



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Προσδιορισμός Θέσης μέσω Σύντηξης Δεδομένων
Αισθητήρων**

Οδυσσέας Λ. Σέκκας

Επιβλέπων: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2006

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προσδιορισμός Θέσης μέσω Σύντηξης Δεδομένων Αισθητήρων

Οδυσσέας Λ. Σέκκας

A.M.: M656

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

**Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ
Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής ΕΚΠΑ**

Ημερομηνία εξέτασης 13/04/2006

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο διάχυτος υπολογισμός (pervasive computing) είναι ένα νέο πρότυπο υπολογισμού που παρέχει βελτιωμένες υπηρεσίες για τον καθένα, οι οποίες είναι διαθέσιμες παντού και πάντα. Στα περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού, η θέση ενός χρήστη αποτελεί σημαντική πληροφορία καθώς είναι απαραίτητη για την παροχή υπηρεσιών. Για τον προσδιορισμό της θέσης σε εσωτερικούς χώρους, έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές προσεγγίσεις που στηρίζονται συνήθως σε τεχνολογίες του ίδιου τύπου (μετρήσεις ισχύος σημάτων, φάροι υπερύθρων ή υπερηχητικά σήματα). Διάφορα άλλα συστήματα εκμεταλλεύονται ετερογενή δεδομένα αισθητήρων και χρησιμοποιούν τεχνικές σύντηξης για να προσδιορίσουν τη θέση ενός χρήστη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζουμε ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης που στοχεύει να βελτιώσει την ακρίβεια με την χρήση δεδομένων από ετερογενείς αισθητήρες (ασύρματες κάρτες Wi-Fi, δέκτες IR, αναγνώστες ετικετών RFID, κλπ.). Το σύστημα βασίζεται σε Δυναμικά Bayesian Δίκτυα (DBNs). Με τη χρήση τέτοιων δικτύων επιτυγχάνουμε καλύτερα αποτελέσματα προσδιορισμού (εκτίμησης) της θέσης. Μαζί με τα δεδομένα αισθητήρων, που επεξεργαζόμαστε σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιούμε επίσης και άλλες πληροφορίες για τον χρήστη, όπως π.χ. η προηγούμενη θέση του. Η στρωματοποιημένη προσέγγιση που υιοθετούμε έχει σαν στόχο την εύκολη ενσωμάτωση νέων στοιχείων στο σύστημα (σταθμοί βάσης, φάροι υπερύθρων, κλπ.) προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια των εκτιμήσεων. Τέλος, η αξιολόγηση του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες απέδειξε την καταλληλότητά του για προσδιορισμό θέσης.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Διάχυτος υπολογισμός

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: εντοπισμός θέσης, αισθητήρες, σύντηξη δεδομένων, Δυναμικά Bayesian Δίκτυα

ABSTRACT

Pervasive computing is an emerging computing paradigm with new improved services for everyone, available everywhere and at all times. In pervasive computing environments, location is essential information as it is an important part of the user's context. For indoor positioning, different technical approaches can be found in the literature. The majority of such approaches rely on quite similar technologies (wireless LAN signal strength measurements, infrared beacons, or ultrasonic signals). Other positioning systems exploit multiple sensor readings and use sensor data fusion techniques to estimate the location of a user.

In this thesis, we discuss a location estimation system that aims to improve accuracy and precision by integrating location-related data from heterogeneous sensors (Wi-Fi adapters, IR receivers, RFID tag readers, etc.). The system is based on Dynamic Bayesian Networks (DBNs), a very important mathematical tool for integrating sensor observations. By using DBNs, we obtain better location estimation results. Along with sensor data, that are processed in real-time, we also “fuse” historical user-related information such as previous location and historical data about his behaviour. The layered approach we adopt aims to facilitate effortless inclusion of new elements (wireless access points, infrared beacons, etc.) in order to improve the accuracy and precision of system's estimations. Finally, the evaluation of the system in real conditions proved its appropriateness for indoor positioning.

SUBJECT AREA: Pervasive computing

KEYWORDS: positioning, sensors, data fusion, Dynamic Bayesian Networks

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΧΥΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (PERVASIVE COMPUTING)	11
2.1. Κατανεμημένα συστήματα	11
2.2. Κινητός Υπολογισμός	12
2.3. Χαρακτηριστικά του διάχυτου υπολογισμού	13
2.4. Προκλήσεις για τον Διάχυτο Υπολογισμό	17
2.4.1. Πρόθεση του χρήστη.....	18
2.4.2. Κυβερνοβοσκή (Cyber Foraging).....	19
2.4.3. Στρατηγική Προσαρμογής (Adaptation Strategy)	20
2.4.4. Διαχείριση Ενέργειας (Energy Management).....	21
2.4.5. Context Awareness	22
2.4.6. Προδραστικότητα και Διαφάνεια.....	23
2.4.7. Ιδιωτικότητα και Εμπιστοσύνη (Privacy and Trust).....	23
2.4.8. Στρωματοποίηση (Layering).....	24
2.4.9. Συμπεράσματα.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ	26
3.1. Τεχνικές προσδιορισμού θέσης	26
3.1.1. Τριγωνοποίηση (Triangulation)	26
3.1.2. Μέθοδος της εγγύτητας (Proximity)	27
3.1.3. Ανάλυση περιοχής (Scene analysis).....	28
3.2. Γενικά γνωρίσματα των συστημάτων εντοπισμού θέσης	28
3.2.1. Φυσική και συμβολική θέση	28
3.2.2. Απόλυτη και σχετική θέση	29
3.2.3. Τοπικός υπολογισμός θέσης	29
3.2.4. Ορθότητα (accuracy) και ακρίβεια (precision)	30
3.2.5. Κλίμακωση (Scaling).....	30
3.2.6. Αναγνώριση	31
3.2.7. Κόστος.....	32
3.2.8. Περιορισμοί.....	32
3.3. Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης	32
3.3.1. Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LANs)	32
3.3.2. Bluetooth	33
3.3.3. RFID	33
3.3.4. Υπέρυθρη ακτινοβολία.....	34
3.3.5. Υπερηχητικά σήματα.....	35
3.4. Συστήματα εντοπισμού θέσης	36
3.4.1. Active Badge	36
3.4.2. Active Bat.....	37
3.4.3. Motion Star	39
3.4.4. Cricket	39
3.4.5. RADAR.....	40
3.4.6. Easy Living	41
3.4.7. Smart Floor.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	42
4.1. Γενική αρχιτεκτονική του συστήματος.....	42
4.2. Επίπεδο αισθητήρων	43
4.2.1. Κατηγοριοποίηση.....	43
4.2.2. Φορητοί αισθητήρες	45
4.2.3. Αισθητήρες υποδομής	45
4.3. Επίπεδο συλλογής δεδομένων	46

4.3.1. Προεπεξεργασία δεδομένων	46
4.3.2. Δημιουργία διανύσματος δεδομένων	47
4.3.3. Ένα παράδειγμα	48
4.4. Επίπεδο σύντηξης δεδομένων (data fusion)	50
4.4.1. Bayesian δίκτυα	50
4.4.2. Δυναμικά Bayesian δίκτυα	52
4.4.3. Ενσωμάτωση ενός DBN στο σύστημα	53
4.4.4. Επερωτήσεις προσδιορισμού θέσης	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	60
5.1. Γενική δομή του συστήματος	60
5.1.1. Συλλέκτες δεδομένων	61
5.1.2. Έλεγχος και συγχώνευση δεδομένων	62
5.1.3. Μηχανή σύντηξης (συμπερασμού)	62
5.1.4. Βάση δεδομένων (location data base)	66
5.2. Εφαρμογές υπηρεσιών θέσης	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	69
6.1. Γλώσσα προγραμματισμού Java	69
6.2. Servlets	70
6.3. Tomcat Web Server	71
6.4. Extensible Markup Language (XML)	72
6.5. Microsoft eMbedded Visual C++	73
6.6. Ministumbler	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	75
7.1. Σενάριο αξιολόγησης	75
7.2. Αποτελέσματα αξιολόγησης	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΟΥΛΕΙΑ	79
ΟΡΟΛΟΓΙΑ	81
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	86

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Το αντικείμενο μελέτης της είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης για τον διάχυτο υπολογισμό. Το σύστημα αυτό συγκεντρώνει δεδομένα από πολλαπλούς αισθητήρες και χρησιμοποιεί τεχνικές σύντηξης (fusion) ώστε να προσδιορίσει τη ζητούμενη θέση ενός χρήστη. Εκτός από αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιεί επίσης και ιστορικά δεδομένα κίνησης. Η αρχιτεκτονική του είναι στρωματοποιημένη επιτρέποντας την εύκολη διαχείρισή του αλλά και την ενσωμάτωση νέων στοιχείων έτσι ώστε να αυξηθεί η προσφερόμενη ακρίβεια.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επίκουρο καθηγητή κ. Ευστάθιο Χατζηευθυμιάδη για την πολύ σημαντική καθοδήγησή του και τις εύστοχες επισημάνσεις του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τα κοντινά μου πρόσωπα για την συμπαράσταση και στήριξη που μου προσέφεραν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο διάχυτος υπολογισμός (pervasive computing) αποτελεί την εξέλιξη του κινητού υπολογισμού και ξεκινάει από τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Οραματιστής του θεωρείται ο Mark Weiser. Πίστευε, ότι ο διάχυτος υπολογισμός έχει ως στόχο την εκτεταμένη χρήση πολλών υπολογιστών, καθιστώντας τους διαθέσιμους σε όλο το φυσικό περιβάλλον. Οι διάφορες τεχνολογίες θα μπορούν να χάνονται στο παρασκήνιο, ώστε ο άνθρωπος να μην έχει επίγνωση της χρήσης τους. Έτσι, οι χρήστες δεν θα πρέπει να εκπαιδεύονται στη χρήση εξειδικευμένων συσκευών, αλλά θα πρέπει οι τεχνολογίες που τους περιβάλλουν να προσαρμόζονται σε αυτούς και να τους υποστηρίζουν [1].

Όταν συνελήφθη για πρώτη φορά το όραμα του διάχυτου υπολογισμού θεωρείτο σχεδόν εξωπραγματικό, γιατί η τεχνολογία υλικού (hardware technology) εκείνης της εποχής δεν ήταν δυνατόν να το ενσαρκώσει. Σήμερα όμως, μετά από πολλά χρόνια τεχνολογικών εξελίξεων, πολλά απαραίτητα συστατικά του διάχυτου υπολογισμού είναι διαθέσιμα ακόμη και ως εμπορικά προϊόντα (π.χ. υπολογιστές χειρός, laptop, ασύρματα δίκτυα, ετικέτες RFID, αισθητήρες, κ.α.).

Σε περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού η θέση ενός χρήστη αποτελεί ίσως τη σημαντικότερη πληροφορία, καθώς είναι απαραίτητη για την παροχή υπηρεσιών και για την αυτόματη προσαρμογή του περιβάλλοντος στις ανάγκες του. Για τον προσδιορισμό της θέσης γενικά, έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές προσεγγίσεις. Η πλειοψηφία αυτών των προσεγγίσεων στηρίζεται εξ' ολοκλήρου σε τεχνολογίες του ίδιου τύπου και οι βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως, είναι οι εξής:

- Μετρήσεις ισχύος σήματος (Received Signal Strength) από σταθμούς βάσης (access points) ασύρματων δικτύων.
- Φάροι (beacons) που εκπέμπουν το αναγνωριστικό τους στο υπέρυθρο φάσμα ακτινοβολίας (Infrared radiation).
- Μετρήσεις αποστάσεων από γνωστά σημεία με τη βοήθεια υπερηχητικών σημάτων (Ultrasonic signals).

Στο διάχυτο υπολογισμό όμως, το φυσικό περιβάλλον είναι κορεσμένο με παντός είδους αισθητήρες, και η συνύπαρξη πολλών τεχνολογιών μας δίνει τη δυνατότητα να τις χρησιμοποιήσουμε ταυτόχρονα και συμπληρωματικά για να προσδιορίσουμε τη θέση

ενός χρήστη. Τα ετερογενή δεδομένα που παράγονται από τους αισθητήρες συνδυάζονται, και έτσι μπορούμε να λάβουμε αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας απ' ό,τι αν χρησιμοποιηθεί κάθε τεχνολογία ξεχωριστά. Οι εκτιμήσεις θέσης που προκύπτουν είναι εξαιρετικής ποιότητας, καθώς τα μειονεκτήματα της μιας τεχνολογίας αντισταθμίζονται από κάποια άλλη. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή σαν σύντηξη δεδομένων (data fusion) και σήμερα βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς ερευνητικούς τομείς και επιστημονικά πεδία. Ένα απλό παράδειγμα για να κατανοήσουμε τη διαδικασία και τα πλεονεκτήματα της σύντηξης δεδομένων αισθητήρων στον προσδιορισμό της θέσης περιγράφεται παρακάτω:

Υποθέτουμε ότι ένα σύστημα εντοπισμού θέσης βασίζεται εξ' ολοκλήρου σε Radio Frequency IDentification (RFID) ετικέτες (tags) οι οποίες εκπέμπουν το αναγνωριστικό τους και μπορούν να ανιχνευθούν αυτόματα από κάποιον RFID αναγνώστη. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ένας τέτοιος αναγνώστης μπορεί να εντοπίσει μία ετικέτα όταν αυτή βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη του ενός μέτρου. Οι χρήστες όμως που φέρουν αυτού του είδους τις ετικέτες θα κινούνται και δεν θα βρίσκονται συνεχώς δίπλα σε κάποιον αναγνώστη, οπότε τον περισσότερο χρόνο το σύστημα δεν θα έχει καμία ένδειξη για τις θέσεις τους. Αντιστοίχως, ένα σύστημα που βασίζεται σε μετρήσεις ισχύος σήματος από σταθμούς βάσης συνήθως μπορεί να εντοπίσει ένα χρήστη σε μια περιοχή ακτίνας 6-7 μέτρων. Το ποσοστό όμως του χρόνου που το σύστημα αυτό έχει ενδείξεις για τις θέσεις των χρηστών είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το προηγούμενο (RFID), διότι η εμβέλεια ενός σταθμού βάσης είναι πολύ μεγαλύτερη από την εμβέλεια ενός RFID αναγνώστη. Έτσι, ο χρήστης ακόμα και αν κινείται θα καλύπτεται κατά πάσα πιθανότητα από κάποιο σταθμό βάσης. Γίνεται λοιπόν κατανοητό πως ένα σύστημα που συνδυάζει και τις δύο τεχνολογίες θα παρέχει καλλίτερες εκτιμήσεις θέσης (περιοχή μικρότερης ακτίνας) για μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου απ' ό,τι η καθεμία τεχνολογία ξεχωριστά.

Ένα σημαντικό επίσης πλεονέκτημα του συνδυασμού πολλαπλών τεχνολογιών και της σύντηξης δεδομένων είναι η δημιουργία ενός συστήματος με υψηλή διαθεσιμότητα. Αν υποθέσουμε ότι οι συσκευές της μίας τεχνολογίας τεθούν εκτός λειτουργίας, τότε οι υπόλοιπες τεχνολογίες αναπληρώνουν το κενό και το σύστημα θα συνεχίσει να λειτουργεί (αν και η ποιότητα των εκτιμήσεών του θα επηρεαστεί αρνητικά).

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής και περιγράφεται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια, στηρίζεται στη σύντηξη δεδομένων από αισθητήρες (ασύρματες κάρτες Wi-Fi, αναγνώστες ετικετών RFID, κλπ.) για τον προσδιορισμό

(εκτίμηση) της θέσης των χρηστών. Υιοθετείται μία στρωματοποιημένη αρχιτεκτονική (layered architecture) η οποία διευκολύνει την ενσωμάτωση επιπλέον τεχνολογιών χωρίς ιδιαίτερη επιβάρυνση. Στα κατώτερα επίπεδα γίνεται η συλλογή των δεδομένων από τους αισθητήρες ενώ στο ανώτερο επίπεδο εκτελείται η διαδικασία της σύντηξης. Η διαδικασία αυτή βασίζεται σε Δυναμικά Bayesian Δίκτυα (DBNs) [2]. Με τη χρήση τέτοιων δικτύων επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα εκτίμησης της θέσης ενός χρήστη επειδή μαζί με τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες χρησιμοποιούνται και άλλες πληροφορίες που τον αφορούν, όπως π.χ. η προηγούμενη θέση του.

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται ως εξής:

- Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται οι βασικές αρχές που διέπουν το διάχυτο υπολογισμό και αναφέρονται οι προκλήσεις και τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά την εφαρμογή του.
- Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει τις τεχνικές εντοπισμού θέσης, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται καθώς και τα ήδη υπάρχοντα εμπορικά και ερευνητικά συστήματα εντοπισμού θέσης.
- Στο Κεφάλαιο 4 αναλύεται η στρωματοποιημένη αρχιτεκτονική του συστήματος εντοπισμού θέσης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.
- Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται οι τεχνικές λεπτομέρειες της υλοποίησης του συστήματος.
- Το Κεφάλαιο 6 περιγράφει εν συντομία τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος.
- Στο Κεφάλαιο 7 το σύστημα αξιολογείται σε πραγματικές συνθήκες ως προς την ποιότητα των εκτιμήσεων που παρέχει και σχολιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν.
- Τέλος, το Κεφάλαιο 8 αποτελεί τον επίλογο της εργασίας όπου αναφέρονται επίσης ορισμένα ανοικτά θέματα και μια πιθανή μελλοντική δουλειά για τη βελτίωση των εκτιμήσεων του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΧΥΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (PERVASIVE COMPUTING)

Οι δύο σημαντικές περιοχές στις οποίες βασίζεται ο διάχυτος υπολογισμός είναι τα καταναμημένα συστήματα (distributed systems) και ο κινητός υπολογισμός (mobile computing). Στη συνέχεια παραθέτουμε μία σύντομη περιγραφή αυτών των δύο ερευνητικών πεδίων. Επίσης, στο κεφάλαιο αυτό, θα αναφερθούμε στα χαρακτηριστικά και τις προκλήσεις του διάχυτου υπολογισμού.

2.1. Καταναμημένα συστήματα

Ο τομέας των καταναμημένων συστημάτων (distributed systems) προέκυψε από τον συνδυασμό των προσωπικών υπολογιστών και των τοπικών δικτύων. Η έρευνα που ακολούθησε από τα μέσα της δεκαετίας του '70 έως τις αρχές της δεκαετίας του '90 δημιούργησε ένα εννοιολογικό πλαίσιο και μια αλγοριθμική βάση που έχει διαχρονική αξία σε οποιαδήποτε εργασία εμπλέκονται δύο ή περισσότεροι υπολογιστές (σταθεροί ή κινητοί, ενσύρματοι ή ασύρματοι). Η γνώση αυτή εκτείνεται σε πολλές περιοχές οι οποίες είναι θεμελιώδεις για τον διάχυτο υπολογισμό. Οι σημαντικότερες εξ' αυτών είναι οι παρακάτω:

- *Η απομακρυσμένη επικοινωνία (remote communication)* που περιλαμβάνει τη στρωματοποιημένη αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων και την απομακρυσμένη κλήση διαδικασίας (remote procedure call)
- *Η ανοχή σφαλμάτων (fault tolerance)*. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει τις ατομικές συναλλαγές (atomic transactions) και τις καταναμημένες συναλλαγές (distributed transactions)
- *Η υψηλή διαθεσιμότητα (high availability)*, περιλαμβάνει τον αισιόδοξο και απαισιόδοξο έλεγχο αντιγράφων και την αισιόδοξη αποκατάσταση (optimistic recovery)
- *Η απομακρυσμένη πρόσβαση πληροφοριών (remote information access)*. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται τα καταναμημένα συστήματα αρχείων και οι καταναμημένες βάσεις δεδομένων
- *Η ασφάλεια (security)*, που περιλαμβάνει την κρυπτογραφημένη πιστοποίηση και ιδιωτικότητα (encrypted authentication and privacy)

2.2. Κινητός Υπολογισμός

Η εμφάνιση των φορητών υπολογιστών (laptop) και των ασύρματων δικτύων (wireless LAN) στις αρχές της δεκαετίας του 1990 οδήγησε τους ερευνητές να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά τη δημιουργία ενός κατανεμημένου συστήματος με κινητούς χρήστες. Έτσι, εμφανίστηκε ο κινητός υπολογισμός (mobile computing). Παρόλο που πολλές βασικές αρχές της σχεδίασης των κατανεμημένων συστημάτων εξακολούθησαν να ισχύουν, τέσσερις περιορισμοί που υπεισέρχονται λόγω της κινητικότητας των χρηστών οδήγησαν στην αναγκαστική ανάπτυξη εξειδικευμένων τεχνικών. Οι περιορισμοί αυτοί είναι:

1. Η απρόβλεπτη μεταβολή της ποιότητας του δικτύου
2. Η χαμηλή εμπιστοσύνη και η ευρωστία των κινητών τερματικών
3. Οι περιορισμοί στους τοπικούς πόρους
4. Η κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας του κινητού τερματικού

Ο κινητός υπολογισμός παραμένει μία αρκετά ενεργή και συνεχώς εξελισσόμενη ερευνητική περιοχή. Τα αποτελέσματα που έχουν επιτευχθεί έως τώρα μπορούν να ομαδοποιηθούν στις επόμενες περιοχές:

- *Κινητή δικτύωση (mobile networking)*. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει το Mobile IP πρωτόκολλο, ad hoc πρωτόκολλα, και τεχνικές για τη βελτίωση των επιδόσεων του TCP πρωτοκόλλου σε ασύρματα δίκτυα
- *Κινητή πρόσβαση σε πληροφορίες (mobile information access)*, που περιλαμβάνει λειτουργίες σε αποσυνδεδεμένη κατάσταση και πρόσβαση σε αρχεία με προσαρμοζόμενο εύρος ζώνης
- *Υποστήριξη για προσαρμοζόμενες εφαρμογές (support for adaptive applications)*, που περιλαμβάνει αλλαγή της κωδικοποίησης από proxies, και προσαρμοστική διαχείριση των πόρων
- *Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας (energy saving)*, όπως χρονοδρομολόγηση του επεξεργαστή σε διάφορες ταχύτητες, και διαχείριση της μνήμης λαμβάνοντας υπόψη ενεργειακά θέματα
- *Ευαισθησία στη θέση (location sensitivity)*, όπως εύρεση της θέσης ενός χρήστη και συμπεριφορά του συστήματος που έχει επίγνωση της θέσης

2.3. Χαρακτηριστικά του διάχυτου υπολογισμού

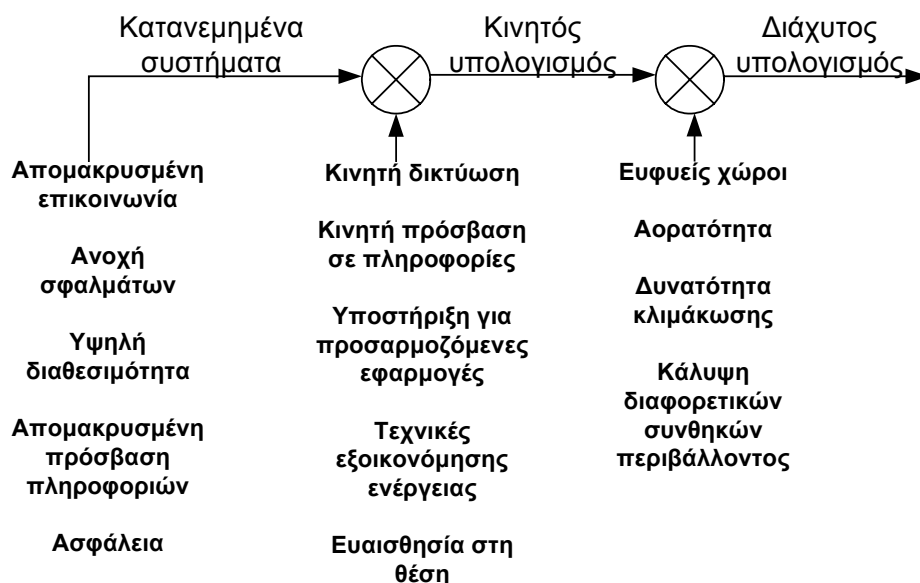
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού είναι κορεσμένο με υπολογιστικές και επικοινωνιακές δυνατότητες και χαρακτηρίζεται δίκαια πολλές φορές σαν «τεχνολογία που εξαφανίζεται». Δεδομένου ότι η κίνηση είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της καθημερινής ζωής, ένα τέτοιο περιβάλλον πρέπει να υποστηρίζει την κινητικότητα, διαφορετικά ένας χρήστης θα συνειδητοποιεί έντονα την ύπαρξη της τεχνολογίας (λόγω της απουσίας της) όταν αυτός θα κινείται. Ως εκ τούτου, η έρευνα που είναι σχετική με τον διάχυτο υπολογισμό συμπεριλαμβάνει εκτός από τα ερευνητικά πεδία του κινητού υπολογισμού και τέσσερα επιπλέον σημαντικά θέματα που περιγράφονται παρακάτω.

- *Αποτελεσματική χρήση ευφυών χώρων (smart spaces)*. Η πρώτη ερευνητική ώθηση του διάχυτου υπολογισμού είναι η αποτελεσματική χρήση των ευφυών (έξυπνων) χώρων. Ένας χώρος μπορεί να είναι μέρος ενός κτιρίου (μια αίθουσα συνεδριάσεων, ένας διάδρομος, κτλ.) ή μπορεί να είναι μια καθορισμένη ανοικτή περιοχή όπως ένα προαύλιο ή ένας υπαίθριος χώρος. Η ενσωμάτωση υπολογιστικής υποδομής στην κτιριακή υποδομή είναι αυτό που χαρακτηρίζεται σαν «ευφυής χώρος» και αποτελεί ουσιαστικά τη συνένωση δύο διαφορετικών περιοχών [3]. Η σύντηξη (fusion) αυτών των περιοχών επιτρέπει τον έλεγχο της μίας από την άλλη. Ένα απλό παράδειγμα είναι η αυτόματη ρύθμιση της θέρμανσης, της ψύξης και του φωτισμού σε ένα δωμάτιο ανάλογα με τις προτιμήσεις (προφίλ) ενός συγκεκριμένου χρήστη. Η επιρροή προς την άλλη κατεύθυνση είναι επίσης δυνατή. Π.χ. το λογισμικό στο τερματικό ενός χρήστη μπορεί να συμπεριφερθεί διαφορετικά ανάλογα με τη θέση του κατόχου του.
- *Αορατότητα*. Η δεύτερη ώθηση είναι η αορατότητα. Το ιδανικό που εκφράστηκε από τον M. Weiser είναι η πλήρης εξαφάνιση της τεχνολογίας του διάχυτου υπολογισμού από την επίγνωση του χρήστη. Στην πράξη, μια λογική προσέγγιση σε αυτό το ιδανικό είναι η ελάχιστη απόσπασση της προσοχής των χρηστών. Εάν ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού ικανοποιεί συνεχώς τις προσδοκίες των χρηστών και σπάνια τους παρουσιάζει εκπλήξεις, τους επιτρέπει μία ξεκούραστη αλληλεπίδραση σχεδόν σε υποσυνείδητο επίπεδο [4]. Συγχρόνως, μία αναμονή μπορεί να είναι απαραίτητη για την αποφυγή μία μεγάλης και δυσάρεστης έκπληξης αργότερα.

