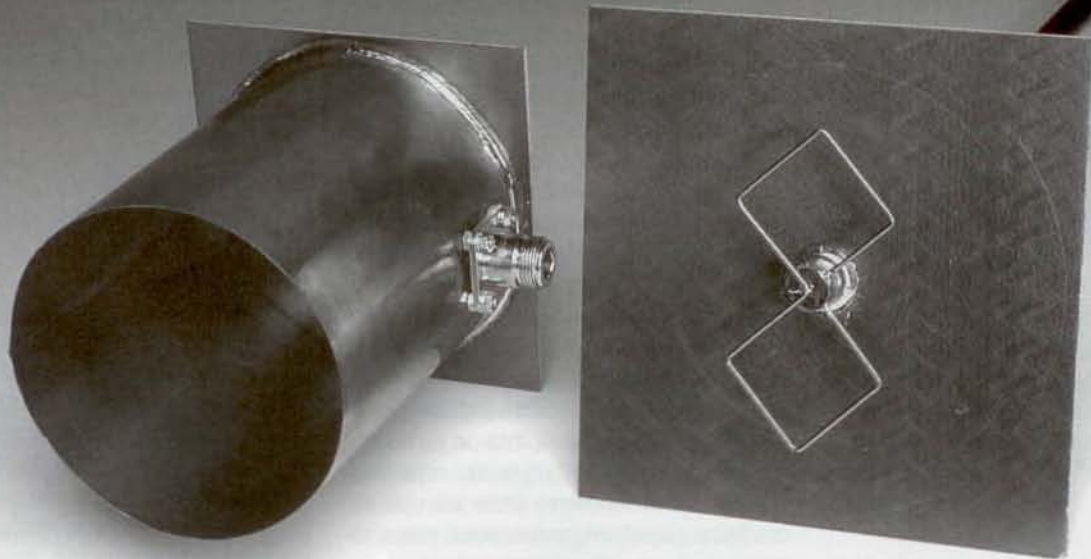


Σχεδίαση κεραίας WLAN

Αυξημένη κάλυψη με εύκολο τρόπο

Με την ευρεία διάδοση των δρομολογητών DSL που υποστηρίζουν ασύρματο Ethernet, έχει αυξηθεί ιδιαίτερα η οικιακή χρήση των ασύρματων δικτύων (WLAN), και το να “σερφάρουμε” στο διαδίκτυο από την άνεση του καναπέ μας είναι πλέον αρκετά εύκολο. Παρόλα αυτά όμως, μπορεί να προκύψουν αρκετά προβλήματα όταν μεταξύ των ορόφων παρεμβάλλεται οπλισμένο σκυρόδεμα, ή όταν ο γείτονας τυχαίνει να χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα...

Από τους Stefan Tauschek και Thomas Scherer



Η δραματική αύξηση των ασύρματων τοπικών δικτύων (wireless local area network, WLAN) έχει τους λόγους της: δεν είναι πάντα εύκολο για τον καθένα να έχει μία τηλεφωνική πρίζα δίπλα στο γραφείο του. Ακόμη και στην περίπτωση των σταθερών υπολογιστών γραφείου, από το να τρέχουμε καλώδια σε όλο το σπίτι, είναι πιο εύκολο να έχουμε μία

γρήγορη σύνδεση με το διαδίκτυο μέσω ασύρματου δικτύου. Δυστυχώς στην πράξη τα πράγματα δεν είναι πάντοτε τόσο απλά: σε πολλές περιπτώσεις είναι πολύ δύσκολο να αποκαταστήσουμε μία αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών, ακόμη και όταν αυτές βρίσκονται σε απόσταση λίγων μέτρων και μέσα στο ίδιο κτίριο.

Τα προβλήματα και οι αιτίες τους

Η συχνότητα που χρησιμοποιείται για τις επικοινωνίες WLAN σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11b ή 802.11g είναι περίπου 2,4 GHz. Στην συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων τα ραδιοκύματα διαδίδονται σε μεγάλο βαθμό σε οπτική ευθεία και υπόκεινται σε σημαντική

εξασθένηση από την υγρασία -για παράδειγμα- στους τοίχους. Το οπλισμένο μπετόν μάλιστα παρουσιάζει ακόμη μεγαλύτερη απορρόφηση, λόγω του σιδήρου που περιλαμβάνεται σε αυτό. Ένας επιπρόσθετος περιορισμός είναι η ισχύς εκπομπής, οποία στην Ευρώπη περιορίζεται στα 100 mW.

Περιορισμοί γίνονται συχνά και λόγω κόστους. Σε ένα ασύρματο δρομολογητή με χαμηλή τιμή, είναι λογικό να έχουν γίνει και κάποιοι συμβιβασμοί. Μία τυπική συσκευή διαθέτει ενσωματωμένη μία κάρτα mini-PCI WLAN, όπως ακριβώς δηλαδή και ένας φορητός υπολογιστής. Συχνά, οι κάρτες αυτές αντί για ισχύ εκπομπής 100 mW εκπέμπουν 50 mW, ενώ η κακή προσαρμογή της κεραίας συμβάλλει και αυτή σε απώλειες μερικών ακόμη dB. Μετά από όλα αυτά, η συνολική ενεργή ισχύς εκπομπής μπορεί να πέσει στα 10 mW ή 20 mW.

