

Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο Σχολείων (ΑΜΔΣ)

Γ. Καπογιανόπουλος M.Sc.¹, Ν. Σκίκος², Κ. Καρλής³

¹Εκπαιδευτικός Πληροφορικής 1^ο ΕΠΑΛ Πετρούπολης

gkapog@sch.gr

²Εκπαιδευτικός Πληροφορικής 1^ο ΕΠΑΛ Αθηνών

nskikos@sch.gr

³Εκπαιδευτικός Πληροφορικής 1^ο Γυμνάσιο Νέας Φιλαδέλφειας

konkar@sch.gr

Περίληψη

Υλοποίηση Ασύρματου Μητροπολιτικού Δικτύου υψηλής διαμεταγωγής πολλαπλάσια των 54 Mbps χρησιμοποιώντας το πρότυπο IEEE 802.11a, με πολλαπλές διασυνδέσεις, για την απομακρυσμένη σύνδεση σχολείων και υλοποίηση υπηρεσιών: μετάδοση φωνής μέσω δικτύου (VOIP Voice over IP), κινούμενης εικόνας, συνδιασκέψεων, μεταφορά αρχείων, διαμοιρασμό διαδικτύου, εικονικών τάξεων, μάθηση εξ' αποστάσεως (e-learning) και ροές εικόνας και ήχου (streaming). Οι στόχοι του έργου είναι η αναβάθμιση τεχνολογικά των σχολείων όσο αναφορά την επικοινωνία μεταξύ τους για υπηρεσιακά θέματα, και επικοινωνία με κοινές τηλεφωνικές συσκευές μέσω VoIP (τηλεφωνία μέσω wi-fi δικτύου και διαδικτύου), εσωτερικά δίκτυα (intranets) και ιδεατά δίκτυα (VPN).

Λέξεις κλειδιά: Ασύρματο δίκτυο, τηλεφωνία μέσω δικτύου (VOIP), εξ' αποστάσεως εκπαίδευση (e-learning), μεταφορά αρχείων, μετάδοση κινούμενης εικόνα, μετάδοση ροών (streaming).

1. Εισαγωγή

Το Σχολείο μας (ΤΕΕ/ΕΠΑΛ Πετρούπολης) είναι από τα μεγαλύτερα στην Αθήνα, με περίπου 600 μαθητές. Στο ίδιο κτίριο (3ος όροφος) υπάρχει παράρτημα του 5ου ΣΕΚ Ιλίου. Το κυρίως κτίριο του 5ου ΣΕΚ βρίσκεται σε απόσταση 2 χλμ. περίπου. Η σύνθεση αυτή προκαλεί προβλήματα στην επικοινωνία μεταξύ των καθηγητών που διδάσκουν στο ΤΕΕ και στο ΣΕΚ, αφού για οτιδήποτε χρειάζεται κάποιος πρέπει να πηγαίνει στον 3ο όροφο ή να επικοινωνεί τηλεφωνικά με τον 3ο όροφο ή το κτίριο του ΣΕΚ.

Με αφορμή όλα τα παραπάνω είχαμε την σκέψη να κάνουμε ένα ενιαίο δίκτυο μεταξύ των δύο κτιρίων και να υλοποιήσουμε πολλές υπηρεσίες με την πιο βασική την VoWiFi (VoIP τηλεφωνία μέσω wi-fi δικτύου).

Το αντικείμενο του έργου είναι η υλοποίηση Ασύρματου Μητροπολιτικού Δικτύου υψηλής Διαμεταγωγής 54 Mbps χρησιμοποιώντας το πρότυπο IEEE 802.11a για την απομακρυσμένη σύνδεση σχολείων. Ο σκοπός του δικτύου είναι κυρίως η υλοποίηση υπηρεσιών: μετάδοσης φωνής μέσω δικτύου (VOIP Voice over IP), κινούμενης εικόνας, συνδιασκέψεων, μεταφορά αρχείων, και διαμοιρασμό διαδικτύου. Για την υλοποίηση του έργου το κόστος είναι περίπου 500€ για κάθε σχολείο, και 70€ για κάθε συσκευή VOIP. Δεν υπολογίσαμε το κόστος των δρομολογητών γιατί μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε υπολογιστές χαμηλών επιδόσεων (P III) που υπάρχουν διαθέσιμοι στα σχολεία.