- *Δυνατότητα κλιμάκωσης.* Η τρίτη ερευνητική ώθηση είναι η κλιμάκωση. Καθώς οι ευφυείς χώροι εξελίσσονται συνεχώς οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του εξοπλισμού ενός χρήστη (κινητό τηλεκονσόλ, κτλ.) και του περιβάλλοντός του αυξάνονται. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στο εύρος ζώνης, αλλά και στην ενέργεια των τηλεκονσολικών συσκευών. Όπως είναι φυσικό η παρουσία παραπάνω χρηστών περιπλέκει το πρόβλημα. Έτσι, η κλιμάκωση, υπό την ευρύτερη έννοια, είναι μία πτυχή που πρέπει να λαμβάνουμε σοβαρά υπ' όψιν στον διάχυτο υπολογισμό. Προηγούμενες προσεγγίσεις πάνω στην κλιμάκωση είχαν αγνοήσει τη φυσική απόσταση. Π.χ. ένας κεντρικός υπολογιστής δικτύου (web server) ή ένας κεντρικός υπολογιστής αρχείων (file server) πρέπει να χειρίζονται όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες, ασχέτως εάν είναι τοποθετημένοι πολύ κοντά ή χιλιόμετρα μακριά από αυτούς. Η κατάσταση είναι πολύ διαφορετική στον διάχυτο υπολογισμό. Εδώ, η συχνότητα των αλληλεπιδράσεων πρέπει να μειωθεί καθώς ο χρήστης απομακρύνεται διαφορετικά και το τηλεκονσόλ του αλλά και το σύστημα θα υπερφορτωθεί. Παρόλο που ένας κινητός χρήστης ο οποίος βρίσκεται μακριά (στο σπίτι του) μπορεί να παράγει ακόμα αλληλεπιδράσεις με τις περιοχές που είναι σχετικές σ' αυτόν, ο κύριος όγκος των αλληλεπιδράσεών του είναι κυρίως τοπικός.
- *Κάλυψη (απόκρυψη) διαφορετικών συνθηκών περιβάλλοντος.* Η τέταρτη ώθηση είναι η ανάπτυξη των τεχνικών για την κάλυψη διαφορετικών συνθηκών περιβάλλοντος. Ο βαθμός διείσδυσης του διάχυτου υπολογισμού στις υποδομές μπορεί να ποικίλει αρκετά και εξαρτάται από πολλούς μη τεχνικούς παράγοντες όπως η οργανωτική δομή και τα οικονομικά και επιχειρησιακά πρότυπα. Η ομοιόμορφη διείσδυση απέχει πολλά έτη ή δεκαετίες μακριά. Στο μεσοδιάστημα, θα υπάρχουν τεράστιες διαφορές «ευφυΐας» των διαφορετικών περιβαλλόντων. Ο διαθέσιμος εξοπλισμός σε γραφεία, αίθουσες συσκέψεων ή σε τάξεις μπορεί να είναι περισσότερο περίπλοκος απ' ό,τι σε άλλες θέσεις. Αυτή η μεγάλη δυναμική περιοχή της «ευφυΐας» μπορεί να είναι ενοχλητική σε έναν χρήστη, μειώνοντας έτσι την αφορατότητα του διάχυτου υπολογισμού. Η πλήρης αφορατότητα μπορεί να είναι αδύνατη, αλλά η μειωμένη μεταβλητότητα είναι κάτι που μπορεί να επιτευχθεί.

Στην Εικόνα 2.1 διακρίνεται πώς τα ερευνητικά προβλήματα στον διάχυτο υπολογισμό είναι σχετικά με εκείνα του κινητού υπολογισμού και των κατανεμημένων συστημάτων. Τα νέα προβλήματα εμφανίζονται καθώς κινούμαστε από τα αριστερά προς τα δεξιά. Επιπλέον, η επίλυση πολλών προβλημάτων που αντιμετωπίσαμε προηγουμένως τώρα γίνεται πιο σύνθετη. Η αύξηση της πολυπλοκότητας είναι πολλαπλασιαστική παρά

προσθετική. Είναι πολύ δυσκολότερο να σχεδιαστεί και να εφαρμοστεί ένα σύστημα διάχυτου υπολογισμού από ένα απλό κατανεμημένο σύστημα της ίδιας ευρωστίας και αποδοτικότητας.



Εικόνα 2.1: Η εξέλιξη των τεχνολογιών.

Στη συνέχεια παραθέτουμε δύο παραδείγματα που παρουσιάζονται στο [5] και είναι σενάρια που ίσως να μπορούν να πραγματοποιηθούν σε λίγα χρόνια.

Σενάριο 1

Η Jane είναι στην πύλη 23 στον αερολιμένα του Pittsburgh, περιμένοντας την πτήση της. Έχει πληκτρολογήσει πολλά έγγραφα, και θα επιθυμούσε να χρησιμοποιήσει την ασύρματη σύνδεση για να τα στείλει με e-mail. Δυστυχώς όμως, το εύρος ζώνης δεν είναι αρκετό καθώς πολλοί επιβάτες στις πύλες 22 και 23 χρησιμοποιούν το ασύρματο δίκτυο για να περιηγούνται στο Internet. Ένα έξυπνο σύστημα διάχυτου υπολογισμού παρατηρεί ότι στο τρέχον εύρος ζώνης η Jane δεν θα είναι σε θέση να ολοκληρώσει την αποστολή των εγγράφων προτού αναχωρήσει η πτήση της. Το έξυπνο σύστημα ανακαλύπτει ότι το ασύρματο εύρος ζώνης στην πύλη 15 είναι πολύ καλό, και ότι δεν υπάρχει καμία πτήση αναχώρησης ή άφιξης στις κοντινές πύλες για την επόμενη μισή ώρα. Ένα πλαίσιο διαλόγου εμφανίζεται στην οθόνη της Jane και της προτείνει να πάει στην πύλη 15, η οποία είναι μόνο τρία λεπτά μακριά. Της ζητά επίσης να δώσει προτεραιότητα στο e-mail της, έτσι ώστε τα πιο σημαντικά μηνύματα να αποσταλούν πρώτα. Η Jane δέχεται τις συμβουλές του συστήματος και κατευθύνεται προς την πύλη 15. Όταν φτάσει αρχίζει να παρακολουθεί τηλεόραση έως ότου το σύστημα την

ενημερώνει ότι τα μηνύματά της σχεδόν εστάλησαν, και ότι μπορεί να γυρίσει πίσω. Το τελευταίο μήνυμα αποστέλλεται κατά τη διάρκεια της επιστροφής της στην πύλη 23 όπου ετοιμάζεται να αναχωρήσει με την προγραμματισμένη πτήση.

Σενάριο 2

Ο Fred βρίσκεται στο γραφείο του, και προετοιμάζεται για μια συνεδρίαση στην οποία θα κάνει μια παρουσίαση και μια επίδειξη λογισμικού. Η αίθουσα συνεδριάσεων βρίσκεται σε μικρή απόσταση (περίπου 10 λεπτά με τα πόδια) από την πανεπιστημιούπολη. Είναι η ώρα να φύγει, αλλά ο Fred δεν είναι αρκετά έτοιμος. Παίρνει βιαστικά τον ασύρματο φορητό υπολογιστή του (PalmXXII) και φεύγει. Ένα έξυπνο σύστημα μεταφέρει την εργασία του από τον υπολογιστή του γραφείου του (desktop computer) στο φορητό του, και του επιτρέπει να κάνει τις τελευταίες διορθώσεις κατά τη διάρκεια του περιπάτου με τη χρησιμοποίηση φωνητικών εντολών. Το σύστημα συμπεραίνει που πηγαίνει ο Fred από το ημερολόγιό του και από την υπηρεσία προσδιορισμού θέσης της πανεπιστημιούπολης. Κατεβάζει την παρουσίαση και το λογισμικό επίδειξης στον υπολογιστή προβολής, και θερμαίνει τον προβολέα. Ο Fred τελειώνει τις διορθώσεις λίγο πριν φτάσει στην αίθουσα συνεδριάσεων. Καθώς περπατά μέσα, το έξυπνο σύστημα μεταφέρει την τελική παρουσίαση στον υπολογιστή προβολής. Καθώς η παρουσίαση προχωρά, ο Fred είναι έτοιμος δείξει μια διαφάνεια με τις ιδιαίτερα ευαίσθητες πληροφορίες των προϋπολογισμών. Το έξυπνο σύστημα αντιλαμβάνεται ότι αυτό μπορεί να είναι λάθος διότι η ανίχνευση και αναγνώριση προσώπων δείχνει ότι υπάρχουν μερικά άγνωστα πρόσωπα παρόντα στην αίθουσα. Επομένως προειδοποιεί το Fred. Συνειδητοποιώντας ότι το σύστημα είναι σωστό, ο Fred δεν παρουσιάζει τη διαφάνεια. Τελειώνει την παρουσίαση του, αφήνοντας το ακροατήριο εντυπωσιασμένο.

Τα παραπάνω δύο σενάρια ενσωματώνουν πολλές βασικές ιδέες του διάχυτου υπολογισμού. Το *Σενάριο 1* παρουσιάζει τη σημασία της προδραστικότητας (proactivity): η Jane είναι σε θέση να ολοκληρώσει τη μετάδοση των e-mail της επειδή ένα έξυπνο σύστημα είχε την πρόβλεψη να υπολογίσει πόσο χρόνο θα έπαιρνε η όλη διαδικασία. Είναι σε θέση να αρχίσει να περπατάει πίσω προς την πύλη αναχώρησής της προτού ολοκληρωθεί η μετάδοση επειδή το σύστημα κάνει προβλέψεις για το απαιτούμενο εύρος ζώνης και τον εναπομείναντα χρόνο αποστολής των μηνυμάτων. Αυτό το σενάριο παρουσιάζει επίσης τη σημασία του συνδυασμού της γνώσης από τα διαφορετικά επίπεδα (στρώματα) του συστήματος. Η ασύρματη συμφόρηση είναι ένα χαμηλού επιπέδου φαινόμενο ενώ η γνώση για την ώρα αναχώρησης είναι μια

εφαρμογή υψηλότερου επιπέδου. Μόνο με το συνδυασμό αυτών των διαφορετικών επιπέδων της γνώσης μπορεί το σύστημα να βοηθήσει τη Jane. Το σενάριο παρουσιάζει επίσης την αξία ενός ευφυούς χώρου. Το σύστημα είναι σε θέση να λάβει γνώση για τις συνθήκες που επικρατούν σε άλλες πύλες, τις ώρες άφιξης/αναχώρησης των πτήσεων, τις πύλες αναχώρησης, την απόσταση μεταξύ των πυλών, κ.α.

Το *Σενάριο 2* παρουσιάζει τη δυνατότητα να μετακινούμε καταστάσεις-δεδομένα με ευκολία μεταξύ διαφορετικών πλατφόρμων. Π.χ. από έναν υπολογιστή γραφείου προς ένα φορητό, και από το φορητό υπολογιστή προς τον υπολογιστή προβολής. Επίσης η αυτόματα ρυθμιζόμενη συμπεριφορά (self-tuning) ανάλογα με τις περιστάσεις, φαίνεται από τη δυνατότητα που έχει ο χρήστης να μπορεί να υπαγορεύει στη φορητή συσκευή αντί να χρησιμοποιεί ποντίκι και πληκτρολόγιο. Το σενάριο ενσωματώνει πολλές περιπτώσεις προδραστικότητας (proactivity): συμπεραίνοντας το σύστημα ότι ο Fred κατευθύνεται στο χώρο που θα γίνει η παρουσίαση, θερμαίνει τον προβολέα. Επιπλέον, μεταφέρει την παρουσίαση και το λογισμικό προς επίδειξη στον τοπικό υπολογιστή. Τέλος, προβλέποντας ότι η διαφάνεια του προϋπολογισμού έπεται και ξέροντας ότι στο δωμάτιο υπάρχουν άγνωστα πρόσωπα, προειδοποιεί τον Fred και αποτρέπει την εμφάνιση της διαφάνειας. Η αξία των ευφυών χώρων φαίνεται σε πολλές καταστάσεις: ο εντοπισμός της θέσης και το ημερολόγιο επιτρέπουν στο σύστημα να συμπεράνει που κατευθύνεται ο Fred, ο προβολέας επιτρέπει την προθέρμανση πριν την άφιξη, το δωμάτιο που είναι εξοπλισμένο με κάμερες δίνει τη δυνατότητα αναγνώρισης προσώπων, κάτι το οποίο είναι βασικό για την προειδοποίηση στο Fred.

Γιατί άραγε αυτά τα σενάρια φαίνονται σήμερα σαν επιστημονική φαντασία παρά σαν πραγματικότητα; Η απάντηση βρίσκεται στο γεγονός ότι η πραγματική έρευνα εστιάζει στη συνεχή ένταξη και ενσωμάτωση των επί μέρους συστατικών τεχνολογιών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Τα δύσκολα προβλήματα εντοπίζονται στο σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής και τη σύνθεση των επιμέρους τεχνολογιών. Στην παρακάτω ενότητα περιγράφουμε τις προκλήσεις του διάχυτου υπολογισμού όπου εντοπίζουμε και αναλύουμε μερικά από αυτά τα προβλήματα.

2.4. Προκλήσεις για τον Διάχυτο Υπολογισμό

Η πρακτική εφαρμογή του διάχυτου υπολογισμού απαιτεί τη λύση πολλών και δύσκολων προβλημάτων. Βασιζόμενοι στα προαναφερθέντα, θα εξετάσουμε τώρα μερικά από αυτά τα προβλήματα. Υποθέτουμε ότι κάθε χρήστης είναι «εμβυθισμένος» σε ένα προσωπικό χώρο υπολογισμού που τον συνοδεύει παντού και μεσολαβεί για

όλες τις αλληλεπιδράσεις του με το περιβάλλον. Αυτός ο προσωπικός χώρος μπορεί να είναι π.χ. ένας φορητός υπολογιστής. Όπως υποδεικνύεται παρακάτω, ο υπολογιστής αυτός του χρήστη (client) πρέπει να είναι αρκετά περίπλοκος και, ως εκ τούτου, σύνθετος.

2.4.1. Πρόθεση του χρήστη

Για να είναι αποτελεσματική η προδραστικότητα (proactivity), θα πρέπει ένα σύστημα διάχυτου υπολογισμού να αντιλαμβάνεται τις προθέσεις του χρήστη. Διαφορετικά, θα είναι σχεδόν αδύνατο να καθοριστούν ποιες ενέργειες θα τον βοηθήσουν. Π.χ., υποθέτουμε ότι κάποιος παρακολουθεί βίντεο πάνω από ένα δίκτυο που το εύρος ζώνης του πέφτει απότομα. Τι πρέπει λοιπόν να γίνει σε αυτήν την περίπτωση;

(α) το σύστημα να μειώσει την ποιότητα του βίντεο;

(β) να γίνει μία μικρή διακοπή στη ροή μήπως βρεθεί κάποια καλύτερη σύνδεση με μεγαλύτερο εύρος ζώνης; ή

(γ) το σύστημα να πληροφορήσει το χρήστη ότι δεν είναι πλέον εφικτή η παρακολούθηση του βίντεο;

Η σωστή επιλογή θα εξαρτηθεί από αυτό που ο χρήστης θα ήθελε, δηλαδή από την πρόθεσή του.

Τα σημερινά συστήματα δεν είναι ικανά να συλλάβουν και να εκμεταλλευτούν την πρόθεση του χρήστη. Αφ' ενός μεν, είναι γενικές εφαρμογές που δεν έχουν καμία ιδέα τι προσπαθεί να κάνει χρήστης, και μπορούν επομένως να προσφέρουν ελάχιστη υποστήριξη για την προσαρμογή και την προδραστικότητα. Αφ' ετέρου δε, είναι εφαρμογές που προσπαθούν να προβλέψουν την πρόθεση του χρήστη αλλά το κάνουν τόσο άσχημα που καταλήγουν να γίνονται ενοχλητικές. Η ανάγκη για την ενσωμάτωση της πρόθεσης των χρηστών σε ένα σύστημα δημιουργεί εύλογα ερευνητικά ερωτήματα:

- Μπορεί η πρόθεση χρηστών να προβλεφθεί, ή πρέπει να μας παρασχεθεί έτοιμη; Στη δεύτερη περίπτωση από πού θα αντλείται (π.χ. αρχείο;)
- Πώς μοντελοποιείται η πρόθεση των χρηστών; Πόσο λεπτομερής πρέπει να είναι αυτή η πληροφορία ώστε να είναι χρήσιμη; Πότε και πώς ενημερώνεται; Πώς τα διαφορετικά επίπεδα ενός συστήματος έχουν πρόσβαση σε αυτήν την πληροφορία;

- Πώς κάποιος χαρακτηρίζει την ακρίβεια της γνώσης; Είναι χρήσιμη η ελλιπής ή η ανακριβής γνώση της πρόθεσης των χρηστών; Είναι καλύτερα να αγνοήσει κανείς τέτοιου είδους γνώση στη λήψη των αποφάσεων;
- Μπορεί η προσπάθεια να ληφθεί υπόψη η πρόθεση να δημιουργήσει ένα αδικαιολόγητο φόρτο στο χρήστη; Θα επηρεαστεί η απόδοση του συστήματος;

2.4.2.Κυβερνοβοσκή (Cyber Foraging)

Η ανάγκη να σμικρύνουμε τις κινητές συσκευές, να τις κάνουμε ελαφρύτερες και να έχουν μπαταρίες μεγάλης διάρκειας οδηγεί στο γεγονός ότι οι υπολογιστικές τους ικανότητες θα πρέπει να μειωθούν. Η *κυβερνοβοσκή* μπορεί να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος ώστε να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα. Η ιδέα είναι να αυξάνονται δυναμικά οι υπολογιστικοί πόροι ενός ασύρματου κινητού υπολογιστή (laptop) με την εκμετάλλευση μίας ενσύρματης υποδομής. Οι υπολογιστές γραφείου πωλούνται σήμερα για μερικές εκατοντάδες ευρώ, και οι τιμές τους συνεχίζουν να μειώνονται. Στο μέλλον, προβλέπεται οι δημόσιοι χώροι όπως τα αεροδρόμια και τα καταστήματα καφέ να εξοπλίζονται με ισχυρούς κεντρικούς υπολογιστές (servers) και να παρέχουν υπηρεσίες προς όφελος των πελατών τους. Αυτοί οι χώροι έχοντας και ενσύρματη υποδομή μπορεί να προσφέρουν στους χρήστες υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης υποκαθιστώντας (αναπληρώνοντας) έτσι την ασύρματη υποδομή.

Παραθέτουμε στη συνέχεια ένα χαρακτηριστικό σενάριο. Όταν ένας κινητός υπολογιστής εισέρχεται σε ένα χώρο, ανιχνεύει αρχικά την παρουσία πιθανών αναπληρωματικών (surrogate) συστημάτων -υποδομών και διαπραγματεύεται τη χρήση τους. Η επικοινωνία με ένα τέτοιο σύστημα γίνεται ασύρματα με τεχνολογίες peer-to-peer, με το αναπληρωματικό σύστημα να παίζει το ρόλο της πύλης προς το διαδίκτυο (internet gateway) για τον κινητό υπολογιστή. Όταν πρέπει να εκτελεστούν δύσκολοι και χρονοβόροι υπολογισμοί σε ένα μεγάλο όγκο δεδομένων, ο κινητός υπολογιστής αναθέτει την διαδικασία στο αναπληρωματικό σύστημα το οποίο μπορεί να αποθηκεύσει δεδομένα από το διαδίκτυο στον τοπικό του δίσκο κατά την εκτέλεση των υπολογισμών. Εναλλακτικά, το σύστημα μπορεί να είχε αποθηκεύσει τα απαραίτητα δεδομένα πριν την άφιξη του κινητού υπολογιστή του χρήστη στο χώρο. Όταν ο κινητός υπολογιστής τελικά απομακρύνεται, οι συνδέσεις με το αναπληρωματικό σύστημα καταργούνται και οποιαδήποτε δεδομένα που είχαν αποθηκευθεί εξ' ονόματός του απορρίπτονται.

Η κυβερνοβοσκή δημιουργεί πολλά ανοικτά ερευνητικά ερωτήματα. Παρακάτω παρουσιάζουμε μερικά από αυτά:

- Πώς κάποιος ανακαλύπτει την παρουσία αναπληρωματικών συστημάτων και υποδομών; Ποια από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες (JINI, UPnP, Bluetooth) είναι καλύτερη; Μπορεί κάποιος να δημιουργήσει έναν μηχανισμό ανακαλύψεων (discovery mechanism) που ενσωματώνει όλες τις τεχνολογίες για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ευελιξία;
- Πώς κάποιος καθιερώνει ένα κατάλληλο επίπεδο εμπιστοσύνης (trust) με ένα αναπληρωματικό σύστημα; Πόσο εφαρμόσιμη και χρήσιμη είναι η έννοια του caching trust [6];
- Πώς γίνεται η κατανομή φόρτου (load balancing) στα αναπληρωματικά συστήματα; Πόσο σχετικές είναι η προηγούμενες εργασίες στην κατανομή φόρτου σε δίκτυα υπολογιστών;

2.4.3. Στρατηγική Προσαρμογής (Adaptation Strategy)

Η προσαρμογή (adaptation) είναι απαραίτητη όταν υπάρχει ένας αποτυχημένος συνδυασμός μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης ενός πόρου. Ο πόρος μπορεί να είναι το εύρος ζώνης ενός ασύρματου δικτύου, η ενέργεια της μπαταρίας ενός κινητού υπολογιστή, η μνήμη, κτλ. Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές στρατηγικές για την προσαρμογή στον διάχυτο υπολογισμό.

Κατ' αρχάς, ένας χρήστης (client) μπορεί από μόνος του να ρυθμίσει τις εφαρμογές του έτσι ώστε να χρησιμοποιούν λιγότερο κάποιον ανεπαρκή πόρο. Αυτή η ρύθμιση όμως μειώνει την απόδοση και την ποιότητα μιας εφαρμογής. Το Odyssey [7, 8] είναι ένα παράδειγμα ενός συστήματος που χρησιμοποιεί αυτήν την στρατηγική.

Δεύτερον, ένας χρήστης μπορεί να ζητήσει από το περιβάλλον να του εγγυηθεί ένα ορισμένο επίπεδο ποιότητας ενός πόρου. Αυτή είναι η προσέγγιση που χρησιμοποιείται από τα Quality of Service (QoS) συστήματα [9].

Τρίτον, το σύστημα μπορεί να προτείνει μια διορθωτική κίνηση (δράση) στο χρήστη. Εάν ο χρήστης ενεργήσει σύμφωνα με τις προτάσεις που του υποδεικνύει το σύστημα είναι πιθανό ότι θα υπάρχουν αρκετοί πόροι για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του.

Ένα παράδειγμα αυτής της προσέγγισης περιγράφηκε νωρίτερα στο *Σενάριο 1*, όπου το σύστημα συμβούλεψε τη Jane να κατευθυνθεί στην πύλη 15 διότι εκεί θα είχε επαρκές

ασύρματο εύρος ζώνης. Και οι τρεις στρατηγικές προσαρμογής είναι σημαντικές αλλά πολλά ερωτήματα ανακύπτουν:

- Πώς ένα σύστημα επιλέγει μεταξύ των στρατηγικών προσαρμογής; Ποιους παράγοντες θα έπρεπε να λάβει υπόψη μια διαδικασία απόφασης; Πώς θα έπρεπε οι διαφορετικοί παράγοντες να σταθμιστούν; Ποιο ρόλο θα έπρεπε, ενδεχομένως, ο χρήστης να διαδραματίσει στη λήψη της απόφασης;
- Ποιες είναι οι πιο κατάλληλες πολιτικές ελέγχου αποδοχής (admission control policies) όταν υπάρχουν ανταγωνιστικά αιτήματα από τους πολλούς χρήστες; Ποιοι πόροι εκτός από το εύρος ζώνης των ασύρματων δικτύων είναι σημαντικοί και χρήσιμο σε έναν ευφυή χώρο;
- Είναι εφικτή η προσαρμογή που χρησιμοποιεί τις διορθωτικές ενέργειες; Μήπως οι χρήστες βρίσκουν μια τέτοια στρατηγική παρεισφρητική ή ενοχλητική; Ποια είναι τα απαραίτητα πρότυπα προγραμματισμού που υποστηρίζουν τις διορθωτικές ενέργειες;

2.4.4. Διαχείριση Ενέργειας (Energy Management)

Περίπλοκες διαδικασίες όπως η προδραστικότητα και η αυτόματα ρυθμιζόμενη συμπεριφορά (self-tuning) αυξάνουν τις απαιτήσεις για ενέργεια στον κινητό υπολογιστή ενός χρήστη. Συγχρόνως, η πίεση να γίνουν αυτοί οι υπολογιστές ελαφρύτεροι και πιο συμπαγείς θέτει αυστηρούς περιορισμούς στην χωρητικότητα των μπαταριών. Η πρόοδος στην τεχνολογία των μπαταριών και τα χαμηλής ισχύος ολοκληρωμένα κυκλώματα δεν μπορούν από μόνα τους να λύσουν το πρόβλημα. Πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα υψηλότερα επίπεδα του συστήματος [10, 11].

Πώς όμως κάποιος περιλαμβάνει τα υψηλότερα επίπεδα ενός συστήματος στη διαχείριση της ενέργειας; Ένα παράδειγμα είναι η διαχείριση μνήμης που λαμβάνει υπόψη την ενέργεια [12]. Εδώ το λειτουργικό σύστημα ελέγχει δυναμικά το ποσό της φυσικής μνήμης που πρέπει να ανανεωθεί. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η προσαρμογή [7], όπου μεμονωμένες εφαρμογές (ελεγχόμενες από το λειτουργικό σύστημα) αλλάζουν το τρόπο λειτουργίας τους ώστε να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Πολλές ερωτήσεις ερευνητικού ενδιαφέροντος ακολουθούν:

- Με ποιους άλλους τρόπους μπορούν τα υψηλότερα επίπεδα ενός συστήματος να συμβάλλουν στην διαχείριση της ενέργειας; Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και

μειονεκτήματα αυτών των προσεγγίσεων; Πότε μία μέθοδος είναι προτιμότερη από κάποια άλλη;

- Πώς η υψηλού επιπέδου διαχείριση της ενέργειας προσκρούει στο στόχο της αορατότητας στον διάχυτο υπολογισμό; Πόσο παρεισφρητικές ή ενοχλητικές βρίσκουν οι χρήστες τέτοιες τεχνικές;
- Μπορεί η γνώση της πρόθεσης των χρηστών να χρησιμοποιηθεί στη διαχείριση της ενέργειας; Σε αυτή την περίπτωση, πόσο εύρωστη είναι αυτή η προσέγγιση;
- Μπορούν οι ευφυείς χώροι και τα αναπληρωματικά συστήματα να χρησιμοποιηθούν για να μειώσουν την ενεργειακή απαίτηση σε έναν κινητό υπολογιστή; Ποιες είναι οι πιθανές προσεγγίσεις;
- Ποιος είναι ο ρόλος της απομακρυσμένης εκτέλεσης στην επέκταση της ζωής των μπαταριών; Κάτω από ποιες περιστάσεις η ενέργειά της μπαταρίας υπερβαίνει το ενεργειακό κόστος της ασύρματης επικοινωνίας; Μπορεί ένα σύστημα να τα προβλέψει αυτά;

2.4.5.Context Awareness

Ένα σύστημα διάχυτου υπολογισμού που προσπαθεί να είναι ελάχιστα παρεισφρητικό πρέπει να είναι context-aware. Με άλλα λόγια, πρέπει να έχει γνώση της κατάστασης του χρήστη και του περιβάλλοντος χώρου ώστε να τροποποιεί κατάλληλα την συμπεριφορά του. Οι πληροφορίες που αφορούν ένα χρήστη (πληροφορίες πλαισίου) μπορεί να είναι αρκετά πλούσιες και να αποτελούνται από ιδιότητες όπως φυσική θέση, φυσική κατάσταση (θερμοκρασία του σώματος και παλμοί της καρδιάς), συναισθηματική κατάσταση (θυμωμένος ή ήρεμος), καθημερινή συμπεριφορά, κτλ. Εάν δινόταν αυτές οι πληροφορίες σε έναν άνθρωπο, θα λάμβανε αποφάσεις με προδραστικό τρόπο, προλαμβάνοντας και προβλέποντας τις ανάγκες των χρηστών. Στη λήψη αυτών των αποφάσεων, ο άνθρωπος δεν θα ενοχλούσε το χρήστη εκτός και αν υπήρχε μια επείγουσα περίπτωση. Μπορεί ένα σύστημα διάχυτου υπολογισμού να μιμηθεί έναν τέτοιο ανθρώπινο βοηθό; Η δημιουργία ενός context-aware συστήματος απαιτεί την αντιμετώπιση πολλών ζητημάτων. Π.χ.

- Πώς μοντελοποιούνται όλες αυτές οι πληροφορίες που αφορούν το χρήστη; Πώς αυτές οι πληροφορίες συνδυάζονται με την κατάσταση του συστήματος και των εφαρμογών; Πού αποθηκεύονται οι πληροφορίες

- Ποιες είναι οι ελάχιστες υπηρεσίες που ένα περιβάλλον πρέπει να παρέχει ώστε να θεωρείται context-aware; Είναι οι ιστορικές πληροφορίες χρήσιμες;
- Ποιες είναι οι σχετικές αξίες των διαφορετικών τεχνολογιών προσδιορισμού; Κάτω από ποιες περιστάσεις θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί η καθεμία; Θα έπρεπε οι πληροφορίες θέσης να αντιμετωπιστούν ακριβώς όπως οποιεσδήποτε άλλες πληροφορίες, ή θα έπρεπε να αντιμετωπίζονται διαφορετικά; Είναι χρήσιμα τα ιστορικά δεδομένα;

2.4.6. Προδραστικότητα και Διαφάνεια

Η προδραστικότητα μπορεί να θεωρηθεί σαν δίκκοπο μαχαίρι. Ένα προδραστικό σύστημα αν δεν είναι προσεκτικά σχεδιασμένο, μπορεί να ενοχλεί το χρήστη και να μην υπάρχει πλέον η ιδέα της αορατότητας. Πώς μπορεί να βρεθεί μία μέση λύση; Η αυτόματα ρυθμιζόμενη συμπεριφορά (self-tuning) είναι ένα σημαντικό εργαλείο σε αυτήν την προσπάθεια. Η ανάγκη και η ανοχή ενός χρήστη για την προδραστικότητα είναι στενά συνδεδεμένες με την πείρα του και με την οικειότητά του με το περιβάλλον. Ένα σύστημα που μπορεί να συμπεράνει αυτούς τους παράγοντες με την παρατήρηση της συμπεριφοράς των χρηστών μπορεί να βρει τη μέση λύση. Το ιδανικό σύστημα είναι το διαφανές σύστημα. Για παράδειγμα η αποθήκευση (caching) είναι ελκυστική στα καταναλωμένα συστήματα αρχείων επειδή είναι απολύτως διαφανής. Αρκετά λεπτά προβλήματα προκύπτουν στο σχεδιασμό ενός συστήματος που προσπαθεί να είναι προδραστικό αλλά ταυτόχρονα και διαφανές. Π.χ.

