



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

*Σχεδίαση και ανάλυση UWB κεραιών με τη χρήση του
λογισμικού πακέτου προσομοίωσης SuperNEC.
Βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών της κεραίας με τη
χρήση των γενετικών αλγορίθμων.*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κόλλια Λ. Ελένη

Αρ. Μητρώου: 03105658

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

*Σχεδίαση και ανάλυση UWB κεραιών με τη χρήση του
λογισμικού πακέτου προσομοίωσης SuperNEC.
Βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών της κεραίας με τη
χρήση των γενετικών αλγορίθμων.*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κόλλια Λ. Ελένη

Αρ. Μητρώου: 03105658

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 10^η Μαρτίου 2010.

.....

Χ. Καψάλης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Φ. Κωνσταντίνου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Π. Κωττής
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2010

.....

Κόλλια Λ. Ελένη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κόλλια Λ. Ελένη, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η χρήση των γενετικών αλγορίθμων επιτρέπει την επίλυση συνδυαστικών και αλληλοεξαρτώμενων προβλημάτων βελτιστοποίησης. Έτσι, είναι δυνατή η εύρεση της βέλτιστης λύσης για ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η ανάλυση μιας κεραίας με την χρήση του λογισμικού πακέτου προσομοίωσης Super Numerical Electromagnetics Code (SuperNEC) και η βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών της, με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων.

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελείται από δυο μέρη. Το πρώτο μέρος αναφέρετε στην θεωρητική παρουσίαση των γενετικών αλγορίθμων, των ultra wideband κεραιών καθώς και στη δομή της κεραίας που θα εξεταστεί. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται τόσο το πακέτο προσομοίωσης Super Numerical Electromagnetics Code όσο και η σχεδίαση της κεραίας τις οποίας τα βέλτιστα χαρακτηριστικά επιτεύχθηκαν με τη χρήση των γενετικών αλγορίθμων.

Επιπλέον, η βελτιστοποίηση της δομής, η οποία είναι μία ευρυζωνική κεραία και συγκεκριμένα βασίζεται στην Planar Inverted F Antenna, θα πραγματοποιηθεί αλλάζοντας τις διαστάσεις της και συγκριμένα αλλάζοντας τις διαστάσεις της άνω πλάκας, του κάτω επιπέδου, του τροφοδοτούμενου σύρματος και μιας ορθογώνιας κατασκευής χρησιμοποιώντας τους Γενετικούς Αλγορίθμους. Η δομή αυτή επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης του προγράμματος Matlab 6.5 ® της εταιρίας Mathworks.

Λέξεις κλειδιά: ευρυζωνικές εφαρμογές, PIFA κεραία, γενετικοί αλγόριθμοι, λόγος τάσεως στάσιμου κύματος, διάγραμμα ακτινοβολίας, πακέτο προσομοίωσης SuperNEC.

Abstract

The genetic algorithms use allows the resolution of combinational and interdependent problems of optimisation. Thus, it is possible to find the most optimal solution within a huge number of variables.

The aim of this dissertation is to plan and analyse of an antenna using the simulation program Super Numerical Electromagnetics Code (SuperNEC) and the optimisation of its characteristics, by applying genetic algorithms.

This diploma thesis is constituted by two parts. The first part reports the theoretical presentation of genetic algorithms, ultra wideband antennas as well as the structure of the examined antenna. In the second part, the simulation program Super Numerical Electromagnetics Code is presented. Furthermore, the designing of the antenna takes place and the antenna is optimized, as far as its characteristics are concerned, by the use of genetic algorithms.

Moreover, the optimisation of this broadband antenna structure, which is based on Planar Inverted F Antenna, will be accomplished by changing the dimensions of the top plate, the ground plane, the feed wire and the shorting strip using Genetic Algorithms. This structure was made by using the Matlab 6.5 ® Mathworks company.

Key words: ultra wideband applications, PIFA antenna, genetic algorithms, VSWR, radiation pattern, SuperNEC.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Χ. Καψάλη, καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τις πολύτιμες συμβουλές και χρήσιμες διορθώσεις του. Χωρίς την ουσιαστική βοήθεια του θα ήταν αδύνατη η περάτωση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κύρια Χρ. Τσιτούρη, υποψήφια διδάκτορα ΕΜΠ, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις της, τη μεγάλη βοήθεια καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές της στο επίπεδο, που αφορά απαραίτητες γνώσεις, για την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων	10
Σχήματα	13
Κεφάλαιο 1 ^ο	17
Εισαγωγή	17
Κεφάλαιο 2 ^ο	20
Γενετικοί Αλγόριθμοι	20
2.1 Εισαγωγή	20
2.3 Εξελικτικοί αλγόριθμοι και χρησιμότητα	24
2.4 Ορολογία	26
2.5 Διαδικασία απλού γενετικού αλγορίθμου	28
2.6 Μέθοδοι Επιλογής	29
2.6.1 Μέθοδος με αποδεκίαση πληθυσμού	29
2.6.2 Αναλογική επιλογή	31
2.6.3 Μέθοδος ομίλων	32
2.6.4 Διαβάθμιση Σίγμα	32
2.6.5 Ελιτισμός	33
2.6.6 Επιλογή Μπόλτσμαν	33
2.6.7 Ιεραρχική επιλογή	33
2.7 Διασταύρωση και μετάλλαξη	34
2.7.1 Διασταύρωση	34
2.7.2 Μετάλλαξη	36
2.8 Εξέλιξη και αναζήτηση	37
2.9 Λειτουργία γενετικών αλγορίθμων	38
2.9.1 Θεωρία Σχημάτων	39
2.9.2 Υπόθεση δομικών τετραγώνων	41
2.10 Γενετικοί αλγόριθμοι και παραδοσιακές τεχνικές αναζήτησης	42
2.11 Παραλληλισμός στους γενετικούς αλγορίθμους	42
2.11.1 Ολικές τεχνικές γενετικών αλγορίθμων	42
2.11.2 Τεχνικές μετανάστευσης γενετικών αλγορίθμων	43
2.11.3 Τεχνικές διάχυσης	45
2.12 Επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης	46
2.13 Χρήση γενετικών αλγορίθμων σε προβλήματα κεραιών	46
Κεφάλαιο 3 ^ο	48

Ultra-Wideband Κεραίες	48
3.1 Εισαγωγή.....	48
3.2 Ιστορική Αναδρομή	51
3.3 Πλεονεκτήματα των UWB	55
3.4 Μειονεκτήματα των UWB	56
3.5 Μεγάλο απόλυτο και σχετικό εύρος.....	57
3.5.1 Μεγάλο απόλυτο εύρος.....	57
3.5.2 Μεγάλο σχετικό εύρος.....	60
3.6 UWB Σήματα και Συστήματα.....	61
3.6.1 Impulse radio	61
3.6.2 Απευθείας Σύστημα Πολλαπλής Προσπέλασης με Διαίρεση κώδικα (DS-SS) (DS-SSSS)	66
3.6.3 Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας - OFDM	67
3.6.4 Διαπήδηση Συχνότητας - Frequency Hopping.....	68
3.7 Επιτρεπόμενες Συχνότητες – Frequency regulations	70
3.8 UWB Κεραίες	71
3.8.1 Εισαγωγή.....	71
3.8.2 UWB Πομπός	72
3.8.3 UWB Δέκτης	73
3.8.4 Περιγραφή του συστήματος κεραιών.....	74
3.8.5 Single-Band and Multiband Σχήματα	77
3.9 Εφαρμογές.....	79
Κεφάλαιο 4 ^ο	82
Επίπεδη Ανεστραμμένη F Κεραία (PIFA-Planar Inverted F Antenna)	82
4.1 Εισαγωγή.....	82
4.2 Ιστορική αναδρομή των UWB κεραιών	82
4.3 Περιγραφή της επίπεδης κεραίας	88
4.4 Περιγραφή της κεραίας PIFA.....	89
4.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης της PIFA κεραίας	92
Κεφάλαιο 5 ^ο	95
SuperNEC.....	95
5.1 Εισαγωγή.....	95
5.2 Ιστορική Αναδρομή	95
5.3 Η ανάπτυξη του SuperNEC.....	96
5.4 Διεπαφή Εισόδου Χρήστη	97
5.5 Κατασκευή των δομών τύπου assembly	100

5.6	Συγγραφή του κώδικα της δομής	104
5.7	Ρυθμίσεις Προσομοίωσης	107
5.7.1	Ορισμός των συχνοτήτων προσομοίωσης	108
5.7.2	Επιλογή του πυρήνα (kernel)	108
5.7.3	Καθορισμός του εύρους αλληλεπίδρασης (interaction range)	108
5.7.4	Απαιτούμενα ρεύματα και φορτία	109
5.7.5	Ορισμός των αλληλεπιδράσεων UTD (UTD interactions)	109
5.7.6	Καθορισμός μιας εξωτερικής διέγερσης	111
5.7.7	Διαγράμματα κοντινού πεδίου	112
5.7.8	Διάγραμμα ακτινοβολίας	112
5.7.8.1	Διάγραμμα χωρικών κυμάτων (λαμβάνοντας υπόψη ότι οι πηγές τάσης έχουν εφαρμοστεί στη δομή)	113
5.7.8.2	Διάγραμμα χωρικών κυμάτων (λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει εξωτερική διέγερση της δομής)	115
5.7.8.3	Διάγραμμα επιφανειακών κυμάτων	115
5.7.9	Ρυθμίσεις της μεθόδου επίλυσης	116
5.7.10	Έλεγχος της δομής	117
5.7.11	Έλεγχος μέσω του SuperNEC	121
5.7.12	Διεπαφή εξόδου	122
	Κεφάλαιο 6°	125
	Σχεδιασμός κεραίας PIFA με χρήση του SuperNEC	125
6.1	Περιγραφή της δομής	125
6.2	Διαδικασία εφαρμογής	126
6.3	Αριθμητικά αποτελέσματα	129
6.4	Συμπεράσματα	138
	Παράρτημα	139
	Βιβλιογραφία	171

Σχήματα

Σχήμα 1.1 Γενικό πρότυπο ενός συστήματος επικοινωνιών	18
Σχήμα 1.2 UWB και κλασματικό εύρος φάσματος	19
Σχήμα 2.1 Γονίδια και χρωμοσώματα	27
Σχήμα 2.2 Βασικός Εξελικτικός Κύκλος	29
Σχήμα 2.3 Μέθοδος αποδεκίτισης πληθυσμού.....	30
Σχήμα 2.4 Μέθοδος ρουλέτας.....	31
Σχήμα 2.5 Μέθοδος ομιλών	32
Σχήμα 2.6 Διασταύρωση ενός σημείου	35
Σχήμα 2.7 Διασταύρωση δύο σημείων.....	36
Σχήμα 2.8 Ενιαία διασταύρωση	36
Σχήμα 2.9 Μετάλλαξη-Αντιστροφή ενός ψηφίου.....	37
Σχήμα 2.10 Μετάλλαξη-Επιλογή και εναλλαγή δύο ψηφίων	37
Σχήμα 2.11 Μετάλλαξη-Τυχαία αλλαγή τιμής	37
Σχήμα 2.12 Τρισδιάστατος (κυβικός) χώρος	39
Σχήμα 2.13 Ολικές τεχνικές γενετικών αλγορίθμων.....	43
Σχήμα 2.14 Τοπολογία Μετανάστευσης-Δακτυλίδι	44
Σχήμα 2.15 Τοπολογία γειτονικής μετανάστευσης.....	44
Σχήμα 2.16 Μη-αυστηρή τοπολογία μετανάστευσης	45
Σχήμα 2.17 Τεχνικές διάχυσης	45
Σχήμα 3.1 UWB-μεταξύ φυσικού επιπέδου και στρώματος ζεύξης δεδομένων.....	49
Σχήμα 3.2 Εύρος και ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των πιο δημοφιλών ασύρματων τεχνολογιών.....	50
Σχήμα 3.3 OFDM σε UWB σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.3a.....	51
Σχήμα 3.4 Παρεμβολές μεταξύ ενός UWB συστήματος και ενός συστήματος στενής ζώνης (IEEE 802.11a) σε τοπικό δίκτυο	58
Σχήμα 3.5 Ποικιλία στην καθυστέρηση σε ένα UWB σύστημα	59
Σχήμα 3.6 Αρχή του time-hopping impulse radio για την καταστολή των καταστροφικών συγκρούσεων	62
Σχήμα 3.7 Rake receiver με πέντε 'δάκτυλα'	64
Σχήμα 3.8 Σχηματικό διάγραμμα του δέκτη (transmitted-reference receiver).....	66
Σχήμα 3.9 Πολύπλεξη CDMA	67
Σχήμα 3.10 Πολύπλεξη και αποπολύπλεξη με OFDM: εφαρμογή σε αναλογικά σήματα (α) και εφαρμογή σε ψηφιακά σήματα (β)	68
Σχήμα 3.11 Αναπήδηση συχνότητα στην πολλαπλή προσπέλαση (multiple access) με σύγχρονους (α) και ασύγχρονους (β)	69
Σχήμα 3.12 FCC μάσκες για διαφορετικά περιβάλλοντα	71
Σχήμα 3.13 Σχηματικό διάγραμμα πομπού	72
Σχήμα 3.14 Σχηματικό διάγραμμα OFDM πομπού	73
Σχήμα 3.15 Σχηματικό διάγραμμα ενός UWB δέκτη	74
Σχήμα 3.16 Ένα σύστημα κεραιών εκπομπής-λήψης.....	75
Σχήμα 3.17 Η εγκατάσταση για τον υπολογισμό της συνάρτησης μεταφοράς των κεραιών μετάδοσης και λήψης	77

Σχήμα 3.18 Παλμοί και φάσμα σε <i>multiband</i> σχήμα: (α) στο πεδίο της συχνότητας (FD), (β) στο πεδίο του χρόνου (TD).....	79
Σχήμα 3.19 Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης με πλοήγηση δορυφόρων ...	81
Σχήμα 3.20 Ένα πιθανό οικιακό δίκτυο με χρήση UWB.	81
Σχήμα 4.1 Η κεραία του Lodge αποτελούμενη από τριγωνικές “περιοχές χωρητικότητας”, που αποτελεί ένα πρόγονο της “bow tie” κεραίας (1898).....	83
Σχήμα 4.2 Η δικωνική κεραία που παρουσίασε ο Lodge (1898).....	83
Σχήμα 4.3 (α) Η δικωνική κεραία του Carter (1939), (β) Το κωνικό μονόπολο του (1939)	84
Σχήμα 4.4 Η βελτιωμένη προσαρμοσμένη δικωνική κεραία του Carter (1939).....	84
Σχήμα 4.5 Κατασκευή με τα στοιχεία που πρότεινε ο Lindenblad (1941).....	84
Σχήμα 4.6 Γεωμετρία μιας επίπεδης διάταξης	89
Σχήμα 4.7 Κεραία PIFA	90
Σχήμα 4.8 Δομή της PIFA κεραίας	90
Σχήμα 4.9 SIFA και οι παράμετροι σχεδιασμού του σε ένα σφαιρικό σύστημα και η κατασκευή του	92
Σχήμα 5.1 Διεπαφή Εισόδου Χρήστη.....	97
Σχήμα 5.2 Το παράθυρο του <i>assembly editor</i>	100
Σχήμα 5.3 Παρουσίαση των επιλογών της μεταβλητής <i>width</i> σε μία τυχαία <i>assembly</i>	103
Σχήμα 5.4 Το παράθυρο που εμφανίζεται κατά το σώσιμο του αρχείου της <i>assembly</i>	103
Σχήμα 5.5 Η <i>sntest assembly</i> με μία ορισμένη παράμετρο.....	104
Σχήμα 5.6 Το πλαίσιο διαλόγου ρύθμισης της προσομοίωσης	107
Σχήμα 5.7 Τμήματα πεδίου που λαμβάνονται υπόψη κατά την συμπλήρωση του πίνακα	110
Σχήμα 5.8 Οι προκαθορισμένες τιμές αλληλεπίδρασης για το συγκεκριμένο στάδιο προσομοίωσης	111
Σχήμα 5.9 Ρυθμίσεις της εξωτερικής διέγερσης	111
Σχήμα 5.10 Ρυθμίσεις για το διάγραμμα του κοντινού πεδίου.....	112
Σχήμα 5.11 Το παράθυρο με τις επιλογές σχετικά με τα διαγράμματα ακτινοβολίας.....	113
Σχήμα 5.12 Παράθυρο για τα επιφανειακά διαγράμματα	116
Σχήμα 5.13 Το παράθυρο επιλογών σχετικά με την μέθοδο επίλυσης.....	117
Σχήμα 5.14 Γειτονικά καλώδια σε κοντινή απόσταση	120
Σχήμα 5.15 Τεμνόμενα καλώδια, Επικαλυπτόμενα καλώδια, Αστοχία λόγω κοντινής απόστασης	120
Σχήμα 5.16 Μια άλλη οπτική τεμνόμενων καλωδίων, επικαλυπτόμενων καλωδίων, αστοχίας λόγω κοντινής απόστασης	121
Σχήμα 5.17 Το παράθυρο ελέγχου της δομής.....	121
Σχήμα 5.18 Το παράθυρο διαλόγου με τα σφάλματα	122
Σχήμα 5.19 Ξεκινώντας την διαδικασία παραγωγής των αποτελεσμάτων.....	122
Σχήμα 5.20 <i>Output viewer</i>	123
Σχήμα 5.21 Η ρευματική κατανομή για μια τυχαία δομή	123
Σχήμα 5.22 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας	124
Σχήμα 5.23 Δισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας	124
Σχήμα 6.1 Δομή της διπλής PIFA	125
Σχήμα 6.2 Επιλογή της δομής από τον <i>GA optimiser</i>	127
Σχήμα 6.3 Ρυθμίσεις για την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων	128

Σχήμα 6.4 Ρυθμίσεις των cost settings	128
Σχήμα 6.5 Ρύθμιση της συχνότητας προσομοίωσης	129
Σχήμα 6.6 Τελική βελτιστοποιημένη κεραία	130
Σχήμα 6.7 Οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας της διπλής PIFA (α) στα 3400MHz πάνω αριστερά, (β) στα 3800MHz πάνω δεξιά, (γ) στα 3600MHz κάτω αριστερά και (δ) στα 4000MHz κάτω δεξιά	131
Σχήμα 6.8 Το VSWR στην περιοχή από 3300-4300 MHz	132
Σχήμα 6.9 Βελτιστοποιημένη δομή διπλής PIFA	133
Σχήμα 6.10 Μεταβολή του VSWR στη συχνοτική μπάντα των 5.1GHz.....	134
Σχήμα 6.11 Οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας της διπλής PIFA (α) στα 3400MHz πάνω αριστερά, (β) στα 3800MHz πάνω δεξιά, (γ) στα 3600MHz κάτω αριστερά και (δ) στα 4000MHz κάτω δεξιά	135

Μέρος 1^ο

Κεφάλαιο 1^ο

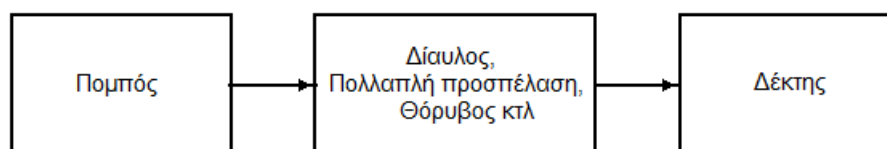
Εισαγωγή

Τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών έχουν εξελιχθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών. Η με εκρηκτικούς ρυθμούς ανάπτυξη της αγοράς της ασύρματης επικοινωνίας αναμένεται ότι θα συνεχιστεί στο μέλλον, δεδομένου ότι το ενδιαφέρον γύρω από όλους τους τύπους ασύρματων υπηρεσιών αυξάνεται. Οι νέες γενεές των ασύρματων κινητών συστημάτων (wireless mobile radio systems) στοχεύουν στην παροχή ευέλικτων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων (συμπεριλαμβανομένων των υψηλών, μέσων, και χαμηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων) και σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών (όπως βίντεο, δεδομένα, διακύμανση) στους κινητούς χρήστες εξυπηρετώντας όσο το δυνατόν περισσότερους. Αυτός ο στόχος, εντούτοις, πρέπει να επιτευχθεί παρόλο τον περιορισμό των διαθέσιμων πόρων όπως το φάσμα και η ισχύς. Καθώς όλο και περισσότερες συσκευές γίνονται ασύρματες, οι μελλοντικές τεχνολογίες καλούνται να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της φασματικής συσσώρευσης, καθώς και αυτό της συνύπαρξης των ασύρματων συσκευών. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη την περιορισμένη διαθεσιμότητα εύρους ζώνης, το να εξυπηρετηθεί η απαίτηση για υψηλότερη χωρητικότητα και για μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων είναι ένας προκλητικός στόχος, που απαιτεί καινοτόμες τεχνολογίες ικανές να συνυπάρξουν με τις συσκευές που λειτουργούν στις διάφορες ζώνες συχνοτήτων.

Οι πραγματικοί στόχοι των UWB συστημάτων είναι η εκπομπή σε χαμηλή ισχύ, η επίτευξη του χαμηλότερου δυνατού κόστους, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων, η ικανότητα προσδιορισμού ακριβούς θέσης και η εξαιρετικά χαμηλή παρεμβολή. Αν και τα UWB συστήματα είναι ακόμα σε πρώιμο επίπεδο, η εξέλιξη στην τεχνολογία και οι απαιτήσεις οδηγούν στην εισαγωγή των συστημάτων αυτών στην ασύρματη βιομηχανία σήμερα. Η UWB τεχνολογία είναι διαφορετική από τη συμβατική στενής ζώνης (narrowband) ασύρματη τεχνολογία καθώς μεταδίδει τα UWB σήματα σε ένα πολύ ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Το χαρακτηριστικό ημιτονοειδές ραδιοκύμα των narrowband συστημάτων αντικαθίσταται από μία ακολουθία εκατοντάδων εκατομμυρίων παλμών το δευτερόλεπτο. Το μεγάλο εύρος ζώνης και η

πολύ χαμηλή ισχύς που χαρακτηρίζει τις UWB μεταδόσεις, τις κάνει να εμφανίζονται ως παρασιτικός θόρυβος για τα άλλα συστήματα.

Γενικά, η επικοινωνία μπορεί να οριστεί ως η μετάδοση πληροφοριών από μια πηγή σε έναν παραλήπτη. Σε αυτό το σημείο, αγνοούμε σκόπιμα το είδος πληροφοριών που περιλαμβάνεται στη ροή των ψηφιακών δεδομένων και δεν χρησιμοποιούμε πρωτόκολλα ελέγχου πρόσβασης μέσων (media access control, MAC), κωδικοποίηση, ή αναμετάδοση προκειμένου να μειώσουμε τα λάθη. Επικεντρωνόμαστε σε αυτό που είναι συνήθως γνωστό ως φυσικό επίπεδο στη στοίβα πρωτοκόλλων σύμφωνα με το πρότυπο ISO.



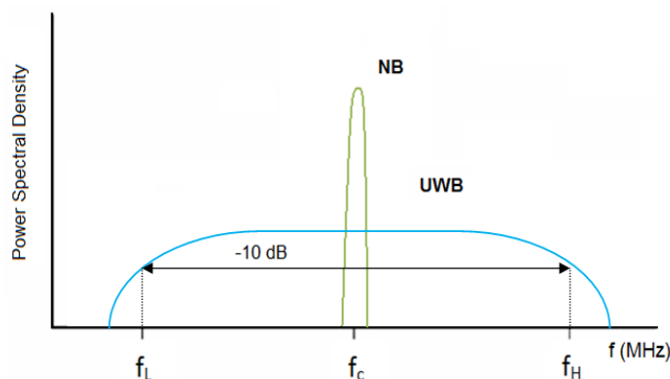
Σχήμα 1.1 Γενικό πρότυπο ενός συστήματος επικοινωνιών

Ένα γενικό πρότυπο ενός συστήματος επικοινωνιών παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.

Οι τρεις βασικές οντότητες είναι οι ακόλουθες:

- Ο *πομπός*, του οποίου ο αρχικός στόχος είναι να ομαδοποιηθούν τα ψηφία σε σύμβολα, για να αντιστοιχίσει αυτά τα σύμβολα σε μία αναλογική κυματομορφή, και έπειτα να τα μεταδώσει μέσω της κεραίας.
- Ο *δίαυλος*, που αντιπροσωπεύει τις επιπτώσεις λόγω της διάδοσης στο περιβάλλον, όπου συμπεριλαμβάνονται οι ανακλάσεις και οι παραμορφώσεις καθώς οι ηλεκτρομαγνητικοί παλμοί προσκρούουν σε άλλα αντικείμενα.
- Ο *δέκτης*, ο οποίος συλλέγει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από την κεραία, παίρνει το εξαιρετικά αδύνατο σήμα, αναδημιουργεί τη μορφή του παλμού, και την αντιστοιχεί στα κατάλληλα σύμβολα και έπειτα τα σύμβολα στο δυαδικό bitstream.

Τα UWB σήματα μπορούν να οριστούν ως σήματα που έχουν εύρος ζώνης μεγαλύτερο από το 25% της κεντρικής τους συχνότητας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.2, ή αλλιώς σήματα που έχουν συνολικό bandwidth μεγαλύτερο από 500 MHz. Οι συσκευές UWB συχνά εκπέμπουν σε συχνότητες μεταξύ 3.1 και 10.6 GHz.



Σχήμα 1.2 UWB και κλασματικό εύρος φάσματος

Το κλασματικό εύρος (fractional bandwidth) B_f ορίζεται όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση

$$B_f = 2 \frac{(f_h - f_L)}{(f_h + f_L)} \quad (1.1)$$

όπου f_h είναι η υψηλότερη και f_L η χαμηλότερη συχνότητα που παρατηρείται στο σύστημα.

Έτσι, μαζί με την εξέλιξη των UWB, η εξέλιξη των ασύρματων φορητών τερματικών συσκευών για υπηρεσίες φωνής και δεδομένων είναι αυξανόμενη όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω. Η απαίτηση, λοιπόν, για αύξηση του εύρους ζώνης με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των διαστάσεων και αύξηση της εργονομίας οδηγεί στην κατασκευή ομοιοκατευθυντικών ακτινοβολητών χαμηλού προφίλ με ευκολία στη σχεδίαση.

Μια μεγάλη ποικιλία κατευθυντικών και μη κεραιών είναι κατάλληλη για χρήση σε UWB εφαρμογές. Ένα τέτοιο παράδειγμα κεραίας αποτελεί η δομή που θα κατασκευαστεί στην παρούσα διπλωματική εργασία η οποία είναι μία δομή βασισμένη στη Planar Inverted F Antenna (PIFA). Η δομή κατασκευάστηκε με τη χρήση της Matlab. Ο αντίστοιχος κώδικας υπάρχει στο παράρτημα της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση της δομής αλλάζοντας τις διαστάσεις της και συγκριμένα αλλάζοντας τις διαστάσεις της άνω πλάκας (top plate), του κάτω επιπέδου (ground plate), του καλωδίου με την τροφοδοσία (feed wire) και του shorting strip χρησιμοποιώντας Γενετικούς Αλγορίθμους (GA). Το πακέτο προσομοίωσης Super Numerical Electromagnetics Code (SuperNEC) το οποίο βασίζεται στη μέθοδο των ροπών (Method of Moments-MoM), χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μίας βελτιστοποιημένης κεραίας, δεδομένης της απαίτησης για λειτουργία σε μεγάλο εύρος ζώνης. Οι παράμετροι που καλούνται να βελτιστοποιηθούν εξαρτώνται από το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στην συχνότητα που εξετάζεται κάθε φορά διατηρώντας έτσι το ηλεκτρικό μέγεθος της δομής σταθερό.

Κεφάλαιο 2^ο

Γενετικοί Αλγόριθμοι

2.1 Εισαγωγή

Σε αρκετές περιπτώσεις το μέγεθος ενός προβλήματος καθιστά απαγορευτική τη χρήση κλασικών μεθόδων αναζήτησης για την επίλυσή του. Στις περιπτώσεις αυτές βρίσκουν εφαρμογή πιθανοκρατικοί αλγόριθμοι οι οποίοι αν και δεν εγγυώνται την εύρεση της βέλτιστης λύσης, είναι ικανοί να επιστρέψουν μια αρκετά καλή λύση σε εύλογο χρονικό διάστημα. Μια κατηγορία τέτοιων αλγορίθμων επίλυσης προβλημάτων είναι οι *γενετικοί αλγόριθμοι* (*genetic algorithms*), των οποίων ο βασικός μηχανισμός είναι εμπνευσμένος από τη Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης (*evolution theory*). Οι γενετικοί αλγόριθμοι εκτελούν μία αναζήτηση στο χώρο των υποψηφίων λύσεων, με στόχο την εύρεση αποδεκτών, σύμφωνα με κάποιο κριτήριο, λύσεων. Ένα παράδειγμα χρήσης του γενετικού αλγορίθμου είναι το πρόβλημα υπολογισμού των πρωτεϊνών με μηχανιστικές μεθόδους (*computational protein engineering*), στο οποίο χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος ο οποίος ψάχνει, ανάμεσα σε ένα μεγάλο πλήθος από πιθανές ακολουθίες αμινοξέων, αυτά που ανήκουν σε μια πρωτεΐνη με συγκεκριμένες ιδιότητες. Ένα άλλο παράδειγμα αποτελεί η αναζήτηση και η εύρεση ενός συνόλου κανόνων ή εξισώσεων που θα μας προβλέψουν τα скаμπανεβάσματα μιας οικονομίας.

Η θεωρία της εξέλιξης βασίζεται στον κανόνα της φυσικής επιλογής. Οι οργανισμοί που δε μπορούν να επιβιώσουν στο περιβάλλον τους πεθαίνουν, ενώ οι υπόλοιποι πολλαπλασιάζονται μέσω της αναπαραγωγής. Οι απόγονοι παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις από τους προγόνους τους, ενώ συνήθως υπερισχύουν αυτοί που συγκεντρώνουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά. Σποραδικά συμβαίνουν τυχαίες μεταλλάξεις, οι περισσότερες από τις οποίες οδηγούν τα μεταλλαγμένα άτομα στο θάνατο. Πολύ σπάνια, οι μεταλλάξεις μποτούν να οδηγήσουν στη δημιουργία νέων "καλύτερων" οργανισμών. Αν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αργούς ρυθμούς, τα διάφορα είδη μπορούν να εξελίσσονται σταδιακά ώστε να προσαρμόζονται σε αυτό.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι, όπως έχει ειπωθεί, διατηρούν έναν πληθυσμό πιθανών λύσεων του προβλήματος πάνω στον οποίο δουλεύουν, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αναζήτησης που επεξεργάζονται ένα μόνο σημείο του διαστήματος αναζήτησης. Έτσι η αναζήτηση των λύσεων λαμβάνει χώρα σε πολλές κατευθύνσεις και η καταγραφή και ανταλλαγή πληροφοριών γίνεται μεταξύ αυτών των κατευθύνσεων. Σε κάθε γενιά, οι σχετικά "επιθυμητές/αποδεκτές" λύσεις αναπαράγονται, ενώ οι σχετικά "ανεπιθύμητες/μη-αποδεκτές" απομακρύνονται. Ο διαχωρισμός και η αποτίμηση των διαφόρων λύσεων γίνεται με την βοήθεια μιας *αντικειμενικής συνάρτησης (objective ή fitness function)*, η οποία παίζει το ρόλο του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο εξελίσσεται ο πληθυσμός. Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως είσοδο ένα χρωμόσωμα και επιστρέφει έναν αριθμό, συνήθως στο διάστημα από 0 έως 1, που υποδηλώνει το πόσο κατάλληλο είναι. Η αξιολόγηση αυτή χρησιμοποιείται είτε από τη συνθήκη τερματισμού ή από τη διαδικασία της πιθανοκρατικής επιλογής τους για το αν θα συμπεριληφθούν στον πληθυσμό της επόμενης γενιάς.

Παρακάτω αναφέρεται συνοπτικά, η δομή ενός απλού γενετικού αλγόριθμου, όπως παρουσιάστηκε από τον Michalewicz το 1996. Αρχικά, ο γενετικός αλγόριθμος διατηρεί ένα πληθυσμό $P(t)$ από n πιθανές λύσεις (individuals) κατά την διάρκεια μίας γενιάς t : $P(t) = \{x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t\}$. Κάθε οντότητα/άτομο (individual) x_i^t αποτιμάται και δίνει ένα μέτρο της καταλληλότητάς του. Αφού ολοκληρωθεί η αποτίμηση όλων των μελών του πληθυσμού, δημιουργείται ένας νέος πληθυσμός (επόμενη γενιά ή γενιά $t+1$) που προκύπτει από την επιλογή των πιο κατάλληλων στοιχείων του πληθυσμού της προηγούμενης γενιάς. Μέλη από τον καινούργιο αυτό πληθυσμό υφίστανται αλλαγές με την βοήθεια των γενετικών διαδικασιών της *διασταύρωσης* και της *μετάλλαξης* και σχηματίζονται, έτσι, νέες πιθανές λύσεις. Η διασταύρωση συνδυάζει τα στοιχεία των χρωμοσωμάτων δύο γονέων για να δημιουργήσει δύο νέους απογόνους ανταλλάσσοντας κομμάτια από τους γονείς και σε γενικές γραμμές εξυπηρετεί την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών πιθανών λύσεων. Η διαδικασία της μετάλλαξης αλλάζει αυθαίρετα ένα ή περισσότερα γονίδια ενός συγκεκριμένου χρωμοσώματος και λαμβάνει χώρα με πιθανότητα ίση με το *ρυθμό μετάλλαξης* (mutation rate). Έτσι, παρατηρείται ότι η μετάλλαξη εξυπηρετεί την εισαγωγή νέων πιθανών λύσεων, διαφορετικών από τις υπάρχουσες, στον ήδη υπάρχοντα πληθυσμό.

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι ένας γενετικός αλγόριθμος για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα αποτελείται από πέντε συστατικά:

- Δημιουργία αρχικού πληθυσμού ο οποίος συνήθως δημιουργείται τυχαία.

- Αναπαράσταση των λύσεων.
- Μια αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης των μελών του πληθυσμού, μέσω της συνάρτησης καταλληλότητας.
- Επιλογή γονέων, δηλαδή γενετικών τελεστών για τη δημιουργία νέων μελών-λύσεων.
- Διαδικασία αναπαραγωγής δηλαδή τιμές για τις διάφορες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται.

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Τη δεκαετία του 1950 και του 1960 πολλοί επιστήμονες μελέτησαν τη Θεωρία της εξέλιξης (evolutionary systems) σκεπτόμενοι ότι η θεωρία της εξέλιξης μπορούσε να βοηθήσει ως ένα εργαλείο βελτιστοποίησης όσον αφορά στα προβλήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί. Η κύρια ιδέα σε αυτά τα συστήματα είναι να αναπτυχθεί ένας πληθυσμός υποψήφιων λύσεων ενός δεδομένου προβλήματος, χρησιμοποιώντας όρους εμπνευσμένους από τους μηχανισμούς της βιολογικής εξέλιξης που απαντώνται στη φύση.

Στην δεκαετία των 60, ο Rechenberg (1965,1973) εισήγαγε “στρατηγικές εξέλιξης”, μια μέθοδο που χρησιμοποίησε για να βελτιστοποιήσει πραγματικές παραμέτρους για συσκευές (real-valued parameters). Αυτή η ιδέα αναπτύχθηκε περισσότερο από τον Schwefel (1975,1977). Το πεδίο της θεωρίας της εξέλιξης παρέμενε στο προσκήνιο της έρευνας που κυρίως αναπτυσσόταν χωριστά από το πεδίο των γενετικών αλγορίθμων, παρόλο που αργότερα άρχισαν να συνδέονται. Οι Fogel, Owens και Walsh (1966) ανέπτυξαν τον “εξελικτικό προγραμματισμό” (evolutionary programming), μια τεχνική στην οποία οι υποψήφιες λύσεις παρουσιάζονται ως πεπερασμένες καταστάσεις οι οποίες δημιουργούνται από τυχαία μετάλλαξη και γίνεται η επιλογή της καταλληλότερης. Ο συνδυασμός των στρατηγικών εξέλιξης και του εξελικτικού προγραμματισμού με τους γενετικούς αλγορίθμους σχηματίζουν τη βάση του πεδίου που σχετίζεται με τους εξελικτικούς υπολογισμούς.

Πολλοί ακόμη εργάστηκαν αναπτύσσοντας τους εξελικτικούς αλγόριθμους για να επιτύχουν βελτιστοποίηση και machine learning. Ο Box(1957), ο Friedman (1959), ο Bledsoe (1961), ο Bremermann (1962), και οι Reed, Toombs, και Baricelli (1967), όλοι, εργάστηκαν σε αυτό τον τομέα, παρόλο που η δουλειά τους ήταν σε πρώιμο επίπεδο σε σχέση με την δουλειά αυτών που ακολούθησαν. Επίσης, πολλοί βιολόγοι χρησιμοποίησαν υπολογιστές για να εξομοιώσουν την εξέλιξη των πειραμάτων. Η

εξελικτική μέθοδος έκανε ήδη την εμφάνιση της στα πρώτα χρόνια του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι εισήχθησαν πρώτα από τον John Holland στη δεκαετία των 60 και αναπτύχθηκαν από τον ίδιο και τους συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν το 1960 με 1970. Ο στόχος της μελέτης που διεξήχθη δεν ήταν να σχεδιαστούν αλγόριθμοι που θα λύνουν συγκεκριμένα προβλήματα, αλλά να μελετήσει επίσημα πλέον το φαινόμενο της προσαρμογής (*phenomenon of adaptation*) όπως αυτό συμβαίνει στη φύση και να αναπτύξει τρόπους με τους οποίους να μπορέσει να υιοθετηθεί η προσαρμογή ως μηχανισμός στα υπολογιστικά συστήματα. Ο Holland στο βιβλίο που έγραψε το 1975 με τίτλο *Adaptation in Natural and Artificial Systems* παρουσίασε τους γενετικούς αλγόριθμους σαν μία διασκευή της βιολογικής εξέλιξης (*biological evolution*) και έδωσε τις θεωρητικές αρχές της προσαρμογής μέσω των γενετικών αλγορίθμων. Σύμφωνα με τον Holland οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μια μέθοδο μετακίνησης από ένα πληθυσμό “χρωμοσωμάτων” όπως για παράδειγμα συμβολοσειρές από ένα και μηδέν, σε ένα νέο πληθυσμό χρησιμοποιώντας κάποιο είδος φυσικής επιλογής των ικανότερων μαζί με τους γενετικά εμπνευσμένους τελεστές της διασταύρωσης, μετάλλαξης και αντιστροφής. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από «τα γονίδια» (π.χ., bits), κάθε γονίδιο είναι ένα στιγμιότυπο ενός συγκεκριμένου «αλληλόμορφου γονιδίου» (π.χ., 0 ή 1). Ο τελεστής επιλογής επιλέγει εκείνα τα χρωμοσώματα του πληθυσμού που τους έχει επιτραπεί να αναπαραχθούν, και κατά μέσον όρο τα καταλληλότερα χρωμοσώματα παράγουν περισσότερους απογόνους σε σχέση με τα λιγότερο κατάλληλα. Η διασταύρωση ανταλλάσσει τα τμήματα από δύο χρωμοσώματα, κατά προσέγγιση μιμούμενος το βιολογικό επανασυνδυασμό μεταξύ δύο μονόκλωνων (“haploid”) οργανισμών. Η μετάλλαξη αλλάζει τυχαία τις τιμές των θέσεων στο χρωμόσωμα αλληλόμορφων γονιδίων και η αντιστροφή αντιστρέφει τη διάταξη ενός παρακείμενου τμήματος του χρωμοσώματος, ρυθμίζοντας κατά συνέπεια εκ νέου τη διάταξη στην οποία τα γονίδια παρατάσσονται.

Η εισαγωγή του Holland στους αλγόριθμους βασισμένους στη διασταύρωση, αντιστροφή, και τη μετάλλαξη ήταν μια σημαντική καινοτομία. Επιπλέον, ο Holland ήταν ο πρώτος που προσπάθησε να βάλει την υπολογιστική εξέλιξη σε μια σταθερή θεωρητική βάση. Μέχρι σήμερα αυτή η θεωρητική απόδειξη, βασισμένη στην έννοια «των σχημάτων» αποτέλεσε τη βάση σχεδόν όλης της επόμενης θεωρητικής εργασίας για τους γενετικούς αλγόριθμους.

Εδώ και αρκετά χρόνια έχει υπάρξει διαδεδομένη αλληλεπίδραση μεταξύ των ερευνητών που μελετούν τις διάφορες εξελικτικές μεθόδους υπολογισμού, και τα όρια μεταξύ γενετικών αλγορίθμων, στρατηγικών εξέλιξης, εξελικτικού προγραμματισμού,

και άλλων εξελικτικών προσεγγίσεων, οι οποίες έχουν αναλυθεί ως ένα ορισμένο βαθμό. Σήμερα, οι ερευνητές χρησιμοποιούν συχνά τον όρο «γενετικός αλγόριθμος» για να περιγράψουν κάτι τελείως διαφορετικό από αυτό που είχε ορίσει ο Holland.

2.3 Εξελικτικοί αλγόριθμοι και χρησιμότητα

Στους ερευνητές που ασχολούνται με εξελικτικές μεθόδους και υπολογισιμότητα, οι μηχανισμοί της εξέλιξης φαίνονται κατάλληλοι για μερικά από τα πιο επίπονα υπολογιστικά προβλήματα σε πολλούς τομείς. Πολλά υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν αναζήτηση μέσα από ένα τεράστιο αριθμό δυνατών λύσεων. Ένα παράδειγμα είναι το πρόβλημα της υπολογιστικής πρωτεϊνικής εφαρμοσμένης μηχανικής, στην οποία απαιτείται ένας αλγόριθμος που θα ψάξει στον απέραντο αριθμό πιθανών ακολουθιών αμινοξέων για μια πρωτεΐνη με τις συγκεκριμένες ιδιότητες. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η αναζήτηση ενός συνόλου κανόνων ή εξισώσεων που θα προβλέψει скаμπανεβάσματα μιας χρηματιστικής αγοράς, όπως αυτή για το ξένο νόμισμα. Τέτοια προβλήματα αναζήτησης μπορούν συχνά να επωφεληθούν από μια αποτελεσματική χρήση του παραλληλισμού, στην οποία πολλές διαφορετικές δυνατότητες διερευνούνται ταυτόχρονα με έναν αποδοτικό τρόπο. Παραδείγματος χάριν, στην έρευνα για τις πρωτεΐνες με τις συγκεκριμένες ιδιότητες, αντί να αξιολογείται μια ακολουθία αμινοξέων τη φορά, θα ήταν πολύ γρηγορότερο να αξιολογήσει πολλές ταυτόχρονα. Αυτό που απαιτείται είναι υπολογιστικός παραλληλισμός (δηλ., πολλοί επεξεργαστές που αξιολογούν τις ακολουθίες συγχρόνως) σε συνδυασμό με μια ευφυή στρατηγική για την επιλογή του επόμενου συνόλου ακολουθιών που θα αξιολογηθούν.

Πολλά υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν ένα πρόγραμμα υπολογισμού προκειμένου να είναι προσαρμοστικά και να συνεχίσουν να αποδίδουν καλά σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Αυτό απεικονίζεται από τα προβλήματα στον έλεγχο ρομπότ στον οποίο ένα ρομπότ πρέπει να εκτελέσει μια εργασία σε ένα ποικιλόμορφο περιβάλλον μέσω διεπαφών που πρέπει να προσαρμοστούν στην ιδιοσυγκρασία των διαφορετικών χρηστών. Άλλα προβλήματα απαιτούν προγράμματα υπολογισμού που να είναι καινοτόμα έτσι ώστε να κατασκευαστεί κάτι αληθινά νέο και αυθεντικό, όπως ένας νέος αλγόριθμος για μια υπολογιστική εργασία ή ακόμα και μια νέα επιστημονική ανακάλυψη. Τέλος, πολλά υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν σύνθετες λύσεις που θα ήταν δύσκολο να διεκπεραιωθούν χωρίς τη βοήθεια κάποιας υπολογιστικής διαδικασίας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πρόβλημα δημιουργίας τεχνητής νοημοσύνης. Αρχικά, οι ειδικοί

στην τεχνητή νοημοσύνη θεώρησαν ότι θα ήταν απλό να κωδικοποιηθούν οι κανόνες που θα παρείχαν τη νοημοσύνη σε ένα πρόγραμμα· τα έμπειρα συστήματα ήταν ένα αποτέλεσμα αυτής της πρόωρης αισιοδοξίας. Σήμερα, πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι «οι κανόνες» της υποκείμενης νοημοσύνης είναι πολύ σύνθετοι ώστε να κωδικοποιηθούν δια χειρός μία κατερχόμενη διαδικασία, δηλαδή μια διαδικασία όπου ο σχεδιασμός και η κωδικοποίηση προγραμμάτων υπολογιστή χρησιμοποιούν μια ιεραρχική δομή, στην οποία σχετικές λειτουργίες εκτελούνται σε κάθε επίπεδο της δομής. Αντί αυτού θεωρούν ότι η καλύτερη διαδρομή για την τεχνητή νοημοσύνη είναι μέσω μιας προσέγγισης από κάτω προς τα πάνω στην οποία οι άνθρωποι γράφουν μόνοι τους πολύ απλούς κανόνες, και οι σύνθετες συμπεριφορές, όπως η νοημοσύνη, προκύπτουν από την παράλληλη εφαρμογή και την αλληλεπίδραση αυτών των απλών κανόνων. Η συσχέτιση (connectionism) δηλαδή η μελέτη των προγραμμάτων υπολογιστών που εμπνέονται από τα νευρωνικά συστήματα είναι ένα παράδειγμα αυτής της φιλοσοφίας (Smolensky, 1988) και ο εξελικτικός υπολογισμός είναι ένα άλλο. Στη συσχέτιση οι κανόνες αποτελούνται γενικά από ένα απλό «νευρωνικό» κατώφλι, τη διάδοση ενεργοποίησης, και την ενίσχυση ή αποδυνάμωση των συνδέσεων. Η επιθυμητή προκύπτουσα συμπεριφορά είναι η αναγνώριση περίπλοκων σχεδίων και η εκμάθηση. Στον εξελικτικό υπολογισμό οι κανόνες χαρακτηρίζονται από την φυσική επιλογή των ικανότερων από τις παραλλαγές που προκύπτουν λόγω της διασταύρωσης ή/και της μετάλλαξης. Η επιθυμητή προκύπτουσα συμπεριφορά είναι ο σχεδιασμός υψηλής ποιότητας λύσεων σε δύσκολα προβλήματα και η δυνατότητα να προσαρμοστούν αυτές οι λύσεις σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

Η βιολογική εξέλιξη είναι μια ελκυστική πηγή έμπνευσης για την εξέταση αυτών των προβλημάτων. Η εξέλιξη είναι μια μέθοδος αναζήτησης μεταξύ ενός τεράστιου αριθμού δυνατών λύσεων. Στη βιολογία το τεράστιο σύνολο δυνατών λύσεων είναι το σύνολο πιθανών γενετικών ακολουθιών, και οι επιθυμητές «λύσεις» είναι οι ιδιαίτερα κατάλληλοι οργανισμοί δηλαδή οργανισμοί καλά ικανοί να επιζήσουν και να αναπαραγάγουν στα περιβάλλοντά τους. Η εξέλιξη μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος για καινοτόμες λύσεις σε σύνθετα προβλήματα. Παραδείγματος χάριν, το ανοσοποιητικό σύστημα των θηλαστικών είναι μια θαυμάσια εξελιγμένη λύση στο πρόβλημα των μικροβίων που εισβάλλουν στο σώμα. Θεωρώντας αυτή την οπτική, οι μηχανισμοί της εξέλιξης μπορούν να αποτελέσουν πηγή έμπνευσης για τις υπολογιστικές μεθόδους αναζήτησης. Φυσικά η καταλληλότητα ενός βιολογικού οργανισμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα, πόσο καλά μπορεί να ξεπεράσει τα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντός του και πόσο καλά μπορεί να ανταγωνιστεί ή να συνεργαστεί με τους άλλους οργανισμούς γύρω

από αυτό. Τα κριτήρια καταλληλότητας συνεχώς αλλάζουν καθώς οι οργανισμοί εξελίσσονται, έτσι η εξέλιξη ψάχνει ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο σύνολο δυνατοτήτων. Η αναζήτηση λύσεων εν όψει των μεταβαλλόμενων συνθηκών είναι ακριβώς αυτό που απαιτείται για τα προσαρμοστικά προγράμματα υπολογιστών. Επιπλέον, η εξέλιξη είναι μια μαζικά παράλληλη μέθοδος αναζήτησης επομένως αντί να εργάζεται σε ένα είδος τη φορά, δοκιμάζει και αλλάζει εκατομμύρια είδη παράλληλα. Τέλος, από ένα υψηλό επίπεδο οι «κανόνες» της εξέλιξης είναι εντυπωσιακά απλοί. Αυτό εξηγείται καθότι τα είδη εξελίσσονται με τη βοήθεια της τυχαίας παραλλαγής (μέσω της μετάλλαξης, του επανασυνδυασμού, και άλλων τελεστών), ακολουθούμενη από τη φυσική επιλογή στην οποία ο καταλληλότερος τείνει να επιζήσει και να αναπαραγάγει, διαδίδοντας κατά συνέπεια το γενετικό του υλικό στις μελλοντικές γενεές. Ακόμα αυτοί οι απλοί κανόνες είναι πιθανώς οι υπεύθυνοι, κατά ένα μεγάλο μέρος, για την εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία και την πολυπλοκότητα που παρατηρείται στη βιόσφαιρα.

2.4 Ορολογία

Στους γενετικούς αλγορίθμους χρησιμοποιείται ορολογία δανεισμένη από το χώρο της Φυσικής Γενετικής. Για αυτό το λόγο αναφερόμαστε σε γενοτύπους (*genotypes*) και άτομα (*individuals*) μέσα σε κάποιον πληθυσμό. Οι γενότυποι και τα άτομα αποτελούνται από χρωμοσώματα. Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από *γονίδια* (*genes*) που είναι διατεταγμένα σε γραμμική ακολουθία. Κάθε γονίδιο επηρεάζει την κληρονομικότητα ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών. Τα γονίδια που επηρεάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ατόμου βρίσκονται και σε συγκεκριμένες θέσεις του χρωματοσώματος που καλούνται ακριβή σημεία (*loci*).

Πιο συγκεκριμένα αναφερόμαστε σε:

Γονίδια και χρωμοσώματα: Ένα χρωμόσωμα αποτελείται από γονίδια (Σχήμα 2.1) δηλαδή από λειτουργικές ομάδες. Κάθε μία από αυτές τις ομάδες κωδικοποιεί ένα χαρακτηριστικό. Κάθε γονίδιο είναι τοποθετημένο σε συγκεκριμένη θέση στο χρωμόσωμα. Κατόπιν, όπως και στη βιολογία έτσι και στους γενετικούς αλγορίθμους, μία ακολουθία γονιδίων αποτελεί ένα χρωμόσωμα. Ένα συγκεκριμένο χρωμόσωμα μπορεί να αποκωδικοποιηθεί σε ένα σύνολο παραμέτρων που αναπαριστούν μία πιθανή λύση του προβλήματος. Τέλος, τα χρωμοσώματα μπορούν να

κωδικοποιηθούν σαν σειρές πραγματικών αριθμών, δυαδικών αριθμών ή και σαν συνδυασμοί αυτών.



Σχήμα 2.1 Γονίδια και χρωμοσώματα

Πληθυσμοί και γενεές: Σε κάθε βήμα η συλλογή μίας υπόθεσης, ονομάζεται πληθυσμός (*population*). Ο πληθυσμός είναι ένα σύνολο λύσεων σε μορφή χρωμοσωμάτων. Γενιές ονομάζονται οι συνεχείς πληθυσμοί που δημιουργούνται. Και ενώ η αναπαραγωγή εξελίσσεται, επιλέγεται και επανασυνδυάζεται ο πληθυσμός και έτσι σχηματίζεται τελικά μία καινούρια γενιά η οποία θα αντικαταστήσει την προηγούμενη. Τα καταλληλότερα χαρακτηριστικά παράγουν περισσότερα αντίτυπα των εαυτών τους, τα οποία και θα εμφανιστούν στην επόμενη γενιά. Έτσι, η λύση του προβλήματος τείνει να γίνει η βέλτιστη. Η διαδικασία τερματίζεται είτε με κατώφλι ένα αριθμό των γενεών είτε στο καλύτερο άτομο, στο άτομο με σφάλμα μικρότερο του ϵ , ή και με άλλα κατάλληλα κριτήρια.

