



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Πληροφορική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους Indoor Positioning Systems
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Απόστολος Πασιάς
Πατρώνυμο	Αντώνιος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ/ 14073
Επιβλέπων	Θ. Παναγιωτόπουλος, Καθηγητής

Ημερομηνία Παράδοσης **Δεκέμβριος 2015**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος
Καθηγητής

Γεώργιος Τσιχριτζής
Καθηγητής

Δημήτρης Αποστόλου
Επίκουρος Καθηγητής

Περίληψη

Από την αρχή της παρουσίας πάνω στη Γη, ο άνθρωπος ήθελε να γνωρίζει τη θέση του και τον προσανατολισμό του. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησε μεθόδους που μπορούσε να κατανοήσει σε κάθε στάδιο της εξέλιξής του. Από την παρατήρηση των ορατών ουράνιων σωμάτων, σήμερα χρησιμοποιεί τους δορυφόρους και τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ο εντοπισμός θέσης γενικότερα (localization ή positioning) είναι η τεχνική του προσδιορισμού της θέσης ενός αντικειμένου ή ανθρώπου στο χώρο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τις διάφορες τεχνικές και μεθόδους που εφαρμόζονται μέχρι σήμερα για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την γνωριμία του αναγνώστη με το πρόβλημα του εντοπισμού θέσης γενικότερα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ένας αρχικός προσδιορισμός του προβλήματος και των παραμέτρων του, καθώς και μια περιγραφή των στοιχείων που αποτελούν ένα σύστημα IPS (Indoor Positioning System).

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιλαμβάνονται οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατηγοριοποιήσεις των συστημάτων IPS, με βάση διάφορα κριτήρια όπως την περιοχή εφαρμογής, τον τρόπο μέτρησης της απόστασης, την αρχιτεκτονική και την τεχνολογία που χρησιμοποιείται κ.λπ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται μια εκτενής αναφορά στις μεθόδους και στις τεχνικές που χρησιμοποιούν τα συστήματα εντοπισμού θέσης σε εξωτερικούς και σε εσωτερικούς χώρους. Για τους εξωτερικούς χώρους γίνεται μια σύντομη αναφορά στα συστήματα GNSS (Global Navigation Satellite Systems), δίνοντας έμφαση στο GPS (Global Positioning System). Ειδικά για το GPS δίνεται μια γενική περιγραφή των υπολογισμών και των μεθόδων που χρησιμοποιεί. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια εκτενής περιγραφή των μεθόδων και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των αποστάσεων (TOA, TDOA, AOA, RSS, RTT) και τους αλγόριθμους υπολογισμού θέσης (triangulation, trilateration, Fingerprinting).

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιούν τα συστήματα IPS. Γίνεται αναφορά στις τεχνολογίες WLAN, WiFi, Bluetooth, Infrared, Ultrasound και RFID tags.

Στο έκτο κεφάλαιο, περιγράφονται τα ντετερμινιστικά και τα στοχαστικά μοντέλα διάδοσης ραδιοκυμάτων και παρουσιάζονται οι μηχανισμοί διάδοσης τους (free space propagation, reflection, diffraction, scattering) καθώς και το φαινόμενο Multipath. Επίσης γίνεται μια πρώτη αναφορά στην επίδραση του κάθε μηχανισμού διάδοσης στα συστήματα IPS.

Στα κεφάλαια επτά και οκτώ επιχειρείται δίνονται απλά παραδείγματα εφαρμογών που στηρίζονται (local based) ή χρησιμοποιούν (location aware) την πληροφορία θέσης που παράγουν τα συστήματα IPS.

Στο κεφάλαιο εννέα, παρουσιάζονται ορισμένα συστήματα IPS (Active Bat, Cricket, Sonitor, κ.λπ.) που παρέχονται ως έτοιμες λύσεις και γίνεται μια συγκριτική αναφορά στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματά τους.

Η παρούσα εργασία κλείνει με το κεφάλαιο δέκα, όπου παρουσιάζονται τα συμπεράσματα πάνω στις μεθόδους και στις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους, καθώς και τα περιθώρια εξέλιξής τους.

Abstract

Since its presence on Earth, the man wanted to know his position and orientation. For this purpose he used methods that could understand in every stage of its evolution. From the observation of visible celestial bodies, nowadays he uses satellites and dissemination of electromagnetic waves.

Positioning (or localization) in general is the process of determining the position of an object or person in the field.

This thesis studies the various techniques and methods applied to our days for indoor positioning

The first chapter is to familiarize the reader with the problem of positioning in general.

The second chapter is an initial identification of the problem and its parameters and a description of the components of an IPS (Indoor Positioning System).

The third chapter includes the most commonly used classifications of IPS systems, based on various criteria such as the area of application, measurement of the distance, architecture and technology, etc.

The fourth chapter is an extensive report on the methods and techniques used by the positioning system outdoors and indoors. For the outdoors there is a brief reference to the GNSS systems (Global Navigation Satellite Systems), focusing on GPS (Global Positioning System). Especially for the GPS there is an overall description of calculations and methods that are used. Then follows a comprehensive description of the methods and techniques used in the calculation of distances (TOA, TDOA, AOA, RSS, RTT) and position calculation algorithm (triangulation, trilateration, Fingerprinting).

Fifth chapter presents the wireless communication technologies used in IPS systems. Reference is made to WLAN technologies, WiFi, Bluetooth, Infrared, Ultrasound and RFID tags.

The sixth chapter describes the deterministic and stochastic radio propagation models and presents their propagation mechanisms (free space propagation, reflection, diffraction, scattering) and the phenomenon of Multipath. Also contains a first reference to the effect of any propagation mechanism to IPS systems.

In chapters seven and eight, there are some examples of the ways the position information produced by IPS systems can be used by location based and location aware applications.

Chapter nine presents some IPS systems (Active Bat, Cricket, Sonitor, etc.) provided as ready solutions with a comparative report on their advantages and disadvantages.

Chapter ten is the conclusion of this thesis, about the methods and techniques that are used in positioning indoors and their evolution margins.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	8
2	Indoor Positioning System - IPS.....	9
2.1	Περιγραφή προβλήματος	9
2.2	Βασικά στοιχεία ενός συστήματος IPS.....	10
3	Κατηγορίες συστημάτων εντοπισμού θέσης.....	11
3.1	Με βάση την περιοχή εφαρμογής	12
3.2	Με βάση τον τρόπο μέτρησης της απόστασης.....	12
3.3	Με βάση την αρχιτεκτονική	12
3.4	Με βάση την ασφάλεια	12
3.5	Με βάση την τεχνολογία.....	12
3.6	Με βάση το κέντρο υπολογισμού.....	12
4	Μέθοδοι και τεχνικές εντοπισμού θέσης	13
4.1	Εντοπισμός θέσης με δορυφόρους (Satellite based positioning).....	13
4.1.1	GNSS (Global Navigation Satellite Systems).....	13
4.1.2	GPS (Global Positioning System)	13
4.2	Επίγειος εντοπισμός θέσης (Terrestrial based positioning)	15
4.2.1	Τριγωνισμός - Triangulation.....	15
4.2.2	Τριπλευρισμός – Trilateration.....	16
4.2.3	Angle of Arrival (AOA)	17
4.2.4	Time of Arrival (TOA).....	19
4.2.5	Time Difference of Arrival (TDOA).....	20
4.2.6	Received Signal Strength - RSS	21
4.2.7	Fingerprinting.....	22
4.2.8	Round Trip Time (RTT).....	24
5	Ασύρματη επικοινωνία στα IPS.....	25
5.1	Ασύρματα τοπικά δίκτυα (WiFi LAN - WLAN).....	25
5.2	Bluetooth.....	26
5.3	Υπέρυθρες ακτίνες (Infrared-IR)	27
5.4	Υπέρηχοι (Ultrasound)	27
5.5	Radio Frequency Identification - RFID tags	28
6	Μοντέλα διάδοσης ραδιοσημάτων	30

6.1	Ντετερμινιστικά μοντέλα (Deterministic models)	30
6.2	Στοχαστικά μοντέλα (Stochastic models).....	31
6.3	Μηχανισμοί διάδοσης	31
6.3.1	Διάδοση σε ελεύθερο χώρο (free pace propagation).....	31
6.3.2	Αντανάκλαση (reflection).....	31
6.3.3	Περίθλαση (diffraction).....	32
6.3.4	Σκέδαση (scattering)	32
6.3.5	Multipath.....	32
7	Location Based Services (LBS)	32
7.1	Μέθοδοι εντοπισμού θέσης και LBS.....	33
8	Location Aware Services.....	34
8.1	Πλοήγηση σε χώρους γραφείων	34
8.2	Πλοήγηση πελάτη σε κατάστημα	34
9	Εφαρμογές IPS.....	35
9.1	Olivetti Active Badge Project (IR)	35
9.2	Firefly (IR)	36
9.3	Active Bat (Ultrasound)	37
9.4	Cricket (Ultrasound)	38
9.5	Sonitor (Ultrasound).....	38
9.6	WhereNet (RFID tags).....	39
9.7	RADAR (WLAN)	39
9.8	Ekahau (WLAN).....	40
9.9	COMPASS (WLAN)	40
9.10	Topaz (Bluetooth).....	41
9.11	Αξιολόγηση των IPS συστημάτων	42
9.11.1	IR IPS.....	42
9.11.2	Ultrasound IPS.....	42
9.11.3	RFID IPS.....	42
9.11.4	WLAN IPS.....	42
9.11.5	Bluetooth IPS.....	43
9.12	Συγκριτική παρουσίαση συμπερασμάτων για τα IPS	43
10	Συμπεράσματα	44
11	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45

1 Εισαγωγή

Από την αρχή της παρουσίας πάνω στη Γη, ο άνθρωπος ήθελε να γνωρίζει τη θέση του και τον προσανατολισμό του. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησε μεθόδους που μπορούσε να κατανοήσει σε κάθε στάδιο της εξέλιξής του. Από την παρατήρηση των ορατών ουράνιων σωμάτων, σήμερα χρησιμοποιεί τους δορυφόρους και τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ο εντοπισμός θέσης γενικότερα (localization ή positioning) είναι η τεχνική του προσδιορισμού της θέσης ενός αντικειμένου ή ανθρώπου στο χώρο [1]. Η τεχνικές και οι μέθοδοι μετρήσεων και υπολογισμού ποικίλουν και εξαρτώνται από το χώρο στον οποίο εφαρμόζονται και στον τρόπο που τα σημεία αναφοράς είναι ορατά στη μέθοδο που χρησιμοποιείται.

Έτσι ένα σύστημα που εφαρμόζεται σε εξωτερικούς χώρους μπορεί να έχει ως σημεία αναφοράς στους δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη, ενώ ένα σύστημα που εφαρμόζεται σε εσωτερικούς χώρους, μπορεί να στηρίζεται άλλες μεθόδους, όπως η μέτρηση της ισχύος των λαμβανόμενων σημάτων μιας ασύρματης επικοινωνίας.

Οι μέθοδοι εντοπισμού θέσης σε εξωτερικούς χώρους, χρησιμοποιούν ευρέως τα συστήματα GNSS (Global Navigation Satellite System), με γνωστότερο το σύστημα GPS (Global Positioning System) [2].

Το GPS είναι το πλέον διαδεδομένο σύστημα εντοπισμού θέσης σε εξωτερικούς χώρους που παρέχει ευρεία κάλυψη και ικανοποιητική ακρίβεια, το οποίο όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εσωτερικούς χώρους κυρίως επειδή απαιτεί την «οπτική» επαφή του δέκτη με το δορυφόρο (LOS – Line Of Site).

Γενικά, οι μέθοδοι εντοπισμού θέσης που εφαρμόζονται σε εξωτερικούς χώρους, δεν είναι βέβαιο ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς χώρους. Αυτό συμβαίνει για διάφορους λόγους όπως:

- οι εσωτερικοί χώροι είναι περίπλοκοι
- υπάρχει απώλεια σήματος επικοινωνίας λόγω των δομικών υλικών των κτηρίων
- υπάρχουν παρεμβολές από άλλες ηλεκτρονικές συσκευές
- οι ασύρματες επικοινωνίες σε κλειστούς χώρους είναι γενικά μη αξιόπιστες [3]
- η μέτρηση της απόστασης μέσω ασύρματης επικοινωνίας εξαρτάται απόλυτα από τη διάταξη του χώρου, τη θέση του ατόμου και τη συμπεριφορά του.

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους προσπαθεί να προσδιορίσει την κατά το δυνατό πιο ακριβή θέση ενός αντικειμένου μέσα σε ένα κτήριο, όπως πολυκαταστήματα, γραφεία, νοσοκομεία κ.λπ. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως Indoor Localization Systems (ILS) ή ως Indoor Positioning Systems (IPS).

Η τεχνική του εντοπισμού θέσης στηρίζεται κατά κανόνα στα εξής στοιχεία:

- Στα σημεία αναφοράς στο χώρο, τα οποία αναφέρονται ως **nodes, anchors, reference points** ή **beacons**.
- Σε αισθητήρες που αναφέρονται ως **tag** ή **device** και που φέρουν τα άτομα ή το αντικείμενο τη θέση του οποίου θέλουμε να υπολογίσουμε.
- Σε μεθόδους μέτρησης της απόστασης του αισθητήρα (και άρα του αντικειμένου) από τα σημεία αναφοράς.
- Σε μεθόδους αξιοποίησης των μετρήσεων της απόστασης για την εξαγωγή της πληροφορίας θέσης.

Φυσικά, είναι προφανές ότι η μέτρηση της απόστασης του αισθητήρα από τα σημεία αναφοράς γίνεται με ασύρματο μέσα, όπως GPS, WiFi, UltraSound, Bluetooth κ.λπ.

Η ευρεία διάδοση των φορητών συσκευών (και κυρίως των κινητών τηλεφώνων) είχε ως αποτέλεσμα τα περισσότερα συστήματα εντοπισμού θέσης να στηρίζονται πάνω σε αυτές. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς οι φορητές συσκευές διαθέτουν εκτός από την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ και ένα πλήθος αισθητήρων μέσω των οποίων μπορούν να ανιχνεύσουν τα σημεία αναφοράς του συστήματος ή να ανιχνευθούν από το σύστημα. Επίσης, υποστηρίζουν τουλάχιστον δύο ασύρματες τεχνολογίες, το WiFi και Bluetooth, που είναι δύο από τις πλέον χρησιμοποιούμενες στα συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

Τα περισσότερα συστήματα εντοπισμού θέσης, προσπαθούν να εντοπίσουν την θέση ενός ατόμου, μέσω του εντοπισμού της θέσης της φορητής συσκευής, με τη βοήθεια κάποιων σταθερών σημείων αναφοράς. Η παραγόμενη πληροφορία θέσης που προκύπτει, χρησιμοποιείται είτε για την πλοήγηση [4] του ατόμου στο χώρο είτε για την παρακολούθησή του [5].

Οι μέχρι τώρα συστήματα IPS στηρίζονται κυρίως στην επικοινωνία μέσω WiFi, Bluetooth, infrared και ultrasound.

2 Indoor Positioning System - IPS

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους (Indoor Positioning System – IPS) είναι εκείνο που αδιαλείπτως και σε πραγματικό χρόνο μπορεί να υπολογίζει τη θέση κάποιου ατόμου ή αντικειμένου (στόχου) σε ένα εσωτερικό χώρο. Τα σύστημα τα IPS συνήθως υπολογίζουν πρώτα τη θέση του αντικειμένου και στη συνέχεια το διαδρομή προς το αντικείμενο.

Ένα σύστημα IPS μπορεί να παρέχει τρεις διαφορετικού τύπου πληροφοριών θέσης:

- **Πληροφορία απόλυτης θέσης:** οι συντεταγμένες του στόχου ως προς τα σταθερά σημεία αναφοράς. Το IPS μετρά τις αποστάσεις του στόχου από τα σημεία αναφοράς. Με βάση αυτές τις μετρήσεις υπολογίζει την απόλυτη θέση του στόχου στο χώρο. Η επεξεργασία των μετρήσεων απαιτεί συνήθως πολλούς υπολογισμούς, ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια και τη μέθοδο που ακολουθείται. Η εξαγωγή τη απόλυτης πληροφορίας θέσης, απαιτεί την αρχική χαρτογράφηση του χώρου, ο οποίος πρέπει απαραίτητα να είναι αποτυπωμένος στο σύστημα IPS με την επιθυμητή λεπτομέρεια.
- **Πληροφορία σχετικής θέσης:** οι συντεταγμένες του στόχου ως προς κάποια κινούμενα σημεία αναφοράς. Στη περίπτωση αυτή το IPS εντοπίζει εκτός από την θέση του στόχου και την σχετική θέση κάποιων κινούμενων μερών του. Π.χ. ένα τέτοιο σύστημα IPS μπορεί να εντοπίσει την θέση ενός αυτοκινήτου (κινούμενο σημείο αναφοράς) σε ένα γκαράζ, αλλά και να γνωρίζει πότε κάποια πόρτα του αυτοκινήτου είναι ανοικτή (σχετική θέση ως προς το αυτοκίνητο).
- **Πληροφορία εγγύτητας θέσης:** σε ένα σύστημα IPS ως πληροφορία εγγύτητας θέσης (proximity location information) θεωρείται ο προσδιορισμός μιας ευρείας περιοχής μέσα στη οποία βρίσκεται ο στόχος. Π.χ. ένα αυτοκίνητο βρίσκεται μέσα στο γκαράζ, ένα άτομο βρίσκεται σε ένα δωμάτιο ενός κτηρίου. Μας ενδιαφέρει δηλαδή να γνωρίζουμε αν ο στόχος βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή και όχι η ακριβής θέση του.

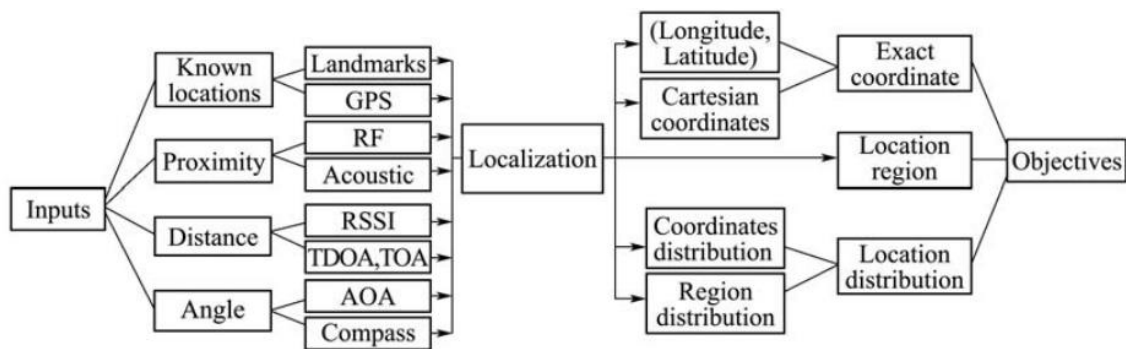
2.1 Περιγραφή προβλήματος

Ο εντοπισμός θέσης (positioning - localization) απαιτεί κατά κανόνα τη χρήση κάποιων σημείων αναφοράς σε έναν χαρτογραφημένο χώρο, έναν αισθητήρα που φέρει το άτομο ή το αντικείμενο που παρακολουθείται, καθώς και σε μεθόδους υπολογισμού της απόστασης του αισθητήρα (και άρα του αντικειμένου) από τα σημεία αναφοράς.

Μπορούμε να αναπαραστήσουμε το πρόβλημα ως ένα σύστημα [6] με εισόδους και εξόδους (Εικόνα 1). Ως είσοδοι στο σύστημα, είναι κάποια γνωστά σημεία αναφοράς (beacons, anchors), πληροφορίες εγγύτητας του στόχου και οι αποστάσεις από τα γνωστά σημεία αναφοράς.

Τα σημεία αναφοράς μπορεί να είναι είτε σταθερά (landmarks) με γνωστές τις μεταξύ τους αποστάσεις, είτε κινούμενες συσκευές που διαθέτουν αισθητήρα GPS. Στη δεύτερη περίπτωση το σύστημα **IPS** πρέπει να μπορεί να ενημερώνεται αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο για τη θέση των κινούμενων σημείων αναφοράς.