2. Περιγραφή του έργου

2.1 Ιστορική αναδρομή

Το πρότυπο ασύρματης δικτύωσης 802.11 παγιώθηκε το 1997 από το Διεθνή Οργανισμό Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (International Electrician and Electronics Engineers Organization), εν συντομία IEEE. Οι αρχικές προδιαγραφές του 802.11 προέβλεπαν στην μπάντα συχνοτήτων των 2,4GHz και ταχύτητες διαμεταγωγής από 1Mbps έως 2Mbps. Με το πέρασμα του χρόνου η ομάδα εργασίας του IEEE που ήταν υπεύθυνη για το 802.11 εισάγαγε αναθεωρημένες εκδοχές του προτύπου, με βασικές αλλαγές στην μπάντα συχνοτήτων, στην ταχύτητα διαμεταγωγής, καθώς και στις εφαρμοζόμενες μεθόδους ασφαλείας. Ανεξάρτητα από την τεχνική αρτιότητα και τις όποιες αρετές του 802.11, το σπουδαιότερο προτέρημά του είναι η συμβατότητα. Με άλλα λόγια, όποιες συσκευές ασύρματης δικτύωσης συμμορφώνονται με κάποια εκδοχή του 802.11 είναι βέβαιο ότι θα συνεργάζονται μεταξύ τους, ανεξαρτήτως κατασκευαστή.

Η πρώτη αναθεώρηση του «απλού» 802.11 ήταν η 802.11b, ευρύτερα γνωστή και ως Wi-Fi. Το 802.11b παραμένει στην μπάντα των 2,4GHz, αλλά η μέγιστη θεωρητική διαμεταγωγή φτάνει τα 11Mbps. Ο διάδοχός του ήρθε το 1999 και ονομάστηκε 802.11a. Μια βασική διαφορά σε σχέση με το 802.11b είναι ότι το 802.11a λειτουργεί στην μπάντα συχνοτήτων των 5GHz, γεγονός που το κάνει ταχύτερο (υποστηρίζει ταχύτητες έως 54Mbps) αλλά ταυτόχρονα και ασύμβατο με το 802.11b. Μια άλλη παραλλαγή είναι το 802.11g το οποίο λειτουργεί στην μπάντα των 2,5GHz και είναι συμβατό με υπάρχουσες εγκαταστάσεις 802.11b, ταυτόχρονα υποστηρίζει, με χρήση κατάλληλων τεχνικών, τη θεωρητική ταχύτητα των 54Mbps.

Τελευταία αναπτύχθηκε το 802.11n με ταχύτητες μεγαλύτερες των 200Mbps.

2.2 Στόχοι του έργου

Οι στόχοι του έργου είναι η αναβάθμιση τεχνολογικά των σχολείων όσο αναφορά την επικοινωνία μεταξύ τους για υπηρεσιακά θέματα, και επικοινωνία με κοινές τηλεφωνικές συσκευές μέσω VoIP (τηλεφωνία μέσω wi-fi δικτύου και διαδικτύου) αλλά και να κάνουν κλήσεις υπεραστικές και διεθνείς με πολύ χαμηλές χρεώσεις ή ακόμα και δωρεάν. Θα είναι επιπλέον δυνατή η χρήση και επικοινωνίας με κινούμενη εικόνα (video) με κατάλληλες συσκευές ή μέσω υπολογιστών καθώς και η υποστήριξη διασκέψεων από πολλά στελέχη.

Ένας ακόμα στόχος θα είναι η από απόσταση εκπαίδευση (e-learning) των μαθητών των σχολείων με την υλοποίηση κοινών μαθημάτων μεταξύ των σχολείων. Θα ήταν δυνατό η μαγνητοσκοπημένη μετάδοση κινούμενης εικόνας και ήχου ομιλιών, εκπαιδευτικού υλικού ή μαθημάτων μέσω του δικτύου (streaming).

Όλα αυτά είναι εφικτά λόγω της μεγάλης ταχύτητας σύνδεσης (54 Mbps) μεταξύ των σχολείων με το προτεινόμενο πρότυπο (802.11a) κάτι που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί με τις υφιστάμενες ευρυζωνικές συνδέσεις των σχολείων (ADSL 2048/256 Kbps) που έχουν περιορισμό όσο αναφορά την πληροφορία που ανεβαίνει προς το δίκτυο, κάτι που δεν υπάρχει στο προτεινόμενο σύστημα.

