



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ  
ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ CISCO UNIFIED WIRELESS NETWORK

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΗΣ Χ. ΤΖΑΝΟΣ

**Επιβλέπων :** Ευστάθιος Συκάς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2008





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ CISCO UNIFIED WIRELESS NETWORK

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΗΣ Χ. ΤΖΑΝΟΣ

**Επιβλέπων :** Ευστάθιος Συκάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Ιουλίου 2008.

.....  
Ευστάθιος Συκάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Μιχαήλ Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Μιλτιάδης Αναγνώστου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2008

.....

Ιωάννης Χ. Τζάνος

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

Copyright © Ιωάννης Χ. Τζάνος, 2008.

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

Τα ασύρματα δίκτυα WLANs έχουν γνωρίσει ραγδαία εξάπλωση τα τελευταία χρόνια και έχουν πλέον καθιερωθεί σε πολλούς δημόσιους χώρους, αεροδρόμια, βιβλιοθήκες, καφετέριες και πανεπιστημιούπολεις. Πέρα από την κατ' εξοχήν χρήση τους για μεταφορά δεδομένων τα δίκτυα αυτά κρύβουν μια τεράστια δυναμική πιθανών υπηρεσιών, που σχετίζονται με την ασφάλεια, την πλοήγηση, τη διαφήμιση, τον τουρισμό, τις κοινωνικές συναναστροφές και πολλούς ακόμα τομείς, οι οποίες θα βασίζονται στον εντοπισμό θέσης που παρέχουν τα ασύρματα αυτά δίκτυα.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε εγκατάσταση και μελέτη ενός ολοκληρωμένου συστήματος WLAN, του Ενοποιημένου Ασύρματου Δικτύου της Cisco (Unified Wireless Network), το οποίο είναι κατάλληλο για μεγάλα ασύρματα δίκτυα οργανισμών και επιχειρήσεων και παρέχει μεγάλη πληθώρα δυνατοτήτων μέσω ενός κεντρικού ελέγχου, παραμετροποίησης και διαχείρισης του δικτύου. Έμφαση δόθηκε φυσικά στη μελέτη των δυνατοτήτων εντοπισμού του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, αξιολογήθηκαν τα χαρακτηριστικά και η ακρίβεια εντοπισμού και εκτιμήθηκε η καταλληλότητα του συστήματος για την υποστήριξη συγκεκριμένων υπηρεσιών.

Πιο συγκεκριμένα το κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή και ασχολείται με το πρότυπο 802.11, που είναι το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για όλη την εργασία. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια εκτενής παρουσίαση των συστατικών του Ενοποιημένου Ασύρματου Δικτύου της Cisco (access points, controllers, Wireless Control System και location appliance) και των δυνατοτήτων που αυτό προσφέρει. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι πιο διαδεδομένες τεχνικές εντοπισμού σε ασύρματα τοπικά δίκτυα και γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και τις εφαρμογές τους. Στο κεφάλαιο 4 εξετάζονται οι πιθανοί τομείς για τους οποίους οι υπηρεσίες εντοπισμού θέσης σε WLAN έχουν μεγάλη σημασία και παρουσιάζονται ορισμένες δημοφιλείς εφαρμογές. Το κεφάλαιο 5 ασχολείται με την πραγματοποίηση των μετρήσεων και τη γραφική απεικόνιση και επεξήγηση των αποτελεσμάτων. Τέλος η Διπλωματική ολοκληρώνεται με το έκτο Κεφάλαιο που αξιολογεί τη δυνατότητα εντοπισμού του συστήματος και την ικανότητα του να υποστηρίξει συγκεκριμένα είδη εφαρμογών.

**Λέξεις κλειδιά:** ασύρματο τοπικό δίκτυο, 802.11, σύστημα εντοπισμού θέσης, υπηρεσίες βασισμένες στη θέση, εκτίμηση θέσης, Cisco Unified Wireless Network.

## **Abstract**

Wireless networks WLANs have presented a rapid development in the recent years, and are now widely used in a variety of public places, such as airports, public libraries, cafeterias and campuses. In addition to their preponderant use for data exchange, these networks bring forward a significant potential of possible applications that are linked with security, navigation, advertisement industry, tourism, social relations, and a number of other sectors; services that will be based on the location capabilities of these networks.

The present thesis describes the deployment and elaborated research of an integrated WLAN network, namely Cisco's Unified Wireless Network, which is designed to be used in big wireless networks of organizations and companies, and which possesses a wide range of capabilities because of its centralized control, configuration and management of the network. Emphasis was put on the research of the possibilities of the location positioning of the system in a real time. Therefore, measurements were carried out, in order to permit the evaluation of the characteristics and the accuracy of the location; also, conclusions were drawn concerning the appropriateness of the system for supporting particular services.

More specifically, in the Introductory Chapter 1 the standard 802.11 is presented, as it constitutes the necessary background for the entire thesis. Chapter 2 puts forward an elaborated presentation of the components of Cisco's Unified Wireless Network (access points, controllers, Wireless Control System and location appliance) as well as of the possibilities that it offers. In Chapter 3 an analysis of the most common location (estimation) techniques in wireless local networks is provided, with references to their respective advantages, disadvantages and applications. Chapter 4 examines the possible sectors where the WLAN location services are of great importance, and lays down a number of popular applications. Chapter 5 presents the measurements and provides a graphical display and explanation of the results of the research. Finally, in Chapter 6 the thesis offers some concluding remarks and evaluates on the system's positioning capabilities and its ability to support specific applications.

**Keywords:** wireless local area network (WLAN), 802.11, positioning system, location based services (LBS), location determination, Cisco Unified Wireless Network

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για τη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Ευστάθιο Συκά για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του και την πολύτιμη καθοδήγηση σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Νικόλα Λιαμπώτη για την υποστήριξη που μου παρείχε, τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφερε και την και γενικότερα την ανεκτίμητη βοήθειά του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Θεωρητικό υπόβαθρο για το πρωτόκολλο 802.11.....	13
1.1 Ασύρματα Δίκτυα.....	13
1.2 WLAN.....	15
1.2.1 802.11b.....	16
1.2.2 802.11a.....	17
1.2.3 802.11g.....	19
1.3 Χαρακτηριστικά των υπόλοιπων προτύπων LAN.....	21
1.4 Αρχιτεκτονική LAN 802.11.....	23
1.5 Στρώμα MAC του 802.11.....	25
1.5.1 DCF.....	25
1.5.1.1 Χρήση των RTS/CTS.....	27
1.5.2 PCF.....	28

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Το Cisco Unified Wireless Network.....	29
2.1 Cisco Unified Wireless Network.....	29
2.1.1 Ευκολία στην εγκατάσταση.....	29
2.1.2 Αξιόπιστη συνδεσιμότητα μέσω της δυναμικής διαχείρισης RF.....	30
2.1.3 Βελτιστοποιημένη απόδοση ανά χρήστη.....	31
2.1.4 Δικτύωση για επισκέπτες.....	31
2.1.5 Περιαγωγή (roaming) επιπέδου 3.....	31
2.1.6 Ενσωματωμένο ασύρματο IDS (Intrusion Detection System).....	32
2.1.7 Υπηρεσίες εντοπισμού.....	32
2.2 Lightweight Access Points.....	33
2.2.1 Παραδείγματα δικτύων με αυτόνομα access points.....	35
2.2.2 Παράδειγμα δικτύου με lightweight access points.....	37
2.2.3 Διαδικασία ανακάλυψης ελεγκτών.....	38
2.2.4 Τροφοδοσία των lightweight access points.....	39
2.3 Controllers.....	40
2.3.1 Μνήμη του controller.....	40
2.3.2 Ports.....	41
2.3.3 Interfaces.....	41
2.4 Συσκευή εντοπισμού και σύστημα υπηρεσιών βασισμένων στη θέση.....	45
2.4.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος και ροή των πληροφοριών.....	45
2.4.2 Αξιολόγηση της επίδοσης.....	47



2.4.3 Ρόλος της συσκευής εντοπισμού.....	48
2.5 Επισκόπηση του WCS.....	49
2.6 Το πρωτόκολλο LWAPP.....	50

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Προσεγγίσεις εντοπισμού θέσης.....	54
3.1 Κυψέλη προέλευσης.....	54
3.2 Τεχνικές βασισμένες στην απόσταση (lateration).....	56
3.2.1 Ο χρόνος άφιξης (Time of Arrival).....	56
3.2.2 Χρονική διαφορά της άφιξης (TDoA).....	58
3.2.3 Λαμβανόμενη ισχύς σήματος (RSS).....	61
3.3 Τεχνικές βασισμένες στη γωνία (angulation).....	64
3.4 Τεχνικές προτυποποίησης θέσης (αναγνώριση προτύπων).....	66
3.4.1 Φάση ρύθμισης.....	66
3.4.2 Φάση λειτουργίας.....	68
3.5 Αρχιτεκτονική των Cisco Location-Based Services.....	70

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Υπηρεσίες βασισμένες στη θέση σε ασύρματα τοπικά δίκτυα.....	73
4.1 Υπηρεσίες context-aware και υπηρεσίες βασισμένες στη θέση.....	73
4.2 Τεχνολογίες που επιτρέπουν τον εντοπισμό.....	74
4.3 Πιθανές εφαρμογές LBS που βασίζονται στο WLAN.....	76
4.3.1 Τομέας της υγείας.....	76
4.3.2 Ασφάλεια.....	78
4.3.3 Ψυχαγωγία.....	78
4.3.4 Τομέας αγορών.....	79
4.3.5 Υπηρεσίες Πλοήγησης.....	79
4.3.6 Διαφήμιση και Marketing.....	80
4.4 Παρουσίαση ορισμένων χρησιμοποιούμενων στην πράξη υπηρεσιών.....	81
4.4.1 The conference assistant (ο βοηθός στις συνεδριάσεις).....	81
4.4.2 Το Place Lab.....	82
4.4.3 Έξυπνο σύστημα για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών σε περιβάλλον αεροδρομίου.....	83
4.4.4 GUIDE.....	84
4.4.5 Active Campus.....	85

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Μετρήσεις και αξιολόγηση του συστήματος Cisco Unified Wireless Network ως προς την ακρίβεια εντοπισμού.....	87
5.1 Χρήση του γραφικού περιβάλλοντος του WCS.....	87
5.1.1 Σχεδίαση των εμποδίων με το Map Editor.....	87
5.1.2 Παρακολούθηση των χαρτών του δικτύου.....	89
5.1.3 Προβολή της βέλτιστης διάταξης δικτύου.....	89
5.1.4 Περιοχή κάλυψης και μοντέλα διάδοσης.....	91
5.2 Μετρήσεις.....	92
5.2.1 Επιλογή των σημείων.....	92
5.2.2 Πραγματοποίηση των μετρήσεων.....	93
5.2.3 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς τη μέση λαμβανόμενη ισχύ από τα access points.....	94
5.2.4 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς την ευκλείδεια απόσταση από το κέντρο της περιοχής κάλυψης.....	97
5.2.5 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς την ισχύ ενός access point.....	98
5.2.6 Λειτουργία με μικρότερο αριθμό access points.....	101

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Συμπεράσματα.....	103
Παράρτημα.....	105
Βιβλιογραφία.....	107

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Το μοντέλο αναφοράς IEEE 802.11 και το μοντέλο αναφοράς OSI .....	15
Σχήμα 1.2 Σύγκριση ρυθμών μετάδοσης και κάλυψης για τα πρότυπα 802.11a και 802.11b.....	18
Σχήμα 1.3 Θεωρητική ρυθμοαπόδοση για τα πρότυπα του 802.11 σε συνάρτηση με την απόσταση.....	21
Σχήμα 1.4 Τα πρότυπα του πρωτοκόλλου 802.11.....	23
Σχήμα 1.5 Wireless LAN infrastructure mode.....	24
Σχήμα 1.6 Wireless LAN τρόπος λειτουργίας ad hoc.....	25
Σχήμα 1.7 Αποφυγή σύγκρουσης με τη χρήση πλαισίων RTS και CTS.....	27
Σχήμα 1.8 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργία του PCF.....	28
Σχήμα 2.1 Access Point 1242G με εξωτερικές κεραίες.....	34
Σχήμα 2.2 Η πλευρά συνδέσμων του access point.....	34
Σχήμα 2.3 Access Points ως μονάδες ρίζας σε ένα ενσύρματο LAN.....	35

Σχήμα 2.4 Access Point ως επαναλήπτης.....	36
Σχήμα 2.5 Access Point ως κεντρική μονάδα σε ένα πλήρως ασύρματο Δίκτυο.....	36
Σχήμα 2.6 Root bridge και non-root bridge με πελάτες.....	37
Σχήμα 2.7 Διάταξη γέφυρας σημείου προς σημείο.....	37
Σχήμα 2.8 Τυπικό παράδειγμα διάταξης δικτύου με lightweight access points.....	38
Σχήμα 2.9 Δυνατότητες τροφοδοσίας του access point.....	39
Σχήμα 2.10 Ενοποιημένο ασύρματο LAN Cisco με ασφαλή επικοινωνία μεταξύ των lightweight access points και των controllers.....	40
Σχήμα 2.11 Οι θύρες ενός Cisco 4404 controller.....	41
Σχήμα 2.12 Θύρες, διεπαφές και WLANs.....	44
Σχήμα 2.13 Αρχιτεκτονική του Cisco LBS (Location Based Services).....	45
Σχήμα 2.14 Ροή πληροφορίας για δεδομένα RSSI που προέρχονται από asset tags.....	46
Σχήμα 2.15 Το Ενοποιημένο Ασύρματο Δίκτυο.....	49
Σχήμα 2.16 Μηνύματα του πρωτοκόλλου LWAPP που ανταλλάσσονται μεταξύ ενός lightweight access point και ενός controller κατά την εγκατάσταση μιας σύνδεσης.....	51
Σχήμα 2.17 Ανακάλυψη LWAPP- ροή πακέτων ερώτησης και Απόκρισης.....	52
Σχήμα 2.18: Σύνδεση LWAPP Ροή πακέτων αίτησης και απόκρισης.....	52
Σχήμα 2.19 : LWAPP ροή πακέτων κατά την κατάσταση ρύθμισης και το provisioning των APs.....	53
Σχήμα 3.1 Κυψέλη προέλευσης.....	55
Σχήμα 3.2 Η τεχνική της υψηλότερης ισχύος σήματος.....	56
Σχήμα 3.3 Τεχνική Χρόνου Άφιξης (TOA) .....	58
Σχήμα 3.4 Χρονική διαφορά της άφιξης.....	60
Σχήμα 3.5 Η τεχνική της γωνία άφιξης (Angle of arrival).....	65
Σχήμα 3.6 Ρύθμιση του συστήματος προτυποποίησης θέσης (location patterning).....	67
Σχήμα 3.7 Εκτίμηση ελάχιστου μέσου τετραγωνικού σφάλματος.....	71
Σχήμα 4.1 Σύγκριση μερικών από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές εντοπισμού ως προς τις απαιτήσεις του δικτύου, της κινητής συσκευής, την ακρίβεια εντοπισμού, την αξιοπιστία κάλυψης, το κόστος υλοποίησης, τη διαθεσιμότητα και την ασφάλεια.....	77
Σχήμα 5.1 Ο Map Editor του WCS.....	88
Σχήμα 5.2 Παρακολούθηση της προβλεπόμενης ραδιοκάλυψης των access points στο χάρτη του επιθυμητού ορόφου, από το WCS.....	88
Σχήμα 5.3 Προτεινόμενη διάταξη και αριθμός των access points από το εργαλείο Planning Mode του WCS.....	90
Σχήμα 5.4 Μη συνιστώμενη διάταξη των access points για σύστημα που πραγματοποιεί υπολογισμούς εντοπισμού χρηστών.....	90

Σχήμα 5.5 Συνιστώμενη διάταξη των access points για σύστημα που πραγματοποιεί υπολογισμούς εντοπισμού χρηστών.....	90
Σχήμα 5.6 Απεικόνιση της περιοχής με την αναμενόμενη ακρίβεια εντοπισμού.....	91
Σχήμα 5.7 Σημεία που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις.....	92
Σχήμα 5.8 Το κριτήριο της τρίλιζας και οι θέσεις στις οποίες αντιστοιχούν τα 9 σημεία που έχουν επιλεγεί.....	93
Σχήμα 5.9 Εντοπισμός ασύρματου πελάτη από το WCS.....	94
Σχήμα 5.10 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς τη μέση ισχύ για το outdoor μοντέλο.....	94
Σχήμα 5.10 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς τη μέση ισχύ για το drywall μοντέλο.....	95
Σχήμα 5.11 Σύγκριση των μοντέλων outdoor και drywall.....	96
Σχήμα 5.12 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς την ευκλείδεια απόσταση από το κέντρο της περιοχής κάλυψης.....	97
Σχήμα 5.13 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς την ισχύ ενός access point (μοντέλο outdoor).....	98
Σχήμα 5.14 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς την ισχύ ενός access point (μοντέλο drywall).....	99
Σχήμα 5.15 Σύγκριση της ακρίβειας για λειτουργία με 3 και με 4 access points.....	101

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ 802.11

#### 1.1 Ασύρματα Δίκτυα

Τα ασύρματα δίκτυα αποτελούν μια ανερχόμενη τεχνολογία για την επιχειρηματική παραγωγικότητα. Ο όρος ασύρματος (wireless) περιλαμβάνει μία πληθώρα συσκευών και τεχνολογιών που συνοψίζονται στην παρακάτω λίστα:

#### ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

- Ασύρματο τηλέφωνο	- Bluetooth	- HiperPAN
- Κινητό τηλέφωνο	- CDMA/HSDPA	- HiperLAN
- Αυτόματο κλείδωμα αυτοκινήτου	- GPRS/GSM	- HiperMAN
- Τηλεχειριστήριο	- 802.11x	- Hiperaccess
- Ασύρματοι κινητοί κόμβοι	- WI-FI	- Wakie-Takie
- Ασύρματοι σταθεροί κόμβοι	- 802.15	- Ricochet
- Δορυφόροι/Επίγεια συστήματα	- 802.16x	- RIM
	- WiMAX	- Ειδοποιητής (pager)
	- 802.20x	- Hot spots
	- Υπέρυθρες ακτίνες	

Πίνακας 1.1: Ασύρματες τεχνολογίες και συσκευές

Μια πιο εύκολη κατανόηση των ασύρματων επικοινωνιών γίνεται με το διαχωρισμό τους σε κατηγορίες. Για την ακρίβεια, υπάρχουν ασύρματες *συσκευές* όπως τα ασύρματα και τα κινητά τηλέφωνα, τα τηλεχειριστήρια, και άλλα. Επιπλέον υπάρχουν ασύρματες *εφαρμογές*, όπως το ασύρματο internet και e-mail, κτλ. Βέβαια, όλες αυτές οι συσκευές και υπηρεσίες χρησιμοποιούν ασύρματες *τεχνολογίες* που περιλαμβάνουν το IEEE 802.11, το GPRS, το Bluetooth, το HomeRF, το WiMAX και άλλες. Το WiMAX προορίζεται για Ασύρματη Πρόσβαση Σταθερών/Κινητών Τερματικών Ευρείας Ζώνης (Broadband Fixed/Mobile Wireless Access). Τέλος, με συνδυασμό των συσκευών, των εφαρμογών, και των τεχνολογιών με το *δίκτυο*, ανακύπτει μια πρώτη πλήρως οργανωμένη μορφή ασύρματου δικτύου. Βέβαια, για μια πλήρη εικόνα του είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητοί οι διάφοροι τύποι των υποκείμενων δικτύων.

Υπάρχουν 4 τύποι ασύρματων δικτύων, καθένας από τους οποίους έχει τη δυνατότητα ανεξάρτητης εξάπλωσης της περιοχής κάλυψής του, με συνδυασμό των οποίων επιτυγχάνεται η συνδεσιμότητα. Οι τύποι αυτοί είναι:

Ασύρματο προσωπικό δίκτυο περιοχής **WPAN**: Τα δίκτυα WPAN λειτουργούν τυπικά εντός μιας περιοχής ακτίνας 10 m και χρησιμοποιούν τα πρότυπα τεχνολογιών

bluetooth, IEEE 802.11 (Η.Π.Α.), ή ETSI HiperPAN (Ευρώπη). Ένα WPAN γενικά επικεντρώνεται στη διασύνδεση συσκευών που βρίσκονται γύρω από το χώρο εργασίας ενός ατόμου, όπως το lap-top, το PDA, και το κινητό τηλέφωνο. Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι οι συσκευές WPAN συνδέονται ομαλά η μια με την άλλη σαν να είναι συνδεδεμένες με ένα κοντό καλώδιο. Εδώ, ο βασικός στόχος είναι η διασύνδεση συσκευών ενός μόνο ατόμου παρά περισσοτέρων.

**Ασύρματο τοπικό δίκτυο WLAN:** Τα δίκτυα WLAN λειτουργούν σε μια περιοχή ακτίνας 300 m και χρησιμοποιούν τα πρότυπα IEEE 802.11 ή ETSI HiperLAN. Ένα δίκτυο WLAN είναι το WI-FI για τις επιχειρήσεις και παρά ορισμένους περιορισμούς που το διέπουν, χαρακτηρίζεται από πολλά πλεονεκτήματα.

**Ασύρματο μητροπολιτικό δίκτυο WMAN:** Τα δίκτυα WMAN βασίζονται στα πρότυπα του IEEE 802.16, ή ETSI HiperMAN και HiperACCESS και αποτελούν ένα από τα πλέον ενδιαφέροντα ερευνητικά πεδία του μέλλοντος. Υπάρχει αυτή τη στιγμή ένας αριθμός εταιριών και ομάδων που εργάζονται για την ανάπτυξη δικτύων WMAN, συμπεριλαμβανομένου και του WiMAX (Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για την Πρόσβαση Μικροκυμάτων), που αποτελούν μια μη κερδοσκοπική ομάδα που υποστηρίζει την ανάπτυξη των προϊόντων WMAN βασισμένων στο πρότυπο IEEE 802.16 και μελετά την πιστοποίηση προτύπων και τη δοκιμή διαλειτουργικότητας. Τα δίκτυα WMAN και WiMAX αποτελούν το επόμενο βήμα στο δρόμο για έναν "ασύρματο κόσμο". Η προτυποποίησή τους ξεκίνησε το έτος 2005. Στόχος για τα δίκτυα WMAN είναι η επέκταση του εύρους του WI-FI και η χρήση τους είτε ως μια εναλλακτική λύση είτε ως ένα συμπλήρωμα στην τεχνολογία 3G των WWAN, υποστηρίζοντας τόσο σταθερές όσο και κινητές εφαρμογές καθώς επίσης και δεδομένα φωνής και πολυμέσων. Η μελέτη προτύπων για τα δίκτυα αυτά επικεντρώνεται σε τρεις περιοχές: το πρότυπο IEEE 802.16a (<11 GHz, εκτός οπτικής επαφής, ακτίνας 31 μιλίων, ρυθμού μετάδοσης 70 Mbps, σταθερό), το πρότυπο IEEE 802.16 (10-66 GHz, απαιτούμενη η οπτική επαφή, σταθερό), και το πρότυπο IEEE 802.16e (<6 GHz, χωρίς οπτική επαφή, ρυθμός μετάδοσης μέχρι 15 Mbps σε συχνότητα 5MHz, με υποστήριξη κινητικότητας πεζών και τοπικού roaming).

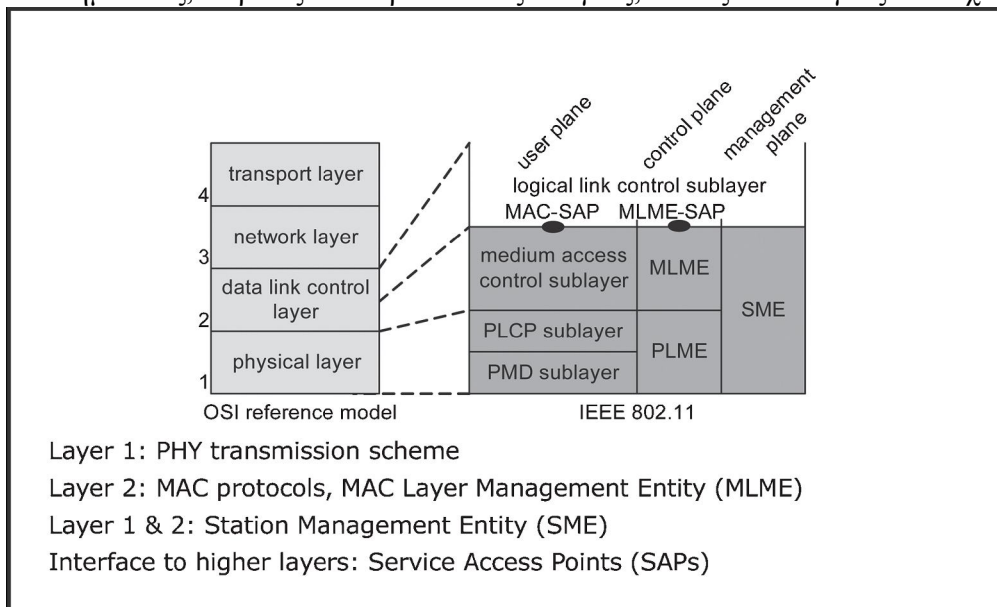
**Ασύρματο ευρείας περιοχής δίκτυο WWAN:** Τα δίκτυα WWAN συνεχίζουν να εξελίσσονται από τα δίκτυα πρώτης γενιάς (1G - 9.6Kbps) μέσω των δικτύων δεύτερης γενιάς (2G - GSM 9.6Kbps και 19.2Kbps CDMA και TDMA) και 2.5 γενιάς (2.5G - 100 – 150Kbps Ricochet και GPRS) προς τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G - 144Kbps μέχρι 2Mbps για CDMA2000 και 10Mbps για WCDMA- HSxPA) που υποστηρίζουν κινητικότητα έως και 120 km/hr. Τα πρότυπα περιλαμβάνουν το IEEE 802.20 (προτεινόμενο) στις ΗΠΑ και τα 3GPP και EDGE στην Ευρώπη. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν τον πλήρη κινητό υπολογισμό, αλλά ανταποκρίνονται και στις βασικές προκλήσεις της κάλυψης, αξιοπιστίας, ταχύτητας και δαπάνης.

## 1.2 WLAN

Αναμφισβήτητα, τα πρωτόκολλα και οι τρόποι μετάδοσης του IEEE 802.11 είναι από τα πιο αξιοσημείωτα επιτεύγματα. Ένας αμέτρητος αριθμός συσκευών είναι σήμερα βασισμένος σε αυτό το πρότυπο. Ξεκίνησε ως μια ασύρματη επέκταση για τα δίκτυα τοπικής περιοχής το 1997, και από τότε βελτιώθηκε και επεκτάθηκε σταδιακά προς μια πολύ ευέλικτη, καλά-κατανοητή τεχνολογία. Επειδή το 802.11 δημιουργήθηκε για ραδιοσυστήματα στο μη αδειοδοτημένο φάσμα, δεν υπάρχει ουσιαστικά κανένας περιορισμός στη χρήση του: το μη αδειοδοτημένο φάσμα είναι συχνά εναρμονισμένο σε όλο τον κόσμο, που σημαίνει ότι τέτοια ραδιοσυστήματα μπορεί να χρησιμοποιούνται σε οποιαδήποτε θέση και χρόνο. Λόγω της έμφυτης απλότητάς του, το 802.11 είναι το κυρίαρχο πρότυπο για τα εμπορικά ασύρματα συστήματα επικοινωνιών, και η ερευνητική κοινότητα συχνά αναφέρεται σε αυτό το πρότυπο κατά τη διάρκεια του πειραματισμού, και κατά την ανάπτυξη μελλοντικών ασύρματων συστημάτων.

Η IEEE δημοσίευσε το αρχικό IEEE 802.11 πρότυπο το 1997 ως προδιαγραφή για τους τρόπους μετάδοσης και το πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης του μέσου για τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANs). Μια αναθεωρημένη έκδοση με βελτιώσεις ως προς την ακρίβεια ακολούθησε το 1999. Συγχρόνως, τα 802.11a και 802.11b, που ήταν τα πρώτα υπο-πρότυπα (substandards) που επέκτειναν το 802.11, δημοσιεύθηκαν παράλληλα το 1999. Η *IEEE Έκδοση για το ασύρματο LAN* είναι μια συλλογή των 802.11, 802.11a και 802.11b (IEEE, 2003a). Το σημερινό 802.11 διαιρείται σε πολύ περισσότερα υπο-πρότυπα, το καθένα από τα οποία επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες επεκτάσεις.

Με αυτό το διαφορετικό σύνολο επαγγελματικών βελτιώσεων, το 802.11 συνεχίζει να εξελίσσεται σε διαφορετικές κατευθύνσεις που εξυπηρετούν εμπορικές, επιστημονικές, ιατρικές και στρατιωτικές ανάγκες, καθώς και ανάγκες που σχετίζονται



Σχήμα 1.1 Το μοντέλο αναφοράς IEEE 802.11 (δεξιά) και το μοντέλο αναφοράς OSI (αριστερά)

με τη δημόσια ασφάλεια. Κατά συνέπεια, λόγω αυτής της ευελιξίας, 802.11 εξελίσσεται προς την κατεύθυνση μιας πανταχού παρούσας τεχνολογίας.

### 1.2.1 802.11b

Το πρότυπο 802.11b για ασύρματα LAN, επίσης γνωστό ως Wi-Fi (από το Wireless Fidelity), είναι μέρος της σειράς IEEE 802.11 ασύρματων προτύπων για τοπικό LAN. Η 802.11b προδιαγραφή επικυρώθηκε το 1999. Είναι το πρώτο εμπορικό σύστημα ασύρματου LAN και έχει αναπτυχθεί ευρέως σε όλο τον κόσμο. Είναι προς τα πίσω συμβατό με το 802.11 και μπορεί να παρέχει ρυθμό δεδομένων από 1 έως 11 Mbps σε ένα μοιραζόμενο ασύρματο δίκτυο τοπικής περιοχής. Το 802.11b λειτουργεί στη βιομηχανική, επιστημονική, και ιατρική (Industrial, Scientific, and Medical ISM) ζώνη των 2.4-GHz. Η ISM ζώνη είναι μέρος του ραδιοφάσματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε χωρίς άδεια στις περισσότερες χώρες.

Το πρώτης γενιάς WLAN που αναφέρεται ως 802.11b υποστηρίζει τρεις προδιαγραφές για το φυσικό στρώμα, δηλαδή τα: Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), και υπέρυθρο (infra-red, IR). Ο ρυθμός μετάδοσης ήταν αρχικά σχεδιασμένος να είναι 1-2 Mbps και να λειτουργεί στη ζώνη των 2.4-GHz. Από τότε διάφορες αναθεωρήσεις έχουν προστεθεί για να αυξήσουν το ρυθμό μετάδοσης. Αυτή τη στιγμή, το 802.11b μπορεί να υποστηρίξει μέχρι και 11 Mbps. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται από το 802.11 παραδοσιακά είναι ο PSK (phase-shift keying). Η μέθοδος διαμόρφωσης που επιλέχθηκε για το 802.11b είναι γνωστή ως CCK (complementary code keying), η οποία επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και είναι λιγότερο ευαίσθητη στην παρεμβολή λόγω διάδοσης πολλαπλών διαδρομών. Το 802.11b προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης από 1 έως 11 Mbps με απόσταση κάλυψης 100 ποδιών (περίπου 30m). Η ταχύτητα μετάδοσης εξαρτάται από την απόσταση. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ ενός αποστολέα και ενός δέκτη, τόσο μικρότερος θα είναι και ο ρυθμός μετάδοσης σε ένα σύστημα 802.11. Οι ρυθμοί μετάδοσης και οι τρόποι διαμόρφωσης συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Data Rate (Mbps)	Modulation Scheme	Channel Coding
1	BPSK	Barker (11 chip)
2	QPSK	Barker (11 chip)
5.5	QPSK	CCK (8 chip)
11	QPSK	CCK (8 chip)

Πίνακας 1.2 Ρυθμοί μετάδοσης και σχήματα διαμόρφωσης στο 802.11b

Όπως και άλλα 802.11 πρότυπα, το 802.11b χρησιμοποιεί το CSMA-CA (carrier sense multiple access with collision avoidance – πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή σύγκρουσης) MAC (Media Access Control- έλεγχος πρόσβασης του μέσου) πρωτόκολλο. Ένας ασύρματος σταθμός με ένα πακέτο προς μετάδοση πρώτα ακούει το ασύρματο μέσο για να καθορίσει εάν ένας άλλος σταθμός μεταδίδει εκείνη τη στιγμή (αυτό είναι το τμήμα του CSMA-CA που αναφέρεται ως ανίχνευση του μέσου) .



Εάν το μέσο χρησιμοποιείται, ο ασύρματος σταθμός υπολογίζει μια τυχαία καθυστέρηση οπισθοχώρησης (backoff delay). Μόνο αφού παρέλθει ο χρόνος της τυχαίας καθυστέρησης μπορεί ο ασύρματος σταθμός να ακούσει πάλι για ένα σταθμό που μεταδίδει. Με την εισαγωγή μιας τυχαίας καθυστέρησης οπισθοχώρησης, πολλαπλοί σταθμοί που περιμένουν να μεταδώσουν δεν καταλήγουν να προσπαθούν να μεταδώσουν την ίδια χρονική στιγμή (αυτό είναι το τμήμα του CSMA-CA που αναφέρεται ως αποφυγή σύγκρουσης).

### 1.2.2 802.11 a

Το 802.11a είναι μια νεώτερη προδιαγραφή για το επόμενης γενιάς επιχειρηματικής-κατηγορίας ασύρματο LAN. Σε σύγκριση με το 802.11b, το 802.11a έχει τα πλεονεκτήματα μεγαλύτερης ανοσίας στις παρεμβολές και μεγαλύτερης επεκτασιμότητας (scalability). Επιπλέον μπορεί να παρέχει πολύ υψηλότερες ταχύτητες, μέχρι και 54 Mbps.

Το 802.11a λειτουργεί στη U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure, μη αδειοδοτημένη εθνική υποδομή πληροφορίας) ζώνη των 5- GHz και καταλαμβάνει 300 MHz εύρος ζώνης (bandwidth). Η FCC (Federal Communications Committee ομοσπονδιακή επιτροπή τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ) έχει διαιρέσει το σύνολο των 300 MHz σε τρεις ξεχωριστούς τομείς των 100 MHz, κάθε έναν με μια διαφορετικά ρυθμισμένη μέγιστη ισχύ μετάδοσης. Η "χαμηλή" ζώνη λειτουργεί μεταξύ 5,15 και 5,25 GHz, με μέγιστη ισχύ εξόδου 50 mW. Η "μέση" ζώνη λειτουργεί μεταξύ 5,25 και 5,35 GHz, με μέγιστη ισχύ 250 mW. Τέλος η "υψηλή" ζώνη λειτουργεί μεταξύ 5,725 και 5,825 GHz, με μέγιστη ισχύ 1 W. Η χαμηλή και μέση ζώνη είναι καταλληλότερες για ασύρματη μετάδοση στο εσωτερικό κτιρίων, ενώ η υψηλή ζώνη είναι καταλληλότερη για τη μετάδοση μεταξύ κτιρίων. Η ζώνη U- NII είναι λιγότερο κορεσμένη από την ISM ζώνη και έχει λιγότερα σήματα παρεμβολής από άλλες ασύρματες συσκευές. Επιπλέον, τα 300 MHz του εύρους ζώνης είναι σχεδόν τέσσερις φορές το διαθέσιμο εύρος ζώνης στην ISM ζώνη και μπορεί έτσι να υποστηρίξει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων.

Το 802.11a χρησιμοποιεί OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας) σαν τρόπο μετάδοσης. Υπάρχει ένα σύνολο 8 μη-επικαλυπτόμενων καναλιών που καθορίζονται στις δύο χαμηλότερες ζώνες, κάθε ένα από τα οποία έχουν εύρος 20 MHz. Το κάθε κανάλι διαιρείται σε 52 υπο-φέροντα (sub-carriers). Κάθε υπο- φέρον έχει περίπου 300 kHz εύρος. Τα bits πληροφορίας κωδικοποιούνται και διαμορφώνονται μέσα σε κάθε υπο- φέρον, και τα 52 υπο- φέροντα πολυπλέκονται μαζί και μεταδίδονται εν παραλλήλω. Επομένως, υψηλός ρυθμός μετάδοσης επιτυγχάνεται με το συνδυασμό πολλών υπο- φερόντων χαμηλότερου ρυθμού. Η μετάδοση πολλών υπο- φερόντων ή υπο- καναλιών (sub-channels) καθιστά το δίκτυο περισσότερο επεκτάσιμο από άλλες τεχνικές. Για την καταπολέμηση των λαθών στα κανάλια και τη βελτίωση της ποιότητας μετάδοσης έγινε εισαγωγή της FEC (Forward Error Correction – απευθείας διόρθωσης λαθών) στο 802.11a. Εκτός από την παροχή υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης και την καλύτερη επεκτασιμότητα, ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής OFDM είναι ότι βελτιώνει την αντίσταση στις παρεμβολές πάνω στα κανάλια με διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών. Εξαιτίας του

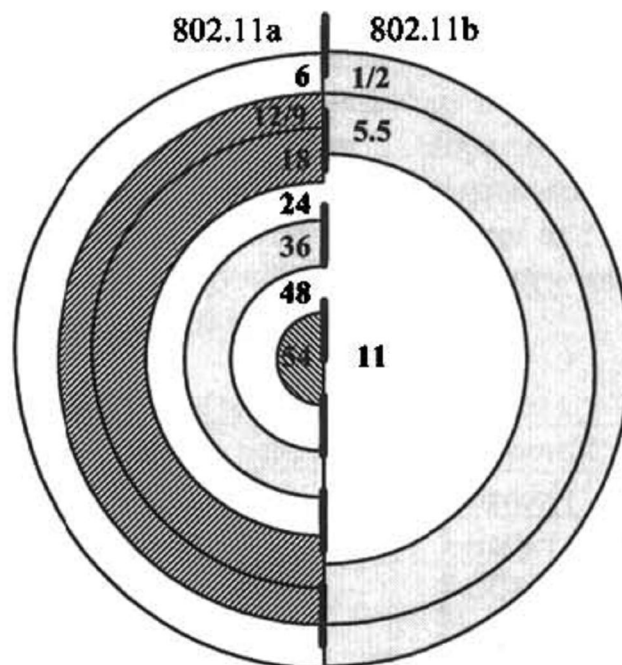
χαμηλού ρυθμού συμβόλων κάθε υπο- φέροντος, η επίδραση της εξάπλωσης καθυστέρησης μειώνεται και έτσι η παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών ελαχιστοποιείται.

Το πρότυπο 802.11a απαιτεί την υποστήριξη ρυθμών μετάδοσης 6, 12 και 24 Mbps από τις συσκευές. Άλλοι ρυθμοί μετάδοσης μέχρι και 54 Mbps είναι προαιρετικοί. Αυτοί οι διαφορετικοί ρυθμοί μετάδοσης είναι το αποτέλεσμα διαφορετικών τρόπων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 1.3. Η κάλυψη που παρέχεται από το σύστημα 802.11a είναι παρόμοια με την κάλυψη του 802.11b, αλλά με ένα σημαντικά υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης. Η σύγκριση των ρυθμών μετάδοσης και της κάλυψης μεταξύ του 802.11b και 802.11a φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.2.

Data Rate (Mbps)	Modulation Scheme	Channel Coding Rate
6*	BPSK	1/2 convolutional code
9	BPSK	3/4 convolutional code
12*	QPSK	1/2 convolutional code
18	QPSK	3/4 convolutional code
24*	16 QAM	1/2 convolutional code
36	16 QAM	3/4 convolutional code
48	64 QAM	2/3 convolutional code
54	64 QAM	3/4 convolutional code

\*: mandatory rates.

Πίνακας 1.3 Τρόποι διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στο πρότυπο 802.11



Σχήμα 1.2 Σύγκριση ρυθμών μετάδοσης και κάλυψης για τα πρότυπα 802.11a και 802.11b. Οι τιμές είναι σε Mbps. Η απόσταση κάλυψης είναι σχετική.

### 1.2.3 802.11g

Το 802.11g είναι πιο πρόσφατα εγκεκριμένο πρότυπο ασύρματου LAN από την IEEE σε σχέση με τα δύο προηγούμενα. Προσφέρει υψηλό ρυθμό μετάδοσης φτάνοντας μέχρι τα 54 Mbps, που είναι συγκρίσιμος με το 802.11a. Το κυριότερο, το 802.11g προσφέρει συμβατότητα προς τα πίσω με το ευρέως εφαρμοσμένο πρότυπο 802.11b. Το 802.11g έχει κερδίσει αξιοσημείωτο ενδιαφέρον μεταξύ των ασύρματων χρηστών.

Λειτουργεί στη ISM 2,4 GHz ζώνη, όπως και το 802.11b. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία OFDM και υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, και 54 Mbps παρόμοια με το 802.11a. Με σκοπό την προς τα πίσω συμβατότητα με 802.11b, το 802.11g υποστηρίζει επίσης τον κώδικα Barker και τη διαμόρφωση CCK που προσφέρουν ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων 1, 2, 5,5 και 11 Mbps. Μεταξύ των ρυθμών μετάδοσης, οι 1, 2, 5,5, 11, 6, 12, και 24 Mbps είναι υποχρεωτικοί για μετάδοση και λήψη όπως διευκρινίζεται από το πρότυπο. Παρόμοια με το 802.11b πρότυπο, το 802.11g έχει μόνο τρία μη-επικαλυπτόμενα κανάλια και το νέο φυσικό στρώμα καλείται ERP (Extended Rate Physical -φυσικό εκτεταμένου ρυθμού) στρώμα.

Το 802.11g χρησιμοποιεί την ίδια τεχνική MAC, CSMA-CA, με το 802.11a και το 802.11b. Κάθε 802.11 πακέτο αποτελείται από το προοίμιο την κεφαλίδα, και το ωφέλιμο φορτίο (preamble, header, payload). Στο πρότυπο 802.11b, ο μεγάλος πρόλογος (120 $\mu$ s) είναι υποχρεωτικός, ενώ ο σύντομος πρόλογος (9 $\mu$ s) είναι προαιρετικός. Στο πρότυπο 802.11g, και ο μεγάλος και ο σύντομος πρόλογος υποστηρίζονται για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα της μετάδοσης και να διατηρήσουν την πίσω συμβατότητα.

Ο χρόνος σχισμής (slot time) είναι διαφορετικός για τα 802.11b και 802.11g συστήματα. Το 802.11g χρησιμοποιεί μικρότερη χρονοσχισμή (9 $\mu$ s) από τη χρονοσχισμή του 802.11b (20 $\mu$ s). Μικρότερη χρονοσχισμή βελτιώνει τη ρυθμοαπόδοση (throughput) του συστήματος. Εντούτοις για πίσω συμβατότητα, το 802.11g υποστηρίζει επίσης τη μεγαλύτερη χρονοσχισμή.

Η προδιαγραφή για το φυσικό στρώμα του 802.11g είναι σχεδόν η ίδια όπως και για το 802.11a. Κατά συνέπεια, και τα δύο συστήματα θα έπρεπε να έχουν παρόμοια ικανότητα (capacity) και απόδοση. Ωστόσο στην πραγματικότητα, η απόδοση για το 802.11g είναι διαφορετική από το 802.11a εξαιτίας των ακόλουθων λόγων:

1. Το 802.11g μοιράζεται το ίδιο φάσμα των 2.4-GHz με το 802.11b. Όταν 802.11b και 802.11g συσκευές είναι ταυτόχρονα παρούσες, κατάλληλος συντονισμός και διαχείριση μεταξύ των δύο διαφορετικών ειδών συσκευών είναι απαραίτητη για να αποφευχθούν παρεμβολές και συγκρούσεις. Ο αντίκτυπος στην απόδοση των συσκευών 802.11g μπορεί να είναι σημαντικός εάν δεν υιοθετηθεί καμιά προστασία. Απ' την άλλη, το 802.11a χρησιμοποιεί διαφορετικό φάσμα και έτσι δε χρειάζεται συντονισμός με άλλους χρήστες του ασύρματου LAN.

2. Για τη διατήρηση της πίσω συμβατότητας, το 802.11g απαιτείται να χρησιμοποιεί τη χρονοσχισμή των 20 $\mu$ s όμοια με το 802.11b. Η χρήση της χρονοσχισμής των 9 $\mu$ s είναι προαιρετική για το 802.11g. Αντίθετα στο 802.11a, η διάρκεια της χρονοσχισμής είναι 9 $\mu$ s, το οποίο είναι αποδοτικότερο από την αντίστοιχη των 20.

3. Το 2,4 GHz ISM φάσμα που χρησιμοποιείται από το 802.11g είναι πιο κορεσμένο από το U- NII φάσμα των 5 GHz που χρησιμοποιείται από το 802.11a. Κατά συνέπεια οι συσκευές 802.11g υπόκεινται σε περισσότερες πηγές παρεμβολών, όπως φούρνοι μικροκυμάτων, συσκευές Bluetooth, ασύρματα τηλέφωνα, RF ιατρικές συσκευές, κ.λ.π. Για τις 802.11a συσκευές, δεδομένου ότι το φάσμα των 5 GHz δεν επικαλύπτεται με την ISM ζώνη, υπάρχουν λιγότερες πηγές παρεμβολών από εξωτερικές συσκευές.

4. Ο αριθμός διαθέσιμων καναλιών στην ISM 2,4 GHz ζώνη είναι μικρότερος από αυτόν στη ζώνη στη U- NII των 5 GHz. Στο 802.11g υπάρχουν μόνο τρία μη επικαλυπτόμενα κανάλια, έναντι των 13 διαθέσιμων καναλιών στο 802.11a. Κατά συνέπεια, ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι μικρότερος στο 802.11g από ότι στο 802.11a για να καλύψει τις απαιτήσεις ικανότητας και κάλυψης. Διακαναλική (co-channel) παρεμβολή λόγω της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι υψηλότερη στο 802.11g από το 802.11a.

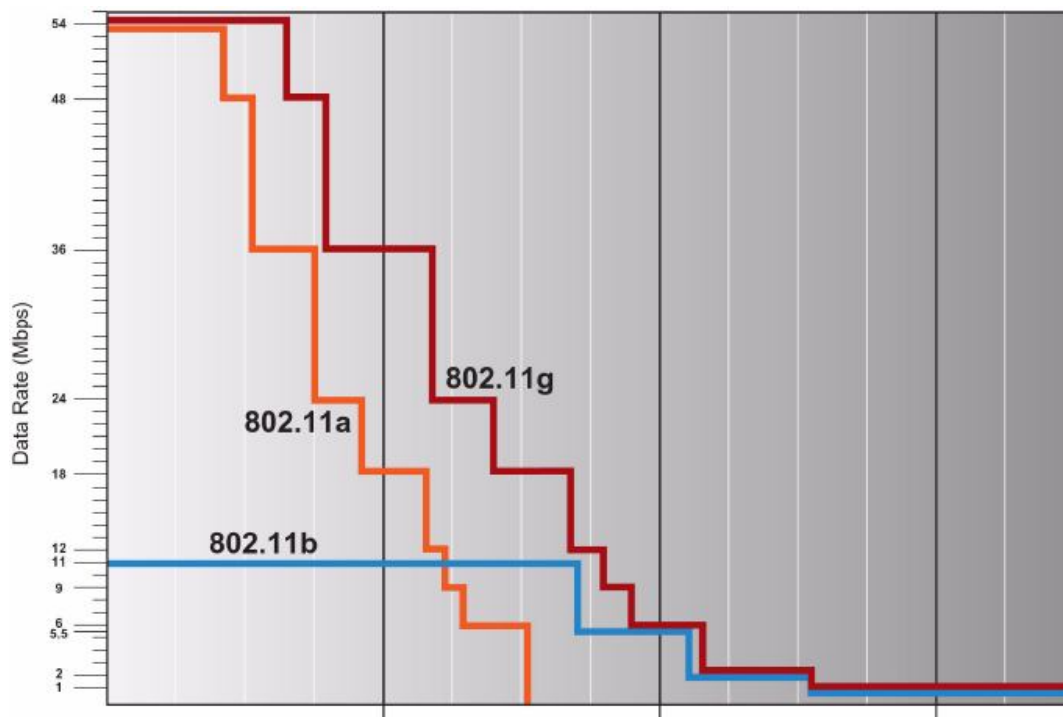
5. Η απώλεια διάδοσης διαδρομής στη ζώνη των 5 GHz είναι μεγαλύτερη από αυτή στα 2,4 , γεγονός που ευνοεί φυσικά το 802.11g. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του 802.11g έναντι του 802.11a είναι η πίσω συμβατότητα με την κληρονομιά των 802.11b συσκευών.

	<b>802.11b</b>	<b>802.11a</b>	<b>802.11g</b>
Standard approved	July 1999	July 1999	June 2003
Maximum data rate	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Modulation	CCK	OFDM	OFDM and CCK
Data rates	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	CCK: 1, 2, 5.5, 11  OFDM: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Frequencies	2.4–2.497 GHz	5.15–5.35 GHz  5.425–5.675 GHz	2.4–2.497 GHz

Πίνακας 1.4 Συγκριτικός πίνακας με τις προδιαγραφές του IEEE 802.11 για τα 3 κυριότερα πρωτόκολλα.

