



**ΤΕΙ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠ/ΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Θέμα: Σύστημα Εντοπισμού της Θέσης Ενός  
Κόμβου Αισθητήρα**

**Όνοματεπώνυμο: Τσούνη Χριστίνα 1121**

**Κουλοπούλου Αθανασία 1011**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αμπελιώτης Δημήτριος, Εργαστηριακός Συνεργάτης ΤΕΣΥΔ**





**ΔΙΕΥΡΥΝΣΗ  
ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑΣ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ  
ΤΕΙ  
ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ (2004-2006) ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ**



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ  
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



**Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ**  
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα  
Εκπαίδευσης και Αρχικής  
Επαγγελματικής Κατάρτισης

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή  
Ναύπακτος,

**ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

## **Περίληψη**

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη συστήματος εντοπισμού θέσης ενός κόμβου αισθητήρα. Αρχικά, έχει παρουσιαστεί μια ανάλυση σε θεωρητικό επίπεδο για τα δίκτυα αισθητήρων και έχει γίνει αναφορά στις βασικές τεχνικές εντοπισμού θέσης με έμφαση στην τεχνική location fingerprinting.

Η μελέτη αυτή έγινε και πειραματικά με την διεξαγωγή του πειράματος σε χώρο του εργαστηρίου όπου πήραμε μετρήσεις ενέργειας (RSSI) από ένα σύνολο αισθητήρων οι οποίοι και επικοινωνούσαν ασύρματα με ένα προσωπικό υπολογιστή, στον οποίο εκτελείται και ο αλγόριθμος εντοπισμού θέσης.

## ***Λέξεις Κλειδιά***

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, αισθητήρες, location fingerprinting, sun Spot

## **Abstract**

The aim of this thesis was to study positioning system one sensor node. First, there has been a breakdown in theory for sensor networks and has been referred to the basic positioning techniques with emphasis on technical location fingerprinting.

This study was done experimentally by conducting the experiment in the laboratory where we energy measurements (RSSI) from a set of sensors which communicate wirelessly and with a personal computer that runs the algorithm and location.

## ***Key Words***

Wireless sensor networks, sensors, location fingerprinting, sun Spot

## Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	1
Γενικά στοιχεία για τα δίκτυα αισθητήρων (wireless sensor Networks) .....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ιστορική αναδρομή των Δικτύων Αισθητήρων .....	3
1.3 Αρχιτεκτονική ενός αισθητήρα .....	7
1.3.1 Κύρια μέρη ενός αισθητήρα .....	8
1.4 Εφαρμογές δικτύων αισθητήρων.....	10
1.5 Συνοπτική περιγραφή των εφαρμογών .....	11
1.5.1 Περιβαλλοντικές εφαρμογές .....	11
1.5.2 Γεωργία.....	13
1.5.3 Οικιακοί αυτοματισμοί.....	14
1.5.4 Υγειονομική και φαρμακευτική περίθαλψη.....	15
1.5.5 Επιτήρηση μηχανών και βιομηχανικές εφαρμογές .....	17
1.5.6 Έλεγχος μεταφορών και συγκοινωνιών.....	19
1.5.7 Εφαρμογές ασφαλείας.....	20
1.6 Βασικά χαρακτηριστικά ενός δικτύου αισθητήρων.....	20
1.7 Παράγοντες που επηρεάζουν συνολικά το σχεδιασμό ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων.....	22
1.8 Παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία των ασύρματων δικτύων.....	23
1.9 Πλεονεκτήματα δικτύων αισθητήρων.....	24
1.10 Βασικές Επιδιώξεις σε ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρα.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	26
Βασικές τεχνικές εντοπισμού θέσης.....	26
2.1 Εισαγωγή.....	26

2.2 Υπηρεσίες Εντοπισμού θέσης και εσωτερική πλοήγηση.....	28
<b>2.3 INLBS – Indoor Location Based Systems .....</b>	<b>29</b>
2.4. Λειτουργία συστημάτων εντοπισμού θέσης.....	30
2.5. Μέθοδοι εντοπισμού θέσης .....	31
<b>2.6 Τεχνολογίες Self-positioning .....</b>	<b>33</b>
<b>2.6.1. Δορυφόροι (satellites) .....</b>	<b>33</b>
<b>2.6.2. Κυβελοειδές δίκτυο επικοινωνίας .....</b>	<b>33</b>
2.6.3. Wi-Fi (Wireless Fidelity).....	34
2.6.5. Bluetooth.....	35
2.6.6. Υπέρυθρες (Infrared).....	35
2.6.7. Ultra Wide Band.....	37
2.6.8. Σύνοψη των Self-positioning τεχνολογιών.....	38
<b>2.7. Μέθοδοι Remote-positioning.....</b>	<b>39</b>
2.7.1. Μέθοδος αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (COO) .....	40
2.7.2. Μέθοδος της γωνίας άφιξης (Angle of Arrival-AOA) .....	42
2.7.3 Χρονική καθυστέρηση .....	43
2.7.4. Ισχύς λαμβανόμενου σήματος (RSS) .....	46
2.7.5. Τριγωνισμός (Triangulation) .....	47
<b>2.7.6. Fingerprinting .....</b>	<b>48</b>
<b>2.7.7. Σύνοψη των Remote-positioning μεθόδων.....</b>	<b>49</b>
2.7.8. Σύνοψη όλων των μεθόδων και τεχνολογιών εντοπισμού θέσης.....	50
2.8. Ανάλυση Τοποθεσίας.....	50
2.9 Η τεχνική Fingerprinting .....	54
2.9.1 Αποφυγή “ δακτυλικών αποτυπωμάτων ” .....	55



2.9.2 Το πρόβλημα του σφάλματος των “δακτυλικών αποτυπωμάτων” .....	55
2.9.3 Ο αριθμός των δειγμάτων για τον υπολογισμό των “δακτυλικών αποτυπωμάτων” ..	56
2.9.4 Η διαδικασία συλλογής των “ δακτυλικών αποτυπωμάτων ” .....	57
2.9.5 Συμπεράσματα από την τεχνική του <i>LOCATION FINGERPRINTING</i> .....	58
Κεφάλαιο 3 .....	59
Τεχνολογία SunSpot .....	59
3.1 Αισθητήρες τεχνολογίας <i>SUNSPOT</i> .....	59
3.2 Διάφορα τεχνικά στοιχεία των κόμβων <i>Sun SPOTs</i> .....	61
3.3 Τεχνικές προδιαγραφές των <i>SPOTs</i> .....	63
3.4 Χρήσιμο λογισμικό για <i>SunSpot</i> συσκευές .....	64
<b>3.5 Δίαυλοι επικοινωνίας του <i>Main Board</i></b> .....	66
3.6 Στοιχεία του <i>SPOT Main Board</i> .....	67
<b>3.6.1 Επεξεργαστής</b> .....	67
3.6.2 Μνήμη .....	68
3.6.3 Μπαταρία .....	68
3.6.4 Ασύρματος πομποδέκτης ( <i>wireless radio</i> ) .....	69
3.6.5 Κύκλωμα τροφοδοσίας .....	69
3.7 Προγραμματισμός των <i>SPOTs</i> .....	71
3.8 Εγκατάσταση και εκτέλεση εφαρμογών στα <i>SPOTs</i> .....	75
Βιβλιογραφία .....	79
Πηγαίος Κώδικας Εφαρμογής .....	81
<i>Fixed Node.java</i> .....	82
<i>MobileNode.java</i> .....	84
<i>PositionLocator.java</i> .....	86

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Σχηματική αναπαράσταση δικτύου αισθητήρων .....	2
Εικόνα 2: Εξέλιξη κόμβων από το Β' Παγκόσμιο μέχρι σήμερα.....	7
Εικόνα 3: Διασπορά ασύρματων κόμβων σε ένα πεδίο παρακολούθησης.....	8
Εικόνα 4: Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων .....	11
Εικόνα 5: Ανάπτυξη WSN για την παρακολούθηση της πανίδας .....	13
Εικόνα 6: Εγκατάσταση αισθητήρα για τον έλεγχο της υγρασίας του εδάφους.....	14
Εικόνα 7: Ασύρματος και απομακρυσμένος έλεγχος σπιτιού με χρήση αισθητήρων .....	15
Εικόνα 8: Εφαρμογές των WSNs στον τομέα της υγείας .....	17
Εικόνα 9: Ανίχνευση διαρροών.....	18
Εικόνα 10: Σηματοδότηση σιδηροδρόμων με τη χρήση WSN .....	19
Εικόνα 11: Δίκτυο πυρανίχνευσης με τη χρήση WSN.....	20
Εικόνα 12. Η λειτουργία των LBS .....	31
Εικόνα 13. Κυψελοειδές δίκτυο επικοινωνίας .....	34
Εικόνα 14. Wi-Fi .....	35
Εικόνα 15. Η Ultra Wide Band μέθοδος .....	37
Εικόνα 16. Cell of Origin .....	41
Εικόνα 17 . Time of Arrival.....	45
Εικόνα 18. Η μέθοδος Time Difference of Arrival .....	46
Εικόνα 19. Η μέθοδος Fingerprinting.....	48
Εικόνα 20: <i>SUNSPOT</i> .....	60

## Πίνακας Σχημάτων

Σχημα 1. Η μέθοδος των υπερύθρων.....	36
Σχημα 2. Angle of Arrival .....	42
Σχημα 3. Η RSS μέθοδος .....	47
Σχημα 4. Η μέθοδος του Τριγωνισμού (Triangulation).....	47
Σχημα 5. Παράδειγμα πιθανού λάθους στο ταίριασμα των online και offline τιμών στον radio map .....	53
Σχημα 6: Sunspots Συνδεσμολογία .....	64

## **Πίνακας Πινάκων**

Πίνακας 1. Θετικά και αρνητικά των Self-positioning τεχνολογιών .....	39
Πίνακας 2. Θετικά και αρνητικά των Remote-positioning μεθόδων .....	49
Πίνακας 3. Σύνοψη ορισμένων μεθόδων εντοπισμού .....	50

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

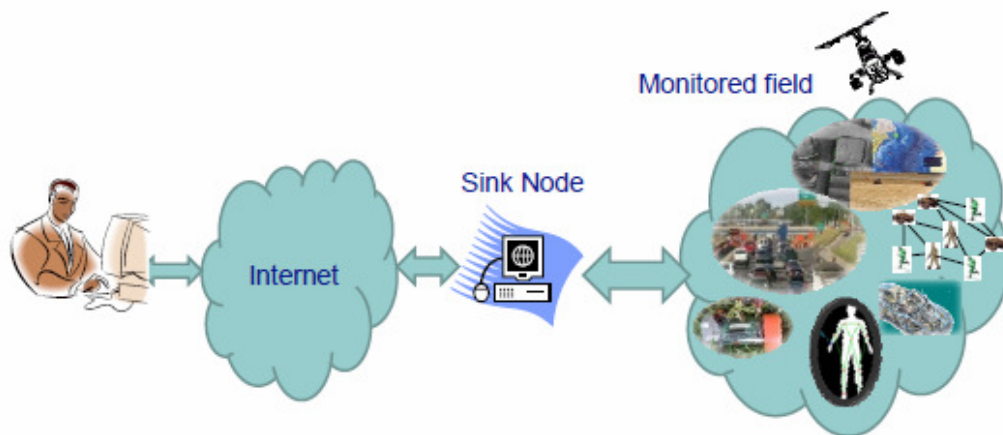
## Γενικά στοιχεία για τα δίκτυα αισθητήρων (wireless sensor Networks)

### 1.1 Εισαγωγή

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι ένα δίκτυο υπολογιστών που αποτελείται από αυτόνομες συσκευές κατανεμημένες στο χώρο οι οποίες χρησιμοποιούν αισθητήρες με σκοπό την καταγραφή και παρακολούθηση φαινομένων από τον φυσικό κόσμο σε διάφορες περιοχές. Κοινά φαινόμενα παρακολούθησης είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση, η κατεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου, η ένταση του φωτός, η ένταση της δόνησης, η ένταση του ήχου, χημικές συγκεντρώσεις, επίπεδα μόλυνσης και τέλος σωματικές ζωτικές παράμετροι όπως ο καρδιακός ρυθμός, η πίεση, η ποσότητα γλυκόζης στο αίμα και άλλοι.

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από πολλαπλούς σταθμούς παρακολούθησης, που ονομάζονται χαρακτηριστικά «αισθητηριακοί κόμβοι» (sensor nodes). Κάθε κόμβος έχει δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων (έναν ή περισσότερους μικροεπεξεργαστές, συστήματα ελέγχου, ακόμα και κεντρικές μονάδες CPU ή DSP τσιπάκια.), διαφόρων τύπων μνήμες (προγραμματισμού, δεδομένων ή flash), ραδιοπομποδέκτη (συνήθως με μια μονή κατευθυντική

κεραία), μία πηγή ισχύος (μπαταρία, φωτοκύτταρα) και φυσικά αισθητήρες και actuators<sup>1</sup> οι οποίοι συλλέγουν την πληροφορία. Οι αισθητήρες παράγουν ηλεκτρικά σήματα βασισμένα στα ανιχνευόμενα φαινόμενα που προέρχονται από το περιβάλλον, ο μικροεπεξεργαστής τα επεξεργάζεται και αποθηκεύει τα δεδομένα εξόδου από τους αισθητήρες, ενώ ο πομποδέκτης που είναι ασύρματος στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που μελετούμε, λαμβάνει τυπικά εντολές από έναν κεντρικό υπολογιστή και μεταδίδει τα καταγραμμένα δεδομένα πίσω σε αυτόν. Η πηγή ενέργειας για κάθε αισθητηριακό κόμβο, προέρχεται στις περισσότερες περιπτώσεις από μπαταρία, παρόλο που η χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας (π.χ. ηλιακή ενέργεια με τη χρήση ηλιακών κυψελών) μπορεί επίσης να είναι εφικτή. Οι κόμβοι επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους και συχνά αυτό-οργανώνονται μετά την τοποθέτησή τους σχηματίζοντας ad-hoc δίκτυα. Υπάρχουν σήμερα δίκτυα με χιλιάδες, ή ακόμα και δεκάδες χιλιάδες κόμβους, και η όλο και πιο διαδεδομένη και ευρεία χρήση τους, έχει φέρει επαναστατικές αλλαγές σε μία πληθώρα εφαρμογών.



**Εικόνα 1: Σχηματική αναπαράσταση δικτύου αισθητήρων**

Η ραγδαία πρόοδος στην τεχνολογία ημιαγωγών την τελευταία δεκαετία, με την ελαχιστοποίηση μεγέθους και κόστους που επέφερε κατέστησε δυνατή την υλοποίηση υπολογιστών σε μεγέθη

συγκρίσιμα με το κεφάλι μιας καρφίτσας με μεγάλη υπολογιστική ισχύ και σε μικρό σχετικά κόστος. Ταυτόχρονες εξελίξεις στο χώρο των μικρό-ηλεκτρομηχανικών συστημάτων, των ασύρματων επικοινωνιών και των ψηφιακών ηλεκτρονικών έχουν οδηγήσει σε μια πραγματική επανάσταση η οποία έχει μεταβάλει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι σκέφτονται και επικοινωνούν. Η σύγχρονη τάση για ολοένα μεγαλύτερη ολοκλήρωση και μείωση του μεγέθους έχει δώσει την δυνατότητα για ανάπτυξη πολλών συσκευών χαμηλού κόστους και ισχύος που υλοποιούν ένα πλήθος εφαρμογών. Ο αριθμός των ατόμων ανά υπολογιστή μειώνεται συνεχώς και οδηγεί σε τεχνολογικές λύσεις που ικανοποιούν την ανάγκη του καθενός ξεχωριστά. Μέσα σε αυτή την τάση αναδεικνύεται και η ανάπτυξη των ασύρματων προσωπικών δικτύων και των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Εκτιμάται ότι μέσα στα επόμενα 10-15 χρόνια όλη η επιφάνεια του πλανήτη θα έχει καλυφθεί από διάφορων ειδών τέτοια δίκτυα στα οποία θα είναι δυνατή η πρόσβαση μέσω του διαδικτύου, πράγμα το οποίο θα κάνει το διαδίκτυο να είναι πλέον ένα φυσικό δίκτυο. Καθώς τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν ήδη βρει σημαντική απήχηση σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος εφαρμογών οι οποίες έχουν προταθεί και υλοποιηθεί, αναμένεται η χρήση τους να φέρει σημαντικές αλλαγές στο μέλλον τόσο στην επιστημονική έρευνα όσο και στην καθημερινή μας ζωή.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή των Δικτύων Αισθητήρων

Η ανάπτυξη δικτύων αισθητήρων προέκυψε με συνεργασία ανάμεσα στις ερευνητικές περιοχές της τεχνολογίας αισθητήρων, τηλεπικοινωνιών και μικροϋπολογιστικής. Συστήματα όμως εναέριας παρακολούθησης με επικοινωνία μεταξύ σημείων και υπολογιστικές δυνατότητες, τα οποία θα μπορούσαν πρακτικά να θεωρηθούν δίκτυα αισθητήρων εμφανίστηκαν πολύ πριν ο όρος «δίκτυα αισθητήρων» αρχίσει να γίνεται γνωστός στην επιστημονική κοινότητα.

Όπως και με πολλές άλλες τεχνολογίες, η έρευνα στην περιοχή των δικτύων αισθητήρων ξεκίνησε από στρατιωτικές/αμυντικές εφαρμογές. Κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου αναπτύχθηκε το Sound Surveillance System (SOSUS), ένα σύστημα ανιχνευτών ήχου διασκορπισμένων στον Ατλαντικό και Ειρηνικό Ωκεανό, και χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό

υποβρυχίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα από την National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) για παρακολούθηση ωκεάνιων οικοσυστημάτων καθώς και για εντοπισμό σεισμικής δραστηριότητας στον πυθμένα.

Κατά τη διάρκεια του Ψυχρού πολέμου επίσης αναπτύχθηκαν εναέρια δίκτυα παρακολούθησης για αμυντικούς σκοπούς. Τα συστήματα αυτά εξελίχθηκαν στα επόμενα χρόνια με εναέριους αισθητήρες στα Airborne Warning and Control System (AWACS) αεροπλάνα, τα οποία επίσης χρησιμοποιούνται ακόμα από την αστυνομία.

Οι αισθητήρες της γενιάς αυτής υιοθετούσαν γενικά μια ιεραρχική δομή επεξεργασίας όπου η επεξεργασία γινόταν σε διαδοχικά επίπεδα μέχρι η πληροφορία για τα στοιχεία ενδιαφέροντος να φτάσει στο χρήστη. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο ανθρώπινος παράγοντας μάλιστα έπαιζε σημαντικό ρόλο στο σύστημα. Παρόλο όμως που η έρευνα ήταν προσανατολισμένη στις ανάγκες της εκάστοτε αποστολής (επεξεργασία και ερμηνεία ακουστικού σήματος, παρακολούθηση κλπ) οδήγησε σε κάποιες τεχνικές θεμελιώδους σημασίας για την ανάπτυξη των δικτύων αισθητήρων όπως τα γνωρίζουμε σήμερα.

Η σύγχρονη έρευνα στο χώρο των δικτύων αισθητήρων ξεκίνησε γύρω στο 1980 με το πρόγραμμα Distributed Sensor Networks (DSN) από τη Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Το αρχικό όνομα της DARPA ήταν Advanced Research Projects Agency (ARPA). Μέχρι τότε τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνταν από έναν αρκετά μεγάλο αριθμό ευρέως διασκορπισμένων αισθητήρων, οι οποίοι συνεργάζονταν μεν, λειτουργούσαν όμως αυτόνομα, με την πληροφορία να δρομολογείται προς όποιον κόμβο μπορούσε να την διαχειριστεί στη δεδομένη στιγμή. Το arpanet (δίκτυο που οδήγησε στο σημερινό internet) το οποίο λειτουργούσε ήδη για κάποια χρόνια, κυρίως σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα έδωσε ώθηση στην ιδέα της επέκτασης των πρωτοκόλλων του και εφαρμογή τους στην επικοινωνία σε δίκτυα αισθητήρων. Η καινοτομία αυτή ήταν αρκετά φιλόδοξη δεδομένων των τότε συνθηκών, καθώς δεν υπήρχαν ακόμα προσωπικοί υπολογιστές και workstations, τα modem ήταν εξαιρετικά αργά και το Ethrenet βρισκόταν ακόμα σε πολύ πρώιμο στάδιο εφαρμογής.

Το 1978 έγινε μια συνολική διατύπωση-απαρίθμηση των δομικών στοιχείων ενός DSN. Σε αυτά περιλαμβάνονταν οι αισθητήρες, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, αλγόριθμοι και τεχνικές επιλογής θέσης κόμβων και επεξεργασίας της συλλεγόμενης πληροφορίας, και καταναμημένο λογισμικό.



Διατυπώθηκε επίσης από τη DARPA η πρόταση να χρησιμοποιηθούν εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης για την κατανόηση των σημάτων και την αξιολόγηση καταστάσεων αλλά καθώς η διαθέσιμη τεχνολογία δεν ήταν ακόμα επαρκής για την υλοποίηση αυτή, η έρευνα περιορίστηκε σε τεχνικές επίλυσης κατανεμημένων προβλημάτων, υπολογιστικής υποστήριξης και επεξεργασίας σημάτων. Οι έρευνες αυτές ήταν επικεντρωμένες σχεδόν αποκλειστικά σε αισθητήρες ανίχνευσης ήχου.

Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των δικτύων αισθητήρων έγινε στο πανεπιστήμιο Carnegie Mellon (CMU) των ΗΠΑ, με προσανατολισμό στην ανάπτυξη ενός λειτουργικού δικτύου το οποίο θα επέτρεπε ευέλικτη πρόσβαση στα επιμέρους τμήματα του και θα ήταν ταυτόχρονα ανθεκτικό σε αστοχίες κόμβων. Το σύστημα που προέκυψε ονομάστηκε Accent και ήταν το πρώτο που υποστήριζε transparent δικτύωση και rebinding. Ενισχυμένο με νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας, γλώσσα διεπαφών για λογισμικό κατανεμημένων συστημάτων αλλά και τεχνικές εξισορρόπησης φορτίου και αποσφαλμάτωσης, το Accent λειτούργησε για πρώτη φορά με υπολογιστές συνδεδεμένους με Ethernet. Αργότερα το σύστημα αυτό εξελίχτηκε στο Mach Operating System το οποίο και βρήκε ευρεία εμπορική αποδοχή.

Σχεδόν ταυτόχρονη έρευνα στο Massachusetts Institute of Technology (MIT), επικεντρώθηκε σε knowledge-based τεχνικές επεξεργασίας σήματος για εντοπισμό ελικοπτέρων. Ο κεντρικός άξονας των τεχνικών αυτών ήταν η θεώρηση των ακουστικών σημάτων ως αποτελούμενα από πολλαπλά επίπεδα και συμπίεση των κατώτερων για εξαγωγή πληροφορίας από τα peaks των κυματομορφών τους. Επιπλέον αναπτύχθηκε το περιβάλλον Signal Processing Language and Interactive Computing Environment (SPLICE) για ανάλυση δεδομένων δικτύων αισθητήρων, ανάπτυξη αλγορίθμων και για διαδραστικό υπολογισμό βασικής συχνότητας.

Ένα από τα βασικά προβλήματα για τα δίκτυα αισθητήρων ήταν από την αρχή η παρακολούθηση πολλών διαφορετικών στόχων σε κατανεμημένο περιβάλλον. Η αντιστοιχία μετρήσεων από τους κόμβους και η εκτίμηση καταστάσεων στόχων με βάση τις αντιστοιχίες αυτές έπρεπε να διαδίδεται σε όλους τους κόμβους. Στις αρχές της δεκαετίας του 80 η Advanced Decision Systems (ADS) ανέπτυξε έναν αλγόριθμο παρακολούθησης πολλαπλών υποθέσεων ο οποίος μπορούσε να διαχειριστεί ταυτόχρονα δύσκολες καταστάσεις οι οποίες περιλάμβαναν υψηλή πυκνότητα στόχων, ελλειπείς ανιχνεύσεις και σφάλματα κόμβων, ο οποίος εφαρμόστηκε στο MIT Lincoln Laboratory σε ένα προηγμένο σύστημα παρακολούθησης αεροσκαφών το οποίο

θεωρήθηκε ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της εποχής του στο χώρο των δικτύων αισθητήρων, ενώ στα πλαίσια του ίδιου προγράμματος αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Amherst και ένα σύστημα παρακολούθησης οχημάτων το οποίο ενσωμάτωσε τη νέα γενιά κόμβων Hearsay-II.

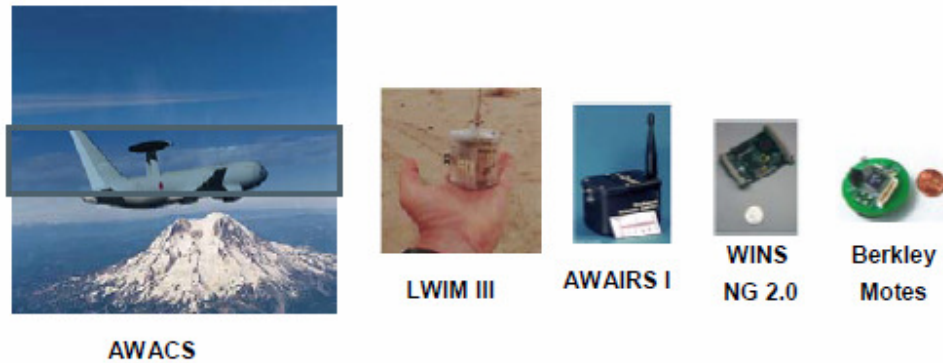
Παρά την πρόοδο στην τεχνολογία δικτύων, το μέγεθος των κόμβων παρέμεινε για αρκετά χρόνια ακόμα απαγορευτικό για πολλές από τις εφαρμογές οι οποίες είχαν προταθεί στα πλαίσια της έρευνας. Μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 90 στις στρατιωτικές εφαρμογές οι κόμβοι λόγω του μεγέθους τους αποτελούσαν πάντα τμήματα από πλατφόρμες, τεθωρακισμένα οχήματα, αεροπλάνα/ελικόπτερα η βαριά όπλα. Η προσέγγιση του λεγόμενου "network-based warfare" έγινε το 1995 με το Cooperative Engagement Capability (CEC) του Αμερικανικού Ναυτικού. Το σύστημα αυτό αποτελούταν από ένα μεγάλο αριθμό ραντάρ που συνέλεγαν δεδομένα σχετικά με εναέριους στόχους, ήταν όμως σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να ανταλλάσσουν πληροφορία μεταξύ τους και μέσω ενός κεντρικού κόμβου επεξεργασίας και αναφοράς να δίνουν τελικά μια συνολική εποπτική εικόνα μιας ολόκληρης περιοχής.