Γονείς και παιδιά: Μετά τη δημιουργία της πρώτης γενιάς, επιλέγονται με πιθανοτικά κριτήρια και σταθμισμένα από την συνάρτηση κόστους, ζευγάρια χρωμοσωμάτων από τον πληθυσμό τα οποία ονομάζονται γονείς. Τα ζευγάρια χρωμοσωμάτων τα οποία θα λάβουν μέρος στη διαδικασία της εξέλιξης επιλέγονται με μία συγκεκριμένη στρατηγική. Για παράδειγμα με τη στρατηγική της σταθμισμένης ρουλέτας, κατά την οποία σε κάθε χρωμόσωμα του πληθυσμού αντιστοιχίζεται ένα τμήμα της ρουλέτας. Το μέγεθος του τμήματος αυτού είναι αντίστοιχο της τιμής της σχετικής συνάρτησης κόστους του χρωμοσώματος. Η ρουλέτα περιστρέφεται κάθε φορά που αναζητούμε ένα γονέα. Έτσι, χρωμοσώματα τα οποία κατέχουν μεγάλο τμήμα της ρουλέτας, έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεγούν και να περάσουν τα χαρακτηριστικά τους στην επόμενη γενιά. Η επόμενη γενιά, δηλαδή οι απόγονοι, δημιουργείται από την εφαρμογή στοχαστικών τελεστών στο επιλεγμένο ζεύγος γονέων, όπως η διασταύρωση και η μετάλλαξη. Η διασταύρωση (*crossover*), που τυγχάνει με πιθανότητα p_{cross} μεταξύ των τιμών 0,6-0,8, αφορά στην τυχαία επιλογή του σημείου ή των σημείων του χρωμοσώματος όπου θα γίνει η αντιστοίχιση και η συνένωση του γενετικού υλικού των δύο γονέων. Έτσι, τα δύο παιδιά φέρουν

χαρακτηριστικά και των δύο γονέων. Η μετάλλαξη (*mutation*) αλλάζει την τιμή ενός τυχαία επιλεγμένου γονιδίου του χρωμοσώματος και συμβαίνει με πιθανότητα p_{mutation} που κυμαίνεται γύρω στο 0,05. Η μετάλλαξη αποτελεί ένα μηχανισμό με τον οποίο η διαδικασία δεν συγκλίνει πρώιμα σε ένα τοπικό μέγιστο. Επιπλέον, με αυτή τη στρατηγική εισάγεται νέο γενετικό υλικό στα χρωμοσώματα το οποίο δεν υπήρχε στις προηγούμενες γενιές και έτσι διευρύνεται η περιοχή αναζήτησης.

Καταλληλότητα: Ορίζεται ως καταλληλότητα (*fitness*) μία αντικειμενική συνάρτηση η οποία καθορίζει τον στόχο στο πρόβλημα βελτιστοποίησης και ακολούθως αξιολογεί την καταλληλότητα ενός ατόμου του πληθυσμού.

Συνάρτηση Κόστους: Ορίζεται ως συνάρτηση κόστους μία αντικειμενική συνάρτηση η οποία καθορίζει τον στόχο βελτιστοποίησης αναθέτοντας μία τιμή σε κάθε χρωμόσωμα του πληθυσμού. Η τιμή αυτή αποτελεί κριτήριο για το πόσο ικανοποιητική είναι η συγκεκριμένη λύση που αντιπροσωπεύει το κάθε χρωμόσωμα.

2.5 Διαδικασία απλού γενετικού αλγορίθμου

Η διαδικασία ενός απλού γενετικού αλγορίθμου αποτελείται από τρία βασικά στάδια τα οποία είναι τα εξής: η αρχικοποίηση, η αναπαραγωγή και η αντικατάσταση των γενεών.

Αναλυτικότερα, παρουσιάζονται τα στάδια του γενετικού αλγορίθμου:

Αρχικοποίηση

Κατά τη διαδικασία της αρχικοποίησης κωδικοποιούνται οι μεταβλητές σε γονίδια και κατόπιν σε χρωμοσώματα. Στην συνέχεια λαμβάνει χώρα η αρχικοποίηση του πληθυσμού και η δημιουργία της πρώτης γενιάς.

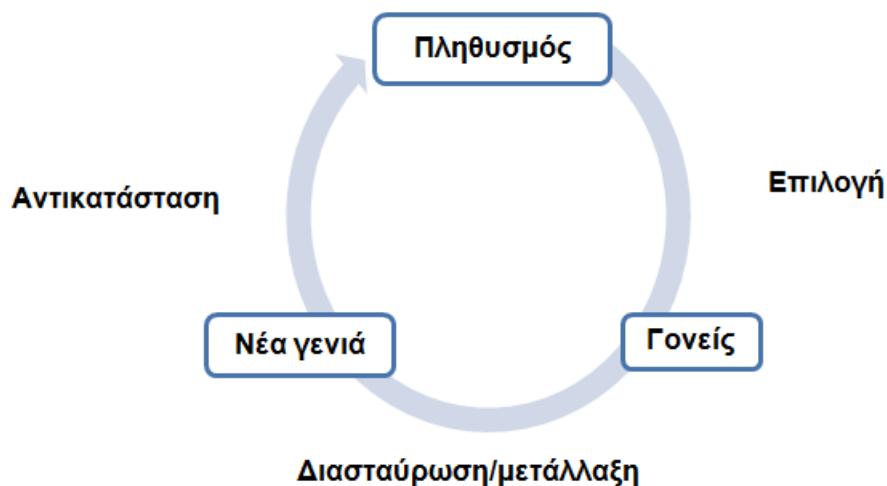
Αναπαραγωγή

Η αναπαραγωγή γίνεται μέσω της επιλογής με βάση την τιμή της συνάρτησης κόστους του κάθε ατόμου. Στη συνέχεια, από την διασταύρωση επιλέγονται τα ζευγάρια από τα οποία παράγονται δυο απόγονοι, οι οποίο προστίθενται στον πληθυσμό της νέας γενιάς. Ένα μικρό ποσοστό μεταλλάσσεται.

Αντικατάσταση γενιάς

Στο τρίτο αυτό στάδιο, λαμβάνει χώρα η αντικατάσταση της προηγούμενης γενιάς από τη νέα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Κατώτατο όριο για τον τερματισμό της

διαδικασίας εκφράζει το fitness-threshold, ελάχιστη δυνατή καταλληλότητα. Αξιολογείται η τελική φάση και αν χρειαστεί επαναλαμβάνουμε την διαδικασία αλλιώς τερματίζεται δίνοντας την βέλτιστη δυνατή λύση.



Σχήμα 2.2 Βασικός Εξελικτικός Κύκλος

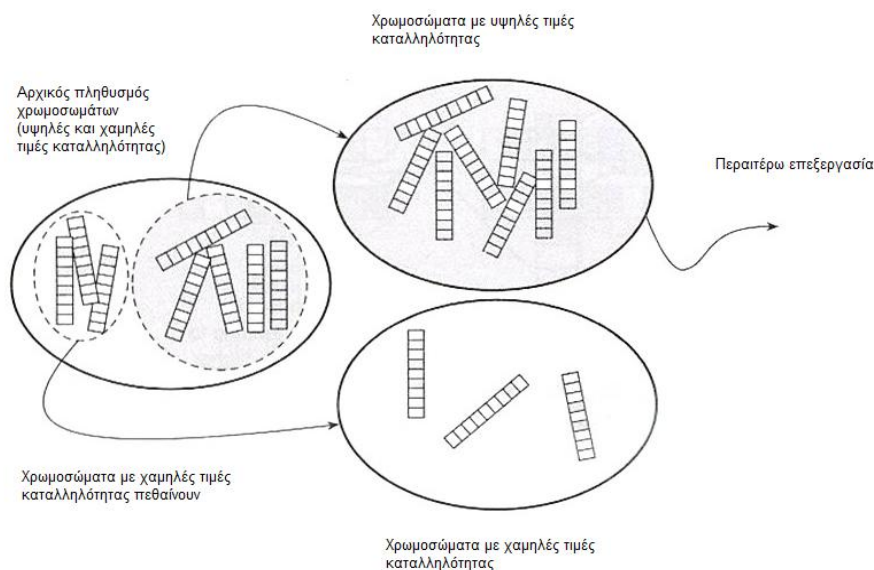
Κάθε επανάληψη της διαδικασίας ονομάζεται γενιά. Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί τη βάση για τις περισσότερες εφαρμογές γενετικών αλγόριθμων.

2.6 Μέθοδοι Επιλογής

Οι μέθοδοι επιλογής καθορίζουν ποιο χρωμόσωμα θα συμμετάσχει στην εξελικτική διαδικασία δηλαδή ποιο χρωμόσωμα θα εμπλακεί στη δημιουργία της επόμενης γενιάς κατόπιν ζευγαρώματος ή αμετάβλητο.

2.6.1 Μέθοδος με αποδεκίαση πληθυσμού

Σε αυτήν την μέθοδο τα χρωμοσώματα ταξινομούνται σύμφωνα με τις τιμές της καταλληλότητας τους από την υψηλότερη στη χαμηλότερη. Αυτό είναι η συνιστώμενη μέθοδος προκειμένου να οδηγηθεί η λύση στην κατάλληλη σύγκλιση και έχει βρεθεί ότι παράγει τις καλύτερες λύσεις σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους.



Σχήμα 2.3 Μέθοδος αποδεκάτισης πληθυσμού

Η αποδεκάτιση πληθυσμού είναι μια ντετερμινιστική μέθοδος κατά την οποία ορίζοντας κάποιο κατώφλι, δηλαδή μία ελάχιστη τιμή καταλληλότητας, επιτυγχάνεται μείωση του πληθυσμού. Συγκεκριμένα, τα άτομα με μικρότερη καταλληλότητα από αυτή την τιμή που ορίστηκε απορρίπτονται, ενώ τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της νέας γενιάς, με τυχαίο συνδυασμό και αναπαραγωγή, τα οποία συνεχίζονται μέχρι να συμπληρωθεί η νέα γενιά.

Το κύριο χαρακτηριστικό, και κατά συνέπεια και πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής, είναι η απλότητά της. Απλά καθορίζει ποια από τα άτομα του παρόντος πληθυσμού είναι αρκετά κατάλληλα ώστε να αντιπροσωπευθούν στην επόμενη γενιά. Κατόπιν, συνδυάζονται κατά ένα τυχαίο τρόπο ζεύγη ατόμων τα οποία επιβιώνουν από την διαδικασία της αποδεκάτισης.

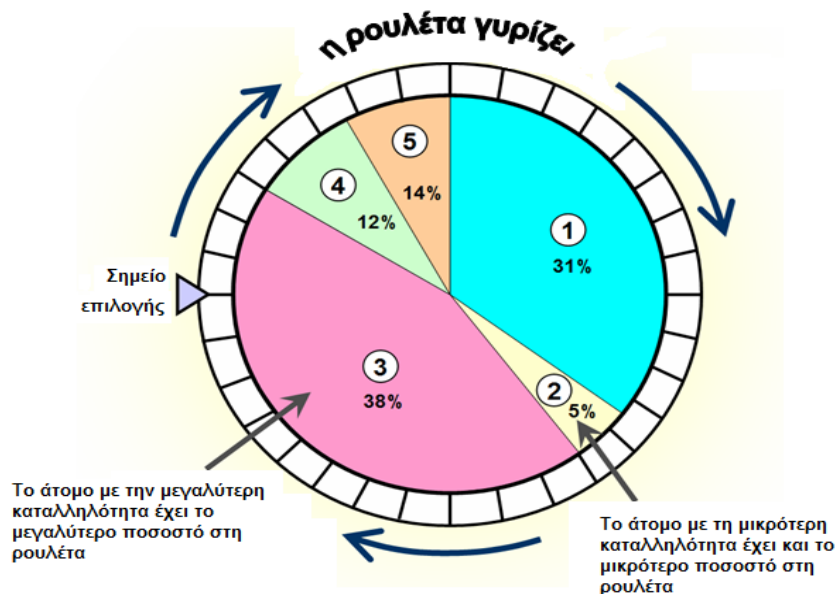
Το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά χάνονται από τη στιγμή που το άτομο που διαθέτει αυτό το χαρακτηριστικό απορριφτεί από τον πληθυσμό. Έτσι, μπορεί ένα χαρακτηριστικό του να χαθεί από τις επόμενες γενιές. Αυτή η απώλεια να μην συμβαίνει σε όλους τους αποτελεσματικούς και πετυχημένους γενετικούς αλγόριθμους όμως σε αυτή τη μέθοδο συμβαίνει πολύ πριν ο γενετικός αλγόριθμος αντιληφθεί την πιθανή σπουδαιότητα ενός αποκλειστικού χρωμοσώματος. Αφού, λοιπόν, χαθεί ένα άτομο με κάποιο σπουδαίο χαρακτηριστικό από τον πληθυσμό, ο μόνος τρόπος να επανέλθει το χαρακτηριστικό στις επόμενες γενιές είναι μέσω της διαδικασίας της μετάλλαξης. Για αυτό μέσα από την μέθοδο της μετάλλαξης μπορεί να εξερευνηθεί το πεδίο λύσεων καλύτερα.

2.6.2 Αναλογική επιλογή

Σε αυτή την μέθοδο επιλογής η πιθανότητα ένα χρωμόσωμα να επιλεγεί είναι ανάλογη με την καταλληλότητα του χρωμοσώματος προς την καταλληλότητα όλου του πληθυσμού. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα να επιλεγεί η υπόθεση h_i από τις p πιθανές είναι:

$$P(h_i) = \frac{\text{Fitness}(h_i)}{\sum_{j=1}^p \text{Fitness}(h_j)}$$

Έτσι ένα χρωμόσωμα με υψηλή καταλληλότητα έχει και μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεγεί σε σχέση με κάποιο άλλο με χαμηλότερη τιμή καταλληλότητας. Αυτή η μέθοδος συχνά αναφέρεται ως *μέθοδος ρουλέτας* καθότι μπορεί να αντιμετωπισθεί ως ρόδα ρουλέτας που περιέχει όλα τα χρωμοσώματα, όπου οποία χρωμοσώματα έχουν μια καλύτερη ικανότητα καταλαμβάνουν μια μεγαλύτερη περιοχή επιφάνειας της ρόδας με αποτέλεσμα να έχουν μια μεγαλύτερη πιθανότητα για να επιλεγούν.



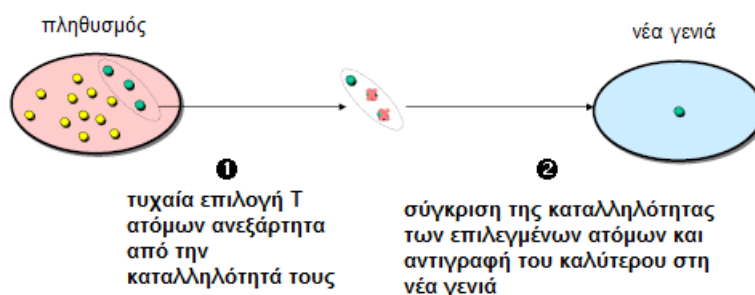
Σχήμα 2.4 Μέθοδος ρουλέτας

Στο σχήμα 2.4 βλέπουμε τη σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου της ρουλέτας όπου κάθε άτομο καταλαμβάνει εμβαδόν κυκλικού τομέα ανάλογο της καταλληλότητάς του. Κατόπιν, γίνεται τυχαία επιλογή του ατόμου καθώς η ρουλέτα γυρίζει. Η μέθοδος της ρουλέτας έχει σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα με την μέθοδο του αποδεκατισμού πληθυσμού. Γενικά, η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο αυτών μεθόδων έγκειται στο ότι με τη μέθοδο της ρουλέτας εξακολουθεί να υπάρχει μια μικρή πιθανότητα, τα άτομα με μικρότερη καταλληλότητα να συμμετέχουν σε κάποιες

διασταυρώσεις διατηρώντας έτσι το γενετικό υλικό τους στις μελλοντικές γενιές, ενώ, όπως έχει αναφερθεί ήδη, με τη μέθοδο της αποδεκάτισης πληθυσμού κάποιο χαρακτηριστικό μπορεί να χαθεί δια παντός.

2.6.3 Μέθοδος ομίλων

Στην μέθοδο ομίλων επιλέγονται τυχαία δύο άτομα από τον πληθυσμό και αυτό με την μεγαλύτερη καταλληλότητα «κερδίζει» (Σχήμα 2.5). Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί ο επιθυμητός αριθμός χρωμοσωμάτων. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται ως η πιο αποδοτική για τις περισσότερες εφαρμογές. Οι δοκιμές δείχνουν ότι αυτή η μέθοδος παράγει λίγο καλύτερες λύσεις σε σχέση με την αναλογική επιλογή, αλλά δεν είναι τόσο αποδοτική όσο η μέθοδος αποδεκατισμού πληθυσμού.



όπου T είναι μέγεθος τουρνουά (σε δυαδικό τουρνουά το T είναι ίσο με 2)

Σχήμα 2.5 Μέθοδος ομίλων

2.6.4 Διαβάθμιση Σίγμα

Για να αντιμετωπιστούν προβλήματα που έχουν να κάνουν με την πρώιμη σύγκλιση, οι ερευνητές γενετικών αλγορίθμων έχουν πειραματιστεί με διάφορες μεθόδους και πιο συγκεκριμένα με μεθόδους χαρτογράφησης των «ακατέργαστων» τιμών καταλληλότητας σε αναμενόμενες τιμές καταλληλότητας έτσι ώστε ο γενετικός αλγόριθμος να είναι λιγότερο επιρρεπής σε πρόωρη σύγκλιση. Ένα τέτοιο παράδειγμα μεθόδου αποτελεί η διαβάθμιση σίγμα, κατά την οποία η σύγκλιση καθυστερεί γιατί κρατάει σταθερή την «πίεση» επιλογής αντί να εξαρτάται από τη διασπορά της καταλληλότητας του πληθυσμού όπως συμβαίνει στις άλλες μεθόδους. Σε αυτή τη μέθοδο επιλογής, η αναμενόμενη τιμή για κάποιο άτομο είναι μια συνάρτηση της καταλληλότητάς του και της σταθερής απόκλισης πληθυσμών.

2.6.5 Ελιτισμός

Ο ελιτισμός ανήκει στη κατηγορία των μεθόδων επιλογής που επιβάλλουν στο γενετικό αλγόριθμο να διατηρεί έναν αριθμό ατόμων, τα καλύτερα εκάστοτε γενιάς. Αυτά τα άτομα μπορεί να χαθούν αν δεν επιλεγούν για αναπαραγωγή ή αν καταστραφούν μέσω των διαδικασιών της διασταύρωσης και της μετάλλαξης. Πολλοί ερευνητές έδειξαν ότι αυτή η μέθοδος βελτιώνει σημαντικά την επίδοση των γενετικών αλγορίθμων.

2.6.6 Επιλογή Μπόλτσμαν

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου διαφορετικά ποσά «πίεσης» στην επιλογή είναι επιθυμητά σε διαφορετικές στιγμές στα διάφορα στάδια εξέλιξης. Για παράδειγμα στα αρχικά στάδια ο αλγόριθμος πρέπει να είναι «απροκατάληπτος», δηλαδή να επιτρέπει και στα λιγότερο κατάλληλα άτομα να μετέχουν στη διαδικασία αναπαραγωγής και η επιλογή να γίνεται αργά διατηρώντας έτσι μια ποικιλομορφία στον πληθυσμό ενώ η διασπορά των τιμών της συνάρτησης κόστους να μένει σε υψηλά επίπεδα. Στη συνέχεια, είναι προτιμότερο η επιλογή να δίνει έμφαση στα πιο ισχυρά άτομα, με την προϋπόθεση ότι εξαιτίας της αργής εξέλιξης, που είχε ο αλγόριθμος στην αρχή, έχει βρεθεί το σωστό τμήμα του πεδίου αναζήτησης.

Μία προσέγγιση σε αυτή τη λογική είναι η επιλογή Μπόλτσμαν όπου η συνεχώς μεταβαλλόμενη “θερμοκρασία” ελέγχει το ρυθμό της επιλογής. Η θερμοκρασία αρχικά έχει υψηλή τιμή έτσι ώστε η «πίεση» της επιλογής να είναι χαμηλή (δηλαδή κάθε άτομο να έχει πιθανότητα να μετέχει στην αναπαραγωγική διαδικασία). Η θερμοκρασία σταδιακά μειώνεται, το οποίο με τη σειρά του αυξάνει την «πίεση» επιλογής, επιτρέποντας έτσι στο γενετικό αλγόριθμο να πλησιάσει όλο και περισσότερο στη βέλτιστη περιοχή του πεδίου αναζήτησης.

2.6.7 Ιεραρχική επιλογή

Η ιεραρχική επιλογή είναι μια εναλλακτική μέθοδος της οποίας σκοπός είναι επίσης να αποτραπεί η πολύ γρήγορη σύγκλιση. Εδώ, τα άτομα στον πληθυσμό ταξινομούνται σύμφωνα με την καταλληλότητά τους, και η αναμενόμενη αξία κάθε ατόμου εξαρτάται από την σειρά του στην ταξινόμηση παρά από την απόλυτη τιμή της καταλληλότητάς του. Δεν υπάρχει καμία ανάγκη για βαθμονόμηση της

καταλληλότητας σε αυτήν την περίπτωση, δεδομένου ότι οι απόλυτες διαφορές κρύβονται. Αυτή η απόρριψη της πληροφορίας για την απόλυτη τιμή καταλληλότητας μπορεί να έχει τα πλεονεκτήματα (χρησιμοποιώντας την απόλυτη τιμή καταλληλότητας μπορεί να οδηγήσει σε πρόβλημα σύγκλισης) και τα μειονεκτήματα της (σε μερικές περιπτώσεις, που δύο γειτονικά άτομα στη σειρά ανταγωνίζονται το ένα το άλλο, είναι σημαντικό να γνωστοποιείται αν το ένα άτομο έχει υψηλότερη τιμή καταλληλότητας σε σχέση με το άλλο).

Η ιεραρχική επιλογή αποφεύγει να δώσει το μεγαλύτερο μερίδιο των απογόνων σε μια μικρή ομάδα ατόμων με ιδιαίτερα υψηλή καταλληλότητα, και μειώνει έτσι την «πίεση» επιλογής όταν η διασπορά της καταλληλότητας είναι υψηλή. Διατηρεί, επίσης, την πίεση επιλογής όταν η διασπορά της καταλληλότητας είναι χαμηλή (η αναλογία των αναμενόμενων τιμών των ατόμων που ταξινομούνται στις θέσεις i και $i+1$ θα είναι η ίδια ασχέτως εάν η απόλυτη διαφορά της καταλληλότητάς τους είναι υψηλή ή χαμηλή).

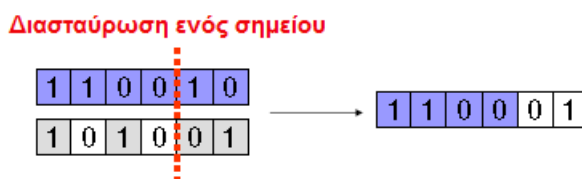
2.7 Διασταύρωση και μετάλλαξη

2.7.1 Διασταύρωση

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός γενετικού αλγορίθμου είναι η χρήση της διασταύρωσης. Η διασταύρωση λαμβάνει χώρα όταν δύο χρωμοσώματα γονέων κοπούν στο ίδιο σημείο. Στην διαδικασία αυτή τα δύο τμήματα που προέκυψαν από το αρχικό χρωμόσωμα του πρώτου γονέα συνδυάζονται με τα άλλα δύο τμήματα του δεύτερου γονέα και έτσι σχηματίζονται δύο νέα χρωμοσώματα. Το σημείο διασταύρωσης καθορίζει που ακριβώς στο χρωμόσωμα θα γίνει η τομή προκειμένου να σπάσει σε δύο τμήματα. Επιτρεπτές τιμές για το σημείο αυτό είναι τιμές μεταξύ του 0 και του 1, όπου το 0 δείχνει ότι το σημείο διασταύρωσης προσδιορίζεται τυχαία και το 1 δείχνει ότι δεν θα συμβεί καθόλου διασταύρωση. Παραδείγματος χάριν, ένα σημείο διασταύρωσης με τιμή 0.5 δείχνει ότι η τομή θα γίνει στη μέση του χρωμοσώματος. Είθισται να χρησιμοποιείται τυχαία επιλογή του σημείου διασταύρωσης έτσι ώστε να ληφθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Η διασταύρωση ενός σημείου είναι η απλούστερη μορφή: το σημείο διασταύρωσης επιλέγεται τυχαία και τα μέρη των δύο γονέων, μετά από το σημείο διασταύρωσης, εναλλάσσονται προκειμένου να διαμορφωθούν οι δύο απόγονοι. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.6 ο πρώτος απόγονος παίρνει το πρώτο τμήμα από

τον ένα και το δεύτερο τμήμα από τον άλλο γονιό και τα αντίθετα τμήματα παίρνει ο δεύτερος απόγονος.



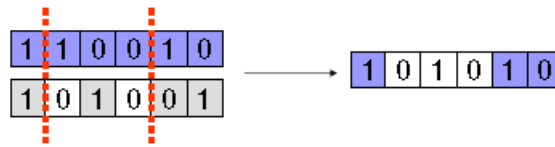
Σχήμα 2.6 Διασταύρωση ενός σημείου

Η ιδέα εδώ είναι να επανασυνδυαστούν οι δομικές μονάδες (τμήματα) στις διαφορετικές σειρές. Εν τούτοις, η διασταύρωση ενός σημείου έχει μερικές ανεπάρκειες. Συγκεκριμένα, δεν μπορεί να συνδυάσει όλα τα πιθανά σχήματα. Παραδείγματος χάριν, δεν μπορεί γενικά να συνδυάσει τις περιπτώσεις 11 ***** 1 και **** 11 ** για να διαμορφώσει την περίπτωση 11 ** 11*1. Επιπλέον, τα σχήματα με μεγάλα μήκη είναι πιθανό να καταστραφούν από μία διασταύρωση ενός σημείου. Οι Eshelman, Caruana, και Schaffer (1989) καλούν αυτό ως «θεσιακή προκατάληψη»: τα τμήματα που μπορούν να δημιουργηθούν ή να καταστραφούν από μια διασταύρωση εξαρτώνται έντονα από τη θέση των ψηφίων στο χρωμόσωμα. Η διασταύρωση ενός σημείου υποθέτει ότι τα μικρού μήκους και χαμηλής τάξης τμήματα είναι οι λειτουργικές δομικές μονάδες των σειρών, αλλά κανείς δεν ξέρει εκ των προτέρων ποια διάταξη ψηφίων θα ομαδοποιήσει τα λειτουργικά κομμάτια μαζί. Οι Eshelman, Caruana, και Schaffer επίσης επισήμαναν ότι μπορεί να μην υπάρξει τρόπος να τεθούν όλα τα λειτουργικά κομμάτια κοντά το ένα με το άλλο σε μια σειρά, δεδομένου ότι κάποια ιδιαίτερα ψηφία μπορεί να είναι υψίστης σημασίας σε περισσότερα από ένα τμήματα. Επίσης, η τάση της διασταύρωσης ενός σημείου να κρατηθούν τα μικρά σχήματα ανέπαφα μπορεί να οδηγήσει στη συντήρηση κομματιών που δεν είναι μέρος ενός επιθυμητού τμήματος αλλά που, επειδή είναι κοντά το ένα με το άλλο στη σειρά, κινούνται μαζί με το ευεργετικό τμήμα καθώς αυτό αναπαράγει. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι η διασταύρωση ενός σημείου μεταχειρίζεται κάποια loci (τα γονίδια που επηρεάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ατόμου βρίσκονται και σε συγκεκριμένες θέσεις του χρωματοσώματος), και συγκεκριμένα αυτά που βρίσκονται στο τέλος των σειρών, με συγκεκριμένο τρόπο καθότι τα τμήματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των δύο γονέων περιέχουν πάντα τα σημεία αυτά.

Προκειμένου, λοιπόν, να ξεπεραστεί το πρόβλημα το σχετικό με τα τελευταία τμήματα των χρωμοσωμάτων, που διατηρούνται πάντα μετά την διασταύρωση ενός σημείου, εισάγεται μία δεύτερη περίπτωση, η διασταύρωση σε δύο σημεία (Σχήμα

2.7). Εδώ υπάρχουν δύο σημεία διασταύρωσης. Έτσι τα χρωμοσώματα των γονέων είναι χωρισμένα τώρα σε τρία τμήματα. Το μεσαίο τμήμα αντιγράφεται ως έχει στον απόγονο και τα δύο ακριανά αντικαθίστανται από τον άλλο γονιό και αντίστοιχα συμβαίνει και για τον άλλο απόγονο.

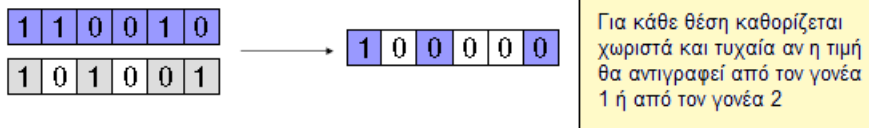
Διασταύρωση N σημείων (N=2)



Σχήμα 2.7 Διασταύρωση δύο σημείων

Τέλος, υπάρχει και η περίπτωση της ενιαίας διασταύρωσης όπου συνδυάζονται διάφορα μέρη του ενός γονέα με τα αντίστοιχα αντίθετα του αλλού, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.8.

Ενιαία διασταύρωση



Σχήμα 2.8 Ενιαία διασταύρωση

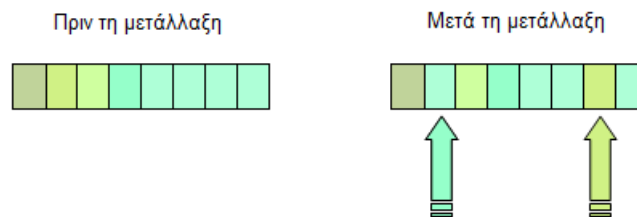
2.7.2 Μετάλλαξη

Η μετάλλαξη προκαλεί τυχαία ποικιλομορφία στον πληθυσμό. Κατά τη διαδικασία της μετάλλαξης μόνο ένα γονίδιο μεταλλάσσεται. Έτσι από ένα και μόνο γονέα δημιουργείται ένας απόγονος, με τον οποίο διαφέρουν κατά ένα και μόνο γονίδιο. Η μετάλλαξη συνήθως πραγματοποιείται μετά την ολοκλήρωση της διασταύρωσης.

Η πιο συνήθεις μορφή μετάλλαξης είναι η δυαδική μετάλλαξη. Σε αυτή την περίπτωση μετάλλαξης ένα ψηφίο του χρωμοσώματος αλλάζει τυχαία από 1 σε 0 και αντίστροφα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9. Επίσης, αυτό που μπορεί να συμβεί κατά τη διαδικασία της μετάλλαξης είναι να επιλεγούν και να αντιστραφούν δύο ψηφία ενός γονιδίου μεταξύ τους, δηλαδή να πάρει το ένα τη θέση του άλλου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10. Η τρίτη περίπτωση αφορά στους πραγματικούς αριθμούς όπου μπορεί μια επιλεγμένη τιμή να αντικατασταθεί από μία νέα τυχαία τιμή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.9 Μετάλλαξη-Αντιστροφή ενός ψηφίου



Σχήμα 2.10 Μετάλλαξη-Επιλογή και εναλλαγή δύο ψηφίων



Σχήμα 2.11 Μετάλλαξη-Τυχαία αλλαγή τιμής

2.8 Εξέλιξη και αναζήτηση

Η θεωρία της εξέλιξης αναπτύχθηκε στο σύγγραμμα του Charles Darwin *On the origin of species by means of natural selection* (Σχετικά με την προέλευση των ειδών μέσω της φυσικής επιλογής). Η κεντρική ιδέα είναι απλή: παραλλαγές (γνωστές ως μεταλλάξεις - mutation) εμφανίζονται κατά την αναπαραγωγή και διατηρούνται στις επόμενες γενιές περίπου ανάλογα με τις επιπτώσεις τους στην αναπαραγωγική καταλληλότητα.

Η θεωρία του Darwin αναπτύχθηκε χωρίς καμία γνώση του πως μπορούν να κληρονομούνται και να τροποποιούνται τα γνωρίσματα των οργανισμών. Οι πιθανοτικοί νόμοι που διέπουν αυτές τις διαδικασίες προσδιορίστηκαν για πρώτη φορά από τον Gregor Medel (1866), ένα μοναχό που πειραματίστηκε με μπιζέλια χρησιμοποιώντας μία μέθοδο που ονόμαζε τεχνητή γονιμοποίηση. Πολύ αργότερα οι Watson και Crick (1953) προσδιόρισαν τη δομή του μορίου DNA και το αλφάβητό του, AGTC (αδενίνη, γουανίνη, θυμίνη, κυτοζίνη). Σύμφωνα με το καθιερωμένο μοντέλο, η διαφοροποίηση γίνεται τόσο με σημειακές μεταλλάξεις στην ακολουθία των γραμμάτων όσο και με διασταύρωση.

Η κύρια διαφορά μεταξύ της στοχαστικής ακτινικής αναζήτησης και της εξέλιξης είναι η χρήση γενετικής αναπαραγωγής, κατά την οποία οι διάδοχοι παράγονται από πολλούς οργανισμούς και όχι μόνον από ένα. Οι πραγματικοί μηχανισμοί της εξέλιξης είναι όμως πολύ πλουσιότεροι από ότι επιτρέπουν οι περισσότεροι γενετικοί αλγόριθμοι. Για παράδειγμα, οι μεταλλάξεις μπορεί να περιλαμβάνουν αναστροφές, αντιγραφές και μετακινήσεις μεγάλων τμημάτων του DNA· μερικοί ιοί δανείζονται DNA από έναν οργανισμό και το εισάγουν σε ένα άλλο· υπάρχουν επίσης μεταθέσιμα γονίδια που δεν κάνουν τίποτα άλλο από το να αντιγράφονται πολλές χιλιάδες φορές μέσα στο γονιδίωμα. Υπάρχουν ακόμα γονίδια που δηλητηριάζουν τα κύτταρα των υποψηφίων για ζευγάρωμα που δεν έχουν το ίδιο γονίδιο αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες του για αντιγραφή. Κάτι πολύ σημαντικό είναι ότι τα ίδια τα γονίδια περιέχουν κωδικοποιημένους τους μηχανισμούς με τους οποίους το γονιδίωμα αναπαράγεται και μεταφράζεται σε έναν οργανισμό. Στους γενετικούς αλγόριθμους, οι μηχανισμοί αυτοί είναι ένα ξεχωριστό πρόγραμμα που δεν υπάρχει αναπαράσταση του στις συμβολοσειρές στις οποίες γίνονται οι χειρισμοί.

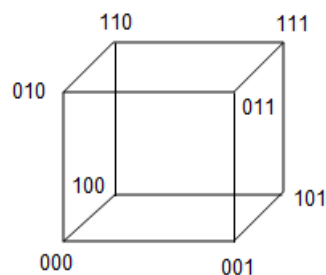
Η Δαρβίνεια εξέλιξη θα μπορούσε να θεωρηθεί μη αποδοτικός μηχανισμός, αφού έχει παραγάγει τυφλά κάπου 10^{45} οργανισμούς χωρίς να βελτιώσει τους ευρετικούς μηχανισμούς αναζήτησής του ούτε στο ελάχιστο. Πενήντα χρόνια πριν από τον Darwin, όμως, ο κατά τα άλλα μεγάλος γάλλος φυσιοδίφης Zan Lamarck (1809) πρότεινε μια θεωρία της εξέλιξης σύμφωνα με την οποία τα γνωρίσματα που αποκτώνται με προσαρμογή κατά τον χρόνο ζωής ενός οργανισμού μεταβιβάζονται στους απογόνους του. Μια τέτοια διαδικασία θα ήταν αποδοτική αλλά δεν φαίνεται να συμβαίνει στη φύση. Πολύ αργότερα, ο James Baldwin (1896) πρότεινε μία φαινομενικά παρόμοια θεωρία σύμφωνα με την οποία η συμπεριφορά που μαθαίνετε κατά το χρόνο ζωής ενός οργανισμού μπορεί να επιταχύνει τον ρυθμό της εξέλιξης. Σε αντίθεση με τη θεωρία του Lamarck, η θεωρία του Baldwin είναι εντελώς συνεπής με την Δαρβίνεια εξέλιξη, επειδή βασίζεται σε τάσεις επιλογής που επενεργούν σε άτομα τα οποία έχουν βρει τοπικά βέλτιστα μεταξύ του συνόλου των δυνατών συμπεριφορών που επιτρέπονται από τη γενετική τους συγκρότηση. Σύγχρονες προσομοιώσεις σε υπολογιστή επιβεβαιώνουν ότι το “φαινόμενο Baldwin” είναι πραγματικό, με την προϋπόθεση ότι η “κανονική” εξέλιξη μπορεί να δημιουργεί οργανισμούς που το εσωτερικό τους μέτρο απόδοσης σχετίζεται κατά κάποιο τρόπο με την πραγματική καταλληλότητα.

2.9 Λειτουργία γενετικών αλγορίθμων

Για την ερμηνεία της λειτουργίας των γενετικών αλγορίθμων υπάρχουν δύο προσεγγίσεις αυτή της *Θεωρίας Σχημάτων* και αυτή της *Υπόθεσης Δομικών Τετραγώνων*.

2.9.1 Θεωρία Σχημάτων

Στην Θεωρία Σχημάτων θεωρούμε ένα τρισδιάστατο χώρο και υποθέτουμε ότι η λύση ενός προβλήματος μπορεί να παρασταθεί με τρία δυαδικά ψηφία όπου η κάθε κορυφή διαφέρει από την γειτονική της κατά ένα ψηφίο.



Σχήμα 2.12 Τρισδιάστατος (κυβικός) χώρος

Πολύ συχνά χρησιμοποιείται το σύμβολο “ * ” το οποίο παριστά την περίπτωση “αδιάφορο”. Έτσι αν θέλαμε να παραστήσουμε ένα επίπεδο, παραδείγματος χάριν το μπροστά επίπεδο, θα μπορούσαμε να το παραστήσουμε με την ακολουθία 0**. Ακολουθίες που περιέχουν ένα ή περισσότερα “ * ” αναφέρονται ως “σχήματα” και κάθε “σχήμα” αντιστοιχεί σε ένα υπερεπίπεδο του χώρου αναζήτησης.

Το σχήμα (1 0 0 1 1 1 0 0 0 1) προσαρμόζει μόνο μία ακολουθία και συγκεκριμένα την ακολουθία (1001110001), ενώ το σχήμα (*****) προσαρμόζει όλες τις ακολουθίες που έχουν μήκος 10 ψηφία. Αν υποθέσουμε ότι r είναι ο αριθμός των συμβόλων “ * ” στο σχήμα τότε κάθε σχήμα προσαρμόζει ακριβώς 2^r ακολουθίες. Αν τώρα L είναι το μήκος της δυαδικής κωδικοποίησης (λέξη), τότε κάθε δυαδική κωδικοποίηση είναι ένα χρωμόσωμα που αντιστοιχεί σε μία κορυφή στον υπερκύβο και είναι ένα μέλος των 2^{L-1} διαφορετικών υπερεπιπέδων. Σε ολόκληρο το χώρο αναζήτησης μπορούν να οριστούν 3^L υπερεπίπεδα.

Στους γενετικούς αλγόριθμους πληροφορία σχετικά με τα υπερεπίπεδα κατά κύριο λόγο παίρνουμε από τους πληθυσμούς. Κάθε φορά που αξιολογείται μία ακολουθία, αξιολογούνται με έμμεσο παράλληλο τρόπο πολλά διαφορετικά υπερεπίπεδα, αλλά το συσσωρευτικό αποτέλεσμα αξιολόγησης ενός πληθυσμού σημείων δίνει τη στατιστική πληροφορία για οποιοδήποτε συγκεκριμένο υποσύνολο

υπερεπιπέδων. Έτσι λέμε ότι στους γενετικούς αλγορίθμους υπάρχει ενδογενής παραλληλισμός.

Τη μέση τιμή καταλληλότητας των προσαρμοσμένων ακολουθιών στον πληθυσμό $P(t)$ ενός σχήματος S μπορούμε να την αντιστοιχίσουμε με την τιμή $f(S,t)$ η οποία δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$f(S,t) = \frac{\sum f(x)}{n(S,t)} \quad (2.9.1)$$

όπου το άθροισμα θεωρείται σε σχέση με όλες τις προσαρμοσμένες ακολουθίες του πληθυσμού.

$$p_i = \frac{f(x^i)}{\sum_{j=1}^N f(x^j)} \quad (2.9.2)$$

Για να μετασχηματίσουμε τον πληθυσμό $P(t)$ στον $P(t+1)$, ο επιλεγμένος τελεστής εφαρμόζεται N φορές. Κάθε φορά, κάποιος από τις $n(S,t)$ ακολουθίες κάποιου σχήματος S μπορεί να επιλεγεί. Στις N εφαρμογές του τελεστή επιλογής, το x^i αναμένεται να επιλεγεί n_i φορές. Οπότε έχουμε τον αναμενόμενο αριθμό επιλογών (απόγονοι) να είναι ίσος με:

$$n_i = N \frac{f(x^i)}{\sum_{j=1}^N f(x^j)} \quad (2.9.3)$$

Χωρίς βλάβη της γενικότητας, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι ακολουθίες του σχήματος αριθμούνται, με τιμές $1, 2, \dots, n(S,t)$. Προσθέτοντας τον αναμενόμενο αριθμό απογόνων, βρίσκουμε ότι, στην χρονική στιγμή $(t+1)$, ο αναμενόμενος αριθμός των απογόνων του σχήματος S είναι ο αριθμός $n(S,t+1)$ ο οποίος δίδεται από τη σχέση:

$$n(S,t+1) = \sum_{i=1}^{n(S,t)} n_i \quad (2.9.4)$$

Αν στην ανωτέρω σχέση αντικαταστήσουμε το n_i με την προηγούμενη έκφραση (2.9.3), τότε έχουμε:

$$n(S,t+1) = N \sum_{i=1}^{n(S,t)} \frac{f(x^i)}{\sum_{j=1}^N f(x^j)} \quad (2.9.5)$$

Την παραπάνω σχέση μπορούμε να την εκφράσουμε και ως εξής:

$$n(S,t+1) = \frac{N}{\sum_{j=1}^N f(x^j)} n(S,t) \frac{\sum_{i=1}^{n(S,t)} f(x^i)}{n(S,t)} \quad (2.9.6)$$

Υποθέτοντας ότι η μέση ακολουθία καταλληλότητας για όλο τον πληθυσμό είναι $F(t)$ και $f(t)$ είναι η μέση καταλληλότητα για κάποιο σχήμα S , έχουμε

$$n(S,t+1) = n(S,t) \frac{f(S,t)}{F(t)} \quad (2.9.7)$$

Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει τη δυναμική του σχήματος S όταν υπόκεινται στη διαδικασία της επιλογής.

Επειδή μέχρι στιγμής λάβαμε υπόψη μας μόνο η διαδικασία της επιλογής να λαμβάνει χώρα, τώρα θα συνυπολογίσουμε και τις διαδικασίες της μετάλλαξης και της διασταύρωσης. Το θεμελιώδες θεώρημα των γενετικών αλγορίθμων που βασίζεται στη θεωρία των σχημάτων, όπως διατυπώθηκε από τον Holland παρουσιάζεται στην παρακάτω σχέση:

$$n(S,t+1) \geq n(S,t) \frac{f(S,t)}{F(t)} \cdot \left(1 - p_{\text{cross}} \frac{d(S)}{l-1}\right) (1 - p_{\text{mutation}})^{O(S)} \quad (2.9.8)$$

όπου p_{cross} και p_{mutation} είναι οι πιθανότητες διασταύρωσης και μετάλλαξης αντίστοιχα,

$O(s)$ είναι η τάξη του σχήματος,

$d(s)$ το χαρακτηριστικό μήκος ή αλλιώς η απόσταση σε θέσεις μεταξύ της πρώτης και τελευταίας καθορισμένης θέσης του σχήματος.

Γενικά, το θεωρητικό υπόβαθρο των γενετικών αλγορίθμων βασίζεται τόσο στη χρήση δυαδικών ακολουθιών όσο και στην έννοια των σχημάτων, που όπως αναφέρθηκε αποτελεί έναν οδηγό που μας επιτρέπει να εντοπίσουμε ομοιότητες μεταξύ των χρωμοσωμάτων.

2.9.2 Υπόθεση δομικών τετραγώνων

Ένας γενετικός αλγόριθμος αναζητάει τη (σχεδόν) βέλτιστη συμπεριφορά μέσω της ακολουθίας της αντιπαράθεσης, βραχέων, χαμηλής-τάξης και υψηλής συμπεριφοράς σχημάτων, τα οποία καλούνται “δομικά τετράγωνα” (ή τετράγωνα κτισίματος).

Οι γενετικοί τελεστές της διασταύρωσης και μετάλλαξης, προκειμένου να σχηματίσουν βέλτιστες ακολουθίες, έχουν την ικανότητα να παράγουν και να αντιπαραθέτουν (πλευρά - με - πλευρά) δομικά τετράγωνα. Η διασταύρωση τείνει να διατηρεί τη γενετική πληροφορία που υπάρχει στις προς διασταύρωση ακολουθίες. Επομένως, η δυνατότητα παραγωγής δομικών τετραγώνων μειώνεται σημαντικά όταν οι προς διασταύρωση ακολουθίες είναι όμοιες. Από την άλλη, κατά τη

διαδικασία της μετάλλαξης υπάρχει δυνατότητα δραστηρικής παραγωγής νέων δομικών τετραγώνων.

Η επιλογή των γονέων παίζει σημαντικό ρόλο καθότι τείνει να είναι πολωμένη προς τα δομικά τετράγωνα που έχουν υψηλότερες τιμές προσαρμογής και στο τέλος εξασφαλίζει την παρουσία τους από γενιά σε γενιά.

Η υπόθεση αυτή υπαγορεύει ότι το πρόβλημα κωδικοποίησης για ένα γενετικό αλγόριθμο είναι κρίσιμο για την συμπεριφορά και για την ικανοποίηση της ιδέας κωδικοποίησης μικρών δομικών τετραγώνων.

2.10 Γενετικοί αλγόριθμοι και παραδοσιακές τεχνικές αναζήτησης

Όταν, στο χώρο των υπολογιστών, γίνεται αναφορά του όρου αναζήτησης/έρευνας μπορούν να δοθούν τρεις χαρακτηριστικές σημασίες. Η πρώτη έχει να κάνει με αναζήτηση σε αποθηκευμένα δεδομένα όπου το πρόβλημα αυτό λύνεται με τεχνικές όπως η δυαδική αναζήτηση. Η δεύτερη τεχνική αναζήτησης, η οποία είναι η αναζήτηση για δρόμους και στόχους, το πρόβλημα έγκειται στο να βρεθεί εκείνο το σύνολο δράσεων το οποίο οδηγεί το αρχικό πρόβλημα σε ένα επιθυμητό στόχο. Τέλος, υπάρχει και η αναζήτηση για λύσεις στην οποία το πρόβλημα είναι να βρεθεί μία λύση μέσα από ένα σύνολο λύσεων. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι κατάλληλοι για τις δύο τελευταίες μορφές έρευνας καθώς αποτελούν μία γενική τεχνική επίλυσης προβλημάτων *αναζήτησης λύσεων* όπως και όλες οι εξελικτικές τεχνικές που απομιμούνται τη βιολογία.

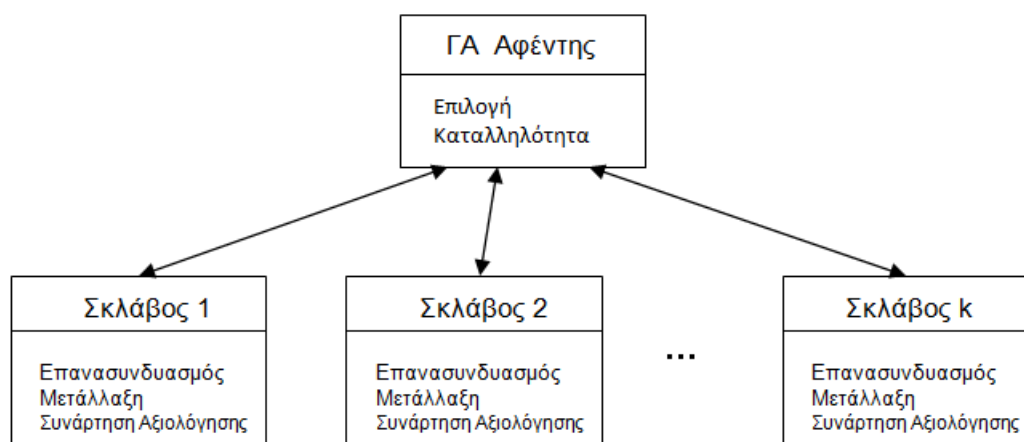
2.11 Παραλληλισμός στους γενετικούς αλγόριθμους

Εξ αιτίας της ενδογενούς παράλληλης μορφής που έχουν οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι εφικτό να επιτευχθούν οι απαιτούμενες ταχύτητες στις πρακτικές εφαρμογές. Γενικά, οι παράλληλες αυτές τεχνικές που βασίζονται σε γενετικούς αλγορίθμους ταξινομούνται σε ολικές τεχνικές, τεχνικές μετανάστευσης και τεχνικές διάχυσης.

2.11.1 Ολικές τεχνικές γενετικών αλγορίθμων

Σε αυτό το είδος τεχνικών, όλος ο πληθυσμός χρησιμοποιείται ως ένας ενιαίος ανατρέφων μηχανισμός, εξ ου και ο όρος *ολικές τεχνικές*. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να υλοποιηθούν σε έναν πολυεπεξεργαστή κοινής μνήμης είτε σε έναν υπολογιστή κατανεμημένες μνήμης. Σε έναν πολυεπεξεργαστή κοινής μνήμης, τα χρωμοσώματα

αποθηκεύονται στην κοινή μνήμη. Κάθε επεξεργαστής αξιολογεί τα αντίστοιχα χρωμοσώματα. Σε έναν υπολογιστή καταμεμημένης μνήμης, η υλοποίηση βασίζεται σε μία σχέση αφέντη-σκλάβου (master-slave) (Σχήμα 2.13).



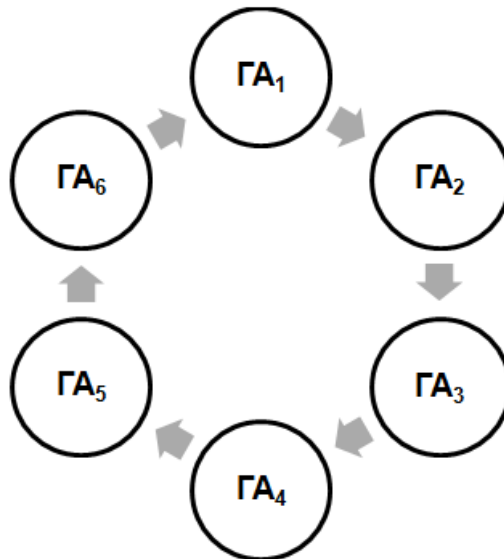
Σχήμα 2.13 Ολικές τεχνικές γενετικών αλγορίθμων

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι ο σκλάβος (slave) παραμένει αδρανής όσο ο αφέντης (master) εκτελεί την εργασία του. Ωστόσο υπάρχουν εφαρμογές όπου οι ολικές τεχνικές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες προκειμένου να επιτευχθεί παραλληλισμός.

2.11.2 Τεχνικές μετανάστευσης γενετικών αλγορίθμων

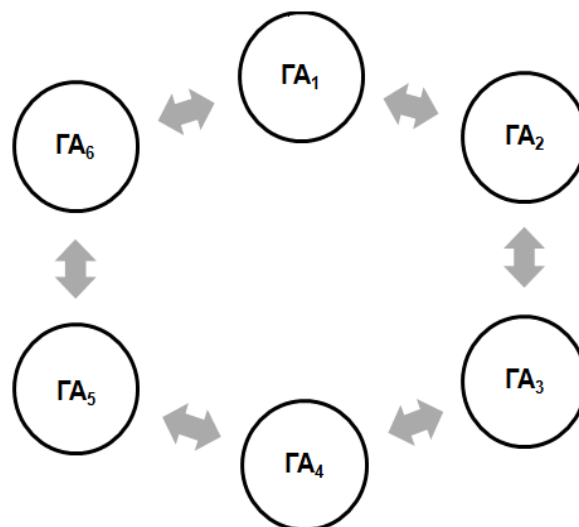
Σε αυτή την κατηγορία τεχνικών ο πληθυσμός διαιρείται σε έναν αριθμό υποπληθυσμών, καθένας από τους οποίους θεωρείται ως μία ξεχωριστή παραγωγική μονάδα υπό τον έλεγχο ενός συμβατικού γενετικού αλγορίθμου. Προκειμένου να ενθαρρυνθεί η αναπαραγωγική διαδικασία καλού γενετικού υλικού σε όλο τον πληθυσμό, η ατομική μετανάστευση μεταξύ των υποπληθυσμών συμβαίνει ανά διαστήματα.

Στα Σχήματα 2.14-2.16, παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές τοπολογίες μετανάστευσης. Στο Σχήμα 2.14 φαίνεται η τοπολογία μετανάστευσης δακτυλίδι, όπου τα άτομα μεταφέρονται μεταξύ γειτονικών υποπληθυσμών προς μία κατεύθυνση.