Θα ήταν δυνατό και ο διαμοιρασμός του διαδικτύου έχοντας μια μεγάλη σύνδεση που την διαμοιράζουμε από πολλά σχολεία με αποτέλεσμα την οικονομικότερη και αποδοτικότερη σύνδεση των σχολείων στο διαδίκτυο.

3. Υλοποίηση του έργου

3.1 Σύστημα κεραιών

Για την σύνδεση των δύο κτιρίων ασύρματα χρησιμοποιήθηκαν παραβολικά κάτοπτρα, ο πιο συνηθισμένος τύπος κατευθυντικής κεραίας, που προσφέρει υψηλή κατευθυντικότητα σε λήψη και εκπομπή με μικρές σχετικά διαστάσεις. Το κάτοπτρο είναι μια παραβολική μμεταλλική επιφάνεια η οποία σχηματίζει (συνήθως) ένα κυκλικό πλαίσιο το οποίο αποτελεί και την διάμετρο της κεραίας. Πρόκειται για παθητικό στοιχείο και η χρήση του περιορίζεται στο να ανακλά τα ραδιοκύματα που δέχεται από το τροφοδότη (feeder) παράλληλα προς μία κατεύθυνση όταν εκπέμπει ή να συγκεντρώνει τα ραδιοκύματα που δέχεται προς το τροφοδότη (feeder). Επίσης χρησιμοποιήθηκε μια πολυκατευθυντική κεραία για την ασύρματη παροχή των υπηρεσιών στον ευρύτερο χώρο του σχολείου.



Εικόνα 1. Κατοπτρική κεραία



Εικόνα 2. Τροφοδότης (feeder)



Εικόνα 3. Πολυκατευθυντική κεραία (omni)

3.2 Δρομολογητές

Για τους δρομολογητές χρησιμοποιήθηκαν δύο απλοί υπολογιστές όχι ιδιαίτερων αποδόσεων. Οι υπολογιστές τοποθετήθηκαν σε ηλεκτρολογικά κουτιά για να μην επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες με σκοπό να τοποθετηθούν στη στέγη στη βάση του ιστού. Έπειτα από πιο προσεκτική μελέτη επιλέχθηκε το κλιμακοστάσιο στο κτίριο του ΣΕΚ και μια αίθουσα (κάτω ακριβώς από τον ιστό) στο κτίριο του ΤΕΕ για την τοποθέτηση των δρομολογητών.

3.3 Τοποθέτηση εξαρτημάτων δικτύου

Για να συνδέσουμε τον δρομολογητή με τις κεραίες μας στον ιστό χρησιμοποιήσαμε τρεις ασύρματες κάρτες δικτύου μία για κάθε κεραία (2 κάτοπτρα και 1 πολυκατευθυντική). Οι κάρτες αυτές έχουν συμβατότητα με τα πρωτόκολλα 802.11 a/b/g και έχουν διεπαφή με τον υπολογιστή **minipci** ενώ η διεπαφή με τις κεραίες είναι με βύσμα **IPAX/UFL**.

Για να *συνδεθούν* οι κάρτες δικτύου στον υπολογιστή που διαθέτει μόνο pci διεπαφή έπρεπε να τοποθετήσουμε ένα μετατροπέα από pci σε minipci και για την δική μας περίπτωση που θέλαμε να συνδέσουμε τρεις τέτοιες κάρτες διαλέξαμε ένα τετραπλό μετατροπέα pci σε minipci.

Η σύνδεση των κεραιών θα γίνει με το καλώδιο που αναφέραμε πιο πάνω αλλά το καλώδιο δεν μπορεί να συνδεθεί στην minipci κάρτα δικτύου η οποία έχει ένα πολύ μικρό και λεπτό βύσμα. Χρησιμοποιήθηκαν τρία ειδικά καλώδια μετατροπείς (rigtail), για κάθε δρομολογητή, για να συνδέσουμε το καλώδιο της κεραίας με την κάρτα δικτύου.