Το 1996, το πρόγραμμα LWIMs (Low Power Wireless Integrated Microsensors), επιδοτούμενο από την DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency), χρησιμοποιώντας κατασκευές CMOS, έδειξε τη δυνατότητα της ενσωμάτωσης πολλαπλών αισθητήρων, ηλεκτρονικών διεπαφών, μονάδων ελέγχου και ασύρματης επικοινωνίας σε μία μόνο συσκευή. Το 1998, η ίδια ομάδα κατασκεύασε έναν νέας γενιάς αισθητήρα επονομαζόμενο WINS (Wireless Integrated Network Sensors). Κάθε κόμβος WINS αποτελείται από έναν επεξεργαστή bit και έναν πομποδέκτη που υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης μέχρι και 100 Kbps και μπορεί να ενσωματώσει ποικίλους αισθητήρες, με τους οποίους είναι δυνατή η σύνδεση μέσω Internet. Επιπλέον, στα πλαίσια επίσης του προγράμματος αυτού, η ομάδα ανέπτυξε και μια πλατφόρμα κόμβων πολλαπλών εφαρμογών, η οποία ονομάστηκε AWAIRS I. Η πλατφόρμα αυτή πλεονεκτούσε σε αριθμό και χρόνο ζωής αισθητήρων καθώς και σε χρόνο εκκίνησης του συστήματος.

Οι κόμβοι WINS μπορεί να πρόσφεραν αυξημένες επεξεργαστικές και επικοινωνιακές δυνατότητες, όμως πολλές φορές το μέγεθος τους και η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας δεν επέτρεπαν τη χρήση τους σε πολλές εφαρμογές. Αυτός ήταν και ο λόγος που το 1999 στα

πλαίσια του Smart Dust Project αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο του Berkeley ο κόμβος WeC ο οποίος εμπειρείχε μικροελεγκτή και είχε πολύ χαμηλή κατανάλωση ισχύος.

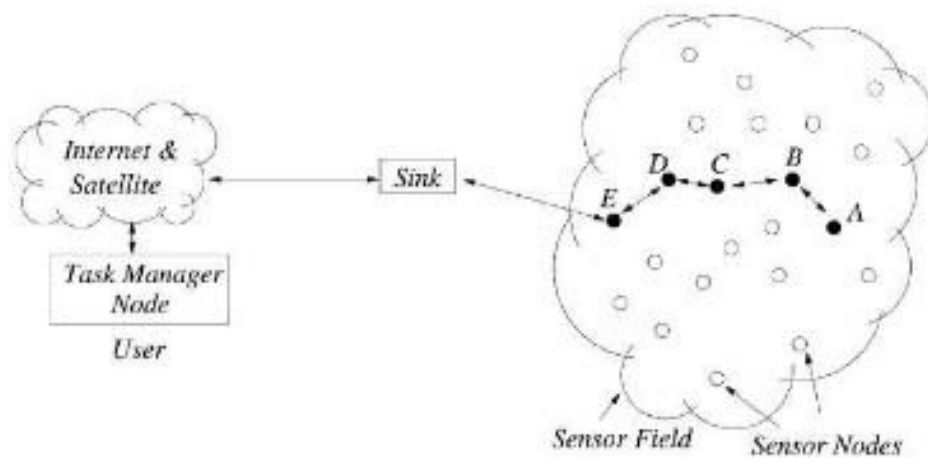
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η εξέλιξη του μεγέθους των κόμβων με την πρόοδο της τεχνολογίας δικτύων αισθητήρων:



*Εικόνα 2: Εξέλιξη κόμβων από το Β' Παγκόσμιο μέχρι σήμερα.*

### 1.3 Αρχιτεκτονική ενός αισθητήρα

Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε ότι ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από απλούς κόμβους του δικτύου οι οποίοι βρίσκονται σε μια περιοχή ενδιαφέροντος διασκορπισμένοι, ακόμα αποτελείται και από ένα κέντρο ελέγχου, το οποίο συγκεντρώνει και αποθηκεύει ή προωθεί τις πληροφορίες που μαζεύουν οι κόμβοι μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 3: Διασπορά ασύρματων κόμβων σε ένα πεδίο παρακολούθησης

Το κέντρο ελέγχου μπορεί να είναι τοποθετημένο σε κάποια μικρή απόσταση από την περιοχή ενδιαφέροντος. Η πληροφορία προς το κέντρο ελέγχου γίνεται μέσω της συνεργασίας των κόμβων του δικτύου και κάποιου δικτυακού πρωτοκόλλου. Επίσης, το κέντρο ελέγχου μπορεί να είναι συνδεδεμένο και με κάποιο άλλο δίκτυο για παράδειγμα το Internet (ασύρματο ή ενσύρματο).

### 1.3.1 Κύρια μέρη ενός αισθητήρα

Τα κύρια μέρη ενός κόμβου-αισθητήρα είναι τα ακόλουθα:

*ι. ο μικροεπεξεργαστής:* όπου είναι ο πυρήνας του κόμβου. Δέχεται τα δεδομένα από τους αισθητήρες ή από τους άλλους κόμβους, τα επεξεργάζεται και αποφασίζει που και πότε θα τα στείλει. Χρησιμοποιούνται μικροεπεξεργαστές επειδή είναι η καλύτερη λύση στην εξοικονόμηση ενέργειας.

ii. **ο πομποδέκτης (transceiver):** ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αμφίδρομη επικοινωνία των κόμβων. Πολλοί πομποδέκτες αναλαμβάνουν και άλλες εργασίες που αφορούν το πρωτόκολλο επικοινωνίας, μειώνοντας το φόρτο εργασίας του μικροεπεξεργαστή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Οι πιο διαδεδομένοι είναι με ραδιοσυχνότητα (RF), υπέρυθρες ακτίνες (infrared) και laser. Από τους τρεις τρόπους ο πιο κατάλληλος για επικοινωνία είναι με την χρήση των ραδιοσυχνοτήτων. Οι άλλοι δύο τρόποι, έχουν περιορισμένη ραδιοφωνική αναμετάδοση και χρειάζονται αρκετές ρυθμίσεις για να μπορούν να λειτουργήσουν καλά (ευθυγράμμιση). Με τις ραδιοσυχνότητες μπορούμε να έχουμε μετάδοση και παραλαβή πακέτων προς όλες τις κατευθύνσεις χωρίς κανένα πρόβλημα.

Οι πομποδέκτες έχουν τέσσερις βασικές λειτουργικές καταστάσεις:

- **Κατάσταση Εκπομπής (Transmit state):** ο πομποδέκτης είναι ενεργός και αποστέλλει τα δεδομένα που έχει ο κόμβος αισθητήρα. Ενεργό είναι το μέρος που στέλνει τα δεδομένα και όχι το μέρος που λαμβάνει.
- **Κατάσταση Λήψης (Receive state):** πάλι ο πομποδέκτης είναι ενεργός, όμως εδώ ενεργό είναι το μέρος του πομποδέκτη που είναι υπεύθυνο για την λήψη μηνυμάτων από τους άλλους κόμβους. Έτσι γίνεται η παραλαβή των δεδομένων.
- **Ανενεργή Κατάσταση (Idle state):** Σε αυτή την κατάσταση ο πομποδέκτης αν και είναι έτοιμος να λάβει δεδομένα, δεν λαμβάνει τίποτα. Άλλα μέρη του είναι ενεργά και άλλα είναι τελείως ανενεργά.
- **Κατάσταση Ύπνου (Sleep state):** Τα περισσότερα μέρη του πομποδέκτη είναι ανενεργά. Εδώ ο πομποδέκτης δεν είναι έτοιμος να λάβει δεδομένα.

iii. **Η μνήμη:** χρησιμοποιείται για να προγραμματίσουμε τον κόμβο. Η μνήμη εμφανίζεται σαν ενσωματωμένη στον μικροεπεξεργαστή και σαν επιπρόσθετη flash μνήμη.

iv. **Η πηγή ενέργειας:** μπορεί να είναι είτε κάποια μπαταρία είτε κάποιοι πυκνωτές που συγκερατούν ενέργεια.

#### 1.4 Εφαρμογές δικτύων αισθητήρων

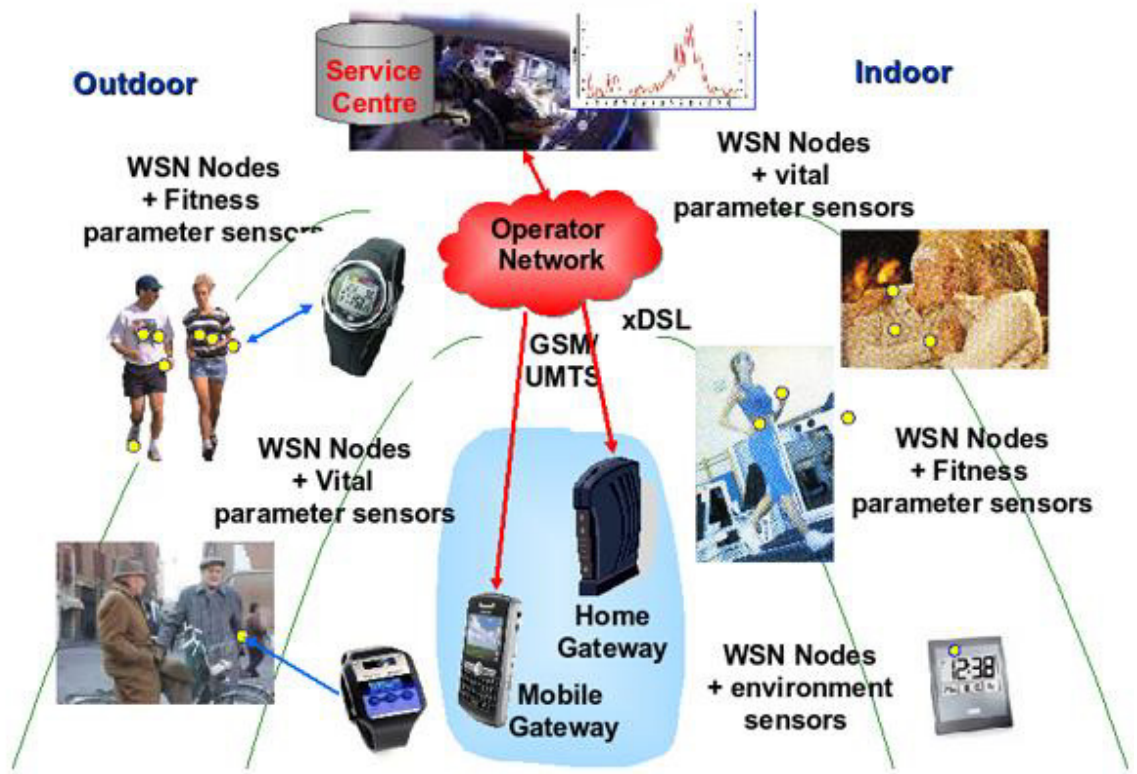
Η τεχνολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές εφαρμογές και να φέρει στην επιφάνεια κάποιες εντελώς καινούριες.

Ο αισθητήρας είναι ένα κρίσιμο συστατικό των κόμβων των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Για πολλές παραμέτρους του φυσικού περιβάλλοντος υπάρχει η κατάλληλη τεχνολογία αισθητήρα που μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα WSN. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται πιο πολύ είναι αυτοί της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του ήχου, της πίεσης κι οι χημικοί αισθητήρες.

Οι πιο βασικές εφαρμογές είναι οι ακόλουθες όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα :

- Περιβαλλοντικές εφαρμογές
- Γεωργία
- Οικιακοί αυτοματισμοί
- Υγειονομική και φαρμακευτική περίθαλψη
- Επιτήρηση μηχανών και βιομηχανικές εφαρμογές
- Έλεγχος μεταφορών και συγκοινωνιών

- Εφαρμογές ασφαλείας



Εικόνα 4: Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

## 1.5 Συνοπτική περιγραφή των εφαρμογών

### 1.5.1 Περιβαλλοντικές εφαρμογές

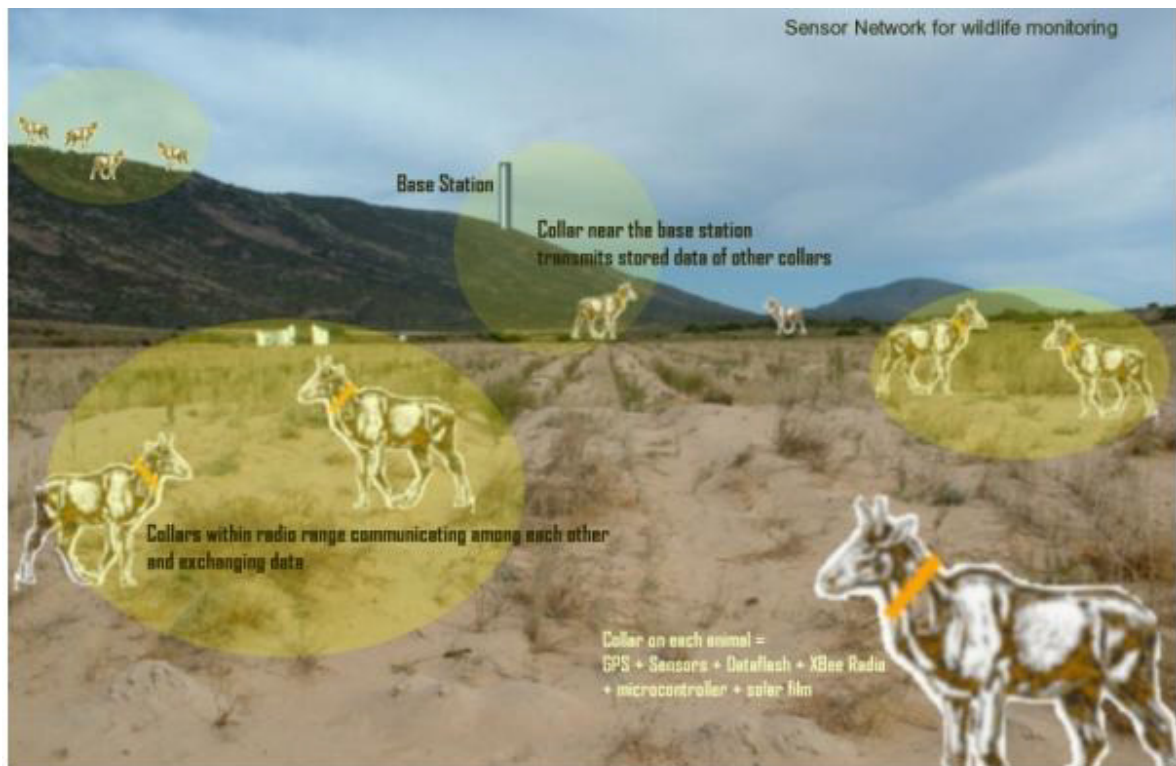
Η επίβλεψη και η ανίχνευση των περιβαλλοντικών συνθηκών γίνεται με την καταγραφή της εξέλιξης ενός οικοσυστήματος. Αυτό είναι δυνατό μέσω των WSNs, αφού μπορούν να

επιβλέψουν ένα οικοσύστημα, να καταγράψουν τη βιοποικιλότητα, τη σύσταση του εδάφους, να κάνουν γεωφυσική μελέτη κ.ά.. Υπάρχουν, συνεπώς, διάφορες εφαρμογές που σχετίζονται με το περιβάλλον και ανάλογα με την εφαρμογή διαφοροποιείται και ο τύπος του αισθητήρα που χρησιμοποιείται.

Για εφαρμογές μετεωρολογικής έρευνας και μελέτης της ρύπανσης, χρησιμοποιούνται αισθητήρες βροχόπτωσης, στάθμης νερού και αισθητήρες μέτρησης φυσικών παραμέτρων, όπως θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία και άλλες. Ακόμα, υπάρχουν τύποι αισθητήρων για την παρατήρηση και καταγραφή του ζωικού βασιλείου και της μετακίνησης των πτηνών κατά τις περιόδους της μετανάστευσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5. Μία τέτοια διαδεδομένη οικολογική εφαρμογή είναι αυτή του Πανεπιστημίου του Princeton που ανέπτυξε το πρόγραμμα “Zebnet” με το οποίο παρακολουθείται η μετανάστευση, η συνύπαρξη με άλλα είδη και η νυχτερινή συμπεριφορά των πληθυσμών ζέμπρας στην Αφρική, χρησιμοποιώντας ένα ad-hoc δίκτυο-WSN με το κατάλληλο εύρος ζώνης και ισχύ επεξεργασίας.

Στις περιβαλλοντικές εφαρμογές σημαντικό ρόλο έχει παίξει η χρήση ειδικών προστατευτικών θηκών που βοηθούν στην τοποθέτηση των αισθητήρων σε ακραία και επικίνδυνα περιβάλλοντα όπου δε θα μπορούσε να βρεθεί ο άνθρωπος. Επιπλέον, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι κόμβοι των WSN μπορούν να εκτείνονται σε μεγάλο εύρος και να καλύπτουν μεγάλες περιοχές που είναι δύσβατες για τον άνθρωπο αλλά και για τα μέσα που χρησιμοποιεί για την πυρόσβεση, τα κάνει ιδανικά για την πρόληψη και την άμεση ειδοποίηση των αρμόδιων αρχών.



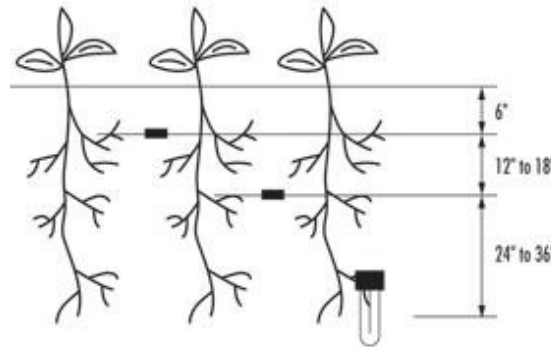


Εικόνα 5: Ανάπτυξη WSN για την παρακολούθηση της πανίδας

### 1.5.2 Γεωργία

Στις γεωργικές εφαρμογές η χρήση των WSNs συνδέεται με τον εκσυγχρονισμό της παραγωγής και σχετίζεται με την υποστήριξη εφαρμογών ακριβείας για την ορθολογική ρίψη λιπασμάτων, νερού κ.ά. στις φυτείες όποτε και όπου είναι απαραίτητο στην αναγκαία ποσότητα. Μία ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι η ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων για την άρδευση καλλιεργειών με στόχο τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου (integrated) συστήματος υποβοήθησης λήψης αποφάσεων ικανό να συνδράμει προς την κατεύθυνση της αποδοτικότερης χρήσης των υδάτινων πόρων και συνεπώς στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας των καλλιεργειών, στα πλαίσια της φιλοσοφίας της “Γεωργίας Ακριβείας” (Precision Agriculture). Πιο συγκεκριμένα, το εν λόγω σύστημα, βάσει των μετρήσεων (data acquisition) της υγρασίας του εδάφους και της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας που λαμβάνει από το εγκατεστημένο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων στον αγρό, της μετεωρολογικής πρόβλεψης και των χαρακτηριστικών του αγρού (π.χ. τύπος σπαρτών, τύπος

εδάφους, τεχνική άρδευσης κ.ά.) επιτρέπει στον καλλιεργητή να γνωρίζει την ποσότητα νερού που απαιτείται για τη βέλτιστη άρδευσή του ανά περιοχή του αγρού (χωρική παραλλακτικότητα), πετυχαίνοντας έτσι εξοικονόμηση φυσικών πόρων και καλύτερη ποιότητα παραγωγής.



Εικόνα 6: Εγκατάσταση αισθητήρα για τον έλεγχο της υγρασίας του εδάφους

### 1.5.3 Οικιακοί αυτοματισμοί

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, έξυπνοι αισθητήριοι κόμβοι και μηχανισμοί κίνησης μπορούν να εμφυτευτούν σε συσκευές, όπως ηλεκτρικές σκούπες, φούρνοι μικροκυμάτων και ψυγεία. Αυτοί οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν να αλληλεπιδρούν ο ένας με τον άλλον καθώς και με ένα εξωτερικό δίκτυο μέσω του Διαδικτύου ή ενός δορυφόρου, επιτρέποντας στους τελικούς χρήστες να διαχειρίζονται τις οικιακές συσκευές τους από όπου βρίσκονται είτε τοπικά είτε απομακρυσμένα.

Ο σχεδιασμός ενός έξυπνου περιβάλλοντος μπορεί να έχει είτε μια ανθρωποκεντρική προοπτική είτε μια τεχνοκεντρική. Στην περίπτωση της ανθρωποκεντρικής προσέγγισης, ένα έξυπνο περιβάλλον πρέπει να προσαρμοστεί στις ανάγκες των τελικών χρηστών σε ό,τι αφορά στις δυνατότητες εισόδου και εξόδου. Ενώ στην τεχνοκεντρική προσέγγιση, νέες τεχνολογίες υλικού, δικτυακές λύσεις και ενδιάμεσες συσκευές πρέπει να αναπτυχθούν. Οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν να εμφυτευτούν στην επίπλωση και σε οικιακές συσκευές και μπορούν να επικοινωνούν ο ένας με τον άλλον καθώς και με τον εξυπηρετητή του δωματίου. Ο εξυπηρετητής δωματίου μπορεί επίσης να επικοινωνεί με εξυπηρετητές από άλλα δωμάτια για να μαθαίνει για τις υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν π.χ. εκτύπωση, σάρωση, αποστολή και λήψη φαξ. Οι εξυπηρετητές των δωματίων μπορούν να ενσωματωθούν με υπάρχουσες εμφυτευμένες συσκευές

ώστε να γίνουν αυτό-οργανωτικοί, αυτό-ρυθμιζόμενοι, και προσαρμοζόμενοι σε θεωρητικά μοντέλα. Ένα άλλο παράδειγμα έξυπνου περιβάλλοντος είναι η «εργαστηριακή κατοικία» στο Ινστιτούτο τεχνολογίας της Georgia. Οι υπολογισμοί και η αίσθηση σε αυτό το περιβάλλον πρέπει να είναι αξιόπιστοι, συνεχείς και διαφανείς.



Εικόνα 7: Ασύρματος και απομακρυσμένος έλεγχος σπιτιού με χρήση αισθητήρων

#### 1.5.4 Υγειονομική και φαρμακευτική περίθαλψη

Στον τομέα της υγείας και της φαρμακευτικής, η χρήση των ασύρματων αισθητήρων είναι ξεχωριστή καθώς και δύσκολη αφού σχετίζεται με το ανθρώπινο σώμα. Συνεπώς, εκτός της πολυπλοκότητας είναι αναγκαία και η εκμηδένιση των όποιων επιπτώσεων από την εφαρμογή τους με αποτέλεσμα την πιο «αργή» ανάπτυξή του σε σχέση με τους άλλους τομείς.

Επίσης, στον τομέα της Ιατρικής δε χρησιμοποιείται ο όρος WSNs αλλά ο όρος BSN (Body Sensor Area Network) ή pPAN (patient Personal Area Network) και αυτό συμβαίνει όχι μόνο λόγω της κατηγορίας των εφαρμογών αλλά και επειδή υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις στα δίκτυα που σχετίζονται με τον τρόπο συγκρότησης, το υπό εξέταση αντικείμενό τους και τις ιδιότητές τους.

Η ανάπτυξη των προσωπικών δικτύων που αφορούν στην τηλεϊατρική παρακολούθηση του ανθρώπινου σώματος είναι μία μεγάλη πρόκληση του μέλλοντος, καθώς το ανθρώπινο σώμα είναι επί της ουσίας ένα μικρής κλίμακας περιβάλλον και απαιτεί διάφορους τύπους παρακολούθησης και συχνοτήτων. Η χρήση αυτών των δικτύων επιτυγχάνει μέσω της τηλεϊατρικής την κατά το δυνατόν αποδέσμευση του ασθενούς-χρήστη από τους νοσοκομειακούς

περιορισμούς. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί ένα καλύτερο επίπεδο ζωής και πιο φθηνό κόστος ιατρικής περίθαλψης.

Ένα τυπικό Wireless Body Area Network (WBAN) αποτελείται από έναν αριθμό από οικονομικές, ελαφριές και μικροσκοπικές πλατφόρμες αισθητήρων, καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους φυσιολογικούς αισθητήρες, όπως αισθητήρες κίνησης, ηλεκτροκαρδιογραφήματα (ECG), ηλεκτρομυογραφήματα (EMG) και ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα (EEG). Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής αποτελεί η περιπατητική (ambulatory) παρακολούθηση της δραστηριότητας του χρήστη. Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στο σώμα σαν μικροσκοπικά, ευφυή αυτοκόλλητα, ενσωματωμένα στο ρουχισμό ή εμφυτευμένα κάτω από το δέρμα ή τους μύες.