- Πώς λαμβάνονται υπόψη οι μεμονωμένες προτιμήσεις και οι ανοχές των χρηστών; Είναι στατικές ή αλλάζουν δυναμικά;
- Μπορεί κάποιος να παρέχει συστηματικές οδηγίες σχεδιασμού στους σχεδιαστές εφαρμογών; Μπορεί να τοποθετηθούν μηχανισμοί εξισορρόπησης στις υπάρχουσες εφαρμογές;

2.4.7. Ιδιωτικότητα και Εμπιστοσύνη (Privacy and Trust)

Το θέμα της ιδιωτικότητας, που αποτελεί ένα ακανθώδες πρόβλημα στα καταναλωμένα συστήματα και στον κινητό υπολογισμό, περιπλέκεται πιο πολύ στον διάχυτο υπολογισμό. Μηχανισμοί όπως ο εντοπισμός της θέσης, οι ευφυείς χώροι, και η χρήση των αναπληρωματικών συστημάτων (surrogate systems) παρακολουθούν τους χρήστες

σε μόνιμη βάση. Καθώς ο χρήστης εξαρτάται όλο και πιο πολύ από ένα σύστημα διάχυτου υπολογισμού, το σύστημα γίνεται πιο πεπειραμένο σχετικά με τις μετακινήσεις του συγκεκριμένου χρήστη, τη συμπεριφορά του και τις συνήθειές του. Η εκμετάλλευση αυτών των πληροφοριών είναι κρίσιμη για την επίτευξη επιτυχούς προδραστικότητας και αυτόματα ρυθμιζόμενης συμπεριφοράς (self-tuning). Η περίπτωση για σοβαρή απώλεια της ιδιωτικότητας μπορεί να αποτρέψει τους πεπειραμένους χρήστες από τη χρησιμοποίηση ενός συστήματος διάχυτου υπολογισμού. Επίσης το σύστημα πρέπει να είναι βέβαιο για την ταυτότητα του χρήστη πριν ανταποκριθεί στα αιτήματά του. Είναι μια δύσκολη πρόκληση για να καθιερωθεί αυτή η αμοιβαία εμπιστοσύνη με τρόπο που να είναι ελάχιστα παρεισφρητικός ώστε να επιτυγχάνεται η αορατότητα.

Η ιδιωτικότητα και η εμπιστοσύνη είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν προβλήματα στον διάχυτο υπολογισμό. Πολλά ερευνητικά ερωτήματα ανακύπτουν:

- Πώς μπορεί να βρεθεί μία μέση λύση μεταξύ της μονοκόμματης συμπεριφοράς του συστήματος και της ανάγκης να προειδοποιηθούν οι χρήστες για πιθανή απώλεια της ιδιωτικότητας; Ποιοι είναι οι μηχανισμοί, οι τεχνικές και οι σχεδιαστικές αρχές που σχετίζονται με αυτό το πρόβλημα; Πόσο συχνά θα έπρεπε το σύστημα να υπενθυμίζει σε έναν χρήστη ότι οι ενέργειές του καταγράφονται;
- Ποιες είναι οι καταλληλότερες τεχνικές για πιστοποίηση (authentication) σε ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού; Τεχνικές όπως ο Kerberos [13] είναι επαρκείς ή απαιτούνται πιο περίπλοκες τεχνικές όπως η βιομετρική πιστοποίηση [14]; Ποιο ρόλο μπορεί να παίξουν οι έξυπνες κάρτες (smart cards);

2.4.8. Στρωματοποίηση (Layering)

Ένα θέμα που θίξαμε προηγουμένως είναι η συγχώνευση των πληροφοριών από τα διαφορετικά επίπεδα (στρώματα) ενός συστήματος για να παραχθεί μια αποτελεσματική απάντηση. Π.χ., το *Σενάριο 1* παρουσίασε την αξία του συνδυασμού των πληροφοριών χαμηλού επιπέδου (εύρος ζώνης δικτύου) με τις υψηλού επιπέδου πληροφορίες πλαισίου (ώρα αναχώρησης της πτήσης). Η προδραστικότητα και η προσαρμογή που βασίζεται σε διορθωτικές ενέργειες φαίνεται ότι ευνοούν την ανταλλαγή περισσότερων πληροφοριών μεταξύ των επιπέδων από ότι τα σημερινά τυπικά συστήματα.

Η στρωματοποίηση (layering) διαχωρίζει την αφαίρεση (abstraction) από την εφαρμογή. Συμβάλλει επίσης στην τυποποίηση, δεδομένου ότι ενθαρρύνει τη δημιουργία τμημάτων

λογισμικού. Η αποσύνθεση ενός σύνθετου συστήματος σε επίπεδα (στρώματα) ή ενότητες δεν είναι εύκολη διαδικασία, και παραμένει πιο πολύ μια τέχνη παρά μια επιστήμη. Πολλές ερευνητικές ερωτήσεις ακολουθούν:

- Πώς μπορούν τα οφέλη της στρωματοποίησης να διατηρηθούν προσαρμόζοντας τα στις ανάγκες του διάχυτου υπολογισμού; Ποιος είναι ο αντίκτυπος αυτών των προσαρμογών στην αποδοτικότητα;
- Τα υπάρχοντα στρώματα επεκτείνονται καλύτερα για τον διάχυτο υπολογισμό με τη διεύρυνση των αρχικών διεπαφών τους ή με τη δημιουργία δευτεροβάθμιων διεπαφών (SNMP [15]);
- Υπάρχουν συστηματικές οδηγίες που μπορούμε να προσφέρουμε για να εξασφαλίσουμε συμβατότητα με τις ανάγκες του διάχυτου υπολογισμού όταν δημιουργούμε ένα στρώμα;

2.4.9. Συμπεράσματα

Ο διάχυτος υπολογισμός αποτελεί μία ανοικτή ερευνητική περιοχή με πολλά ερωτήματα και προβλήματα που ζητούν επίλυση. Θα πρέπει επίσης να εξετάσουμε τις ερευνητικές προκλήσεις σε περιοχές διαφορετικές από την περιοχή των υπολογιστών. Αυτές οι περιοχές, που περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής, τους πράκτορες λογισμικού (software agents), τα έμπειρα συστήματα και την τεχνητή νοημοσύνη, θα πρέπει να ενσωματωθούν με τα είδη των υπολογιστικών συστημάτων που συζητήσαμε πιο πάνω. Σύμφωνα με τον M. Weiser για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται δημιουργικότητα και προσπάθεια από πολλούς ανθρώπους για πολλά έτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, στον διάχυτο υπολογισμό θα πρέπει το τεχνολογικό περιβάλλον να προσαρμόζεται στις ανάγκες των χρηστών. Η σημαντικότερη πτυχή ίσως του διάχυτου υπολογισμού είναι ο εντοπισμός και οι κινήσεις ενός χρήστη στο χώρο. Ελλείψει μιας τέτοιας πληροφορίας θα ήταν αδύνατη η προσαρμογή του περιβάλλοντος γιατί δεν θα ξέραμε που πραγματικά βρίσκεται ο χρήστης. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό θέσης καθώς και τα γενικά γνωρίσματα των συστημάτων προσδιορισμού (εντοπισμού) θέσης. Θα περιγράψουμε επίσης τις υπάρχουσες τεχνολογίες (ραδιοκύματα, υπέρυθρες, κτλ.) που μας δίνουν τη δυνατότητα να υλοποιήσουμε αυτές τις τεχνικές. Τέλος, θα αναφέρουμε τα ερευνητικά και εμπορικά συστήματα εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιούνται σήμερα, σχολιάζοντας παράλληλα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

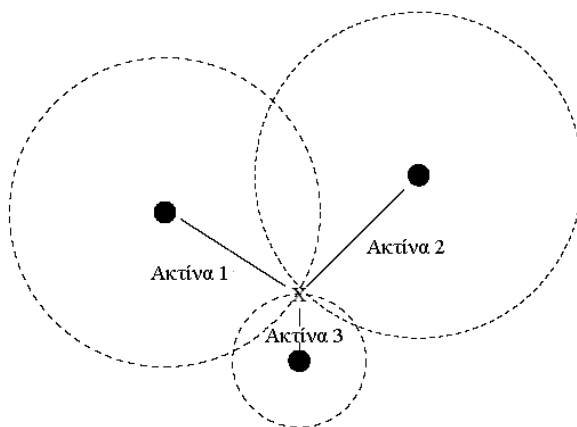
3.1. Τεχνικές προσδιορισμού θέσης

Η τριγωνοποίηση (triangulation), η ανάλυση σκηνών (scene analysis), και η εγγύτητα (proximity) είναι οι τρεις κυριότερες τεχνικές γενικώς για τον προσδιορισμό θέσης. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης μπορεί να υλοποιούν αυτές τις τεχνικές ξεχωριστά ή σε συνδυασμό [16]. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της καθεμίας από τις προαναφερόμενες τεχνικές.

3.1.1. Τριγωνοποίηση (Triangulation)

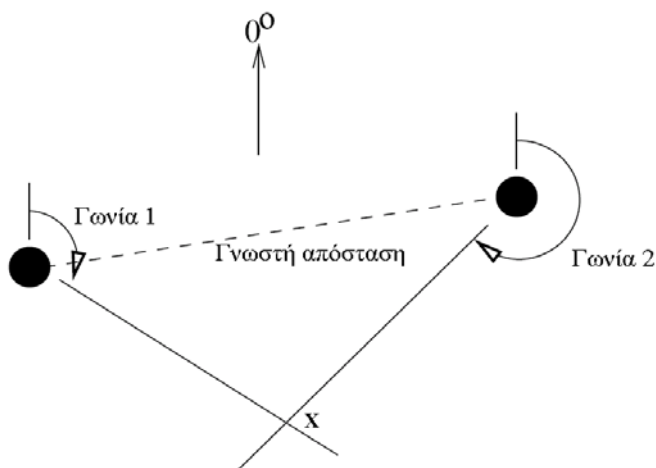
Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τις γεωμετρικές ιδιότητες των τριγώνων για να υπολογίσει την θέση ενός αντικειμένου. Η τριγωνοποίηση διακρίνεται σε δύο υποκατηγορίες:

α) Μέτρηση των αποστάσεων (Lateration): σύμφωνα με την μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται διάφορα σημεία αναφοράς (στον δισδιάστατο χώρο απαιτούνται τρία σημεία) και στην συνέχεια γίνονται μετρήσεις της απόστασης του αντικειμένου από αυτά τα σημεία (βλ. Εικόνα 3.1). Η μέτρηση της απόστασης μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διάφορες προσεγγίσεις (π.χ. χρόνος διάδοσης ραδιοκυμάτων ή υπερήχων, εξασθένηση σήματος, κ.α.). Τα συστήματα εντοπισμού GPS και Active Bat [17] χρησιμοποιούν την μέθοδο αυτή.



Εικόνα 3.1: Μέτρηση των αποστάσεων (Lateration).

β) Μέτρηση των γωνιών (Angulation): είναι η ίδια μέθοδος με τη **Μέτρηση των αποστάσεων** με την διαφορά ότι μετρώνται οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ των σημείων αναφοράς και του αντικειμένου. Γενικά για το δισδιάστατο χώρο απαιτούνται δύο μετρήσεις γωνιών και μία μέτρηση απόστασης μεταξύ των δύο σημείων αναφοράς όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

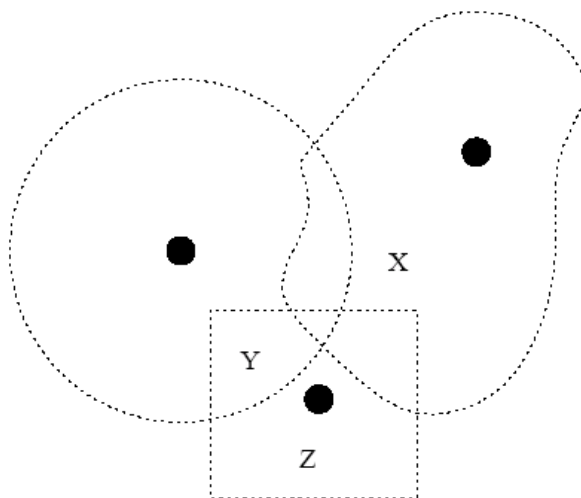


Εικόνα 3.2: Μέτρηση των γωνιών (Angulation).

3.1.2. Μέθοδος της εγγύτητας (Proximity)

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή υπολογίζεται η απόσταση ενός αντικειμένου όταν αυτό βρίσκεται «κοντά» σε ένα γνωστό σημείο. Αυτό γίνεται είτε με αναγνώριση φυσικής επαφής (αισθητήρες πίεσης, αφής, κ.α.), είτε με παρατήρηση σταθμών βάσης ή φάρων (access points, beacons), είτε με παρακολούθηση αυτομάτων συστημάτων

αναγνώρισης (σαρωτής πιστωτικών καρτών, κ.α.). Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται σχηματικά η μέθοδος της εγγύτητας.



Εικόνα 3.3: Η μέθοδος της εγγύτητας (Proximity).

3.1.3.Ανάλυση περιοχής (Scene analysis)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά μίας περιοχής για να βγάλει συμπεράσματα για την τοποθεσία του ατόμου ή του αντικειμένου που παρακολουθείται. Στην στατική (static) ανάλυση, παρατηρούνται κάποια χαρακτηριστικά μιας περιοχής τα οποία αναζητούνται σε ένα σύνολο δεδομένων. Σε αντίθεση, η διαφορική (differential) ανάλυση περιοχής παρακολουθεί την διαφορά μεταξύ διαδοχικών σκηνών (scenes) ώστε να εκτιμηθεί η τοποθεσία. Ένα παράδειγμα συστήματος που χρησιμοποιεί την μέθοδο αυτή είναι το RADAR της Microsoft [18].

3.2. Γενικά γνωρίσματα των συστημάτων εντοπισμού θέσης

3.2.1.Φυσική και συμβολική θέση

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να παρέχει δύο ειδών πληροφορίας, φυσική και συμβολική. Π.χ. το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) παρέχει τη φυσική θέση ενός αντικειμένου (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και ύψος). Αντιθέτως η συμβολική θέση περιλαμβάνει αφηρημένες ιδέες για το πού μπορεί να βρίσκεται κάτι (σε ένα δωμάτιο, στο διάδρομο, κτλ.).

Ένα σύστημα που παρέχει φυσικές θέσεις συνήθως μπορεί να παρέχει και πληροφορία για τις αντίστοιχες συμβολικές θέσεις. Π.χ. ένας φορητός υπολογιστής εξοπλισμένος με έναν GPS δέκτη μπορεί να έχει πρόσβαση σε μία βάση δεδομένων όπου είναι αποθηκευμένες οι φυσικές θέσεις διαφόρων αντικειμένων και συνδυάζοντάς τις με τη δική του θέση έχει τη δυνατότητα να παρέχει συμβολική πληροφορία.

Η διαφοροποίηση μεταξύ της φυσικής και της συμβολικής θέσης είναι πιο έκδηλη με μερικές τεχνολογίες απ' ό,τι με άλλες. Το GPS είναι καθαρά μια τεχνολογία εντοπισμού φυσικής θέσης. Οι σαρωτές γραμμοκωδίκων (bar-code scanners) ή οι φάροι υπερύθρων (IR beacons) είναι τεχνολογίες που παρέχουν συμβολική πληροφορία βασιζόμενοι στην εγγύτητα με αντικείμενα με γνωστή εκ των προτέρων θέση. Παρόλα αυτά, ορισμένα συστήματα όπως το Cricket [19] μπορούν να χρησιμοποιούν είτε τη μία είτε την άλλη τεχνολογία. Η ανάλυση και η ακρίβεια των συστημάτων εντοπισμού φυσικής θέσης μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα για την συμβολική θέση.

3.2.2.Απόλυτη και σχετική θέση

Ένα σύστημα εντοπισμού απόλυτης θέσης χρησιμοποιεί ένα και μοναδικό σημείο αναφοράς για όλα τα αντικείμενα. Π.χ. οι δέκτες GPS χρησιμοποιούν το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος και το ύψος για να αναφέρουν τις θέσεις των αντικειμένων. Δύο δέκτες GPS που είναι τοποθετημένοι στην ίδια θέση θα επιστρέψουν τα ίδια αποτελέσματα. Αντιθέτως σε ένα σύστημα εντοπισμού σχετικής θέσης κάθε αντικείμενο μπορεί να έχει το δικό του σημείο αναφοράς.

Μία απόλυτη θέση μπορεί να μετατραπεί σε σχετική. Αντιθέτως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνική της τριγωνοποίησης για να καθορίσουμε μία απόλυτη θέση από δεδομένα πολλών σχετικών θέσεων. Η προϋπόθεση για να γίνει αυτό είναι να γνωρίζουμε την απόλυτη θέση των σημείων αναφοράς. Συνήθως αυτό είναι αρκετά δύσκολο καθώς τα σημεία αναφοράς είναι από μόνα τους κινητά. Έτσι η διαφοροποίηση μεταξύ της απόλυτης και της σχετικής θέσης υποδηλώνει κυρίως ποια είναι η διαθέσιμη πληροφορία και πώς το σύστημα τη χρησιμοποιεί.

3.2.3.Τοπικός υπολογισμός θέσης

Μερικά συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα το αντικείμενο να μπορεί να υπολογίζει μόνο του τη θέση του. Αυτό το μοντέλο διασφαλίζει την ιδιωτικότητα (privacy) και την ασφάλεια (security) υποθέτοντας ότι καμία άλλη οντότητα δεν γνωρίζει τη θέση του

αντικείμενου εκτός και αν το ίδιο τη δημοσιοποιήσει. Π.χ. οι δορυφόροι του συστήματος GPS δεν έχουν καμία γνώση για το ποιος χρησιμοποιεί τα σήματα που εκπέμπουν. Αντιθέτως μερικά συστήματα απαιτούν από το αντικείμενο να εκπέμπει πληροφορία σε τακτά χρονικά διαστήματα επιτρέποντας κατ' αυτόν τον τρόπο να εντοπιστεί από την εξωτερική υποδομή του συστήματος. Το σύστημα μπορεί να εντοπίζει τα αντικείμενα χωρίς να τα εμπλέκει απευθείας στον υπολογισμό. Σε αυτήν την κατηγορία εμπίπτουν τα συστήματα με γραμμοκώδικες (bar codes) και οι αναγνώστες RFID ετικετών. Εναποθέτοντας την ευθύνη για τον υπολογισμό της θέσης στην υποδομή, μειώνεται σημαντικά ο αντίστοιχος φόρτος στα κινητά αντικείμενα (laptops, PDAs, κ.α), κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.

3.2.4.Ορθότητα (accuracy) και ακρίβεια (precision)

Ένα σύστημα εντοπισμού χαρακτηρίζεται από την ορθότητα (accuracy) και την ακρίβεια (precision) που μπορεί να προσφέρει. Θα πρέπει να αναφέρει τις θέσεις με ακρίβεια από μέτρηση σε μέτρηση. Ας αναφέρουμε ένα παράδειγμα για να γίνουν πιο κατανοητές αυτές οι δύο έννοιες. Με τη χρήση φτηνών δεκτών GPS μπορούμε να εντοπίζουμε θέσεις με ορθότητα μικρότερη των 10 μέτρων για το 95% των μετρήσεων. Ακριβότεροι δέκτες έχουν καλύτερα αποτελέσματα φτάνοντας σε ορθότητα 1–3 μέτρων για το 99% των μετρήσεων. Οι αποστάσεις υποδηλώνουν την ορθότητα (accuracy) της πληροφορίας που το GPS μπορεί να προσφέρει. Τα ποσοστά υποδηλώνουν την ακρίβεια (precision) δηλαδή το πόσο συχνά (το ποσοστό του χρόνου) μπορούμε να αναμένουμε τη συγκεκριμένη ορθότητα. Προφανώς, αν δεχτούμε λιγότερη ορθότητα, μπορούμε να έχουμε περισσότερη ακρίβεια.

3.2.5.Κλίμακωση (Scaling)

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει αντικείμενα σε όλο τον κόσμο, σε μία μεγάλη περιοχή, σε ένα κτίριο ή σε ένα δωμάτιο. Επιπλέον ο αριθμός των αντικειμένων που μπορεί να εντοπίσει χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη υποδομή ή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μπορεί να είναι περιορισμένος. Για παράδειγμα το σύστημα GPS μπορεί να εξυπηρετήσει απεριόριστο αριθμό δεκτών χρησιμοποιώντας 24 κύριους δορυφόρους και 3 εφεδρικούς. Από την άλλη, μερικοί αναγνώστες RFID ετικετών δεν μπορούν να διαβάσουν περισσότερες από μια ετικέτες ταυτόχρονα.

Για να ορίσουμε το μέγεθος της κλίμακας ενός συστήματος λαμβάνουμε υπόψη μας την περιοχή κάλυψης ανά μονάδα υποδομής καθώς και τον αριθμό των αντικειμένων που το σύστημα μπορεί να εντοπίσει ανά μονάδα υποδομής ή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος παίζει σπουδαίο ρόλο διότι σε μερικά συστήματα υπάρχει περιορισμός στο εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό. Π.χ. ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα μπορεί να αντεπεξέλθει σε ένα συγκεκριμένο αριθμό επικοινωνιών πριν το κανάλι παρουσιάσει συμφόρηση. Πάνω από αυτόν το αριθμό είτε θα παρουσιαστεί καθυστέρηση στη εξαγωγή των αποτελεσμάτων, είτε θα έχουμε μείωση της ακρίβειας, διότι οι θέσεις των αντικειμένων υπολογίζονται λιγότερο συχνά.

Τα συστήματα μπορεί να εξαπλωθούν σε μεγαλύτερη κλίμακα αυξάνοντας την υποδομή τους. Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί αναγνώστες RFID ετικετών σε ένα δωμάτιο μπορεί να εξαπλωθεί και να λειτουργήσει σε ολόκληρο το κτίριο ή ακόμα και σε μία μεγαλύτερη περιοχή που περιλαμβάνει αρκετά κτίρια. Το εμπόδιο για την κλιμάκωση ενός συστήματος δεν έγκειται μόνο στο κόστος των υποδομών αλλά και στη δημιουργία κατάλληλου ενδιάμεσου λογισμικού (middleware) που απαιτείται για τη λειτουργία του.

3.2.6.Αναγνώριση

Για εφαρμογές που απαιτούν την αναγνώριση ή την κατάταξη των αντικειμένων σε κατηγορίες ώστε να λάβουν συγκεκριμένες αποφάσεις βασιζόμενες στη θέση τους, χρειάζεται ένας αυτόματος μηχανισμός αναγνώρισης. Συστήματα όπως το GPS δεν έχουν κανένα μηχανισμό για να αναγνωρίζουν μεμονωμένους δέκτες. Αντιθέτως συστήματα όπως οι αναγνώστες γραμμοκωδίκων μπορούν να αναγνωρίσουν τα αντικείμενα και να τα κατατάξουν. Τέτοιου είδους συστήματα έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν μερικά μόνο χαρακτηριστικά. Π.χ. οι κάμερες αναγνώρισης μπορούν εύκολα να ξεχωρίσουν το χρώμα ή το σχήμα ενός αντικειμένου αλλά δεν μπορούν να ξεχωρίσουν μεμονωμένα άτομα.

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για να μπορούν τα συστήματα να παρέχουν την δυνατότητα αναγνώρισης είναι η ανάθεση στα αντικείμενα ενός μοναδικού αναγνωριστικού (ID). Όταν λοιπόν ένα αντικείμενο αποκαλύψει την ταυτότητα του, τότε το σύστημα μπορεί να ανατρέξει σε βάσεις δεδομένων και να ανακτήσει πληροφορίες που σχετίζονται με αυτό, όπως το όνομα του, τον τύπο του, κτλ.[20].

3.2.7.Κόστος

Μπορούμε να εκτιμήσουμε το κόστος ενός συστήματος με διαφορετικούς τρόπους. Στο γενικό κόστος περιλαμβάνονται ο χρόνος που χρειάζεται για την εγκατάσταση αλλά και τη διαχείρισή του, ο χώρος που απαιτείται και το μέγεθος των δομικών μονάδων του, το κεφάλαιο για την αγορά του εξοπλισμού αλλά και τις αμοιβές του προσωπικού που διαχειρίζεται το σύστημα. Στο σύστημα GPS ένας δέκτης κοστίζει περίπου \$100 και είναι το μόνο κόστος για κάποιον που θέλει να έχει πληροφορία για τη θέση του. Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί φάρους υπερύθρων (IR beacons), για να εκπέμπει τα αναγνωριστικά των δωματίων ενός κτιρίου, απαιτεί ένα φάρο για κάθε δωμάτιο. Σε αυτήν την περίπτωση και η υποδομή αλλά και το αντικείμενο που εντοπίζεται συμβάλει στο γενικό κόστος.

3.2.8.Περιορισμοί

Μερικά συστήματα δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε συγκεκριμένο περιβάλλον. Για παράδειγμα, ένας περιορισμός του GPS είναι η αδυναμία του να εντοπίζει αντικείμενα σε εσωτερικούς χώρους. Μερικά συστήματα ανάγνωσης ετικετών (tagging systems) δεν μπορούν να διαβάσουν ταυτόχρονα πάνω από μία ετικέτα λόγω της χρήσης κοινής συχνότητας που έχει σαν αποτέλεσμα τις παρεμβολές. Γενικά μπορούμε να προσδιορίσουμε τους περιορισμούς ενός συστήματος εντοπισμού θέσης αν εξετάσουμε τις υποκείμενες τεχνολογίες που χρησιμοποιεί.

3.3. Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε τις κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους και περιγράφουμε τα χαρακτηριστικά τους.

3.3.1.Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LANs)

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο είναι ένα επικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται ως επέκταση ή εναλλακτική λύση ενός κοινού ενσύρματου δικτύου (Ethernet) επιτρέποντας στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων με ρυθμούς που φτάνουν μέχρι και τα 54 Mbps. Το σημαντικότερο πρότυπο των ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless Local Area Network-WLAN) είναι σήμερα το IEEE 802.11, επίσης γνωστό ως «Wi-Fi» που λειτουργεί στη ζώνη ISM των 2.4 Ghz ή στη ζώνη των 5GHz.

Υπάρχουν διάφορα υπο-πρότυπα στην οικογένεια 802.11 με κυριότερα τα 802.11a, 802.11b και 802.11g. Το 802.11b είναι το παλαιότερο, το 802.11a έπεται και το 802.11g είναι το πιο πρόσφατο. Διαφέρουν ως προς την συχνότητα που χρησιμοποιούν και τις επιδόσεις που έχουν.

Οι χαμηλού κόστους σταθμοί βάσης (access points) ενός ασύρματου δικτύου εγκαθίστανται εύκολα στην κτιριακή υποδομή, παρέχοντας ασύρματη πρόσβαση σε εκείνες τις συσκευές που είναι εξοπλισμένες με μια ασύρματη κάρτα δικτύου (ασύρματος προσαρμογέας-wireless adapter). Η τεχνολογία των ασύρματων τοπικών δικτύων χρησιμοποιείται από διάφορα συστήματα εντοπισμού (προσδιορισμού) θέσης που μετρούν την ισχύ του σήματος των σταθμών βάσης (Received Signal Strength-RSS) για να εντοπίσουν έναν χρήστη.

