



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ  
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

## Δράση “Ειδικές Δράσεις «ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ» - «ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ» - «ΑΝΟΙΧΤΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΣΤΟΝ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟ»”

---

Ειδική Δράση: Ανοιχτή Καινοτομία στον Πολιτισμό  
Κωδικός Έργου: Τ6ΥΒΠ-00297  
Τίτλος Έργου: Μικτή Πραγματικότητα και Γεωπληροφορική  
για την Επίδειξη Μνημείων

### Παραδοτέο 4.1

Έκθεση πλαισίου υποδομών ανάδειξης πολιτιστικών-  
τουριστικών πόρων

### Ενότητα Εργασιών 4

Πλαίσιο υποδομών ανάδειξης πολιτιστικών-τουριστικών πόρων

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

Θεσσαλονίκη  
Απρίλιος, 2022



## Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	1
2	Η ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης .....	2
3	Συνήθεις ταξινομήσεις συστημάτων προσδιορισμού θέσης.....	4
3.1	Κοινές τεχνικές υπολογισμού της θέσης.....	5
4	Συστήματα προσδιορισμού θέσης εξωτερικού χώρου.....	6
5	Τεχνολογίες συστημάτων προσδιορισμού θέσης εσωτερικού χώρου.....	7
5.1	Επικοινωνίες Ορατού Φάσματος .....	7
5.2	Μηχανική Όραση (Computer Vision) .....	7
5.3	Ήχος (Sound).....	8
5.4	Μαγνητικά Πεδία (Magnetic Fields) .....	8
5.5	Dead Reckoning (στίγμα αναμέτρησης) .....	9
5.6	Ultra-Wideband (UWB) .....	10
5.7	WiFi.....	11
5.8	Bluetooth Χαμηλής Ενέργειας (BLE) .....	11
5.9	Ραδιοσυχνική αναγνώριση (RFID), Επικοινωνίες Κοντινού Πεδίου (NFC) και QR codes	12
5.10	Άλλες τεχνολογίες.....	13
6	Υβριδικά Συστήματα .....	15
6.1	Συνεργασία GNSS με Αδρανειακά Συστήματα Πλοήγησης .....	15
6.2	Συνεργασία GNSS, INS και IPS.....	15
7	Σύγκριση της ακρίβειας των μεθόδων.....	17
8	Συμπεράσματα .....	19
9	Βιβλιογραφία.....	21



## 1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια δαπανάται μεγάλη ερευνητική προσπάθεια για την ανάδειξη πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω της αλληλεπίδρασης του χρήστη-επισκέπτη με εικονικά αντικείμενα μέσα από περιβάλλοντα μετάβασης από την Πραγματικότητα στην Εικονικότητα (Virtuality). Ειδικά για τις περιπτώσεις στις οποίες ο χρήστης-επισκέπτης περιδιαβαίνει έναν χώρο (π.χ. έναν αρχαιολογικό χώρο) η δημιουργία του μηχανισμού ρεαλιστικής μετάβασης από το πραγματικό στο εικονικό απαιτεί τη χρήση τεχνικών προσδιορισμού της θέσης και, πολλές φορές, του προσανατολισμού του χρήστη. Νεότερες προσεγγίσεις περιλαμβάνουν όχι μόνο την παρουσίαση πληροφορίας αλλά και την αλληλεπίδραση του χρήστη με αντικείμενα, αλληλεπίδραση που μπορεί να είναι οπτική, απτική ή και άλλου είδους (π.χ. εικονική περιστροφή αντικειμένου). Σε όλα τα παραπάνω σημαντικό ρόλο παίζει ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης του χρήστη στον χώρο καθώς και η έγκαιρη μετάδοση των στοιχείων αυτών σε κάποιο κέντρο επεξεργασίας.

Στόχος λοιπόν της παρούσας έκθεσης είναι η παρουσίαση των κυρίαρχων τεχνολογιών και τεχνικών προσδιορισμού θέσης σε συνδυασμό με τις δικτυακές τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες διάθεσης των εικονικών μοντέλων που σχετίζονται με έναν τουριστικό-πολιτιστικό πόρο. Καθώς το σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS) που είναι συνήθως διαθέσιμο στη συσκευή του επισκέπτη δεν είναι εξίσου ακριβές με τη χωρική αναφορά των εικονικών μοντέλων που διατίθενται, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια σημαντική απόκλιση μεταξύ του εικονικού και του πραγματικού κόσμου, απαιτούνται ειδικές υποδομές χωρικών προσαρμογών. Στη μελέτη περιλαμβάνεται μια εκτενής βιβλιογραφική έρευνα τεχνολογιών χωρικού προσδιορισμού, με σύγκριση των δυνατοτήτων των απαιτούμενων τεχνολογιών καθώς και μια συγκριτική διερεύνηση των απαιτούμενων τεχνολογιών τηλεπικοινωνιών.

Για τα προαναφερθέντα διερευνώνται οι τεχνολογίες που μπορούν να τα εξυπηρετήσουν και προτείνεται μια τεχνικά και οικονομικά εφικτή λύση που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένας φορέας ανάδειξης των τουριστικών-πολιτιστικών πόρων.



## 2 Η ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης

Σύμφωνα με τον López (2002), η χωρική ακρίβεια αποτελεί παραδοσιακά μια εμβληματική πτυχή των χαρτογραφικών δεδομένων [1]. Η ακρίβεια αφορά συνήθως στην εμβαδομετρική (planimetric) και υψομετρική (altimetric) ακρίβεια ενός συνόλου χωρικών δεδομένων. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19157:2013 υπάρχουν τρεις τύποι ακρίβειας θέσης:

- Η απόλυτη ή εξωτερική ακρίβεια: που ορίζεται ως η εγγύτητα των τιμών των συντεταγμένων του αντικειμένου που παρατηρούμε σε τιμές που είναι αποδεκτές ως αληθείς.
- Η σχετική ή εσωτερική ακρίβεια: η εγγύτητα των τιμών των συντεταγμένων του αντικειμένου που παρατηρούμε στην σχετική θέση χαρακτηριστικών των δεδομένων και των αντίστοιχων θέσεων τους που είναι αποδεκτές ως αληθείς.
- Η ακρίβεια του κάναβου: η εγγύτητα της θέσης ενός κάναβου δεδομένων στις αποδεκτές ή αληθείς τιμές.

Η ακρίβεια είναι ο βαθμός της συμμόρφωσης ή της εγγύτητας της υπολογισμένης ή της μετρημένης θέσης ενός αντικειμένου και της πραγματικής του θέσης σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή [2]. Υπάρχει βέβαια μεγάλη απόσταση μεταξύ της ακρίβειας που απαιτείται για να κριθεί η ποιότητα ενός χαρτογραφικού προϊόντος από την ακρίβεια που χρειαζόμαστε για τον προσδιορισμό θέσης σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality). Για παράδειγμα, ένα χαρτογραφικό προϊόν για να χαρακτηριστεί Α' ποιότητας αρκεί να εμφανίζει σφάλματα μικρότερα από 125m. Παρόλα αυτά, ένα σφάλμα αυτού του μεγέθους αν χρησιμοποιηθεί σε ένα θεματικό πάρκο, σε έναν αρχαιολογικό χώρο ή σε ένα μουσείο, ενδέχεται να τοποθετήσει μια οντότητα (επισκέπτη ή έκθεμα) σε άλλο δωμάτιο ή χώρο. Χρειάζεται λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε μια διαδικασία μεγαλύτερης χωρικής ακρίβειας.

Βέβαια η χωρική ακρίβεια δεν είναι η μοναδική σημαντική μετρική. Με δεδομένη την πληθώρα των τεχνικών για τον προσδιορισμό της θέσης σε έναν χώρο είναι δύσκολο να χρησιμοποιήσουμε έναν μόνο ορισμό ή μία μόνο μετρική [3], [4]. Η κάλυψη του χώρου, η πολυπλοκότητα της μεθόδου, η ανθεκτικότητα της, το κόστος εφαρμογής, η ιδιωτικότητα που προσφέρει, η κατανάλωση ενέργειας και η επεκτασιμότητα είναι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη [5] - [9].