Ένα Body Area Network (BAN) ορίζεται επίσημα από την IEEE 802.15 σαν «ένα» πρότυπο επικοινωνίας βελτιστοποιημένο για χαμηλής ισχύος συσκευές και λειτουργία πάνω, μέσα ή γύρω από το ανθρώπινο σώμα αλλά δεν περιορίζεται μόνο σε ανθρώπους. Με άλλα λόγια, ένα BAN είναι ένα σύστημα από συσκευές σε κοντινή γειτνίαση με το ανθρώπινο σώμα, που συνεργάζονται για το όφελος του χρήστη.

Το WBAN ή BAN αποτελείται από κινητούς και συμπαγείς διεπικοινωνούντες αισθητήρες, που μπορούν είτε να φορεθούν είτε να εμφυτευτούν στο ανθρώπινο σώμα και παρακολουθούν ζωτικές σωματικές παραμέτρους και κινήσεις. Αυτές οι συσκευές, οι οποίες επικοινωνούν με ασύρματες τεχνολογίες, εκπέμπουν δεδομένα από το σώμα σε έναν οικείο σταθμό βάσης, από όπου τα δεδομένα μπορούν να προωθηθούν σε ένα νοσοκομείο, κλινική ή οπουδήποτε αλλού, σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία WBAN βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και ερευνάται ευρέως. Η τεχνολογία, από τη στιγμή που θα γίνει αποδεκτή και θα υιοθετηθεί, αναμένεται να αποτελέσει σημαντική εξέλιξη στην ιατρική περίθαλψη, οδηγώντας στην πραγματοποίηση των ιδεών της τηλεϊατρικής.

Μερικές από τις κατηγορίες των εφαρμογών που συναντώνται σήμερα και παραδείγματα που έχουν προταθεί από Πανεπιστήμια ή από διάφορες εταιρείες είναι:

- ◆ Επίβλεψη για την εξάπλωση ιού σε περιοχή προσβεβλημένη από τον ιό.
- ◆ Απομακρυσμένη κατ' οίκον παρακολούθηση σε περιπτώσεις χρόνιων παθήσεων ή ηλικιωμένων ατόμων.

- ◆ Χρήση BSN στην εντατική ή στην μετεγχειρητική περίοδο για την παρακολούθηση της πορείας του ασθενούς.
- ◆ Συστήματα καταγραφής κρίσιμων βιοσημάτων για την έγκαιρη και απομακρυσμένη παρακολούθηση έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν αντιληπτές διάφορες ασθένειες ή δυσλειτουργίες και να επιτευχθεί η παρακολούθηση των ορίων κάποιων ουσιών στο ανθρώπινο σώμα.



Εικόνα 8: Εφαρμογές των WSNs στον τομέα της υγείας

### 1.5.5 Επιτήρηση μηχανών και βιομηχανικές εφαρμογές

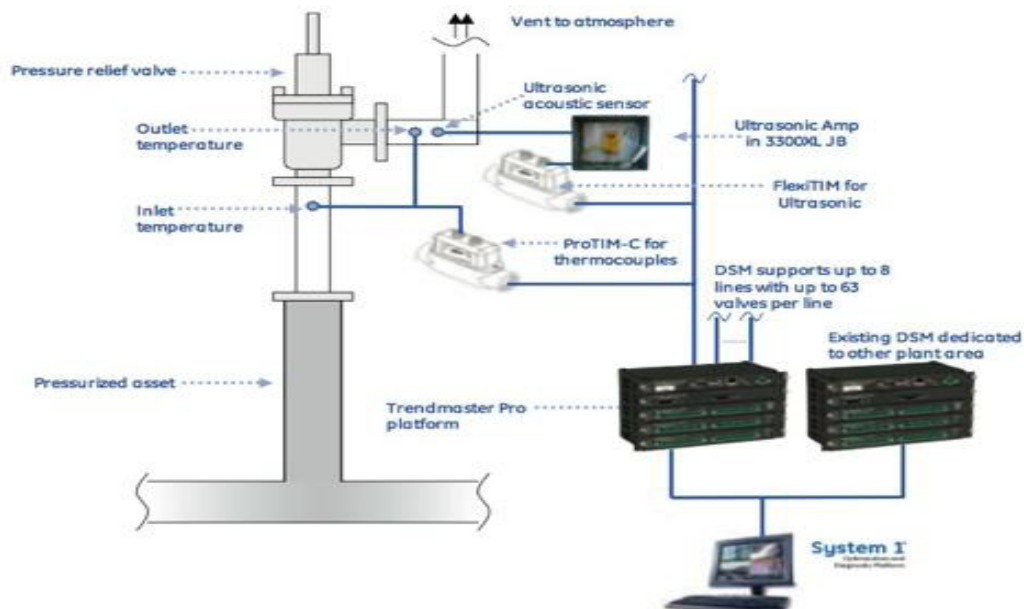
Ο έλεγχος των συστημάτων και των εφαρμογών στις βιομηχανίες παίζει σημαντικό ρόλο στην ορθή λειτουργία της παραγωγής και την ασφάλεια του προσωπικού. Το περιβάλλον, στο οποίο πραγματοποιείται μια διεργασία μπορεί να είναι επικίνδυνο για τον άνθρωπο, όπως εξαιτίας της θερμοκρασίας, τοξικότητας κ.ά. ή να είναι αδύνατο να παραβρεθεί, όπως για παράδειγμα, αν είναι η διεργασία στο εσωτερικό των μηχανών. Έτσι, οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της κατάστασης της μηχανής προσδιορίζοντας τα επίπεδα

λίπανσης ή την ένταση της δόνησής της καθώς και να εισαχθούν σε περιοχές δυσπρόσιτες από τον άνθρωπο, όπως σε υπόγειες παραγωγικές διαδικασίες.

Εκτός από τον έλεγχο των μηχανών, η μεγάλη ανάπτυξη των WSNs παρουσιάζεται σε υπόγειες παραγωγικές διαδικασίες, οι οποίες, για προφανείς λόγους, είναι αρκετά επικίνδυνες και δύσκολες στο χειρισμό. Ακόμη, όσο οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις επεκτείνονται και τα σημεία ελέγχου πληθαίνουν, τα κλασσικά ενσύρματα συστήματα ελέγχου δεν είναι πλέον αποδοτικά. Έτσι, την επιτήρηση των μηχανών και την προληπτική συντήρηση αναλαμβάνουν σιγά-σιγά τα WSNs.

Μερικές τέτοιες εφαρμογές είναι η χρήση των WSNs σε διωλιστήρια για την καταγραφή της θερμότητας στα διάφορα στάδια της διεργασίας, όπου ο έλεγχος της παραγωγής γίνεται με την εκπομπή ειδικών σημάτων συναγερμών, όταν η θερμοκρασία είναι εκτός επιθυμητού επιπέδου καθώς και σε γεωτρήσεις για τη μέτρηση των μη φυσιολογικών δονήσεων και την προειδοποίηση των μηχανών σε πιθανή επερχόμενη βλάβη του εξοπλισμού.

Τέλος, μια σημαντική εφαρμογή των WSNs είναι ο έλεγχος των διαφόρων υπόγειων αγωγών είτε πρόκειται για αποχετευτικούς, υδρευτικούς αγωγούς είτε δεξαμενές και αγωγούς φυσικού αερίου.

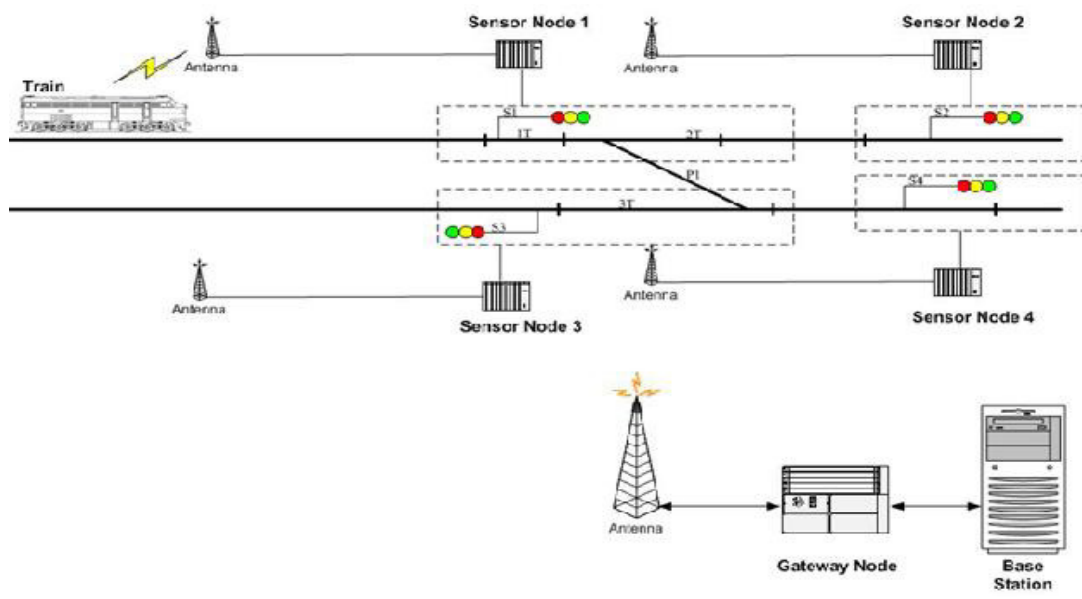


Εικόνα 9: Ανίχνευση διαρροών

### 1.5.6 Έλεγχος μεταφορών και συγκοινωνιών

Η αξιοποίηση των WSNs μπορεί να συμβάλει στον τομέα των μεταφορών και συγκοινωνιών. Τα δίκτυα των αισθητήρων μπορούν να ελέγχουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την κυκλοφορία των οχημάτων και των έξυπνων λεωφόρων ώστε να προωθηθεί η ασφαλής οδήγηση, να μειωθούν τα ατυχήματα και να ελέγχονται τα όρια ταχύτητας.

Η συνεργασία των δικτύων GPS για τα οχήματα με τον εξοπλισμό WSNs, είναι ικανή να οδηγήσει στην υλοποίηση πολλών χρήσιμων εφαρμογών για το χρήστη, όπως η αυτόματη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των μεμονωμένων οχημάτων για διάφορες συνθήκες, όπως τις συνθήκες οδήγησης και περιβάλλοντος, που πρωτοσυναντά ο προπορευόμενος.

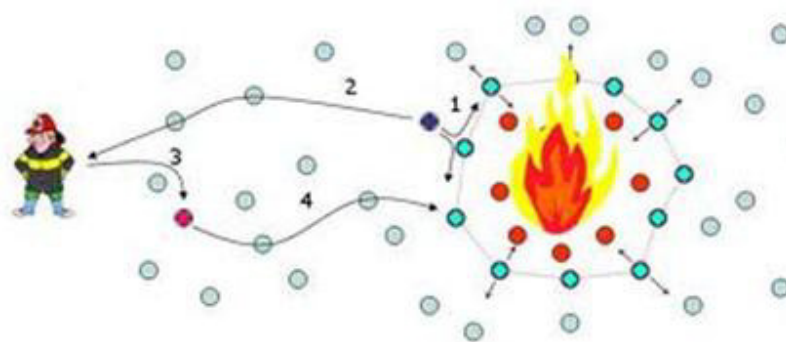


Εικόνα 10: Σηματοδότηση σιδηροδρόμων με τη χρήση WSN



### 1.5.7 Εφαρμογές ασφαλείας

Στην κατηγορία αυτών των εφαρμογών ανήκει η παρακολούθηση χώρων για λόγους ασφάλειας και η ενημέρωση κάποιας εποπτεύουσας εφαρμογής όπου μέσω των κόμβων των WSNs γίνεται ενημέρωση για την εκδήλωση ενός περιστατικού ενδιαφέροντος όπως για παράδειγμα την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς ή την παραβίαση ενός χώρου. Ακόμη, η χρήση των WSNs για τη μέτρηση των παραμέτρων της επιτάχυνσης και της καταγραφής της θέσης συνίσταται σε εφαρμογές που σχετίζονται με την επίβλεψη δεμάτων, κιβωτίων και άλλων αντικειμένων.



Εικόνα 11: Δίκτυο πυρανίχνευσης με τη χρήση WSN

### 1.6 Βασικά χαρακτηριστικά ενός δικτύου αισθητήρων

Ένα δίκτυο αισθητήρων πρέπει να λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα και χωρίς να ελέγχεται. Έτσι, το δίκτυο έχει τη δυνατότητα για αυτό-οργάνωση και για εξοικονόμηση ενέργειας οι οποίες αποτελούν δύο βασικούς παράγοντες οι οποίοι μας ενδιαφέρουν στο σχεδιασμό ενός δικτύου αισθητήρων. Τα δίκτυα αυτά παρέχουν βασικά πλεονεκτήματα. Για



παράδειγμα, την ανάπτυξη ενός δικτύου αισθητήρων που παρέχει βελτίωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR), μέσω της συνεργασίας των κόμβων οι οποίοι ανιχνεύουν το φαινόμενο αυτό. Ακόμα, σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς την κατανάλωση ενέργειας έχει και η ασύρματη αποστολή δεδομένων η οποία χρησιμοποιεί ένα μεγάλο πλήθος από ενδιάμεσα κανάλια επικοινωνίας σε σχέση με την άμεση μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα όμως, είναι η δυνατότητα για επέκταση των δικτύων, μέσω της ανάπτυξης νέων κόμβων και η δυνατότητα των δικτύων να λειτουργούν σε δυναμικές συνθήκες όπου ένα ασύρματο κανάλι υπάρχει περίπτωση να διακοπεί ή κάποιοι κόμβοι του δικτύου να καταστραφούν.

Ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, που διαφέρουν από άλλα ασύρματα δίκτυα, είναι τα ακόλουθα:

- Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος κόμβων εξαιτίας του χαμηλού κόστους των κόμβων αισθητήρων. Ένα τυπικό δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από εκατοντάδες κόμβους. Έτσι, καθώς η εξέλιξη της τεχνολογίας θα επιτρέπει μείωση του κόστους και μεγαλύτερα επίπεδα ολοκλήρωσης, αναμένεται να αναπτυχθούν δίκτυα αισθητήρων με ακόμη μεγαλύτερα πλήθη κόμβων.

- Σε ένα τυπικό δίκτυο υπολογιστών, ένας κόμβος ενδέχεται να χρησιμοποιείται στη δρομολόγηση δεδομένων ενός άλλου κόμβου. Σε αυτή την περίπτωση, ο κόμβος διαβάζει την επικεφαλίδα του μηνύματος το οποίο προωθεί ώστε να λάβει μια απόφαση σχετικά με την αποστολή του πακέτου δεδομένων. Αντίθετα, σε ένα δίκτυο αισθητήρων ο κόμβος ενδέχεται να διαβάσει και τα δεδομένα τα οποία περιέχει το πακέτο και να λάβει μια απόφαση σχετικά με αυτά. Π.χ, σε ένα δίκτυο αισθητήρων όπου ενδιαφερόμαστε να καταγράψουμε τη μέγιστη θερμοκρασία μιας περιοχής, κάθε κόμβος δεν θα δρομολογήσει ένα πακέτο το οποίο περιλαμβάνει μια μικρότερη τιμή θερμοκρασίας από κάποια που είχε λάβει κατά το παρελθόν.

- Η ανάπτυξη των δικτύων αισθητήρων γίνεται με μαζικό τρόπο, π.χ η δυνατότητα να πετάς τους κόμβους από κάποιο εναέριο μέσο επιτρέπει σε ένα δίκτυο αισθητήρων να λαμβάνει μετρήσεις πολύ κοντά στο φαινόμενο που μας ενδιαφέρει.

- Συνήθως, οι κόμβοι οι οποίοι αποτελούν το δίκτυο αισθητήρων δεν έχουν τη δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας με τον κόμβο ο οποίος συλλέγει και επεξεργάζεται τις μετρήσεις του

δικτύου. Η συλλογή των μετρήσεων γίνεται μέσω της ενδιάμεσης αποστολής των μετρήσεων από κόμβο σε κόμβο, ώσπου αυτές να προωθηθούν στον τελικό τους προορισμό.

- Το πρόβλημα που προσπαθεί να λύσει ένα δίκτυο αισθητήρων απαιτεί τη συνεργασία των κόμβων. Η συνεργασία αυτή αναλύεται σε ένα πλήθος επιπέδων, από τη συγχώνευση τοπικών αποφάσεων προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία ανίχνευσης ενός φαινομένου έως τη συνεργατική αποστολή των μετρήσεων των κόμβων στον τελικό τους προορισμό.

## 1.7 Παράγοντες που επηρεάζουν συνολικά το σχεδιασμό ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων

**Τοπολογία δικτύου:** Η τοπολογία δικτύου πρέπει να είναι εντελώς τυχαία ή να ακολουθεί κάποιο πρότυπο. Μπορεί να υπάρχουν χαλασμένοι αισθητήρες-κόμβοι. Νέοι κόμβοι θα τοποθετηθούν για να αντικαταστήσουν τους χαλασμένους που τέθηκαν εκτός λειτουργίας ή για να επεκτείνουν το σύστημα. Μετά την τοποθέτηση των κόμβων η τοπολογία ενδέχεται να αλλάξει λόγω θέσης, συνδεσιμότητας, έλλειψης ενέργειας. Επομένως, το σύστημα πρέπει να αντιδρά δυναμικά σε αυτούς τους παράγοντες.

**Μέσο μετάδοσης:** η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του δικτύου γίνεται μέσω ραδιοσυχνοτήτων. Για τις ραδιοσυχνότητες πρέπει να επιλεγεί ζώνη μετάδοσης, η οποία θα είναι διαθέσιμη για εμπορική χρήση, για παράδειγμα, οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τα wireless LAN. Υπάρχει η επιλογή μεταξύ narrowband και wideband ραδιοσυχνοτήτων. Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε το πλεονέκτημα της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της υλοποίησης σε hardware, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, έχουμε το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης ανοχής σε θόρυβο και του μεγαλύτερου data rate.

**Πλήθος αισθητήρων και κατανάλωση ενέργειας αυτών:** Στη λειτουργία ενός κόμβου αισθητήρα υπάρχει η ανίχνευση γεγονότος, η επεξεργασία πληροφορίας, η μετάδοση ή λήψη μηνύματος. Έτσι, η ενέργεια ενός κόμβου έχει τρεις τρόπους:

- 1. Επικοινωνία:** Στην επικοινωνία καταναλώνεται η περισσότερη ενέργεια η οποία περιλαμβάνει τη μετάδοση και τη λήψη δεδομένων. Και για τις δύο αυτές περιπτώσεις καταναλώνεται περίπου η ίδια ενέργεια. Επίσης, ενέργεια λαμβάνει και ο πομποδέκτης. Έτσι, πρέπει να βρούμε ένα τρόπο να διαχειριστούμε τις μεταδόσεις και τις λήψεις μηνυμάτων.
- 2. Επεξεργασία πληροφορίας:** Στην επεξεργασία πληροφορίας η κατανάλωση είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ενέργεια για επικοινωνία.
- 3. Μέτρηση πεδίου:** Η ενέργεια που καταναλώνεται είναι σταθερή και περιλαμβάνει την ενέργεια για λήψη δείγματος από τους αισθητήρες ενός κόμβου.
- 4. Περιορισμοί υλικού και κόστους παραγωγής:** Ένας κόμβος ασύρματου δικτύου αισθητήρων αποτελείται από τέσσερα τμήματα: Ένα ή και περισσότερους αισθητήρες, ένα πομποδέκτη, μια CPU και μια μονάδα ισχύος. Επίσης, μπορεί να υπάρχει και κινητήρας ή GPS. Αυτές οι μονάδες πρέπει να καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια, να είναι αυτόνομες και να λειτουργούν ανεξάρτητα.

## 1.8 Παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία των ασύρματων δικτύων

Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία των WSN βασίζονται από τα χαρακτηριστικά των κόμβων αισθητήρων οι οποίοι χαρακτηρίζονται από την περιορισμένη ισχύ τους και από τις περιορισμένες τους ικανότητες σε μνήμη. Η ισχύς είναι η βασικότερη παράμετρος γνωρίζοντας πάντα ότι οι μπαταρίες των αισθητήρων δεν μπορούν να αλλαχτούν αλλά ούτε και να επαναφορτιστούν. Αυτό μπορεί να επηρεάσει ακόμα και την αξιοπιστία του δικτύου. Επίσης, βασίζονται στην ανάπτυξη των αισθητήρων στο δίκτυο η οποία θα πρέπει να

ικανοποιεί τις απαιτήσεις της εφαρμογής αφού αυτή προσδιορίζει την πυκνότητα του δικτύου. Μια τυχαία ανάπτυξη μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά επίπεδα πυκνότητας δικτύου. Η πυκνότητα θα μπορούσε να σχετίζεται με την πλήρη κάλυψη ανίχνευσης από τους κόμβους σε σχέση με την περιοχή που έχουν τοποθετηθεί. Όσο χαμηλότερη είναι η κάλυψη της ανίχνευσης τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο ακρίβειας των πληροφοριών. Ακόμα, βασίζεται και στις λειτουργίες πληροφόρησής τους οι οποίες καθορίζουν διάφορες παραμέτρους όπως η ισχύς εκπομπής, ο σηματοθορυβικός λόγος και η ραδιοκάλυψη (κύρια πηγή κατανάλωσης ενέργειας σε ένα WSN). Όσο υψηλότερη είναι η μετάδοση, τόσο μικρότερη είναι η διάρκεια ζωής του κόμβου αισθητήρα.

## 1.9 Πλεονεκτήματα δικτύων αισθητήρων

Τα κύρια πλεονεκτήματα από την εισαγωγή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι τα ακόλουθα:

- Ευκολία εγκατάστασης, καθώς η τοποθέτηση των αισθητήρων δεν έχει τους περιορισμούς των εγκαταστάσεων με καλώδια.
- Προσβασιμότητα: κάθε σημείο μέτρησης γίνεται προσβάσιμο.
- Απλοποιημένη σχεδίαση δικτύου: δυναμικές τοπολογίες για δίκτυα ανθεκτικά σε σφάλματα υποστηρίζονται από ευέλικτα πρωτόκολλα.
- Επεκτάσιμες, μεγάλες αλλά παρ' όλα αυτά, διαχειρίσιμες υποδομές καθώς οι νέοι κόμβοι μπορούν να προστίθενται στο δίκτυο.
- Αντοχή σε σφάλματα: ο πλεονασμός σε δίκτυο αισθητήρων επιτρέπει στην ύπαρξη κόμβων ανθεκτικών σε σφάλματα.

## 1.10 Βασικές Επιδιώξεις σε ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρα

Οι βασικές επιδιώξεις σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρα είναι:

- Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας η οποία θα οδηγήσει σε αύξηση της ζωής και της διαθεσιμότητας των αισθητήρων. Αρκετά δύσκολο, είναι να αλλάξεις-φορτίσεις τις μπαταρίες σε ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων που αποτελείται από χιλιάδες κόμβους.
- Η αξιόπιστη και ασφαλής μεταφορά των δεδομένων που συλλέγουν οι αισθητήρες προς μια κεντρική βάση (KB).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Βασικές τεχνικές εντοπισμού θέσης

#### 2.1 Εισαγωγή

Σήμερα, η αυξανόμενη απαίτηση για προηγμένες, εξατομικευμένες, ευφείς και "πάντα διαθέσιμες" εφαρμογές έχει οδηγήσει στη σύγκλιση των πληροφοριών τεχνολογίας και τηλεπικοινωνιακών περιοχών.

Οι υπηρεσίες εντοπισμού θέσης (Location-Based Services - LBS) βρίσκουν εφαρμογή στην βιομηχανία, στα συστήματα υγείας και ασφάλειας, αλλά και σε πάρα πολλές δραστηριότητες της καθημερινής ζωής όπως είπαμε και παραπάνω.

- Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο θα μπορούσε να βοηθήσει στον εντοπισμό ενός ηλικιωμένου ατόμου ή ενός ατόμου με ειδικές ανάγκες ή προβλήματα υγείας, σε ένα νοσοκομείο, σε έναν οίκο ευγηρίας, ή σε ένα οποιοδήποτε μεγάλο κτίριο.
- Παράλληλα θα μπορούσε να βοηθήσει τους υπαλλήλους των φυλακών και την αστυνομία να εντοπίζουν τα ίχνη επικίνδυνων κακοποιών, καθώς και να διευκολύνει στρατιωτικές αποστολές.
- Επίσης, θα ήταν χρήσιμο στον εντοπισμό ενός πυροσβέστη σε ένα φλεγόμενο κτήριο, και στον εντοπισμό εκπαιδευμένων σκύλων της αστυνομίας την ώρα που ψάχνουν εκρηκτικά ή επιζώντες.

Όμως, εκτός από τον εντοπισμό ανθρώπων για λόγους υγείας και ασφάλειας, ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους θα μπορούσε να είναι πολύτιμο και για τον εντοπισμό αντικειμένων.

- Θα μπορούσε να βοηθήσει στον εντοπισμό χρήσιμων εργαλείων και εξαρτημάτων μέσα σε ένα εργοστάσιο, στην εύρεση απαραίτητων αντικειμένων που είναι πιθανό να χαθούν μέσα σε μία αποθήκη, καθώς και στον εντοπισμό απαραίτητου ιατρικού εξοπλισμού μέσα σε ένα νοσοκομείο.