3.3.2. Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα νέο ασύρματο πρότυπο δικτύωσης που λειτουργεί στη ζώνη ISM των 2.4 Ghz. Έναντι του Wi-Fi, ο ρυθμός μετάδοσης που παρέχει είναι χαμηλότερος (1 Mbps), και η εμβέλειά του είναι μικρότερη. Αποτελεί ένα βιομηχανικό ορισμό για τα Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα (Personal Area Networks-PANs) και παρέχει ένα τρόπο επικοινωνίας ανάμεσα σε συσκευές όπως PDAs, κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, προσωπικούς υπολογιστές, εκτυπωτές καθώς και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Το Bluetooth υποστηρίζει, εκτός από το IP πρωτόκολλο, διάφορες άλλες υπηρεσίες δικτύωσης. Επιτρέπει τις απευθείας συνδέσεις από συσκευή προς συσκευή (point to point), καθώς και την ταυτόχρονη σύνδεση έως και 7 συσκευών με τη χρήση μιας μοναδικής συχνότητας. Εκτός από τις προαναφερθέντες συσκευές υπάρχουν επίσης και οι ετικέτες Bluetooth. Είναι μικροί πομποδέκτες και σαν οποιαδήποτε άλλη συσκευή Bluetooth, κάθε ετικέτα έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό (ID) που το εκπέμπει περιοδικά. Ένας αναγνώστης (reader) Bluetooth που διαβάζει αυτές τις εκπομπές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίσει μια ετικέτα καθιστώντας έτσι δυνατό τον εντοπισμό της θέσης του χρήστη που την φέρει.

3.3.3. RFID

Η RFID (Radio Frequency IDentification) αποτελεί μία σύγχρονη τεχνολογία ηλεκτρονικής ταυτοποίησης. Στηρίζεται στη χρήση ραδιοκυμάτων και επιτρέπει την αυτόματη αναγνώριση ανθρώπων ή, κατά κύριο λόγο, αντικειμένων τα οποία φέρουν

RFID tags (ετικέτες που ενσωματώνουν μικροεπεξεργαστή και κεραία). Οι ετικέτες μπορούν να ανιχνευθούν αυτόματα από σταθερούς ή φορητούς αναγνώστες (RFID tag readers), χωρίς να είναι απαραίτητη η σάρωση του κάθε μεμονωμένου αντικειμένου. Η κεραία επιτρέπει στο μικροεπεξεργαστή να μεταφέρει τις πληροφορίες αναγνώρισης στον αναγνώστη, ο οποίος με τη σειρά του μετατρέπει τα ραδιοκύματα που "αντανακλώνται" από την ετικέτα RFID σε ψηφιακές πληροφορίες (βλ. Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Σύστημα RFID.

Τα συστήματα RFID χρησιμοποιούν πολλές διαφορετικές συχνότητες, αλλά γενικά οι πλέον συνηθισμένες είναι: η χαμηλή συχνότητα (περίπου 125KHz), η υψηλή συχνότητα (13,56MHz) και η υπερ-υψηλή συχνότητα ή UHF (860-960MHz). Σε μερικές εφαρμογές χρησιμοποιείται και η μικροκυματική συχνότητα των 2,4GHz.

3.3.4.Υπέρυθρη ακτινοβολία

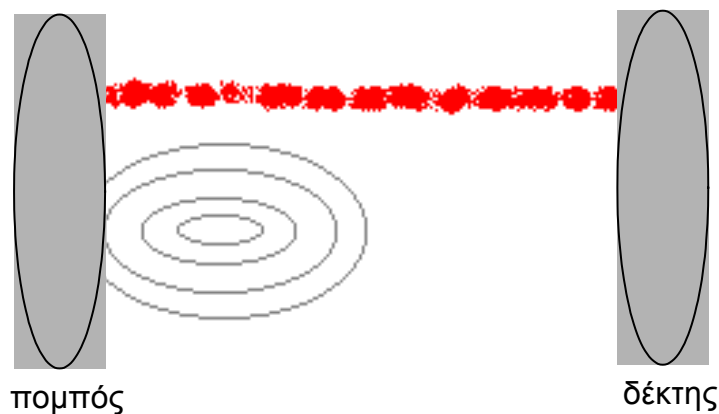
Η υπέρυθρη ακτινοβολία (infrared radiation - IR) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος (750nm - 1mm) από αυτό του ορατού φωτός. Πολλές συσκευές όπως PDAs, κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές, έχουν ενσωματωμένη θύρα υπερέθρων και υποστηρίζουν ασύρματη επικοινωνία (μικρών αποστάσεων) μέσω της υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας πρότυπα όπως το IRDA.

Οι φάροι υπερέθρων (IR Beacons) είναι συσκευές που μπορούν να προγραμματιστούν να εκπέμπουν περιοδικά (π.χ. κάθε δευτερόλεπτο) το μοναδικό αναγνωριστικό τους στο υπέρυθρο φάσμα. Αντλούν την ενέργειά τους από μια μπαταρία ή από εξωτερική πηγή. Συνήθως, η εμβέλεια τους είναι περίπου 10-20 μέτρα και ο δέκτης πρέπει να έχει οπτική επαφή με το φάρο προκειμένου να διαβάσει το αναγνωριστικό του, αν και μερικές φορές αυτό δεν είναι απαραίτητο λόγω των αντανακλάσεων που εμφανίζονται στα εσωτερικά

περιβάλλοντα. Οι φάροι εγκαθίστανται στην υποδομή ενός κτιρίου και χρησιμοποιούνται για εντοπισμό (συμβολικής) θέσης.

3.3.5.Υπερηχητικά σήματα

Τα υπερηχητικά σήματα (ή απλά υπέρηχοι) είναι μια δόνηση σε συχνότητα επάνω από το όριο της ανθρώπινης ακοής, συνήθως >20 kHz. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για να λάβουν και να διαβιβάσουν ένα τέτοιο σήμα λέγονται μετατροπείς (transducers). Οι περισσότεροι λειτουργούν στις συχνότητες μεταξύ των 40 kHz και των 250 kHz. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση απόστασης. Γενικά ενσωματώνουν έναν αισθητήρα που μπορεί να λάβει ή να εκπέμψει ένα υπερηχητικό σήμα και έναν άλλο αισθητήρα αποστολής RF (ή IR) σημάτων ο οποίος χρησιμοποιείται για συγχρονισμό (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5: Σύστημα υπέρηχων.

Η λειτουργία ενός συστήματος που βασίζεται σε υπερηχητικά σήματα περιγράφεται παρακάτω. Ο πομπός στέλνει ταυτόχρονα μια σύντομη ριπή από υπερηχητικά σήματα και μία ριπή RF (ή IR). Η ριπή από RF (ή IR) φθάνει στο δέκτη πριν από το υπερηχητικό σήμα καθώς ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός. Στη συνέχεια ο δέκτης μετρά το χρόνο που χρειάζεται το υπερηχητικό σήμα να φθάσει και υπολογίζει την απόσταση ξέροντας την ταχύτητα του ήχου στο μέσο (αέρας). Έτσι μπορούμε να ξέρουμε την απόσταση του χρήστη (ο οποίος φέρει έναν πομπό ή δέκτη) από ένα ή περισσότερα γνωστά σημεία και χρησιμοποιώντας την τεχνική της τριγωνοποίησης υπολογίζουμε την θέση του.

3.4. Συστήματα εντοπισμού θέσης

Στην ενότητα αυτή περιγράφουμε αναλυτικά τα υπάρχοντα συστήματα εντοπισμού θέσης (εμπορικά και ερευνητικά) και τα ταξινομούμε ανάλογα με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους. Όταν μελετάμε την υλοποίηση των συστημάτων αυτών ανακύπτει μια σειρά θεμάτων που έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με την τεχνική και τις διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, την ακρίβειά των ενδείξεων τους, το κόστος τους, τους περιορισμούς που υπεισέρχονται κ.α. Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά και ιδιότητες μπορούμε να μελετήσουμε τα ερευνητικά αλλά και τα εμπορικά συστήματα εντοπισμού θέσης που είναι αντιπροσωπευτικά του χώρου. Οι παρακάτω ενότητες παρουσιάζουν αναλυτικά τα συστήματα. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους συνοψίζονται επίσης στο Παράρτημα Α΄

3.4.1.Active Badge

Το Active Badge [21] είναι το πρώτο σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους που αναπτύχθηκε στο Olivetti Research Laboratory. Αποτελείται από ένα σύστημα κυψελοειδούς εγγύτητας που χρησιμοποιεί τεχνολογία διάχυσης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Κάθε άτομο που εντοπίζεται από το σύστημα φέρει πάνω του μία μικρή αναγνωριστική κονκάρδα (badge). Η κονκάρδα εκπέμπει ένα μοναδικό καθολικό αναγνωριστικό (global ID) περιοδικά κάθε 10 δευτερόλεπτα ή κατ' απαίτηση (on demand). Ένας κεντρικός εξυπηρέτης συγκεντρώνει αυτήν την πληροφορία μέσω σταθερών αισθητήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας (σταθμοί βάσεις) που είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο. Στη συνέχεια την επεξεργάζεται και παρέχει μία προγραμματιστική διεπαφή (API) για την χρησιμοποίησή της από εφαρμογές. Η κονκάρδα και ο σταθμός βάσης διακρίνονται στην Εικόνα 3.6.

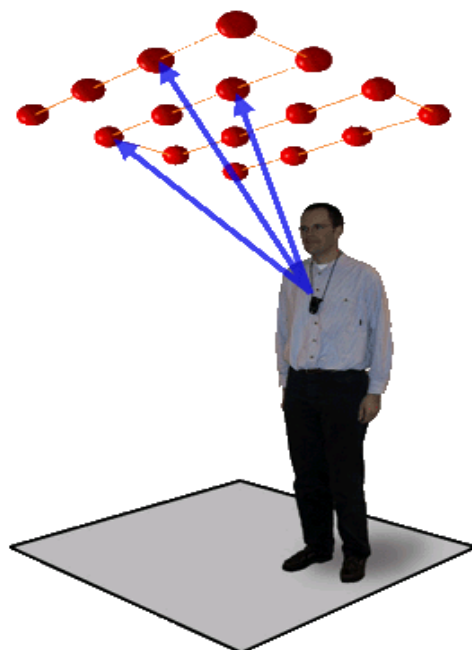


Εικόνα 3.6: Σταθμός βάσης και κονκάρδα Active Badge.

Το Active Badge παρέχει απόλυτη και όχι σχετική πληροφορία θέσης. Η θέση ενός ατόμου που φέρει την αναγνωριστική κονκάρδα είναι επίσης συμβολική απεικονίζοντας π.χ. το δωμάτιο ή κάποιον άλλο χώρο που βρίσκεται το άτομο. Όπως και με κάθε άλλο σύστημα που χρησιμοποιεί υπέρυθη ακτινοβολία έτσι και το Active Badge έχει δυσκολία στο να λειτουργήσει σε μέρη όπου υπάρχουν λαμπτήρες φθορισμού ή απευθείας ηλιακή ακτινοβολία, καθώς αυτές οι πηγές φωτός παράγουν υπέρυθη ακτινοβολία και δημιουργούνται παρεμβολές. Επίσης ένας άλλος περιορισμός είναι ότι η ακτινοβολία έχει ορισμένη ακτίνα διάδοσης και δεν διαδίδεται μέσα από τοίχους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να περιορίζονται οι κυψέλες του συστήματος σε ένα μικρό δωμάτιο. Σε μεγαλύτερα δωμάτια μπορεί να χρησιμοποιηθούν παραπάνω από ένας σταθμοί βάσης.

3.4.2.Active Bat

Οι ερευνητές στα εργαστήρια της AT&T έχουν αναπτύξει σχετικά πρόσφατα το σύστημα εντοπισμού θέσης Active Bat [17] που χρησιμοποιεί υπερήχους για να εντοπίσει τη θέση ατόμων ή αντικειμένων που φέρουν πάνω τους μία ειδική ετικέτα (tag). Η ετικέτα αυτή εκπέμπει ένα παλμό υπερήχων σε ένα πλέγμα από δέκτες (αισθητήρες) που βρίσκονται τοποθετημένοι στην οροφή όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.7. Το σύστημα διαθέτει επίσης αρκετούς τοπικούς και έναν κεντρικό ελεγκτή οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τις αιτήσεις εντοπισμού θέσης που στέλνονται προς τις ετικέτες αλλά και τους διάφορους υπολογισμούς. Η λειτουργία του συστήματος περιγράφεται παρακάτω.



Εικόνα 3.7: Σύστημα Active Bat.

Την ίδια στιγμή που ο ελεγκτής στέλνει με ραδιοκύματα στην ετικέτα ένα πακέτο αίτησης για τον εντοπισμό της, στέλνει επίσης ένα σήμα συγχρονισμού στους δέκτες υπερήχων χρησιμοποιώντας την ενσύρματη υποδομή του κτιρίου. Η ετικέτα όταν λάβει το πακέτο αίτησης εκπέμπει έναν παλμό υπέρηχων. Κάθε δέκτης μετράει το χρόνο από τη στιγμή που έφτασε το σήμα συγχρονισμού μέχρι να φτάσει ο παλμός υπερήχων από την ετικέτα. Ο τοπικός ελεγκτής στη συνέχεια προωθεί τις μετρήσεις στον κεντρικό ελεγκτή, ο οποίος εκτελεί τους κατάλληλους υπολογισμούς για τον προσδιορισμό της θέσης του ατόμου ή του αντικειμένου. Παράλληλα ο ελεγκτής εκτελεί και διαδικασίες οι οποίες ελαχιστοποιούν την πιθανότητα λαθών στη εκτίμηση της απόστασης από τυχών ανακλάσεις των υπερήχων.

Κάθε ετικέτα έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό (ID) και το σύστημα μπορεί να τις εντοπίζει με ακρίβεια 9 cm για το 95 % των μετρήσεων. Μπορεί επίσης να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με τον προσανατολισμό αν έχει γνώση για το αντικείμενο που φέρει την ετικέτα.

Χρησιμοποιώντας τους υπερήχους για τον εντοπισμό της θέσης απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός από αισθητήρες (δέκτες) που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην οροφή. Έτσι, η κλιμάκωση, η ευκολία εγκατάστασης αλλά και το κόστος αποτελούν τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του συστήματος Active Bat.

3.4.3.Motion Star

Η ηλεκτρομαγνητισμός προσφέρει μια κλασική μέθοδο εντοπισμού θέσης [22]. Το μεγαλύτερο κομμάτι της έρευνας και τα προϊόντα που υποστηρίζουν την εικονική πραγματικότητα (virtual reality) και την αντίληψη της κίνησης (motion capture) ενσαρκώνουν αυτή την τεχνολογία. Ένα τέτοιο σύστημα, το MotionStar DC magnetic tracker [23]., διακρίνεται στην Εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8 Σύστημα Motion Star.

Αυτό το σύστημα παράγει μαγνητικούς παλμούς μέσω μιας κεραίας που βρίσκεται σε σταθερή θέση και υπολογίζει τη θέση και τον προσανατολισμό των κινητών κεραίων με διάφορες μετρήσεις των μαγνητικών παλμών. Οι μετρήσεις αυτές εκτελούνται πάντα σε συνδυασμό με τη σταθερή επίδραση του γήινου μαγνητικού πεδίου. Το σύστημα παρέχει μεγάλη ορθότητα (accuracy), της τάξης του 1 mm, και ακρίβεια (precision) για το 100% του χρόνου. Παρόλα αυτά όμως έχει και αρκετά μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος καθώς και η μείωση της απόδοσης με την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων στο χώρο. Επίσης, η κλιμάκωσή του δεν είναι ικανοποιητική.

3.4.4.Cricket

Το σύστημα εντοπισμού θέσης Cricket [19] χρησιμοποιεί πομπούς υπερήχων στην υποδομή, ενώ οι δέκτες υπερήχων βρίσκονται στα αντικείμενα τα οποία εντοπίζονται. Αυτή η προσέγγιση αναγκάζει τους δέκτες να εκτελούν όλους τους υπολογισμούς για την εκτίμηση της θέσης τους (τριγωνοποίηση). Το Cricket χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για τον συγχρονισμό, αλλά και για να ορίσει τον χρόνο μέσα στον οποίο ένας υπέρηχος

είναι έγκυρος. Το σύστημα μπορεί να λάβει έναν υπέρηχο εκτός του χρόνου που ορίζεται. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποια ανάκλαση και έτσι αγνοείται.

Ένας αλγόριθμος επιτρέπει πολλούς πομπούς υπερήχων να βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Κάθε πομπός εκπέμπει με ραδιοκύματα μία ακολουθία στην οποία περιγράφει την περιοχή που καλύπτει. Το Cricket χρησιμοποιεί ραδιοκύματα και υπερήχους όπως και το Active Bat με τη διαφορά όμως ότι δεν απαιτεί ένα πλέγμα από δέκτες στην οροφή, αλλά οι δέκτες βρίσκονται στα αντικείμενα και εκτελούν τοπικά τους υπολογισμούς που απαιτούνται για την τριγωνοποίηση. Το σύστημα έχει ακρίβεια που κυμαίνεται σε 4X4 τετραγωνικά πόδια μέσα σε ένα δωμάτιο. Είναι σαφώς μικρότερη από την ακρίβεια που προσφέρει Active Bat.

Στα πλεονεκτήματα του Cricket συγκαταλέγονται η ιδιωτικότητα (privacy) και η κλιμάκωση ενώ τα μειονεκτήματα του είναι η έλλειψη κεντρικού ελέγχου και διαχείρισης καθώς και ο αριθμός των υπολογισμών που εκτελούνται στους κινητούς δέκτες κάνοντας τους έτσι πολυπλοκότερους και οδηγώντας τους σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

3.4.5.RADAR

Το RADAR [18] αναπτύχθηκε από τη Microsoft και βασίζεται στην τεχνολογία IEEE 802.11 WaveLAN. Το σύστημα μετράει στο σταθμό βάσης την ισχύ του σήματος που στέλνουν οι ασύρματες συσκευές και χρησιμοποιεί αυτήν την πληροφορία για να υπολογίσει τη θέση τους μέσα σε ένα κτίριο. Ο υπολογισμός της θέσης γίνεται στις δύο και όχι στις τρεις διαστάσεις. Η Microsoft έχει αναπτύξει δύο εκδόσεις του συστήματος. Η μία χρησιμοποιεί την τεχνική της ανάλυσης σκηνών (scene analysis) και η άλλη την τεχνική της τριγωνοποίησης με την μέτρηση αποστάσεων (lateration). Το RADAR έχει δύο πλεονεκτήματα: απαιτεί μικρό αριθμό σταθμών βάσης και χρησιμοποιεί την ίδια υποδομή που χρησιμοποιείται για την ασύρματη δικτύωση του κτιρίου. Έχει όμως και δύο μειονεκτήματα. Το πρώτο, είναι ότι τα αντικείμενα που εντοπίζονται θα πρέπει να υποστηρίζουν τεχνολογία WLAN. Το δεύτερο είναι η δυσκολία στην ανάπτυξη του συστήματος να υποστηρίζει εντοπισμό θέσης στις τρεις διαστάσεις.

Η πρώτη έκδοση του συστήματος (scene analysis) έχει ορθότητα 3 μέτρων και ακρίβεια 50% ενώ η δεύτερη (lateration) έχει ορθότητα 4,3 μέτρα με την ίδια ακρίβεια. Παρόλο που η ανάλυση σκηνών έχει καλύτερη ακρίβεια, αλλαγές στο περιβάλλον, όπως μετακινήσεις μεγάλου αριθμού ατόμων στα δωμάτια ή στους διαδρόμους, έχει σαν

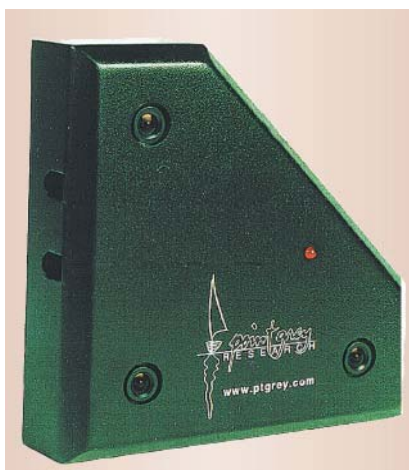
Προσδιορισμός Θέσης μέσω Σύντηξης Δεδομένων Αισθητήρων

αποτέλεσμα την ενημέρωση ή ακόμα και την εξαρχής δημιουργία της βάσης δεδομένων όπου αποθηκεύονται οι προκαθορισμένες «σκηνές» για ανάλυση.

Εκτός από το RADAR πολλές εταιρίες όπως η WhereNet (<http://www.widata.com>) και η Pinpoint (<http://www.pinpointco.com>) έχουν αναπτύξει και πωλούν παρόμοια συστήματα (3DiD).

3.4.6. Easy Living

Το σύστημα Easy Living [24] (επίσης της Microsoft) παρέχει πληροφορία θέσης χρησιμοποιώντας τρισδιάστατες στερεοσκοπικές κάμερες (Digiclops) σαν αυτές που φαίνονται στην Εικόνα 3.9. Συνήθως στα συστήματα οπτικής αναγνώρισης χρησιμοποιούνται κάμερες υψηλών επιδόσεων. Παρόλα αυτά απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς για να επεξεργαστούν την εικόνα που λαμβάνουν οι κάμερες.



Εικόνα 3.9: Digiclops 3D κάμερα.

3.4.7. Smart Floor

Η λειτουργία του Smart Floor [25] βασίζεται σε ειδικούς αισθητήρες πίεσης οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στο δάπεδο ενός δωματίου και αντιλαμβάνονται το βάδισμα των ατόμων. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των ατόμων. Το πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι δεν απαιτείται από τα άτομα να φέρουν πάνω τους ειδική ετικέτα. Τα μειονεκτήματα του είναι η δυσκολία στην κλιμάκωση αλλά και το μεγάλο κόστος διότι το δάπεδο κάθε κτιρίου πρέπει να αλλαχθεί κατάλληλα ώστε να εγκατασταθούν οι αισθητήρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η πλειοψηφία των συστημάτων εκτίμησης θέσης που περιγράφηκαν προηγουμένως χρησιμοποιεί μία μόνο τεχνολογία για τον εντοπισμό του χρήστη. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής και χρησιμοποιεί πολλαπλές τεχνολογίες και τεχνικές σύντηξης δεδομένων για τον προσδιορισμό θέσης (εντοπισμό).

4.1. Γενική αρχιτεκτονική του συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1. Όπως φαίνεται, διαιρείται σε τρία επίπεδα (στρώματα):

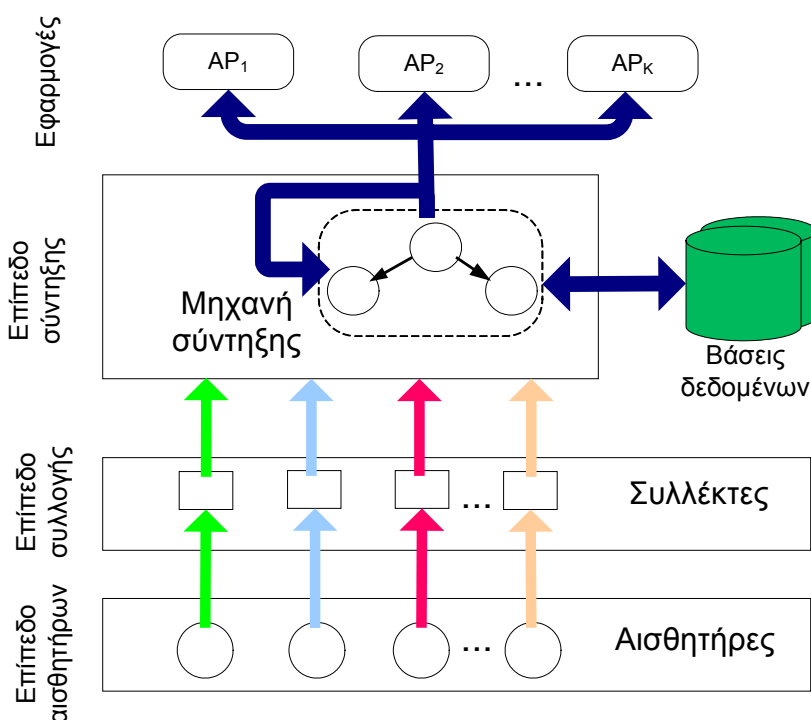
1. το επίπεδο των αισθητήρων,
2. το επίπεδο της συλλογής των δεδομένων και
3. το επίπεδο της σύντηξης των δεδομένων.

Στην Εικόνα 4.1 απεικονίζονται επίσης οι εφαρμογές υπηρεσιών θέσης (location-aware applications) που εκμεταλλεύονται την πληροφορία θέσης των χρηστών με σκοπό να τους παράσχουν υπηρεσίες (location based services). Έχοντας μία τέτοια πληροφορία οι εφαρμογές αυτές μπορούν να εκτελούν εργασίες στο παρασκήνιο με σκοπό πάντα να ελαχιστοποιήσουν την απόσπαση της προσοχής των χρηστών (η αρχή της αορατότητας του διάχυτου υπολογισμού).

Οι βάσεις δεδομένων που διακρίνονται στην εικόνα αποτελούν μέσα αποθήκευσης του προσωπικού προφίλ των χρηστών και των ιστορικών στοιχείων (δεδομένων) της συμπεριφοράς τους. Ένα σύστημα διάχυτου υπολογισμού πρέπει συχνά να έχει πρόσβαση στο προφίλ και τις προτιμήσεις ενός χρήστη προκειμένου να παρασχεθούν υπηρεσίες και πληροφορίες που προσαρμόζονται σ' αυτόν. Κάθε χρήστης χαρακτηρίζεται από μερικές ιδιότητες (π.χ. όνομα, ηλικία, φύλο, e-mail, κ.λ.π.) και έχει διάφορες προτιμήσεις. Τα ιστορικά δεδομένα της κίνησης των χρηστών είναι επίσης πολύ σημαντικό στοιχείο για τον προσδιορισμό της παρούσας θέσης του.

Η στρωματοποιημένη προσέγγιση της αρχιτεκτονικής στοχεύει στη διευκόλυνση της προσθήκης νέων στοιχείων (access points, φάρων, κτλ.). Είναι προφανές ότι η προσθήκη παραπάνω στοιχείων βελτιώνει την ορθότητα και την ακρίβεια που μπορεί να

προσφέρει το σύστημα. Στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου παρέχουμε μια λεπτομερέστερη περιγραφή της αρχιτεκτονικής και εξετάζουμε αναλυτικά το ρόλο του κάθε επιπέδου.



Εικόνα 4.1: Αρχιτεκτονική του συστήματος προσδιορισμού θέσης.

4.2. Επίπεδο αισθητήρων

Το επίπεδο των αισθητήρων είναι το χαμηλότερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Όπως το όνομά του υποδηλώνει, αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για την συλλογή των ανεπεξέργαστων δεδομένων (raw data) που θα χρησιμοποιηθούν στην διαδικασία προσδιορισμού θέσης των χρηστών. Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητη μία κατηγοριοποίηση των συσκευών που συναντούμε σε εσωτερικά περιβάλλοντα (σταθμοί βάσης, φάροι, ετικέτες RFID, κλπ.) με σκοπό την κατανόηση της λειτουργίας τους αλλά και την ενσωμάτωσή τους στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική.

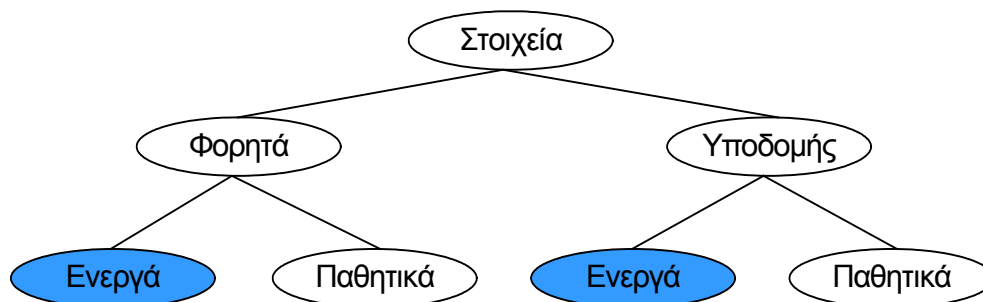
4.2.1. Κατηγοριοποίηση

Όλα τα στοιχεία (οι συσκευές) των διαφορετικών τεχνολογιών που αναφέρονται στην ενότητα 3.3 (Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης), μπορούν να βρεθούν σε εσωτερικούς χώρους, είτε εγκατεστημένα στην κτιριακή υποδομή (building infrastructure), είτε προσαρτημένα σε κινητές συσκευές, είτε φερόμενα από τον ίδιο το χρήστη (π.χ. στα

ρούχα του). Μερικά από αυτά εκπέμπουν πληροφορίες (δεδομένα) και άλλα ανιχνεύουν (διαβάζουν) πληροφορίες. Ανάλογα λοιπόν με τη θέση στην οποία βρίσκονται και τη λειτουργία τους τα στοιχεία αυτά μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

1. Φορητά στοιχεία ονομάζονται αυτά που φέρονται από τους χρήστες (πάνω στα ρούχα τους) ή είναι προσαρτημένα στις κινητές συσκευές τους. Σε αυτή την κατηγορία εμπίπτουν οι ετικέτες RFID, οι προσαρμογείς (κάρτες) Wi-Fi, οι θύρες υπερύθρων, κλπ.
2. Στοιχεία υποδομής είναι αυτά που είναι εγκατεστημένα σε σταθερά (γνωστά σημεία) ενός κτιρίου. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι σταθμοί βάσης (access points), οι φάροι υπερύθρων (IR beacons), οι αναγνώστες RFID ετικετών, κλπ.
3. Ενεργά στοιχεία είναι αυτά που ανιχνεύουν ένα φαινόμενο ή κάνουν μία μέτρηση. Στοιχεία αυτής της κατηγορίας είναι οι αναγνώστες RFID ετικετών, οι κάρτες Wi-Fi, κλπ.
4. Παθητικά στοιχεία ονομάζονται τα στοιχεία που εκπέμπουν πληροφορίες οι οποίες ανιχνεύονται από τα ενεργά στοιχεία. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι σταθμοί βάσης Wi-Fi, οι φάροι υπερύθρων, οι Bluetooth ετικέτες, κλπ.