Η εγγύτητα του στόχου (Proximity) στα σημεία αναφοράς μετράται είτε μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RF-Radio Frequency) είτε μέσω ηχητικών κυμάτων (acoustic). Η απόσταση του στόχου από τα σταθερά σημεία αναφοράς (distance) υπολογίζεται είτε μετρώντας την εξασθένηση του λαμβανόμενου σήματος (RSSI- Received Signal Strength Indicator), είτε υπολογίζοντας το χρόνο που απαιτήθηκε για να φτάσει το σήμα από τα σημεία αναφοράς στο στόχο (TOA: Time of Arrival, TDOA: Time Difference of Arrival).



RF: Radio Frequency

RSSI: Received Signal Strength Indicator

TDOA: Time Difference of Arrival

TOA: Time of Arrival

Εικόνα 1: Η διαδικασία εντοπισμού θέσης

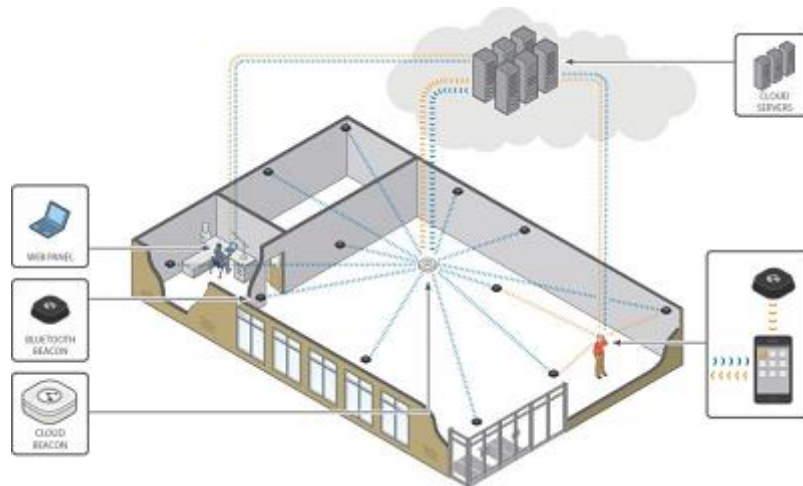
Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες, ένα σύστημα IPS αποτυπώνει είτε την ακριβή θέση του στόχου δίνοντας το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της είτε τις καρτεσιανές συντεταγμένες της θέσης του στόχου, είτε την ευρύτερη περιοχή στην οποία βρίσκεται ο στόχος.

Η πληροφορία θέσης είναι σημαντική για ένα πλήθος εφαρμογών στον τομέα των μεταφορών, των έξυπνων σπιτιών, στην ιατρική περίθαλψη κ.λπ. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές (location based application) γνωρίζοντας τη θέση του χρήστη είναι δυνατόν να του παρασχεθούν υπηρεσίες προσαρμοσμένες στις ανάγκες του, γνωρίζοντας την ακριβή του θέση. Π.χ. ένα σύστημα IPS εγκατεστημένο σε ένα πολυκατάστημα με πολλούς πελάτες, μπορεί να οδηγήσει έναν πελάτη σε ένα συγκεκριμένο προϊόν, γνωρίζοντας την ακριβή του θέση και μέσα από το κινητό τηλέφωνο του πελάτη.

2.2 Βασικά στοιχεία ενός συστήματος IPS

Ένα τυπικό σύστημα εντοπισμού θέσης συνήθως αποτελείται από τα παρακάτω δομικά στοιχεία:

- **Χωρική βάση δεδομένων (spatial database).** Η χωρική βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται πληροφορίες σχετικές με τη γεωμετρία του χώρου στον οποίο θα εγκατασταθεί το IPS. Η αποτύπωση της γεωμετρίας του χώρου είναι απαραίτητη για την οπτική αναπαράσταση της θέσης του στόχου στο χώρο. Παραδείγματα χωρικών βάσεων δεδομένων είναι η Oracle Spatial [7] και η PostGIS [8].
- **Φορητή συσκευή για την ανίχνευση θέσης.** Ο χρήστης ή το προς παρακολούθηση αντικείμενο φέρει μια φορητή κινητή συσκευή η οποία επικοινωνεί και ανιχνεύεται από το IPS.
- **Μηχανισμός εντοπισμού θέσης.** Συνήθως βασίζεται σε διάφορες τεχνολογίες όπως υπέρυθρες ακτίνες (infrared) και υπέρηχους (ultrasound) RFID tags και σε τεχνικές μέτρησης απόστασης, όπως η ισχύς λαμβανομένου σήματος (Received Signal Strength - RSS), Fingerprinting, ο τριπλευρισμός (trilateration), πολυπλευρισμός (Multilateration), τριγωνισμός (triangulation) κλπ.
- **Ασύρματο δίκτυο.** Στα συστήματα εντοπισμού θέσης, χρησιμοποιείται ευρέως η επικοινωνία των επιμέρους συσκευών μέσω WiFi στο πρότυπο IEEE 802.11b/g, επειδή ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι φτηνός και συνήθως προϋπάρχει στο χώρο.

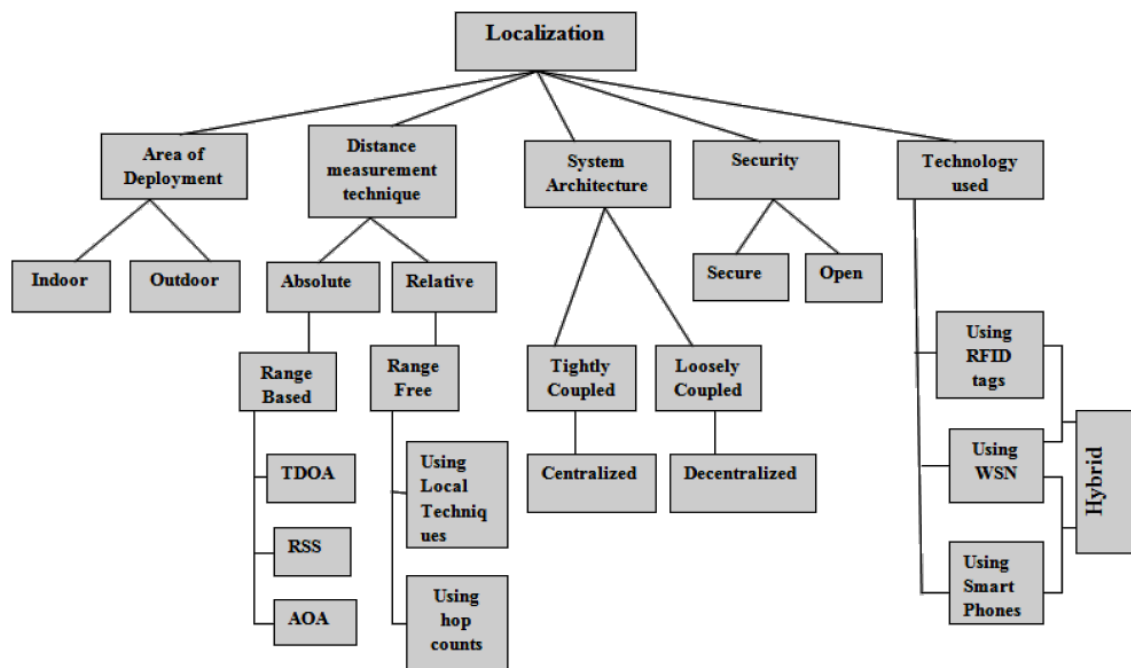


Εικόνα 2: Τυπικό παράδειγμα συστήματος IPS

3 Κατηγορίες συστημάτων εντοπισμού θέσης

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες κατηγοριοποιήσεις των συστημάτων εντοπισμού θέσης. Κάθε μια τα ομαδοποιεί σε μη αυστηρά καθορισμένες ομάδες. Αυτό οφείλεται στην πληθώρα των τεχνολογιών και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται, οι οποίες συχνά έχουν κοινά στοιχεία και επικαλύπτονται.

Γενικότερα μπορούν να ταξινομηθούν χρησιμοποιώντας ως κριτήριο την τεχνολογία που χρησιμοποιούν, την περιοχή εφαρμογής τους, την αρχιτεκτονική τους κ.λπ. όπως φαίνεται στην Εικόνα 3 [1] [9].



Εικόνα 3: Classification of Localization

3.1 Με βάση την περιοχή εφαρμογής

Η πλέον χρησιμοποιούμενη κατηγοριοποίηση είναι αυτή που έχει ως κριτήριο την περιοχή εφαρμογής (area of deployment), αν δηλαδή εφαρμόζεται σε εξωτερικό (**outdoor**) ή εσωτερικό χώρο (**indoor**).

Η κατηγοριοποίηση είναι αναγκαία επειδή ένα σύστημα IPS ακόμα και αν μπορεί να λειτουργήσει και σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους είναι βέβαιο ότι δεν θα έχει την ίδια απόδοση. Έτσι π.χ. ένα σύστημα που στηρίζεται στο GPS δεν μπορεί να έχει την ίδια ακρίβεια σε έναν εσωτερικό χώρο, λόγω των δομικών υλικών των κτηρίων, ενώ ένα σύστημα που στηρίζεται στην τεχνολογία Infrared ή Bluetooth δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε εξωτερικούς χώρους λόγω της μικρής εμβέλειας.

3.2 Με βάση τον τρόπο μέτρησης της απόστασης

Μια άλλη κατηγοριοποίηση βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο μετρείται η απόσταση του στόχου από τα σημεία αναφοράς και αν η ζητούμενη πληροφορία είναι η ακριβής (**Absolute**) θέση του στόχου ή η σχετική (**Relative**) θέση του ως προς τα σημεία αναφοράς.

Η απόσταση υπολογίζεται είτε μέσω της διαφοράς του χρόνου άφιξης (Time Difference Of Arrival - TDOA) που είναι ο χρόνος διάδοσης του σήματος επικοινωνίας από τον πομπό προς το δέκτη, είτε με τη ισχύ του λαμβανόμενου σήματος (Received Signal Strength - RSS), είτε μετρώντας τη γωνία λήψης του σήματος (Angle Of Arrival – AoA).

3.3 Με βάση την αρχιτεκτονική

Με βάση την αρχιτεκτονική τα συστήματα εντοπισμού θέσης κατηγοριοποιούνται σε στενά συνδεδεμένα (**Tightly Coupled**) και σε χαλαρά συνδεδεμένα (**Loosely Coupled**).

Στην πρώτη κατηγορία οι κόμβοι (στόχος και σημεία αναφοράς) μεταδίδουν συνεχώς δεδομένα στον server του συστήματος μέσω ενσύρματης ή ασύρματης επικοινωνίας, όπου γίνεται και η επεξεργασία και οι ανάλογοι υπολογισμοί. Στη δεύτερη κατηγορία οι κόμβοι επικοινωνούν ο ένας με τον άλλον χωρίς να υπάρχει κεντρικός server. Ο κάθε κόμβος υπολογίζει τη δική του θέση με βάση τις πληροφορίες θέσης που λαμβάνει από γειτονικούς κόμβους.

3.4 Με βάση την ασφάλεια

Με κριτήριο την ασφάλεια τα συστήματα IPS μπορούν κατηγοριοποιηθούν σε ασφαλή (**secure**) και ανοικτά (**open**).

Η προφανής διαφορά είναι ότι στα ασφαλή συστήματα IPS η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων και του server γίνεται με ασφαλή τρόπο (encrypted).

3.5 Με βάση την τεχνολογία

Με βάση την τεχνολογία την οποία χρησιμοποιείται, τα συστήματα IPS κατηγοριοποιούνται σε αυτά που χρησιμοποιούν ετικέτες αναγνωριστικών μέσω ραδιοσυχνοτήτων (**Radio Frequency Identification - RFID tags**), σε αυτά που κάθε κόμβος διαθέτει ασύρματο αισθητήρα (**Wireless Sensor Nodes**) και σε αυτά που χρησιμοποιούν έξυπνες κινητές συσκευές (**smart phones, tablets κ.λπ.**). Υπάρχουν επίσης και κάποια υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν συνδυαστικά κάποιες ή όλες από τις παραπάνω τεχνολογίες.

3.6 Με βάση το κέντρο υπολογισμού

Τέλος, μια άλλη κατηγοριοποίηση των συστημάτων που εξαρτάται από την αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται και δεν φαίνεται στην Εικόνα 3, διαχωρίζει τα συστήματα δύο κατηγορίες: σε **mobile-based** και **network-based** [10].

Στην πρώτη κατηγορία, ο χρήστης έχει μια συσκευή η οποία υπολογίζει η ίδια την απόστασή της από τους πομπούς που βρίσκονται στα σημεία αναφοράς, μέσω του λαμβανόμενου σήματος.

Στη δεύτερη κατηγορία, η συσκευή του χρήστη στέλνει σήματα στους κόμβους του δικτύου μέσω ασύρματης επικοινωνίας ή ανιχνεύεται από αυτούς και στη συνέχεια το δίκτυο υπολογίζει την θέση του χρήστη (π.χ. RFID tags).

4 Μέθοδοι και τεχνικές εντοπισμού θέσης

Στα συστήματα εντοπισμού θέσης έχουν προταθεί και ήδη χρησιμοποιούνται πολλές τεχνικές και μέθοδοι για τον προσδιορισμό θέσης. Στην πράξη έχει διαπιστωθεί ότι όλες οι μέχρι τώρα μέθοδοι ενώ μπορούν γενικότερα να εφαρμοστούν, έχουν η καθεμία τις δικές της αδυναμίες και περιορισμούς. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται απόλυτα από την περιοχή εφαρμογής και τις ελάχιστες προδιαγραφές του συστήματος.

Οι τεχνικές υπολογισμού θέσης διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: σε αυτές που βασίζονται σε δορυφόρους (satellite based) και σε αυτές που βασίζονται σε επίγεια συστήματα (terrestrial based). Η πρώτη κατηγορία βρίσκει εφαρμογή σε εξωτερικούς χώρους ενώ η δεύτερη κυρίως σε εσωτερικούς χώρους.

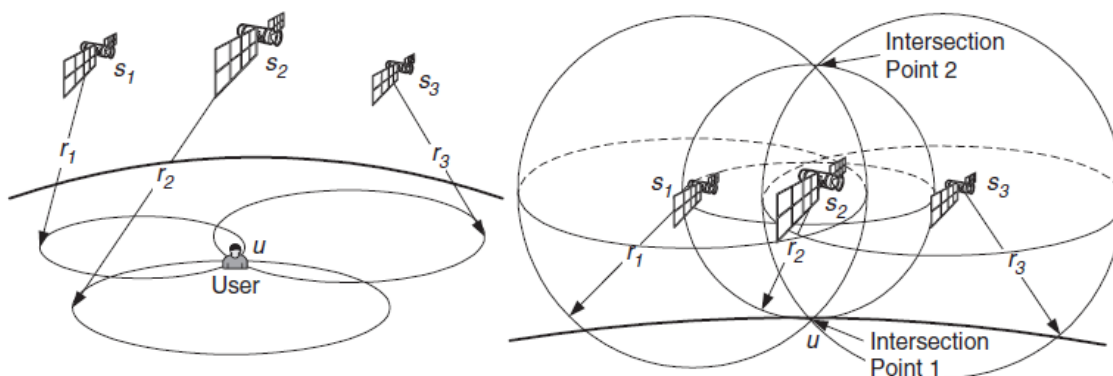
4.1 Εντοπισμός θέσης με δορυφόρους (Satellite based positioning)

Η χρήση δορυφόρων στον εντοπισμό θέσης έχει την αρχή της στη δεκαετία του 1960. Τα συστήματα που στηρίζονται στους δορυφόρους έχουν τη γενική ονομασία GNSS (Global Navigation Satellite System).

4.1.1 GNSS (Global Navigation Satellite Systems)

Τα πιο γνωστά και σε πλήρη λειτουργία **GNSS** συστήματα είναι το **GPS** (Global Positioning System) που αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. και το **GLONASS** (GLObal NAVigation Satellite System) που είναι ρωσικού σχεδιασμού. Επίσης υπάρχουν και άλλα υπό ανάπτυξη συστήματα όπως τα **GALILEO** και **Compass**.

Τα GNSS είναι range based συστήματα (3) και ως εκ τούτου βασίζονται στην γνωστή θέση κάποιων σημείων αναφοράς (δορυφόροι) και στις αποστάσεις από αυτά [11].



Εικόνα 4: Υπολογισμός θέσης στα GNSS

4.1.2 GPS (Global Positioning System)

Το πλέον χρησιμοποιημένο GNSS σύστημα είναι το **GPS** το οποίο αρχικά αναπτύχθηκε για στρατιωτικούς σκοπούς και στη συνέχεια δόθηκε προς ευρεία χρήση. Βασίζεται σε ένα πλέγμα περισσότερων των τριάντα τεχνητών δορυφόρων. Όλοι οι δορυφόροι βρίσκονται σε ύψος 12.552 μιλίων (20.200 χιλιομέτρων) πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και εκτελούν δύο περιστροφές γύρω από τη Γη κάθε 24ωρο. Σε κάθε σημείο της επιφάνειας της Γης έξι έως δώδεκα δορυφόροι είναι πάντα άμεσα ορατοί.

Για την σωστή λειτουργία του συστήματος υπάρχουν ένα επανδρωμένο και τέσσερα μη επανδρωμένα κέντρα ελέγχου των δορυφόρων, εγκατεστημένα σε ισάριθμες περιοχές του πλανήτη. Τα κέντρα αυτά φροντίζουν για τη σωστή ταχύτητα των δορυφόρων, το υψόμετρο και την επάρκειά τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, εφαρμόζουν όλες τις διορθωτικές ενέργειες που αφορούν στο σύστημα χρονομέτρησης των δορυφόρων, ώστε να αποτρέπεται η παροχή λανθασμένων πληροφοριών στους χρήστες του συστήματος.

Στην περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος, θα θεωρήσουμε ότι η επιφάνεια της Γης είναι επίπεδη και δεν υπάρχουν υψομετρικές διαφορές. Ο χρήστης έχει μια συσκευή (π.χ. smart phone), η οποία διαθέτει τον ανάλογο δέκτη του δορυφορικού σήματος, ο οποίος έχει εντοπίσει τα σήματα τριών τουλάχιστον δορυφόρων.

Για απλοποίηση της περιγραφής θεωρούμε ότι τα σήματα των δορυφόρων εκπέμπονται σφαιρικά με κέντρο τον κάθε δορυφόρο. Γνωρίζοντας την θέση του δορυφόρου και την υπολογισμένη απόσταση του από τον δέκτη, μπορούμε να αποτυπώσουμε την τομή της κάθε σφαίρας εκπομπής των δορυφόρων με την επιφάνεια της Γης (Εικόνα 4). Επειδή έχουμε υποθέσει ότι δεν υπάρχουν υψομετρικές διαφορές στην επιφάνεια της Γης, η θέση του χρήστη βρίσκεται στο σημείο τομής των τομών των σφαιρών εκπομπής των δορυφόρων με την επιφάνεια της Γης.

Στην πραγματικότητα για τον ακριβή εντοπισμό θέσης πάνω στην επιφάνεια της Γης, όπου φυσικά υπάρχουν υψομετρικές διαφορές, απαιτούνται τέσσερις τουλάχιστον δορυφόροι. Ο λόγος είναι απλός: από την τομή των σφαιρών εκπομπής των δύο δορυφόρων προκύπτει ένας κύκλος με όλες τις πιθανές θέσεις που μπορεί να βρίσκεται ο χρήστης. Η τομή του κύκλου αυτού με την σφαίρα εκπομπής του τρίτου δορυφόρου δίνει δύο πιθανά σημεία θέσης. Τέλος η σφαίρα εκπομπής του τέταρτου δορυφόρου δίνει το πραγματικό σημείο θέσης του χρήστη. Στο αρχικό παράδειγμα ως τέταρτη σφαίρα λάβαμε την ίδια τη Γη. Η χρήση τεσσάρων και όχι τριών δορυφόρων επιλύει και ένα άλλο θέμα, όπως θα φανεί στα παρακάτω.