Πέρα από τα παραπάνω παραδείγματα, υπάρχουν αναρίθμητοι λόγοι για τους οποίους κάποιο πρόσωπο, κάποια εταιρεία ή κάποιος οργανισμός, είναι δυνατό να θελήσει να χρησιμοποιήσει ένα σύστημα εντοπισμού θέσης εμπορικής εφαρμογής σε έναν εσωτερικό χώρο, για δικούς του ιδιαίτερους λόγους. Επομένως, λόγω των πολλών εφαρμογών, είναι αναγκαία η συνεχής βελτίωση των συστημάτων εντοπισμού θέσης εσωτερικών χώρων. Ο τρόπος-εύρεσης σε εσωτερικό χώρο αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για τις μεγαλύτερες εταιρίες ανάπτυξης εφαρμογών εσωτερικού χώρου, κυρίως λόγω της ακαταλληλότητας των ώριμων και ευρέως καθιερωμένων υπαίθριων τεχνολογιών προσδιορισμού θέσης για τη χρήση σε εσωτερικά κτήρια. Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System - GPS) είναι μια άριστη τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της απόλυτης θέσης στα υπαίθρια περιβάλλοντα, αλλά είναι ακατάλληλο στο εσωτερικό.

Οι υπαίθριες υπηρεσίες πλοήγησης έχουν γίνει παντού διαθέσιμες λόγω των μικρών φορητών συσκευών καθώς τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν το GPS ή κινητά συστήματα πλοήγησης. Δύο ήταν κύριοι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν στην ευρεία επέκταση των υπηρεσιών εντοπισμού κινητών:

- Απόκτηση των πληροφοριών προσδιορισμού θέσης με ένα συγκεκριμένο βαθμό ακρίβειας

- Ευρεία (κινητής) πρόσβαση των δικτύων υπολογιστών για να χρησιμοποιούν τις πληροφορίες θέσης με μία μεγάλη βάση πληροφοριών όπως το Διαδίκτυο.

Παρατηρώντας την μεγάλη επεκτασιμότητα των συστημάτων εντοπισμού θέσης, η εσωτερική πλοήγηση και οι υπηρεσίες υπολογισμού θέσης (Location Based Services - LBS) προβλέπεται πως θα χρησιμοποιούνται όπως χρησιμοποιούνται οι υπαίθριες υπηρεσίες τώρα.

## **2.2 Υπηρεσίες Εντοπισμού θέσης και εσωτερική πλοήγηση**

Οι υπηρεσίες εντοπισμού θέσης (LBS) ενσωματώνουν τη γεωγραφική θέση στις υπηρεσίες για να παρέχουν μια ακόμη χρήσιμη πληροφορία για το χρήστη. Οι location based services έχουν ευρεία διάδοση σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και αυτό γιατί βοήθησε η εξέλιξη στις κινητές συσκευές, η διαθεσιμότητα του GPS και πρόσφατα το κινητό διαδίκτυο. Σήμερα, αυτές οι υπηρεσίες χρησιμοποιούνται εκτενώς μέσα σε υπαίθρια συστήματα πλοήγησης και σε εφαρμογές (web applications) κινητών τηλεφώνων. Η επιτυχία των υπαίθριων συστημάτων πλοήγησης παρουσιάζει την ανάγκη των χρηστών για πλοήγηση και για πληροφορίες εντοπισμού θέσης.



## 2.3 INLBS – Indoor Location Based Systems

Δεδομένα για την εσωτερική πλοήγηση / υπηρεσίες εντοπισμού θέσης (Indoor Location Based Systems - INLBS) χαρακτηρίζονται από ένα πιο τοπικό και χρονικό πλαίσιο. Οι εσωτερικές δομές των κτηρίων, όπως οι τοπολογίες, είναι όχι πάντα δημόσια γνωστές και είναι πιθανό να υπάγονται σε συχνές αλλαγές.

Καθώς αυτές οι πληροφορίες είναι μόνο τοπικά διαθέσιμες και ενδεχομένως να υπάρχει πρόσβαση με περιορισμούς, δεν είναι επιθυμητό να μοιραστούν αυτές οι πληροφορίες δημόσια στο διαδίκτυο. Μια τεχνολογία εντοπισμού θέσης με υψηλή ακρίβεια για τον εντοπισμό των χρηστών μέσα στα κτήρια είναι η προϋπόθεση για μια επιτυχημένη προσαρμογή των υπαίθριων LBS σε INLBS.

Γενικά, δύο προϋποθέσεις αποτελούν ουσιαστικούς παράγοντες για INLBS, αυτοί είναι:

- Μια τεχνολογία εσωτερικού προσδιορισμού θέσης που είναι ικανή να παρέχει εκτιμήσεις θέσης σε έναν ορισμένο βαθμό ακριβείας.
- Ασύρματη επικοινωνία προκειμένου να μεταφερθούν τα στοιχεία μεταξύ της υποδομής και των κινητών συσκευών.

Τέσσερις παράγοντες οι οποίοι αποτελούν ιδιαίτερης σπουδαιότητας στην εκτίμηση των τεχνικών προσδιορισμού θέσης είναι η ακρίβεια, η ακεραιότητα, η διαθεσιμότητα και η συνοχή.

- Η ακρίβεια ενός συστήματος είναι το μέτρο της πιθανότητας να υπάρξει ένα λάθος σε μια θέση και σε μία δεδομένη στιγμή.
- Η ακεραιότητα του συστήματος είναι το μέτρο της πιθανότητας ότι το λάθος ακρίβειας είναι μέσα σε ένα συγκεκριμένο όριο.

- Η διαθεσιμότητα ενός συστήματος είναι ένα μέτρο της ικανότητάς της να καλύψει τις απαιτήσεις ακρίβειας και ακεραιότητας ταυτόχρονα.
- Η συνοχή ενός συστήματος είναι ένα μέτρο του ελάχιστου χρονικού διαστήματος για το οποίο η υπηρεσία είναι διαθέσιμη στο χρήστη.

#### **2.4. Λειτουργία συστημάτων εντοπισμού θέσης**

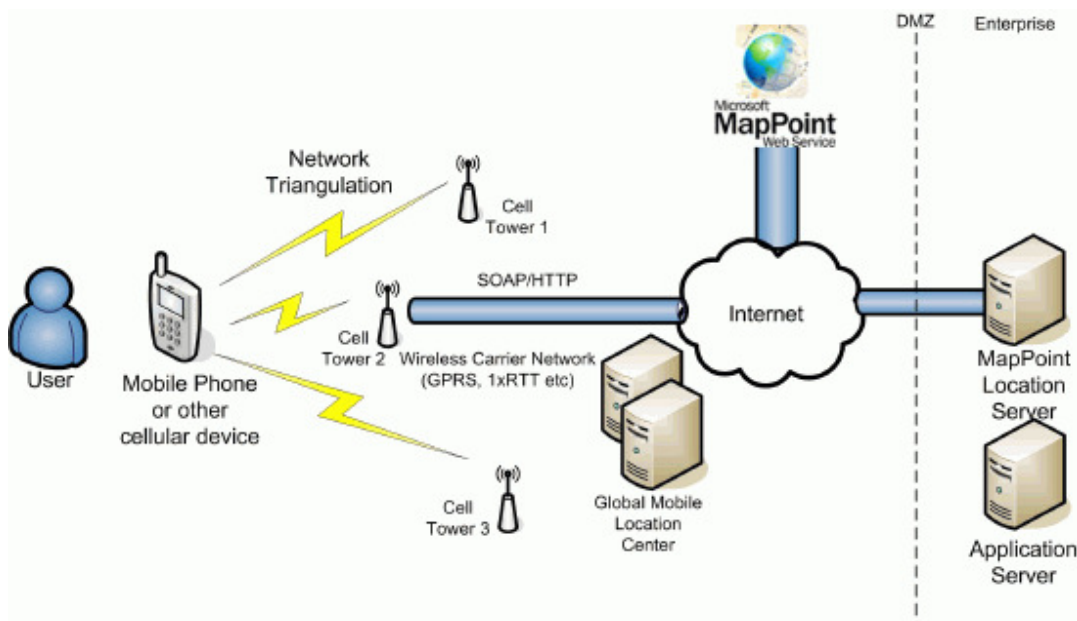
Οι LBS είναι προσωποκεντρικές υπηρεσίες που βασίζονται στην τρέχουσα θέση του χρήστη και επομένως χρησιμοποιούν την τεχνολογία GPS και το δίκτυο κινητών επικοινωνιών για να λάβουν τις πληροφορίες τις σχετικές με την τοποθεσία και να τις μεταδώσουν στην πλευρά του server για περαιτέρω επεξεργασία.

Γενικά, όποτε και οπουδήποτε ένας κινητός χρήστης χρειάζεται πληροφορίες ή κάποια υπηρεσία βασισμένη στην τρέχουσα θέση του ή το σύστημα διαχείρισης χρειάζεται να τον εντοπίσει, τότε το GPS ή το σύστημα εντοπισμού βασισμένο στο δίκτυο (network positioning system) παρέχει πληροφορίες θέσης και τις μεταδίδει στο κέντρο. Οι απαιτήσεις του χρήστη αναλύονται από το κέντρο παροχής υπηρεσιών (service provider) και αφού διαμορφωθεί η απάντηση με το χρήστη της κεντρικής βάσης δεδομένων, οι ζητούμενες πληροφορίες στέλνονται πίσω στο κινητό τερματικό.

Συμπερασματικά, οι υπηρεσίες που βασίζονται στη θέση του χρήστη περιλαμβάνουν δύο κύριες διαδικασίες:

- «Συλλογή» της πληροφορίας της θέσης/τοποθεσίας του κινητού τερματικού

- Παροχή της υπηρεσίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές που θέτει ο ίδιος ο χρήστης



Εικόνα 12. Η λειτουργία των LBS

## 2.5. Μέθοδοι εντοπισμού θέσης

Οι τεχνολογίες εντοπισμού της θέσης ενός χρήστη έχουν μελετηθεί διεξοδικά τα τελευταία χρόνια καθότι αφενός επιτρέπουν την παροχή υπηρεσιών θέσης και αφετέρου είναι εξαιρετικά

σημαντικές για την παροχή υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί και προταθεί αρκετές μέθοδοι για την εκτίμηση της θέσης των κινητών τερματικών, οι οποίες αν εξαιρεθεί η περίπτωση που ο χρήστης προσδιορίζει χειροκίνητα τη θέση του, τότε μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, στον αυτό-εντοπισμό (self-positioning) και στον απομακρυσμένο εντοπισμό (remote-positioning):

- **Self-positioning:** Το κινητό τερματικό χρησιμοποιεί σήματα, μεταδιδόμενα από τις κεραίες (οι οποίες μπορεί να είναι είτε επίγειες είτε δορυφόροι) για να υπολογίσει τη θέση του. Έτσι, η φυσική θέση αυτοκαθορίζεται από τη συσκευή του χρήστη χρησιμοποιώντας τα μεταδιδόμενα σήματα από τα επίγεια ή δορυφορικά αναγνωριστικά σήματα. Ειδικότερα, ο δέκτης κάνει κατάλληλες μετρήσεις σημάτων από τους γεωγραφικά διανεμημένους πομπούς σημάτων και χρησιμοποιεί τις μετρήσεις αυτές για να καθορίσει τη θέση του. Συνεπώς, ο δέκτης "ξέρει" που είναι η θέση του και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες που λειτουργούν στην κινητή συσκευή του χρήστη όπως για την πλοήγηση οχημάτων.
- **Remote-positioning:** Σε αυτή την περίπτωση, η θέση καθορίζεται στην πλευρά κεντρικών υπολογιστών (Servers) χρησιμοποιώντας τα εκπεμπόμενα σήματα από τη συσκευή του χρήστη. Η θέση κατόπιν είτε χρησιμοποιείται από τον server σε ένα σύστημα εντοπισμού θέσης, είτε μεταδίδεται πίσω στη συσκευή μέσω μιας μεθόδου μεταφοράς δεδομένων. Σε αυτήν την περίπτωση το κινητό τερματικό μπορεί να βρεθεί με τη μέτρηση των σημάτων που ταξιδεύουν σε και από ένα σύνολο δεκτών. Συγκεκριμένα, οι δέκτες που μπορούν να εγκατασταθούν σε μία ή περισσότερες θέσεις μετρούν ένα σήμα που προέρχεται από το αντικείμενο που επιθυμείται να προσδιοριστεί η θέση του. Αυτές οι μετρήσεις των σημάτων χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν το μήκος ή/και την κατεύθυνση των ράδιο διαδρομών και έπειτα η θέση του κινητού τερματικού υπολογίζεται από τις γεωμετρικές σχέσεις.

## **2.6 Τεχνολογίες Self-positioning**

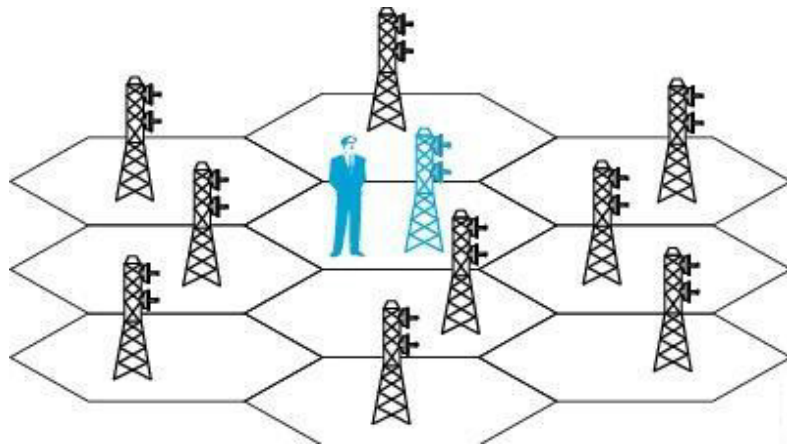
### **2.6.1. Δορυφόροι (satellites)**

Τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης παρέχουν γεο-χωρικό προσδιορισμό θέσης με παγκόσμια κάλυψη. Αυτήν την περίοδο υπάρχουν διάφορα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης που χρησιμοποιούνται στον αστικό προσδιορισμό θέσης συμπεριλαμβανομένου του αμερικάνικου US Navstar παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (GPS), του ρωσικού Glonass, και του Γαλιλαίου (Galileo) της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το πλεονέκτημα των δορυφορικών συστημάτων είναι ότι οι δέκτες μπορούν να καθορίσουν το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, και το ύψος σε έναν υψηλό βαθμό ακρίβειας. Εντούτοις, η γραμμή θέας (Line Of Sight - LOS) απαιτείται για τη λειτουργία αυτών των συστημάτων. Αυτό οδηγεί σε ανικανότητα, στο να χρησιμοποιηθούν αυτά τα συστήματα για ένα εσωτερικό περιβάλλον όπου το LOS εμποδίζεται από τους τοίχους και τις στέγες.

### **2.6.2. Κυψελοειδές δίκτυο επικοινωνίας**

Κυψελοειδές δίκτυο επικοινωνίας είναι ένα σύστημα που επιτρέπει στα κινητά τηλέφωνα να επικοινωνούν το ένα με το άλλο. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί τους μεγάλους κυψελωτούς πύργους για να συνδέσει ασύρματα τις κινητές συσκευές. Το εύρος των κυψελοειδών δικτύων επικοινωνίας εξαρτάται από την πυκνότητα των μεγάλων κτηρίων, των δέντρων και άλλων πιθανών παρεμποδίσεων. Το μέγιστο εύρος για έναν κυψελωτό πύργο είναι 35 χιλιόμετρα σε μια ανοικτή αγροτική περιοχή. Αυτή η μέθοδος είναι μια βασική τεχνική που χρησιμοποιεί το Cell-ID, αποκαλούμενη επίσης και ως κυψέλη προέλευσης (Cell of Origin), για να παρέχει τις υπηρεσίες θέσης για τους χρήστες κινητών τηλεφώνων. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην ικανότητα του δικτύου να υπολογίζει τη θέση ενός κινητού τηλεφώνου με την αναγνώριση του

κυψελωτού πύργου που η συσκευή χρησιμοποιεί σε έναν συγκεκριμένο χρόνο (Σχήμα 13). Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η πανταχού παρούσα διανομή, η εύκολη εφαρμογή του και το γεγονός ότι όλα τα κινητά τηλέφωνα την υποστηρίζουν. Η ακρίβεια αυτής της τεχνικής είναι πολύ μικρή εξαιτίας του γεγονότος ότι οι κυψελωτοί πύργοι μπορούν να υποστηρίξουν εύρος 35 χιλιομέτρων ή και περισσότερο. Στα αστικά περιβάλλοντα, οι κυψελωτοί πύργοι διανέμονται πιο πυκνά.



Εικόνα 13. Κυψελωτοί πύργοι επικοινωνίας

### 2.6.3. Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Η ασύρματη σύνδεση θεωρείται ως η πλέον διαδεδομένη και επικρατούσα στην καθημερινή ζωή. Κάθε ασύρματος δρομολογητής μεταδίδει ένα σήμα το οποίο λαμβάνεται από τις συσκευές σε αυτή τη περιοχή. Οι ασύρματες συσκευές έχουν την ικανότητα να μετρήσουν την ισχύ αυτού του σήματος. Αυτή η ισχύς μετατρέπεται σε έναν αριθμό, γνωστό ως δείκτης λαμβανόμενης ισχύος σημάτων (RSSI). Η συσκευή ενός χρήστη μπορεί να ανιχνεύσει το RSSI και τη MAC διεύθυνση πολλαπλών δρομολογητών συγχρόνως (Σχήμα 14).

Ένα πλεονέκτημα του Wi-Fi είναι ότι τα ασύρματα δίκτυα είναι παγκόσμια. Υπάρχουν σε πολυπληθυσμικές περιοχές και διαδίδονται συνεχώς εξωτερικά. Αυτό προκαλεί τα Wi-Fi συστήματα να έχουν χαμηλότερο κόστος εφαρμογής.



Εικόνα 14. Wi-Fi

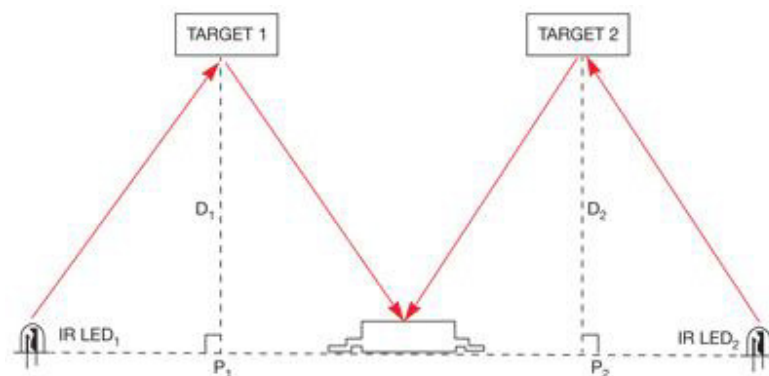
### 2.6.5. Bluetooth

Το Bluetooth είναι ασύρματη μέθοδος επικοινωνίας που χρησιμοποιείται από δύο συσκευές για κοντινές αποστάσεις. Η μέγιστη απόσταση για την επικοινωνία Bluetooth είναι μέχρι 100 μέτρα. Οι συσκευές μπορούν να στείλουν δεδομένα με ρυθμό 3Mb/s και η εφαρμογή τους είναι ιδιαίτερα ακριβή.

### 2.6.6. Υπέρυθρες (Infrared)

Η υπέρυθη ασύρματη δικτύωση (Infrared) ήταν μια πρωτοπόρα τεχνολογία στον τομέα του εσωτερικού προσδιορισμού θέσης. Η αρχική πρόκληση είναι το περιορισμένο εύρος ενός

δικτύου IR. Επίσης, η υπέρυθρη δεν έχει καμία μέθοδο για την παροχή υπηρεσιών δεδομένων δικτύωσης. Μια πρόωρη εφαρμογή μιας τεχνικής IR είναι το ενεργό σύστημα διακριτικών (Active Badge System). Αυτό είναι ένα μακρινό σύστημα εντοπισμού στο οποίο η θέση ενός ατόμου καθορίζεται από το μοναδικό σήμα IR που εκπέμπεται κάθε δέκα δευτερόλεπτα. Τα σήματα λαμβάνονται από τους αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι σε διάφορες θέσεις μέσα σε ένα κτήριο και τα μεταδίδουν σε ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης θέσης. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται από αυτό το σύστημα είναι αρκετά υψηλή στα εσωτερικά περιβάλλοντα. Όμως, το σύστημα πάσχει από διάφορους περιορισμούς όπως το κόστος εγκαταστάσεων αισθητήρων λόγω του περιορισμένου εύρους του IR, το κόστος συντήρησης, και η ευαισθησία του δέκτη στο φως του ήλιου, το οποίο εμφανίζεται συχνά στα δωμάτια με τα παράθυρα.

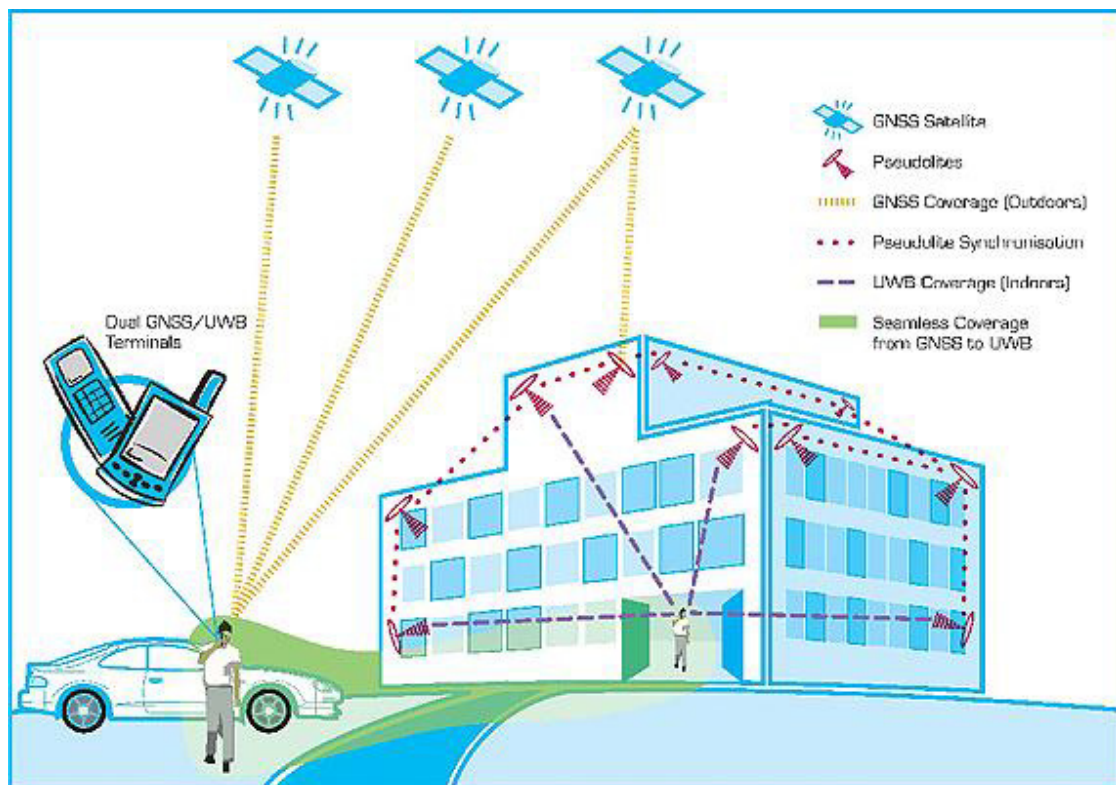


Σχημα 1. Η μέθοδος των υπερόθρων



### 2.6.7. Ultra Wide Band

Για τα εξαιρετικά-ευρείας ζώνης σήματα (UWB) που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό θέσης, το ενδιαφέρον είναι συνεχώς αυξανόμενο, γεγονός που οφείλεται στην ικανότητά τους να παρέχουν με ακρίβεια εκατοστών, πληροφορίες προσδιορισμού θέσης. Τα πλεονεκτήματα του UWB περιλαμβάνουν τη χαμηλή πυκνότητα ισχύος και το μεγαλύτερο εύρος ζώνης, το οποίο αυξάνει την αξιοπιστία. Η χρήση μιας ευρείας συχνότητας στοιχείων αυξάνει την πιθανότητα ότι ένα σήμα θα πλησιάσει ένα εμπόδιο, που προσφέρει υψηλότερη ανάλυση. Επίσης, το σύστημα υπόκειται στη λιγότερη παρέμβαση από άλλες ραδιοσυχνότητες που είναι σε χρήση στην περιοχή.