Η Εικόνα 4.2 παρουσιάζει σχηματικά την κατηγοριοποίηση που μόλις περιγράψαμε. Είναι εμφανές ότι ένα στοιχείο υποδομής παραδείγματος χάριν μπορεί να είναι ενεργό ή παθητικό. Το ίδιο συμβαίνει και με τα φορητά στοιχεία. Τα ενεργά στοιχεία είναι αυτά που αποκαλούνται και «αισθητήρες». Το χαμηλότερο επίπεδο λοιπόν της αρχιτεκτονικής του συστήματος αποτελείται από αισθητήρες, είτε αυτοί είναι φορητοί, είτε είναι εγκατεστημένοι στην υποδομή. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε μερικούς από τους βασικούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία προσδιορισμού θέσης.



Εικόνα 4.2: Κατηγοριοποίηση στοιχείων.

4.2.2. Φορητοί αισθητήρες

Ένας προσαρμογέας (adapter) Wi-Fi, που παρέχει ασύρματη πρόσβαση στους χρήστες και είναι ενσωματωμένος σχεδόν σε όλους τους νέους φορητούς υπολογιστές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για να μετρήσει τη λαμβανόμενη ισχύ του σήματος (RSS) από ένα σταθμό βάσης Wi-Fi (παθητικό στοιχείο υποδομής). Ένα τέτοιος αισθητήρας λοιπόν ρυθμίζεται κατάλληλα και ανά τακτά χρονικά διαστήματα μπορεί επίσης να παρέχει δεδομένα που αποτελούνται από παρατηρήσεις (μετρήσεις) όλων των διαθέσιμων σταθμών βάσης που βρίσκονται στην περιοχή.

Ομοίως, η θύρα υπερύθρων (IR port) μιας φορητής συσκευής χρησιμοποιείται ως αναγνώστης (reader) για τις εκπομπές των φάρων υπερύθρων που είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο. Οι φάροι, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο εκπέμπουν το αναγνωριστικό τους. Ο αισθητήρας (θύρα υπερύθρων) σε αυτή την περίπτωση δεν μετράει κάποιο μέγεθος αλλά αντιλαμβάνεται ένα γεγονός (το γεγονός ότι βρίσκεται στην εγγύτητα ενός φάρου).

Για να εκτελεστούν οι παραπάνω διαδικασίες από τους αισθητήρες (μετρήσεις, κτλ) θα πρέπει αυτοί να συνοδεύονται απαραίτητα από το αντίστοιχο λογισμικό (drivers). Εκτός από την «ενσωματωμένη» έκδοση του προσαρμογέα Wi-Fi και της θύρας IR, αυτοί οι αισθητήρες θα μπορούσαν να προστεθούν επίσης στη συσκευή μέσω μιας κάρτας ή μέσω της θύρας USB παρέχοντας τις ίδιες πληροφορίες.

4.2.3. Αισθητήρες υποδομής

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι αναγνώστες ετικετών RFID οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο. Μπορούν να εντοπίζουν ετικέτες και να διαβάζουν το αναγνωριστικό τους όταν αυτές βρίσκονται κοντά (τεχνική της εγγύτητας). Οι χρήστες φέρουν πάνω τους τέτοιες ετικέτες (φορητά παθητικά στοιχεία) οι οποίες έχουν μοναδικό αναγνωριστικό που σχετίζεται με τον κάτοχο τους. Ένας τέτοιος αισθητήρας λοιπόν, αντιλαμβάνεται ένα γεγονός (παρουσία του χρήστη).

Διαφορετική είναι η λειτουργία μίας συσκευής υπερηχητικών σημάτων. Η συσκευή αυτή εκτελεί μετρήσεις αποστάσεων από γνωστά σημεία του χώρου, οπότε η πληροφορία που μας παρέχει δεν είναι ένα απλό γεγονός αλλά μία αριθμητική μέτρηση. Η εκτίμηση της απόστασης μπορεί να προκύψει είτε με την αντανάκλαση των υπερηχητικών σημάτων πάνω στο χρήστη, είτε με τη διαδικασία που περιγράψαμε στην ενότητα 3.3.5,

κατά την οποία και ο χρήστης φέρει πάνω του μία παρόμοια συσκευή υπερηχητικών σημάτων.

Επίσης, οι αναγνώστες Bluetooth που εντοπίζουν εκπομπές από ετικέτες Bluetooth (φορητά παθητικά στοιχεία) ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Η λειτουργία αυτών των αναγνωστών μπορεί να είναι πιο περίπλοκη καθώς μπορούν να κάνουν μετρήσεις λαμβανόμενης ισχύος (στη ζώνη των 2.4 GHz) αλλά και να αντιλαμβάνονται την παρουσία κάποια ετικέτας. Ανάλογα με τον τύπο και την κατασκευή τους οι συσκευές αυτές ρυθμίζονται κατάλληλα ώστε να παρέχουν πληροφορίες με τη μία ή την άλλη μορφή, ή ακόμα και με τις δύο.

4.3. Επίπεδο συλλογής δεδομένων

Το επίπεδο αυτό αποτελείται από συστατικά λογισμικού (software components) που ονομάζονται συλλέκτες (collectors). Για κάθε αισθητήρα υπάρχει και ο αντίστοιχος συλλέκτης. Έτσι έχουμε έναν συλλέκτη Wi-Fi, έναν Bluetooth συλλέκτη, κ.ο.κ. Ο κύριος ρόλος ενός τέτοιου συστατικού είναι η αλληλεπίδραση του με τον υποκείμενο αισθητήρα (ενεργό στοιχείο) για τον οποίο είναι υπεύθυνο. Η αλληλεπίδραση αυτή περιλαμβάνει τη συλλογή των διαθέσιμων μετρήσεων ή γεγονότων.

Οι αισθητήρες όπως αναφέρθηκε προηγουμένως μπορεί να παράγουν δεδομένα που εξαρτώνται από τον τύπο και τη λειτουργία τους. Όταν αυτά τα δεδομένα φτάνουν στο επίπεδο της συλλογής, ακολουθούν δύο διαδικασίες που έχουν σαν σκοπό την ενοποίηση τους σε μία κοινή μορφή για την διευκόλυνση της περαιτέρω επεξεργασίας τους. Οι διαδικασίες αυτές (*προεπεξεργασία δεδομένων και δημιουργία διανυσμάτων*) περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες δύο ενότητες.

4.3.1. Προεπεξεργασία δεδομένων

Ας υποθέσουμε ότι μία νέα μέτρηση σήματος φτάνει από τον προσαρμογέα Wi-Fi. Τότε ο αντίστοιχος συλλέκτης (Wi-Fi collector) κβαντίζει την ληφθείσα τιμή σε N διακριτές στάθμες (levels):

$$(S_1, S_2 \dots S_N)$$

Αν για παράδειγμα η ισχύς από το σταθμό βάσης (access point) με αναγνωριστικό AP2 είναι μεταξύ -70 dBm και -60 dBm τότε προσδίδεται σε αυτόν το σταθμό βάσης (παθητικό στοιχείο υποδομής) η τιμή " S_1 ".

Πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι ο αριθμός των σταθμών (levels) εξαρτάται από τα όρια εκπομπής του σταθμού βάσης και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Αναλόγως των συνθηκών μπορούμε να προσαρμόσουμε τον αριθμό των σταθμών αλλά και το εύρος τους ώστε να επιτύχουμε μία ικανοποιητική λειτουργία του αισθητήρα αλλά και να λαμβάνουμε δεδομένα που αντικατοπτρίζουν την πραγματική εικόνα της ισχύος εκπομπής.

Ας αναλύσουμε τώρα την λειτουργία ενός συλλέκτη IR Beacon (φάρου υπερύθρων). Κατά τη διαδικασία της προεπεξεργασίας λειτουργεί με έναν διαφορετικό και πιο απλό τρόπο από τον συλλέκτη Wi-Fi. Οι δύο καταστάσεις που μπορεί να βρίσκεται ένας φάρος υπερύθρων είναι:

(Visible, Not_Visible)

δηλαδή ορατός και μη ορατός, ανάλογα με τη θέση που βρισκόμαστε. Ας υποθέσουμε ότι ένας δέκτης υπερύθρων (φορητό ενεργό στοιχείο) βρίσκεται στην εμβέλεια ενός φάρου με αναγνωριστικό *IRB3*. Η κατάσταση αυτή θα προξενήσει ένα γεγονός εγγύτητας (proximity event) που θα ανιχνευθεί και έτσι ο συλλέκτης θα προσδώσει στο φάρο την τιμή “Visible” που σημαίνει ότι είναι ορατός. Ένας συλλέκτης RFID αναγνωστών έχει παρόμοια λειτουργία σε αυτή τη φάση καθώς αυτοί οι αναγνώστες εντοπίζουν επίσης γεγονότα εγγύτητας (proximity events).

Σε αυτό το στάδιο μπορεί να εκτελεστεί και μία εξομάλυνση (smoothing) των τιμών που λαμβάνουμε από τους αισθητήρες. Οι ξαφνικές αλλαγές στις τιμές μπορεί να οφείλονται σε πολλούς παράγοντες όπως ο θόρυβος του περιβάλλοντος, η ταχύτητα μετακίνησης και ο προσανατολισμός του χρήστη, κάποια βλάβη στους αισθητήρες, κ.α. Ένα τέτοιο γεγονός μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένα συμπεράσματα για το ποια πραγματικά είναι η τιμή της μέτρησης, κάτι το οποίο θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην διαδικασία προσδιορισμού της θέσης του χρήστη. Αυτά τα δυσάρεστα αποτελέσματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την εφαρμογή ενός φίλτρου το οποίο επιτρέπει την εξομάλυνση των τιμών (π.χ. ένα φίλτρο Kalman).

4.3.2. Δημιουργία διάνυσματος δεδομένων

Μετά την προεπεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων που φθάνουν από το επίπεδο των αισθητήρων, κάθε συλλέκτης (collector) σχηματίζει ένα διάνυσμα του τύπου:

διάνυσμα = (user_ID, IE_ID, value)

όπου το πεδίο *user_ID* είναι το μοναδικό αναγνωριστικό (identifier) ενός χρήστη, το πεδίο *IE_ID* είναι το μοναδικό χαρακτηριστικό ενός στοιχείου υποδομής και το πεδίο *value* είναι μία μέτρηση ή ένα γεγονός.

Για παράδειγμα, ένας συλλέκτης Wi-Fi μπορεί να σχηματίσει το παρακάτω διάνυσμα:

$$\text{διάνυσμα1} = (\text{userA}, \text{AP1}, \text{S1})$$

που υποδηλώνει ότι ο προσαρμογέας Wi-Fi (φορήτο ενεργό στοιχείο) του κινητού υπολογιστή του χρήστη με αναγνωριστικό *userA*, μετράει την ισχύ του σήματος (RSS) από το σταθμό βάσης με αναγνωριστικό *AP1* (παθητικό στοιχείο υποδομής) και μετά την προεπεξεργασία η κβαντισμένη τιμή του σήματος είναι *S1*.

Ένα πιθανό διάνυσμα που μπορεί να σχηματιστεί από τον συλλέκτη RFID αναγνωστών (RFID reader collector) είναι το εξής:

$$\text{διάνυσμα2} = (\text{userB}, \text{RFR1}, \text{Visible})$$

Η παραπάνω έκφραση υποδηλώνει ότι μία ετικέτα RFID την οποία φέρει ο χρήστης με αναγνωριστικό *userB* βρίσκεται στην εγγύτητα του αναγνώστη RFID με αναγνωριστικό *RFR1*.

Κάθε ένα από αυτά τα διανύσματα χρονοσημαίνεται (timestamped) ούτως ώστε να προωθηθούν στο παραπάνω επίπεδο. Η χρονοσήμανση έχει ιδιαίτερη σημασία και αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία του συστήματος διότι όπως θα δείξουμε παρακάτω χωρίς αυτήν δεν θα ήταν δυνατή η αποτελεσματική σύντηξη των δεδομένων.

Παρατήρηση

Τα διανύσματα δεδομένων περιέχουν αναγνωριστικά μόνο των στοιχείων υποδομής (*IE_ID*) και όχι αναγνωριστικά των φορητών στοιχείων. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός ότι τα στοιχεία υποδομής (ενεργά ή παθητικά) βρίσκονται σε σταθερές και γνωστές θέσεις της κτιριακής υποδομής ενώ τα φορητά στοιχεία δεν έχουν μία γνωστή θέση καθώς κινούνται μαζί με τους χρήστες. Θα ήταν λοιπόν δύσκολη αλλά και ανούσια η μοντελοποίηση των φορητών στοιχείων.

4.3.3. Ένα παράδειγμα

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε ένα παράδειγμα για να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία ενός συλλέκτη και η διαδικασία που περιγράψαμε πιο πάνω. Υποθέτουμε ότι

όλα τα διαθέσιμα στοιχεία υποδομής ενός κτιρίου (τα αναγνωριστικά τους) είναι τα παρακάτω:

- *AP1, AP2* (Σταθμοί βάσης Wi-Fi)
- *IRB1* (Υπέρυθρος φάρος)
- *RFR1, RFR2* (Αναγνώστες ετικετών RFID)
- *US1, US2* (Συσκευές υπερήχων)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζουμε μερικές πιθανές εισόδους και εξόδους των συλλεκτών. Θεωρούμε ότι έχουμε ενδείξεις (μετρήσεις) μόνο από τα παρακάτω στοιχεία:

{AP1, AP2, IRB1, RFR1, US1}

Όπως φαίνεται στον πίνακα από την έξοδο των συλλεκτών παραλείψαμε το αναγνωριστικό του χρήστη και την χρονοσήμανση για λόγους ευκολίας.

Πίνακας 1: Έξοδος των συλλεκτών μετά την προεπεξεργασία και το σχηματισμό των διανυσμάτων

Συλλέκτης	Είσοδος	Έξοδος
Wi-Fi (Σταθμοί βάσης)	(AP1, -65 dBm) (AP2, -30 dBm)	AP1 = S1 AP2 = S3
Φάροι (IR Beacon)	(IRB1, γεγονός εγγύτητας)	IRB1 = Visible
Αναγνώστες RFID	(RFR1, γεγονός εγγύτητας)	RFR1=Visible
Συσκευές υπερήχων	(US1, 8 μέτρα)	US1 = D1

Έτσι λοιπόν, έως αυτό το σημείο, γνωρίζουμε τις τιμές των στοιχείων υποδομής (ενεργών και παθητικών) οι οποίες σχετίζονται με κάθε χρήστη. Στην επόμενη ενότητα (επίπεδο σύντηξης) θα περιγράψουμε πώς αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης ενός χρήστη.

4.4. Επίπεδο σύντηξης δεδομένων (data fusion)

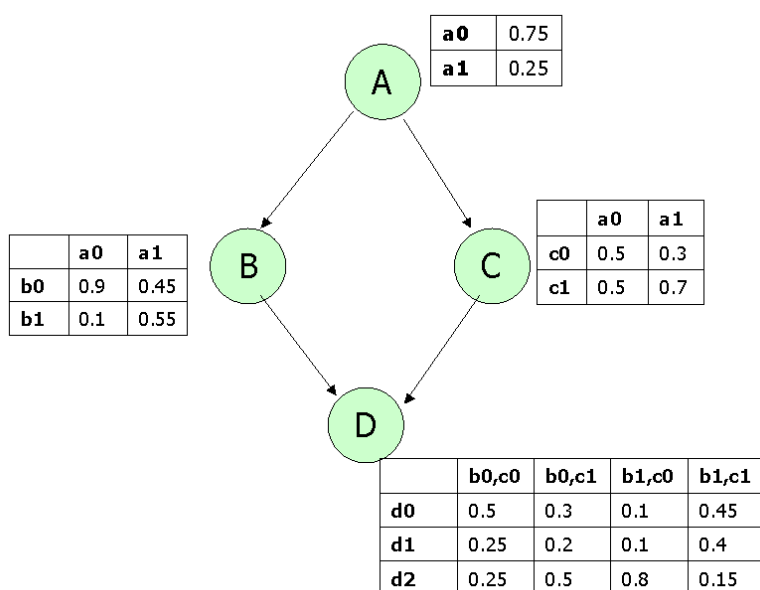
Αυτό το επίπεδο αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος όπου η διαδικασία της σύντηξης των δεδομένων λαμβάνει χώρα. Περιέχει την μηχανή σύντηξης (fusion engine) ή αλλιώς συμπερασμού η οποία βασίζεται σε ένα Δυναμικό Bayesian Δίκτυο (DBN). Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τις βασικές έννοιες των Bayesian και Δυναμικών Bayesian Δικτύων ώστε να γίνει κατανοητή η παραπάνω διαδικασία (οι [2], [26] παρουσιάζουν μια πληρέστερη εισαγωγή στα συγκεκριμένα δίκτυα). Έπειτα προσαρμόζουμε στο σύστημά μας τα τελευταία (DBN).

4.4.1. Bayesian δίκτυα

Τα Bayesian δίκτυα (Bayesian Networks - BN) είναι ένα στατιστικό εργαλείο που έχει γίνει πολύ δημοφιλές τα τελευταία χρόνια σε περιοχές όπως και η πιθανοτική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη. Είναι κατάλληλα για πρόβλεψη (prediction) και συμπερασμό (inference) διότι μοντελοποιούν αιτιώδης επιδράσεις (causal influences) μεταξύ τυχαίων μεταβλητών.

Ένα Bayesian δίκτυο (Εικόνα 4.3) αποτελείται από δύο μέρη:

Το πρώτο μέρος είναι ένας κατευθυνόμενος ακυκλικός γράφος (directed acyclic graph-DAG). Οι κόμβοι (nodes) του γράφου αναπαριστούν μεταβλητές (π.χ., τυχαίες συνεχείς ή διακεκριμένες μεταβλητές), ενώ οι σύνδεσμοι (arcs) που ενώνουν τους κόμβους αναπαριστούν μια πιθανοτική σχέση μεταξύ αυτών των μεταβλητών.



Εικόνα 4.3: Bayesian Δίκτυο (γράφος και πιθανοτικές κατανομές).

Αν υπάρχει σύνδεσμος από τον κόμβο A προς τον κόμβο B τότε λέμε ότι ο B επηρεάζεται άμεσα από τον A και ο A είναι πατέρας (ή άμεσος πρόγονος) του B ¹. Οι άμεσοι πρόγονοι ενός κόμβου X συμβολίζονται ως $Parents(X)$. Στο δίκτυο της Εικόνας 4.3 είναι:

$$Parents(D) = \{B, C\}$$

Ένα άλλο χαρακτηριστικό ενός Bayesian δικτύου είναι ότι κάθε κόμβος του είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητος (conditionally independent) από οποιονδήποτε άλλον, δεδομένων των άμεσων προγόνων του.

Π.χ. για το δίκτυο της Εικόνας 4.3 ισχύει:

$$P(D | A, B, C) = P(D | B, C)$$

Το δεύτερο μέρος ενός Bayesian δικτύου αποτελείται από ένα σύνολο υπό συνθήκη πιθανοτικών κατανομών (conditional probability distributions) που σχετίζονται με κάθε κόμβο του δικτύου (κάθε τυχαία μεταβλητή). Αυτές οι κατανομές περιγράφουν την πιθανότητα όλων των αποτελεσμάτων μιας τυχαίας μεταβλητής, δεδομένων όλων των πιθανών τιμών των άμεσων προγόνων της. Οι παράμετροι αυτών των κατανομών προσδιορίζονται με βάση ήδη υπάρχοντα στατιστικά στοιχεία και δεδομένα στα οποία εφαρμόζονται τεχνικές μάθησης (Bayesian Network learning techniques) [27].

Ο κατευθυνόμενος ακυκλικός γράφος και οι πιθανοτικές κατανομές μαζί ορίζουν την από κοινού πιθανοτική κατανομή (joint probability distribution). Έτσι γενικά για ένα Bayesian δίκτυο που έχει τους εξής κόμβους:

$$X_1, X_2, \dots, X_N,$$

η από κοινού πιθανοτική κατανομή (ή αλλιώς από κοινού πιθανότητα) περιγράφεται σαν το γινόμενο των επιμέρους πιθανοτικών κατανομών:

$$P[X_i | Parents(X_i)] \text{ για } i=1 \dots N$$

Αν το X δεν έχει προγόνους τότε η πιθανοτική κατανομή του λέγεται ότι είναι απόλυτη (unconditional). Η από κοινού πιθανοτική κατανομή για το δίκτυο της Εικόνας 4.3 υπολογίζεται ως εξής:

$$P(A, B, C, D) = P(A) * P(B | A) * P(C | A) * P(D | B, C)$$

Μπορούμε να δούμε ότι οι σχέσεις ανεξαρτησίας μας επιτρέπουν να παρουσιάσουμε αυτήν την κατανομή με μια πιο συμπαγή μορφή. Εδώ οι κόμβοι (μεταβλητές) είναι λίγοι,

¹ Μία άλλη έκφραση που χρησιμοποιείται είναι ότι ο A αποτελεί το αίτιο και ο B το αποτέλεσμα.

αλλά γενικά, εάν είχαμε n δυαδικούς κόμβους, ο υπολογισμός της πλήρους από κοινού πιθανότητας (full joint probability) θα απαιτούσε χώρο $O(2^n)$. Έχοντας όμως γνώση των εξαρτήσεων μεταξύ των μεταβλητών απαιτείται χώρος $O(n2^k)$, όπου το k είναι το μέγιστο fan-in (μέγιστος αριθμών εισόδων) ενός κόμβου. Έτσι λοιπόν γίνεται κατανοητό ότι η χρησιμοποίηση ενός Bayesian δικτύου πλεονεκτεί σε σχέση με τις παραδοσιακές πιθανοτικές μεθόδους διότι δεν είναι απαραίτητος ο υπολογισμός όλων των πιθανοτήτων για να ληφθεί μία απόφαση.

Πως γίνεται όμως μία πρόβλεψη ή ένας συμπερασμός με τη χρήση ενός τέτοιου δικτύου; Ας επανέλθουμε στο δίκτυο που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.3. Θεωρούμε ότι κάποια χρονική στιγμή θέλουμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα η μεταβλητή D να πάρει την τιμή $d1$, δεδομένου ότι γνωρίζουμε τις τιμές των υπόλοιπων τριών μεταβλητών. Οι τιμές αυτές ονομάζονται επίσης και παρατηρήσεις (observations). Είναι λοιπόν:

$$\text{παρατηρήσεις} = \{A=a0, B=b1, C=c0\}.$$

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως για τις σχέσεις ανεξαρτησίας μεταξύ των μεταβλητών ενός Bayesian δικτύου για τον υπολογισμό της εν λόγω πιθανότητας θα έχουμε:

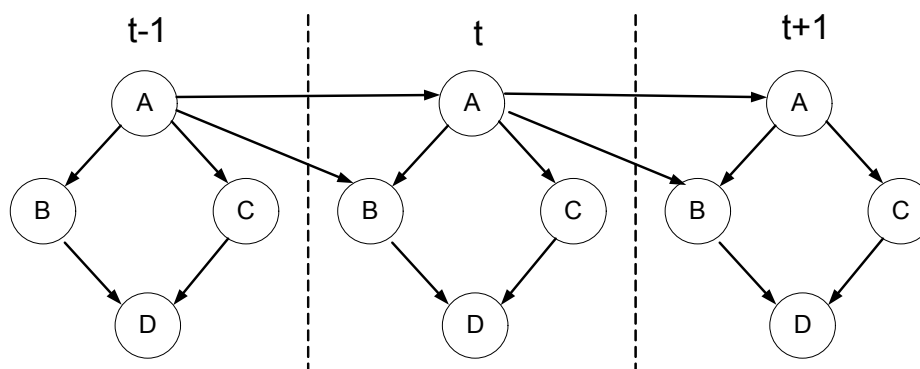
$$P(D=d1 | A=a0, B=b1, C=c0) = \alpha * P(A=a0) * P(B=b1 | A=a0) * P(C=c0 | A=a0) * P(D=d1 | B=b1, C=c0)$$

όπου το α παίζει το ρόλο του παράγοντα κανονικοποίησης. Αν αντικαταστήσουμε τις τιμές που έχουμε στις πιθανοτικές κατανομές κάθε μεταβλητής (βλ. πίνακες δίπλα σε κάθε κόμβο) τότε είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την ζητούμε πιθανότητα.

Τα Bayesian δίκτυα αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μοντελοποίηση της γνώσης σε τομείς όπως η ιατρική, η μηχανική, η σύντηξη δεδομένων, τα συστήματα λήψης αποφάσεων, κ.α. Χρησιμοποιούνται εκτενώς σε διαδικασίες πρόβλεψης και συμπερασμού καταστάσεων.

4.4.2. Δυναμικά Bayesian δίκτυα

Τα Δυναμικά Bayesian Δίκτυα (Dynamic Bayesian Networks - DBN) είναι μία ειδική κατηγορία Bayesian δικτύων που απεικονίζουν ένα προσωρινό μοντέλο πιθανοτήτων και επαναλαμβάνονται στο χρόνο. (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Δυναμικό Bayesian Δίκτυο (εξέλιξη στο χρόνο).

Οι τυχαίες μεταβλητές (κόμβοι) ενός DBN σε μια χρονική στιγμή t επηρεάζονται άμεσα και από μεταβλητές προηγούμενων χρονικών στιγμών ($t-1, t-2, \dots$). Συνήθως όμως για απλότητα υποθέτουμε ότι οι γονείς ενός κόμβου είναι στην ίδια ή στην προηγούμενη χρονοθυρίδα ($t-1$) (αλυσίδα Markov 1^{ης} τάξης). Στο δίκτυο της Εικόνας 4.4 η τυχαία μεταβλητή A τη χρονική στιγμή $t-1$ είναι άμεσος πρόγονος των τυχαίων μεταβλητών A και B τη χρονική στιγμή t .

Γενικά ότι ισχύει για τα απλά (στατικά) Bayesian δίκτυα (πιθανοτικές κατανομές, από κοινού πιθανότητα, κτλ,) ισχύει και για τα Δυναμικά Bayesian δίκτυα με τη μόνη διαφορά ότι σε αυτά υπάρχει χρονική εξέλιξη. Πρέπει να τονίσουμε επίσης ότι ο όρος «δυναμικά» δεν υποδηλώνει την αλλαγή της δομής του δικτύου (δηλαδή του γράφου και των εξαρτήσεων μεταξύ των κόμβων) η οποία παραμένει πάντα σταθερή. Υπάρχουν βέβαια και δίκτυα στα οποία αλλάζει η δομή τους με την πάροδο του χρόνου αλλά δεν θα επεκταθούμε σε αυτά.

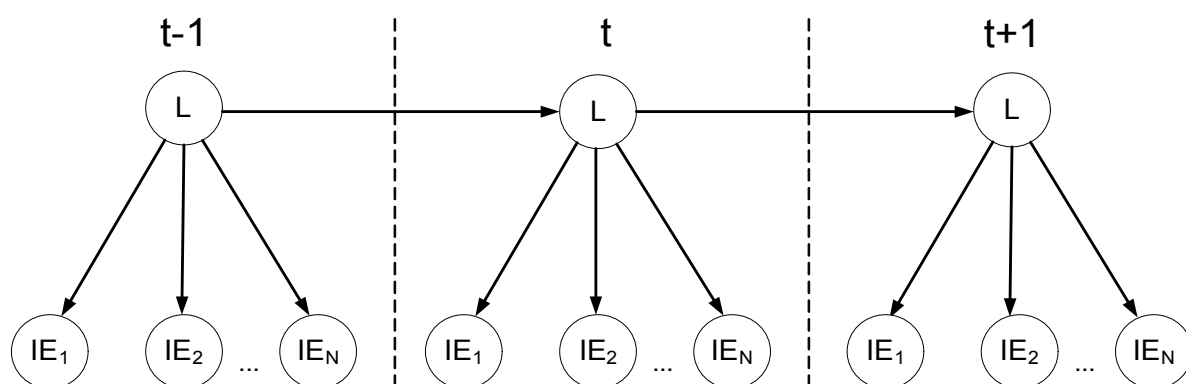
4.4.3. Ενσωμάτωση ενός DBN στο σύστημα

Ας επανέλθουμε τώρα στην περιγραφή της διαδικασίας σύντηξης. Το Δυναμικό Bayesian δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα προσδιορισμού θέσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5. Όπως φαίνεται οι διακριτές τυχαίες μεταβλητές (κόμβοι) που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του είναι:

- η θέση L του χρήστη, η οποία μπορεί να πάρει τιμές από ένα σύνολο K προκαθορισμένων θέσεων $\{L1, L2, \dots, LK\}$. Βέβαια, αυτό το σύνολο μπορεί να

αποτελείται και από συμβολικές θέσεις π.χ. $\{room1, room2, corridorA, entrance, \dots\}$.