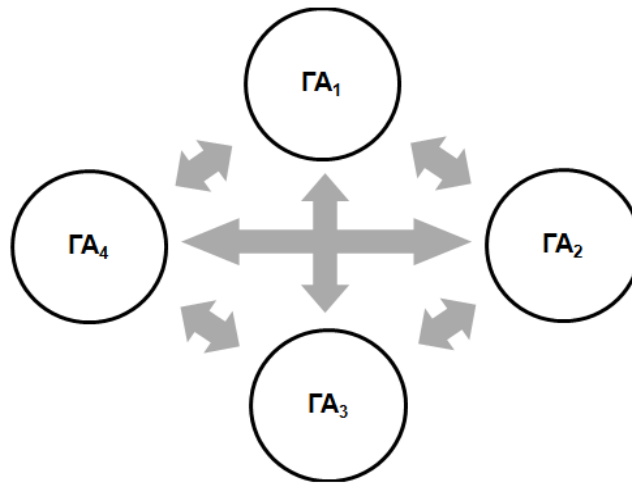
Σχήμα 2.14 Τοπολογία Μετανάστευσης-Δακτυλίδι

Μία παρόμοια τεχνική, γνωστή ως γειτονική μετανάστευση, φαίνεται στο Σχήμα 2.15, όπου μετανάστευση μπορεί να επιτευχθεί μεταξύ των πιο κοντινών γειτόνων και από τις δύο κατευθύνσεις.



Σχήμα 2.15 Τοπολογία γειτονικής μετανάστευσης

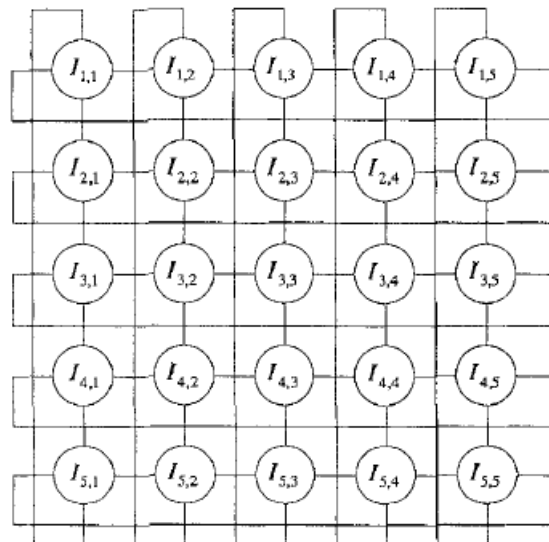
Η μη-αυστηρή (*unrestricted*) τοπολογία μετανάστευσης απεικονίζεται στο Σχήμα 2.16. Σε αυτή την τοπολογία τα άτομα που μεταναστεύουν καθορίζονται σύμφωνα με κατάλληλη στρατηγική επιλογής.



Σχήμα 2.16 Μη-αυστηρή τοπολογία μετανάστευσης

2.11.3 Τεχνικές διάχυσης

Οι τεχνικές διάχυσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.17, θεωρούν τον πληθυσμό ως μία συνεχή δομή. Συνήθως, για μία σύνδεση παράλληλης επεξεργασίας με πολλούς υπολογιστές, κάθε άτομο αξιολογείται σε μία μονάδα επεξεργασίας η οποία είναι τοποθετημένη σε μία δισδιάστατη δικτυωτή τοπολογία.



Σχήμα 2.17 Τεχνικές διάχυσης

Τα άτομα μπορούν να αναπαραχθούν με εκείνα τα άτομα που βρίσκονται σε μία μικρή τοπική γειτονιά. Αυτή η γειτονιά έχει συνήθως επιλεγεί από τα άμεσα γειτονικά

άτομα στην επιφάνεια του πληθυσμού και κινητοποιείται από τους πρακτικούς επικοινωνιακούς περιορισμούς των παράλληλων υπολογιστών.

2.12 Επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης

Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες των γενετικών αλγορίθμων είναι να επιλύουν προβλήματα βελτιστοποίησης με πολλά τοπικά ελάχιστα/μέγιστα και να βρίσκουν, σχεδόν πάντα, το ολικό ελάχιστο/μέγιστο. Η ικανότητα των γενετικών αλγορίθμων να προσδιορίσουν το ολικό βέλτιστο επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Ένας παράγοντας είναι το ότι γίνεται *αναζήτηση από ένα πληθυσμό λύσεων* και όχι μόνο από μία. Επιπλέον, γίνεται *χρήση πληροφορίας για την προσαρμογή* και δεν γίνεται χρήση παραγώγων ή κάποιας άλλης βοηθητικής πληροφορίας. Τέλος, η ικανότητα των γενετικών αλγορίθμων επηρεάζεται από τη *χρήση στοχαστικών τελεστών* και όχι ντετερμινιστικών. Ενώ οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν την τάση να βρίσκουν το ολικό βέλτιστο παρ' όλα αυτά δεν εξασφαλίζουν ότι θα το βρουν. Η ικανότητα του αλγορίθμου για επιτυχία μειώνεται όταν υπάρχει απώλεια ποικιλίας στον πληθυσμό. Εάν το περιβάλλον αλλάξει, ο γενετικός αλγόριθμος συνήθως δεν μπορεί να στρέψει την αναζήτηση σε ένα διαφορετικό τμήμα του χώρου αναζήτησης, λόγω της πόλωσης των χρωμοσωμάτων. Γενικά, ένας γενετικός αλγόριθμος έχει την τάση να ψάχνει ένα υπο-βέλτιστο σημείο και ο πληθυσμός συγκλίνει σε αυτή την τιμή με πρόωρη σύγκλιση. Το ολικό βέλτιστο βρίσκεται σίγουρα εάν πραγματοποιηθεί διερεύνηση της μετάλλαξης στις γενετικές πράξεις. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως "*γενετική ολίσθηση*" και μπορεί να συμβεί εύκολα σε πληθυσμούς μικρού μεγέθους.

2.13 Χρήση γενετικών αλγορίθμων σε προβλήματα κεραιών

Η έκταση της ποικιλίας των κεραιών για εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες, στα ραντάρ και στα απομακρυσμένα συστήματα είναι τεράστια ενώ παράλληλα υπάρχει μία όλο και αυξανόμενη ανάγκη για προσαρμοσμένες κεραίες υψηλής απόδοσης. Οι μέθοδοι σχεδιασμού και βελτιστοποίησης της κεραίας χειροκίνητα είναι χρονοβόρες και απαιτητικές σε εργασία, περιορίζουν την πολυπλοκότητα, αυξάνουν το χρόνο και το αναμενόμενο κόστος, και απαιτούν ότι οι μηχανικοί έχουν πλήρη γνώση σχετικά με το σχεδιασμό κεραιών.

Η χρήση του γενετικού αλγορίθμου προκειμένου να αυτοματοποιηθεί ο σχεδιασμός κεραιών έχει τραβήξει την προσοχή των ειδικών τα τελευταία χρόνια. Αρκετή έρευνα έχει γίνει προσπαθώντας να προσδιοριστεί πότε ο γενετικός

αλγόριθμος, και γενικά οι εξελικτικές τεχνικές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σχεδιαστούν ή να βελτιστοποιηθούν κεραίες έτσι ώστε να ξεπερνούν εκείνες που έχουν σχεδιαστεί από ειδικούς. Επιπλέον, μελετήθηκε αν ο γενετικός αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να σχεδιαστούν κεραίες σε περιπτώσεις όπου είναι ανθρωπίνως αδύνατο να επιτευχθεί κάτι τέτοιο.

Χρησιμοποιώντας τους γενετικούς αλγόριθμους είναι δυνατό να προκαθοριστούν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της κεραίας και να επιτραπεί στον υπολογιστή να βρει τις κατάλληλες παραμέτρους για το σχεδιασμό. Ο γενετικός αλγόριθμος δεν απαιτεί κάποια αρχική υπόθεση, και το ποσό της πληροφορία που ένας μηχανικός πρέπει να παρέχει είναι η ελάχιστη δυνατή.

Συνήθως, κύριος στόχος είναι ο σχεδιασμός μιας στοιχειοκεραίας που παράγει κάποιο επιθυμητό διάγραμμα ακτινοβολίας. Οι σχεδιαστικοί παράμετροι εισάγονται στον γενετικό αλγόριθμο ως βαθμοί ελευθερίας και εκφράζουν τις σχέσεις μεταξύ των συντεταγμένων των στοιχείων και μεταξύ των διεγέρσεων των στοιχείων της στοιχειοκεραίας.

Επιπλέον, συχνά απαιτείται να γνωρίζουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας που έχει σχεδιαστεί. Είναι λοιπόν εφικτό να παραχθούν διαγράμματα ακτινοβολίας που να αποτελούνται από πολλούς λοβούς ακτινοβολίας οι οποίοι μπορούν ακόμη και να συμπίπτουν ο ένας πάνω στον άλλο. Αυτό μπορεί να γίνει συνδυάζοντας πολλά στοιχεία σε μονοδιάστατη ή και σε δισδιάστατη στοιχειοκεραία. Τα δημοφιλέστερα επιθυμητά διαγράμματα ακτινοβολίας ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από διαγράμματα με ένα κύριο λοβό, ο οποίος κυριαρχεί πάνω στους δευτερεύοντες. Η δεύτερη κατηγορία, αποτελείται από διαγράμματα με δύο κύριους λοβούς διαχωρισμένους από μία γωνία μηδενισμού, οι οποίοι κυριαρχούν πάνω στους δευτερεύοντες ενώ η τρίτη κατηγορία διαγραμμάτων ακτινοβολίας, αποτελείται από κύριους λοβούς συγκεκριμένου σχήματος, οι οποίοι προκύπτουν από το συνδυασμό πολλών λοβών των στοιχείων.

Γενικά, η χρήση γενετικών αλγορίθμων συμβάλει στην ελαχιστοποίηση της στάθμης των πλευρικών λοβών. Ακόμη, στην περίπτωση διαγράμματος ακτινοβολίας συγκεκριμένου σχήματος, είναι δυνατό να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση του διαγράμματος από το προκαθορισμένο αυτό σχήμα.

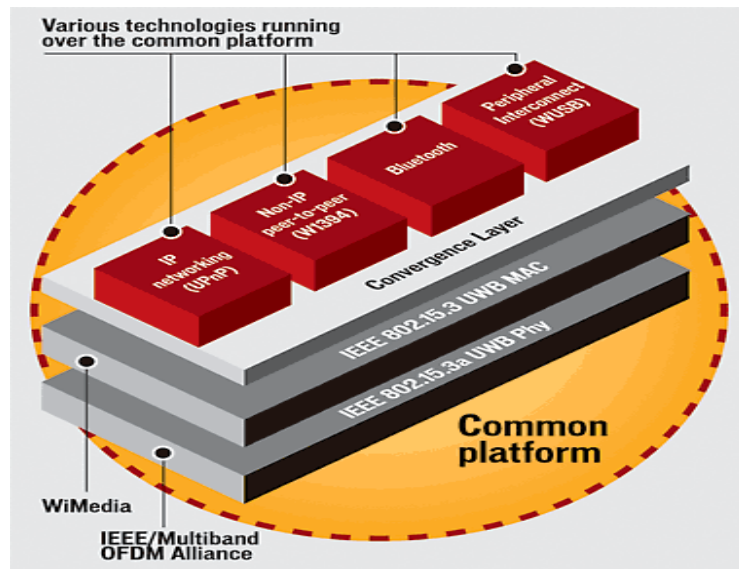
Κεφάλαιο 3^ο

Ultra-Wideband Κεραίες

3.1 Εισαγωγή

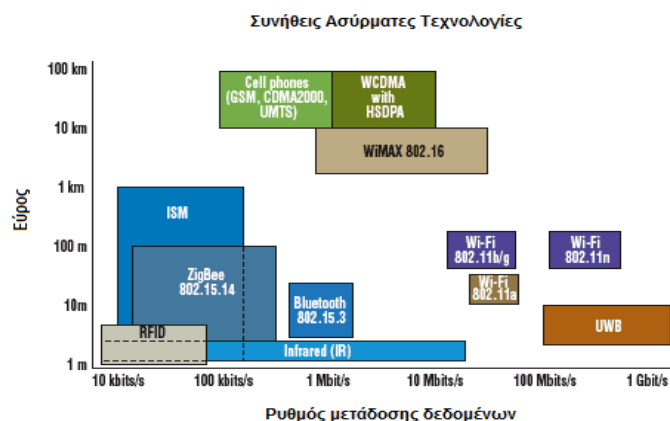
Η λέξη ευρυζωνικός (ultra-wideband) συνήθως αναφέρεται στα σήματα ή στα συστήματα που είτε έχουν ένα μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης είτε ένα μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης. Ένα τέτοιο μεγάλο εύρος ζώνης προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα όσον αφορά στην ευρωστία των σημάτων, το περιεχόμενο της πληροφορίας ή/και την απλότητα της εφαρμογής, αλλά συνεπάγεται και θεμελιώδεις διαφορές από τα συμβατικά, περιορισμένης ζώνης συστήματα. Τα προηγούμενα έτη έχουν δείξει τη συμβολή των τεχνολογικών και πολιτικών/οικονομικών περιστάσεων και την αναγκαιότητα για UWB συστημάτων. Έτσι, η ευρυζωνική μετάδοση (*ultra-wideband-UWB*) έχει πρόσφατα προσελκύσει τόσο τον ακαδημαϊκό κόσμο και όσο και τη βιομηχανία για τις εφαρμογές της στις ασύρματες επικοινωνίες.

Ευρυζωνικό σύστημα (UWB), που τοποθετείται μεταξύ του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου ζεύξης δεδομένων (sublayer) (Σχήμα 3.1) ή αναφερόμενο μερικές φορές και ως *unlicensed systems*, συνυπάρχει με άλλα *licensed and unlicensed narrowband systems*. Η διαβιβασθείσα ισχύς των UWB συσκευών ελέγχεται από τις ρυθμιστικές αντιπροσωπείες, όπως είναι η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) για τις Ηνωμένες Πολιτείες, έτσι ώστε τα συστήματα περιορισμένης ζώνης (*narrowband systems*) να επηρεάζονται από τα UWB σήματα σε αμελητέο επίπεδο. Τα UWB συστήματα, επομένως, επιτρέπεται να συνυπάρχουν με άλλες τεχνολογίες μόνο κάτω από αυστηρούς περιορισμούς ισχύος. Επιπλέον, προσφέρουν ελκυστικές λύσεις για πολλές περιοχές ασύρματης επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των ασύρματων προσωπικών δικτύων (WPANs), την ασύρματη τηλεμετρία και τηλειατρική, και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Με το μεγάλο εύρος ζώνης, τα UWB συστήματα έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν μια χωρητικότητα πολύ μεγαλύτερη από τα τρέχοντα συστήματα στενής ζώνης.



Σχήμα 3.1 UWB-μεταξύ φυσικού επιπέδου και στρώματος ζεύξης δεδομένων

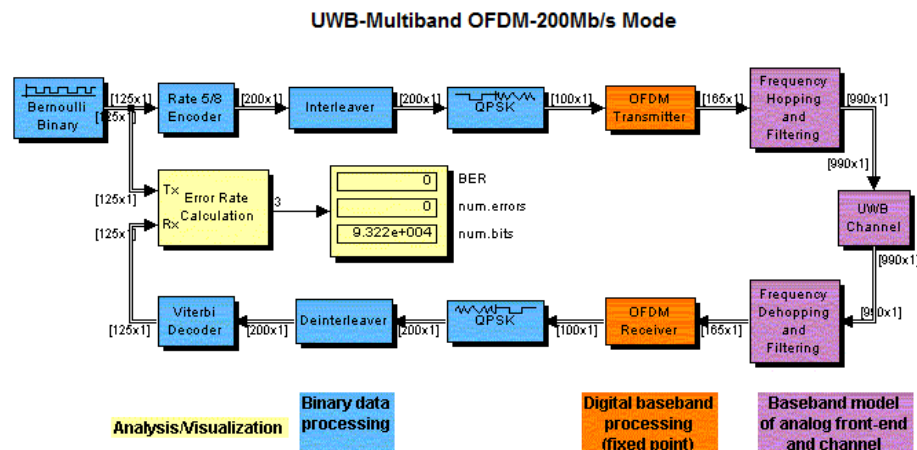
Η UWB επικοινωνία έχει πολλά οφέλη, συμπεριλαμβανομένου του υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, της δυνατότητας χαμηλού κόστους πομποδεκτών, της χαμηλής ισχύος μετάδοσης, και των χαμηλών παρεμβολών. Λειτουργεί σε επίπεδα εκπομπής που είναι ανάλογα με τις κοινές ψηφιακές συσκευές όπως οι φορητοί υπολογιστές, οι πλοηγοί χειρός, και τα κομπιουτεράκια τσέπης. Η έγκριση για την UWB τεχνολογία, που πραγματοποιήθηκε από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) των Ηνωμένων Πολιτειών το 2002, δόθηκε και αποφασίστηκε να δεσμεύει το εύρος ζώνης συχνοτήτων μεταξύ 3.1 και 10.6 GHz (7.5 GHz) για τα εσωτερικά ασύρματα συστήματα UWB επικοινωνιών. Τα βιομηχανικά πρότυπα όπως το IEEE 802.15.3a (υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων) και το IEEE 802.15.4a (πολύ χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων με διακύμανση (with ranging)) βασισμένα στην τεχνολογία UWB έχουν ήδη εφαρμογή.



Σχήμα 3.2 Εύρος και ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των πιο δημοφιλών ασύρματων τεχνολογιών

Σύμφωνα με το σύγχρονο ορισμό, οποιαδήποτε ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών που παράγει σήματα σε ένα εύρος ζώνης ευρύτερο από 500 MHz ή έχει ένα κλασματικό εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 0.2 μπορεί να θεωρηθεί ως UWB. Μια πιθανή τεχνική εφαρμογή των UWB είναι το impulse radio (IR), το οποίο είναι βασισμένο στη μετάδοση εξαιρετικά σύντομων (της τάξεως των νανοδευτερολέπτων) και χαμηλής ισχύος παλμών. Συγκεκριμένα, αντί να στέλνεται ένας ενιαίος παλμός ανά σύμβολο, στέλνεται ένας αριθμός παλμών, που καθορίζονται από το κέρδος επεξεργασίας του συστήματος, ανά σύμβολο. Το κέρδος επεξεργασίας χρησιμεύει ως μια παράμετρος που ρυθμίζει ευέλικτα το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, το ρυθμό λάθους (BER), και την περιοχή κάλυψης της μετάδοσης. Οι παλμοί μπορούν να καταλάβουν μια περιοχή με το πλαίσιο (frame) βασισμένο σε συγκεκριμένο ψευδο-τυχαίο κώδικα (PN) που ορίζεται για κάθε χρήστη (όπως στην περίπτωση του time-hopping UWB). Άλλες εφαρμογές, όπως η άμεση διάδοση ακολουθίας (direct sequence spreading), γενικά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις impulse radio-based εφαρμογές. Το impulse radio είναι συμφέρον δεδομένου ότι εξαλείφει την ανάγκη για πάνω και κάτω-μετατροπή και επιτρέπει τη χρήση πομποδεκτών χαμηλής πολυπλοκότητας. Επιτρέπει, επίσης, την εφαρμογή διαφόρων τύπων διαμόρφωσης, συμπεριλαμβανομένης της on-off keying διαμόρφωσης (OOK), διαμόρφωση πλάτους (PAM), διαμόρφωση θέσης (PPM), διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK), καθώς επίσης και διαφορετικών τύπων δεκτών όπως ανιχνευτή ενέργειας και οι διαβιβασθέντες δέκτες αναφοράς (transmitted reference receivers). Ένας άλλος ισχυρός υποψήφιος διαμόρφωσης για UWB είναι η διαμόρφωση πολλαπλής φέρουσας (multicarrier), η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ορθογωνική διαμόρφωση συχνότητας (OFDM). Η OFDM έχει γίνει μια πολύ δημοφιλής τεχνολογία λόγω των πρόσθετων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της όπως η σθεναρότητα ενάντια στις παρεμβολές εξαιτίας των πολλαπλών διαδρομών, η ικανότητα να επιτραπεί ποικιλία συχνοτήτων με τη χρήση της κωδικοποίησης μπρός διόρθωσης σφάλματος (forward error correction, FEC), η ικανότητα να συλλάβει την ενέργεια πολλαπλών διαδρομών αποτελεσματικά, και τη δυνατότητα παροχής υψηλής αποδοτικότητας εύρους ζώνης μέσω της χρήσης των προσαρμοστικών τεχνικών διαμόρφωσης και κωδικοποίησης των υπο-ζωνών (sub-band). Η OFDM μπορεί να υπερνικήσει πολλά προβλήματα που προκύπτουν με την υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων επικοινωνία, το σοβαρότερο από τα οποία είναι η χρονική διασπορά. Στην OFDM, η ροή των δεδομένων γίνεται με χωρισμό των δεδομένων σε ροές, και αυτά σε υπο-ροές και διαβιβάζονται με διαφορετικά

φέροντα. Δεδομένου ότι αυτό αυξάνει την περίοδο των συμβόλων των μη επικαλυπτόμενων φερόντων, η ηχώ λόγω πολλαπλών διαδρομών έχει επιπτώσεις μόνο σε ένα μικρό μέρος γειτονικών συμβόλων. Η παρεμβολή συμβόλων (ISI) μπορεί να αφαιρεθεί με το να επεκτείνεται κυκλικά το σύμβολο που χρησιμοποιείται κάθε φορά στην OFDM.



Σχήμα 3.3 OFDM σε UWB σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.3a

3.2 Ιστορική Αναδρομή

Οι επιστήμονες έχουν επιστήσει την προσοχή τους στις UWB επικοινωνίες από το 2000 περίπου. Χαρακτηριστικά, περιγράφεται στα δημοφιλή περιοδικά ως μία από τις δέκα τεχνολογίες που θα αλλάξουν τον κόσμο μας. Εντούτοις, αυτό δεν πρέπει να μειώνει το γεγονός ότι η προέλευσή της ανάγεται σε περισσότερο από έναν αιώνα πίσω. Πραγματικά, οι ηλεκτρομαγνητικές επικοινωνίες άρχισαν με UWB. Προς το τέλος του 1800, ο ευκολότερος τρόπος να παραχθεί ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα ήταν να παραχθεί ένας σύντομος παλμός: μια γεννήτρια διακένου ηλεκτρικού σπινθήρα χρησιμοποιήθηκε, π.χ., από τον Hertz στα διάσημα πειράματά του, και από τον Marconi για τις πρώτες ηλεκτρομαγνητικές μεταδόσεις στοιχείων. Κατά συνέπεια, τα πρώτα πρακτικά συστήματα UWB είναι στην πραγματικότητα περισσότερο από 100 ετών. Επίσης, η θεωρητική έρευνα στη διάδοση της UWB ακτινοβολίας πηγάζει περισσότερο από έναν αιώνα πίσω. Ήταν ο μεγάλος θεωρητικός, Sommerfeld, που πρώτος ανέλυσε τη διάθλαση ενός σύντομου παλμού με ένα μισό-επίπεδο - ένα από τα θεμελιώδη προβλήματα της UWB διάδοσης.

Εντούτοις, μετά από το 1910, το γενικό ενδιαφέρον στράφηκε στις επικοινωνίες περιορισμένης ζώνης. Ένας λόγος που συνέβη αυτό ήταν το γεγονός ότι η φασματική απόδοση των σημάτων που παρήχθησαν από τις συσκευές αποστολής σημάτων διακένου ηλεκτρικού σπινθήρα ήταν χαμηλή - τα σήματα που παρήχθησαν είχαν ένα lowbit ρυθμό, αλλά καταλάμβαναν ένα μεγάλο εύρος ζώνης. Με άλλα λόγια, εκείνα τα σήματα είχαν έναν μεγάλο συντελεστή διασποράς (spreading factor). Εκείνη τη στιγμή, δεν ήταν γνωστό το πώς μπορούσαν να εκμεταλλευτούν τέτοια διασπορά σήματος (signal spreading)· είχε φανεί απλά ότι ήταν ένα ελάττωμα. Από την άλλη, οι περιορισμένης ζώνης επικοινωνίες, που επέτρεψαν την πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας, πρόσφεραν έναν εύκολο τρόπο μετάδοσης πολλαπλών σημάτων σε ένα πεπερασμένο εύρος ζώνης. Κατά συνέπεια, η έρευνα σχετικά με τα UWB έμεινε πίσω.

Ξαναήρθε στο προσκήνιο την δεκαετία του '60 σε ένα διαφορετικό πλαίσιο αυτή τη φορά, δηλαδή στο στρατιωτικό ραντάρ, όπου η φασματική απόδοση δεν ήταν ένας παράγοντας που τους απασχολούσε. Αντιθέτως, το θέμα ήταν να βελτιωθεί το χωρική ανάλυση (spatial resolution) με άλλα λόγια, να βελτιωθεί η ακρίβεια με την οποία μπορεί να καθοριστεί ο χρόνος εκτέλεσης από τη συσκευή αποστολής σημάτων ραντάρ σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, και πίσω στο δέκτη. Προκύπτει από τις στοιχειώδεις εκτιμήσεις Fourier, ότι αυτό μπορεί να βελτιωθεί, αν οι μεταδιδόμενοι παλμοί του ραντάρ είναι όσο το δυνατόν κοντύτεροι. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για αυτήν την εργασία συνέπεσε με την εφεύρεση του παλμογράφου δειγματοληψίας, ο οποίος επέτρεψε την πειραματική ανάλυση των σημάτων μικρής διάρκειας στο πεδίο του χρόνου. Μια σημαντική συνιστώσα για τη λειτουργία των συστημάτων ραντάρ με UWB ήταν ο σχεδιασμός υψηλής ισχύος, μικρών παλμών γεννητριών, το οποίο ερευνήθηκε από τους στρατιωτικούς και στις ΗΠΑ και στη Σοβιετική Ένωση.

Οι UWB επικοινωνίες άρχισαν να λαμβάνουν το απαραίτητο ενδιαφέρον τη δεκαετία του '70. Εκείνη την εποχή, καλούσαν τις UWB επικοινωνίες ως 'ζώνης βάσης' ('baseband') ή 'χωρίς-φέρουσα' ('carrier-free') επικοινωνίες. Περίπου το 1973, αναγνωρίστηκε ότι οι σύντομοι παλμοί, που διασπείρουν το σήμα σε ένα μεγάλο φάσμα, δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις παρεμβολές εξαιτίας των επικοινωνιών περιορισμένης ζώνης, και δεν παρεμβάλουν σε αυτές. Εντούτοις, το πρόβλημα της παρεμβολής λόγω πολλαπλής προσπέλασης (multiple-access interference - MAI) των μη συγχρονισμένων χρηστών παρέμενε, και έτσι ακόμη και τη δεκαετία του '70 και του '80, οι UWB επικοινωνίες συνέχισαν να ερευνώνται κυρίως στο στρατιωτικό τομέα. Το πρόβλημα παρεμβολών λόγω πολλαπλής προσπέλασης λύθηκε με την εισαγωγή του time-hopping impulse radio (TH-IR) στις αρχές του 1990, όπου η

πρωτοποριακή εργασία των Win και Scholtz έδειξε ότι το impulse radio θα μπορούσε να υποστηρίξει ένα μεγάλο αριθμό χρηστών με την ανάθεση ψευδοτυχαίων χρόνων μετάδοσης στους παλμούς από τους διαφορετικούς χρήστες. Αυτή η διορατικότητα, που συνδέθηκε με την πρόοδο που σημειώθηκε στο σχεδιασμό ηλεκτρονικών συσκευών, έστρεψε τις εμπορικές επιχειρήσεις προς τις UWB τεχνολογίες.

Το άλλο βασικό εμπόδιο προκειμένου να αρχίσουν να χρησιμοποιούνται οι UWB επικοινωνίες στο εμπόριο ήταν πολιτικής φύσης. Όλες ρυθμίσεις συχνότητας σε όλο τον κόσμο ορίζουν τα στενής ζώνης συστήματα στις συγκεκριμένες υπηρεσίες ή/και στις επιχειρήσεις. Τα συστήματα UWB παραβίαζαν εκείνες τις ρυθμίσεις συχνότητας, δεδομένου ότι εκπέμπουν την ακτινοβολία πέρα από ένα μεγάλο φάσμα συχνότητας, συμπεριλαμβάνοντας και ζώνες που έχουν ήδη οριστεί για άλλες υπηρεσίες. Οι υπερασπιστές των UWB προσπάθησαν να πείσουν τους υπευθύνους για τη ρύθμιση συχνότητας στις ΗΠΑ, δηλαδή την FCC (Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών), ότι οι εκπομπές από τις συσκευές UWB δεν θα παρεμπόδιζαν τις υπάρχουσες υπηρεσίες. Μετά από μια μεγάλη διαδικασία ακρόασης, η FCC εξέδωσε μια απόφαση το 2002 που επέτρεψε τις εκπομπές UWB στο φάσμα συχνότητας μεταξύ 3.1 και 10.6 GHz, υπό τον όρο το φάσμα της ισχύος εκπομπής να συμφωνεί με κάποιους περιορισμούς.

Εάν η εισαγωγή του time-hopping impulse radio είχε δημιουργήσει μια θύελλα στις εμπορικές δραστηριοτήτων UWB, η απόφαση της FCC το έκανε να εκτιναχτεί. Μέσα σε δύο έτη, περισσότερες από 200 επιχειρήσεις εργάζονταν πάνω σε αυτό το θέμα. Αναγνωρίζοντας αυτήν την τάση αρχικά, η IEEE (Institute of Electric and Electronics Engineers) δημιούργησε μια ομάδα εργασίας (IEEE 802.15.3a) με στόχο την τυποποίηση ενός φυσικού στρώματος για τις ασύρματες επικοινωνίες υψηλής ρυθμαπόδοσης βασισμένες σε UWB. Οι εφαρμογές υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων έδωσαν μια μεγάλη αρχική υπόσχεση, που κατά ένα μεγάλο μέρος οφείλεται στην άμεσα ορατή εμπορική δυνατότητα που θα προσέφεραν. Καθώς η διαδικασία στην IEEE χρονοτριβούσε, αυτό έδωσε αφορμή για δύο συμμαχίες στη βιομηχανία (συμμαχία πολλαπλής ζώνης-OFDM/WiMedia, και το φόρουμ UWB) που έστειλαν τα προϊόντα μέχρι το 2005. Ειρωνικά, καμία από εκείνες τις συμμαχίες δεν χρησιμοποιεί το impulse radio, αλλά μάλλον πιο 'ώριμες' τεχνολογίες, δηλαδή OFDM (ορθογωνική διαμόρφωση συχνότητας) και DS-CDMA (direct-sequence code division multiple access), αντίστοιχα. Οι UWB τεχνολογίες είναι επίσης κατάλληλες για τη μετάδοση δεδομένων σε χαμηλούς ρυθμούς, αφού χρησιμοποιούν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια - οι αρχές του impulse radio είναι κατάλληλες σε αυτό το πλαίσιο. Δεδομένου ότι οι στόχοι είναι πολύ διαφορετικοί από τις εφαρμογές υψηλού ρυθμού

μετάδοσης, επίσης σε μια διαφορετική ομάδα τυποποίησης ανατέθηκε η ανάπτυξη μιας κοινής προδιαγραφής για τέτοιες συσκευές, η ομάδα IEEE 802.15.4a.

Από το 2000, η επιστημονική έρευνα στις επικοινωνίες UWB έχει ακολουθήσει ένα αριθμό διαφορετικών κατευθύνσεων. Η θεωρητική απόδοση του time-hopping impulse radio ήταν το πρώτο θέμα που προσέκλισε ενδιαφέρον. Τα πιο θεμελιώδη προβλήματα λύθηκαν· οι πιο λεπτομερείς πτυχές της πολλαπλής πρόσβασης και της παρεμβολής από τις περιορισμένης ζώνης εφαρμογές αντιμετωπίστηκαν.

Είναι επίσης ενδιαφέρον να δει κανείς πώς η έρευνα στις UWB κεραίες και στη διάδοση εξελίχθηκε κατά τη διάρκεια των ετών. Οι κεραίες UWB είναι περισσότερο από 100 ετών. Μερικές από τις πρώτες κεραίες ήταν δικωνικές κεραίες και σφαιρικά δίπολα, οι οποίες είχαν πολύ καλά ευρυζωνικά χαρακτηριστικά. Ανακαλύφθηκαν πάλι στη δεκαετία του '30 από τον Carter, ο οποίος πρόσθεσε επίσης τις ευρυζωνικές μεταβάσεις από το σημείο τροφοδοσίας μέχρι τα ακτινοβολούντα στοιχεία (radiating elements). Είναι αξιοσημείωτο ότι η έρευνα γύρω από τις UWB κεραίες δεν έπεσε ποτέ σε ύφεση, αντιθέτως έμεινε ως μια δημοφιλή και σημαντική περιοχή έρευνας καθ' όλη τη διάρκεια των προηγούμενων 70 ετών. Ένας κύριος παράγοντας σε αυτήν την ανάπτυξη αποτέλεσε η τηλεοπτική αναμετάδοση: οι ήδη ορισμένες ζώνες στην τηλεόραση επεκτείνονται σε ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων, και δεδομένου ότι μια κεραία πρέπει να εκπέμπει/λάμβάνει όλους τους διαθέσιμους σταθμούς, αυτό σημαίνει, επίσης, ότι η κεραία έπρεπε να είναι πολύ ευρυζωνική. Όπως οι UWB επικοινωνίες προέκυψαν ως εμπορικά βιώσιμη επιλογή στη δεκαετία του '90, η σχεδίαση μικρότερων κεραιών έγινε μια νέα απαίτηση. Οι κεραίες με σχισμές (slot antennas) και οι τυπωμένες κεραίες έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμες σε αυτό το πλαίσιο.

Η έρευνα σχετικά με την UWB διάδοση, εφ' ενός, έχει μια ιστορία πολυτάραχη. Οι θεωρητικές έρευνες για την αλληλεπίδραση των σύντομων παλμών σε σχέση με τα διαμορφωμένα αντικείμενα εξαντλήθηκαν από τις κλασσικές μελέτες του Sommerfeld. Οι πρακτικές μελέτες διάδοσης, από την άλλη, φαίνονται να περιορίζονται στις μετρήσεις ραντάρ. Η ανάπτυξη των στατιστικών προτύπων καναλιών/διαύλων (statistical UWB channel models) UWB, που είναι σημαντική για την ανάπτυξη των συστημάτων επικοινωνιών, άρχισε σχετικά πρόσφατα. Η 802.15.3a ομάδα της IEEE καθιέρωσε ένα πρότυπο καναλιών για τα κατοικημένα και εργασιακά περιβάλλοντα στο εύρος των 3-10 GHz, το οποίο είναι βασισμένο σε δύο εκστρατείες μέτρησης. Αυτό το πρότυπο χρησιμοποιήθηκε ευρέως και από τη βιομηχανική και ακαδημαϊκή έρευνα από το 2003 ως το 2005. Περισσότερες εκστρατείες μέτρησης έλαβαν χώρα μετά από το 2003, και ένα άλλο τυποποιημένο πρότυπο, το πρότυπο IEEE 802.15.4a, που δημοσιεύθηκε το 2005, συμπεριλάμβανε

μία μεγαλύτερη ποικιλία στα περιβάλλοντα διάδοσης και λάμβανε υπόψη περισσότερες επιπτώσεις που προκαλούσε η διάδοση. Εντούτοις, ενώ έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην κατανόηση των UWB καναλιών, αρκετά είναι αυτά που καλούνται να γίνουν ακόμα.

3.3 Πλεονεκτήματα των UWB

Τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα UWB συστήματα είναι πολυάριθμα. Καταρχήν, εισάγεται η χρήση ενός εξαιρετικά ευρείας ζώνης φάσματος, όπως αναφέρεται ανωτέρω. Η χρήση αυτού του φάσματος αυξάνει πολύ τη φασματική απόδοση και ανοίγει τις νέες πόρτες για τις ασύρματες εφαρμογές. Η εισαγωγή των γνωστικών χαρακτηριστικών σε συνδυασμό με την καλύτερη δυνατή χρήση του φάσματος, ενισχύει περαιτέρω τις τρέχουσες UWB εφαρμογές.

Η UWB επικοινωνία (τόσο το impulse radio όσο και το multicarrier) επίσης προσφέρει μεγάλη ευελιξία στη χρήση του φάσματος. Αυτό το σύστημα χαρακτηρίζεται στην πραγματικότητα από ποικίλες παραμέτρους που επιτρέπουν το σχεδιασμό προσαρμοστικών πομποδεκτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων ως λειτουργία του απαραίτητου ρυθμού δεδομένων, του εύρους, της ισχύος, της ποιότητας υπηρεσίας, και των προτιμήσεων του χρήστη. Η UWB τεχνολογία είναι πιθανό να παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (της τάξης του 1 Gbps) πέρα από πολύ περιορισμένο εύρος (λιγότερο από 1 μέτρο). Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί, εντούτοις, να γίνει πολύ εμπορικός διότι εξαιτίας του εύρους που προσφέρει γίνεται εύκολος ο σχεδιασμός των κατάλληλων προσαρμοστικών πομποδεκτών. Ομοίως, ο ρυθμός μετάδοσης και το εύρος μπορούν να γίνουν εύκολα εμπορεύσιμα εξαιτίας της χαμηλής ισχύος, κάτι που βρίσκει εφαρμογή σε χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων και εφαρμογές περιορισμένου φάσματος. Επιπλέον, η ίδια συσκευή μπορεί να σχεδιαστεί για να παρέχει υπηρεσία για τις διάφορες εφαρμογές με ποικίλες απαιτήσεις χωρίς να υπάρχει ανάγκη για πρόσθετο υλικό.

Η υψηλή χρονική ανάλυση (temporal resolution) που προσφέρουν τα UWB σήματα έχει ως αποτέλεσμα χαμηλά περιθώρια εξασθένησης, που υπονοούν την σθεναρότητα ενάντια στις πολλαπλές διαδρομές. Δεδομένου ότι τα UWB σήματα εκτείνονται σε ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων (κάτω από στις πολύ χαμηλές συχνότητες), παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές απώλειες λόγω διείσδυσης στα υλικά, που προσφέρουν τη δυνατότητα καλύτερων περιθωρίων μεταξύ των συνδέσεων (link margins). Επιπλέον, συχνά πολλά στοιχεία πολλαπλών διαδρομών μπορούν να

παρατηρηθούν στο δέκτη, και επομένως, το σύστημα έχει μια άριστη ικανότητα λήψης της ενέργειας. Παραδείγματος χάριν, οι δέκτες τύπου 'rake receivers' μπορούν να εφαρμοστούν για να κλειδώσουν την ηχώ λόγω πολλαπλών διαδρομών, να συλλέξουν την ενέργεια, και ως εκ τούτου να βελτιώσουν την απόδοση.

Η εξαιρετική χρονική ανάλυση (time resolution) είναι ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα των UWB σημάτων για ένα εύρος εφαρμογών. Λόγω της εξαιρετικά σύντομης διάρκειας των παλμών που μεταδίδονται, το εύρος που κυμαίνεται είναι δυνατό να προσεγγίσει την τάξη των εκατοστών. Στα IR-UWB συστήματα, καμία πάνω/κάτω (up/down) μετατροπή δεν απαιτείται στους πομποδέκτες, με όφελος τη μείωση του κόστους και του μεγέθους των συσκευών. Άλλα οφέλη των UWB περιλαμβάνουν τη χαμηλής ισχύος μετάδοση και την ανεκτικότητα των σημάτων στο να 'κρυφακούσουν' άλλο σήμα (δεδομένου ότι τα UWB σήματα μοιάζουν με θόρυβο).

3.4 Μειονεκτήματα των UWB

Παρά όλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι UWB εφαρμογές, υπάρχουν διάφορα θεμελιώδη και πρακτικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν προσεκτικά για να εξασφαλίσουν την επιτυχία αυτής της τεχνολογίας στην αγορά της ασύρματης επικοινωνίας. Ο σχεδιασμός κώδικα για πολλαπλή πρόσβαση, οι παρεμβολές λόγω πολλαπλής πρόσβασης (MAI, multiple access interference), οι παρεμβολές από τα σήματα στενής ζώνης και, ο συγχρονισμός του δέκτη στους εξαιρετικά στενούς παλμούς, η ακριβής διαμόρφωση των UWB καναλιών, η εκτίμηση των καθυστερήσεων λόγω πολλαπλών διαδρομών και των συντελεστών (multipath channel delays and coefficients), και σχεδιασμός κατάλληλων πομποδεκτών είναι μερικά από τα ζητήματα που απαιτούν ακόμα πολλή έρευνα. Εκτός από τα ανωτέρω ζητήματα που έχουν να κάνουν με το φυσικό στρώμα, ο θεμελιώδης ρόλος της UWB τεχνολογίας στα ασύρματα δίκτυα είναι ακόμα ανοικτός, και ένα ευρύ φάσμα ερευνητικών ερωτήσεων συνεχίζει να παρουσιάζει προκλήσεις, όπως ο ιδιαίτερος ρόλος των UWB στα ad-hoc ασύρματα δίκτυα και στα δίκτυα αισθητήρων. Μεταξύ των προκλήσεων που καλούνται να αντιμετωπιστούν, αξίζει να σημειωθούν οι παρακάτω:

- Συνύπαρξη με τις άλλες συσκευές και κατάλληλος χειρισμός των παρεμβολών από τα στενής ζώνης σήματα.
- Σχηματισμός-προσαρμογή του φάσματος των μεταδιδόμενων σημάτων (multiband, OFDM-based UWB).
- Πρακτικοί, απλοί, και χαμηλής ισχύος πομποδέκτες.

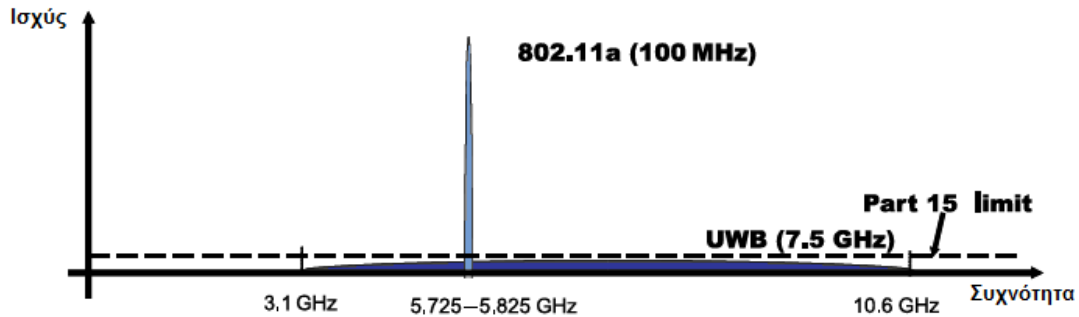
- Ακριβείς συγχρονισμός και εκτίμηση παραμέτρων του διαύλου.
- Υψηλός ρυθμός δειγματοληψίας για τις ψηφιακές εφαρμογές.
- Ισχυρές ικανότητες επεξεργασίας για υψηλή απόδοση και συνεκτικές δομές ψηφιακών δεκτών.
- Ευρείας ζώνης RF εξαρτήματα (όπως οι κεραιές, οι χαμηλού θορύβου ενισχυτές, κ.λπ.)
- Πολλαπλή πρόσβαση, κώδικα για πολλαπλή πρόσβαση, και παρεμβολές πολλών χρηστών.
- Ακριβής διαμόρφωση του διαύλου ευρείας ζώνης στα διάφορα περιβάλλοντα.
- Προσαρμοστικός σχεδιασμός των συστημάτων και cross-layer προσαρμογή για UWB.
- Προσαρμοσμένος σχεδιασμός δικτύων UWB.

3.5 Μεγάλο απόλυτο και σχετικό εύρος

Τα UWB συστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν είτε από ένα μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης, είτε ένα μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης. Κάθε ένας από αυτούς τους χαρακτηρισμούς έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα, καθώς επίσης και μειονεκτήματα, τα οποία αναφέρονται παρακάτω.

3.5.1 Μεγάλο απόλυτο εύρος

Με τον όρο ‘μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης’ (large absolute bandwidth), αναφερόμαστε συνήθως σε συστήματα με εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 500 MHz, σύμφωνα με τον ορισμό που έχει δώσει η FCC σχετικά με την UWB ακτινοβολία. Ένα τόσο μεγάλο εύρος ζώνης προσφέρει τη δυνατότητα πολύ μεγάλων συντελεστών διάδοσης: με άλλα λόγια, η αναλογία του εύρους ζώνης σημάτων προς το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων είναι πολύ μεγάλη. Για μία τυπική εφαρμογή δικτύων αισθητήρων με τη ρυθμαπόδοση στα 5 ksymbol/s, ένας συντελεστής διάδοσης (spreading factor) της τάξης του 10^5 έως 10^6 επιτυγχάνεται για την μετάδοση με εύρος ζώνης στα 500 MHz και 5 GHz, αντίστοιχα. Η εξάπλωση σε ένα τέτοιο μεγάλο εύρος ζώνης σημαίνει ότι η φασματική πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας, δηλ., η ισχύς ανά μονάδα εύρους ζώνης, είναι πολύ χαμηλή. Ένας ‘νόμιμος’ δέκτης σημάτων στενής ζώνης (victim legacy narrowband receiver) θα δει μόνο την ισχύ του θορύβου μέσα στο εύρος ζώνης του συστήματός του, δηλ., ένα μικρό μέρος από την συνολική ισχύ που μεταδίδεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4.

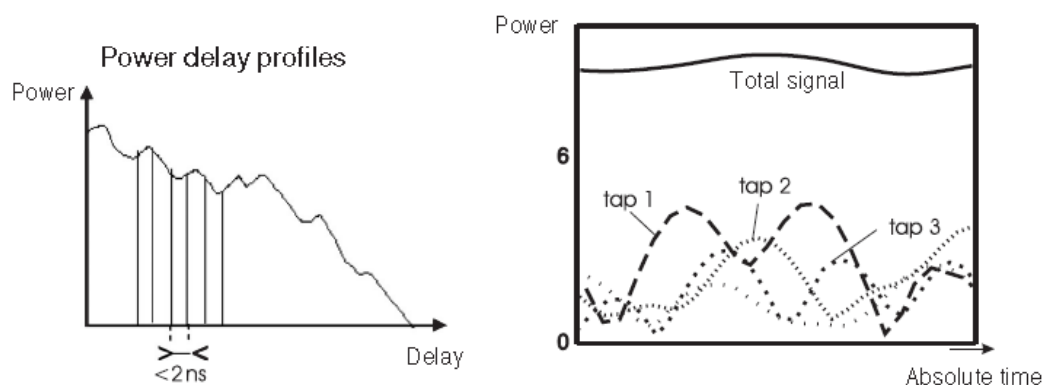


Σχήμα 3.4 Παρεμβολές μεταξύ ενός UWB συστήματος και ενός συστήματος στενής ζώνης (IEEE 802.11a) σε τοπικό δίκτυο

Αυτό υπονοεί ότι οι παρεμβολές στο νόμιμο στενής ζώνης σύστημα (legacy (narrowband) systems) είναι ανεπαίσθητες. Επιπλέον, ένας δέκτης UWB μπορεί να καταστείλει την παρεμβολή από το σύστημα περιορισμένης ζώνης κατά έναν παράγοντα που είναι περίπου ίσος με το συντελεστή διάδοσης (spreading factor). Αυτές οι αρχές γίνονται κατανοητές από τη γενική θεωρία των συστημάτων με ευρύ φάσμα (spread spectrum systems). Το χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τα UWB συστήματα είναι ότι ο συντελεστής διάδοσης (spreading factor) πηγαίνει στα άκρα, και φέρνει έτσι τη φασματική πυκνότητα ισχύος σε τόσο χαμηλά επίπεδα που, ως επί το πλείστον, δεν παρεμβάλλει καθόλου στα νόμιμα συστήματα. Ιδανικά, η ακτινοβολία απλά αυξάνει το επίπεδο θορύβου που φαίνεται από το δέκτη-θυμά του στενής ζώνης συστήματος κατά ένα αμελητέο ποσό. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι αυτή η ακτινοβολία είναι σχεδόν μη ανιχνεύσιμη για τους αυθαίρετους ακροατές (unauthorised listeners). Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο συντελεστής διάδοσης είναι μια συνάρτηση του εύρους ζώνης μετάδοσης και του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων. Συνεπώς, τα UWB συστήματα με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (>100 Mbit/s) δεν εμφανίζουν έναν τόσο μεγάλο συντελεστή διάδοσης όπως αυτός στο ανωτέρω παράδειγμα, και είναι έτσι πιο ευαίσθητα στις παρεμβολές.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρουν τα UWB συστήματα με μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης είναι η υψηλή ανθεκτικότητα ενάντια στην εξασθένηση. Στα συμβατικά περιορισμένης ζώνης συστήματα, η λαμβανόμενη ισχύς των σημάτων υπόκεινται στις διακυμάνσεις, που προκαλούνται από τις συνιστώσες των πολλαπλών διαδρομών (MPCs-multipath components), δηλ., την ηχώ από διαφορετικούς σκεδαστές όπου παρεμβάλλει το ένα σήμα με το άλλο στο άλλοτε με αύξηση και άλλοτε με μείωση του πλάτους των σημάτων, σε συνδυασμό με την ακριβή θέση του πομπού, του δέκτη και του σκεδαστή. Το πλάτος του συνολικού λαμβανόμενου σήματος είναι συνήθως σύνθετες γκαουσιανές κατανομές (complex

Gaussian), επειδή ένας μεγάλος αριθμός από MPCs προστίθεται στο δέκτη. Ένας UWB πομποδέκτης όταν λαμβάνει ένα σήμα με ένα μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης τότε μπορεί να επιλύσει αυτό τον συνδυασμό από MPCs. Με χωριστή επεξεργασία των διαφορετικών MPCs, ο δέκτης μπορεί να σιγουρευτεί ότι όλες εκείνες οι συνιστώσες προστίθενται με έναν βέλτιστο τρόπο, προκειμένου να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι πιθανότητες για εξασθένηση (deep fades) του σήματος. Με άλλα λόγια, τα περισσότερα επιλύσιμα MPCs παρέχουν έναν υψηλό βαθμό ποικιλίας όσων αφορά στην καθυστέρηση. Σαν πρόσθετη επίδραση, αξίζει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των πραγματικών MPCs που προστίθενται σε ένα επιλύσιμο πρόβλημα πολλαπλών διαδρομών είναι μικρός· για αυτόν τον λόγο, οι πιθανότητες εξασθένησης κάθε επιλύσιμης συνιστώσας του προβλήματος πολλαπλών διαδρομών δεν έχουν μια σύνθετη γκαουσιανή κατανομή, αλλά παρουσιάζουν μια χαμηλότερη πιθανότητα εξασθένησης. Λόγω αυτού, και της ποικιλίας στην καθυστέρηση, τα UWB συστήματα με το μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης σπάνια χρειάζονται κάποιο περιθώριο εξασθένησης για να αντισταθμίσουν την εξασθένηση, γεγονός που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα περιορισμένης ζώνης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 Ποικιλία στην καθυστέρηση σε ένα UWB σύστημα

Τέλος, το μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης οδηγεί επίσης σε μια μεγάλη βελτίωση της ακρίβειας του εύρους/έκτασης (ranging) και της γεωγραφικής θέσης (geolocation). Τα περισσότερα συστήματα που χαρακτηρίζονται από το εύρος (ranging systems) προσπαθούν να καθορίσουν το χρόνο που κάνει η ακτινοβολία να διαδοθεί μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Προκύπτει από τις στοιχειώδεις εκτιμήσεις Fourier ότι η ακρίβεια στην έκταση βελτιώνει το εύρος ζώνης του εκτεινόμενου σήματος. Κατά συνέπεια, ακόμη και χωρίς περίπλοκους, υψηλής ευκρίνειας αλγόριθμους για τον προσδιορισμό του χρόνου άφιξης του πρώτου

μονοπατιού, ένα UWB σύστημα μπορεί να επιτύχει ακρίβεια εκατοστόμετρων στην έκταση. Φυσικά, αυτή η ακρίβεια μπορεί να βελτιωθεί από πρόσθετες πληροφορίες, όπως η κατεύθυνση της άφιξης, ή/και η λαμβανόμενη ισχύς.

Ενώ το μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα, παρ' όλα αυτά υπάρχουν και κάποιες προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπιστούν. Από την άποψη του υλικού (hardware), η ακρίβεια των τοπικών ταλαντωτών ή/και των κυκλωμάτων συγχρονισμού πρέπει να είναι πολύ υψηλή. Όταν το απόλυτο εύρος ζώνης είναι 1 GHz, ένας συγχρονισμός παραμόρφωσης σήματος (timing jitter) 1 ns μπορεί, προφανώς, να έχει τις καταστροφικές συνέπειες. Μια άλλη συνέπεια της υψηλής ανάλυσης της καθυστέρησης είναι ότι ένας μεγάλος αριθμός συνιστωσών (MPCs) πρέπει να ληφθεί και να υποβληθεί σε επεξεργασία. Παραδείγματος χάριν, ο αριθμός των εισόδων σε έναν δέκτη τύπου Rake receiver που απαιτείται για να συλλέξει το 90% της διαθέσιμης ενέργειας μπορεί εύκολα να φθάσει σε μερικές δεκάδες ή ακόμα και εκατοντάδες. Τέλος, η λεπτή ανάλυση της καθυστέρησης μπορεί επίσης να έχει μειονεκτήματα στην έκταση: η συνιστώσα που έχει να κάνει με την οπτική επαφή (line-of-sight component) που πρέπει να ανιχνευθεί από τους αλγόριθμους για την έκταση (ranging algorithms) μπορεί να περιέχει λίγη ενέργεια, και μπορεί έτσι να έχει μια φτωχή αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR).