Μία εύκολη λύση για να ανακτήσουμε λίγη από την χαμένη ισχύ, είναι να χρησιμοποιήσουμε κάποια ειδική κεραία που προσφέρει μία επιπλέον απολαβή. Και σε αυτό ακριβώς το ενδεχόμενο αναφέρεται και το παρόν άρθρο: πως μπορούμε να κατασκευάσουμε μία κεραία WLAN η οποία εστιάζει την διαθέσιμη ισχύ εκπομπής στην επιθυμητή κατεύθυνση, εξασφαλίζοντας μερικά dB παραπάνω από αυτά που θα παρείχε μία συμβατική παν-κατευθυντική κεραία. Μία κατευθυντική όμως κεραία δεν ενισχύει μόνον τα σήματα που εκπέμπονται από αυτή, αλλά ενισχύει στο ίδιο ποσοστό και τα σήματα τα οποία προέρχονται από πηγές ευρισκόμενες εντός του χαρακτηριστικού της λοβού. Δεδομένου λοιπόν ότι μία διασύνδεση WLAN είναι αμφίδρομη, μία τέτοια κεραία μπορεί να μας εξασφαλίσει σημαντική αύξηση στους εύρους κάλυψης χωρίς να χρειάζεται να εμπλακούμε με σύνθετα ηλεκτρονικά στην περιοχή των RF.

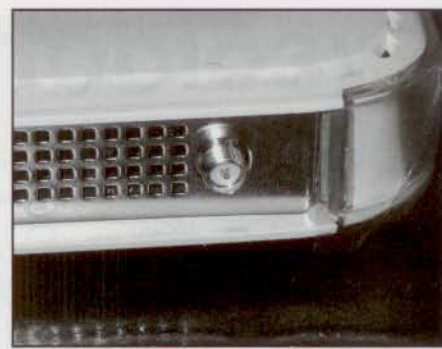
Οι λύσεις

Όταν αντιμετωπίζουμε μία προβληματική ασύρματη δικτύωση, καλό είναι πριν πάρουμε τα κολλητήρια ή βγούμε στην αγορά αναζητώντας κατευθυντική κεραία- να εξετάσουμε κάποιες βασικές παραμέτρους.

Πρώτα απ' όλα να ξεκαθαρίσουμε ότι η καλύτερη διασύνδεση Ethernet είναι η καλωδιωμένη. Μία σύνδεση με καλώδιο δεν είναι μόνον πιο γρήγορη, αλλά είναι και περισσότερο αξιόπιστη. Εάν για οποιοδήποτε λόγο δεν έχουμε δυνατότητα

χρήσης καλωδίου, ή δεν μας εξυπηρετεί (στην περίπτωση για παράδειγμα του φορητού υπολογιστή), τότε υπάρχουν κάποιες βασικές κινήσεις που μπορούμε να κάνουμε για να βελτιώσουμε την απόδοση του ασύρματου δικτύου. Η πρώτη μας κίνηση είναι να προσπαθήσουμε να φέρουμε τον υπολογιστή λίγα μέτρα πιο κοντά στον δρομολογητή. Μία δεύτερη επιλογή είναι να ξοδέψουμε μερικά Ευρώ για να προμηθευτούμε κάποιο ειδικό επαναλήπτη, ο οποίος μπορεί να αυξήσει κατά πέντε με δέκα μέτρα την εμβέλεια του δικτύου μέσα στο ίδιο κτήριο. Ακόμη καλύτερα μάλιστα, μπορούμε να απενεργοποιήσουμε το ασύρματο μέρος του δρομολογητή και με ένα ανάλογο ποσό να προμηθευτούμε ένα σημείο πρόσβασης (δείτε το Σχήμα 2). Αυτό είναι μία ηλεκτρονική διάταξη η οποία στην μία πλευρά έχει σαν είσοδο μία υποδοχή Ethernet και στην άλλη παρέχει ασύρματη διασύνδεση. Η συγκεκριμένη συσκευή συνδέεται με τον δρομολογητή μέσω καλωδίου Ethernet. Με το σκεπτικό ότι μία τέτοια συσκευή είναι κατασκευασμένη για να κάνει μία μόνον δουλειά, έχουμε το δικαίωμα να αναμένουμε ότι θα παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στα RF. Ένα μάλιστα ακόμη σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι οι συσκευές "όλα σε ένα" που συνδυάζουν modem DSL, με ασύρματο δίκτυο και λειτουργίες δρομολογητή, δεν διαθέτουν συνήθως κάποιο σύνδεσμο RF, και είναι δύσκολο να συνδέσουμε εξωτερική κεραία. Η μικρή κεραία που κατά κανόνα τις συνοδεύει συνδέεται με την εσωτερική κάρτα WLAN μέσω ενός σταθερού καλωδίου επάνω σε ένα υποτυπώδες βύσμα. Το συγκεκριμένο βύσμα δεν είναι σχεδιασμένο για συχνή σύνδεση και αποσύνδεση, ενώ είναι ανυπόφορα μικρό. Τα σημεία πρόσβασης από την άλλη είναι εξοπλισμένα με τυπικούς συνδέσμους SMA (Σχήμα 1), οι οποίοι δίνουν την δυνατότητα στον κάτοχο να συνδέσει μία εξωτερική κεραία, είτε από την αγορά είτε ιδιοκατασκευή.