Ο κάθε δορυφόρος διαθέτει ένα ατομικό ρολόι εξαιρετικής ακριβείας. Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως για το δέκτη του χρήστη, ο οποίος διαθέτει ένα ρολόι χαμηλότερης ακριβείας (λόγω κόστους). Κάθε σήμα που εκπέμπει ο δορυφόρος περιέχει εκτός από την πληροφορία της θέσης του και την ώρα την οποία στάλθηκε το σήμα (με ακρίβεια nanoseconds).

Ο δέκτης r λαμβάνει το σήμα από το δορυφόρο s και υπολογίζει την απόσταση από τον τύπο:

$$r_r^s = c \cdot (t_r - t_\varepsilon) \quad (1)$$

όπου $c = 299792458 \text{ m/s}$ η ταχύτητα του φωτός, t_r ο χρόνος του ρολογιού του δέκτη και t_ε ο χρόνος του ρολογιού του δορυφόρου κατά την αποστολή του σήματος [10].

Επίσης, στο καρτεσιανό σύστημα με κέντρο το κέντρο της Γης, η απόσταση δέκτη – δορυφόρου υπολογίζεται

$$r_r^s = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2} \quad (2)$$

Έχοντας τρεις ταυτόχρονες μετρημένες αποστάσεις από τρεις δορυφόρους (Εικόνα 4), και αφού επιλύσουμε το σύστημα τριών εξισώσεων (μια για κάθε δορυφόρο), προκύπτουν οι συντεταγμένες (X_r, Y_r, Z_r) της θέσης του δέκτη r .

Στην πραγματικότητα ενώ τα ρολόγια των δορυφόρων είναι πλήρως συγχρονισμένα και υψηλής ακριβείας, δε συμβαίνει το ίδιο με το δέκτη, ο οποίος διαθέτει ρολόι μικρότερης ακριβείας. Επειδή ο υπολογισμός γίνεται με σταθερά την ταχύτητα του φωτός, η ακρίβεια του ρολογιού είναι σημαντική. Με βάση τα παραπάνω, έστω ότι η διαφορά των ρολογιών δορυφόρου και δέκτη είναι

$$\delta t = t_r - t_s \quad (3)$$

Όταν ο δέκτης r λάβει το σήμα από το δορυφόρο s υπολογίζει την απόσταση:

$$\rho_r^s = c \cdot [(t_r - t_\varepsilon) + \delta t] \quad (4)$$

Επομένως κατά τον υπολογισμό, εκτός των (X_r, Y_r, Z_r) η διαφορά των ρολογιών δt είναι μια τέταρτη άγνωστη μεταβλητή, η οποία πρέπει να προσδιοριστεί.

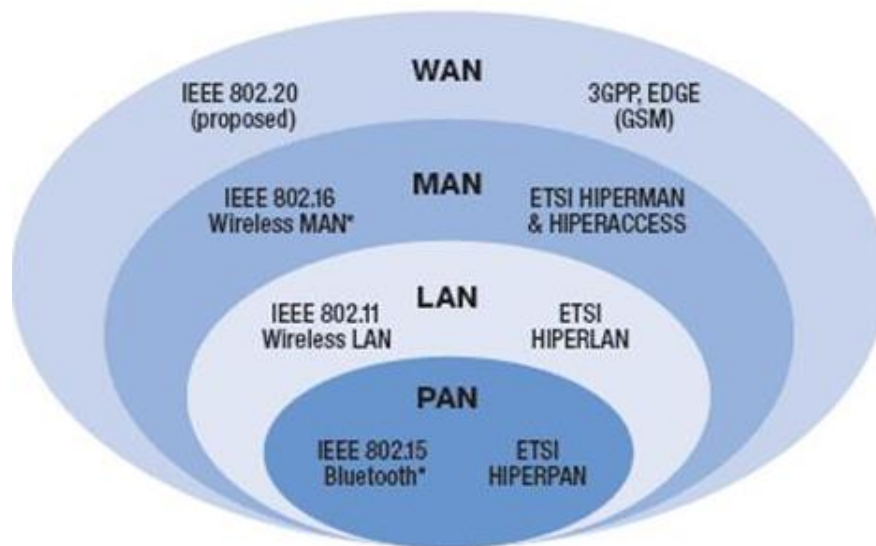
Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, χρειαζόμαστε μια επιπλέον μέτρηση από έναν τέταρτο δορυφόρο. Έτσι, προκύπτει σύστημα τεσσάρων εξισώσεων με τέσσερις αγνώστους $X_r, Y_r, Z_r, \Delta t$. Επιλύοντας το σύστημα έχουμε υπολογίσει τις συντεταγμένες X_r, Y_r, Z_r και επιπλέον υπολογίζοντας το δt ο δέκτης μπορεί να συγχρονίζει διαρκώς το ρολόι του με αυτό των δορυφόρων.

4.2 Επίγειος εντοπισμός θέσης (Terrestrial based positioning)

Για τον εντοπισμός θέσης σε εσωτερικούς χώρους, τα συστήματα IPS συνήθως χρησιμοποιούν το ήδη εγκατεστημένο ασύρματο δίκτυο WiFi και την τεχνολογία Bluetooth των κινητών συσκευών.

Στα παρακάτω θα αναφερθούμε κατά κύριο λόγο σε Wireless LAN και Bluetooth LAN (Εικόνα 5) και στους τρόπους υπολογισμού της απόστασης του στόχου ο οποίος θα αναφέρεται ως **target** ή **unknown** από τα σημεία αναφοράς τα οποία θα αναφέρονται ως **beacons**, **anchors** ή **landmarks**.

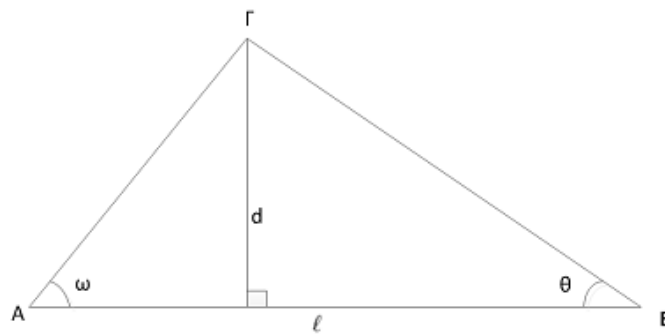
Οι θέσεις των σημείων αναφοράς (κινούμενων ή σταθερών) θεωρούνται γνωστές και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των θέσεων των στόχων μέσα στο χώρο.



Εικόνα 5: Global Wireless Standards

4.2.1 Τριγωνισμός - Triangulation

Ο τριγωνισμός είναι η μέθοδος υπολογισμού της απόστασης ενός αντικειμένου, μέσω γνωστών γωνιών παρατήρησης από σημεία για τα οποία γνωρίζουμε την μεταξύ τους απόσταση.



Εικόνα 6: Triangulation

Έστω ότι δύο παρατηρητές βρίσκονται στα σημεία A, B τα οποία βρίσκονται σε απόσταση l (Εικόνα 6). Ένας παρατηρητής στο σημείο A βλέπει το Γ υπό γωνία παρατήρησης ω , ενώ ένας άλλος παρατηρητής στο σημείο B βλέπει το Γ υπό γωνία παρατήρησης θ .

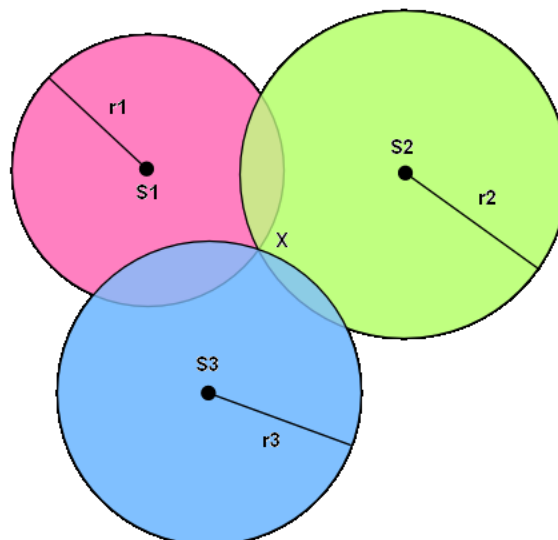
Έχοντας στη διάθεσή τις τιμές των l, ω, θ μπορούμε με απλούς τύπους της τριγωνομετρίας να υπολογίσουμε την απόσταση d ως εξής:

$$l = \frac{d}{\tan(\omega)} + \frac{d}{\tan(\theta)} = d \left(\frac{\cos(\omega)}{\sin(\omega)} + \frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)} \right) = d \frac{\sin(\omega + \theta)}{\sin(\omega) \sin(\theta)} \Leftrightarrow$$

$$d = l \frac{\sin(\omega) \sin(\theta)}{\sin(\omega + \theta)} \quad (5)$$

4.2.2 Τριπλευρισμός – Trilateration

Ο Τριπλευρισμός είναι η μέθοδος υπολογισμού της θέσης ενός αντικειμένου στο χώρο, γνωρίζοντας την απόστασή του από τρία σημεία αναφοράς [13].



Εικόνα 7: Trilateration - 3D

Έστω ότι έχουμε στο χώρο τρία σημεία αναφοράς: το $S_1(x_1, y_1, z_1)$, το $S_2(x_2, y_2, z_2)$ και το $S_3(x_3, y_3, z_3)$ (Εικόνα 7), και ένα σημείο $X(x, y, z)$ που βρίσκεται σε απόσταση r_1, r_2, r_3 από τα σημεία αναφοράς.

Από τον τύπο της ευκλείδειας απόστασης έχουμε:

$$\begin{aligned} r_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \\ r_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \\ r_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Η ακριβής θέση του X στο χώρο μπορεί τώρα να υπολογιστεί, με την επίλυση του παραπάνω συστήματος εξισώσεων, από την οποία θα προκύψουν οι συντεταγμένες (x, y, z) .

Το σύστημα (6) επιλύεται με διάφορους τρόπους μιας από τις οποίες είναι η μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων. Η λεπτομερής ανάπτυξη των μεθόδων περιγράφονται στα [11] [12] [13].

4.2.3 Angle of Arrival (AOA)

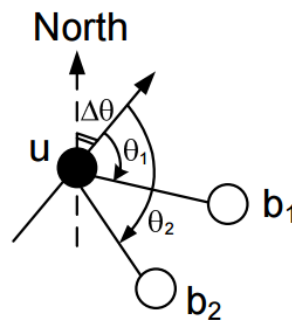
Η μέθοδος AOA [16] στα συστήματα IPS, βασίζεται στον υπολογισμό της θέσης και της κατεύθυνσης ενός κινούμενου στόχου, με βάση τη γωνία λήψης των σημάτων που εκπέμπονται από τα σημεία αναφοράς, με χρήση του τριγωνισμού.

Θεωρούμε ότι όλα τα σημεία αναφοράς (στο εξής beacons) διαθέτουν μη-κατευθυντική (omnidirectional) κεραία και οι στόχοι (στο εξής unknowns) έχουν τη δυνατότητα να γνωρίζουν τη γωνία με την οποία φτάνουν τα σήματα από τα beacons. Στη συνέχεια θα δούμε τον τρόπο με τον οποίο οι unknowns υπολογίζουν την θέση τους και την κατεύθυνση τους, ως προς τα beacons, γνωρίζοντας μόνο τη γωνία λήψης των σημάτων.

Ως AOA θεωρούμε τη γωνία που σχηματίζεται από την διεύθυνση διάδοσης του σήματος που και μιας διεύθυνσης αναφοράς η οποία είναι γνωστή ως προσανατολισμός (orientation). Ο προσανατολισμός θεωρείται σταθερός και όλες οι γωνίες λήψης υπολογίζονται με βάση αυτόν κατά τη φορά του ωρολογίου. Όταν ο προσανατολισμός είναι στις 0° δείχνει το βορρά και η μετρούμενη AOA ονομάζεται απόλυτη (**absolute**), διαφορετικά ονομάζεται σχετική (**relative**).

Τα ίδια τα beacons δεν γνωρίζουν τον προσανατολισμό τους, ενώ κάθε unknown αρχικά μπορεί να γνωρίζει (Εικόνα 8) ή να μην γνωρίζει (Εικόνα 9) τον δικό του προσανατολισμό στο χώρο. Και στις δύο περιπτώσεις ο υπολογισμός μπορεί να γίνει με τη μέθοδο του τριγωνισμού.

Αρχικά θεωρούμε ότι ο unknown γνωρίζει τον προσανατολισμό του (Εικόνα 8). Οι γωνίες θ_1 και θ_2 είναι οι AOA που λαμβάνονται από τα beacons b_1 και b_2 αντίστοιχα.

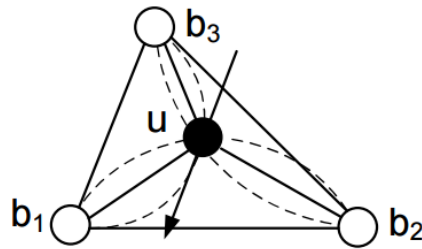


Εικόνα 8: Localization with orientation information

Θεωρώντας ότι ο προσανατολισμός του unknown είναι γνωστός $\Delta\theta$, οι απόλυτες AOA από τα beacons b_1 και b_2 είναι

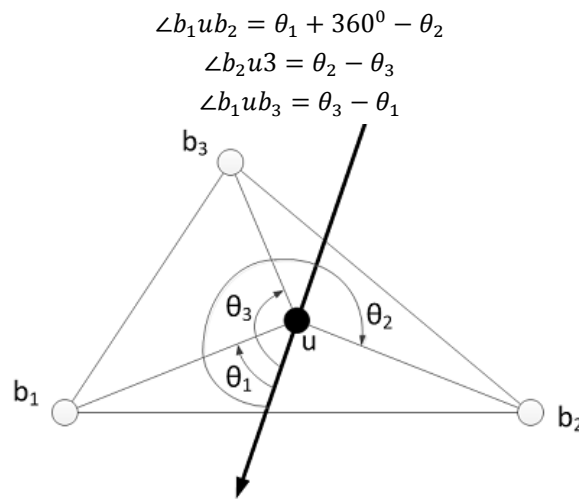
$$AOA_i = (\theta_i + \Delta\theta)(\text{mod } 2\pi), \quad i = 1, 2 \quad (7)$$

Κάθε απόλυτη AOA που λαμβάνεται από τα beacons περιορίζει τη θέση του unkownh πάνω σε μια ακτίνα που διέρχεται από το beacon και τον unkownh. Έτσι, με γνωστές τις θέσεις των beacons, η θέση του unkownh μπορεί να προσδιοριστεί πάνω στην τομή των ακτινών δύο τουλάχιστον μη συνευθειακών beacons.



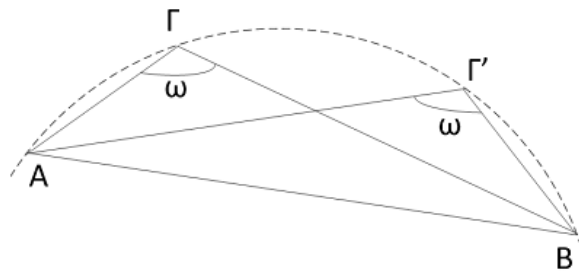
Εικόνα 9: Localization without orientation information

Στη περίπτωση που ο αρχικός προσανατολισμός του unkownh δεν είναι γνωστός (Εικόνα 9), και δεν είναι δυνατή η λήψη απόλυτων AOA, ο υπολογισμός μπορεί να στηριχθεί διαφορά των AOA τριών beacons. Έτσι οι γωνίες $\angle b_1ub_2$, $\angle b_2ub_3$, $\angle b_1ub_3$ μπορούν να υπολογιστούν μέσω των σχετικών AOA (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Σχετικές AOA

Γνωρίζουμε ότι σε έναν κύκλο αν θεωρήσουμε μια χορδή AB και δύο σημεία Γ και Γ' τα οποία σχηματίζουν γωνία ω με τα σημεία A και B , τότε τα Γ και Γ' ανήκουν στο ίδιο τόξο του κύκλου.



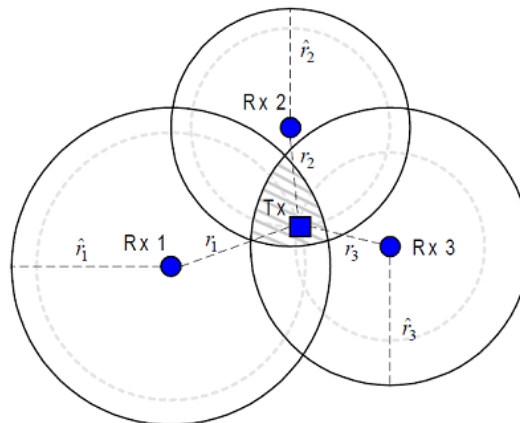
Έτσι, η γωνία $\angle b_1ub_2$ και η χορδή b_1b_2 περιορίζουν τη θέση του u πάνω στο τόξο που διέρχεται από τα b_1 , u , b_2 (Εικόνα 9). Ομοίως η γωνία $\angle b_1ub_3$ και η χορδή b_1b_3 περιορίζουν τη θέση του

υ πάνω στο τόξο που διέρχεται από τα b_1, u, b_3 και η γωνία $\angle b_2 u b_3$ και η χορδή $b_2 b_3$ περιορίζουν τη θέση του υ πάνω στο τόξο που διέρχεται από τα b_2, u, b_3 .

Οι τομές των τριών τόξων (μέσω τριγωνισμού) προσδιορίζουν τη θέση του υ.

4.2.4 Time of Arrival (TOA)

Μία εκδοχή χρήσης του χρόνου άφιξης του σήματος (TOA) αναφερθεί στην 4.1 όπου έγινε μια απλουστευμένη περιγραφή των GNSS και του GPS.



Εικόνα 11: Time of Arrival geolocation method

Η μέθοδος TOA [17] στηρίζεται στον προσδιορισμό του χρόνου διάδοσης (propagation time) του σήματος που εκπέμπει ένας πομπός σε πολλούς δέκτες. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι υπολογισμού του TOA or TDOA, όπως μέσω των παλμών (pulse ranging), της φάσης (phase ranging) και τεχνικές διάδοσης φάσματος (spread-spectrum techniques).

Αφού υπολογιστεί ο χρόνος άφιξης του σήματος (TOA), η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη μπορεί να υπολογιστεί εύκολα, δεδομένου ότι η ταχύτητα διάδοσης ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος είναι κατά συνθήκη περίπου ίσος με την ταχύτητα του φωτός $c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$.

Η αναμενόμενη απόσταση του δέκτη βρίσκεται σε έναν κύκλο με κέντρο τον πομπό. Αν έχουμε στη διάθεσή μας τρεις πομπούς, από τους οποίους μετράμε τρεις TOA, τότε οι συντεταγμένες του δέκτη είναι εύκολο να προσδιοριστούν.

Λόγω παρεμβολών και λόγω της μη διασφαλισμένης οπτικής επαφής δέκτη – πομπού (No Line of Site – NLOS), η απόσταση που υπολογίζεται μέσω του TOA είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερη από την πραγματική όπως φαίνεται και στην Εικόνα 11, όπου με $\hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{r}_3$ είναι οι υπολογιζόμενες αποστάσεις και r_1, r_2, r_3 οι πραγματικές.

Τρεις μετρήσεις TOA καθορίζουν όχι την πραγματική θέση του δέκτη, αλλά μια περιοχή μέσα στην οποία αυτός βρίσκεται, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11. Με τη μέθοδο των μη γραμμικών ελάχιστων τετραγώνων (Nonlinear Least Square ή NL-LS), μπορούμε να έχουμε την καλύτερη πρόβλεψη ελαχιστοποιώντας τα λάθη [18]:

$$e_i(x, y) = \hat{r}_i - \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

Στην παραπάνω σχέση, (X_i, Y_i) είναι οι συντεταγμένες του δέκτη και (x, y) οι συντεταγμένες του πομπού.