3.5.2 Μεγάλο σχετικό εύρος

Πάλι, ακολουθώντας αυτά που έχει καθορίσει η FCC, συστήματα με ένα σχετικό εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 20% θεωρούνται ως UWB. Ένα τέτοιο μεγάλο εύρος ζώνης μπορεί να ενισχύσει πολύ την σθεναρότητα των σημάτων στη μετάδοση δεδομένων, και μπορεί να παρουσιάζει σημαντικότερα πλεονεκτήματα για τα ραντάρ και την έκταση/εύρος (ranging). Διαισθητικά, τα τμήματα του σήματος με διαφορετική συχνότητα 'βλέπουν' διαφορετικές καταστάσεις διάδοσης. Κατά συνέπεια, υπάρχει μια υψηλή πιθανότητα τουλάχιστον μερικά απ' αυτά τα τμήματα του σήματος να διαπεράσουν τα εμπόδια ή να βρουν ένα δρόμο να φτάσουν από τον πομπό στο δέκτη. Αυτό το πλεονέκτημα είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακό σε συστήματα ζώνης βάσης (baseband system), όπου οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται ξεκινούν από μερικές δεκάδες Megahertz, και φτάνουν μέχρι 1 Gigahertz. Τα χαμηλής συχνότητας τμήματα μπορούν να διαπεράσουν ευκολότερα τους τοίχους και το έδαφος, ενώ τα υψηλής συχνότητας τμήματα δίνουν τα έντονα ανακλώμενα σήματα. Συνεπώς, το σήμα είναι πιο ισχυρό ενάντια στα φαινόμενα σκίασης (shadowing effects) (σε αντίθεση με τα συστήματα μεγάλου-απόλυτου-εύρους ζώνης, τα οποία είναι πιο ισχυρά στις παρεμβολές μεταξύ των MPCs). Η ικανότητα της διείσδυση σε τοίχους και πατώματα

είναι επίσης πολύ χρήσιμη για τα συστήματα ραντάρ και για τα συστήματα εντοπισμού της γεωγραφικής θέσης (geolocation systems).

Σε πολλές πρακτικές περιπτώσεις, τα συστήματα μεγάλου-σχετικού-εύρους ζώνης είναι καθαρά συστήματα ζώνης βάσης, δηλ., συστήματα όπου οι παλμοί ζώνης βάσης εφαρμόζονται άμεσα στις κεραίες (καμία συνιστώσα συνεχούς ρεύματος δεν μπορεί να μεταδοθεί). Τέτοια συστήματα έχουν επίσης πλεονεκτήματα και όσων αφορά στην εφαρμογή· συγκεκριμένα, προλαμβάνουν την ανάγκη για RF τμήματα όπως οι τοπικοί ταλαντωτές και οι αναμίκτες.

Από την άλλη, ένα μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης μπορεί να οδηγήσει σε αξιόλογες περιπλοκές κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων. Οι περισσότερες συσκευές όπως οι κεραίες, οι ενισχυτές, κ.λπ., έχουν εγγενή χαρακτηριστικά όμοια με αυτά των συστημάτων περιορισμένης ζώνης που προκύπτουν τόσο από πρακτικούς περιορισμούς, όσο και από θεμελιώδεις αρχές.

Για τις εφαρμογές στα ραντάρ, καθώς επίσης και στα συστήματα επικοινωνιών καταστροφής (disaster communications systems), ένα μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης είναι το σημαντικότερο επιχείρημα για τη χρησιμοποίηση UWB. Για άλλα συστήματα επικοινωνιών, ένα μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης είναι κατά κύριο λόγο σημαντικότερο.

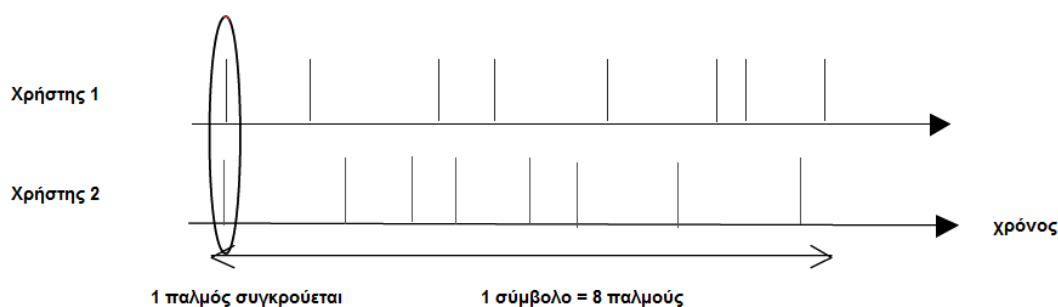
3.6 UWB Σήματα και Συστήματα

Η έρευνα για τις UWB κεραίες και τη διάδοση είναι στενά συνδεδεμένη με το σχεδιασμό των πομποδεκτών UWB και της επεξεργασίας σήματος. Από τη μία πλευρά, είναι αδύνατο σχεδιασθούν καλά και αποδοτικά συστήματα εάν δεν γνωρίζουμε τον αποτελεσματικό δίαυλο (συμπεριλαμβανομένων των κεραιών) για τον οποίο σχεδιάζουμε το σύστημα. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να γνωρίζουμε το σχέδιο του συστήματος προκειμένου να βρεθεί το πώς ο σχεδιασμός των κεραιών και το κανάλι διάδοσης επιδρούν στην απόδοση του συστήματος. Στα προηγούμενα έτη, τέσσερις μέθοδοι έχουν προκύψει για τη σηματοδότηση με τα ultra-wide εύρη ζώνης: impulse radio, DS-CDMA, OFDM και frequency hopping.

3.6.1 Impulse radio

Το impulse radio έχει πολλές ελκυστικές ιδιότητες, όπως την εξαιρετικά απλή κατασκευή πομπών. Εντούτοις, ένα σημαντικό πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει το impulse radio (μετάδοση ζωνών βάσης) για πολύ ήταν η φασματική

απόδοση: φάνηκε ότι μόνο ένας μικρός αριθμός χρηστών θα μπορούσε να είναι “στον αέρα” ταυτόχρονα. Ας θεωρηθεί η περίπτωση όπου διαβιβάζεται ένας παλμός ανά σύμβολο. Δεδομένου ότι οι πομποδέκτες UWB είναι μη συγχρονισμένοι, μπορούν να εμφανιστούν οι αποκαλούμενες ‘καταστροφικές συγκρούσεις’, κατά τις οποίες ο δέκτης λαμβάνει ταυτόχρονα παλμούς από διάφορους πομπούς. Ο λόγος σήματος προς παρεμβολή τότε γίνεται πολύ άσχημος, οδηγώντας σε ένα υψηλό ρυθμό σφαλμάτων (BER). Οι Win και Scholtz έδειξαν ότι αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να αποφευχθεί με χρήση του time-hopping impulse radio (TH-IR). Κάθε ψηφίο δεδομένων αντιπροσωπεύεται από διάφορους σύντομους παλμούς· η διάρκεια των παλμών καθορίζει ουσιαστικά το εύρος ζώνης του συστήματος. Η μεταδιδόμενη ακολουθία παλμών είναι διαφορετική για κάθε χρήστη, σύμφωνα με τη λεγόμενη time-hopping κωδικοποίηση (TH). Κατά συνέπεια, ακόμα κι αν ένας παλμός μέσα σε ένα σύμβολο συγκρούεται με ένα τμήμα σήματος άλλου χρήστη, οι άλλοι παλμοί στην ακολουθία δεν θα συγκρουστούν, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 Αρχή του time-hopping impulse radio για την καταστολή των καταστροφικών συγκρούσεων

Με άλλα λόγια, οι συγκρούσεις μπορούν να συμβούν χωρίς, όμως, να είναι καταστροφικές. Το time-hopping impulse radio επιτυγχάνει μια καταστολή των παρεμβολών λόγω πολλαπλών διαδρομών που είναι ίση με τον αριθμό των παλμών στο σύστημα. Οι πιθανές θέσεις των παλμών μέσα σε ένα σύμβολο ακολουθούν ορισμένους κανόνες: η διάρκεια του συμβόλου υποδιαιρείται σε N_f πλαίσια (frames) ίσου μήκους. Μέσα σε κάθε πλαίσιο ο παλμός μπορεί να καταλάβει μια σχεδόν αυθαίρετη θέση (που καθορίζεται από την time-hopping κωδικοποίηση). Χαρακτηριστικά, το πλαίσιο υποδιαιρείται σε ‘τσιπς’ (chips), των οποίων το μήκος είναι ίσο με μια διάρκεια ενός παλμού. Ο (ψηφιακός) κώδικας του time-hopping καθορίζει τώρα ποια από τις πιθανές θέσεις πραγματικά καταλαμβάνει ο παλμός.

Όταν όλοι οι μεταδιδόμενοι παλμοί έχουν την ίδια πολικότητα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6, το φάσμα των σημάτων παρουσιάζει διάφορες γραμμές. Αυτό είναι

ιδιαίτερα ανεπιθύμητο, δεδομένου ότι οι περισσότεροι ρυθμιστές φάσματος ορίζουν μια μέγιστη φασματική πυκνότητα ισχύος που πρέπει να ικανοποιείται. Κατά συνέπεια, η μεταδιδόμενη ισχύς ενός σήματος με φασματικές γραμμές πρέπει να είναι τέτοια ώστε οι φασματικές γραμμές να ικανοποιούν τη φασματική μάσκα - αυτό οδηγεί σε μια σημαντική απώλεια σε λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR). Αυτό το πρόβλημα λύνεται επιλέγοντας την πολικότητα των παλμών μετάδοσης με έναν ψευδοτυχαίο τρόπο· η αντίθετη διαδικασία γίνεται στο δέκτη.

Η διαμόρφωση αυτής της ακολουθίας παλμών μπορεί να είναι η παλμική διαμόρφωση PPM, ή παλμική διαμόρφωση PAM. Η διαμόρφωση PPM έχει το πλεονέκτημα ότι ο ανιχνευτής μπορεί να είναι πολύ απλούστερος - πρέπει μόνο να καθορίσει εάν υπάρχει περισσότερη ενέργεια στο χρόνο t_0 , ή στο χρόνο $t_0 + \delta$. Επιτρέπει τόσο τη χρήση των ασύμφωνων δεκτών (ενεργειακοί ανιχνευτές), καθώς επίσης και τη χρήση σύμφωνων δεκτών. Για τους ασύμφωνους δέκτες, απαιτείται το δ να είναι μεγαλύτερο από την καθυστέρηση διάδοσης του διαύλου. Η κωδικοποίηση BPSK μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από σύμφωνους δέκτες, εντούτοις, αυτό δίνει καλύτερη απόδοση από την διαμόρφωση PPM δεδομένου ότι είναι ένα τελείως διαφορετικό σχήμα διαμόρφωσης. Το σήμα που μεταδίδεται κατά την BPSK διαμόρφωση δίνεται από τη σχέση

$$s_{tr}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_j b_{\lfloor j/N_f \rfloor} w_{tr}(t - jT_f - c_j T_c) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k w_{seq}(t - kT_s) \quad (3.1)$$

όπου το $w_{tr}(t)$ είναι ο μεταδιδόμενος παλμός (unit-energy pulse),

το T_f είναι ο μέσος χρόνος επανάληψης του παλμού,

το N_f είναι ο αριθμός των πλαισίων (και επομένως επίσης ο αριθμός των παλμών),

το T_s είναι το μήκος της, και

το b είναι το μεταδιδόμενο σύμβολο πληροφορίας, δηλ., ± 1 ,

το $w_{seq}(t)$ είναι η μεταδιδόμενη ακολουθία παλμών που αντιπροσωπεύει ένα σύμβολο,

το $c_j T_c$ είναι μια πρόσθετη χρονική μετατόπιση σε δευτερόλεπτα στο j οστό παλμό του σήματος,

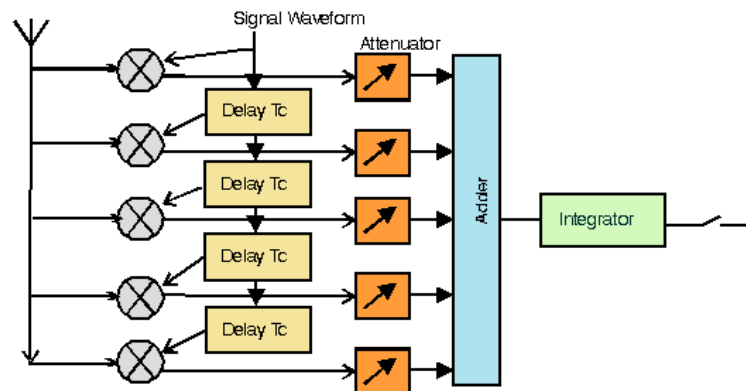
το T_c είναι το διάστημα 'τσιπ' (chip interval), και

το c_j είναι τα στοιχεία μιας ψευδοτυχαίας ακολουθίας, που παίρνει τις τιμές ακέραιων αριθμών μεταξύ 0 και $N_c - 1$. (Για να μην υπάρξει επικάλυψη μεταξύ των παλμών, το διάστημα 'τσιπ' επιλέγεται έτσι ώστε να ικανοποιεί τη σχέση $T_c \leq T_f/N_c$),

το d_j είναι μια (ψευδός) τυχαία μεταβλητή με την οποία επιτυγχάνεται η τυχαιότητα της πολικότητας αφού το d_j πολλαπλασιάζεται με κάθε παλμό (Το d_j

μπορεί να πάρει τις τιμές +1 ή -1 με την ίση πιθανότητα. Οι ακολουθίες d_i και c_i υποτίθεται ότι είναι γνωστές στον πομπό και δέκτη.)

Η σύμφωνη λήψη απαιτεί τη χρήση των δεκτών τύπου Rake (Σχήμα 3.7) προκειμένου να συλλεχθεί η ενέργεια των διαθέσιμων επιλύσιμων MPCs. Ο Rake receiver μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τράπεζα 'συσχετιστών', όπου ο συσχετισμός γίνεται με την μεταδιδόμενη κυματομορφή, και ο χρόνος δειγματοληψίας κάθε 'δάχτυλου' (finger) του Rake receiver αντιστοιχίζεται με την καθυστέρηση ενός επιλύσιμου MPC. Εντούτοις, για τα συστήματα με ένα μεγάλο απόλυτο εύρος ζώνης, ο αριθμός των επιλύσιμων MPCs μπορεί να γίνει πολύ μεγάλος. Δεδομένου ότι ο αριθμός 'δάχτυλων' στους λειτουργικούς Rake receivers είναι περιορισμένος, έτσι μόνο ένα υποσύνολο των διαθέσιμων MPCs μπορεί να ληφθεί.



Σχήμα 3.7 Rake receiver με πέντε 'δάχτυλα'

Επιπλέον, οι Rake receivers που λειτουργούν με τα UWB σήματα μπορούν να προκαλέσουν τη διαστρέβλωση των MPCs. Για τα συμβατικά ασύρματα συστήματα, η απόκριση της διέγερσης της εισόδου (impulse response) του διαύλου μπορεί να γραφτεί ως

$$h(t, \tau) = \sum_{i=1}^N a_i(t) \cdot \chi_i(t, \tau) \otimes \delta(\tau - \tau_i) \quad (3.2)$$

όπου N είναι ο αριθμός των επιλύσιμων MPCs, και

$a_i(t)$ είναι τα μιγαδικά πλάτη των επιλύσιμων MPCs.

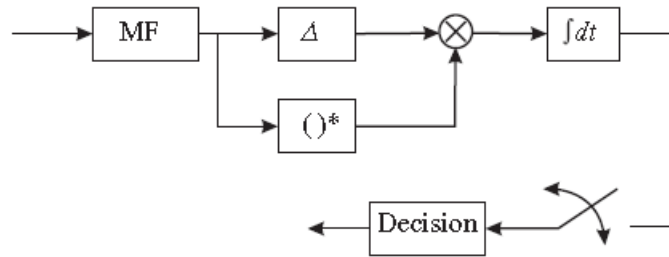
Για ένα UWB σύστημα, η απόκριση της διέγερσης εισόδου γράφεται όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση

$$h(t, \tau) = \sum_{i=1}^N a_i(t) \cdot \delta(\tau - \tau_i) \quad (3.3)$$

όπου $\chi_i(t,\tau)$ δείχνει τη χρονικά μεταβαλλόμενη παραμόρφωση της i -οστής ηχούς η οποία οφείλεται στην επιλεκτικότητα στη συχνότητα των αλληλεπιδράσεων με το περιβάλλον. Οι παραμορφώσεις μπορούν να είναι σημαντικές, ειδικά στα συστήματα με μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης. Για τη βέλτιστη λήψη, ένας Rake receiver πρέπει να γνωρίζει τις συναρτήσεις $\chi_i(t,\tau)$. Εναλλακτικά, ο δέκτης πρέπει να κάνει δειγματοληψία με ρυθμό Nyquist και να επεξεργαστεί όλες τις τιμές των δειγμάτων - ο αριθμός των οποίων μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερος από τον αριθμό MPCs. Επιπλέον, διαπιστώνουμε ότι το προσαρμοσμένο φίλτρο (matched filter - MF) πρέπει να συμπεριλάβει τις παραμορφώσεις της κυματομορφής, W_{tx} , που οφείλονται στις κεραίες. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό να συμβεί, είναι επιθυμητό οι κεραίες να παραμορφώνουν την κυματομορφή όσο το δυνατόν λιγότερο.

Δεδομένου ότι η σύμφωνη λήψη του impulse radio μπορεί να παρουσιάζει δυσκολίες, έχουν μελετηθεί εναλλακτικά σχήματα αποδιαμόρφωσης. Η ασύμφωνη λήψη είναι η απλούστερη προσέγγιση, και λειτουργεί πολύ καλά όταν η διάδοση της καθυστέρησης στο δίαυλο είναι μικρή και ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι υψηλός. Στις περιπτώσεις που έχουμε μεγάλη διάδοση καθυστέρησης, ο δέκτης πρέπει να ενσωματώσει τη λαμβανόμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης περιόδου, το οποίο επίσης σημαίνει ότι συλλέγει πολύ θόρυβο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Επιπλέον, η συμβολή των noise-noise cross-terms στο τετραγωνικό σήμα οδηγεί σε μια πρόσθετη επιδείνωση της απόδοσης. Τέλος, η ασύμφωνη λήψη είναι πιο ευαίσθητη στις παρεμβολές.

Προκειμένου να λειτουργήσουν σε συνδυασμό τα σύμφωνα και ασύμφωνα σχήματα, χρησιμοποιούνται συχνά τα transmitted-reference (TR) σχήματα. Στα TR, μεταδίδεται αρχικά ένας παλμός αναφοράς γνωστής πολικότητας (ή θέσης), ακολουθούμενος από ένα παλμό δεδομένων, του οποίου η πολικότητα (θέση) καθορίζεται από την πληροφορία που μεταφέρεται μέσω των ψηφίων. Στο δέκτη, έπειτα πολλαπλασιάζεται το λαμβανόμενο σήμα με μια καθυστερημένη έκδοσή του, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8. Αυτό το σχήμα έχει χειρότερο SNR από αυτό ενός σύμφωνου δέκτη (εξαιτίας της ύπαρξης του noise-noise cross terms) και είναι συγκρίσιμο με αυτό του ασύμφωνου δέκτη. Επίσης, δεν είναι ευαίσθητο στις παραμορφώσεις που οφείλονται στις κεραίες και τους διαύλους, επειδή τόσο ο παλμός των δεδομένων όσο και ο παλμός αναφοράς υποβάλλονται στις ίδιες παραμορφώσεις. Τέλος, είναι λιγότερο ευαίσθητο στην παρεμβολή από την ασύμφωνη λήψη.



Σχήμα 3.8 Σχηματικό διάγραμμα του δέκτη (transmitted-reference receiver)

3.6.2 Απευθείας Σύστημα Πολλαπλής Προσπέλασης με Διαίρεση κώδικα (DS-CDMA)

Παρόλο που τα UWB έχουν σχετιστεί από καιρό με τη ραδιοδιέγερση, η τελευταία δεν είναι η μόνη μέθοδος διάδοσης (spreading) ενός σήματος σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης· μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες πιο “κλασσικές μέθοδοι”. Συγκεκριμένα, η DS-CDMA πολύπλεξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με έναν απλό τρόπο ώστε να παραχθούν σήματα UWB. Η DS-CDMA διαδίδει το σήμα, πολλαπλασιάζοντας το σήμα μετάδοσης με ένα δεύτερο σήμα που έχει ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. Το εύρος ζώνης αυτού του συνολικού σήματος είναι περίπου το ίδιο με το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος ευρείας ζώνης. Συμβατικά, η διαδιδόμενη ακολουθία αποτελείται από μια ακολουθία από ± 1 . Οι m -ακολουθίες (m -sequences, ακολουθίες μέγιστου μήκους) που παράγονται από τους καταχωρητές μετατόπισης με ανάδραση είναι οι δημοφιλέστερες αυτών των ακολουθιών. Το σήμα μετάδοσης είναι το εξής

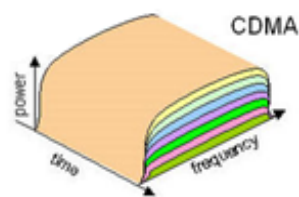
$$s_{tr}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_j b_{\lfloor j/N_f \rfloor} w_{tr}(t - jT_c) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k w_{seq}(t - kT_s) \quad (3.4)$$

όπου τα σύμβολα είναι τα ίδια με αυτά της εξίσωσης (3.1).

Η διαφορά μεταξύ ενός συμβατικού (π.χ., κυψελοειδούς) συστήματος DS-CDMA και ενός UWB σήματος είναι ρυθμός ‘τσιπ’ (chip rate), δηλ., το $1/T_c$. Συνεπώς, τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο όσο και τα θέματα εφαρμογής του DSCDMA είναι κατανοητά, γεγονός που διευκολύνει τη χρήση τους στα UWB συστήματα· γενικά είναι προτιμότερη η χρήση του DSCDMA όταν είναι επιθυμητή η χρήση υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων.

Συγκρίνοντας τις εξισώσεις (3.4) και (3.1), αξίζει να σημειωθούν μερικές σημαντικές ομοιότητες: και το time-hopping impulse radio και η πολύπλεξη DS-CDMA διαβιβάζουν ένα ψηφίο με το να το πολλαπλασιάζουν με μια ακολουθία διάδοσης (spreading sequence) $w_{seq}(t)$, ενώ το εύρος ζώνης καθορίζεται ουσιαστικά από τη διάρκεια και τη μορφή του αρχικού παλμού, $w_{tx}(t)$. Η βασικότερη διαφορά

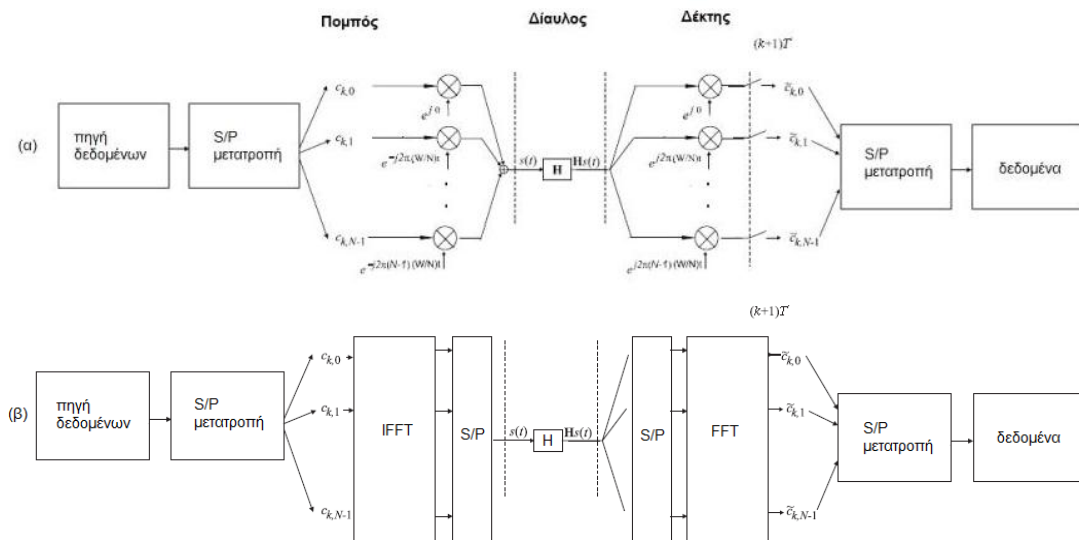
βρίσκεται στη φύση της ακολουθίας διάδοσης. Στην περίπτωση του DS-CDMA, η ακολουθία αυτή αποτελείται μόνο από δυαδικές τιμές, ± 1 , ενώ στη περίπτωση της χρήσης του impulse radio, αποτελείται από πολλά μηδενικά, με κάποια ± 1 να βρίσκονται σε ψευδοτυχαίες θέσεις. Κατά συνέπεια, τα DS-CDMA σήματα είναι δυσκολότερο να παραχθούν: δεν είναι θέμα μόνο η δημιουργία σύντομων παλμών σε μεγάλα διαστήματα, αλλά η απαίτηση για συνεχή παραγωγή αυτών των παλμών. Επιπλέον, το DS-CDMA, όπως περιγράφεται ανωτέρω, δεν επιτρέπει την ασύμφωνη (ενεργειακή ανίχνευση) λήψη δεδομένων αφού απαιτείται μια διαδικασία συσχετισμού για την ανάκτηση των αρχικών δεδομένων.



Σχήμα 3.9 Πολύπλεξη CDMA

3.6.3 Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας - OFDM

Κατά την πολύπλεξη OFDM, κάθε ένα προς μετάδοση σήμα μετατοπίζεται φασματικά με επιλογή της φέρουσας συχνότητάς του έτσι ώστε να καταλαμβάνει κάποια ζώνη μεταξύ διαδοχικών και μη επικαλυπτόμενων ζωνών του διατιθέμενου φάσματος· η πληροφορία, λοιπόν, μεταφέρεται παράλληλα σε έναν μεγάλο αριθμό φερουσών συχνοτήτων, όπου κάθε μία από τις οποίες απαιτεί ένα σχετικά μικρό εύρος ζώνης. Το σχηματικό διάγραμμα ενός χαρακτηριστικού συστήματος OFDM παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.10. Η ροή δεδομένων (data stream) αρχικά υπόκειται σε μετατροπή από σειριακή σε παράλληλη, και έπειτα σε διαμόρφωση σε κατάλληλες φέρουσες που απέχουν μεταξύ τους κατά την ποσότητα συχνότητας W/N , όπου το W είναι το συνολικό εύρος ζώνης μετάδοσης, και το N είναι ο συνολικός αριθμός από φέρουσες συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μετάδοση. Η διαδικασία της διαμόρφωσης μπορεί να γίνει τόσο για αναλογικά δεδομένα (Σχήμα 3.10 (α)), όσο και για ψηφιακά, εφαρμόζοντας ένα γρήγορο αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier (fast Fourier transform (IFFT)) στα δεδομένα (Σχήμα 3.10 (β)). Η τελευταία προσέγγιση δεν χρειάζεται πολλούς τοπικούς ταλαντωτές, και είναι έτσι αυτή που χρησιμοποιείται σήμερα. Εντούτοις, απαιτεί ένα IFFT και μετατροπείς σήματος αναλογικού σε ψηφιακό υψηλής ταχύτητας.



Σχήμα 3.10 Πολύπλεξη και αποπολύπλεξη με OFDM: εφαρμογή σε αναλογικά σήματα (α) και εφαρμογή σε ψηφιακά σήματα (β)

Η OFDM πολύπλεξη μεταφέρει κάθε σύμβολο πληροφορίας σε μία φέρουσα, και έτσι δεν εκμεταλλεύεται την ποικιλία των συχνοτήτων που έχει εν γένει ένα UWB σύστημα. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να παρακαμφθεί με την χρήση κατάλληλης κωδικοποίησης ή/και με την χρήση multicarrier-CDMA, το οποίο μεταδίδει κάθε σύμβολο διαμόρφωσης σε υπο-φέρουσες (subcarriers).

Οι επιπτώσεις των διαύλων και των κεραιών στα UWB-OFDM συστήματα είναι παρόμοιες με αυτές στα συμβατικά συστήματα OFDM. Σε κάθε περίπτωση, ο δέκτης καθορίζει την παραμόρφωση (εξασθένιση και μετατόπιση φάσης) σε κάθε υπο-φέρουσα, και την αντισταθμίζει. Η επιλογή του διαστήματος μεταξύ των υπο-φερουσών εξαρτάται συνήθως από τα χαρακτηριστικά του διαύλου, κυρίως από τη μέγιστη υπερβολική καθυστέρηση (*maximum excess delay*), και όχι από το συνολικό εύρος ζώνης του συστήματος. Επιπλέον, ο FFT πρέπει να λειτουργήσει με μια συχνότητα ρολογιού που είναι περίπου ίση με το εύρος ζώνης. Για αυτούς τους λόγους, η OFDM γίνεται μη πρακτικός τρόπος πολύπλεξης για εύρη ζώνης πάνω από τα 500 MHz.

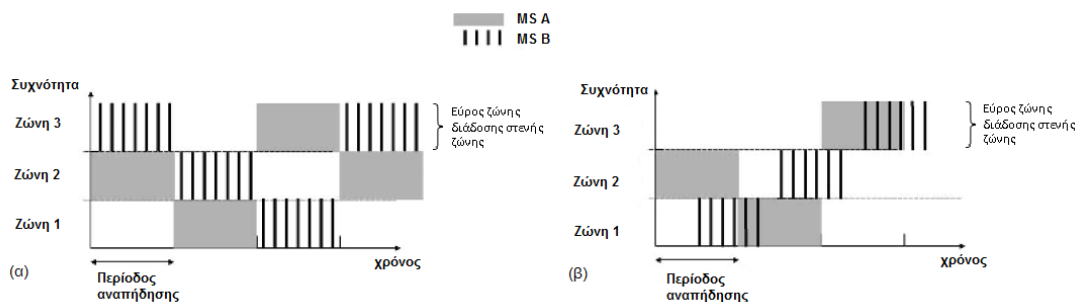
3.6.4 Διαπήδηση Συχνότητας - Frequency Hopping

Η γρήγορη διαπήδηση συχνότητας αλλάζει τη συχνότητα του φέροντος αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της μετάδοσης ενός συμβόλου· με άλλα λόγια, η μετάδοση κάθε συμβόλου εξαπλώνεται σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης. Η αργή διαπήδηση συχνότητας (slow frequency hopping) μεταδίδει ένα ή περισσότερα σύμβολα σε κάθε συχνότητα. Η διαπήδηση συχνότητας έχει την ικανότητα διάδοσης με πολλαπλή

προσπέλαση. Οι διαφορετικοί χρήστες διακρίνονται από τις διαφορετικές ακολουθίες διαπήδησης (hopping sequences), έτσι ώστε να μεταδίδουν σε διαφορετικές συχνότητες ανά πάσα στιγμή.

Επιπλέον, απαραίτητη είναι η διάκριση μεταξύ της περίπτωσης των σύγχρονων και ασύγχρονων χρηστών. Στη σύγχρονη περίπτωση, όλοι οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο σχήμα διαπήδησης (hopping pattern), αλλά με διαφορετικές αντισταθμίσεις (offsets), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.11 (α). Στη ασύγχρονη περίπτωση (ΣΧΗΜΑ 3.11 (β)), δεν υπάρχει κανένας έλεγχος του σχετικού συγχρονισμού μεταξύ των διαφορετικών χρηστών. Κατά συνέπεια, οι ακολουθίες διαπήδησης πρέπει να σιγουρευτούν ότι υπάρχουν παρεμβολές πολλαπλής προσπέλασης σε μικρό ποσοστό για όλες τις πιθανές χρονικές μετατοπίσεις μεταξύ των χρηστών, διαφορετικά, οι συγκρούσεις μεταξύ των χρηστών θα ήταν καταστροφικές. Αυτή η κατάσταση είναι ανάλογη με εκείνη του TH-IR, όπου πρέπει να βρεθούν ακολουθίες διαπήδησης οι οποίες να αποφεύγουν τις καταστροφικές συγκρούσεις.

Η διαπήδηση συχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για πολλαπλή προσπέλαση από μόνη της, είτε μπορεί να συνδυαστεί με άλλα σχήματα πολλαπλής προσπέλασης. Στην τελευταία περίπτωση, διαιρούμε τη διαθέσιμη ζώνη συχνότητας σε υποζώνες, και η μετάδοση γίνεται (π.χ., με OFDM) σε διαφορετικές υποζώνες σε διαφορετικούς χρόνους. Αυτή η προσέγγιση διευκολύνει την εφαρμογή, δεδομένου ότι η δειγματοληψία και η A/D μετατροπή μπορούν τώρα να γίνουν σε ένα ρυθμό που αντιστοιχεί στο πλάτος της υποζώνης αντί για αυτό του πλήρους εύρους ζώνης. Ο UWB δίαυλος μετατρέπεται έτσι σε διαύλους στενής ζώνης, επειδή οι περισσότερες επιπτώσεις της διάδοσης σε ένα δίαυλο των 500-MHz είναι οι ίδιες με αυτές στους συμβατικούς (ασύρματα) διαύλους. Εντούτοις, οι διαφορετικές υποζώνες υποβάλλονται σε διαφορετικές εξασθενήσεις. Όπως ισχύει και στα συμβατικά συστήματα OFDM, είναι και εδώ ουσιαστικό να εκτελείται η κωδικοποίηση/διεμπλοκή κατά μήκος των διαφορετικών ζωνών συχνότητας.



Σχήμα 3.11 Αναπήδηση συχνότητα στην πολλαπλή προσπέλαση (multiple access) με σύγχρονους (α) και ασύγχρονους (β)

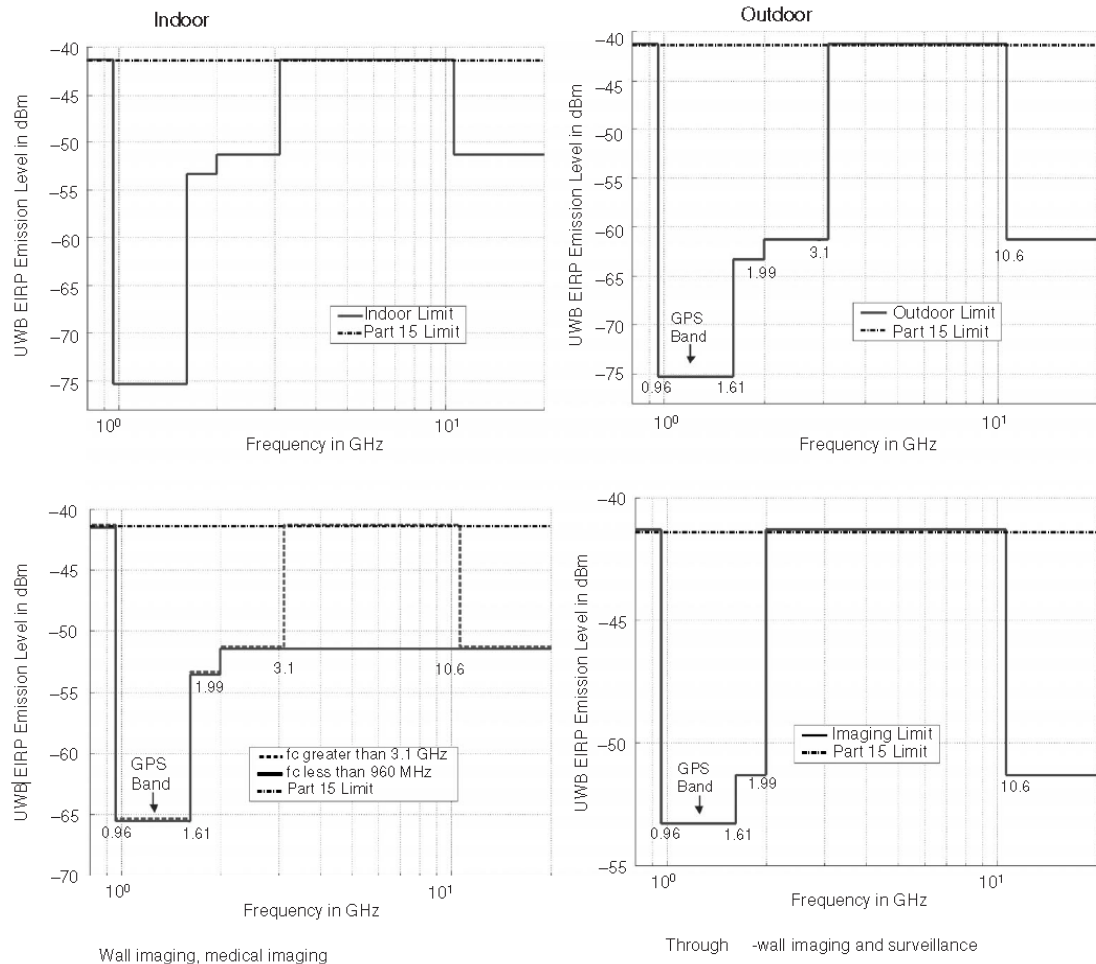
3.7 Επιτρεπόμενες Συχνότητες – Frequency regulations

Κατά σχεδιασμό ενός UWB συστήματος, το πρώτο βήμα είναι να αποφασιστεί το φάσμα συχνότητας στο οποίο θα λειτουργήσει το σύστημα. Τα σήματα μετάδοσης πρέπει να ικανοποιούν τους κανονισμούς συχνότητας στη χώρα στην οποία η συσκευή λειτουργεί. Παλαιότερα, οι υπεύθυνοι για τη ρύθμιση των συχνοτήτων απαγόρευαν τη σκόπιμη εκπομπή της ευρυζωνικής ακτινοβολίας (και έθεσαν αυστηρά όρια στην ακούσια εκπομπή ακτινοβολίας), επειδή μπορεί να παρέμβале στα ήδη υπάρχοντα στενής ζώνης συστήματα επικοινωνιών. Οι υποστηρικτές των UWB επικοινωνιών επισήμαναν ότι τα UWB συστήματα ελαχιστοποιούν αυτήν την παρεμβολή καθώς η διάδοση της ισχύος γίνεται σε ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. Ύστερα από πολλές συζητήσεις, η FCC εξέδωσε την 'έκθεση και εντολή' ('report and order') το 2002, όπου επέτρεψαν την σκόπιμη εκπομπή των UWB, υπό τον όρο να ακολουθούνται κάποιοι περιορισμοί στην εκπεμπόμενη φασματική πυκνότητα ισχύος.

Οι 'μάσκες συχνότητας' ('frequency masks') εξαρτώνται από την εφαρμογή και το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται οι συσκευές. Για τις εσωτερικές επικοινωνίες (indoor communications), μια φασματική πυκνότητα ισχύος των -41.3 dBm/MHz επιτρέπεται στη ζώνη συχνοτήτων μεταξύ του 3.1 με 10.6 GHz. Πέρα από αυτή τη ζώνη, καμία σκόπιμη εκπομπή σήματος δεν επιτρέπεται, και η αποδεκτή φασματική πυκνότητα ισχύος για τις μη επιτρεπτές εκπομπές (spurious emissions) παρέχει πρόσθετη προστασία για το GPS και τις κυψελωτές υπηρεσίες (Σχήμα 3.12). Ομοίως, οι εξωτερικές επικοινωνίες (outdoor communications) μεταξύ των κινητών συσκευών επιτρέπονται στη ζώνη των 3.1-10.6 GHz, αν και η μάσκα για τις μη επιτρεπτές εκπομπές είναι διαφορετική. Στα συστήματα forwall-απεικόνισης και στο ground-penetrating radar, η λειτουργία είναι αποδεκτή είτε στη ζώνη των 3.1-10.6 GHz, είτε κάτω από 960 MHz· για τα συστήματα through-wall και επιτήρησης (surveillance), επιτρέπονται τα φάσματα συχνότητας από 1.99-10.6 GHz, και κάτω από 960 MHz. Επιπλέον, διάφορα στρατιωτικά συστήματα UWB μπορεί να λειτουργούν σε αυτό το εύρος, αν και οι ακριβείς συχνότητες δεν είναι δημόσια διαθέσιμες. Το φάσμα συχνότητας από 24-29 GHz επιτρέπεται για τα τροχαία συστήματα ραντάρ.

Το φθινόπωρο του 2005, οι υπεύθυνοι για τους κανονισμούς των συχνοτήτων στην Ευρώπη και Ιαπωνία εξέδωσαν ένα προσχέδιο σχετικά με τις UWB συχνότητες. Σύμφωνα με αυτούς τους κανονισμούς, η λειτουργία των UWB εφαρμογών επιτρέπεται στο φάσμα συχνοτήτων μεταξύ των 3.1 και 4.8 GHz, καθώς επίσης και

μεταξύ των 7-10 GHz, δηλ., παραλείποντας τη ζώνη γύρω από τα 5 GHz περίπου. Για τη 3.1-4.8 σειρά GHz, απαιτείται ένας μηχανισμός 'ανίχνευσης και αποφυγής', δηλ., μια UWB συσκευή που να καθορίζει εάν υπάρχουν δέκτες (θύματα) στενής ζώνης στη γύρω περιοχή, και, αν υπάρχουν, να αποφεύγεται η εκπομπή στο φάσμα συχνότητας εκείνων των συσκευών-θυμάτων.



Σχήμα 3.12 FCC μάσκες για διαφορετικά περιβάλλοντα

3.8 UWB Κεραίες

3.8.1 Εισαγωγή

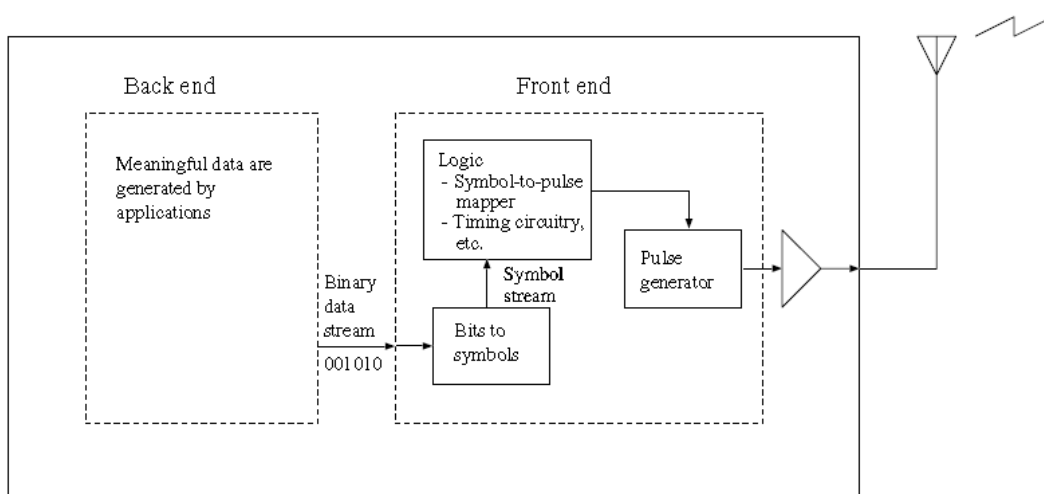
Για τις πιθανές UWB συσκευές, ο σχεδιασμός των κεραιών είναι ένα προκλητικό ζήτημα. Αφ' ενός, για να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί δεδομένων στην ασύρματη μετάδοση, τα συστήματα UWB καταλαμβάνουν συνήθως εξαιρετικά ευρέα εύρη ζώνης, συνήθως της τάξης των μερικών GHz. Μέσα στα λειτουργικά εύρη ζώνης, οι UWB κεραίες πρέπει να έχουν σταθερή απόκριση όσον αφορά στο ταίριασμα σύνθετης αντίστασης, στο κέρδος, στα διαγράμματα ακτινοβολίας, στη φάση, και

στην πόλωση. Επίσης, οι απαιτήσεις για τις κεραιές περιλαμβάνουν μικρό μέγεθος, σύμμορφο σχέδιο, χαμηλότερο κόστος, εύκολη ένταξη σε άλλα RF κυκλώματα. Επιπλέον, οι απαιτήσεις για τα ευρέα εύρη ζώνης συνδέονται με άλλους κρίσιμους περιορισμούς όπως το μικρό μέγεθος και το χαμηλότερο κόστος επειδή οι περισσότερες UWB εφαρμογές θα είναι φορητές συσκευές.

Από την άλλη, προκειμένου να αποφευχθούν πιθανές inband/outband παρεμβολές μεταξύ των UWB συστημάτων και των υπάρχοντων ηλεκτρονικών συστημάτων, οι υπεύθυνοι για τις ρυθμίσεις συχνότητας πρέπει να καθορίσουν τα όρια εκπομπής για τις εφαρμογές. Παραδείγματος χάριν, τα όρια εκπομπής των επιπέδων των effective isotropic radiated power (EIRP) της τάξης του -41.3 dBm/MHz για ένα φάσμα συχνοτήτων 3.1 - 10.6 GHz δόθηκαν από την FCC για την χρήση των εμπορικών συστημάτων UWB επικοινωνιών, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Τα όρια εκπομπής θα καθοριστούν και από την επιλογή των παλμών πηγής και από το σχέδιο των κεραιών στα UWB συστήματα.

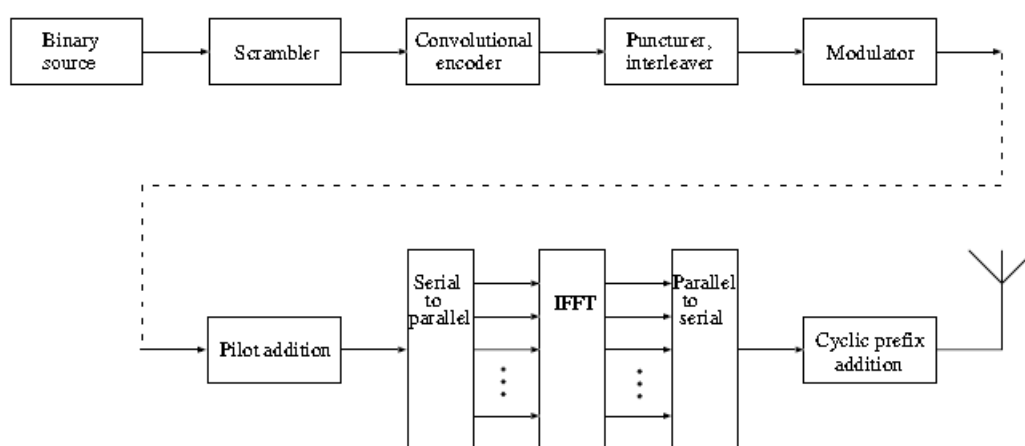
3.8.2 UWB Πομπός

Ένα γενικό σχηματικό διάγραμμα UWB πομπού παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.15. Κατ' αρχάς, τα σημαντικά δεδομένα παράγονται από εφαρμογές που είναι ξεχωριστές από τον φυσικού στρώματος πομπό. Οι εφαρμογές μπορεί να είναι πελάτες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή μια μηχανή αναζήτησης ιστού σε έναν προσωπικό υπολογιστή, μια ημερολογιακή εφαρμογή σε έναν προσωπικό ψηφιακό βοηθό (PDA), ή μία ψηφιακή ροή δεδομένων από ένα DVD player. Αυτό το μέρος της ασύρματης συσκευής καλείται συχνά "back end", και έχει αυτή την ορολογία εξαιτίας της θέσης που βλέπει ο δέκτης τον πομπό.



Σχήμα 3.13 Σχηματικό διάγραμμα πομπού

Η δυαδική ροή πληροφοριών περνά έπειτα στο “front end”, το οποίο είναι το μέρος του πομπού το οποίο χρήζει και μεγαλύτερου ενδιαφέροντος. Εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν υψηλότερου επιπέδου σχήματα διαμόρφωσης, οι δυαδικές πληροφορίες πρέπει να τροποποιηθούν από ψηφία σε σύμβολα, με κάθε σύμβολο να αντιπροσωπεύει έναν αριθμό από ψηφία. Αυτά τα σύμβολα κατόπιν αντιστοιχίζονται σε μια μορφή αναλογικού παλμού. Οι παλμοί αυτοί παράγονται από τη γεννήτρια παλμών (pulse generator). Απαιτούνται ακριβή κυκλώματα συγχρονισμού προκειμένου να σταλούν παλμοί έξω σε διαστήματα. Εάν το PPM υιοθετείται τότε ο συγχρονισμός πρέπει να είναι ακόμη πιο ακριβής, συνήθως λίγο λιγότερο από το πλάτος ενός παλμού. Προαιρετικά, οι παλμοί μπορούν να ενισχυθούν πριν περάσουν στον πομπό. Γενικά εν τούτοις, το να επιτευχθούν οι απαιτήσεις της φασματική ισχύος για μεγάλο κέρδος δεν είναι αναγκαίο. Αν και αυτό είναι ένα εξαιρετικά απλοϊκό μοντέλο πομπού, το οποίο δεν απαιτεί κανένα σχήμα διόρθωσης σφάλματος (forward error-correcting scheme), και έτσι αποδεικνύει την απλοϊκότητα κατασκευής UWB πομπών. Στο Σχήμα 3.16 φαίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα πομπού OFDM· είναι εμφανές ότι ο πομπός αυτός είναι πιο πολύπλοκος από τον UWB.

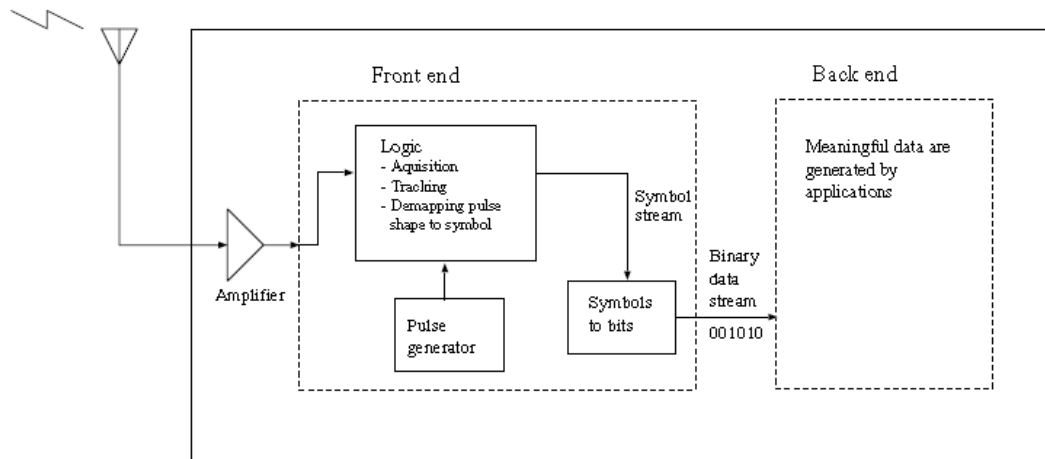


Σχήμα 3.14 Σχηματικό διάγραμμα OFDM πομπού

3.8.3 UWB Δέκτης

Ένα γενικό σχηματικό διάγραμμα UWB δέκτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.17. Ο δέκτης, για να ανακτήσει τα δεδομένα και να τα περάσει σε οποιοσδήποτε “back end” εφαρμογή μπορεί να τα απαιτήσει, εκτελεί την αντίθετη λειτουργία από αυτή του πομπού. Υπάρχουν δύο σημαντικές διαφορές μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Μία διαφορά είναι ότι ο δέκτης απαραίτητως θα έχει έναν ενισχυτή για να ενισχύσει την ισχύ των εξαιρετικά αδύναμων λαμβανόμενων σημάτων. Μία άλλη διαφορά είναι ότι

ο δέκτης πρέπει να εκτελέσει τις λειτουργίες της ανίχνευσης ή της απόκτησης σήματος για να εντοπίσει τους απαραίτητους παλμούς μεταξύ των άλλων σημάτων και έπειτα να δεσμεύσει αυτούς τους παλμούς προκειμένου να αντισταθμίσει οποιοδήποτε κακό συντονισμό μεταξύ των ρολογιών του πομπού και του δέκτη.