Και μία ακόμη συμβουλή: είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσουμε ένα μεγαλύτερο καλώδιο Ethernet παρά ένα μεγαλύτερο καλώδιο κεραίας. Με ένα καλώδιο Ethernet CAT5 μήκους 50 μέτρων ή και περισσότερο, είναι εύκολο να επιτύχουμε ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων μέχρι τα 100 Mbit/s, ενώ οι απώλειες ενός καλωδίου κεραίας μήκους 50 μέτρων θα εισήγαγαν τόσο μεγάλες απώλειες που θα καταργούσαν αυτόματα τα πλεονε-



Σχήμα 1. Βύσμα τύπου SMA, στο πίσω μέρος ενός σημείου πρόσβασης.



Σχήμα 2. Ένα τυπικό σημείο πρόσβασης: σε πολλές περιπτώσεις αυτά εξυπηρετούν στο να μειώσουμε το μήκος του καλωδίου της κεραίας.

κτήματα μίας κατευθυντικής κεραίας.

Τύποι κεραιών

Στην συζήτηση που ακολουθεί θα θεωρήσουμε ότι μιλάμε για δρομολογητές WLAN οι οποίοι χρησιμοποιούν περισσότερες της μίας κεραίας και τεχνολογία MIMO (multiple input multiple output, πολλές εισοδοί πολλές έξοδοι). Οι συσκευές - σημεία πρόσβασης που διατίθενται στην αγορά (όπως αυτό που εικονίζεται στο Σχήμα 2) είναι συνήθως εξοπλισμένες με μία μικρή κεραία (καλούμενη "του ενός τετάρτου" ή μονόπολο). Σε ορισμένες περιπτώσεις η κεραία αυτή βρίσκεται εξ' ολοκλήρου μέσα στο κουτί (όταν βέβαια το κουτί είναι από πλαστικό) και αποτελείται από ένα κομμάτι σύρματος μήκους $\lambda/4$. Στα 2,44 GHz, αυτό αντιστοιχεί σε $300 \times 10^6 / 2,44 \times 10^9$ μέτρα, ή κάτι περισσότερο από 3 cm.

Στο άλλο άκρο του φάσματος των κεραίων έχουμε το παραβολικό κάτοπτρο, το οποίο μπορεί να έχει διάμετρο αρκετών μέτρων. Η συγκεκριμένη κεραία

είναι δυνατόν να προσφέρει απολαβή 60 dB μεγαλύτερη σε σχέση με το απλό μονόπολο στο τέταρτο του μήκους κύματος.

Οι Ευρωπαϊκοί κανονισμοί επιτρέπουν την χρήση τέτοιων κεραιών μόνον με πολύ μικρή ισχύ. Σε κάποια πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην Αμερική με ειδικά κατασκευασμένες (και πανάκριβες) κεραιές του συγκεκριμένου τύπου, πέτυχαν κάλυψη μέχρι και 200 km.

Μεταξύ βέβαια αυτών των δύο ακραίων τύπων κεραιών υπάρχουν πολλά διαφορετικά σχέδια κεραιών, τα οποία έχουν κατά καιρούς δοκιμαστεί σε εφαρμογές ασύρματων δικτύων. Από όλα αυτά τα σχέδια, δύο έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα επιτυχή, εξασφαλίζοντας καλή απολαβή σε συνδυασμό με εύκολη κατασκευή. Ο πρώτος τύπος έχει την μορφή κυματοδηγού και έχει το χαρακτηριστικό όνομα "cantenna" (δείτε το αριστερό μέρος του Σχήματος 4). Ο δεύτερος τύπος αποτελείται από ειδικά διατεταγμένα τμήματα σε σχήμα διαμαντιού, μπροστά από ένα ανακλαστήρα και καλείται "biquad" (δείτε το δεξί μέρος του Σχήματος 4). Ο τύπος αυτός είναι σύμφωνα με την θεωρία σε θέση να παράσχει απολαβή μέχρι 12 dB (αν και απ' ότι θα δούμε στην συνέχεια η πράξη διαφέρει από την θεωρία!), κατά τι περισσότερο από τα 10 dB που μπορεί να εξασφαλίσει ο τύπος cantenna. Και οι δύο τύποι πάντως προσφέρουν σημαντική βελτίωση σε σχέση με τις τυπικές ενσωματωμένες κεραιές. Στην συνέχεια θα τους εξετάσουμε και τους δύο με περισσότερες λεπτομέρειες.

Η κεραιά cantenna

Όπως αναφέραμε και ενωρίτερα, η cantenna λειτουργεί σαν κυματοδηγός. Η θεωρία των κεραιών αυτών είναι πράγματι ιδιαίτερα περίπλοκη, και όσοι ενδιαφέρονται για περισσότερες λεπτομέρειες μπορούν να συμβουλευτούν την παραπομπή [1]. Όπως μπορούμε να δούμε και από την εικόνα του Σχήματος 4 και το σχέδιο στο Σχήμα 5, η cantenna αποτελείται από ένα σωλήνα συγκεκριμένων διαστάσεων και ένα προσεκτικά τοποθετημένο οδηγό.

Υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος διαφορετικών οδηγιών σχετικά με την κατασκευή κεραιών cantenna σε διάφορες διαστάσεις [2]. Οι οδηγίες που ακολουθούν έχουν το πλεονέκτημα ότι έχουν δοκιμαστεί μέσω εξομώωσης από τον Stefan Tauschek μέσω ενός πακέτου

λογισμικού καλούμενου 4NEC2, το οποίο πακέτο διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο [3]. Το πρόγραμμα βασίζεται στην καλούμενη μέθοδο οριακών στοιχείων [4]. Η ιδέα έγκειται στην μετατροπή των εξισώσεων Maxwell σε ένα σύστημα γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων, οι οποίες στην συνέχεια ολοκληρώνονται για να υπολογιστεί η κατανομή του ρεύματος μέσα στην κεραιά. Το αρκτικόλεξο "NEC" στην ονομασία του προγράμματος προέρχεται από το Αγγλικό "numerical electromagnetic code" (αριθμητικός ηλεκτρομαγνητικός κώδικας). Παρότι οι διαδικασίες υπολογισμού είναι σύνθετες, τα αποτελέσματα είναι αρκετά απλά. Στο Σχήμα 6 έχουμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο της Cantenna στο 4NEC2 και στο Σχήμα 7 την υπολογιζόμενη εικόνα εκπομπής της κεραιάς. Ο κατευθυντικός της χαρακτήρας είναι πιστεύουμε σαφής.

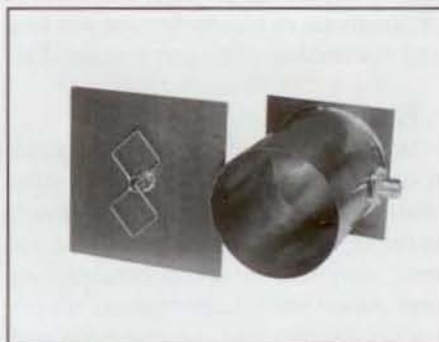
Για να κατασκευάσουμε μία κεραιά τύπου cantenna με ακρίβεια, το κουτί θα πρέπει να είναι ακριβώς ίσο με το μήκος κύματος. Στα 2,44 GHz το μήκος αυτό είναι πολύ κοντά στα 123 mm. Η εσωτερική διάμετρος είναι 100 mm, ελαφρώς μεγαλύτερη από τα 4/5 λ. Το στέλεχος εκπομπής το οποίο στο σχήμα αναφέρεται ως radiator (ακτινοβόλητης), θα πρέπει να έχει μήκος περίπου $\lambda/5$, ή 25 mm. Η ιδανικότερη μορφή για τον οδηγό είναι αυτή της σφήνας, όπου το παχύτερο μέρος βρίσκεται στο μέσον του κουτιού. Η απόσταση του στελέχους εκπομπής από την βάση του κουτιού αναφέρεται στο σχήμα ως "radiator offset" και είναι τα 7/32 του μήκους κύματος ή 27 mm.

Η αλήθεια είναι πως είναι δύσκολο να βρεθούν έτοιμα κονσερβοκούτια με τις διαστάσεις αυτές, οπότε θα χρειαστεί να το κατασκευάσουμε μόνοι μας από φύλλο χαλκού, όπως περιγράφεται στο Σχήμα 4. Για κανονική χρήση, τυχόν αποκλίσεις μέχρι 10 % θεωρούνται αποδεκτές αλλά εννοείται ότι υπάρχουν άπειρες δυνατότητες πειραματισμού.

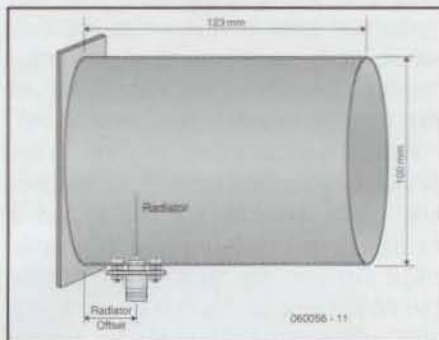
Το δυσκολότερο σημείο της κατασκευής είναι η κατασκευή του οδηγού. Μπορούμε να ξεκινήσουμε από ένα έτοιμο σύνδεσμο RF τύπου N, ο οποίος εικονίζεται στο Σχήμα 8 με το στέλεχος εκπομπής (συχνά καλούμενο και διεγέρτης - exciter) κολλημένο σε αυτόν. Για την στερέωση του συνδέσμου θα πρέπει να ανοιχτεί στο κουτί μία κατάλληλη οπή, ενώ για να αποφύγουμε φθορές σε αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιες ροδέλες. Αφού τοποθετήσουμε



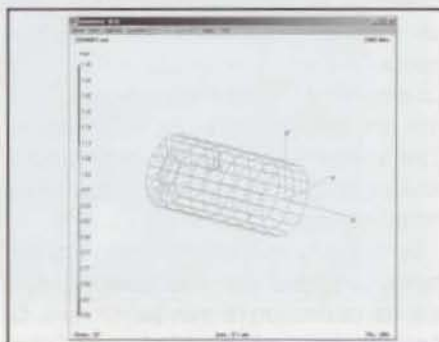
Σχήμα 3. Κεραιά στο τέταρτο του μήκους κύματος, κατάλληλη για δρομολογητή WLAN ή σημείο πρόσβασης.



Σχήμα 4. Πρωτότυπα των κεραιών cantenna και biquad, τα οποία κατασκευάσαμε στα εργαστήρια του περιοδικού *Ελεktor*.



Σχήμα 5. Σχέδιο κατασκευής κεραιάς τύπου cantenna.



Σχήμα 6. Ένα τρισδιάστατο μοντέλο κεραιάς cantenna, σχεδιασμένο από την εφαρμογή 4NEC2.