Το πρωτόκολλο 802.11 υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, ώστε να επιτρέπει στους χρήστες να επικοινωνούν με την καλύτερη δυνατή ταχύτητα. Η επιλογή ρυθμού μετάδοσης είναι μια χρυσή τομή μεταξύ της χρήσης του υψηλότερου δυνατού ρυθμού μετάδοσης, προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό λαθών επικοινωνίας. Όποτε υπάρχει λάθος στα απεσταλθέντα δεδομένα, το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας πρέπει να ξοδέψει χρόνο ώστε να αναμεταδοθούν, μέχρι την επιτυχή τους

μετάδοση. Η κάρτα πρόσβασης κάθε χρήστη 802.11 μόλις συνδεθεί με το σημείο πρόσβασης ακολουθεί μια διαδικασία για να επιλέξει τον καλύτερο δυνατό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Οι χρήστες του πρωτοκόλλου 802.11g μπορούν να επιλέξουν ρυθμούς μετάδοσης από τους διαθέσιμους με διαμόρφωση OFDM 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 και 6 Mbps, και τους ρυθμούς μετάδοσης με διαμόρφωση CCK 11, 5,5, 2 και 1 Mbps. Όσο η απόσταση από το σημείο πρόσβασης αυξάνεται, τα βασισμένα στο 802.11 προϊόντα προσαρμόζουν προς τα κάτω την ταχύτητα σύνδεσης για να διατηρήσουν τη σύνδεση. Επειδή τα προϊόντα 802.11b και 802.11g εκπέμπουν στην ίδια ζώνη και έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά διάδοσης, οι υλοποιήσεις των καρτών ασύρματης πρόσβασης και των σημείων πρόσβασης παρέχουν κατά προσέγγιση την ίδια μέγιστη ακτίνα ραδιοκάλυψης στην ίδια ταχύτητα μεταφοράς, σε αντίθεση με τα προϊόντα βασισμένα στο 802.11a που έχουν συγκριτικά περιορισμένη ακτίνα ραδιοκάλυψης. Η θεωρητική ρυθμοαπόδοση (throughput) για διάφορες αποστάσεις του τερματικού από το σημείο πρόσβασης δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.3 Θεωρητική ρυθμοαπόδοση για τα πρότυπα του 802.11 σε συνάρτηση με την απόσταση

### 1.3 Χαρακτηριστικά των υπόλοιπων προτύπων WLAN

Εκτός από τα πρότυπα 802.11 a, b και g που αναλύθηκαν παραπάνω υπάρχουν και άλλα που ασχολούνται με διαφορετικούς τομείς των WLANs όπως η ασφάλεια και η διαλειτουργικότητα και είναι τα ακόλουθα:

### **802.11c Bridge Op Procedures**

Το 802.11c παρέχει απαραίτητες πληροφορίες για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία των γεφυρών (bridges). Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιούνται κυρίως από τους κατασκευαστές σημείων πρόσβασης ώστε να εξασφαλίζεται η διαλειτουργικότητά τους με συσκευές άλλων κατασκευαστών.

### **802.11d Global Harmonization**

Το task group D έχει αναλάβει το έργο να καθορίσει τις απαιτήσεις του φυσικού επιπέδου καθώς και να καταγράψει το νομικό πλαίσιο που ισχύει για τη χρησιμοποίηση ραδιοσυχνοτήτων σε διάφορες χώρες, ώστε να μπορούν να κατασκευαστούν προϊόντα που θα λειτουργούν σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

### **802.11e MAC Enhancement for QoS**

Χωρίς καλό QoS (Quality of Service) το αρχικό πρωτόκολλο 802.11 δε βελτιστοποιεί τη μετάδοση φωνής και βίντεο. Αυτό ακριβώς το μειονέκτημα έρχεται να καλύψει το task group E τροποποιώντας το υποεπίπεδο MAC και βελτιώνοντας το QoS του πρωτοκόλλου.

### **802.11f Inter Access Point Protocol**

Η αρχική ομάδα εργασίας του 802.11 σκόπιμα δεν προσδιορίζει την επικοινωνία μεταξύ σημείων πρόσβασης με σκοπό την υποστήριξη της περιαγωγής των χρηστών από ένα σημείο πρόσβασης σε ένα άλλο. Η επιλογή αυτή δίνει ευελιξία όταν χρησιμοποιούνται διάφορα distribution systems (συστήματα κατανομής). Το πρόβλημα όμως που ανακύπτει είναι ότι τα σημεία πρόσβασης από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορεί να μη λειτουργούν ομαλά μεταξύ τους όταν υποστηρίζουν λειτουργίες περιαγωγής. Το 802.11f έρχεται ακριβώς σε αυτό το σημείο, να φτιάξει μια προδιαγραφή που θα παρέχει στα σημεία πρόσβασης τις απαραίτητες πληροφορίες για να γίνει μια περιαγωγή με επιτυχία και να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος.

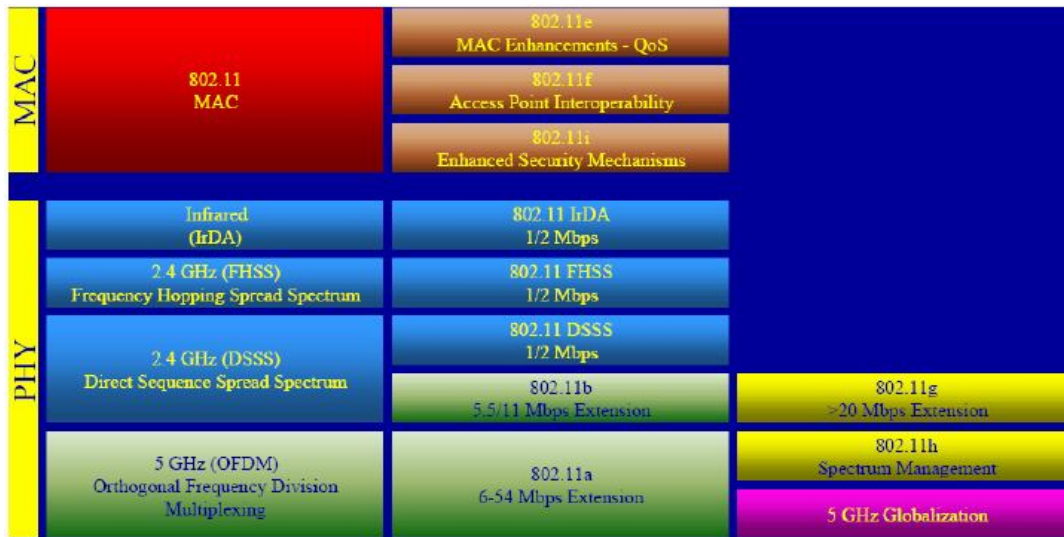
### **802.11h UNII for Europe**

Η προδιαγραφή αυτή είναι συμπληρωματική του υποεπίπεδου MAC και συμμορφώνεται με τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων στα 5GHz. Συγκεκριμένα οι Ευρωπαϊκοί κανονισμοί απαιτούν για τις συσκευές που λειτουργούν σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων να έχουν δυνατότητες ελέγχου εκπεμπόμενης ισχύος (Transmission Power Control) και δυναμικής επιλογής συχνότητας (Dynamic Frequency Selection).

### **802.11i Enhanced Security**

Η προδιαγραφή αυτή έρχεται να καλύψει πολλά από τα κενά σε θέματα ασφαλείας που βρέθηκαν στο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης WEP του 802.11. Ο αλγόριθμος RC4 της RCA που χρησιμοποιείται αποδείχθηκε ανεπαρκής με πολλά σφάλματα και παραλήψεις, κάνοντας τα ασύρματα δίκτυα εύκολο στόχο σε πολλά ήδη επιθέσεων. Με τη νέα προδιαγραφή καθορίζονται πρωτόκολλα για τα κλειδιά κρυπτογράφησης όπως τα TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) και AES (Advanced Encryption Standard).

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τα πρότυπα του 802.11 σε σχέση με τη λειτουργία και τη θέση τους στο μοντέλο αναφοράς OSI (Open Systems Interconnection)



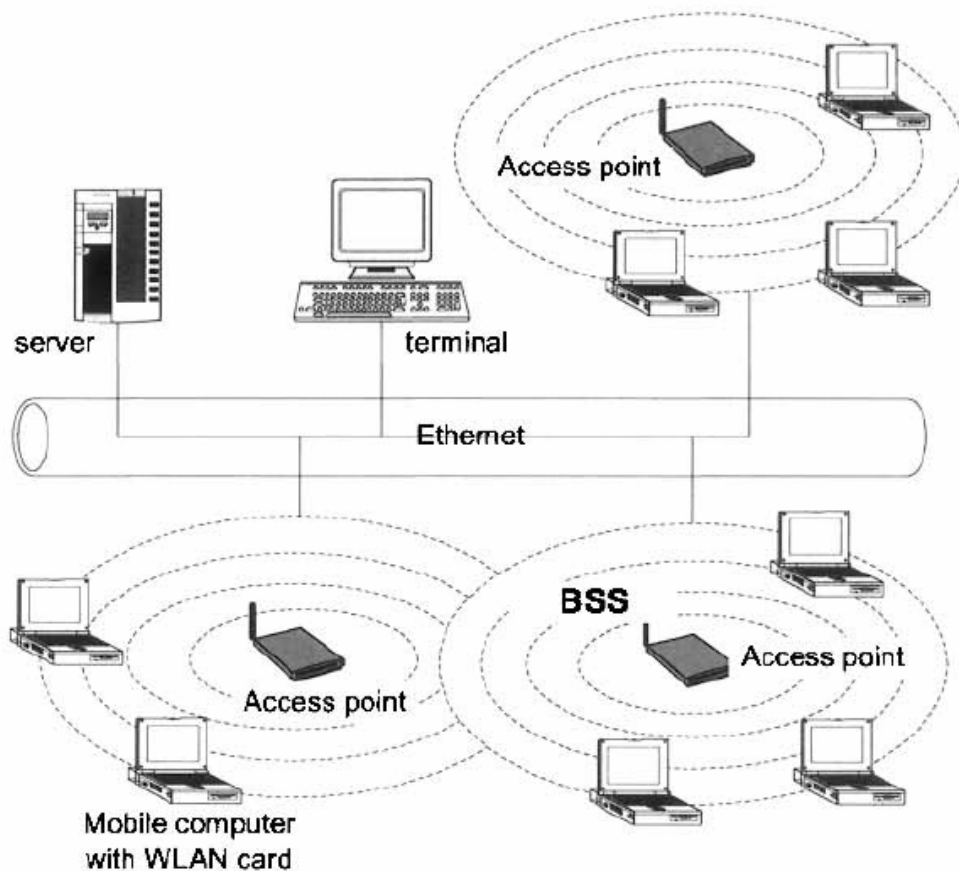
Σχήμα 1.4 Τα πρότυπα του πρωτοκόλλου 802.11

### 802.11n

Προταθείσα τροποποίηση στο πρωτόκολλο IEEE 802.11 για να βελτιώσει σημαντικά τη ρυθμοαπόδοση (throughput) του δικτύου έναντι παλιότερων προτύπων όπως το 802.11b και το 802.11g, με πολλούς ειδικούς να ισχυρίζονται ότι το δυναμικό αυτής της ασύρματης τεχνολογίας με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 248Mbps θα επιτρέψει επιτέλους στους καταναλωτές να περάσουν τα όρια των παραδοσιακών καλωδιωμένων Ethernet LANs. Το 802.11 χτίζει πάνω σε προηγούμενα πρότυπα προσθέτοντας στο φυσικό στρώμα τη χρήση MIMO (Multiple-Input Multiple-Output πολλαπλή είσοδο πολλαπλή έξοδο) και λειτουργία στα 40MHz.

## 1.4 Αρχιτεκτονική LAN 802.11

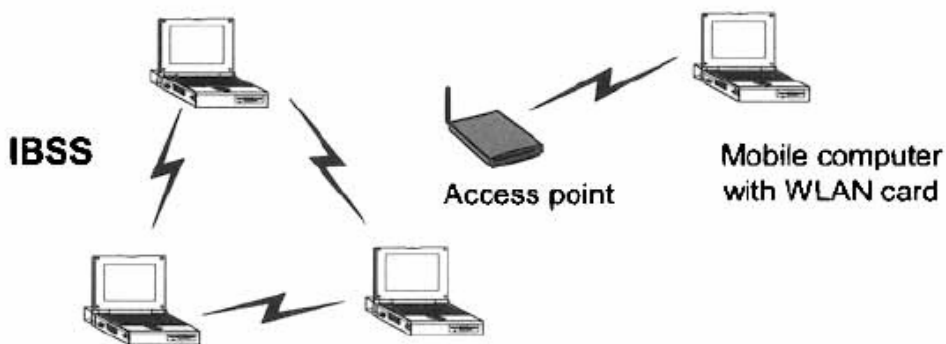
Το βασικό δομικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής ασυρμάτων LAN 802.11 είναι η κυψέλη, γνωστή σαν BSS (Basic Service Set, βασικό σύνολο υπηρεσίας) στην ορολογία του 802.11 . Ένα BSS περιέχει τυπικά έναν ή περισσότερους ασύρματους σταθμούς και έναν κεντρικό σταθμό βάσης γνωστό σαν AP (Access point, σημείο πρόσβασης) όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα . Οι ασύρματοι σταθμοί που, μπορεί να είναι σταθεροί ή κινητοί και ο κεντρικό σταθμός βάσης επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ασύρματου MAC IEEE 802.11 . Πολλαπλά AP μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους για παράδειγμα χρησιμοποιώντας ένα ενσύρματο Ethernet ή ένα άλλο ασύρματο κανάλι για να δημιουργήσουν ένα DS (Distribution System, σύστημα κατανομής). Το DS φαίνεται στα πρωτόκολλα ανώτερου επιπέδου (για παράδειγμα στο IP) σαν ένα μόνο δίκτυο 802. Η αρχιτεκτονική αυτή είναι η πλέον συνηθισμένη και αναφέρεται ως infrastructure networking, ή infrastructure mode (δίκτυο κατανομής) ή access point based.



Σχήμα 1.5 Wireless LAN infrastructure mode

Ο δεύτερος τύπος αρχιτεκτονικής που ονομάζεται peer-to-peer (ομότιμος προς ομότιμο) ή τρόπος ad-hoc δημιουργείται από την ομαδοποίηση σταθμών IEEE 802.11 για τη δημιουργία ενός δικτύου χωρίς κεντρικό έλεγχο και χωρίς συνδέσεις με τον 'εξωτερικό κόσμο' (ad hoc δίκτυο), σχήμα 1.6. Σ' αυτή την περίπτωση το βασικό σύνολο υπηρεσία ονομάζεται IBSS (independent BSS, ανεξάρτητο BSS). Εδώ το δίκτυο δημιουργείται πρόχειρα, απλώς επειδή συμβαίνει να υπάρχουν κινητές συσκευές που βρίσκονται η μια κοντά στην άλλη, έχουν την ανάγκη να επικοινωνήσουν και δε βρίσκουν μια προϋπάρχουσα υποδομή δικτύου (για παράδειγμα ένα προϋπάρχον BSS 802.11 με ένα AP) σε αυτή την τοποθεσία. Ένα ad hoc δίκτυο μπορεί να δημιουργηθεί όταν συναντώνται άνθρωποι με φορητούς υπολογιστές (για παράδειγμα σε μια αίθουσα συσκέψεων, σε ένα τρένο ή σε ένα αυτοκίνητο) και θέλουν να ανταλλάξουν δεδομένα ενώ δεν υπάρχει ένα κεντρικό AP.





Σχήμα 1.6 Wireless LAN τρόπος λειτουργίας ad hoc

## 1.5 Στρώμα MAC του 802.11

Η κύρια λειτουργία αυτού του στρώματος είναι να ελέγχει την πρόσβαση στο ασύρματο περιβάλλον. Έχει επίσης λειτουργίες όπως σύνδεση σε δίκτυο, κατάτμηση, κωδικοποίηση, διαχείριση ισχύος, συγχρονισμός και στήριξη περιαγωγής εκεί όπου βρίσκονται πολλαπλά Access Points.

Υπάρχουν δύο διαφορετικά πρωτόκολλα ελέγχου πρόσβασης του μέσου:

- το DCF (Distributed Coordination Function), που βασίζεται στο CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση του φέροντος και αποφυγή σύγκρουσης) και μπορεί να χρησιμοποιεί ή όχι τα πλαίσια ελέγχου RTS/CTS. Το πρωτόκολλο αυτό βασίζεται στον ανταγωνισμό για την πρόσβαση στο μέσο.
- και το PCF (Point Coordination Function) που αποτελεί έναν κεντρικά ελεγχόμενο μηχανισμό πρόσβασης. Η πρόσβαση στο μέσο γίνεται χωρίς ανταγωνισμό (χρήσιμο για infrastructure δίκτυα), ενώ κύριο ρόλο παίζει ένας ελεγκτής ο οποίος καλείται PC (Point Coordinator) και βρίσκεται στα APs.

Οι δύο μέθοδοι μπορεί να συνυπάρξουν μέσα στο ίδιο BSS, για παράδειγμα με την εναλλασσόμενη χρήση της μιας ακολουθούμενης από την άλλη.

### 1.5.1 DCF

Το 802.11 standard χρησιμποιεί το Carrier Sense Multiple Access (CSMA) ως βασική μέθοδο πρόσβασης. Το φυσικό επίπεδο παρακολουθεί το επίπεδο ενέργειας στη ραδιοσυχνότητα, για να καθορίσει αν ένας άλλος σταθμός εκπέμπει και παρέχει αυτές τις πληροφορίες επαίσθησης φέρουσας στο πρωτόκολλο MAC. Αν το κανάλι βρεθεί ότι είναι αδρανές για μια χρονική διάρκεια ίση ή μεγαλύτερη από τον κατανεμημένο χώρο μεταξύ πλαισίων (Distributed Inter Frame Space, DIFS) επιτρέπεται σε ένα σταθμό να εκπέμπει. Όπως συμβαίνει με κάθε πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης, αυτό το πλαίσιο θα ληφθεί επιτυχώς από το σταθμό προορισμού, αν η εκπομπή κανενός άλλου σταθμού δεν παρεμβληθεί στην εκπομπή του πλαισίου.

Όταν ένας σταθμός λήψης έχει λάβει σωστά και πλήρως ένα πλαίσιο για το οποίο είχε διευθυνσιοδοτηθεί σαν παραλήπτης, περιμένει ένα μικρό χρονικό διάστημα (γνωστό σαν βραχύ διάστημα μεταξύ πλαισίων Short Inter Frame Spacing, SIFS) και μετά στέλνει ένα πλαίσιο γνωστοποίησης πίσω στον αποστολέα. Αυτή η γνωστοποίηση επιπέδου ζεύξης δεδομένων πληροφορεί τον αποστολέα ότι ο δέκτης έχει λάβει πράγματι σωστά το πλαίσιο δεδομένων του αποστολέα. Θα δούμε παρακάτω ότι αυτή η ρητή γνωστοποίηση χρειάζεται επειδή, σε αντίθεση με την περίπτωση του ενσύρματου Ethernet, ένας ασύρματος αποστολέας δεν μπορεί να καθορίσει μόνος του αν η εκπομπή του πλαισίου του λήφθηκε από τον προορισμό χωρίς να συγκρουστεί με κάποιο άλλο πλαίσιο.

Στην περίπτωση που ο αποστολέας αντιληφθεί ότι το κανάλι είναι απασχολημένο κάνει μια διαδικασία οπισθοχώρησης που είναι παρόμοια με αυτή του Ethernet. Πιο συγκεκριμένα, ένας σταθμός που αντιλαμβάνεται ότι το κανάλι είναι απασχολημένο θα αναβάλει την προσπάθειά του μέχρι να αντιληφθεί αργότερα ότι το κανάλι είναι αδρανές. Όταν αντιληφθεί ότι το κανάλι είναι αδρανές για ένα χρόνο ίσο με το DIFS, τότε ο σταθμός υπολογίζει ένα τυχαίο πρόσθετο χρόνο οπισθοχώρησης και μετρά αντίστροφα μέχρι αυτό το χρόνο ενώ το κανάλι παραμένει αδρανές. Όταν ο χρονομετρητής τυχαίου χρόνου οπισθοχώρησης φτάσει στο μηδέν, ο σταθμός εκπέμπει το πλαίσιο του. Όπως και στο Ethernet ο χρονομετρητής τυχαίου χρόνου οπισθοχώρησης εξυπηρετεί στο να αποφεύγεται το γεγονός πολλαπλοί σταθμοί να αρχίσουν να εκπέμπουν αμέσως (και έτσι να συγκρούονται) μετά από μια περίοδο αδράνειας DIFS. Όπως και στο Διαδίκτυο το χρονικό διάστημα τυχαιοποίησης του χρονομετρητή οπισθοχώρησης διπλασιάζεται κάθε φορά που ένα εκπεμπόμενο πλαίσιο συγκρούεται. Αν και η μέθοδος CSMA/CD (Collision Detection) είναι μία από τις πλέον δημοφιλείς μεθόδους πρόσβασης για τα ενσύρματα δίκτυα που χρησιμοποιείται και από το IEEE 802.3 (Ethernet), δε χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα.

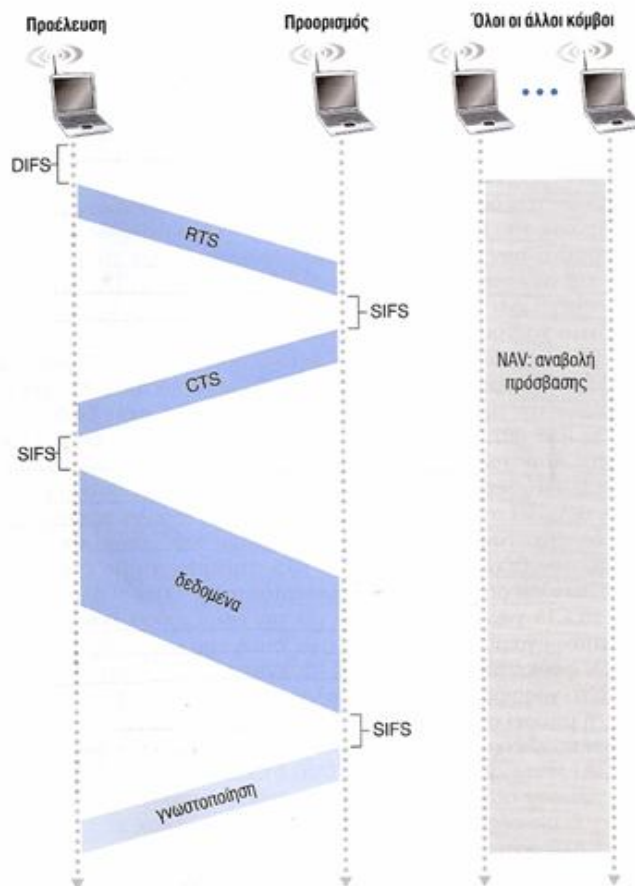
Αυτό συμβαίνει γιατί :

- Για την υλοποίηση της μεθόδου Collision Detection είναι αναγκαία μια πλήρως αμφίδρομη σύνδεση ώστε να γίνεται ταυτόχρονα μεταδόση και λήψη δεδομένων. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει σημαντικά το κόστος του εξοπλισμού.
- Απαιτήση για τη χρήση της μεθόδου Collision Detection είναι να έχουν τη δυνατότητα οι σταθμοί να ακούν ο ένας τον άλλον. Αυτό συμβαίνει σε ένα ενσύρματο δίκτυο, αλλά οι ασύρματοι σταθμοί, που μπορεί και να βρίσκονται ο ένας μακριά από τον άλλο, δεν είναι σίγουρο ότι ακούν όλες τις συγκρούσεις.

Η δεύτερη περίπτωση οφείλεται στα χαρακτηριστικά του ασύρματου καναλιού που οδηγούν σε συγκεκριμένες καταστάσεις όπως το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού (hidden terminal problem). Σε αυτό, φυσικά εμπόδια στο περιβάλλον (όπως για παράδειγμα ένα βουνό) μπορούν να αποτρέψουν δύο σταθμούς να ακουστούν ο ένας από τον άλλο, έστω και αν οι εκπομπές τους παρεμβάλλουν σε ένα τρίτο σταθμό. Γι' αυτό το λόγο το πλαίσιο IEEE 802.11 περιέχει ένα πεδίο διάρκειας στο οποίο ο σταθμός αποστολής δηλώνει ρητά τη διάρκεια του χρόνου που θα μεταδίδεται το πλαίσιο του επάνω στο κανάλι. Αυτή η τιμή επιτρέπει σε άλλους σταθμούς να καθορίσουν τον ελάχιστο χρόνο, το καλούμενο NAV (Network Allocation Vector, άνυσμα κατανομή δικτύου) για το οποίο πρέπει να αναβάλλουν την προσπάθειά τους.

### 1.5.1.1 Χρήση των RTS /CTS

Το πρωτόκολλο IEEE 802.11 μπορεί να χρησιμοποιεί επίσης δύο μικρά πλαίσια ελέγχου, το RTS (Request to Send, αίτηση αποστολής) και το CTS (Clear to Send, καθαρό προς αποστολή) για δέσμευση της πρόσβασης στο κανάλι. Όταν ένας αποστολέας θέλει να στείλει ένα πλαίσιο μπορεί πρώτα να στείλει ένα πλαίσιο RTS στο δέκτη, δηλώνοντας τη διάρκεια του πακέτου δεδομένων και του πακέτου ACK. Ένας δέκτης που δέχεται ένα πλαίσιο RTS αποκρίνεται με ένα πλαίσιο CTS, δίνοντας στον αποστολέα ρητή άδεια να κάνει την αποστολή. Όλοι οι άλλοι σταθμοί που ακούν το RTS ή το CTS γνωρίζουν κατόπιν για την εκκρεμούσα εκπομπή δεδομένων και μπορούν να αποφύγουν τις παρεμβολές με αυτή την εκπομπή. Τα πλαίσια RTS, CTS, DATA και ACK φαίνονται στο σχήμα 1.7.



Σχήμα 1.7 Αποφυγή σύγκρουσης με τη χρήση πλαισίων RTS και CTS.

Η χρήση των πλαισίων αυτών είναι προαιρετική. Πάντως η χρήση των πλαισίων RTS και CTS βοηθά στην αποφυγή συγκρούσεων με δύο σημαντικούς τρόπους:

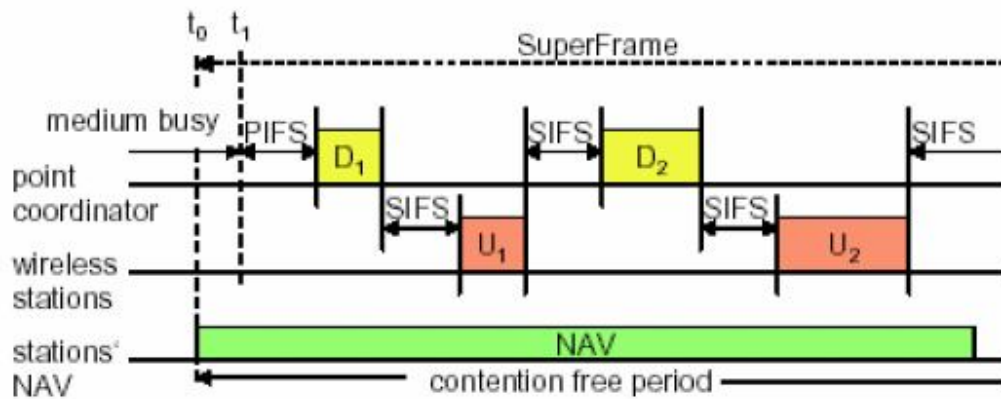
- Επειδή το εκπεμπόμενο πλαίσιο CTS του δέκτη θα ακουστεί από όλους τους σταθμούς μέσα στη γειτονιά του δέκτη, το πλαίσιο CTS βοηθά στην αποφυγή του προβλήματος του κρυμμένου τερματικού.

- Επειδή τα πλαίσια RTS/CTS είναι μικρά μια σύγκρουση που περιλαμβάνει αυτά τα πλαίσια θα έχει μικρή διάρκεια και ίση με αυτή των RTS/CTS. Επομένως αν αυτά εκπέμπονται σωστά, δε θα υπάρχουν συγκρούσεις που να εμπλέκουν τα επόμενα πλαίσια DATA και ACK.

## 1.5.2 PCF

Βασίζεται στη λειτουργία της σταθμοσκόπησης (polling). Χρησιμοποιεί έναν ελεγκτή- τον **PC** (Point Coordinator), ο οποίος βρίσκεται στο AP ενός BSS και καθορίζει ποιος σταθμός επιτρέπεται να μεταδώσει την τρέχουσα χρονική στιγμή. Το PCF χρησιμοποιεί το Virtual Carrier Sense ταυτόχρονα με ένα μηχανισμό ελέγχου προτεραιότητας. Ο PCF διανέμει τις απαραίτητες πληροφορίες μέσω των πλαισίων διαχείρισης 'Beacon' για να κερδίσει τον έλεγχο του μέσου θέτοντας σε λειτουργία το Network Allocation Vector (NAV). Συγκεκριμένα, ο ελεγκτής PC ανιχνεύει το μέσο στην αρχή κάθε περιόδου **CFP** (Contention Free Period). Αν το μέσο είναι ελεύθερο για διάστημα ίσο με PIFS, ο PC στέλνει ένα πλαίσιο Beacon, ώστε οι σταθμοί να ενημερώσουν τα NAV για την διάρκεια της CFP.

Επιπρόσθετα, όλες οι μεταδόσεις πλαισίων κάτω από τη λειτουργία του PCF μπορούν να χρησιμοποιούν ένα IFS με ακόμη μικρότερη διάρκεια από το αντίστοιχο IFS που χρησιμοποιείται με τη μέθοδο DCF. Αυτό σημαίνει ότι η κίνηση που στηρίζεται στη χρήση της PCF έχει προτεραιότητα στον έλεγχο του μέσου για σταθμούς που βρίσκονται σε υπερκαλυπτόμενα (overlapping) BSSs και κάνουν χρήση της DCF.



Σχήμα 1.8 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργία του PCF

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### TO CISCO UNIFIED WIRELESS NETWORK

#### 2.1 Cisco Unified Wireless Network

Το Cisco Unified Wireless Network (Ενοποιημένο Ασύρματο Δίκτυο) αποτελεί το μοναδικό προϊόν ενοποιημένου ασύρματου και ενσύρματου δικτύου της βιομηχανίας που επικεντρώνεται στην ασφάλεια, την εγκατάσταση, τη διαχείριση και ζητήματα ελέγχου με τα οποία έρχονται αντιμέτωποι μεγάλοι οργανισμοί. Αυτή η λύση συνδυάζει τα καλύτερα στοιχεία της ενσύρματης και ασύρματης δικτύωσης για να προσφέρει ασφαλή, επεκτάσιμα και αποτελεσματικά στη διαχείριση ασύρματα τοπικά δίκτυα με χαμηλό συνολικό κόστος της ιδιοκτησίας. (TCO, total cost of ownership). Επιπλέον είναι μια ολοκληρωμένη end-to-end λύση που υποστηρίζει όλα τα επίπεδα του WLAN, από συσκευές πελάτες και access points μέχρι την υποδομή και διαχείριση του δικτύου και την παροχή ενσωματωμένων υπηρεσιών ασύρματης κινητικότητας.

Μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της συγκέντρωσης (centralization) αναλύονται παρακάτω και γίνεται η σύγκριση μεταξύ ενός συστήματος με αυτόνομα access points και του Cisco Unified Wireless Network.

##### 2.1.1 Ευκολία στην εγκατάσταση (Ease of Deployment)

Όταν αυτόνομα access points στήνονται σε μια επιχείρηση, κάθε access point ρυθμίζεται χωριστά. Αυτή η ρύθμιση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε ανά access point ή μέσω μιας εφαρμογής ή συσκευής επιπέδου συστήματος. Μόλις το αυτόνομο access point ρυθμιστεί, κάθε access point μπορεί να οριστεί να υποστηρίζει VLANs που επιτρέπουν την κατάτμηση των ομάδων χρηστών και τη διαφοροποίηση των πολιτικών και των υπηρεσιών του τοπικού δικτύου, όπως η ασφάλεια και η ποιότητα υπηρεσίας (QoS, Quality of Service), για διαφορετικούς χρήστες και ομάδες. Αυτά τα VLANs επεκτείνονται στο επίπεδο πρόσβασης του δικτύου.

Όταν σε ένα δίκτυο εισαχθεί συγκέντρωση (centralization), χρησιμοποιώντας lightweight access points και έναν controller ασύρματου τοπικού δικτύου, η δημιουργία υποδικτύων και το VLAN trunking δεν χρειάζονται στο επίπεδο πρόσβασης. Αντί γι' αυτό τα VLANs δημιουργούνται στον controller ασύρματου LAN και ο controller σπάει τους χρήστες και τα WLANs σε VLANs. Αυτό απλοποιεί την εγκατάσταση και τη διαχείριση του ασύρματου δικτύου.

Όταν χρησιμοποιείται συγκέντρωση, ένα lightweight access point αρκεί μόνο να ανακαλύψει τη διεύθυνση IP ενός controller, όταν χρησιμοποιείται ο τρόπος λειτουργίας επιπέδου 3, (όταν βρίσκεται σε ένα απομακρυσμένο υποδίκτυο, το access point χρειάζεται διεύθυνση IP, μάσκα υποδικτύου, και πληροφορία προκαθορισμένης πύλης). Το lightweight access point μπορεί επίσης να λάβει τη διεύθυνση IP του controller από έναν τυποποιημένο εξυπηρετητή DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Αφού το lightweight access point έρθει σε επαφή με τον controller του ασύρματου τοπικού δικτύου, ο controller προγραμματίζει όλες τις πολιτικές RF (radiofrequency, ραδιοσυχνότητας) και πολιτικές του ασύρματου τοπικού δικτύου στο access point. Επειδή όλα τα πακέτα από τα

access points τοποθετούνται σε μια σήραγγα LWAPP και στέλνονται στη συνέχεια στον controller, δεν υπάρχει λόγος να επεκταθούν ειδικά VLANs σε μεμονωμένα access points.

Στο Cisco Unified Wireless Network, όλες οι εικόνες (images) των lightweight access points είναι ενσωματωμένες στο image του controller. Όταν αναβαθμίζεται το image του controller αναβαθμίζονται και όλα τα access points που είναι συνδεδεμένα μαζί του, συνεπώς δεν υπάρχει ανάγκη για χρήση ενός εξειδικευμένου script ή για δημιουργία μιας ειδικής τέτοιας δουλειάς σε ένα κεντρικό σταθμό διαχείρισης. Ένα άλλο πλεονέκτημα του Cisco Unified Wireless Network είναι ότι η διαλειτουργικότητα (interoperability) μεταξύ των lightweight access points και των controllers έχει ελεγχθεί εξονυχιστικά και έχει πιστοποιηθεί από την ομάδα διασφάλισης ποιότητας της Cisco.

### **2.1.2 Αξιοπίστη συνδεσιμότητα μέσω της δυναμικής διαχείρισης RF (ραδιοσυχνότητας)**

Τα ασύρματα δίκτυα που χρησιμοποιούν αυτόνομα access points δημιουργούνται παραδοσιακά χρησιμοποιώντας ένα στατικό σχέδιο RF, όπου το κανάλι και η ισχύς κάθε access point τίθεται στατικά. Αυτό γίνεται σύμφωνα με μια πρόβλεψη RF, η οποία υπολογίζει την περιοχή κάλυψης ενός access point χρησιμοποιώντας μια προσομοίωση σε υπολογιστή του περιβάλλοντος RF, που λαμβάνει υπόψη την ισχύ μετάδοσης της κεραίας του access point. Ο στόχος της πρόβλεψης RF είναι το στήσιμο των access points για βέλτιστη κάλυψη με την ελάχιστη επικάλυψη καναλιών. Εντούτοις, δεδομένου ότι οι προβλέψεις RF που δημιουργούνται σε έναν υπολογιστή λαμβάνουν σε μικρό βαθμό υπόψη αυτό που συμβαίνει πραγματικά στο περιβάλλον RF μετά από το στήσιμο, είναι απλά εκτιμήσεις του πραγματικού περιβάλλοντος RF. Παραδείγματος χάριν δια-καναλική παρεμβολή (co-channel interference) από ένα γειτονικό δίκτυο, μια αναδιάταξη σε ένα γραφείο, μια πόρτα που ανοίγει ή που κλείνει, παρεμβολή από φούρνους μικροκυμάτων, ή άλλες πηγές παρεμβολής δεν μπορούν να συνυπολογιστούν με ακρίβεια κατά το σχεδιασμό όταν χρησιμοποιείται η πρόβλεψη RF.

Οι Wireless LAN controllers έχουν μια ενσωματωμένη κατανόηση της ισχύος των σημάτων που υπάρχουν μεταξύ των lightweight access points μέσα στο ίδιο δίκτυο. Αυτοί οι controllers μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να δημιουργήσουν μια δυναμική βέλτιστη τοπολογία RF για το δίκτυο. Οι Wireless LAN controllers παρέχουν δυναμικό RF με ένα μοναδικό τρόπο. Όταν ένα access point με δυνατότητες LWAPP εκκινεί, ψάχνει αμέσως για έναν controller μέσα στο δίκτυο. Αφότου βρει έναν, το access point στέλνει κρυπτογραφημένα μηνύματα "γειτόνων". Αυτά τα μηνύματα γειτόνων περιλαμβάνουν τη διεύθυνση MAC και την ισχύ των σημάτων όλων των γειτονικών access points. Σε ένα δίκτυο με έναν μόνο Wireless LAN controller, ο controller χρησιμοποιεί αυτή την πληροφορία γειτόνων για να καθορίσει τις σχετικές θέσεις στο χώρο των access points του δικτύου. Ο controller ρυθμίζει έπειτα το κανάλι και τη βέλτιστη ισχύ του σήματος κάθε access point με στόχο τη βέλτιστη κάλυψη και ικανότητα.

Όταν υπάρχει ένα πλέγμα από Wireless LAN controllers (δηλαδή πολλοί ελεγκτές που βρίσκονται σε ένα ενιαίο δίκτυο) στο δίκτυο επιλέγεται ένας default controller, και όλοι οι controllers τροφοδοτούν τον προεπιλεγμένο με πληροφορίες για τα lightweight access points τους. Ο default ελεγκτής συσχετίζει την πληροφορία για όλα τα access points στο δίκτυο, και εξάγει έπειτα το βέλτιστο κανάλι και την ισχύ για κάθε access point. Οι αλγόριθμοι που είναι ενσωματωμένοι στην αρχιτεκτονική του Unified Wireless Network εξασφαλίζουν ότι το δίκτυο δεν "τα χάνει", ούτε αλλάζει δίχως αιτία. Το αποτέλεσμα είναι ένα δυναμικό ασύρματο δίκτυο που προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες RF σε πραγματικό χρόνο.

### 2.1.3 Βελτιστοποιημένη απόδοση ανά-χρήστη

Το 802.11 πρωτόκολλο καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη και την εγγύηση σχετικά με την απόδοση και τη ρυθμοαπόδοση χρηστών. Επειδή το 802.11 δίνει σε κάθε στοιχείο του δικτύου ίση πρόσβαση στον αέρα, κάθε πελάτης αποφασίζει σε ποιο access point θα μεταβεί με περιαγωγή (roam) έπειτα. Όταν οι συσκευές-πελάτες εισέρχονται σε μια περιοχή κάλυψης, μπορούν να συνδεθούν με το access point με το ισχυρότερο σήμα. Όμοια, κάθε συσκευή-πελάτης έχει τόση πρόσβαση στο μέσο RF όσο και το access point με το οποίο είναι συσχετισμένη (associated).

Επομένως, η ρυθμοαπόδοση RF για όλους τους πελάτες μπορεί ενδεχομένως να μειωθεί —όλοι οι πελάτες μπορεί να συσχετιστούν με το ίδιο σημείο πρόσβασης. Αυτό καλείται συνήθως το "φαινόμενο των αιθουσών συνεδριάσεων", (meeting room effect). Η εξισορρόπηση του φορτίου βελτιστοποιεί τη ρυθμοαπόδοση για όλους τους πελάτες με το να βελτιστοποιεί συνεχώς τις συνδέσεις των χρηστών για να δώσει σε κάθε πελάτη τη βέλτιστη ρυθμοαπόδοση. Αυτό βελτιώνει τη ρυθμοαπόδοση για κάθε πελάτη και εξισορροπεί δυναμικά το φορτίο των πελατών για το δίκτυο.

Οι wireless LAN controllers και τα δομοστοιχεία (modules) έχουν μια ολιστική άποψη του δικτύου. Μέσω της ανταλλαγής κρυπτογραφημένων μηνυμάτων αυτοί οι controllers έχουν μια κατανόηση της ισχύος του σήματος μεταξύ των access points. Επιπλέον, όταν ένας πελάτης κάνει ανίχνευση (probe) για ένα access point (ένα μέρος του προτύπου 802.11 όπου ένας πελάτης ψάχνει για οποιοδήποτε access point διαφημίζει το όνομα WLAN το οποίο αναζητά), ο controller λαμβάνει το probe αυτό από κάθε access point που ακούει το probe του πελάτη. Ο controller επιλέγει τότε ποιο access point θα αποκριθεί στο probe του πελάτη, λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ σήματος του πελάτη και το σηματοθορυβικό του λόγο (signal to noise ratio). Για παράδειγμα, ένα παρακείμενο access point μπορεί να παρέχει μια ισοδύναμη υπηρεσία αλλά σε μια χαμηλότερη ισχύ σήματος. Ο controller θα αποφασίσει ποιο access point πρέπει να αποκριθεί στο probe του πελάτη με βάση την ισχύ του σήματός του (RSSI, Received Signal Strength Indication).

### 2.1.4 Δικτύωση για επισκέπτες (guest networking)

Η δικτύωση για επισκέπτες έχοντας πλέον εξελιχθεί από πολυτέλεια σε απαίτηση, επιτρέπει σε οργανισμούς και επιχειρήσεις να θωρακίζουν την ασφάλεια των ασύρματων δικτύων τους, ενώ παρέχουν στους πελάτες, προμηθευτές και συνεργάτες τους ελεγχόμενη πρόσβαση στα WLANs τους. Σε δίκτυα με αυτόνομα access points, οι διαχειριστές παρέχουν guest networking επεκτείνοντας 'guest' VLANs στο δίκτυο. Αυτά τα VLANs έχουν πολιτικές ασφαλείας που διαφέρουν από τη συνηθισμένη κίνηση του δικτύου και μπορούν να είναι πηγές λανθασμένων ρυθμίσεων και πιθανών κενών ασφαλείας.

Αντίθετα στην περίπτωση μιας αρχιτεκτονικής συγκέντρωσης (wireless controller και lightweight access points) όταν δημιουργείται ένα wireless LAN για επισκέπτες, όλη η κίνηση από αυτό το WLAN κατευθύνεται μέσω του δικτύου στον αντίστοιχο guest controller. Έτσι δεν απαιτείται καμία τροποποίηση στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική VLAN.

### 2.1.5 Περιαγωγή (roaming) επιπέδου 3

Στην περίπτωση δικτύων που χρησιμοποιούν αυτόνομα access points, για να καταστεί εφικτό το roaming επεκτείνονται τα VLANs με συνέπεια να εισάγονται μεγάλοι τομείς πολυεκπομπής (broadcast domains), που δεν είναι επεκτάσιμοι. Αντίθετα στο

Unified Wireless Network το roaming είναι δυνατό χωρίς VLANs, γεγονός που απλοποιεί το δίκτυο και το καθιστά έτοιμο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως ομιλία, και video πάνω από wireless.

Με το Unified Wireless Network, τα lightweight access points τοποθετούνται σε μια συνηθισμένη υποδομή υποδικτύου και λαμβάνουν μια IP διεύθυνση που είναι τοπική για το υποδίκτυο στο οποίο βρίσκονται. Όλη η κίνηση που έρχεται από τους ασύρματους πελάτες τοποθετείται σε ένα πακέτο LWAPP που προωθείται με τη μέθοδο σήραγγας (tunneling) μέσω του υφιστάμενου δικτύου στον wireless LAN controller. Συσκευές-πελάτες λαμβάνουν την IP διεύθυνσή τους από ένα υποδίκτυο που είναι συνδεδεμένο με τον controller- και όχι το υποδίκτυο της περιοχής του κτιρίου όπου βρίσκονται. Η παρούσα υποδομή δικτύου είναι κρυμμένη από τον πελάτη. Οι controllers διαχειρίζονται τις διαδικασίες της περιαγωγής (roaming) και προώθησης με τη μέθοδο σήραγγας (tunneling) μεταξύ τους για να εξασφαλίσουν ότι δε χρειάζονται πρωτόκολλα όπως το Mobile IP.

### **2.1.6 Ενσωματωμένο ασύρματο IDS (intrusion detection system)**

Η ασφάλεια είναι ένα ζήτημα για τους διαχειριστές δικτύων, και η ασύρματη ασφάλεια είναι ένα ζήτημα για τους επαγγελματίες της ασφάλειας. Μια σημαντική ανησυχία είναι η απειλή ενός κακόβουλου (rogue) access point που δημιουργεί μια τρύπα σε ένα ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο. Η εισαγωγή ενός ασύρματου συστήματος IDS στο δίκτυο παρέχει ένα επιπλέον επίπεδο προστασίας και ασφάλειας στο δίκτυο. Ένα IDS ασύρματου LAN μειώνει την απειλή των χάκερς ή των κακόβουλων χρηστών που αποκτούν πρόσβαση σε κρίσιμους πόρους του δικτύου.

Τα lightweight access points και οι wireless LAN controllers ενεργούν ταυτόχρονα ως συσκευές για την εξυπηρέτηση των δεδομένων και σαν αισθητήρες IDS. Αυτό είναι δυνατό μέσω της μοναδικής αρχιτεκτονικής split-MAC του LWAPP, όπου μερικές δυνατότητες είναι στο access point, και άλλες στον controller. Το LWAPP split MAC επιτρέπει στα lightweight access points να ανιχνεύουν τα κανάλια, χωρίς διακοπή των υπηρεσιών δεδομένων. Τα access points και οι controllers έχουν μια εύρωστη βιβλιοθήκη υπογραφών επίθεσης (attack signatures) που χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν ασύρματες απειλές, οι οποίες θα μπορούσαν να είναι rogue access points, δίκτυα ad-hoc, ή κακόβουλοι άνθρωποι που προσπαθούν να βρουν μια αδυναμία στο ασύρματο δίκτυο. Τα lightweight access points μπορούν να ανιχνεύσουν επιθέσεις στο ίδιο κανάλι που λειτουργούν, καθώς επίσης και απειλές, όπως rogue και ad-hoc δίκτυα, που αναπτύσσουν δραστηριότητα σε κανάλια στα οποία δεν λειτουργούν. Επιπλέον το Unified Wireless Network μετριάξει απειλές που παρουσιάζονται από rogue access points μέσω του ισχυρού χαρακτηριστικού ανάσχεσης των rogue που διαθέτει, το οποίο εξασφαλίζει ότι οι πελάτες δεν μπορούν να συνδεθούν με ένα rogue access point.

### **2.1.7 Υπηρεσίες εντοπισμού**

Οι υπηρεσίες εντοπισμού είναι μια απόλυτη απαίτηση για τα ασύρματα δίκτυα επόμενης-γενιάς. Υποστηρίζουν την ταυτόχρονη παρακολούθηση χιλιάδων συσκευών Wi-Fi άμεσα, μέσα από την υποδομή του ασύρματου τοπικού δικτύου. Αυτές οι υπηρεσίες χρησιμοποιούνται για κρίσιμες εφαρμογές όπως η παρακολούθηση μεγάλης αξίας περιουσιακών στοιχείων (assets), διαχείριση IT (information technology), η ασφάλεια, και η εφαρμογή των πολιτικών του οργανισμού. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- e911 (enhanced 911) και ομιλία πάνω από το ασύρματο LAN



- Αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με πελάτες και συσχέτιση της θέσης ενός πελάτη με ζητήματα συνδεσιμότητας πελατών.
- Ασφάλεια βασισμένη στη θέση

Τέλος σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η αρχιτεκτονική συγκέντρωσης (centralized architecture) του Unified Wireless Network είναι η υψηλή απόδοση στις υπηρεσίες φωνής πάνω από WLAN (VoWLAN , Voice over WLAN) και το χαμηλό συνολικό κόστος της ιδιοκτησίας (TCO, Total Cost of Ownership).

## 2.2 Lightweight Access Points

Τα Access Points (APs , σημεία πρόσβασης) της σειράς Cisco Aironet 1240AG που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του δικτύου είναι διαθέσιμα σε δύο τύπους (configurations) :

- στα αυτόνομα σημεία πρόσβασης που μπορούν να υποστηρίξουν αυτόνομες ρυθμίσεις για το δίκτυο με όλες τις ρυθμίσεις να διατηρούνται μέσα στα σημεία πρόσβασης.
- στα μη-αυτόνομα, που ονομάζονται lightweight access points και λειτουργούν από κοινού με έναν Cisco wireless LAN controller (ελεγκτή ασύρματου δικτύου) με όλες τις πληροφορίες για τις ρυθμίσεις να διατηρούνται μέσα στον ελεγκτή.

Στη συγκεντρωμένη αρχιτεκτονική WLAN της Cisco (Cisco Centralized Wireless LAN architecture) , τα access points λειτουργούν με τον δεύτερο τρόπο (σε αντιδιαστολή με τον αυτόνομο τρόπο). Τα lightweight access points συνδέονται σε έναν controller. Ο controller διαχειρίζεται τις ρυθμίσεις, το firmware, και τις συναλλαγές ελέγχου (control transactions) όπως η επαλήθευση ταυτότητας (authentication) 802.1x. Επιπλέον, όλη η ασύρματη κίνηση δρομολογείται μέσω του ελεγκτή.

Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του controller με τα access points είναι το LWAPP. Το LWAPP είναι ένα σχέδιο πρωτοκόλλου (draft) της IETF (Internet Engineering Task Force) που καθορίζει την ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου για την εγκατάσταση και έλεγχο αυθεντικότητας διαδρομής καθώς και λειτουργίες χρόνου εκτέλεσης. Το LWAPP καθορίζει επίσης τον μηχανισμό σήραγγας (tunneling) για την κυκλοφορία των δεδομένων.

Περισσότερες πληροφορίες για το LWAPP βρίσκονται στο τέλος του κεφαλαίου.

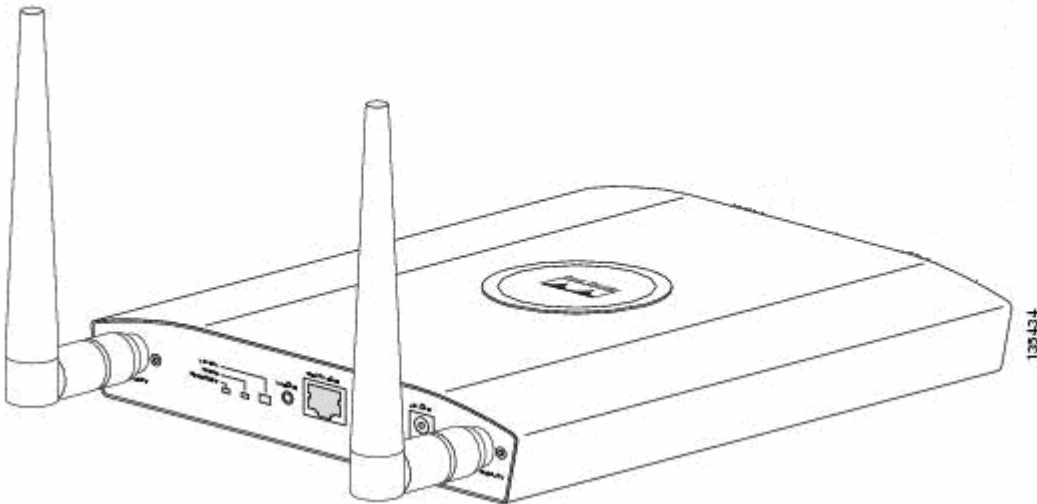
Σε ένα περιβάλλον LWAPP, ένα lightweight access point ανακαλύπτει έναν ελεγκτή με τη χρησιμοποίηση των μηχανισμών ανακάλυψης LWAPP και στη συνέχεια του στέλνει μια LWAPP αίτηση join. Ο ελεγκτής στέλνει στο lightweight access point μια LWAPP join απόκριση που επιτρέπει στο σημείο πρόσβασης να συνδεθεί με τον ελεγκτή. Όταν το σημείο πρόσβασης συνδεθεί με τον controller, κατεβάζει το λογισμικό του εάν οι εκδόσεις στο access point και τον controller δεν ταιριάζουν. Από τη στιγμή που ένα σημείο πρόσβασης έχει συνδεθεί με έναν ελεγκτή, μπορεί πλέον να ανατεθεί σε οποιονδήποτε ελεγκτή του δικτύου.

Το LWAPP καθιστά ασφαλή την επικοινωνία ελέγχου μεταξύ του lightweight access point και του ελεγκτή με τη βοήθεια ασφαλούς διαμερισμού κλειδιού, που χρησιμοποιεί τα πιστοποιητικά X.509 και στο σημείο πρόσβασης και στον ελεγκτή.

Τα lightweight access points υποστηρίζουν οκτώ BSSIDs (Basic Service Set Identifiers) ανά τρόπο μετάδοσης (a ή b/g) και ένα σύνολο οκτώ ασυρμάτων LANs ανά σημείο πρόσβασης. Όταν ένα lightweight access point συνδεθεί σε έναν ελεγκτή, μόνο τα ασύρματα LANs με IDs 1 μέχρι 8 προωθούνται στο σημείο πρόσβασης.

Τα lightweight access points δεν υποστηρίζουν LWAPP επιπέδου 2. Πρέπει να προμηθευτούν μια διεύθυνση IP και να ανακαλύψουν τον ελεγκτή χρησιμοποιώντας DHCP, DNS, ή IP broadcast υποδικτύου.

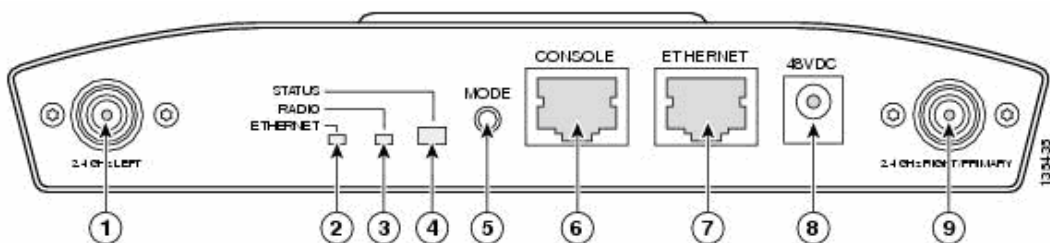
Η θύρα για κονσόλα (console port) των lightweight access points είναι διαθέσιμη για σκοπούς παρακολούθησης και αποσφαλμάτωσης (debugging), (όλες οι εντολές ρυθμίσεων είναι εκτός λειτουργίας όταν το σημείο πρόσβασης είναι συνδεδεμένο σε έναν ελεγκτή).



Σχήμα 2.1 Access Point 1242G με εξωτερικές κεραίες

## Η θύρα Ethernet

Η θύρα Ethernet που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα δέχεται έναν RJ-45 σύνδεσμο (connector), που ενώνει το access point με το 10BASE-T or 100BASE-T Ethernet LAN. Η Ethernet MAC διεύθυνση είναι τυπωμένη στην ετικέτα στο πίσω μέρος του access point.

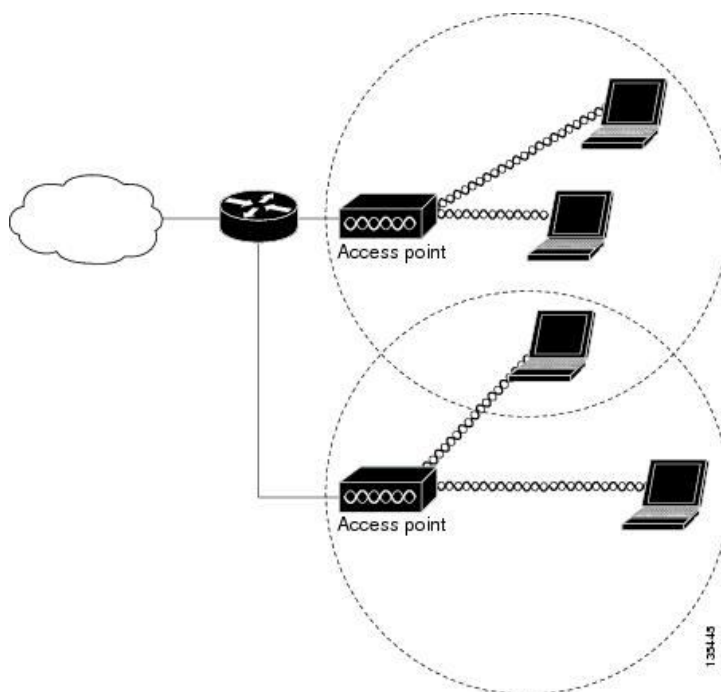


Σχήμα 2.2 Η πλευρά συνδέσμων του access point

## 2.2.1 Παραδείγματα δικτύων με αυτόνομα access points

### Root access point σε ένα ενσύρματο τοπικό LAN

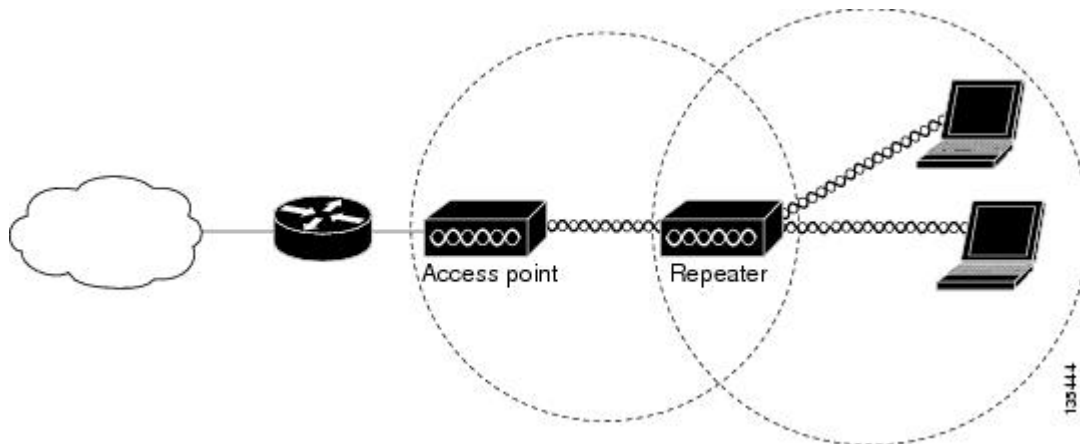
Ένα αυτόνομο σημείο πρόσβασης που συνδέεται άμεσα με ένα ενσύρματο LAN παρέχει ένα σημείο σύνδεσης για τους ασύρματους χρήστες. Εάν περισσότερα από ένα αυτόνομα σημεία πρόσβασης συνδέονται με το LAN, οι χρήστες μπορούν να κάνουν περιαγωγή (roam) από έναν τομέα σε έναν άλλο χωρίς απώλεια της σύνδεσής τους στο δίκτυο. Καθώς οι χρήστες βγαίνουν έξω από την εμβέλεια ενός σημείου πρόσβασης, συνδέονται αυτόματα με το δίκτυο (associate) μέσω ενός άλλου σημείου πρόσβασης. Η διαδικασία περιπλάνησης είναι διαφανής στο χρήστη. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει access points που ενεργούν ως μονάδες ρίζας (root) σε ένα ενσύρματο LAN.



Σχήμα 2.3 Access points ως μονάδες ρίζας σε ένα ενσύρματο LAN

### Μονάδα επαναλήπτη (repeater) που επεκτείνει την ασύρματη εμβέλεια

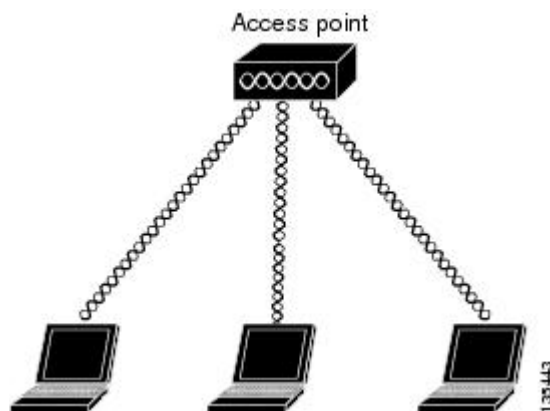
Ένα αυτόνομο access point μπορεί να ρυθμιστεί ως αυτόνομος επαναλήπτης για να επεκτείνει την εμβέλεια μιας υποδομής ή για να υπερνικήσει ένα εμπόδιο που εμποδίζει τη ραδιοεπικοινωνία. Ο επαναλήπτης προωθεί την κίνηση μεταξύ των ασύρματων χρηστών και του ενσύρματου LAN στέλνοντας πακέτα είτε σε έναν άλλο επαναλήπτη είτε σε ένα σημείο πρόσβασης συνδεδεμένο με το ενσύρματο LAN. Τα δεδομένα στέλνονται μέσω της διαδρομής που παρέχει την καλύτερη επίδοση για τον πελάτη. Το σχήμα 2.4 παρουσιάζει αυτόνομο σημείο πρόσβασης που λειτουργεί ως επαναλήπτης.



Σχήμα 2.4 Access Point ως επαναλήπτης

### Κεντρική μονάδα σε ένα πλήρως-ασύρματο δίκτυο

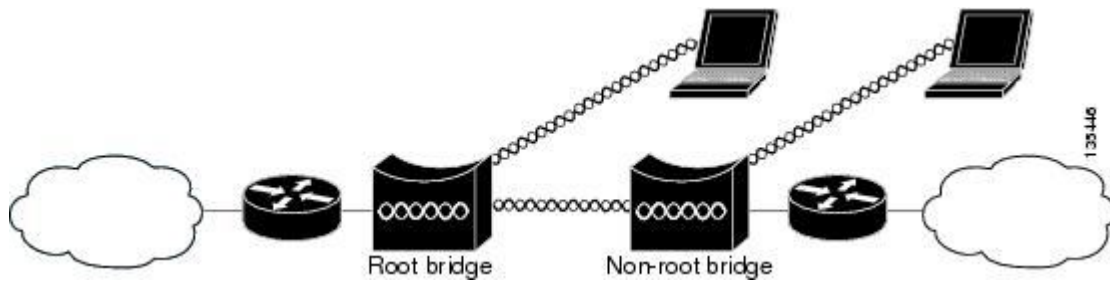
Σε ένα πλήρως-ασύρματο δίκτυο, ένα αυτόνομο σημείο πρόσβασης λειτουργεί ως αυτόνομη μονάδα ρίζας (root). Το αυτόνομο σημείο πρόσβασης δεν είναι συνδεδεμένο με το ενσύρματο LAN, αλλά λειτουργεί ως hub συνδέοντας όλους τους σταθμούς μαζί. Το σημείο πρόσβασης χρησιμεύει ως το εστιακό σημείο για τις επικοινωνίες, αυξάνοντας την εμβέλεια επικοινωνίας των ασύρματων χρηστών. Το σχήμα 2.5 παρουσιάζει ένα αυτόνομο σημείο πρόσβασης σε ένα πλήρως-ασύρματο δίκτυο.



Σχήμα 2.5 Access Point ως κεντρική μονάδα σε ένα πλήρως ασύρματο δίκτυο

### Δίκτυο γέφυρας με ασύρματους πελάτες

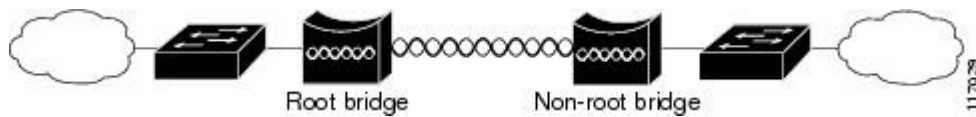
Το access point υποστηρίζει τους ρόλους γέφυρας ρίζας (root bridge) και γέφυρας που δεν είναι ρίζα, που χρησιμοποιούνται για να διασυνδέσουν ένα απομακρυσμένο LAN στο κύριο τοπικό δίκτυο όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Οι μονάδες γέφυρας μπορούν επίσης να υποστηρίξουν ασύρματους πελάτες.



Σχήμα 2.6 Root bridge και non-root bridge με πελάτες

### Διάταξη γέφυρας σημείου προς σημείο (Point to point bridge configuration)

Σε μια διάταξη γέφυρας σημείου προς σημείο, δύο γέφυρες διασυνδέουν δύο τοπικά δίκτυα χρησιμοποιώντας μια ασύρματη σύνδεση επικοινωνίας (βλ. Σχήμα 2.7). Η γέφυρα που συνδέεται με το κύριο δίκτυο LAN κατατάσσεται στις γέφυρα ρίζας (root) και η άλλη στις γέφυρες μη-ρίζας.

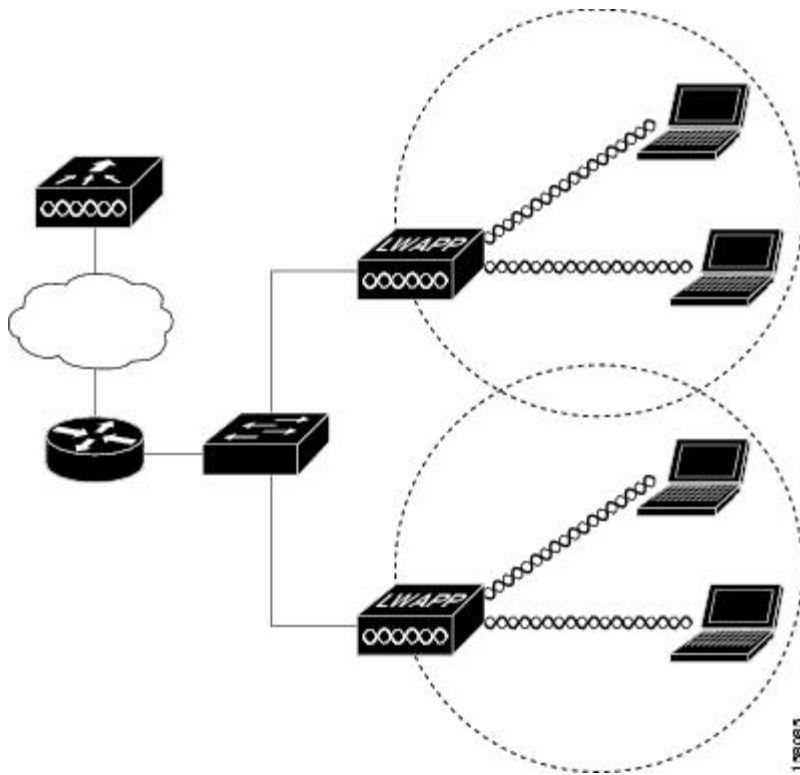


Σχήμα 2.7 Διάταξη γέφυρας σημείου προς σημείο

## 2.2.2 Παράδειγμα δικτύου με Lightweight Access Points

Τα lightweight access points υποστηρίζουν λειτουργία δικτύου επιπέδου 3. Τα lightweight access points και οι controllers σε λειτουργία επιπέδου 3 χρησιμοποιούν διευθύνσεις IP και UDP πακέτα, τα οποία μπορούν να δρομολογηθούν μέσω μεγάλων δικτύων. Η λειτουργία επιπέδου 3 είναι επεκτάσιμη και συστήνεται από τη Cisco.

Το παρακάτω σχήμα 2.8 απεικονίζει μια χαρακτηριστική διάταξη ασύρματου δικτύου που περιέχει lightweight access points και ένα Wireless LAN Controller



Σχήμα 2.8 Τυπικό παράδειγμα διάταξης δικτύου με lightweight access points

### 2.2.3 Διαδικασία ανακάλυψης ελεγκτών για τα Lightweight Access Points

Τα lightweight access points υποστηρίζουν τις παρακάτω 4 διαδικασίες για την ανακάλυψη ελεγκτών:

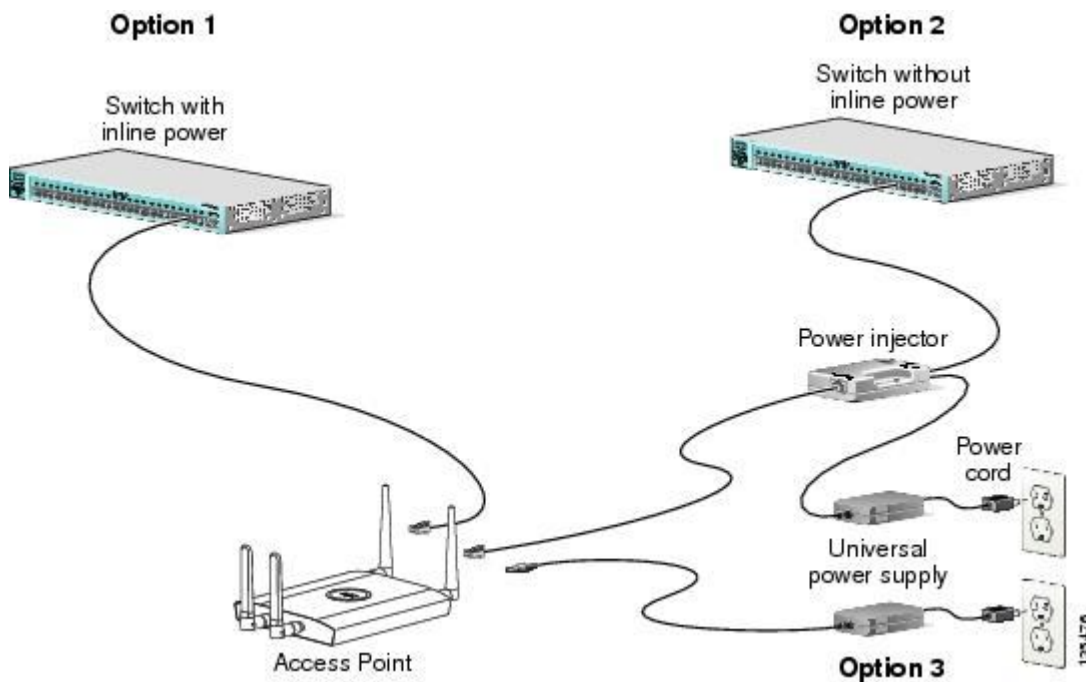
- Ανακάλυψη μέσω του DHCP server (που είναι και η συνιστώμενη από τη Cisco) —χρησιμοποιεί την DHCP επιλογή 43 (πληροφορία για τον πωλητή) για να παρέχει στα access points τις διευθύνσεις IP του controller. Αρκετοί μεταγωγείς (switches) όπως αυτοί της Cisco υποστηρίζουν μια επιλογή DHCP server.
- Ανακάλυψη μέσω του DNS server . Το access point χρησιμοποιεί το όνομα CISCO-LWAPP-CONTROLLER.<local domain> για να ανακαλύψει τις IP διευθύνσεις του controller από έναν DNS server, όπου < local domain > είναι το domain name του σημείου πρόσβασης.
- Ανακάλυψη μέσω τοπικά αποθηκευμένων IP διευθύνσεων του controller στα APs. Εάν το access point ήταν προηγουμένως συνδεδεμένο σε έναν controller, οι διευθύνσεις IP του πρωτεύοντος, δευτερεύοντος, και τριτεύοντος controller αποθηκεύονται στην αμετάβλητη (non-volatile) μνήμη του σημείου πρόσβασης. Η διαδικασία της αποθήκευσης IP διευθύνσεων των controllers στα σημεία πρόσβασης για να διευκολυνθεί το μετέπειτα στήσιμο καλείται “priming the access point”.

- Τέλος υπάρχει και η δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης των πληροφοριών που σχετίζονται με τον controller, χρησιμοποιώντας CLI (Command Line Interface) εντολές σε νέα access points που δεν είναι συνδεδεμένα με controllers.

## 2.2.4 Τροφοδοσία των access points

Υπάρχουν 3 επιλογές σχετικά με την τροφοδοσία του access point οι οποίες φαίνονται και στο σχήμα που ακολουθεί:

- Μέσω μεταγωγέων (switches) με επαρκή ισχύ γραμμής (Power over Ethernet (PoE) IEEE 802.3af).
- Σε περίπτωση μεταγωγέων χωρίς επαρκή ισχύ γραμμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας power injector
- Παροχή ισχύος τοπικά με χρήση του power module.

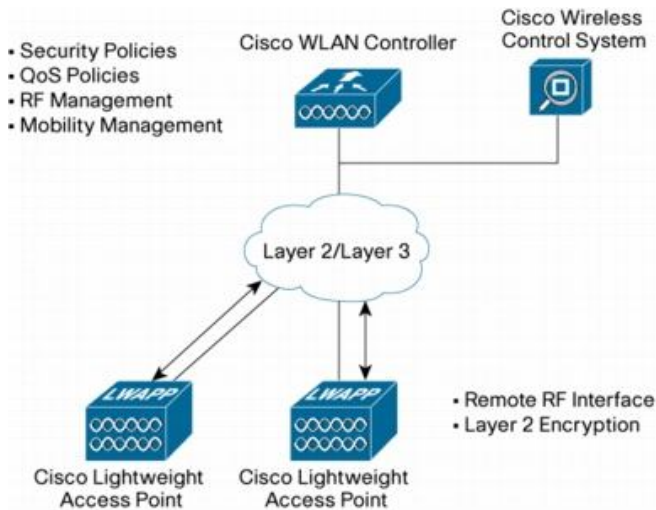


Σχήμα 2.9 Δυνατότητες τροφοδοσίας του access point

## 2.3 Controllers (Ελεγκτές)

Οι Cisco Wireless LAN Controllers εργάζονται από κοινού με τα Lightweight Access Points και το Wireless Control System (WCS, ασύρματο σύστημα ελέγχου) για να παρέχουν σε όλο το σύστημα λειτουργίες ασύρματου LAN (WLAN). Σαν συστατικά του ενοποιημένου ασύρματου δικτύου Cisco (Cisco Unified Wireless Network), οι Wireless LAN Controllers παρέχουν στους διαχειριστές δικτύου τα απαραίτητα εργαλεία παρακολούθησης και ελέγχου για να διαχειρίζονται αποτελεσματικά και με ασφάλεια επιχειρηματικής -κατηγορίας WLANs και υπηρεσίες κινητικότητας, όπως η αυξημένη ασφάλεια, η φωνή, η προσωρινή πρόσβαση (guest access), και οι υπηρεσίες εντοπισμού. Πολλαπλοί controllers WLAN ανακαλύπτουν αυτόματα ο ένας τον άλλον και συντονίζουν με διαφάνεια υπηρεσίες WLAN μεταξύ τους. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι WLAN controllers

δουλεύουν μαζί ως ένα ενιαίο, διαφανές σύστημα για να παραδώσουν ένα επεκτάσιμο δίκτυο WLAN με χιλιάδες access points.



Σχήμα 2.10 Ενοποιημένο ασύρματο LAN Cisco με ασφαλή επικοινωνία μεταξύ των lightweight access points και των controllers.

Ένας αυτόνομος ελεγκτής μπορεί να υποστηρίξει lightweight access points σε πολλαπλούς ορόφους κτηρίων ταυτόχρονα, και υποστηρίζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Αυτόματη ανίχνευση και αυτόματη ρύθμιση των lightweight access points καθώς αυτά προστίθενται στο δίκτυο.
- Πλήρης έλεγχος των lightweight access points.
- Πλήρης έλεγχος μέχρι 16 πολιτικών ασύρματου LAN (SSID) για access points της σειράς Cisco 1000.

Ορισμένοι από τους controllers χρησιμοποιούν πλεονάζουσες συνδέσεις Gigabit Ethernet για να ξεπεράσουν απλά σφάλματα δικτύου. Επιπλέον μερικοί controllers μπορούν να συνδεθούν μέσω των πολλαπλάσιων φυσικών θυρών (ports) με πολλαπλά υποδίκτυα στο δίκτυο. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να είναι χρήσιμο όταν οι χειριστές θέλουν να περιορίσουν πολλαπλά VLANs σε χωριστά υποδίκτυα.

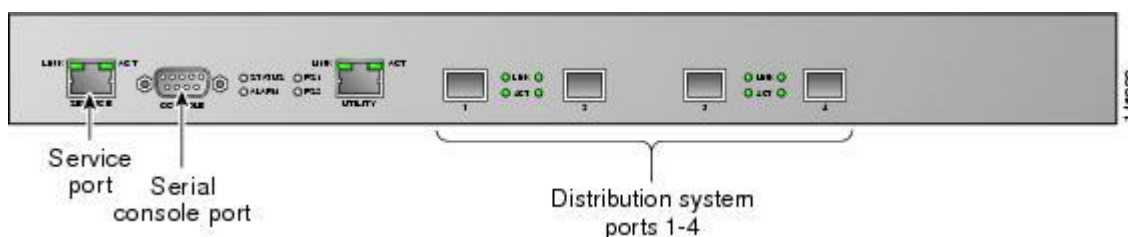
### 2.3.1 Μνήμη του Wireless LAN Controller

Ο ελεγκτής περιέχει δύο είδη μνήμης: μη-σταθερή, ή πτητική (volatile) RAM, που κρατά τις πρόσφατες ρυθμίσεις του ενεργού controller, και NVRAM (σταθερή, non-volatile RAM), η οποία κρατά τις ρυθμίσεις για την επανεκκίνηση (reboot). Όταν κάποιος ρυθμίζει το λειτουργικό σύστημα στον controller, τροποποιεί τη volatile RAM. Οι αλλαγές πρέπει να σωθούν από τη volatile RAM στην NVRAM για να εξασφαλιστεί ότι ο controller θα επανεκκινήσει με την τρέχουσα ρύθμιση.



### 2.3.2 Θύρες (Ports)

Μια θύρα είναι μια φυσική οντότητα που χρησιμοποιείται για συνδέσεις στην πλατφόρμα του controller. Οι controllers έχουν δύο τύπους θυρών: distribution system ports (θύρες καταναμημένου συστήματος) και ένα service port (θύρα υπηρεσιών). Το ακόλουθο σχήμα παρουσιάζει τις διαθέσιμες θύρες σε έναν 4404 controller. Ο controller που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής ήταν ένας 4402. Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ αυτών των δύο ειδών controllers είναι ότι ο 4402 περιέχει 2 distribution system ports αντί για 4.



Σχήμα 2.11 Οι θύρες ενός Cisco 4404 controller. Η θύρα utility που είναι η μόνη χωρίς επεξήγηση στο σχήμα παραμένει προς το παρόν αχρησιμοποίητη.

### Θύρες distribution system

Μια θύρα distribution system συνδέει τον controller με ένα γειτονικό μεταγωγέα και χρησιμεύει ως η διαδρομή δεδομένων μεταξύ των δύο αυτών συσκευών. Οι Cisco 4402 controllers έχουν δύο Gigabit Ethernet θύρες distribution system, κάθε μια από τις οποίες είναι σε θέση να διαχειρίζεται μέχρι 48 access points. Εντούτοις, η Cisco συνιστά όχι περισσότερα από 25 σημεία πρόσβασης ανά θύρα εξαιτίας περιορισμών του εύρους ζώνης (bandwidth). Κάθε θύρα distribution port είναι, εξ ορισμού, μια trunk θύρα 802.1Q VLAN. Τα VLAN trunking χαρακτηριστικά της θύρας δεν είναι τροποποιήσιμα.

Ο 4402 controller υποστηρίζει επίσης link aggregation (LAG, συνάθροιση συνδέσεων), η οποία συσσωρεύει όλες τις θύρες distribution system του controller σε ένα ενιαίο 802.3ad κανάλι θυρών.

### Θύρα υπηρεσιών (Service Port)

Η σειρά controllers Cisco 4400 έχει επίσης μια 10/100 θύρα υπηρεσιών χάλκινου Ethernet. Η θύρα υπηρεσιών ελέγχεται από τη διεπαφή της θύρας και προορίζεται για out-of-band (εξωζωνική) διαχείριση του controller, ανάκαμψη του συστήματος και συντήρηση σε περίπτωση μιας βλάβης του δικτύου. Είναι επίσης η μόνη θύρα που είναι ενεργή όταν ο controller είναι σε λειτουργία εκκίνησης (boot mode). Η θύρα υπηρεσιών δεν είναι σε θέση να φέρει ετικέτες 802.1Q, έτσι πρέπει να συνδεθεί με ένα access port στο γειτονικό μεταγωγέα. Η χρήση της θύρας είναι προαιρετική.

### 2.3.3 Interfaces (Διεπαφές)

Μια διεπαφή είναι μια λογική οντότητα στον controller. Μια διεπαφή έχει πολλαπλές παραμέτρους που σχετίζονται με αυτή, συμπεριλαμβανομένης μιας διεύθυνσης IP, μιας προεπιλεγμένης-πύλης (για το υποδίκτυο IP), μιας πρωτεύουσας φυσικής θύρας, μιας δευτερεύουσας φυσικής θύρας, ενός αναγνωριστικού VLAN, και του εξυπηρετητή

DHCP . Αυτοί οι πέντε τύποι διεπαφών είναι διαθέσιμοι στον controller. Οι τέσσερις πρώτοι είναι στατικοί και ρυθμίζονται κατά την εγκατάσταση:

- Management interface (στατική και ρυθμιζόμενη κατά την εγκατάσταση, υποχρεωτική)
- AP-Manager interface (όταν χρησιμοποιείται LWAPP επιπέδου 3, (στατική και ρυθμιζόμενη κατά την εγκατάσταση, υποχρεωτική)
- Virtual interface (στατική και ρυθμιζόμενη κατά την εγκατάσταση, υποχρεωτική)
- Service port interface (στατική και ρυθμιζόμενη κατά την εγκατάσταση, υποχρεωτική)
- Dynamic Interface (καθοριζόμενη από το χρήστη)

Κάθε διεπαφή απεικονίζεται τουλάχιστον σε μία κύρια θύρα, και μερικές διεπαφές (management και dynamic) μπορούν να απεικονιστούν σε μια προαιρετική δευτερεύουσα (εφεδρική-backup) θύρα. Εάν η κύρια θύρα για μια διεπαφή αποτύχει, η διεπαφή κινείται αυτόματα προς τη backup θύρα. Επιπλέον, πολλαπλές διεπαφές μπορούν να απεικονίζονται σε μια μόνο θύρα του controller.

### Management Interface

Η management interface είναι η προεπιλεγμένη διεπαφή για την in-band (ενδοζωνική) διαχείριση του controller και της συνδεσιμότητας σε υπηρεσίες όπως αυτές στους AAA servers. (Authorization, Authentication, Accounting). Η διεπαφή management έχει τη μόνη IP διεύθυνση διεπαφής στον ελεγκτή στην οποία μπορεί πάντα να γίνεται ping. Επιπλέον κάποιος μπορεί να έχει πρόσβαση στο GUI του controller εάν εισάγει την IP διεύθυνση της management διεπαφής στο πεδίο διεύθυνσης ενός Internet browser.

Η management interface χρησιμοποιείται επίσης για επικοινωνίες στρώματος 2 μεταξύ του controller και των lightweight access points. Πρέπει να αποδοθεί στη distribution system θύρα 1 αλλά μπορεί επίσης να απεικονιστεί σε μια εφεδρική θύρα και να αποδοθεί σε WLANs εάν αυτό είναι επιθυμητό. Μπορεί να βρίσκεται στο ίδιο VLAN ή IP υποδίκτυο με τη διεπαφή AP-manager. Εντούτοις, η management διεπαφή μπορεί επίσης να επικοινωνήσει μέσω άλλων distribution system θυρών ως εξής:

- Στέλνει μηνύματα μέσω του στρώματος 2 του δικτύου για να ανακαλύψει αυτόματα και να επικοινωνήσει με άλλους ελεγκτές μέσω όλων των distribution system θυρών.
- Ακούει μέσω του στρώματος 2 του δικτύου για LWAPP polling μηνύματα από τα lightweight access point για την αυτόματη ανακάλυψη, σύνδεση, και επικοινωνία με όσο το δυνατόν περισσότερα access points.

Όταν οι επικοινωνίες LWAPP τίθενται σε τρόπο λειτουργίας επίπεδου 2 (ίδιο υποδίκτυο), ο controller απαιτεί μια management διεπαφή για να ελέγχει όλες τις επικοινωνίες μεταξύ controllers και controllers με access points, ανεξάρτητα από τον αριθμό των θυρών. Όταν οι επικοινωνίες LWAPP έχουν τεθεί σε τρόπο λειτουργίας επιπέδου 3 (διαφορετικό υποδίκτυο), όπως έγινε και στην προκειμένη περίπτωση, ο controller απαιτεί μια management διεπαφή για να ελέγχει όλες τις επικοινωνίες μεταξύ των controllers και μια AP-manager διεπαφή για να ελέγχει όλες τις επικοινωνίες controller με access point, ανεξάρτητα από τον αριθμό των θυρών.

### AP-Manager Interface

Ένας ελεγκτής έχει μια ή περισσότερες διεπαφές AP-manager οι οποίες χρησιμοποιούνται για όλες τις επικοινωνίες στρώματος 3 μεταξύ του controller και των lightweight access points αφότου τα access points έχουν συνδεθεί με τον controller. Η IP

διεύθυνση AP-manager χρησιμοποιείται ως πηγή για τα πακέτα LWAPP από τον controller προς το σημείο πρόσβασης και ως προορισμός για τα πακέτα LWAPP από το σημείο πρόσβασης στον controller.

Για τους Cisco controllers 4402 η διεπαφή AP-manager ρυθμίζεται να αντιστοιχεί στις distribution system θύρες 1 και 2. Επίσης η ρύθμιση της AP-manager interface έτσι ώστε να βρίσκεται στο ίδιο VLAN ή IP υποδίκτυο με τη management interface έχει ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη σύνδεση με τα access points, αλλά δεν είναι υποχρεωτική.

## **Virtual Interface**

Η virtual (εικονική) διεπαφή χρησιμοποιείται για την υποστήριξη διαχείρισης κινητικότητας, για αναμετάδοση (relay) για το DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), και για ενσωματωμένη ασφάλεια επιπέδου 3 όπως πιστοποίηση αυθεντικότητας για guests.

Πιο συγκεκριμένα έχει τους ακόλουθους δύο κύριους ρόλους:

- Λειτουργεί σαν ενδιάμεση οντότητα που κρατά τις διευθύνσεις του DHCP εξυπηρετητή, για ασύρματους πελάτες που προμηθεύονται την IP διεύθυνσή τους από έναν τέτοιο εξυπηρετητή.
- Λειτουργεί ως η διεύθυνση ανακατεύθυνσης (redirect) για το παράθυρο login κατά τη web authentication των χρηστών.

Η IP διεύθυνση της virtual διεπαφής χρησιμοποιείται μόνο σε επικοινωνίες μεταξύ του controller και των ασύρματων πελατών. Δεν εμφανίζεται ποτέ ως διεύθυνση πηγής ή προορισμού ενός πακέτου που βγαίνει από μια θύρα distribution system πάνω στο δίκτυο μεταγωγής. Για να λειτουργήσει σωστά το σύστημα, η IP διεύθυνση της virtual διεπαφής πρέπει να τεθεί, (τιμή διάφορη της 0.0.0.0), και καμία άλλη συσκευή στο δίκτυο δεν μπορεί να έχει την ίδια διεύθυνση με τη virtual διεπαφή. Επομένως, στην εικονική διεπαφή πρέπει να δοθεί μια αχρησιμοποίητη IP διεύθυνση πύλης, όπως η 1.1.1.1. Στην IP διεύθυνση της virtual interface δεν είναι δυνατόν να γίνει ping και δεν πρέπει να υπάρχει σε οποιοδήποτε πίνακα δρομολόγησης στο δίκτυο. Επιπλέον, η εικονική διεπαφή δεν μπορεί να αποδοθεί σε εφεδρική θύρα.

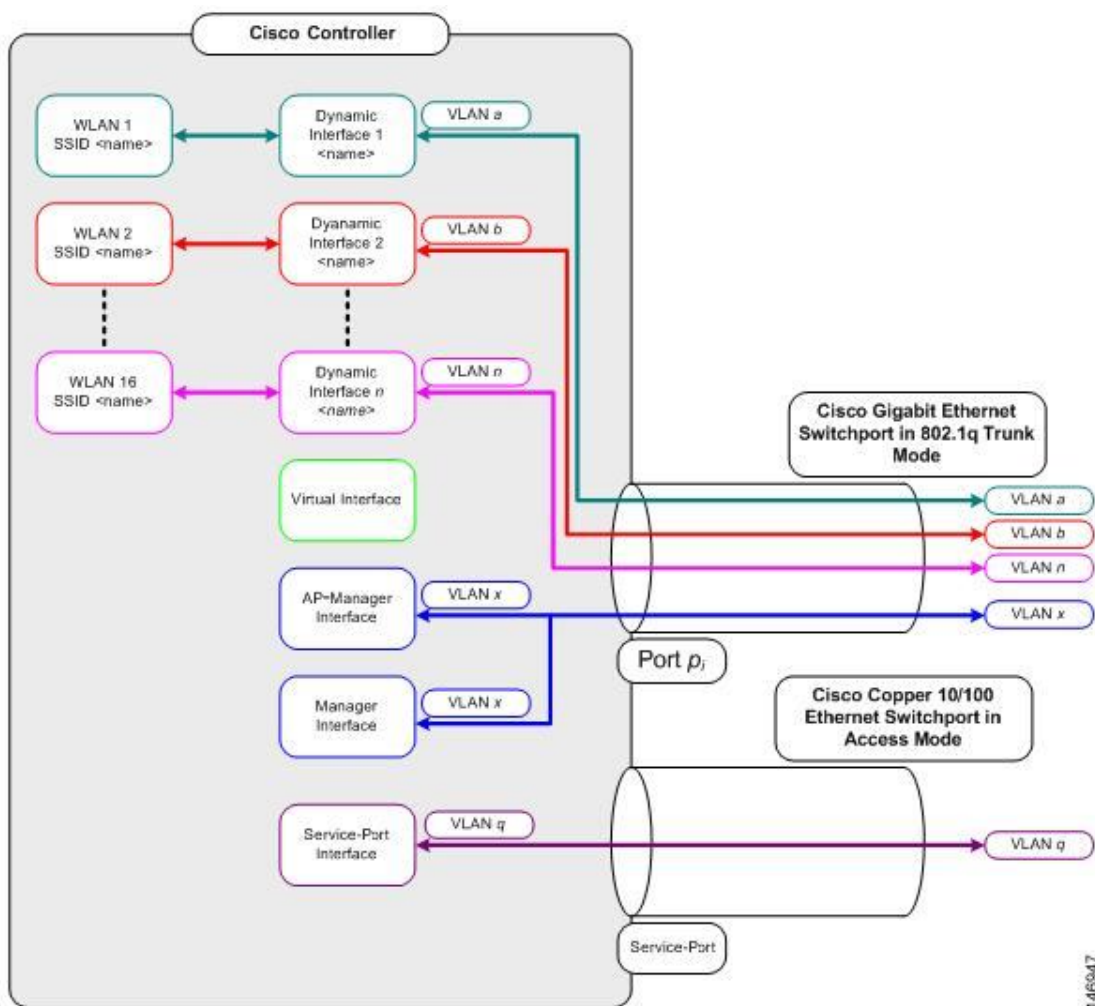
## **Service-Port Interface**

Η διεπαφή της θύρας υπηρεσίας ελέγχει τις επικοινωνίες διαμέσου της θύρας και απεικονίζεται στατικά από το σύστημα στη θύρα υπηρεσίας. Πρέπει να έχει μια διεύθυνση IP σε ένα διαφορετικό υπερδίκτυο (supernet) από τη management, την AP-manager, και οποιεσδήποτε δυναμικές διεπαφές, και δεν μπορεί να απεικονιστεί σε μια εφεδρική θύρα. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει τη διαχείριση του ελεγκτή άμεσα ή μέσω ενός δικτύου λειτουργικού συστήματος (operating system network), ειδικά για αυτό το σκοπό, όπως το 10.1.2.x, το οποίο μπορεί να εξασφαλίσει πρόσβαση υπηρεσίας ακόμη και σε περίπτωση μη λειτουργίας του δικτύου.

Η θύρα υπηρεσίας μπορεί να λάβει μια διεύθυνση IP χρησιμοποιώντας το DHCP, ή μπορεί να της αποδοθεί μια στατική διεύθυνση IP, αλλά μια προεπιλεγμένη πύλη δεν μπορεί να αποδοθεί στη διεπαφή της θύρας υπηρεσίας. Επιπλέον στατικές διαδρομές μπορούν να καθοριστούν μέσω του ελεγκτή για απομακρυσμένη πρόσβαση δικτύου στη θύρα υπηρεσίας.

## Dynamic Interface

Οι δυναμικές διεπαφές, γνωστές επίσης ως διεπαφές VLAN, δημιουργούνται από τους χρήστες και σχεδιάζονται να είναι ανάλογες με VLANs για πελάτες του ασύρματου LAN. Ένας ελεγκτής μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 512 δυναμικές διεπαφές (VLANs). Κάθε dynamic interface διαμορφώνεται ξεχωριστά και επιτρέπει την ύπαρξη χωριστών ρευμάτων επικοινωνίας σε οποιαδήποτε ή και όλες τις distribution system θύρες ενός controller. Κάθε δυναμική διεπαφή ελέγχει VLAN και άλλες επικοινωνίες μεταξύ των controllers και όλων των άλλων συσκευών δικτύου, και κάθε μία ενεργεί ως relay (μεσίτης) DHCP για τους ασύρματους πελάτες που συνδέονται σε WLANs που απεικονίζονται στη διεπαφή. Δυναμικές διεπαφές μπορούν να οριστούν σε θύρες distribution system, σε WLANs, στο management interface επιπέδου 2, και στην AP-manager interface επιπέδου 3, ενώ μπορούν τέλος να απεικονιστούν σε μια εφεδρική θύρα.

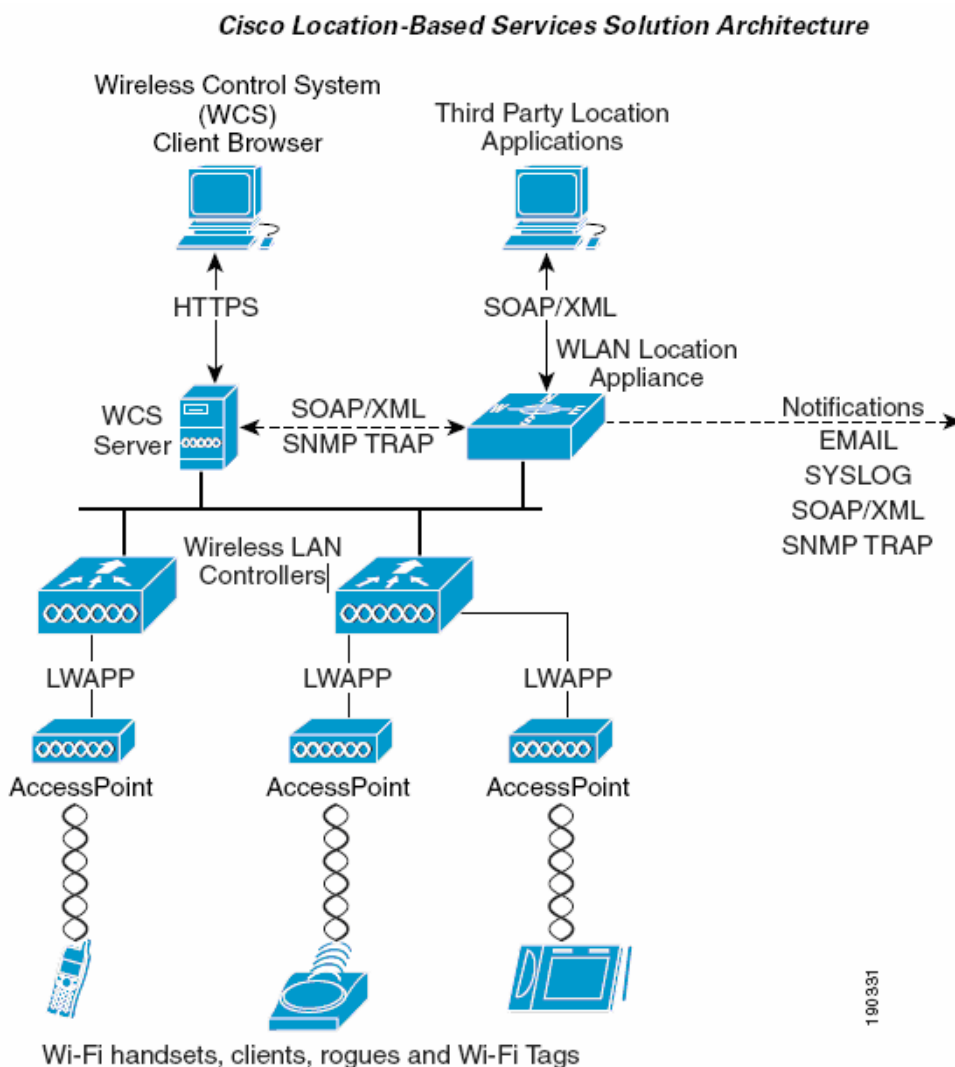


Σχήμα 2.12 Θύρες, διεπαφές και WLANs

## 2.4 Συσκευή εντοπισμού και σύστημα υπηρεσιών βασισμένων στη θέση (Cisco Location Appliance and Location-Based Services Solution)

### 2.4.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος και ροή των πληροφοριών

Στο σύστημα αυτό τα access points προωθούν πληροφορίες στους WLAN controllers σχετικά με την ανιχνεύσιμη ισχύ του σήματος οποιοδήποτε από τους Wi-Fi πελάτες, τις ενεργές 802.11 RFID ετικέτες, τα rogue access points, ή τους rogue πελάτες. Σε κανονική λειτουργία, τα access points επικεντρώνουν τις δραστηριότητες συλλογής αυτών των πληροφοριών στο αρχικό κανάλι λειτουργίας τους, ενώ μεταβαίνουν περιοδικά εκτός καναλιού και ανιχνεύουν και τα άλλα κανάλια στο καθορισμένο σύνολο καναλιών του access point.



