_{percentage} = \frac{50 * (\#antennas - 1)}{2 * \#antennas + 1}$$

Num of Readers	Overlapping Percentage (%)	Num of Readers	Overlapping Percentage (%)
2	10%	7	20%
3	14.3%	8	20.5%
4	16.6%	9	21.05%
5	18.8%	10	21.42%
6	19.23%	11+	21.7%-24%

Πίνακας Β΄.2: Πρόταση Τιμών ποσοστό επικάλυψης



Σχήμα Β΄.1: Ιδανική περίπτωση κάλυψης χώρου χωρίς ποσοστό επικάλυψης



Σχήμα Β΄.2: Σε αυτό το σχήμα φαίνεται ο τρόπος που κατανέμεται το ποσό κάλυψης και επικάλυψης όταν το ποσοστό επικάλυψης είναι 10%