- τα N στοιχεία υποδομής IE_1, IE_2, \dots, IE_N . Το πεδίο ορισμού αυτών των τυχαίων μεταβλητών εξαρτάται από τον τύπο τους. Για παράδειγμα ένας σταθμός βάσης (access point) μπορεί να πάρει τιμές $\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ ανάλογα με την ισχύ του σήματος που λαμβάνουμε. Ένας φάρος υπερύθρων μπορεί να πάρει τιμές από το σύνολο $\{Visible, Not_Visible\}$ ανάλογα με το αν είμαστε μέσα στην εμβέλειά του ή όχι. Αντίστοιχες τιμές με τον φάρο λαμβάνει και ένας αναγνώστης ετικετών RFID. (βλ. ενότητα 4.3)



Εικόνα 4.5: Δυναμικό Bayesian Δίκτυο του συστήματος.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε αναλυτικά το δίκτυο της παραπάνω εικόνας, τις εξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών και θα αναφέρουμε τους λόγους που καταλήξαμε σε μία τέτοια δομή.

Η τυχαία μεταβλητή L (θέση) τη χρονική στιγμή t , $L^{(t)}$, επηρεάζεται άμεσα από την τυχαία μεταβλητή L (θέση) τη χρονική στιγμή $t-1$, $L^{(t-1)}$. Έτσι η μεταβλητή $L^{(t-1)}$ είναι το αίτιο και η μεταβλητή $L^{(t)}$ είναι το αποτέλεσμα. Τα παραπάνω εκφράζονται μαθηματικά ως εξής:

$$L^{(t-1)} = \text{Parent}(L^{(t)})$$

Αυτό είναι λογικό καθότι η θέση ενός χρήστη εξαρτάται από την προηγούμενη θέση του (τη χρονική στιγμή $t-1$). Η πληροφορία αυτή μας δίνει τη δυνατότητα να αποκλείσουμε

μερικές υποψήφιες θέσεις για το που μπορεί να βρίσκεται κάποιος, λόγω της αδυναμίας μετάβασης μεταξύ δύο θέσεων για ένα μέσο χρήστη σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Επίσης οι τιμές που λαμβάνουμε από τους αισθητήρες τη χρονική στιγμή t εξαρτώνται από τη θέση $L^{(t)}$. Δηλαδή, η θέση μας επηρεάζει τις τιμές που μπορεί να έχουν τα στοιχεία υποδομής. Για παράδειγμα η ισχύς του σήματος που μετράμε από ένα σταθμό βάσης, εξαρτάται από το πού βρισκόμαστε (κοντά, μακριά).

Οι πιθανοτικές κατανομές που σχετίζονται με κάθε κόμβο του δικτύου προσδιορίζονται με τεχνικές μάθησης (learning) Bayesian δικτύων. Συγκεκριμένα για κάθε στοιχείο υποδομής ($IE1, IE2, \dots, IEN$) προσδιορίζουμε την πιθανοτική κατανομή $P(IEi | L)$. Αυτό επιτυγχάνεται αν λάβουμε υπόψη τις σταθερές θέσεις των στοιχείων, τα μοντέλα διάδοσης των ραδιοκυμάτων και της υπέρυθρης ακτινοβολίας σε εσωτερικούς χώρους, το χρόνο διάδοσης και τις ανακλάσεις των υπερήχων, την εμβέλεια των συστημάτων RFID, κτλ.

Μία πιο απλή τεχνική μάθησης, η οποία ακολουθήθηκε και στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, είναι η μέθοδος της δειγματοληψίας. Σε κάθε προκαθορισμένη θέση του χώρου $\{L1, L2, \dots, LK\}$, εκτελούμε δειγματοληψία για κάποιο χρονικό διάστημα και προσδιορίζουμε τις τιμές των στοιχείων υποδομής λαμβάνοντας μετρήσεις με τη βοήθεια των αισθητήρων. Ανάλογα με την συχνότητα εμφάνισης των τιμών αυτών είμαστε σε θέση να δημιουργήσουμε τους πίνακες που απεικονίζουν τις κατανομές. Η τεχνική αυτή ονομάζεται επίσης και *Maximum Likelihood Estimation* [28].

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζουμε μία τέτοια κατανομή που δημιουργήθηκε ύστερα από δειγματοληψία. Το στοιχείο υποδομής αποτελεί ένα σταθμό βάσης (access point) με (αναγνωριστικό $AP1$) και όπως φαίνεται παρουσιάζονται οι πιθανότητες των τιμών που μπορεί να πάρει ανάλογα με την θέση του χρήστη μέσα στο κτίριο. Για παράδειγμα,

$$P(AP1=S1 | L=L1) = 0,5$$

Η παραπάνω έκφραση σημαίνει ότι η πιθανότητα το $AP1$ να έχει τιμή ισχύος σήματος (κβαντισμένη) $S1$, δεδομένου ο χρήστης βρίσκεται στην θέση $L1$, είναι 0,5.

Πίνακας 2: Πιθανοτική κατανομή τιμών για ένα σταθμό βάσης

	L_1	L_2	...
S1	0.5	0.0	...
S2	0.3	0.8	...
S3	0.1	0.2	...
...

Επιπλέον, οι πιθανοτικές κατανομές $P(L^t | L^{t-1})$ για την μετάβαση μεταξύ των θέσεων μέσα στο κτίριο δημιουργούνται αν λάβουμε υπόψη τη δομή του κτιρίου, την απόσταση μεταξύ των θέσεων και το χρόνο που κάνει ένας μέσος χρήστης για να διανύσει την κάθε απόσταση. Π.χ. είναι αδύνατο για ένα άτομο να διανύσει μία απόσταση 30 μέτρων από τη θέση A στη θέση B σε 2 μόνο δευτερόλεπτα. Άρα η πιθανότητα μετάβασης από τη θέση A στη θέση B είναι 0.

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει την πιθανοτική κατανομή μεταξύ των θέσεων ενός κτιρίου. Μπορούμε να διακρίνουμε ότι

$$P(L = L_2 | L = L_1) = 0,1$$

που σημαίνει ότι η πιθανότητα να βρισκόμαστε στη θέση L_2 δεδομένου ότι πριν βρισκόμασταν στη θέση L_1 είναι 0,1.

Πίνακας 3: Πιθανοτική κατανομή μετάβασης μεταξύ των θέσεων ενός κτιρίου

	L_1	L_2	...
L_1	0.5	0.0	...
L_2	0.1	0.8	...
L_3	0.1	0.05	...
...

4.4.4.Επερωτήσεις προσδιορισμού θέσης

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.4.1 τα Bayesian Δίκτυα χρησιμοποιούνται εκτενώς σε διαδικασίες συμπερασμού καταστάσεων. Η κατασκευή λοιπόν του Δυναμικού Bayesian Δικτύου που περιγράψαμε προηγουμένως μας δίνει τη δυνατότητα να εκτελέσουμε επερωτήσεις για να συμπεράνουμε (προσδιορίσουμε) τη θέση ενός χρήστη μέσα σε ένα κτίριο. Μία τέτοια επερωτηση θα μπορούσε να ήταν η εξής:

«Ποια είναι η θέση του χρήστη A δεδομένου της προηγούμενης του θέσης και δεδομένων των τιμών (παρατηρήσεων) των στοιχείων υποδομής;».

Για να απαντήσουμε σε αυτήν την επερωτηση υπολογίζουμε για κάθε μία από τις K θέσεις $\{L1, L2, \dots, LK\}$ την ακόλουθη υπό συνθήκη πιθανότητα:

$$P(L^{(t)} | L^{(t-1)}, O^{(t)}) \quad (1)$$

που είναι η μαθηματική αναπαράσταση της επερωτησης και υποδηλώνει γενικώς την πιθανότητα να βρίσκεσαι στη θέση $L^{(t)}$ τη χρονική στιγμή t (η ζητούμενη θέση) δεδομένου της ήδη γνωστής προηγούμενης θέσης $L^{(t-1)}$ και δεδομένων των τιμών (παρατηρήσεων) από τα N στοιχεία υποδομής τη χρονική στιγμή t , $O^{(t)}$. Για λόγους ευκολίας ορίζουμε:

$$O^{(t)} = \{IE_1^{(t)}, IE_2^{(t)}, \dots, IE_N^{(t)}\} \quad (2)$$

Γενικά, η από κοινού πιθανότητα δύο ενδεχομένων $E1$ και $E2$ προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$P(E_1, E_2) = P(E_1) * P(E_2 | E_1)$$

η οποία μπορεί να εκφραστεί και σαν:

$$P(E_2 | E_1) = \frac{P(E_1, E_2)}{P(E_1)} \quad (3)$$

Έτσι από τη (1) και λαμβάνοντας υπόψη την (3) έχουμε:

$$P(L^{(t)} | L^{(t-1)}, O^{(t)}) = \frac{P(L^{(t)}, L^{(t-1)}, O^{(t)})}{P(L^{(t-1)}, O^{(t)})} \quad (4)$$

Καθώς ο παρονομαστής της (4) δεν εξαρτάται από την τυχαία μεταβλητή $L^{(t)}$, μπορεί να θεωρηθεί σαν παράγοντας κανονικοποίησης. Μπορούμε να αντικαταστήσουμε τον παρονομαστή με $1/a$ και από την (4) θα λάβουμε:

$$P(L^{(t)} | L^{(t-1)}, O^{(t)}) = a * P(L^{(t)}, L^{(t-1)}, O^{(t)}) \quad (5)$$

Λαμβάνοντας επίσης υπόψη ότι κάθε μεταβλητή (κόμβος) του Δυναμικού Bayesian Δικτύου που χρησιμοποιήσαμε στο σύστημά μας είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητη δεδομένων των άμεσων προγόνων της, μπορούμε να υπολογίσουμε την από κοινού πιθανότητα (joint probability) που εμφανίζεται στο δεξιό μέρος της (5). Άρα έχουμε,

$$P(L^{(t)}, L^{(t-1)}, O^{(t)}) = P(L^{(t)} | L^{(t-1)}) * P(O^{(t)} | L^{(t)}) \quad (6)$$

Αν τώρα συνδυάσουμε τις (4), (5) και (6) λαμβάνουμε την παρακάτω σχέση:

$$P(L^{(t)} | L^{(t-1)}, O^{(t)}) = a * P(L^{(t)} | L^{(t-1)}) * P(O^{(t)} | L^{(t)}) \quad (7)$$

Ο παράγοντας κανονικοποίησης a μπορεί να υπολογιστεί εύκολα καθώς όλες οι πιθανότητες (οι πιθανότητες για όλες τις K θέσεις) πρέπει να αθροίζονται στο 1. Οπότε είναι:

$$\sum_{i=1}^K P(L_i^{(t)} | L^{(t-1)}, O^{(t)}) = a * \sum_{i=1}^K P(L_i^{(t)} | L^{(t-1)}) * P(O^{(t)} | L_i^{(t)}) = 1 \quad (8)$$

Τελικά από τις (2), (7) και (8) λαμβάνουμε:

$$P(L^{(t)} | L^{(t-1)}, O^{(t)}) = \frac{P(L^{(t)} | L^{(t-1)}) * P(IE_1^{(t)} | L^{(t)}) * \dots * P(IE_N^{(t)} | L^{(t)})}{\sum_{i=1}^K P(L_i^{(t)} | L^{(t-1)}) * P(IE_1^{(t)} | L_i^{(t)}) * \dots * P(IE_N^{(t)} | L_i^{(t)})} \quad (9)$$

Οι πιθανοτικές κατανομές $P(IE_i | L)$ και $P(L^{(t)} | L^{(t-1)})$ που εμφανίζονται στην παραπάνω σχέση είναι γνωστές από τη διαδικασία μάθησης του δικτύου (learning), έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε τις πιθανότητες για κάθε θέση $\{L1, L2, \dots, LK\}$. Το πρόβλημα του προσδιορισμού της θέσης του χρήστη είναι να βρούμε εκείνη τη θέση L_i , όπου η πιθανότητα μεγιστοποιείται δηλαδή,

Προσδιορισμός Θέσης μέσω Σύντηξης Δεδομένων Αισθητήρων

$$\max\{P(L_i^{(t)} | L^{(t-1)}, O^{(t)})\}$$

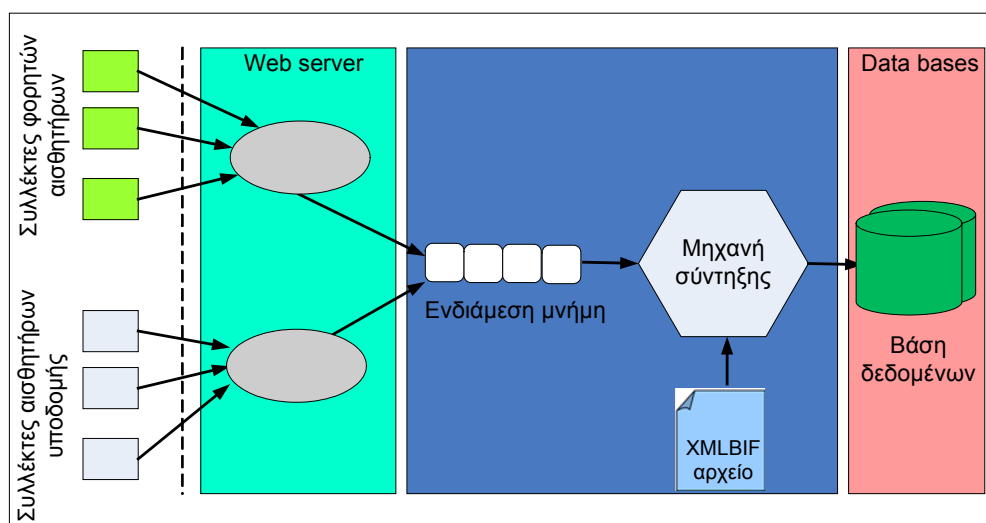
Η θέση με τη μέγιστη πιθανότητα αποθηκεύεται στην βάση δεδομένων και το προφίλ του χρήστη ενημερώνεται. Μετά από αυτό το σύστημα προχωράει στον επόμενο προσδιορισμό (συμπερασμό) λαμβάνοντας υπόψη την προηγούμενη θέση του χρήστη και τις τρέχουσες τιμές των στοιχείων υποδομής $\{IE1, IE2, \dots, IEN\}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράψαμε την γενική αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος προσδιορισμού θέσης. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τις τεχνικές λεπτομέρειες της υλοποίησής του. Επίσης αναφερόμαστε στη ροή των πληροφοριών και τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των δομικών στοιχείων (structure elements) του συστήματος. Τέλος, περιγράφουμε τη διαδικασία κατά την οποία μία εφαρμογή υπηρεσιών θέσης (location aware application) αιτείται πληροφορίες (θέσης) από το σύστημα για συγκεκριμένους χρήστες και συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

5.1. Γενική δομή του συστήματος

Η Εικόνα 5.1 παρουσιάζει τη γενική δομή του συστήματος όπως αυτό υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.



Εικόνα 5.1: Δομή του συστήματος.

Στην εικόνα διακρίνονται οι συλλέκτες των αισθητήρων που αποστέλλουν τα δεδομένα στο σύστημα, ένας web server που χρησιμοποιείται για την συγκέντρωση αυτών των δεδομένων, η μηχανή σύντηξης και η βάση δεδομένων που αποθηκεύονται οι θέσεις των χρηστών. Στις επόμενες ενότητες θα περιγράψουμε λεπτομερέστερα τα επιμέρους συστατικά της δομής καθώς και τη λειτουργία τους.

5.1.1. Συλλέκτες δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο οι συλλέκτες (collectors) των αισθητήρων (ενεργών στοιχείων) είναι συστατικά λογισμικού τα οποία μετά την επεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων σχηματίζουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα διανύσματα του τύπου:

$$\text{διάνυσμα} = (\text{userID}, \text{IE_ID}, \text{value}).$$

Συνήθως οι συλλέκτες, όταν πρόκειται για φορητούς αισθητήρες, εκτελούνται στην κινητή συσκευή του χρήστη. Ανάλογα με τον τύπο της συσκευής (PDA, laptop, κτλ.) υπάρχει ειδική έκδοση για κάθε συλλέκτη, η οποία εγκαθίσταται πάντα με τη συγκατάθεση του χρήστη που έχει δώσει το δικαίωμα στο σύστημα να γνωρίζει τη θέση του. Εννοείται βέβαια ότι η συσκευή έχει ασύρματη σύνδεση ούτως ώστε να μπορεί να αποστείλει τα δεδομένα. Το ερώτημα που μένει να απαντήσουμε είναι κατά πόσο αυτές οι συσκευές έχουν τις υπολογιστικές δυνατότητες να «φιλοξενούν» τους συλλέκτες. Θα πρέπει λοιπόν να αναφέρουμε ότι οι συλλέκτες εκτελούν απλές λειτουργίες που δημιουργούν ελάχιστη επιβάρυνση. Άλλωστε οι σημερινές φορητές συσκευές έχουν αρκετές δυνατότητες (μνήμη, CPU, κτλ.) και η εξέλιξή τους προμηνύεται ελπιδοφόρα. Επιπρόσθετα, η ειδική έκδοση των συλλεκτών λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε συσκευής με σκοπό την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης πόρων.

Όταν ο αισθητήρας είναι εγκατεστημένος στην υποδομή του κτιρίου τότε ο αντίστοιχος συλλέκτης μπορεί να βρίσκεται σε κάποιο κεντροποιημένο σύστημα ελέγχου (κεντρικός ελεγκτής). Οι αισθητήρες υποδομής (αναγνώστες RFID ετικετών, συσκευές υπερήχων, κτλ.) συνήθως, όταν ο αριθμός τους είναι μεγάλος, συντονίζονται και ελέγχονται δικτυακά. Κάθε αισθητήρας έχει μία δικτυακή διεπαφή (network interface) ενσύρματη ή ασύρματη μέσω της οποίας αποστέλλει τις μετρήσεις που λαμβάνει (ή τα γεγονότα που αντιλαμβάνεται) σε ακατέργαστη μορφή στον κεντρικό ελεγκτή. Ο συλλέκτης λοιπόν μπορεί να βρίσκεται και να εκτελείται στον ίδιο χώρο με τον κεντρικό ελεγκτή. Ζητήματα επιβάρυνσης που αναφέρθηκαν προηγουμένως (φορητοί αισθητήρες) δεν υφίστανται πλέον, καθώς τα μηχανήματα που θα εκτελούνται οι συλλέκτες έχουν αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες. Βέβαια, οι λειτουργίες τους παραμένουν το ίδιο απλές. Ένας αισθητήρας υποδομής μπορεί επίσης να ελέγχεται και τοπικά, δηλαδή να έχει ενσωματωμένο ελεγκτή ή να είναι συνδεδεμένος σε κάποιον

Προσδιορισμός Θέσης μέσω Σύντηξης Δεδομένων Αισθητήρων

σταθερό υπολογιστή (π.χ. Bluetooth reader). Σε μία τέτοια περίπτωση ο συλλέκτης εκτελείται στον υπολογιστή που ελέγχει τον αισθητήρα.

Οι συλλέκτες, στο σύστημά μας υλοποιήθηκαν ως απλοί web clients οι οποίοι μετά την επεξεργασία των δεδομένων αποστέλλουν τα διανύσματα που σχηματίζουν σε έναν web server για να ακολουθήσει η διαδικασία της σύντηξης.

5.1.2. Έλεγχος και συγχώνευση δεδομένων

Στον web server, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.1, φθάνουν διανύσματα δεδομένων από συλλέκτες φορητών αισθητήρων και από συλλέκτες αισθητήρων υποδομής. Δύο ξεχωριστά συστατικά λογισμικού (software components) έχουν υλοποιηθεί στην πλευρά του server και ο ρόλος τους είναι η συλλογή των δεδομένων. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά συγχωνεύονται σε μία ενδιάμεση μνήμη (buffer) και κατ' αυτόν τον τρόπο προωθούνται στην μηχανή σύντηξης (συμπερασμού) η οποία διαβάζει την ενδιάμεση μνήμη. Η μνήμη μπορεί να υλοποιηθεί είτε ως ένα απλό αρχείο είτε σαν μία ουρά που περιέχει μηνύματα. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε ένα αρχείο το οποίο ενημερώνεται με τα νέα δεδομένα που καταφθάνουν. Σε περιπτώσεις όμως που η ροή των δεδομένων είναι αυξημένη συνίσταται η χρησιμοποίηση της ουράς μηνυμάτων.

Πριν όμως ενημερωθεί η ενδιάμεση μνήμη προηγείται μία επεξεργασία στα διανύσματα καθώς αυτά, όπως είχαμε περιγράψει, φέρουν και το πεδίο της χρονοσήμανσης (timestamp). Αυτή η επεξεργασία έχει νόημα καθώς λόγω των καθυστερήσεων που μπορούν να εμφανιστούν (υπερφορτωμένο δίκτυο, κτλ.), μερικά διανύσματα δεδομένων μπορεί να έχουν αρκετά παλιά χρονοσήμανση (old timestamp). Αυτά τα διανύσματα απορρίπτονται. Ο λόγος της απόρριψης βασίζεται στο γεγονός ότι αν ληφθούν υπόψη, τα αποτελέσματα που θα πάρουμε δεν θα είναι ακριβή διότι η πραγματική κατάσταση (θέση) των χρηστών μπορεί να έχει αλλάξει. Επίσης, υπάρχει πιθανότητα η κατάσταση και η συνθήκες που επικρατούν στο χώρο να έχουν αλλάξει, π.χ. αν ένας αισθητήρας τεθεί εκτός λειτουργίας.

5.1.3. Μηχανή σύντηξης (συμπερασμού)

Η μηχανή σύντηξης έχοντας σαν είσοδο τα διανύσματα δεδομένων που διαβάζει από την ενδιάμεση μνήμη εφαρμόζει την τεχνική που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (ενότητα 4.4) για τον υπολογισμό της μέγιστης πιθανότητας και κατ' επέκταση της θέσης που μπορεί να βρίσκεται ένας χρήστης. Τα απαραίτητα στοιχεία που

χρειάζονται επιπλέον για αυτόν τον υπολογισμό είναι η δομή του Δυναμικού Bayesian Δικτύου, οι πιθανοτικές κατανομές των τυχαίων μεταβλητών (κόμβων) και η προηγούμενη θέση του χρήστη.

Η δομή και οι πιθανοτικές κατανομές του δικτύου (βλ. ενότητα 4.4.3) αποθηκεύονται σε ένα αρχείο της μορφής XMLBIF (**X**ML-based **B**ayesNets **I**nterchange **F**ormat) που διακρίνεται στην Εικόνα 5.2. Ο κύριος σκοπός του σχήματος XMLBIF είναι η αναπαράσταση κατευθυνόμενων ακυκλικών γράφων που μεταξύ των κόμβων τους υπάρχει κάποια εξάρτηση. Το δίκτυο που χρησιμοποιήσαμε για την μοντελοποίηση της διαδικασίας σύντηξης αποτελεί ένα γράφο τέτοιας μορφής. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζουμε την XML προδιαγραφή της μορφής XMLBIF v0.3.

```
<!DOCTYPE BIF [  
  <!ELEMENT BIF ( NETWORK )*>  
    <!ATTLIST BIF VERSION CDATA #REQUIRED>  
  <!ELEMENT NETWORK ( NAME, ( PROPERTY | VARIABLE | DEFINITION )* )>  
  <!ELEMENT NAME (#PCDATA)>  
  <!ELEMENT VARIABLE ( NAME, ( OUTCOME | PROPERTY )* )>  
    <!ATTLIST VARIABLE TYPE (nature|decision|utility) "nature">  
  <!ELEMENT OUTCOME (#PCDATA)>  
  <!ELEMENT DEFINITION ( FOR | GIVEN | TABLE | PROPERTY )* >  
  <!ELEMENT FOR (#PCDATA)>  
  <!ELEMENT GIVEN (#PCDATA)>  
  <!ELEMENT TABLE (#PCDATA)>  
  <!ELEMENT PROPERTY (#PCDATA)>  
>
```

Εικόνα 5.2: Η XML προδιαγραφή της μορφής XMLBIF.

Η XML προδιαγραφή αυτή ονομάζεται αλλιώς και *Document Type Definition*, ή απλά *DTD*. Δεν θα επεκταθούμε στην λεπτομερή ανάλυση και περιγραφή της μορφής XMLBIF καθώς είναι εκτός των πλαισίων της παρούσας διπλωματικής. Περισσότερες πληροφορίες είναι διαθέσιμες στο [29].