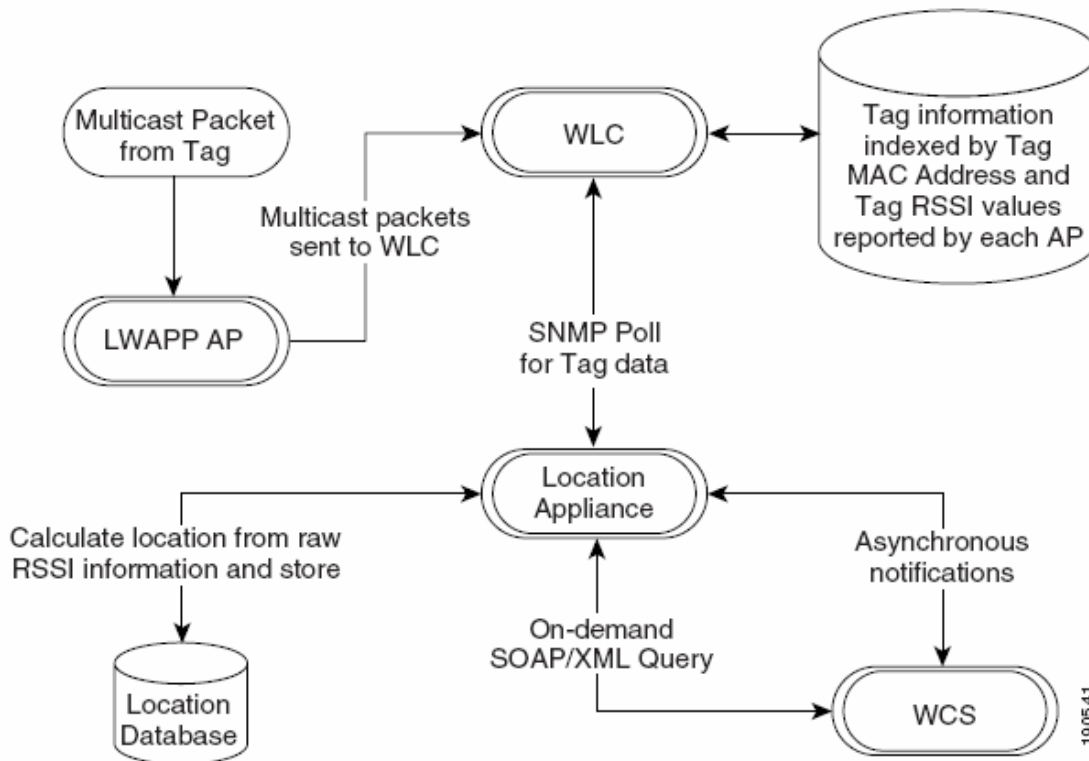
Σχήμα 2.13 Αρχιτεκτονική του Cisco LBS (Location Based Services)

Οι πληροφορίες που συλλέγονται διαβιβάζονται στον WLAN controller στον οποίο είναι καταχωρημένο εκείνη την περίοδο το access point. Κάθε controller διαχειρίζεται και αθροίζει όλες αυτές τις πληροφορίες σχετικά με την ισχύ των σημάτων που προέρχονται από τα access points. Η συσκευή εντοπισμού (location appliance) χρησιμοποιεί το SNMP (Simple Network Management Protocol, απλό πρωτόκολλο διαχείρισης δικτύου) για να

σταθμοσκοπήσει (poll) κάθε ελεγκτή για τις πιο πρόσφατες πληροφορίες για κάθε κατηγορία συσκευών που παρακολουθείται. Στην περίπτωση ενός συστήματος εντοπισμού θέσης όπου δεν υπάρχει και ία συσκευή εντοπισμού, το WCS (Wireless Control System) λαμβάνει αυτές τις πληροφορίες άμεσα από τον αντίστοιχο controller.

Ένα παράδειγμα αυτής της διαδικασίας για την αρχιτεκτονική που φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα (Σχήμα 2.13) είναι το επόμενο διάγραμμα ροής που απεικονίζει τη ροή των πληροφοριών RSSI (Received Signal Strength Indication), για asset tags (ετικέτες RF πάνω σε αντικείμενα αξίας) που κάνουν πολυεκπομπή επιπέδου 2.

**Information Flow for Asset Tag RSSI Data**



Σχήμα 2.14 Ροή πληροφορίας για δεδομένα RSSI που προέρχονται από asset tags

Το παραπάνω διάγραμμα συνοψίζει τα ακόλουθα γεγονότα:

1. Σε κάθε beacon interval το asset tag μεταδίδει ένα πακέτο πολυεκπομπής (multicast) στα καθορισμένα κανάλια του.
2. Τουλάχιστον 3 (και κατά προτίμηση 4 ή 5) access points ανιχνεύουν τη μετάδοση του asset tag και την προωθούν στον WLC (Wireless LAN Controller) στον οποίον είναι καταχωρημένα.
3. Ο WLC αποθηκεύει την πληροφορία σχετικά με την κατάσταση της μπαταρίας του asset tag σε έναν εσωτερικό πίνακα με δείκτη τη MAC διεύθυνση του asset tag.
4. Για κάθε καταχωρημένο AP (access point), Ο WLC τοποθετεί επίσης την ακόλουθη πληροφορία για το asset tag σε έναν εσωτερικό πίνακα:
  - Τη MAC διεύθυνση του tag
  - Τη MAC διεύθυνση του AP
  - Τη διεπαφή του AP
  - Τη μέτρηση RSSI (received signal strength indicator)

5. Ο εξυπηρετητής εντοπισμού (location server) ή συσκευή εντοπισμού (location appliance), περιοδικά ανασύρει τα περιεχόμενα των πινάκων του asset tag από τον controller χρησιμοποιώντας SNMP.
6. Ο location server υπολογίζει τη θέση του asset tag χρησιμοποιώντας την πληροφορία RSSI που περιλαμβάνεται στις SNMP αποκρίσεις και αποθηκεύει την ανανεωμένη πληροφορία στη βάση δεδομένων του.
7. Ο location server αποστέλλει τυχόν ασύγχρονες ειδοποιήσεις γεγονότων που βασίζονται στην ανανεωμένη πληροφορία της θέσης του asset tag στους προκαθορισμένους παραλήπτες ειδοποιήσεων.
8. Οι τελικοί χρήστες κάνουν χρήση του WCS (ή άλλου προγράμματος πελάτη) για να ζητήσουν πληροφορίες εντοπισμού με βάση χάρτες κάτοψης ή άλλα κριτήρια αναζήτησης. Μια αίτηση για πληροφορίες εντοπισμού γίνεται από το WCS στο location server μέσω ενός ερωτήματος SOAP/XML. Το WCS (Wireless Control System) και η συσκευή εντοπισμού (ή location server) ανταλλάσσουν πληροφορίες που αφορούν χάρτες ρύθμισης (calibration) και σχέδια δικτύου μέσω μιας διαδικασίας που είναι γνωστή ως συγχρονισμός. Κατά τη διάρκεια ενός συγχρονισμού σχεδίου δικτύου μεταξύ του WCS και της συσκευής εντοπισμού ο πιο ενημερωμένος πελάτης ανανεώνει το σχέδιο και τις πληροφορίες calibration του λιγότερου ενημερωμένου από τους δύο. Ο συγχρονισμός πραγματοποιείται είτε εάν ζητηθεί (on demand) είτε σαν προγραμματισμένη λειτουργία ο χρονισμός της οποίας καθορίζεται από το WCS.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι πληροφορίες εντοπισμού προβάλλονται στον τελικό χρήστη χρησιμοποιώντας έναν πελάτη εντοπισμού (location client) σε συνδυασμό πάντα με την ασύρματη συσκευή εντοπισμού (location appliance). Τυπικά το ρόλο του πελάτη τον έχει το WCS το οποίο έχει τη δυνατότητα να προβάλλει μια ευρεία ποικιλία πληροφοριών σχετικά με τη θέση των πελατών, των asset tags και των rogue πελατών και access points. Ωστόσο οι πελάτες εντοπισμού (location clients) δεν περιορίζονται μόνο στο WCS καθώς και τρίτες εφαρμογές που έχουν γραφτεί σύμφωνα με το Location Appliance API (Application Programming Interface) και το πρωτόκολλο SOAP/XML μπορούν να λειτουργήσουν ως πελάτες της συσκευής εντοπισμού.

#### **2.4.2 Αξιολόγηση της επίδοσης.**

##### **Η έννοια της ορθότητας (accuracy) και της ακρίβειας (precision)**

Για τους περισσότερους χρήστες, το μέτρο της απόδοσης που είναι περισσότερο οικείο και σημαντικό είναι η ορθότητα (accuracy), η οποία χαρακτηριστικά αναφέρεται στην ποιότητα των πληροφοριών που λαμβάνονται. Η ορθότητα θέσης (location accuracy) αναφέρεται συγκεκριμένα στην ποσοτικά προσδιορίσιμη απόσταση σφάλματος μεταξύ της εκτιμώμενης θέσης και της πραγματικής θέσης της κινητής συσκευής. Στις περισσότερες πραγματικές εφαρμογές, εντούτοις, μια δήλωση της ακρίβειας θέσης έχει λίγη αξία χωρίς τη δυνατότητα του συστήματος επανειλημμένα και αξιόπιστα να αποδίδει σε αυτό το επίπεδο. Η ακρίβεια (precision) είναι ένα άμεσο μέτρο που αντανάκλα τη δυνατότητα συνεχούς επίτευξης της δηλωμένης ορθότητας θέσης. Οποιαδήποτε ένδειξη της ορθότητας θέσης πρέπει επομένως να περιλαμβάνει επίσης μια ένδειξη του διαστήματος εμπιστοσύνης ή του ποσοστού των επιτυχών ανιχνεύσεων θέσης, διαφορετικά γνωστή ως ακρίβεια θέσης.

## Ορθότητα και ακρίβεια του συστήματος Cisco LBS (Location Based Services)

Με την κατάλληλη εγκατάσταση του δικτύου, η ορθότητα και η ακρίβεια του Cisco LBS στην περίπτωση εσωτερικών εγκαταστάσεων είναι οι εξής:

- Ορθότητα (απόκλιση) μικρότερη ή ίση με 10 μέτρα, με ακρίβεια 90%.
- Ορθότητα μικρότερη ή ίση με 5 μέτρα, με ακρίβεια 50%.

Με άλλα λόγια, δεδομένου του σωστού σχεδιασμού και εγκατάστασης του συστήματος, η απόσταση σφάλματος μεταξύ της αναφερόμενης θέσης της συσκευής και της πραγματικής θέσης πρέπει, στο 90% όλων των περιπτώσεων, να είναι 10 μέτρα ή λιγότερο. Στο υπόλοιπο 10% όλων των περιπτώσεων, η απόσταση σφάλματος μπορεί να είναι αναμενόμενο να υπερβεί τα 10 μέτρα. Σημειώστε ότι αυτές οι προδιαγραφές ισχύουν μόνο για τις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται το RF Fingerprinting δηλαδή, στην περίπτωση χρήσης ενός WCS (Wireless Control System) με την αντίστοιχη άδεια για χρήσεις εντοπισμού (με ή χωρίς τη συσκευή εντοπισμού (location appliance)).

### 2.4.3 Ρόλος της συσκευής εντοπισμού

Όταν μια συσκευή εντοπισμού Cisco προστίθεται σε ένα Ενοποιημένο Ασύρματο Δίκτυο (Unified Wireless Network) με υποστήριξη του LWAPP και ένα WCS (Wireless Control System) η συσκευή εντοπισμού αναλαμβάνει την ευθύνη για διάφορα σημαντικά καθήκοντα. Σημαντικότερα μεταξύ αυτών είναι η εκτέλεση αλγορίθμων προσδιορισμού θέσης, διατήρηση των πληροφοριών ρύθμισης (calibration), πυροδότηση και αποστολή ανακοινώσεων θέσης, και η συνεχής επεξεργασία στατιστικών και πληροφοριών που σχετίζονται με το ιστορικό της θέσης των χρηστών. Το WCS ενεργεί σε συντονισμό με τη συσκευή εντοπισμού χρησιμεύοντας ως διεπαφή με το χρήστη (user interface, UI) για τις υπηρεσίες που παρέχονται από τη συσκευή εντοπισμού. Αν και είναι δυνατή η άμεση πρόσβαση της συσκευής εντοπισμού μέσω SSH (Secure Shell, δικτυακό πρωτόκολλο για την ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων) ή μιας συνόδου κονσόλας (console session), όλη η αλληλεπίδραση τελικού χρήστη με τη συσκευή αυτή λαμβάνει χώρα τυπικά μέσω του WCS ή μιας τρίτης εφαρμογής (εκτός από την αρχική εγκατάσταση της συσκευής εντοπισμού).

Η ένταξη μιας συσκευής εντοπισμού (Location Appliance) σε μια αρχιτεκτονική ενοποιημένου ασύρματου δικτύου της Cisco (Cisco Unified Wireless Network) αμέσως επιτρέπει βελτιώσεις στις ικανότητες εντοπισμού του δικτύου, όπως οι παρακάτω:

- Δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability). Η προσθήκη μιας συσκευής εντοπισμού Cisco αυξάνει πολύ τη δυνατότητα κλιμάκωσης του Cisco LBS (Location Based Services), από την κατόπιν αιτήματος παρακολούθηση μιας μεμονωμένης συσκευής μέχρι μια μέγιστη ικανότητα 2500 συσκευών (πελάτες WLAN, ετικέττες RFID, rogue access points και rogue πελάτες). Για εγκαταστάσεις που απαιτούν υποστήριξη ενός μεγαλύτερου αριθμού συσκευών, πρόσθετες συσκευές εντοπισμού μπορεί να τοποθετηθούν και να διαχειρίζονται κάτω από ένα κοινό WCS.
- Ιστορικό και στατιστικές τάσεις. Η συσκευή καταγράφει και διατηρεί το ιστορικό της θέσης και στατιστικές πληροφορίες, οι οποίες είναι διαθέσιμες i έσω του WCS.
- Ανακοινώσεις θέσης. Η συσκευή εντοπισμού Cisco μπορεί να αποστέλλει ανακοινώσεις γεγονότων βασισμένων στη θέση μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (SMTP), syslog, των παγίδων (traps) SNMP, και του SOAP/XML, άμεσα σε προκαθορισμένους προορισμούς. Αυτές οι ανακοινώσεις μπορούν να προκληθούν απλά εάν η θέση του πελάτη ή ενός περιουσιακού στοιχείου (asset) αλλάξει, αν απομακρυνθεί πέρα από

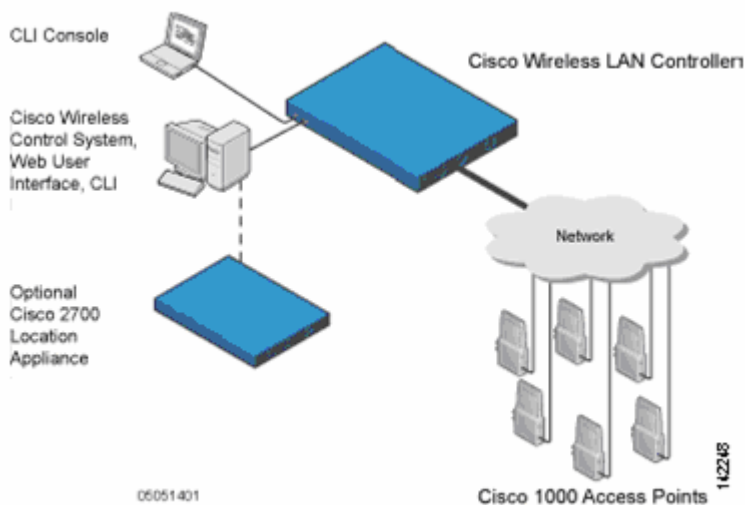


αποστάσεις που προσδιορίζονται από προκαθορισμένους δείκτες θέσης, ή διαφορετικά εάν χαθεί ή εισαχθεί/εγκαταλείψει μια περιοχή κάλυψης. Ανακοινώσεις μπορούν επίσης να παραχθούν για τα επίπεδα μπαταρίας των asset tags (δηλαδή χαμηλή ένδειξη μπαταρίας).

•SOAP/XML API (Application Programming Interface) της συσκευής εντοπισμού.

Το API της συσκευής εντοπισμού επιτρέπει στους πελάτες και συνεργάτες να δημιουργήσουν εξειδικευμένα προγράμματα βασισμένα στη θέση που επικοινωνούν με την ασύρματη συσκευή εντοπισμού της Cisco. Αυτά τα προγράμματα μπορούν να αναπτυχθούν για να υποστηρίξουν ποικίλες μοναδικές και καινοτόμες εφαρμογές συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης δεδομένων βασισμένων στη θέση σε πραγματικό χρόνο, διαχείρισης τηλεμετρικών συσκευών, αυτοματοποίησης της ροής της δουλειάς, ενισχυμένης ασφάλειας WLAN, και παρακολούθησης ανθρώπων ή συσκευών. Το API παρέχει έναν μηχανισμό για την εισαγωγή, ανάκτηση, τροποποίηση και απομάκρυνση δεδομένων από τη βάση δεδομένων της ασύρματης συσκευής εντοπισμού Cisco χρησιμοποιώντας μια SOAP/XML διεπαφή.

## 2.5 Επισκόπηση του WCS



Σχήμα 2.15 Το Ενοποιημένο Ασύρματο Δίκτυο

Το ασύρματο σύστημα ελέγχου της Cisco (WCS, Wireless Control System) είναι ένα εργαλείο διαχείρισης του ενοποιημένου ασύρματου δικτύου (Unified Wireless Network) που αυξάνει τις δυνατότητες της διεπαφής χρήστη web (web user interface) καθώς και της διεπαφής γραμμής εντολών (CLI, command line interface), που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ενός wireless controller, μεταβαίνοντας από τους μεμονωμένους controllers, σε ένα δίκτυο από controllers. Το WCS περιλαμβάνει τις ίδιες ρυθμίσεις, έλεγχο απόδοσης, ασφάλεια, διαχείριση σφαλμάτων, και επιλογές διαχείρισης λογαριασμών (accounting) που χρησιμοποιούνται στο επίπεδο του controller και προσθέτει μια γραφική άποψη των πολλαπλών controllers και των διαχειριζόμενων access points. Το WCS τρέχει σε Windows 2003 και Red Hat Enterprise Linux ES 4.0 and AS 4.0 servers. Και στα δύο, το WCS μπορεί να τρέχει σαν μια κανονική εφαρμογή ή ως υπηρεσία, η οποία τρέχει διαρκώς και ξαναρχίζει να τρέχει μετά από μια επανεκκίνηση.

Υπάρχουν δύο εκδόσεις του WCS: η βασική και αυτή που υποστηρίζει εντοπισμό χρηστών. Η δεύτερη που είναι αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία μπορεί να προσφέρει γραφική αναπαράσταση των παρακάτω:

-Αυτόματη ανακάλυψη των access points καθώς αυτά συνδέονται (associate) με controllers  
-Αυτόματη ανακάλυψη και ανάσχεση (containment) των rogue access points  
-Βασισμένη σε χάρτη οργάνωσης των περιοχών κάλυψης των access points, που είναι χρήσιμη όταν ο οργανισμός ή η επιχείρηση εκτείνεται σε περισσότερες από μία γεωγραφικές περιοχές.  
-Σχέδια του campus, των κτιρίων και των ορόφων που παρέχονται από το χρήστη και δείχνουν τα ακόλουθα:

- Θέση και κατάσταση των υπό διαχείριση access points.
- Θέση των rogue access points με βάση τη λαμβανόμενη ισχύ σήματος που λαμβάνεται από τα κοντινότερα υπό διαχείριση access points.
- Πληροφορίες- συναγερμοί για 'τρύπες' κάλυψης βασισμένοι στη λαμβανόμενη ισχύ σήματος από πελάτες. Αυτή η πληροφορία εμφανίζεται σε μορφή πίνακα και όχι χάρτη όπως οι προηγούμενες
- Χάρτες ραδιοκάλυψης

Το WCS παρέχει επίσης έλεγχο των ακόλουθων:

-Απευθείας ρύθμιση του δικτύου, των controllers και των υπό διαχείριση access points χρησιμοποιώντας φόρμες (templates) που καθορίζονται από τον πελάτη.

-Κατάστασης του δικτύου, των controllers και των access points και δημιουργία συναγερμών.

-Λειτουργίες αυτόματης και χειροκίνητης παρακολούθησης και ελέγχου των πελατών δεδομένων.

-Αυτόματη παρακολούθηση των rogue access points, των κενών στην κάλυψη, των παραβιάσεων ασφαλείας, καθώς και των controllers και των access points και πλήρης καταγραφή των αντίστοιχων γεγονότων σε ημερολόγιο γεγονότων (event logs).

-Αυτόματη ανάθεση καναλιού και καθορισμός του επιπέδου ισχύος μέσω του εργαλείου διαχείρισης των ασύρματων πόρων (RRM Radio Resource Management)

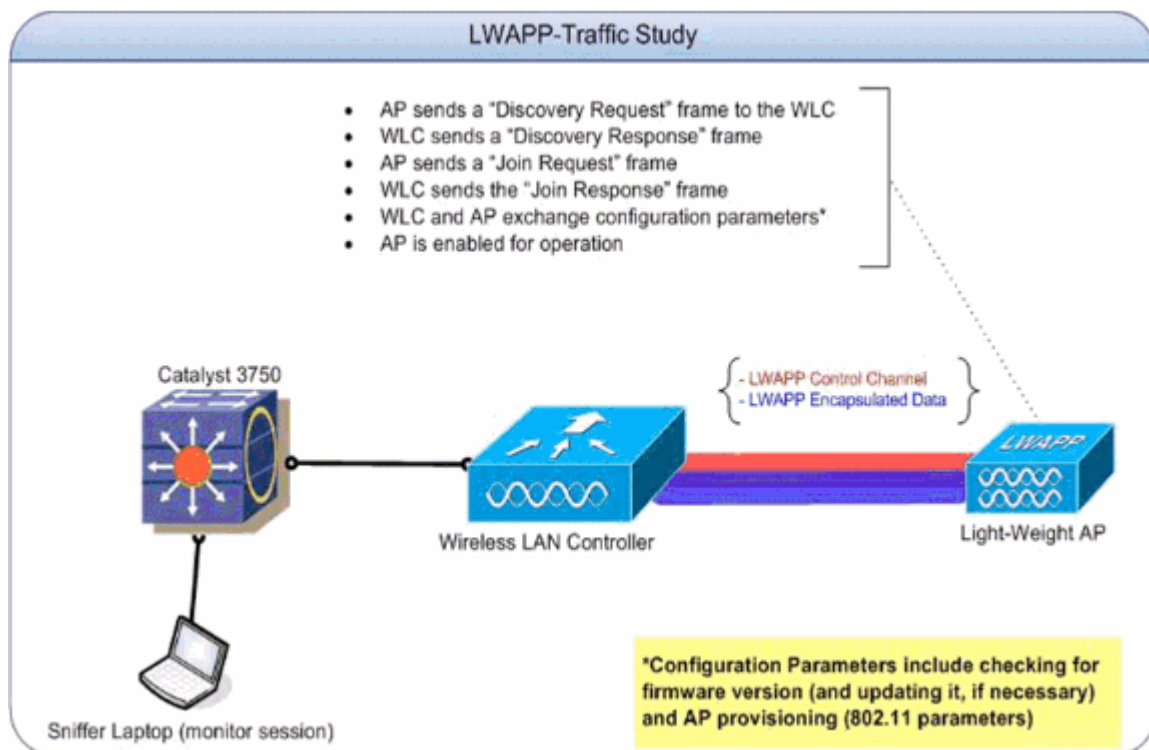
Τέλος προσφέρει εντοπισμό κατόπιν αιτήσεως (on-demand) των rogue access points καθώς και των πελατών με ακρίβεια 10m και τη δυνατότητα να προβάλλει το ιστορικό εντοπισμού τους, το οποίο συλλέγει από συσκευές εντοπισμού (Location Appliances).

## 2.6 Το πρωτόκολλο LWAPP

Το σχέδιο IETF-RFC, που υποβλήθηκε στην ομάδα εργασίας 'Control And Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP) ', συζητά το Light Weight Access Point Protocol (LWAPP) πρωτόκολλο lightweight σημείων πρόσβασης ως ένα πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε με στόχο να καθορίσει τις οδηγίες επικοινωνίας μεταξύ των ασύρματων σημείων τερματισμού (Wireless Termination Points), που είναι τα access points και των ελεγκτών πρόσβασης (Access Controllers) που είναι οι Wireless LAN Controllers. Όλες οι επικοινωνίες LWAPP μπορούν να ταξινομηθούν σε έναν από τους ακόλουθους δύο τύπους μηνυμάτων:

- Κανάλι ελέγχου LWAPP
- Ενθυλακωμένα δεδομένα LWAPP

Το LWAPP μπορεί να λειτουργήσει με τρόπο μεταφοράς είτε στρώματος 2 είτε στρώματος 3. Οι επικοινωνίες LWAPP στρώματος 2 ενθυλακώνονται σε πλαίσια Ethernet και προσδιορίζονται από μια τιμή EtherType 0xBBBB. Λόγω του ότι βασίζεται στο Ethernet, ο τρόπος λειτουργίας LWAPP στρώματος 2 δε χρησιμοποιεί δρομολόγηση και απαιτεί επιπέδου 2 ορατότητα μεταξύ των WLCs (Controllers) και των APs. Το στρώμα 2 θεωρείται πλέον αποδοκιμαζόμενο (deprecated). Ο τρόπος μεταφορών LWAPP στρώματος 3 καθορίζει την ανταλλαγή μηνυμάτων LWAPP στο IP δίκτυο υπό τη μορφή UDP, ενθυλακωμένων πακέτων. Η σήραγγα (tunnel) LWAPP διατηρείται με τη διεύθυνση IP της διεπαφής του WLC (ap-manager) και τη διεύθυνση IP του Access Point.



Σχήμα 2.16 Μηνύματα του πρωτοκόλλου LWAPP που ανταλλάσσονται μεταξύ ενός lightweight access point και ενός controller κατά την εγκατάσταση μιας σύνδεσης.

### Κανάλι ελέγχου LWAPP

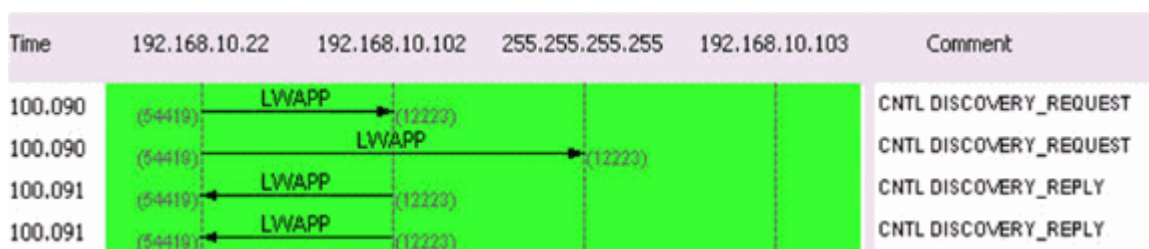
Για καλύτερη κατανόηση του πρωτοκόλλου μελετάται παρακάτω η καταγεγραμμένη κίνηση κατά την εγκατάσταση μιας σύνδεσης μεταξύ ενός access point και ενός controller. Στο παρακάτω σχήμα δίνονται οι IP διευθύνσεις των δύο διεπαφών του controller (ο ρόλος της καθεμιάς θα αναλυθεί αργότερα) καθώς και της διεπαφής του access point.

Διεπαφή/Συσκευή	IP διεύθυνση
WLC - Management	192.168.10.102

Interface	
WLC - ap-manager Interface	192.168.10.103
Light-Weight AP	192.168.10.22

Το AP (access point) χρησιμοποιεί εφήμερες θύρες (ports) όταν μιλά στο WLC (Wireless LAN Controller) . Οι αριθμοί θυρών που χρησιμοποιούνται από το WLC, απ' την άλλη, είναι η UDP 12222 και η UDP 12223 για την κυκλοφορία LWAPP δεδομένων και LWAPP κίνησης ελέγχου αντίστοιχα. Ένα πλαίσιο ελέγχου LWAPP διακρίνεται από ένα πλαίσιο δεδομένων LWAPP από το bit 'C' στη σημαία πεδίου κεφαλίδας του LWAPP. Εάν έχει τεθεί σε 1, είναι ένα πλαίσιο ελέγχου.

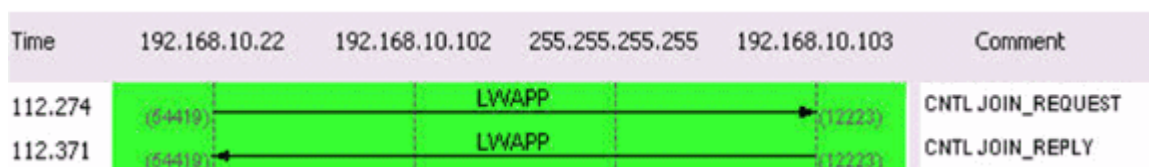
### Ανακάλυψη LWAPP ( Ερώτηση και απόκριση)



Σχήμα 2.17 Ανακάλυψη LWAPP- ροή πακέτων ερώτησης και απόκρισης

Οι LWAPP ερωτήσεις ανακάλυψης, που στέλνονται από το access point, χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν ποιοι WLCs (Wireless Lan Controllers) είναι παρόντες στο δίκτυο.

### LWAPP Σύνδεση (Αίτηση και Απόκριση)



Σχήμα 2.18: Σύνδεση LWAPP Ροή πακέτων αίτησης και απόκρισης.

Ένα LWAPP πακέτο αίτησης σύνδεσης (join request) χρησιμοποιείται από το Access Point προκειμένου να ενημερωθεί ο WLC ότι το AP θέλει να εξυπηρετήσει πελάτες μέσω του controller. Η φάση αίτησης join χρησιμοποιείται επίσης προκειμένου να ανακαλυφθεί το MTU (maximum transfer unit) που υποστηρίζεται από τη μεταφορά. Η αρχική αίτηση join που στέλνεται από το σημείο πρόσβασης γεμίζεται πάντα με ένα στοιχείο δοκιμής 1596 bytes. Με βάση τον τρόπο με τον οποίο η μεταφορά μεταξύ του AP και του ελεγκτή είναι οργανωμένη, αυτά τα πλαίσια αίτησης join μπορούν να είναι επίσης κατακερματισμένα (fragmented). Εάν ληφθεί μια απόκριση join για το αρχικό αίτημα, το AP προωθεί τα πλαίσια χωρίς κατακερματισμό. Η απόκριση join ενεργοποιεί επίσης το χρονόμετρο κτύπου-καρδιάς (heartbeat timer) μια τιμή 30 δευτερολέπτων που, όταν λήξει, διαγράφει τη σύνοδο WLC-AP. Το χρονόμετρο ανανεώνεται με την παραλαβή Echo Requests ή Acknowledgements.

Εάν το αρχικό αίτημα σύνδεσης δεν παράγει καμία απάντηση, το AP στέλνει άλλο αίτημα join με το στοιχείο δοκιμής, το οποίο κάνει το συνολικό ωφέλιμο φορτίο 1500 bytes. Εάν ούτε το δεύτερο αίτημα join δεν παράγει μια απάντηση, το AP συνεχίζει τον κύκλο μεταξύ των μεγάλων και μικρών πακέτων και αφού ο χρόνος εκπνεύσει ξαναρχίζει από τη φάση ανακάλυψης.

### LWAPP config

Time	192.168.10.22	192.168.10.102	255.255.255.255	192.168.10.103	Comment
113.762	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_REQUEST
113.812	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_RESPONSE
113.814	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT
113.814	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND
113.819	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT_RES
113.891	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND_RES
113.891	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT
113.892	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND
113.893	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT_RES
113.894	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND_RES
113.894	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT
113.895	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND
113.896	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT_RES
113.896	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND_RES
113.897	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT
113.899	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND
113.899	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT_RES
113.901	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND_RES
113.901	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND
113.902	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND_RES
113.902	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND
113.903	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CONFIGURE_COMMAND_RES
132.024	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT
132.025	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT_RES
132.026	(54410)	LWAPP	(13223)		CNTL CHANGE_STATE_EVENT

Σχήμα 2.19 : LWAPP ροή πακέτων κατά την κατάσταση ρύθμισης και το provisioning των APs

Οι αιτήσεις και αποκρίσεις LWAPP config ανταλλάσσονται μεταξύ των Access Points και των controllers προκειμένου να δημιουργήσουν, να αλλάξουν (ενημερώσουν) ή να διαγράψουν τις υπηρεσίες που προσφέρονται από ένα AP. Γενικά, μια αίτηση config στέλνεται από ένα AP για να στείλει την τρέχουσα κατάσταση των ρυθμίσεων του στο WLC. Η αίτηση config μπορεί να σταλεί σε δύο σενάρια: 1. Στην αρχική φάση όταν το AP συνδέεται με έναν ελεγκτή και πρέπει να εφοδιαστεί με όλες τις ρυθμίσεις 802.11 που έχουν καθοριστεί στον ελεγκτή. 2. Στην περίπτωση κατόπιν παραγγελίας διαχειριστικών αλλαγών, όπως μια αλλαγή σε μια παράμετρο WLAN

Ο τύπος μηνυμάτων απόκρισης LWAPP config στέλνεται από το WLC στο AP προκειμένου να επιβεβαιώσει την παραλαβή του αιτήματος LWAPP config από το AP. Αυτό παρέχει μια ευκαιρία για το WLC να αγνοήσει (override) τις ρυθμίσεις που ζήτησε το AP.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Προσεγγίσεις εντοπισμού θέσης

Τα συστήματα παρακολούθησης και εντοπισμού της θέσης μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις τεχνικές μέτρησης που εφαρμόζουν για να καθορίσουν τη θέση κινητών συσκευών (*εντοπισμός*). Αυτές οι προσεγγίσεις διαφέρουν ως προς τη συγκεκριμένη τεχνική που χρησιμοποιείται στη μέτρηση της θέσης της κινητής συσκευής στο περιβάλλον στόχο υπό παρακολούθηση. Χαρακτηριστικά, *τα συστήματα εντοπισμού πραγματικού χρόνου (RTLS, Real Time Location Systems)* μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες συστημάτων που υπολογίζουν τη θέση με βάση τα ακόλουθα :

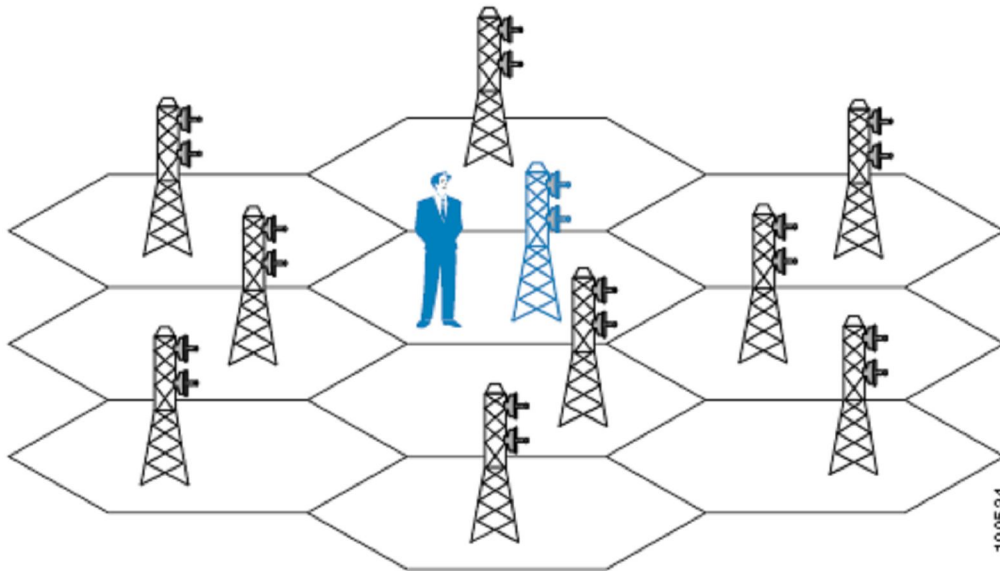
- Κυψέλη προέλευσης (*κοντινότερη κυψέλη*)
- Απόσταση (*lateration*)
- Γωνία (*angulation*)
- Προτυποποίηση θέσης –location patterning (*αναγνώριση προτύπων*)

Ένας σχεδιαστής συστημάτων RTLS μπορεί να επιλέξει να υλοποιήσει μια ή περισσότερες από αυτές τις τεχνικές. Αυτό μπορεί να είναι σαφές σε μερικές προσεγγίσεις που προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση σε δύο ή περισσότερα περιβάλλοντα με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά διάδοσης. Ένα παράδειγμα αυτού είναι ένα σύστημα RTLS που προσπαθεί να παραγάγει βέλτιστη

απόδοση και για τις εσωτερικές και για τις εξωτερικές εφαρμογές χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές τεχνικές. Δεν είναι ασυνήθιστο να ακούγονται επιχειρήματα που υποστηρίζουν τη γνώμη ότι θα έπρεπε να υπάρχει μια πέμπτη κατηγορία για να περιλάβει εκείνα τα συστήματα RTLS που μέτρον τη θέση χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό τουλάχιστον δύο από τις τέσσερις τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ανεξάρτητα από την υφιστάμενη τεχνολογία προσδιορισμού θέσης, η "πραγματικού χρόνου" φύση ενός RTLS είναι μόνο τόσο πραγματικού χρόνου όσο και οι πιο πρόσφατες μετρήσεις των timestamps (χρονοσφραγίδων), οι ισχείς των σημάτων, ή η γωνία-πρόσπτωσης. Ο χρονισμός των αποκρίσεων αντίχτυσης (probe), των ρυθμών ραδιοφάρων (beaconing), και των διαστημάτων ανάκτησης πληροφοριών (polling intervals) από τον location server μπορούν να επηρεάσουν τις ασυμφωνίες που παρατηρούνται μεταξύ της πραγματικής και αναφερόμενης θέσης των συσκευών από διάστημα αναφοράς σε διάστημα αναφοράς.

#### 3.1 Κυψέλη προέλευσης

Ένας από τους απλούστερους μηχανισμούς εκτίμησης της προσεγγιστικής θέσης σε οποιοδήποτε σύστημα που βασίζεται σε κυψέλες ραδιοσυχνότητας (RF) είναι η κυψέλη προέλευσης (ή κοντινότερου access point σε συστήματα Wi-Fi 802.11), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

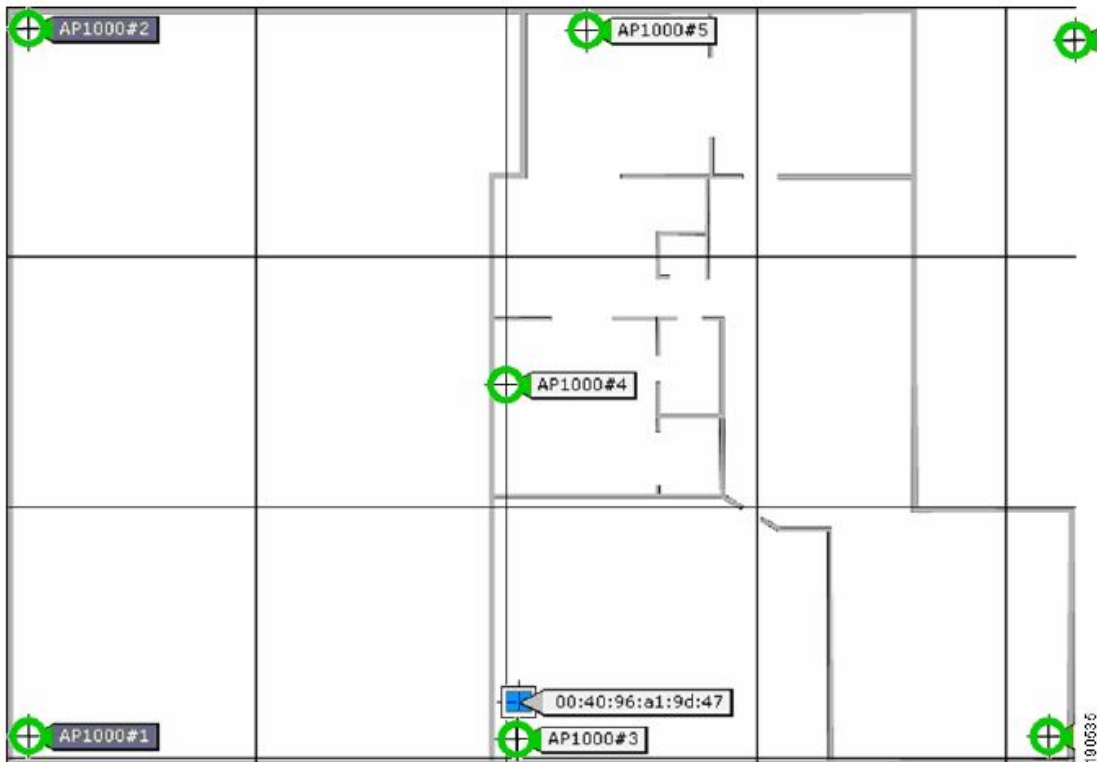


Σχήμα 3.1 Κυψέλη προέλευσης

Στην απλούστερη μορφή της, αυτή η τεχνική δεν κάνει καμία ρητή προσπάθεια να αποφασίσει για τη θέση της κινητής συσκευής πέρα από το να υποδείξει την κυψέλη στην οποία είναι (ή ήταν) καταχωρημένη η κινητή συσκευή. Όταν εφαρμόζεται σε συστήματα 802.11, αυτή η τεχνική παρακολουθεί κάθε κυψέλη στην οποία συνδέεται (associates) μια κινητή συσκευή. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η ευκολία στην υλοποίηση. Η κυψέλη προέλευσης δεν απαιτεί την εφαρμογή περίπλοκων αλγορίθμων και επομένως η απόδοση του προσδιορισμού θέσης είναι πολύ γρήγορη. Σχεδόν όλα τα βασισμένα σε κυψέλες- WLANs και άλλα κυψελοειδή συστήματα RF μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα και πολύ επικερδώς (cost-effective) έτσι ώστε να παρέχουν δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης προέλευσης. Εντούτοις, το συντριπτικό μειονέκτημα της προσέγγισης εντοπισμού αποκλειστικά με τη μέθοδο κυψέλης προέλευσης εξακολουθεί να είναι η χονδροειδής granularity (διαβάθμιση, ή κοκκιότητα).

Για διάφορους λόγους, οι κινητές συσκευές μπορούν να συνδεθούν σε κυψέλες που δεν είναι σε στενή φυσική εγγύτητα, παρά το γεγονός ότι άλλες κοντινές κυψέλες θα ήταν καλύτεροι υποψήφιοι. Αυτή η χονδροειδής διαβάθμιση (granularity) μπορεί να είναι ιδιαίτερα απελπιστική όταν επιχειρείται να αποφασιστεί η πραγματική θέση μιας κινητής συσκευής σε μια δομή πολλών ορόφων όπου υπάρχει σημαντική επικάλυψη κυψελών μεταξύ των πατωμάτων.

Για να καθοριστεί καλύτερα ποιες περιοχές της κυψέλης κατέχουν την υψηλότερη πιθανότητα να περιέχουν την κινητή συσκευή, απαιτείται συνήθως κάποια πρόσθετη μέθοδος για να προσδιοριστεί η θέση μέσα στην κυψέλη. Αυτό μπορεί είτε να είναι μια χειρωνακτική μέθοδος (όπως ένας άνθρωπος που ψάχνει ολόκληρη την κυψέλη για τη συσκευή) ή μια μέθοδος που στηρίζεται σε υπολογιστή. Όταν οι κυψέλες που λαμβάνουν, παρέχουν ένδειξη της λαμβανόμενης ισχύος σήματος (RSSI, received signal strength indication) για τις κινητές συσκευές, η χρήση της τεχνικής της υψηλότερης ισχύος σήματος μπορεί να βελτιώσει την χωρική διαβάθμιση της μεθόδου κυψέλης προέλευσης. Σε αυτή την προσέγγιση, ο εντοπισμός της κινητής συσκευής εκτελείται βασισμένος στην κυψέλη που ανιχνεύει την κινητή συσκευή με την υψηλότερη ισχύ σήματος. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2, όπου το μπλε, ορθογώνιο εικονίδιο της συσκευής πελάτη τοποθετείται πλησιέστερα στην κυψέλη που το έχει ανιχνεύσει με την υψηλότερη ισχύ σήματος.



Σχήμα 3.2 Η τεχνική της υψηλότερης ισχύος σήματος

Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, η πιθανότητα να επιλεγεί η αληθινή "κοντινότερη κυψέλη" αυξάνεται σε σχέση με αυτήν που προκύπτει χρησιμοποιώντας την καθαρή κυψέλη προέλευσης. Ανάλογα με τις απαιτήσεις ακριβείας της υφιστάμενης επιχειρησιακής εφαρμογής, η απόδοση μπορεί να είναι περισσότερο από ικανοποιητική για ένα 'χαλαρό' εντοπισμό των κινητών πελατών χρησιμοποιώντας την τεχνική της υψηλότερης ισχύος σήματος. Για παράδειγμα, χρήστες που σκοπεύουν να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες βασισμένες στη θέση μόνο όταν χρειάζεται να τους βοηθήσουν να βρουν λάθος τοποθετημένες συσκευές πελατών σε μη κρίσιμες καταστάσεις μπορούν να είναι πολύ ικανοποιημένοι με το συνδυασμό τιμής και απόδοσης που μπορούν να προσφέρουν λύσεις που χρησιμοποιούν την προσέγγιση της υψηλότερης ισχύος σήματος. Ωστόσο, χρήστες που απαιτούν ακριβέστερο εντοπισμό θα έβλεπαν την ανικανότητα της τεχνικής υψηλότερης ισχύος σήματος να περιορίσει τη θέση μιας κινητής συσκευής με λεπτότερη διαβάθμιση από αυτή μιας ολόκληρης κυψέλης κάλυψης σαν ένα σοβαρό περιορισμό. Αυτοί οι χρήστες εξυπηρετούνται καλύτερα με εκείνες τις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν τις τεχνικές lateration, angulation, και προτυποποίησης θέσης (location patterning) που παρέχουν καλύτερη ανάλυση και βελτιωμένη ακρίβεια. Αυτές οι τεχνικές συζητούνται στα επόμενα τμήματα.

## 3.2 Τεχνικές –βασισμένες στην απόσταση (Lateration)

### 3.2.1 Ο Χρόνος άφιξης (Time of Arrival, ToA)

Τα συστήματα χρόνου άφιξης βασίζονται στην ακριβή μέτρηση του χρόνου άφιξης ενός σήματος που μεταδίδεται από μια κινητή συσκευή σε πολλούς αισθητήρες λήψης.



Επειδή τα σήματα ταξιδεύουν με γνωστή ταχύτητα (περίπου την ταχύτητα του φωτός ( $c$ ) ή  $\sim 300$  μέτρα ανά μικροδευτερόλεπτο), η απόσταση μεταξύ της κινητής συσκευής και κάθε αισθητήρα λήψης μπορούν να καθοριστούν από το χρόνο διάδοσης που παρήλθε του σήματος που ταξιδεύει μεταξύ τους. Η τεχνική ToA απαιτεί την πολύ ακριβή γνώση του χρόνου έναρξης της μετάδοσης, και πρέπει να εξασφαλίζει ότι όλοι οι αισθητήρες λήψης καθώς επίσης και η κινητή συσκευή είναι συγχρονισμένοι με ακρίβεια με μια αξιόπιστη χρονική πηγή. Από τη γνώση της ταχύτητας διάδοσης και του μετρημένου χρόνου, είναι δυνατό να υπολογιστεί η απόσταση  $d$  μεταξύ της κινητής συσκευής και του σταθμού λήψης:

$$d = c(t)$$

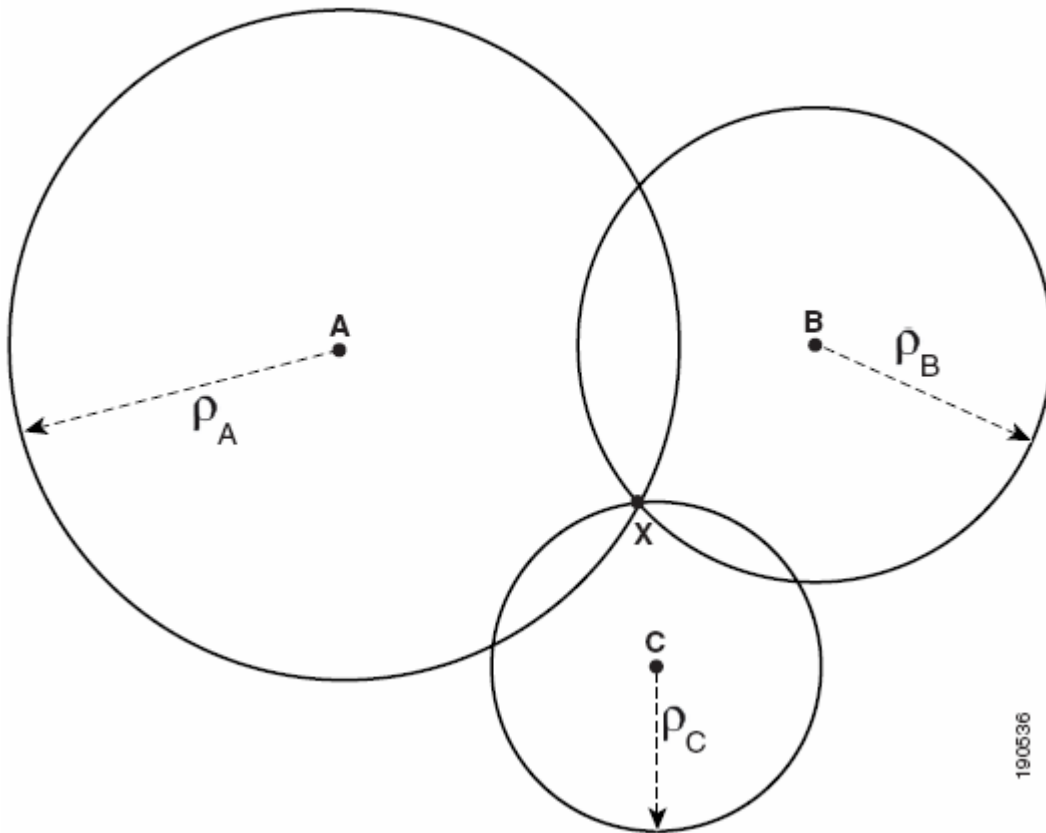
όπου

•  $d$  = απόσταση (ή έτρα)

Από την απόσταση  $d$ , αν χρησιμοποιηθεί ως ακτίνα, μπορεί να κατασκευαστεί μια κυκλική αναπαράσταση της περιοχής γύρω από τον αισθητήρα λήψης όπου είναι εξαιρετικά πιθανό να είναι η θέση της κινητής συσκευής. Η πληροφορία ToA (Time of Arrival) από δύο αισθητήρες περιορίζει τη θέση μιας κινητής συσκευής σε δύο σημεία ίσης πιθανότητας. Η ToA τριγωνοποίηση (trilateration) κάνει χρήση τριών αισθητήρων για να επιτρέψει τον καθορισμό της θέσης της κινητής συσκευής με βελτιωμένη ακρίβεια.