και τον οδηγό, η κεραία είναι πλεονά έτοιμη. Στην περίπτωση που η κεραία προορίζεται για χρήση σε εξωτερικούς χώρους, καλό είναι να στεγανοποιήσουμε την σύνδεση του στελέχους εκπομπής.

Προσαρμογείς καλωδίων από βύσμα-τα τύπου N σε SMA υπάρχουν στο εμπόριο, αλλά είναι εύκολο (και οικονομικότερο!) να τους κατασκευάσουμε μόνοι μας. Όπως αναφέραμε και νωρίτερα το καλώδιο της κεραίας θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο, έτσι ώστε να μπορέσουμε να αξιοποιήσουμε στο έπακρο την απολαβή που μας εξασφαλίζει.

Biquad

Μία εναλλακτική σχεδίαση κεραίας η οποία είναι επίσης εύκολο να κατασκευαστεί, είναι η biquad. Σε γενικές γραμμές η κεραία αυτή έχει την μορφή ενός γωνιακού οκτώ κατασκευασμένου από σύρμα και τοποθετημένου εμπρός και παράλληλα από μία επιφάνεια ανάκλασης. Η συγκεκριμένη σχεδίαση είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στο διαδίκτυο όπου υπάρχουν αναρίθμητες οδηγίες κατασκευής, λόγω κυρίως της καλής θεωρητικής απόδοσης και της "high-tech" εμφάνισης. Η σχεδίαση που περιγράφουμε στην συνέχεια έχει και αυτή -όπως και η cantenna- το πλεονέκτημα ότι έχει δοκιμαστεί σε εξομοίωση και έχει βελτιστοποιηθεί μέσω υπολογιστή.

Η κεραία biquad είναι στην ουσία ένα διπλωμένο πολλαπλάσιο του διπόλου $\lambda/4$. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 9, το σχήμα που προκύπτει μοιάζει αρκετά με ένα γωνιακό οκτώ όπου η πλευρά του κάθε τετραγώνου έχει μήκος $\lambda/4 = 30,5$ mm. Κατάλληλο υλικό για την κατασκευής της είναι ένα σύρμα χαλκού διαμέτρου 1 mm. Η τροφοδοσία του σήματος γίνεται μεταξύ του σημείου όπου συναντώνται τα δύο τετράγωνα και των ανοικτών άκρων, τα οποία συνδέονται με την γη (η θωράκιση του καλωδίου τροφοδοσίας). Στο Σχήμα 10 φαίνεται με σαφήνεια η κατανομή των ρευμάτων στα επί μέρους στοιχεία της κεραίας. Στις γωνίες παρατηρούμε δεσμούς και κοιλίες, λόγω του ότι η κεραία βρίσκεται σε συντονισμό.

Η διάταξη με μορφή οκτώ τοποθετείται μπροστά από τον ανακλαστήρα και σε απόσταση 15 mm με 17 mm. Οι δοκιμές στην πράξη έδειξαν ότι είναι δυνατόν να επιτύχουμε εξαιρετικό λόγο στασίμων κυμάτων (SWR) της τάξης του 1 : 1,15.

Καλό είναι η πλευρά του ανακλαστή-

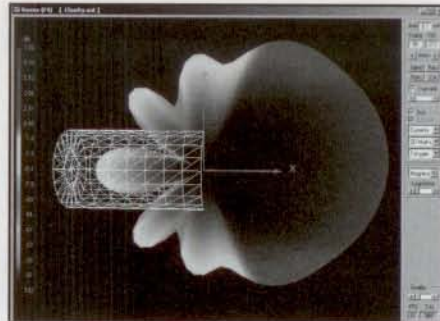
ρα να είναι ίση με το μήκος κύματος, ή με άλλα λόγια ο ιδανικός ανακλαστήρας έχει μήκος πλευρών 123 mm. Για την κατασκευή της επιφάνειας ανάκλασης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορα υλικά: στο πρωτότυπο που κατασκευάσαμε χρησιμοποιήσαμε ένα κομμάτι πλακέτας. Κατάλληλο για την δουλειά αυτή είναι επίσης και ένα παλιό CD, το επιμεταλλωμένο μέρος του οποίου έχει διαμέτροι περίπου 118 mm. Οι διαστάσεις του πολλαπλού διπόλου είναι αρκετά κρίσιμες.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4, για την στερέωση του πολλαπλού διπόλου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και ένα κομμάτι από χάλκινο σωλήνα. Ο σωλήνας κολλείται επάνω στην επιφάνεια ανάκλασης και το ομοαξονικό καλώδιο περνά μέσα από τον σωλήνα. Στην συνέχεια ο κεντρικός αγωγός κολλείται απ' ευθείας στο μέσο του οκτώ. Εναλλακτικά μπορούμε όπως και στην περίπτωση της cantenna να χρησιμοποιήσουμε ένα βύσμα τύπου N, όπου η σωστή απόσταση από την επιφάνεια ανάκλασης επιτυγχάνεται με την βοήθεια δύο κομματιών χάλκινου σύρματος κομμένα στο κατάλληλο μήκος.