Θα παραθέσουμε όμως εδώ μόνο ένα μέρος (λόγω του όγκου) από το .xml αρχείο που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα μας.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<bif version="0.3">
- <network>
  <name>Indoor Location System</name>
  <property>DBN structure</property>
  - <variable type="nature">
    <name>Location</name>
    <property>Query</property>
    <outcome>floor0_roomI9</outcome>
    <outcome>floor0_corridorA</outcome>
    <outcome>floor1_corridorB</outcome>
    <outcome>floor1_classroomA</outcome>
    <outcome>floor1_roomA21</outcome>
  </variable>
  - <variable type="nature">
    <name>AP1</name>
    <property>Observable</property>
    <outcome>S0</outcome>
    <outcome>S1</outcome>
    <outcome>S2</outcome>
    <outcome>S3</outcome>
  </variable>
  - <definition>
    <for>AP1</for>
    <given>Location</given>
    <property>10 10 10 10 10</property>
    <table>1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.1</table>
  </definition>
  - <variable type="nature">
    <name>AP2</name>
    <property>Observable</property>
    <outcome>S0</outcome>
    <outcome>S1</outcome>
    <outcome>S2</outcome>
    <outcome>S3</outcome>
  </variable>
  - <definition>
    <for>AP2</for>
    <given>Location</given>
    <property>10 10 10 10 10 10</property>
    <table>1.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.1 0.0 0.0 0.6 0.4 0.0 0.0 0.0 0.6 0.0 0.4</table>
  </definition>
  - <variable type="nature">
    <name>IRB1</name>
    <property>Observable</property>
    <outcome>Visible</outcome>
    <outcome>Not_Visible</outcome>
  </variable>
  - <definition>
    <for>IRB1</for>
    <given>Location</given>
    <property>10 10 10 10 10 10</property>
    <table>0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 0.0 0.0 1.0 1.0 0.0</table>
  </definition>
</network>
</bif>

```

Εικόνα 5.3: Μέρος του XMLBIF αρχείου που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του Bayesian Δικτύου.

Όπως διακρίνεται στην Εικόνα 5.3 στο αρχείο αποθηκεύονται:

- μερικές θέσεις του κτιρίου $\{floor0_room19, floor0_corridorA, floor1_corridorB, floor1_classroomA, floor1_roomA21\}$
- οι τιμές $\{S0, S1, S2, S3\}$ και τα αναγνωριστικά $\{AP1, AP2\}$ δύο σταθμών βάσης (access points),
- οι τιμές $\{Visible, Not_Visible\}$ ενός φάρου υπερύθρων (IR beacon) με αναγνωριστικό *IRB1*.
- οι αντίστοιχες υπό συνθήκη πιθανότητες που περιλαμβάνονται μεταξύ των ετικετών (tags) $\langle table \rangle$ και $\langle /table \rangle$.

Η μηχανή σύντηξης «φορτώνει» στη μνήμη τη συγκεκριμένη δομή του δικτύου κατά την αρχικοποίηση του συστήματος. Παρόλα αυτά όμως συμβουλεύεται το XMLBIF αρχείο ανά τακτά χρονικά διαστήματα για να αποκλειστεί η πιθανότητα κάποιας λανθασμένης εκτίμησης διότι τα αποθηκευμένα δεδομένα μπορεί να αλλάξουν όταν προστίθεται ένα νέο στοιχείο (π.χ. ένα access point) ή όταν ένα στοιχείο τεθεί εκτός λειτουργίας

Εκτός από την παραπάνω πληροφορία (δομή του δικτύου και πιθανοτικές κατανομές) η προηγούμενη θέση του χρήστη αποτελεί και αυτή απαραίτητο στοιχείο κατά την διαδικασία της σύντηξης. Η θέση αυτή συνήθως αποθηκεύεται προσωρινά σε μία μεταβλητή (ή ένα buffer) ώστε να χρησιμοποιηθεί στον επόμενο υπολογισμό. Θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ επίσης ότι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών υπολογισμών θέσης έχει μεγάλη σημασία για την ορθή λειτουργία του συστήματος.

Αν είναι πολύ μικρό τότε:

- α) δεν θα έχουμε αρκετά δεδομένα στη διάθεσή μας και έτσι τα αποτελέσματα που θα λάβουμε δεν θα είναι ικανοποιητικά.
- β) θα οδηγηθούμε σε υπερφόρτωση (overload) του συστήματος καθώς ο πιθανοτικός συμπερασμός είναι μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί αρκετή υπολογιστική ισχύ και μνήμη.

Αν το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών υπολογισμών είναι μεγάλο τότε:

- α) μερικά δεδομένα που λάβαμε από τους αισθητήρες θα είναι «παρωχημένα» χρονικά διότι ο χρήστης κατά πάσα πιθανότητα θα έχει μετακινηθεί.
- β) δεδομένα από τους ίδιους αισθητήρες μπορεί να είναι αντιφατικά, δημιουργώντας καταστάσεις σύγχυσης στη μηχανή σύντηξης.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι η επιλογή του χρονικού διαστήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η κινητικότητα των χρηστών, η υπολογιστική ισχύς του συστήματος, το πλήθος των αισθητήρων, κ.α. Στην περίπτωση μας επιλέξαμε χρονικό διάστημα 3 δευτερολέπτων μεταξύ δύο διαδοχικών υπολογισμών, το οποίο βέβαια μπορεί να μεταβληθεί αν π.χ. έχουμε ενδείξεις υψηλής ή χαμηλής κινητικότητας.

5.1.4.Βάση δεδομένων (location data base)

Μετά τον υπολογισμό της θέσης του χρήστη, ενημερώνεται μία βάση δεδομένων (location data base) με τη νέα θέση και το χρόνο που έγινε ο υπολογισμός. Σ' αυτήν αποθηκεύεται το αναγνωριστικό, η θέση και ο τρέχοντας χρόνος. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να έχουμε μία εικόνα για την έως τώρα κίνηση του χρήστη (tracking) μέσα στο κτίριο. Η εντολή αποθήκευσης της θέσης έχει την παρακάτω μορφή:

storeLocation (time, userID, location)

Η μορφή της βάσης που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημά μας και διάφορα αποθηκευμένα δεδομένα διακρίνονται στην παρακάτω εικόνα:

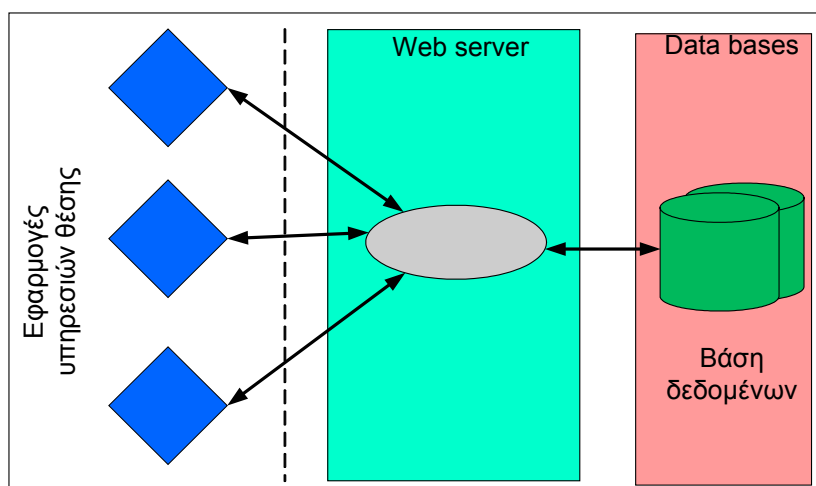
Time	User ID	Location
12:40:01	userA	floor0_room112
12:40:01	userB	floor0_room19
12:40:01	userC	floor1_roomA21
12:40:04	userA	floor0_corridorA
12:40:04	userB	floor0_corridorB
12:40:04	userC	floor1_roomA21
12:40:07	userA	floor0_corridorA
12:40:07	userB	floor0_corridorB
12:40:07	userC	floor1_corridorA
12:40:10	userA	floor0_room19
12:40:10	userB	floor0_entrance
12:40:10	userC	floor1_corridorA
....

Εικόνα 5.4: Βάση δεδομένων (Location data base).

Η βάση δεδομένων χρησιμοποιείται επίσης για την αυτόματη δημιουργία του προφίλ των χρηστών. Γενικά, κάθε χρήστης είναι ελεύθερος να μετακινείται και να πηγαίνει σε οποιαδήποτε θέση μέσα στο κτίριο. Συνήθως όμως, μερικές θέσεις έχουν μεγαλύτερη προτίμηση από κάποιες άλλες. π.χ. κάποιος θα εντοπίζεται περισσότερες φορές στο γραφείο του που βρίσκεται στο ισόγειο, παρά σε έναν διάδρομο στον πρώτο όροφο. Έχοντας λοιπόν όλη την παραπάνω πληροφορία αποθηκευμένη μπορούμε να δημιουργήσουμε για κάθε χρήστη μία κατανομή για τις προτιμήσεις του σχετικά με τη θέση.

5.2. Εφαρμογές υπηρεσιών θέσης

Μετά την περιγραφή της διαδικασίας υπολογισμού της θέσης ενός χρήστη και την αποθήκευση αυτής στη βάση δεδομένων, στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε με ποιο τρόπο οι εφαρμογές υπηρεσιών θέσης (location aware applications) ανακτούν πληροφορίες σχετικά με τους χρήστες. Η Εικόνα 5.5 εκτός από τη δομή απεικονίζει επίσης και τη ροή πληροφοριών μεταξύ των εφαρμογών αυτών και του συστήματος.



Εικόνα 5.5: Διαδικασία ανάκτησης θέσης.

Οι εφαρμογές αποστέλλουν αιτήσεις (requests) ανάκτησης θέσης σε έναν web server ο οποίος μπορεί να είναι ο ίδιος που χρησιμοποιείται και για τη συλλογή των δεδομένων από τους αισθητήρες. Στο server, υπάρχει ένα συστατικό (component) λογισμικού που εξυπηρετεί αυτές τις αιτήσεις. Το συστατικό λογισμικού επικοινωνεί με τη βάση δεδομένων, που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, μέσω ερωτημάτων μεταβιβάζοντας έτσι την αίτηση. Στη συνέχεια, μετά την επερώτηση και την ανάκτηση

των δεδομένων, επιστρέφει την πληροφορία στην αντίστοιχη εφαρμογή υπηρεσιών θέσης.

Οι τύποι των αιτήσεων που υποστηρίζει το σύστημα είναι οι εξής:

- *getLocation (userID, time)*. Όταν μία αίτηση αυτής της μορφής φθάσει στο server τότε μετά την ανάκτηση των πληροφοριών από τη βάση, επιστρέφεται στην εφαρμογή η θέση που είχε τη χρονική στιγμή *time* ο χρήστης με αναγνωριστικό *userID*.
- *getLocation (user1,user2,...,userN, time)*. Μία αίτηση αυτής της μορφής επιστρέφει στην εφαρμογή ένα πίνακα με τους χρήστες και τις αντίστοιχες θέσεις τους για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (*time*) που ορίζεται στην αίτηση.
- *getLocation (userID, time1, time2)*. Σε αυτήν την περίπτωση η εφαρμογή αιτείται την κατανομή των θέσεων του χρήστη μεταξύ των δύο χρονικών στιγμών *time1* και *time2*. Η *time1* είναι προγενέστερη της *time2*. Το σύστημα, επιστρέφει ένα πίνακα με τις συγκεκριμένες θέσεις του χρήστη (υπάρχει ένας μέγιστος αριθμός θέσεων που μπορεί να επιστραφεί).

Γενικά, οι χρονικές στιγμές που αναφέρονται στις παραπάνω αιτήσεις (*time, time1,time2*) μπορεί να υποδηλώνουν το παρόν ή το παρελθόν. Αν για κάποιον λόγο εκφράζουν μελλοντικό χρόνο τότε σαν *time, time1, ή time2* θεωρείται το παρόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Τα συστατικά λογισμικού που περιγράψαμε προηγουμένως (συλλέκτες, μηχανή σύντηξης, κτλ.) καθώς και τα στοιχεία της δομής του συστήματος (web server, XMLBIF αρχείο) υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια των παρακάτω τεχνολογιών.

- Γλώσσα προγραμματισμού Java
- Servlets
- Tomcat Web Server
- Extensible Markup Language (XML)
- Microsoft eMbedded Visual C++
- MiniStumbler

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των παραπάνω τεχνολογιών και το ιδιαίτερο ρόλο της καθεμίας στην υλοποίηση του συστήματός μας.

6.1. Γλώσσα προγραμματισμού Java

Η Java [30] είναι μία αντικειμενοστραφής (object oriented) γλώσσα προγραμματισμού που αναπτύχθηκε από τον James Gosling και τους συνεργάτες του στη Sun Microsystems στις αρχές του 1990s. Αντιθέτως με τις συμβατικές γλώσσες ο πηγαίος κώδικας (source code) της μεταγλωττίζεται σε ένα είδος ενδιάμεσου κώδικα που ονομάζεται bytecode. Ο κώδικας αυτός στη συνέχεια εκτελείται απaráλλακτος σε οποιαδήποτε μηχανή. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση της εικονικής μηχανής της Java (Java virtual machine) η οποία κάνει τη γλώσσα να είναι ανεξάρτητη πλατφόρμας (platform independent).

Η Java, καθότι αντικειμενοστραφής, έχει πολλές ομοιότητες με την C++. Αν και δανείζεται πολλά συντακτικά στοιχεία από τη C και την C++, έχει ένα πολύ απλούστερο μοντέλο αντικειμένων και δεν ασχολείται με χαμηλού επιπέδου προγραμματισμό (pointers). Επίσης, υποστηρίζει μία λειτουργία που λέγεται "garbage collection," κατά την οποία αποδεσμεύεται αυτόματα η αχρησιμοποίητη μνήμη.

Τα προγράμματα που είναι γραμμένα σε Java μπορούν να κληθούν από ιστοσελίδες ή να εκτελεστούν ανεξάρτητα (standalone). Όταν εκτελούνται μέσα από ιστοσελίδες ονομάζονται "applets." Όταν ένα πρόγραμμα εκτελείται σε έναν web server ονομάζεται

“servlet” (θα αναφερθούμε αναλυτικά σε αυτού του είδους τα προγράμματα στην επόμενη ενότητα).

Στην παρούσα εργασία η Java χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της μηχανής σύντηξης (fusion engine) καθώς και των συστατικών λογισμικού (software components) που βρίσκονται στον web server και είναι υπεύθυνα για τη συγχώνευση των δεδομένων που καταφθάνουν από τους συλλέκτες (βλ. ενότητα 5.1.2).

6.2. Servlets

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (6.1) τα servlets [31] είναι προγράμματα που εκτελούνται σε έναν web server. Αποτελούν την απάντηση της Java στον προγραμματισμό CGI (Common Gateway Interface) παρέχοντας υπηρεσίες όπως η ανάκτηση δεδομένων από βάσεις, η εξυπηρέτηση HTTP αιτήσεων, η δυναμική δημιουργία ιστοσελίδων, κ.α.

Τα servlets όμως πλεονεκτούν σε σχέση με τα CGI προγράμματα. Θα αναφέρουμε εδώ τα βασικά σημεία στα οποία διαφοροποιούνται :

- **Απόδοση.** Με το παροδοσιακό CGI, μία νέα διεργασία εκκινείται για κάθε HTTP αίτηση. Με τα servlets κάθε αίτηση εξυπηρετείται από ένα νήμα (Java thread) κάνοντας πιο αποδοτική την διαδικασία εξυπηρέτησης.
- **Ευελιξία.** Τα servlets επιτρέπουν την εκτέλεση πραγμάτων που είναι δύσκολα ή αδύνατα με το CGI. Μπορούν να επικοινωνήσουν άμεσα με τον web server και μεταξύ τους (τα CGI προγράμματα δεν μπορούν) απλοποιώντας τις διαδικασίες για αναζήτηση και διαμοιρασμό αρχείων, κτλ.
- **Φορητότητα.** Επειδή γράφονται σε Java, μπορούν να μεταφερθούν μεταξύ πλατφόρμων και λειτουργικών συστημάτων, κάτι που δεν γίνεται με τα CGI.
- **Κόστος.** Οι περισσότεροι εμπορικοί web servers (με εξαίρεση τον Apache [32] που είναι δωρεάν) είναι σχετικά ακριβοί. Ανεξαρτήτως όμως του κόστους τους, η ρύθμιση για να υποστηρίζουν servlet (εάν δεν υποστηρίζονται ήδη), είναι πολύ φθηνή διαδικασία.

Στην υλοποίηση του συστήματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιήσαμε τα servlets σε δύο περιπτώσεις. Τα συστατικά λογισμικού που είναι υπεύθυνα για την συγχώνευση των δεδομένων και εκτελούνται στο web server είναι servlets (Εικόνα 5.1).

Επίσης, τα χρησιμοποιήσαμε κατά τη διαδικασία ανάκτησης της θέσης ενός χρήστη (Εικόνα 5.5). Σε αυτήν την περίπτωση ένα servlet δέχεται αιτήσεις από τις εφαρμογές υπηρεσιών θέσης και στη συνέχεια ανατρέχει στη βάση δεδομένων, επιστρέφοντας τα ζητούμενα στοιχεία (αναγνωριστικό χρήστη, θέση, κτλ.).

6.3. Tomcat Web Server

Ο Tomcat [33] είναι ένας εξυπηρέτης εφαρμογών (application server) που αναπτύχθηκε από την Apache Software Foundation. Ο σκοπός της δημιουργίας του ήταν η εκτέλεση των Java servlets και η υποστήριξη των JSP σελίδων². Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με web servers όπως ο Apache, ο Netscape Enterprise Server, και ο Microsoft Internet Information Server (IIS). Παρόλα αυτά όμως, ενσωματώνει και τον δικό του HTTP εξυπηρέτη και μπορεί να θεωρηθεί (και να χρησιμοποιηθεί) σαν αυτόνομος (standalone) web server.

Ο Tomcat είναι υλοποιημένος σε Java και ως εκ τούτου εκτελείται σε οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα που έχει εγκατεστημένη μία εικονική μηχανή της Java (JVM). Έχει ενσωματωμένο τον μεταγλωττιστή Jasper που μεταγλωττίζει τις JSP σελίδες σε servlets. Η εγκατάσταση του Tomcat περιέχει την παρακάτω (εξ' ορισμού) ιεραρχία καταλόγων:

- **bin**: αρχείο startup (εκκίνηση του server), shutdown (τερματισμός λειτουργίας) και διάφορα άλλα εκτελέσιμα
- **common**: κλάσεις που χρησιμοποιούνται από κοινού από το server και τις web εφαρμογές
- **conf**: αρχεία XML και DTDs (Documents Type Definitions) που χρησιμοποιούνται για τις ρυθμίσεις του Tomcat
- **logs**: αρχεία συμβάντων
- **server**: κλάσεις (της Java) που χρησιμοποιούνται μόνο από το server
- **shared**: κλάσεις που διαμοιράζονται από όλες τις web εφαρμογές
- **webapps**: κατάλογος που περιέχει τις web εφαρμογές
- **work**: προσωρινός αποθηκευτικός χώρος για τα αρχεία και τους καταλόγους

²Οι JSP (Java Server Pages) σελίδες είναι HTML σελίδες με ενσωματωμένο κώδικα Java.

Παράδειγμα: <H1>Today is:</H1> <%= new java.util.Date() %>

Ένας μεταγλωττιστής JSP χρησιμοποιείται για να μετατρέψει μία JSP σελίδα σε servlet.

Στο σύστημά μας χρησιμοποιήσαμε τον Tomcat σαν αυτόνομο (standalone) web server στον οποίο εκτελούνται τα servlets που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα (6.2). Η Εικόνες 5.1 και 5.5 απεικονίζουν την θέση του στη δομή του συστήματος.

6.4. Extensible Markup Language (XML)

Η **EX**tensible **M**arkup **L**anguage ή αλλιώς XML [34] είναι ένα ανοικτό πρότυπο του W3C που χρησιμοποιείται για την περιγραφή δεδομένων διαφορετικού είδους. Θεωρείται ένα απλουστευμένο υποσύνολο της Standard Generalized Markup Language (SGML) και αποτελεί ουσιαστικά μία γλώσσα σήμανσης (markup language) γενικού σκοπού. Χρησιμοποιεί μία παρόμοια δομή ετικετών (tags) όπως η HTML (HyperText Markup Language), με την διαφορά όμως ότι ενώ η HTML χρησιμοποιεί προκαθορισμένες ετικέτες, η XML επιτρέπει να καθοριστούν οι ετικέτες από τον ίδιο το χρήστη. Κατά συνέπεια, μπορούν να προσδιοριστούν οποιοδήποτε είδους δεδομένα. Ένα αρχείο XML εκτός από την περιγραφή μπορεί να περιέχει επίσης και τα ίδια τα δεδομένα.

Η DTD (Document Type Definition) είναι μία γλώσσα που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της δομής ενός SGML εγγράφου και κατ' επέκταση ενός XML εγγράφου. Η περιγραφή αυτή μπορεί να είναι ενσωματωμένη στο ίδιο το έγγραφο ή να βρίσκεται σε ξεχωριστό αρχείο. Τα DTDs ορίζονται χρησιμοποιώντας μία άλλη σύνταξη και όχι την XML σύνταξη. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζουμε ένα απλό XML έγγραφο που έχει ενσωματωμένη την DTD περιγραφή του.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!DOCTYPE email [
    <!ELEMENT email (from, to, subject, body)>
    <!ELEMENT from (#PCDATA)>
    <!ELEMENT to (#PCDATA)>
    <!ELEMENT subject (#PCDATA)>
    <!ELEMENT body (#PCDATA)>
]>
<email>
    <from>John</from>
    <to>Alice</to>
    <subject>Hi!</subject>
    <body>Hello Alice!</body>
</email>
```

Εικόνα 8.1: XML αρχείο με ενσωματωμένη την περιγραφή DTD.

Ο αρχικός σκοπός δημιουργίας της XML ήταν να διευκολύνει το διαμοιρασμό δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και πλατφόρμων (ιδιαίτερα αυτών που συνδέονται μέσω του διαδικτύου). Οι γλώσσες που βασίζονται στην XML (π.χ., GML, RDF/XML, RSS, MathML, XHTML, SVG, MusicXML, κ.α.) καθορίζονται με έναν επίσημο τρόπο, που επιτρέπει στις εφαρμογές να τροποποιούν και να επικυρώνουν τα έγγραφα (αρχεία) σε αυτές τις γλώσσες χωρίς προγενέστερη γνώση της μορφής τους.

Στην υλοποίηση του συστήματός μας χρησιμοποιήθηκε η XML γλώσσα (μέσω ενός αρχείου του τύπου XMLBIF), για την αναπαράσταση του Bayesian Δικτύου (βλ. Εικόνα 5.3). Η Εικόνα 5.2 παρουσιάζει το DTD που περιγράφει τη δομή του XMLBIF αρχείου.

6.5. Microsoft eMbedded Visual C++

Η Microsoft eMbedded Visual C++ [35] είναι ένα ισχυρό εργαλείο ανάπτυξης που προσφέρει ιδιαίτερα οφέλη σε αυτούς που αναπτύσσουν εγγενείς εφαρμογές κώδικα για περιβάλλοντα Windows CE. Το αυτόνομο ενσωματωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Development Environment - IDE) προσφέρει ένα νέο επίπεδο παραγωγικότητας στην ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών διατηρώντας ταυτόχρονα την ευελιξία και την απόδοση.

Η Microsoft eMbedded Visual C++ χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του συλλέκτη ο οποίος ήταν υπεύθυνος για την συλλογή των πληροφοριών που εκπέμπονται από τους φάρους υπερύθρων. Ο συλλέκτης, που εκτελούταν στην κινητή συσκευή του χρήστη, έστελνε στη συνέχεια τα δεδομένα στο web server μέσω του ασύρματου δικτύου.

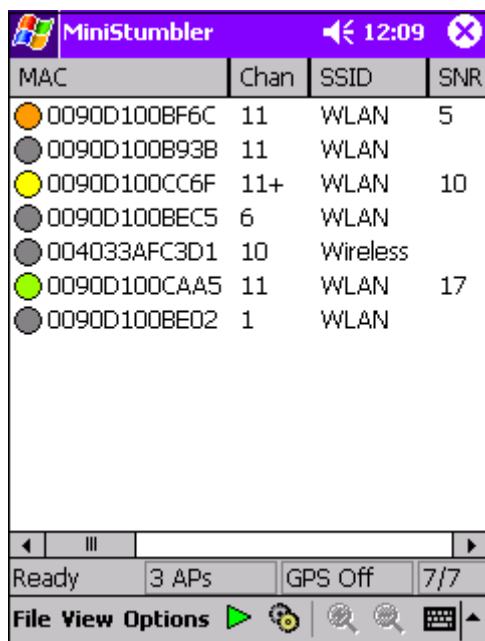
6.6. Ministumbler

Ο NetStumbler [36] είναι ένα εργαλείο για Windows περιβάλλοντα που διευκολύνει την ανίχνευση σταθμών βάσης σε ασύρματα δίκτυα (802.11b, 802.11a και 802.11g) παρέχοντας πληροφορίες όπως η MAC address, η συχνότητα εκπομπής, η ισχύς εκπομπής, κ.α. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται συνήθως για:

- Επαλήθευση των ρυθμίσεων ενός ασύρματου δικτύου
- Εύρεση περιοχών με προβλήματα κάλυψης
- Ανίχνευση των ασύρματων παρεμβολών

Προσδιορισμός Θέσης μέσω Σύντηξης Δεδομένων Αισθητήρων

Μία έκδοση, η οποία αποκαλείται MiniStumbler είναι διαθέσιμη για Windows CE περιβάλλοντα. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τον MiniStumbler να εκτελείται σε ένα υπολογιστή χειρός (PDA).



Εικόνα 8.2: Ο Ministumbler όπως φαίνεται σε ένα PDA.

Ο MiniStumbler (όπως και ο NetStumbler) εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες υποστηρίζουν και την εκτέλεση scripts (JavaScript, VBScript). Τα scripts αυτά, δίνουν τη δυνατότητα σε εφαρμογές να εκμεταλλεύονται τα δεδομένα των μετρήσεων (ισχύς εκπομπής, κτλ.).

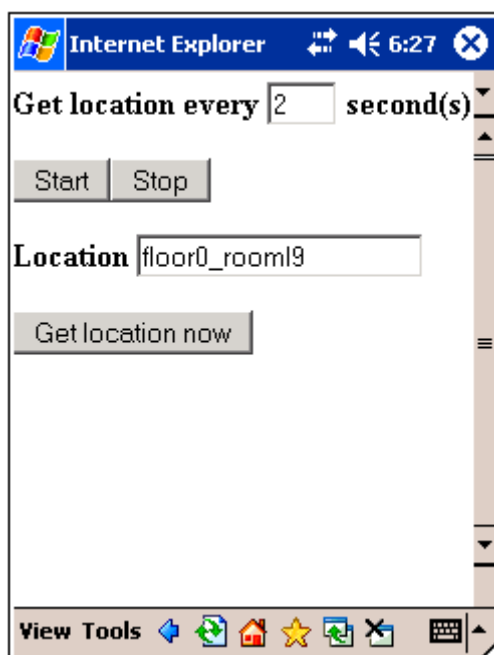
Στο σύστημά μας χρησιμοποιήθηκε ο MiniStumbler για την υλοποίηση του συλλέκτη ο οποίος ήταν υπεύθυνος για την συλλογή των πληροφοριών που εκπέμπονται από τους σταθμούς βάσης του ασύρματου δικτύου. Ο συλλέκτης, (ένα απλό script) έστειλε μέσω HTTP τις μετρήσεις που λάμβανε (αναγνωριστικά και ισχύ εκπομπής) στο κεντρικό σύστημα για να επακολουθήσει η διαδικασία της σύντηξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το σύστημά μας αξιολογήθηκε με στόχο την μέτρηση των επιδόσεων του αλλά και την μετέπειτα βελτίωσή του. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης ναι μεν μας παρουσίασαν την απόδοση του, έδωσαν όμως έναυσμα για μελλοντικές βελτιώσεις με την υιοθέτηση νέων αρχιτεκτονικών και μεθόδων.

7.1. Σενάριο αξιολόγησης

Το πεδίο δοκιμών στη διαδικασία της αξιολόγησης ήταν το ισόγειο και ο πρώτος όροφος του κτιρίου του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών στο ΕΚΠΑ. Κάθε όροφος έχει διαστάσεις περίπου 30X100 μέτρα. Ένας χρήστης εξοπλισμένος με μία κινητή συσκευή (PDA) περιφερόταν στους δύο ορόφους. Στη συσκευή εκτελούνταν μία απλή εφαρμογή η οποία ρυθμιζόταν κατάλληλα να επιστρέφει τη θέση του χρήστη ανά τακτά χρονικά διαστήματα (βλ. Εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.1: Εφαρμογή υπηρεσιών θέσης που εκτελείται σε υπολογιστή χειρός (PDA) και επιστρέφει τη θέση του χρήστη κάθε 2 δευτερόλεπτα.

Η αξιολόγηση του συστήματος εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας δύο τεχνολογίες:

- σταθμούς βάσης (Wi-Fi access points) του ασύρματου δικτύου που είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο

- φάρους υπερύθρων (IR beacons) της εταιρίας Lesswire AG (βλ. Παράρτημα Β')

Οι σταθμοί βάσης της ασύρματης υποδομής του κτιρίου του Τμήματος είναι 4 (2 στο ισόγειο και 2 στον πρώτο όροφο). Η κάλυψη που παρέχουν για ασύρματη πρόσβαση είναι αρκετά ικανοποιητική, αλλά μόνο σε ελάχιστα σημεία του κτιρίου υπάρχει κάλυψη από δύο σταθμούς ταυτόχρονα. Αυτό επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του συστήματος, καθώς όσες περισσότερες ενδείξεις από διαφορετικούς σταθμούς βάσης έχουμε σε ένα συγκεκριμένο σημείο, τότε τόσο καλύτερα αποτελέσματα θα επιστρέψει η διαδικασία της σύντηξης.

Οι φάροι υπερύθρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 5. Οι 2 από αυτούς εγκαταστάθηκαν στο ισόγειο και οι άλλοι 3 στον πρώτο όροφο. Τα σημεία εγκατάστασης επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε η συνολική κάλυψη που παρέχεται (σταθμοί βάσης και φάροι) να είναι η μέγιστη δυνατή.

Χρησιμοποιήσαμε επίσης 35 συμβολικές τοποθεσίες (*floor0_room19*, *floor0_room12*, *floor1_corridorA*,...). Οι 20 από αυτές βρίσκονται στο ισόγειο και οι 15 στον πρώτο όροφο. Η τεχνική μάθησης (learning) του Δυναμικού Bayesian Δικτύου που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των πιθανοτικών κατανομών, ήταν η δειγματοληψία σε κάθε μία από τις παραπάνω τοποθεσίες (στην ενότητα 4.4.3 περιγράφουμε αναλυτικά αυτή την τεχνική).

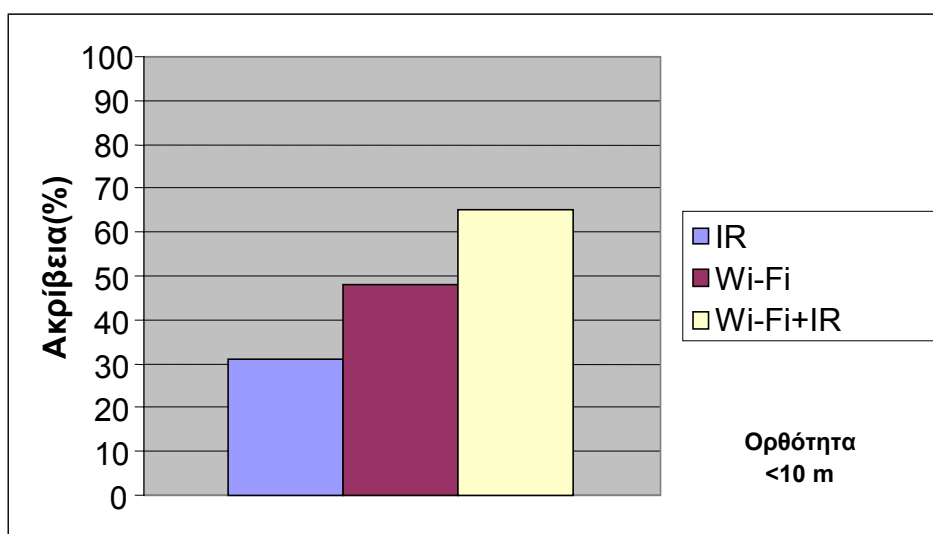
Ο εξυπηρέτης (Tomcat web server) και η μηχανή σύντηξης (fusion engine) εκτελούνταν σε έναν υπολογιστή με επεξεργαστή Athlon 1800+ και μνήμη 512 MB. Το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή ήταν Windows 2000. Στην πλευρά του χρήστη χρησιμοποιήθηκε ένα iPAQ™ Pocket PC εξοπλισμένο με μία ασύρματη κάρτα δικτύου τύπου Orinoco™. Η κινητή συσκευή του χρήστη είχε επίσης ενσωματωμένη θύρα υπερύθρων.