Το παρακάτω σχήμα (3.3) επεξηγεί την έννοια του tri-lateration ToA. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε ένα μήνυμα που μεταδίδεται από το σταθμό  $X$  να φθάσει στους αισθητήρες λήψης  $A$ ,  $B$ , και  $C$  μετριέται ακριβώς ως  $t_A$ ,  $t_B$ , και  $t_C$ . Δεδομένης μιας γνωστής ταχύτητας διάδοσης (που δηλώνεται ως  $c$ ), η απόσταση της κινητής συσκευής  $d$  από κάθε έναν από αυτούς τους τρεις αισθητήρες λήψης μπορεί έπειτα να υπολογιστεί ως  $d_A$ ,  $d_B$ , και  $d_C$  αντίστοιχα. Κάθε τιμή απόστασης που υπολογίστηκε χρησιμοποιείται για να κατασκευαστεί ένα κυκλικό διάγραμμα γύρω από τον αντίστοιχο αισθητήρα λήψης. Από τη μεμονωμένη οπτική γωνία κάθε δέκτη, ο σταθμός  $X$  θεωρείται ότι βρίσκεται κάπου κατά μήκος αυτού του διαγράμματος. Η τομή των τριών κυκλικών διαγραμμάτων καθορίζει τη θέση του σταθμού  $X$  όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.3. Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μια πιθανές λύσεις για τη θέση του κινητού σταθμού  $X$ , ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται τρεις ξεχωριστοί αισθητήρες για να εκτελέσουν τριγωνοποίηση tri-lateration. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τέσσερις ή και περισσότεροι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να εκτελέσουν multi-lateration ToA.

### Time of Arrival (ToA)



Σχήμα 3.3 Τεχνική Χρόνου Άφιξης (ToA)

Οι τεχνικές ToA είναι ικανές να καθορίζουν τη θέση σε δυσδιάστατα καθώς επίσης και σε τρισδιάστατα επίπεδα. Η τρισδιάστατη επίλυση μπορεί να εφαρμοστεί με την κατασκευή σφαιρικών αντί για κυκλικά μοντέλα.

Ένα μειονέκτημα της προσέγγισης ToA είναι η απαίτηση για ακριβή χρονικό συγχρονισμό όλων των σταθμών, και ιδιαίτερα της κινητής συσκευής (το οποίο μπορεί να είναι μια αποθαρρυντική πρόκληση για μερικές υλοποιήσεις 802.11 συσκευών -πελατών). Λαμβάνοντας υπόψη τις υψηλές ταχύτητες διάδοσης, πολύ μικρές ασυμφωνίες στο χρονικό συγχρονισμό μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ μεγάλα σφάλματα στην ακρίβεια εντοπισμού. Στην πραγματικότητα, ένα σφάλμα χρονικής μέτρησης της τάξης των 100 νανοδευτερόλεπτων μπορεί να οδηγήσει σε ένα σφάλμα εντοπισμού της τάξης των 30 μέτρων. Λύσεις εντοπισμού βασισμένες στην τεχνική ToA συνήθως τίθενται υπό αμφισβήτηση σε περιβάλλοντα όπου μπορεί να υπάρχει μεγάλος αριθμός παρεμβολών, θορύβου ή πολλαπλών διαδρομών.

Το GPS (Global Positioning System, Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού) αποτελεί παράδειγμα ενός γνωστού ToA συστήματος, όπου χρονισμός ακρίβειας παρέχεται από ατομικά ρολόγια.

### 3.2.2 Χρονική διαφορά της άφιξης (TDoA)

Οι τεχνικές της χρονική διαφοράς της άφιξης (TDoA) χρησιμοποιούν σχετικές χρονικές μετρήσεις σε κάθε αισθητήρα λήψης αντί των απόλυτων χρονικών μετρήσεων. Γι' αυτό το λόγο, η TDoA δεν απαιτεί το συντονισμό των λαμβανόμενων

χρονοσφραγίδων (timestamps) με μια χρονική πηγή ακρίβειας τη στιγμή της μετάδοσης για να εντοπίσει την κινητή συσκευή. Με την TDoA, μια μετάδοση με άγνωστο χρόνο έναρξης λαμβάνεται στους διάφορους αισθητήρες λήψης, και χρονικός συγχρονισμός απαιτείται μόνο για τους δέκτες.

Η τεχνική TDoA εφαρμόζεται συνήθως μέσω μιας μαθηματικής διαδικασίας γνωστής ως υπερβολικό lateration. Σε αυτή την προσέγγιση, απαιτούνται τουλάχιστον τρεις χρονικά συγχρονισμένοι αισθητήρες λήψης A, B και C. Στο παρακάτω σχήμα (3.4), υποτίθεται ότι όταν ο σταθμός X μεταδίδει ένα μήνυμα, αυτό το μήνυμα φθάνει στον αισθητήρα λήψης A σε χρόνο  $T_A$  και στον σταθμό λήψης B σε χρόνο  $T_B$ . Η χρονική διαφορά της άφιξης αυτού του μηνύματος μεταξύ των θέσεων των αισθητήρων B και A υπολογίζεται ως η θετική σταθερά k:

$$TDoA_{B-A} = |T_B - T_A| = k$$

Η τιμή αυτή,  $TDoA_{B-A}$ , μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατασκευαστεί μια υπερβολή (hyperbola) με εστίες (foci) στις θέσεις και των δύο αισθητήρων λήψης A και B. Αυτή η υπερβολή αντιπροσωπεύει το γεωμετρικό τόπο όλων των σημείων στο x-y επίπεδο, που η διαφορά των αποστάσεών τους από τις δύο εστίες είναι ίση με k (c) μέτρα. Από μαθηματική άποψη, αυτό αντιπροσωπεύει όλες τις πιθανές θέσεις της κινητής συσκευής X έτσι ώστε:

$$|D_{XB} - D_{XA}| = k(c)$$

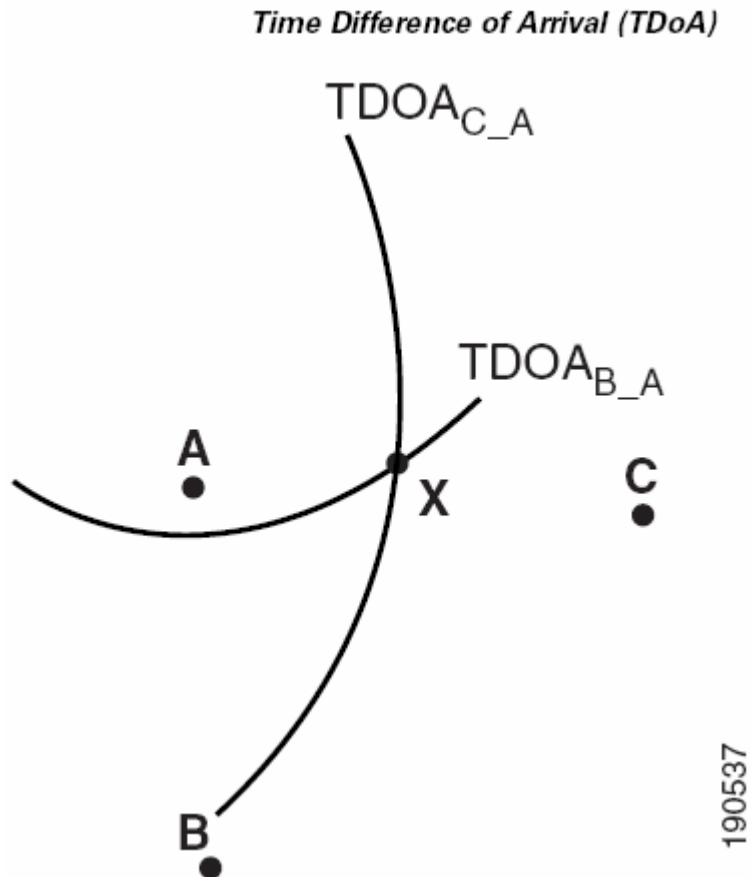
Η πιθανή θέση του κινητού σταθμού X μπορεί έπειτα να αντιπροσωπευθεί από ένα σημείο κατά μήκος αυτής της hyperbola. Για περαιτέρω προσδιορισμό της θέσης του σταθμού X, ένας τρίτος αισθητήρας λήψης στη θέση C χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τη χρονική διαφορά άφιξης του μηνύματος μεταξύ των αισθητήρων C και A, ή:

$$TDoA_{C-A} = |T_C - T_A| = k_1$$

Η γνώση της σταθεράς  $k_1$  επιτρέπει την κατασκευή μιας δεύτερης υπερβολής που αντιπροσωπεύει το γεωμετρικό τόπο όλων των σημείων στο x-y επίπεδο, που η διαφορά των αποστάσεών τους από τις δύο εστίες (δηλαδή τους δύο αισθητήρες λήψης A και C) είναι ίση με  $k_1(c)$  μέτρα. Από μαθηματική άποψη, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει όλες τις πιθανές θέσεις της κινητής συσκευής X έτσι ώστε:

$$|D_{XC} - D_{XA}| = k_1(c)$$

Το επόμενο σχήμα (3.4) δείχνει πώς η τομή των δύο υπερβολών  $TDoA_{C-A}$  and  $TDoA_{B-A}$  χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη θέση του σταθμού X.



Σχήμα 3.4 Χρονική διαφορά της άφιξης

Ένας τέταρτος αισθητήρας λήψης και μια τρίτη υπερβολή μπορεί να προστεθεί σαν επαύξηση για την εκτέλεση TDoA υπερβολικού multi-lateration. Αυτό μπορεί να απαιτείται για την αντιμετώπιση περιπτώσεων όπου μπορεί να προκύπτουν περισσότερες από μια λύσεις όταν χρησιμοποιείται υπερβολικό tri-lateration.

Οι σχεδιαστές σύγχρονων συστημάτων TDoA έχουν επινοήσει μεθόδους ώστε να ανταποκρίνονται στην κλίση (drift) των τοπικών ρολογιών ταλαντωτών που προορίζονται για την αποφυγή των ακριβών απαιτήσεων για ακριβή χρονικό συγχρονισμό των δεκτών TDoA. Για παράδειγμα, μια χρονική πηγή ρύθμισης μπορεί να χρησιμοποιείται περιοδικά για να υπολογίζει χρονικές προσαρμογές (adjustments) από μια πηγή ρολογιού αναφοράς. Αυτές οι ρυθμίσεις των ρολογιών μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν για να διορθώσουν τις αποκλίσεις (offsets) ρολογιών αναφοράς σε άλλα μέρη του συστήματος. Στην περίπτωση δεκτών TDoA που είναι επίσης σε θέση να μεταδίδουν πακέτα (όπως τα 802.11 WLAN access points), μια άλλη καινοτόμος προσέγγιση περιλαμβάνει την περιοδική ανταλλαγή πακέτων "χρονισμού" μεταξύ των δεκτών. Σε αυτήν την προσέγγιση, χρονικές αποκλίσεις μεταξύ κάθε δέκτη και ενός "δέκτης αναφοράς" μπορούν να κβαντιστούν, και η προκύπτουσα χρονική ρύθμιση κατόπιν να εφαρμοστεί αναλόγως.

Τα συστήματα μέτρησης αποστάσεων (ranging) αεροδρομίων είναι ένα γνωστό παράδειγμα συστημάτων TDoA που χρησιμοποιούνται σήμερα. Στον κόσμο της κυβελωτής τηλεφωνίας, το TDoA αναφέρεται επίσης ως ενισχυμένη παρατηρηθείσα χρονική διαφορά (E-OTD, Enhanced Observed Time Difference), και προσφέρει ακρίβεια σε εξωτερικούς χώρους για αυτή την εφαρμογή περίπου 60 μέτρων σε αγροτικές περιοχές και 200 μέτρων σε πυκνές RF αστικές περιοχές.

Από την άποψη τόσο των πλεονεκτημάτων όσο και των ελαττωμάτων, η ToA και η TDoA έχουν αρκετές ομοιότητες. Και οι δύο έχουν αποδειχτεί ιδιαίτερα κατάλληλες για μεγάλης - και πολύ μεγάλης- κλίμακας συστήματα εντοπισμού εξωτερικού χώρου. Επιπλέον, καλά αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί από τα συστήματα ToA και TDoA σε ημι-υπαίθρια περιβάλλοντα όπως αμφιθέατρα και στάδια, καθώς και περικλειόμενα υπαίθρια περιβάλλοντα όπως χώρους ενοικίασης αυτοκινήτων και θύρες εισόδου. Σε εσωτερικούς χώρους, τα συστήματα TDoA επιδεικνύουν την καλύτερη επίδοσή τους σε κτήρια που είναι μεγάλα και σχετικά ανοικτά, με χαμηλά επίπεδα συνολικού αριθμού εμποδίων και υψηλές οροφές που επιτρέπουν μεγάλους ελεύθερους χώρους μεταξύ των περιεχομένων του κτιρίου και της εσωτερικής οροφής.

Σε πολλές περιπτώσεις, εντούτοις, τόσο τα συστήματα ToA όσο και τα TDoA έχουν την τυπικά απαιτούμενη εξειδικευμένη υποδομή εγκατεστημένη παράλληλα με αυτή που απαιτείται για τη διεξαγωγή της συνηθισμένης, καθημερινής ανταλλαγής 802.11 WLAN δεδομένων. Σε μερικές περιπτώσεις, αυτό καλύπτεται από κοινά εξωτερικά περιβλήματα (housings) που είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να φιλοξενήσουν και ένα αυτόνομο δέκτη TDoA καθώς επίσης και ένα 802.11 access point. Αυτό αναμένεται να αλλάξει καθώς αυξανόμενη προσπάθεια γίνεται για μια ενσωματωμένη 802.11/TDoA υποδομή πυριτίου, με το αποκορύφωμα τέτοιων προσπαθειών να είναι ένα πλήρως-ενσωματωμένο 802.11/TDoA access point.

Σε στενούς, περιορισμένους εσωτερικούς χώρους, και η ToA και η TDoA πάσχουν παραδοσιακά από απόδοση χαμηλότερη από τη βέλτιστη, ειδικά σε καταστάσεις όπου ο κινητός σταθμός είναι πιθανό να περιβάλλεται από αντικείμενα που προωθούν τη σκέδαση σε πολλές γωνίες (multi-angular scattering) και την ανάκλαση RF. Ενδιαφέρον είναι, ότι τα αποτελέσματα που παρατηρούνται κάτω από τέτοιες συνθήκες φαίνονται να επιδεινώνονται με τις υλοποιήσεις στενής ζώνης (narrow band) της τεχνικής TDoA έναντι υλοποιήσεων ευρύτερης ζώνης όπως είναι τα WLANs. Κάνοντας ευνοϊκή χρήση αυτού του φαινομένου, εναλλακτικές μέθοδοι υλοποίησης της TDoA έχουν αναπτυχθεί όπως η προσέγγιση των 2.4 GHz που περιγράφεται στο ANSI INCITS 371.1/ISO24370. Το Ansi INCITS 371.1 εφαρμόζει 2.4 GHz Binary Phase Shift Keying/Direct Sequence Spread Spectrum (BPSK/DSSS) καταλαμβάνοντας ένα εύρος ζώνης 60 MHz, που επιτρέπει βελτιωμένη απόδοση του TDoA κάτω από δυσμενείς συνθήκες πολλαπλών διαδρομών.

### 3.2.3 Λαμβανόμενη ισχύς σήματος (RSS, Received Signal Strength)

Μέχρι τώρα έχουν συζητηθεί δύο τεχνικές lateration (η ToA και η TDoA) που χρησιμοποιούν το χρόνο που έχει παρέλθει για να μετρήσουν την απόσταση. Lateration μπορεί επίσης να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας τη λαμβανόμενη ισχύ σήματος (RSS) στη θέση του χρόνου. Με αυτήν την προσέγγιση, το RSS μετριέται είτε από την κινητή συσκευή είτε από τον αισθητήρα λήψης.

Γνώση της ισχύος εξόδου του πομπού, των απωλειών καλωδίων, του κέρδους των κεραιών καθώς επίσης και του κατάλληλου μοντέλου απωλειών διαδρομής επιτρέπει τη λύση ως προς την απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών. Το ακόλουθο είναι παράδειγμα ενός κοινού μοντέλου απωλειών διαδρομής που χρησιμοποιείται για διάδοση εσωτερικού χώρου στα 2,4 GHz:

$$PL = PL_{\text{Imeter}} + 10\log(D^n) + S$$

Σε αυτό το μοντέλο:

- Το PL αντιπροσωπεύει τη συνολική απώλεια διαδρομής που παρατηρείται μεταξύ του δέκτη και του αποστολέα σε dB.
- Το  $PL_{1\text{meter}}$  αντιπροσωπεύει την απώλεια διαδρομής αναφοράς σε dB όταν η απόσταση δέκτη-πομπού είναι 1 μέτρο.
- Το D αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη σε μέτρα.
- Το n αντιπροσωπεύει τον εκθέτη απωλειών διαδρομής για το περιβάλλον.
- Το S αντιπροσωπεύει τις διαλείψεις σκίασης (*shadow fading*) που είναι παρούσα στο περιβάλλον, σε DB.

Η απώλεια διαδρομής (PL) είναι η διαφορά μεταξύ της μεταδιδόμενης ισχύος και της λαμβανόμενης ισχύος, και αντιπροσωπεύει το τρέχον επίπεδο εξασθένησης του σήματος λόγω των επιδράσεων της διάδοσης ελεύθερου χώρου, της ανάκλασης, της διάθλασης, και της σκέδασης. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής (n) είναι μια συνάρτηση της συχνότητας, του περιβάλλοντος, και των εμποδίων.

Οι εκθέτες απωλειών διαδρομής που χρησιμοποιούνται ευρέως κυμαίνονται από μια τιμή 2 για τον ανοικτό ελεύθερο χώρο έως τιμές μεγαλύτερες από 2 σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν εμπόδια. Στα 2,4 GHz, παραδείγματος χάριν, τυπικός εκθέτης απωλειών διαδρομής για ένα εσωτερικό περιβάλλον γραφείου είναι το 3.3, και για ένα πυκνότερο περιβάλλον σπιτιού το 4.5.

Το S αντιπροσωπεύει το βαθμό εξασθένησης σκίασης που σχετίζεται με το περιβάλλον. Η εξασθένηση σκίασης εσωτερικών χώρων ποικίλλει ανάλογα με τον αριθμό των εμποδίων που είναι παρόντα. Σε ένα περιβάλλον με πολλά χωρίσματα, τοίχους, ή άλλα εμπόδια που παρεμποδίζουν την οπτική επαφή μεταξύ της κινητής συσκευής και κάθε δέκτη, το S μπορεί να κυμαίνεται στα  $\pm 7\text{dB}$  και μερικές φορές περισσότερο. Χρησιμοποιώντας την τυποποιημένη πρακτική για τον υπολογισμό της ισχύος σήματος του δέκτη, δεδομένων γνωστών ποσοτήτων για την ισχύ μετάδοσης, τη διαδρομή, την κεραία, και τις απώλειες καλωδίων, προκύπτει το εξής:

$$RX_{PWR} = TX_{PWR} - LOSS_{TX} + Gain_{TX} - PL + Gain_{RX} - LOSS_{RX}$$

Απευθείας αντικατάσταση του μοντέλου απωλειών διαδρομής στη θέση του PL στην παραπάνω εξίσωση επιτρέπει την επίλυση ως προς την απόσταση D υποθέτοντας όλες τις άλλες μεταβλητές γνωστές:

$$D = \sqrt[n]{\text{inv log} \frac{RX_{PWR} - TX_{PWR} + Loss_{TX} - Gain_{TX} + PL_{1\text{meter}} - S + Loss_{RX} - Gain_{RX}}{-10}}$$

όπου η έννοια των όρων στην ανωτέρω εξίσωση είναι:

- Το  $RX_{PWR}$  αντιπροσωπεύει την λαμβανόμενη ισχύ σήματος που ανιχνεύεται σε dB.
- Το  $TX_{PWR}$  αντιπροσωπεύει την ισχύ εξόδου του πομπού σε dB
- Το  $LOSS_{TX}$  αντιπροσωπεύει το άθροισμα όλων των απωλειών καλωδίου και συνδέσμων (connector) στην πλευρά μετάδοσης σε dB.
- Το  $Gain_{TX}$  αντιπροσωπεύει το κέρδος της κεραίας στην πλευρά μετάδοσης σε dBi.
- Το  $LOSS_{RX}$  αντιπροσωπεύει το άθροισμα όλων των απωλειών καλωδίου και συνδέσμων στην πλευρά λήψης σε dB.
- Το  $Gain_{RX}$  αντιπροσωπεύει το κέρδος της κεραίας στην πλευρά λήψης σε dBi.

Η λύση ως προς την απόσταση μεταξύ του δέκτη και της κινητής συσκευής επιτρέπει τη σχεδίαση μιας κυκλικής περιοχής γύρω από τη θέση του δέκτη. Η θέση της κινητής συσκευής θεωρείται ότι είναι κάπου σε αυτή την κυκλική γραφική παράσταση. Όπως και σε άλλες τεχνικές, οι είσοδοι από άλλους δέκτες σε άλλες κυψέλες (σε αυτήν την

περίπτωση, η πληροφορία της ισχύος του σήματος, RSSI) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτελέσουν RSS tri- lateration, ή RSS multi- lateration για να βελτιώσουν περαιτέρω την ακρίβεια θέσης. Η πληροφορία για την ισχύ του σήματος που χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη θέση μπορεί να ληφθεί από ένα ή δύο πηγών. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης μπορούν να καθορίσουν τη θέση με βάση ένα από τα ακόλουθα:

- Η υποδομή του δικτύου αναφέρει την ισχύ σήματος στην οποία λαμβάνει τις μεταδόσεις της κινητής συσκευής ("πλευρά δικτύου –network side")
- Η κινητή συσκευή αναφέρει την ισχύ του σήματος στην οποία λαμβάνει τις μεταδόσεις του δικτύου ("πλευρά πελάτη- client side") .

Στα 802.11 WLANs, η διαβάθμιση (granularity) με την οποία αναφέρεται το RSSI συνήθως ποικίλλει από ραδιο-προμηθευτή σε ραδιο-προμηθευτή. Στην πραγματικότητα, οι 802.11 συσκευές-πελάτες που παράγονται από διαφορετικούς κατασκευαστές πυριτίου μπορούν να αναφέρουν λαμβανόμενη ισχύ σήματος χρησιμοποιώντας ασυνεπείς μετρικές (metrics). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υποβαθμισμένη και ασυνεπή επίδοση του εντοπισμού θέσης.

Για να αποφευχθεί αυτή η κατάσταση, υπάρχουν δύο βασικές επιλογές:

- Έγκατάσταση ενός συστήματος εντοπισμού της θέσης που στηρίζεται σε μετρήσεις RSSI από την πλευρά του δικτύου. Επειδή οι περισσότερες εγκαταστάσεις 802.11 WLANs είναι τυποποιημένες με access points IEEE 802.11 από έναν ενιαίο προμηθευτή, αυτό είναι μια πολύ απλή λύση και είναι αυτή που επιλέγεται συχνότερα.
- Έγκατάσταση ενός συστήματος εντοπισμού της θέσης που στηρίζεται σε μετρήσεις RSSI από την πλευρά του πελάτη.

Επειδή δεν είναι πρακτικό να υποθεθεί ότι κάθε συσκευή-πελάτη σε μια επιχείρηση WLAN είναι από τον ίδιο πωλητή, αυτή η επιλογή απαιτεί απαραίτητα ένα τρόπο "εξίσωσης" κάθε συγκεκριμένου μοντέλου υλικού (hardware) των πελατών από κάθε προμηθευτή με κάποιο μοντέλο υλικού "αναφοράς" με το οποίο το σύστημα εντοπισμού είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί με τη μέγιστη ακρίβεια. Παραδείγματος χάριν, εάν το λογισμικό του συστήματος εντοπισμού είναι σχεδιασμένο να αναμένει RSSI σε μια έκταση από -127dBm έως +127dBm σε 254 βήματα του 1dBm, κάποιο επίπεδο μαθηματικής εξίσωσης απαιτείται εάν μερικοί πελάτες είναι σε θέση να αναφέρουν RSSI σε αυτή τη μορφή ενώ άλλοι μπορούν μόνο να αναφέρουν RSSI σε μια έκταση από -111dBm ως +111 dBm σε 74 βήματα των 3dBm.

Χαρακτηριστικά, η ευθύνη για την παροχή αυτών των μέσων εξίσωσης των αναφορών RSSI μεταξύ ενός ή περισσότερων προμηθευτών (και τη διατήρηση επαφής με την ποικιλία των νέων αναθεωρήσεων του υλικού που παράγει κάθε κύριος προμηθευτής) ανήκει στον πωλητή του συστήματος εντοπισμού.

Μέχρι στιγμής, οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν RSS lateration απολαμβάνουν ένα πλεονέκτημα κόστους με τη μη απαίτηση εξειδικευμένου υλικού στην κινητή συσκευή ή στην υποδομή του δικτύου. Αυτό κάνει lateration τεχνικές βασισμένες στην ισχύ του σήματος πολύ ελκυστικές από την άποψη κόστους-απόδοσης σε σχεδιαστές 802.11 WLAN συστημάτων που επιθυμούν να προσφέρουν ενσωματωμένες υπηρεσίες προσδιορισμού της θέσης βασισμένες σε lateration.

Εντούτοις, ένα γνωστό μειονέκτημα στο καθαρό lateration RSS είναι ότι ανωμαλίες διάδοσης που προκαλούνται από ανισοτροπικές συνθήκες στο περιβάλλον μπορούν να υποβιβάσουν σημαντικά την ακρίβεια. Αυτό συμβαίνει επειδή στην πραγματικότητα, η

διάδοση σε οποιαδήποτε κυψέλη απέχει πολύ από ένα ιδανικό κυκλικό πρότυπο που βασίζεται σε ένα ιδανικό μοντέλο απωλειών διαδρομής. Τα επίπεδα των σήι άτων ποικίλλουν σημαντικά εξαιτίας των πολλαπλών διαδρομών, της παρεμβολής και της εξασθένησης. Αυτό συχνά δε λαμβάνεται υπόψη όταν σχεδιάζονται συστήι ατα χρησιμοποιώντας θεωρητικά πρότυπα RSS lateration στην καθαρότερη μορφή τους.

Καθαρές RSS lateration τεχνικές που δεν λαμβάνουν πρόσθετα μέτρα για να συμπεριλάβουν την εξασθένηση και τις πολλαπλές διαδρομές στο περιβάλλον, σπάνια παράγουν αποδεκτά αποτελέσματα εκτός από πολύ ελεγχόμενες καταστάσεις. Αυτό περιλαμβάνει εκείνες τις ελεγχόμενες καταστάσεις όπου υπάρχει πάντα καθαρή οπτική επαφή μεταξύ της κινητής συσκευής και των αισθητήρων λήψης, με λίγη εξασθένηση εκτός από τις απώλειες διαδρομής ελεύθερου χώρου (free-space path loss FPL) και ελάχιστο έως καθόλου πρόβλημα πολλαπλών διαδρομών.

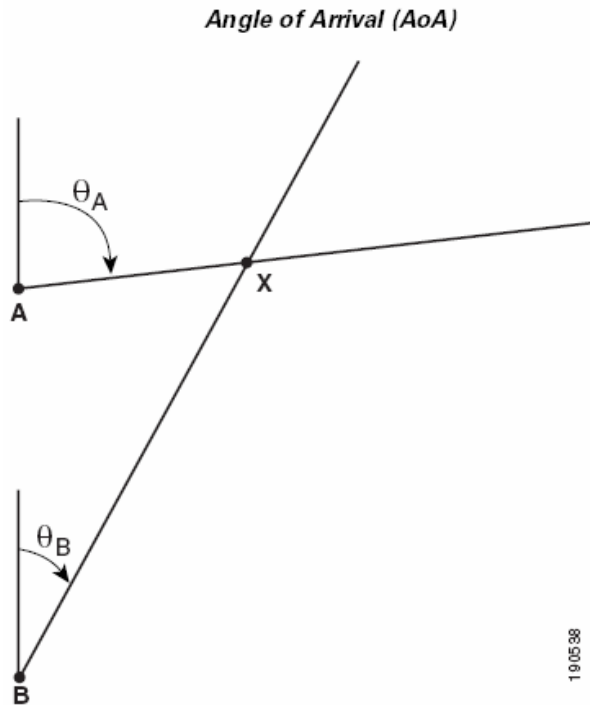
### 3.3 Τεχνικές βασισμένες στη γωνία (angulation)

#### Γωνία άφιξης (AoA , Angle of arrival)

Η τεχνική της γωνία άφιξης (AoA ), που μερικές φορές αναφέρεται ως κατεύθυνση άφιξης (DoA, Direction of Arrival), εντοπίζει τον κινητό σταθμό καθορίζοντας τη γωνία πρόσπτωσης με την οποία τα σήματα φθάνουν στον αισθητήρα λήψης. Γεωμετρικές σχέσεις μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμήσουν τη θέση από την τομή δύο lines of bearing (LoBs) που σχηματίζονται από μια ακτινωτή γραμμή σε κάθε αισθητήρα λήψης, όπως παριστάνεται στο σχήμα 3.5. Σε ένα δισδιάστατο επίπεδο, απαιτούνται τουλάχιστον δύο αισθητήρες λήψης για την εκτίμηση της θέσης, με βελτιωμένη ακρίβεια να προκύπτει από τουλάχιστον τρεις ή περισσότερους αισθητήρες (triangulation). Στην καθαρότερη μορφή της (δηλαδή όταν υπάρχει καθαρή οπτική επαφή μεταξύ της κινητής συσκευής X και των αισθητήρων λήψης A και B), μηχανικά-ευκίνητες κατευθυντικές κεραίες εγκατεστημένες στους αισθητήρες λήψης προσαρμόζονται στο σημείο της υψηλότερης ισχύος σήι ατος. Ο προσδιορισμός της θέσης των κατευθυντικών κεραιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για να καθορίσει τα LoBs (Lines of Bearing) και να μετρήσει τις γωνίες πρόσπτωσης  $\theta_A$  και  $\theta_B$ .

Στις πρακτικές εμπορικές και στρατιωτικές εφαρμογές της AoA, χρησιμοποιούνται συστοιχίες (arrays) κεραιών πολλαπλών στοιχείων για να δειγματοληπτήσουν το λαμβανόμενο σήμα, εξαλείφοντας την ανάγκη για πιο σύνθετα και απαιτητικά στη συντήρηση μηχανικά-ευκίνητα συστήματα κεραιών. Ηλεκτρονική μεταγωγή (switching) μπορεί να εκτελεστεί μεταξύ των συστοιχιών (arrays) ή τμημάτων κάθε συστοιχίας, και μαθηματικοί υπολογισμοί που πραγματοποιούνται από ένα υπολογιστικό σύστημα χρησιμοποιούνται για να εξαγάγουν τις γωνίες πρόσπτωσης. Αυτή η τεχνική ουσιαστικά περιλαμβάνει τον υπολογισμό TDoA (Time Difference of Arrival) μεταξύ στοιχείων της συστοιχίας ι ετρώντας τη διαφορά στη λαμβανόμενη φάση σε κάθε στοιχείο. Σε μια κατάλληλα κατασκευασμένη συστοιχία, υπάρχει ένας μικρός αλλά ευδιάκριτος ανά στοιχείο χρόνος άφιξης και μια διαφορά στη φάση. Αυτή η τεχνική, ι ερικές φορές αναφερόμενη ως "αντίστροφος





Σχήμα 3.5 Η τεχνική της γωνία άφιξης (Angle of arrival)

σχηματισμός δέσμης " (reverse beam-forming) , περιλαμβάνει άμεση ή έτρηση του χρόνου άφιξης του σήματος σε κάθε ένα στοιχείο, υπολογισμό του TDoA μεταξύ των στοιχείων της συστοιχίας, και ή εατροπή αυτών των πληροφοριών σε μια μέτρηση AoA. Αυτό είναι δυνατό εξαιτίας του γεγονότος ότι στο σχηματισμό δέσμης (beam-forming), το σήμα από κάθε ένα στοιχείο χαρακτηρίζεται από χρονική καθυστέρηση (time-delayed) (μετατόπιση φάσης) για "να οδηγήσει" το κέρδος της συστοιχίας κεραιών.

Μια γνωστή εφαρμογή AoA είναι το VOR (VHF Omnidirectional Range), σύστημα που χρησιμοποιείται από τα αεροσκάφη από τα 108,1 έως τα 117.95 MHz. "ραδιοφάροι" VOR σε ολόκληρη τη χώρα μεταδίδουν πολλαπλά ακτινικά σήματα ("radials") VHF, με κάθε τέτοιο σήμα να προέρχεται από μια διαφορετική γωνία πρόσπτωσης. Ο δέκτης VOR σε ένα αεροσκάφος μπορεί να καθορίσει το σήμα στο οποίο βρίσκεται το αεροσκάφος καθώς πλησιάζει το "φάρο" VOR και συνεπώς τη γωνία πρόσπτωσής του αναφορικά με το "φάρο". Χρησιμοποιώντας ένα ελάχιστο δύο "φάρων" VOR, ο οδηγός του αεροσκάφους είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει τον AoA εξοπλισμού του αεροσκάφους για να εκτελέσει angulation (ή tri-angulation χρησιμοποιώντας τρεις "φάρους" VOR) και να καθορίσει τη θέση του αεροπλάνου.

AoA τεχνικές έχουν εφαρμοστεί επίσης στην βιομηχανία των κινητών στις πρώτες προσπάθειες να παρασχεθούν υπηρεσίες προσδιορισμού της θέσης για τους χρήστες κινητών τηλεφώνων. Αυτό προοριζόταν πρωτίστως για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς που απαιτούσαν από τα κυψελωτά συστήματα να αναφέρουν τη θέση ενός χρήστη που κάνει μια κλήση έκτακτης ανάγκης (911). Πολλαπλοί πύργοι υπολογίζουν το AoA του σήματος του χρήστη της κυψέλης, και χρησιμοποιούν αυτή την πληροφορία για να εκτελέσουν tri-angulation (τριγωνοποίηση). Αυτή η πληροφορία αναμεταδίδεται σε επεξεργαστές μετατροπής που υπολογίζουν τη θέση του χρήστη και μετατρέπουν τα στοιχεία AoA σε συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους, τα οποία στη συνέχεια παρέχονται σε συστήματα ανταπόκρισης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Ένα μειονέκτημα που η τεχνική AoA έχει κοινό με μερικές από τις άλλες τεχνικές που έχουν αναφερθεί είναι η ευαισθησία της στην παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η AoA λειτουργεί καλά σε καταστάσεις με άμεση οπτική

επαφή, αλλά πάσχει από μειωμένη ακρίβεια όταν έρχεται αντιμέτωπη με αντανakλάσεις σημάτων από αντικείμενα του περιβάλλοντος. Δυστυχώς, στις πυκνές αστικές περιοχές, η AoA καθίσταται δύσκολα χρησιμοποιήσιμη επειδή οπτική επαφή  $\hat{i}$  ε δύο ή περισσότερους σταθμούς βάσης είναι σπάνια παρούσα. Αυτό κάνει επίσης την AoA μη πρακτική για τους περισσότερους εσωτερικούς χώρους.

### 3.4 Τεχνικές προτυποποίησης θέσης (αναγνώριση προτύπων)

Η προτυποποίηση θέσης (location patterning) αναφέρεται σε μια τεχνική που βασίζεται στη δειγματοληψία και καταγραφή προτύπων συμπεριφοράς του ραδιο-σήματος σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα. Από τεχνικής άποψης, μια εφαρμογή location patterning δεν απαιτεί εξειδικευμένο υλικό ούτε στην κινητή συσκευή ούτε στον αισθητήρα λήψη. Η μέθοδος του location patterning μπορεί να υλοποιηθεί εξ' ολοκλήρου σε λογισμικό, το οποίο μπορεί να μειώσει σημαντικά την πολυπλοκότητα και το κόστος συγκρινόμενο με angulation ή καθαρά βασισμένα στο χρόνο συστήματα lateration.

Οι τεχνικές location patterning κάνουν τις ακόλουθες θεμελιώδεις υποθέσεις:

- Κάθε πιθανή θέση μιας συσκευής κατέχει ιδανικά μια ευδιάκριτη και μοναδική RF "υπογραφή". Όσο πιο κοντά είναι η πραγματικότητα σε αυτή την εξιδανίκευση, τόσο καλύτερη η απόδοση της εφαρμογής location patterning.

- Κάθε όροφος, κτήριο, ή πανεπιστημιούπολη (campus) κατέχει μοναδικά χαρακτηριστικά διάδοσης του σήματος. Παρόλες τις προσπάθειες για ολόδια τοποθέτηση του εξοπλισμού, ποτέ δύο πατώματα, κτήρια, ή πανεπιστημιούπολεις δεν είναι αληθινά πανομοιότυπες από την οπτική μιας εφαρμογής RTLS (Real Time Location Solution) pattern recognition.

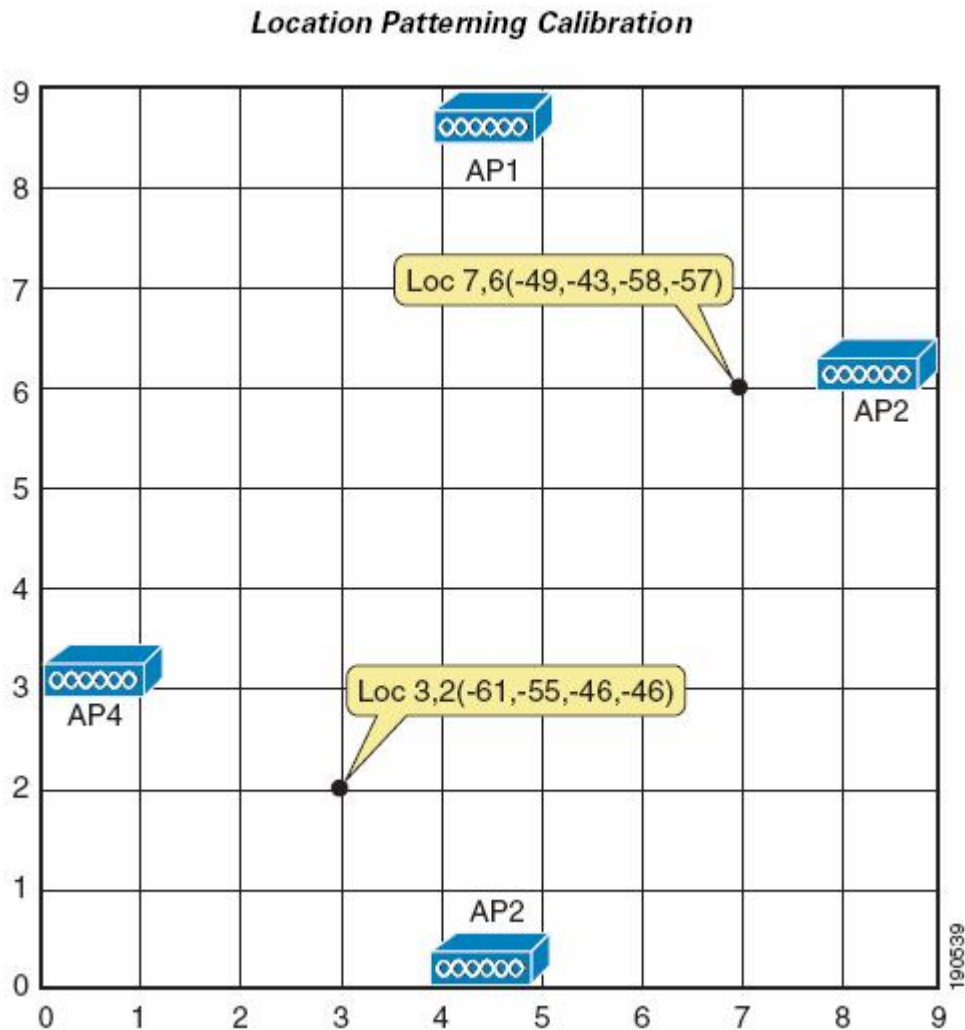
Αν και οι περισσότερες εμπορικές εφαρμογές location patterning βασίζονται συνήθως τέτοιες υπογραφές στη λαμβανόμενη ισχύ σήματος (RSSI), η αναγνώριση προτύπων μπορεί να επεκταθεί για να περιλάβει επίσης RF υπογραφές βασισμένες σε ToA, AoA ή το TDoA. Η εγκατάσταση (deployment) των συστημάτων εντοπισμού που βασίζονται στην προτυποποίηση μπορεί χαρακτηριστικά να διααιρεθεί σε δύο φάσεις:

- Φάση ρύθμισης
- Φάση λειτουργίας

#### 3.4.1 Φάση ρύθμισης

Κατά τη διάρκεια της φάσης ρύθμισης, δεδομένα συσσωρεύονται κάνοντας ένα γύρο στο περιβάλλον στόχο με μια κινητή συσκευή και επιτρέποντας σε πολλαπλούς αισθητήρες λήψης (access points στην περίπτωση των 802.11 WLANs) να δειγματοληψήσουν την ισχύ του σήματος της κινητής συσκευής (αυτό αναφέρεται σε μια υλοποίηση "πλευράς δικτύου" του location patterning). Μια γραφική αναπαράσταση της προς ρύθμιση περιοχής επικαλύπτεται συνήθως με ένα σύνολο σημείων πλέγματος ή σημειώσεις για να καθοδηγήσουν το χειριστή να καθορίσει ακριβώς από πού πρέπει να ληφθούν τα δείγματα. Σε κάθε μία θέση δειγμάτων, ο πίνακας (ή διάγραμμα θέσης) των τιμών RSS που σχετίζονται με τη συσκευή ρύθμισης καταγράφονται σε μια βάση δεδομένων γνωστή ως ραδιο- χάρτη (radio map) ή σύνολο εκπαίδευσης (training set). Το μέγεθος του διανύσματος για αυτή την τοποθεσία του δείγματος καθορίζεται από τον αριθμό των σταθμών λήψης που μπορούν να ανιχνεύσουν την κινητή συσκευή. Το Σχήμα 3.6 παρέχει μια απλουστευμένη αναπαράσταση αυτής της προσέγγισης, απεικονίζοντας δύο σημεία δειγμάτων και πώς τα αντίστοιχα διανύσματα θέσης τους θα μπορούσαν να

δημιουργηθούν από το ανιχνευμένο RSSI (Received Signal Strength Indication) του πελάτη.



Σχήμα 3.6 Ρύθμιση του συστήματος προτυποποίησης θέσης (location patterning)

Λόγω των διαλείψεων (fading) και άλλων φαινομένων, η παρατηρηθείσα ισχύς του σήματος μιας κινητής συσκευής σε μια συγκεκριμένη θέση δεν είναι στατική αλλά φαίνεται ότι ποικίλει  $\epsilon$  το χρόνο. Γι' αυτό το λόγο, το λογισμικό της φάσης ρύθμισης τυπικά καταγράφει πολλά δείγματα της ισχύος του σήματος για μια κινητή συσκευή κατά τη διάρκεια της τρέχουσας διαδικασίας δειγματοληψίας. Ανάλογα με την τεχνική, το ουσιαστικό στοιχείο του πίνακα διανυσμάτων που καταγράφεται μπορεί να συμπεριλαμβάνει αυτήν την διακύμανση μέσω μιας ή περισσότερων δημιουργικών προσεγγίσεων. Μια δημοφιλής, εύκολα υλοποιήσιμη μέθοδος είναι να αναπαρασταθεί το στοιχείο του πίνακα που σχετίζεται με οποιονδήποτε συγκεκριμένο δέκτη ως η μέση ισχύς σήματος όλων των μετρήσεων εκείνης της κινητής συσκευής που γίνονται από αυτό τον αισθητήρα λήψης για τις αναφερόμενες συντεταγμένες δείγματος. Επομένως το διάνυσμα θέσης γίνεται ένας πίνακας διανυσμάτων “στοιχείων μέσης ισχύος σήματος”, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση, όπου το  $x$  και το  $y$  αντιπροσωπεύουν τις αναφερόμενες συντεταγμένες του δείγματος και το  $r$  αντιπροσωπεύει το αναφερόμενο RSSI:

$$(x, y) = (\bar{r}_{AP1}, \bar{r}_{AP2}, \bar{r}_{AP3}, \bar{r}_{AP4})$$

### 3.4.2 Φάση λειτουργίας (Operational Phase)

Στη φάση λειτουργίας, μια ομάδα αισθητήρων λήψης παρέχει μετρήσεις της ισχύος του σήματος, που αναφέρονται σε μια παρακολουθούμενη κινητή συσκευή (υλοποίηση πλευράς δικτύου) και προωθεί αυτή την πληροφορία σε έναν εξυπηρετητή εντοπισμού θέσης (location tracking server). Ο location server χρησιμοποιεί έναν σύνθετο αλγόριθμο προσδιορισμού της θέσης και τη βάση δεδομένων ραδιοχάρτη για να εκτιμήσει τη θέση της κινητής συσκευής. Ο εξυπηρετητής αναφέρει έπειτα την εκτίμηση θέσης στην εφαρμογή εντοπισμού πελάτη που ζητά τις πληροφορίες θέσης.

Οι location patterning αλγόριθμοι προσδιορισμού της θέσης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές ομάδες:

- Οι ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι προσπαθούν να βρουν την ελάχιστη στατιστική απόσταση σημάτων μεταξύ ενός ανιχνευμένου διανύσματος θέσης RSSI και των διανυσμάτων θέσης των διαφόρων δειγμάτων που προέκυψαν από τη ρύθμιση (calibration phase). Αυτό μπορεί να είναι ή να μην είναι ίσο με την ελάχιστη φυσική απόσταση μεταξύ της πραγματικής φυσικής θέσης της συσκευής και της καταγεγραμμένης θέσης του δείγματος ρύθμισης. Το δείγμα με την ελάχιστη στατιστική απόσταση σήματος μεταξύ του ίδιου και του ανιχνευμένου διανύσματος θέσης θεωρείται γενικά ως καλύτερη αρχική εκτίμηση θέσης που περιλαμβάνεται στη βάση με τα δεδομένα ρύθμισης (calibration database). Παραδείγματα αιτιοκρατικών αλγορίθμων είναι εκείνα που βασίζονται στον υπολογισμό Ευκλείδειων, Μανχάταν, ή Mahalanobis αποστάσεων.
- Οι πιθανοτικοί αλγόριθμοι (probabilistic algorithms) χρησιμοποιούν συνεπαγωγές πιθανότητας (probability inferences) για να καθορίσουν την πιθανότητα μιας συγκεκριμένης θέσης, δεδομένου ότι έχει ήδη ανιχνευθεί ένας συγκεκριμένος πίνακας διανυσμάτων θέσης. Η ίδια η βάση δεδομένων ρύθμισης θεωρείται ως *a priori* κατανομή πιθανότητας υπό συνθήκη από τον αλγόριθμο για να καθορίσει την πιθανότητα εμφάνισης μιας συγκεκριμένης θέσης. Παραδείγματα τέτοιων προσεγγίσεων είναι εκείνα που χρησιμοποιούν Bayesian συνεπαγωγές πιθανότητας (probability inferences).
- Άλλες τεχνικές ξεπερνούν τα όρια των ντετερμινιστικών και πιθανοτικών προσεγγίσεων. Μια τέτοια προσέγγιση περιλαμβάνει την υπόθεση ότι το location patterning είναι υπερβολικά πολύπλοκο για να αναλυθεί μαθηματικά και απαιτεί την χρήση μη γραμμικών συναρτήσεων για ταξινόμηση (νευρωνικά δίκτυα). Μια άλλη τεχνική, γνωστή ως *support vector modeling* ή SVM, βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του ρίσκου και συνδυάζει στατιστική, μάθηση μηχανής, και τις αρχές των νευρωνικών δικτύων.

Για καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των αλγορίθμων location patterning, δίνεται ένα πολύ απλό παράδειγμα από τη χρήση ενός ντετερμινιστικού αλγορίθμου, της Ευκλείδειας απόστασης. Όπως αναφέρθηκε και προηγουίμως, οι ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι υπολογίζουν την ελάχιστη στατιστική απόσταση σημάτων, η οποία μπορεί να είναι ή να μην είναι ίση με την ελάχιστη φυσική απόσταση μεταξύ της πραγματικής φυσικής θέσης της συσκευής και της καταγεγραμμένης θέσης του δείγματος ρύθμισης. Παραδείγματος χάριν, ας υποθεθεί ότι έχουμε δύο access points X και Y και μια κινητή συσκευή Z. Το access point X αναφέρει για την κινητή συσκευή Z ένα δείγμα RSS (Received Signal Strength)  $x_1$ . Σχεδόν ταυτόχρονα, το access point Y αναφέρει για την κινητή συσκευή Z ένα δείγμα RSS  $y_1$ . Αυτές οι δύο τιμές RSS μπορούν να αναπαρασταθούν ως ένα διάνυσμα θέσης  $(x_1, y_1)$ . Ας υποθέσουμε ότι κατά τη διάρκεια της φάσης ρύθμισης, ένας μεγάλος πληθυσμός διανυσμάτων θέσης της μορφής  $F(x_2, y_2)$  εισήχθησαν στη βάση δεδομένων ρύθμισης του location server, όπου το F αντιπροσωπεύει τις πραγματικές φυσικές συντεταγμένες της καταγεγραμμένης θέσης. Ο

location server μπορεί να υπολογίσει την Ευκλείδεια απόσταση  $d$  μεταξύ του αναφερθέντος διανύσματος θέσης  $(x_1, y_1)$  και κάθε διανύσματος θέσης στο ραδιοχάρτη ρύθμισης ως εξής:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Οι φυσικές συντεταγμένες  $F$  που συνδέονται με το διάνυσμα θέσης της βάσης δεδομένων που κατέχει την ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση σε σχέση με το αναφερθέν διάνυσμα θέσης της κινητής συσκευής θεωρείται γενικά ότι είναι η σωστή εκτίμηση της θέσης της κινητής συσκευής.