Μερικές φορές ο χρόνος εκπομπής του σήματος t_0 υπολογίζεται ως μεταβλητή και αν θεωρήσουμε ως t_i το χρόνος λήψης του σήματος από το δέκτη, ο τύπος που δίνει το λάθος στον υπολογισμό της απόστασης γίνεται:

$$e_i(x, y, t_0) = c \cdot (t_i - t_0) \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (9)$$

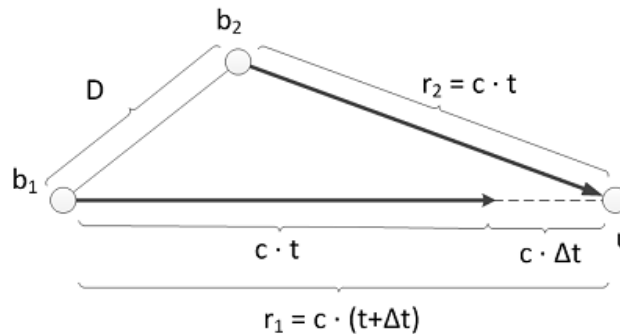
Για μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό της απόστασης χρειάζονται περισσότερες από τρεις μετρήσεις TOA από τον ίδιο πομπό.

4.2.5 Time Difference of Arrival (TDOA)

Η μέθοδος TDOA [17] βασίζεται στην εκτίμηση των χρόνων άφιξης (TOA) των σημάτων του δύο πομπών από τον ίδιο δέκτη.

Έστω ότι δύο beacons b_1, b_2 εκπέμπουν συγχρονισμένα και με γνωστή περίοδο δύο σήματα σε διαφορετική συχνότητα (έστω ακουστικά σήματα). Έστω, ότι το σήμα του b_2 ανιχνεύεται στον υπκνωρη u τη χρονική στιγμή t και το σήμα του b_1 ανιχνεύεται μετά από Δt χρόνο (Εικόνα 12).

Δεν γνωρίζουμε τον χρόνο εκπομπής των σημάτων από τα beacons παρα μόνο ότι και οι δύο εκπέμπουν την ίδια χρονική στιγμή. Επομένως, αφού δεν είναι γνωστός ο χρόνος t , δεν μπορούμε να εκτιμήσουμε τις αποστάσεις r_1, r_2 . Μπορούμε να πούμε ότι ο b_2 βρίσκεται πιο κοντά από τον b_1 και μάλιστα σε απόσταση $c \cdot \Delta t$.



Εικόνα 12: Δύο ταυτόχρονα εκπεμπόμενα σήματα φθάνουν με διαφορά χρόνου

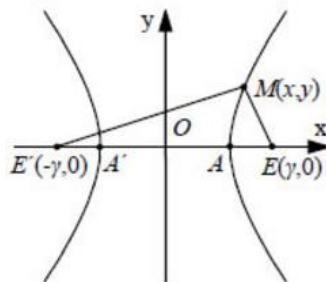
Η απόσταση D των beacons b_1, b_2 είναι γνωστή, η διαφορά των δύο αποστάσεων r_1, r_2 επίσης γνωστή, επομένως οι πιθανές θέσεις του u στις δύο διαστάσεις είναι η υπερβολή

$$|r_1 - r_2| = c \cdot \Delta t \quad (10)$$

Ο γενικός τύπος της υπερβολής (Εικόνα 13) είναι:

$$|ME' - ME| = 2a \quad (11)$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad \mu\epsilon \quad b = \sqrt{c^2 - a^2} \quad \text{και} \quad E'E = 2c \quad (12)$$



Εικόνα 13: Γραφική παράσταση υπερβολής

Από την (12) και για $2\alpha = c \cdot \Delta t$ και $2\gamma = D$ (Εικόνα 12) έχουμε:

$$\frac{4x^2}{(c \cdot \Delta t)^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad \mu\epsilon \quad b = \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - (c \cdot \Delta t)^2} \quad (13)$$

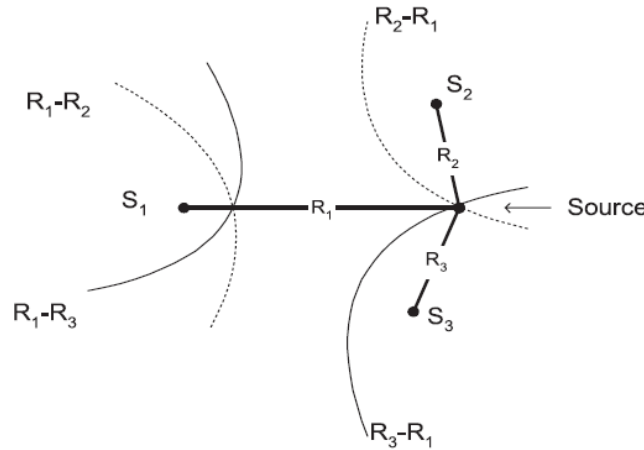
Και τελικά

$$\frac{4x^2}{(c \cdot \Delta t)^2} + \frac{4y^2}{D^2 - (c \cdot \Delta t)^2} = 1 \quad (14)$$

Όπου x, y οι συντεταγμένες του unknown u .

Επομένως με την συγχρονισμένη εκπομπή σήματος από δύο beacons, μπορούμε να εκτιμήσουμε την υπερβολή πάνω στην οποία βρίσκεται ο unknown u .

Έστω τώρα ότι έχουμε στη διάθεσή μας πολλούς beacons οι οποίοι με συγχρονισμένο περιοδικό τρόπο εκπέμπουν ένα σήμα (Εικόνα 14). Παίρνοντας ανά δύο τους beacons και υπολογίζοντας το TDOA των περιοδικών σημάτων τους, προκύπτουν πολλές υπερβολές, μια για κάθε ζεύγος beacons. Η τομή των υπερβολών αυτών καθορίζει και τη θέση του unknown u .



Εικόνα 14: TDOA - 2-D Hyperbolic Position Location Solution

Και στον υπολογισμό του TDOA στη μέτρηση της διαφοράς του χρόνου λήψης των σημάτων υπεισέρχεται σφάλμα [17] που δίνεται από τη σχέση:

$$e_{i,j}(x, y) = c \cdot \widehat{\tau}_{i,j} - \left[\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2} \right], \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

Όπου $\widehat{\tau}_{i,j}$ η TDOA μέτρηση από τα beacons b_i, b_j αντίστοιχα.

Υπάρχουν μέθοδοι [20] [21], που επιλύουν το πρόβλημα της εκτίμησης της θέσης μέσω των υπερβολών. Συγκρινόμενη με τη μέθοδο TOA η μέθοδος TDOA πλεονεκτεί στο γεγονός ότι δεν απαιτεί συγχρονισμό του ρολογιού του δέκτη με τον πομπό. Αντίθετα απαιτεί αυστηρό συγχρονισμό των πομπών που βρίσκονται στα σημεία αναφοράς.

4.2.6 Received Signal Strength - RSS

Η ισχύς ενός σήματος που λαμβάνει ένας δέκτης (received signal strength – RSS) από έναν πομπό, είναι μικρότερη από την ισχύ με την οποία εκπέμπει ο πομπός. Η απώλεια της ισχύος οφείλεται σε διάφορους λόγους, όπως η παρεμβολές από άλλες συσκευές, τα δομικά υλικά των κτηρίων κ.λπ.

Η μείωση (pathloss) του λαμβανόμενου σήματος στον ελεύθερο χώρο δίνεται από τον τύπο του Friis [22] και είναι:

$$L_p = \frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2, \quad \lambda = \frac{f}{c} \quad (16)$$

Όπου L_p η απώλεια σε απόσταση d από τον πομπό, P_t η ισχύς εκπομπής του πομπού, P_r η ισχύς λήψης του δέκτη, G_t η απολαβή του πομπού (transmitter gain), G_r η απολαβή του δέκτη (receiver gain), λ το μήκος κύματος (wave length), f η συχνότητα εκπομπής και $c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$ η ταχύτητα του φωτός.

Αν η απόσταση από τον πομπό είναι 1m τότε από την (16) έχουμε:

$$\frac{P_0}{P_t} = G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi} \right]^2 \quad (17)$$

Από την (16) **Error! Reference source not found.** και την (17) τελικά έχουμε:

$$P_r = \frac{P_0}{d^2} \quad (18)$$

Η πιο απλή μέθοδος [14] για να περιγράψουμε την σχέση της απόστασης και της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος, είναι να θεωρήσουμε ότι η ισχύς που λαμβάνει ο δέκτης P_r είναι αντιστρόφως ανάλογος της απόστασης από τον πομπό με εκθέτη ένα συντελεστή a , ο οποίος λέγεται και σταθερά διάδοσης (distance power gradient).

$$P_r = P_0 d^{-a} \quad (19)$$

Στον ελεύθερο χώρο (χωρίς παρεμβολές) η σταθερά διάδοσης είναι $a = 2$, κάτι που είναι σύμφωνο και με τη σχέση (18). Σε αστικό χώρο η σταθερά διάδοσης για εκπομπή WiFi είναι $a = 4$, ενώ σε εσωτερικούς χώρους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Π.χ. σε έναν ανοικτό εσωτερικό χώρο η σταθερά διάδοσης είναι $a < 2$, ενώ σε ένα κτήριο που έχει πολλά μεταλλικά δομικά στοιχεία μπορεί να φτάσει μέχρι το 6.

Επομένως, με τη χρήση κάποιων αρχικών μετρήσεων απωλειών σήματος μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση ενός δέκτη από τον πομπό.(19)

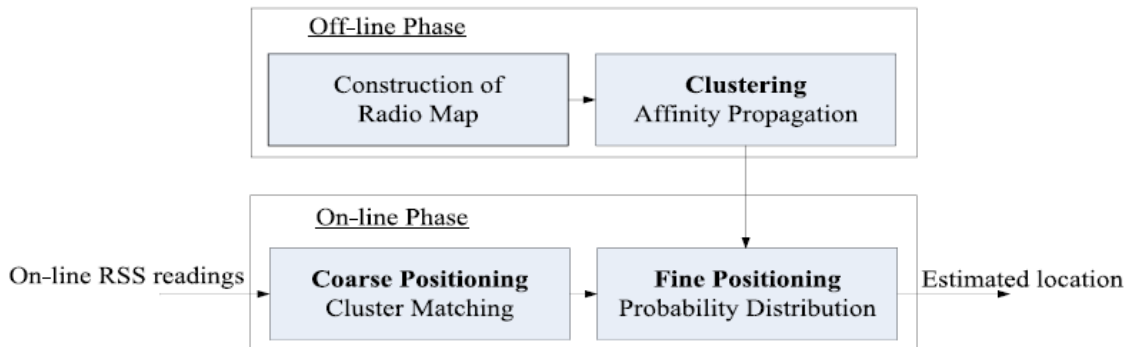
4.2.7 Fingerprinting

Τεχνική fingerprinting [23] [24] [25] εφαρμόζεται κυρίως σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) που επικοινωνούν μέσω WiFi. Η τεχνική Fingerprinting έχει δύο φάσεις

Στην πρώτη φάση η οποία ονομάζεται **off-line phase** (Εικόνα 15), συλλέγονται RSS δεδομένα από όλα τα access points (APs). Όλος ο χώρος κάλυψης είναι χωρισμένος σε ένα ορθογώνιο πλέγμα (rectangular grid). Για κάθε ένα από τα σημεία συμβολής του πλέγματος, συλλέγονται RSS δεδομένα (δηλαδή πόσο εξασθενημένα φθάνουν σε αυτό το σημείο τα σήματα πολλαπλών access points. Από τις τιμές των RSS σχηματίζεται ένα διάνυσμα (vector) το οποίο αποτελεί το αποτυπώμα (fingerprint) αυτού του σημείου του πλέγματος. Όλα αυτά τα αποτυπώματα – διανύσματα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του συστήματος IPS. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν κάποιες γενικές αρχές διαμόρφωσης του πλέγματος. Ακόμα περισσότερο δεν είναι ξεκάθαρο πόσα access points πρέπει να είναι ληφθούν υπόψη κατά τη συλλογή δεδομένων RSS για τη δημιουργία του αποτυπώματος ενός σημείου του πλέγματος και με ποια ακρίβεια.

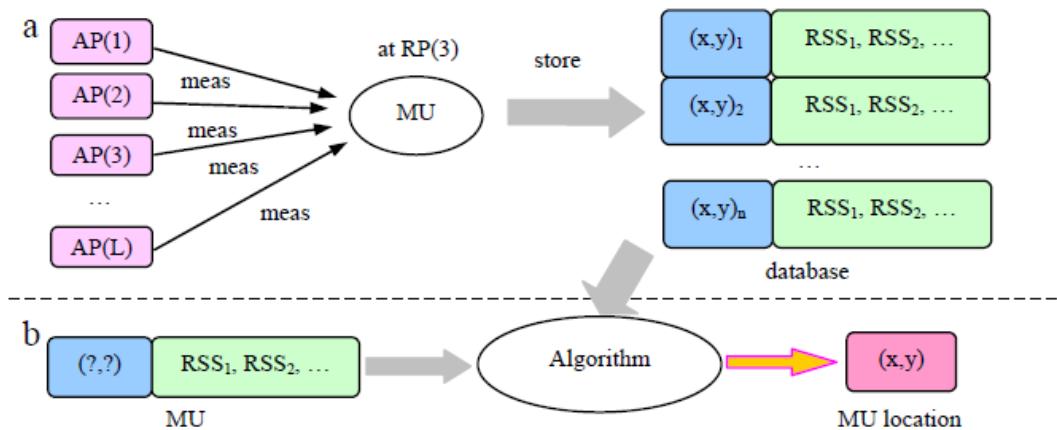
Στην δεύτερη φάση που ονομάζεται **on-line phase** (Εικόνα 15), ένας φορητός σταθμός (συνήθως ένα κινητό τηλέφωνο με WiFi επικοινωνία), συλλέγει δεδομένα RSS από διάφορα access points τα οποία και αποστέλλει σε έναν κεντρικό server. Σε ορισμένες δε περιπτώσεις, τα access points συλλέγουν δεδομένα από το σήμα τα RSS του φορητού σταθμού και τα

στέλνουν στον κεντρικό server. Ο server με βάση τα RSS που λαμβάνει από τον φορητό σταθμό υπολογίζει τη θέση του και την πληροφορία αυτή τη στέλνει πίσω σε αυτόν είτε αυτόματα είτε εφόσον αυτό ζητηθεί.



Εικόνα 15: Block diagram of fingerprinting positioning algorithm

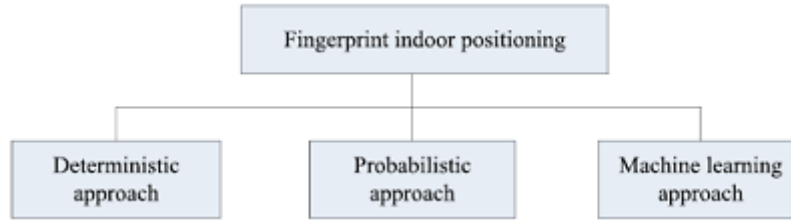
Ο πιο συνήθης αλγόριθμος προσδιορισμού της θέσης, σχηματίζει το διάνυσμα των RSS τιμών που λήφθηκαν από τον φορητό σταθμό και υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση του με κάθε αποτύπωμα που υπάρχει στη βάση. Οι συντεταγμένες του σημείου του πλέγματος που το αποτύπωμα του έχει την μικρότερη απόσταση από το τρέχον διάνυσμα RSS, επιστρέφονται ως η θέση του φορητού σταθμού [24].



Εικόνα 16: Two phases of fingerprinting: (a) training phase and (b) positioning phase

Άλλοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα [27] και άλλοι Bayesian μοντέλα [28] για τη συσχέτιση του λαμβανόμενου διανύσματος RSS με τα αυτά που είναι καταχωρημένα στη βάση δεδομένων.

Ο εντοπισμός θέσης σε κάθε ένα από τους παραπάνω αλγόριθμους γίνεται με την ίδια περίπου ακρίβεια. Πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή η υπολογιζόμενη θέση του φορητού σταθμού ταυτίζεται με κάποιο σημείο συμβολής του πλέγματος, η ακρίβεια των συστημάτων που στηρίζονται στην τεχνική Fingerprinting δεν μπορεί να υπερβαίνει την απόσταση των γραμμών του πλέγματος.



Εικόνα 17: Categories of fingerprint indoor positioning

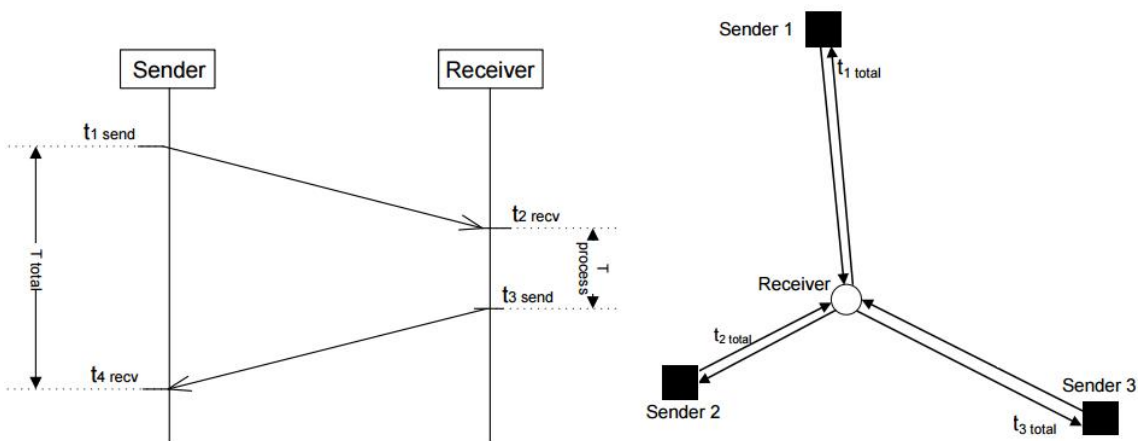
Η μέθοδος Fingerprinting μέχρι στιγμής υστερεί σε θεωρητικό υπόβαθρο και σε κατανόηση γενικότερα. Δεν υπάρχουν γενικές κατευθυντήριες γραμμές για τον σχεδιασμό του πλέγματος π.χ. πόσο πυκνό πρέπει να είναι, πώς επηρεάζεται από τις παρεμβολές των κτηρίων κ.λπ. Έτσι αν το πλέγμα είναι αραιό π.χ. 10m, τότε η ακρίβεια του εντοπισμού της θέσης είναι 10m. Αντίθετα αν επιλεγεί ένα πυκνό πλέγμα, τότε θεωρητικά η ακρίβεια υπολογισμού θα είναι μεγαλύτερη, αλλά κοντινά σημεία συμβολής του πλέγματος θα έχουν παρόμοια αποτυπώματα, δημιουργώντας επιπλέον προβλήματα.

Μια συνήθης πρακτική που αναφέρεται σε πολλές μελέτες είναι η χρήση της μεθόδου Fingerprinting με άλλες μεθόδους εντοπισμού θέσης, όπως αυτές που έχουν ήδη περιγραφεί.

4.2.8 Round Trip Time (RTT)

Η μέθοδος αυτή είναι επίσης γνωστή και ως **Two-Way-Ranging** (TWR). Στηρίζεται στην εκτίμηση της απόστασης πομπού – δέκτη μετρώντας το χρόνο διάδοσης (RTT) ενός σήματος από τον πομπό προς το δέκτη και πίσω.

Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί κανένα συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη, αφού όλη η πληροφορία υπάρχει ενσωματωμένη στο πακέτο το οποίο εκπέμπεται από τον πομπό και χαρακτηρίζεται από το χαμηλό κόστος της και την απλότητάς της.



Εικόνα 18: Distance measurement with Roundtrip Time - RTT

Σειριακά, ο πομπός στέλνει ένα πακέτο σε κάθε δέκτη ο οποίος με τη σειρά του το επιστρέφει στον πομπό.

Έστω ότι ο πομπός 1 (Εικόνα 18), τη χρονική στιγμή t_1 στέλνει ένα πακέτο στον δέκτη. Το πακέτο περιέχει εκτός των άλλων και την τιμή t_1 . Ο δέκτης λαμβάνει το πακέτο τη χρονική στιγμή t_2 , μεσολαβεί ένας χρόνος $T_{process}$ επεξεργασίας κατά την οποία συμπεριλαμβάνεται η τιμή $t_{process}$ στο πακέτο και το αποστέλλει πίσω στον πομπό τη χρονική στιγμή t_3 . Το πακέτο φθάνει στον πομπό τη χρονική στιγμή t_4 . Τώρα ο πομπός είναι σε θέση να υπολογίσει την απόσταση του από το δέκτη σύμφωνα με τον τύπο:

$$d = \frac{(t_4 - t_1 - t_{process}) \cdot c}{2} \quad (20)$$

Τα μειονέκτημα της μεθόδου RTT είναι:

- Ο πομπός επικοινωνεί διαδοχικά με κάθε δέκτη, με αποτέλεσμα όταν αυξάνεται ο αριθμός τους να δημιουργούνται καθυστερήσεις σε εφαρμογές όπου οι δέκτες κινούνται γρήγορα.
- Η ποσότητα $t_{process}$ απαιτεί μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό της και δεν περιέχει τον χρόνο ενσωμάτωσης της στο πακέτο αποστολής.