Τα πειράματα εκτελέστηκαν για συνολικό διάστημα μιας εβδομάδας σε διαφορετικές ώρες της ημέρας έτσι ώστε να έχουμε μία πιο ρεαλιστική εικόνα για τις δυνατότητες του συστήματος. Τα αποτελέσματα περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

7.2. Αποτελέσματα αξιολόγησης

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.2 η ορθότητα (accuracy) και η ακρίβεια (precision) αποτελούν ίσως τα πιο σημαντικά γνωρίσματα ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης. Στο Σχήμα 7.1 παρουσιάζεται η ακρίβεια που λαμβάνουμε από το σύστημα για

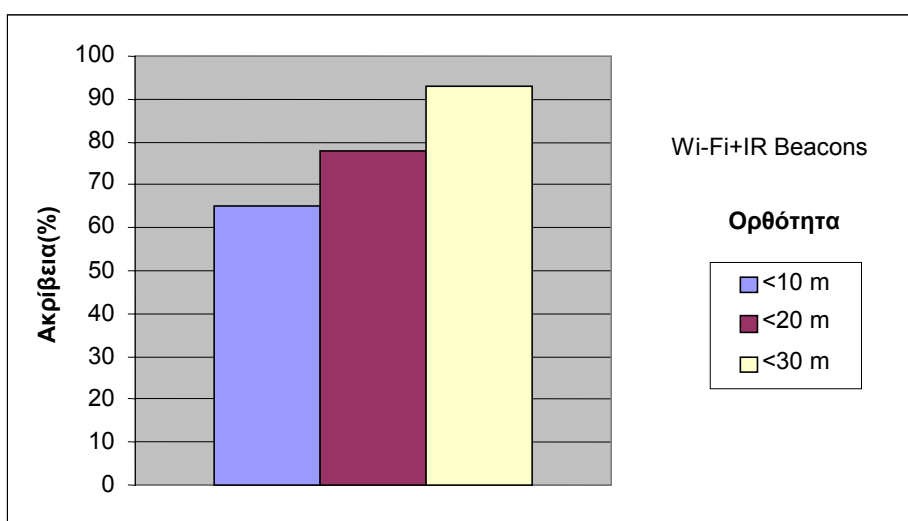
ορθότητα μικρότερη από 10 μέτρα, αν χρησιμοποιήσουμε μόνο φάρους υπερύθρων (IR Beacons), μόνο σταθμούς βάσης (access points) Wi-Fi και τέλος το συνδυασμό αυτών των δύο τεχνολογιών.



Σχήμα 7.1: Ακρίβεια διαφορετικών τεχνολογιών για ορθότητα <10 μέτρων

Η ακρίβεια που παρέχει το σύστημα για την πρώτη περίπτωση είναι 31%. Αν χρησιμοποιήσουμε μόνο σταθμούς βάσης η ακρίβεια ανεβαίνει στο 48%. Τέλος ο συνδυασμός και των δύο τεχνολογιών δίνει ακρίβεια 65%. Είναι προφανές λοιπόν από τα παραπάνω αποτελέσματα ότι η χρήση πολλαπλών τεχνολογιών αυξάνει την απόδοση του συστήματος.

Το Σχήμα 7.2 παρουσιάζει την ακρίβεια του συστήματος για διαφορετικές τιμές ορθότητας (<10, <20 και <30 μέτρα).

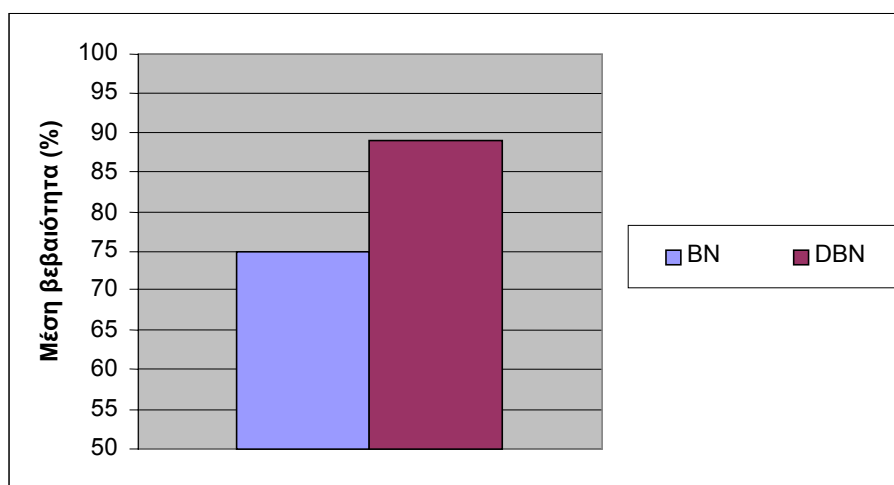


Σχήμα 7.2: Ακρίβεια του συστήματος για διαφορετικές τιμές ορθότητας

Όπως έχει αναφερθεί στην ενότητα 3.2, η αύξηση της ακρίβειας ενός συστήματος είναι εις βάρος της ορθότητας. Έτσι, στο παραπάνω σχήμα φαίνεται καθαρά ότι αν θέλουμε περισσότερη ακρίβεια πρέπει να μειώσουμε την ορθότητα που παρέχει το σύστημα. Για ορθότητα μικρότερη από 10 μέτρα η ακρίβεια είναι 65% ενώ για ορθότητα μικρότερη από 30 μέτρα μπορούμε να έχουμε ακρίβεια 92%.

Στην ενότητα 4.4.4 περιγράψαμε τη διαδικασία κατά την οποία το σύστημα υπολογίζει τις πιθανότητες για κάθε θέση και στη συνέχεια συμπεραίνει τη θέση ενός χρήστη με βάση τη μέγιστη πιθανότητα. Ορίζουμε σαν *βεβαιότητα* του συστήματος αυτή τη μέγιστη πιθανότητα που επιστρέφει σε κάθε υπολογισμό. Π.χ. αν το σύστημα επιστρέψει 60% τότε η *βεβαιότητά* του για τη θέση του χρήστη είναι 60%.

Το Σχήμα 7.3 παρουσιάζει τη μέση *βεβαιότητα* του συστήματος χρησιμοποιώντας ένα απλό στατικό Bayesian Δίκτυο και ένα Δυναμικό Bayesian Δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση (στατικό Δίκτυο) δεν λαμβάνουμε υπόψη την προηγούμενη θέση του χρήστη για να συμπεράνουμε την τρέχουσα, αλλά εκμεταλλευόμαστε μόνο τις ενδείξεις που έχουμε από τους αισθητήρες. Η μέση *βεβαιότητα* του συστήματος σε αυτήν την περίπτωση είναι 75%.



Σχήμα 7.3: Μέση βεβαιότητα του συστήματος χρησιμοποιώντας στατικά Bayesian Δίκτυα και Δυναμικά Bayesian Δίκτυα

Για να λάβουμε υπόψη την προηγούμενη θέση για τον παραπάνω υπολογισμό πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το Δυναμικό Bayesian Δίκτυο που περιγράψαμε στην ενότητα 4.4.3. Σε αυτήν την περίπτωση η μέση *βεβαιότητα* του συστήματος ανέβηκε στο 89%. Είναι αδιαμφισβήτητο λοιπόν ότι η χρήση Δυναμικών Bayesian Δικτύων αντί στατικών Δικτύων για τον προσδιορισμό της θέσης, αυξάνει τη *βεβαιότητα* του συστήματος για το που μπορεί να βρίσκεται ένας χρήστης και ως εκ' τούτου αυξάνει την απόδοσή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΟΥΛΕΙΑ

Σε περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού η θέση είναι ίσως το σημαντικότερο στοιχείο που προσδιορίζει ένα χρήστη. Τέτοια περιβάλλοντα είναι κορεσμένα με παντός είδους αισθητήρες δίνοντας μας έτσι τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τις ενδείξεις τους για να προσδιορίσουμε τη ζητούμενη θέση. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα στρωματοποιημένο (layered) σύστημα προσδιορισμού θέσης το οποίο βασίζεται στο συνδυασμό και την ολοκλήρωση των δεδομένων που λαμβάνονται από αισθητήρες διαφορετικής τεχνολογίας (ετερογενείς).

Μία βασική διαφορά του συστήματος αυτού από τα υπόλοιπα διαθέσιμα (ερευνητικά και εμπορικά) συστήματα προσδιορισμού θέσης που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2, είναι η χρήση Δυναμικών Bayesian Δικτύων στη διαδικασία σύντηξης των δεδομένων. Η χρήση των δικτύων αυτών βελτιώνει την απόδοσή του καθώς μαζί με την πληροφορία από τους αισθητήρες, λαμβάνουμε υπόψη και την προηγούμενη θέση του χρήστη.

Επιπρόσθετα, το σύστημα είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένο ώστε να υποστηρίζει και κινητές συσκευές που έχουν περιορισμένες υπολογιστικές δυνατότητες. Οι συσκευές των χρηστών δεν επιβαρύνονται με σύνθετους και πολύπλοκους υπολογισμούς. Οι υπολογισμοί αυτοί εκτελούνται σε έναν δικτυακό εξυπηρέτη (server) με αυξημένες δυνατότητες (CPU, μνήμη, κτλ.).

Η αξιολόγηση του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες απέδειξε ότι είναι κατάλληλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσδιορισμό θέσης. Οι διάφορες εφαρμογές μπορούν μέσω αιτήσεων προς το σύστημα να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τους χρήστες. Αν και τα στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε (access points, beacons), ήταν λίγα στο αριθμό για να την επαρκή κάλυψη του χώρου που έγινε η αξιολόγηση, το σύστημα παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε δύο ζητήματα πάνω στα οποία εργαζόμαστε αυτή τη στιγμή και έχουν ως σκοπό την βελτίωση της απόδοσης του συστήματος. Το πρώτο, είναι η χρήση τεχνικών “dead reckoning” ώστε να βελτιώσουμε την ορθότητα και την ακρίβεια που παρέχει. Γενικά το “dead reckoning” [37] είναι η διαδικασία προσδιορισμού της θέσης ενός κινούμενου αντικείμενου βασιζόμενοι στην ταχύτητα και την κατεύθυνση της πορείας του, και του χρόνου που παρήλθε από την τελευταία γνωστή του θέση. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στην πλοήγηση των αεροπλάνων και των πλοίων. Στην περίπτωση μας, παραδείγματος χάριν, υποθέτουμε ότι η κινητή συσκευή ενός

χρήστη είναι εξοπλισμένη με μια ηλεκτρονική πυξίδα και ένα επιταχύμετρο (accelerometer). Θα μπορούσε έτσι να μας παρέχει πληροφορίες για την κατεύθυνση και την ταχύτητα του κατόχου της. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη την τελευταία γνωστή θέση του χρήστη και τον χρόνο που παρήλθε από τότε, μπορούμε να προβλέψουμε την τρέχουσα θέση του. Φυσικά, για να υπολογίσουμε ακριβέστερα αυτήν την θέση πρέπει να ενσωματώσουμε και τις πληροφορίες από τους αισθητήρες που λαμβάνουμε σε πραγματικό χρόνο.

Το δεύτερο ζήτημα είναι η υιοθέτηση μιας κατανεμημένης αρχιτεκτονικής για το σύστημα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εκτίμηση θέσης πραγματοποιείται σε έναν κεντρικό υπολογιστή. Στην προτεινόμενη κατανεμημένη αρχιτεκτονική το κτίριο διαιρείται σε περιοχές (ή κυψέλες) που το μέγεθός τους εξαρτάται από τις διαστάσεις του χώρου και τον αριθμό των εγκατεστημένων στοιχείων υποδομής. Για κάθε περιοχή υπάρχει ένας κεντρικός υπολογιστής ο οποίος είναι αρμόδιος για τη διαδικασία υπολογισμού και εκτίμησης της θέσης. Οι κεντρικοί υπολογιστές των παρακείμενων (γειτονικών) περιοχών διασυνδέονται μεταξύ τους προκειμένου να ανταλλάχθουν πληροφορίες που αφορούν τους χρήστες (handovers, κλπ.). Η κατανεμημένη προσέγγιση του συστήματος ενισχύει την απόδοσή του, βελτιώνει την κλιμάκωση και το καθιστά πιο εύρωστο σε περιπτώσεις βλαβών.

Κλείνοντας, θα πρέπει να πούμε ότι πέρα από τα παραπάνω ζητήματα πολλά θέματα παραμένουν ανοικτά προς διερεύνηση. Ένα τέτοιο θέμα είναι η αυτόματη ενημέρωση της δομής και των πιθανοτικών κατανομών του Δυναμικού Bayesian Δικτύου σε περιπτώσεις που κάποιος από τους αισθητήρες ή τα στοιχεία υποδομής τεθεί εκτός λειτουργίας. Επίσης, πεδίο έρευνας αποτελεί και η χρήση συνεχών (και όχι διακριτών) τυχαίων μεταβλητών για τη μοντελοποίηση των τιμών που λαμβάνουμε από τους αισθητήρες. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να αυξήσουμε την απόδοση του συστήματος. Τέλος, λόγω της κεντροποιημένης διαχείρισης των πληροφοριών που αφορούν τη θέση του χρήστη, ανακύπτουν ζητήματα ασφάλειας (security) και ιδιωτικότητας (privacy). Ως εκ' τούτου, θα πρέπει να εφευρεθούν κατάλληλες τεχνικές πιστοποίησης (authentication) οι οποίες θα παρέχουν την απαιτούμενη ασφάλεια χωρίς όμως να επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση του συστήματος.

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Access point	Σημείο πρόσβασης ή Σταθμός βάσης	Μία συσκευή που επιτρέπει τη σύνδεση ασύρματων υπολογιστών σε ένα ενσύρματο δίκτυο μέσω ραδιοκυμάτων.
Accuracy	Ορθότητα	Το εύρος μέσα στο οποίο ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης έχει την ικανότητα να εντοπίσει τους χρήστες.
Bayesian Network learning techniques	Τεχνικές μάθησης Bayesian Δικτύων	Τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της δομής και των πιθανοτικών κατανομών ενός Bayesian Δικτύου.
Bayesian Network	Bayesian Δίκτυο	Ένας κατευθυνόμενος ακυκλικός γράφος όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τυχαίες μεταβλητές (συνεχείς ή διακριτές) και τα τόξα αντιπροσωπεύει τις σχέσεις εξάρτησης μεταξύ αυτών των μεταβλητών.
Data fusion	Σύντηξη δεδομένων	Ο συνδυασμός δεδομένων που προέρχονται από ετερογενείς πηγές έτσι ώστε η προκύπτουσα πληροφορία να είναι καλύτερη απ' ό,τι θα ήταν εάν αυτές οι πηγές χρησιμοποιούνταν ξεχωριστά.
Dynamic Bayesian Network	Δυναμικό Bayesian Δίκτυο	Η επέκταση ενός στατικού Bayesian δικτύου που απεικονίζει ένα προσωρινό μοντέλο πιθανοτήτων και επαναλαμβάνεται στο χρόνο.
Infrared beacon	Φάρος υπέρυθρων	Ένας πομπός που εκπέμπει περιοδικά το αναγνωριστικό του στο υπέρυθρο φάσμα της ακτινοβολίας.
Pervasive computing	Διάχυτος υπολογισμός	Η ενσωμάτωση υπολογιστικής υποδομής στο φυσικό περιβάλλον προκειμένου να προσφερθεί ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών στους χρήστες.
Precision	Ακρίβεια	Το ποσοστό του χρόνου που ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης παρέχει συγκεκριμένη ορθότητα (accuracy).
Triangulation	Τριγωνοποίηση	Τεχνική που χρησιμοποιεί τις γεωμετρικές ιδιότητες των τριγώνων για να υπολογίσει τη θέση ενός αντικειμένου.
Ultrasonic signal	Υπερηχητικό σήμα	Είναι μια δόνηση σε συχνότητα >20 kHz. Χρησιμοποιείται συνήθως για μέτρηση αποστάσεων.
Web server	Εξυπηρετής ιστού	Ένας υπολογιστής δικτύου που αποθηκεύει έγγραφα HTML τα οποία μπορούν να ανακτηθούν μέσω ενός προγράμματος περιήγησης στο διαδίκτυο (browser).

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

BN	Bayesian Network
CGI	Common Gateway Interface
DAG	Directed Acyclic Graph
DBN	Dynamic Bayesian Network
DTD	Document Type Definition
GPS	Global Positioning System
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IR	Infrared Radiation
IRDA	Infrared Data Association
JSP	Java Server Pages
PAN	Personal Area Network
PDA	Personal Digital Assistant
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency IDentification
RSS	Received Signal Strength
SGML	Standard Generalized Markup Language
TCP	Transmission Control Protocol
UHF	Ultra High Frequency
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	EXtensible Markup Language
XMLBIF	XML-based BayesNets Interchange Format

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

Στο Παράρτημα αυτό συνοψίζουμε τα χαρακτηριστικά των συστημάτων εντοπισμού θέσης που περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 2. Στον πίνακα διακρίνεται η τεχνική που χρησιμοποιεί το σύστημα, η ορθότητα και η ακρίβεια που προσφέρει, αν παρέχει φυσική ή συμβολική θέση, το κόστος του και οι περιορισμοί του.

Πίνακας Α.1: Χαρακτηριστικά συστημάτων εντοπισμού θέσης

Όνομα συστήματος	Τεχνική	Ορθότητα και Ακρίβεια	Φυσική θέση	Συμβολική θέση	Κόστος	Περιορισμοί
Active Badges	Εγγύτητα	Μέγεθος δωματίου		✓	Κόστος διαχείρισης, φθηνές ετικέτες	Παρεμβολές (ηλιακό φως και λάμπες φθορισμού)
Active Bats	Τριγωνοποίηση (Ultrasound)	9 cm (95%)	✓		Κόστος διαχείρισης, φθηνές ετικέτες	Απαιτείται εγκατάσταση στην οροφή
MotionStar	Ανάλυση περιοχής	1mm (~100%)	✓		Ακριβά υλικά	Ακριβής εγκατάσταση
Cricket	Εγγύτητα, τριγωνοποίηση	Περιοχές 4x4 ποδών (~100%)		✓	Φάροι και δέκτες ~10\$	Όχι κεντρική διαχείριση
RADAR	Ανάλυση περιοχής, τριγωνοποίηση (IEEE 802.11 RF)	3 – 4,3m (50%)	✓		Εγκατάσταση δικτύου 802.11, ~100\$ NICs	Απαιτούνται ασύρματες NICs
Easy Living	Τριγωνοποίηση (vision)	Ποικίλει		✓	Εγκατεστημένες κάμερες	Δημόσιες κάμερες
Smart Floor	Φυσική επαφή, εγγύτητα	Διάστημα αισθητήρων πίεσης (~100%)	✓		Εγκατάσταση αισθητήρων	Αδυναμία κλιμάκωσης
SpotON	Τριγωνοποίηση	Εξαρτάται από το μέγεθος του cluster	✓		~\$30 ανά ετικέτα	Λιγότερη ακρίβεια

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'

Γενικά οι φάροι υπερύθρων (Infrared beacons) εκπέμπουν συνεχώς αναγνωριστικά ή/και άλλες πληροφορίες σε μικρές αποστάσεις χρησιμοποιώντας συνήθως το πρότυπο επικοινωνίας IRDA [38]. Εγκατεστημένοι σε σταθερά και γνωστά σημεία ενός κτιρίου χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης των χρηστών (βλ. ενότητα 3.3.4).

Στη συνέχεια του παραρτήματος αυτού θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του φάρου υπερύθρων που χρησιμοποιήσαμε στην αξιολόγηση του συστήματός μας (Κεφάλαιο 7). Ο φάρος, που κατασκευάζεται από την εταιρεία Lesswire AG [39], απεικονίζεται στην Εικόνα Β.1.



Εικόνα Β.1: Φάρος υπερύθρων της εταιρείας Lesswire AG.

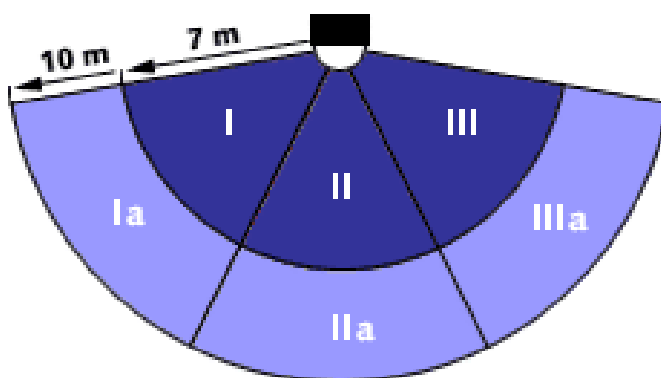
Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Εκπέμπει αναγνωριστικά ή/και άλλα δεδομένα σε μικρές αποστάσεις (οι ανακλάσεις είναι χρήσιμες).
- Υποστηρίζει ευρεία γωνία κάλυψης (οριζόντια και κάθετα).
- Είναι εύκολα προγραμματιζόμενος (programmable) μέσω υπερύθρων.
- Η ισχύς εκπομπής και η κατεύθυνσή της είναι προγραμματιζόμενα χαρακτηριστικά.
- Έχει προγραμματιζόμενη περίοδο εκπομπής.
- Υποστηρίζει χαμηλή κατανάλωση ισχύος.
- Τροφοδοτείται από εξωτερική πηγή ή/και εσωτερική επαναφορτιζόμενη μπαταρία

Προσδιορισμός Θέσης μέσω Σύντηξης Δεδομένων Αισθητήρων

- Έχει ενσωματωμένα 2 LED που χρησιμοποιούνται για ενδείξεις σωστής λειτουργίας.
- Έχει ενσωματωμένη μνήμη (flash memory) για εύκολη αναβάθμιση του λογισμικού του.
- Η θήκη του είναι μικρή και ελαφριά.

Τα 6 τμήματα που καλύπτονται από τον φάρο φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα Β.2: Τμήματα (περιοχές) που υποστηρίζονται από το φάρο υπερύθρων.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Απόσταση	Προγραμματιζόμενη (> 7 ή > 10 m, προαιρετικά > 3 m)
Γωνία, οριζόντια	>165° (3 ξεχωριστές προγραμματιζόμενες περιοχές)
Γωνία, κάθετα	> 55°
Κατανάλωση ισχύος	< 3 mA (Εκπομπή 50 bytes/second)
Εξωτερική τάση τροφοδοσίας	12 ... 15 V
Μπαταρία (προαιρετική)	3 x AA, επαναφορτιζόμενη
Εξωτερική τροφοδοσία	Προσαρμογέας 12 V DC
Περίοδος εκπομπής	Προγραμματιζόμενη (1s ... 15s)
Ρυθμός εκπομπής	9.6 kbit/s

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Weiser M. : The computer for the 21st century. *Scientific American*, September 1991,66-75.
- [2] Mihajlovic, V., Petkovic, M.: *Dynamic Bayesian Networks: A State of the Art*. Technical report (2001). Report no. TR-CTIT-01-34, Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- [3] Katz, R.H., Long, D., Satyanarayanan, M., Tripathi, S. *Workspaces in the Information Age*. In *Report of the NSF Workshop on Workspaces in the Information Age*. Leesburg, VA, October, 1996. Available at <http://www.cs.berkeley.edu/~randy/NSFWS>.
- [4] Weiser, M, Brown, J.S. *The Coming Age of Calm Technology*. In Denning, P.J., Metcalfe, R.M. (editors), *Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing*. Copernicus, 1998.
- [5] M. Satyanarayanan, "Pervasive Computing: Vision and Challenges" *IEEE Personal Communications*, August 2001.
- [6] Satyanarayanan, M. *Caching Trust Rather Than Content*. *Operating System Review* 34(4), October, 2000.
- [7] Flinn, J., Satyanarayanan, M. *Energy-aware Adaptation for Mobile Applications*. In *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Operating Systems and Principles*. Kiawah Island, SC, December, 1999.
- [8] Noble, B.D., Satyanarayanan, M., Narayanan, D., Tilton, J.E., Flinn, J., Walker, K.R. *Agile Application-Aware Adaptation for Mobility*. In *Proceedings of the 16th ACM Symposium on Operating Systems Principles*. Saint-Malo, France, October, 1997.
- [9] Nahrsted, K., Chu, H., Narayan, S. *QoS-aware Resource Management for Distributed Multimedia Applications*. *Journal on High-Speed Networking* 7(3/4), 1998.
- [10] Ellis, C.S. *The Case for Higher-Level Power Management*. In *The 7th IEEE Workshop on Hot Topics in Operating Systems*. Rio Rico, AZ, March, 1999.
- [11] *Energy-Efficient Technologies for the Dismounted Soldier* Board on Army Science and Technology, National Research Council, Washington, DC, 1997.
- [12] Lebeck, A.R., Fan, X., Zheng, H., Ellis, C.S. *Power Aware Page Allocation*. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*. November, 2000.
- [13] Steiner, J.G., Neuman, G., Schiller, J.I. *Kerberos: An Authentication Service for Open Network Systems*. In *Proceedings of the Winter 1988 USENIX Technical Conference*. Dallas, TX, February, 1988.
- [14] Jain, A., Hong, L., Pankanti, S. *Biometric Identification*. *Communications of the ACM* 43(2), February, 2000.

- [15] Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M., Davin, J. A Simple Network Management Protocol. Internet Engineering Task Force (RFC 1157), 1990. Using Encryption for Authentication in Large Networks of Computers.
- [16] Hightower, J., Borriello, G.: Location Sensing Techniques. UW CSE 01-07-01, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, July 2001.
- [17] Harter, A., Hopper, A., Steggles, P., Ward A., Webster P.: The anatomy of a context-aware application. In Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom '99), 1999.
- [18] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," Proc. IEEE Infocom 2000, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 775-784.
- [19] N.B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," Proc. 6th Ann.Int'l Conf. Mobile Computing and Networking (Mobicom 00), ACM Press, New York, 2000, pp. 32-43.
- [20] J. Barton and T. Kindberg, The CoolTown User Experience, tech. report 2001-22, HP Laboratories, Palo Alto, Calif., 2001.
- [21] R. Want et al., "The Active Badge Location System," ACM Trans. Information Systems, Jan. 1992, pp. 91-102.
- [22] F. Raab, E. Blood, T. Steiner, and H. Jones. Magnetic position and orientation tracking system. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 15(5):709{717, September 1979.
- [23] Ascension Technology Corporation, PO Box 527, Burlington, VT 05402. Technical Description of DC Magnetic Trackers, 2001.
- [24] J. Krumm et al., "Multi-Camera Multi-Person Tracking for Easy Living," Proc. 3rd IEEE Int'l Workshop Visual Surveillance, IEEE Press, Piscataway, N.J., 2000, pp. 3-10.
- [25] R.J. Orr and G.D. Abowd, "The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking," Proc. 2000 Conf. Human Factors in Computing Systems (CHI 2000), ACM Press, New York, 2000
- [26] Jensen F.: An Introduction to Bayesian Networks. SpringerVerlag, New York, 1996.
- [27] Heckerman, D.: A tutorial on learning with Bayesian networks. Technical Report MSR-TR-95-06, Microsoft Research ,1995.
- [28] A. Dempster, N. Laird, and D. Rubin. Maximum likelihood estimation from incomplete data. Journal of the Royal Statistical Society (B), 39(1), 1977.
- [29] <http://www.cs.cmu.edu/~fgcozman/Research/InterchangeFormat>
- [30] <http://java.sun.com/>
- [31] Hunter and W. Crawford. Java Servlet Programming. O'Reilly, second edition, April 2001.
- [32] <http://www.apache.org/>
- [33] <http://tomcat.apache.org/>

[34] André Bergholz: Extending Your Markup: An XML Tutorial. From IEEE Computer. July/August 2000.

[35] <http://www.microsoft.com/>

[36] www.netstumbler.com/

[37] A. Agarwal and S.R. Das. Dead reckoning in mobile ad hoc networks. In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2003).

[38] <http://www.irda.org/>

[39] <http://www.lesswire.com/>