Εικόνα 15. Η Ultra Wide Band μέθοδος

### 2.6.8. Σύνοψη των Self-positioning τεχνολογιών

Στον αμέσως κατωτέρω εμφανιζόμενο πίνακα συνοψίζονται τα θετικά και αρνητικά της κάθε τεχνολογίας :

Self-positioning	Θετικά	Αρνητικά
GPS	<ul style="list-style-type: none"><li>• Μέτρια υπαίθρια ακρίβεια</li><li>• Μεγάλη διαθεσιμότητα</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ελάχιστη ακρίβεια σε εσωτερικό χώρο</li></ul>
Cell Tower	<ul style="list-style-type: none"><li>• Μεγάλο εύρος</li><li>• Την υποστηρίζουν όλα τα κινητά τηλέφωνα</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Η ακρίβεια της είναι πολύ μικρή</li></ul>
Wi-Fi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Εύκολα διαθέσιμο στα περισσότερα κτήρια</li><li>• Ελάχιστο κόστος εφαρμογής</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Η ισχύς των δικτύων μπορεί να ποικίλει λόγω των πολλαπλών διαδρομών διάδοσης</li></ul>
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"><li>• Χαμηλή ισχύ</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Χαμηλό εύρος</li><li>• Μεγάλο κόστος εφαρμογής</li></ul>
Infrared	<ul style="list-style-type: none"><li>• Μεγάλη ακρίβεια</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Κόστος εφαρμογής</li><li>• Το φως του ήλιου μπορεί να έχει επιπτώσεις</li><li>• Χαμηλό εύρος</li></ul>

<b>UWB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλη ακρίβεια</li> <li>• Χαμηλή πυκνότητα ισχύος</li> <li>• Μεγάλο εύρος ζώνης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλο κόστος εφαρμογής</li> </ul>
------------	--	---

Πίνακας 1. Θετικά και αρνητικά των Self-positioning τεχνολογιών

## 2.7. Μέθοδοι Remote-positioning

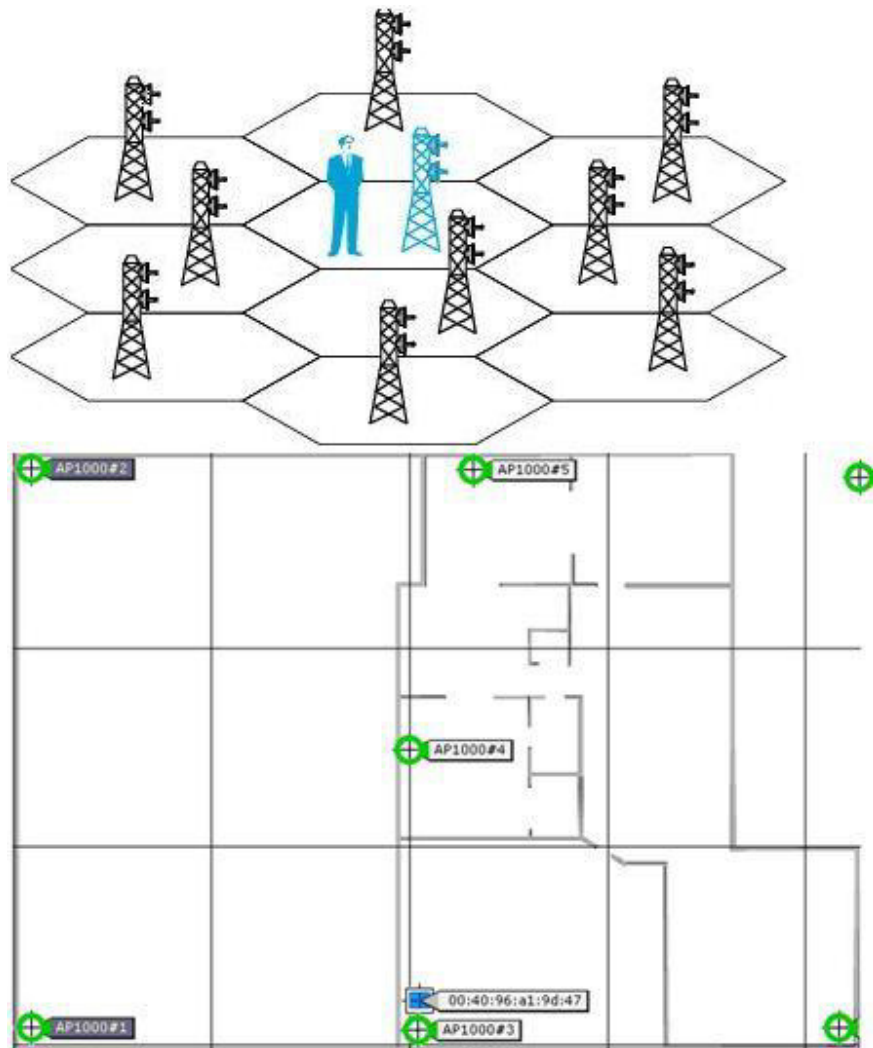
Τα αποτελεσματικότερα συστήματα θέσης είναι εκείνα που βασίζονται στις ράδιο τεχνικές θέσεις (radio location techniques) τα οποία εκμεταλλεύονται τις μετρήσεις των φυσικών ποσοτήτων σχετικά με τα ράδιο σήματα που ταξιδεύουν μεταξύ του κινητού τερματικού και ενός συνόλου πομποδεκτών των οποίων η θέση είναι γνωστή, π.χ. σταθμός βάσης (BSs), δορυφόροι πλοήγησης. Οι μετρήσεις των ράδιο σημάτων χαρακτηριστικά είναι η λαμβανόμενη ισχύς σήματος (RSS), η Cell of Origin, η γωνία άφιξης (Angle of Arrival- AOA), ο χρόνος άφιξης (Time of Arrival-TOA), και η χρονική διαφορά άφιξης (Time Difference of Arrival-TDOA). Τέτοιες υβριδικές τεχνικές εγγυώνται μια υψηλή ακρίβεια θέσης, οι οποίες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για εφαρμογές ασφαλείας και για παιχνίδια κινητών τηλεφώνων.

### 2.7.1. Μέθοδος αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (COO)

Η Cell-ID μέθοδος αποτελεί βασική τεχνική παροχής υπηρεσιών και εφαρμογών θέσης. Η μέθοδος στηρίζεται στο γεγονός ότι τα κινητά δίκτυα μπορούν να προσδιορίσουν κατά προσέγγιση τη θέση ενός κινητού τηλεφώνου με γνώση ποια κυψέλη ή συσκευή χρησιμοποιεί μία δεδομένη στιγμή. Η πληροφορία που χρησιμοποιείται είναι η παγκόσμια ταυτότητα της κυψέλης (CGI-cell global identity), η οποία είναι μοναδική παγκοσμίως και χαρακτηρίζει την κυψέλη. Στη συνέχεια παρατίθενται περιληπτικά τα κυριότερα χαρακτηριστικά της γνωρίσματα.

- Καθορίζεται η κυψέλη που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό και χρησιμοποιούνται οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σταθμού βάσης ή του κέντρου της περιοχής κάλυψης της συγκεκριμένης κυψέλης ως μια εκτίμηση της θέσης του κινητού.
- Οι πληροφορίες για την αντιστοίχιση του CGI με το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του σταθμού βάσης βρίσκονται αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων του δικτύου
- Το σημαντικότερο όφελος της τεχνολογίας είναι ότι είναι ήδη σε χρήση σήμερα και μπορεί να υποστηριχθεί από όλα τα κινητά τηλέφωνα.
- Η ακρίβεια της μεθόδου είναι αρκετά χαμηλή και εξαρτάται από την ακτίνα της κυψέλης, η οποία κυμαίνεται από 50m περίπου για εσωτερικούς χώρους έως 30km για αγροτικές περιοχές, οπότε ένα σφάλμα στο προσδιορισμό της θέσης μετά από μερικά χιλιόμετρα (km) δεν θα είναι αποδεκτό. Γενικά, η ακρίβεια είναι υψηλότερη στις πυκνοκατοικημένες περιοχές (αστικές) και χαμηλώνει πολύ στα αγροτικά περιβάλλοντα. Η ακρίβεια μπορεί να βελτιστοποιηθεί με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών, με την αύξηση της πυκνότητας

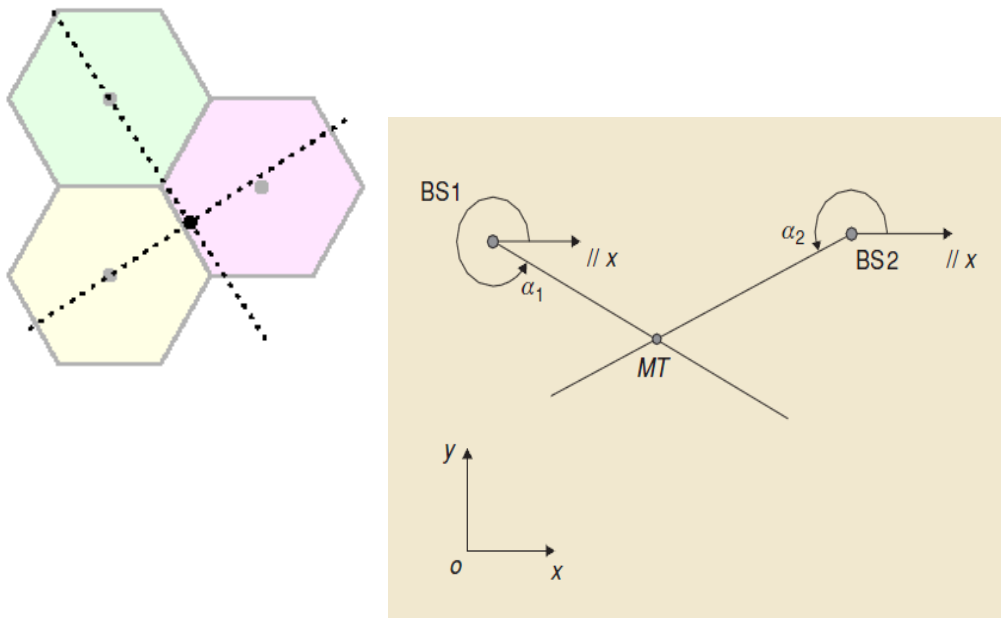
των σταθμών βάσης, με την αλλαγή της γεωμετρίας των κυψελών καθώς και τη μείωση του μεγέθους τους (microcells, picocells).



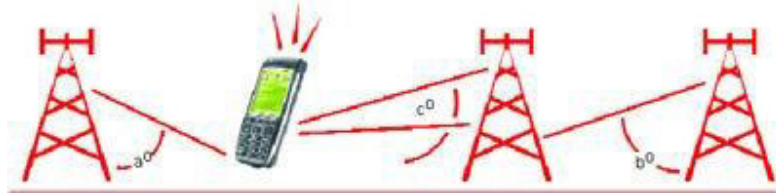
Εικόνα 16. Cell of Origin

### 2.7.2. Μέθοδος της γωνίας άφιξης (Angle of Arrival-AOA)

Η γωνία άφιξης (AOA) είναι μέθοδος που χρησιμοποιεί τους πολλαπλούς σταθμούς βάσεων για να προσεγγίσει τη θέση του χρήστη. Σε αυτή την τεχνική χρειάζονται τουλάχιστον δύο σταθμοί βάσης γνωστών θέσεων και προσανατολισμού οι οποίοι πρέπει να καθορίσουν τη γωνία με την οποία έφθασε το σήμα στο χρήστη. Η γωνία καθορίζεται με την οδήγηση μιας κατευθυντικής κεραίας μέχρι τη μέγιστη ισχύ σήματος ή όταν ανιχνευθεί συμφωνία φάσης. Κάθε μέτρηση παράγει μια ευθεία γραμμή, έτσι αν το κινητό τηλέφωνο δεν είναι πάνω στην ευθεία γραμμή των δύο σταθμών βάσης τότε η θέση καθορίζεται από τη διατομή των δύο ευθειών στη θέση που βρίσκεται το κινητό τηλέφωνο. Εάν ο χρήστης και οι σταθμοί βάσεων δεν είναι συνεπίπεδοι τότε απαιτούνται τρισδιάστατες κατευθυντικές κεραίες. Η χρήση περισσότερων σταθμών βάσεων από αυτό που απαιτείται, μπορεί να βελτιώσει κατά πολύ την ακρίβεια. Η ακρίβεια του όλου συστήματος εξαρτάται από τη διάδοση σημάτων, την ακρίβεια των κατευθυντικών κεραιών που χρησιμοποιούνται και την απόσταση της συσκευής από τις κεραίες.



Σχημα 2. Angle of Arrival



*Σχήμα 2.* Η AOA μέθοδος

### 2.7.3 Χρονική καθυστέρηση

Δεδομένου ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν με μια σταθερή ταχύτητα (ταχύτητα του φωτός) στο κενό, η απόσταση μεταξύ δύο σημείων μπορεί να υπολογιστεί εύκολα με τη μέτρηση του χρόνου καθυστέρησης ενός ραδιο κύματος που διαδόθηκε μεταξύ τους. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για δορυφορικά συστήματα και χρησιμοποιείται παγκοσμίως από αυτά. Υπάρχουν δύο τύποι μεθόδων χρονικής καθυστέρησης: Απόλυτος συγχρονισμός (Absolute Timing) ή χρόνος άφιξης (Time of Arrival - TOA) και διαφορικός χρόνος άφιξης (Time Difference of Arrival - TDOA) ή υπερβολική τεχνική (Hyperbolic Technique).

### 2.7.3.1. Μέθοδος του χρόνου άφιξης (Time of Arrival-TOA)

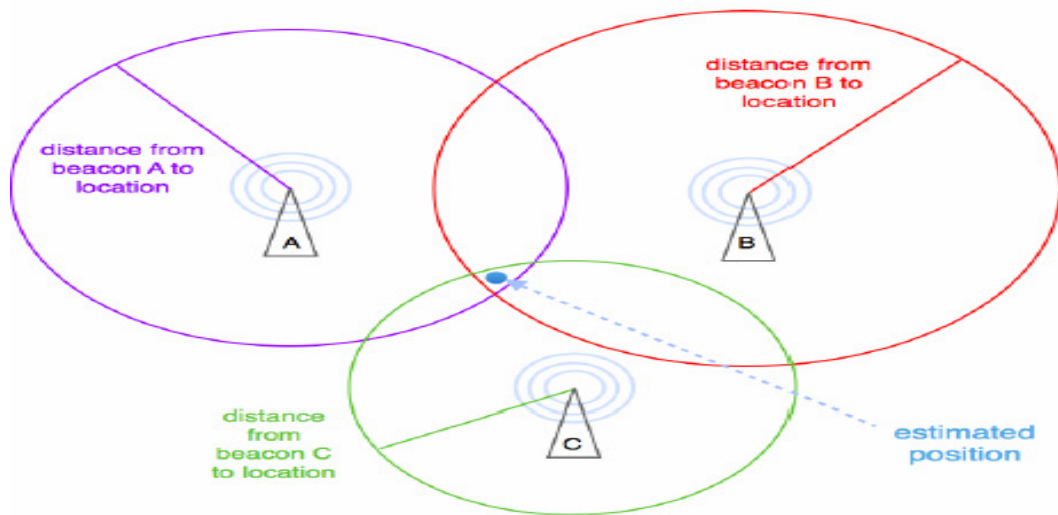
Με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται μια μορφή triangulation προκειμένου να προσδιορισθεί η θέση του χρήστη. Περαιτέρω, για να εκτελεστεί το triangulation, θα πρέπει πρώτα να έχουν προκαθορισθεί οι θέσεις των τριών σταθμών βάσης. Ειδικότερα:

- Σε ένα σύγχρονο σύστημα, οι πληροφορίες προσδιορισμού θέσης προέρχονται από τον απόλυτο χρόνο ενός κύματος που χρειάζεται για να ταξιδέψει μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη ή και αντίστροφα. Αυτό υπονοεί ότι ο δέκτης ξέρει τον ακριβή χρόνο της μετάδοσης.
- Σε ένα ασύγχρονο σύστημα, αυτή η προσέγγιση χρειάζεται τη μέτρηση του round-trip χρόνου ενός σήματος μεταδιδόμενου από μια πηγή σε έναν προορισμό και στη συνέχεια επιστρέφει πίσω στην πηγή με αποτέλεσμα να δίνει τη μονόδρομη μέτρηση εις διπλούν.
- Η ακρίβεια της τεχνικής εξαρτάται από τα λάθη καθυστέρησης διάδοσης (propagation delay) και από την ακρίβεια των μετρήσεων χρόνου.

Συνεπώς, η απόσταση από τον κινητό τερματικό προς μονάδα μέτρησης είναι άμεσα ανάλογη προς το χρόνο διάδοσης. Για να υπάρξει δισδιάστατο προσδιορισμός θέσης, οι TOA μετρήσεις, όσον αφορά τα σήματα, πρέπει να γίνονται από τουλάχιστον τρία σημεία αναφοράς. Για τα συστήματα βάσης, ο μονόδρομος χρόνος διάδοσης μετρίεται, όπως και η απόσταση μεταξύ της μονάδας μέτρησης και του πομπού. Γενικά, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο TOA εμφανίζονται δύο προβλήματα στα αποτελέσματα. Κατ' αρχάς, όλοι οι πομποί και δέκτες στο σύστημα πρέπει να συγχρονιστούν ακριβώς. Δεύτερον, το timestamp πρέπει να περνάει μαζί με μεταδιδόμενο σήμα έτσι ώστε η μονάδα μέτρησης να διακρίνει την απόσταση που το σήμα έχει ταξιδέψει. Η TOA



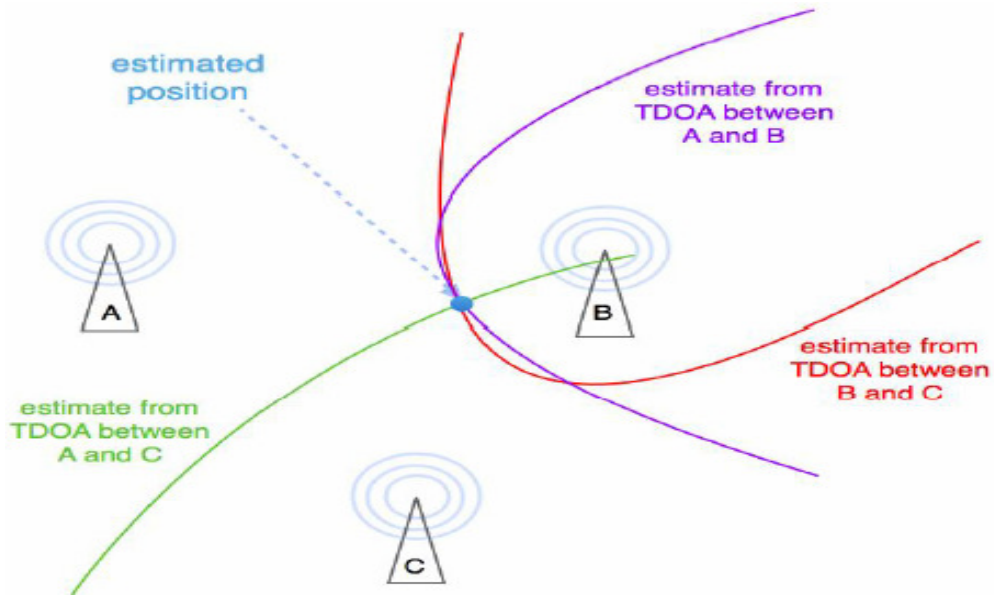
μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές σήματος όπως direct sequence spread-spectrum (DSSS) ή ultra wide band (UWB) μετρήσεις.



Εικόνα 17 . Time of Arrival

### 2.7.3.2. Μέθοδος της διαφοράς του χρόνου άφιξης (Time Difference of Arrival-TDOA)

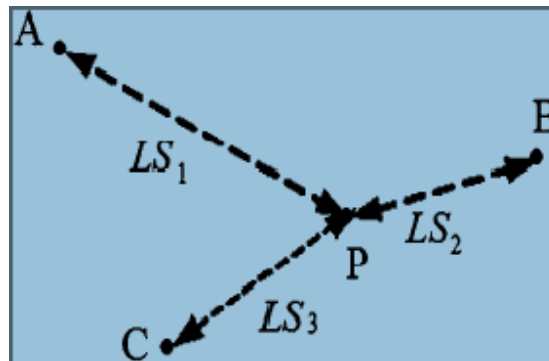
Ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να «ακούσει» τα σήματα που μεταδίδονται ταυτόχρονα από διάφορους σταθμούς βάσης και να μετρήσει τη χρονική διαφορά μεταξύ κάθε ζευγαριού αφίξεων. Εάν σε ένα δισδιάστατο σύστημα μια γραμμή ζωγραφίζεται ενώνοντας όλα τα σημεία που έχουν την ίδια χρονική διαφορά, μια υπερβολή θα σχεδιαστεί. Η διατομή των υπερβολικών γεωμετρικών τόπων θα καθορίσει τη θέση του κινητού συστήματος .



Εικόνα 18. Η μέθοδος Time Difference of Arrival

#### 2.7.4. Ισχύς λαμβανόμενου σήματος (RSS)

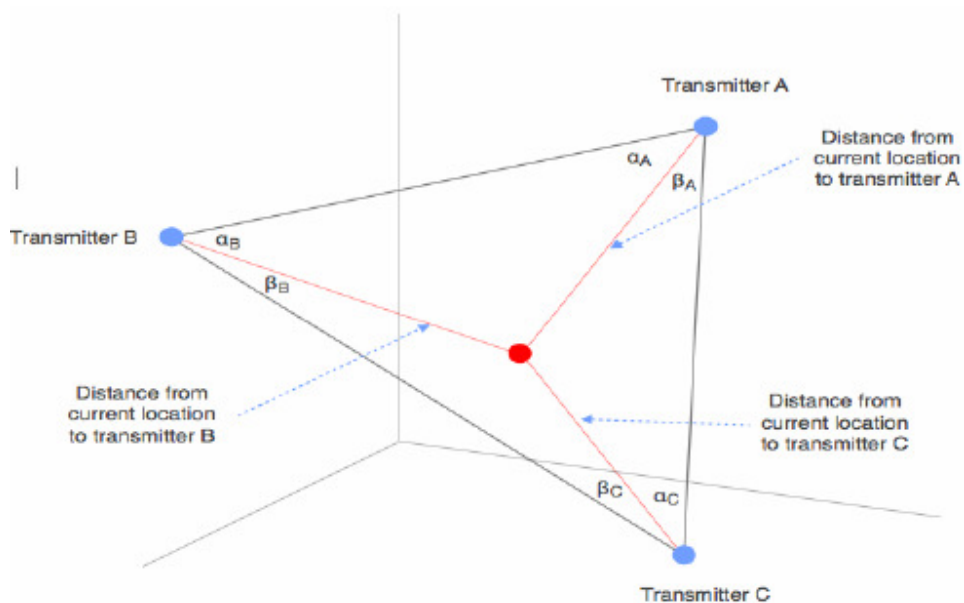
Οι προαναφερθείσες μέθοδοι παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα. Για τα εσωτερικά περιβάλλοντα, είναι δύσκολο να βρεθεί ένα κανάλι με οπτική επαφή (LOS) μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Η ραδιοδιάδοση σε τέτοια περιβάλλοντα θα έπασχε από την επίδραση πολλαπλών διαδρομών. Ο χρόνος και η γωνία ενός σήματος άφιξης θα επηρεαζόταν από την επίδραση των πολλαπλών διαδρομών, και κατά συνέπεια η ακρίβεια της εκτιμώμενης θέσης θα μπορούσε να μειωθεί. Μία μέθοδος που θα μπορούσε να εκτιμήσει τη θέση ενός αντικειμένου, χωρίς να εξαρτάται τόσο άμεσα από μία πιθανή έλλειψη οπτικής επαφής, είναι να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις που δείχνουν την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος ή την εξασθένηση του σήματος (Received Signal Strength: RSS ή Signal Attenuation) που εκπέμπει ο πομπός στους δέκτες.



Σημα 3. Η RSS μέθοδος

### 2.7.5. Τριγωνισμός (Triangulation)

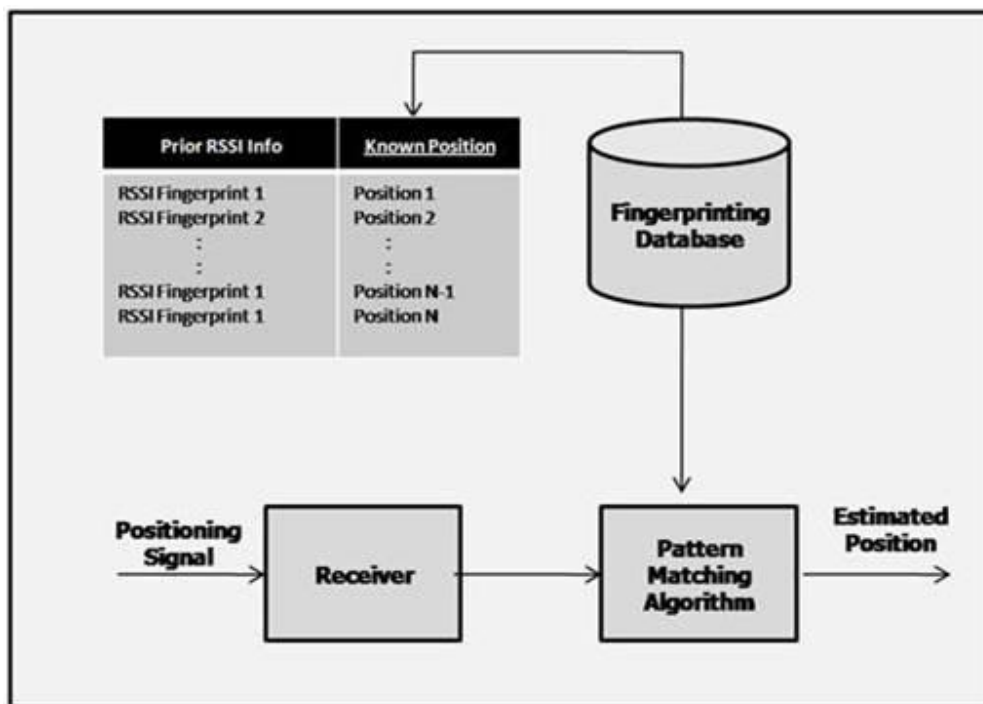
Σε ένα περιβάλλον με τις γνωστές απώλειες διάδοσης, η ισχύς σημάτων μπορεί να μετατραπεί άμεσα σε απόσταση. Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία οι απώλειες διάδοσης μπορούν να υπολογιστούν. Είναι επίσης απλή στην εφαρμογή της.



Σημα 4. Η μέθοδος του Τριγωνισμού (Triangulation)

## 2.7.6. Fingerprinting

Η fingerprinting, την οποία θα αναλύσουμε παρακάτω, είναι μια τεχνική προσδιορισμού θέσης που συγκρίνει τα μετρημένα στοιχεία RSSI με μια βάση δεδομένων των αναμενόμενων τιμών για να υπολογίσει την εκτιμώμενη θέση. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις λαμβάνονται σε ένα αυθαίρετο σχέδιο πλέγματος γύρω από το κτήριο. Ένας πολλαπλός αλγόριθμος συσχετισμού μητρών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ψάξει αυτήν την βάση δεδομένων για την καλύτερη αντιστοιχία, δίνοντας κατά συνέπεια μια εκτίμηση θέσης. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα ακριβής αλλά χρειάζεται αρκετό χρόνο για να εφαρμοστεί.