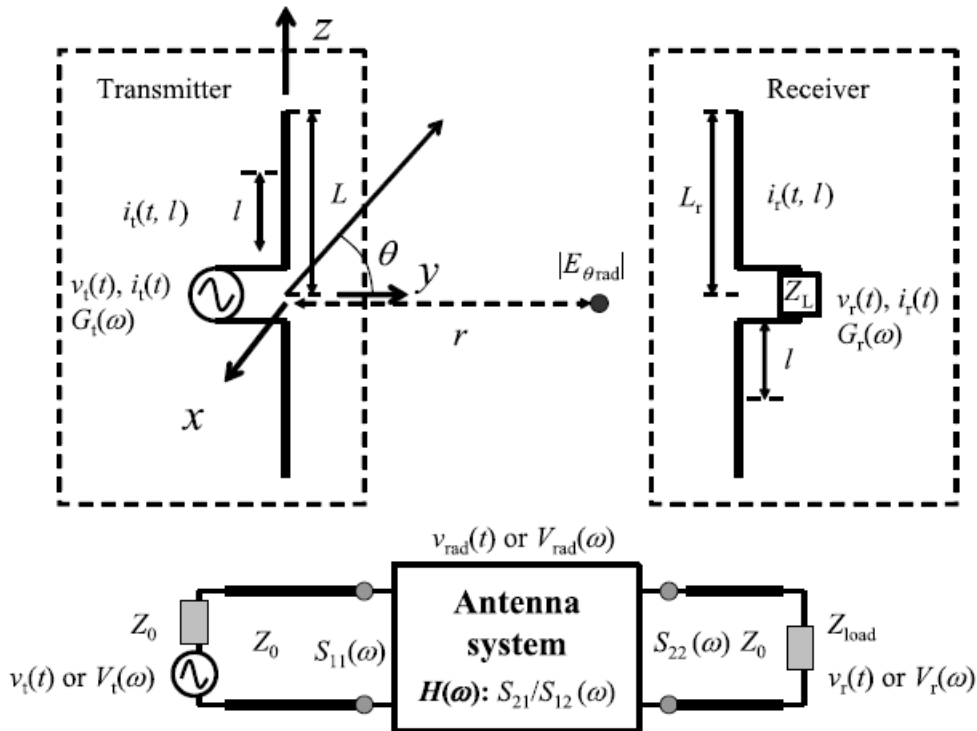
Σχήμα 3.15 Σχηματικό διάγραμμα ενός UWB δέκτη

3.8.4 Περιγραφή του συστήματος κεραιών

Ας θεωρήσουμε ένα τυπικό σύστημα κεραιών, σε ένα UWB σύστημα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.16. Ο τύπος διάδοσης του Friis, όπως δίνεται στην εξίσωση (3.5), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συσχετίσει την ισχύ εξόδου της κεραίας λήψης με την ισχύ εισόδου της κεραίας εκπομπής, όπου υποτίθεται ότι κάθε κεραία βρίσκεται στο μακρινό πεδίο της άλλης. Αυτός ο τύπος είναι εξαρτώμενος από τη συχνότητα για τις γενικές περιπτώσεις όταν οι παράμετροι στην εξίσωση (3.5) αλλάζουν μέσα στο λειτουργικό φάσμα συχνότητας.

$$\frac{P_r(\omega)}{P_t(\omega)} = [1 - |\Gamma_t(\omega)|^2] \cdot [1 - |\Gamma_r(\omega)|^2] \cdot G_r(\omega) \cdot G_t(\omega) \cdot \left| \hat{p}_t(\omega) \cdot \hat{p}_r(\omega) \right|^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (3.5)$$

όπου P_t , P_r είναι οι μέσες χρονικές ισχύεις εισόδου της κεραίας μετάδοσης και εξόδου της κεραίας λήψης· Γ_t , Γ_r είναι οι απώλειες επιστροφής στην είσοδο της κεραίας μετάδοσης και στην έξοδο της κεραίας λήψης· τα G_t , G_r είναι κέρδη εξαρτώμενα από τις γωνίες (θ, ϕ) της κεραίας μετάδοσης και λήψης αντίστοιχα· $\left| \hat{p}_t(\omega) \cdot \hat{p}_r(\omega) \right|^2$ είναι οι προσαρμοσμένοι παράγοντες πόλωσης μεταξύ της κεραίας μετάδοσης και λήψης· το λ είναι το μήκος κύματος στη συχνότητα f · και r είναι η απόσταση μεταξύ της κεραίας μετάδοσης και λήψης.



Σχήμα 3.16 Ένα σύστημα κεραιών εκπομπής-λήψης

Αν οριστεί μία συνάρτηση μεταφοράς $H(\omega)$ η οποία να ορίζει την σχέση μεταξύ της πηγής και του σήματος εξόδου (voltage) $[V_t(\omega)/2]^2/2 = [P_t(\omega)Z_0]$ και $V_r^2(\omega)/2 = [P_r(\omega)Z_{load}]$, τότε η εξίσωση (3.5) μπορεί να απλουστευτεί ως εξής:

$$H(\omega) = \frac{V_r(\omega)}{V_t(\omega)} = \sqrt{\frac{P_r(\omega) Z_{load}}{P_t(\omega) 4Z_0}} e^{-j\varphi(\omega)} = |H(\omega)| e^{-j\varphi(\omega)} \quad (3.6)$$

$$\varphi(\omega) = \varphi_t(\omega) + \varphi_r(\omega) + \omega r/c$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός, $\varphi_t(\omega)$ και $\varphi_r(\omega)$ είναι, αντίστοιχα, η φάση από την κεραία μετάδοσης και από την κεραία λήψης. Επομένως, τα χαρακτηριστικά μεταφοράς του συστήματος κεραιών μπορούν να περιγραφούν από τη συνάρτηση μεταφοράς $H(\omega)$ με τη βοήθεια των παραμέτρων απόδοσης των κεραιών, όπως η προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης, το κέρδος, η προσαρμογή της πόλωσης, η απόσταση μεταξύ των κεραιών, η συχνότητα λειτουργίας καθώς επίσης και ο προσανατολισμός των κεραιών εάν αγνοηθούν τα χαρακτηριστικά του RF διαύλου.

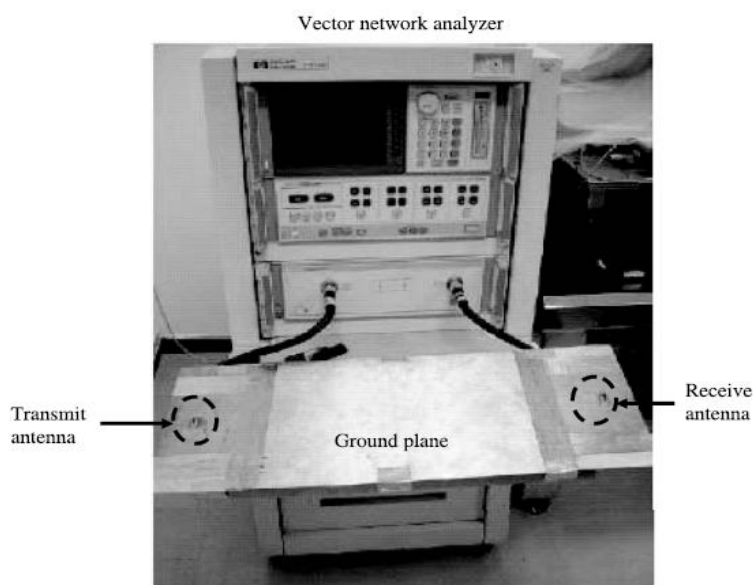
Επίσης, το σύστημα κεραιών μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δίθυρο δίκτυο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.16, και έτσι, η συνάρτηση μεταφοράς μπορεί να υπολογιστεί από την S παράμετρο S_{21} όταν η σύνθετη αντίσταση και η αντίσταση φορτίου είναι προσαρμοσμένες με τις κεραίες μετάδοσης και λήψης, αντίστοιχα. Επομένως, η

υπολογίσιμη παράμετρος S_{21} ή η $H(\omega)$ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογηθεί η απόδοση των συστημάτων των κεραιών. Η εγκατάσταση για τη μέτρηση της συνάρτησης μεταφοράς S_{21} ή της $H(\omega)$ στο πεδίο της συχνότητας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.17. Σύμφωνα με τη θεωρία εικόνας (Image Theory), τα μονόπολα των κεραιών μετάδοσης και λήψης εγκαθίστανται επάνω από ένα επίπεδο που είναι μεγάλο έτσι ώστε οι κεραιές βρίσκονται στο μακρινό πεδίο η μία της άλλης. Μια διανυσματική συσκευή ανάλυσης δικτύων (vector network analyzer) χρησιμοποιείται για να μετρήσει όλες τις S παραμέτρους των δύο θυρών, συγκεκριμένα την είσοδο της κεραιάς μετάδοσης και την έξοδο της κεραιάς λήψης. Επομένως, η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος κεραιών μπορεί να υπολογιστεί στο αζιμουθιακό επίπεδο.

Επιπλέον, η σχέση μεταξύ των ηλεκτρικών πεδίων και των παλμών που παράγονται από την πηγή στην κεραιά μετάδοσης μπορούν να εκφραστούν στην εξίσωση (3.7). Η διανυσματική συνάρτηση μεταφοράς $E_{rad}(\omega)$ έχει την κατεύθυνση πόλωσης \hat{a} της κεραιάς μετάδοσης και καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της κεραιάς μετάδοσης, όπως η προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης, το κέρδος, και ο προσανατολισμός του σημείου παρατήρησης. Το $V_t(\omega)$ είναι το φάσμα ενός σήματος πηγής (τάση). Επομένως, η συνάρτηση μεταφοράς ακτινοβολίας (radiation transfer function) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει το εκπεμπόμενο φάσμα πυκνότητας ισχύος για την αξιολόγηση των ορίων εκπομπής:

$$E_{rad}(\omega) = H_{rad}(\omega)V_t(\omega) = \hat{a} |H_{rad}(\omega)| e^{-j\Phi_{rad}(\omega)} V_t(\omega) \quad (3.7)$$

$$\Phi(\omega) = \varphi_t(\omega) + \omega r/c$$



Σχήμα 3.17 Η εγκατάσταση για τον υπολογισμό της συνάρτησης μεταφοράς των κεραιών μετάδοσης και λήψης

3.8.5 Single-Band and Multiband Σχήματα

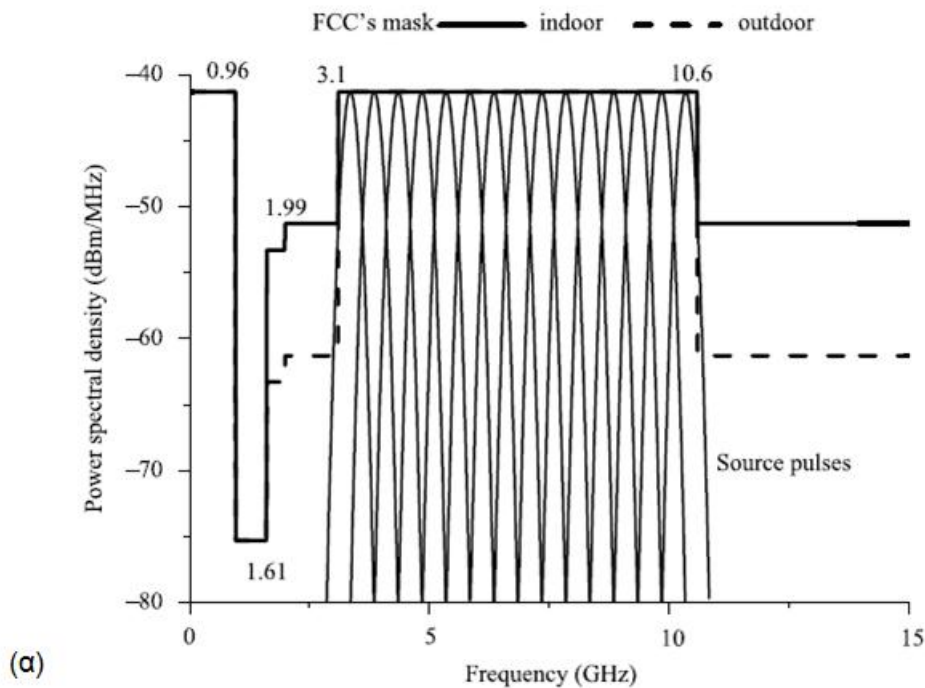
Τα UWB συστήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την UWB ζώνη με ποικίλους τρόπους. Για παράδειγμα, έχουν προταθεί τα σχήματα πολλαπλής ζώνης (single-/multicarrier) και μονής ζώνης (single-band) για τα UWB συστήματα. Προκειμένου να συμβαδίζουν με τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπής, ο σχεδιασμός των παλμών της πηγής και οι κεραιές μετάδοσης υπόκεινται σε συγκεκριμένα σχέδια συστημάτων.

Κάτω από τα σχήματα πολλαπλής ζώνης, η διαθέσιμη UWB ζώνη μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορες υποζώνες. Κάθε ένας από τους παλμούς της πηγής διαμορφώνεται έτσι ώστε να καταλάβει μια μόνο υποζώνη. Παραδείγματος χάριν, στο Σχήμα 3.18 (α) παρουσιάζεται η μορφή 15 ομοιόμορφων υποζωνών για την UWB ζώνη των 7.5 GHz, όπου τα εύρη ζώνης των 10 dB είναι των 500 MHz. Το Σχήμα 3.18 (β) δείχνει ένα γκαουσιανό παλμό $v_o(t) = e^{-(t/\sigma)^2}$ με το $\sigma = 1366$ ps, το οποίο διαμορφώνεται από ημιτονικά σήματα με συχνότητες που παίρνουν τις εξής τιμές $(3.35 + n \times 0.5)$ GHz με $(n = 0, 1, 2, \dots, 14)$. Σε ένα τέτοιο σχεδιασμό, είναι εύκολο να ελεγχθεί το φάσμα της πυκνότητας ισχύος για την αποφυγή πιθανής inband/outband παρεμβολής με άλλα συστήματα.

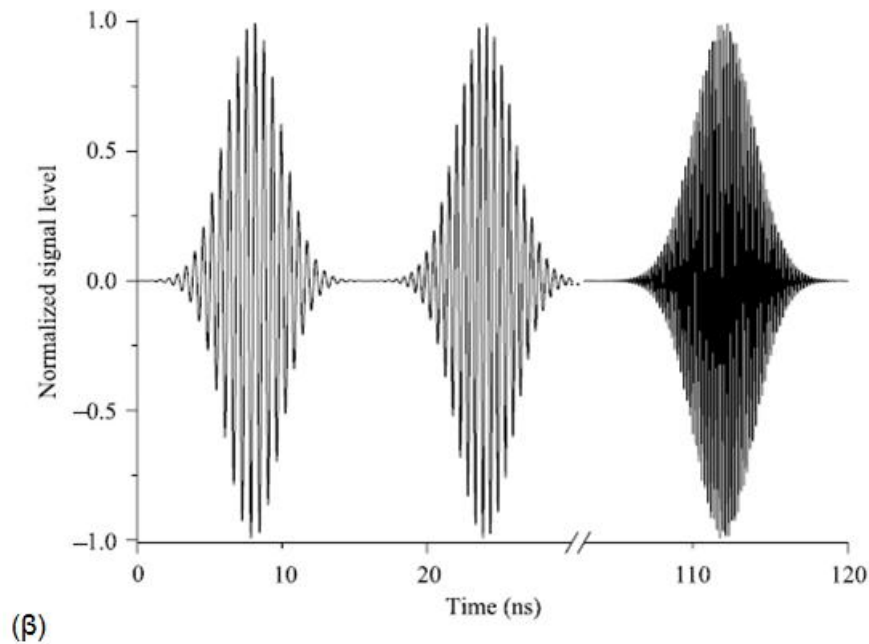
Εναλλακτικά, είχε προταθεί αρχικά το μονής ζώνης σχήμα για την UWB τεχνολογία. Οι μονοί ή οι λίγοι παλμοί που παράγονταν από την πηγή, που έχουν συνήθως μια πολύ σύντομη διάρκεια, διαμορφώνονται έτσι ώστε τα φάσματά τους καταλαμβάνουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος μέσα στην UWB ζώνη για τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και μεγάλο S/N. Οι σύντομοι παλμοί μπορούν να μεταδοθούν με ένα φέρον.

Από την εξίσωση (3.7), μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι υπάρχουν τουλάχιστον δύο τρόποι να ικανοποιηθούν οι μάσκες των ορίων εκπομπής. Ο πρώτος είναι να βελτιστοποιηθούν τα φάσματα, έτσι το $V_i(\omega)$ των σημάτων της πηγής εκπέμπεται άμεσα για να καταστήσουν το εύρος ζώνης των 10 dB του σήματος πηγής στενότερο από αυτό της UWB ζώνης, όταν το σύστημα κεραιών έχει μια σταθερά αμετάβλητη συνάρτηση μεταφοράς ακτινοβολίας, $H_{rad}(\omega)$ μέσα στην UWB ζώνη. Αυτό περιλαμβάνει δύο σενάρια. Το πρώτο είναι ότι το εύρος ζώνης των 10 dB περιέρχεται πλήρως στη UWB ζώνη με κατάλληλη επιλογή των παλμών της πηγής. Διαφορετικά, το φάσμα εύρους ζώνης 10 dB του παλμού μπορεί να μετατοπιστεί στην UWB ζώνη με τη διαμόρφωση του παλμού με ένα κατάλληλο ημιτονικό σήμα (φορέας). Και οι δύο περιπτώσεις θα καταστήσουν το σχεδιασμό των κεραιών εύκολο.

Ο δεύτερος τρόπος προκειμένου να ικανοποιηθούν οι μάσκες των ορίων εκπομπής είναι η προσαρμογή του φάσματος, έτσι το $V_i(\omega)$ της πηγής εκπέμπει χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση φιλτραρίσματος $H_{rad}(\omega)$, δηλαδή θα ελέγχει το γινόμενο $H_{rad}(\omega)V_i(\omega)$ όταν το $V_i(\omega)$ δεν ικανοποιεί τη μάσκα των ορίων εκπομπής. Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο, η κεραία μετάδοσης ενεργεί όχι μόνο ως μια συσκευή εκπομπής αλλά και ως φίλτρο, το οποίο σχεδιάζεται για να καταστείλει την ανεπιθύμητη ακτινοβολία εξωτερικά της UWB ζώνης ή μέσα στη συγκεκριμένη ζώνη. Αυτός ο τρόπος καθιστά τον σχεδιασμό των κεραιών περίπλοκο.



(α)



Σχήμα 3.18 Παλμοί και φάσμα σε *multiband* σχήμα: (α) στο πεδίο της συχνότητας (FD), (β) στο πεδίο του χρόνου (TD)

3.9 Εφαρμογές

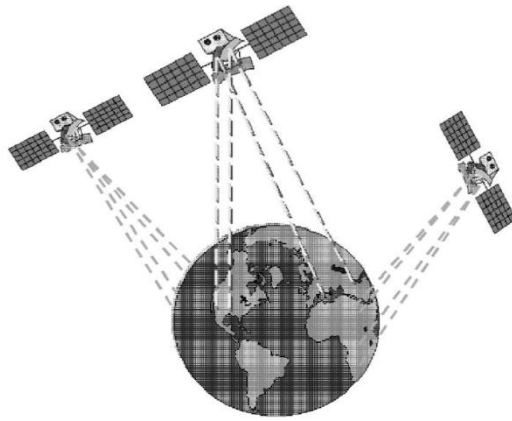
Πριν αρχίσει η κατασκευή μίας κεραίας ή οποιασδήποτε UWB συσκευής, είναι σημαντικό, αρχικά, να διατυπωθεί η εφαρμογή για οποία η συσκευή χρησιμοποιείται. Η χρήση των συστημάτων καθορίζει τη θέση τους (η οποία έχει μεγάλη επίδραση στις συνθήκες διάδοσης), και το μέγεθός τους (το οποίο καθορίζει, π.χ., το αποδεκτό μέγεθος των κεραιών).

Μια από τις δημοφιλέστερες UWB εφαρμογές είναι η μετάδοση δεδομένων με ένα πολύ υψηλό ρυθμό, συγκεκριμένα μεγαλύτερο από 100 Mbit/s. Τέτοιοι υψηλοί ρυθμοί μπορούν να επιτευχθούν εύκολα λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο εύρος ζώνης των UWB, παρ' όλα αυτά ο παράγοντας διάδοσης παραμένει μικρός. Ο συνδυασμός του μικρού παράγοντα διάδοσης και της χαμηλής αποδεκτής φασματικής πυκνότητας ισχύος περιορίζει το εύρος τέτοιων συστημάτων στα 10 μέτρα περίπου. Τα δίκτυα που καλύπτουν έναν τέτοιο περιορισμένο εύρος καλούνται συχνά προσωπικά δίκτυα περιοχής (*personal area networks*, PANs). Τα PANs με υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιούνται κυρίως για τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης και τις προσωπικές εφαρμογές υπολογισμού. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών περιλαμβάνουν τη μετάδοση της HDTV (τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας) από έναν μετασχηματιστή ή ένα DVD player στη

τηλεόραση που απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και ασύρματο USB (καθολικός σειριακός δίαυλος - universal serial bus), το οποίο μεταδίδει τα δεδομένα στα 480 Mbit/s μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων ενός υπολογιστή. Για αυτές τις εφαρμογές, οι UWB βρίσκονται σε ανταγωνισμό με τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANs) τα οποία είναι βασισμένα στην πολλαπλής προσπέλασης τεχνολογία κεραιών, όπως τα πρότυπα 802.11n, τα οποία επίσης στοχεύουν στην επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Οι UWB έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλότερου κόστους σε συνδυασμό με υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ενώ τα WLANs μπορούν να πετύχουν πιο μεγάλο εύρος κάλυψης. Προκειμένου να αυξηθεί ακόμη περισσότερο ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, η πιο πιθανή λύση είναι ο συνδυασμός των UWB με πολλαπλές κεραιές.

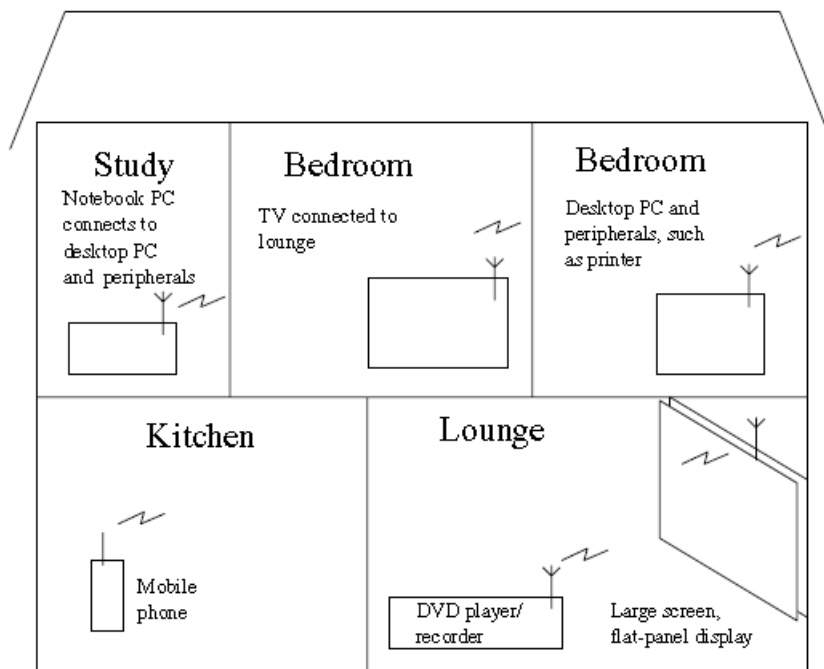
Οι UWB τεχνολογίες έχουν διάφορες εφαρμογές που κυμαίνονται από τις ασύρματες επικοινωνίες μέχρι την απεικόνιση των ραντάρ, τα ραντάρ της τροχαίας και διάφορες στρατιωτικές εφαρμογές οι οποίες έδωσαν και ώθηση στις UWB εφαρμογές γενικότερα. Το εξαιρετικά ευρύ εύρος ζώνης και ως εκ τούτου η ικανότητα διείσδυσης σε ένα μεγάλο εύρος υλικών επιτρέπει στις UWB να χρησιμοποιηθούν στα απεικονιστικά συστήματα ραντάρ, συμπεριλαμβανομένων των ραντάρ επίγειας διείσδυσης (ground penetration radars), της απεικόνισης ραντάρ τοίχων (wall radar imaging), της απεικόνισης ραντάρ μέσω-τοίχων (through-wall radar imaging), των συστημάτων παρακολούθησης, και της ιατρικής απεικόνισης. Επιπλέον, μπορούν να ληφθούν εικόνες υψηλής ανάλυσης μέσα ή πίσω από αντικείμενα που μπροστά τους έχουν κάποιο εμπόδιο χρησιμοποιώντας UWB.

Οι ασύρματες τεχνικές προσδιορισμού θέσης με χρήση των UWB μπορούν να παρέχουν σε πραγματικό χρόνο μεγάλη ακρίβεια εντοπισμού θέσης για πολλές εφαρμογές. Μερικές πιθανές χρήσεις περιλαμβάνουν τοπικούς σταθμούς μετάδοσης σήματος για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, την προστασία προσωπικών και περιουσιακών στοιχείων, και την πλοήγηση με υψηλή ακρίβεια που έχει εφαρμογή στα οχήματα και στο βιομηχανικό και γεωργικό εξοπλισμό. Τα χαρακτηριστικά των σημάτων UWB παρέχουν τη δυνατότητα εντοπισμού μιας τοποθεσίας με ακρίβεια και εκτίμησης της θέσης. Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (global positioning system - GPS) (Σχήμα 3.13) έχει γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα τυποποιημένος τρόπος έρευνας και πλοήγησης, που αντικαθιστά τα μικροκύματα και άλλους τύπους συστημάτων διάδοσης. Ο συνδυασμός των UWB με το GPS δίνει σημαντικά πλεονεκτήματα στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης.



Σχήμα 3.19 Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης με πλοήγηση δορυφόρων

Τέλος, είναι η εφαρμογή των UWB στην ασύρματη επικοινωνία, η οποία είναι αναμφισβήτητα ο λόγος για τον οποίο τα UWB έγιναν μέρος του ασύρματου κόσμου, συμπεριλαμβανομένης της ασύρματης εγχώριας δικτύωσης, της χρήση σε κτήρια γραφείων και στους επιχειρησιακούς πυρήνες, του ασύρματου UWB ποντικιού, του πληκτρολόγιου, των ασύρματων ομιλητών, του ασύρματου USB, της μεγάλης ταχύτητας WPAN/WBAN, των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, της ασύρματης τηλεμετρίας, και της τηλεϊατρικής.



Σχήμα 3.20 Ένα πιθανό οικιακό δίκτυο με χρήση UWB.

Κεφάλαιο 4^ο

Επίπεδη Ανεστραμμένη F Κεραία (*PIFA-Planar Inverted F Antenna*)

4.1 Εισαγωγή

Οι σχεδιαστές κεραιών ψάχνουν πάντα δημιουργικούς τρόπους προκειμένου να βελτιώσουν την απόδοσή τους. Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό κεραιών είναι να εισαχθούν διάδρομοι γείωσης (shorting pins) στις διάφορες θέσεις (από το patch έως το επίπεδο γείωσης (ground plane)).

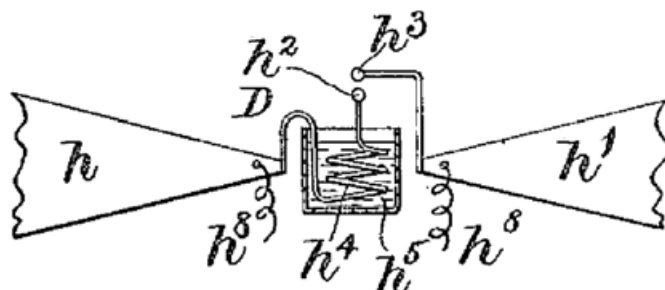
Έτσι, οι PIFA κεραιές, που είναι κεραιές ευρυζωνικές με σχισμές/shorting pin (επαγωγικές L και U σχισμές, μαϊάνδρους, χωρητικά συζευγμένες δομές, παρασιτικά συζευγμένες δομές), χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην κινητή τηλεφωνική αγορά, καθώς αποτελούν, σε συντριπτικό ποσοστό, τις κεραιές των DECT και κινητής μικροκυβελικής τηλεφωνίας, τα GPS, GSM, CS 1800, PCS και άλλα αφού παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα όπως αναφέρεται και στη συνέχεια του κεφαλαίου.

4.2 Ιστορική αναδρομή των UWB κεραιών

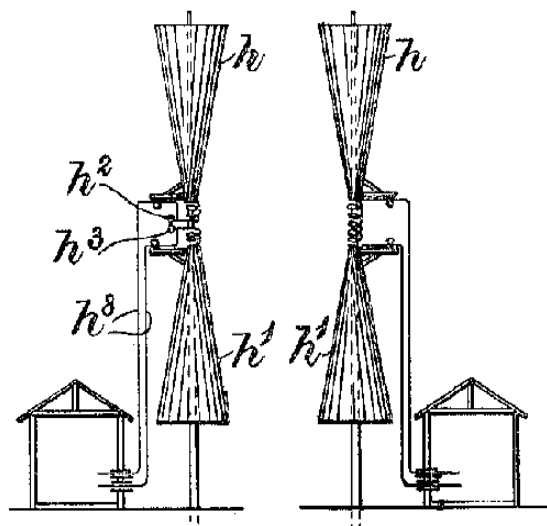
Η ιστορία των UWB κεραιών ξεκινάει από τους μεταδότες τύπου “spark-gap” οι οποίοι πρωτοστάτησαν στις τεχνολογίες σχετικές με μετάδοση/λήψη. Ειρωνικά, η κεραία-πατέντα που εισήγαγε τα συστήματα narrowband συχνοτήτων επίσης έδωσε το έναυσμα για τις UWB κεραιές. Το 1898, ο Oliver Lodge εισάγει την ιδέα του “syntony”, δηλαδή την ιδέα ότι ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να είναι συντονισμένοι στην ίδια συχνότητα έτσι ώστε να μεγιστοποιείται το λαμβανόμενο σήμα. Στην ίδια πατέντα, ο Lodge αναφέρει για μία ποικιλία από «περιοχές χωρητικότητας» ή από κεραιές, που θα ήταν πολύ κοντά στα σημερινά δεδομένα. Συγκεκριμένα ο Lodge εισήγαγε τα σφαιρικά δίπολα, τα επίπεδα τετραγωνικά δίπολα, και τα τριγωνικά ή

“bow-tie” δίπολα. Επίσης, εισήγαγε την ιδέα της μονοπολικής κεραίας χρησιμοποιώντας το έδαφος της γης ως επίπεδο (using the earth as a ground).

Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η τριγωνική ή bow-tie κεραία όπως τη σχεδίασε ο Lodge ενώ στο Σχήμα 2.4 φαίνεται η δικωνική κεραία που χρησιμοποιείται στη ζεύξη πομπού-δέκτη.



Σχήμα 4.1 Η κεραία του Lodge αποτελούμενη από τριγωνικές “περιοχές χωρητικότητας”, που αποτελεί ένα πρόγονο της “bow tie” κεραίας (1898).

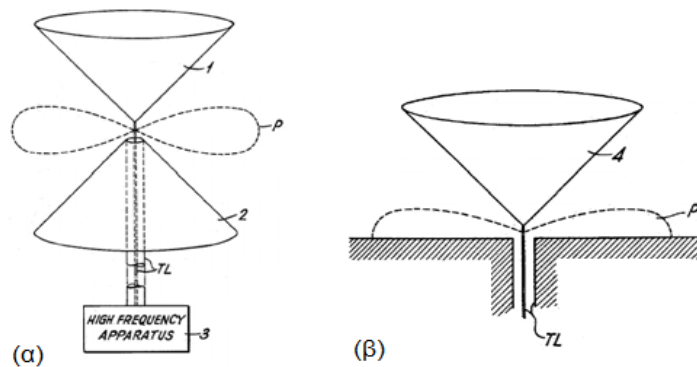


Σχήμα 4.2 Η δικωνική κεραία που παρουσίασε ο Lodge (1898)

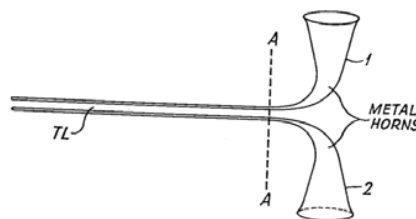
Καθώς οι συχνότητες αυξάνονταν και τα μήκη κύματος γίνονταν όλο και πιο μικρά, τα οικονομικά πλεονεκτήματα της κεραίας $\lambda/4$ υπερίσχυαν στα όποια πλεονεκτήματα των αρχικών δομών που παρουσίασε ο Lodge. Αυτό σε συνδυασμό με την έρευνα που γινόταν για την τηλεόραση, αύξησε το ενδιαφέρον για τις κεραίες που θα λειτουργούσαν σε πιο μεγάλο εύρος ζώνης σχετικά με τα σήματα εικόνας.

Το ενδιαφέρον προς τις ευρυζωνικές κεραίες οδήγησε στην επαναφορά των δικωνικών και κωνικών μονόπολων από τον Carter το 1939 (όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.3 (α) και (β)). Ο Carter βελτίωσε τις αρχικές δομές που είχε προτείνει ο Lodge ενσωματώνοντας μία λέπτυνση στην τροφοδοσία (tapered feed) (Σχήμα 4.4). Ο Carter ήταν ανάμεσα στους πρώτους που έκαναν το σημαντικό βήμα

ενσωματώνοντας μία ευρυζωνική μετάβαση μεταξύ της γραμμής τροφοδοσίας και του ακτινοβολητή.

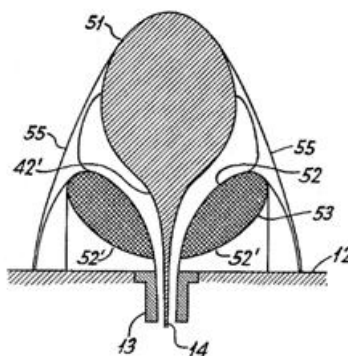


Σχήμα 4.3 (α) Η δικωνική κεραία του Carter (1939), (β) Το κωνικό μονόπολο του (1939)



Σχήμα 4.4 Η βελτιωμένη προσαρμοσμένη δικωνική κεραία του Carter (1939)

Ίσως η πιο εξέχουσα UWB κεραία της περιόδου ήταν η ομοαξονική χοανοκεραία του Lindenblad. Ο Lindenblad εισήγαγε την ιδέα προσθήκης ενός περιβλήματος του διπολικού στοιχείου, επιτυγχάνοντας έτσι έναν βαθμιαίο μετασχηματισμό της σύνθετης αντίστασης και πέτυχε να καταστήσει τη μετάδοση ευρύτερη. Έτσι αυτό που πρότεινε ο Lindenblad χρησιμοποιήθηκε για πειραματική χρήση στην τηλεοπτική μετάδοση (που Σχήμα 4.5).

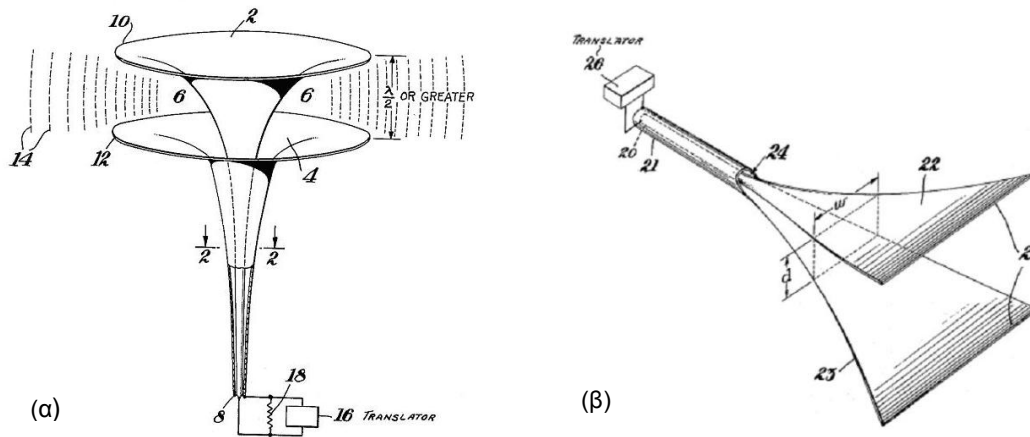


Σχήμα 4.5 Κατασκευή με τα στοιχεία που πρότεινε ο Lindenblad (1941)

Στην πραγματικότητα, το ομοαξονικό στοιχείο του Lindenblad δείχνει όλη την προσπάθεια για έρευνα που είχε γίνει σχετικά με την τηλεόραση μέχρι τότε. Αυτή η

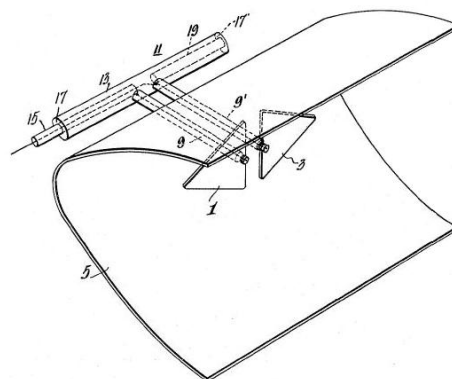
UWB κεραία ήταν ίσως η μόνη κεραία που έχει ξεχωρίσει από όλες της άλλες της ίδια περιόδου.

Άλλοι ερευνητές ακολούθησαν την ιδέα της κατασκευής κεραιών από ομοαξονικές μεταβάσεις. Ο Brillouin εισήγαγε τις ομοαξονικές χοάνες, τόσο ομοιοκατευθυντικές (Σχήμα 4.6 (α)) και κατευθυντικές (Σχήμα 4.6 (β)).



Σχήμα 4.6 (α) Οι ομοιοκατευθυντικές ομοαξονικές χοάνες του Brillouin (1948), (β) Η κατευθυντική ομοαξονική χοάνη του Brillouin (1948)

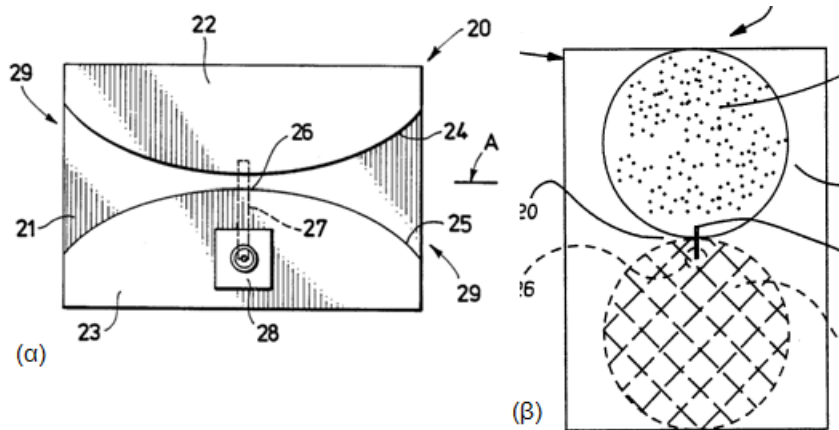
Καθώς οι ευρυζωνικοί δέκτες έγιναν κοινής χρήσης, η έμφαση στα χαμηλού κόστους, εύκολα κατασκευάσιμα σχέδια γινόταν όλα και αυξανόμενη. Η γνωστή “bow-tie” κεραία που προτάθηκε αρχικά από τον Lodge και που επανεξετάζεται αργότερα από τους Brown και Woodward αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα κεραιάς με όλα αυτά τα οφέλη. Ομοίως, ο Master πρότεινε ένα τριγωνικό δίπολο (Σχήμα 4.7). Αργότερα, μηχανικοί ανακάλυψαν πάλι αυτήν την κεραία και την αποκάλεσαν ως το “diamond dipole”.



Σχήμα 4.7 Το “diamond dipole” του Master (1947)

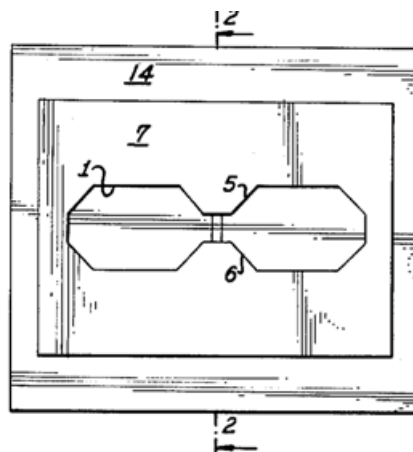
Οι περισσότερες κατασκευάσιμες κεραιές σε αυτό το είδος ξεκίνησαν από τους Lalezari και λοιπούς που εφεύραν την ευρυζωνική κεραία εγκοπών που απεικονίστηκε στο Σχήμα 4.8 (α). Στη συνέχεια σειρά έχει το επίπεδο κυκλικό δίπολο

στοιχείων του Σχήματος 4.8 (β) που τίθεται πρώτα από τους Thomas και λοιπούς και παρέχει ακόμα καλύτερη απόδοση. Αυτή η κεραία είναι συμπαγής, εύκολα κατασκευάσιμη. Βελτιωμένη απόδοση μπορεί να ληφθεί, εντούτοις, με την κατασκευή των διπόλων χρησιμοποιώντας ελλειπτικά διαμορφωμένα στοιχεία αντί των κυκλικών. Τα επίπεδα ελλειπτικά στοιχεία λειτουργούν επίσης καλά ως μονόπολα.



Σχήμα 4.8 (α) Η ευρυζωνική κεραία με σχισμές των Lalezari και λοιπών (1989), (β) Δίπολο κυκλικών στοιχείων από τους Thomas και λοιπούς (1994).

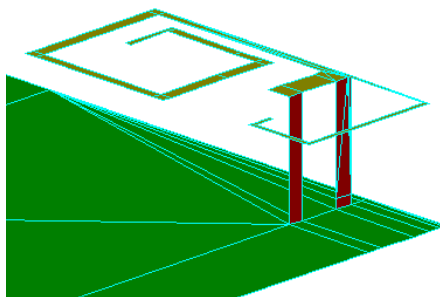
Σημαντικές πρόοδοι έχουν γίνει επίσης και στις μαγνητικές UWB κεραίες. Η Marié βασισμένη στην κεραία με τις σχισμές βελτίωσε το εύρος ζώνης της αλλάζοντας το πλάτος της σχισμής. Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η κεραία της Marié.



Σχήμα 4.9 Η ευρυζωνική κεραία με σχισμές της Marié (1962)

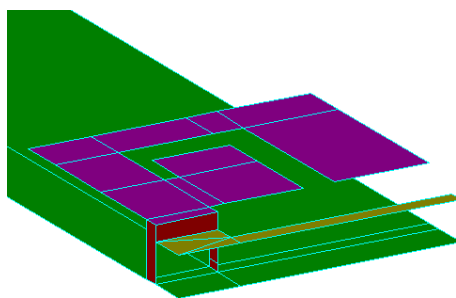
Η τρέχουσα έρευνα εστιάζει στο να καταστήσει τις κεραίες μικρότερες, ιδιαίτερα στις επικοινωνίες για τις προσωπικές ασύρματες συσκευές επικοινωνίας (π.χ. cell phones). Πολλή εργασία εκτελείται στην αριθμητική διαμόρφωση των κεραιών, έτσι ώστε οι ιδιότητές τους μπορούν να προβλεφθούν πριν την κατασκευή και την εξέταση των κεραιών.

Το 1998, η πρώτη εσωτερική κεραία έκανε την είσοδό της στην κινητή τηλεφωνία, και προκάλεσε έτσι μεγάλο ενδιαφέρον στη αγορά. Χρησιμοποιώντας την έννοια των διακλαδώσεων τύπου μαιάνδρου, ο Z. Ying από την Ericsson πρότεινε μια εσωτερική τυπωμένη σπειροειδή κεραία και μια διπλής ζώνης τυπωμένη PIFA. Στο σχέδιο, η PIFA κεραία μπορεί να ελαχιστοποιηθεί· το πολλαπλής ζώνης χαρακτηριστικό γνώρισμα μπορεί να αποκτηθεί με τη χρησιμοποίηση της έννοιας των διακλαδώσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.10.



Σχήμα 4.10 Το 1998, ο Z. Ying από την Ericsson κατασκεύασε την πρώτη διπλής ζώνης εσωτερική κεραία την δίδυμη σπειροειδή κεραία (patent US 6166694)

Αργότερα, στο ίδιο έτος, κατασκευάστηκε μιας διπλής ζώνης εσωτερική κεραία για κινητά τηλέφωνα. Η κεραία αυτή είναι βασισμένη σε μια κεραία PIFA με διακλαδώσεις που διαμορφώνεται από τις σχισμές σε μια μικρή επιφάνεια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.11 Το 1998, ο Z. Ying από την Ericsson κατασκεύασε μια PIFA διπλής ζώνης με διακλαδώσεις για κινητή τηλεφωνία (patent: US 6343208B1).

Οι Hayes και S. Vance πρότειναν μια πολλαπλής ζώνης κεραία με διακλαδώσεις που μπορεί να ενισχύσει την απόδοση των υψηλών ζωνών, και ο S. Vance πρότεινε μια looped PIFA διπλής ζώνης που μπορεί ενδεχομένως να δημιουργήσει κυκλική πόλωση. Σήμερα, πολλά από τα διπλής ζώνης handsets χρησιμοποιούν αυτές τις κεραίες.

4.3 Περιγραφή της επίπεδης κεραίας

Καθότι η κεραία PIFA αποτελείται από δύο επίπεδα αξίζει να αναλυθεί αρχικά μία κεραία ενός επιπέδου, δηλαδή μία planar antenna.

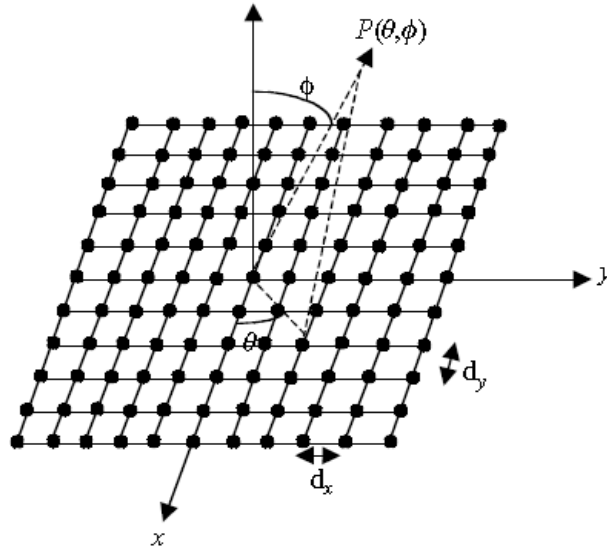
Οι επίπεδες διατάξεις αποτελούνται από δύο δισδιάστατες διατάξεις και μπορούν να ληφθούν τροποποιώντας τα στοιχεία που αποτελούν τη διάταξη κατά μήκος μιας γραμμής (γραμμικές διατάξεις) προκειμένου να ληφθεί τελικά μία διάταξη έκτασης ενός επιπέδου. Οι επίπεδες διατάξεις μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα όπως είναι οι ορθογωνικές διατάξεις που διαμορφώνονται με την τοποθέτηση των στοιχείων σε ένα ορθογώνιο πλέγμα ή οι κυκλικές διατάξεις που διαμορφώνονται με την τοποθέτηση των στοιχείων κατά μήκος ενός κύκλου. Αυτές οι διατάξεις είναι πιο ευπροσάρμοστες από τις γραμμικές λόγω των πρόσθετων μεταβλητών σε ένα δισδιάστατο πλέγμα. Επίσης, οι επίπεδες διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ανιχνεύσουν την κύρια δέσμη της κεραίας προς οποιοδήποτε σημείο στο χώρο. Οι επίπεδες διατάξεις λειτουργούν στα UWB συστήματα λόγω της πυκνότητας και της ιδιότητάς τους για εύκολο σχεδιασμό.

Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζεται μια ορθογωνική διάταξη ισοτροπικών στοιχείων. Για τη μαθηματική διατύπωση των πεδίων (παράγοντας διάταξης - array factor, AF) της διάταξης, εξετάζουμε τις εκφράσεις ως προς τις διαστάσεις x και y . Κατά συνέπεια, εάν τα M στοιχεία τοποθετηθούν αρχικά κατά μήκος του άξονα x μπορούμε να διατυπώσουμε ότι το πεδίο για μια γραμμική διάταξη n στοιχείων μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\sum_{m=1}^M A_m \cdot e^{j(m-1)(kd_x \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi + \beta_x)} \quad (4.1)$$

όπου το A_m είναι ο συντελεστής διέγερσης κάθε στοιχείου, d_x είναι το διάστημα μεταξύ δύο στοιχείων και β_x είναι η προοδευτική μετατόπιση φάσης κατά μήκος του άξονα x . Επίσης, εάν θεωρήσουμε και N γραμμικά στοιχεία τοποθετημένα κατά μήκος του άξονα y με συντελεστή διέγερσης A_n , το διάστημα μεταξύ των στοιχείων είναι d_y και την προοδευτική μετατόπιση φάσης β_y , τότε ο παράγοντας διάταξης για την ορθογωνική πλέον διάταξη μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$AF = \sum_{n=1}^N A_n \cdot \left[\sum_{m=1}^M A_m \cdot e^{j(m-1)(kd_x \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi + \beta_x)} \right] e^{j(n-1)(kd_y \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi + \beta_y)} \quad (4.2)$$



Σχήμα 4.12 Γεωμετρία μιας επίπεδης διάταξης

Κατά συνέπεια, η εξίσωση (4.2) δείχνει ότι ο παράγοντας διάταξης AF είναι αποτέλεσμα του γινομένου των παραγόντων διάταξης στις κατευθύνσεις x και y . Επιπλέον, εάν η διάταξη έχει ένα ομοιόμορφο εύρος διέγερσης για όλα τα στοιχεία, όπου

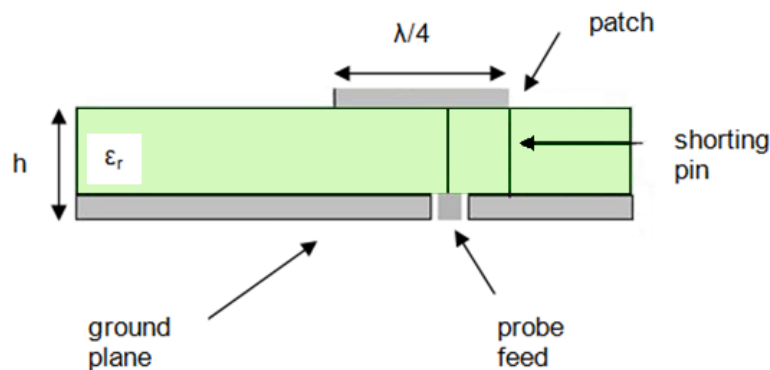
$$A_0 = A_m \cdot A_n \quad (4.3)$$

Τότε, ο παράγοντας διάταξης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

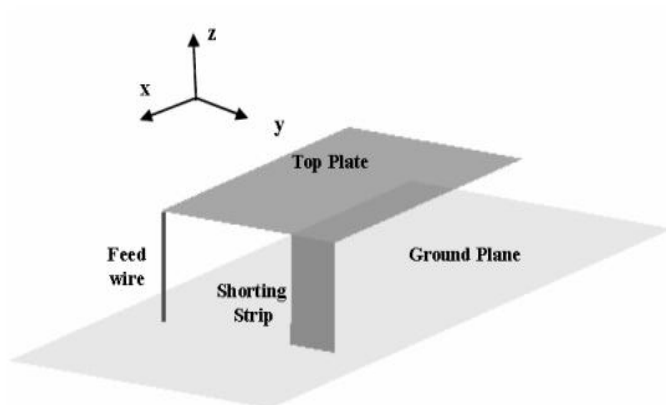
$$AF = A_0 \sum_{m=1}^M A_m \cdot e^{j(m-1)(kd_y \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi + \beta_y)} \sum_{n=1}^N A_n \cdot e^{j(n-1)(kd_x \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi + \beta_x)} \quad (4.4)$$

4.4 Περιγραφή της κεραίας PIFA

Αυτή η κεραία μοιάζει με ένα F ανεστραμμένο, το οποίο είναι και αυτό που εξηγεί το όνομά της, δηλαδή το inverted F. Είναι δημοφιλής επειδή έχει μικρή ακτινοβολία και ένα πανκατευθυντικό διάγραμμα. Η κεραία παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1, καθώς και στο Σχήμα 4.2 όπου φαίνεται καλύτερα η γεωμετρία της.



Σχήμα 4.13 Κεραία PIFA



Σχήμα 4.14 Δομή της PIFA κεραίας

Αυτός ο τύπος της τυπωμένης κεραίας αποτελείται από μία αγώγιμη άνω πλάκα (conductive top plate) και είναι τοποθετημένη πάνω από ένα επίπεδο (ground plane) ορισμένου μεγέθους. Οι δύο αυτές πλάκες ενώνονται μεταξύ τους μέσω του feed wire του shorting strip. Η απόδοση της κεραίας μπορεί να ελεγχθεί και να βελτιστοποιηθεί αλλάζοντας με διάφορους συνδυασμούς τις διαστάσεις των διάφορων στοιχείων της κεραίας.