5 Ασύρματη επικοινωνία στα IPS

Στα συστήματα εντοπισμού θέσης γενικότερα είναι αναγκαία η επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη με ασύρματο τρόπο. Οι κυριότερες ασύρματες επικοινωνίες που χρησιμοποιούνται στα IPS είναι τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WiFi LANs), η τεχνολογία Bluetooth, η υπέρυθη ακτινοβολία, οι υπέρηχοι και οι ετικέτες αναγνωριστικών μέσω ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification - RFID tags)

5.1 Ασύρματα τοπικά δίκτυα (WiFi LAN - WLAN)

Η αγορά των WLAN αναπτύσσεται ραγδαία καθώς η ευελιξία τους, οι διασυνδεσιμότητά τους, η φορητότητα τους και το χαμηλό κόστος τους, συμβαδίζουν με τις ανάγκες των καταναλωτών.

Οι προδιαγραφές των WLAN καθορίστηκαν στο IEEE 802.11 το 1997, το οποίο όμως αντικαταστάθηκε γρήγορα το 1999 από την έκδοση 802.11b (το οποίο είναι γνωστό ως WiFi) και έγινε το στάνταρ της βιομηχανίας με ρυθμό μετάδοσης 11 Mbit/s και εμβέλεια περίπου τα 38m.

Το 1999 εμφανίστηκε η έκδοση 802.11a η οποία λόγω ασυμβατότητας με την έκδοση 802.11b, δεν είχε την αναμενόμενη αποδοχή. Από το 2003 μέχρι και σήμερα χρησιμοποιείται η έκδοση 802.11g η οποία αποτελεί τον αντικαταστάτη τους 802.11b και παρέχει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι τα 54 Mbit/s (Πίνακας I).

Πίνακας I: Τα πρωτόκολλα IEEE 802.11

Έκδοση	Ημερομηνία	Ζώνη συχνοτήτων	Συνήθης ρυθμός μετάδοσης	Ονομαστικός ρυθμός μετάδοσης	Μέθοδοι μετάδοσης	Εμβέλεια εσωτερικών χώρων
802.11	1997	2.4 GHz	0.9 Mbit/s	2 Mbit/s	IR / FHSS / DSSS	~20 m
802.11b	1999	2.4 GHz	4.3 Mbit/s	11 Mbit/s	DSSS	~38 m
802.11a	1999	5 GHz	23 Mbit/s	54 Mbit/s	OFDM	~35 m
802.11g	2003	2.4 GHz	19 Mbit/s	54 Mbit/s	OFDM	~38 m

Για λόγους που κυρίως άπτονται του κόστους εγκατάστασης, τα συστήματα IPS χρησιμοποιούν για την επικοινωνία πομπών και δεκτών τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Τα WiFi LANs είναι εύκολα στην εγκατάστασή τους, ενώ συνήθως είναι ήδη εγκατεστημένα, στους χώρους που πρόκειται να εγκατασταθεί ένα IPS.

Έχουν προταθεί πολλές τεχνικές εντοπισμού θέσης σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν εγκατεστημένα WLAN, οι οποίες μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Η μία χρησιμοποιεί τη διάδοση του σήματος (signal propagation) και την γεωμετρία του χώρου για να μετατρέψει το RSS σε απόσταση (4.2.6). Στη συνέχεια με γνωστές τις αποστάσεις από τα access point και με

χρήση του τριπλευρισμού (4.2.1) υπολογίζονται οι συντεταγμένες της θέσης του χρήστη της φορητής συσκευής. Η άλλη κατηγορία, είναι γνωστή ως Fingerprinting και έχει αναφερθεί εκτενώς στην 4.2.7.

Είναι προφανές ότι η τεχνολογία WLAN δεν έχει σχεδιαστεί για τις ανάγκες του εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους. Παρόλα αυτά, μετρώντας το ισχύ του σήματος λήψης (RSS) από τα access points, μπορεί να υπολογιστεί η θέση του χρήστη της κινητής συσκευής με καλή ακρίβεια κυρίως επειδή στα WLAN το RSS έχει μεγάλη χωρική διακύμανση (high spatial variance).

5.2 Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth [14] είναι μια ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας μικρών αποστάσεων. Παρέχει χαμηλού κόστους επικοινωνία, η οποία μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα στο σχεδιασμό φορητών συσκευών.

Το Bluetooth χρησιμοποιεί τη συχνότητα 2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) η οποία δεν έχει κόστος χρησιμοποίησης και δεν περιορίζεται από τα σύνορα μεταξύ χωρών. Χρησιμοποιείται σε πλήθος συσκευών όπως laptop, κινητά τηλέφωνα, κάμερες, εκτυπωτές κ.λπ. Υποστηρίζει την point-to-point και point-to-multipoint επικοινωνία.

Η βασική δικτυακή δομή του Bluetooth είναι το Piconet, που είναι ένα προσωπικό δίκτυο που συνδέει συσκευές που βρίσκονται μέσα σε μια μικρή περιοχή. Το Piconet αποτελείται από master και slave συσκευές, που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα για τη μεταξύ τους επικοινωνία.

Η τεχνολογία Bluetooth δεν εξαρτάται από το λειτουργικό σύστημα και τα διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε διάφορες περιοχές εφαρμογών. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν δεδομένα, ήχο και περιπτώσεις τοπικής επικοινωνίας μικρής απόστασης, όπως μεταφορά ήχου σε ακουστικά, ανταλλαγή δεδομένων (π.χ. μηνύματα μεταξύ υπολογιστών, τηλεφώνων, PDAs) κατάργηση καλωδιακών συνδέσεων κ.λπ.



Εικόνα 19: Bluetooth beacons

Σε πολλές μελέτες έχει προταθεί η χρήση του Bluetooth για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους, κυρίως όμως σε θεωρητικό επίπεδο, χωρίς πρακτική εφαρμογή. Τα εμφανή μειονεκτήματα της χρήσης του Bluetooth στα IPS είναι η μικρή εμβέλεια του και η ευαισθησία του σε παρεμβολές. Π.χ. Το Bluetooth σε ένα κινητό τηλέφωνο επηρεάζεται ακόμα και από την τσέπη στην οποία ο χρήστης το έχει τοποθετημένο.

Έχουν προταθεί πολλές τεχνικές εντοπισμού θέσης μιας φορητής συσκευής που διαθέτει Bluetooth, με χρήση σταθερών σημείων αναφοράς ή αλλιώς beacons (Εικόνα 19) που και αυτά

έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας μέσω Bluetooth. Όλες κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούν τη διάδοση του σήματος (signal propagation) και τη γεωμετρία του χώρου, για να μετατρέψουν το RSS σε απόσταση (4.2.6). Στη συνέχεια με γνωστές τις αποστάσεις από τα beacons και με χρήση του τριπλευρισμού (4.2.1) υπολογίζονται οι συντεταγμένες της θέσης του χρήστη της φορητής συσκευής.

5.3 Υπέρυθρες ακτίνες (Infrared-IR)

Οι υπέρυθρες ακτίνες είναι υπέρυθρη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (infrared radiation - IR) με μεγαλύτερο μήκος κύματος από το ορατό στον άνθρωπο φως, που κυμαίνεται από 700nm έως 1mm.

Η τεχνολογία IR χρησιμοποιείται σε πολλές φορητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, PDAs, φορητοί υπολογιστές. Οι συσκευές αυτές τα οποία διαθέτουν διεπαφή υπερώθρων για την ασύρματη επικοινωνία τους μέσω της υπέρυθρης ακτινοβολίας κυρίως με το πρότυπο IRDA.



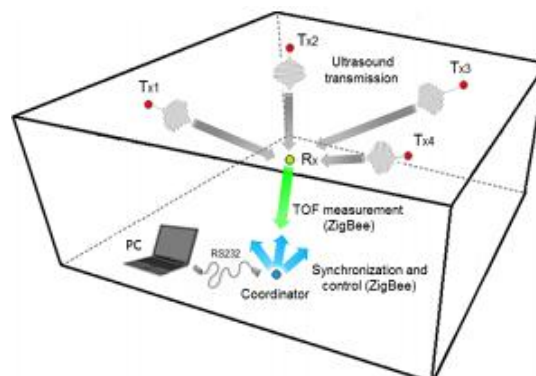
Εικόνα 20: Infrared beacon circuit

Στα IPS που στηρίζονται στην τεχνολογία IR, χρησιμοποιούνται IR beacons τα οποία μπορούν να προγραμματιστούν να εκπέμπουν περιοδικά το μοναδικό αναγνωριστικό τους στο υπέρυθρο φάσμα. Τα beacons αντλούν την ενέργειά τους από μπαταρία ή από εξωτερική πηγή και η εμβέλεια τους κυμαίνεται περίπου στα 10-20 μέτρα.

Η φορητή συσκευή – δέκτης που παρακολουθείται πρέπει να έχει οπτική επαφή με τα beacons προκειμένου να διαβάσει το αναγνωριστικό τους. Η ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης εξαρτάται απόλυτα από την δομή του χώρου και τη διάταξη των beacons.

5.4 Υπέρηχοι (Ultrasound)

Οι υπέρηχοι είναι ήχοι με συχνότητες υψηλότερες από τη μέγιστη συχνότητα την οποία μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί. Ως προς τα φυσικά τους χαρακτηριστικά δεν διαφέρουν από τους υπόλοιπους ακουστικούς ήχους εκτός από το ότι δεν μπορεί να τους ακούσει ο άνθρωπος, ο οποίος αντιλαμβάνεται τους ήχους μέχρι 20KHz. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν υπερήχους συχνότητες από 20KHz έως μερικά GHz.



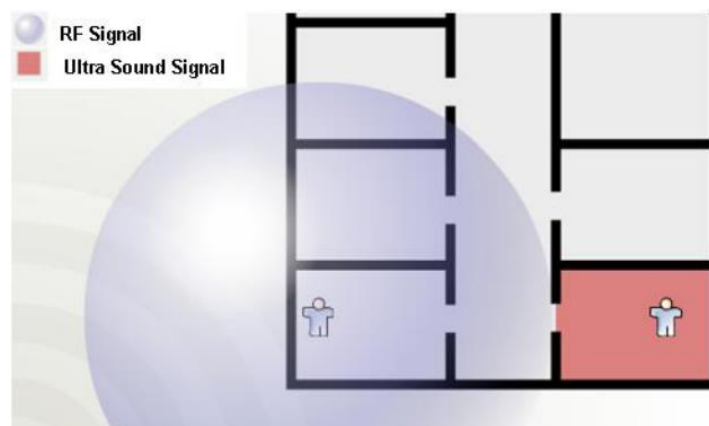
Εικόνα 21: Τυπική διάταξη συστήματος IPS με υπερήχους

Τα συστήματα εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιούν υπερήχους [29] συνήθως στηρίζονται στις μεθόδους TOA (4.2.4), TDOA (4.2.5) και RTT (4.2.8), με τη διαφορά ότι ως ταχύτητα διάδοσης του σήματος λαμβάνεται η ταχύτητα του ήχου, η οποία είναι κατά πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός (~340m/sec). Λόγω της μικρότερης ταχύτητας διάδοσης, υπάρχουν μικρότερες ανάγκες συγχρονισμού πομπών και δέκτων, ενώ η ακρίβεια εντοπισμού είναι καλύτερη και μπορεί να φθάσει τα μερικά εκατοστά. Οι πομποί και οι δέκτες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα IPS είναι σχετικά φθηνοί (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Ultrasound beacons

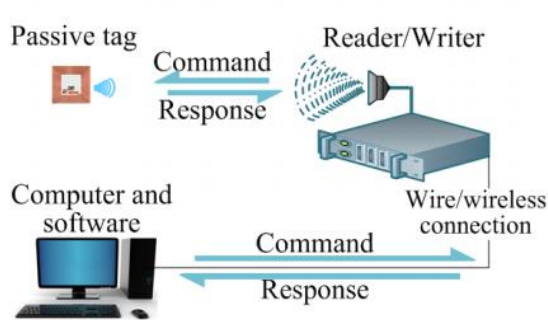
Η πλέον γνωστή εφαρμογή της τεχνολογίας υπερήχων είναι το σύστημα Active Bat. Οι υπέρηχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα IPS μόνο σε επίπεδο δωματίου, επειδή τα σήματα υπερήχων δεν μπορούν να διαπεράσουν τους τοίχους (Εικόνα 23). Επίσης, δεν απαιτείται LOS μεταξύ πομπού και δέκτη.



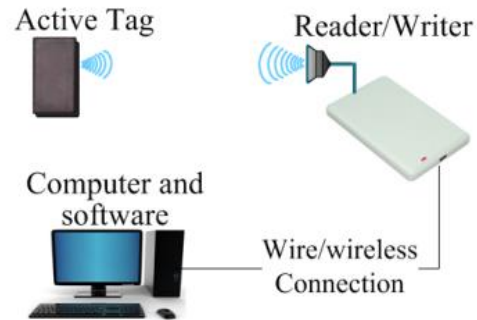
Εικόνα 23: Radio Frequency and Ultrasound Signal Comparison inside a building from a top view

5.5 Radio Frequency Identification - RFID tags

Τα RFID tags είναι ετικέτες οι οποίες χρησιμοποιούν ράδιο κύματα για να στέλνουν το αναγνωριστικό τους (ID) και άλλες πληροφορίες που αντικειμένου πάνω στο οποίο είναι προσκολλημένες και χρησιμοποιούνται ευρέως στα συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους [30].



Εικόνα 24: A typical passive RFID system



Εικόνα 25: A typical active RFID system

Ένα τυπικό σύστημα RFID, περιλαμβάνει ετικέτες (tags, transporters, smart tags, smart labels, radio barcodes), αναγνώστες (readers, decoders) και έναν κεντρικό υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό.

Οι αναγνώστες επικοινωνούν με τον κεντρικό υπολογιστή μέσω ασύρματου δικτύου. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες συστημάτων RFID (Εικόνα 24, Εικόνα 25): τα παθητικά (passive) και τα ενεργά (active).

Στην Εικόνα 24 φαίνεται ένα τυπικό **passive** σύστημα. Η απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία των tags παρέχεται από τους readers. Ο reader εκπέμπει ένα σήμα. Όταν το tag μπαίνει στην εμβέλεια του σήματος ενεργοποιείται και εκπέμπει το ID του και ίσως κάποιες άλλες πληροφορίες. Ο reader ανιχνεύει το ID του tag και τις υπόλοιπες πληροφορίες και τις αποστέλλει στον κεντρικό υπολογιστή. Τα passive συστήματα χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό θέσης μικρής εμβέλειας.

Οι αρχές λειτουργίας ενός **active** συστήματος φαίνονται στην Εικόνα 25. Βασική διαφορά των active και passive συστημάτων RFID είναι ότι στα active τα tags έχουν για την τροφοδοσία τους ενσωματωμένη μπαταρία. Στα active συστήματα τα tags στέλνουν περιοδικά τα δεδομένα τους τα οποία εκτός από το ID τους μπορεί να είναι ενδεχομένως η τιμή του προϊόντος πάνω στο οποίο είναι προσκολλημένα, το χρώμα του η ημερομηνία λήξης κ.λπ.

Ο reader ανιχνεύει τα δεδομένα και τα στέλνει στον κεντρικό υπολογιστή, όπου γίνεται διασταύρωση τους με στοιχεία υπάρχουσας βάση δεδομένων. Σε αντίθεση με τα passive, τα active συστήματα έχουν πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια η οποία μπορεί να φτάσει έως και τα 500m.

Ακολουθούν πίνακας με χαρακτηριστικά των συστημάτων RFID.

Πίνακας II: Ranges of RFID frequency and wave-length

Band	LF	HF	UHF	SHF
Frequency	30–300 kHz	3–30 MHz	300 MHz–3GHz	3–30 GHz
Wavelength	10–1 km	100–10 m	1– 0.1 m	10–1cm

Πίνακας III: Characteristics of different frequencies for RFID systems

	LF	HF	UHF	SHF
FR (MHz)	< 0.135	3~28	433-435, 860-930	2400~2454, 5725~5875
RR(P)	≤ 0.5 m	≤ 3 m	≤ 10 m	≤ 6 m
RR(A)	≤ 40 m	300 m	≤ 1 km	≤ 300 m
TRR	Slower	←————→		Faster
ARMW	Better	←————→		Worse
FR: Frequency Range RRP: Typical Reading Range of Passive Tags RRA: Typical Reading Range of Active Tags TRR: Tag Reading Rate ARMW: Ability to Read near Metal or Water				

Εκτός από τον διαχωρισμό σε Passive και Active, συστήματα εντοπισμού θέσης με χρήση RFID μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: στα **RFID-based** και στα **Reader-based**.

Στην πρώτη κατηγορία ο στόχος είναι οι readers να ανιχνεύσουν τα RFID tags που φέρει ένα άτομο ή ένα αντικείμενο, ενώ στη δεύτερη ο εντοπισμός φορητών readers από σταθερά RFID tags. Στη δεύτερη περίπτωση τα RFID tags αποτελούν τα σημεία αναφοράς (beacons) του συστήματος και οι readers τις φορητές συσκευές οι οποίες εντοπίζονται.

Η τεχνολογία αυτή χαρακτηρίζεται από παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Απλότητα του συστήματος
- Συσκευές χαμηλού κόστους
- Μεγάλη φορητότητα
- Εύκολη συντήρηση
- Ταυτόχρονο εντοπισμό θέσης και αναγνώριση ταυτότητας

Αντίθετα τα μειονεκτήματα της είναι:

- Δεν υποστηρίζει αμφίδρομη επικοινωνία
- Φαινόμενα multipath
- Ασταθή ισχύς λαμβανομένου σήματος (RSS)

6 Μοντέλα διάδοσης ραδιοσημάτων

Στην εκπομπή ραδιοσημάτων έχουν προταθεί μέχρι τώρα πολλά μοντέλα πρόβλεψης, τα οποία κατηγοριοποιούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στα φυσικά ή θεωρητικά μοντέλα, τα οποία ονομάζονται και ντετερμινιστικά (deterministic models) και στα στοχαστικά (stochastic models) τα οποία είναι γνωστά και ως στατιστικά ή εμπειρικά μοντέλα.

6.1 Ντετερμινιστικά μοντέλα (Deterministic models)

Πρόκειται για μαθηματικά μοντέλα τα αποτελέσματα των οποίων είναι επακριβώς προκαθορισμένα. Όλα τα γεγονότα και οι αποτελέσματα που αυτά προκαλούν, συνδέονται με πλήρως καθορισμένο μαθηματικό τρόπο. Τα αποτελέσματα περιγράφονται από μαθηματικούς τύπους που προκύπτουν από τους φυσικούς νόμους. Ίδιες συνθήκες και συμβάντα προκαλούν πάντα τα ίδια αποτελέσματα, με πλήρη απουσία τυχαιότητας.

Αν και τα συγκεκριμένα μοντέλα φαίνονται ιδανικά για την γενικότερη εφαρμογή τους στις ασύρματες επικοινωνίες, σπάνια συναντώνται στις εκπομπές ραδιοσημάτων, με εξαίρεση τη διάδοση ραδιοσημάτων στον ελεύθερο χώρο.

6.2 Στοχαστικά μοντέλα (Stochastic models)

Τα στοχαστικά μοντέλα τα οποία είναι γνωστά και ως στατιστικά ή εμπειρικά μοντέλα, είναι μαθηματικά μοντέλα που θεωρούν τις μεταβλητές τους ως ένα εύρος τιμών με τη μορφή της κατανομής πιθανότητας.

Θεωρούνται πιο ρεαλιστικά μοντέλα από τα ντετερμινιστικά, επειδή στην ασύρματη εκπομπή στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζονται τυχαία γεγονότα, τα οποία επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του εκπεμπόμενου σήματος.