Η εικόνα στην αρχή του άρθρου περιγράφει το πολοδιάγραμμα εκπομπής μίας κεραίας biquad, η επιφάνεια ανάκλασης της οποίας είναι τοποθετημένη μεταξύ δύο πλακών ύψους 30 mm και σε αντίθετες κατευθύνσεις έτσι ώστε να περιορίζονται οι προς τα πίσω λοβοί. Με την χρήση μίας τέτοιας κεραίας είναι δυνατόν να επιτύχουμε μία απολαβή μεταξύ 10 dB και 12 dB. Υπάρχουν μάλιστα αναφορές για φορητούς υπολογιστές εξοπλισμένους με κεραίες τύπου biquad οι οποίοι συνδέονται σε σημεία πρόσβασης (τα οποία είναι επίσης εξοπλισμένα με ανάλογη κεραία) σε απόσταση 10 km.

Διάφορα

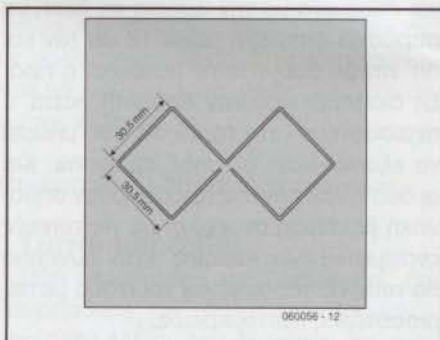
Οι ιστορίες σχετικά με εκπληκτικά αποτελέσματα κάλυψης από ασύρματα δίκτυα αφθονούν στον χώρο, αλλά θα πρέπει επίσης να σημειώσουμε ότι υπάρχουν τεράστιες διαφορές όσον αφορά τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής, είτε είναι στην πόλη είτε στην εξοχή, είτε μέσα στο σπίτι. Στην Φρανκφούρτη για παράδειγμα όπου πραγματοποίησε τις δοκιμές του ο Thomas Scherer δεν υπάρχει σημείο που να μην λαμβάνει ένας φορητός σήμα από 15 WLAN, και το ίδιο βέβαια ισχύει για κάθε μεγάλη



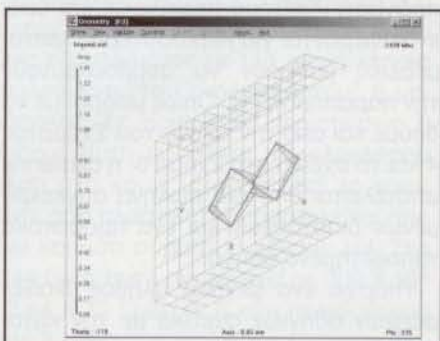
Σχήμα 7. Το διάγραμμα ακτινοβολίας της cantenna υπολογισμένο από το 4NEC2.



Σχήμα 8. Σύνδεσμος τύπου N, στο οποίο έχει κολληθεί το στέλεχος εκπομπής κατασκευασμένο από φύλλο χαλκού.



Σχήμα 9. Σχέδιο κατασκευής του "οκτώ" στην κεραία biquad.



Σχήμα 10. Κατανομή ρευμάτων στην κεραία biquad, υπολογισμένη από το πρόγραμμα 4NEC2.

Στα εργαστήρια του περιοδικού **ΕΛΕΚΤΟΡ**

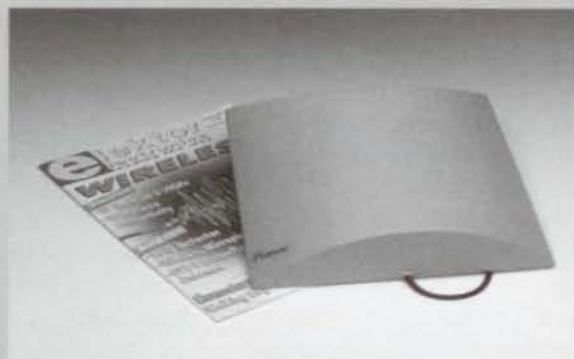
Αφού κατασκευάσαμε τα πρωτότυπα στο εργαστήριο, ήταν λογικό να θέλουμε να τα δοκιμάσουμε αμέσως. Ο εξοπλισμός του δοκιμαστικού αποτελείται από ένα συνηθισμένο φορητό και ένα σταθερό υπολογιστή στον οποίο θα συνδέαμε τις διάφορες κεραιές. Οι τοίχοι του κτηρίου που φιλοξενεί το εργαστήριο είναι κατασκευασμένοι από ένα τυπο τούβλου, ο οποίος παρουσιάζει υψηλή απορρόφηση στην ακτινοβολία RF της συγκεκριμένης περιοχής συχνότητας. Η διάταξη των αιθουσών στο κτήριο είναι περίπου σε σειρά, ενώ στο εργαστήριο και στα γραφεία υπάρχουν πολλοί υπολογιστές οι οποίοι παράγουν υψηλό ποσό ηλεκτρομαγνητικού θορύβου.

Δοκιμάσαμε την απόσταση κάλυψης τεσσάρων κεραιών: μίας απλής κεραιάς $\lambda/4$, της biquad, της cantenna και ενός μοντέλου του εμπορίου (το HAO14SD της Hawking Technology, δείτε το Σχήμα 12), το οποίο κοστίζει περίπου 75 Ευρώ και δηλώνει απολαβή τουλάχιστον 14 dB. Σε κάθε δοκιμή, η κεραιά συνδεόταν στην κάρτα WLAN του σταθερού υπολογιστή, μέσω ενός καλωδίου μήκους τριών μέτρων.