Εικόνα 19. Η μέθοδος Fingerprinting

### 2.7.7. Σύνοψη των Remote-positioning μεθόδων

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα θετικά και αρνητικά της κάθε τεχνικής :

Τεχνικές	Θετικά	Αρνητικά
Cell of Origin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ύπαρξη σταθμού βάσης</li> <li>• Ο σταθμός βάσης μένει ακίνητος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλή ακρίβεια</li> </ul>
Angle of Arrival	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχετικά καλή ακρίβεια με τον κατάλληλο εξοπλισμό</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απαιτούνται κατευθυντικές κεραιές</li> </ul>
Time of Arrival	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συγκριτικά καλή εσωτερική απόδοση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι σταθμοί βάσης πρέπει να είναι συγχρονισμένοι</li> <li>• Χαμηλή ακρίβεια</li> </ul>
Time Difference of arrival	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συγκριτικά καλή εσωτερική απόδοση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλή ακρίβεια</li> </ul>
RSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλή ακρίβεια</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απαιτούνται μετρήσεις</li> </ul>
Triangulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολύ εύκολη εφαρμογή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απαιτείται ο προσδιορισμός των γωνιών</li> </ul>
Fingerprinting	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλη ακρίβεια</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απαιτείται αρκετός χρόνος για να εφαρμοστεί</li> </ul>

Πίνακας 2. Θετικά και αρνητικά των Remote-positioning μεθόδων

### 2.7.8. Σύνοψη όλων των μεθόδων και τεχνολογιών εντοπισμού θέσης

Μέθοδος	Indoor Accuracy	Συνθήκες LOS/NLOS	Επίδραση από το multipath	Κόστος
<b>Proximity</b>	Χαμηλή προς υψηλή	Και τα δύο	Όχι	Χαμηλό προς υψηλό
<b>Direction (AOA)</b>	Μέτρια	LOS	Ναι	Υψηλό
<b>Time (TOA, TDOA)</b>	Υψηλή	LOS	Ναι	Υψηλό
<b>Propagation modeling</b>	Μέτρια	LOS	Ναι	Μέτριο
<b>Fingerprinting</b>	Υψηλή	Και τα δύο	Όχι	Μέτριο

Πίνακας 3. Σύνοψη ορισμένων μεθόδων εντοπισμού

### 2.8. Ανάλυση Τοποθεσίας

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της τοποθεσίας (scene analysis) επιδιώκουν να ελαττώσουν την αρνητική επίδραση που έχουν οι αντιξοότητες του περιβάλλοντος στο τελικό αποτέλεσμα. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούν τριγωνισμό (triangulation) εξαρτώνται πολύ από παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος, όπως θόρυβος, παρεμβολές, πολλαπλές

ανακλάσεις, διαθλάσεις, εξασθενήσεις, σκίαση, σκεδάσεις. Επίσης, η έλλειψη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη, πολλές φορές, είναι μία πολύ σημαντική αιτία σφάλματος στις triangulation τεχνικές. Και στην περίπτωση των τεχνικών τριγωνισμού που βασίζονται σε RSS μετρήσεις, η πιθανότητα σημαντικών σφαλμάτων είναι μεγάλη, λόγω της αδυναμίας να βρεθεί ένα μοντέλο που να αντιστοιχίζει την RSS μέτρηση με εκείνη την απόσταση που υπάρχει καλή ακρίβεια, σε έναν εσωτερικό χώρο. Επομένως, μία μεγάλη πρόκληση των τεχνικών που χρησιμοποιούν scene analysis, είναι να αντιμετωπίσουν με επιτυχία το πρόβλημα που δημιουργείται από την επίδραση των συνθηκών διάδοσης στις μετρήσεις, και ιδιαιτέρως στις RSS μετρήσεις, επειδή αυτές χρησιμοποιούνται συχνότερα στη scene analysis.

- Ένα πλεονέκτημα των τεχνικών scene analysis είναι ότι μελετούν το πρόβλημα εντοπισμού θέσης με μία διαφορετική οπτική γωνία από ότι οι triangulation τεχνικές. Δηλαδή, οι scene analysis τεχνικές δεν στηρίζονται σε μία ή λίγες μετρήσεις, η ακρίβεια των οποίων θα επηρέαζε σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα σε μεγάλο βαθμό. Αντιθέτως, στηρίζονται σε ένα μεγάλο σύνολο μετρήσεων, το οποίο αναλύεται με κατάλληλο τρόπο για να δώσει μία εικόνα για το περιβάλλον της παρούσας μελέτης. Έτσι, η προσοχή των scene analysis τεχνικών επικεντρώνεται περισσότερο στο να καταφέρουν να πάρουν και να εκμεταλλευτούν τις μετρήσεις με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποτυπωθούν όσο το δυνατό καλύτερα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, και δεν επικεντρώνεται τόσο πολύ στο πόσο ακριβείς είναι οι μετρήσεις. Σε ένα περιβάλλον εσωτερικού χώρου, οι τιμές RSS που μετρώνται σε μία σταθερή θέση είναι πολύ πιθανό να διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους, λόγω της πολυπλοκότητας και της συνεχούς μεταβολής του περιβάλλοντος. Αν χρησιμοποιείται μία triangulation τεχνική, τότε το σφάλμα θέσης θα ήταν μεγάλο, γιατί οι μεγάλες αποκλίσεις των RSS τιμών από το μοντέλο μεταξύ RSS και αντίστοιχης απόστασης που θα χρησιμοποιούταν, θα έκαναν το μοντέλο αυτό να μην είναι λειτουργικό. Όμως, οι scene analysis τεχνικές δεν επηρεάζονται τόσο πολύ από τις μεταβολές των RSS τιμών που μετρώνται. Αυτό, γιατί κατά το offline στάδιο, σε κάθε μία από τις υποψήφιες θέσεις, συλλέγονται αρκετές μετρήσεις, οι οποίες προφανώς διαφέρουν μεταξύ τους, λόγω των συνθηκών εσωτερικού χώρου. Συνεπώς, το offline στάδιο βοηθά να κατανοηθεί σε κάποιο βαθμό, με έμμεσο τρόπο, το πώς μεταβάλλονται οι RSS μετρήσεις σε διάφορα γνωστά σημεία του χώρου.

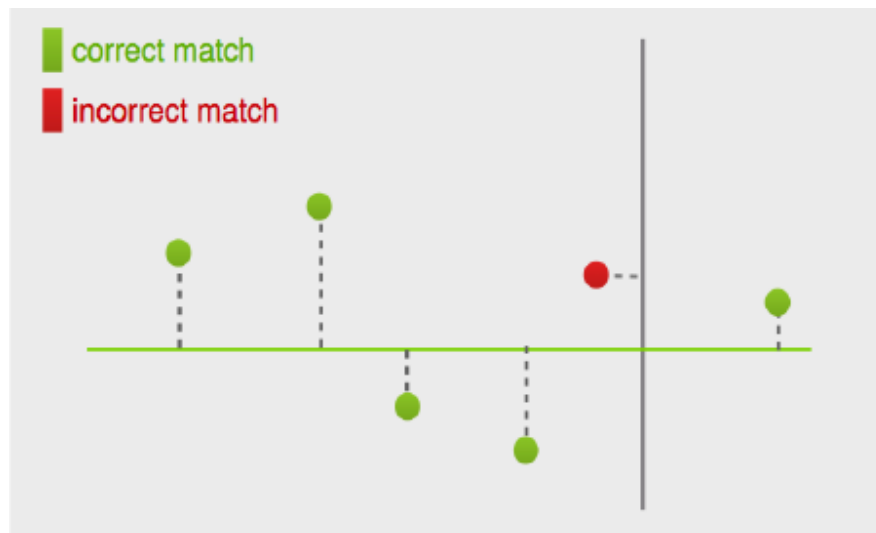
Επομένως, οι ασταθείς RSS μετρήσεις δεν αποτελούν μεγάλο πρόβλημα, επειδή οι μεταβολές των μετρήσεων σε διάφορα σημεία του χώρου προσπαθούν να προβλεφθούν στο offline στάδιο.

- Ένα ακόμα μεγάλο πλεονέκτημα των scene analysis τεχνικών είναι ότι δεν απαιτείται η ύπαρξη οπτικών επαφών, και επομένως είναι πολύ λειτουργικές σε περιβάλλοντα εσωτερικών χώρων. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις, κάποιες τιμές που αποθηκεύονται σε έναν radio map (χάρτης με τιμές ισχύος ανά θέση ο οποίος αποτελεί τη βάση δεδομένων) μπορεί να οδηγήσουν σε λάθος συμπεράσματα για τη θέση ενός αντικειμένου.

Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχουν δύο υποψήφιες θέσεις A και B, και το αντικείμενο άγνωστης θέσης βρίσκεται πολύ κοντά στην υποψήφια θέση A, και μακριά από την υποψήφια θέση B. Σε αυτή την περίπτωση, θα ήταν λογικό οι online μετρήσεις του αντικειμένου να είναι πιο κοντά στις μετρήσεις της κοντινής υποψήφιας θέσης A, παρά στις μετρήσεις της μακρινής θέσης B. Όμως, αν το τμήμα του εσωτερικού χώρου στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο υποφέρει από έντονες διαλείψεις, τότε είναι πιθανό οι online μετρήσεις του αντικειμένου να διαφέρουν αρκετά από τις offline τιμές της κοντινής στο αντικείμενο θέσης A. Και αν τύχει οι online μετρήσεις να είναι πολύ κοντά στις offline μετρήσεις της θέσης B, τότε η μέθοδος είναι πιθανό να θεωρήσει ότι το αντικείμενο βρίσκεται κοντά στη θέση B, αν και στην πραγματικότητα η θέση B δεν είναι κοντινή στο αντικείμενο. Άρα, η κατασκευή του radio map, καθώς και η επιλογή των υποψήφιων θέσεων, πρέπει να γίνονται προσεχτικά ώστε να μειώνεται όσο το δυνατό περισσότερο η πιθανότητα να ληφθούν παραπλανητικά αποτελέσματα σχετικά με τη θέση ενός αντικειμένου.

- Επίσης, στην περίπτωση που οι offline RSS τιμές δύο υποψήφιων θέσεων τυχαίνει να είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, υπάρχει η πιθανότητα η μέθοδος εντοπισμού θέσης να μην μπορέσει να διακρίνει με επιτυχία ποια από τις δύο υποψήφιες θέσεις προσεγγίζει καλύτερα τη θέση του αντικειμένου.





Σχημα 5. Παράδειγμα πιθανού λάθους στο ταίριασμα των online και offline τιμών στον radio map

Επομένως, σε μία μέθοδο scene analysis προκειμένου να κατασκευαστεί ο radio map με κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο, θα πρέπει οι offline μετρήσεις να συλλέγονται και να επεξεργάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι όσο το δυνατό πιο ακριβές.

Τέλος, στις scene analysis μεθόδους, αντιστοιχίζεται η θέση του αντικειμένου άγνωστης θέσης με την πιο κατάλληλη υποψήφια θέση. Όμως, η αντιστοίχιση αυτή δεν δίνει μια ακριβή θέση για το αντικείμενο, αλλά δείχνει την περιοχή του χώρου στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο. Δηλαδή, το περιβάλλον της παρούσας μελέτης χωρίζεται σε μικρότερες υποπεριοχές. Κάθε υποπεριοχή αντιπροσωπεύεται από μία ή περισσότερες υποψήφιες θέσεις. Έτσι, όταν θεωρείται μία υποψήφια θέση ως τη θέση του αντικειμένου, στη πραγματικότητα θεωρείται ότι το αντικείμενο βρίσκεται στην υποπεριοχή του χώρου της παρούσας μελέτης, η οποία αντιπροσωπεύεται από την υποψήφια θέση αυτή. Όμως, άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούν scene analysis δίνουν ως αποτέλεσμα τις συντεταγμένες στις οποίες βρίσκεται το αντικείμενο άγνωστης θέσης. Τα σημεία στα οποία διαφέρουν οι διάφορες τεχνικές που βασίζονται στην scene analysis είναι η μέθοδος κατασκευής του radio map, και ο τρόπος με τον οποίον εκμεταλλεύονται τις online μετρήσεις και τον radio map, για τον εντοπισμό μιας θέσης. Ένας αλγόριθμος εντοπισμού θέσης είναι οι k πλησιέστεροι γείτονες (k-Nearest-Neighbor: kNN).

## 2.9 Η τεχνική Fingerprinting

Η τεχνική ονομάστηκε fingerprinting και τα συλλεγμένα σημεία fingerprints, σε αναλογία με την ταυτοποίηση των δακτυλικών αποτυπωμάτων στην αστυνομική έρευνα και την ιατροδικαστική. Όμοια, για την ταυτοποίηση της θέσης μιας φορητής συσκευής γίνεται σύγκριση του αποτυπώματός της με τα αποτυπώματα που συλλέχθηκαν την περίοδο εκμάθησης από γνωστές θέσεις. Για την καλή απόδοση του fingerprinting αρχικά απαιτείται τα χαρακτηριστικά του σήματος να παρουσιάζουν σημαντική χωρική μεταβλητότητα και σταθερότητα στο χρόνο. Συνδυάζοντας αυτά τα δύο, απαιτείται ένα σήμα με αρκετές χωρικές μεταβολές και σχετικά σταθερό στο χρόνο.

Το πλεονέκτημα του συστήματος εντοπισμού θέσης βασισμένο στο fingerprinting είναι ότι επιτρέπει τον καθορισμό της θέσης με μεγάλη ακρίβεια καθώς λαμβάνονται υπόψιν όλες οι οντότητες της διάδοσης του σήματος. Παρόλα αυτά, όσο περισσότερες λεπτομέρειες χρησιμοποιούνται, τόσο περισσότερο ευάλωτο είναι το σύστημα σε μεταβολές του περιβάλλοντος, όπως στην μετακίνηση εξοπλισμού εντός του κτιρίου ή στο κτίσιμο νέων κτιρίων. Γι' αυτό απαιτείται βαθμονόμηση του συστήματος ώστε να προσαρμοστεί στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Όμως, τα στοιχεία του περιβάλλοντος που επηρεάζουν περισσότερο τη διάδοση του σήματος είναι συνήθως σταθερά κι έτσι δεν απαιτείται συχνά εκ νέου βαθμονόμηση.

Η τεχνική του fingerprinting μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τύπους δεδομένων εισόδου. Το πιο σύνηθες είναι η χρήση μετρήσεων της ισχύος του σήματος, του χρόνου ή της γωνίας άφιξης ή συνδυασμοί αυτών. Ένα άλλο σημαντικό κομμάτι του εντοπισμού θέσης βασισμένου στο fingerprinting είναι ο αλγόριθμος εκτίμησης θέσης. Ο ρόλος του είναι να

υπολογίζει τη θέση των νέων σημείων ανάλογα με το πόσο ταιριάζουν με τα σημεία που είχαν καταγραφεί κατά την περίοδο εκμάθησης του συστήματος. Με άλλα λόγια, η απόφαση εάν ένα fingerprint είναι πανομοιότυπο με ένα από τα καταγεγραμμένα σημεία είναι ασήμαντη. Ο αλγόριθμος πρέπει να είναι σε θέση να εκτιμήσει τη θέση και σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, όπως όταν ο χρήστης είναι μεταξύ δύο καταγεγραμμένων σημείων .

### 2.9.1 Αποφυγή “ δακτυλικών αποτυπωμάτων ”

Ένα σημαντικό θέμα που πρέπει να λαμβάνει υπόψη του ο μελετητής ενός συστήματος όταν τοποθετεί τα σημεία πρόσβασης, είναι ο κίνδυνος να υπάρξουν κοινά “δακτυλικά αποτυπώματα” σε κάποιες υποψήφιες θέσεις. Αν συμβεί αυτό, τότε είναι πολύ πιθανό αν ένα αντικείμενο άγνωστης θέσης βρεθεί σε μια υποψήφια θέση που έχει κοινά “δακτυλικά αποτυπώματα” με άλλες θέσεις, τότε ο αλγόριθμος θα μπορούσε να θεωρήσει ως πραγματική θέση οποιαδήποτε από τις υποψήφιες θέσεις έχουν κοινά “δακτυλικά αποτυπώματα”, όσο μακριά και αν βρίσκονται από την πραγματική θέση. Και αυτό θα ήταν αρνητικό για την αξιοπιστία του συστήματος. Επίσης, εξίσου αρνητικό για την αξιοπιστία του συστήματος είναι η ύπαρξη υποψήφιων θέσεων με “δακτυλικά αποτυπώματα” που απέχουν πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους στον διανυσματικό χώρο.

### 2.9.2 Το πρόβλημα του σφάλματος των “δακτυλικών αποτυπωμάτων ”

Ο αλγόριθμος του συστήματος εντοπισμού θέσης που μελετάμε αποφασίζει για μια θέση, συγκρίνοντας τις διανυσματικές αποστάσεις του λαμβανόμενου κατά το online στάδιο δειγματικού διανύσματος μετρήσεων από τα “δαχτυλικά αποτυπώματα”, και θεωρώντας ως πραγματική θέση την υποψήφια θέση που αντιστοιχεί στο “δαχτυλικό αποτύπωμα” με την ελάχιστη απόσταση.

Οι πραγματικές τιμές των “δαχτυλικών αποτυπωμάτων” διαφέρουν από αυτές που έχει καταγράψει το σύστημα στη βάση δεδομένων του. Ένας λόγος για τον οποίον θα μπορούσε να συμβεί αυτό είναι η μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τη λειτουργία του συστήματος, με αποτέλεσμα τη μεταβολή ορισμένων τιμών μέσης ισχύος σε διάφορες υποψήφιες θέσεις του συστήματος.

Ένας άλλος λόγος θα ήταν ένας όχι πολύ πετυχημένος υπολογισμός των “δαχτυλικών αποτυπωμάτων” κατά το offline στάδιο, λόγω ανεπαρκούς συλλογής και διαχείρισης δειγματικών μετρήσεων, ή λόγω μη επιτυχημένης επιλογής ενός τυποποιημένου μοντέλου απωλειών διαδρομής, ή λόγω κακής προσαρμογής του μοντέλου απωλειών διαδρομής στις πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Στην πραγματικότητα, η πραγματική θέση ενός αντικειμένου που θέλουμε να εντοπίσουμε είναι πολύ πιθανό να βρίσκεται σε ένα σημείο του χώρου το οποίο δεν συμπίπτει με μία γνωστή υποψήφια θέση, και έτσι η πραγματική θέση είναι πιθανό να αντιστοιχίζεται με μία νέα τιμή “δαχτυλικού αποτυπώματος”.

### 2.9.3 Ο αριθμός των δειγμάτων για τον υπολογισμό των “δακτυλικών αποτυπωμάτων”

Ο αριθμός των δειγματικών μετρήσεων που χρειάζονται για τον σχηματισμό ενός “δακτυλικού αποτυπώματος” θα επιθυμούσαμε να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερος, με δεδομένο βέβαια ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι ικανοποιητικά σταθερές. Η συλλογή ενός μεγάλου αριθμού δειγμάτων θα μπορούσε να αυξήσει τη χρονική διάρκεια του offline σταδίου, και τις εγγραφές της βάσης δεδομένων. Ο σχεδιαστής είναι καλό να επιλέξει έναν αριθμό δειγμάτων που να έχει θετικές επιπτώσεις στην ακρίβεια του συστήματος, αλλά και στη γενικότερη πρακτική του λειτουργία. Επιπλέον, όταν τα “δακτυλικά αποτυπώματα” υπολογίζονται μέσω ενός μαθηματικού τύπου, τότε ο αριθμός των δειγμάτων είναι αδιάφορος.

#### 2.9.4 Η διαδικασία συλλογής των “ δακτυλικών αποτυπωμάτων ”

Η συλλογή “δακτυλικών αποτυπωμάτων” είναι μία εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία. Ιδιαίτερα, αν η περιοχή λειτουργίας του συστήματος έχει μεγάλη έκταση, τότε και η χρονική διάρκεια των μετρήσεων είναι ανησυχητικά μεγάλη, αλλά και ο αριθμός των δεδομένων που καταγράφονται στη βάση δεδομένων αυξάνεται αισθητά. Αν όμως ο αριθμός των δειγμάτων δεν είναι αρκετός, και αν η διάρκεια των μετρήσεων είναι πολύ μικρή, τότε αυτό είναι αρνητικό για την αξιοπιστία του συστήματος. Και ιδιαιτέρως αν η βάση δεδομένων καταγράφει ιστογράμματα, τότε η αξιοπιστία μειώνεται ακόμα περισσότερο. Επίσης, αν μία βάση δεδομένων έχει πολύ μικρό ελεύθερο χώρο, τότε ο σχεδιαστής του συστήματος περιορίζεται στο να επεκτείνει μελλοντικά το σύστημα, εισάγοντας στη βάση δεδομένων επιπρόσθετα “δακτυλικά αποτυπώματα”. Επομένως, ο σχεδιαστής του συστήματος οφείλει να λάβει υπόψη του όλους αυτούς τους παράγοντες, και να βρει μία λύση που να εξισορροπεί τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, και η οποία να

ικανοποιεί όσο το δυνατό καλύτερα τις προδιαγραφές της εφαρμογής. Τέλος, τα “δαχτυλικά αποτυπώματα” θα μπορούσαν να υπολογιστούν πολύ πιο εύκολα με ένα μοντέλο απωλειών διαδρομής, αλλά με συνέπεια τη μείωση της ακρίβειας.

### 2.9.5 Συμπεράσματα από την τεχνική του *LOCATION FINGERPRINTING*

Τα συστήματα που στηρίζονται σε αυτή την τεχνική είναι σύνθετα δηλαδή χρειάζονται εκτενείς δοκιμές στο χώρο που επιθυμούμε να καλύψουμε για να καταλήξουμε στην επιλογή των παραμέτρων και μεθόδων εκείνων που θα μας δώσουν την καλύτερη δυνατή ακρίβεια. Καθώς θέλουμε να μπορούμε να εξυπηρετήσουμε πολλούς χρήστες σε πραγματικό χρόνο ο αλγόριθμος εκτίμησης θέσης πρέπει να πετυχαίνει τη σωστή ισορροπία σε γρήγορο χρόνο υπολογισμού. Τέλος, πρέπει να λάβουμε υπόψη την ανάγκη για ενημέρωση της βάσης δεδομένων με νέα αποτυπώματα , οπότε κρίνουμε ότι αυτή πλέον δεν απεικονίζει σωστά το χρόνο.

## Κεφάλαιο 3

### Τεχνολογία SunSpot

#### 3.1 Αισθητήρες τεχνολογίας SUNSPOT

Σήμερα, το διαδίκτυο αποτελείται από εκατομμύρια υπολογιστών, όμως η φύση του αλλάζει καθημερινά. Νέοι τύποι συσκευών αρχίζουν να συνδέονται καθημερινά στο διαδίκτυο. Σύντομα αυτοκίνητα, ιατρικές συσκευές ή ακόμη παιχνίδια θα μπορούν να διαχειρίζονται και να ελέγχουν τα δεδομένα τους μεταξύ τους ανά τον κόσμο. Ο αριθμός αυτών των συσκευών θα ξεπεράσει κατά πολύ αυτόν των υπολογιστών. Ήδη, πάνω από 1.5 δισεκατομμύρια κινητά με λογισμικό JAVA επικοινωνούν μεταξύ τους σε καθημερινή βάση. Προβλέπεται, κάποια μέρα στο κοντινό μέλλον να επικοινωνούν μεταξύ τους τρισεκατομμύρια τέτοιων συσκευών. Για χρόνια, η εταιρία SUN πίστευε ότι μια μέρα τα πάντα θα είναι κομμάτι του internet. Αυτό το όραμα, του «internet όλων των πραγμάτων» περιλαμβάνει όχι μόνο υπολογιστές που θα επικοινωνούν μεταξύ τους και θα ανταλλάσσουν δεδομένα, αλλά θα είναι όλα συνδεδεμένα μεταξύ τους, όλα θα επικοινωνούν και θα μοιράζονται δεδομένα, συνεχώς. Αυτοκίνητα, δίκυκλα, αστροναύτες, παιχνίδια ακόμη και δέντρα θα μπορούν να συλλέγουν και να παραδίδουν αμφίδρομα πληροφορίες μέσω αυτών των συσκευών.

Υπάρχει μεγάλη ποσότητα πληροφορίας για επεξεργασία, διαχείριση και αποθήκευση. Τα τελευταία 24 χρόνια η SUN έχει βάλει στόχο να δημιουργήσει ένα δίκτυο υποδομής ώστε να χειρίζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων δουλειές δηλαδή που μπορεί να επιτελέσει ένας server, ένα σύστημα αποθήκευσης δεδομένων, λογισμικό διαχείρισης δεδομένων και πάει λέγοντας. Και τώρα με το SUN SPOT (Small Programmable Object Technology) ένα τεχνολογικό εγχείρημα της SUN κατάφερε να ενσαρκώσει αυτή την έμπνευση σε μια συσκευή η οποία φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 20: *SUNSPOT*



### 3.2 Διάφορα τεχνικά στοιχεία των κόμβων Sun SPOTs

Τα SUN SPOT είναι μικρές ασύρματες συσκευές με ενσωματωμένους αισθητήρες που λειτουργούν με μπαταρίες και είναι προγραμματιζόμενες σχεδόν εξολοκλήρου σε Java. Περιλαμβάνει αρκετούς ενσωματωμένους αισθητήρες και παρέχει τη δυνατότητα να διασυνδεθεί με εξωτερικές συσκευές. Τα SUN SPOTs δεν έχουν κάποιο λειτουργικό σύστημα, αλλά τρέχει την Squawk VM απευθείας πάνω στον επεξεργαστή, και η VM παρέχει τις βασικότερες λειτουργίες ενός OS. Το αναπτυξιακό σύστημα που δίνεται από την SUN είναι η έκδοση v3 (Purple) και περιλαμβάνει δύο eSPOTS ένα basestation, ένα USB καλώδιο για την σύνδεση των SPOTs/basestation στο υπολογιστή και ένα cd με το sdk για την ανάπτυξη και εγκατάσταση εφαρμογών στα SPOTS.