Παρόμοια με τις εφαρμογές RSS lateration, συστήματα εντοπισμού πραγματικού χρόνου που χρησιμοποιούν location patterning συνήθως επιτρέπουν στους προμηθευτές να αξιοποιήσουν την υπάρχουσα ασύρματη υποδομή. Αυτό μπορεί συχνά να είναι πλεονέκτημα σε σχέση με τις προσεγγίσεις AoA, ToA, και TDoA, ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Εφαρμογές location patterning είναι σε θέση να παρουσιάζουν πολύ καλή επίδοση σε εσωτερικά περιβάλλοντα, ενώ απαιτείται τουλάχιστον τρεις δέκτες να βρίσκονται στην εμβέλεια των κινητών συσκευών σε κάθε χρονική στιγμή. Αυξημένη ακρίβεια και βελτιωμένη απόδοση (που περιλαμβάνει ακρίβεια η οποία υπερβαίνει τα 5 μέτρα) είναι δυνατή όταν 6 έως 10 δέκτες βρίσκονται στην εμβέλεια της κινητής συσκευής.

Οι εφαρμογές location patterning αποδίδουν καλά όποτε υπάρχουν επαρκείς καταχωρήσεις στον πίνακα ανά διάνυσμα θέσης για να επιτρέπουν στις μεμονωμένες θέσεις να διακρίνονται εύκολα από την εφαρμογή προσδιορισμού θέσης. Ωστόσο, αυτή η απαίτηση μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μερικά όχι και τόσο επιθυμητά χαρακτηριστικά εγκατάστασης. Με το location patterning, η επίτευξη υψηλών επιπέδων απόδοσης απαιτεί συνήθως όχι μόνο μεγαλύτερους αριθμούς δεκτών

(ή access points για το 802.11) αλλά και πιο “στριμωγμένους” χώρους (tighter spacing). Σε μεγάλες περιοχές όπου οι πελάτες είναι δυνατό να τριγυρίζουν σχεδόν οπουδήποτε, οι χρόνοι ρύθμισης μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτεροι απ' ό,τι σε άλλες προσεγγίσεις. Γι' αυτό τον λόγο, μερικές εμπορικές υλοποιήσεις του location patterning επιτρέπουν στο χρήστη για να διαιρέσει το περιβάλλον στόχο σε περιοχές όπου η μετακίνηση πελατών είναι πιθανή και σε άλλες όπου η μετακίνηση πελατών

είναι δυνατή αλλά σημαντικά πιο απίθανη. Ο βαθμός της ρύθμισης (calibration) καθώς και η ποσότητα των υπολογιστικών πόρων που διατίθενται σε αυτές τις δύο κατηγορίες περιοχών ρυθμίζεται από την εφαρμογή προσδιορισμού της θέσης σύμφωνα με την πιθανότητα ενός πελάτη να βρίσκεται εκεί.

Οι ραδιοχάρτες ή οι βάσεις δεδομένων ρύθμισης που χρησιμοποιούνται από μηχανές εντοπισμού αναγνώρισης προτύπων (pattern recognition) τείνουν να είναι πολύ συγκεκριμένες για την πανεπιστημιούπολη, το κτήριο, την περιοχή, ή τον όροφο, με περιορισμένη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης. Η πιθανότητα δύο οποιεσδήποτε περιοχές, ανεξάρτητα από το πόσο πανομοιότυπες μπορεί να φαίνονται στην κατασκευή και τη διαρρύθμιση, να παραγάγουν ταυτόσημα σύνολα δεδομένων ρύθμισης είναι πολύ μικρή. Γι' αυτό το λόγο, δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί το ίδιο σύνολο δεδομένων ρύθμισης για πολλαπλούς ορόφους ενός πολυώροφου κτηρίου γραφείων, παραδείγματος χάριν, επειδή παρά την ομοιότητά τους, τα διανύσματα θέσης που φαίνονται σε παρόμοιες θέσεις σε κάθε πάτωμα δεν θα είναι πανομοιότυπα.

Με όλες τις άλλες μεταβλητές ίδιες, η ακρίβεια του location patterning φθάνει συνήθως στο αποκορύφωμά της αμέσως μετά από μια ρύθμιση. Εκείνη την περίοδο, οι

πληροφορίες είναι πολύ πρόσφατες και ενδεικτικές των συνθηκών μέσα στο περιβάλλον. Καθώς ο χρόνος προχωρεί και εμφανίζονται αλλαγές που επηρεάζουν τη διάδοση ραδιοσυχνότητας RF, υποβάθμιση ακρίβειας αναμένεται να λαμβάνει χώρα σύμφωνα με το επίπεδο των αλλαγών στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, σε ορισμένα περιβάλλοντα, όπως μια εγκατάσταση αποστολής και παραλαβής εμπορευμάτων, μια υποβάθμιση της ακρίβειας κατά 20 τοις εκατό μπορεί να αναμένεται εύλογα σε μια περίοδο τριάντα ημερών. Επειδή οι χάρτες δεδομένων ρύθμισης υποβαθμίζονται κατά τη διάρκεια του χρόνου, εάν ένας υψηλός βαθμός σταθερής ακρίβειας είναι απαραίτητος, οι εφαρμογές location patterning απαιτούν την περιοδική επαλήθευση και πιθανή επαναρύθμιση. Παραδείγματος χάριν, δεν είναι παράλογο να αναμένεται επαλήθευση της ακρίβειας των δεδομένων ρύθμισης κάθε τρίμηνο και προγραμματισμός για πλήρη επαναρύθμιση ανά εξάμηνο.

### **3.5 Αρχιτεκτονική των Cisco Location-Based Services (Υπηρεσιών βασισμένων στη θέση)**

#### **RF Fingerprinting**

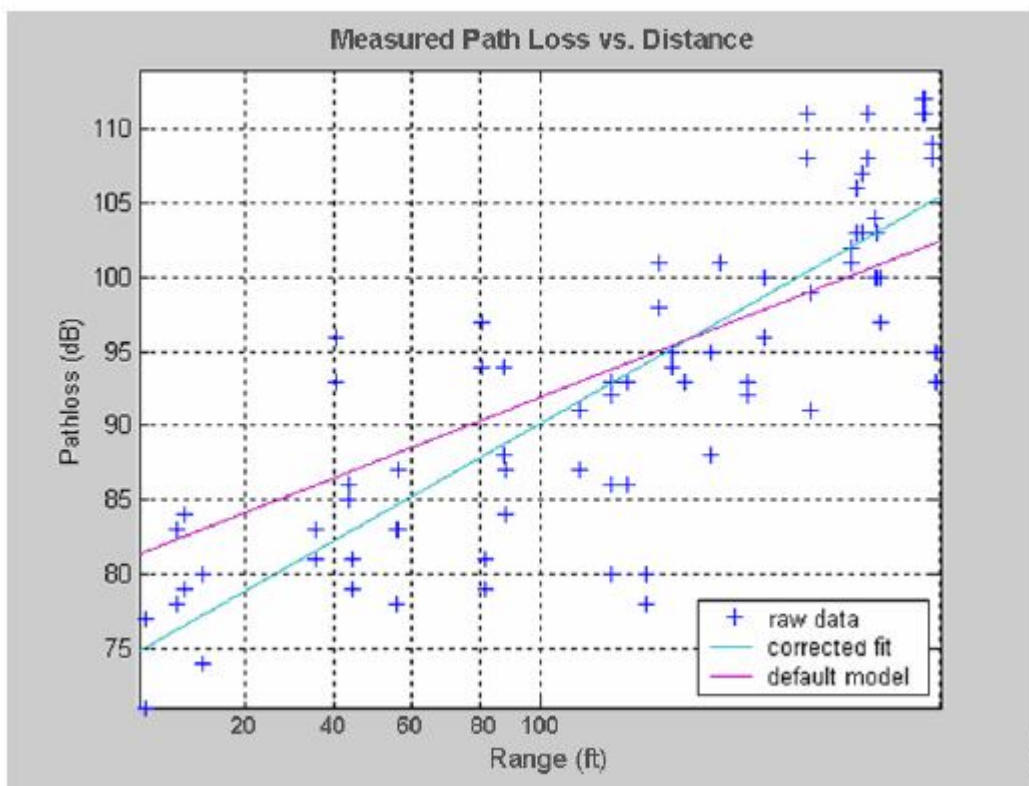
Το Cisco RF Fingerprinting αναφέρεται σε μια νέα και καινοτόμο προσέγγιση που βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια (accuracy) και συνέπεια (precision) των παραδοσιακών τεχνικών lateration ισχύος του σήματος. Το RF Fingerprinting προσφέρει την απλότητα μιας προσέγγισης lateration βασισμένης στο RSSI (Received Signal Strength Indication) με τις ικανότητες εξειδικευμένης ρύθμισης και απόδοσης σε εσωτερικούς χώρους που ήταν προηγουμένως διαθέσιμη μόνο στις εφαρμογές location patterning.

Το RF Fingerprinting βελτιώνει σημαντικά το RSS lateration με τη χρησιμοποίηση RF μοντέλων διάδοσης που αναπτύσσονται από δεδομένα ραδιοδιάδοσης τα οποία συλλέγονται άμεσα από το περιβάλλον στόχο ή άλλα πολύ παρόμοια περιβάλλοντα. Το RF Fingerprinting προσφέρει τη δυνατότητα ρύθμισης ενός μοντέλου RF σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον με ένα τρόπο παρόμοιο (αλλά πιο γρήγορο) με αυτόν που περιγράφηκε για το location patterning. Εντούτοις, σε αντίθεση με το location patterning, δεν απαιτείται πάντα μια ξεχωριστή ρύθμιση, ειδικά σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν πολλαπλοί όροφοι παρόμοιας κατασκευής, περιεχομένου, και διαρρύθμισης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ένα κοινό μοντέλο ραδιοσυχνότητας (RF) μπορεί να εφαρμοστεί και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο διάφορα γνωστά RF μοντέλα για περιβάλλοντα γραφείων (δηλαδή γραφεία με κανονικούς τοίχους μόνο και γραφεία κανονικών τοίχων σε συνδυασμό με θαλαμίσκους) συμπεριλαμβάνονται στην εφαρμογή Cisco LBS.

Αυτά τα έτοιμα μοντέλα επιτρέπουν την εγκατάσταση χωρίς ρύθμιση σε κοινά περιβάλλοντα γραφείων, που είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με προσεγγίσεις όπως το location patterning, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση είναι το κύριο ζήτημα. Εκτός από τη χρήση των έτοιμων μοντέλων διάδοσης, το RF Fingerprinting προσφέρει τη δυνατότητα ανάπτυξης ενός εξειδικευμένου μοντέλου διάδοσης που βελτιώνει τα προεπιλεγμένα μοντέλα απωλειών διαδρομής βασιζόμενη σε μια φάση ρύθμισης επιτόπου (on-site). Αυτή η διαδικασία επιτρέπει να ληφθούν υπόψη τα γενικά χαρακτηριστικά εξασθένησης του πραγματικού περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του υπολογισμού του εκθέτη των απωλειών διαδρομής τόσο για τα 2,4 όσο και για τα 5 GHz. Για κάθε θέση του πλέγματος ρύθμισης, καταγράφονται οι φυσικές συντεταγμένες της θέσης του πελάτη ρύθμισης (παρέχονται από τον υπεύθυνο για τη ρύθμιση) μαζί με το RSSI του πελάτη από τρία ή περισσότερα access points με δυνατότητες LWAPP. Αυτό επαναλαμβάνεται έως ότου ληφθούν 150 μετρήσεις θέσης-προς-access point ανά ζώνη από 50 ξεχωριστές θέσεις στο περιβάλλον στόχο.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της φάσης ρύθμισης υφίστανται στατιστική επεξεργασία και κατόπιν χρησιμοποιούνται για να χτιστεί ένα μοντέλο διάδοσης ραδιοσυχνότητας (RF) όπου ο εκθέτης απώλειας διαδρομής, οι διαλείψεις σκίασης, και οι τιμές  $PL_{1\text{meter}}$  υπολογίζονται από τα δείγματα της ρύθμισης έτσι ώστε να αντανakλούν καλύτερα συγκεκριμένες ανωμαλίες διάδοσης (όπως η εξασθένηση) που είναι παρόντα στο περιβάλλον. Αυτή η διαδικασία αποτελείται από αρκετούς υπολογιστικούς κύκλους όπου οι παράμετροι που αναφέρθηκαν πριν υπολογίζονται για κάθε ζώνη. Η τεχνική εκτίμησης του ελάχιστου μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MMSE, Minimum Mean Square Error) χρησιμοποιείται για τη λήψη των αρχικών τιμών για τις παραμέτρους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7, όπου ο εκθέτης απώλειας διαδρομής αντιπροσωπεύεται από την κλίση της ευθείας MMSE καλύτερου ταιριάσματος (η οποία μπορεί να είναι είτε η προεπιλεγμένη είτε κάποια που προκύπτει από διόρθωση). Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι στην προσέγγιση RF Fingerprinting, η επιλογή ενός μοντέλου απωλειών διαδρομής δεν τελειώνει με το MMSE. Μάλλον, το MMSE χρησιμοποιείται μόνο ως αφετηρία για την επιλογή των οριστικοποιημένων παραμέτρων για κάθε ζώνη, με τον τελικό στόχο να είναι η βελτιστοποίηση του μοντέλου απωλειών διαδρομής δεδομένου ότι αναφέρεται στην ακρίβεια εντοπισμού αντί απλά να λαμβάνει το MMSE καλύτερου ταιριάσματος για τα δεδομένα ρύθμισης.

### MMSE Estimation



Σχήμα 3.7 Εκτίμηση ελάχιστου μέσου τετραγωνικού σφάλματος

Για τον εντοπισμό ενός κινητού πελάτη κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας του RF Fingerprinting, πραγματοποιείται RSS lateration χρησιμοποιώντας είτε ένα προεπιλεγμένο RF μοντέλο είτε ένα εξειδικευμένο μοντέλο που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της φάσης ρύθμισης. Αυτή η διαδικασία δίνει τη θέση όπου υπάρχει η υψηλότερη πιθανότητα να βρίσκεται ο πελάτης. Πρόσθετες πληροφορίες σταχυολογημένες από τη στατιστική ανάλυση της κατανομής των δεδομένων ρύθμισης χρησιμοποιούνται έπειτα για

να βελτιωθούν περαιτέρω η ορθότητα και η ακρίβεια (accuracy and precision) του εντοπισμού σε σύγκριση με αυτή των καθαρών προσεγγίσεων RSS lateration.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Υπηρεσίες βασισμένες στη θέση σε ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN Location-Based Services)

#### 4.1 Υπηρεσίες context-aware και υπηρεσίες βασισμένες στη θέση

Πριν ξεκινήσουμε με την ανάλυση και την κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών που βασίζονται στη θέση του χρήστη είναι σημαντικό να διασαφηνιστεί ο όρος context-awareness (επίγνωση του πλαισίου). Υπάρχουν αρκετοί ορισμοί αλλά θα αναφερθούμε σε αυτόν που προτάθηκε από το Dey (A. Dey. Context-Aware Computing: The Cyberdesk Project. In Proceedings of the AAAI 1998 Spring Symposium on Intelligent Environments, pages 51-54, 1998 ). Οποιαδήποτε πληροφορία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χαρακτηρίσει την κατάσταση οντοτήτων (ανθρώπων, χώρων ή αντικειμένων) που θεωρούνται σχετικές με την αλληλεπίδραση μεταξύ ενός χρήστη και μιας εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένου επίσης του χρήστη και της εφαρμογής. Το context (πλαίσιο) είναι συνήθως η θέση, η ταυτότητα και η κατάσταση ανθρώπων, ομάδων, καθώς και υπολογιστικών και φυσικών αντικειμένων.

Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την επίγνωση του πλαισίου (A.K. Dey and G.D. Abowd, "Towards an understanding of context and context-awareness".) έχει βρεθεί ότι οι περισσότερες εφαρμογές με επίγνωση πλαισίου χρησιμοποιούν μια πολύ μικρή ποικιλία από τα χαρακτηριστικά που αποτελούν το πλαίσιο (context). Γενικά η χρήση του πλαισίου περιορίζεται μόνο στη θέση και στην ταυτότητα του χρήστη, και αυτό συμβαίνει επειδή πολύπλοκες εφαρμογές με επίγνωση του πλαισίου είναι δύσκολο να κατασκευαστούν. Οι βασισμένες στη θέση υπηρεσίες (LBS, Location Based Services) είναι ένα ταχέως αναπτυσσόμενο επιχειρηματικό μοντέλο κινητού-εμπορίου (mobile commerce), που υπόσχεται να παρέχει ιδιαίτερα εξατομικευμένες, σχετικές με το πλαίσιο (context) υπηρεσίες για κινητούς καταναλωτές. Ωστόσο γίνεται σαφές ότι η μεταμόσχευση του υπάρχοντος επιχειρησιακού μοντέλου ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce) στο χώρο του κινητού εμπορίου (m-commerce) δεν θα είναι βιώσιμη εκτός αν στους καταναλωτές προσφέρονται αληθινά ελκυστικές κινητές εφαρμογές.

Οι LBS ορίζονται ευρέως ως υπηρεσίες που βελτιώνονται και εξαρτώνται από την πληροφορία για τη θέση μιας κινητής συσκευής. Οι πληροφορίες θέσης χρησιμοποιούνται για να φιλτράρουν άσχετες πληροφορίες και παρέχουν το πλαίσιο (context) για διαφορετικές υπηρεσίες. Αυτές οι υπηρεσίες θα μπορούσαν να προσφέρονται και να εκτελούνται και μέσα και έξω από το δίκτυο του κινητού διαχειριστή (operator). Εφαρμογές LBS περιλαμβάνουν υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και σχετικές με την ασφάλεια, ψυχαγωγία, πλοήγηση (navigation), κατάλογο και οδηγό πόλεων, ενημερώσεις για την κίνηση, διαφήμιση και προώθηση βασισμένες στη θέση και επιπλέον επιτόπου αγορές με ασύρματες συσκευές που υποστηρίζουν ηλεκτρονικό-πορτοφόλι. Παραδείγματα αυτών των υπηρεσιών παρέχονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Υπηρεσία βασισμένη στη θέση  
Υπηρεσίες πληροφοριών και καταλόγου

Εφαρμογή καταναλωτή

- Δυναμικές κίτρινες σελίδες που αυτόματα ενημερώνουν τον πελάτη για τη θέση του κοντινότερου

Υπηρεσίες Εντοπισμού	<ul style="list-style-type: none"> <li>parking, εστιατορίου κτλ.</li> <li>• Κρατήσεις για θέατρο, σινεμά ταξίδια. Υπηρεσίες θυρωρού</li> <li>• Εντοπισμός παιδιών από τους γονείς</li> <li>• Εντοπισμός φίλων σε μια γεωγραφική περιοχή</li> <li>• Εντοπισμός περιουσιακών στοιχείων (assets)</li> </ul>
Υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οδική βοήθεια</li> <li>• Αποστολές αναζήτησης και διάσωσης</li> <li>• Επεμβάσεις αστυνομίας και πυροσβεστικής</li> <li>• Ιατρική έκτακτη ανάγκη-ασθενοφόρο</li> </ul>
Πλοήγηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιγραφή διαδρομής</li> <li>• Δυναμική καθοδήγηση πλοήγησης</li> <li>• Κυκλοφοριακή κατάσταση στους δρόμους</li> </ul>
Διαφήμιση και προώθηση που βασίζονται στη θέση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Στοχευμένη διαφήμιση και μηνύματα προώθησης συνδεδεμένα με την περιοχή</li> <li>• Ειδοποίηση όταν πραγματοποιείται πώληση ενός επιθυμητού προϊόντος</li> <li>• Αναγνώριση του πελάτη σε ένα κατάστημα ή σε μια γειτονιά</li> </ul>

Πίνακας 4.1 Βασισμένες στη θέση υπηρεσίες προσανατολισμένες στον καταναλωτή

Οι υπηρεσίες θέσης έχουν εξελιχθεί γρήγορα τα τελευταία χρόνια. Η διαφορά μεταξύ των παλαιών και των νέων υπηρεσιών εντοπίζεται κυρίως στην ανάκτηση των στοιχείων θέσης. Οι πρώτες απαιτούσαν τη χειρωνακτική εισαγωγή των στοιχείων θέσης, όπως η διασταύρωση οδών ή ο ταχυδρομικός κώδικας. Το να βασίζομαστε στον πελάτη για την εισαγωγή των δεδομένων θέσης έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ανέξοδο, δεν απαιτεί επένδυση σε ειδικό εξοπλισμό εντοπισμού, και εγείρει λιγότερες έγνοιες σχετικά με ζητήματα ιδιωτικότητας (privacy). Ωστόσο η αδυναμία αυτών των συστημάτων είναι προφανής. Οι καταναλωτές μπορεί να μη γνωρίζουν τη θέση τους, και πληροφορίες θέσης που παρέχονται από τον καταναλωτή περιορίζουν τη δυνατότητα των εμπόρων και των διαχειριστών δικτύων να προσφέρουν ενεργά μια σειρά εξατομικευμένων υπηρεσιών. Για τις νέες υπηρεσίες, τα στοιχεία θέσης παράγονται αυτόματα και ανανεώνονται από το δίκτυο ή τη συσκευή. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα επιτρέπει συγκεκριμένες υπηρεσίες όπως εξαρτώμενη από τη θέση διαφήμιση και προώθηση να πυροδοτούνται όταν η κινητή συσκευή βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη προκαθορισμένη περιοχή.

## 4.2 Τεχνολογίες που επιτρέπουν τον εντοπισμό

Οι τεχνολογίες που καθιστούν δυνατό τον εντοπισμό θέσης μπορεί να είναι βασισμένες στο δίκτυο (network based), στη συσκευή (handset-based) ή να είναι υβριδικής φύσης. Τεχνολογίες βασισμένες στη συσκευή χρησιμοποιούν το ραδιο-σύστημα πλοήγησης που παρέχεται από τους δορυφόρους του Παγκοσμίου Συστήματος Εντοπισμού (Global Positioning System, GPS). Οι περισσότεροι χειριστές δικτύων (φορείς) αξιολογούν υβριδικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν και το δίκτυο και το σύστημα GPS. Επιπλέον, υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες, και συγκεκριμένα το βασισμένο στο Ethernet

ασύρματο LAN 802.11b (ή a ή g) και η περιορισμένου εύρους συνδεσιμότητα που προσφέρεται από Bluetooth. Αυτές οι ασύρματες υπηρεσίες διευκολύνουν ορισμένους τύπους υπηρεσιών βασισμένων στη θέση όπως διαφήμιση και προώθηση με επίγνωση της θέσης.

#### **A. Τεχνολογίες βασισμένες στο δίκτυο**

Οι τεχνολογίες εντοπισμού είναι βασισμένες στις παραμέτρους της μετάδοσης όπως ο χρόνος διάδοσης των σημάτων και η γωνία άφιξης. Αυτές οι τεχνολογίες απαιτούν συνήθως σημαντικές δαπάνες για την υποδομή του δικτύου αλλά δεν απαιτούν κάποια τροποποίηση στη συσκευή του χρήστη.

#### **B. Τεχνολογίες βασισμένες στη συσκευή**

Η βασισμένη στο GPS τεχνολογία είναι μια τεχνολογία με επίκεντρο τη συσκευή που ανιχνεύει πόσο μακριά είναι από τρεις τουλάχιστον δορυφόρους του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού. Προσφέρει ακρίβεια που κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20 μέτρων. Εντούτοις, έχει διάφορα μειονεκτήματα όπως το αυξημένο κόστος, μέγεθος, και ισχύ κατανάλωσης της κινητής συσκευής. Απαιτεί επίσης οπτική επαφή με τους δορυφόρους για να υπολογίσει τη θέση.

#### **Γ. Υβριδικές τεχνολογίες**

Οι υβριδικές τεχνολογίες του GPS υποβοηθούν εννο από το δίκτυο (network-assisted GPS) αναμένεται να παρέχουν την ακρίβεια του GPS υπερνικώντας τα μειονεκτήματα του GPS που συνδέονται με την απαίτηση οπτικής επαφής, και την κατανάλωση ισχύος, μετατοπίζοντας σημαντικό φορτίο επεξεργασίας από τη συσκευή στο δίκτυο.

#### **Δ. Τεχνολογίες μικρής εμβέλειας**

Εκτός από τις ανωτέρω τεχνολογίες, η τεχνολογία του WLAN (ή Wi-Fi) και του Bluetooth έχουν επίσης τη δυνατότητα να διευκολύνουν βασισμένες στη θέση υπηρεσίες, όπως εξατομικευμένη κινητή διαφήμιση και προώθηση. Ένα θεωρητικό μειονέκτημα των τεχνολογιών αυτών είναι ότι είναι περιορισμένες στην κάλυψή τους και γι' αυτό θεωρούνταν ότι δεν μπορούν να συναγωνιστούν τεχνολογίες βασισμένες στο δίκτυο ή το GPS. Ωστόσο, είναι καλές για κάλυψη σε μικρές περιοχές και επιπλέον με την ταχύτατη ανάπτυξη του WLAN και την ευρεία εξάπλωση που έχει γνωρίσει μπορεί να προσφέρει συνδεσιμότητα και να επιτρέπει τον εντοπισμό σε μεγάλες γεωγραφικά περιοχές.

Για απαιτήσεις τοπικής περιοχής όπως είναι ο εντοπισμός αντικειμένων σε μια αποθήκη, ανθρώπων μέσα σε ένα κτίριο, ή οχημάτων με μικρό βαθμό μετακίνησης, οι τεχνολογίες εντοπισμού εσωτερικού χώρου είναι καταλληλότερες σε σύγκριση με παγκόσμια συστήματα όπως το GPS, το οποίο πάσχει από μειωμένη ακρίβεια αφού απαιτεί την οπτική επαφή της συσκευής με τους δορυφόρους και χάνει επομένως την ιδιότητα του να είναι πανταχού παρών (ubiquitous). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η χρήση τριγωνοποίησης (triangulation) μέσα σε ένα ασύρματο δίκτυο τοπικής περιοχής (WLAN), που επιπλέον έχει το πλεονέκτημα του κόστους αφού στηρίζεται στο ήδη εγκατεστημένο σύστημα επικοινωνίας μέσα στο κτίριο. Άλλες τεχνολογίες για τον εντοπισμό εσωτερικού χώρου είναι η υπέρυθρη IR και το Bluetooth.

## 4.3 Πιθανές εφαρμογές LBS (Location Based Services) που βασίζονται στο WLAN

### 4.3.1 Τομέας της Υγείας και παρακολούθηση ασθενών που βρίσκονται σε κίνηση

Το νοσοκομειακό και διοικητικό προσωπικό αντιμετωπίζουν εδώ και πολύ καιρό τη διπλή δυσκολία της οργάνωσης της απρόβλεπτης φύσης της διαδικασίας εξυπηρέτησης των ασθενών και της βελτιστοποίησης της χρήσης ακριβού, κινητού ιατρικού εξοπλισμού. Πολλές χρήσεις για τα συστήματα εντοπισμού θέσης (LPS, Location Positioning Systems) είναι δυνατές στον τομέα της υγείας. Μερικά από αυτά είναι:

- Εύρεση του προσωπικού και των ασθενών

Όταν οι ασθενείς έχει προγραμματιστεί να περάσουν από πολλαπλές συνεχείς διαδικασίες η γνώση της θέσης τους βοηθά στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας εξυπηρέτησής τους και στην καλύτερη διαχείριση των προγραμμάτων. Επίσης τα LPS συστήματα βοηθούν ιδιαίτερα ασθενείς σε κρίσιμη κατάσταση όπως αυτούς που αναρρώνουν από μια εγχείρηση καρδιάς, όπου γνώση της θέσης τους επιτρέπει άμεση ιατρική βοήθεια σε περίπτωση που παραστεί ανάγκη. Επιπλέον η γνώση της θέσης του ιατρικού προσωπικού είναι θεμελιώδης και για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης αλλά και όταν το ίδιο το προσωπικό χρειάζεται βοήθεια. Ένας συνδυασμός της γνώσης της παρούσας θέσης του ασθενή και του ιατρικού προσωπικού θα ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικός ώστε σε περίπτωση που παρουσιαστεί ανάγκη να σταλεί ο κοντινότερος γιατρός στη συγκεκριμένη θέση.

- Εντοπισμός περιουσιακών στοιχείων

Τα νοσοκομεία ξοδεύουν εκατοντάδες ώρες προσωπικού κάθε χρόνο ψάχνοντας για αναπηρικά καροτσάκια, καθώς και άλλο ακριβό διαγνωστικό εξοπλισμό με δυνατότητες μετακίνησης. Διατηρούν επίσης κατά κανόνα ένα πλεόνασμα της τάξης του 30% σε αυτού του είδους τον εξοπλισμό για να λάβουν υπόψη τους περιπτώσεις κλοπής και απώλειας. Ο ασύρματος εντοπισμός αυτού του εξοπλισμού εξοικονομεί εργατοώρες, βοηθά στον ταχύ εντοπισμό του σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και επιτρέπει στα νοσοκομεία να μειώσουν το αναγκαίο απόθεμα. Τα συστήματα που επικεντρώνονται σε αυτό το πρόβλημα περιλαμβάνουν την τοποθέτηση μιας ασύρματης ετικέτας στον εξοπλισμό. Το σύστημα μπορεί μετά να εντοπίσει με τριγωνοποίηση τη θέση της ασύρματης ετικέτας, την ώρα που αυτό ζητηθεί. Αν και τέτοια συστήματα είναι συνήθως ακριβά, αν το νοσοκομειακό ίδρυμα έχει ήδη εγκατεστημένο ένα ασύρματο δίκτυο Wi-Fi, το κόστος θα είναι τάξης μεγέθους μικρότερο, ενώ φυσικά δε θα χρειάζεται να φροντίζει για τη διατήρηση και διαχείριση δύο ξεχωριστών συστημάτων.

Positioning methods	Handset Requirements	Network Requirements	Location Accuracy	Coverage Reliability	Implementation Cost	Availability	Security
CelHD	None	None (standalone Bluetooth tags deployment)	500m-10km	High	Low	Yes, Fast to deploy	High (network based)
Enhanced CelHD (STK based)	None (SIM toolkit application)	Network nodes SW mods	300-500m	High	Moderate	Yes	High (network based)
E-OTD/OTDOA	Software modifications	Additional HW & SW (LMU) Network modules	200-500m	Good (difficulties due to multipath propaga)	High	First Handset available	Moderate (network based)
Stand-alone GPS	Hardware & Software modifications	Minor modifications	30-80m	Inconsistent due to urban canyons & indoors	Low	Yes	Low (terminal based)
A-GPS	Hardware & Software modifications	Additional HW (ref. stations)	5-50m	Variable	Moderate	Yes	High (network based)
E A-GPS EGNOS/Galileo	Hardware & Software modifications	Additional HW (ref. stations)	1-3m	Variable	Moderate	Yes	High (network based)
Bluetooth Tags	Software application	Minor (SW on standalone Bluetooth tags)	15-20m	Patchy	Low	Yes	
WLAN & RFID NAP	None	Minor Additional SW (on WLAN APs)	25m	Low (effect of interior building characteristics not considered)	Low	Yes	Moderate (network based pos method)
WLAN & RFID Triangulation	None	Minor Additional SW (on WLAN APs)	10m	Moderate Combines data of multiple APs (interior building characteristics not considered)	Low	Yes	Moderate (network based)
WLAN & RFID Fingerprinting RF Prediction	None	Moderate Additional SW + RF prediction mapping	3m	High (Multi-path propagation, wall attenuation and signal reflection on walls)	Moderate	Yes	High (network based + Fingerprint)
Localisation of access line (terminal based method)	DHCP civic or geospatial coordinate extensions	Additional SW (DHCP extension)	3-2m	High Altitude & Indoor positioning	Moderate	Handsets not yet available, 2006?	Low (terminal based)
Localisation of access line (network based method)	None	Additional SW (combination of DHCP & AAA data with network mapping database)	3-2m	High Altitude & Indoor positioning	Moderate	2006-2007	High (network based + authenticated)
Localisation of Access Multiplexer serving the user (network based method)	None	Minor Network Nodes SW modifications	PON (3-8 km), GigE (5 km), ADSL CO (3-5 km), VDSL RU (1-1,5 km)	Low (indicates the geographical "area" where user is located) Reliability of pos data High (network based pos method)	Low	2006-2007	High (network based + authenticated)
WIMAX CelHD	None	Minor (Additional SW on WIMAX Network Controllers)	300m-1km (urban), 5-15km (rural)	Highly dependent on deployment scenario (rural versus urban, network dimensioning etc)	Low	2008-2010	High (network based + authenticated)
WIMAX Triangulation	None	Minor (Additional SW on WIMAX Network Controllers)	120m-400m (urban), rarely possible in rural deployments	Highly dependent on deployment scenario (rural versus urban, network dimensioning etc)	Low	2008-2010	High (network based + authenticated)
WIMAX Fingerprinting (+RF prediction)	None	Minor (Additional SW on WIMAX Network Controllers)	40m-130m (urban)	Highly dependent on deployment scenario (rural versus urban, network dimensioning etc)	Moderate	2008-2010	High (network based + authenticated)

Σχήμα 4.1 Σύγκριση μερικών από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές εντοπισμού ως προς τις απαιτήσεις του δικτύου, της κινητής συσκευής, την ακρίβεια εντοπισμού, την αξιοπιστία κάλυψης, το κόστος υλοποίησης, τη διαθεσιμότητα και την ασφάλεια.

### 4.3.2 Ασφάλεια

Η χρήση εφαρμογών LPS (Location Positioning Systems) μπορεί να επιτρέψει σε επιχειρήσεις να ελέγχουν την εφαρμογή των πολιτικών τους που μπορεί να σχετίζονται με την απαγόρευση απομάκρυνσης εξοπλισμού από καθορισμένες περιοχές, απαγόρευση εισόδου μη εξουσιοδοτημένου προσωπικού σε ορισμένους χώρους και συγκεκριμένους κανονισμούς σε σχέση με τους επισκέπτες, οι οποίοι για παράδειγμα θα πρέπει να συνοδεύονται πάντα από προσωπικό της επιχείρησης. Άλλες εφαρμογές είναι οι εξής:

- Παρακολούθηση των καροτσιών (shopping carts), τα οποία καταγράφουν ετήσιους ρυθμούς απωλειών έως και 15%, γεγονός που για μεγάλες αλυσίδες θα σημαίνει ζημία εκατομμυρίων δολαρίων. Παρακολούθηση άλλου είδους αντικειμένων όπως του ηλεκτρονικού εξοπλισμού χειρός των υπαλλήλων η συστηματική απώλεια του οποίου έχει αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα στην διάδοσή του.
- Εντοπισμός των rogue access points τα οποία μπορούν να υπονομεύσουν την ασφάλεια του ασύρματου δικτύου μιας επιχείρησης.
- Συνδυασμός των ενεργών συστημάτων εντοπισμού με άλλο παραδοσιακό εξοπλισμό, όπως αισθητήρες κίνησης. Στην περίπτωση αυτή αν ένα παθητικό σύστημα ασφαλείας ανιχνεύσει την παρουσία ενός ανθρώπου σε μια περιοχή, η πληροφορία αυτή μπορεί να διασταυρωθεί με την πληροφορία του LPS (Location Positioning System). Αν ο άνθρωπος στη σχετική περιοχή έχει μια έγκυρη ετικέτα εντοπισμού, ο συναγερμός δε θα ενεργοποιηθεί. Όμοια μπορεί να γίνει παρακολούθηση περιοχών με ευαίσθητο, επικίνδυνο, ή σημαντικό εξοπλισμό. Στην περίπτωση που ο άνθρωπος που βλέπει ή παρεμβαίνει στον εξοπλισμό δε διαθέτει την απαιτούμενη ετικέτα εξουσιοδότησης αυτό αποτελεί μια παραβίαση της ασφαλείας και θα πρέπει να πυροδοτηθεί συναγερμός.

### 4.3.3 Ψυχαγωγία

Στο Carnegie Mellon University, το Ekahau χρησιμοποιείται ως η τεχνολογία εντοπισμού, που είναι μέρος ενός παιχνιδιού που συνδυάζει θέσεις του πραγματικού κόσμου με δεδομένα εισόδου από ένα φορητό υπολογιστή. Ο χρήστης μπορεί να μετακινεί το φορητό υπολογιστή του και ανάλογα με το πού είναι στο φυσικό χώρο θα μετακινείται και το είδωλό (avatar) του στον εικονικό. Στις location-based ξεναγήσεις του μουσείου Lighthouse (Galani and Chalmers 2003), η κινητικότητα είναι μια πηγή αλληλεπίδρασης καθώς οι συμμετέχοντες χρησιμοποιούν την κίνηση για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και να σηματοδοτήσουν την παρουσία. Σε παιχνίδια με βάση τη θέση όπως το Can you see me now? (Flintham et al., 2003) και George Squares (Chalmers, 2004), η κινητικότητα αντιπροσωπεύει ένα εργαλείο αλληλεπίδρασης. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν και GPS και WLAN για να εμπλουτίσουν την εμπειρία του παιχνιδιού, και η ανακριβής φύση αυτού του είδους της ανίχνευσης θέσης γίνεται αντικείμενο εκμετάλλευσης από τους σχεδιαστές για να εμπλουτίσουν το παιχνίδι δημιουργώντας αβεβαιότητα.

Υπάρχει ένας αριθμός παιχνιδιών που θα μπορούσαν να βελτιωθούν με LPS, όπως το paintball και παρόμοια παιχνίδια προσομοίωσης μάχης. Οι εφαρμογές εδώ είναι παρόμοιες με στρατιωτική εκπαίδευση, περιλαμβάνοντας ανασκόπηση του παιχνιδιού εκ των υστέρων από τους συμμετέχοντες κοιτώντας τις κινήσεις στο χάρτη

και αποκτώντας πρόσβαση σε βίντεο που αναφέρεται σε κάθε παίκτη. Γενικά υπάρχουν ενδιαφέρουσες δυνατότητες σε παιχνίδια που συνδυάζουν παίκτες και κίνηση στον πραγματικό κόσμο με εικονικούς κόσμους σε έναν υπολογιστή.

#### 4.3.4 Τομέας Αγορών

Προκειμένου να προσελκύσουν καταναλωτές και να αυξήσουν τα περιθώρια κέρδους, οι πωλητές λιανικής αναζητούν συνεχώς τρόπους για να αυξήσουν την αποδοτικότητα της αλυσίδας προμηθειών μέσω της υιοθέτησης καινοτόμων εφαρμογών. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής είναι το MyGrocer (Kourouthanassis et al., 2001) που επικεντρώνεται σε ορισμένες ανεπάρκειες της αλυσίδας προμηθευτών ειδών μπακαλικής. Το σύστημα συνδυάζει τεχνολογίες RFID, Bluetooth και WLAN για να δημιουργήσει μια βελτιωμένη εμπειρία αγορών για τον καταναλωτή. Ανάμεσα στις καινοτομίες του συστήματος είναι η εξάλειψη των ουρών στα ταμεία, το εξατομικευμένο καλάθι αγορών με ενσωματωμένη απεικόνιση των δεδομένων, η ικανότητα να λανσάρει εξατομικευμένη προώθηση προϊόντων βασισμένη στο προφίλ του καταναλωτή, και άλλα.

Η παροχή πληροφοριών για τα προϊόντα σε πελάτες λιανικής, όπως οδηγίες για το πού βρίσκεται το επιλεγμένο προϊόν μέσω μιας εφαρμογής εύρεσης προϊόντων, είναι πολύ χρήσιμη. Μερικές από τις δυνατές εφαρμογές περιλαμβάνουν πλοήγηση προς τα σημεία ενδιαφέροντος (points of interest) όπως π.χ. προς το πλησιέστερο Κινέζικο εστιατόριο, ο εντοπισμός φίλων ή της οικογένειας που είναι στην περιοχή, και η δυνατότητα για πωλητές όπως εστιατόρια ή καταστήματα να στείλουν ειδικές προσφορές σε πιθανούς καταναλωτές που είναι κοντά, με μηνύματα κειμένου ή άλλους τρόπους.

#### 4.3.5 Υπηρεσίες πλοήγησης

Εφαρμογές LBS βασισμένες στη θέση περιλαμβάνουν ευφυή διαχείριση της πληροφορίας στα Wi-Fi hot spots. Καθώς ένας ταξιδιώτης αποβιβάζεται από το αεροπλάνο στο αεροδρόμιο και ανοίγει το PDA του που υποστηρίζει Wi-Fi, το τοπικό δίκτυο στέλνει αμέσως σχέδια του χώρου του αεροδρομίου, των πτήσεων και πληροφορίες για τα μέσα μεταφοράς στο έδαφος και οδηγίες για –ή πιο σωστά διαφημίσεις από- τα εστιατόρια και τα καταστήματα της περιοχής. Τα αεροδρόμια για παράδειγμα μπορούν να προσφέρουν σε συνδρομητές δημόσιου WLAN λογισμικό πελάτη που δείχνει στους επιβάτες πώς να βρουν συγκεκριμένες πύλες, θέσεις παραλαβής των αποσκευών, τουαλέτες, και γκισέ εξυπηρέτησης καταναλωτών. Επιπλέον, διαφήμιση βασισμένη στη θέση που υποδεικνύει τη θέση της κοντινότερης καφετέριας ή εστιατορίου είναι πιθανή.

Η Microsoft έχει λανσάρει μια δικτυακή υπηρεσία – MS Location WiFi Finder- που επιτρέπει σε χρήστες Wi-Fi να λάβουν πληροφορίες για τη θέση τους και να έχουν πρόσβαση σε τοπικές πληροφορίες. Οι τοποθεσίες των Wi-Fi access points είναι καταγεγραμμένη από πριν (με τη διαδικασία του war-driving) και αποθηκευμένη σε μια βάση δεδομένων σα μέρος του MapPoint System, που με τη σειρά του είναι τμήμα του MS Local Live (προηγουμένως γνωστό ως Virtual Earth).

### 4.3.6 Διαφήμιση και Marketing

Σήμερα οι περισσότεροι άνθρωποι κουβαλούν τα κινητά τηλέφωνα και τα PDAs (Personal Digital Assistant) οπουδήποτε πάνε εξαιτίας της υψηλής απαίτησης για κινητικότητα και ευελιξία. Η ικανότητα παράδοσης πληροφοριών σε ένα συγκεκριμένο μέρος, μια συγκεκριμένη στιγμή καθιστά δυνατή την επικοινωνία με ανθρώπους στην πλειοψηφία του χρόνου. Αυτό ευνοεί τη βασισμένη στη θέση διαφήμιση η οποία μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στις αγορές λιανικής. Πολλές υπηρεσίες του Διαδικτύου αντλούν τις πηγές των εσόδων τους από τη διαφήμιση. Οι διαφημιστές θα πρέπει να πληρώσουν για να παραδοθεί το περιεχόμενό τους σε χρήστες που έχουν πρόσβαση σε δικτυακές ιστοσελίδες και διεπαφές δικτυακών εξυπηρετητών.

Ο Barnes το 2003 εισήγαγε την έννοια του να δελεάζει τους γειτονικούς χρήστες για να μπουκ στα καταστήματα και να παρέχει γεωγραφικά μηνύματα που σχετίζονται π.χ. με την ασφάλεια μιας συγκεκριμένης περιοχής της πόλης. Οι Varshney και Vetter (2002) πρότειναν η κινητή διαφήμιση να είναι μια πολύ σημαντική κατηγορία του κινητού εμπορίου (mobile commerce). Επαύξησαν την πληροφορία θέσης με την εξατομίκευση του μηνύματος που παραδίδεται, λαμβάνοντας το ιστορικό των αγορών του πελάτη ή έχοντας συμβουλευτεί το χρήστη σε ένα προηγούμενο στάδιο. Επιπλέον οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα είτε να λαμβάνουν αυτόματα τις διαφημίσεις (push) είτε με ενεργό τρόπο (pull).

Το κλειδί στον τομέα των διαφημίσεων είναι η διαφήμιση που βασίζεται στη συγκατάθεση αποκλείοντας εντελώς την ανεπιθύμητη διαφήμιση (spamming). Έτσι άνθρωποι που κινούνται στο κέντρο της πόλης λαμβάνουν μόνο πληροφορίες που είναι χρήσιμες από την άποψη τόσο του καταναλωτή όσο και της επιχείρησης. Υπάρχουν πολυάριθμα παραδείγματα. Το σύστημα θα μπορούσε για παράδειγμα να στείλει μια αυτόματη διαφήμιση για μια προσφορά ομπρέλας σε ένα πελάτη εάν προκύψει μια ξαφνική καταιγίδα. Όταν ένας τουρίστας ή επισκέπτης ψάχνει για ένα κατάλληλο μέρος για φαγητό ή για τα καλύτερα καταστήματα ρούχων, βρίσκει το μέρος σε έναν κινητό χάρτη. Η εφαρμογή θα οδηγούσε μετά τον τουρίστα στην περιοχή.

Ο Kaasinen (2003) ανάλυσε τις ανάγκες των χρηστών για κινητές υπηρεσίες με επίγνωση της θέσης (location-aware). Οι περισσότεροι χρήστες δεν είχαν πρόβλημα να λαμβάνουν αυτόματα πληροφορίες (push), με την προϋπόθεση να χρειάζονται πραγματικά την πληροφορία. Επομένως η ίδια η θέση δεν είναι αρκετή για να αποτελέσει το έναυσμα για αυτόματες διαφημίσεις (pushed), αλλά πρέπει να συμπληρώνεται επίσης με εξατομίκευση. Η εξατομίκευση αυτή δεν είναι μόνο επιθυμητή από την πλευρά του χρήστη αλλά και από την πλευρά του σχεδιαστή. Μηχανισμοί εξατομίκευσης που παρέχονται από το LBS οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τις μεμονωμένες προτιμήσεις του χρήστη επιταχύνουν επίσης τα ερωτήματα στη βάση δεδομένων (queries). Με αυτή την τεχνολογία απαιτούνται λιγότερα βήματα αλληλεπίδρασης για τον προσδιορισμό της επιθυμητής πληροφορίας καθώς για παράδειγμα ορισμένες κατηγορίες αποκλείονται εξ' αρχής ή τροποποιούνται αυτόματα.



## 4.4 Αναλυτικότερη παρουσίαση κάποιων χρησιμοποιούμενων στην πράξη εφαρμογών

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες εφαρμογές που είναι αντιπροσωπευτικές κάποιων από τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Όλες αυτές οι εφαρμογές βασίζονται στην επίγνωση του πλαισίου (context-awareness) και κυρίως, όπως είναι φυσικό στην πληροφορία της θέσης (location-awareness). Επιπλέον όλες οι εφαρμογές κάνουν χρήση κάποιας από τις μεθόδους εντοπισμού που χρησιμοποιούνται στο περιβάλλον των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN). Σε ορισμένες από αυτές το WLAN είναι η μόνη τεχνολογία που χρησιμοποιείται ενώ σε άλλες μπορεί να ενισχύεται και με τη χρήση του GPS ή του Bluetooth. Όλες οι υπηρεσίες αυτές έχουν δοκιμαστεί πειραματικά και έχουν παρουσιαστεί σε papers ενώ ορισμένες μπορεί να έχουν καθιερωθεί και εμπορικά.

### 4.4.1 The Conference Assistant (Ο Βοηθός στις Συνεδριάσεις)

Ο conference assistant είναι μια πρωτότυπη εφαρμογή με επίγνωση του πλαισίου (context-aware) που βοηθά τους συμμετέχοντες σε συνεδριάσεις, χρησιμοποιώντας μια ευρεία ποικιλία χαρακτηριστικών του πλαισίου και βελτιώνοντας την αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον και με τους άλλους χρήστες.

Το περιβάλλον σε μεγάλες συνεδριάσεις είναι δυναμικό και περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό ταυτόχρονων δραστηριοτήτων, όπως παρουσιάσεις papers, επιδείξεις, συναντήσεις ομάδων με συγκεκριμένα ενδιαφέροντα κ.α. στις οποίες παρουσιάζεται μια μεγάλη ποσότητα πληροφορίας. Κατά την προσέλευση ενός συμμετέχοντα, του ζητείται να συμπληρώσει τα στοιχεία του και επιπλέον τα επιστημονικά του ενδιαφέροντα και τα ονόματα των συναδέλφων του που βρίσκονται επίσης στη συνεδρίαση. Στη συνέχεια λαμβάνει την εφαρμογή (Conference Assistant) η οποία τρέχει στο φορητό του υπολογιστή ή PDA. Ο Conference Assistant βοηθά τους χρήστες να επιλέξουν ποιες δραστηριότητες να παρακολουθήσουν, κάνοντας για παράδειγμα προτάσεις ανάλογα με τα ενδιαφέροντά τους, παρέχει επίγνωση των δραστηριοτήτων των συναδέλφων τους, υποδεικνύοντας πού βρίσκονται κάθε χρονική στιγμή, βελτιώνει την αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του περιβάλλοντος παρέχοντας για παράδειγμα πληροφορίες για μια δραστηριότητα (όπως όνομα ομιλητή, θέμα παρουσίασης και πληροφορία για το αν βιντεοσκοπείται η συγκεκριμένη ομιλία) με το που ο χρήστης μπαίνει στην αίθουσα, βοηθά τους χρήστες να κρατούν σημειώσεις (δίπλα στην αντίστοιχη διαφάνεια του ομιλητή η οποία εμφανίζεται επίσης και στο δικό τους φορητό υπολογιστή), αλλά και να τις ανακτούν μετά την ολοκλήρωση της συνεδρίασης.