Γενικά έχει παρατηρηθεί από διάφορες εφαρμογές σχετικές με την PIFA ότι εάν το ground plane είναι πολύ μεγαλύτερο από $\lambda/4$, όπου λ είναι το μήκος κύματος που προκύπτει από τη συχνότητα λειτουργίας, τότε το διάγραμμα ακτινοβολίας θα εμφανίζει πολλούς λοβούς και κατά συνέπεια η κεραία δεν είναι κατευθυντική. Από την άλλη, εάν το ground plane είναι σημαντικά μικρότερο από $\lambda/4$, τότε ο συντονισμός γίνεται όλο και πιο δύσκολος και η απόδοση της κεραίας μειώνεται αισθητά.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι γενικά το εύρος ζώνης της κεραίας αυτής αυξάνεται με την αύξηση του πάχους της κεραίας. Επιπλέον, επειδή το εύρος ζώνης επηρεάζεται αισθητά από το μέγεθος του ground plane, αλλάζοντας λοιπόν το μέγεθος του ground plane πετυχαίνουμε μία ποικιλία σε εύρος ζώνης. Παραδείγματος χάρη,

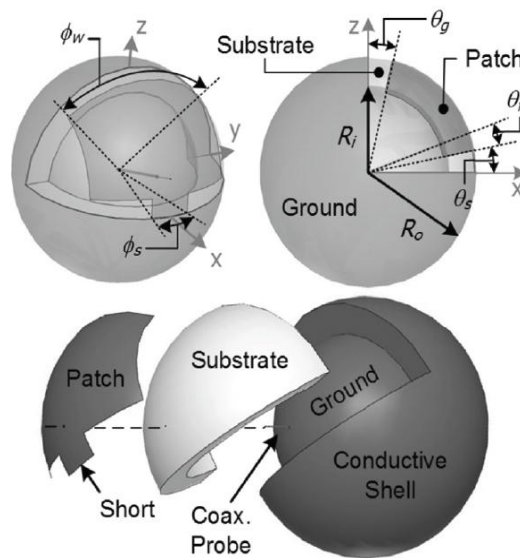
μειώνοντας το μέγεθος του ground plane μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά το εύρος ζώνης του συστήματος της κεραίας.

Η πανκατευθυντική συμπεριφορά της PIFA με τιμές κέρδους εξασφαλίζει επαρκή απόδοση για τα τυπικά εσωτερικά περιβάλλοντα λαμβάνοντας υπόψη τις τυποποιημένες τιμές της ισχύος και της ευαισθησίας των δεκτών των περιορισμένου εύρους ραδιο-συσκευών.

Επιπλέον, η πόλωση της κεραίας είναι συνήθως ελλειπτική αντί για γραμμική. Κατά συνέπεια, η κεραία έχει τη δυνατότητα να λάβει και τα κάθετα και οριζόντια πολωμένα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, πράγμα που είναι πολύ χρήσιμο για τα εσωτερικά περιβάλλοντα όπου η αποπόλωση είναι ένα κυρίαρχο φαινόμενο που λαμβάνει χώρα συχνά και έτσι η επιλογή της καλύτερης πόλωσης αποτελεί δύσκολη υπόθεση.

Καθώς οι UWB κεραίες και κατά συνέπεια και η PIFA είναι κυρίως κεραίες με σχισμές, αξίζει να αναφερθεί ότι γενικά η εισαγωγή μίας σχισμής μειώνει τη συχνότητα συντονισμού (resonant frequency). Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος ότι υπάρχει ροή ρεύματος στις άκρες της σχισμής, και έτσι μία χωρητική φορτισμένη σχισμή μειώνει τη συχνότητα και αυτό με τη σειρά του μειώνει δραστικά τις διαστάσεις της κεραίας. Επίσης, αλλαγές στο πλάτος της top plate επηρεάζουν τη τιμή που θα λάβει η συχνότητα συντονισμού.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε λίγα λόγια και για την Spherical Inverted-F Antenna (SIFA). Η συγκεκριμένη κεραία ανήκει στην κατηγορία των σφαιρικών κεραιών οι οποίες έχουν πολλές εφαρμογές στη βιοϊατρική, στην τηλεμετρία και στις επικοινωνίες. Στο Σχήμα 4.15 παρατηρούμε την διάταξη της SIFA και μία διαστρωματική άποψη της κατασκευής της. Αυτή η διάταξη καλύπτει το ένα τέταρτο μιας σφαιρικής επιφάνειας, και έχει περίμετρο περίπου ίση με ένα μήκος κύματος. Αυτό παρέχει τον απαιτούμενο χώρο ώστε να δημιουργηθεί στην επιφάνεια συντονισμός σε συχνότητα που αντιστοιχεί σε $\lambda/4$.



Σχήμα 4.15 SIFA και οι παράμετροι σχεδιασμού του σε ένα σφαιρικό σύστημα και η κατασκευή του

Ο μηχανισμός ακτινοβολήσης παραμένει παρόμοιος με αυτών των PIFA, που προσεγγίζεται από μία ισοδύναμη ακτινοβολούσα σχισμή κατά μήκος της περιμέτρου του σύμμορφου patch στοιχείου (εξαιρώντας την shorted πλευρά).

4.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης της PIFA κεραίας

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης της κεραίας τύπου PIFA είναι τα εξής:

- Ένα πλεονέκτημα της χρήσης των κεραιών PIFA είναι ότι μπορούν να τοποθετηθούν σε κινητή συσκευή σε σύγκριση με τις ελικοειδείς κεραίες ή τις κεραίες ραδιοφώνου (whip antenna ή rod antenna) όπου κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό.
- Το δεύτερο πλεονέκτημα από τη χρήση της PIFA είναι ότι έχει μειωμένη οπίσθια ακτινοβολία προς το κεφάλι του χρήστη, ελαχιστοποιώντας την ηλεκτρομαγνητική απορρόφηση ισχύος των κυμάτων (SAR) ενώ παράλληλα ενισχύει την απόδοση των κεραιών.
- Το τρίτο πλεονέκτημα είναι ότι η PIFA εκθέτει μέτριο έως ψηλό κέρδος και στις κάθετες και οριζόντιες καταστάσεις της πόλωσης. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι πολύ χρήσιμο σε ορισμένες ασύρματες επικοινωνίες όπου ο προσανατολισμός της κεραίας δεν καθορίζεται και οι αντανάκλασεις λαμβάνουν χώρα από διαφορετικές γωνίες του περιβάλλοντος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η σημαντική παράμετρος που

εξετάζεται είναι το συνολικό πεδίο που προκύπτει από το διανυσματικό άθροισμα των οριζόντιων και κάθετων καταστάσεων της πόλωσης.

Μέρος 2^ο

Κεφάλαιο 5^ο

SuperNEC

5.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό πακέτο SuperNEC (Super Numerical Electromagnetic Code) αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση κεραιών. Βασίζεται στο λογισμικό πακέτο MATLAB και για την εκτέλεσή του είναι απαραίτητη η προεγκατάσταση του MATLAB. Απαιτεί τη σχεδίαση της γεωμετρίας της κεραίας και τον καθορισμό στοιχείων όπως είναι η θέση και το είδος των πηγών καθώς και η συχνότητα λειτουργίας. Ως βασικό υπολογιστικό εργαλείο χρησιμοποιεί τη μέθοδο των ροπών (Method of Moments) για την επίλυση των εξισώσεων Maxwell και τη θεωρία της περίθλασης (Unified Theory of Diffraction).

Όπως ήδη αναφέρθηκε το λογισμικό πακέτο SuperNEC αποτελεί μία υβριδική μέθοδο (μέθοδος των ροπών/θεωρία της περίθλασης) λογισμικού προσομοίωσης κεραιών βασισμένο στο πρόγραμμα, σχεδιασμένο και ανεπτυγμένο από τους Dr Derek Nitch και Dr André από το Poynting Software. Το SuperNEC περιλαμβάνει 3D διεπαφές εισόδου και εξόδου. Συσσωρευμένο με πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως, βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους, "Simply Sparse" solver core από τον Dr Francis Canning, καθώς επίσης και Sparse Iterative Method (SIM) και δυνατότητες scripting, το SuperNEC είναι το πλήρες επαγγελματικό εργαλείο προσομοίωσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Η έκδοση του SuperNEC που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι η 2.4.

5.2 Ιστορική Αναδρομή

Το 1989 το πρόγραμμα FORTRAN, NEC-2, τροποποιήθηκε προκειμένου να μπορεί να λειτουργήσει παράλληλα σε ένα δίκτυο transputers. Κατά τη διάρκεια αυτού του προγράμματος, όλες οι αριθμητικά απαιτητικές ρουτίνες ξαναγράφηκαν για να λειτουργήσουν παράλληλα. Η αποδοτικότητα των αλγορίθμων που λειτουργούσαν παράλληλα ήταν πολύ ικανοποιητική και ήταν πλέον ξεκάθαρο ότι η παράλληλη

λειτουργία ήταν ένας εύκολος τρόπος προκειμένου να ελαττωθεί ο χρόνος που απαιτούνταν για την προσομοίωση μίας δομής. Δυστυχώς, όμως, ο αρχικός κώδικας σε FORTRAN παρατηρήθηκε ότι ήταν δύσκολο να τροποποιηθεί. Ο κώδικας παρόλα αυτά επανασχεδιάστηκε και επανεφαρμόστηκε σε μία αντικειμενοστραφή πλέον γλώσσα, και συγκεκριμένα σε C++. Το αποτέλεσμα ήταν ένας κώδικας που ήταν σχετικά εύκολο να επεκταθεί και να διατηρηθεί. Μία από τις επεκτάσεις που πραγματοποιήθηκε στη C++ ήταν η παράλληλη εκτέλεση.

Ο αρχικός παράλληλος κώδικας εφαρμόστηκε σε ένα δίκτυο transputers. Η τεχνολογία των δικτύων transputers είχε, παρόλα αυτά, κάποιους περιορισμούς. Ο πιο σημαντικός από αυτούς ήταν ότι μία μηχανή transputer δεν είναι μία μηχανή για κάθε χρήση και ως εκ τούτου δεν είναι ευρέως διαθέσιμη (όταν συγκρίνεται με τους τερματικούς σταθμούς). Έτσι, ο περιορισμός λειτουργίας του SNEC σε ένα δίκτυο transputers δεν αποτέλεσε μια καλή μακροπρόθεσμη προοπτική για το πρόγραμμα.

Κατόπιν, υπήρξαν διάφορες βιβλιοθήκες επικοινωνιών που επέτρεπαν στους επεξεργαστές για να επικοινωνούν ο ένας με τον άλλο μέσω ενός δικτύου τοπικής περιοχής. Μια από αυτές τις βιβλιοθήκες είναι η PVM (παράλληλη εικονική μηχανή). Αυτή η βιβλιοθήκη επιτρέπει σε κάποιον να ενισχύσει μια παράλληλη μηχανή χρησιμοποιώντας μια ετερογενή συλλογή των υπάρχοντων επεξεργαστών.

Το SNEC ελευθερώθηκε από τους περιορισμούς του transputer με τη χρησιμοποίηση του PVM που εφαρμόσει τις απαραίτητες επικοινωνίες. Στη συνέχεια, το SNEC έχει προσαρμοστεί για να ενσωματώσει μια υβριδική μέθοδο MOM-UTD, ένα MBPE, γρήγορα επαναληπτικά solvers και πολλά άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι με πρωτότυπη μορφή και θα προστεθούν στο πρόγραμμα πυρήνων.

5.3 Η ανάπτυξη του SuperNEC

Η βελτίωση του SuperNEC πραγματοποιήθηκε καθότι τα χαρακτηριστικά που ακολουθούν έχουν ενσωματωθεί σε πρωτότυπη μορφή (χρησιμοποιώντας τη C++) στο πακέτο λογισμικού SuperNEC:

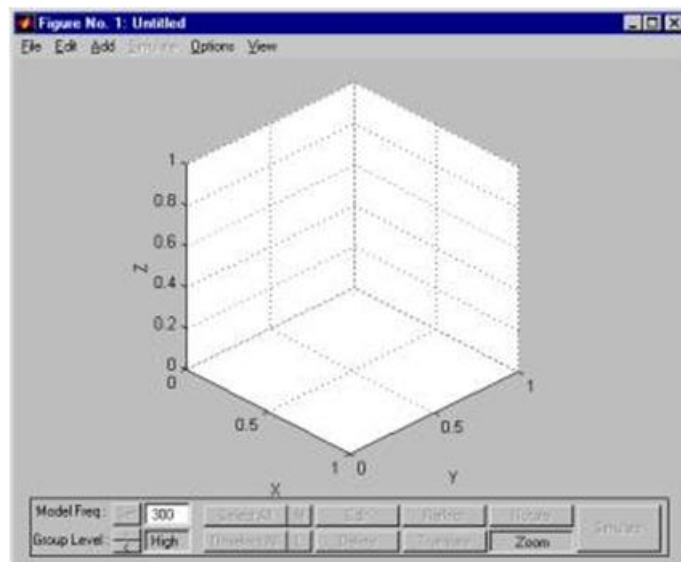
- *Γρήγορες επαναληπτικές μέθοδοι επίλυσης (CGS, BiCGS, SIM, Simply Sparse and πολλές άλλες).*
- *Προσαρμοστικό μοντέλο βασισμένο στην εκτίμηση παραμέτρων.* Αυτή είναι μια δυνατότητα που επιτρέπει στο χρήστη να υπολογίσει την συνάρτηση μεταφοράς για οποιαδήποτε ηλεκτρομαγνητική παράμετρο μέσα σε ένα εύρος συχνοτήτων καθορισμένο από τον χρήστη. Έχοντας ως δεδομένη τη

συνάρτηση μεταφοράς, είναι δυνατό να ληφθεί μια συνεχής αναπαράσταση για την ηλεκτρομαγνητική παράμετρο μέσα στο δοθέν εύρος συχνοτήτων.

- *Παράλληλη εκτέλεση σε δίκτυο ετερογενών επεξεργαστών.* Αυτό το πρόγραμμα έχει εκτελεστεί στην μηχανή διανεμημένης μνήμης 22 επεξεργαστών IBM-SP2. Το συνθετότερο πρόβλημα προσομοίωσης που εκτελέστηκε ήταν ένα πρόβλημα 17035 τμημάτων (segments) με χρήση πλήρη 3D διαγράμματα ακτινοβολίας. Ο χρόνος εκτέλεσης ήταν 5.3 ώρες. Οι γρήγορες επαναληπτικές μέθοδοι επίλυσης επίσης εκτελούνται παράλληλα.
- *Η μέθοδος των ροπών υβριδοποιήθηκε με την ενιαία θεωρία περίθλασης.* Οι δομές UTD που έχουν υλοποιηθεί περιλαμβάνουν κυλίνδρους (cylinders) και πιάτα (plates).
- *Μια διεπαφή βασισμένη σε MATLAB* χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των δομών και την επισκόπηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.
- *Χρήση Γενετικών Αλγορίθμων* προκειμένου να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της σχεδίασης της κεραίας.

5.4 Διεπαφή Εισόδου Χρήστη

Η διεπαφή εισόδου χρήστη (input user interface) όπως παρουσιάζεται επιλέγοντας το SuperNEC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Διεπαφή Εισόδου Χρήστη

Η δομή που επιθυμεί κάποιος να προσομοιώσει κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας απλές δομές (primitives) και συνδυασμό αυτών (assemblies). Τα primitives είναι οι

βασικές δομικές μονάδες όλων των δομών στο SuperNEC και οι assemblies είναι υψηλού επιπέδου συνδυασμοί από primitives. Οι assemblies προσφέρουν μια γρήγορη και κατάλληλη μέθοδο για τον καθορισμό των τμημάτων μιας δομής. Το πρόγραμμα SuperNEC υποστηρίζει και δομές (assemblies) οι οποίες κατασκευάζονται από τον χρήστη, προκειμένου να γραφεί ο αντίστοιχος κώδικας. Τα τρέχοντα primitives που υποστηρίζονται από το SuperNEC περιλαμβάνουν:

- *Τμήματα (Segments)*: Τα segments είναι μικρά κομμάτια σύρματος που μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους άκρη με άκρη προκειμένου να δημιουργήσουν τις δομές (structures) και τις επιφάνειες.
- *Πιάτα (UTD Plates)*: Τα UTD Plates είναι επίπεδα, πολύπλευρα, καλυμμένα με διηλεκτρικό πιάτα. Αυτά τα πιάτα αντιμετωπίζονται σε μια προσομοίωση χρησιμοποιώντας την ομοιόμορφη θεωρία της περίθλασης. Η τελευταία είναι μιας υψηλής συχνότητας τεχνική που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της ηλεκτρομαγνητικής απόκρισης των δομών. Ισχύει μόνο όταν οι διαστάσεις του plate είναι μεγαλύτερες από το μήκος κύματος της προσομοίωσης.
- *Κύλινδροι (UTD Cylinders)*: Τα UTD Cylinders είναι ελλειπτικοί κύλινδροι των οποίων οι άκρες μπορούν να κοπούν έτσι ώστε να σχηματίσουν μια αυθαίρετη γωνία σε σχέση με το επίπεδο x-z. Οι κύλινδροι, επίσης, αναλύονται χρησιμοποιώντας την ομοιόμορφη θεωρία της περίθλασης και ως εκ τούτου πρέπει να είναι αρκετά μεγάλοι σε σχέση με το μήκος κύματος της προσομοίωσης.
- *Φορτία (Loads)*: Υπάρχουν πέντε τύποι φορτίων συσσωρευμένων στοιχείων (lumped element loads) και ένα διηλεκτρικό περίβλημα (dielectric sheath) που μπορούν να συνδεθούν με τα τμήματα σύρματος. Τα φορτία δεν μπορούν να συνδεθούν με τα UTD primitives. Τέσσερα από τα έξι φορτία είναι συνδυασμοί δικτύων RLC. Το πέμπτο φορτίο είναι μια ανεξάρτητης συχνότητας συσσωρευμένη σύνθετη αντίσταση, η οποία καθορίζεται από την ωμική αντίσταση (resistance) και την άεργη αντίστασή (reactance) του. Το έκτο φορτίο είναι ένα διηλεκτρικό περίβλημα καλωδίων που καθορίζεται από την αγωγιμότητα, την σχετική επιτρεπτικότητα και το πάχος του σε μέτρα.
- *Πηγές (Sources)*: Υπάρχουν δύο τύποι πηγών τάσης που μπορούν να συνδεθούν με τα τμήματα (όχι με τα UTD primitives). Αυτές οι πηγές τάσης είναι η AFVS (Applied Field Voltage Source) και η CSDVS (Current Slope Discontinuity Voltage Source).

- *Γραμμές Μεταφοράς (Transmission lines)*: Απλά τμήματα σύρματος (segments) διαμορφώνουν τις θύρες των γραμμών μεταφοράς.
- *Δίθυρα Δίκτυα (Two-port networks)*: Παρόμοια με τις γραμμές μεταφοράς, με την διαφορά ότι αυτά καθορίζονται από τις y-παραμέτρους τους.

Επιπλέον, υπάρχει και ένας μεγάλος αριθμός από assemblies που είναι ενσωματωμένα στο πακέτο του SuperNEC. Η λίστα των υποστηριζόμενων assemblies αυξάνεται συνεχώς και δεν είναι επομένως δυνατό να δοθεί μια πλήρης λίστα όλων των διαθέσιμων assemblies. Ενδεικτικά παρουσιάζονται κάποια από τα υποστηριζόμενα assemblies παρακάτω:

- *Κουτί (Box)*: Είναι ένα κλειστό ορθογώνιο κουτί που κατασκευάζεται με την χρήση τμημάτων σύρματος (segments).
- *Κύλινδρος (Cylinder)*: Πρόκειται για έναν κύλινδρο που διαμορφώνεται από τμήματα σύρματος. Αυτός ο κύλινδρος δεν υπόκειται στους περιορισμούς που ίσχυαν στον κύλινδρο UTD, δεδομένου ότι δεν είναι απαραίτητο να είναι μεγάλος σε σχέση με το μήκος κύματος προσομοίωσης.
- *Έλικας (Helix)*: Είναι μια ελικοειδής δομή κατασκευασμένη από τμήματα σύρματος και διεγερμένη από μία εφαρμοζόμενη πηγή τάσης AFVS.
- *Λογαριθμικές Περιοδικές Δίπολικές Κεραίες (LPDA)*: Η LPDA είναι μια λογαριθμική περιοδική σειρά δίπολων συμπληρωμένη με διασταυρωμένες γραμμές μεταφοράς και μία διέγερση.

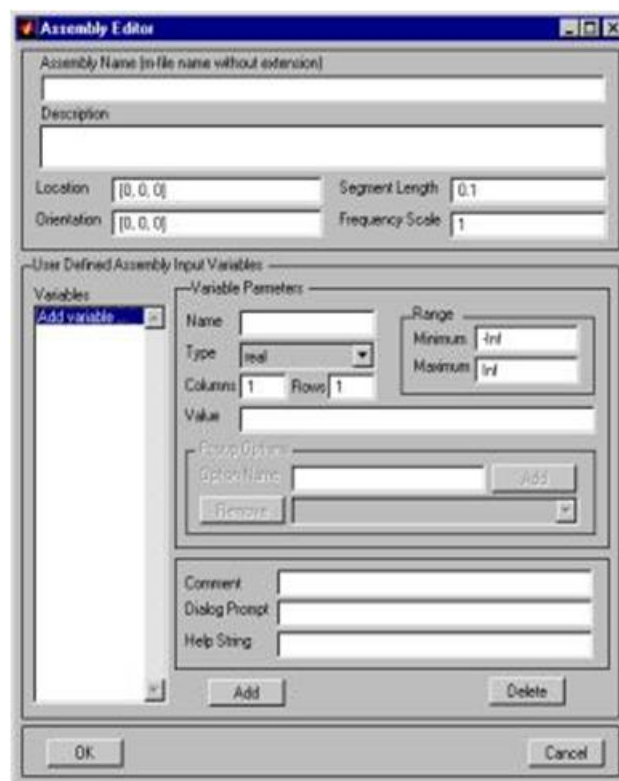
Μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στα primitives και τα assemblies, είναι ότι τα assemblies είναι δομές εξαρτημένες από την συχνότητα προσομοίωσης. Κατά συνέπεια το μοντέλο ενός 1m x 1m x 1m κουτιού στα 100 MHz θα δείχνει πολύ διαφορετικό σε σχέση με στα 300 MHz. Το τελευταίο μοντέλο θα έχει πολλά περισσότερα τμήματα σύρματος. Η διεπαφή επιτρέπει να καθοριστεί μια δομή χρησιμοποιώντας μόνο assemblies σε μια συχνότητα και έπειτα να αλλάξει την συχνότητα του μοντέλου, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ένα μοντέλο της ίδιας δομής, αλλά προσαρμοσμένο για μια διαφορετική συχνότητα.

Έχοντας κάποια έκδοση του Matlab, μπορεί κανείς να κατασκευάσει assemblies προκειμένου να ορίσει άλλες δομές διαφορετικές από αυτές που είναι ήδη ορισμένες.

5.5 Κατασκευή των δομών τύπου assembly

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω με χρήση του προγράμματος Matlab δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να προσθέσει στη ήδη υπάρχουσα λίστα των assemblies τη δική του. Υπάρχουν δύο στάδια συγγραφής μίας assembly. Το πρώτο έχει να κάνει με τον ορισμό των μεταβλητών που καθορίζουν τις ιδιότητες της assembly και το δεύτερο στάδιο είναι να γραφεί ο κώδικας που παράγει την assembly σε Matlab (m-file language).

Προκειμένου να οριστούν οι μεταβλητές για την καινούρια δομή assembly επιλέγεται 'File | New | Assembly'. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι της μορφής που φαίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Το παράθυρο του assembly editor

Τα πρώτα πεδία που καλείται ο χρήστης να συμπληρώσει είναι το όνομα της assembly, η περιγραφή της δομής αυτής και κάποιες καθορισμένες τιμές.

Το όνομα της δομής assembly εισάγεται στο πεδίο 'Assembly Name'. Το assembly name πρέπει να είναι το όνομα του m-φακέλου στον οποίο η δομή πρόκειται να σωθεί, αλλά χωρίς την κατάληξη '.m'. Στην παρούσα διπλωματική εργασία το όνομα της assembly που κατασκευάστηκε είναι το 'snrifawiredbl'.

Η περιγραφή χρησιμοποιείται ως το κείμενο που εμφανίζεται όταν ο χρήστης πληκτρολογήσει 'help assemblyName' στο Matlab command prompt (όπου

assemblyName είναι το όνομα που έχει επιλεγεί για την assembly). Στην δική μας περίπτωση αν ο χρήστης γράψει στο command prompt 'help snrifawiredbl' τότε ως περιγραφή το πρόγραμμα θα του επιστρέψει το 'Pifa wire double'.

Όλες οι assemblies έχουν τέσσερις καθορισμένες παραμέτρους και συγκεκριμένα τη θέση (location) , τον προσανατολισμό (orientation), το μήκος του τμήματος (segment length) και την παράμετρο της κλίμακας της συχνότητας (frequency scale parameter). Η θέση και ο προσανατολισμός χρησιμοποιούνται για να μετατοπίζουν την assembly από μία προκαθορισμένη θέση. Το μήκος του τμήματος καθορίζει το προκαθορισμένο μήκος του κάθε τμήματος που θα χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή της δομής. Αυτή η τιμή δίνεται σε μήκη κύματος. Η παράμετρος που έχει να κάνει με την κλίμακα της συχνότητας έχει μια παρόμοια επίδραση στην assembly στο ότι είναι σε θέση να καθορίσει την πρότυπη συχνότητα (model frequency) στην οποία αυτή η συγκεκριμένη assembly πρόκειται να τέμνεται. Παραδείγματος χάριν, ο καθορισμός της κλίμακας συχνότητας στην τιμή 2 θα οδηγήσει την assembly να τέμνεται σε μια συχνότητα ίση με δύο φορές την πρότυπη συχνότητα που καθορίζεται στο structure editor.

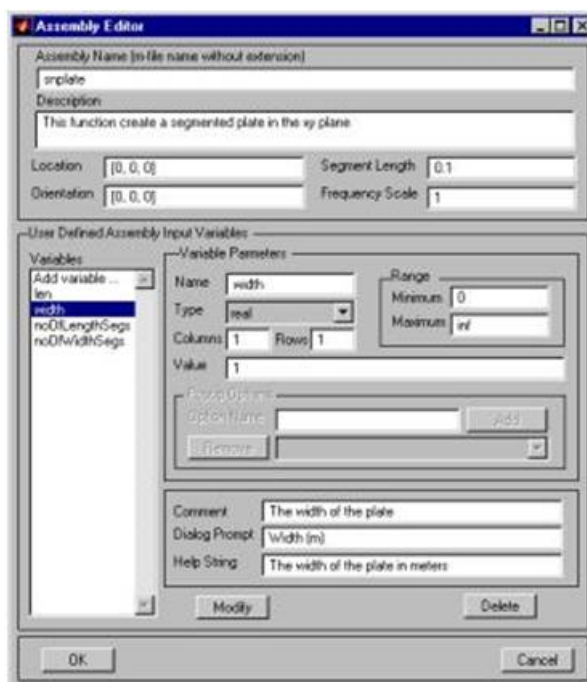
Το τμήμα του παραθύρου διαλόγου με τίτλο 'User Defined Assembly Input Variables' αποτελεί το τμήμα του παραθύρου που χρησιμοποιείται για να οριστούν οι μεταβλητές της assembly. Τα ακόλουθα πεδία της μεταβλητής πρέπει να οριστούν:

- *Όνομα (Name)*: Εισαγωγή του ονόματος της μεταβλητής.
- *Τύπος (Type)*: Υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι μεταβλητών που μπορεί ο χρήστης να επιλέξει. Αυτοί οι τύποι είναι οι παρακάτω:
 - Πραγματικός (real)
 - Ακέραιος (integer)
 - Μιγαδικός (complex)
 - Τύπου Boolean (boolean)
 - Συμβολοσειρά (string)
 - Λίστα (list)
- *Στήλες και σειρές (Columns and Rows)*: Οι μεταβλητές του τύπου πραγματικές, ακέραιος αριθμός, μιγαδικός αριθμός μπορούν να οριστούν ως ένα πίνακα. Για να καθορίσετε τις διαστάσεις του απαραίτητου πίνακα εισάγετε τον αριθμό των γραμμών και των στηλών στο αντίστοιχο παράθυρο. Εάν κάποια εκ των διαστάσεων του πίνακα είναι άγνωστη κατά την διάρκεια του καθορισμού, εισάγετε [] ως διάσταση. Δεν μπορεί να καθοριστεί ένας πίνακας με μεταβλητές τύπου string, εντούτοις ο χρήστης είναι σε θέση να

καθορίσει το μέγιστο μήκος του string στο παράθυρο με τις στήλες. Εάν αυτό είναι άγνωστο, εισάγεται [] για τη διάσταση των στηλών.

- *Τιμή (Value)*: Εισαγωγή της προκαθορισμένης τιμής της μεταβλητής. Αυτή η προκαθορισμένη τιμή θα εμφανίζεται στο παράθυρο (edit box) όταν ο χρήστης προσθέτει την assembly επιλέγοντας 'Add | Assembly'.
- *Ελάχιστη και Μέγιστη τιμή (Minimum and Maximum values)*: Αυτές οι παράμετροι εφαρμόζονται μόνο σε πραγματικές και ακέραιες μεταβλητές.
- *Υπερεμφανιζόμενες επιλογές (Popup options)*: Οι υπερεμφανιζόμενες επιλογές είναι διαθέσιμες μόνο όταν ο τύπος της μεταβλητής είναι λίστα.
- *Σχόλιο (Comment)*: Το κείμενο αυτό που γράφετε σαν σχόλιο θα εμφανίζεται όταν ο χρήστης πληκτρολογεί 'help assemblyName' στη γραμμή εντολών Matlab.
- *Υπαγόρευση διαλόγου (Dialog prompt)*: Αυτό το κείμενο θα εμφανιστεί απέναντι από το edit box (ή το pop-up box) στο οποίο η αξία της παραμέτρου πρέπει να παρασχεθεί από το χρήστη.
- *Συμβολοσειρά Βοήθειας (Help string)*: Αυτό το κείμενο εμφανίζεται στην περιοχή μεταξύ του OK και Cancel επιλογών του πλαισίου διαλόγου της assembly. Βοηθάει τον χρήστη να αποκρυπτογραφήσει την έννοια της μεταβλητής.
- *Κουμπί προσθήκης (Add Button)*: Αφού η μεταβλητή έχει οριστεί ικανοποιητικά, ο χρήστης επιλέγει το κουμπί 'Add' για να προσθέσει την μεταβλητή στη λίστα με τις παραμέτρους. Για να προσθέσει επιπλέον μεταβλητές στη λίστα των παραμέτρων αρκεί το 'Add variable ...' να είναι επιλεγμένο. Κατόπιν επιλέγεται η μεταβλητή από τη λίστα και γίνονται οι απαραίτητες τροποποιήσεις. Προκειμένου να γίνουν δεκτές οι αλλαγές πρέπει να επιλεγεί το πλήκτρο 'Modify'.
- *Κουμπί διαγραφής (Delete button)*: Προκειμένου να διαγραφεί μία προσθήκη που έχει πραγματοποιηθεί στη λίστα παραμέτρων.

Για να επεξηγηθεί ο καθορισμός της παραμέτρου του πλάτους (width) σε μία τυχαία επίπεδη assembly, παρουσιάζονται οι τοποθετήσεις που λαμβάνουν χώρα στο Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3 Παρουσίαση των επιλογών της μεταβλητής width σε μία τυχαία assembly

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εισάγαμε στο παράθυρο της μορφής του Σχήματος 5.3 έξι παραμέτρους και συγκεκριμένα τις εξής: το segHeight, το noOfLengthSegs, το noOfWidthSegs, το addxseg, το addyseg και την distance. Επίσης καθορίσαμε για την κάθε μία χωριστά τον τύπο της, την τιμή της καθώς και το πεδίο με το Comment, το Dialog Prompt και το Help String.

Αφού όλες οι παράμετροι που απαιτούνταν για να οριστεί η assembly έχουν εισαχθεί, ο χρήστης επιλέγει το κουμπί OK στο κάτω μέρος του παραθύρου διαλόγου. Κατόπιν εμφανίζεται το παράθυρο όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το όνομα του αρχείου έχει οριστεί ως snwire.m. Το όνομα της assembly είναι 'snwire'.



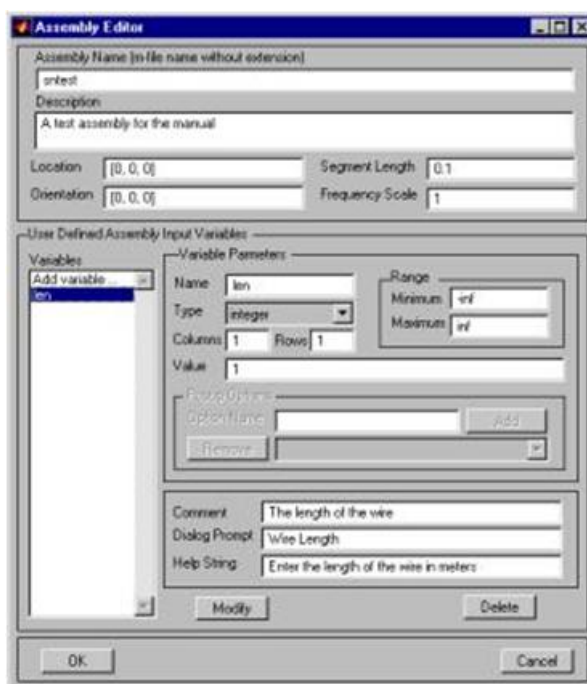
Σχήμα 5.4 Το παράθυρο που εμφανίζεται κατά το σώσιμο του αρχείου της assembly

Ο χρήστης μπορεί να σώσει το αρχείο σε οποιοδήποτε sub-directory κάτω από αυτό των assemblies. Η assembly θα διατίθεται κάτω από το 'Add | Assembly' την

επόμενη φορά που ο χρήστης αρχίζει την εκτέλεση του SuperNEC. Πριν χρησιμοποιηθεί η δομή αυτή, εντούτοις, πρέπει να γραφεί ο κώδικας m-αρχείων προκειμένου να δημιουργήσετε τη δομή assembly. Αυτή η διαδικασία περιγράφεται στην παράγραφο 5.6.

5.6 Συγγραφή του κώδικα της δομής

Για τη συγγραφή του κώδικα για τη νέα assembly, επιλέγεται το στοιχείο 'Edit | Assembly | Code'. Ένα πλαίσιο διαλόγου αρχείων θα εμφανιστεί από το οποίο πρέπει ο χρήστης να επιλέξει το αρχείο που περιέχει τη νέα assembly (το όνομα του αρχείου είναι το όνομα της assembly με την επέκταση '.m'). Ο συντάκτης m-αρχείων Matlab θα ανοίξει το αρχείο. Ο ακόλουθος κώδικας παρήχθη για μια assembly αποκαλούμενη 'sntest'. Μια παράμετρος αποκαλούμενη 'len' καθορίστηκε όπως φαίνεται στο παράθυρο διαλόγου του Σχήματος 5.5.



Σχήμα 5.5 Η sntest assembly με μία ορισμένη παράμετρο

Το ακόλουθο κείμενο είναι ο κώδικας που έχει παραχθεί από τον υπολογιστή για την sntest assembly, και το ίδιο παράγεται κάθε φορά που ο χρήστης επιχειρεί να σχεδιάσει μία καινούρια assembly. Το παρακάτω κείμενο είναι σχεδόν προκαθορισμένο από τον συντάκτη του SuperNEC.

```
function asmb = sntest (modelFreq, obj, editParms)
```



```

%-----
% THE FIRST PART OF THIS FILE IS COMPUTER GENERATED - DO NOT EDIT IT
% !!!
% PAGE DOWN TO THE USER DEFINED SECTION WHICH STARTS WITH THE SEGMENT
% ROUTINE.
%-----
%
% USAGE:
%   asmb = sntest (modelFreq, obj, editParms)
% DESCRIPTION:
%   A test assembly for the manual
% INPUTS:
%   modelFreq: The frequency at which the SNEC structure is designed
%   obj.location: The location of the assembly
%   obj.segLength: The segment length in wavelengths
%   obj.orientation: The orientation of the assembly
%   obj.freqScale: The factor by which the model freq. is scaled
%   obj.len: The length of the wire
%
% OUTPUTS:
%   struct assembly
%   {
%       name          // the name of the assembly
%       properties    // array of structs
%       segments      // cell array of startPt, endPt, radius
%       plates        // cell array of plate data
%       cylinders     // cell array of cylinder data
%       assemblies    // cell array of structs like this
%   }

if (nargin < 1)
    ErrorDlg ('You must specify the model freq when calling
sntest', 'sntest Usage Error');
    asmb = [];
    return;
end

switch nargin
    case 1
        obj.location = [0.000, 0.000, 0.000];
        obj.segLength = 0.100;
        obj.orientation = [0.000, 0.000, 0.000];
        obj.freqScale = 1.000;
        obj.len = 1;
        editParms = 1;
    case 2
        editParms = 1;
    case 3
        % do nothing
    otherwise
        asmb = [];
        ErrorDlg ('Invalid number of inputs to sntest', 'sntest Usage
Error');
        return;
end

commonStruct = struct(...
    'prompt', {'Location'; 'Segment Length'; 'Orientation'; 'Freq.
Scaling'}, ...
    'value', {obj.location; obj.segLength; obj.orientation;

```

```

obj.freqScale}, ...
    'type',{'real';'real';'real';'real'}, ...
    'length',{3; 1; 3; 1}, ...
    'range',{[]; [0.001 0.5]; [0 360]; [1E-5 inf]});

dlgStruct = struct(...
    'prompt', {...
        'Wire Length'}, ...
    'value', {obj.len}, ...
    'noOfCols', {1}, ...
    'noOfRows', {1}, ...
    'range', {[ -inf inf ]}, ...
    'type', {'integer'}, ...
    'help', {...
        'Enter the length of the wire in meters'});

obj.type = 'sntest';
obj.commonStruc = commonStruct;
obj.dlgStruc = dlgStruct;

if (editParms)
    [obj,okay] = snasmbdlg (obj);
else
    okay = 1;
end
if (okay)
    location = obj.commonStruc(1).value;
    segLength = obj.commonStruc(2).value;
    orientation = obj.commonStruc(3).value;
    freqScale = obj.commonStruc(4).value;
    len = obj.dlgStruc(1).value;

    asmb = Segment (modelFreq, location, segLength, orientation,
freqScale, len);

    asmb.name = 'sntest';
    asmb.properties = struct ('name',{ 'location', 'segLength',
'orientation', 'freqScale', 'len'}, ...
        'value',{ location, segLength, orientation, freqScale, len});
    else
        asmb = [];
    end

%-----
%-----
% WRITE YOUR SEGMENT ROUTINE AFTER THE LINE: freqMHz =
modelFreq.*freqScale;
%-----
%-----

function asmb = Segment (modelFreq, ...
    location, ...
    segLength, ...
    orientation, ...
    freqScale, ...
    len)

freqMHz = modelFreq.*freqScale;

```

Το μόνο τμήμα του κώδικα με τον οποίο πρέπει να ασχοληθεί ο χρήστης είναι το τμήμα που ακολουθεί από την ένδειξη 'WRITE YOUR SEGMENT ROUTINE AFTER THE LINE: ...'. Σε αυτό το τμήμα γράφεται ο κώδικας της εκάστοτε assembly.

5.7 Ρυθμίσεις Προσομοίωσης

Αφού οριστεί η δομή, ο χρήστης καλείται να ρυθμίσει κάποιες από τις ρυθμίσεις προσομοίωσης πριν ξεκινήσει με την προσομοίωση. Αυτές οι ρυθμίσεις περιλαμβάνουν:

- Προσδιορισμό του φάσματος συχνότητας της προσομοίωσης.
- Καθορισμό μερικών εσωτερικών παραμέτρων του προγράμματος.
- Προσδιορισμό της επιθυμητής εξόδου.

Το πλαίσιο διαλόγου που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των ανωτέρω ρυθμίσεων βρίσκεται στο Edit | Simulation Settings μενού. Το πλαίσιο διαλόγου φαίνεται στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6 Το πλαίσιο διαλόγου ρύθμισης της προσομοίωσης

Το ανωτέρω τμήμα του πλαισίου διαλόγου (κάτω από τη λέξη 'Summary') περιγράφει τις τρέχουσες ρυθμίσεις της προσομοίωσης. Οι προκαθορισμένες ρυθμίσεις της προσομοίωσης είναι οι ακόλουθες:

- Συχνότητα προσομοίωσης: 299.8MHz.
- Πυρήνα (Kernel): Λεπτό σύρμα kernel.
- Εύρος Αλληλεπίδρασης (Interaction range): 1m.

- Τα ρεύματα και οι δαπάνες στο αρχείο εξόδου τα οποία γράφονται από τον χρήστη.
- Κάποιες προκαθορισμένες UTD αλληλεπιδράσεις.
- Καμία εξωτερική διέγερση δεν καθορίζεται.
- Δεν απαιτούνται γραφικές παραστάσεις κοντινού πεδίου.
- Δεν απαιτείται διάγραμμα ακτινοβολίας.

5.7.1 Ορισμός των συχνοτήτων προσομοίωσης

Οι συχνότητες προσομοίωσης είναι οι συχνότητες και όλες οι έξοδοι στις οποίες υπολογίζεται το ρεύμα στη δομή. Κατά συνέπεια, εάν ζητείται το φάσμα συχνοτήτων και το διάγραμμα ακτινοβολίας, τότε η δομή θα προσομοιωθεί σε κάθε συχνότητα και το διάγραμμα ακτινοβολίας θα υπολογιστεί σε κάθε συχνότητα προσομοίωσης. Η συχνότητα προσομοίωσης εκφράζεται σε MHz. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να οριστούν οι συχνότητες προσομοίωσης όπως να γραφούν όλες οι συχνότητες με κενά ή κόμμα μεταξύ τους στο πεδίο με ονομασία 'Frequency (MHz)'. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ο συμβολισμός που χρησιμοποιείται για τους πίνακες όπως και οποιαδήποτε έκφραση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη Matlab.

5.7.2 Επιλογή του πυρήνα (kernel)

Ο πυρήνας καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζεται η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση - μεταξύ των τμημάτων που είναι τοποθετημένα πιο κοντά σε σχέση με το εύρος αλληλεπίδρασης. Ο λεπτός πυρήνας καλωδίων πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τα τμήματα των οποίων ο λόγος του μήκους τμήματος προς την ακτίνα είναι μεγαλύτερη από 8. Μελέτες έχουν δείξει ότι η προσέγγιση με λεπτά καλώδια οδηγεί σε σφάλμα μικρότερο από 1% για τέτοια τμήματα. Για τα παχύτερα τμήματα (εκείνα των οποίων ο λόγος μήκους κύματος προς ακτίνα είναι μεγαλύτερος από 8 αλλά μικρότερος από 2), πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο εκτεταμένος λεπτός πυρήνας καλωδίων (extended thin wire kernel).

5.7.3 Καθορισμός του εύρους αλληλεπίδρασης (interaction range)

Το εύρος αλληλεπίδρασης είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ των τμημάτων για τα οποία ο λεπτός πυρήνας καλωδίων (ή εκτεταμένος λεπτός πυρήνας καλωδίων) χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων. Η

αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των segments ξέχωρα από αυτό το εύρος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το δίπολο Hertz (Hertzian dipole approximation).

5.7.4 Απαιτούμενα ρεύματα και φορτία

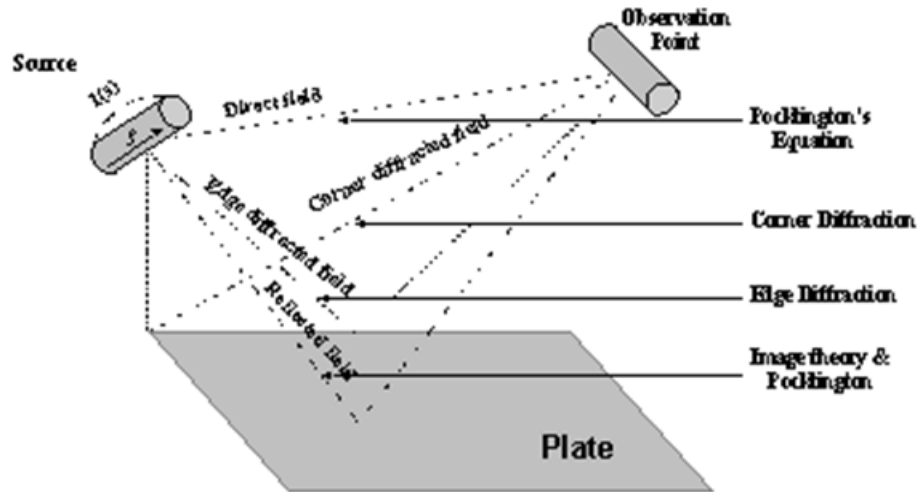
Η ρευματική κατανομή στη δομή υπολογίζεται πάντα, εντούτοις, αυτό είναι δυνατό να κατασταλεί με τον να μην επιλέξει ο χρήστης την επιλογή 'Write Currents' που είναι για την παραγωγή των ρευμάτων. Είναι συχνά πολύ χρήσιμο να παρουσιάζεται η ρευματική κατανομή στη δομή και επομένως συνιστάται αυτή η επιλογή να χρησιμοποιείται μόνο εάν ο χώρος στο δίσκο είναι αρκετός.

5.7.5 Ορισμός των αλληλεπιδράσεων UTD (UTD interactions)

Το πεδίο με τις αλληλεπιδράσεις UTD είναι σημαντικό μόνο εάν έχουν περιληφθεί στο πρότυπο που χρησιμοποιεί ο χρήστης τα UTD primitives. Αυτό το πεδίο επιτρέπει στον χρήστη να διευκρινίσει ποιες ακτίνες UTD να λάβει υπόψη σε μια προσομοίωση. Μια υβριδική προσομοίωση MoM/UTD μπορεί να αναλυθεί σε δύο στάδια. Κατ' αρχάς, η μήτρα αλληλεπίδρασης γεμίζει και τα ρεύματα στη δομή MoM υπολογίζονται. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τον υπολογισμό των ιδιοτήτων όπως το κοντινό πεδίο και το διάγραμμα ακτινοβολίας.

Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζονται κάποιες από τις ακτίνες που λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό ενός στοιχείου της μήτρας αλληλεπίδρασης. Η δομή MoM, σε αυτόν το σχήμα, αποτελείται από δύο τμήματα και η δομή UTD είναι ένα ενιαίο επίπεδο. Στο στάδιο του υπολογισμού που απεικονίζεται στο σχήμα, το αριστερό τμήμα θεωρείται ένα τμήμα πηγής και κάποιο σημείο στην επιφάνεια του δεξιού τμήματος είναι το σημείο παρατήρησης. Πρέπει να βρεθεί το ηλεκτρικό πεδίο επαπτόμενο στην επιφάνεια του τμήματος παρατήρησης. Αυτή η τιμή του πεδίου αποτελεί ένα στοιχείο της μήτρας αλληλεπίδρασης.

Το άμεσο πεδίο είναι το τμήμα πεδίου που θα λαμβανόταν υπόψη σε μια καθαρή λύση με τη μέθοδο MoM. Αυτό το τμήμα πεδίου είναι πάντα παρόν κατά την πλήρωση της μήτρας σε ένα υβριδικό πρόβλημα MoM/UTD. Τα άλλα τρία συστατικά είναι συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις UTD που μπορούν να περιληφθούν στον υπολογισμό κατά την κρίση του χρήστη.



Σχήμα 5.7 Τμήματα πεδίου που λαμβάνονται υπόψη κατά την συμπλήρωση του πίνακα

Όσο περισσότερες αλληλεπιδράσεις λαμβάνει ο χρήστης υπόψη, τόσο περισσότερο χρόνο δαπανάει το πρόγραμμα για να προσομοιώσει τη δομή. Πολλές από τις αλληλεπιδράσεις UTD θα έχουν πολύ λίγη επίδραση στη ρευματική κατανομή σε μία δομή MoM και ως εκ τούτου μπορεί να μην είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν. Η σημασία των διάφορων αλληλεπιδράσεων θα εξαρτηθεί, πρώτα από τη δομή που προσομοιώνεται και αφετέρου από την ηλεκτρομαγνητική ιδιότητα που ερευνάται.

Ο υπολογισμός σχηματομορφών έχει μια διαφορετική απαίτηση. Για αυτόν τον υπολογισμό, ο μόνος μηχανισμός που εξασφαλίζει ότι η προσομοίωση προβλέπει κάποια ακτινοβολία κάτω μέρος του επιπέδου, είναι η διάθλαση. Κατά συνέπεια είναι σημαντικό να περιληφθεί και η αντανάκλαση και η διάθλαση σε αυτόν τον υπολογισμό. Η διπλή διάθλαση μπορεί να περιληφθεί, αλλά έχει την αμελητέα επίδραση στη σχηματομορφή.

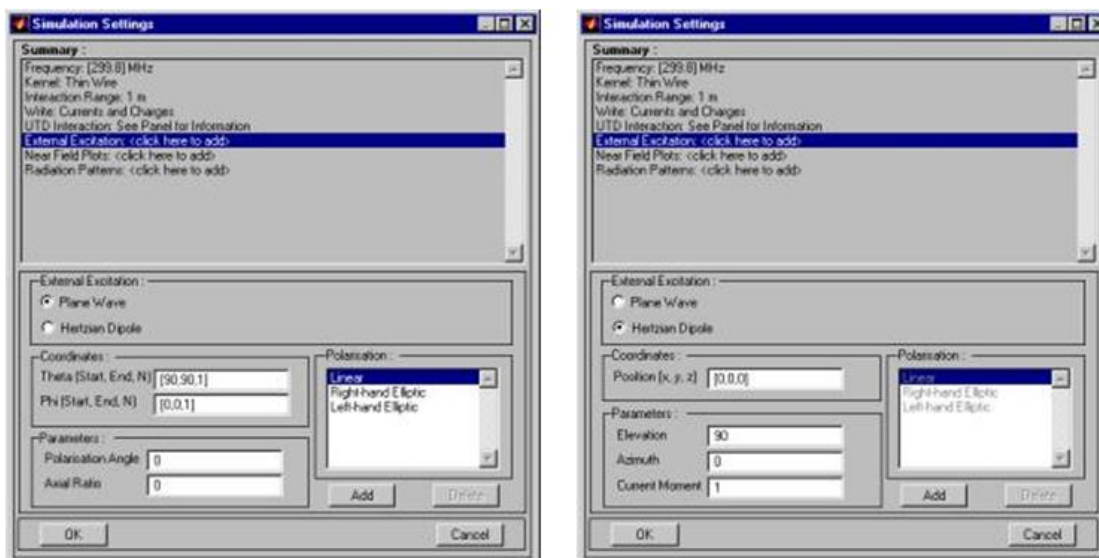
Το παράθυρο που σχετίζεται με τις αλληλεπιδράσεις UTD φαίνεται στο Σχήμα 5.8.



Σχήμα 5.8 Οι προκαθορισμένες τιμές αλληλεπίδρασης για το συγκεκριμένο στάδιο προσομοίωσης

5.7.6 Καθορισμός μιας εξωτερικής διέγερσης

Οι εξωτερικές διεγέρσεις των δομών MoM μπορούν να καθοριστούν επιλέγοντας το 'External Excitation: <click here to add>' στο παράθυρο καταλόγων. Υπάρχουν δύο τύποι εξωτερικών διεγέρσεων, δηλαδή, ένα επίπεδο κύμα και μία διέγερση διπόλων Hertz. Η επιλογή της εξωτερικής διέγερσης γίνεται με την επιλογή του κατάλληλου κουμπιού όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9 Ρυθμίσεις της εξωτερικής διέγερσης

5.7.7 Διαγράμματα κοντινού πεδίου

Τα διαγράμματα κοντινού πεδίου γίνονται επιλέγοντας 'Near Field Plots: <click here to add>'. Το κάτω τμήμα του παραθύρου αλλάζει και εμφανίζεται η εικόνα όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.10.



Σχήμα 5.10 Ρυθμίσεις για το διάγραμμα του κοντινού πεδίου

Το SuperNEC μεριμνά για τον υπολογισμό τόσο των ηλεκτρικών όσο και των μαγνητικών κοντινών πεδίων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει, εάν επιθυμεί, τα σημεία του πεδίου στο καρτεσιανό ή σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων.

5.7.8 Διάγραμμα ακτινοβολίας

Τα διαγράμματα ακτινοβολίας γίνονται επιλέγοντας το Radiation Patterns: <click here to add>. Το πλαίσιο κάτω από το συνοπτικό παράθυρο καταλόγων θα αλλάξει και θα πάρει τη μορφή του Σχήματος 5.11.



Σχήμα 5.11 Το παράθυρο με τις επιλογές σχετικά με τα διαγράμματα ακτινοβολίας

Το SuperNEC έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει και τα διαγράμματα τόσο των επιφανειακών κυμάτων όσο και των χωρικών κυμάτων. Στο διάγραμμα των επιφανειακών κυμάτων χρησιμοποιούνται κυλινδρικές συντεταγμένες, ενώ στο διάγραμμα των χωρικών κυμάτων οι υπολογισμοί γίνονται σε σφαιρικές συντεταγμένες.

5.7.8.1 Διάγραμμα χωρικών κυμάτων (λαμβάνοντας υπόψη ότι οι πηγές τάσης έχουν εφαρμοστεί στη δομή)

Στο παρόν κομμάτι γίνεται η υπόθεση ότι το 'Compute Ground Wave Pattern' δεν είναι επιλεγμένο.