Τα αποτελέσματα όσον αφορά την κάλυψη ήταν τα ακόλουθα:

- 1) Τυπική κεραιά $\lambda/4$: 10 m
- 2) HAO14SD: 20 m
- 3) Biquad: 21 m
- 4) Cantenna: 26 m

Παρατηρούμε ότι τις καλύτερες επιδόσεις είχε η κεραιά τύπου cantenna. Η απόδοση της κεραιάς του εμπορίου μας διδάσκει δύο πράγματα. Πρώτον ότι δεν θα πρέπει να έχουμε απόλυτη εμπιστοσύνη



Σχήμα 12. Η κατευθυντική κεραιά WLAN του εμπορίου, την οποία χρησιμοποιήσαμε για συγκριτικές δοκιμές.

στις δηλώσεις των κατασκευαστών οι οποίες συχνά αποδεικνύονται ιδιαίτερα αισιόδοξες (η κεραιά αποδίδει μία απολαβή της τάξης των 6 dB αντί για τα 14 dB που δηλώνει ο κατασκευαστής), και δεύτερον ότι η λύση της ιδιοκατασκευής συχνά αξίζει τον κόπο!

Web links

Waveguide theory:

http://en.wikipedia.org/wiki/waveguide_28electromagnetism%29

Various antenna designs:

<http://qdg.sorbs.net/qdgant.htm>

4NEC2 software:

<http://home.ict.nl/~arivoors>

Boundary element method:

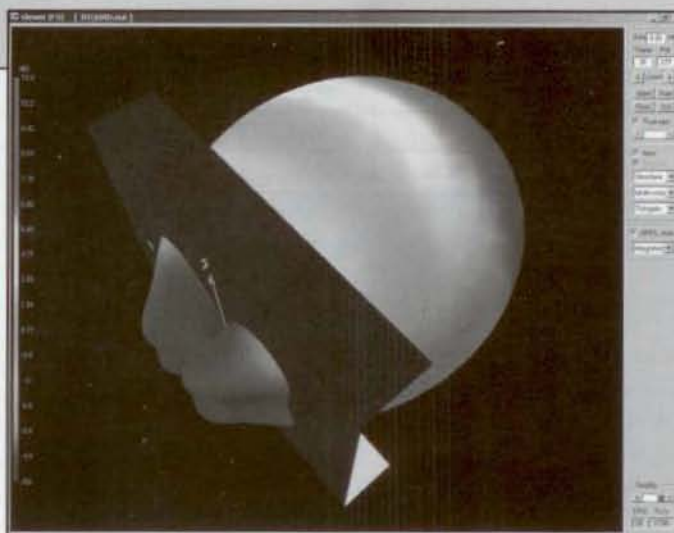
http://en.wikipedia.org/wiki/Boundary_element_method

Download page for NetStumbler:

<http://www.netstumbler.com/downloads>

Ευρωπαϊκή πόλη. Στον θόρυβο αυτό θα πρέπει να προσθέσουμε τις παρεμβολές από φούρνους μικροκυμάτων, κινητά τηλέφωνα και άλλους πομπούς οι οποίοι βρίσκονται στην περιοχή συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει. Η κατάσταση είναι λίγο πιο ήρεμη στην περιοχή των 5 GHz που χρησιμοποιείται από τα WLAN του IEEE 802.11a. Αξίζει επίσης να αναφέρουμε ότι στα κανάλια που διατίθενται στην Ευρώπη και αριθμούνται σύμφωνα με τα πρότυπα IEEE 802.11b και 802.11g από 1 έως 13, δεν υπάρχουν παρά μόνο τρία μη επικαλυπτόμενα κανάλια. Εάν ο γείτονας για παράδειγμα χρησιμοποιεί αυξημένη ισχύ σε ένα κανάλι, αυτό μπορεί να δημιουργεί παρεμβολές σε τρία μέχρι έξι διπλανά κανάλια. Εδώ μπορεί να μας βοηθήσει το πρόγραμμα NetStumbler [5], το οποίο αποτελεί

την αγαπημένη εφαρμογή όσων περιφέρονται με το αυτοκίνητο και ένα φορητό αναζητώντας ασύρματα δίκτυα. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα σαρώνει με παραμετροποιήσιμο τρόπο τις ραδιοσυχνότητες και εμφανίζει τα διάφορα ασύρματα δίκτυα που ανιχνεύει, μαζί με πληροφορίες σχετικά με το SSID και την ένταση του σήματος. Ανάλογα με το υλικό του WLAN τα αποτελέσματα ενδέχεται να μην είναι πάντοτε ακριβή, αλλά ακόμη



και οι σχετικές τιμές μπορούν να δώσουν μία ικανοποιητική εικόνα της επικρατούσας κατάστασης.

Οι κεραιές στην πράξη

Ακόμη και οι λεπτομερέστεροι υπολογισμοί ή οι καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές δεν έχουν καμία σημασία εάν δεν έχουν αποτέλεσμα στην πράξη. Αποφασίσαμε λοιπόν να πάρουμε για δοκιμή στην πράξη, τις κεραιές που κατασκευάσαμε στα εργαστήρια του περιοδικού Ελεκτορ σύμφωνα με τα σχέδια που υπολόγισε ο Stefan Tauschek. Το δυσκολότερο κομμάτι ήταν να εγκαταστήσουμε τις κεραιές στο σπίτι του Thomas Scherer στην Φρανκφούρτη και στην συνέχεια να γυρνάμε τους δρό-

σε ένα δωμάτιο του τρίτου ορόφου που περιβάλλεται από τοίχους. Ακόμη και απόσταση 5 μέτρων στο επάνω πάτωμα, η ποιότητα του σήματος έπεφτε από "εξαιρετική" σε "σχετικά καλή". Εντός του κτηρίου είναι δυνατόν να ληφθούν μόνον τα τέσσερα από τα 21 WLAN που εικονίζονται στο Σχήμα 11. Το κτήριο κατά συνέπεια αποτελεί ένα ιδανικό χώρο δοκιμών...