Τα μοντέλα αυτά θεωρούνται ως εμπειρικά, αφού λαμβάνονται μεγάλο πλήθος μετρήσεων των σημάτων σε έναν προκαθορισμένο χώρο, τα οποία τελικά εκφράζονται ως συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.

6.3 Μηχανισμοί διάδοσης

Ένα ραδιοκύμα το οποίο εκπέμπεται από τον πομπό ταξιδεύει πάνω στο ασύρματο κανάλι επικοινωνίας μέχρι να ληφθεί από τον δέκτη. Στη φάση της διάδοσης του πάνω στο κανάλι επικοινωνίας, είναι πιθανό να συμβούν διάφορα φαινόμενα, τα οποία θα επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά του σήματος.

Οι βασικοί μηχανισμοί διάδοσης των ραδιοκυμάτων είναι η διάδοση σε ελεύθερο χώρο (free space propagation), η αντανάκλαση (reflection), η περίθλαση (diffraction) και η σκέδαση (scattering) [31] [32].

6.3.1 Διάδοση σε ελεύθερο χώρο (free space propagation)

Στην διάδοση σε ελεύθερο χώρο, υπάρχει οπτική επαφή πομπού και δέκτη (Line of sight – LOS), ενώ θεωρούμε ότι δεν υπάρχει θόρυβος και υλικά που να απορροφούν το εκπεμπόμενο σήμα.

Το μόνο που δεχόμαστε ότι υπάρχει είναι η διασπορά του σήματος (spreading) με αποτέλεσμα να μην φθάνει με όλη του την ισχύ στον δέκτη. Αυτό ονομάζεται απώλεια σε ελεύθερο χώρο (free space loss ή pathLoss) και εκφράζεται από τον τύπο του Friis [22]:

$$L_p = \frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2, \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad (21)$$

Όπου L_p η απώλεια σε απόσταση d από τον πομπό, P_t η ισχύς εκπομπής του πομπού, P_r η ισχύς λήψης του δέκτη, G_t η απολαβή του πομπού (transmitter gain), G_r η απολαβή του δέκτη (receiver gain), λ το μήκος κύματος (wave length), f η συχνότητα εκπομπής και $c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$ η ταχύτητα του φωτός.

Αν θεωρήσουμε ότι η απολαβή πομπού και δέκτη είναι ίση με τη μονάδα τότε η (21) γίνεται:

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log(L_p) = 10 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = 20 \log\frac{f}{4\pi c d} = 20 \log(f) - 20 \log(4\pi c d) \\ &= 20 \log(f) - 20 \log(4\pi c) - 20 \log(d) \end{aligned} \quad (22)$$

Από την (22) είναι δυνατή η εκτίμηση της απόστασης d από τον πομπό, όπως έχει ήδη αναφερθεί στη 4.2.6.

6.3.2 Αντανάκλαση (reflection)

Είναι το φαινόμενο που εμφανίζεται όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια πολύ μεγαλύτερη από το μήκος κύματος. Τα ανακλώμενα κύματα είναι δυνατόν να επηρεάσουν το αρχικό κύμα είτε θετικά είτε αρνητικά και να φτάσουν στο δέκτη σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Η αντανάκλαση είναι ο κυριότερος μηχανισμός διάδοσης σε εκπομπές non-LOS, καθώς τα ραδιοκύματα αντανακλώνται σε κτήρια, σε βουνά ή σε τοίχους και μεγάλα αντικείμενα αν πρόκειται για εσωτερικούς χώρους.

6.3.3 Περιθλαση (diffraction)

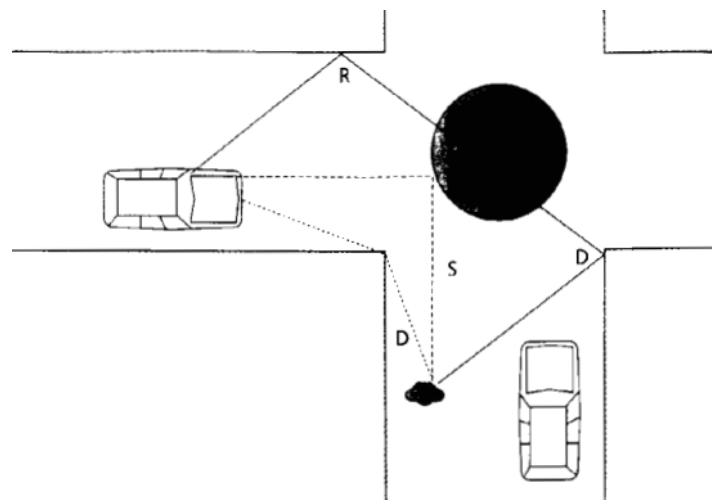
Είναι το φαινόμενο που εμφανίζεται όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει πάνω σε ένα αδιαπέραστο και συνήθως αιχμηρό σώμα, που δεν έχει ικανό μέγεθος επιφάνειας ώστε να προκαλέσει το φαινόμενο της αντανάκλασης.

Κατά το φαινόμενο αυτό, το ραδιοκύμα εκτρέπεται της πορείας του και φθάνει στο δέκτη μέσα από διαφορετική κατεύθυνση. Επίσης, είναι δυνατόν να παραχθούν δευτερογενή κύματα τα οποία φθάνουν και αυτά στο δέκτη, ακόμα και αν δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού-δέκτη.

Η περίθλαση εξαρτάται απόλυτα από τη γεωμετρία του σώματος, το οποίο παρεμβάλλεται ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη.

6.3.4 Σκέδαση (scattering)

Πρόκειται ουσιαστικά στην διάσπαση – διασκορπισμό του κύματος σε μικρότερα τα οποία συνεχίζουν να διαδίδονται σε διάφορες μη προβλεπόμενες κατευθύνσεις. Και αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται σε εκπομπές non-LOS και οφείλεται στην πρόσπτωση του αρχικού κύματος πάνω στην ακμή μιας επιφάνειας με σχετικά μικρότερο μέγεθος από το μήκος κύματος ή σε μια γενικά τραχεία επιφάνεια.



Εικόνα 26: Propagation Mechanisms: Reflection (R), Scattering (S), Diffraction (D)

6.3.5 Multipath

Όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα είναι σύνηθες φαινόμενο να φθάνουν κάποια τμήματα του ίδιο αρχικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος στον δέκτη από διαφορετικές κατευθύνσεις. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται multipath και αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα στον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους, όπου υπάρχουν αντικείμενα που μπορούν να προκαλέσουν αντανάκλαση, περίθλαση και σκέδαση του εκπεμπόμενου σήματος.

7 Location Based Services (LBS)

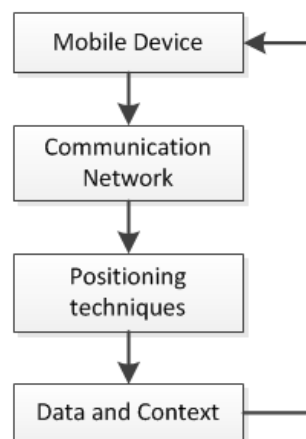
Είναι οι υπηρεσίες που αφορούν αποκλειστικά στον εντοπισμό της θέσης του χρήστη. Οι πρώτες υπηρεσίες που στηρίζονταν στον εντοπισμό θέσης (παραδόξως) ήταν αυτές που

στηρίζοντας στους δορυφόρους και όχι σε άλλα συστήματα εξωτερικού ή εσωτερικού χώρου. Ως κύριος λόγος στη βιβλιογραφία αναφέρονται η παρεμβολές στην εκπομπή ραδιοκυμάτων σε κλειστούς ή σε αστικούς χώρους, λόγω των υλικών δόμησης των κτηρίων, τη χωροταξική διάταξη τους κ.λπ.

Από τις πρώτες LBS υπηρεσίες ήταν το GPS (4.1.2), όταν αυτό αποδεσμεύτηκε από την αποκλειστική στρατιωτική χρήση των Η.Π.Α. και δόθηκε προς γενική χρήση. Αρχικά ο χρήστης έπρεπε να διαθέτει ειδικό δέκτη GPS για την αποκωδικοποίηση των σημάτων των δορυφόρων. Σήμερα, ενσωματωμένοι δέκτες GPS υπάρχουν σε πλήθος φορητών συσκευών (κυρίως κινητών τηλεφώνων) κάτι που καθιστά την τεχνολογία εντοπισμού μέσω GPS προσβάσιμη σε όλους.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, για τον εντοπισμό θέσης μέσω GPS χρειάζεται οπτική επαφή τουλάχιστον με τρεις δορυφόρους (ή τέσσερις αν θέλουμε να εξαλείψουμε λάθη συγχρονισμού δορυφόρων - δεκτών). Αυτό καθιστά τη χρήση του απαγορευτική για εσωτερικούς χώρους όπου το σήμα των δορυφόρων δεν φτάνει. Για εσωτερικούς χώρους έχουν προταθεί υπηρεσίες εντοπισμού οι οποίες στηρίζονται σε άλλες τεχνολογίες που συνήθως προϋπάρχουν. Τέτοιες τεχνολογίες είναι το GSM για την Ευρώπη και το CDMA για τις Η.Π.Α., τοWiFi, το Bluetooth κ.λπ.

Μια υπηρεσία που βασίζεται στον εντοπισμού θέσης του χρήστη, αποτελείται από τα εξής στοιχεία: μια φορητή συσκευή την οποία έχει ο χρήστης, ένα δίκτυο επικοινωνίας της συσκευής με την υπηρεσία, αλγόριθμους και τεχνικές υπολογισμού θέσης, περιεχόμενο που παρέχεται στο χρήστη με βάση την πληροφορία θέσης (Εικόνα 27: Eικόνα 27: LBS building blocks).



Εικόνα 27: LBS building blocks

7.1 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης και LBS

Ανάλογα με την υπηρεσία LBS και το πεδίο εφαρμογής τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές και μέθοδοι εντοπισμού [33]. Ο Πίνακας IV, περιέχει τις κατηγορίες και παραδείγματα υπηρεσιών LBS, την περιοχή εφαρμογής τους (indoor-outdoor), τις απαιτήσεις ως προς την ακρίβεια υπολογισμού θέσης, την συνιστώμενη μέθοδο και την τεχνολογία υπολογισμού.

Πίνακας IV: Appropriate positioning methods for mobile location services

CATEGORY	EXAMPLE APPLICATIONS	APPLICATION ENVIRONMENT	ACCURACY REQUIREMENT	PROPOSED LOCATION METHOD	POSITION CALCULATION	TECHNOLOGY
Business -to- consumer (B2C)	Emergency calls	Outdoor	Medium to high	TDOA	Terrestrial Network or Device	Triangulation
	Automotive assistance	Outdoor	Medium	AOA/TOA	Terrestrial Network or Device	Triangulation
	Travel services	Outdoor	Medium to high	Cell-ID	Terrestrial network	Cell proximity
	m-yellow pages	Outdoor	Medium	Cell-ID	Terrestrial network	Cell proximity
	Banners, Alerts, Marketing	Outdoor	Medium to high	TOA	Terrestrial Network or Device	Triangulation
	People tracking	Indoor / Outdoor	High	GPS/Indoor GPS	Device from satellite data/ Pseudo Satellite	Triangulation
	Indoor routing	Indoor	High	Indoor GPS	Pseudo Satellite	Triangulation
Business -to- business (B2B)	Vehicle tracking	Outdoor	Medium	GPS/A-GPS/MT over S-UMTS	Device from satellite data	Triangulation
	Product tracking	Indoor / Outdoor	Medium to high	GPS/Indoor GPS	Pseudo- satellite /Device from satellite data	Triangulation
	Traffic management	Outdoor	Medium	GPS/A-GPS/MT over S-UMTS	Device from satellite data	Triangulation
	Product replenishment	Indoor	High	Indoor GPS	Pseudo- satellite	Triangulation
	Mobile sales	Outdoor	Medium to high	Cell-ID	Terrestrial network	Cell proximity
	m- customer support	Outdoor	Medium	GPS/TOA	Terrestrial/Satellite Network or Device	Triangulation
	Field personnel support	Outdoor / Indoor	Medium to high	Indoor GPS	Pseudo Satellite	Triangulation

8 Location Aware Services

Μια άλλη μεγάλη κατηγορία υπηρεσιών είναι αυτές που στηρίζονται στην πληροφορία θέσης του χρήστη, για να παρέχουν άλλες πληροφορίες (context). Οι υπηρεσίες αυτές έχουν πολλά κοινά σημεία με τις υπηρεσίες LBS. Αν μάλιστα ως context θεωρηθεί η θέση του χρήστη τότε ταυτίζονται.

Γενικότερα, ως context [34] ορίζονται οι αλληλένδετες συνθήκες κατά τις οποίες κάτι υπάρχει ή εμφανίζεται. Οι υπηρεσίες LAS μπορούν να διαχωριστούν σε δύο υποκατηγορίες: active context και passive context.

Στις active context LAS η συμπεριφορά της εφαρμογής προσαρμόζεται σύμφωνα με το context που λαμβάνεται, ενώ στις passive context LAS παρέχεται στο χρήστη context on-demand.

Ακολουθούν παραδείγματα LAS υπηρεσιών.

8.1 Πλοήγηση σε χώρους γραφείων

Ένα παράδειγμα LAS εφαρμογής είναι το προϊόν Blue Dot της εταιρείας PHUNWAREF, το οποίο παρέχει πλοήγηση του χρήστη μέσω μιας έξυπνης κινητής συσκευής, σε χώρους γραφείων, συνεδρίων κ.λπ.

Υπάρχει εγκατεστημένο ένα IPS στο έχει αποτυπωθεί ο χαρτογραφημένος ο χώρος. Ο χρήστης έχει εγκατεστημένη στο κινητό του τηλέφωνο μια client εφαρμογή, μέσα από την οποία ζητά να πλοηγηθεί στο χώρο, σε ένα συγκεκριμένο γραφείο ή αίθουσα. Μπορεί επίσης ζητήσει να οδηγηθεί σε συγκεκριμένο άτομο, το οποίο και αυτό με τη σειρά του εντοπίζεται από το IPS.

8.2 Πλοήγηση πελάτη σε κατάσταση

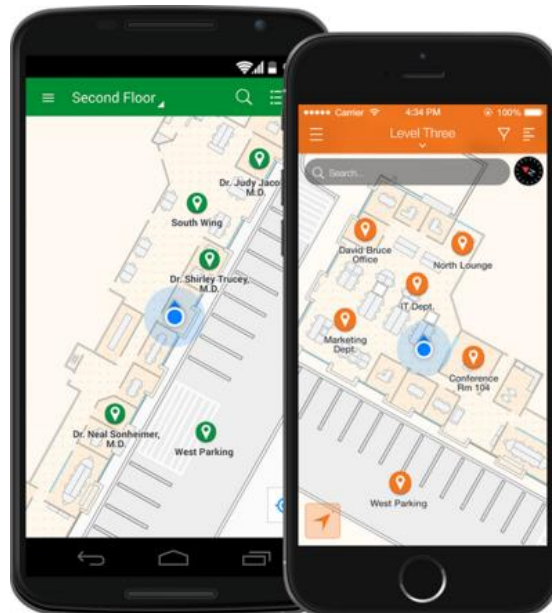
Ένας πελάτης εισέρχεται σε ένα κατάστημα. Κατά την είσοδό του στο σύστημα, δείχνει το κινητό του τηλέφωνο σε μια συσκευή που είναι τοποθετημένη στην είσοδο του καταστήματος η οποία διαβάζει το αναγνωριστικό του Bluetooth που το κινητό τηλέφωνο διαθέτει. Καθώς ο πελάτης κινείται στο χώρο του καταστήματος, ανιχνεύεται διαρκώς η θέση του και ανάλογα με τη συμπεριφορά του (ποια ράφια επισκέπτεται και πόση ώρα αφιερώνει σε αυτά) εμφανίζονται ανάλογα διαφημιστικά μηνύματα σε αναρτημένες οθόνες.

Στην περίπτωση αυτή, το active context είναι η πληροφορία θέσης και οι συμπεριφορά του πελάτη μέσα στο χώρο του καταστήματος, ενώ δεν υπάρχει passive context, αφού τα διαφημιστικά μηνύματα εμφανίζονται χωρίς τη θέληση του πελάτη.

Σε μια άλλη περίπτωση, ένα πελάτης εισέρχεται σε ένα κατάστημα, το οποίο διαθέτει σύστημα IPS και έχει εγκαταστήσει στη συσκευή του μια client εφαρμογή, η οποία επικοινωνεί με το IPS μέσω WiFi.

Κατά την είσοδο του στο κατάστημα, η client εφαρμογή επικοινωνεί με το IPS και συνδέει το κινητό τηλέφωνο του πελάτη στο σύστημα, αποτυπώνοντας το id WiFi. Καθώς ο πελάτης κινείται στο χώρο, εντοπίζεται η θέση του από το IPS και ανάλογα με τη συμπεριφορά του (και ίσως προηγούμενες συμπεριφορές από άλλες επισκέψεις στο κατάστημα) προβάλλει διαφημιστικά μηνύματα στο κινητό του ή σε αναρτημένες οθόνες. Ο πελάτη στέκεται μπροστά σε ένα ράφι, και ζητά από την εφαρμογή πληροφορίες τα προϊόντα που υπάρχουν στο ράφι.

Στην δεύτερη περίπτωση, το active context είναι και πάλι η πληροφορία θέσης και οι συμπεριφορά του πελάτη μέσα στο χώρο του καταστήματος, και το passive context οι πληροφορίες για τα είδη που υπάρχουν στο ράφι, αφού εμφανίζονται με τη θέληση του πελάτη.



Εικόνα 28: Blue Dot της εταιρείας PHUNWAREF

9 Εφαρμογές IPS

9.1 Olivetti Active Badge Project (IR)

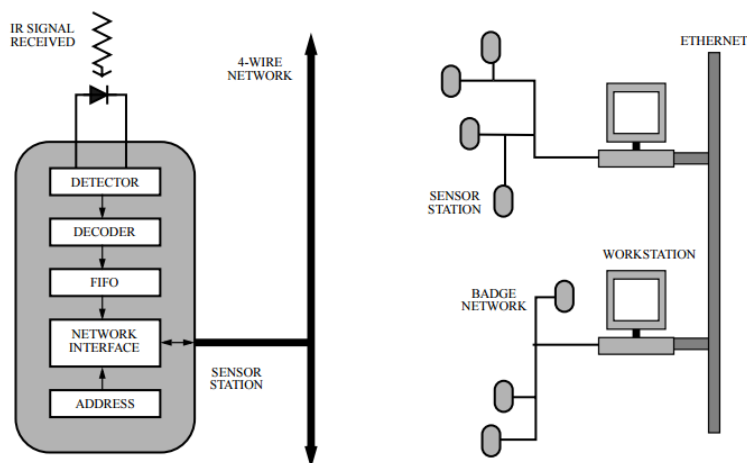
Όσο και αν φαίνεται παράξενο ο εντοπισμός θέσης σε εσωτερικό χώρο έχει ξεκινήσει πολλές δεκαετίες πριν. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που αναφέρεται σε πολλές βιβλιογραφικές αναφορές είναι το Active Badge Project της εταιρείας Olivetti το 1992 [35].



Εικόνα 29: Olivetti Active Badge

Το Active Badge είναι το πρώτο σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους. Για τον υπολογισμό της θέσης χρησιμοποιεί την υπέρυθη ακτινοβολία.

Κάθε άτομο που κινείται μέσα στο σύστημα έχει του μία μικρή αναγνωριστική κονκάρδα (badge). Η κονκάρδα (Εικόνα 29) εκπέμπει περιοδικά κάθε 15 δευτερόλεπτα ή κατ' απαίτηση του χρήστη ένα μοναδικό αναγνωριστικό (global ID). Ένας κεντρικός server συλλέγει την πληροφορία αυτή μέσω σταθερών ανιχνευτών υπέρυθρης ακτινοβολίας που είναι εγκατεστημένοι σε διάφορα σημεία στο χώρο του κτηρίου. Στη συνέχεια την επεξεργάζεται και παράγει την πληροφορία θέσης η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές.