Στη δεξιά πλευρά της του κάτω μισού παραθύρου υπάρχει ένα πεδίο καταλόγων με διάφορους προκαθορισμένους τύπους χωρικών διαγραμμάτων. Από το πρώτο διάγραμμα, που εμφανίζεται αν ο χρήστης επιλέξει την πρώτη επιλογή από το πεδίο αυτό, θα προκύψει ένα δισδιάστατο XY-επίπεδο με μοναδιαία αύξηση της γωνίας ϕ . Σε αυτό το διάγραμμα υπάρχουν 361 σημεία που εκτείνονται από τις 0° έως τις 360° . Η επικάλυψη καθορίζεται έτσι ώστε η έξοδος να ταυτίζει τα διαγράμματα ακτινοβολίας στα σημεία από $0-360$ μοίρες. Το τονισμένο στοιχείο είναι η προκαθορισμένη επιλογή του παραθύρου και αντιστοιχεί στο διάγραμμα του YZ-επιπέδου. Σε αυτήν την περίπτωση η θ αυξάνεται κατά 2 μοίρες σε αντίθεση με την ϕ που όπως ειπώθηκε προηγουμένως αυξάνεται κατά μία μοίρα. Το πλαίσιο δίπλα από το 'Theta [Start, End, N]' παρουσιάζει την διακύμανση της θ γωνίας που απαιτείται για να παραγάγει αυτήν την τομή. Η γωνία θ ξεκινάει από τις 0° και τελειώνει στις

360° και ο αριθμός των σημείων που απαιτούνται είναι 181. Το αντίστοιχο πλαίσιο για τη φ γωνία έχει οριστεί στις 90° (δηλ. κάτω από τον άξονα y). Οι παράμετροι σε αυτά τα παράθυρα μπορούν να επεξεργαστούν αν χρειαστεί.

Το παράθυρο που αντιστοιχεί στη γωνία φ δείχνει ότι η φ τίθεται στις 90° (δηλ. κάτω από τον άξονα y). Και εδώ οι παράμετροι μπορούν να υποστούν επεξεργασία.

Η *ακτινική απόσταση* ορίζει την απόσταση των σημείων του πεδίου από την πηγή σε μέτρα. Εάν η τιμή της αφήνεται στο 0, κατόπιν το ηλεκτρικό πεδίο θα αγνοήσει τον παράγοντα $\frac{e^{-jkR}}{R}$. Αυτή η παράμετρος έχει μια διαφορετική έννοια εάν ζητείται επιφανειακό κύμα.

Οι επιλογές σχετικά με την *πόλωση* χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο το ακτινοβολούμενο πεδίο είναι χωρισμένο σε δύο ορθογωνικές συνιστώσες. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να μελετήσει είτε τις κάθετες και οριζόντιες συνιστώσες (vertical and horizontal components) είτε τις κύριες και δευτερεύουσες συνιστώσες (major and minor components). Και στις δύο περιπτώσεις το συνολικό κέρδος αναφέρεται πάντα. Η *επιλογή major/minor* οδηγεί το πρόγραμμα στο να υπολογίζει τις δύο συνιστώσες σαν να είχε το κύμα ελλειπτική πόλωση. Σε αυτήν την περίπτωση, ένα γραμμικά πολωμένο κύμα θα είχε ένα μεγάλη major συνιστώσα ως σημαντικό συστατικό και μία minor συνιστώσα της τάξης των -999dB, δηλαδή σχεδόν ανύπαρκτη. Αντίστοιχα, τα κύματα με κυκλική πόλωση θα είχαν ίση major και minor συνιστώσα. Η άλλη επιλογή πόλωσης, δηλαδή η vertical/horizontal, θα μπορούσε να αποκαλείται και θ/φ επιλογή πόλωσης, εντούτοις, η ονοματολογία έχει διατηρηθεί από το NEC -2. Η κάθετη συνιστώσα αντιστοιχεί στη θ συνιστώσα του πεδίου, ενώ η οριζόντια συνιστώσα αντιστοιχεί στη φ συνιστώσα του πεδίου.

Οι επιλογές σχετικά με το *κέρδος* επιτρέπουν στο χρήστη για να επιλέξουν μεταξύ του υπολογισμού της κατευθυντικότητας της κεραίας (directivity) ή του κέρδους ισχύος (power gain). Αν ο χρήστης επιλέξει το κέρδος ισχύος τότε περιλαμβάνεται και η αποδοτικότητα της κεραίας σε αυτό τον υπολογισμό.

Προκειμένου να υπολογιστεί η *μέση ακτινοβολούμενη ισχύς* χρησιμοποιείται η επιλογή average radiated power για να μπορέσει το πρόγραμμα να υπολογίσει το μέσο κέρδος στην περιοχή στην οποία έχει καθοριστεί το διάγραμμα ακτινοβολίας. Εάν το ζητούμενο διάγραμμα ακτινοβολίας είναι ένα πλήρες τρισδιάστατο διάγραμμα, τότε το μέσο κέρδος για μια χωρίς απώλειες κεραία πρέπει να είναι 0dB. Αυτή η ιδιότητα μιας κεραίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρηθεί η ισχύς (validity) μιας δομής κεραίας. Εάν η κεραία έχει απώλειες, τότε το ποσό του (γραμμικού) μέσου κέρδους (όταν υπολογίζεται σε όλο το διάστημα) και της αποδοτικότητας (που

παίρνει τιμές μεταξύ του 0 και 1) πρέπει να είναι 1. Εάν το διάγραμμα ακτινοβολίας ζητείται μόνο σε ένα τμήμα του διαστήματος, κατόπιν το ποσοστό της ισχύος που ακτινοβολείται σε εκείνη την περιοχή του χώρου μπορεί να καθορισθεί χρησιμοποιώντας αυτό την επιλογή. Το μέσο κέρδος για ένα δισδιάστατο διάγραμμα δεν μπορεί να υπολογιστεί.

5.7.8.2 Διάγραμμα χωρικών κυμάτων (λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει εξωτερική διέγερση της δομής)

Οι περισσότερες από τις τοποθετήσεις που εξηγήθηκαν στην παράγραφο 5.7.8.1 ισχύουν και για μια δομή που διεγείρεται εξωτερικά, εντούτοις υπάρχουν μερικές διαφορές. Οι διαφορές αυτές είναι οι εξής:

- Η έξοδος που παράγεται από το πρόγραμμα όταν ζητείται ένα διάγραμμα ακτινοβολίας και η δομή έχει εξωτερική διέγερση είναι η σκεδάζουσα εγκάρσια διατομή (scattering cross-section), $\frac{\sigma}{\lambda^2}$.
- Οι επιλογές σχετικά με το κέρδος δεν έχουν καμία επίδραση στο αποτέλεσμα του προγράμματος.

5.7.8.3 Διάγραμμα επιφανειακών κυμάτων

Ο χρήστης καλείται να επιλέξει το 'Compute Ground Wave Pattern' προκειμένου να μπορέσει να κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις για το διάγραμμα επιφανειακών κυμάτων. Το πλαίσιο με τις επιλογές για το διάγραμμα αυτό γίνεται όπως στο Σχήμα 5.12.



Σχήμα 5.12 Παράθυρο για τα επιφανειακά διαγράμματα

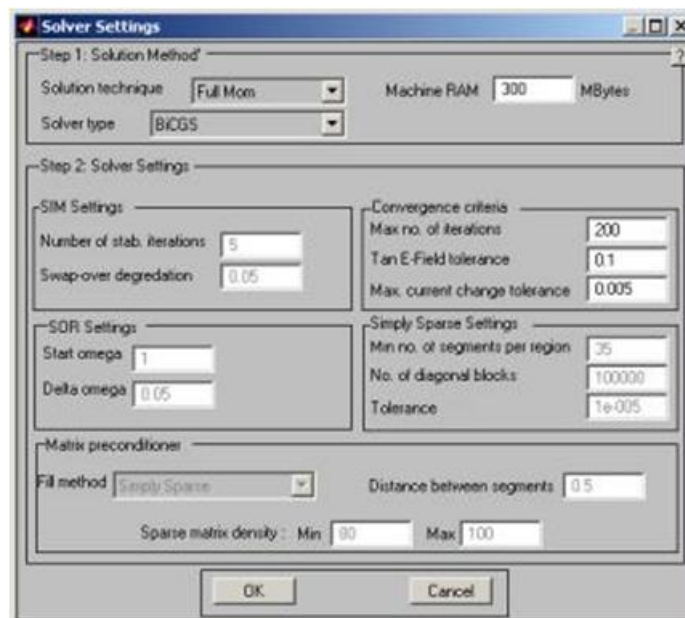
Το πρώτο σημείο που αξίζει να τονιστεί είναι ότι τα σημεία του διαγράμματος ακτινοβολίας καθορίζονται σε κυλινδρικές συντεταγμένες. Η ακτινική απόσταση είναι η απόσταση από την πηγή στην οποία τα πεδία πρέπει να υπολογιστούν. Η τιμή της απόστασης αυτής πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ένα μήκος κύματος. Επίσης, δεν γίνεται να υπολογιστεί το μέσο για τα επιφανειακά κύματα.

5.7.9 Ρυθμίσεις της μεθόδου επίλυσης

Το SuperNEC υποστηρίζει διάφορους μηχανισμούς επίλυσης των ρευμάτων στη δομή. Οι τεχνικές που υποστηρίζονται είναι:

- *Πλήρης MoM* (λύνει την εξίσωση των μητρών αλληλεπίδρασης χρησιμοποιώντας είτε την διάσπαση των πινάκων LU (LU decomposition) με την μέθοδο της πίσω και μπρος αντικατάστασης είτε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο biconjugate gradient stabilized (BCGSTAB) που χρησιμοποιείται για την επίλυση μη συμμετρικών συστημάτων).
- *Επαναληπτική MoM* (λύνει την εξίσωση των μητρών αλληλεπίδρασης χρησιμοποιώντας ένα προκαθορισμένο επαναληπτικό σχέδιο).
- *Απλά αραιή MoM* (συμπίεζεται η μήτρα αλληλεπίδρασης σε ένα αραιή μορφή και λύνεται η προκύπτουσα συμπιεσμένη εξίσωση μητρών).
- *Παράλληλη MoM* (εκτελεί την τυποποιημένη διάσπαση LU με την πίσω και μπρος αντικατάσταση σε ένα δίκτυο μηχανών).

Οι παράμετροι που συνδέονται με κάθε μια από αυτές τις τεχνικές λύσεων μπορούν να οριστούν από το Edit | Solver Settings. Οι ρυθμίσεις για την επίλυση του συστήματος, όπως εμφανίζονται στο παράθυρο επιλογών, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.13.



Σχήμα 5.13 Το παράθυρο επιλογών σχετικά με την μέθοδο επίλυσης

5.7.10 Έλεγχος της δομής

Το SuperNEC έχει μια ενσωματωμένη δομή που δίνει τη δυνατότητα έλεγχου της ισχύος των MoM δομών. Το NEC-2 και το SuperNEC επιβάλλει περιορισμούς στη γεωμετρία των καλωδίων που περιορίζουν το μήκος των τμημάτων σε σύγκριση με το μήκος κύματος, στις ακτίνες που ενώνουν τα τμήματα, στο λόγο του μήκους του τμήματος (segment) με την ακτίνα και άλλα. Είναι σημαντικό να ακολουθηθούν αυτοί οι περιορισμοί δεδομένου ότι τα λεπτά λάθη σε ένα πρότυπο πλέγματος μπορούν να οδηγήσουν σε μια ανακριβή ρευματική κατανομή. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας και τα σκεδαζόμενα πεδία από ένα τέτοιο πρότυπο θα μπορούσαν να είναι πολύ παραπλανητικοί. Οι περιορισμοί που εφαρμόστηκαν στο SuperNEC αναλύθηκαν από τους Trueman και Kubina. Έτσι, οι τελευταίοι συνόψισαν τις οδηγίες διαμόρφωσης σε τρεις ομάδες. Αυτές οι ομάδες είναι μεμονωμένα τμήματα (individual segments), συνδέσεις τμημάτων (segment junctions) και διαστήματα τμημάτων (segment spacing). Οι περιορισμοί που συνδέονται με κάθε ομάδα συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες. Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στους πίνακες είναι τα εξής:

Δ : Μήκος τμήματος (segment length)

λ : Μήκος κύματος (wavelength)

α : Ακτίνα τμήματος (segment radius).

Μεμονωμένα τμήματα (Individual Segments)	Προειδοποίηση (Warning)	Σφάλμα (Error)
Μήκος τμήματος	$\frac{\lambda}{10} < \Delta < \frac{\lambda}{5}$	$\Delta > \frac{\lambda}{5}$
Ακτίνα	$30 < \frac{\lambda}{\alpha} < 100$	$\frac{\lambda}{\alpha} < 30$
Λόγος μήκους τμήματος προς ακτίνα	$0.5 < \frac{\Delta}{\alpha} < 2$	$\frac{\Delta}{\alpha} < 0.5$

Πίνακας 5.1 Περιορισμοί για τα μεμονωμένα τμήματα

Συνδέσεις τμημάτων (Segment Junctions)	Προειδοποίηση (Warning)	Σφάλμα (Error)
Λόγος μήκους τμήματος		$\frac{\Delta_{\text{big}}}{\Delta_{\text{small}}} > 5$
Λόγος ακτίνας τμήματος	$5 < \frac{\alpha_{\text{big}}}{\alpha_{\text{small}}} < 10$	$\frac{\alpha_{\text{big}}}{\alpha_{\text{small}}} > 10$
Λόγος μήκους τμήματος προς ακτίνα	$2 < \frac{\Delta}{\alpha} < 6$	$\frac{\Delta}{\alpha} < 2$
Σημείο συνένωσης	Το κέντρο του τμήματος να βρίσκεται στο μέσο της ακτίνας καλωδίου της επιφάνειας ενός άλλου καλωδίου.	Το κέντρο του τμήματος βρίσκεται μέσα στον όγκο ενός άλλου καλωδίου.

Πίνακας 5.2 Περιορισμοί για τις συνδέσεις τμημάτων

Διαστήματα καλωδίων (Wire Spacing)	Προειδοποίηση (Warning)	Σφάλμα (Error)
Τεμνόμενα καλώδια		Οι άξονες των καλωδίων τέμνονται.

Επικαλυπτόμενα καλώδια		Οι άξονες των καλωδίων βρίσκονται πιο κοντά από το άθροισμα των ακτινών τους.
Αστοχία λόγω κοντινής απόστασης	Οι άξονες των καλωδίων βρίσκονται πιο κοντά από το 1.5 επί το άθροισμα των ακτινών τους.	
Γεινίαση τμημάτων	Τα άκρα των καλωδίων βρίσκονται πιο κοντά από το 1.5 επί το άθροισμα των ακτινών τους.	Τα άκρα των καλωδίων βρίσκονται πιο κοντά από το άθροισμα των ακτινών τους.

Πίνακας 5.3 Οι περιορισμοί για τα διαστήματα μεταξύ των καλωδίων

Το SuperNEC απαιτεί γενικά τα τμήματα να έχουν μήκος το ένα δέκατο ενός μήκους κύματος. Μπορεί να υπάρξει μια σημαντική απώλεια ακρίβειας εάν τα τμήματα έχουν μήκος της τάξης του 0.2λ.

Τα τμήματα που αποτελούν μια δομή πρέπει να είναι λεπτά επειδή το ρεύμα υποτίθεται ότι ρέει αξονικά στο καλώδιο χωρίς επιφανειακή συνιστώσα. Οι οδηγίες του NEC διευκρινίζουν ότι η ακτίνα καλωδίων πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από 0.159λ.

Γενικά, τα 'λεπτά καλώδια' καθορίζονται συνήθως από το λόγο του μήκους προς την ακτίνα.

$$\Omega = 2\ln\left(\frac{\Delta}{a}\right) \quad (5.1)$$

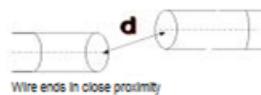
Εάν $\Omega > 10$, έπεται ότι το καλώδιο είναι 'λεπτό' υπό την έννοια ότι το ρεύμα είναι κατά κύριο λόγο αξονικό με αμελητέα περιφερειακή τρέχουσα ροή. Ένα τέτοιο καλώδιο θα είχε ένα λόγο μήκους προς ακτίνα της τάξης του 148. Βέβαια, πολύ σπάνια χρησιμοποιούνται τέτοια 'λεπτά καλώδια' σε ένα NEC πρότυπο.

Ο NEC οδηγός χρήστη συνιστά ο λόγος μήκους τμήματος προς ακτίνα να είναι μεγαλύτερος από 8 όταν χρησιμοποιείται 'καλώδιο λεπτού πυρήνα', αλλά δηλώνει ότι οι πιο 'λογικές τρέχουσες λύσεις' λαμβάνονται όταν ο λόγος μήκους τμήματος προς ακτίνα είναι της τάξης του 2. Κατά χρησιμοποίηση του 'καλωδίου εκτεταμένου λεπτού πυρήνα', ο λόγος μήκους τμήματος προς ακτίνα πρέπει να κρατηθεί πάνω από το 2, εντούτοις, αυτό μπορεί να μειωθεί στο 0.5 χωρίς αρνητικά αποτελέσματα. Γενικά, συνιστάται να χρησιμοποιείται το 'καλώδιο εκτεταμένου λεπτού πυρήνα' για όλα τα πρότυπα πλέγματος καλωδίων. Επίσης, τα τμήματα που αποτελούν ένα πλέγμα

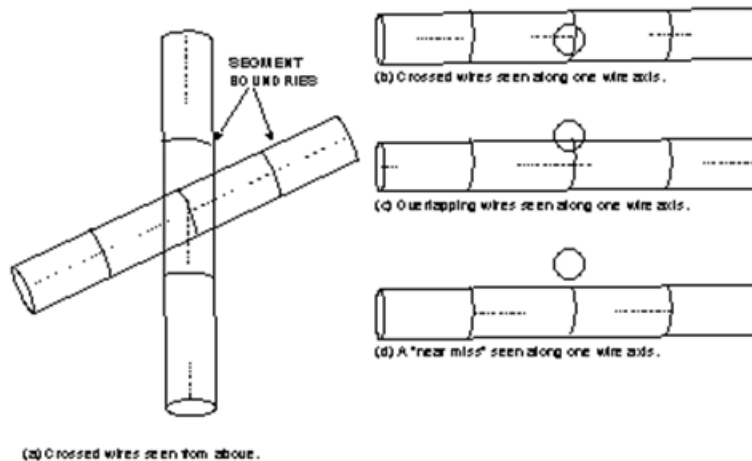
καλωδίων θα μπορούσαν να έχουν μία αναλογία μήκους προς ακτίνα ίση με 2π (για τα τετραγωνικά κελιά πλέγματος).

Είναι δύσκολο να ειπωθεί το πόσο μακριά πρέπει να τοποθετηθούν τα καλώδια ώστε να είναι έγκυρη η υπόθεση του 'λεπτού καλωδίου'. Το εγχειρίδιο του NEC συστήνει ότι τα καλώδια πρέπει να έχουν μερικές ακτίνες απόσταση. Ο Ludwig, προτείνει ότι τα παράλληλα καλώδια πρέπει να είναι τουλάχιστον μερικές διαμέτρους μακριά προκειμένου να είναι έγκυρη η υπόθεση του 'λεπτού καλωδίου'. Τα κάθετα καλώδια που περνούν το ένα από το άλλο σε εξαιρετικά κοντινές αποστάσεις δεν μπορούν να ικανοποιήσουν την υπόθεση του 'λεπτού καλωδίου' ότι το ρεύμα ρέει μόνο αξονικά. Ομοίως, η υπόθεση του 'λεπτού καλωδίου' δεν θα ισχύσει όταν περνά ένα καλώδιο πολύ κοντά σε ένα ανοικτοκυκλωμένο άκρο ενός άλλου καλωδίου.

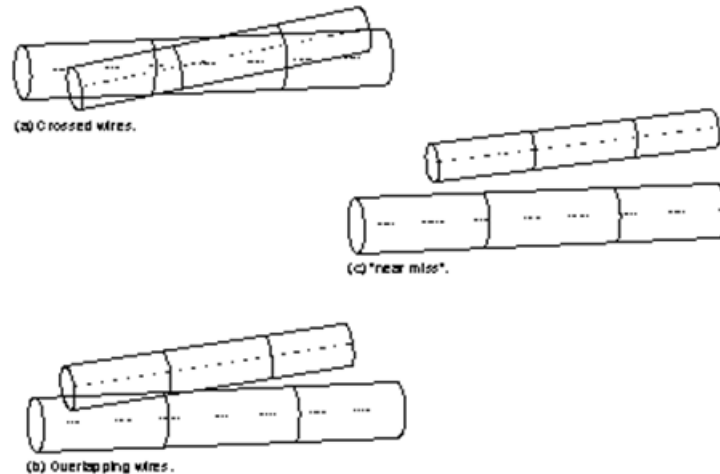
Παρακάτω φαίνονται σχηματικά περιπτώσεις από προειδοποιήσεις και σφάλματα.



Σχήμα 5.14 Γειτονικά καλώδια σε κοντινή απόσταση



Σχήμα 5.15 Τεμνόμενα καλώδια, Επικαλυπτόμενα καλώδια, Αστοχία λόγω κοντινής απόστασης



Σχήμα 5.16 Μια άλλη οπτική τεμνόμενων καλωδίων, επικαλυπτόμενων καλωδίων, αστοχίας λόγω κοντινής απόστασης

5.7.11 Έλεγχος μέσω του SuperNEC

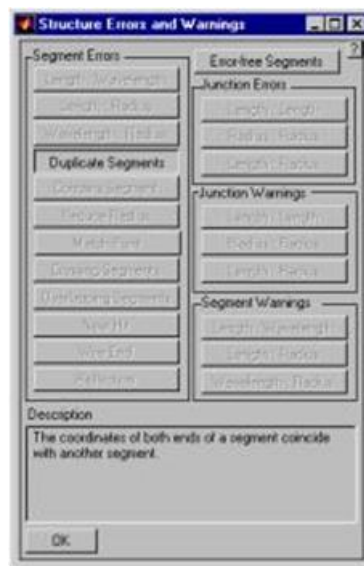
Το SuperNEC έχει τη δυνατότητα να ελέγχει μια δομή MoM σύμφωνα με τις οδηγίες σχετικά με τους περιορισμούς του Trueman. Τα όρια για τις καταστάσεις προειδοποίησης και λάθους για τα μεμονωμένα τμήματα και για τις συνδέσεις μεταξύ των τμημάτων μπορούν να τεθούν από το χρήστη. Τα όρια για τον καθορισμό των αρρυθμιών των δομών όπως η επικάλυψη τμημάτων ή η τομή τους δεν μπορούν να διορθωθούν από το χρήστη. Για να πραγματοποιηθεί αυτό ο έλεγχος της δομής μέσω του SuperNEC ο χρήστη πρέπει να επιλέξει 'Options | Checker Limits'. Το ακόλουθο παράθυρο διάλογο θα εμφανιστεί (Σχήμα 5.17).



Σχήμα 5.17 Το παράθυρο ελέγχου της δομής

Για να ελεγχθεί η προς χρήση δομή ο χρήστης επιλέγει το 'Simulate | Check Structure'. Αν η δομή δεν παρουσιάσει κανένα σφάλμα τότε θα εμφανιστεί το

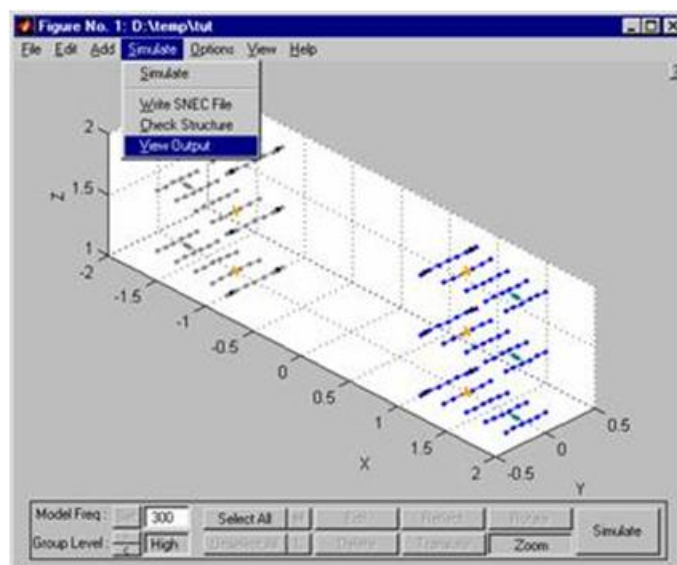
παράθυρο διαλόγου όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.18. Το πλαίσιο διαλόγου με τα σφάλματα και τις προειδοποιήσεις αποτελείται από ένα σύνολο επιλογών που ομαδοποιούνται σύμφωνα με τις κατηγορίες λάθους και προειδοποίησης.



Σχήμα 5.18 Το παράθυρο διαλόγου με τα σφάλματα

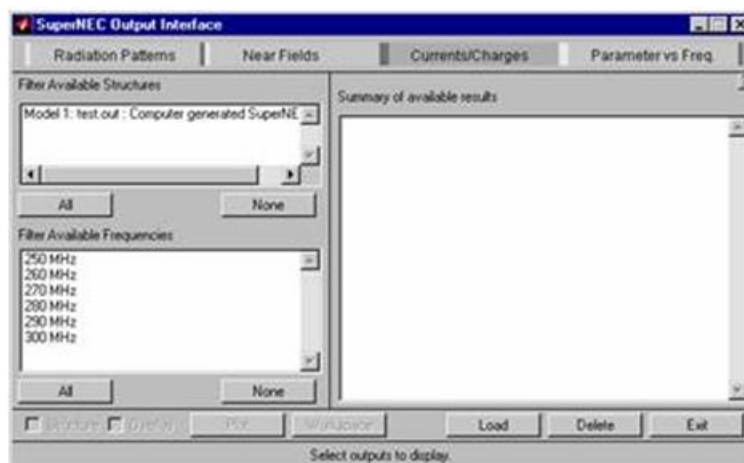
5.7.12 Διεπαφή εξόδου

Αφού ο χρήστης πραγματοποιήσει όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις για την προσομοίωση, η οποία λαμβάνει χώρα σε περιβάλλον DOS, για να δει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης χρησιμοποιεί την επιλογή Simulate | View Output από το μενού.



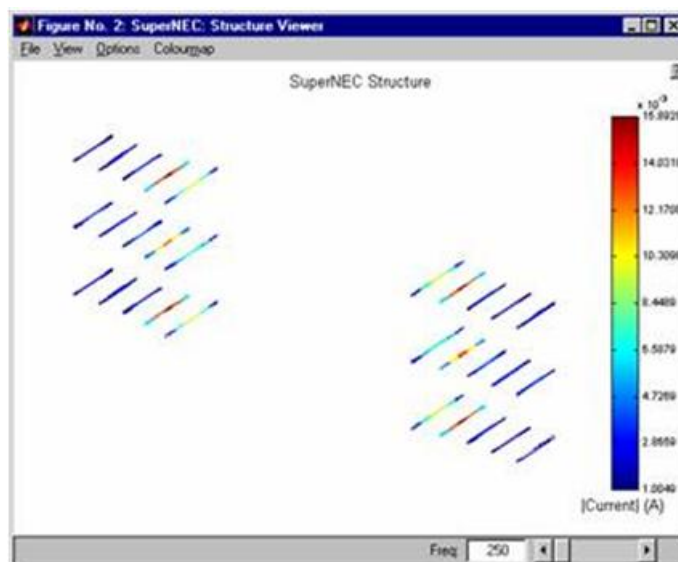
Σχήμα 5.19 Ξεκινώντας την διαδικασία παραγωγής των αποτελεσμάτων

Ανάλογα, λοιπόν, με τις επιλογές του χρήστη εμφανίζεται ένα παράθυρο της μορφής του Σχήματος 5.20.



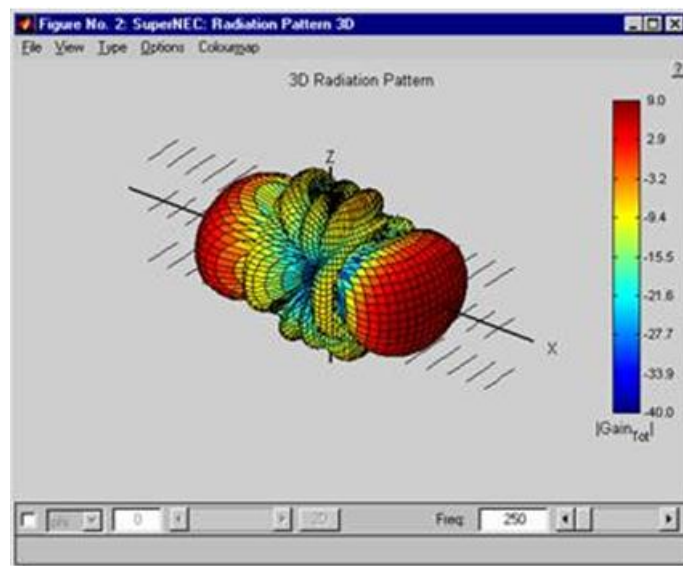
Σχήμα 5.20 Output viewer

Αφού ο χρήστης επιλέξει τα δύο 'All', που εμφανίζονται στο παράθυρο του Σχήματος 5.20, το πλαίσιο που αντιστοιχεί στο 'Summary of available results' θα αλλάξει. Αυτό αντιστοιχεί στην επιλογή όλων των ρευματικών κατανομών προκειμένου να πραγματοποιηθεί το επιθυμητό διάγραμμα. Τέλος, για να πραγματοποιηθεί η ρευματική κατανομή πρέπει να επιλεγεί το 'Plot'. Έτσι, θα εμφανιστεί ένα παράθυρο γραφικού περιβάλλοντος ανάλογο με αυτό του Σχήματος 5.21.



Σχήμα 5.21 Η ρευματική κατανομή για μια τυχαία δομή

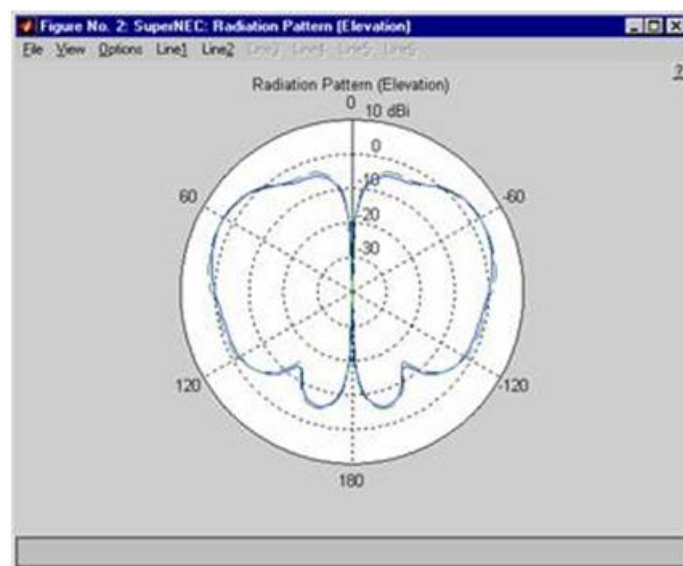
Αν ο χρήστης επιλέξει το πεδίο 'Structure' και κατόπιν το 'Plot', τότε τα διαγράμματα ακτινοβολίας σχεδιάζονται. Ένα παράδειγμα διαγράμματος ακτινοβολίας της ανωτέρω δομής παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.22.



Σχήμα 5.22 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας

Το αρχείο της δομής, τα αρχεία εισόδου και εξόδου του SuperNEC καλούνται όνομα_δομής.str, όνομα_δομής.nec και όνομα_δομής.out αντίστοιχα. Στην περίπτωση της διάταξης της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα αρχεία αυτά είναι τα εξής: snrifawiredbl.str, snrifawiredbl.nec, snrifawiredbl.out.

Επιπλέον, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εμφανίσει διαγράμματα ακτινοβολίας όπως αυτό του Σχήματος 5.23. Αρκεί, λοιπόν, να επιλέξει το πεδίο 'Radiation Pattern' και κατόπιν το 'Plot', αφού προηγουμένως έχει επιλέξει μία συχνότητα που τον ενδιαφέρει.



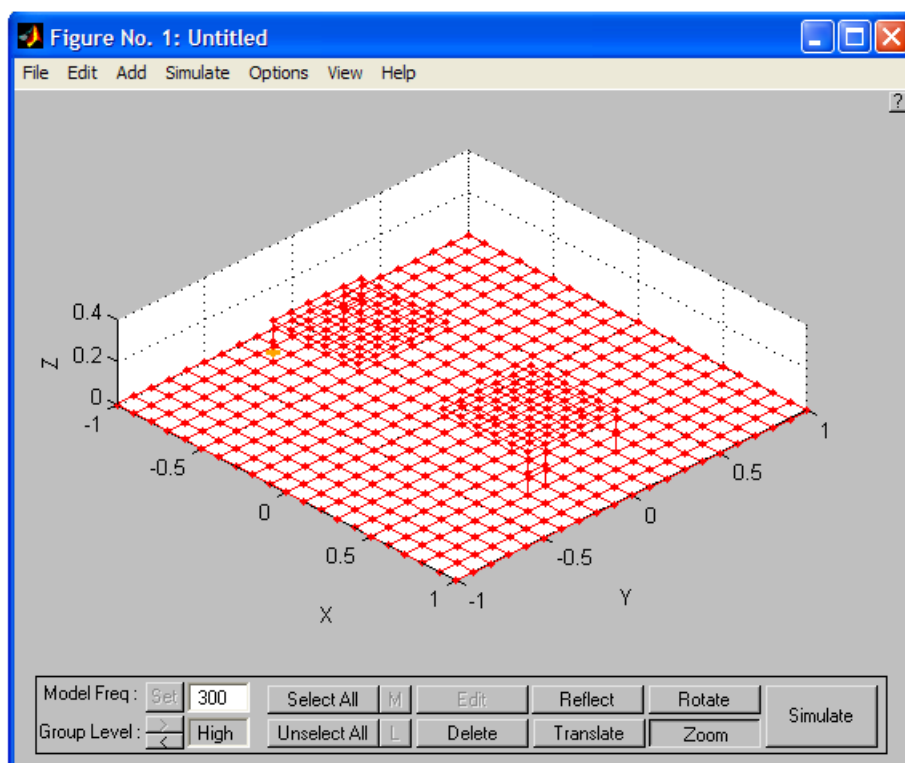
Σχήμα 5.23 Δισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας

Κεφάλαιο 6^ο

Σχεδιασμός κεραίας PIFA με χρήση του SuperNEC

6.1 Περιγραφή της δομής

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός μίας δομής *PIFA* με πρόσθετο παρασιτικό στοιχείο, δηλαδή δύο κεραίες PIFA όπου η μία είναι τροφοδοτούμενη και η άλλη λειτουργεί παρασιτικά, καθώς και η βελτιστοποίηση κάποιων χαρακτηριστικών της προκειμένου να λειτουργεί σύμφωνα με τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η μορφή της κεραίας αυτής φαίνεται στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1 Δομή της διπλής PIFA

Η κεραία αυτή έχει υλοποιηθεί με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab σε συνδυασμό με το πακέτο προσομοίωσης Super Numerical Electromagnetics Code

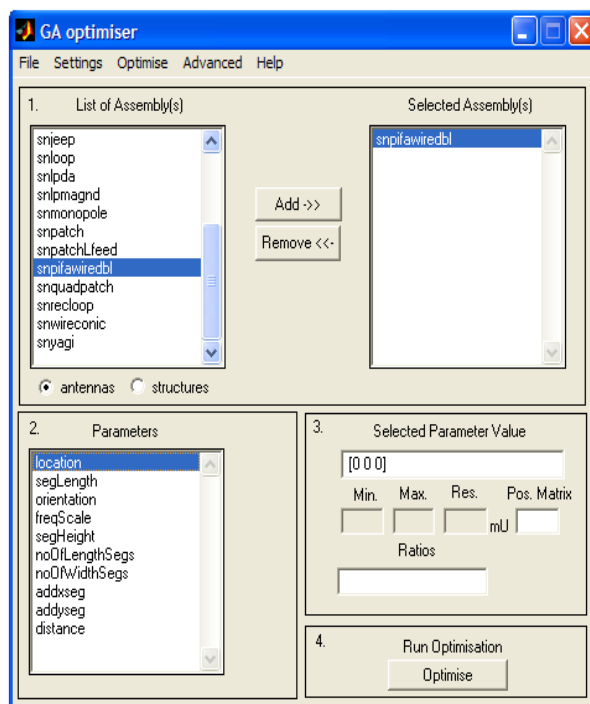
(SuperNEC)· ο αντίστοιχος κώδικας βρίσκεται στο παράρτημα της παρούσας εργασίας. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.1 η διάταξη που έχει υλοποιηθεί είναι μία διπλή PIFA όπου το feed wire της μίας τροφοδοτείται ενώ η δεύτερη PIFA λειτουργεί παρασιτικά. Συγκεκριμένα, στον κώδικα κατασκευάστηκαν αρχικά οι δύο άνω πλάκες των οποίων οι διαστάσεις είναι ανάλογες του μήκους κύματος και τα μήκη των δύο αυτών πλακών είναι ίσα μεταξύ τους όπως και τα πλάτη τους· έτσι, επιτυγχάνεται η συμμετρία στη διάταξη. Κατόπιν, κατασκευάζεται η κάτω πλάκα η οποία έχει για διαστάσεις μήκους/πλάτους το άθροισμα των μηκών/πλατών δύο άνω πλακών συν μία σταθερά. Παράλληλα, η απόσταση μεταξύ των δύο πλακών έχει τεθεί ίση με 2 (αυτό βέβαια μπορεί να μεταβάλλεται κατά την βελτιστοποίηση αν θέλουμε, και έτσι να αλλάζει ως μεταβλητή, πλέον, η απόσταση μεταξύ των δύο PIFA). Ταυτόχρονα με τις άνω πλάκες κατασκευάζονται και τα σύρματα, δηλαδή το feed wire και το shorting strip προσέχοντας πάντα να διατηρείται η συμμετρία στην διάταξη. Επίσης, λαμβάνουν χώρα και κάποιοι έλεγχοι προκειμένου η διάταξή μας κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης να παραμένει της μορφής PIFA (παραδείγματος χάριν τα wires να πέφτουν ακριβώς σε κόμβους του ground plane). Τέλος, οι απλές δομές τύπου PIFA έχουν τοποθετηθεί έτσι ώστε να μπορεί να αλλάξει η τροφοδοσία προκειμένου να τροφοδοτούμε όποια κεραία θέλουμε αλλάζοντας έτσι την κατευθυντικότητα της τελικής διάταξης.

Η βελτιστοποίηση της δομής θα γίνει αλλάζοντας τις διαστάσεις της κεραίας. Συγκεκριμένα θα μεταβληθούν οι διαστάσεις της άνω πλάκας (top plate), του κάτω επιπέδου (ground plate), του τροφοδοτούμενου σύρματος (feed wire) και μιας ορθογώνιας κατασκευής (shorting strip) χρησιμοποιώντας Γενετικούς Αλγορίθμους (GA). Το πακέτο προσομοίωσης SuperNEC είναι αυτό που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μίας βελτιστοποιημένης κεραίας, δεδομένης της απαίτησης για λειτουργία σε μεγάλο εύρος ζώνης. Οι παράμετροι που καλούνται να βελτιστοποιηθούν εξαρτώνται από το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στην συχνότητα που εξετάζεται κάθε φορά διατηρώντας έτσι το ηλεκτρικό μέγεθος της δομής σταθερό. Επιπλέον, οι διαστάσεις της κεραίας δίνονται σε αριθμό segments. Κάθε segment έχει μήκος $seglen=0.025\lambda$, για λόγους σύγκλισης του αλγορίθμου. Η ακτίνα κάθε segment είναι ίση με 0.004λ .

6.2 Διαδικασία εφαρμογής

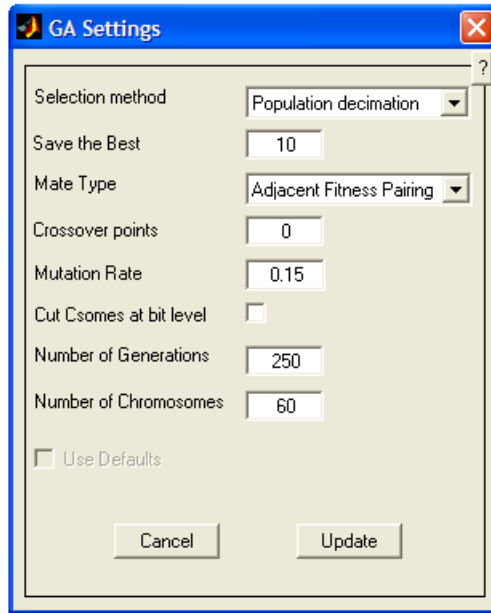
Στο παράθυρο του GA optimizer επιλέγουμε την κεραία που επιθυμούμε να βελτιστοποιήσουμε. Η κεραία έχει ονομαστεί “snrifawiredbl” και επιλέγοντάς τη

(Σχήμα 6.2) μπορούμε να ορίσουμε τα χαρακτηριστικά που θα βελτιστοποιηθούν και τη διακύμανση των τιμών τους.



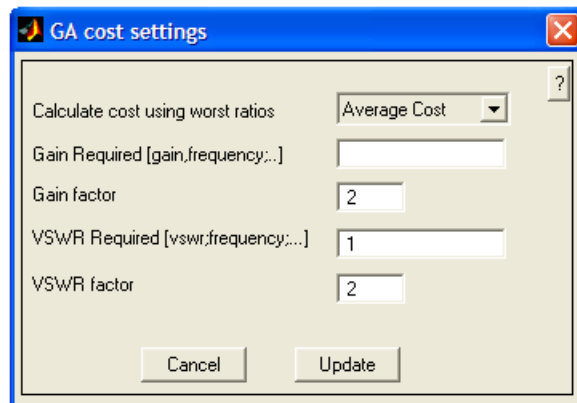
Σχήμα 6.2 Επιλογή της δομής από τον GA optimiser

Ο συνολικός πληθυσμός αποτελείται από 250 γενιές και 60 χρωμοσώματα ανά γενιά όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.3. Η μέθοδος επιλογής είναι η “Population decimation” (μέθοδος με αποδεκάτιση πληθυσμού) και ως τύπος ζευγαρώματος επιλέχθηκε το “Adjacent Fitness Pairing”. Το σημείο διασταύρωσης επιλέγεται τυχαία και κάθε χρωμόσωμα χωρίζεται στο επίπεδο του γονιδίου.



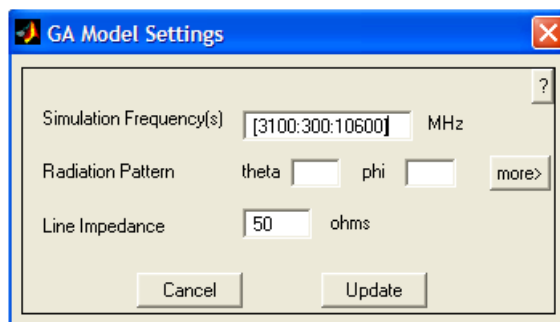
Σχήμα 6.3 Ρυθμίσεις για την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων

Το επιθυμητό VSWR ορίζεται ίσο με 1 (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4 Ρυθμίσεις των cost settings

Επιπλέον, οι συχνότητες προσομοίωσης έχουν επιλεγεί να κυμαίνονται μεταξύ των 3.1 και 10.6 GHz με βήμα 300MHz (Σχήμα 6.5). Από αυτό το εύρος συχνοτήτων θα προσπαθήσουμε να βρούμε ένα διάστημα των 500MHz και άνω, όπου το VSWR που θα έχει προκύψει να έχει τιμή κάτω από 2. Τότε η δομή μας θα είναι αποδεκτή αφού θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για UWB εφαρμογές.



Σχήμα 6.5 Ρύθμιση της συχνότητας προσομοίωσης

6.3 Αριθμητικά αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας (Πίνακας 6.1) με τα αποτελέσματα από την βελτιστοποίηση της κεραίας μετά την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για τις διάφορες διακυμάνσεις κάποιων παραμέτρων της.

Πίνακας 6.1
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΜΕ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ

Παράμετρος	Εύρος διακύμανσης	Αποτέλεσμα
Μήκος της top plate	3seglen-8seglen	3seglen
Πλάτος της top plate	3seglen-8seglen	8seglen
Προσθήκη αριθμού segments στο μήκος της κάτω πλάκας	3seglen-8seglen	4seglen
Προσθήκη αριθμού segments στο πλάτος της κάτω πλάκας	3seglen-8seglen	2seglen

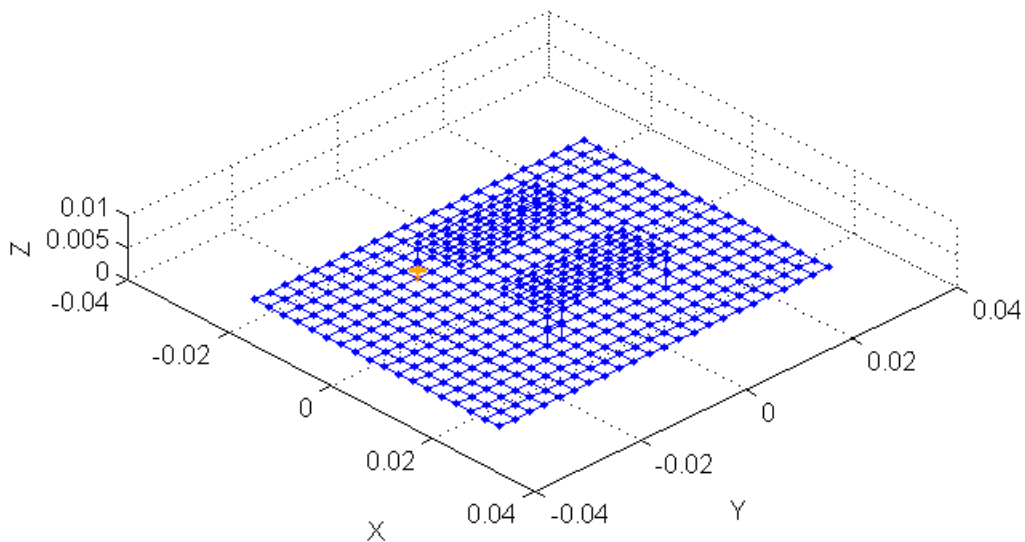
Η αντικειμενική συνάρτηση of (objective function), η οποία χρησιμοποιείται στους γενετικούς αλγορίθμους προκειμένου να υπολογιστεί το κέρδος και το VSWR, εκφράζεται ως εξής

$$of = \left(\frac{VSWR_{DES}}{VSWR} \right)^2 \quad (6.1)$$

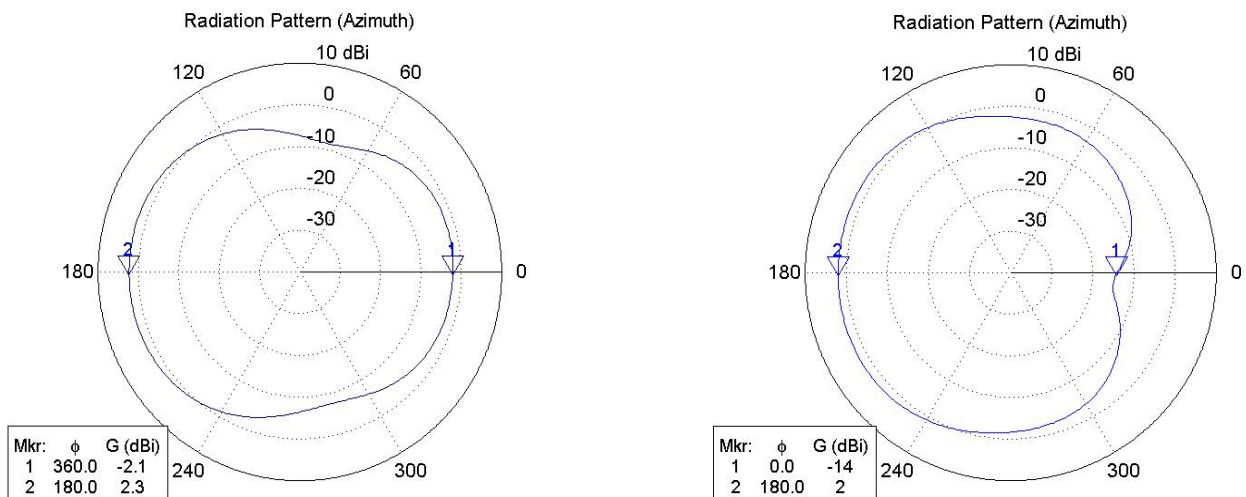
όπου το $VSWR_{DES}$ εκφράζει την επιθυμητή τιμή του λόγου τάσεως στάσιμου κύματος και το VSWR εκφράζει την τιμή που τελικά υπολογίστηκε. Όπως αναφέρθηκε και

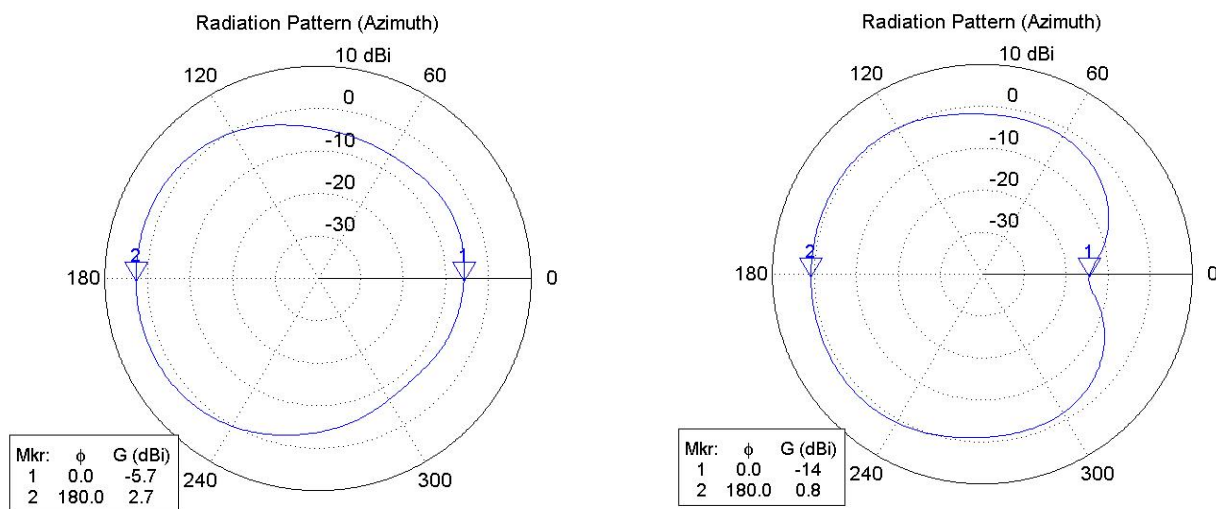
προηγουμένως η επιθυμητή τιμή του VSWR είναι ίση με 1. Για τον υπολογισμό του VSWR λαμβάνεται υπόψη τιμή χαρακτηριστικής αντίστασης 50 Ω.

Αφού εφαρμόσουμε, λοιπόν, τα αποτελέσματα στην κεραία παίρνουμε τελικά την παρακάτω δομή (Σχήμα 6.6) και το αντίστοιχο διάγραμμα ακτινοβολίας για τη συχνότητα των 3400MHz (Σχήμα 6.7 (α)) όπου καταγράφηκε το χαμηλότερο VSWR. Γενικά, απαιτείται τέλειος συντονισμός σε μια συχνότητα ώστε να προκύψει επαρκές εύρος ζώνης εκατέρωθεν αυτής.