- Η κάλυψη (coverage) αναφέρεται στην εμβέλεια των σημάτων της τεχνολογίας που υποστηρίζει τον προσδιορισμό θέσης [5]. Ευρεία κάλυψη έχει σαν αποτέλεσμα να



μπορούμε να εξυπηρετήσουμε μια μεγάλη περιοχή χρησιμοποιώντας μικρότερο αριθμό συσκευών [9].

- Η πολυπλοκότητα (complexity) αναφέρεται στην προσπάθεια που απαιτείται για την κατασκευή, τοποθέτηση, ρύθμιση και λειτουργία του εξοπλισμού [6] - [8].
- Η ανθεκτικότητα (robustness) είναι η αντοχή του συστήματος σε συνθήκες λειτουργίας μακριά από τις τυπικές προδιαγραφές του.
- Η επεκτασιμότητα (Scalability) είναι η δυνατότητα του συστήματος να επεκτείνεται ώστε να προσφέρει υπηρεσίες θέσης σε περισσότερους χρήστες και σε μεγαλύτερους χώρους
- Το κόστος αναφέρεται σε κάθε είδους κόστος που συσχετίζεται με τον απαιτούμενο εξοπλισμό [5].
- Η ιδιωτικότητα (Privacy) σχετίζεται με τους περιορισμούς που μπορούν να τεθούν στο σύστημα ώστε να μη συλλέγονται πληροφορίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση ή τον εντοπισμό των χρηστών [5], [7], [8].
- Τέλος, όσο χαμηλότερη είναι η κατανάλωση ενέργειας τόσο το καλύτερο. Για τις συσκευές του χρήστη-επισκέπτη αυτό μεταφράζεται σε χρόνο λειτουργίας της συσκευής, ενώ για την υποδομή αυτό μεταφράζεται σε οικονομικότερη λειτουργία και ενδεχομένως ευκολότερη συντήρηση [9].



### 3 Συνήθεις ταξινομήσεις συστημάτων προσδιορισμού θέσης

Τα συστήματα προσδιορισμού θέσης ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια. Μια από τις κυριότερες ταξινομικές κατατάξεις είναι εκείνη που διαχωρίζει τα συστήματα σε σχέση με την εμβέλειά τους σε Παγκόσμια (global) και Τοπικά (local). Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite System - GNSS) είναι ικανά να παρέχουν εκτιμήσεις της θέσης μιας οντότητας οπουδήποτε επάνω στον πλανήτη μας χρησιμοποιώντας οικονομικούς και μικρού μεγέθους δέκτες. Δυστυχώς όμως δεν είναι επαρκείς για κάθε είδους εφαρμογή λόγω των απαιτήσεων σε ακρίβεια και της εξασθένησης των δορυφορικών σημάτων.

Έτσι, Τοπικά Συστήματα Πλοήγησης χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν όπου τα συστήματα GNSS δεν είναι κατάλληλα. Η εμβέλεια ή η κάλυψη των τοπικών συστημάτων διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τεχνολογία. Κυμαίνονται από υβριδικά συστήματα, που χρησιμοποιούν κάποιο GNSS σε συνδυασμό με κάποια τοπικής εμβέλειας τεχνική ώστε να προσφέρουν κάλυψη σε μικτά περιβάλλοντα, μέχρι αποκλειστικά τοπικά συστήματα, όπως για παράδειγμα συστήματα βασισμένα στον φωτισμό που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό θέσης εντός ενός δωματίου. Πολλά από τα τοπικά συστήματα είναι συστήματα εσωτερικού χώρου (Internal Positioning Systems - IPS).

Οι Xiao et al [10] αναφέρουν έναν χρήσιμο διαχωρισμό μεταξύ συστημάτων που απαιτούν (device-based) ή δεν απαιτούν (device-free) την χρήση κάποιας συσκευής από την πλευρά του χρήστη. Οι Brena et al [11] κάνουν μια αναλυτική έρευνα των πιθανών λύσεων και ξεχωρίζουν τις τεχνικές σε ενεργές (active) και παθητικές (passive). Παθητικές θεωρούνται εκείνες στις οποίες το σήμα που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης το παράγει η υποδομή. Οι Zafari et al [9] είναι μια από τις πλέον πρόσφατες βιβλιογραφικές έρευνες (2019). Η έρευνα αυτή επικεντρώνεται στις λύσεις IoT (Internet of Things) και συνδέει το IoT με τα εσωτερικά συστήματα προσδιορισμού θέσης.

Η πιο συχνή ταξινόμηση των συστημάτων αυτών σχετίζεται με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν. Με τη σειρά της η τεχνολογία προσδιορίζει τα φυσικά μεγέθη που χρειάζεται να μετρηθούν. Τα φυσικά μεγέθη χρησιμοποιούνται επίσης για την ταξινόμηση των τεχνολογιών. Από την άλλη υπάρχουν εκατοντάδες μέθοδοι οι οποίες δημιουργούν εκτιμήσεις της θέσης από τις μετρημένες ποσότητες. Οι μέθοδοι αυτές διαχωρίζονται κυρίως σε τεχνικές βασισμένες στην απόσταση (range-based) που μετράνε την απόσταση του αντικειμένου από συγκεκριμένα



σημεία αναφοράς και σε τεχνικές που μετράνε γωνίες (range-free) σε σχέση με συγκεκριμένα σημεία αναφοράς.

### 3.1 Κοινές τεχνικές υπολογισμού της θέσης

Η παρακάτω λίστα παρουσιάζει εν συντομία τις πιο κοινές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις τεχνολογίες των IPS. Αναφέρονται σε όλες σχεδόν τις σχετικές βιβλιογραφικές έρευνες καθώς και παρακάτω στο παρόν κείμενο. Μερικές γενικές βιβλιογραφικές έρευνες [12], [13] αναφέρονται και σε άλλες τεχνικές όπως οι Received Signal Phase (RSF), Roundtrip Time of Flight (RTF) ή η Channel State Information (CSI).

- Time of Arrival (TOA). Μετρά τον χρόνο άφιξης στον δέκτη ενός σήματος που εκπέμπει ο πομπός. Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της απόστασης από τον πομπό καθώς η ταχύτητα διάδοσης των σημάτων είναι γνωστή για δοσμένο μέσο μετάδοσης (αέρας).
- Time Difference of Arrival (TDOA). Παρόμοια με την TOA. Μετρά τις διαφορές στον χρόνο άφιξης στον δέκτη των σημάτων που εκπέμφθηκαν από διαφορετικούς πομπούς. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των διαφορών στην απόσταση από κάθε πομπό.
- Angle of Arrival (AOA). Αναφέρεται στην γωνία υπό την οποία το σήμα φτάνει στον δέκτη-αισθητήρα. Οι γωνίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης του δέκτη.
- Received Signal Strength (RSS). Σε αυτή την περίπτωση μετριέται η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος. Η ισχύς του σήματος εξασθενεί με την απόσταση, αν και η σχέση της εξασθένησης επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως οι παρεμβολές.

Στην ουσία οι τεχνικές αυτές και οι μετρήσεις που λαμβάνονται για διαφορετικές θέσεις πομπών, χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μια τεχνική τριγωνισμού ή διόπτρευσης για τον προσδιορισμό της θέσης του αντικειμένου. Η τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά επηρεάζει την λύση και την ακρίβεια της θέσης αλλά εξαρτάται και από τις συνθήκες που θέτει το περιβάλλον της εφαρμογής.