Σε ότι αφορά την υλοποίηση η εφαρμογή έχει χτιστεί πάνω σε μια έτοιμη αρχιτεκτονική για την υποστήριξη context-aware εφαρμογές η οποία αποτελείται από τρία είδη συστατικών: widgets, servers και interpreters. Εντελώς συνοπτικά τα widgets καταγράφουν πληροφορία για ένα μόνο στοιχείο του context, όπως η θέση ή η δραστηριότητα. Ο server κάνει κάτι παρόμοιο με τη διαφορά ότι συλλέγει την πληροφορία για το σύνολο των στοιχείων του context που αφορούν μια συγκεκριμένη οντότητα (άνθρωπο, μέρος ή αντικείμενο). Ο interpreter τέλος χρησιμοποιείται για να ερμηνεύσει το πλαίσιο ή να παρέχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο αφαίρεσης, όπως π.χ. μετατροπή του γεωγραφικού μήκους και πλάτους στο όνομα της συγκεκριμένης οδού

στην οποία αντιστοιχούν. Οι επικοινωνίες χρησιμοποιούν το HTTP και την XML, ενώ η μόνη απαίτηση για τις συσκευές είναι να υποστηρίζουν το TCP/IP και ASCII parsing. Για κάθε χρήστη δημιουργείται κατά την εγγραφή του ένας User Server ενώ υπάρχει και ένας Presentation Server για κάθε φυσική τοποθεσία όπου λαμβάνει χώρα κάποια παρουσίαση ή επίδειξη. Ο Conference Assistant δεν επικοινωνεί άμεσα με κανένα widget παρά μόνο με τον User Server του χρήστη καθώς και των συναδέλφων του καθώς και με τον τοπικό Presentation Server. Τέλος όσον αφορά το υλικό, χρησιμοποιήθηκαν laptops και συσκευές χειρός, ενώ για την επικοινωνία των συσκευών και τον εντοπισμό χρησιμοποιήθηκε το ασύρματο δίκτυο Wireless LAN, και ασύρματες ετικέτες (RF).

#### 4.4.2 To Place Lab

Το Place Lab είναι μια προσέγγιση στον εντοπισμό που βασίζεται σε ραδιοφάρους (beacons), η οποία μπορεί να ξεπεράσει την έλλειψη συνεχούς διαθεσιμότητας και το υψηλό κόστος που χαρακτηρίζουν υπάρχουσες μεθόδους εύρεσης της θέσης. Χρησιμοποιώντας το Place Lab, laptops, PDAs και κινητά τηλέφωνα μπορούν να καθορίζουν τη θέση τους ακούγοντας την ταυτότητα κυψελών (cell ID) σταθερών ραδιο-φάρων, όπως ασύρματων access points και συγκρίνοντας τη θέση τους με στοιχεία από μια βάση δεδομένων. Το αποτέλεσμα ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικό καθώς επέτρεπε ακρίβεια εντοπισμού 20-30 μέτρων στην ευρύτερη περιοχή του Seattle με σχεδόν 100% κάλυψη στις καθημερινές ζωές των ανθρώπων. Το Place Lab αν και θεωρεί σημαντική την ακρίβεια της εκτίμησης εντοπισμού παρόλα αυτά την κατατάσσει κάτω από την κάλυψη, την ιδιωτικότητα και το κόστος.

Το Place Lab πλεονεκτεί έναντι των περισσότερων γνωστών τεχνολογιών εντοπισμού σε ορισμένα από τα κριτήρια που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για παράδειγμα το ευρέως διαδεδομένο GPS (Global Positioning System), απαιτεί η συσκευή να μπορεί να δει καθαρά τον ουρανό για να μπορέσει να συλλέξει δεδομένα από έναν αριθμό δορυφόρων. Αυτό είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα γιατί οι άνθρωποι περνούν τον περισσότερο χρόνο τους στο εσωτερικό κτιρίων και επιπλέον το λεγόμενο φαινόμενο των 'αστικών φαραγγιών' (urban canyons) μπορεί να επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία του GPS σε μεγάλες πόλεις με ψηλά κτίρια. Σε σχέση με άλλες τεχνικές, όπως τον βασισμένο στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας εντοπισμό, το Place Lab είναι φθηνότερο και έχει καλύτερη ακρίβεια. Βέβαια υπάρχουν και τεχνικές όπως το σύστημα RADAR που μπορεί να επιτύχει ακρίβεια έως και 1.5m. Σε σχέση με τα τελευταία το Place Lab έχει να παρουσιάσει το πλεονέκτημα της ευκολίας στη χρήση, καθώς δεν απαιτεί λεπτομερείς μετρήσεις να λάβουν χώρα κατά τη ρύθμιση, ενώ επιπλέον δεν περιορίζεται σε μικρές μόνο γεωγραφικές περιοχές.

Η αρχιτεκτονική του Place Lab αποτελείται από τρεις οντότητες κλειδιά. ραδιοφάρους (beacons) στο περιβάλλον, βάσεις δεδομένων που κρατούν την πληροφορία για τη θέση των beacons και τους πελάτες του Place Lab που χρησιμοποιούν αυτή την πληροφορία για να καθορίσουν την παρούσα θέση τους. Με τον όρο ραδιοφάροι εννοούνται 802.11 access points, σταθερές Bluetooth συσκευές και GSM σταθμοί βάσης. Από τα τρία παραπάνω σημαντικότερα είναι τα access points, ο αριθμός των οποίων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια εντοπισμού. Ο πελάτης σε αυτά χρειάζεται να ακούει μόνο παθητικά μέχρι να ανιχνεύσει την ταυτότητά τους. Οι βάσεις δεδομένων beacons είναι θεμελιώδους σημασίας, καθώς η

ανίχνευση ενός access point εάν αυτό δεν είναι καταχωρημένο στη βάση είναι άνευ σημασίας. Αυτές οι βάσεις δεδομένων μπορεί να προέρχονται από δύο δυνατές πηγές.

- Μεγάλους οργανισμούς οι οποίοι κατέχουν μεγάλο αριθμό ασύρματων beacons και με αρκετή μάλιστα ακρίβεια της θέσης που αυτά βρίσκονται
- Τις κοινότητες του war-driving. Το war-driving είναι η πράξη του να οδηγεί κάποιος σε μια πόλη με μια συσκευή GPS και μια ασύρματη κάρτα (συνήθως 802.11) για να ανιχνεύσει ίχνη διαθέσιμων δικτύων και αποτελεί ουσιαστικά hobby ορισμένων οπαδών της ασύρματης δικτύωσης. Κάθε ίχνος (trace) war-driving είναι μια κωδικοποιημένη στο χρόνο ακολουθία εγγραφών που περιλαμβάνουν το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής καταγραφής και επιπλέον μια λίστα των ασύρματων πηγών και των ισχύων των σημάτων τους.

Για λόγους επεκτασιμότητας και φορητότητας η λειτουργικότητα του πελάτη έχει σπάσει σε 3 λογικά κομμάτια:

- Τους spotters που είναι τα μάτια και αυτιά του πελάτη καθώς παρακολουθούν την ασύρματη διεπαφή για να ανιχνεύσουν την ταυτότητα των ραδιο-beacons.
- Τους mappers (απεικονιστές) που ο ρόλος τους είναι να παρέχουν τη θέση γνωστών beacons, την οποία λαμβάνουν είτε απευθείας από μια βάση δεδομένων είτε από ένα εκ των προτέρων αποθηκευμένο τμήμα της βάσης δεδομένων στη συσκευή.
- Τον tracker (ιχνηλάτη) που συνδυάζει την πληροφορία από τους spotters και τους mappers για να παράγει εκτιμήσεις της θέσης του πελάτη.

Αν και το Place Lab από μόνο του δεν αποτελεί εφαρμογή που βασίζεται στη θέση (Location Based Service), αλλά ουσιαστικά τεχνολογία εντοπισμού όπως είναι το GPS, εξετάστηκε στην ενότητα αυτή λόγω της φύσης του, που το ξεχωρίζει ως προς τη λογική από τις άλλες παραδοσιακές τεχνολογίες εντοπισμού (δε βασίζεται σε πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς αλλά σε μια πλήρη και ενημερωμένη βάση δεδομένων) και επιπλέον επειδή τα αποτελέσματα που επιστρέφει ο tracker (σε μορφή γεωγραφικού πλάτους και μήκους) μπορούν να συνδυαστούν πολύ εύκολα με διάφορα προγράμματα (όπως το Google Local, το οποίο δέχεται μια διεύθυνση ή γεωγραφικές συντεταγμένες και επιστρέφει σελίδες σχετικές με γειτονικά μέρη).

#### **4.4.3 Έξυπνο σύστημα για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών σε περιβάλλον αεροδρομίου**

(Exploring agent-based wireless business models and decision support applications in an airport environment)

Στο σύστημα αυτή υλοποιείται ένα σύνολο προηγμένων ρεαλιστικών σεναρίων υποστήριξης απόφασης τα οποία βελτιώνουν τις εγκαταστάσεις του αεροδρομίου και για τους επιβάτες και για το προσωπικό του αεροδρομίου. Οι περισσότερες υπηρεσίες μπορούν να συνοψιστούν ως εξατομικευμένες υπηρεσίες βασισμένες στη θέση. Σαν περιβάλλον δοκιμής χρησιμοποιήθηκε το Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών (Athens International Airport). Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι το GSM/GPRS, το WLAN και το TETRA (Terrestrial Trunked Radio).

Μερικά από τα σενάρια εφαρμογών είναι τα εξής:

- Πληροφορίες για το χρόνο άφιξης του εσωτερικού λεωφορείου. Με βάση δεδομένα πραγματικού χρόνου από την τεχνολογία GPS σχετικά με τη θέση και την ταχύτητα του λεωφορείου θα εκτιμάται ο χρόνος άφιξής του, ο οποίος θα προβάλλεται σε οθόνες LED στη στάση ή και σε συσκευές χειρός των χρηστών.
- Εξατομικευμένες πληροφορίες σχετικά με τις ώρες αναχώρησης ή άφιξης και τις καθυστερήσεις των πτήσεων, ή των αριθμό των αναμενόμενων επιβατών, χρήσιμες τόσο σε επιβάτες όσο και στο προσωπικό οι οποίες θα παραδίδονται σε κινητά ασύρματα τερματικά.
- Πληροφορίες σε μορφή βίντεο ή φωτογραφιών για λόγους παρακολούθησης και ασφάλειας, οι οποίες είναι χρήσιμες σε μέλη του προσωπικού ασφαλείας για την εκτίμηση και τη λήψη μέτρων κατά τη διάρκεια κρίσεων.
- Υποστήριξη των επιβατών με υπηρεσίες που βασίζονται στο προφίλ του χρήστη και την κατάσταση της πτήσης του (άφιξη, αναχώρηση, καθυστέρηση). Αυτό είναι και ο πυρήνας των εφαρμογών του συστήματος. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: ενημέρωση του επιβάτη σχετικά με την πτήση του και καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναχώρησης, παροχή εξατομικευμένων πληροφοριών σχετικά με ορισμένες εμπορικές δυνατότητες του αεροδρομίου, όπως ψώνια, εστιατόρια κτλ, και τέλος ενημέρωση των επιβατών που έχουν φτάσει, για τα μέσα μεταφοράς από και προς το αεροδρόμιο, καταλύματα και πληροφορίες για τουρίστες.

Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων που επιβάλλονται από τα παραπάνω σενάρια χρησιμοποιήθηκε μια αρχιτεκτονική βασισμένη σε πράκτορες (agent-based). Η αρχιτεκτονική πολλών πρακτόρων δημιουργεί ένα πλαίσιο για την υλοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πολλών διαφορετικών ειδών οντοτήτων που εμπλέκονται, ανεξάρτητα αν είναι στο επίπεδο μεταφοράς ή στο επίπεδο μεταφοράς του δικτύου, ενώ έχει και το πλεονέκτημα της επεκτασιμότητας και της ευρωστίας (robustness) λειτουργίας σε καταστάσεις συμφόρησης ή έκτακτης ανάγκης. Οι οντότητες που εμπλέκονται είναι οι χρήστες, οι πάροχοι των υπηρεσιών, οι πάροχοι του δικτύου για την υποδομή WLAN, ή GSM/GPRS, και οι πάροχοι περιεχομένου. Από αυτές τις οντότητες προκύπτουν οι ανάλογοι πράκτορες που με την αλληλεπίδρασή τους καθιστούν δυνατή την λειτουργία του συστήματος.

#### 4.4.4 GUIDE

Το σύστημα GUIDE κατασκευάστηκε για να ξεπεράσει πολλούς από τους περιορισμούς των παραδοσιακών εργαλείων πληροφόρησης και πλοήγησης που είναι διαθέσιμα στους επισκέπτες πόλεων όπως για παράδειγμα την έμφυτη ανελαστικότητα των περιηγήσεων με ξεναγό ως προς την ώρα και την ανάγκη να ικανοποιούνται τα ενδιαφέροντα της πλειοψηφίας αντί για τα συγκεκριμένα ενδιαφέροντα των μεμονωμένων ατόμων. Το σύστημα αυτό εγκαταστάθηκε για τους επισκέπτες της πόλης Lancaster.

Μερικές από τις απαιτήσεις για τη σχεδίαση του συστήματος ήταν οι ακόλουθες:

1) Ευελιξία. Θεωρήθηκε σημαντικό το Guide να λαμβάνει υπόψη του τις προτιμήσεις των χρηστών έτσι ώστε να τους επιτρέπει να εξερευνούν την πόλη με το δικό τους ρυθμό, και να διαλέγουν αν θα ακολουθήσουν τη διαδρομή που τους προτείνει το σύστημα ή θα προτιμήσουν τη δική τους.

2) Πληροφορίες που λαμβάνουν υπόψη τους το πλαίσιο (context-sensitive). Υπάρχουν δύο κατηγορίες πλαισίου. Το προσωπικό που περιλαμβάνει τα ενδιαφέροντα του επισκέπτη καθώς και την τωρινή του θέση και το περιβαλλοντικό που περιλαμβάνει την ώρα της ημέρας και τις ώρες που ανοίγουν οι κλείνουν τα αξιοθέατα.

3) Υποστήριξη για δυναμικές πληροφορίες. Για παράδειγμα αν ένας επισκέπτης είχε εκφράσει έντονο ενδιαφέρον για το κάστρο του Lancaster και το κάστρο ήταν για κάποιες ώρες κλειστό λόγω κάποιου συνεδρίου, ο χρήστης θα πρέπει να ειδοποιηθεί όταν το κάστρο ξανανοίξει για το κοινό.

4) Υποστήριξη αλληλεπιδραστικών υπηρεσιών, όπως ανταλλαγής ηλεκτρονικών μηνυμάτων ή δυνατότητας πραγματοποίησης κράτησης για κατάλυμα.

Η υποδομή του δικτύου περιλαμβάνει έναν αριθμό WaveLAN κυψελών που είναι συμβατές με το πρότυπο IEEE 802.11 οι οποίες εκπέμπουν δυναμικές πληροφορίες και πληροφορίες θέσης. Οι φορητές μονάδες Guide λαμβάνουν πληροφορίες για τη θέση τους μέσω μηνυμάτων που εκπέμπονται από στρατηγικά τοποθετημένους σταθμούς βάσης. Η προσέγγιση αυτή μειονεκτεί σε σχέση με το GPS ως προς την ακρίβεια αλλά δεν απαιτεί εξειδικευμένο υλικό, ενώ επιπλέον δεν αντιμετωπίζει προβλήματα κάλυψης. Επιπλέον κατασκευάστηκε ένα Guide μοντέλο πληροφορίας (information model) για να υποστηρίξει γεωγραφική πληροφορία, πληροφορία υπερκειμένου και ενεργά στοιχεία που αντιδρούν σε γεγονότα. Η διεπαφή (interface) χρήστη που κατασκευάστηκε είναι μια παραλλαγή ενός web browser και επιλέχθηκε λόγω της δημοφιλούς φύσης αυτού του προγράμματος ως εργαλείο αλληλεπίδρασης.

Οι χρήστες του συστήματος εισάγουν αρχικά ορισμένες πληροφορίες που περιλαμβάνουν τα στοιχεία τους και τα ενδιαφέροντά τους καθώς και την προτιμώμενη γλώσσα. Οι δυνατότητες που έχει κατόπιν ένας χρήστης είναι: να ανακτήσει πληροφορίες, να πλοηγηθεί στην πόλη χρησιμοποιώντας ένα χάρτη, να δημιουργήσει και μετά να ακολουθήσει μια διαδρομή στην πόλη, να επικοινωνήσει με άλλους επισκέπτες στέλνοντας ένα μήνυμα κειμένου και τέλος να κάνει κράτηση ενός καταλύματος. Λόγω της δομής του συστήματος Guide που βασίζεται σε κυψελωτή υποδομή για την επικοινωνία μπορεί να προκύψουν καταστάσεις όπου το κινητό τερματικό Guide δεν έχει σύνδεση με το δίκτυο. Έτσι παρόλο που οι κινητές συσκευές Guide, μπορούν να αποθηκεύουν τοπικά σημαντικά τμήματα του μοντέλου πληροφορίας με αποτέλεσμα μεγάλο τμήμα της λειτουργικότητας να μένει ανέπαφο, η αποσύνδεση επηρεάζει ορισμένους τομείς της λειτουργικότητας όπως την πληροφορία θέσης, την αποστολή μηνυμάτων και την πρόσβαση σε αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες.

#### **4.4.5 Active Campus**

Το active campus είναι μια εργασία που εξερευνά τις δυνατότητες υπηρεσιών με επίγνωση της θέσης (location-aware) στο περιβάλλον του πανεπιστημίου. Τα δύο κυριότερα προγράμματα είναι το ActiveClass που περιλαμβάνει δραστηριότητες της τάξης όπως ανώνυμες ερωτήσεις, γκάλοπ και ανάδραση των φοιτητών και το

ActiveCampus Explorer που υποστηρίζει πολλές εφαρμογές με επίγνωση της θέσης, όπως αυτόματη αποστολή μηνυμάτων και χάρτες της θέσης του χρήστη εμπλουτισμένους με δυναμικούς υπερσυνδέσμους για τους κοντινούς φίλους, ψηφιακό graffiti κ.α.

Για την επίτευξη της βιωσιμότητας του προγράμματος, οι δημιουργοί του επέλεξαν viral (υική) τεχνολογία που η αξία της θα αυξανόταν με τον αριθμό των χρηστών καταλήγοντας τελικά να συντηρείται μόνη της. Έτσι για την virality (υικότητα) καθώς επίσης και την ίση πρόσβαση ακολουθήθηκε μια τεχνολογική προσέγγιση 'ελάχιστου κοινού παρονομαστή' που υπέθετε πως οι χρήστες θα έβρισκαν μεγαλύτερη χρησιμότητα στην περίπτωση ύπαρξης περισσότερων χρηστών απ' ό,τι σε πλουσιότερες εφαρμογές.

Επίσης επιλέχθηκε ένα μοντέλο πελάτη- εξυπηρετητή με έναν τυπικό δικτυακό εξυπηρετητή με MySQL και PHP για την υποστήριξη των εφαρμογών. Οι συσκευές χρησιμοποιούν βασική HTML που εξασφαλίζει ότι πρακτικά οποιαδήποτε δικτυακή συσκευή μπορεί να απεικονίσει το περιεχόμενό της σε έναν web browser.

Η εφαρμογή ActiveClass είναι μια απλή εφαρμογή client-server για να αυξήσει τη συμμετοχή στο περιβάλλον μιας τάξης μέσω μικρών, κινητών, ασύρματων συσκευών όπως PDAs. Είναι απλή ως προς τη λειτουργία και τις απαιτήσεις για να διευκολύνει την ενσωμάτωσή της στην πρακτική της τάξης. Αλλά και η ιδέα πίσω από το ActiveClass είναι απλή: χρησιμοποιώντας προσωπικές, ασύρματες, κινητές συσκευές οι φοιτητές μπορούν να ρωτούν ανώνυμα ερωτήσεις πάνω στο μάθημα, να απαντούν σε δημοσκοπήσεις και να δίνουν στον καθηγητή ανάδραση για το μάθημα. Οι φοιτητές και οι καθηγητές μπορούν να δουν αυτή τη λίστα των ερωτήσεων και οι φοιτητές μπορούν να ψηφίζουν για τις ερωτήσεις που έχουν τεθεί ήδη (στο ActiveClass) ενθαρρύνοντας τους καθηγητές να δώσουν σε αυτές τις ερωτήσεις προτεραιότητα. Τέλος η ταυτότητα του φοιτητή που κάνει μια ερώτηση είναι πλήρως κρυμμένη από τους άλλους φοιτητές και από τον καθηγητή, εκτός και αν ο τελευταίος αποφασίσει σκόπιμα να αναλάβει δράση.

Η εφαρμογή ActiveCampus Explorer στηρίζεται στην παρακάτω ιδέα: αν κάθε άνθρωπος στο χώρο της πανεπιστημιούπολης (campus) κουβαλούσε μια κινητή, ασύρματα συνδεδεμένη συσκευή, τότε αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν ένα είδος γυαλιών με ακτίνες-X στην άμεση γειτονιά τους που θα τους επέτρεπε να δουν μέσω του πλήθους και των κτιρίων για να αποκαλύψουν γειτονικούς φίλους, πιθανούς συναδέλφους, σχολές, εργαστήρια και ενδιαφέροντα γεγονότα. Έτσι στο ActiveCampus Explorer ο χρήστης βλέπει ένα χάρτη της άμεσης γειτονιάς του, πάνω στον οποίο βρίσκονται ετικέτες που δείχνουν τη θέση των κοντινότερων σχολών και φίλων. Οι ετικέτες αυτές είναι URLs που όταν πάνω τους γίνει κλικ θα εμφανίσουν μια ιστοσελίδα. Άμεσα μηνύματα μπορούν να σταλούν στους κοντινούς φίλους ή αυτοί μπορούν να προσεγγιστούν με τα πόδια. Επιπλέον ετικέτες graffiti μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε μέρος ή οντότητα, υποστηρίζοντας ασύγχρονη συνομιλία με βάση το context.

Το ActiveCampus ανιχνεύει τη θέση του χρήστη μέσω των αναφορών του PDA για τα ασύρματα δίκτυα που ανιχνεύονται εκείνη τη στιγμή. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη την αναφερόμενη ισχύ του σήματος και τις γνωστές θέσεις των δικτύων (Place Lab), εξάγονται συμπεράσματα για τη θέση του χρήστη με ένα ταίριασμα ελαχίστων τετραγώνων. Επιπλέον οι χρήστες κάνοντας απλά κλικ πάνω στο χάρτη μπορούν να διορθώνουν τη θέση πάνω σε αυτόν, βελτιώνοντας έτσι μελλοντικές εκτιμήσεις.

## **Κεφάλαιο 5**

### **Μετρήσεις και αξιολόγηση του συστήματος Cisco Unified Wireless Network ως προς την ακρίβεια εντοπισμού.**

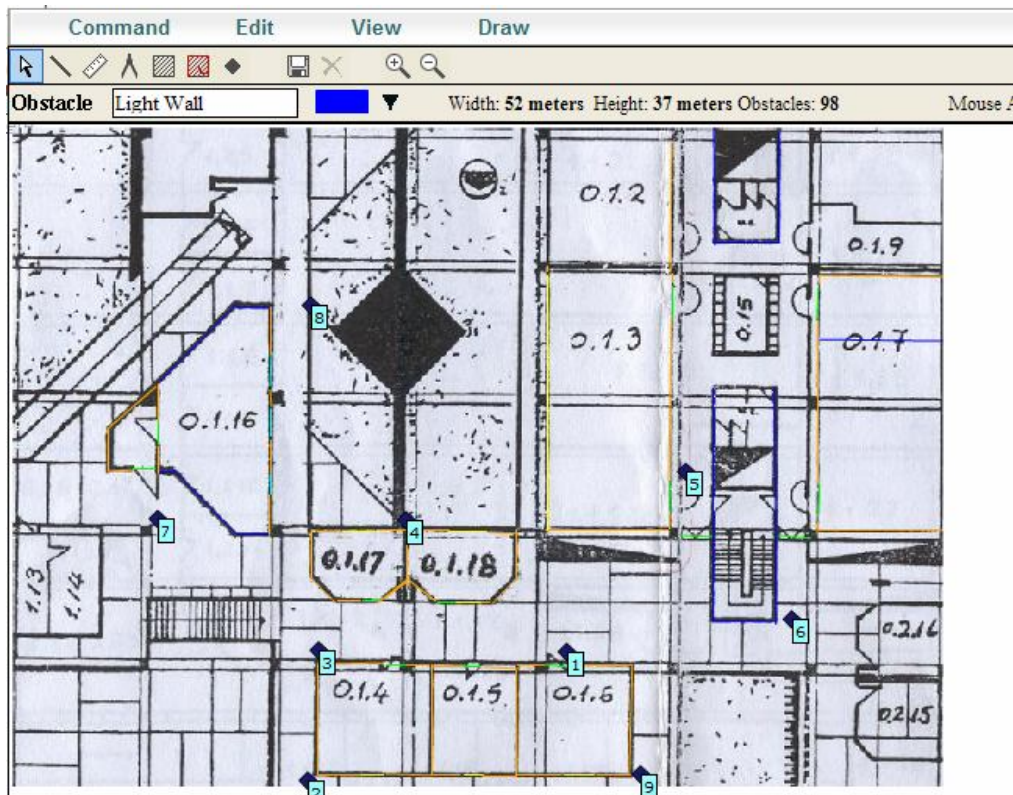
#### **5.1 Χρήση του γραφικού περιβάλλοντος του WCS**

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων εγκαταστάθηκαν τέσσερα access points σε τέσσερις ξεχωριστές αίθουσες στο ισόγειο του Κτιρίου Ηλεκτρολόγων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Οι αίθουσες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν συγκεκριμένα οι 0.1.3, 0.1.4, 0.1.6 και 0.1.16 που χρησιμοποιούνται ως γραφεία καθηγητών ή διδακτορικών. Η συγκεκριμένη διάταξη των access points υπαγορεύθηκε από την ανάγκη για εγγύτητα των access points, για δημιουργία μιας κανονικής περιοχής στο εσωτερικό τους (όπως για παράδειγμα ενός ορθογωνίου) που να αυξάνει την ακρίβεια εντοπισμού, καθώς και από την υπάρχουσα θέση των επίπλων στις αίθουσες αυτές (π.χ. γραφεία, ντουλάπες). Τα access points στη συνέχεια συνδέθηκαν με τον controller και επομένως ήταν δυνατή η παρακολούθηση και ο έλεγχός τους από το Wireless Control System (WCS).

Για να είναι δυνατή η παρακολούθηση της πραγματικής θέσης των access points και κατ' επέκταση η κατάσταση λειτουργίας του συστήματος εισήχθη στη βάση δεδομένων του WCS ο χάρτης του κτιρίου που ανακτήθηκε από την Πολυδύναμη Μονάδα. Το WCS δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής ολόκληρης της πανεπιστημιούπολης (campus), εξωτερικών χώρων, μεμονωμένων κτιρίων και συγκεκριμένων ορόφων των κτιρίων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ενδιαφερόμαστε για την εισαγωγή του τμήματος του ισόγειου του Κτιρίου Ηλεκτρολόγων που βρίσκεται μέσα στην περιοχή κάλυψης των 4 APs.

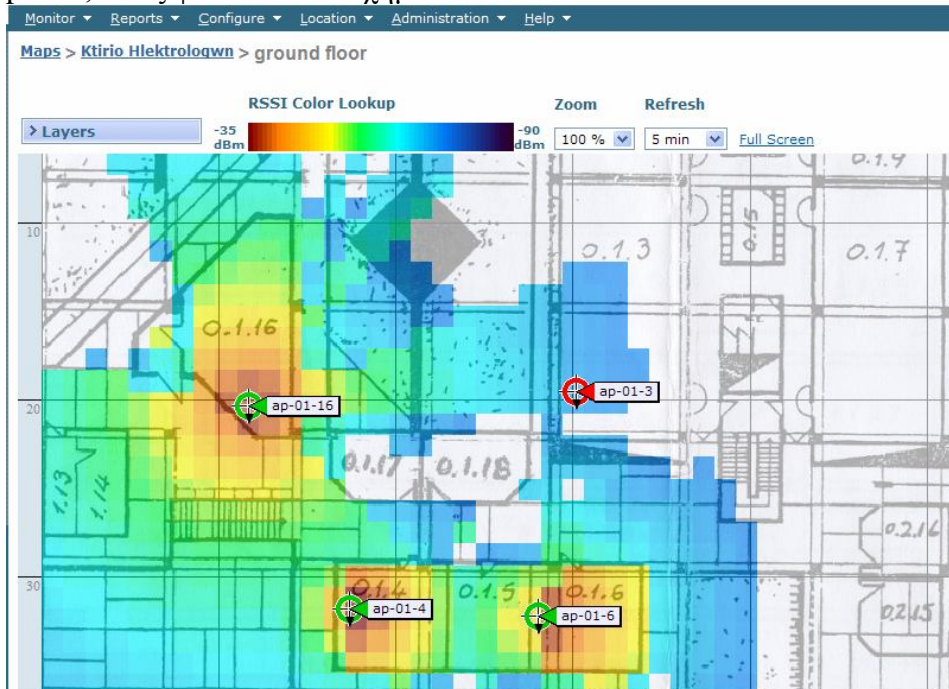
##### **5.1.1 Σχεδίαση των εμποδίων με το Map Editor**

Μετά την εισαγωγή του χάρτη ακολούθησε η σχεδίαση εμποδίων με το εργαλείο Map Editor του WCS. Αυτό γίνεται επειδή το WCS δεν μπορεί να αντιληφθεί αυτόματα το είδος των χώρων (κλειστοί, ανοιχτοί) ούτε και τα εμπόδια (πόρτες, τοίχοι κτλ.) από τις γραμμές του χάρτη (αφού για το WCS ο χάρτης δεν είναι παρά ένα αρχείο .jpg) γι' αυτό και πρέπει να καθοριστούν ρητά από το χρήστη, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1. Τα εμπόδια αυτά λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό των χαρτών πρόβλεψης της ραδιοκάλυψης (RF Prediction heatmaps), αλλά και από το εργαλείο εντοπισμού του συστήματος. Υπάρχουν 5 είδη εμποδίων που μπορούν να προστεθούν (σχεδιαστούν): παχιοί και λεπτοί τοίχοι, παχιές και λεπτές πόρτες και τζάμι Σε κάθε τύπο αντιστοιχεί και συγκεκριμένη εξασθένηση που για τα παραπάνω είναι 13, 2, 15, 4 και 1,5dB αντίστοιχα.



Σχήμα 5.1 Ο Map Editor του WCS. Διαφορετικά χρώματα αντιστοιχούν σε διαφορετικούς τύπους εμποδίων. Για παράδειγμα το μπλε αντιστοιχεί σε λεπτό τοίχο

Μετά τη σχεδίαση των εμποδίων με το Map Editor και μια απλή διαδικασία προσδιορισμού της πραγματικής θέσης των εγκατεστημένων access points στο χάρτη, μπορούμε πλέον μέσω του WCS να παρακολουθούμε τη λειτουργία των access points, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2



Σχήμα 5.2 Παρακολούθηση της προβλεπόμενης ραδιοκάλυψης των access points στο χάρτη του επιθυμητού ορόφου, από το WCS.



### 5.1.2 Παρακολούθηση των χαρτών του δικτύου

Για κάθε access point, μπορεί να προβάλλεται κάθε στιγμή μία από τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Το όνομά του
- Η MAC διεύθυνσή του
- Η IP διεύθυνση του controller με τον οποίο είναι συνδεδεμένο
- Η χρησιμοποίηση, δηλαδή το ποσοστό του εύρους ζώνης που χρησιμοποιείται από τις συσκευές πελάτες που είναι συνδεδεμένες με το access point.
- Το κανάλι στο οποίο λειτουργεί το access point (πρωτόκολλο 802.11)
- Το επίπεδο της ισχύος μετάδοσης, το οποίο μπορεί να έχει τιμή από 1 (μέγιστο) μέχρι 5 (ελάχιστο).
- Τις τρύπες κάλυψης, που είναι ουσιαστικά το ποσοστό των πελατών, των οποίων το σήμα έγινε ασθενέστερο και κατέληξαν τελικά να χάσουν τη σύνδεση με το δίκτυο.
- Το προφίλ, το οποίο παρέχει πληροφορία σχετικά με το αν τα επίπεδα φορτίου, θορύβου, παρεμβολών και κάλυψης έχουν υπερβεί τα κατώφλια που καθορίστηκαν από το χειριστή.
- Τους χρήστες, δηλαδή τον αριθμό των πελατών που είναι συνδεδεμένοι εκείνη τη χρονική στιγμή με το access point.

Ο χάρτης ραδιοκάλυψης υπολογίζεται από την πληροφορία για τα access points (αριθμός, θέση, κατάσταση λειτουργίας (available- unavailable), ισχύς εκπομπής,) σε συνδυασμό με την πληροφορία για τα εμπόδια, τα οποία έχει σχεδιάσει ο χρήστης με το εργαλείο Map Editor.

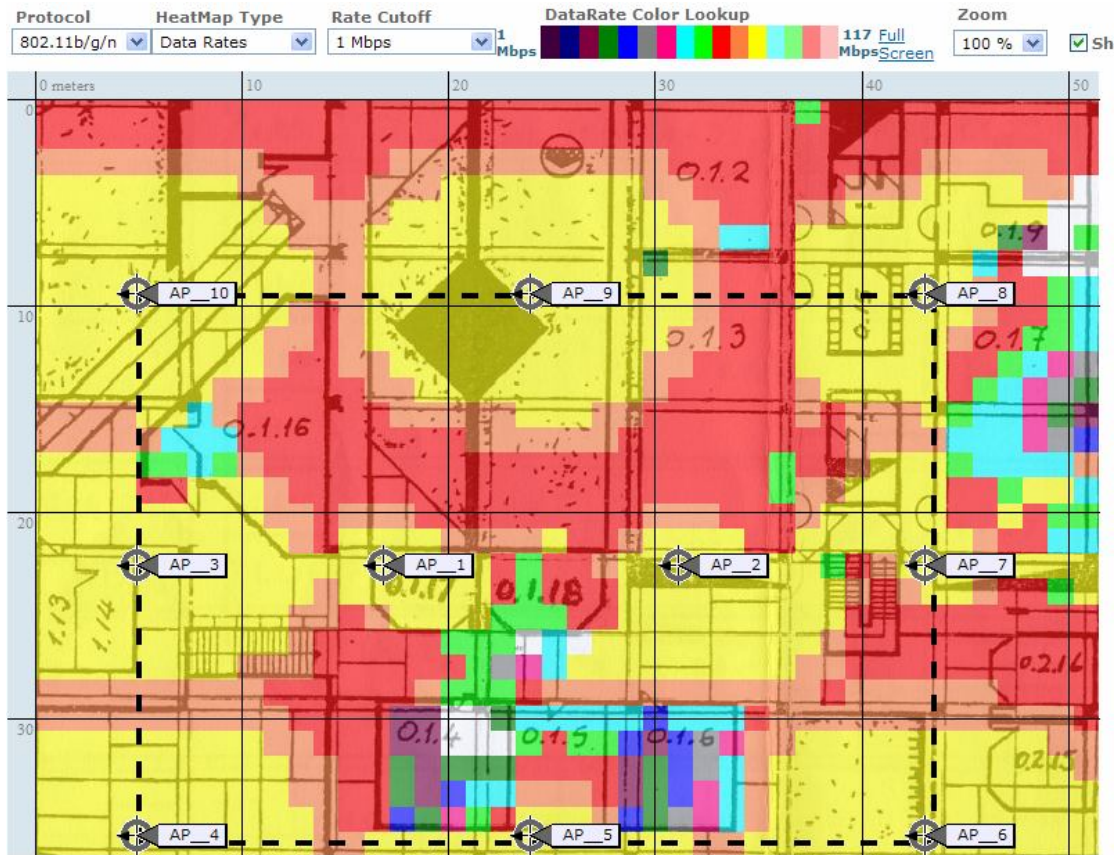
### 5.1.3 Προβολή της βέλτιστης διάταξης δικτύου

Επιπλέον, με βάση το εργαλείο Planning Mode του WCS μπορεί να υπολογιστεί ο αριθμός και η διάταξη των access points που απαιτούνται για τη βέλτιστη κάλυψη μιας περιοχής, με την τοποθέτηση και απεικόνιση φανταστικών access points στην συγκεκριμένη περιοχή, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2. Το εργαλείο αυτό είναι χρησιμότερο κατά τη φάση σχεδίασης του δικτύου, αλλά και ως αντικείμενο αναφοράς, για να έχει ο διαχειριστής του δικτύου μια αίσθηση του πόσο διαφέρει το πραγματικό δίκτυο από το προτεινόμενο.

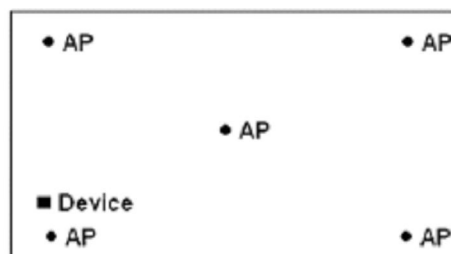
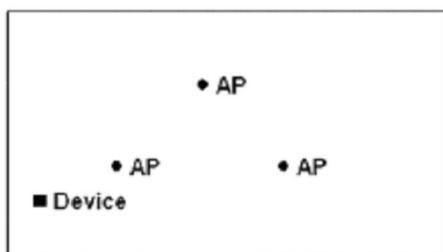
Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τα παρακάτω κριτήρια που μπορεί να καθορίσει ο χρήστης:

- ο τύπος του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται (802.11a ή 802.11b/g), για να ληφθεί υπόψη η ρυθμοαπόδοσή του
- το είδος της ενεργού κίνησης του δικτύου: δεδομένα ή φωνή ή και τα δύο
- τον αριθμό των ενεργών χρηστών
- των αριθμό των χρηστών ανά τ.μ.
- το αν η διάταξη θα χρησιμοποιηθεί και για εντοπισμό χρηστών πέρα από τη λειτουργία της για μεταφορά δεδομένων.

Ο τελευταίος παράγοντας είναι μάλιστα πολύ σημαντικός, γιατί για να εκτελεί το σύστημα υπολογισμούς εντοπισμού με βέλιστα αποτελέσματα απαιτείται πυκνότερη διάταξη των access points, η οποία μάλιστα διαφέρει από τη διάταξη που θα χρησιμοποιούνταν αν το σύστημα προορίζεται μόνο για μεταφορά δεδομένων. Αυτό εξηγείται καλύτερα στα σχήματα 5.3 και 5.4



Σχήμα 5.3 Η προτεινόμενη διάταξη και αριθμός των access points από το εργαλείο Planning Mode του WCS για κίνηση δεδομένων και εντοπισμό χρηστών. Οι διαφορετικές χρωματικές περιοχές απεικονίζουν τους αναμενόμενους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.



Σχήματα 5.4 και 5.5 Μη συνιστώμενη και συνιστώμενη διάταξη των access points για σύστημα που πραγματοποιεί υπολογισμούς προσδιορισμού της θέσης.

Έτσι ενώ η πρώτη περίπτωση είναι κατάλληλη για μετάδοση δεδομένων, αφού δεν υπάρχουν κενά κάλυψης, δεν είναι κατάλληλη για εντοπισμό. Η δεύτερη περίπτωση απεικονίζει την καλύτερη πρακτική για εντοπισμό που είναι η τοποθέτηση access points κοντά στην περίμετρο, τα οποία συμπληρώνονται από access points κοντά στο κέντρο. Γενική επιδίωξη είναι επομένως ένας σχεδιασμός ο οποίος εξασφαλίζει ότι οι περιοχές στις οποίες θα γίνεται εντοπισμός περικλείονται από access points. Η τελευταία παρατήρηση είναι εμφανής και κατά τη χρήση του εργαλείου του WCS Inspect Location Readiness, που εξετάζει την καταλληλότητα των περιοχών για εντοπισμό και το οποίο φαίνεται στο σχήμα 5.5.

## 5.1.4 Περιοχή κάλυψης και μοντέλα διάδοσης

Inspect Location Readiness > [Κτίριο Hlektrologwn](#) > [ground floor](#)



Σχήμα 5.6 Απεικόνιση της περιοχής με την αναμενόμενη ακρίβεια εντοπισμού (πράσινη περιοχή) από το εργαλείο Inspect Location Readiness

Στο παραπάνω σχήμα η περιοχή που περικλείεται από τα 4 access points (μικροί γκρι κύκλοι) είναι η περιοχή για την οποία οι προδιαγραφές της Cisco προβλέπουν την αναμενόμενη ακρίβεια εντοπισμού, η οποία είναι 10m για το 90% των περιπτώσεων και 5m για το 50% των περιπτώσεων. Αντίθετα για τις κόκκινες περιοχές η προβλεπόμενη ακρίβεια είναι οπωσδήποτε χειρότερη. Η μαύρη κουκίδα μέσα στο άσπρο τετραγωνάκι είναι το κέντρο βάρους της περιοχής εντοπισμού και θα χρησιμοποιηθεί σε κάποιες από τις γραφικές παραστάσεις που θα ακολουθήσουν.

Το σύστημα εντοπισμού του Cisco Unified Wireless Network, χρησιμοποιεί τη μέθοδο RF Fingerprinting για να βελτιώσει την τεχνική εντοπισμού. Έτσι κάνει χρήση RF μοντέλων διάδοσης που προκύπτουν από δεδομένα που έχουν συλλεγεί είτε από το περιβάλλον στόχο, είτε από παρόμοια περιβάλλοντα.

Στην πρώτη περίπτωση εναπόκειται στο χρήστη να δημιουργήσει ένα μοντέλο διάδοσης με ένα αυτοματοποιημένο εργαλείο που παρέχει το WCS παίρνοντας μετρήσεις από 150 τουλάχιστον ξεχωριστά σημεία του περιβάλλοντος όπου έχει γίνει η εγκατάσταση του δικτύου. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα, αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι το μοντέλο διάδοσης που θα προκύψει ταιριάζει ιδανικά στα χαρακτηριστικά διάδοσης της περιοχής στόχου και επομένως θα προσφέρει βελτιωμένη ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης. Επιπλέον αν υπάρχουν και άλλα περιβάλλοντα με παρόμοια χαρακτηριστικά μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας σε αυτά χωρίς να απαιτείται επανάληψη της διαδικασίας.

Για τη δεύτερη περίπτωση η Cisco αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι πολλά περιβάλλοντα γραφείου όπως και εξωτερικοί χώροι διαθέτουν παραπλήσια χαρακτηριστικά διάδοσης, έχει κατασκευάσει 3 μοντέλα. Το ένα αφορά περιβάλλον γραφείου με σταθερούς τοίχους, το δεύτερο γραφεία με συνδυασμό λεπτών διαχωριστικών (cubicles) και σταθερών τοίχων και το τρίτο εξωτερικούς χώρους.

Η ιδιομορφία της μορφής του ισογείου του Κτιρίου Ηλεκτρολόγων, όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, που αποτελεί ουσιαστικά εξωτερικό χώρο, διαθέτει όμως ταβάνι και περιβάλλεται σε αρκετά σημεία και από κατακόρυφους τοίχους (βλ. σχήμα 5.1) δημιουργήσε ασάφεια ως προς το πιο από τα τρία μοντέλα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί. Το δεύτερο αποκλείστηκε, λόγω της μη ύπαρξης λεπτών διαχωριστικών αλλά κανένα από τα δύο εναπομείναντα δεν αντιστοιχούσε ακριβώς στην επιθυμητή μορφή. Για το λόγο αυτό οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για κάθε ένα από αυτά.

## 5.2 Μετρήσεις

### 5.2.1 Επιλογή των σημείων

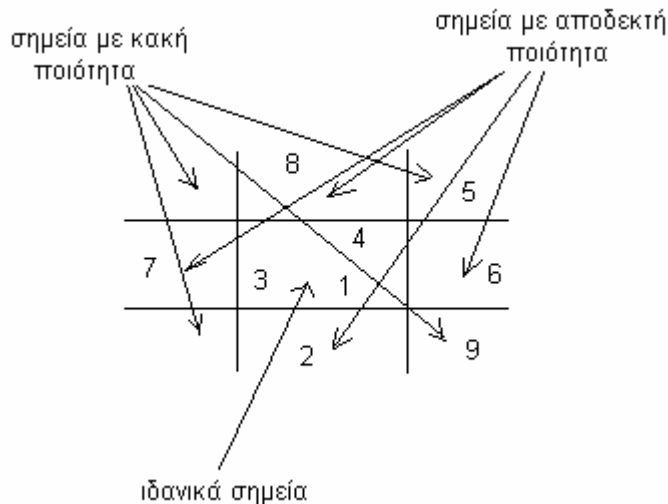
Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων επιλέχθηκαν 9 σημεία, τα οποία φαίνονται στο σχήμα 5.7



Σχήμα 5.7 Σημεία που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις

Τα σημεία αυτά επιλέχθηκαν έως ένα βαθμό με τη μέθοδο της “τρίλιζας”. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή όλα τα σημεία του χάρτη ανήκουν σε μία από 9 συνολικά κατηγορίες όσες είναι και οι διαφορετικές περιοχές μιας τρίλιζας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα 5.8. Το κέντρο της τρίλιζας αντιστοιχεί στην περιοχή του χάρτη που περικλείεται από τα 4 access points (πράσινη περιοχή στο σχήμα 5.6). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.8, 3 από τα σημεία που επιλέχθηκαν ανήκουν στο κέντρο της τρίλιζας (που παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από πλευράς ακρίβειας εντοπισμού) και τα υπόλοιπα ανήκουν σε 6 από τις 8 διαθέσιμες υπόλοιπες πλευρές της τρίλιζας. Σε δύο περιοχές δεν τοποθετήθηκαν

σημεία, για δύο λόγους. Πρώτον είναι εκ των προτέρων γνωστό ότι τα σημεία αυτά θα έχουν κακή ποιότητα ακρίβειας εντοπισμού και δεύτερον γιατί θεωρήθηκε ότι η συμπεριφορά τους θα είναι σε ένα μεγάλο βαθμό ίδια με τα αντίστοιχα σημεία της άλλης πλευράς της τρίλιζας



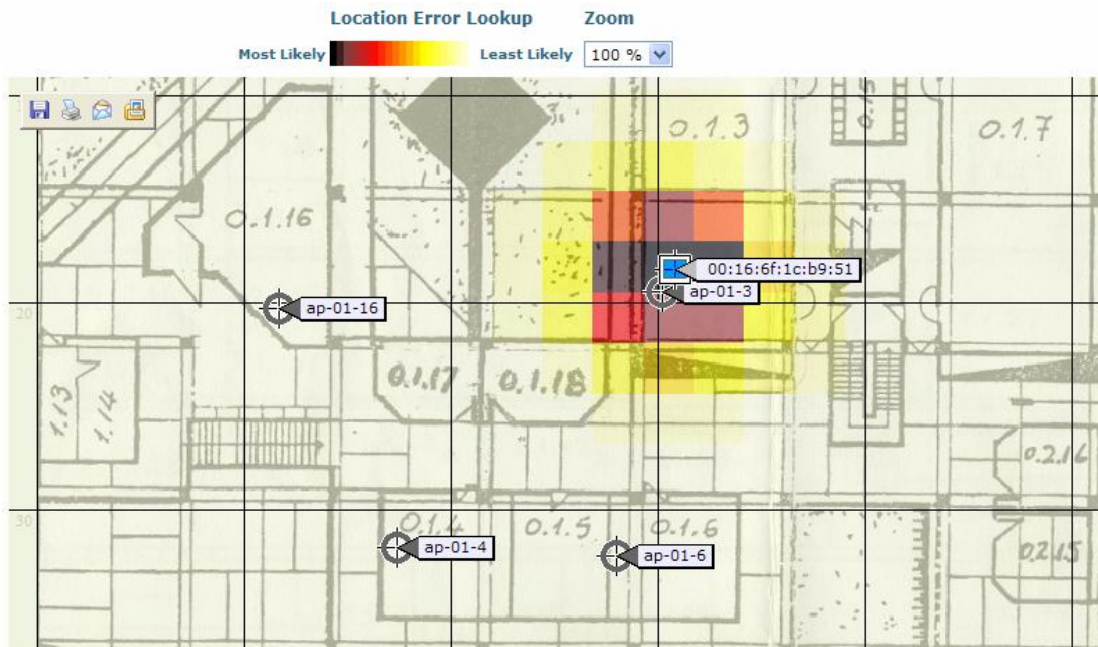
Σχήμα 5.8 Το κριτήριο της τρίλιζας και οι θέσεις στις οποίες αντιστοιχούν τα 9 σημεία που έχουν επιλεγεί.

## 5.2.2 Πραγματοποίηση των μετρήσεων

Κατ' αρχάς μετρήθηκαν και καταγράφηκαν σε κάθε ένα από τα 9 σημεία η λαμβανόμενη ισχύς σήματος (σε dBm) και η ποιότητα του σήματος (σε κλίμακα επί της εκατό) που προερχόταν από κάθε ένα από τα 4 access points, όπως τις ανιχνεύει η ασύρματη κάρτα δικτύου ενός φορητού υπολογιστή Sony Vaio, με λειτουργικό σύστημα Linux. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων βρίσκονται στο παράρτημα. Επιπλέον υπολογίστηκαν με βάση το εργαλείο Map Editor του WCS οι ευκλείδειες αποστάσεις των 9 σημείων από το κέντρο βάρους της περιοχής κάλυψης που περικλείεται από τα 4 access points.