Εικόνα 30: Badge Sensor and Telemetry Network

Το Active Badge παρέχει απόλυτη και όχι σχετική πληροφορία θέσης καθώς στηρίζεται σε σταθερά σημεία αναφοράς. Δεν εντοπίζεται η ακριβής θέση τους κατόχου της αναγνωριστικής κονκάρδας αλλά το δωμάτιο, το γραφείο ή το σημείο του κτηρίου που βρίσκεται το άτομο. Επειδή χρησιμοποιεί υπέρυθη ακτινοβολία δεν λειτουργεί σωστά σε μέρη όπου υπάρχουν λαμπτήρες φθορισμού ή ηλιακή ακτινοβολία, επειδή οι πηγές αυτές παράγουν υπέρυθη ακτινοβολία και δημιουργούν παρεμβολές.

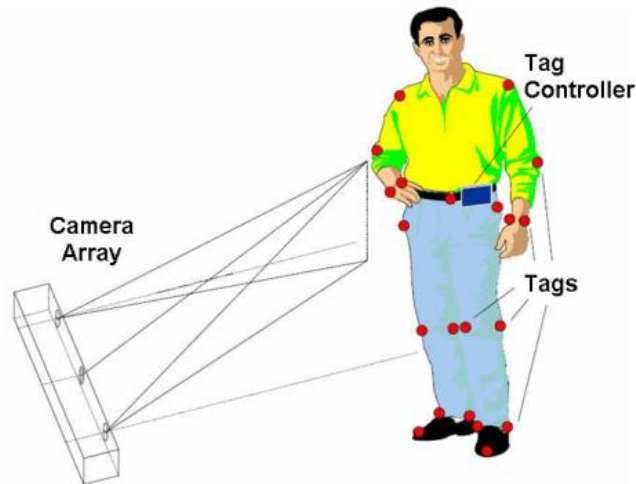
9.2 Firefly (IR)

Το σύστημα Firefly σχεδιάστηκε από την εταιρεία Cybernet System [36] και στηρίζεται πάνω στην τεχνολογία IR. Το σύστημα μπορεί να αναπαραστήσει περίπλοκες κινήσεις ενός αντικείμενου, εντοπίζοντας μικρά tags που εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία και βρίσκονται προσκολλημένα πάνω στο αντικείμενο (Εικόνα 31).

Η τρισδιάστατη πληροφορία που παράγεται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εφαρμογές που χρειάζονται πληροφορία κίνησης, όπως εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (virtual reality), παιχνίδια, και computer animation.

Επειδή το Firefly είναι ένα τελικό εμπορικό προϊόν, δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για την τεχνική υπολογισμού θέσης και τον αλγόριθμο που χρησιμοποιεί.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 31, το Firefly αποτελείται από ένα tag controller, tags και μια συστοιχία από κάμερες. Ο tag controller είναι προκαλυμμένος πάνω στο άτομο που παρακολουθείται, όπως και τα μέγεθος μικρού κέρματος tags που είναι τοποθετημένα σε κρίσιμα σημεία του σώματός, που αλλάζουν θέση καθώς αυτό κινείται. Σε μια μπάρα μήκους 1m υπάρχουν εγκατεστημένες τρεις κάμερες που συλλέγουν τα IR σήματα που εκπέμπουν τα tags.



Εικόνα 31: Firefly Motion Tracking System Architecture

Η ακρίβεια του Firefly μπορεί να φτάσει 3mm. Η ανίχνευση της κίνησης του αντικειμένου γίνεται ταχύτατα και σε πραγματικό χρόνο. Η ανίχνευση της θέσης του κάθε tag γίνεται σε 3ms με αποτέλεσμα να μπορούν να ανιχνευτούν περίπου 30 tags το δευτερόλεπτο.

Το κόστος του συστήματος Firefly είναι υψηλό και φτάνει τα \$27.000 για έναν controller 32 tags και μια συστοιχία καμερών.

Το Firefly λειτουργεί μόνο υπό συνθήκες κανονικού φωτισμού, ενώ η περιοχή που μπορεί να καλύψει περιορίζεται στα 7m και σε ένα πεδίο θέασης $40^\circ \times 40^\circ$.

Για τους παραπάνω λόγους το σύστημα δεν είναι κατάλληλο για μεγάλους χώρους.

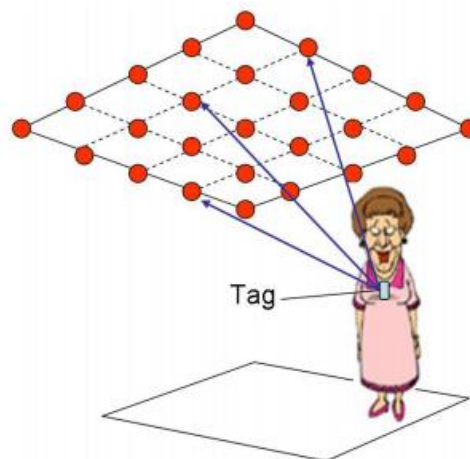
9.3 Active Bat (Ultrasound)

Το σύστημα Active Bat [37] σχεδιάστηκε από τους ερευνητές της AT&T και παρέχει τρισδιάστατη πληροφορία θέσης και κατεύθυνσης του προς παρακολούθηση αντικειμένου. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία των υπερήχων (5.4) και τον τριγωνισμό (4.2.1) για να εντοπίσει τη θέση ενός tag που φέρει το άτομο ή το αντικείμενο.

Το tag περιοδικά εκπέμπει έναν υπερηχητικό παλμό, οποίος ανιχνεύεται από ανιχνευτές που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην οροφή σε διάταξη πλέγματος και σε γνωστές θέσεις (Εικόνα 32). Η απόσταση μεταξύ του tag και τριών ανιχνευτών μπορούν να καθορίσουν τη θέση του tag στον τρισδιάστατο χώρο, με τη μέθοδο του τριπλευρισμού (4.2.2).

Τα tags είναι μικρές φορητές συσκευές που φέρει το άτομο ή το αντικείμενο, με διαστάσεις 7.5cm x 3.5cm x 1.5cm. Η τροφοδοσία τους γίνεται από μπαταρίες των 3.6V με διάρκεια ζωής περίπου 15 μήνες. Στην οροφή βρίσκονται τοποθετημένοι 720 ανιχνευτές καλύπτοντας ένα χώρο $1000m^2$. Το σύστημα μπορεί να ανιχνεύει έως και 75 tags με ακρίβεια 3cm στο 95% των περιπτώσεων.

Η απόδοση του Active Bat επηρεάζεται από ανακλάσεις των υπερηχητικών κυμάτων και από αντικείμενα που παρεμβάλλονται μεταξύ των tags και των ανιχνευτών, μειώνοντας την ακρίβειά του.



Εικόνα 32: Active Bat System

9.4 Cricket (Ultrasound)

Το Cricket [38] είναι ένα IPS σύστημα που έχει ως στόχο να προσφέρει στο χρήστη ιδιωτικότητα, υψηλή απόδοση και χαμηλό κόστος. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία υπερήχων, σε συνδυασμό με τη μέθοδο μέτρησης TOA (4.2.4) και τον τριπλευρισμό (4.2.2).

Η φιλοσοφία είναι αντίθετη με αυτή του Active Bat. Οι πομποί των υπερήχων βρίσκονται σε σταθερά γνωστά σημεία του χώρου (τοιχοί, οροφή κ.λπ.) και ο δέκτης βρίσκεται πάνω στο άτομο ή το αντικείμενο προς παρακολούθηση. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει την ιδιωτικότητα του χρήστη, ενώ οι υπολογισμοί γίνονται τοπικά στο δέκτη.

Το σύστημα Cricket σε αντίθεση με το Active Bat χρησιμοποιεί λιγότερους πομπούς υπερήχων επειδή το αντικείμενο - στόχος λαμβάνει και επεξεργάζεται τα σήματα των υπερήχων και εκτελεί όλους τους υπολογισμούς. Το κόστος του είναι χαμηλό (\$10 ανά ανιχνευτή) και η ακρίβειά του περίπου 10cm στον εντοπισμό θέσης και 3° ως προς τον εντοπισμό της κατεύθυνσης.

9.5 Sonitor (Ultrasound)

Το Sonitor [39] είναι ένα IPS σύστημα που σχεδιάστηκε από την Sonitor Technologies Inc. Μπορεί να εντοπίσει και να παρακολουθήσει την κίνηση συσκευών αντικειμένων και ατόμων σε πραγματικό χρόνο. Η ακρίβεια που παρέχει είναι σε επίπεδο δωματίου. Σε αντίθεση πάντως με το Active Badge δεν απαιτείται LOS μεταξύ πομπού και δέκτη. Έτσι το Cricket επιτρέπει την ανίχνευση κρυφών στόχων (π.χ. αντικείμενα μέσα σε συρτάρια), κάτι που δεν είναι εφικτό στα συστήματα IR.

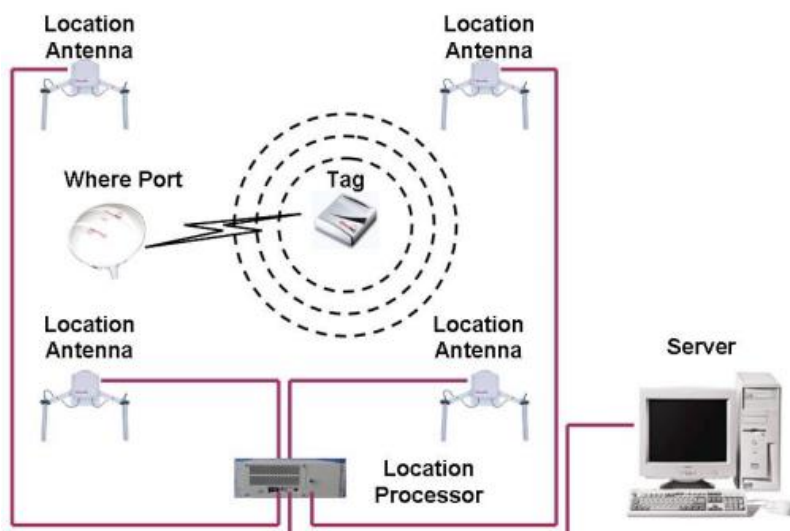
Το σύστημα περιλαμβάνει tags που βρίσκονται προσκολλημένα στον στόχο, τα οποία ανιχνεύονται από ανιχνευτές που βρίσκονται τοποθετημένοι σε διάφορα δωμάτια ή θέσεις σε έναν εσωτερικό χώρο. Τα tags εκπέμπουν σήματα υπερήχων που ανιχνεύονται από τον ανιχνευτή που βρίσκονται στο ίδιο με αυτά δωμάτιο. Ο ανιχνευτής προωθεί την πληροφορία σε ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα μέσω ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου, όπου αποθηκεύεται μαζί με μια χρονική ετικέτα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα tags ενεργοποιούνται από έναν εσωτερικό αισθητήρα κίνησης, ώστε να εκπέμπουν υπερηχητικό σήμα μόνο αν ανιχνευθεί κίνηση. Έτσι η μπαταρία των tags μπορεί έχει διάρκεια ζωής 5 χρόνια και μπορεί να υποστηρίξει περίπου 600.000 εκπομπές υπερήχων. Το μέγεθος του κάθε tag είναι 57.7mm x 32.9mm x 19.5mm και το βάρος του περίπου 28g. Το Sonitor δεν είναι σε θέση να υπολογίσει την ακριβή θέση του στόχου και απαιτεί την ύπαρξη πολλών σταθερά τοποθετημένων ανιχνευτών.

9.6 WhereNet (RFID tags)

Το σύστημα WhereNet [40] παρέχεται από την εταιρεία Zebra Technology Company η οποία προωθεί εξοπλισμό για εντοπισμό θέσης σε εσωτερικό και εξωτερικό χώρο. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία RFID για τον προσδιορισμό θέσης διάφορων tags, τα οποία προσκολλώνται τα αντικείμενα ή στα άτομα που πρέπει να παρακολουθούνται.

Το WhereNet παράγει πληροφορίες απόλυτης θέσης των tags και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό διάφορων εφαρμογών. Π.χ. το Visibility Server Software [41] της ίδιας εταιρείας, είναι μια LBA εφαρμογή που μπορεί να εντοπίζει τα tags μέσω του WhereNet και να χρησιμοποιεί την πληροφορία θέσης.



Εικόνα 33: WhereNet's Real Time Locating System

Το WhereNet Real Time Locating System (RTLS) αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία (Εικόνα 33): διάφορα tags, κεραίες θέσης, επεξεργαστές θέσης, servers και Where Ports.

Τα tags εκπέμπουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό, το οποίο ανιχνεύεται από τις κεραίες θέσης, οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες στην οροφή σε σταθερά σημεία. Στη συνέχεια η πληροφορία προωθείται στους επεξεργαστές θέσης, οι οποίοι υπολογίζουν τη θέση των tags. Κάθε επεξεργαστής θέσης μπορεί να συνδεθεί με 8 κεραίες μέσω ομοαξονικού καλωδίου. Τα Where Ports καθορίζουν τις προδιαγραφές εκπομπής των tags.

Οι επεξεργαστές θέσης, προωθούν την πληροφορία θέσης των tags στον server όπου καταχωρούνται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από εφαρμογές LBA, ή παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο.

Τα tags είναι μικρές συσκευές με διαστάσεις 6.6cm x 4.4cm x 2.1cm και βάρος 53g. Η τροφοδοσία τους γίνεται με μπαταρία που έχει διάρκεια ζωής τα 7 χρόνια. Ανάλογα με τις ρυθμίσεις των Where Ports η περίοδος εκπομπής των tags κυμαίνεται από 5sec έως μια ώρα. Η ακρίβεια εντοπισμού που παρέχει το WhereNet φτάνει τα 2m-3m. Το σύστημα θεωρείται περίπλοκο με δύσκολη εγκατάσταση και παραμετροποίηση.

9.7 RADAR (WLAN)

Το σύστημα RADAR [42] [43] είναι ένα IPS της Microsoft Research Group που χρησιμοποιεί την υπάρχουσα WLAN εγκατάσταση. Ως μέθοδο μέτρηση χρησιμοποιεί το RSS (4.2.6) και τη μέθοδο του τριγωνισμού (4.2.1). Το σύστημα εισάγει τον αλγόριθμο Nearest Neighbors in Signal Space (NNSS). Υπολογίζει την απόλυτη θέση σε χώρο δύο διαστάσεων (2-D) και χρησιμοποιείται σε LBA εφαρμογές.

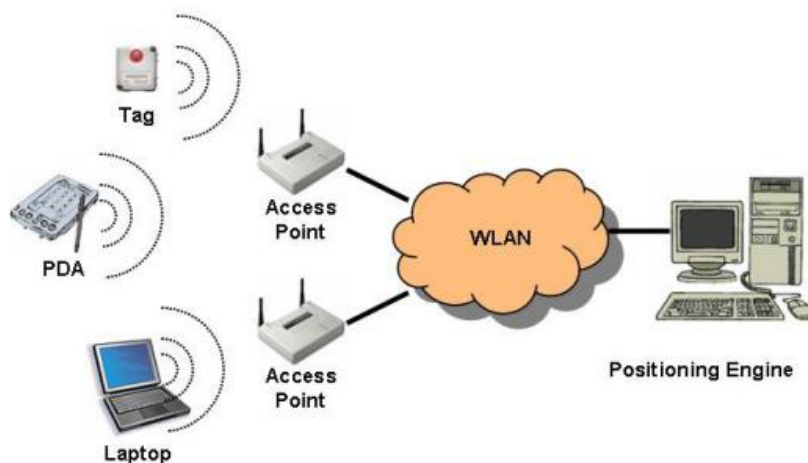
Κατά την πειραματική διαδικασία τρεις τυπικοί υπολογιστές χρησιμοποιούνται σαν access points και ένας φορητός υπολογιστής αποτελεί το στόχο εντοπισμού. Το σύστημα δοκιμάστηκε πάνω

στο δάπεδο εσωτερικών χώρων. Τα τρία access points μετρούσαν το RSS του φορητού υπολογιστή και υπολόγιζαν τη θέση του πάνω στο δάπεδο (2-D). Το σύστημα εντόπιζε το στόχο με ακρίβεια 4m με πιθανότητα 50%.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος RADAR είναι ότι χρειάζεται επιπλέον εξοπλισμό, αλλά χρησιμοποιεί την υπάρχουσα WLAN δικτύωση και υπολογιστές που ήδη υπάρχουν, ενώ είναι πολύ εύκολο στην εγκατάστασή του. Ως μειονέκτημα του μπορεί να θεωρηθεί η περίπτωση να παρακολουθείται κάποιος που φέρει μια κινητή συσκευή που είναι έχει υποστηρίξει WLAN, χωρίς τη θέληση του.

9.8 Ekahau (WLAN)

Το σύστημα Ekahau [44] χρησιμοποιεί την υπάρχουσα WiFi δικτύωση, για την συνεχή και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση συσκευών ή tags που υποστηρίζουν WiFi. Ως μέθοδο μέτρησης χρησιμοποιεί το RSS (4.2.6) και τη μέθοδο του τριγωνισμού (4.2.1). Υποστηρίζει εντοπισμό θέσης σε δύο διαστάσεις (2-D) και χρησιμοποιείται σε διάφορες LBA εφαρμογές.



Εικόνα 34: System Architecture of Ekahau Positioning System

Πρόκειται για ένα οικονομικό σύστημα για εσωτερικούς χώρους, αφού ως σημεία αναφοράς έχει τα κλασικά WiFi access points. Το Ekahau αποτελεί τρία στοιχεία (Εικόνα 34): το site survey, WiFi tags, και μηχανή εντοπισμού. Το site survey είναι ένα εργαλείο (πρόγραμμα), που χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση (calibration) του χώρου, πριν τη λειτουργία του συστήματος, το οποίο καταγράφει τα RSS σε όλη την περιοχή κάλυψης. Η χαρτογράφηση γίνεται πολύ γρήγορα με ρυθμό ~1.111 m την ώρα. Τα WiFi tags προσκολλώνται στα αντικείμενα που θέλουμε να παρακολουθούμε. Εκπέμπουν RF σήματα τα οποία ανιχνεύονται από τα access points και η πληροφορία προωθείται στον κεντρικό server, όπου ειδική εφαρμογή (Positioning engine) υπολογίζει και παρέχει σε πραγματικό χρόνο τη θέση των tags και όποιων άλλων συσκευών υποστηρίζουν την τεχνολογία WLAN.

Η ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης, που επιτυγχάνει το σύστημα Ekahau είναι 1m, εφόσον υπάρχουν τρία τουλάχιστο επικαλυπτόμενα access points. Μπορεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα χιλιάδες συσκευές και έχει χαμηλό κόστος. Τα tags έχουν διαστάσεις 45mm x 55mm x 19mm, βάρος 48g και τροφοδοτούνται από μπαταρία με διάρκεια ζωής τα 5 χρόνια. Τα tags διαθέτουν εσωτερικό αισθητήρα κίνησης, ώστε να ενεργοποιούνται μόνο όταν μεταβάλλεται η θέση τους.

9.9 COMPASS (WLAN)

Το σύστημα COMPASS [45] χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή WLAN και κάποιες ψηφιακές πυξίδες (digital compasses) και αποτελεί ένα χαμηλού κόστους και σχετικά πολύ

ακριβές σύστημα εντοπισμού θέσης για εσωτερικούς χώρους και για την παρακολούθηση φορητών συσκευών που υποστηρίζουν την τεχνολογία WLAN.

Η εκτίμηση της θέσης του στόχου, γίνεται με την μέτρηση του RSS από διαφορετικά access points. Χρησιμοποιεί την μέθοδο fingerprinting (4.2.7) και έναν πιθανοτικό αλγόριθμο που υπολογίζει την ακριβή θέση. Στον αλγόριθμο αυτό λαμβάνεται υπόψη και ο προσανατολισμός του χρήστη, ο οποίος υπολογίζεται από την ψηφιακή πυξίδα. Αυτό αντισταθμίζει τις λάθος μετρήσεις του RSS λόγω των παρεμβολών του ανθρώπινου σώματος.