## 4 Συστήματα προσδιορισμού θέσης εξωτερικού χώρου

Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνολογία προσδιορισμού θέσης σε εξωτερικούς χώρους είναι τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite System - GNSS), τα οποία χρησιμοποιούνται επίσης για πλοήγηση και υπηρεσίες χρονοπροσδιορισμού. Η λειτουργία τους βασίζεται σε αστερισμούς δορυφόρων. Σήμερα λειτουργούν διάφορα GNSS, όπως το αμερικανικό Global Positioning System (GPS), το ρωσικό Global Navigation Satellite System (GLONASS), το κινέζικο BeiDou Navigation Satellite System (BDS) και το ευρωπαϊκό Galileo. Η τυπική ακρίβεια των σύγχρονων GNSS είναι περίπου 5 μέτρα αλλά χρειάζεται σήμα από αρκετούς δορυφόρους για να είναι ακριβές και για να συγκλίνει γρήγορα [14]. Η ποιότητα και η γεωμετρία των δορυφορικών σημάτων δεν είναι εξασφαλισμένη, ειδικά σε μέρη με σύνθετο ανάγλυφο, εσωτερικούς χώρους ή δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Η ακρίβεια των συστημάτων GNSS μπορεί να βελτιωθεί με τη παράλληλη χρήση ενός επίγειου συστήματος βάσει του οποίου γίνονται διαφορικές διορθώσεις επί του δορυφορικού σήματος. Αυτά τα συστήματα βελτίωσης της ακρίβειας των συστημάτων GNSS ικανά να βελτιώσουν την ακρίβεια από μερικά μέτρα σε μερικά εκατοστά. Τέτοια συστήματα αναφέρονται γενικά ως Ground-Based Augmentation System (GBAS) [15]. Επίσης, λειτουργούν και αντίστοιχα δορυφορικά συστήματα βελτίωσης της ακρίβειας που αναφέρονται ως SBAS. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Υπέρθεσης για τη Γεωστατική Πλοήγηση (EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service) είναι το Ευρωπαϊκό σύστημα πλοήγησης με υπέρθεση γεωστατικών δορυφόρων, ένα σύστημα βελτίωσης που συμβάλλει στην ακρίβεια και την αξιοπιστία των πληροφοριών του Αμερικανικού Παγκοσμίου Συστήματος Προσδιορισμού Θέσης (GPS)).





## 5 Τεχνολογίες συστημάτων προσδιορισμού θέσης εσωτερικού χώρου

### 5.1 Επικοινωνίες Ορατού Φάσματος

Τα IPS που χρησιμοποιούν Επικοινωνίες Ορατού Φάσματος (Visible Light Communication - VLC) εμφανίζονται κυρίως ως λύσεις που απαιτούν τη χρήση συσκευής από τον χρήστη, ενώ, τα αντίστοιχα με αυτά Υπέρυθρα IPS εμφανίζονται και ως λύσεις με χρήση συσκευής αλλά και ως παθητικές λύσεις (device-free). Η κεντρική ιδέα πίσω από αυτά τα συστήματα είναι η χρήση του όλο και δημοφιλέστερου φωτισμού με λάμπες LED ο οποίος δημιουργεί μια ευρεία εγκατεστημένη βάση πομπών σημάτων. Η δυνατότητα να διαμορφώνονται τα επίπεδα φωτισμού των λαμπτήρων LED με τρόπο γρήγορο και μη αντιληπτό από τον άνθρωπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κωδικοποίηση πληροφορίας. Οι προκλήσεις σε αυτά τα συστήματα είναι κυρίως ο συγχρονισμός των εκπομπών και η μειωμένη αντοχή στο ηλιακό φως. Για τους λόγους αυτούς δεν θεωρούνται ακόμη ώριμη τεχνολογία. Οι βιβλιογραφικές μελέτες των Zhuang et al. [18] και Afzalan and Jazizadeh [19] είναι εκτενείς, πρόσφατες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κάποιον που επιθυμεί να ενημερωθεί εκτενέστερα για αυτά τα συστήματα.

### 5.2 Μηχανική Όραση (Computer Vision)

Οι τεχνικές μηχανικής όρασης χρησιμοποιούνται πολλές φορές ως υποστηρικτικές τεχνολογίες στα συστήματα VLC, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ανεξάρτητα σε IPS που χρησιμοποιούν κάμερες για τον εντοπισμό θέσης χωρίς άλλη υποστήριξη παρά μόνο τον τυπικό φωτισμό ενός κτιρίου. Σε αυτή την περίπτωση δεν πρέπει να συγχέονται με τα συστήματα SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) που χρησιμοποιούνται από αυτόνομα οχήματα για την αυτόματη δημιουργία του χάρτη ενός χώρου και την πλοήγηση σε αυτόν.

Οι λύσεις που βασίζονται στη χρήση συσκευής από τον χρήστη, αξιοποιούν κατάλληλες σημάτσες, π.χ. εκτυπωμένους QR κώδικες, και αποτελούν μια από τις πιο άμεσα και εύκολα υλοποιούμενες μεθόδους. Τα συστήματα αυτά μπορούν να παρέχουν και συνεχείς υπολογισμούς εάν τα σήματα υφίστανται επεξεργασία ως μια ροή εικόνων (βίντεο) της σκηνής ενδιαφέροντος ενώ η προοπτική (perspective) του χώρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βελτίωση του αποτελέσματος [7]



Η οπτική οδομετρία (visual odometry) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί λαμβάνοντας σαν είσοδο το σήμα από μία ή περισσότερες κάμερες. Οι λύσεις που δεν απαιτούν την χρήση εξειδικευμένης συσκευής από τον χρήστη, βασίζονται στην εγκατάσταση πολλαπλών καμερών στον χώρο ενδιαφέροντος. Οι εικόνες που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση των στόχων σε συνδυασμό με το σενάριο [6]. Ο προσδιορισμός θέσης με χρήση μηχανικής όρασης είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στο μέλλον. Επίσης, ως μέθοδος, παρουσιάζει πολύ μικρότερες αποκλίσεις σε σχέση με τα χαμηλής ακρίβειας αδρανειακά συστήματα ή με τα μηχανικά οδόμετρα. Το άρθρο των Cadena et al (2016) αποτελεί μια καλή εισαγωγή στο αντικείμενο [20].

### 5.3 Ήχος (Sound)

Οι βιβλιογραφικές αναφορές που εστιάζουν στη χρήση ακουστικών σημάτων για τον προσδιορισμό θέσης διακρίνουν τα συστήματα μεταξύ εκείνων που λειτουργούν με υπέρηχους και εκείνα που χρησιμοποιούν ακουστικές συχνότητες..

Τα συστήματα υπερήχων χρησιμοποιούν συνήθως τις τεχνικές TOA και TDOA για τους υπολογισμούς τους, ενώ μια συνήθης πρακτική στα ηχητικά συστήματα είναι αρχικά η παραγωγή του «ηχητικού αποτυπώματος» του κενού χώρου και σε δεύτερο χρόνο η παραγωγή εκτιμήσεων θέσης από τις διαφοροποιήσεις που εισάγει ένα αντικείμενο. Αν και οι ακουστικές μέθοδοι αναφέρουν ακρίβειες της τάξης των μερικών εκατοστών παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις καθώς η ταχύτητα του ήχου επηρεάζεται αισθητά από τη θερμοκρασία και την υγρασία. Αρχικές δημοσιεύσεις στο αντικείμενο ανακοινώθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '90 [22], αλλά δεν έχουν γίνει ευρέως αποδεκτές ως λύσεις κυρίως λόγω του κόστους κλιμάκωσης της λύσης σε μεγαλύτερα περιβάλλοντα. Οι Ureña et al. [23] κάνουν μια διεξοδική βιβλιογραφική επισκόπηση των ακουστικών τοπικών συστημάτων προσδιορισμού θέσης.