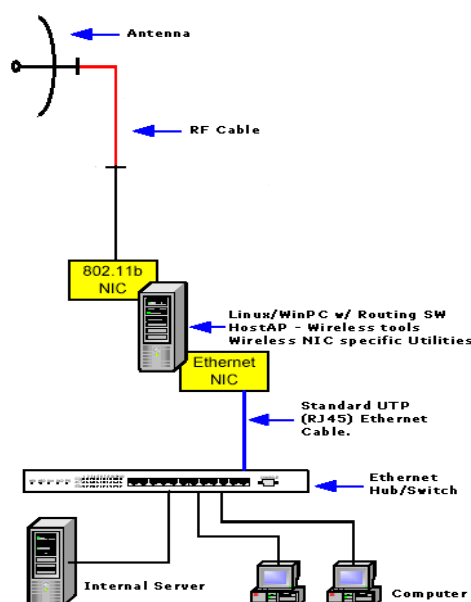
Στους υπολογιστές εγκαταστήσαμε ειδικό πρόγραμμα που μετατρέπει τον υπολογιστή σε δρομολογητή, έχει απομακρυσμένο έλεγχο και φιλικό μενού. Το

λογισμικό είναι το Mikrotik έκδοση 2.9.27. Οι κάρτες δικτύου ρυθμίστηκαν στην χαμηλότερη ισχύ ώστε να είμαστε στα πλαίσια λειτουργίας της ΕΕΕΤ, μέγιστη εκπεμπόμενη EIRP<20dBm στα 2.4GHz και EIRP<30dBm στα 5.4GHz.

Στο κτίριο του ΤΕΕ διατέθηκε η κλάση διευθύνσεων 10.44.208.0 - 10.44.208.255 και στο κτίριο του ΣΕΚ 10.30.66.0 - 10.30.66.255.

3.4 Διαχείριση Δρομολογητών

Οι δρομολογητές συνδέονται με μια κάρτα δικτύου με το υπόλοιπο σχολικό δίκτυο και η διαχείρισή τους γίνεται απομακρυσμένα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διασύνδεση των δρομολογητών με το υπάρχον δίκτυο.



Εικόνα 4. Η δομή του δικτύου σε κάθε σχολικό κτίριο.

Ρυθμίστηκαν τα πρωτόκολλα της δρομολόγησης BGP που δρομολογούν τη κίνηση μέσα στο ασύρματο δίκτυο μέσω των κόμβων του AWMN, καθώς και ο DHCP server για να δίνει αυτόματα διευθύνσεις στις συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο ασύρματα ή ενσύρματα.

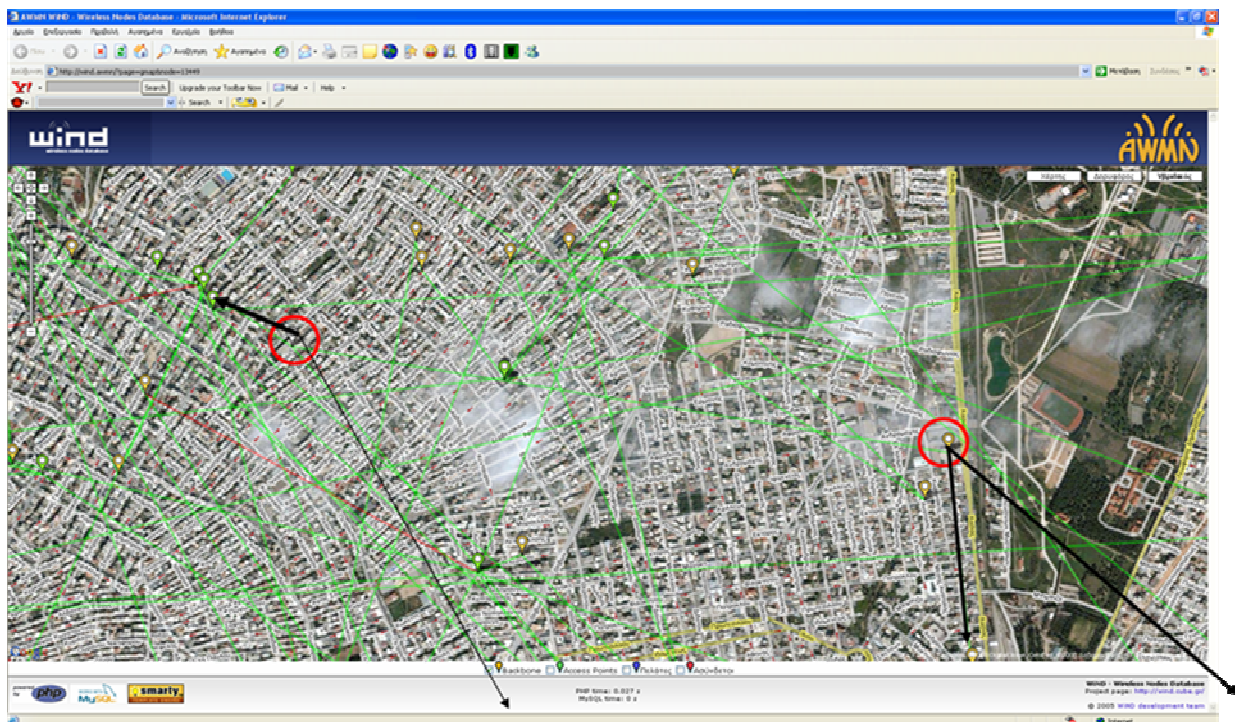
Για λόγους ασφαλείας μπορούμε να ρυθμίσουμε ποιες συσκευές (IP διευθύνσεις) έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες του δικτύου και ποιες δεν έχουν. Βασικός σκοπός είναι να έχουν πρόσβαση μόνο οι εξυπηρετητές των εργαστηρίων, οι υπολογιστές των διαφόρων γραφείων και όποιοι φορητοί υπολογιστές ή άλλες συσκευές συνδέονται στο δίκτυο μας. Οι υπολογιστές των εργαστηρίων δεν έχουν πρόσβαση