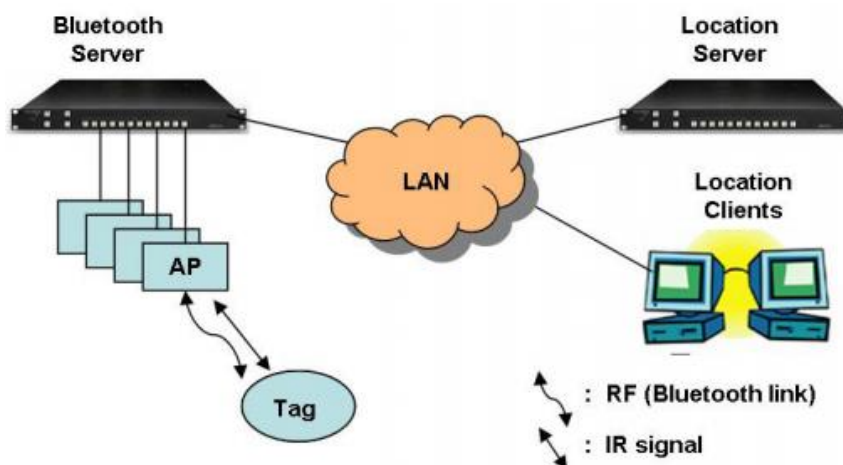
Το ανθρώπινο σώμα, επειδή αποτελείται από νερό σε ποσοστό πάνω από 50%, απορροφά μέρος της ακτινοβολίας των σημάτων που εκπέμπονται στα 2.4GHz (WiFi), επηρεάζοντας αρνητικά τον υπολογισμό του RSS. Το COMPASS επιχειρεί να εξαλείψει το πρόβλημα αυτό, λαμβάνοντας δείγματα RSS για κάθε διαφορετικό προσανατολισμό του σώματος.

Οι ψηφιακές πυξίδες που χρησιμοποιεί το COMPASS είναι χαμηλού κόστους και έχουν χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας, αφού ουσιαστικά αποτελούν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip).

Τα πειραματικά αποτελέσματα σε ένα δάπεδο 312 m² έδωσαν ακρίβεια ~1.65m και με παρακολούθηση ενός μόνο στόχου.

9.10 Topaz (Bluetooth)

Το σύστημα Topaz [46] χρησιμοποιεί την τεχνολογία Bluetooth για τον εντοπισμό κάποιων tags και προορίζεται για εσωτερικούς χώρους. Μπορεί να δώσει πληροφορία θέσης σε δύο διαστάσεις μόνο, με ακρίβεια ~2m, η οποία δεν θεωρείται είναι αρκετή, για εντοπισμό σε επίπεδο δωματίου.



Εικόνα 35: The System Architecture of Topaz IPS

Μπορεί να συνδυάσει την τεχνολογία Bluetooth με την τεχνολογία IR όταν αυτή η δυνατόν να εφαρμοστεί. Αποτελεί από τμήματα λογισμικού και υλικού όπως φαίνεται στην Εικόνα 35.

Τα Tags εντοπίζονται από τα διάφορα Bluetooth access points που βρίσκονται τοποθετημένα σε σταθερά σημεία, γνωστής θέσης. Ένας server μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι 32 access points και να επεξεργαστεί της πληροφορίες που λαμβάνει από αυτά. Οι πληροφορίες αυτές είναι μετρήσεις RSS που λαμβάνονται από τα access points και μετατρέπονται στον server σε πληροφορίες θέσης των tags.

Το σύστημα Topaz είναι σε θέση να ανιχνεύει τη θέση δεκάδων tags ταυτόχρονα. Τα βασικά του μειονέκτημα είναι ότι οι μπαταρίες των Tags έχουν μικρή διάρκεια ζωής (μιας εβδομάδας), ενώ ο χρόνος που απαιτείται για τον υπολογισμό της θέσης ενός tag κυμαίνεται από 10sec – 30sec.

9.11 Αξιολόγηση των IPS συστημάτων

9.11.1 IR IPS

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία IR, εμφανίζουν κάποια κοινά πλεονεκτήματα: παρέχουν μεγάλη ακρίβεια στον εντοπισμό της θέσης (μερικά χιλιοστά), οι πομποί IR έχουν μικρό μέγεθος, η αρχιτεκτονική τους είναι πολύ απλή και εγκαθίστανται και συντηρούνται εύκολα.

Πάντως εμφανίζουν κάποια μειονεκτήματα, όπως θέματα ιδιωτικότητας, τα σήματα IR επηρεάζονται από τον φωτισμό του περιβάλλοντος χώρου και δεν μπορούν να διαπεράσουν τοίχους, τα τυχόν εμπόδια ή ακόμα και τα ρούχα. Το πρόβλημα του επηρεασμού των σημάτων IR από τον υπάρχοντα φωτισμό μπορεί να επιλυθεί με χρήση ειδικών φίλτρων αι αλγορίθμων κάτι όμως που αυξάνει το κόστος του συστήματος.

Ένα άλλο μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό κόστος του υλικού, όταν χρησιμοποιούνται κάμερες και όταν απαιτούνται ειδικές καλωδιώσεις για την διασύνδεση των ανιχνευτών IR. Υπάρχουν ανιχνευτές σε κάθε χώρο που παρακολουθείται και όλοι τους είναι διασυνδεδεμένοι με ειδική καλωδίωση.

9.11.2 Ultrasound IPS

Τα συστήματα IPS που χρησιμοποιούν την τεχνολογία υπερήχων, αποτελούν μια σχετικά οικονομική πρόταση για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

Συνήθως, τα συστήματα αυτά παράλληλα με τους υπερήχους χρησιμοποιούν και την τεχνολογία RF στο συγχρονισμό των πομπών και των δεκτών, κάτι που είναι απαραίτητο αφού στηρίζονται στη μέθοδο TAO και TDOA.

Η ακρίβεια που επιτυγχάνουν φτάνει τα μερικά εκατοστά, ενώ επηρεάζονται από τις αντανακλάσεις των υπερήχων πάνω σε επιφάνειες του χώρου και τον αντικείμενων που υπάρχουν σε αυτόν.

9.11.3 RFID IPS

Τα συστήματα IPS που χρησιμοποιούν την τεχνολογία RFID είναι κατάλληλα τόσο για εξωτερικούς όσο και εσωτερικούς χώρους. Χρησιμοποιούν ελαφριά και μικρά σε διαστάσεις tags, τα οποία φέρει το αντικείμενο ή το άτομο που παρακολουθείται.

Πάντως, η ακρίβεια του εντοπισμού θέσης απαιτεί την εγκατάσταση αρκετού υλικού, κάτι που δημιουργεί ανάγκες συντήρησης.

9.11.4 WLAN IPS

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία WLAN, έχουν ως στόχο να παρέχουν πληροφορίες θέσης με χαμηλό κόστος. Βρίσκουν εφαρμογή μόνο σε εσωτερικούς χώρους και χρησιμοποιούν τις WLAN υποδομές που ήδη υπάρχουν.

Η τεχνολογία WLAN υποστηρίζεται από πλήθος συσκευές όπως laptops, smartphones, PDAs κ.λπ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι εύκολη η παρακολούθηση ατόμων που φέρουν τέτοιες συσκευές.

Λόγω των παρεμβολών και τη διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων, η ακρίβεια των συστημάτων αυτών στο εντοπισμό θέσης μέσω RSS και τριγωνισμού ή τριπλευρισμού, δεν θεωρείται ακριβής. Επίσης, δεν μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα η μέθοδος fingerprinting, επειδή κάθε συσκευή έχει διαφορετικό αποτύπωμα RSS στο ίδιο σημείο του χώρου.

9.11.5 Bluetooth IPS

Τα συστήματα IPS που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Bluetooth, μπορεί να εντοπίσει τη θέση συσκευών που υποστηρίζουν την τεχνολογία αυτή. Επειδή το Bluetooth είναι φθηνή τεχνολογία και απαιτεί μικρή κατανάλωση ενέργειας, τα συστήματα αυτά θεωρούνται οικονομικά.

Πάντως, το μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι η ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης που κυμαίνεται από 2m έως 3m, ενώ ο υπολογισμός της θέσης απαιτεί περίπου 20sec.

Τα συστήματα αυτά έχουν επίσης όλα τα μειονεκτήματα των συστημάτων που χρησιμοποιούν ως μέθοδο μέτρησης το RSS, επειδή είναι επιρρεπή σε παρεμβολές και στους μηχανισμούς διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (6.3).

9.12 Συγκριτική παρουσίαση συμπερασμάτων για τα IPS

Για μια συγκριτική εικόνα των παραπάνω συστημάτων IPS, ακολουθούν πίνακες αξιολόγησης, ως προς το κόστος τους και την πολυπλοκότητα τους (Πίνακας V) και ως προς την απόδοση – ακρίβεια εντοπισμού θέσης (Πίνακας VI).

Πίνακας V: Αξιολόγηση των IPS ως προς το κόστος και την πολυπλοκότητα

Σύστημα	Κόστος	Πολυπλοκότητα
Active Badge	Λογικό	Χαμηλή
Firefly	Ένας controller και 32 tags περίπου \$27.500	Χαμηλή
Active Bat	Ακριβό	Οι δέκτες βρίσκονται στην οροφή
Cricket	Πολύ φθηνό	Χαμηλή
Sonitor	Φθηνό	Πολλοί ανιχνευτές σταθερά τοποθετημένοι στην περιοχή παρακολούθησης
WhereNet	Φθηνό	Περίπλοκο
RADAR	Δεν διατίθεται ως προϊόν	Χρησιμοποιεί PC σαν access points, χωρίς δυνατότητα κεντρικής εγκατάστασης
EkaHau	Φθηνό	Χρησιμοποιεί το υπάρχον WLAN και το απασχολεί για μεγάλο ποσοστό χρόνου
COMPASS	Φθηνό	Χρησιμοποιεί το υπάρχον WLAN
Topaz		Απαιτεί την εγκατάσταση πολλών IR access points και servers

Πίνακας VI: Αξιολόγηση των IPS ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης

Σύστημα	Τεχνολογία	Ακρίβεια εντοπισμού
Active Badge	IR	Σε επίπεδο δωματίου
Firefly	IR	Μικρότερο των 3mm
Active Bat	Ultrasound	0.1mm - 0.5mm, με πιθανότητα 95%
Cricket	Ultrasound	10cm, και 3°
Sonitor	Ultrasound	Σε επίπεδο δωματίου
WhereNet	RFID	2m - 3m
RADAR	WLAN	4m με πιθανότητα 50%
EkaHau	WLAN	1m με δυνατότητα παρακολούθησης χιλιάδων συσκευών ταυτόχρονα
COMPASS	WLAN	~1.65m
Topaz	Bluetooth	Σε επίπεδο δωματίου (2m - 3m)

10 Συμπεράσματα

Λαμβάνονται υπόψη τα όσα μέχρι τώρα έχουν αναφερθεί, μπορεί εύκολα να διαπιστώσει ο αναγνώστης, ότι η μέχρι τώρα έρευνα πάνω στον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους, δεν έχει να δείξει ένα σύστημα που να μπορεί να βρει μια γενικότερη αξιόπιστη εφαρμογή.

Αν μη τι άλλο, είναι παράδοξο ότι παρόλο που το πρόβλημα εντοπισμού θέσης σε εξωτερικούς χώρους έχει πρακτικά λυθεί μέσω των συστημάτων GNSS (GPS, GLONAS κ.λπ.), δεν ισχύει το ίδιο για τους εσωτερικούς χώρους. Μπορεί εύκολα να εντοπιστεί η θέση κάποιου σε οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας της Γης (με ακρίβεια εκατοστών). Δεν μπορεί όμως να γίνει το σε έναν κλειστό χώρο. Αυτό που ίσως δικαιολογεί το παράδοξο, είναι ότι το πρόβλημα εντοπισμού θέσης σε εξωτερικούς χώρους απασχόλησε αρχικά τις υπηρεσίες εθνικής άμυνας των υπερδυνάμεων, κάτι που εξασφάλισε μεγάλες χρηματοδοτήσεις σε έρευνα και τεχνολογία.

Κάθε σύστημα IPS που έχει μέχρι τώρα προταθεί, στηρίζεται σε τεχνολογίες που συνήθως προϋπάρχουν εγκατεστημένες σε εσωτερικούς χώρους, όπως το WiFi και σε πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι κοινά στις φορητές συσκευές, όπως το Bluetooth. Όμως, τίποτα από τα παραπάνω δεν έχει σχεδιαστεί για το σκοπό αυτό.

Οι παρεμβολές άλλων συσκευών, καθώς και οι αντανάκλασεις των εκπεμπόμενων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στις επιφάνειες των αντικειμένων που υπάρχουν στο χώρο, η απορρόφηση τους από τα δομικά υλικά ή το ανθρώπινο σώμα, διαμορφώνουν ένα θορυβώδες και ασταθές περιβάλλον, όπου κανένα μέχρι τώρα σύστημα IPS δεν μπορεί να δώσει αυτά που θεωρητικά μπορεί. Τα μετρώμενα αποτελέσματα κατά την πειραματική δοκιμή των συστημάτων που στηρίζονται σε WLAN και Bluetooth, απέχουν πολύ από αυτά που μπορεί να μετρήσει κανείς σε ένα πραγματικό περιβάλλον.

Άλλα συστήματα IPS που στηρίζονται στους υπερήχους και στην υπέρυθη ακτινοβολία, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτά που στηρίζονται στο WLAN και στο Bluetooth. Έχουν όμως και αυτά πολλά μειονεκτήματα. Π.χ. η χρήση των υπέρυθρων ακτίνων απαιτεί

οπτική επαφή πομπού – δέκτη και περιβάλλον περιορισμένου φωτισμού, επειδή και το φως εμπεριέχει υπέρυθρη ακτινοβολία. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν υπερήχους, έχουν το πρόβλημα ότι οι υπέρηχοι δεν διαπερνούν τα δομικά υλικά, κάτι που αυξάνει την περιπλοκότητα της εγκατάστασης.

Κάποια υβριδικά συστήματα IPS προσπαθούν να επιλύσουν το πρόβλημα χρησιμοποιώντας συνδυαστικά τις τεχνολογίες WLAN, Bluetooth με Ultrasound και IR, τα οποία φαίνονται πιο αξιόπιστα.

Πάντως, ο χώρος της έρευνας πάνω στον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους, είναι ακόμα ανοικτός σε νέες προτάσεις. Η στιγμή που θα σχεδιαστεί ένα σύστημα IPS που θα μπορεί να βρει γενικότερη εφαρμογή σε κάθε εσωτερικό χώρο, είναι βέβαιο ότι αργεί.

11 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Y. Gu, A. Lo και I. Niemegeers, «A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks,» 2009.
- [2] M. Agrawal και K. Konolige, «Real-time Localization in Outdoor Environments using Stereo Vision and Inexpensive GPS,» 2006.
- [3] A. R. Beresford και F. Stajano, «Location privacy in pervasive computing,» 2003.
- [4] F. Siyao, H. Zeng-Guang και Y. Guosheng, «An indoor navigation system for autonomous mobile robot using wireless sensor network,» 2009.
- [5] T. Camp, J. Boleng και V. Davies, «A survey of mobility models for ad hoc network research,» 2009.
- [6] J. Wang, R. K. Ghosh και S. Das, «A survey on sensor localization,» 2010.
- [7] Oracle, «Oracle Spatial and Graph,» Oracle Technology Network. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.oracle.com/us/products/database/options/spatial/overview/index.html>.
- [8] PostGIS, «PostGIS». [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://postgis.net/>.
- [9] S. Pandey και P. Agrawal, «A survey on localization techniques for wireless networks,» 2006.
- [10] K. Pahlavan, L. Xinrong και J. Makela, «Indoor geolocation science and technology,» *IEEE Communications Magazine*, February 2002.
- [11] J. Schiller και A. Voisard, «Location-Based Services,» 2004.
- [12] E. Calais, «The Global Positioning System The Global Positioning System».
- [13] F. Thomas και L. Ros, «Revisiting trilateration for robot localization,» 2005.
- [14] Y. Wang, S. Shi, X. Yang και A. Ma, «Bluetooth Indoor Positioning using RSSI and Least Square Estimation».
- [15] M. Z. Rahman, «Beyond Trilateration GPS Positioning Geometry and Analytical Accuracy,» 2012.
- [16] R. Peng και M. L. Sichitiu, «Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks,» 2006.
- [17] K. Pahlavan, X. Li, M. Ylianttila, R. Chana και M. Latva-aho, «An Overview of Wireless Indoor Geolocation,» 2000.
- [18] J. Caffery και G. Stuber, «Subscriber Location in CDMA Cellular Networks».
- [19] M. Aatique, «EVALUATION OF TDOA TECHNIQUES FOR POSITION,» Virginia, 1997.
- [20] W. Foy, «Position-location solutions by Taylor-series estimation,» 1976.

- [21] Y. Chan και K. Ho, «A simple and efficient estimator for hyperbolic location,» 1994.
- [22] H. Friis, «A note on a simple transmission formula,» 1946.
- [23] K. Kaemarungsi και P. Krishnamurthy, «Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting,» 2004.
- [24] S. Chan και G. Sohn, «indoor localization using wi-fi based fingerprinting and trilateration techniques for lbs applications,» 2012.
- [25] Z. Tian, X. Tang, M. Zhou και Z. Tan, «Fingerprint indoor positioning algorithm based on affinity propagation clustering,» 2013.
- [26] B. Li, J. Salter, A. G. Dempster και C. Rizos, «Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN».
- [27] J. Small, A. Smailagic και D. P. Siewiorek, «Determining user location for context aware computing through the use of a Wireless LAN infrastructure,» 2000.
- [28] P. Castro, P. Chiu, T. Kremenek και R. Muntz, «A probabilistic room location service for Wireless Networked environments,» 2001.
- [29] C. Medina, J. C. Segura και A. D. I. Torre, «Ultrasound Indoor Positioning System Based on a Low-Power Wireless Sensor Network Providing Sub-Centimeter Accuracy,» 2013.
- [30] Y. B. Bai, D. S. Wu, H. Wu και K. Zhang, «Overview of RFID-Based Indoor Positioning Technology,» 2012.
- [31] S. William, «Wireless Communications & Network,» 2005.
- [32] J. B. Andersen, T. S. Rappaport και S. Yoshida, «Propagation Measurements and Model for Wireless Communications Channel,» 1995.
- [33] Vasileios Zeimpekis, G. M. Giaglis και G. Lekakos, «A Taxonomy of Indoor and Outdoor Positioning Techniques for Mobile Location Services,» 2003.
- [34] G. Chen και D. Kotz, «A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research,» 2000.
- [35] R. Want, A. Hopper, V. Falcão και J. Gibbons, «The Active Badge Location System,» 1992.
- [36] C. Interactive, «Firefly Motion Capture System,» 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.cybernet.com/interactive/firefly/index.html>.
- [37] A. Cambridge, «Active Bat,» 7 Dec 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attachive/bat>.
- [38] N. Priyantha, A. Chakraborty και H. Balakrishnan, «The cricket location- support system,» 2000.
- [39] «Sonitor System,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.sonitor.com/>.
- [40] Zebra, «WHERE NET,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.zebra.com/us/en/products/location-solutions/wherenet.html>.
- [41] Zebra, «VISIBILITY SERVER SOFTWARE,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.zebra.com/us/en/products/location-solutions/software/visibility-server-software.html>.
- [42] P. Bahl και V. Padmanabhan, «RADAR: An in-building RF based user,» 2000.
- [43] M. Research, «RADAR,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://research.microsoft.com/en-us/projects/radar/>.
- [44] Ekahau, «Wi-Fi RTLS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.ekahau.com>
- [45] T. King, S. Kopf, T. Haenselmann, C. Lubberger και W. Effelsberg, «COMPASS: A Probabilistic Indoor Positioning System Based on 802.11 and Digital Compasses,» 2006.
- [46] Tadlys, «Indoor Location Networks,» [Ηλεκτρονικό]. Available:

http://www.tadlys.co.il/pages/Product_content.asp?iGlobalId=2.

[47] O. Pathak, P. Palaskar, R. Palkar και M. Tawari, «Wi-Fi Indoor Positioning System Based on RSSI Measurements from Wi-Fi Access Points –A Tri-lateration Approach».

[48] InSoft, «Indoor Positioning,» [Ηλεκτρονικό]. Available:
<http://www.infsoft.com/products/indoor-navigation..>