### 5.4 Μαγνητικά Πεδία (Magnetic Fields)

Οι Pasku et al. [25] ταξινομούν τις λύσεις που χρησιμοποιούν μαγνητικά πεδία σε τρεις κατηγορίες: σε εκείνες που χρησιμοποιούν το μαγνητικό πεδίο της γης, σε εκείνες που χρησιμοποιούν στατικά τεχνητά πεδία και σε εκείνες που χρησιμοποιούν χρονικά μεταβαλλόμενα τεχνητά πεδία. Οι λύσεις της πρώτης περίπτωσης, όσες δηλαδή χρησιμοποιούν το μαγνητικό πεδίο της Γης, δεν έχουν κάποιο κόστος εγκατάστασης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα με χρήση ενός έξυπνου τηλεφώνου. Οι ακρίβειά τους είναι της τάξης



των μερικών μέτρων. Μια από τις πιο γνωστές εργασίες σε αυτό το αντικείμενο είναι του Magicoi [26], ενώ μια καλή βιβλιογραφική μελέτη για να ξεκινήσει κανείς είναι αυτή των He και Shin [24]. Η δεύτερη περιέχει πληροφορίες για ερευνητικές αλλά και εμπορικές προτάσεις που βασίζονται αποκλειστικά στη χρήση μαγνητικών πεδίων, αλλά και για λύσεις που συνδυάζουν τη χρήση του γήινου μαγνητικού πεδίου με άλλες τεχνολογίες, π.χ. με το στίγμα αναμέτρησης, και εξηγεί πως λειτουργούν συνδυαστικά. Επίσης, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίον μετρήσεις του γήινου μαγνητικού πεδίου συνδυάζονται με IPS που χρησιμοποιούν έξυπνα τηλέφωνα.

### **5.5 Dead Reckoning (στίγμα αναμέτρησης)**

Το στίγμα αναμέτρησης (dead reckoning) αναφέρεται στην εκτίμηση της τρέχουσας θέσης μιας οντότητας με βάση μια γνωστή προηγούμενη θέση του σε συνδυασμό με τη μέτρηση μεγεθών που περιγράφουν την κίνησή του, όπως η κατεύθυνση, η ταχύτητα και ο χρόνος [27]. Τέτοιου είδους μετρήσεις λαμβάνονται με τη χρήση επιταχυνσιόμετρων (που μετράνε την επιτάχυνση και τις μεταβολές της σε τρεις άξονες), γυροσκοπίων που αντιλαμβάνονται τις περιστροφές γύρω από το κέντρο μάζας του σώματος που είναι η κλίση (pitch), η περιστροφή (roll) και η εκτροπή (yaw), και, τέλος, μαγνητόμετρα (πυξίδες που δεν είναι αδρανειακοί αισθητήρες) που δίνουν τον προσανατολισμό σε σχέση με τους μαγνητικούς πόλους της Γης. Τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα περιέχουν τους περισσότερους ή και όλους τους παραπάνω αισθητήρες καθώς επίσης έχουν την απαιτούμενη υπολογιστική ικανότητα για να εκτελέσουν υπολογισμούς θέσης με βάση το Στίγμα Αναμέτρησης. Στην ειδική περίπτωση που η τεχνική αφορά στην εκτίμηση θέσης ενός πεζού ονομάζεται Pedestrian Dead Reckoning (PDR).

Η κίνηση ή η τροχιά του αντικειμένου συνήθως υπολογίζεται με δύο εναλλακτικούς τρόπους. Τα συστήματα που εκτελούν ολοκλήρωση των δεδομένων των αισθητήρων και ονομάζονται Αδρανειακά Συστήματα Πλοήγησης (Inertial Navigation Systems – INS), κι εκείνα που ανιχνεύουν και ποσοτικοποιούν τα βήματα και την κατεύθυνση και ονομάζονται Step and Heading Systems (SHSs) [28]. Όπου είναι εφικτό χρησιμοποιούνται και άλλες είσοδοι στα συστήματα (π.χ. τα δεδομένα ενός χάρτη ή οριακές συνθήκες που αφορούν στον χώρο κίνησης) οι οποίες βελτιώνουν την ακρίβεια. Το PDR έχει χαμηλό κόστος, δεν απαιτεί αναφορές σε εξωτερικά συστήματα και παρέχει υψηλή ακρίβεια όταν οι θέσεις δεν απέχουν πολύ από την τελευταία γνωστή ακριβή θέση. Παρόλα αυτά παρουσιάζει μεγάλα σφάλματα καθώς οι υπολογισμοί προχωράνε στον χρόνο και για αυτό πρέπει να συνδυάζεται με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να διορθώνονται οι αποκλίσεις [7].



Το Στίγμα Αναμέτρησης χρησιμοποιείται ευρύτατα σε συστήματα προσδιορισμού θέσης και στην πλοήγηση. Οι Wu et al. [28] παρέχουν μια πρόσφατη (2018) έρευνα για συστήματα PDR που βασίζονται αποκλειστικά σε αδρανειακούς αισθητήρες, ενώ οι Vezosnik και Juric [29] παρέχουν μια εξαντλητική μελέτη των μοντέλων υπολογισμού βημάτων που αποτελούν κεντρικό κομμάτι πολλών συστημάτων PDR.

## 5.6 Ultra-Wideband (UWB)

Η τεχνολογία UWB είναι μια ασύρματη τεχνολογία που αναφέρεται πολύ συχνά ως μια τεχνολογία συσχετισμένη με συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους (IPS) [30], [31]. Η Federal Communications Commission (FCC) και η International Telecommunication Union (ITU) ορίζουν την τεχνολογία UWB ως εκείνη που χρησιμοποιεί ραδιοσήματα των οποίων το εύρος ζώνης είναι μεγαλύτερο από το 20% της κεντρικής συχνότητας φέροντος ή μεγαλύτερο από 500MHz. Το μεγάλο αυτό εύρος ζώνης συνδυάζεται και με άλλα χαρακτηριστικά όπως η εκπομπή πολύ στενών παλμών, της τάξης των 200ps και η πολύ χαμηλή ισχύς εκπομπής.

Η χαμηλή ισχύς εκπομπής ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές σε άλλα ασύρματα δίκτυα, όπως το WiFi, και κάνει την τεχνολογία κατάλληλη και για ευαίσθητα περιβάλλοντα, όπως για παράδειγμα ένα νοσοκομείο. Ταυτόχρονα το μικρό πλάτος παλμών κάνει το UWB σχεδόν ανεπηρέαστο από προβλήματα όπως η πολυόδευση. Επίσης, έχει καλύτερη συμπεριφορά στη διέλευσή του μέσα από τοίχους οπότε είναι καταλληλότερο και για εφαρμογές στις οποίες δεν είναι δυνατή η οπτική επαφή. Τέλος, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας το καθιστά προτιμότερο του Bluetooth ή του WiFi [30].

Οι εφαρμογές του UWB που χρησιμοποιούν εξοπλισμό (device-based) συνήθως απαιτούν τη χρήση ετικετών (Tags). Οι σχετικοί πομποδέκτες μπορεί να είναι είτε σταθεροί είτε κινούμενοι. Οι ακρίβειες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι της τάξης των 50cm γεγονός που κάνει την τεχνολογία UWB ελκυστική για πολλές εφαρμογές εφόσον βέβαια μπορεί να καλυφθεί το κόστος της υποδομής. Από την άλλη η μικρή εμβέλεια των συστημάτων αυτών δυσχεραίνει την κλιμάκωση της εφαρμογής σε μεγαλύτερα περιβάλλοντα.

Οι εφαρμογές που δεν απαιτούν τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού (device-free) λειτουργούν εφαρμόζοντας την αρχή του radar, στοιχείο που είναι ελκυστικό λόγω και της ικανότητας του UWB να διαπερνά μεσοτοιχίες [31].

Ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια για την υιοθέτηση του UWB είναι ότι δεν υποστηρίζεται από τα περισσότερα έξυπνα τηλέφωνα. Οι Mazhar et al. [30] παρέχουν μια σύντομη σύγκριση μεταξύ



των ασύρματων τεχνολογιών BLE, WiFi, ZigBee, και UWB και εξηγούν τα πλεονεκτήματα του UWB.

## 5.7 WiFi

Η τεχνολογία WiFi, ή Wi-Fi, είναι το πρότυπο IEEE 802.11 για ασύρματα τοπικά δίκτυα WLAN. Η τεχνολογία αυτή αναφέρεται σε όλες τις σχετικές μελέτες ως μια πιθανή επιλογή για τοπικά συστήματα προσδιορισμού θέσης (IPS) καθώς και σε όλες τις σχετικές προτάσεις.