Στον Πίνακα 1 περιγράφεται το πόσο μακριά διαδίδονται τα ραδιοκύματα στον δρόμο έξω από το σπίτι, λόγω της εξασθίνησης που επιβάλλουν οι τοίχοι. Οι κατευθυντικές κεραιές είχαν βεβαία προσανατολιστεί στην σωστή κατεύθυνση για την δοκιμή. Η πρώτη έκπληξη ήταν ότι η κεραία τύπου biquad υστερεί σαφώς της cantenna. Ο λόγος για τον οποίο είχαμε αυτή την διαφορά σε σχέση με τους θεωρητικούς υπολογισμούς δεν βρέθηκε (καλώδια, σύνδεσμοι και όλα τα παρεμφερή ελέγχθηκαν διεξοδικά). Μέσα στην πόλη (και με ένα τοίχο να παρεμβάλλεται μεταξύ πομπού και δέκτη), η κεραία τύπου cantenna παρέχει σχεδόν διπλάσια κάλυψη σε σχέση με την απλή κεραία λ/4 (stub). Η απόδοση της κεραιάς τύπου biquad βρίσκεται κάπου μεταξύ των δύο παραπάνω,

Για να μπορέσουμε να διευκρινίσουμε το τι μπορεί να επιτύχει μία κατευθυντική κεραία,

Σχήμα 11. Κατάλογος των WLAN που εντόπισε το NetStumbler.

μους έξω από το σπίτι του με ένα φορητό που έτρεχε το NetStumbler (για να μετρήσουμε την ένταση του σήματος) και να προσδιορίσουμε την μέγιστη ακτίνα στην οποία μπορούσαμε να αποκαταστήσουμε επικοινωνία.

Η οδόνη του Σχήματος 11 λήφθηκε ακριβώς έξω από το κτήριο και απ' ότι παρατηρούμε υπάρχουν πολλά ασύρματα δίκτυα τα οποία ανταγωνίζονται για την κατάληψη των ραδιοσυχνοτήτων. Το ισχυρότερο σήμα με SSID "IPFP

Τύπος Κεραίας			
Απόσταση	stub	Biquad	Cantenna
20m	-84db	-80db	-72db
30m	-	-85db	-80db
40m	-	-	-86db

Πίνακας 1. Τυπικές καλύψεις κεραιάς στην πόλη

Test Kanal 1" παράγεται από το σημείο πρόσβασης που εικονίζεται στο Σχήμα 2 και τοποθετήθηκε ειδικά για την δοκιμή.

Το κτήριο έχει πέντε ορόφους και είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα στην δεκαετία του '80. Η απορρόφηση των τοίχων στα ραδιοκύματα είναι τόσο μεγάλη, που είναι δύσκολη ακόμη και η λήψη τηλεοπτικού σήματος έστω και αν ο πομπός βρίσκεται μόλις 4 km μακριά. Ο δρομολογητής WLAN τοποθετήθηκε

Τύπος Κεραίας			
Απόσταση	stub	Biquad	Cantenna
40m	22MBit	48Mbit	54Mbit
60m	-	11Mbit	54Mbit
120m	-	-	5Mbit

Πίνακας 2. Κάλυψη σε ανοικτό χώρο στην εξοχή

θα πρέπει να απομακρυνθούμε από το ηλεκτρομαγνητικό νέφος της πόλης. Για τον σκοπό αυτό μεταφέραμε τα σύρματα της δοκιμής σε ένα σπίτι στα όρια ενός μικρού χωριού. Η κεραία που συνδεόταν στο σημείο πρόσβασης είχε κατεύθυνση μέσα από την (ανοικτή) πόρτα του σπιτιού, προς τους λόφους. Οι μετρήσεις κατά συνέπεια που προκύπτουν δίνουν την απόδοση των κεραιών σε οπτική ευθεία. Εκτός από το WLAN της δοκιμής, το πρόγραμμα NetStumbler εντόπισε στην περιοχή και δύο άλλα WLAN, τα οποία όμως βρισκόνταν τουλάχιστον έξι κανάλια μακρύτερα από την συχνότητα των δοκιμών.

Στον Πίνακα 2 βλέπουμε ότι σε οπτική ευθεία η επικοινωνία είναι εφικτή σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με την πόλη. Στον πίνακα αναφέρουμε τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων που επιτύχαμε, δεδομένου ότι αυτό είναι και το πιο ενδιαφέρον μέγεθος. Πιστεύουμε ότι η επίτευξη επικοινωνίας σε αποστάσεις πάνω από 120 μέτρα χάρη σε ένα κονσερβοκούτι, είναι πράγματι επιτευγμά! Ο τριπλασιασμός της κάλυψης από την cantenna σε σύγκριση με την απλή κεραία λ/4, συμφωνεί με την θεωρητική απολαβή των 10 dB.