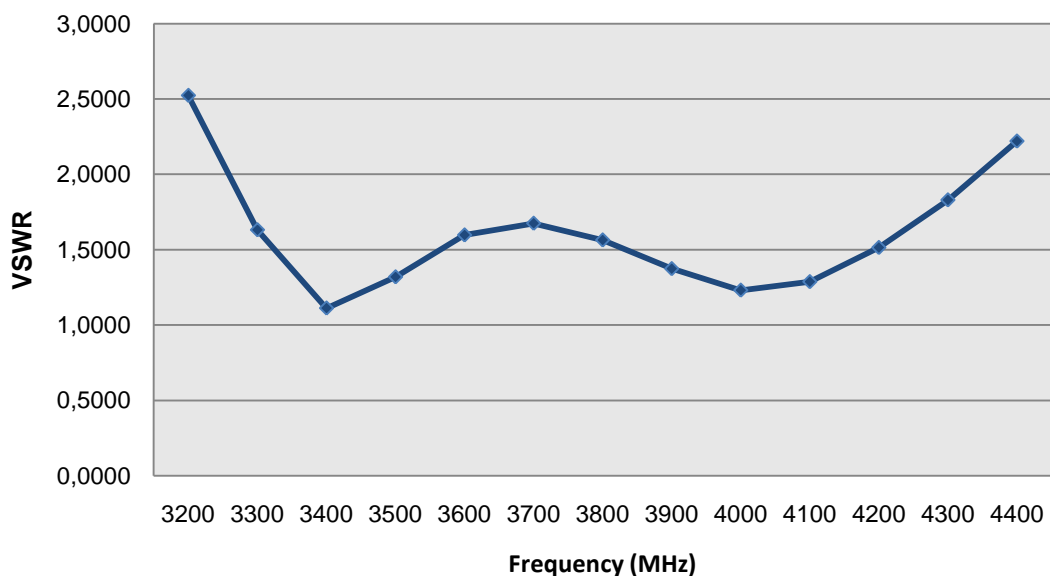
Σχήμα 6.6 Τελική βελτιστοποιημένη κεραία





Σχήμα 6.7 Οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας της διπλής PIFA (α) στα 3400MHz πάνω αριστερά, (β) στα 3800MHz πάνω δεξιά, (γ) στα 3600MHz κάτω αριστερά και (δ) στα 4000MHz κάτω δεξιά

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.8 η κεραία που κατασκευάστηκε παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμογή σύνθετης αντίστασης σε ένα εύρος συχνοτήτων ξεκινώντας από τη συχνότητα των 3300MHz έως τα 4300MHz. Αυτό το φάσμα είναι της τάξης του 1GHz και έτσι η κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις UWB εφαρμογές. Η καλύτερη προσαρμογή σύνθετης αντίστασης εντοπίζεται στα 3.4GHz όπου το VSWR είναι ίσο με 1.1116. Το front-to-back ratio είναι ίσο με -4.5dB (Σχήμα 6.7 (α)). Το μέγιστο κέρδος παρατηρείται στα 3.6 GHz και είναι ίσο με 2.7dB. Αν αλλάζαμε την τροφοδοσία και τροφοδοτούσαμε την PIFA που τώρα είναι παρασιτική τότε το front-to-back ratio θα ήταν περίπου ίσο με 4.5dB για την προαναφερθείσα περίπτωση, αφού η διάταξη που έχει κατασκευαστεί είναι συμμετρική· αυτό γίνεται εύκολα αλλάζοντας την τροφοδοσία στον κώδικα που κατασκευάστηκε. Το ίδιο ισχύει και για το δεύτερο διάγραμμα ακτινοβολίας το οποίο αντιστοιχεί στη συχνότητα των 3.8GHz και εδώ το front-to-back ratio είναι ίσο με -16dB, ενώ το VSWR είναι ίσο με 1.5637. Και εδώ αν είχαμε αλλάξει την τροφοδοσία το front-to-back ratio θα ήταν ίσο με 16dB. Όμοια και για τις συχνότητες των 3.6GHz και 4GHz όπου το front-to-back ratio είναι ίσο με -8.4dB και -14.8dB, αντίστοιχα.



Σχήμα 6.8 Το VSWR στην περιοχή από 3300-4300 MHz

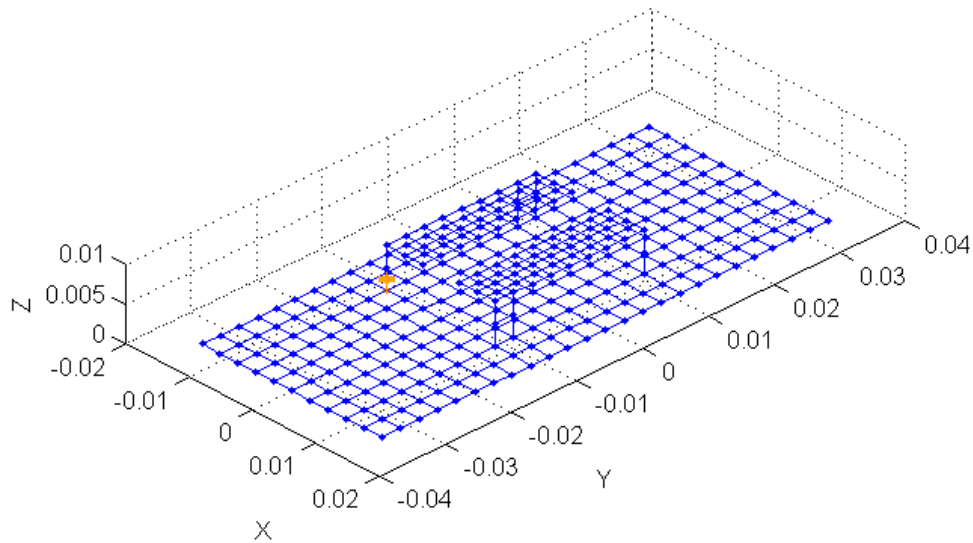
Επιπλέον, οι φυσικές διαστάσεις της κεραίας, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, απεικονίζουν αρκετά συμπαγείς κεραίες και έτσι ικανοποιείται η αρχική μας απαίτηση για περιορισμένου μεγέθους κεραίες ($\lambda=8.82\text{cm}$ για τη συχνότητα των 3.4GHz).

Κατόπιν, εφαρμόσαμε την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και ανωτέρω, αλλάζοντας αυτή τη φορά διαφορετικά τα όρια κάποιων μεταβλητών, προκειμένου να βρούμε μια άλλη δομή με επιθυμητά αποτελέσματα. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας (Πίνακας 6.2) με τα αποτελέσματα από την βελτιστοποίηση της κεραίας μετά την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για τις διάφορες διακυμάνσεις κάποιων παραμέτρων της καθώς και η τελική διάταξη (Σχήμα 6.9).

Πίνακας 6.2
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΜΕ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ

Παράμετρος	Εύρος διακύμανσης	Αποτέλεσμα
Μήκος της top plate	2seglen-9seglen	2seglen
Πλάτος της top plate	2seglen-9seglen	8seglen
Προσθήκη αριθμού segments στο μήκος της κάτω πλάκας	2seglen-6seglen	2seglen

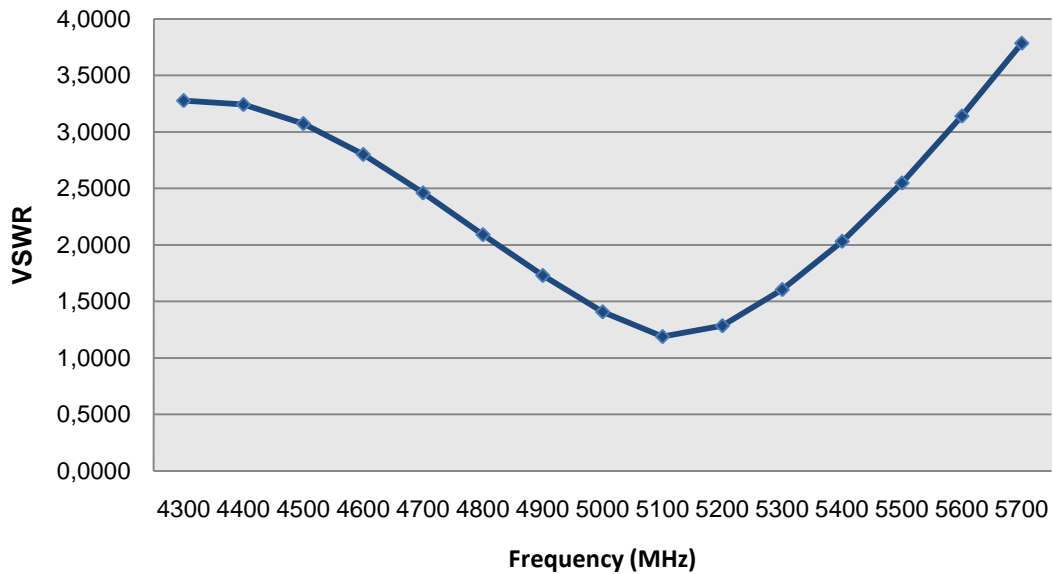
Προσθήκη αριθμού segments στο πλάτος της κάτω πλάκας	2seglen-6seglen	3seglen
--	-----------------	---------



Σχήμα 6.9 Βελτιστοποιημένη δομή διπλής PIFA

Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα από τις δύο εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων στην αρχική διάταξη που κατασκευάστηκε, παρατηρούμε ότι το μήκος των άνω πλακών, που προκύπτει τελικά, αποτελείται από λιγότερα segments σε σχέση με το πλάτος τους. Επίσης, ο αριθμός των segments που προστίθεται στο ground plane είναι πιο κοντά στο αριστερό άκρο του πεδίου τιμών, που έχει οριστεί να κυμαίνονται τα segments αυτά κατά τη διάρκεια της εφαρμογής των γενετικών αλγορίθμων, και έτσι μπορούμε να πούμε ότι διατηρεί σχετικά χαμηλές τιμές.

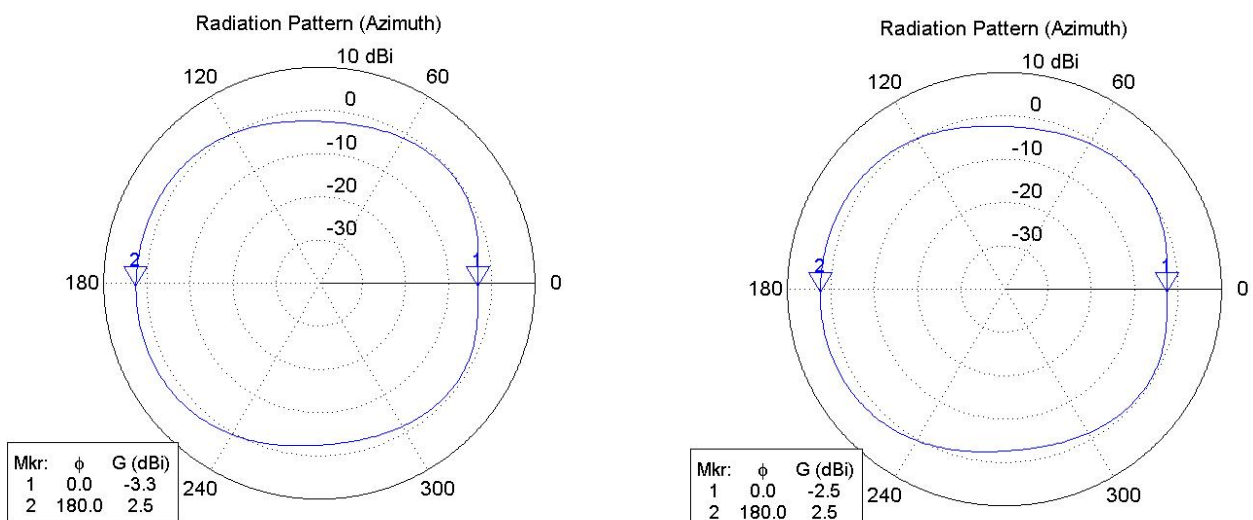
Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 6.10 η τελική δομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ultra wideband εφαρμογές καθότι για ένα εύρος της τάξης των 500MHz το VSWR είναι κάτω από 2. Συγκεκριμένα, αυτό ισχύει για το διάστημα από τα 4900MHz έως τα 5400MHz.

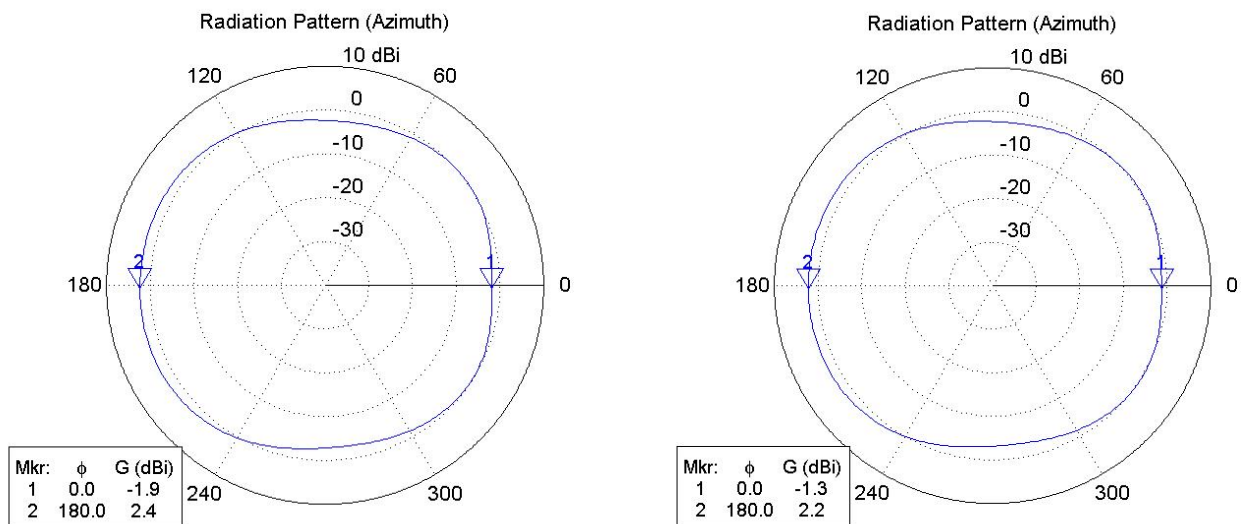


Σχήμα 6.10 Μεταβολή του VSWR στη συχνοτική μπάντα των 5.1GHz

Συγκρίνοντας το Σχήμα 6.10 με το Σχήμα 6.8 παρατηρούμε ότι η περιοχή λειτουργίας έχει αλλάξει. Στην δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 6.9) οι συχνότητες λειτουργίας είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές της πρώτης περίπτωσης (Σχήμα 6.6) που ήταν κάτω από τα 4.3GHz. Έτσι, αλλάζοντας το πεδίο τιμών που κυμαίνονται οι εκάστοτε μεταβλητές μπορούμε να αλλάξουμε τη συχνοτική μπάντα λειτουργία της δομής. Επομένως, αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε την διάταξη για διαφορετικές εφαρμογές κάθε φορά αρκεί να εφαρμόσουμε τους γενετικούς αλγορίθμους στην αρχική μας δομή αλλάζοντας όμως διαφορετικές μεταβλητές κάθε φορά.

Στο Σχήμα 6.11 απεικονίζονται τα διαγράμματα μακρινού πεδίου της διπλής PIFA στα 5000MHz, 5100MHz, 5200MHz και 5300MHz, όπως προέκυψαν από τη δεύτερη εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων.





Σχήμα 6.11 Οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας της διπλής PIFA (α) στα 3400MHz πάνω αριστερά, (β) στα 3800MHz πάνω δεξιά, (γ) στα 3600MHz κάτω αριστερά και (δ) στα 4000MHz κάτω δεξιά

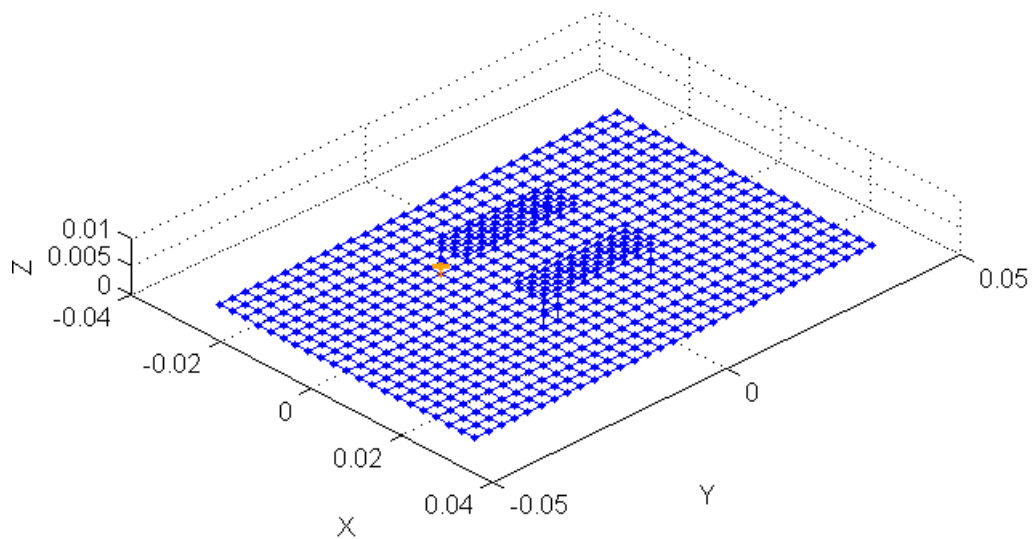
Συγκρίνοντας τώρα τα διαγράμματα ακτινοβολίας του Σχήματος 6.11 με εκείνα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.7 γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στην περίπτωση των διαγραμμάτων του Σχήματος 6.7 το front to back ratio ήταν μεγαλύτερο (σε απόλυτη τιμή) γεγονός που καθιστά που κατευθυντική την κεραία. Βέβαια, όταν αναφερόμαστε σε ultra wideband εφαρμογές δεν μας απασχολεί η κατευθυντικότητα και κατά συνέπεια ούτε το front to back ratio. Έτσι, και οι δύο δομές που προέκυψαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για UWB εφαρμογές.

Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία της βελτιστοποίησης αλλά αυτή τη φορά θα μεταβάλλεται και το ύψος της διάταξης. Επίσης θέτουμε την απόσταση μεταξύ των δύο άνω πλακών ίση με 3 segments (τις δύο προηγούμενες φορές ήταν ίση με 2 segments). Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας (Πίνακας 6.3) με τα αποτελέσματα από την βελτιστοποίηση της κεραίας μετά την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για τις διάφορες διακυμάνσεις κάποιων παραμέτρων της καθώς και η τελική διάταξη (Σχήμα 6.12).

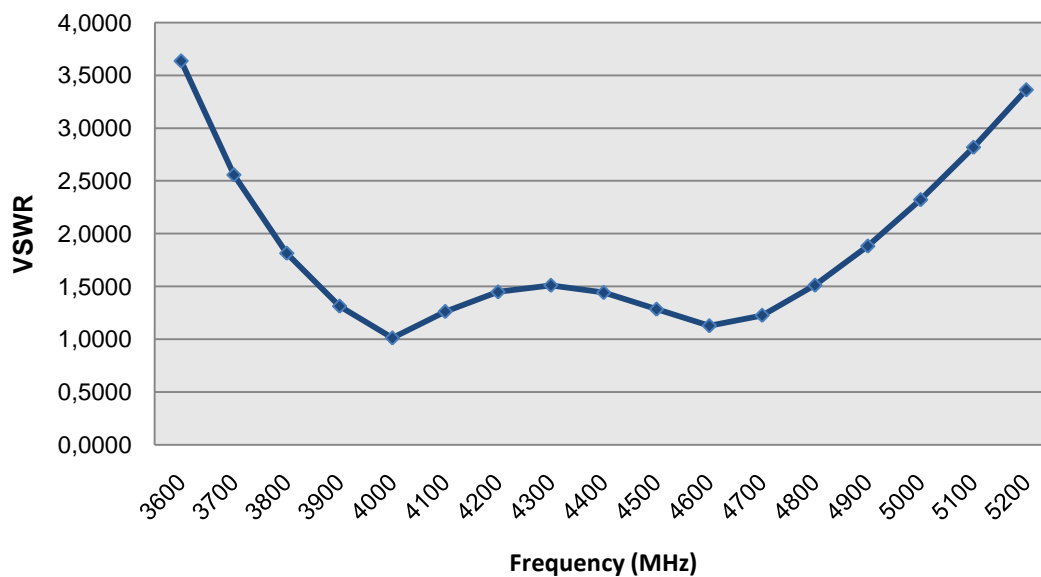
Πίνακας 6.3
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ

Παράμετρος	Εύρος διακύμανσης	Αποτέλεσμα
Ύψος	2seglen-4seglen	2seglen
Μήκος της top plate	2seglen-9seglen	2seglen

Πλάτος της top plate	2seglen-9seglen	8seglen
Προσθήκη αριθμού segments στο μήκος της κάτω πλάκας	2seglen-6seglen	6seglen
Προσθήκη αριθμού segments στο πλάτος της κάτω πλάκας	2seglen-6seglen	5seglen



Σχήμα 6.12 Βελτιστοποιημένη δομή διπλής PIFA

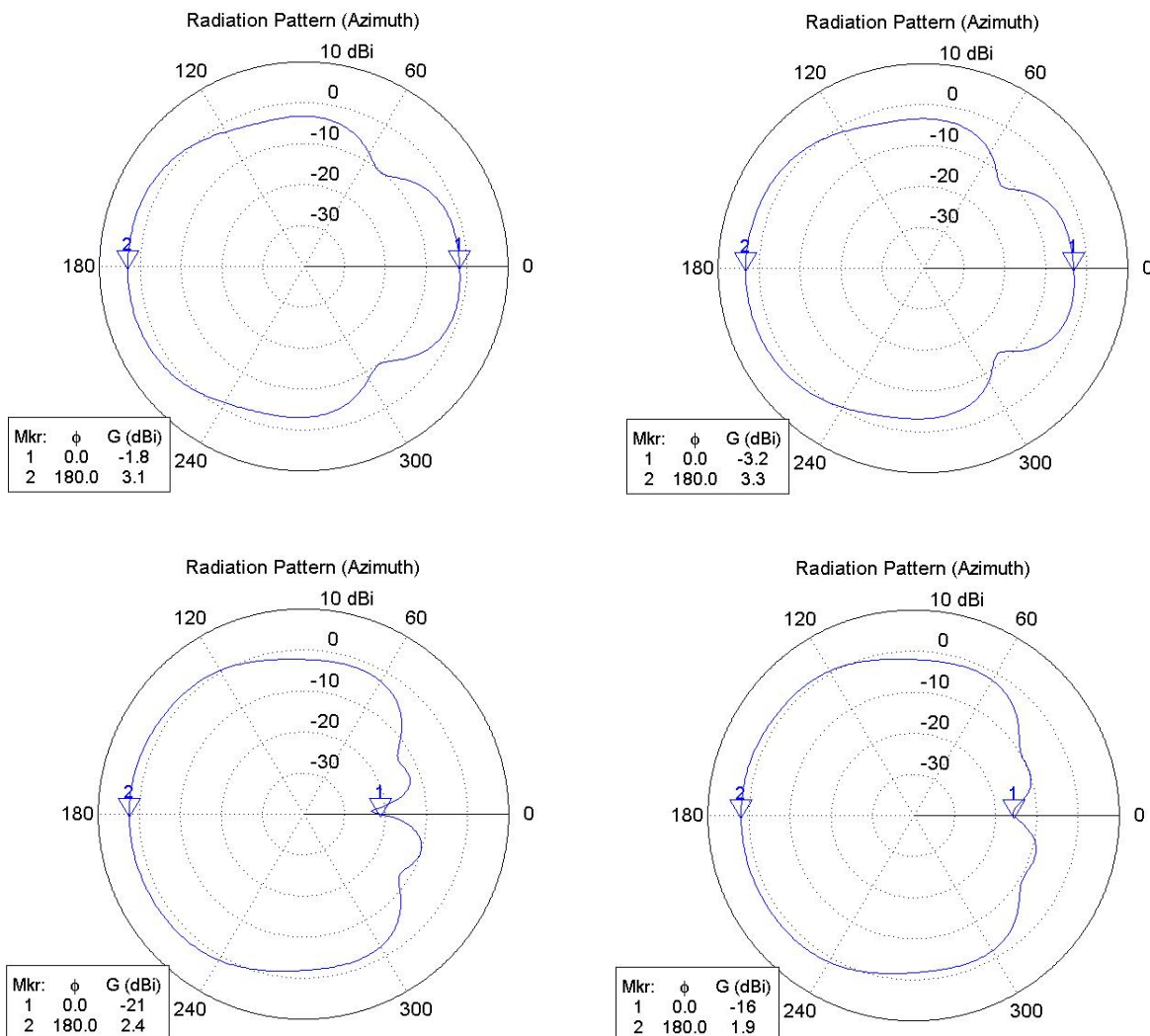


Σχήμα 6.13 Μεταβολή του VSWR στο εύρος ζώνης από τα 3.8GHz έως τα 4.9GHz

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 6.13 η τελική δομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ultra wideband εφαρμογές καθότι για ένα εύρος της τάξης των 1.2GHz το VSWR

είναι κάτω από 2. Συγκεκριμένα, αυτό ισχύει για το διάστημα από τα 3800MHz έως τα 4900MHz. Γενικά παρατηρούμε ότι σε αυτή την βελτιστοποίηση της αρχικής μας διάταξης πετύχαμε μεγαλύτερο λειτουργικό εύρος. Αυτό οφείλεται στο ότι μεταβάλλαμε μία παράμετρο επιπλέον. Η παράμετρος αυτή είναι το ύψος της διάταξης το οποίο ήταν σταθερό τις δύο προηγούμενες φορές. Επίσης, αλλάξαμε και την απόσταση μεταξύ των δύο πλακών και από 2 segments την ανεβάσαμε στα 3 segments.

Από τα διαγράμματα ακτινοβολίας του Σχήματος 6.14 φαίνεται ότι έχουμε μέγιστο κέρδος στην συχνότητα των 4100MHz το οποίο είναι ίσο με 3.3dB ενώ το μεγαλύτερο front-to-back ratio παρατηρείται στο διάγραμμα ακτινοβολίας που αναφέρεται στη συχνότητα των 4500MHz και είναι ίσο με -23.4dB.



Σχήμα 6.14 Οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας της διπλής PIFA (α) στα 4000MHz πάνω αριστερά, (β) στα 4100MHz πάνω δεξιά, (γ) στα 4500MHz κάτω αριστερά και (δ) στα 4600MHz κάτω δεξιά

6.4 Συμπεράσματα

Ο σχεδιασμός κατευθυντικών κεραιών, με μεγάλο εύρος ζώνης, ηλεκτρικά προσανατολισμένων ώστε να καλύπτουν συγκεκριμένες περιοχές χωρίς να παρεμβάλουν σε ήδη υπάρχουσες ασύρματες εφαρμογές έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία χρόνια. Η διπλή RIFA που σχεδιάστηκε και παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία καλύπτει τις απαιτήσεις που αναφέρονται ανωτέρω. Η προσθήκη ενός παρασιτικού στοιχείου, δηλαδή μίας ακόμα μη τροφοδοτούμενης RIFA δομής, συντέλεσε στη βελτίωση του λειτουργικού εύρους ζώνης. Έτσι, πετύχαμε μεγάλο εύρος ζώνης, προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης εισόδου και ικανοποιητικό κέρδος και front-to-back ratio, οπότε η κεραία που κατασκευάστηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πομπός και δέκτης για τις UWB εφαρμογές. Επιπλέον, επειδή οι διαστάσεις της κεραίας είναι συμπτυγμένες μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για σταθερές όσο και για κινητές μεταδόσεις αφού δεν υπάρχει κανένας περιορισμός ως προς το μέγεθος της ή το βάρος.

Παράρτημα

Κώδικας για διπλή PIFA

```
function asmb = snpifawiredbl (modelFreq, obj, editParms)

%-----
% THE FIRST PART OF THIS FILE IS COMPUTER GENERATED - DO NOT EDIT IT !!!
% PAGE DOWN TO THE USER DEFINED SECTION WHICH STARTS WITH THE SEGMENT
% ROUTINE.
%-----
% USAGE:
% asmb = snpifawiredbl (modelFreq, obj, editParms)
% DESCRIPTION:
% Pifa wire double
% INPUTS:
% modelFreq: The frequency at which the SNEC structure is designed
% obj.location: The location of the assembly
% obj.segLength: The segment length in wavelengths
% obj.orientation: The orientation of the assembly
% obj.freqScale: The factor by which the model freq. is scaled
% obj.segHeight: Height above ground in segments
% obj.noOfLengthSegs: No of lengthSegs at x
% obj.noOfWidthSegs: No of widthSegs at y
% obj.addxseg: x more segments for the ground plate
% obj.addyseg: y more segments for the ground plate
% obj.distance: Distance between the two plates
%
% OUTPUTS:
% struct assembly
% {
%   name // the name of the assembly
%   properties // array of structs
%   segments // cell array of startPt, endPt, radius
%   plates // cell array of plate data
%   cylinders // cell array of cylinder data
%   assemblies // cell array of structs like this
% }

if (nargin < 1)
    ErrorDlg ('You must specify the model freq when calling snpifawiredbl','snpifawiredbl Usage Error');
    asmb = [];
    return;
end

switch nargin
case 1
    obj.location = [0.000, 0.000, 0.000];
    obj.segLength = 0.100;
    obj.orientation = [0.000, 0.000, 0.000];
    obj.freqScale = 1.000;
    obj.segHeight = 2;
```

```

obj.noOfLengthSegs = 5;
obj.noOfWidthSegs = 5;
obj.addxseg = 3;
obj.addyseg = 3;
obj.distance = 2;
editParms = 1;
case 2
    editParms = 1;
case 3
    % do nothing
otherwise
    asmb = [];
    ErrorDlg ('Invalid number of inputs to snpifawiredbl', 'snpifawiredbl Usage Error');
    return;
end

commonStruct = struct(...
    'prompt', {'Location'; 'Segment Length'; 'Orientation'; 'Freq. Scaling'}, ...
    'value', {obj.location; obj.segLength; obj.orientation; obj.freqScale}, ...
    'type', {'real'; 'real'; 'real'; 'real'}, ...
    'length', {3; 1; 3; 1}, ...
    'range', {[[]; [0.001 0.5]; [0 360]; [1E-5 inf]]});

dlgStruct = struct(...
    'prompt', {...
        'Height above ground in segments', ...
        'No of lengthSegs at x', ...
        'No of widthSegs at y', ...
        'x more segments for the ground plate', ...
        'y more segments for the ground plate', ...
        'Distance between the two plates'}, ...
    'value', {obj.segHeight, obj.noOfLengthSegs, obj.noOfWidthSegs, obj.addxseg, obj.addyseg,
obj.distance}, ...
    'noOfCols', {1, 1, 1, 1, 1, 1}, ...
    'noOfRows', {1, 1, 1, 1, 1, 1}, ...
    'range', {[ -inf inf ], [ -inf inf ], [ -inf inf ], [ -inf inf ], [ -inf inf ], [ -inf inf ]}, ...
    'type', {'integer', 'integer', 'integer', 'integer', 'integer', 'integer'}, ...
    'help', {...
        'Height above ground in segments', ...
        'No of lengthSegs at x', ...
        'No of widthSegs at y', ...
        'x more segments for the ground plate', ...
        'y more segments for the ground plate', ...
        'Distance between the two plates'});

obj.type = 'snpifawiredbl';
obj.commonStruc = commonStruct;
obj.dlgStruc = dlgStruct;

if (editParms)
    [obj,okay] = snasmbdlg (obj);
else
    okay = 1;
end
if (okay)

```

```

location = obj.commonStruc(1).value;
segLength = obj.commonStruc(2).value;
orientation = obj.commonStruc(3).value;
freqScale = obj.commonStruc(4).value;
segHeight = obj.dlgStruc(1).value;
noOfLengthSegs = obj.dlgStruc(2).value;
noOfWidthSegs = obj.dlgStruc(3).value;
addxseg = obj.dlgStruc(4).value;
addyseg = obj.dlgStruc(5).value;
distance = obj.dlgStruc(6).value;

asmb = Segment (modelFreq, location, segLength, orientation, freqScale, segHeight,
noOfLengthSegs, noOfWidthSegs, addxseg, addyseg, distance);

asmb.name = 'snpifawiredbl';
asmb.properties = struct ('name',{ 'location', 'segLength', 'orientation', 'freqScale', 'segHeight',
'noOfLengthSegs', 'noOfWidthSegs', 'addxseg', 'addyseg', 'distance'}, ...
'value',{ location, segLength, orientation, freqScale, segHeight, noOfLengthSegs, noOfWidthSegs,
addxseg, addyseg, distance});
else
asmb = [];
end

%-----
% WRITE YOUR SEGMENT ROUTINE AFTER THE LINE: freqMHz = modelFreq.*freqScale;
%-----
function asmb = Segment (modelFreq, ...
location, ...
segLength, ...
orientation, ...
freqScale, ...
segHeight, ...
noOfLengthSegs, ...
noOfWidthSegs, ...
addxseg, ...
addyseg, ...
distance)
freqMHz = modelFreq.*freqScale;
waveLength = 300./freqMHz;

if (mod(distance,2)~=0)

if (mod(noOfLengthSegs,2)~=0)&(mod(noOfWidthSegs,2)~=0)

% first plate

plate.location = [(-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-(distance*segLength*waveLength/2))
0 segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;

```

```
asmb.assemblies{1} = snplate(modelFreq, plate, 0);
```

```
plate.location=[0 0 0];  
plate.orientation=orientation;  
plate.freqScale = freqScale;  
plate.segLength = segLength;  
plate.len = (noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance)*segLength*waveLength;  
plate.width = (noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance)*segLength*waveLength;  
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance;  
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance;  
asmb.assemblies{2} = snplate(modelFreq, plate, 0);
```

```
segRad = segLength*waveLength/(2*pi);
```

```
len= noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
```

```
width= noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
```

```
height= segHeight*segLength*waveLength;
```

```
wire.radius=segRad;  
wire.noOfSegs = segHeight;  
wire.location = location;  
wire.orientation = orientation;  
wire.freqScale = freqScale;  
wire.segLength = segLength;
```

```
wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-  
(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];  
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-  
(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, height];  
asmb.assemblies{3} = snwire (modelFreq, wire, 0);
```

```
source.type = 'AFVS';  
source.voltage = 1;  
asmb.assemblies{3}.segments{1}.excitation{1}=source;
```

```
wire.radius=segRad;  
wire.noOfSegs =segHeight;  
wire.location = location;  
wire.orientation = orientation;  
wire.freqScale = freqScale;  
wire.segLength = segLength;
```

```
wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-  
(distance*segLength*waveLength/2), width/2, 0];  
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-  
(distance*segLength*waveLength/2), width/2, height];
```

```

asmb.assemblies{4} = snwire (modelFreq, wire, 0);

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{5} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=5;
w=0;
if segHeight>=2
    for i=1:1:segHeight-1
        wire.radius=segRad;
        wire.noOfSegs = 1;
        wire.location = location;
        wire.orientation = orientation;
        wire.freqScale = freqScale;
        wire.segLength = segLength;

        wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
        wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2), i*height/segHeight];
        asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
        w=n+i;
    end
end

% second plate
plate.location = [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+(distance*segLength*waveLength/2) 0
segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation = orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{w+1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

```

```
width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
```

```
height = segHeight*segLength*waveLength;
```

```
wire.radius = segRad;  
wire.noOfSegs = segHeight;  
wire.location = location;  
wire.orientation = orientation;  
wire.freqScale = freqScale;  
wire.segLength = segLength;
```

```
wire.coord1 =  
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];  
wire.coord2 =  
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -width/2,  
height];  
asmb.assemblies{w+2} = snwire (modelFreq, wire, 0);
```

```
wire.radius = segRad;  
wire.noOfSegs = segHeight;  
wire.location = location;  
wire.orientation = orientation;  
wire.freqScale = freqScale;  
wire.segLength = segLength;
```

```
wire.coord1 =  
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), width/2, 0];  
wire.coord2 =  
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), width/2,  
height];  
asmb.assemblies{w+3} = snwire (modelFreq, wire, 0);
```

```
wire.radius=segRad;  
wire.noOfSegs = segHeight;  
wire.location = location;  
wire.orientation = orientation;  
wire.freqScale = freqScale;  
wire.segLength = segLength;
```

```
wire.coord1 =  
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),  
(width/2)+(segLength*waveLength), 0];  
wire.coord2 =  
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),  
(width/2)+(segLength*waveLength), height];  
asmb.assemblies{w+4} = snwire (modelFreq, wire, 0);  
n=w+4;
```



```

if segHeight>=2
    for i=1:1:segHeight-1
        wire.radius=segRad;
        wire.noOfSegs = 1;
        wire.location = location;
        wire.orientation = orientation;
        wire.freqScale = freqScale;
        wire.segLength = segLength;

        wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
        wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
i*height/segHeight];
        asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
    end
end
end

if (mod(noOfLengthSegs,2)==0)&(mod(noOfWidthSegs,2)==0)

    % first plate
    plate.location = [(-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-
(distance+1)*segLength*waveLength/2) 0 segHeight*segLength*waveLength];
    plate.orientation=orientation;
    plate.freqScale = freqScale;
    plate.segLength = segLength;
    plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
    plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
    plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
    plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
    asmb.assemblies{1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

    plate.location=[0 0 0];
    plate.orientation=orientation;
    plate.freqScale = freqScale;
    plate.segLength = segLength;
    plate.len = (noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance+1)*segLength*waveLength;
    plate.width = (noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance+1)*segLength*waveLength;
    plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance+1;
    plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance+1;
    asmb.assemblies{2} = snplate(modelFreq, plate, 0);

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

len= noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

width= noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

height= segHeight*segLength*waveLength;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2, height];
asmb.assemblies{3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

source.type = 'AFVS';
source.voltage = 1;
asmb.assemblies{3}.segments{1}.excitation{1}=source;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs =segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2, height];
asmb.assemblies{4} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{5} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=5;
w=0;
if segHeight>=2
    for i=1:1:segHeight-1
        wire.radius=segRad;

```

```

wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

    wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
    wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2), i*height/segHeight];
    asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
    w=n+i;
end
end

% second plate
plate.location          =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+((distance+1)*segLength*waveLength/2)
segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation = orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{w+1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

height = segHeight*segLength*waveLength;

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

    wire.coord1          =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2,
0];
    wire.coord2          =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2,
height];
    asmb.assemblies{w+2} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2,
0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2,
height];
asmb.assemblies{w+3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{w+4} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=w+4;
if segHeight>=2
for i=1:1:segHeight-1
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2), i*height/segHeight];
asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
end
end

```

```

end

if (mod(noOfLengthSegs,2)~=0)&(mod(noOfWidthSegs,2)==0)

    % first plate
    plate.location = [(-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-(distance*segLength*waveLength/2))
0 segHeight*segLength*waveLength];
    plate.orientation=orientation;
    plate.freqScale = freqScale;
    plate.segLength = segLength;
    plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
    plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
    plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
    plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
    asmb.assemblies{1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

    plate.location=[0 0 0];
    plate.orientation=orientation;
    plate.freqScale = freqScale;
    plate.segLength = segLength;
    plate.len = (noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance)*segLength*waveLength;
    plate.width = (noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance+1)*segLength*waveLength;
    plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance;
    plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance+1;
    asmb.assemblies{2} = snplate(modelFreq, plate, 0);

    segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

    len= noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

    width= noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

    height= segHeight*segLength*waveLength;

    wire.radius=segRad;
    wire.noOfSegs = segHeight;
    wire.location = location;
    wire.orientation = orientation;
    wire.freqScale = freqScale;
    wire.segLength = segLength;

    wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];
    wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, height];
    asmb.assemblies{3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

    source.type = 'AFVS';
    source.voltage = 1;
    asmb.assemblies{3}.segments{1}.excitation{1}=source;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs =segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), width/2, height];
asmb.assemblies{4} = snwire (modelFreq, wire, 0);

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{5} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=5;
w=0;
if segHeight>=2
for i=1:1:segHeight-1
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2), i*height/segHeight];
asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
w=n+i;
end
end

% second plate
plate.location = [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+(distance*segLength*waveLength/2) 0
segHeight*segLength*waveLength];

```

```

plate.orientation = orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{w+1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

```

```

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

```

```

len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

```

```

width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

```

```

height = segHeight*segLength*waveLength;

```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -width/2,
height];
asmb.assemblies{w+2} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), width/2,
height];
asmb.assemblies{w+3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;

```

```

wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{w+4} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=w+4;
if segHeight>=2
    for i=1:1:segHeight-1
        wire.radius=segRad;
        wire.noOfSegs = 1;
        wire.location = location;
        wire.orientation = orientation;
        wire.freqScale = freqScale;
        wire.segLength = segLength;

        wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
        wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
i*height/segHeight];
        asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
    end
end
end

if (mod(noOfLengthSegs,2)==0)&(mod(noOfWidthSegs,2)~=0)

% first plate
plate.location = [(-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-
((distance+1)*segLength*waveLength/2)) 0 segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

plate.location=[0 0 0];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = (noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance+1)*segLength*waveLength;

```



```

plate.width = (noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance)*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance+1;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance;
asmb.assemblies{2} = snplate(modelFreq, plate, 0);

```

```

segRad = segLength*waveLength / (2*pi);

```

```

len= noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

```

```

width= noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

```

```

height= segHeight*segLength*waveLength;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2, height];
asmb.assemblies{3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

source.type = 'AFVS';
source.voltage = 1;
asmb.assemblies{3}.segments{1}.excitation{1}=source;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs =segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2, height];
asmb.assemblies{4} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;

```

```

wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{5} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=5;
w=0;
if segHeight>=2
    for i=1:1:segHeight-1
        wire.radius=segRad;
        wire.noOfSegs = 1;
        wire.location = location;
        wire.orientation = orientation;
        wire.freqScale = freqScale;
        wire.segLength = segLength;

        wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
        wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2), i*height/segHeight];
        asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
        w=n+i;
    end
end

% second plate
plate.location = [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+((distance+1)*segLength*waveLength/2)
segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation = orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{w+1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

height = segHeight*segLength*waveLength;

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;

```

```

wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2,
0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2,
height];
asmb.assemblies{w+2} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2,
0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2,
height];
asmb.assemblies{w+3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{w+4} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=w+4;
if segHeight>=2
for i=1:1:segHeight-1
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;

```

```

    wire.orientation = orientation;
    wire.freqScale = freqScale;
    wire.segLength = segLength;

    wire.coord1 =
    [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
    (width/2)+(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
    wire.coord2 =
    [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
    (width/2), i*height/segHeight];
    asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
end
end
end

end

if (mod(distance,2)==0)

    if (mod(noOfLengthSegs,2)==0)&(mod(noOfWidthSegs,2)==0)

        % first plate
        plate.location = [(-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-(distance*segLength*waveLength/2))
        0 segHeight*segLength*waveLength];
        plate.orientation=orientation;
        plate.freqScale = freqScale;
        plate.segLength = segLength;
        plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
        plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
        plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
        plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
        asmb.assemblies{1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

        plate.location=[0 0 0];
        plate.orientation=orientation;
        plate.freqScale = freqScale;
        plate.segLength = segLength;
        plate.len = (noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance)*segLength*waveLength;
        plate.width = (noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance)*segLength*waveLength;
        plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance;
        plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance;
        asmb.assemblies{2} = snplate(modelFreq, plate, 0);

        segRad = segLength*waveLength / (2*pi);

        len= noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

        width= noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

        height= segHeight*segLength*waveLength;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, height];
asmb.assemblies{3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

source.type = 'AFVS';
source.voltage = 1;
asmb.assemblies{3}.segments{1}.excitation{1}=source;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs =segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), width/2, height];
asmb.assemblies{4} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{5} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=5;
w=0;
if segHeight>=2
    for i=1:1:segHeight-1
        wire.radius=segRad;

```

```

wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2), i*height/segHeight];
asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
w=n+i;
end
end

% second plate
plate.location = [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+(distance*segLength*waveLength/2) 0
segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation = orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{w+1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

height = segHeight*segLength*waveLength;

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 = [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];
wire.coord2 = [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -width/2,
height];
asmb.assemblies{w+2} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), width/2,
height];
asmb.assemblies{w+3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{w+4} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=w+4;
if segHeight>=2
for i=1:1:segHeight-1
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -(width/2),
i*height/segHeight];
asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
end
end
end

if (mod(noOfLengthSegs,2)~=0)&(mod(noOfWidthSegs,2)~=0)

```

```

% first plate
plate.location = [(-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-
(distance+1)*segLength*waveLength/2) 0 segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

```

```

plate.location=[0 0 0];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = (noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance+1)*segLength*waveLength;
plate.width = (noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance+1)*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance+1;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance+1;
asmb.assemblies{2} = snplate(modelFreq, plate, 0);

```

```

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

```

```

len= noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

```

```

width= noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

```

```

height= segHeight*segLength*waveLength;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance+1)*segLength*waveLength/2, -width/2, 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance+1)*segLength*waveLength/2, -width/2, height];
asmb.assemblies{3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

source.type = 'AFVS';
source.voltage = 1;
asmb.assemblies{3}.segments{1}.excitation{1}=source;

```

```

wire.radius=segRad;

```



```

wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2, height];
asmb.assemblies{4} = snwire (modelFreq, wire, 0);

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{5} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=5;
w=0;
if segHeight>=2
for i=1:1:segHeight-1
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2), i*height/segHeight];
asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
w=n+i;
end
end

% second plate
plate.location =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+((distance+1)*segLength*waveLength/2)
segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation = orientation;
plate.freqScale = freqScale;

```

```

plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{w+1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

```

```

segRad = segLength*waveLength / (2*pi);

```

```

len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

```

```

width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

```

```

height = segHeight*segLength*waveLength;

```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2,
0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2,
height];
asmb.assemblies{w+2} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2,
0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2,
height];
asmb.assemblies{w+3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;

```

```

wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{w+4} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=w+4;
if segHeight>=2
    for i=1:1:segHeight-1
        wire.radius=segRad;
        wire.noOfSegs = 1;
        wire.location = location;
        wire.orientation = orientation;
        wire.freqScale = freqScale;
        wire.segLength = segLength;

        wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
        wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2), i*height/segHeight];
        asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
    end
end
end

if (mod(noOfLengthSegs,2)==0)&(mod(noOfWidthSegs,2)~=0)

% first plate
plate.location = [(-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-(distance*segLength*waveLength/2))
0 segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

plate.location=[0 0 0];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = (noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance)*segLength*waveLength;

```

```

plate.width = (noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance+1)*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance+1;
asmb.assemblies{2} = snplate(modelFreq, plate, 0);

```

```

segRad = segLength*waveLength / (2*pi);

```

```

len= noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

```

```

width= noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

```

```

height= segHeight*segLength*waveLength;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];

```

```

wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, height];

```

```

asmb.assemblies{3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

source.type = 'AFVS';
source.voltage = 1;
asmb.assemblies{3}.segments{1}.excitation{1}=source;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs =segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), width/2, 0];

```

```

wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), width/2, height];

```

```

asmb.assemblies{4} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;

```

```

wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{5} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=5;
w=0;
if segHeight>=2
    for i=1:1:segHeight-1
        wire.radius=segRad;
        wire.noOfSegs = 1;
        wire.location = location;
        wire.orientation = orientation;
        wire.freqScale = freqScale;
        wire.segLength = segLength;

        wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
        wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
(distance*segLength*waveLength/2), (width/2), i*height/segHeight];
        asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
        w=n+i;
    end
end

% second plate
plate.location = [0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+(distance*segLength*waveLength/2) 0
segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation = orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{w+1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

height = segHeight*segLength*waveLength;

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;

```

```
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;
```

```
wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -width/2,
height];
asmb.assemblies{w+2} = snwire (modelFreq, wire, 0);
```

```
wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;
```

```
wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), width/2,
height];
asmb.assemblies{w+3} = snwire (modelFreq, wire, 0);
```

```
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;
```

```
wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{w+4} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=w+4;
if segHeight>=2
for i=1:1:segHeight-1
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;
```

```

        wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
        wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+(distance*segLength*waveLength/2), -(width/2),
i*height/segHeight];
        asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
    end
end
end

if (mod(noOfLengthSegs,2)~=0)&(mod(noOfWidthSegs,2)==0)

% first plate
plate.location = [(-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-
(distance+1)*segLength*waveLength/2) 0 segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

plate.location=[0 0 0];
plate.orientation=orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = (noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance+1)*segLength*waveLength;
plate.width = (noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance)*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs+noOfLengthSegs+2*addxseg+distance+1;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs+noOfWidthSegs+2*addyseg+distance;
asmb.assemblies{2} = snplate(modelFreq, plate, 0);

segRad = segLength*waveLength/(2*pi);

len= noOfLengthSegs*segLength*waveLength;

width= noOfWidthSegs*segLength*waveLength;

height= segHeight*segLength*waveLength;

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2, 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2, height];
asmb.assemblies{3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

source.type = 'AFVS';
source.voltage = 1;
asmb.assemblies{3}.segments{1}.excitation{1}=source;

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs =segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2, 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2, height];
asmb.assemblies{4} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

wire.coord1 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 = [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{5} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=5;
w=0;
if segHeight>=2
for i=1:1:segHeight-1
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```



```

        wire.coord1          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2)-(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
        wire.coord2          =          [-0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength-len/2-
((distance+1)*segLength*waveLength/2), (width/2), i*height/segHeight];
        asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
        w=n+i;
    end
end

```

```

% second plate
plate.location              =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+((distance+1)*segLength*waveLength/2)
segHeight*segLength*waveLength];
plate.orientation = orientation;
plate.freqScale = freqScale;
plate.segLength = segLength;
plate.len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
plate.width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
plate.noOfLengthSegs = noOfLengthSegs;
plate.noOfWidthSegs = noOfWidthSegs;
asmb.assemblies{w+1} = snplate(modelFreq, plate, 0);

```

```
segRad = segLength*waveLength/(2*pi);
```

```
len = noOfLengthSegs*segLength*waveLength;
```

```
width = noOfWidthSegs*segLength*waveLength;
```

```
height = segHeight*segLength*waveLength;
```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

```

```

        wire.coord1              =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2,
0];
        wire.coord2              =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), -width/2,
height];
        asmb.assemblies{w+2} = snwire (modelFreq, wire, 0);

```

```

wire.radius = segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;

```

```

wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2,
0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2), width/2,
height];
asmb.assemblies{w+3} = snwire (modelFreq, wire, 0);

wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = segHeight;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), 0];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), height];
asmb.assemblies{w+4} = snwire (modelFreq, wire, 0);
n=w+4;
if segHeight>=2
for i=1:1:segHeight-1
wire.radius=segRad;
wire.noOfSegs = 1;
wire.location = location;
wire.orientation = orientation;
wire.freqScale = freqScale;
wire.segLength = segLength;

wire.coord1 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2)+(segLength*waveLength), i*height/segHeight];
wire.coord2 =
[0.5*noOfLengthSegs*segLength*waveLength+len/2+((distance+1)*segLength*waveLength/2),
(width/2), i*height/segHeight];
asmb.assemblies{n+i} = snwire (modelFreq, wire, 0);
end
end
end

asmb.cylinders = {};

```

Βιβλιογραφία

1. Randy L. Haupt, Douglas H. Werner, *Genetic Algorithms in Electromagnetics*, A John Wiley & Sons
2. Stuart Russell, Peter Norvig, *Τεχνητή Νοημοσύνη Μια σύγχρονη προσέγγιση*, Δεύτερη αμερικάνικη έκδοση (επιμέλεια ελληνικής έκδοσης: Γιάννης Ρεφανίδης)
3. Σπύρος Γ. Τζαφέστας, Υπολογιστική Νοημοσύνη, Τόμος Α:Μεθοδολογίες, ΕΜΠ
4. D. Dumitrescu, B. Lazzerini, L.C. Jain, A. Dumitrescu, *Evolutionary Computation*, CRC PRESS
5. Zbigniew Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer
6. K. F. Man, K. S. Tang, and S. Kwong, *Genetic Algorithms: Concepts and Applications*, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 43, NO. 5, OCTOBER 1996
7. Τσιπούρη Ι. Χριστίνα, Σχεδίαση και ανάλυση ευρυζωνικών κεραιών με τη χρήση του λογισμικού πακέτου προσομοίωσης superNEC. Βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών της κεραίας με τη βοήθεια των γενετικών αλγορίθμων, Διπλωματική εργασία.
8. B. Allen, M. Dohler, E.E. Okon, W.Q. Malik, A.K. Brown, D.J. Edwards, *Ultra-wideband Antennas and Propagation for Communications, Radar and Imaging*, Wiley
9. M. Ghavami, L.B. Michael, R. Kohno, *Ultra wideband signals and systems in communication engineering*, Wiley
10. Hüseyin Arslan, Zhi Ning Chen, Maria-Gabriella Di Benedetto, *Ultra wideband wireless communication*, Wiley
11. Hans Gregory Schantz, *A brief history of UWB antennas*, IEEE 2003
12. Zhinong Ying, *Some important antenna innovations in the mobile terminal industry in the last decade*, IEEE
13. Gregory H. Huf, Jacob J. McDonald, *A Spherical Inverted-F Antenna (SIFA)*, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 8, 2009
14. Themistoklis D. Dimousios, Christina I. Tsitouri, Stylianos C. Panagiotou, Christos N. Capsalis, *Design and Optimization of a Smart Quad-PIFA for*

Maximum Directionality at 2.4 GHz with the Aid of Genetic Algorithms, pp. 2058-2061

15. <http://www.antenna-theory.com>, *Antenna Types*, προσπελάστηκε στις 20 Νοεμβρίου 2009.
16. <http://www.qsl.net/va3iul/>, *PIFA-Planar Inverted F Antenna*, προσπελάστηκε στις 20 Νοεμβρίου 2009.
17. <http://www.antenna-theory.com/intro/history.php>, *Antenna Theory History*, προσπελάστηκε στις 8 Μαρτίου 2010.
18. <http://www.si-list.net/swindex.html>, *The unofficial Numerical Electromagnetic Code (NEC) Archives*, προσπελάστηκε στις 29 Νοεμβρίου 2009.
19. http://www.supernec.com/manuals/snparurm.htm#_Toc40247198, *SuperNEC - Parallel MoM User Reference Manual*, προσπελάστηκε στις 5 Δεκεμβρίου 2009.
20. <http://www.supernec.com/>, *Genetic Algorithm Optimiser User Manual*, προσπελάστηκε στις 5 Δεκεμβρίου 2009.
21. http://www.supernec.com/manuals/snmomurm.htm#_Toc64360946, *SuperNEC - MOM-UTD Hybrid User Reference Manual*, προσπελάστηκε στις 5 Δεκεμβρίου 2009.
22. file:///C:/snec/html/snguiirm.htm#_Toc11554725, *SuperNEC - GUI Input User Reference Manual*, προσπελάστηκε στις 5 Δεκεμβρίου 2009.