Το WiFi λειτουργεί στις περιοχές των 2,4GHz και των 5GHz με τυπικά εύρη καναλιών τα 20, 40 και 80MHz. Τα σήματα στην περιοχή των 2,4GHz ταξιδεύουν μακρύτερα, ενώ τα σήματα στην περιοχή των 5GHz έχουν ευρύτερα κανάλια και είναι πιο ανθεκτικά στο φαινόμενο fast fading. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική προσδιορισμού θέσης με αυτό είναι η RSS (Received Signal Strength) καθώς μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί από τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα [9] και [33]. Αν και είναι πολύ δημοφιλής τεχνολογία αντιμετωπίζει και πολλές προκλήσεις λόγω του ακανόνιστου τρόπου που τα σήματα WiFi μεταβάλλονται σε εσωτερικούς χώρους.

Με δεδομένη την άμεση εφαρμογή τους στα κινητά τηλέφωνα, οι λύσεις που χρησιμοποιούν WiFi είναι συνήθως device-based. Οι περισσότερες τεχνικές εντοπισμού θέσης με WiFi βασίζονται σε μετρήσεις χαρτογράφησης της έντασης του σήματος στα διάφορα σημεία του χώρου αναφοράς (fingerprinting), μια τεχνική που είναι εύκολη και οικονομική στην εφαρμογή της. Παρόλα αυτά υπάρχει μια διχογνωμία σε σχέση με την ακρίβεια των μεθόδων αυτών. Οι Khalajmehrabadi et al. [32] παρέχουν μια έρευνα που παρουσιάζει τις πιο σημαντικές δουλειές μέχρι τη στιγμή της δημοσίευσής της, μαζί με μια σύγκριση της ακρίβειας των μεθόδων σε ένα περιβάλλον μετρήσεων (testbed) που προτείνεται.

## 5.8 Bluetooth Χαμηλής Ενέργειας (BLE)

Το Bluetooth Low Energy (BLE) είναι μια ασύρματη τεχνολογία δικτύων προσωπικής περιοχής (WPAN), ανεξάρτητο από το κλασσικό Bluetooth με το οποίο δεν είναι και συμβατό. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι το χαμηλό κόστος και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ενώ έχει την ίδια εμβέλεια με το Bluetooth. Υποστηρίζεται δε εγγενώς από όλα σχεδόν τα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα κινητών, όπως τα iOS, Android, Windows Phone και BlackBerry, καθώς και τα macOS, Linux, Windows 8 και Windows 10. Αν και υπάρχουν βιβλιογραφικές μελέτες σχετικά με την χρήση του Bluetooth σε διάφορες εφαρμογές [34], δεν φαίνεται να υπάρχουν σχετικά με τη χρήση του BLE σε συστήματα IPS.



Όπως και το κλασσικό Bluetooth χρησιμοποιεί την τεχνική frequency hopping. Οι πομποί BLE καλούνται BLE beacons. Πρόκειται για μικρές συσκευές που εκπέμπουν διαφημίσεις της λειτουργίας τους και ταιριάζουν πολύ με τις εφαρμογές IPS λόγω του κόστους, της ιδιωτικότητας, της κίνησης του δικτύου και του χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματός τους [36], [37]. Η χαμηλή ενέργεια λειτουργίας, που κάνει μια συσκευή BLE ικανή να λειτουργεί για μήνες με την ίδια μπαταρία, και η εγγενής υποστήριξη του από τα κινητά, το καθιστά μια πολύ καλή επιλογή για συστήματα IPS [5].

Το BLE διαφημίζεται σε τρία κανάλια εύρους 2MHz στην μπάντα των 2.4 GHz. Το μικρό εύρος του καναλιού μεταφράζεται σε μεγαλύτερη επίδραση του φαινομένου fast-fading συγκρινόμενο με το WiFi και πολλές μελέτες επικεντρώνονται στην καταπολέμηση του προβλήματος [36].

Το BLE έχει πολλές ομοιότητες με το WiFi και για αυτό χρησιμοποιεί τις ίδιες τεχνικές προσδιορισμού της θέσης, με το RSS να είναι η πιο δημοφιλής. Λόγω όμως της χαμηλής ισχύος του η εμβέλειά του δεν ξεπερνά τα 20m. Η μικρή αυτή εμβέλεια κάνει αδύνατη τη χρήση σε λύσεις device-free. Η ακρίβεια στη θέση με BLE είναι συνήθως καλύτερη από εκείνη με WiFi. Έχουν αναφερθεί ακρίβειες της τάξης του 1 με 3 μέτρα. Για τον ίδιο αριθμό ραδιοφάρων (beacons) η ακρίβεια σε περιορισμένους χώρους είναι μικρότερη από αυτή που επιτυγχάνεται σε περιβάλλοντα μεσαίου ή μεγαλύτερου μεγέθους. Τέλος, ο κυρίαρχος τρόπος διάταξης των ραδιοφάρων είναι σε ομοιόμορφη διάταξη, δηλαδή σε ίδιες αποστάσεις που καλύπτουν τον χώρο ενδιαφέροντος ή τα όριά του [36].

## **5.9 Ραδιοσυχνική αναγνώριση (RFID), Επικοινωνίες Κοντινού Πεδίου (NFC) και QR codes**

Ο κύριος εξοπλισμός των διατάξεων Ραδιοσυχνικής Αναγνώρισης (Radio Frequency Identification -RFID) είναι ηλεκτρονικές ετικέτες (RFID tags) όπου αποθηκεύονται κάποια δεδομένα (συνήθως ένας κωδικός) και οι αναγνώστες που μπορούν να ανακτήσουν αυτή την πληροφορία από τις ετικέτες μέσω ραδιοσυχνοτήτων. Οι RFID ετικέτες μπορεί να είναι παθητικές, ενεργές ή ημι-παθητικές (semi-passive). Οι παθητικές χρησιμοποιούν την ενέργεια από το σήμα της συσκευής ανάγνωσης για να μεταδώσουν την πληροφορία τους. Οι ενεργές έχουν μπαταρίες και εκπέμπουν το σήμα τους περιοδικά. Τέλος, οι ημι-παθητικές εκπέμπουν το σήμα τους μόνο εφόσον αναγνωρίσουν το σήμα του αναγνώστη [11].



Καθώς οι αναγνώστες είναι συνήθως μεγαλύτεροι και ακριβότεροι από τις ετικέτες, η συνήθης τοποθέτηση των συστημάτων αυτών είναι να τοποθετούνται πολλές ετικέτες στον χώρο ενδιαφέροντος και οι συσκευές ανάγνωσης να φέρονται από τον χρήστη-επισκέπτη [7].

Τα συστήματα προσδιορισμού θέσης που βασίζονται σε διατάξεις Επικοινωνίας Κοντινού Πεδίου (Near Field Communication - NFC) θεωρούνται μια παραλλαγή των συστημάτων που βασίζονται σε RFID [11]. Οι Επικοινωνίες Κοντινού Πεδίου (NFC) επιτρέπουν σε δύο συσκευές, συνήθως δύο κινητά, να επικοινωνήσουν μεταξύ τους όταν βρίσκονται σε επαφή ή σε μεγάλη εγγύτητα μεταξύ τους. Κάποιες πρόσφατες προτάσεις συστημάτων IPS, [7], προτείνουν την αξιοποίηση της ικανότητας χρήσης NFC που έχουν πολλά κινητά σε συνδυασμό με την τοποθέτηση ετικετών NFC στον χώρο ενδιαφέροντος. Αυτές οι προτάσεις έχουν δεχτεί διπλή κριτική. Ένα στοιχείο είναι το γεγονός ότι πολλά κινητά δεν υποστηρίζουν NFC. Δεύτερον, η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί την ενεργή συμμετοχή του υποκειμένου που πρέπει να πλησιάσει το κινητό του στην ετικέτα.