για να μην ασχολούνται με τις διάφορες υπηρεσίες οι μαθητές σε ώρα μαθήματος. Βέβαια αυτό αλλάζει με μια απλή επιλογή στο λογισμικό διαχείρισης.

3.5 Στόχευση κεραιών

Το δυσκολότερο εγχείρημα στην όλη διαδικασία της εγκατάστασης του ασύρματου δικτύου ήταν η στόχευση των κεραιών των δύο κτιρίων για να έχουμε ασύρματη σύνδεση. Η στόχευση έπρεπε να γίνει με μεγάλη ακρίβεια λόγω της κατευθυντικότητας των κατοπτρικών κεραιών. Για ευκολία χρησιμοποιήσαμε ένα εργαλείο του AWMN (Athens Wireless Metropolitan Network – Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο Αθηνών) στην σελίδα wind.awmn.net, το οποίο αφού βάλουμε τις συντεταγμένες των δύο κτιρίων (κόμβων), βλέπουμε στον χάρτη μέσω του google maps τους κόμβους και την οπτική επαφή μεταξύ τους. Ο κόμβος του ΤΕΕ είναι εγγεγραμμένος με τον αριθμό 13449 ενώ ο κόμβος του ΣΕΚ με τον αριθμό 13450.

Όπως ανακαλύψαμε και στην πράξη, αφού μελετήσαμε και της φωτογραφίες από τις θέσεις των ιστών, δεν μπορούσαμε να έχουμε οπτική επαφή μεταξύ των δύο σχολικών κτιρίων λόγω εμποδίων (κτιρίων) άρα ήταν αδύνατη η ασύρματη ζεύξη. Αυτός ο λόγος μας οδήγησε να κάνουμε μια έμμεση ασύρματη ζεύξη μέσω του AWMN.



Εικόνα 5. Οι συνδέσεις των κόμβων των δύο σχολικών κτιρίων.

Σε κάθε κτίριο έπρεπε να κάνουμε δύο ασύρματες συνδέσεις με κάποιο κόμβο στο AWMN. Χρειάζονται δύο για να έχει συνέχεια το δίκτυο και να περνάει κυκλοφορία από το κόμβο μας αλλιώς θα ήμασταν τερματικοί κόμβοι. Τελικά το αποτέλεσμα ήταν να συνδέσουμε ασύρματα τα δύο κτίρια έμμεσα μεταξύ τους μέσω άλλων κόμβων, λόγω μη ύπαρξης οπτικής επαφής, όπως φαίνεται και στο παραπάνω χάρτη.