Στη συνέχεια με ένα laptop ως ασύρματο πελάτη καταγράφηκε για τα 9 σημεία η απόκλιση (το σφάλμα) ανάμεσα στην πραγματική θέση του πελάτη και στη θέση στην οποία το απεικόνιζε το σύστημα εντοπισμού. Η ανακρίβεια (σφάλμα) στις μετρήσεις αυτές λόγω περιορισμών των εργαλείων μέτρησης ή λόγω ανθρώπινου σφάλματος είναι περίπου 1-1,5 m. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν για κάθε ένα από τα δύο μοντέλα: εσωτερικού χώρου με σταθερούς τοίχους και εξωτερικού χώρου. Στη συνέχεια επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις κάποιων σημείων που βρίσκονταν κοντά στο κέντρο της τρίλιζας με τρία αντί τέσσερα access points σε λειτουργία, για να διαπιστωθεί πόσο επηρεάζεται η ακρίβεια εντοπισμού από τον αριθμό των access points.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον εντοπισμού του πελάτη από το WCS (Wireless Control System). Στη θέση με τη μεγαλύτερη πιθανότητα τοποθετείται το μπλε εικονίδιο ενός laptop ενώ η χρωματική διαβάθμιση αντιστοιχεί στην πιθανότητα ο πελάτης να βρίσκεται σε γειτονικές θέσεις με το μαύρο να εκφράζει μεγάλη πιθανότητα και το λευκό μηδενική.

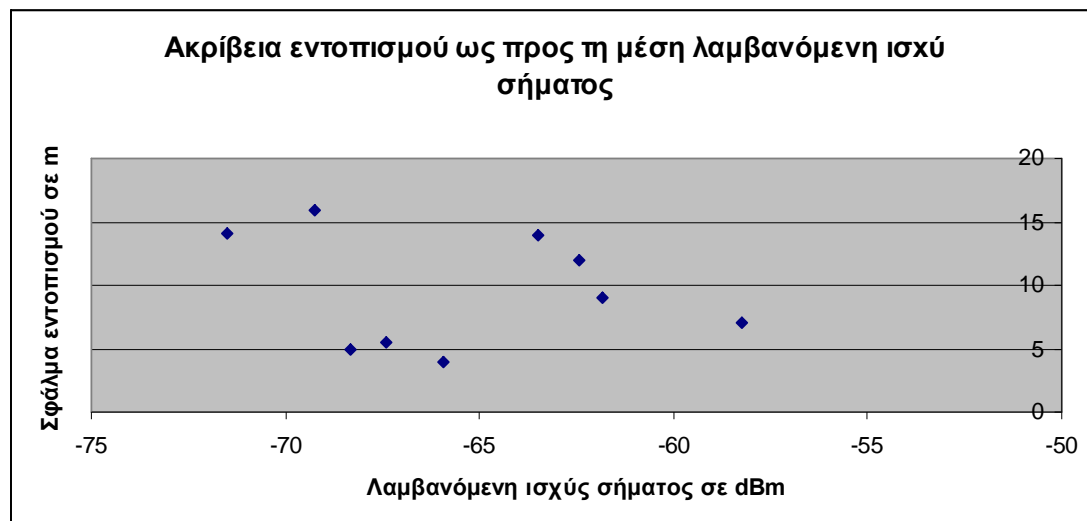


Σχήμα 5.9 Εντοπισμός ασύρματου πελάτη από το WCS

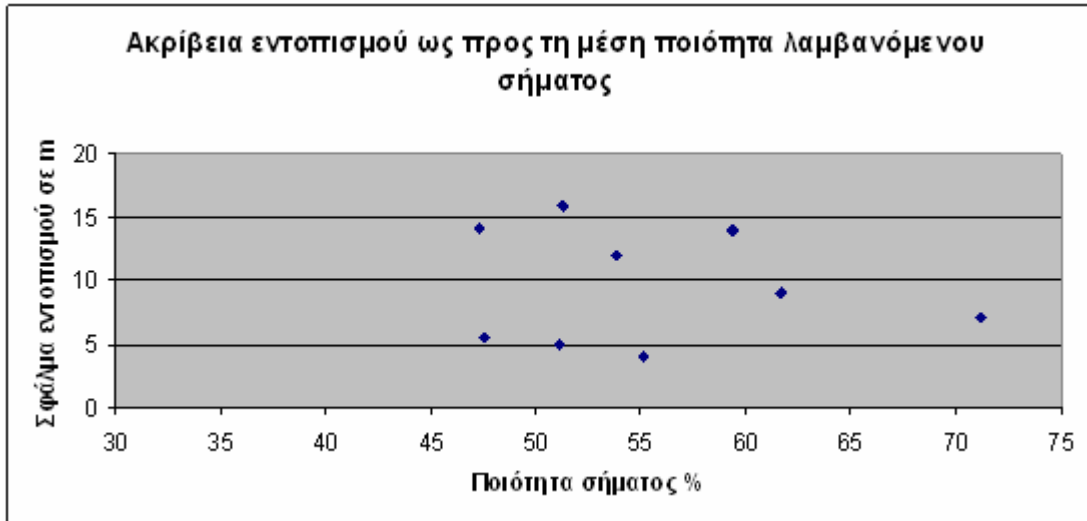
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις της ακρίβειας εντοπισμού ως προς το μέσο όρο της ισχύος και της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος από τα 4 access points για τα δύο μοντέλα διάδοσης.

### 5.2.3 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς τη μέση λαμβανόμενη ισχύ από τα access points

*Μοντέλο εξωτερικού χώρου (outdoor)*

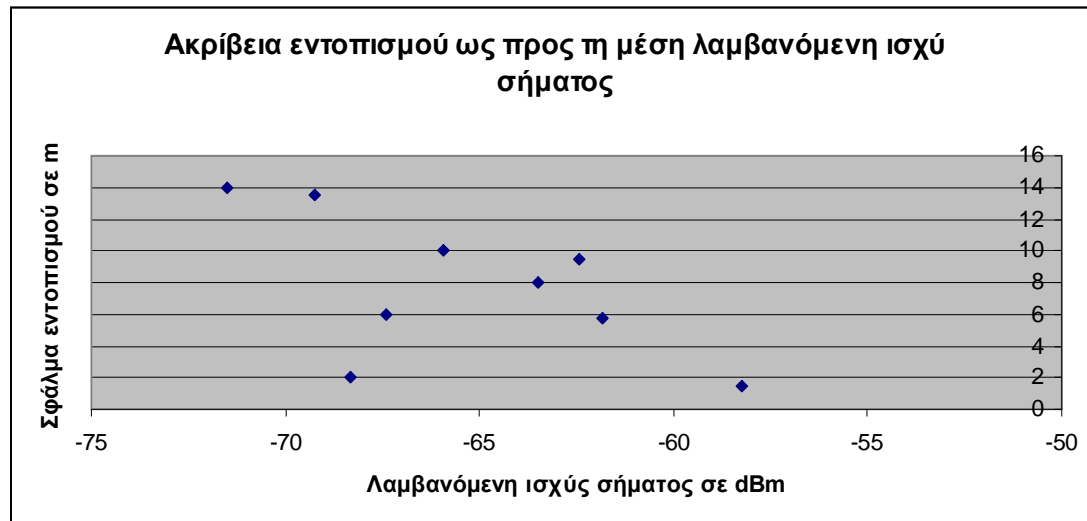


Σχήμα 5.10α

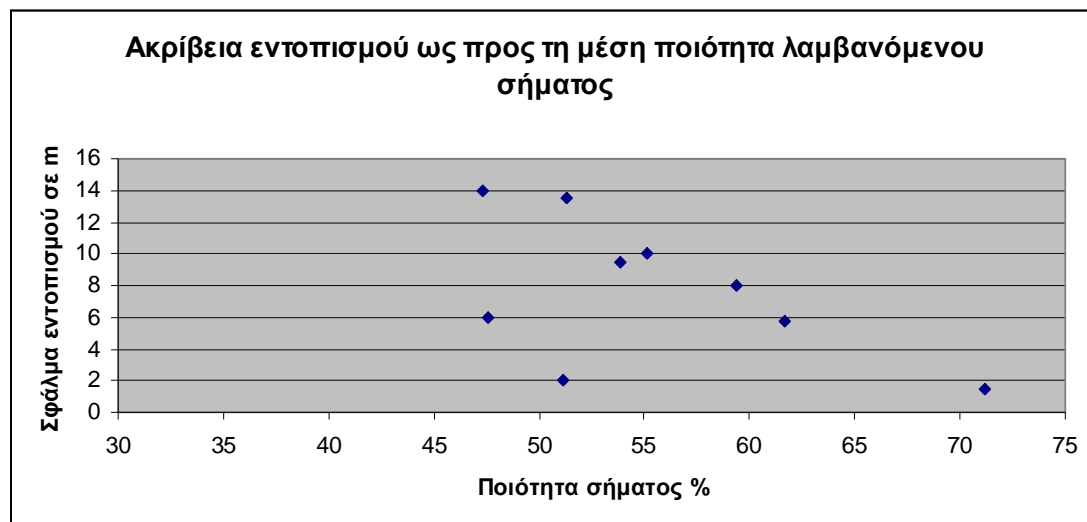


Σχήμα 5.10β

Μοντέλο εσωτερικού χώρου (drywall)



Σχήμα 5.11α



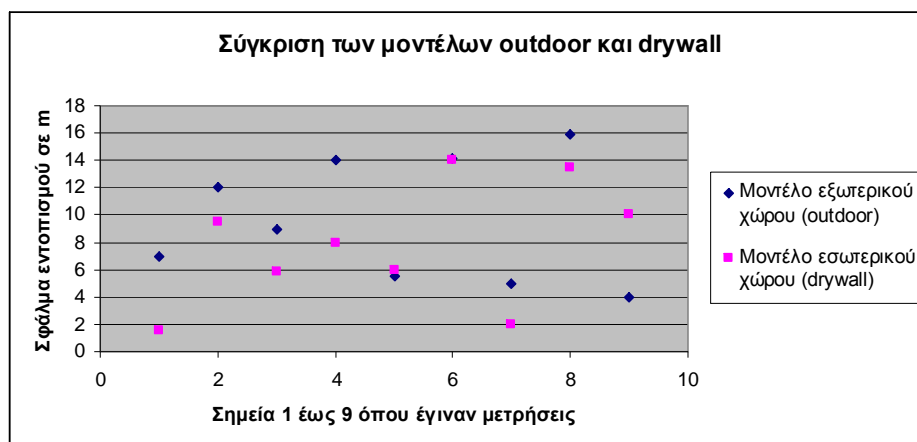
Σχήμα 5.11β

Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι ένα μέγεθος παραπλήσιο με την ποιότητα και προσδιορίζει το πόσο καλά ένα σημείο “βλέπει” ένα access point. Προφανώς με βάση την αρχή της αντιστροφής τα δύο μεγέθη καθορίζουν και το αντίστροφο, δηλαδή το πόσο καλά τα access points βλέπουν το σημείο. Το τελευταίο είναι θεμελιώδους σημασίας για την ακρίβεια του εντοπισμού. Η Cisco στις προδιαγραφές της αναφέρει ότι για ικανοποιητική ποιότητα εντοπισμού 3 τουλάχιστον access points πρέπει να λαμβάνουν το σήμα μιας συσκευής με ισχύ όχι μικρότερη από -75dBm.

Αν και η ποιότητα είναι παραπλήσια με την ισχύ, η μεταξύ τους σχέση δεν είναι γραμμική. Στην πραγματικότητα η ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος είναι πιο κοντά στο SNR (Signal to Noise Ratio), γιατί λαμβάνει υπόψη και το θόρυβο από το περιβάλλον όπως παρεμβολές από άλλες πηγές που μεταδίδουν, διαλείψεις πολλαπλές διαδρομές κ.α. Επομένως το μέγεθος που θα χρησιμοποιήσουμε στις επόμενες γραφικές παραστάσεις είναι η ισχύς του σήματος και όχι η ποιότητα.

Από τις γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι το μοντέλο drywall είναι καταλληλότερο για το χώρο που εξετάζουμε, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 5.12. Συγκεκριμένα σε 7 σημεία η ακρίβεια εντοπισμού ήταν μικρότερη από 10m σε αντίθεση με 5 σημεία στην περίπτωση του μοντέλου outdoor, και επιπλέον η μέση ακρίβεια εντοπισμού ήταν 7,81m στην πρώτη περίπτωση και 9,61m στη δεύτερη. Αυτό είναι λογικό αν σκεφτεί κανείς ότι η έννοια εξωτερικός χώρος αναφέρεται σε μια περιοχή με ελάχιστα εμπόδια, κάτι που δεν ισχύει για το συγκεκριμένο περιβάλλον, όπου έγινε η μελέτη.

Το συμπέρασμα στο οποίο μπορούμε να καταλήξουμε από τις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις κατ’ αρχήν είναι ότι οι αναμενόμενες εκτιμήσεις από τη μέθοδο της τρίλιζας για την ακρίβεια εντοπισμού των σημείων με μοναδικό κριτήριο τη θέση τους στην τρίλιζα επιβεβαιώνονται σε έναν ικανοποιητικό βαθμό. Επιπλέον είναι σαφές ότι η ακρίβεια εντοπισμού επηρεάζεται σημαντικά από τη μέση λαμβανόμενη ισχύ σήματος από τα 4 access points. Αυτό σημαίνει ότι με την αύξηση της μέσης λαμβανόμενης ισχύος αυξάνεται κατά κανόνα και η ακρίβεια εντοπισμού. Ωστόσο υπάρχουν και κάποιες εξαιρέσεις, δηλαδή τα σημεία 5 και 7 (σχήμα 5.7), τα οποία στο μοντέλο εσωτερικού χώρου είχαν απρόσμενα καλή ποιότητα εντοπισμού (6m και 2m αντίστοιχα) αν και οι θέσεις τους δεν είναι ευνοϊκές. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι το κριτήριο της μέσης λαμβανόμενης ισχύος από τα 4 APs δεν είναι απόλυτο, αλλά εξηγεί ικανοποιητικά την καταγεγραμμένη ακρίβεια εντοπισμού. Επιπλέον δεν πρέπει να ξεχνούμε ότι το αποτέλεσμα της διαδικασίας προσδιορισμού της θέσης είναι κάπως στοχαστικό. Η θέση που υποδεικνύει το σύστημα ως



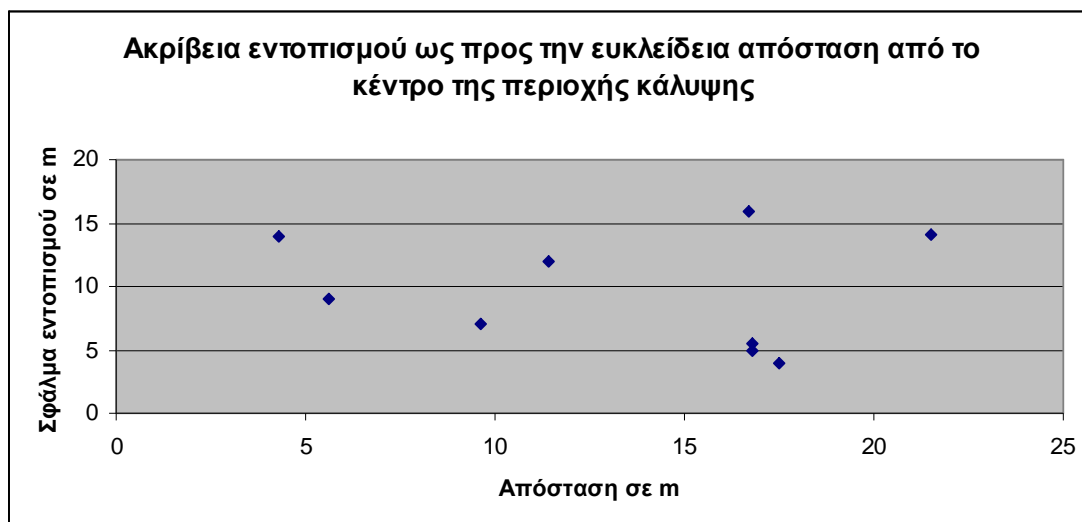
Σχήμα 5.12



πιθανότερη μεταβαλλόταν με το χρόνο ακόμα κι όταν ο πελάτης παρέμενε σταθερός στη θέση του.

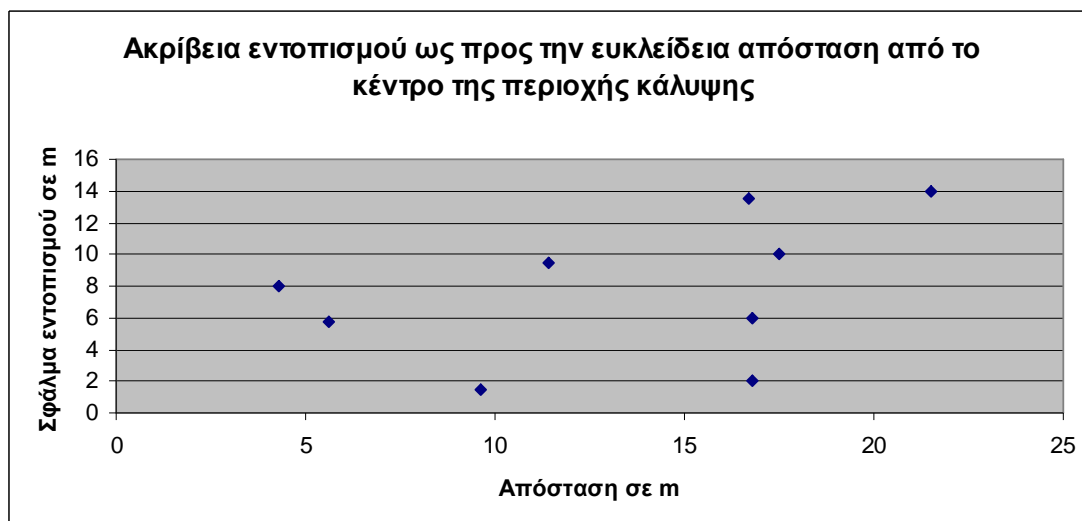
#### 5.2.4 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς την ευκλείδεια απόσταση από το κέντρο της περιοχής κάλυψης

*Μοντέλο outdoor*



Σχήμα 5.13α

*Μοντέλο drywall*

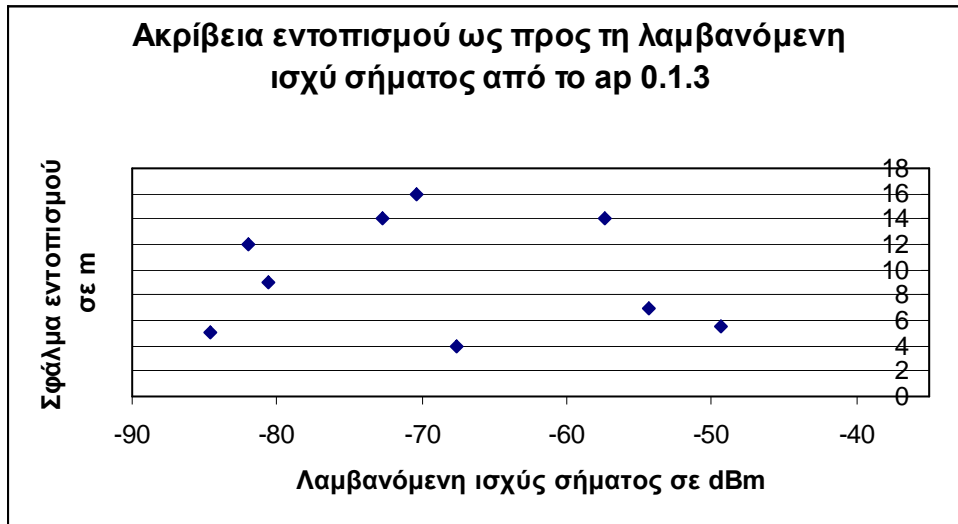


Σχήμα 5.13β

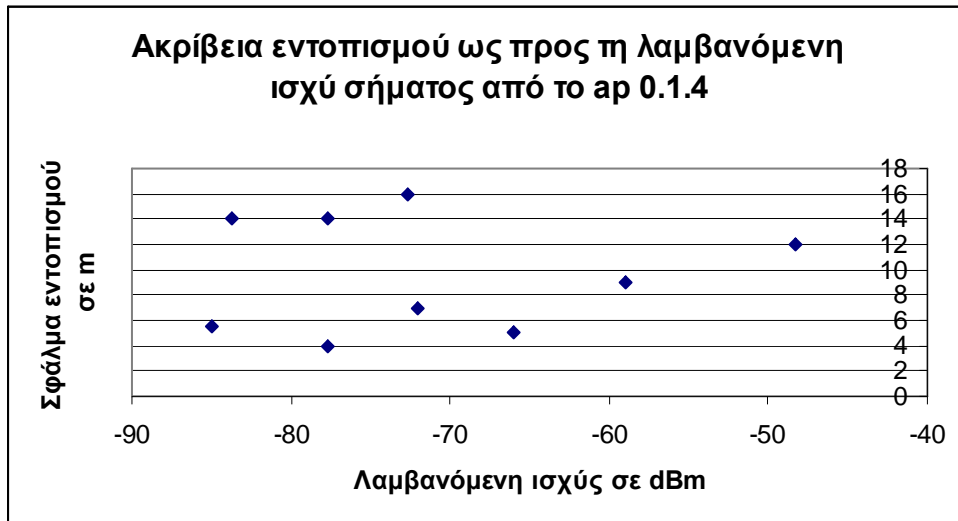
Από τις παραπάνω δύο γραφικές παραστάσεις διαπιστώνουμε ότι η ευκλείδεια απόσταση από το κέντρο της περιοχής κάλυψης (το κέντρο της τρίλιζας) δε σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα εντοπισμού. Παρατηρούμε δηλαδή, το σφάλμα εντοπισμού να μειώνεται, καθώς η απόσταση από κέντρο αυξάνεται, κάτι που κάθε άλλο παρά αναμενόμενο είναι. Αν και εμπεριέχει την έννοια της εξασθένησης λόγω απόστασης, το παραπάνω μέτρο είναι υπερβολικά απλουστευμένο και χονδροειδές και αποτυγχάνει να λάβει υπόψη σημαντικότερες παραμέτρους όπως τα εμπόδια που βρίσκονται στο χώρο.

### 5.2.5 Ακρίβεια εντοπισμού ως προς την ισχύ ενός access point

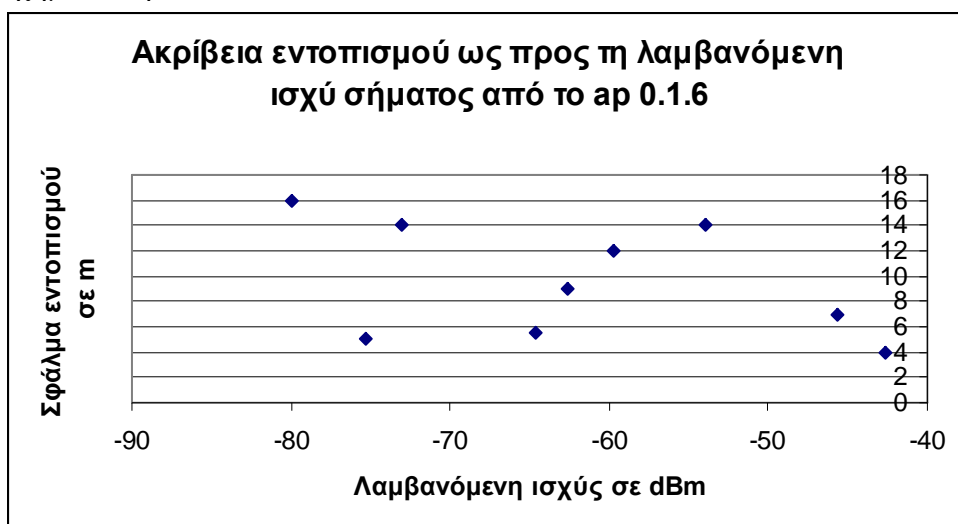
Μοντέλο outdoor



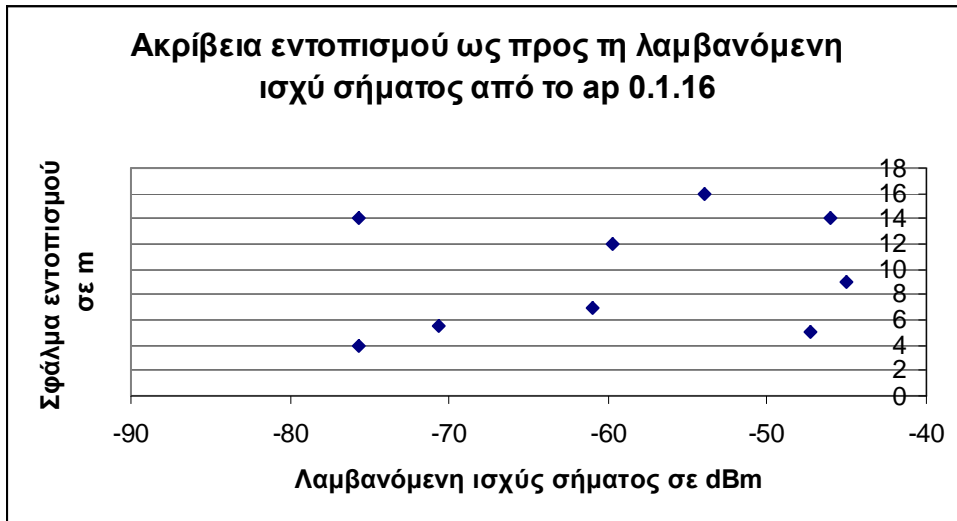
Σχήμα 5.13α



Σχήμα 5.13β

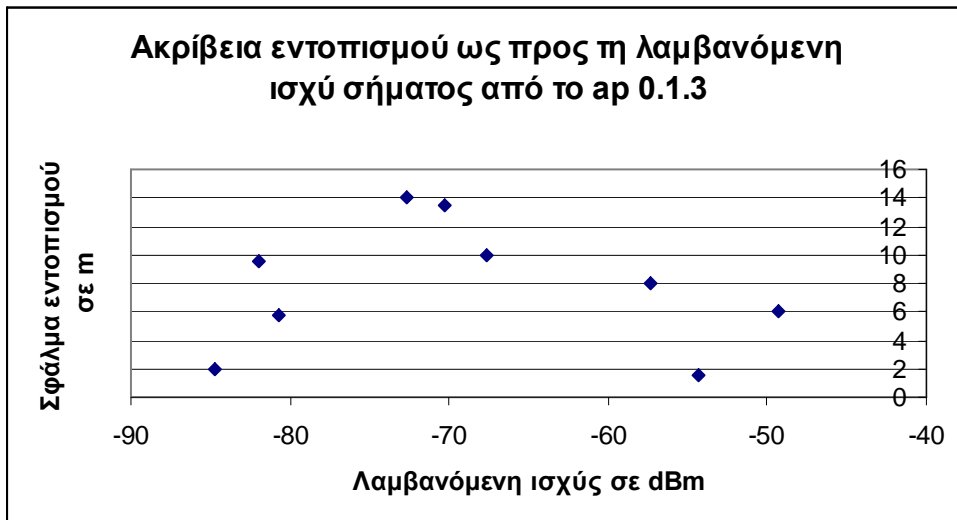


Σχήμα 5.13γ

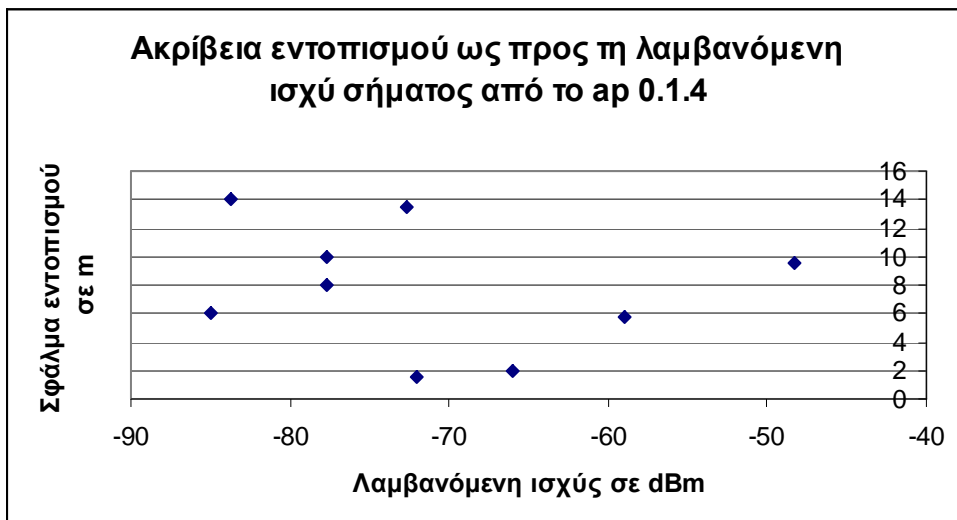


Σχήμα 5.13δ

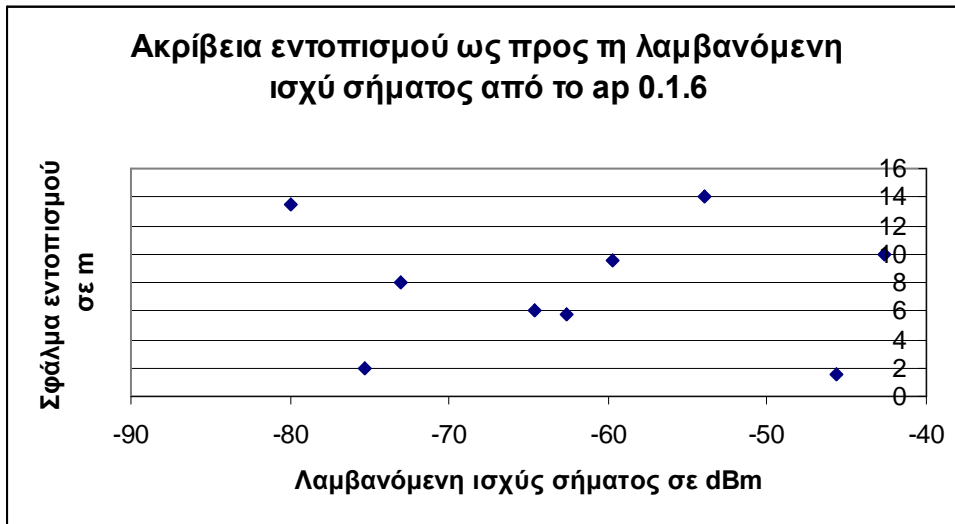
*Μοντέλο drywall*



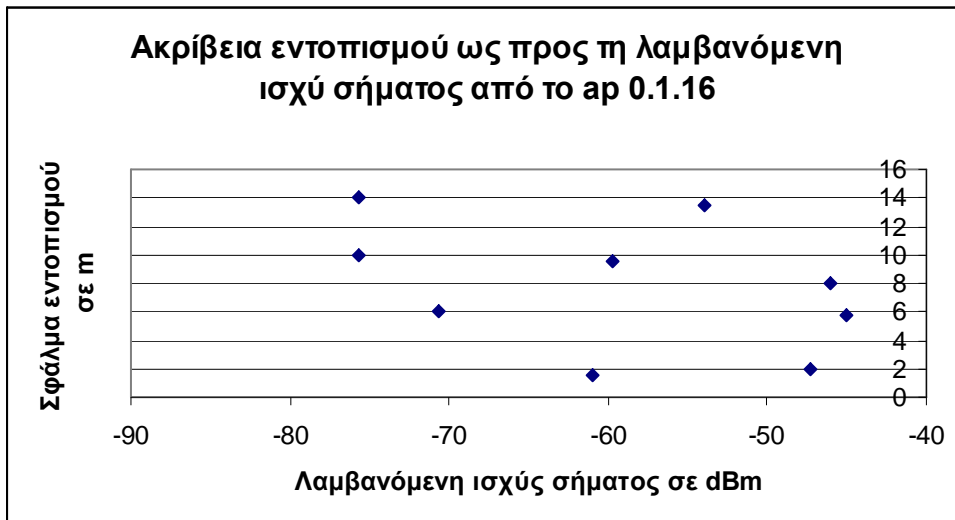
Σχήμα 5.14α



Σχήμα 5.14β



Σχήμα 5.14γ



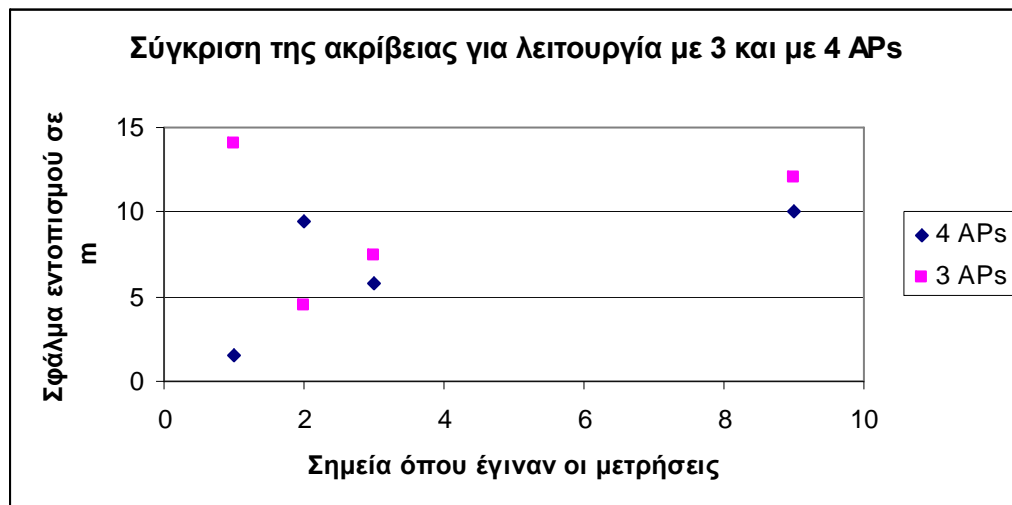
Σχήμα 5.14δ

Αν θεωρήσουμε ως κατώφλι σήματος πάνω από το οποίο ένα access point έχει σημαντική συνεισφορά στον εντοπισμό θέσης τα  $-60\text{dBm}$  και ως ικανοποιητική ακρίβεια εντοπισμού αυτή που έχει σφάλμα μικρότερο από  $10\text{m}$  τότε διαπιστώνουμε από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις ότι με το μοντέλο outdoor τα access points ar-0.1.3 , ar-0.1.6 , και ar-0.1.16 συμβάλλουν στον επιτυχή εντοπισμό δύο σημείων, ενώ το ar-0.1.4 μόνο ενός. Ομοίως τα αποτελέσματα για το drywall μοντέλο είναι 4 σημεία για το ar-0.1.16, 3 σημεία για τα ar-0.1.3 και ar-0.1.6 και 2 σημεία για το ar-0.1.4. Έτσι είναι φανερό ότι τα 3 access points ar-0.1.3 , ar-0.1.6 , και ar-0.1.16, συνεισφέρουν σχεδόν εξίσου στον εντοπισμό, ενώ το ar-0.1.4 είναι κατώτερο ως προς την επίδοση σε σχέση με τα άλλα. Αυτό είναι φυσιολογικό δεδομένου ότι τα 3 APs είναι όμοια (AIR-LAP1242G), με κανονικές εξωτερικές κεραίες, ενώ το 4<sup>ο</sup> (AIR-LAP-1131AG) έχει ενσωματωμένη-εσωτερική κεραία, η οποία φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα εντοπισμού.

### 5.2.6 Λειτουργία με μικρότερο αριθμό access points

Τέλος γίνεται μια σύγκριση της ακρίβειας εντοπισμού για λειτουργία του δικτύου με 4 και με 3 access points (τέθηκε εκτός το ap-0.1.6). Οι μετρήσεις τώρα έγιναν όχι στο σύνολο των σημείων, αλλά σε τέσσερα από αυτά. Τρία (1,2,3) βρίσκονται κοντά στο κέντρο της περιοχής κάλυψης (πράσινη περιοχή του σχήματος 5.6) και το τέταρτο (9) σε μη ευνοϊκή θέση (γωνία της τρίλιζας). Παρατηρούμε ότι με εξαίρεση το σημείο 1, για το οποίο η ακρίβεια παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση, στα υπόλοιπα σημεία δεν υπάρχει σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας εντοπισμού, ενώ υπάρχουν σημεία στα οποία η ακρίβεια εμφανίζεται ακόμα και βελτιωμένη.

Τέλος πραγματοποιήθηκε μια δοκιμή με 2 μόνο APs για την προσομοίωση πιθανής κατάστασης έκτακτης ανάγκης του δικτύου, όπου τα δύο άλλα access points έχουν χάσει τη σύνδεση με τον controller. Όπως είναι αναμενόμενο η ακρίβεια επηρεάστηκε ανεπανόρθωτα. Το αποτέλεσμα ήταν ότι ανεξαρτήτως του σημείου μέτρησης, το σύστημα εντοπισμού το υπολόγιζε πάντα να βρίσκεται πάνω σε ένα από τα δύο access points.



Σχήμα 5.15



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων σχετικά με την ακρίβεια του συστήματος εντοπισμού Cisco LBS. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του και αξιολογείται η ικανότητά του να υποστηρίξει συγκεκριμένα είδη υπηρεσιών.

#### Πλεονεκτήματα

- Αξιόπιστος προσδιορισμός της θέσης. Το μέσο σφάλμα ήταν κάτω από δέκα μέτρα, παρόλο που η πλειοψηφία των σημείων βρισκόταν έξω (αν και όχι μακριά) από τη ζώνη προδιαγραφής ακρίβειας 10m για το 90% των περιπτώσεων της Cisco.
- Δεν απαιτείται πολύ πυκνή διάταξη των access points όπως σε άλλα συστήματα. Απαραίτητη προϋπόθεση για αξιόπιστο εντοπισμό είναι 3 access points να βλέπουν το σημείο με ικανοποιητική ισχύ σήματος (μεγαλύτερη από -75dBm).
- Ικανοποιητική out-of-the-box ικανότητα λειτουργίας με τα έτοιμα μοντέλα διάδοσης που παρέχονται από τη Cisco. Έτσι δεν απαιτείται εκ των προτέρων πραγματοποίηση ρύθμισης με λήψη δειγμάτων σήματος ανά σημείο (αν και υπάρχει αυτή η δυνατότητα). Αυτό είναι σημαντικό πλεονέκτημα για οργανισμούς που θέλουν να εγκαταστήσουν το ασύρματο δίκτυο σε πολλά κτίρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά διάδοσης.

#### Μειονεκτήματα

- Ο περιορισμένος αριθμός των διαθέσιμων μοντέλων διάδοσης. Τα τρία μοντέλα που παρέχονται περιγράφουν ικανοποιητικά μικρό αριθμό από πιθανά πραγματικά περιβάλλοντα.
- Η πυκνή παρόλα αυτά διάταξη λειτουργίας η οποία καθιστά δύσκολη την κάλυψη μεγάλων περιοχών. Αν και στο περιβάλλον που μελετήθηκε έγινε χρήση τεσσάρων access points ο προτεινόμενος από τη Cisco αριθμός για βέλτιστη λειτουργία ήταν 10. Έτσι σε περιπτώσεις πραγματικής λειτουργίας του δικτύου με ζωτικές εφαρμογές που βασίζονται εξ' ολοκλήρου στον εντοπισμό θα πρέπει να ο σχεδιαστής να χρησιμοποιήσει πλεονασμό για να προνοήσει για περιπτώσεις σφαλμάτων σε μεμονωμένα τμήματα του δικτύου.
- Οι μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ διαδοχικών στο χρόνο εκτιμήσεων της θέσης ενός πελάτη όταν αυτός παρέμενε ακίνητος. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στη σκίαση αλλά αποτελεί μειονέκτημα, γιατί εμποδίζει το σύστημα να αναγνωρίζει την κατάσταση του χρήστη (γρήγορη - αργή κίνηση ή ακινησία).
- Είναι σύστημα που προορίζεται σχεδόν αποκλειστικά για εγκατάσταση σε εσωτερικούς χώρους, καθώς οι απαιτήσεις πυκνότητας των access points, καθώς και η ανάγκη οι περιοχές όπου γίνεται εντοπισμός να περιβάλλονται από σημεία πρόσβασης, καθιστά απαγορευτική την εγκατάστασή τους στο ύπαιθρο.
- Τέλος η περίοδος ανανέωσης της πληροφορίας θέσης, η οποία είναι μεγαλύτερη του 1 λεπτού στο WCS, δεν επιτρέπει την παρακολούθηση της κίνησης του χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Εάν χρησιμοποιηθεί μαζί με τη συσκευή εντοπισμού, τότε ο

διαχειριστής του δικτύου μπορεί να ορίσει την περίοδο σταθμοσκόπησης (polling) για την ανάκτηση πληροφοριών θέσης από τα APs σε πιο μικρή τιμή. Σε περίπτωση όμως συνδυασμού μεγάλης συχνότητας σταθμοσκόπησης και παρακολούθησης μεγάλου αριθμού πελατών αυξάνει δραματικά το φορτίο του δικτύου που ανταλλάσσεται μεταξύ του controller και της συσκευής εντοπισμού.

### **Καταλληλότητα χρήσης υπηρεσιών βασισμένων στη θέση με το σύστημα Cisco LBS.**

#### **Ιδανικές εφαρμογές για το Cisco LBS**

- Εφαρμογές ασφαλείας του δικτύου, όπως εντοπισμός rogue APs και πελατών, καθώς και ad-hoc δικτύων.
- Παρακολούθηση της κίνησης πελατών με σκοπό την αντιμετώπιση προβλημάτων σχετικά με την ποιότητα της σύνδεσης και τη βέλτιστη διαχείριση του δικτύου.
- Παρακολούθηση αντικειμένων μεγάλης αξίας με ετικέτες RFID, για παράδειγμα στο χώρο της υγείας.

#### **Εφαρμογές όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το Cisco LBS, χωρίς να αποτελεί τη βέλτιστη λύση.**

- Υπηρεσίες κοινωνικών συναναστροφών (όπου ο χρήστης ενημερώνεται για παράδειγμα ανάλογα με το προφίλ του για άτομα που βρίσκονται στη γειτονιά του και θα τον ενδιέφερε να τα γνωρίσει).
- Αλληλεπιδραστική ξενάγηση σε μουσεία, που βασίζεται στη θέση.
- Βασισμένες στη θέση υπηρεσίες για τους πελάτες ενός αεροδρομίου.
- Καθοδήγηση των συμμετεχόντων στο χώρο διεξαγωγής συνεδριάσεων.
- Απεικόνιση σημείων ενδιαφέροντος (όπως είσοδοι, έξοδοι, γραφείο πληροφοριών, καφετέριες) σε εσωτερικούς χώρους, όπως πολυκαταστήματα (malls).
- Προβολή διαφημίσεων και προσφορών που μπορεί να ενδιαφέρουν τον πελάτη σε εσωτερικούς χώρους, ή εξωτερικούς περιορισμένης έκτασης.

#### **Εφαρμογές για τις οποίες δεν ενδείκνυται το Cisco LBS.**

- Εύρεση φίλων και γνωστών στον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο του χρήστη, όπως στην περιοχή μιας πανεπιστημιούπολης. Η απαιτούμενη εγκατάσταση των access points είναι υπερβολικά πυκνή για να είναι υλοποιήσιμη.
- Ξενάγηση και πλοήγηση των χρηστών σε εκτεταμένες εξωτερικές περιοχές, όπως στα αξιοθέατα μιας πόλης.
- Εφαρμογές όπως υπηρεσίες παρακολούθησης ή παιχνίδια, όπου είναι αναγκαία η συχνή ανανέωση της θέσης του χρήστη για την ακριβή παρακολούθηση της κίνησής του.
- Εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια εντοπισμού όπως η εύρεση ενός βιβλίου στα ράφια μιας βιβλιοθήκης, ενός προϊόντος στα ράφια του σουπερ- μάρκετ ή η καθοδήγηση ενός τυφλού ατόμου σε έναν άγνωστο γι' αυτό χώρο.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**ap-01-3 (00:1e:7a:18:68:50)**

Position	Quality (%)			Signal level (dBm)		
1	76	75	72	-53	-54	-56
2	29	N/A	N/A	-82	N/A	N/A
3	33	31	31	-80	-81	-81
4	65	73	72	-61	-55	-56
5	80	76	84	-49	-53	-46
6	39	50	51	-77	-71	-70
7	20	25	25	-86	-84	-84
8	50	50	53	-71	-71	-69
9	55	55	56	-68	-68	-67

**ap-01-4 (00:1e:4a:56:7c:c0)**

Position	Quality (%)			Signal level (dBm)		
1	51	48	44	-70	-72	-74
2	80	80	83	-49	-49	-47
3	72	68	64	-56	-59	-62
4	35	41	37	-79	-76	-78
5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6	27	25	25	-83	-84	-84
7	48	62	62	-72	-63	-63
8	46	50	44	-73	-71	-74
9	33	35	44	-80	-79	-74

**ap-01-6 (00:1e:7a:18:68:00)**

Position	Quality (%)			Signal level (dBm)		
1	83	86	84	-47	-44	-46
2	68	68	65	-59	-59	-61
3	62	61	65	-63	-64	-61
4	53	48	37	-69	-72	-78
5	55	64	61	-68	-62	-64
6	76	73	75	-53	-55	-54
7	44	41	41	-74	-76	-76
8	31	31	37	-81	-81	-78
9	87	87	86	-42	-42	-44

ap-01-16 (00:1e:7a:18:65:b0)						
Position	Quality (%)			Signal level (dBm)		
1	64	68	64	-62	-59	-62
2	64	68	70	-62	-59	-58
3	86	87	80	-44	-42	-49
4	84	85	83	-46	-45	-47
5	55	48	48	-68	-72	-72
6	44	44	39	-74	-74	-79
7	80	80	86	-49	-49	-44
8	73	76	75	-55	-53	-54
9	46	41	37	-73	-76	-78

Test Points	distances from coverage area center		
	outdoor	drywall	
1	7	1,5	9,6
2	12	9,5	11,4
3	9	5,8	5,6
4	14	8	4,3
5	5,5	6	16,8
6	14,1	14	21,5
7	5	2	16,8
8	15,9	13,5	16,7
9	4	10	17,5

## Βιβλιογραφία

- [1] Matthew S. Gast, “802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, O’Reilly”, 2002
- [2] Mooi Choo Chuah, Qinqing Zhang, “Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs”, Springer 2006
- [3] Bernhard H. Walke, Stefan Mangold, Lars Berlemann, “IEEE 802 Wireless Systems”, Wiley, 2006
- [4] James F. Kurose, Keith W. Ross, “Δικτύωση Υπολογιστών”, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, 2003
- [5] Krzysztof W. Kolodziej, Johan Hjelm, “Local Positioning Systems: LBS Applications and Services”, Taylor & Francis, 2006
- [6] Μ.Ε. Θεολόγου, “Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007
- [7] Nadege Faggion, Suresh Leroy, Strategy Whitepaper, “Alcatel Location Based Services Solution”, 2005
- [8] William G. Griswold, Patricia Shanahan, Steven W. Brown, Robert T. Boyer, Matt Ratto, R. Benjamin Shapiro, Tan Minh Truong, “ActiveCampus - Experiments in Community-Oriented Ubiquitous Computing”, 2003
- [9] Y. Wang, L. Cuthbert, Francis J. Mullany, P. Stathopoulos, V. Tountopoulos, M. Senis, “Exploring agent-based wireless business models and decision support applications in an airport environment”, 2004
- [10] Keith Cheverst, Nigel Davies, Keith Mitchell, Adrian Friday, Christos Efstratiou, “Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences”, 2000
- [11] Anind K. Dey, Daniel Salber, Gregory D. Abowd, Masayasu Futakawa, “The Conference Assistant: Combining Context-Awareness with Wearable Computing”, 1999
- [12] Ramaprasad Unni, Robert Harmon, “Location-Based Services: Models for Strategy Development in M-Commerce”, 2003
- [13] Stuart J. Barnes, “Location-Based Services The State of the Art”, 2003
- [14] “Wi-Fi Location-Based Services- Design and Deployment Considerations”, Cisco,  
<http://www.cisco.com/en/US/products/ps6386/index.html>

- [15] “Cisco Wireless Control System Configuration Guide”, Cisco,  
<http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/wcs/4.1/configuration/guide/wcscfg41.html>
- [16] LaMarca, A. Chawathe, Y. Consolvo, S. Hightower, J. Smith, I. Scott, J. Sohn, T. Howard, J. Hughes, J. Potter, F. “Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild”, 2005
- [17] Αλέξανδρος Δ. Γιαμάς, “Αναζήτηση μελέτη και υλοποίηση μεθόδων πιστοποίησης και παρακολούθησης χρηστών (AAA- Authentication, Authorization, Accounting) για ασύρματα δίκτυα WLAN”, (Διπλωματική Εργασία)
- [18] Μαρία Λ. Κουιμτζή, “Μελέτη και Προσομοίωση Ασύρματων Τοπικών Δικτύων Υπολογιστικών Συστημάτων (WLAN): Εφαρμογές σε δίκτυα IEEE 802.11”, (Διπλωματική Εργασία)
- [19] Ζουμπουρλός Αλέξανδρος, “Μελέτη και Κατασκευή Εργαλείου Διαχείρισης για Ασύρματα Δίκτυα (WLANs) τεχνολογίας 802.11b και 802.11a”, (Διπλωματική Εργασία)