Ο κώδικας QR (Quick Response = «γρήγορη ανταπόκριση») είναι ένας γραμμωτός κώδικας (barcode) δύο διαστάσεων, που δημιουργήθηκε από την ιαπωνική εταιρεία Denso-Wave το 1994. Το εμπορικό σήμα είναι «QR-Code». Ξεκίνησε να χρησιμοποιείται για τη σήμανση μονάδων και εξαρτημάτων στην αυτοκινητοβιομηχανία. Λόγω της αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων, η μέθοδος αυτή είναι πολύ εύρωστη και, ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται ευρέως. Συμπληρωματικά αναφέρεται ότι πλέον είναι τεχνολογία ελεύθερη δικαιωμάτων και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον οποιονδήποτε ελεύθερα.

Το χαμηλό κόστος λειτουργίας, η καταλληλότητά τους για πλειάδα εφαρμογών και η ευκολία διάθεσης των παραπάνω λύσεων δημιουργούν μια παρακαταθήκη για το μέλλον τους στο αντικείμενο.

## 5.10 Άλλες τεχνολογίες

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης αλλά δεν υπάρχουν πολλές προτάσεις – λύσεις που τις χρησιμοποιούν. Μια τέτοια τεχνολογία είναι τα συστήματα κινητής κυψελωτής τηλεφωνίας, όπως τα GSM, 4G, LTE και πιο πρόσφατα το 5G. Με εξαίρεση το 5G που είναι μια



επερχόμενη και υποσχόμενη τεχνολογία χωρίς όμως υφιστάμενες λύσεις [38], για τις υπόλοιπες οι αναφερόμενες ακρίβειες στη θέση είναι της τάξης των 50m που δεν είναι κατάλληλη για τις περισσότερες εφαρμογές. Σε αυτή την περίπτωση εμπίπτει και η χρήση ραδιοφωνικών σημάτων FM.

Μια ενδιαφέρουσα πρόταση είναι η χρήση πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων στα δάπεδα οι οποίοι μπορούν να ανιχνεύσουν τη θέση ενός χρήστη- επισκέπτη [10]. Προφανώς μια τέτοια λύση μπορεί να έχει πολύ περιορισμένη εφαρμογή ειδικά σε πολυπληθή περιβάλλοντα.

Τελευταία εμφανίζονται εργασίες όπου συζητείται η χρήση Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks – WSN). Βέβαια, τα WSN δεν είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται αυτή καθαυτή σε συστήματα IPS. Αυτό που αποτελεί κίνητρο αναφοράς είναι ότι και στα WSN ο προσδιορισμός της θέσης του κόμβου είναι ένα από τα προβλήματα προς λύση. Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων είναι μια συλλογή κόμβων που μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ή τουλάχιστον με τους κοντινότερους γείτονές τους καθώς και με αισθητήρες που ανιχνεύουν κάποιες ποσότητες. Αν είναι γνωστή η θέση κάποιων από τους κόμβους, τότε η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία ή κάποια άλλη δυνατότητά τους επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης των υπολοίπων. Επειδή όμως η επίλυση του προβλήματος είναι σχετικά ενεργοβόρα, οι κόμβοι WSN ερμηνεύουν την απόσταση μεταξύ τους συνήθως ως απαρίθμηση αλμάτων (hops).

Ένας επίσης ετερογενές δίκτυο, ανάλογο με τα WSN, είναι εκείνο των συσκευών που οργανώνονται κάτω από την ομπρέλα αυτού που ονομάζεται Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT). Και σε αυτές τις δομές, όπως και στα WSN, οι κόμβοι χρησιμοποιούν τις δυνατότητές τους για προσδιορισμό θέσης [9]. Παρόλα αυτά οι κόμβοι στο IoT έχουν λιγότερους περιορισμούς στη συνδεσιμότητα και αναμένεται, ως τεχνολογία, να δώσει ώθηση στις device-free εφαρμογές προσδιορισμού θέσης δημιουργώντας έξυπνα περιβάλλοντα [12].





## 6 Υβριδικά Συστήματα

### 6.1 Συνεργασία GNSS με Αδρανειακά Συστήματα Πλοήγησης

Ο συνδυασμός ενός GNSS με ένα Αδρανειακό Σύστημα Πλοήγησης (Inertial Navigation System - INS) αποτελεί έναν πολύ καλό τρόπο προσδιορισμού της θέσης αλλά και της τάσης αλλαγής της (attitude). Ένα Αδρανειακό Σύστημα Πλοήγησης μπορεί να παρέχει όλες τις πληροφορίες πλοήγησης, όπως θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση και τάση αλλαγής, με υψηλό ρυθμό ανανέωσης. Το μειονέκτημά του είναι ότι η λύση που προσφέρει αποκλίνει με τον χρόνο λόγω του αθροιστικού αποτελέσματος των σφαλμάτων των αισθητήρων. Η συνεργασία με ένα GNSS ώστε να ρυθμίζονται οι αισθητήρες του INS όχι μόνο αμβλύνει τις αδυναμίες των GNSS (π.χ. την διαθεσιμότητα), αλλά οριοθετεί και τα σφάλματα των αισθητήρων του INS, τα οποία διαφορετικά θα αθροίζονταν με τον χρόνο αν το INS λειτουργούσε μόνο του. Αυτή η συνεργασία είναι σχεδόν πάντα επιτυχής σε ανοικτά περιβάλλοντα, αλλά δεν είναι εφαρμόσιμη σε εσωτερικούς-κλειστούς χώρους. Αν και τα GNSS μπορούν τυπικά να λειτουργήσουν σε κλειστούς χώρους, η εξασθένηση του σήματος και φαινόμενα πολυόδευσης (multipath) καθιστούν την ποιότητά τους πολύ υποδεέστερη σε σύγκριση με τους εξωτερικούς χώρους. Γενικά, χωρίς τη διαθεσιμότητα ενός GNSS, ακόμη και τα καλής ποιότητας Αδρανειακά Συστήματα είναι δύσκολο να διατηρήσουν την ακρίβειά τους για περισσότερο από μερικά λεπτά. Διάφορες προχωρημένες τεχνικές ολοκλήρωσης GNSS με INS έχουν προταθεί αλλά σε περιόδους απώλειας του δορυφορικού σήματος είναι απίθανο να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις ακρίβειας πολλών εφαρμογών.

### 6.2 Συνεργασία GNSS, INS και IPS

Για να επιτύχουμε αξιόπιστη και αδιάκοπη πλοήγηση τόσο σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους, αλλά και στο χώρο μετάβασης μεταξύ τους έχει προταθεί η χρήση ενός ολοκληρωμένου υβριδικού συστήματος το οποίο θα συνδυάζει τη χρήση ενός GNSS, ενός INS και ενός IPS. Μια από τις προτεινόμενες και σε λειτουργία τέτοιες υπηρεσίες είναι η “Locata”

Η τεχνολογία “Locata” είναι ένα επίγειο σύστημα που χρησιμοποιεί σήματα που εκπέμπονται από διάφορους πομποδέκτες για τον υπολογισμό της τοπικής θέσης. Οι πομποδέκτες ονομάζονται “LocataLites” και όταν λειτουργούν τέσσερις ή περισσότεροι σε συνεργασία δημιουργούν έναν δίκτυο που ονομάζεται “LocataNet”. Τα σήματα που εκπέμπονται βρίσκονται



στην μπάντα ISM (Industry, Scientific and Medical) των 2,4MHz. Μόλις ο χρήστης λάβει τέσσερα ή περισσότερα σήματα από διαφορετικούς LocataLites μπορεί να υπολογίσει τη θέση του με ακρίβεια εκατοστών χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις στη φάση του φέροντος [16].

Με βάση τα παραπάνω έχει προταθεί ένα ολοκληρωμένο υβριδικό σύστημα με τη χρήση GNSS, INS και Locata το οποίο παρέχει συνεχή πλοήγηση τόσο σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους αλλά και στις περιοχές μετάβασης μεταξύ αυτών (π.χ. κατά την είσοδο ή έξοδο από κτίρια). Έτσι, εντός των κτιρίων μπορεί να χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός του INS και του Locata, ενώ εκτός των κτιρίων όπου είναι διαθέσιμα και τα δορυφορικά σήματα του GNSS οι τρεις λύσεις μπορούν να συνδυάζονται για να παρέχονται βελτιωμένες υπηρεσίες πλοήγησης [17].