Πιο συγκεκριμένα:

- **eSPOT** - Πρόκειται για την τωρινή έκδοση του SUN SPOT και αποτελείται από ένα κύριο board με μπαταρίες λιθίου, επεξεργαστή, μνήμη, 802.15.4 radio και σύνδεσμο για προσθήκη κάρτας επέκτασης. Στην συγκεκριμένη έκδοση τα SPOTs έχουν μια κάρτα επέκτασης το eDEMO με επιταχυνσιόμετρο, μετατροπέα ADC, ψηφιακές εισόδους/εξόδους(GPIO), 2 κουμπιά και 8 led.
- **Basestation** – είναι μια συσκευή που περιέχει το κύριο board του eSPOT χωρίς μπαταρίες και κάρτα επέκτασης. Η τροφοδοσία παρέχεται από ένα USB καλώδιο που συνδέεται με έναν υπολογιστή. Το basestation χρησιμοποιείται για να επικοινωνούν εφαρμογές που τρέχουν σε έναν υπολογιστή με τα SPOTS.

Για το σχεδιασμό αυτής της συσκευής ελήφθησαν υπόψη οι εξής κρίσιμοι παράγοντες:

## 1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ

Τοποθετώντας τη πλατφόρμα της SUN SPOT πάνω σε τεχνολογία JAVA, έγινε πιο εύκολο να γραφεί κώδικας για μικρές ασύρματες συσκευές αισθητήρων και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών κατανάλωσης. Έτσι, οι δημιουργοί μπορούν να γράψουν ένα πρόγραμμα σε JAVA, να το φορτώσουν σε μια συσκευή να το τρέξουν και να αναζητήσουν και σφάλματα πάνω στον κώδικα. Με τη JAVA είναι επίσης ευκολότερο να μεταφέρουμε εφαρμογές μεταξύ των διάφορων πλατφόρμων και οι συσκευές SUNSPOT προσφέρουν μια μικρή, ευέλικτη ασύρματη πλατφόρμα ώστε να τοποθετηθούν αυτές οι εφαρμογές. Για τα εκατομμύρια των χρηστών που χειρίζονται και γράφουν κώδικα σε JAVA μέσω αυτής της συσκευής μπορούν να επιτύχουν αρκετά πράγματα. Ένα από αυτά τα παραδείγματα είναι να μεταφερθεί λογισμικό από ένα SPOT συσκευή με χαμηλή μπαταρία σε ένα άλλο με περισσότερη μπαταρία αποφεύγοντας έτσι απώλεια πληροφοριών.

## 2. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Αντιθέτως με άλλα συστήματα, οι SUNSPOT χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών όπως τα **NETBEANS** ή **ECLIPSE** για να προγραμματίζουν τις εφαρμογές που επιθυμεί ο χρήστης.

## 3. ΑΣΦΑΛΕΙΑ

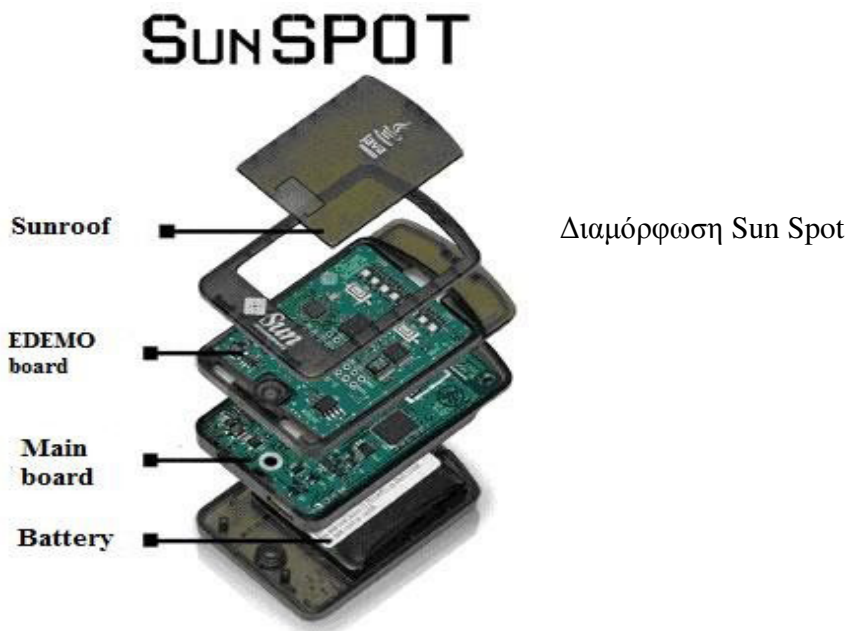
Χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία ECC έγινε εφικτό να προστίθεται περισσότερη ασφάλεια χωρίς να χαραμίζεται η μνήμη και η ικανότητα επεξεργασίας των μικρών συσκευών. Έτσι με αυτό το πρόγραμμα με το ψευδώνυμο **SIZZLE** μπορούμε να παρακολουθούμε και να ελέγχουμε οτιδήποτε με ασφάλεια μέσω ενός **WEB BROWSER**.

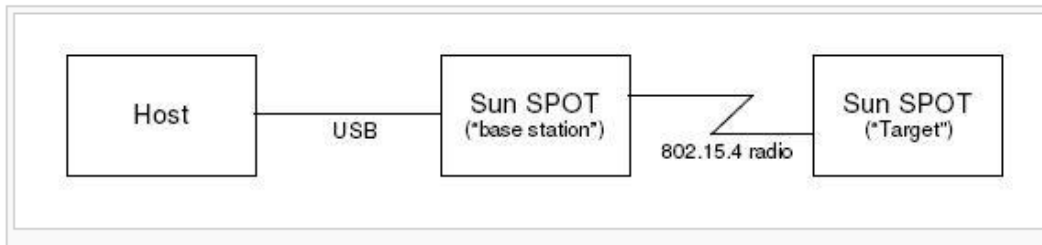
## 4. ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΗ ΚΛΙΜΑΚΩΣΗ

Οποιαδήποτε συσκευή αυτής της τεχνολογίας μπορεί να είναι ικανή να επηρεάζεται από μια μεγάλη κλιμάκωση (παραδείγματος χάρη ολοκληρωμένα συστήματα από έναν έως χιλιάδες επεξεργαστές είτε η αύξηση σε petabytes σε χωρητικότητα).

### 3.3 Τεχνικές προδιαγραφές των SPOTs

Όπως προαναφέραμε η τωρινή διαμόρφωση των SPOTs όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα περιλαμβάνει το Main Board (cpu/radio) και το eDEMO Board που περιέχει τους αισθητήρες. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφέρουμε τα βασικά στοιχεία του hardware που χρησιμοποιούνται και μια συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών τους. Επίσης θα αναλύσουμε τα σημαντικά υποσυστήματα της πλατφόρμας και την λειτουργικότητα του Sensor .

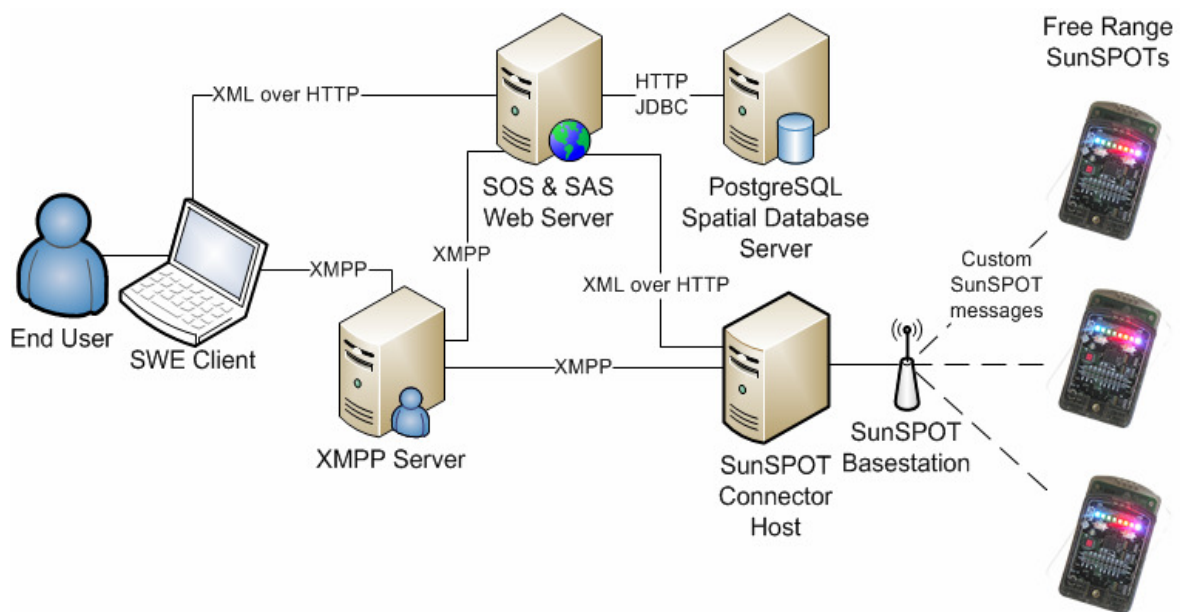




**Σχημα 6: Sunspots Συνδεσμολογία**

### 3.4 Χρήσιμο λογισμικό για SunSpot συσκευές

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν JAVA είναι γνωστές για την ικανότητα τους να είναι ανεξάρτητες από το hardware. Το SUNSPOT χρησιμοποιεί ένα μικρό J2ME το οποίο τρέχει κατευθείαν στον επεξεργαστή χωρίς ένα OS (OPERATION SYSTEM). Και το J2ME και το SUNSPOT είναι ανοικτού κώδικα. Με τον όρο Λογισμικό ανοικτού κώδικα εννοείται λογισμικό του οποίου ο πηγαίος κώδικας διατίθεται ελεύθερα σε αυτούς που θέλουν να τον εξετάσουν, τροποποιήσουν ή χρησιμοποιήσουν σε άλλες εφαρμογές. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές άδειες χρήσης που μπορεί να συνοδεύουν το λογισμικό ανοικτού κώδικα. Σε γενικές γραμμές το λογισμικό ανοικτού κώδικα δεν σημαίνει απαραίτητα δωρεάν λογισμικό, ούτε ελεύθερο λογισμικό (σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει στο ελεύθερο λογισμικό το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού), αλλά αναφέρεται κυρίως στην ελευθερία του κάθε χρήστη να εξετάσει και να χρησιμοποιήσει την γνώση και τις δυνατότητες που του προσφέρει ο κώδικας προγραμματισμού.



*Τοπολογία δικτύου*

Οι μονάδες λογισμικού που απαιτούνται για τη λειτουργία του συστήματος, και οι δικτυακές οντότητες στις οποίες φιλοξενούνται αντίστοιχα είναι:

- **SunSPOT Connector Host Application:** Κεντρική εφαρμογή που αποτελεί τη διεπαφή του παραγωγού δεδομένων με τις υπηρεσίες SOS και SAS. Επικοινωνεί με τα ελεύθερα SunSPOTs (Free Range SunSPOTs) μέσω ενός ενσύρματου SunSPOT που έχει το ρόλο του σταθμού βάσης (SunSPOT Base Station).

Εκτελείται σε έναν υπολογιστή που τοποθετείται στο χώρο όπου σκοπεύουμε να λάβουμε μετρήσεις.

- **SunSPOT Application:** Εφαρμογή που εκτελείται στους ασύρματους SunSPOT κόμβους, η οποία χειρίζεται τη σύνδεση με την εφαρμογή Connector και τη συλλογή μετρήσεων.

- **SOS και SAS Web Server:** Διακομιστής ιστού (Web) που φιλοξενεί τις υπηρεσίες ιστού (Web Services) SOS και SAS. Η διεπαφή του με τα άλλα συστατικά είναι μέσω HTTP και XMPP.
- **PostgreSQL Spatial Database Server:** Βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύουν δεδομένα οι υπηρεσίες SOS και SAS. Μπορεί να φιλοξενηθεί στο ίδιο μηχάνημα όπου εκτελούνται και οι υπηρεσίες αυτές ή και σε διαφορετικό υπολογιστή.
- **XMPP Server:** Διακομιστής που υλοποιεί το XMPP πρωτόκολλο, υποστηρίζοντας την άμεση μηνυματοδοσία σε συνόδους πολλαπλών συμμετεχόντων. Δέχεται μηνύματα από τον Connector και το SAS και τα κοινοποιεί στα υπόλοιπα μέλη της συνόδου, στα πλαίσια του μηχανισμού συνδρομής - συναγερμού .
- **SWE Client:** εφαρμογή του πελάτη καταναλωτή γεωγραφικών δεδομένων και δεδομένων αισθητήρων. Φιλοξενηθεί σε έναν υπολογιστή οπουδήποτε στο διαδίκτυο. Επικοινωνεί μέσω HTTP με το διακομιστή που εκτελεί τα SOS και SAS και μέσω XMPP με το διακομιστή XMPP όπου ανακοινώνονται τα μηνύματα συναγερμού.

### 3.5 Διάλογοι επικοινωνίας του Main Board

Η επικοινωνία μεταξύ των SPOTs και workstation γίνεται κυρίως μέσω του διαύλου USB και για την διασύνδεση υπάρχει μια υποδοχή mini USB τύπου B. Η USB client συσκευή στα SPOTs είναι συμβατή με τα πρότυπα USB 1.1 και USB 2.0 και υποστηρίζει ACM modem για την σειριακή μετάδοση. Για την επικοινωνία ανάμεσα σε εσωτερικές συσκευές του main board και μεταξύ του main board και του eDEMO board(κάρτα επέκτασης/αισθητήρων) χρησιμοποιείται το SPI και το PIO. Το SPI είναι ένας σειριακός διάλογος για την επικοινωνία με τον ασύρματο πομποδέκτη IC CC2420, τον power controller και τον έλεγχο των LEDs του eDEMO board. Το PIO interface ελέγχει το activity LED που βρίσκεται αριστερά της mini USB υποδοχής καθώς

και τα σήματα ελέγχου και κατάστασης του ασύρματου πομποδέκτη, όπως για παράδειγμα ότι το κανάλι είναι ελεύθερο για μετάδοση ή ότι η RX ουρά είναι πλήρης. Τέλος μέσω του PIO μεταφέρονται τα σήματα ελέγχου του κυκλώματος που ρυθμίζει την τροφοδοσία ρεύματος στην USB θύρα.

## 3.6 Στοιχεία του SPOT Main Board

### 3.6.1 Επεξεργαστής

Πρόκειται για τον ARM920T ARM Thumb processor της ATMEL που περιέχεται σε ένα SOC (System On Chip) κύκλωμα το AT91RM9200. Σε κανονική λειτουργία καταναλώνει 44mW και η μέγιστη ταχύτητα του ρολογιού φτάνει τα 180MHz. Το SOC ενσωματώνει 16Kbyte cache εντολών, και 64-way associative 16Kbyte cache δεδομένων. Η MMU (ARMv4) έχει ένα TLB buffer 64 στοιχείων για δεδομένα και άλλον ένα TLB 64 στοιχείων για μετάφραση εντολών. Η πρόσβαση στην εξωτερική μνήμη(flash, pSRAM) γίνεται από το EBI δίαυλο, ο ελεγκτής του διαύλου είναι ρυθμισμένος ώστε να εκκινεί το σύστημα(διαδικασία boot) από την flash όπου βρίσκεται η Squawk VM. Επίσης το SOC περιλαμβάνει μια μεγάλη συλλογή από interfaces για περιφερειακές συσκευές όπως θύρες USB host/devive , ethernet MAC, προγραμματιζόμενος ελεγκτής I/O (PIO), ελεγκτές SPI/USART/I2C/I2S, και 3 16-bit χρονιστές/μετρητές. Επιπλέον ενσωματώνεται και ένας DMA controller (PDC) για άμεσες και γρήγορες εγγραφές στην μνήμη και στους διαύλους USART/I2S/SPI. Λόγω του μικρού μεγέθους της συσκευής οι USB host και η μια USART θύρες δεν χρησιμοποιούνται όπως και τα TWI/I2S/Ethernet MAC interfaces. Επειδή όμως όλα τα σήματα υπάρχουν στο βύσμα του main board που το διασυνδέει με την κάρτα επέκτασης (eDEMO board), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα παραπάνω interfaces αν προσθέσουμε τις κατάλληλες φυσικές διασυνδέσεις και γράψουμε τους αντίστοιχους drivers.

### 3.6.2 Μνήμη

Η μνήμη στο Main Board είναι η Spansion S71PL032J40, και αποτελείται από 4Mbyte NOR flash και 512Kbyte pSRAM(pseudo-SRAM) που βρίσκονται στο ίδιο chip. Ο χρόνος πρόσβασης(access time) για την pSRAM είναι 70nsec και για την Flash 65nsec και έχουν 16-bit δίαυλο δεδομένων. Και οι δύο χρησιμοποιούν τροφοδοσία 3Volt, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας η κατανάλωση είναι 25ma για την pSRAM και 22ma για την Flash. Τα δεδομένα στην pSRAM διατηρούνται όσο το SPOT είναι συνδεδεμένο σε κάποια τροφοδοσία ή μπαταρία. Όταν το SPOT είναι σε κατάσταση deep-sleep, που τα περισσότερα υποσυστήματα δεν τροφοδοτούνται για εξοικονόμηση ενέργειας η pSRAM καταναλώνει περίπου 8mA για την διατήρηση των δεδομένων της ενώ η flash απενεργοποιείται. Η flash είναι προγραμματισμένη ήδη από το εργοστάσιο και περιέχει τον bootloader, την Squawk VM, τις βασικές βιβλιοθήκες και μια προ εγκατεστημένη εφαρμογή (bounce demo).

### 3.6.3 Μπαταρία

Η μπαταρία που χρησιμοποιείται στα SPOT είναι επαναφορτιζόμενη ιόντων λιθίου Li-ION στα 3.7V με χωρητικότητα 720mAH. Η μπαταρία ενσωματώνει κυκλώματα για την προστασία της από πλήρη αποφόρτιση, από υπερφόρτιση και από υψηλή τάση. Η φόρτιση μπορεί να γίνει είτε χρησιμοποιώντας ένα USB καλώδιο με βύσμα τύπου B είτε από οποιαδήποτε πηγή 5Volt (+/- 10%). Όταν δεν χρησιμοποιείται χάνει περίπου 2% της χωρητικότητας κάθε μήνα και σε περιπτώσεις υψηλής θερμοκρασίας ο ρυθμός αυτός αυξάνει. Τα κυκλώματα φόρτισης και διαχείρισης ρεύματος είναι ρυθμισμένα με ακρίβεια για να λειτουργούν με τον συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας και για αυτό δεν πρέπει να αντικατασταθεί από άλλου τύπου.



### 3.6.4 Ασύρματος πομποδέκτης (wireless radio)

Τα SPOT για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων ενσωματώνει τον ασύρματο πομποδέκτη CC2420. Το CC2420 συμμορφώνεται με το πρότυπο IEEE 802.15.4 και λειτουργεί σε συχνότητες από 2.4GHz ως 2.4835GHz, οι συχνότητες αυτές ανήκουν στην ISM ζώνη και εξαιρούνται αδειοδότησης στην Ελλάδα σύμφωνα με τον νόμο 399/3-4-2006. Το κύκλωμα CC2420 εκτός από τον πομποδέκτη περιέχει δυο 128byte FIFOs για τα TX και RX δεδομένα, δυνατότητα για μέτρηση RSSI (received signal strength indication) με ευαισθησία 100db και ρύθμιση ισχύς του πομπού από -24dBm ως 0dBm(οι τιμές φαίνονται στο παρακάτω πίνακα). Ο πρακτικός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων φτάνει τα 250Kbit/s ενώ η ευαισθησία του δέκτη είναι -90dBm. Για τα σήματα ελέγχου και δεδομένων από και προς το CC2420 στο Main Board χρησιμοποιούνται PIO θύρες και ο διάυλος SPI. Στις PIO θύρες συνδέονται τα σήματα ελέγχου όπως reset, power down, start of frame(SFD) και σήματα κατάστασης όπως FIFO και FIFOP που ενημερώνουν αν η ουρά δεδομένων είναι άδεια ή αν έχουν ληφθεί δεδομένα. Ο διάυλος SPI χρησιμοποιείται για την μεταβίβαση δεδομένων προς το CC2420. Το κύκλωμα καταναλώνει 20mA όταν ο δέκτης λαμβάνει δεδομένα και 18mA κατά την διάρκεια μετάδοσης με ισχύ 0dBm. PCB(Printed Circuit Board) του Main Board. Είναι σχεδιασμένη για να συντονίζεται στη συχνότητα 2450MHz με ωμική αντίσταση 115Ω. Λόγω της θέσης της κεραίας θα πρέπει να αποφεύγουμε την τοποθέτηση μεταλλικών αντικειμένων ή γραμμών τροφοδοσίας κοντά σε αυτήν. Σε εξωτερικό χώρο, κάτω από καλές καιρικές συνθήκες η εμβέλεια φτάνει τα 100m ενώ σε εσωτερικούς χώρους περιορίζεται στα 30m.

### 3.6.5 Κύκλωμα τροφοδοσίας

Το SPOT μπορεί να λειτουργήσει χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε συνδυασμό από της εξής πηγές: την επαναφορτιζόμενη μπαταρία, USB Host ,είτε εξωτερική τροφοδοσία. Το κύκλωμα τροφοδοσίας είναι υπεύθυνο για να φορτίζει την ενσωματωμένη μπαταρία, να ρυθμίζει το ρεύμα που παρέχεται στα υποσυστήματα του Main Board και του Sensor Board(eDEMO Board) είτε το SPOT βρίσκεται σε κανονική λειτουργία είτε σε deep-sleep. Το κύκλωμα αποτελείται από δύο τμήματα-κυκλώματα, κάθε ένα με διαφορετική λειτουργία LTC3455 και το TPS79730. Το

LTC3455 έχει ενσωματωμένο, ένα κύκλωμα για την φόρτιση της μπαταρίας Li-ION, ένα διαχειριστή ρεύματος για την USB και ένα διπλό σταθεροποιητή τάσης. Το LTC3455 διαχειρίζεται το ρεύμα που λαμβάνεται από την USB. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της συσκευής, ο επεξεργαστής επιτρέπει την κατανάλωση περισσότερου ρεύματος από την USB. Το TPS79730 είναι ένας σταθεροποιητής τάσης και παρέχει μικρή ποσότητα ρεύματος στα 3Volt στην περίπτωση που το SPOT εισέλθει σε κατάσταση stand-by, επίσης παρέχει σταθερό ρεύμα στον Atmega88 και στην pSRAM και σε περίπτωση που η τάση πέσει κάτω από τα ασφαλή όρια λειτουργίας του επεξεργαστή, τον απενεργοποιεί. Τα SPOT έχουν ειδικό firmware για εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να θέσει την συσκευή σε τρεις καταστάσεις λειτουργίας:

- **Run** – Είναι η βασική κατάσταση στην οποία όλοι οι επεξεργαστές και το radio τροφοδοτούνται και λειτουργούν κανονικά. Η κατανάλωση σε αυτήν την κατάσταση φτάνει κυμαίνεται από 70mA ως 120mA, ενώ η κάρτα επέκτασης μπορεί να καταναλώνει μέχρι 400mA.
- **Idle** - Σε αυτή την κατάσταση το ρολόι του επεξεργαστή σταματάει και το radio απενεργοποιείται ενώ η κατανάλωση πέφτει στα 24mA.
- **Deep-Sleep** - Σχεδόν όλα τα κυκλώματα τροφοδοσίας απενεργοποιούνται εκτός από το κύκλωμα που δίνει ελάχιστο ρεύμα για την διατήρηση των δεδομένων της pSRAM. Η επαναφορά της συσκευής από την κατάσταση Deep-Sleep διαρκεί περίπου 2msec με 10msec.

Για να εισέλθει η συσκευή σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης(Deep- Sleep) πρέπει το radio να είναι απενεργοποιημένο, να μην παρέχεται ρεύμα από εξωτερική συσκευή και να μην είναι ενεργοποιημένη η USB. Το SPOT εισέρχεται στις καταστάσεις Deep-Sleep και idle καλώντας κατάλληλες συναρτήσεις της βιβλιοθήκης. Επιπλέον μπορούσαμε να θέσουμε την συσκευή σε Deep-Sleep πατώντας το attention κουμπί για περισσότερα από 3 δευτερόλεπτα. Για να εξέλθει η συσκευή από Deep-Sleep πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κάποιο εξωτερικό interrupt ή να πιέσουμε το attention κουμπί.

### 3.5.6 Ελεγκτής τροφοδοσίας

Πρόκειται για τον 8-bit μικροελεγκτή Atmega88 της Atmel. Έχει ενσωματωμένο firmware που είναι υπεύθυνο για την λειτουργία του 64-bit ρολογιού, την επαναφορά της συσκευής σε περίπτωση που δεχτεί εξωτερικό interrupt και την επαναφορά ή είσοδό σε Deep-Sleep όταν πιεστεί το attention κουμπί. Η επικοινωνία με τον επεξεργαστή γίνεται μέσω του SPI διαύλου, από τον οποίο μεταφέρονται εντολές και δεδομένα κατάστασης από και προς τον Atmega88. Επίσης ο ελεγκτής μετράει και παρακολουθεί το φορτίο της μπαταρίας και τις τάσεις της USB, της μπαταρίας, και των εσωτερικών υποσυστημάτων χρησιμοποιώντας ένα 10-bit ACD. Ακόμα ο Atmega88 ελέγχει το power LED και δηλώνει διαφορετικές καταστάσεις(προβληματικές ή όχι) του SPOT μέσω ενδείξεων αυτού του LED. Για παράδειγμα όταν ανιχνεύσει ότι η μπαταρία έχει σχεδόν αποφορτιστεί ο ελεγκτής θα θέσει το power LED μόνιμα κόκκινο.