4. Παρεχόμενες υπηρεσίες και λογισμικό

4.1 Υπηρεσίες

Έπειτα από την επιτυχή ασύρματη ζεύξη των δύο κτιρίων και την επικοινωνία μεταξύ τους με ταχύτητες μεγαλύτερες των 54Mbps ξεκίνησε η υλοποίηση των παρεχόμενων υπηρεσιών:

- Sip server για την εξυπηρέτηση και αριθμοδότηση Voip τηλεφώνων
- Ανταλλαγή αρχείων
- DNS server για την διευθέτηση διευθύνσεων δικτύου
- Ftp server για ανταλλαγή αρχείων
- Proxy server για διαμοιρασμό internet
- mail server για εξυπηρέτηση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
- υπηρεσίες μετάδοσης video και ήχου (streaming)
- συνδιάσκεψη μέσω κινούμενης εικόνας και εξ' αποστάσεως εκπαίδευση.
- Διαμοιρασμός Διαδικτύου
- Μετάδοση Εικόνας και ήχου (Εικονικές τάξεις, τηλεόραση, ραδιόφωνο)
- Ιστοσελίδες Ενδοδικτύου (Intranets)
- Ιδιωτικές Βάσεις Δεδομένων
- VPN (Ιδεατά Ιδιωτικά Δίκτυα)
- Πρόσβαση από το σπίτι μας

4.2 Λογισμικό

Για την υλοποίηση αυτών των υπηρεσιών χρησιμοποιήθηκε ένας ισχυρός υπολογιστής (τετραπύρηνος) που θα δουλεύει σαν *εξυπηρετητής (server)* με λειτουργικό σύστημα **Linux** και ειδικότερα το **Ubuntu 8.04 LTS (Long-Term Support)** με κατάλληλο λογισμικό:

- **Asterix TrixBox**, για την εξυπηρέτηση και αριθμοδότηση Voip τηλεφώνων
- **Teamspeak Server** για την εξυπηρέτηση συνδιασκέψεων με πολλά άτομα

- *Dc++ server*, για ανταλλαγή αρχείων
- *Dns, Ftp, Proxy Server*
- *Mail server* για το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο
- *Soundcast server*, για τις υπηρεσίες μετάδοσης φωνής και εικονικών τάξεων
- *Sql server*, για την υποστήριξη βάσεων δεδομένων
- *Apache server*, για εξυπηρέτηση ιστοσελίδων
- *Php server*, για την εξυπηρέτηση ιστοσελίδων σε php

4.3 Υπηρεσίες Τηλεφωνίας

Για την υλοποίηση της υπηρεσίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν ειδικές συσκευές *Voip* καθώς και ειδικό λογισμικό.

Οι ειδικές συσκευές επιτρέπουν την σύνδεση κοινών τηλεφωνικών συσκευών και επιτρέπουν την διάφανη χρήση τους στην κλασική τηλεφωνία όσο και στην τηλεφωνία Voip. Αυτή η διάφανη χρήση μας επιτρέπει να την χρησιμοποιήσουν άτομα, τα οποία δεν ξέρουν την τεχνολογία που κρύβεται από πίσω, τόσο για κλήσεις στο κλασικό τηλεφωνικό δίκτυο όσο και για κλήσεις μέσω του δικτύου (Voip). Στα μηχανήματα αυτά πρέπει να δοθεί και ένας αριθμός Voip για να το καλούν οι άλλες συσκευές Voip από το ασύρματο δίκτυο. Οι αριθμοί είναι της μορφής **13449xx** για το ΤΕΕ και **13450xx** για το ΣΕΚ, όπου 13449 και 13450 οι αριθμοί των αντίστοιχων κόμβων όπως έχουν εγγραφεί στο AWMN.

Βιβλιογραφία

AWMN Plugme In, Ηλεκτρονική έκδοση οδηγού σύνδεσης του AWMN

Linksys SPA-3102 User Manual, Ηλεκτρονική έκδοση οδηγού για την συσκευή Voip Linksys SPA-3102

Luis E. Frenzel, Jr., *Ηλεκτρονικές Επικοινωνίες*, Εκδόσεις Τζιόλα, 1994

Mikrotik User Manual, Ηλεκτρονική έκδοση οδηγού του λογισμικού Mikrotik

Nicopolitidis P., Obaidat M., Papadimitriou G., Pomportsis A., *Ασύρματα Δίκτυα*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2003

Stallings William, *Ασύρματες Επικοινωνίες & Δίκτυα*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007

Taub & Schilling, *Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα*, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα

Tanenbaum A., *Δίκτυα Υπολογιστών*, 4^η Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος

Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice (2nd Edition)*, Prentice Hall, Ελληνική μετάφραση από τις εκδόσεις Γκιούρδας

Αλεξόπουλος & Λαγογιάννης, *Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών*, 1987