## 7 Σύγκριση της ακρίβειας των μεθόδων

Ο κύριος παράγοντας που υπαγορεύει την επιλογή ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης είναι η ακρίβεια. Παρόλα αυτά δεν είναι ο μοναδικός. Σημαντικός παράγοντας είναι επίσης η δυνατότητα χρήσης του συστήματος μέσω «έξυπνου» τηλεφώνου. Τα συστήματα που παρέχουν την υψηλότερη ακρίβεια αυτοματοποιημένα (δηλαδή χωρίς την παρέμβαση του χρήστη), ειδικά σε εσωτερικούς χώρους, συνήθως δεν υποστηρίζονται από κινητά. Η συνθήκη αυτή ενδέχεται βέβαια να αλλάξει με την έλευση του 5G και την περαιτέρω αύξηση της επεξεργαστικής ισχύος και της μνήμης σε κινητές συσκευές.

Οι τεχνολογίες που παρέχουν τις υψηλότερες ακρίβειες είναι εκείνες που βασίζονται στο φως (επικοινωνίες ορατού φάσματος), στον ήχο, τα UWB, τα τεχνητά μαγνητικά πεδία και τη μηχανική όραση. Σε αυτές η ακρίβεια μπορεί να φτάσει μέχρι και λίγα εκατοστά. Η υψηλή ακρίβεια των τεχνολογιών που εμπλέκουν το ορατό φάσμα επιτυγχάνεται σε ειδικές μόνο συνθήκες όπως η χρήση ειδικού εξοπλισμού (π.χ. συστοιχίες φωτοδιόδων), η ύπαρξη οπτικής επαφής και η χρήση τεχνικών όπως η TDOA. Η ακρίβεια τεχνολογιών όπως οι υπέρηχοι, το UWB και τα τεχνητά μαγνητικά πεδία είναι επίσης υψηλή αλλά απαιτούν τεχνικές (π.χ. TOA και AoA) που δεν υποστηρίζονται από τα εμπορικά διατιθέμενα κινητά. Αντίθετα, κάθε σύγχρονο κινητό διαθέτει τουλάχιστον μια κάμερα καθιστώντας κάποια εφαρμογή της τεχνητής όρασης εφικτή. Αυτό βέβαια απαιτεί την εμπλοκή του χρήστη, ο οποίος πρέπει να συμμετέχει στη διαδικασία και να προσανατολίσει το κινητό του κατάλληλα.

Τα φυσικά μαγνητικά πεδία, το WiFi, το BLE και το PDR αποτελούν τεχνολογίες οι οποίες συναντώνται συχνά στα τοπικά συστήματα προσδιορισμού θέσης (IPS) και υποστηρίζονται από εφαρμογές έξυπνων κινητών. Η ακρίβεια του PDR πέφτει καθώς αυξάνεται η απόσταση από το τελευταίο σταθερό σημείο αναφοράς και για αυτό συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις άλλες τεχνικές. Τα συστήματα που βασίζονται σε μαγνητικά πεδία ή στο WiFi απαιτούν την προηγούμενη αποτύπωση των μετρήσεων στον χώρο ενδιαφέροντος (fingerprinting), διαδικασία που είναι χρονοβόρα. Πέραν τούτου είναι αρκετά δημοφιλείς τεχνικές καθώς υποστηρίζονται από κινητά και δεν απαιτούν την εγκατάσταση επιπλέον εξοπλισμού. Τα συστήματα BLE προσφέρουν συγκριτικά υψηλότερη ακρίβεια με την απαίτηση όμως της εγκατάστασης BLE ραδιοφάρων (beacon). Μια απαίτηση που δεν έχει μεγάλο κόστος.

Άλλες τεχνολογίες όπως τα RFID, τα WSN και το ZigBee συναντώνται λιγότερο στη βιβλιογραφία, αν και έχουν συγκρίσιμες ακρίβειες. Τα κυψελωτά δίκτυα (όπως το GSM) έχουν



πολύ χαμηλές ακρίβειες. Τα WSN εξυπηρετούν εν γένει εξειδικευμένες εφαρμογές που δεν συσχετίζονται με κινητά. Τα συστήματα RFID και ZigBee απαιτούν συγκεκριμένο εξοπλισμό, ειδικές εγκαταστάσεις, ειδικούς αναγνώστες-δέκτες, διαφοροποιούνται σε εμβέλεια και κόστος. Έτσι, δεν τυγχάνουν της αποδοχής και της επιτυχίας που έχουν τεχνολογίες όπως το BLE ή το WiFi.



## 8 Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας θα πρέπει να σημειώσουμε ότι για τις ανάγκες του δικού μας έργου αναζητούμε μια λύση που να προσφέρει τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Μια τέτοια λύση θα πρέπει να υποστηρίζεται από το μέσο «έξυπνο» τηλέφωνο που μπορεί να διαθέτει ο χρήστης – επισκέπτης των χώρων που μας ενδιαφέρουν. Αυτό συντελεί στη σημαντική μείωση του κόστους εφαρμογής διότι δεν απαιτείται η προμήθεια και συντήρηση εξειδικευμένου εξοπλισμού. Τέλος, θεωρούμε ότι η εμπλοκή του ίδιου του χρήστη στον προσδιορισμό της θέσης δεν αποτελεί πρόβλημα για την δική μας εφαρμογή, καθώς ο επισκέπτης ενός χώρου πολιτιστικού ενδιαφέροντος (π.χ. μουσείο ή αρχαιολογικό χώρο) προσέρχεται σε αυτόν οικειοθελώς και με τη θετική διάθεση να μάθει και να συμμετάσχει.

Με βάση τις παραπάνω σκέψεις προτείνουμε τη χρήση ετικετών με QR codes οι οποίες είναι εύκολα αναγνώσιμες από όλα τα σύγχρονα κινητά και μπορούν με μεγάλη ευκολία να παραπέμπουν κάθε φορά στην κατάλληλη πληροφορία (κείμενο, εικόνες, βίντεο, εικονικό περιβάλλον, κλπ) αφού αρχικά προσδιορίσουν με υψηλή ακρίβεια τη θέση του επισκέπτη. Το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, η καταλληλότητά τους για πλειάδα εφαρμογών και η ευκολία διάθεσης της λύσης δημιουργούν μια παρακαταθήκη για το μέλλον τους στο αντικείμενο.





## 9 Βιβλιογραφία

- [1] López, F. J. A. 2002. *Calidad en La Producción Cartográfica*. Madrid. Editora RA-MA.
- [2] US Departments of Defense, Homeland Security and Transportation. US Federal Radionavigation Plan; Technical Report; United States Department of Defense: Washington, DC, USA, 2017.
- [3] ISO Central Secretary. *Information Technology—Real Time Locating Systems—Test and Evaluation of Localization and Tracking Systems*; Standard ISO/IEC 18305:2016; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2016.
- [4] Potorti, F.; Crivello, A.; Barsocchi, P.; Palumbo, F. Evaluation of Indoor Localisation Systems: Comments on the ISO/IEC 18305 Standard. In Proceedings of the 2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Nantes, France, 24–27 September 2018; pp. 1–7.
- [5] 11. Basiri, A.; Lohan, E.S.; Moore, T.; Winstanley, A.; Peltola, P.; Hill, C.; Amirian, P.; e Silva, P.F. Indoor location based services challenges, requirements and usability of current solutions. *Comput. Sci. Rev.* **2017**, *24*, 1–12.
- [6] 12. Tariq, Z.B.; Cheema, D.M.; Kamran, M.Z.; Naqvi, I.H. Non-GPS Positioning Systems. *ACM Comput. Surv.* **2017**, *50*, 1–34.
- [7] 13. Sakpere, W.; Oshin, M.A.; Mlitwa, N.B. A State-of-the-Art Survey of Indoor Positioning and Navigation Systems and Technologies. *S. Afr. Comput. J.* **2017**, *29*.
- [8] 14. Yassin, A.; Nasser, Y.; Awad, M.; Al-Dubai, A.; Liu, R.; Yuen, C.; Raulefs, R.; Aboutanios, E. Recent Advances in Indoor Localization: A Survey on Theoretical Approaches and Applications. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* **2017**, *19*, 1327–1346.
- [9] 15. Zafari, F.; Gkelias, A.; Leung, K.K. A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* **2019**, *21*, 2568–2599.
- [10] Xiao, J.; Zhou, Z.; Yi, Y.; Ni, L.M. A Survey on Wireless Indoor Localization from the Device Perspective. *ACM Comput. Surv.* 2016, *49*, 1–31.
- [11] Brena, R.F.; García-Vázquez, J.P.; Galván-Tejada, C.E.; Muñoz-Rodríguez, D.; Vargas-Rosales, C.; Fangmeyer, J. Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey. *J. Sens.* 2017, *2017*, 1–21.