### 3.7 Προγραμματισμός των SPOTs

Θα παρουσιάσουμε τα βασικά στοιχεία που χρειάζεται κάποιος να γνωρίζει για την ανάπτυξη εφαρμογών στην πλατφόρμα SUN SPOT, τα χρήσιμα και απαραίτητα εργαλεία για την υλοποίηση και την εγκατάσταση των προγραμμάτων στα SPOTs που προσφέρονται από την SUN στο αναπτυξιακό kit. Επίσης θα αναφερθούμε στην δομή που πρέπει να έχουν οι εφαρμογές και θα δείξουμε πως μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει τις πρότυπες βιβλιοθήκες του SUN SPOT για να δουλέψει με το radio και τους αισθητήρες του eDEMO Board. Τέλος θα παρουσιάσουμε παράδειγμα εφαρμογής και θα αναλύσουμε τα κύρια στοιχεία του. Ο προγραμματισμός στην πλατφόρμα SUN SPOT γίνεται με την γλώσσα Java. Συγκεκριμένα οι εφαρμογές ακολουθούν τις προδιαγραφές του MIDP(Mobile Information Device Profile) που κτίζεται πάνω στο CLDC και προσθέτει ένα επιπλέον API για εφαρμογές σε embedded συσκευές. Το MIDP χρησιμοποιείται σε πολλά embedded συστήματα και συσκευές όπως για παράδειγμα τα κινητά τηλέφωνα. Τα συγκεκριμένα προγράμματα που ακολουθούν τις παραπάνω προδιαγραφές καλούνται MIDlets και έχουν συγκεκριμένη δομή και περιορισμούς. Τα MIDlets τρέχουν σε μια μικρή Java ME(J2ME) VM που λέγεται Squawk VM. Τα SPOT δεν έχουν

λειτουργικό σύστημα, αλλά τον ρόλο του OS τον αναλαμβάνει η Squawk VM. Μαζί με τα MIDlet του χρήστη αλλά σε “χαμηλότερο” επίπεδο τρέχουν και μια πλειάδα άλλων εφαρμογών που δεν είναι άμεσα “ορατές” στον χρήστη:

- Ο bootloader – που είναι υπεύθυνος για την USB σύνδεση, εκκινεί τις εφαρμογές και επικοινωνεί με τα ant scripts του PC που είναι συνδεδεμένο το SPOT.
- bootstrap suite – που περιλαμβάνει τις πρότυπες κλάσεις της Java ME.
- library suite – που περιλαμβάνει την βιβλιοθήκη με τις κλάσεις σχετικές με το SUN SPOT.

Η Squawk VM χρησιμοποιεί ανεξάρτητες περιοχές για εκτέλεση εφαρμογών, τα isolates. Κάθε isolate συνιστά ένα διαφορετικό σύνολο από threads και αντικείμενα που σχετίζονται με αυτά. Το SPOT έχει πάντα ένα master isolate, στο οποίο τρέχουν daemon threads που διαχειρίζονται βασικές λειτουργίες του. Αυτά τα threads είναι τμήμα της βασικής βιβλιοθήκης του SUN SPOT και φροντίζουν για την διαχείριση ενέργειας (απενεργοποιώντας υποσυστήματα που δεν χρησιμοποιούνται), παρακολουθούν την κατάσταση της USB και αποτελούν μέρος της υλοποίησης του radiostack. Τα υπόλοιπα isolate που μπορεί να δημιουργηθούν καλούνται child isolates. Η προκαθορισμένη (default) συμπεριφορά του SPOT είναι οι εφαρμογές του χρήστη να τρέχουν στο master isolate αν και αυτό δεν είναι υποχρεωτικό. Τα threads χρησιμοποιούνται στα MIDlet μέσω της κλάσης Thread, και υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμιστεί η προτεραιότητά τους από 1(Thread.MIN\_PRIORITY) ως 10(Thread.MAX\_PRIORITY). Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να δοθούν και υψηλότερες προτεραιότητες όπως οι “προτεραιότητες συστήματος”(system priorities), αυτές όμως αφορούν ορισμένα daemon threads και δεν προορίζονται για χρήση από τα MIDlets. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι για την σωστή λειτουργία των threads των βιβλιοθηκών του SPOT, οι προγραμματιστές θα πρέπει να αναθέτουν προτεραιότητα χαμηλότερη από 5(Thread.NORMAL) όταν οι εφαρμογές τους είναι cpu-bounded. Υψηλές προτεραιότητες μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στα threads της SPOT library, όπως την απώλεια broadcast μηνυμάτων.

Στην Java SE μια εφαρμογή θα πρέπει να περιέχει μία main() μέθοδο ή να υλοποιεί το Applet interface αν πρόκειται να εκτελεστεί από έναν browser. Όμως στην Java ME, που υλοποιεί η

Squawk VM, κάθε εφαρμογή που υλοποιούμε πρέπει να είναι συμβατή με το πρότυπο MIDlet. Όλες οι εφαρμογές για τα SPOT πρέπει να κληρονομούν(extends) τα στοιχεία της κλάσης MIDlet και να υλοποιούν τις μεθόδους:

- startApp() - Η μέθοδος αυτή καλείται όταν πρόκειται να εκτελεστεί το MIDlet.
- PauseApp() - Η μέθοδος αυτή καλείται όταν πρόκειται να ανασταλεί η εκτέλεση του MIDlet.
- destroyApp() - Η μέθοδος αυτή καλείται όταν το MIDlet τερματίζεται από το σύστημα, όπως σε περιπτώσεις που το isolate που εκτελείται το MIDlet καταστραφεί με την μέθοδο "Isolate.exit()" είτε τερματίσει η VM με την μέθοδο VM.stopVM() είτε το MIDlet προκαλέσει μια εξαίρεση εκτός της MIDletStateChangeException.

Προαιρετικά μπορεί να υπάρχει μια μέθοδος δημιουργός(constructor) χωρίς ορίσματα. Για τον τερματισμό ενός MIDlet από τον προγραμματιστή πρέπει να χρησιμοποιείται η μέθοδος notifyDestroyed(), οι εφαρμογές δεν πρέπει ποτέ να καλούν την μέθοδο System.exit(). Όλες λοιπόν οι εφαρμογές για τα SPOT έχουν την παρακάτω βασική δομή (εισάγουμε όλες τις κλάσεις που χρειαζόμαστε προκειμένου να έχουμε πλήρη λειτουργικότητα):

```
import com.sun.spot.peripheral.Spot;

import com.sun.spot.sensorboard.EDemoBoard;

import com.sun.spot.peripheral.radio.IRadioPolicyManager;

import com.sun.spot.sensorboard.peripheral.ITriColorLED;

import com.sun.spot.io.j2me.radiostream.*;

import com.sun.spot.io.j2me.radiogram.*;

import com.sun.spot.util.*;

import javax.microedition.io.*;

import java.io.*;

import javax.microedition.midlet.MIDletStateChangeException;
```

```

}

public class SunSpotApplication extends MIDlet {

protected void startApp() throws MIDletStateChangeException {

import javax.microedition.midlet.MIDlet;

}

}

protected void destroyApp (boolean unconditional) throws MIDletStateChangeException {

}

protected void pauseApp() {

```

Η δομή των φακέλων όταν αναπτύσσουμε μια εφαρμογή για τα SPOT πρέπει να έχουν συγκεκριμένη δομή. Στο φάκελο κάθε εφαρμογής πρέπει να υπάρχουν 2 αρχεία, ένα αρχείο build.xml και ένα build.properties που χρησιμοποιούνται από τα ant scripts για την μετάφραση και την εκτέλεση των MIDlet. Επιπλέον πρέπει να έχουμε και 3 υποφακέλους, έναν με όνομα src που τοποθετούμε τους καταλόγους με τα αρχεία πηγαίου κώδικα και έναν με τον όνομα resources/META-INF που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο. Τέλος αν η εφαρμογή μας χρησιμοποιεί το NetBeans IDE τότε θα υπάρχει και ένας τρίτος φάκελος με όνομα nbproject, με τα περιεχόμενα του NetBeans project. Στο φάκελο resources/META-INF υπάρχει το αρχείο MANIFEST.MF που περιέχει πληροφορίες που χρησιμοποιούνται από την Squawk VM για την εκκίνηση των εφαρμογών. Συγκεκριμένα περιέχει τα ονόματα των αρχικών κλάσεων των MIDlets και ορισμένες ιδιότητες αυτών. Επιπλέον ο φάκελος μπορεί να περιλαμβάνει αρχεία που ορίζει ο προγραμματιστής και είναι διαθέσιμα στην εφαρμογή όταν εκτελείται. Η δομή ενός τυπικού MANIFEST.MF είναι:

MIDlet-Name: Air Text demo

MIDlet-Version: 1.0.0

MIDlet-Vendor: Sun Microsystems Inc

MIDlet-1: AirText, , org.sunspotworld.demo.AirTextDemo

MicroEdition-Profile: IMP-1.0

MicroEdition-Configuration: CLDC-1.1

Η σύνταξη κάθε γραμμής είναι <property-name>:<space><property-value>. Η πιο σημαντική γραμμή για κάθε πρόγραμμα είναι η MIDlet-1:<όρισμα 1>,<όρισμα 2>,<όρισμα 3>. Το πρώτο όρισμα είναι μια περιγραφή της εφαρμογής και το τρίτο όρισμα είναι η κύρια κλάση του MIDlet. Το δεύτερο όρισμα είναι μια εικόνα που σχετίζεται με το MIDlet, αλλά στην παρούσα έκδοση δεν υποστηρίζεται αυτή η επιλογή. Μέσα από την εφαρμογή μπορούμε να διαβάσουμε τις τιμές για τις παραπάνω ιδιότητες χρησιμοποιώντας την μέθοδο <όνομα MIDlet>.getAppProperty("<property-name>"). Όλα τα αρχεία μέσα στον φάκελο resources είναι διαθέσιμα στην εφαρμογή κατά την διάρκεια που εκτελείται, μπορούμε να ανοίξουμε ένα stream εισόδου για να διαβάσουμε τα περιεχόμενά τους μέσω της μεθόδου InputStream is = getClass().getResourceAsStream("/<όνομα αρχείου>").

### 3.8 Εγκατάσταση και εκτέλεση εφαρμογών στα SPOTs

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε την διαδικασία μετάφρασης εγκατάστασης και εκτέλεσης μιας εφαρμογής σε μια συσκευή SUN SPOT, συγκεκριμένα θα εγκαταστήσουμε την εφαρμογή BounceDemo που παρέχεται μαζί με το SDK. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται, όπως θα δούμε αυτοματοποιημένα με την χρήση ant scripts. Υποθέτουμε ότι έχουμε ήδη εγκαταστήσει τα εργαλεία και τα προγράμματα που υπάρχουν στο cd του αναπτυξιακού kit, όπως το SUN SPOT SDK και το ant στις προκαθορισμένες τοποθεσίες.

1. Μετάφραση της εφαρμογής και δημιουργία αρχείου jar, χρησιμοποιώντας την εντολή “ant jar-app” στο φάκελο

“C:\Sun\SunSPOT\Demos\BounceDemo\BounceDemo-OnSPOT”. Το jar,

μετά την εκτέλεση της εντολής, δημιουργείται στο φάκελο suite και του δίνεται ένα όνομα της μορφής “< MIDlet-Name>\_<MIDlet-Version>.jar”. Οι τιμές αυτές βρίσκονται στο αρχείο MANIFEST.MF της εφαρμογής. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το όνομα που θα προκύψει είναι “eSPOT Bounce Demo-OnSPOT\_1.0.0.jar”.

2. Σύνδεση του SUN SPOT με τον υπολογιστή μέσω ενός mini-USB καλωδίου.

3. Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος της σωστής επικοινωνίας του υπολογιστή με το SPOT. Αυτό γίνεται με την εντολή “ant info”, η οποία τυπώνει πληροφορίες σχετικά με την συσκευή.

4. Το επόμενο βήμα είναι η εγκατάσταση της εφαρμογής στο SPOT, χρησιμοποιώντας την εντολή “ant jar-deploy”. Με αυτή την εντολή μπορούμε να εγκαταστήσουμε οποιοδήποτε κατάλληλο jar έχουμε δημιουργήσει ή μας έχουν δώσει, δίνοντας απλώς την εντολή “ant jardeploy -Djar.file=<name>.jar” .

5. Τέλος για να εκτελέσουμε την εφαρμογή χρησιμοποιούμε την εντολή “ant run”. Κατά την διάρκεια εκτέλεσης τα streams εξόδου(System.out και System.err) της εφαρμογής τυπώνονται στο τερματικό που δώσαμε την εντολή “ant run”. Αντί για την παραπάνω διαδικασία θα μπορούσαμε να αντικαταστήσουμε την εντολή “ant jar-app” και “ant jar-deploy” με την εντολή “ant deploy”, που έχει την ίδια λειτουργία με τις δυο προηγούμενες.

Επιπλέον επειδή το ant δέχεται πολλαπλές εντολές στην σειρά, μπορούμε να ενσωματώσουμε και την εντολή “ant run” σε μια εντολή “ant deploy run” που μεταφράζει, εγκαθιστά και εκτελεί το την εφαρμογή. Μια ακόμα δυνατότητα που μας δίνεται είναι να χρησιμοποιούμε κλάσεις από ήδη υπάρχοντα jars. Αυτά τα jar αναφέρονται ως utility jars και έχουν δημιουργήσει με την εντολή “ant jar-app”. Αν θέλουμε να χρησιμοποιούμε τέτοια jar στην εφαρμογή μας πρέπει το δηλώσουμε με την επιλογή “-

Dutility.jar=<filename>”. Για παράδειγμα “ant deploy -Dutility.jar=util.jar”. Στην περίπτωση που χρειάζεται να προσθέσουμε περισσότερα jars, πρέπει να τα χωρίσουμε με τον χαρακτήρα “:” ή “;”

Ένας κόμβος αισθητήρα (sensor node) αποτελείται από έναν πομποδέκτη RF ο οποίος είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία, έναν μικροεπεξεργαστή (CPU), μνήμη τυχαίας προσπέλασης



(RAM) για επεξεργασία δεδομένων (προαιρετικά μπορεί να φέρει και μνήμη μόνιμης αποθήκευσης δεδομένων) και μια μικρή μπαταρία που του παρέχει μια περιορισμένη ενεργειακή αυτονομία. Επίσης περιέχει τους κατάλληλους αισθητήρες (sensing unit ή sensors) μέσω των οποίων συλλέγει τα ανάλογα δεδομένα (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, ανίχνευση αντικειμένων). Ενσωματώνει μονάδα μετατροπής ADC (Analog to Digital) η οποία μετατρέπει τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες από την αναλογική μορφή σε ψηφιακή, για την περαιτέρω επεξεργασία από τον επεξεργαστή του κόμβου πριν την αποστολή τους προς μία κεντρική βάση δεδομένων (Sink) μέσω του ασύρματου δικτύου. Επιπρόσθετα μπορεί ένας κόμβος να φέρει μία μονάδα εύρεσης γεωγραφικού στίγματος (GPS) η οποία βοηθάει στην εύρεση του κόμβου μέσα στην περιοχή ανάπτυξης του δικτύου και στην χαρτογράφηση της ακριβούς θέσης του, μονάδα κίνησης (mobile unit) ώστε να μπορεί να μετακινείται και μια εναλλακτική μορφή ενέργειας (π.χ. φωτο-βολταϊκά στοιχεία για συλλογή ηλιακής ενέργειας) ώστε να έχει την δυνατότητα επαναφόρτισης της μπαταρίας του. Τα WSNs είναι αυτο-οργανούμενα, κατά περίπτωση, (ad-hoc) δίκτυα στα οποία γίνονται ασύρματες ζεύξεις μεταξύ γειτονικών κόμβων. Χαρακτηριστικό τέτοιων δικτύων είναι ότι κόμβοι που βρίσκονται εκτός εμβέλειας μεταξύ τους μπορούν να επικοινωνήσουν ασύρματα χρησιμοποιώντας ενδιάμεσους κόμβους για την προώθηση των μηνυμάτων. Βασικός στόχος στα WSN δίκτυα είναι η μεταφορά το συλλεγμένων δεδομένων σε ένα κεντρικό σημείο ελέγχου (sink). Το sink ή base station μπορεί να ελέγχεται απ' ευθείας από το χρήστη μέσω ενός τερματικού ή από ένα απομακρυσμένο τερματικό μέσω του διαδικτύου, δορυφορικής σύνδεσης ή την χρήση κάποιας άλλης τεχνολογίας.



## Βιβλιογραφία

- 1) Andrew S. Tanenbaum, «Δίκτυα Υπολογιστών», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2003.
- 2) Μ. Ε. Θεολόγου, «Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών», Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, 2008.
- 3) Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1(1), 269–271.
- 4) Παναγιώτης Σ. Γεώργας, «Μοντελοποίηση Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικού Χώρου με χρήση “Δαχτυλικών Αποτυπωμάτων”», 2009.
- 5) Αλέξανδρος Σ. Ανδρονικάκης, «Σύστημα Προσδιορισμού θέσης Σταθμών Βάσης σε Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών», 2010.
- 6) Θεόδωρος Η. Μπούρχας, «Ανάπτυξη Πλατφόρμας Δυναμικής Παροχής Υπηρεσιών Βασισμένων στη Θέση των Χρηστών», 2011.
- 7) Wikipedia

8) [www.google.gr](http://www.google.gr)

9) Shane Conder, Lauren Darcey, “Android Wireless Application Development”, 2010

10) Marco Porretta, Paolo Nepa, Giuliano Manara, Filippo Giannetti, “Location, Location, Location”, June 2008.

# **Πηγαίος Κώδικας Εφαρμογής**

## Fixed Node.java

```
/*
 * FixedNode.java
 *
 * Created on Nov 29, 2012 1:02:18 AM;
 */

package gr.teimes.tesyd;

import com.sun.spot.io.j2me.radiogram.Radiogram;
import com.sun.spot.io.j2me.radiogram.RadiogramConnection;
import com.sun.spot.peripheral.radio.RadioFactory;
import com.sun.spot.resources.Resources;
import com.sun.spot.resources.transducers.ITriColorLED;
import com.sun.spot.resources.transducers.ITriColorLEDArray;
import com.sun.spot.service.BootloaderListenerService;
import com.sun.spot.util.IEEEAddress;

import java.io.IOException;
import javax.microedition.io.Connector;
import javax.microedition.io.Datagram;
import javax.microedition.midlet.MIDlet;
import javax.microedition.midlet.MIDletStateChangeException;

/**
 * The startApp method of this class is called by the VM to start the
 * application.
 *
 * The manifest specifies this class as MIDlet-1, which means it will
 * be selected for execution.
 */
public class FixedNode extends MIDlet {
    private static final int HOST_PORT = 67;

    private ITriColorLEDArray leds = (ITriColorLEDArray)
Resources.lookup(ITriColorLEDArray.class);

    protected void startApp() throws MIDletStateChangeException {
        RadiogramConnection rCon = null;
        Datagram dg = null;

        System.out.println("Hello, world");
        BootloaderListenerService.getInstance().start(); // monitor the USB (if connected) and
recognize commands from host
    }
}
```

```

long ourAddr = RadioFactory.getRadioPolicyManager().getIEEEAddress();
System.out.println("Our radio address = " + IEEEAddress.toDottedHex(ourAddr));

ITriColorLED led = leds.getLED(0);
led.setRGB(100,0,0);          // set color to moderate red

try {
    rCon = (RadiogramConnection) Connector.open("radiogram://broadcast:" +
HOST_PORT);
    dg = rCon.newDatagram(100);
} catch (Exception e) {
    System.err.println("Caught " + e + " in connection initialization.");
    notifyDestroyed();
}

try {
    RadiogramConnection rx =
(RadiogramConnection)Connector.open("radiogram://:"+HOST_PORT);
    Radiogram rdg = (Radiogram)rx.newDatagram(20);

    while (true) {
        try {
            // Received data
            rx.receive(rdg);
            System.out.println("Received packet from " + rdg.getAddress());
            System.out.println("Received Signal Strength = " + rdg.getRssi());
            System.out.println("Average Correlation Value = " + rdg.getCorr());
            System.out.println("DATA int 0"+rdg.readInt());
            System.out.println("DATA int 1"+rdg.readInt());

            // Sent Data
            dg.reset();
            dg.writeInt(2);
            dg.writeInt(rdg.getRssi());
            rCon.send(dg);

        } catch (IOException ex) {
            System.out.println("Error receiving packet: " + ex);
        }
    }

} catch (IOException ex) {
    System.out.println("Error opening connections: " + ex);
}

```

```

    notifyDestroyed();          // cause the MIDlet to exit
}

protected void pauseApp() {
    // This is not currently called by the Squawk VM
}

/**
 * Called if the MIDlet is terminated by the system.
 * It is not called if MIDlet.notifyDestroyed() was called.
 *
 * @param unconditional If true the MIDlet must cleanup and release all resources.
 */
protected void destroyApp(boolean unconditional) throws MIDletStateChangeException {
}
}

```

### **MobileNode.java**

```

package org.sunspotworld.demo;

import com.sun.spot.io.j2me.radiogram.*;
import com.sun.spot.resources.Resources;
import com.sun.spot.resources.transducers.ITriColorLED;
import com.sun.spot.util.Utils;
import javax.microedition.io.*;
import javax.microedition.midlet.MIDlet;
import javax.microedition.midlet.MIDletStateChangeException;

public class MobileNode extends MIDlet {

    private static final int HOST_PORT = 67;
    private static final int SAMPLE_PERIOD = 2000; // in milliseconds

    protected void startApp() throws MIDletStateChangeException {
        int N=0;
        RadiogramConnection rCon = null;
        Datagram dg = null;
        String ourAddress = System.getProperty("IEEE_ADDRESS");
        ITriColorLED led =
(ITriColorLED)Resources.lookup(ITriColorLED.class, "LED7");

```



```

        System.out.println("Starting sensor sampler application on " +
ourAddress + " ...");

        new
com.sun.spot.service.BootloaderListenerService().getInstance().start();

        try {
            rCon = (RadiogramConnection)
Connector.open("radiogram://broadcast:" + HOST_PORT);
            dg = rCon.newDatagram(100);
        } catch (Exception e) {
            System.err.println("Caught " + e + " in connection
initialization.");
            notifyDestroyed();
        }

        while (true) {
            try {
                /*
                millisecond */
                long now = System.currentTimeMillis();

                /*
                */
                led.setRGB(255, 255, 255);
                led.setOn();
                Utils.sleep(50);
                led.setOff();

                dg.reset();
                dg.writeInt(1); //
                dg.writeInt(N); //
                rCon.send(dg);

                if (N==200){
                    N = 0;
                } else {
                    N = N + 1;
                }

                System.out.println("Mobile Node. N = "+N);

                Utils.sleep(SAMPLE_PERIOD - (System.currentTimeMillis()
- now));
            } catch (Exception e) {
                System.err.println("Caught " + e + " while
collecting/sending sensor sample.");
            }
        }
    }
}

```

```

        }
    }

    protected void pauseApp() {
        // This will never be called by the Squawk VM
    }

    protected void destroyApp(boolean arg0) throws
MIDletStateChangeException {
        // Only called if startApp throws any exception other than
MIDletStateChangeException
    }
}

```

### **PositionLocator.java**

```

package org.sunspotworld.demo;

import com.sun.spot.io.j2me.radiogram.*;

import com.sun.spot.peripheral.ota.OTACommandServer;
import java.text.DateFormat;
import java.util.Date;
import javax.microedition.io.*;

/**
 * This application is the 'on Desktop' portion of the SendDataDemo.
 * This host application collects sensor samples sent by the 'on SPOT'
 * portion running on neighboring SPOTs and just prints them out.
 *
 * @author: Vipul Gupta
 * modified: Ron Goldman
 */
public class PositionLocator {
    // Broadcast port on which we listen for sensor samples
    private static final int HOST_PORT = 67;

    private void run() throws Exception {
        RadiogramConnection rCon;
        Datagram dg;
        DateFormat fmt = DateFormat.getTimeInstance();

        try {
            // Open up a server-side broadcast radiogram connection

```

```

        // to listen for sensor readings being sent by different
SPOTs
        rCon = (RadiogramConnection) Connector.open("radiogram://:"
+ HOST_PORT);
        dg = rCon.newDatagram(rCon.getMaximumLength());
    } catch (Exception e) {
        System.err.println("setUp caught " + e.getMessage());
        throw e;
    }

    // Main data collection loop
    while (true) {
        try {
            // Read sensor sample received over the radio
            rCon.receive(dg);
            String addr = dg.getAddress();
            int type = dg.readInt();
            int val = dg.readInt();

            if (type==2){
                System.out.print("[ "+val+" ]-");
                for (int i=0;i<val+40;i++) System.out.print("#");
                System.out.println();
            }

            //System.out.println("Received message of type
"+type+", with data "+val);

        } catch (Exception e) {
            System.err.println("Caught " + e + " while reading
sensor samples.");
            throw e;
        }
    }

    /**
     * Start up the host application.
     *
     * @param args any command line arguments
     */
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        // register the application's name with the OTA Command server
& start OTA running
        OTACommandServer.start("SendDataDemo");

        PositionLocator app = new PositionLocator();
        app.run();
    }
}

```