- [12] 22. Oguntala, G.; Abd-Alhameed, R.; Jones, S.; Noras, J.; Patwary, M.; Rodriguez, J. Indoor location identification technologies for real-time IoT-based applications: An inclusive survey. *Comput. Sci. Rev.* 2018, 30, 55–79.
- [13] 41. Maghdid, H.S.; Lami, I.A.; Ghafoor, K.Z.; Lloret, J. Seamless Outdoors-Indoors Localization Solutions on Smartphones. *ACM Comput. Surv.* 2016, 48, 1–34.
- [14] Fengyu Xiaa, Shirong Yea, Pengfei Xiaa, Lewen Zhaoa, Nana Jiangc, Dezhong Chena, Guangbao Hu, Assessing the latest performance of Galileo-only PPP and the contribution of Galileo to Multi-GNSS PPP, *Advances in Space Research*, Volume 63, Issue 9, 1 May 2019, Pages 2784-2795.
- [15] ICAO, Guide For Ground Based Augmentation System Implementation, May 2013. Available online at URL: <https://www.icao.int/SAM/eDocuments/GBASGuide.pdf>. Last Accessed: March 21st, 2021.
- [16] Rizos, Chris, Gethin Roberts, Joel Barnes, and Nunzio Gambale. "Experimental results of Locata: A high accuracy indoor positioning system." In 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, pp. 1-7. IEEE, 2010.
- [17] Wei Jiang, Yong Li, Chris Rizos, Baigen Cai<sup>1</sup> and Wei Shangguan. Seamless Indoor-Outdoor Navigation based on GNSS, INS and Terrestrial Ranging Techniques, *THE JOURNAL OF NAVIGATION* (2017), 70, 1183–1204, doi:10.1017/S037346331700042X
- [18] Zhuang, Y.; Hua, L.; Qi, L.; Yang, J.; Cao, P.; Cao, Y.; Wu, Y.; Thompson, J.; Haas, H. A Survey of Positioning Systems Using Visible LED Lights. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2018, 20, 1963–1988. [CrossRef]
- [19] 65. Afzalan, M.; Jazizadeh, F. Indoor Positioning Based on Visible Light Communication. *ACM Comput. Surv.* 2019, 52, 1–36. [CrossRef]
- [20] 16. Cadena, C.; Carlone, L.; Carrillo, H.; Latif, Y.; Scaramuzza, D.; Neira, J.; Reid, I.; Leonard, J.J. Past, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age. *IEEE Trans. Robot.* 2016, 32, 1309–1332.
- [21] 14. Yassin, A.; Nasser, Y.; Awad, M.; Al-Dubai, A.; Liu, R.; Yuen, C.; Raulefs, R.; Aboutanios, E. Recent Advances in Indoor Localization: A Survey on Theoretical Approaches and Applications. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2017, 19, 1327–1346.
- [22] 77. Ward, A.; Jones, A.; Hopper, A. A new location technique for the active office. *IEEE Pers. Commun.* 1997, 4, 42–47.





- [23] 16. Ureña, J.; Hernández, A.; García, J.J.; Villadangos, J.M.; Carmen Pérez, M.; Gualda, D.; Álvarez, F.J.; Aguilera, T. Acoustic Local Positioning with Encoded Emission Beacons. *Proc. IEEE* 2018, 106, 1042–1062.
- [24] 50. He, S.; Shin, K.G. Geomagnetism for Smartphone-Based Indoor Localization: Challenges, Advances, and Comparisons. *ACM Comput. Surv.* 2017, 50, 97:1–97:37. [CrossRef]
- [25] 54. Pasku, V.; Angelis, A.D.; Angelis, G.D.; Arumugam, D.D.; Dionigi, M.; Carbone, P.; Moschitta, A.; Ricketts, D.S. Magnetic Field-Based Positioning Systems. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2017, 19, 2003–2017. [CrossRef]
- [26] 82. Shu, Y.; Bo, C.; Shen, G.; Zhao, C.; Li, L.; Zhao, F. Magicol: Indoor Localization Using Pervasive Magnetic Field and Opportunistic WiFi Sensing. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2015, 33, 1443–1457. [CrossRef]
- [27] 13. Sakpere, W.; Oshin, M.A.; Mlitwa, N.B. A State-of-the-Art Survey of Indoor Positioning and Navigation Systems and Technologies. *S. Afr. Comput. J.* 2017, 29.
- [28] 62. Wu, Y.; Zhu, H.B.; Du, Q.X.; Tang, S.M. A Survey of the Research Status of Pedestrian Dead Reckoning Systems Based on Inertial Sensors. *Int. J. Autom. Comput.* 2018, 16, 65–83.
- [29] 71. Vezocnik, M.; Juric, M.B. Average Step Length Estimation Models' Evaluation Using Inertial Sensors: A Review. *IEEE Sens. J.* 2019, 19, 396–403.
- [30] 52. Mazhar, F.; Khan, M.G.; Sällberg, B. Precise Indoor Positioning Using UWB: A Review of Methods, Algorithms and Implementations. *Wirel. Pers. Commun.* 2017, 97, 4467–4491.
- [31] 33. Alarifi, A.; Al-Salman, A.; Alsaleh, M.; Alnafessah, A.; Al-Hadhrami, S.; Al-Ammar, M.; Al-Khalifa, H. Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors* 2016, 16, 707.
- [32] 19. Khalajmehrabadi, A.; Gatsis, N.; Akopian, D. Modern WLAN Fingerprinting Indoor Positioning Methods and Deployment Challenges. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2017, 19, 1974–2002. [CrossRef]
- [33] Davidson, P.; Piche, R. A Survey of Selected Indoor Positioning Methods for Smartphones. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2017, 19, 1347–1370.



- [34]90. Jeon, K.E.; She, J.; Soonsawad, P.; Ng, P.C. BLE Beacons for Internet of Things Applications: Survey, Challenges, and Opportunities. *IEEE Internet Things J.* 2018, 5, 811–828.
- [35]11. Basiri, A.; Lohan, E.S.; Moore, T.; Winstanley, A.; Peltola, P.; Hill, C.; Amirian, P.; e Silva, P.F. Indoor location based services challenges, requirements and usability of current solutions. *Comput. Sci. Rev.* 2017, 24, 1–12.
- [36]48. Davidson, P.; Piche, R. A Survey of Selected Indoor Positioning Methods for Smartphones. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2017, 19, 1347–1370.
- [37]87. Faragher, R.; Harle, R. Location fingerprinting with bluetooth low energy beacons. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2015, 33, 2418–2428.
- [38]Wen, F.; Wymeersch, H.; Peng, B.; Tay, W.P.; So, H.C.; Yang, D. A survey on 5G massive MIMO localization. *Digit. Signal Process.* 2019.
- [39] Germán Martín Mendoza-Silva, Joaquín Torres-Sospedra and Joaquín Huerta, A Meta-Review of Indoor Positioning Systems, *Sensors* 2019, 19, 4507; doi:10.3390/s19204507