

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής**



Πτυχιακή Εργασία

Augmented Reality in Indoor Navigation

Δραπανιώτης Ορέστης AM: 3367

Κάβαλος Μιχάλης AM: 3328

Επιβλέπων Καθηγητής : Παναγιωτάκης Σπυρίδων

Ημερομηνία Παρουσίασης : 20 οκτώβριου 2017

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Κ. Παναγιωτακη για την βοήθεια που μας έδωσε καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής μας εργασίας και κυρίως την πάντα άμεση επίλυση αποριών που μας δημιουργούνταν. Επιπλέον την Κ. Χατζημιχάλη Αγγελική για την βοήθεια της ορθογραφικής διόρθωσης της αναφοράς και τον Τσουκαλά Μανώλη για τις συμβουλές που μας προσέφερε στην ανάπτυξη της εφαρμογής. Τέλος τον Κ. Χρήστο Πετρόπουλο για τις υποδείξεις του περί των ηλεκτρονικών ζητημάτων.

Abstract

“Augmented Reality Indoor Navigation”

Indoor navigation is a means of indoor navigation equivalent to the GPS technology used outdoors. This way of navigation is primarily used on smart devices (tablets, smartphones etc.). By using a mode called indoor routing which is usually an installed application on the user's device, calculations are made in order to spot the user's exact location and guide him indoors. Calculations take place directly on the user's device which makes indoor navigation to be described as a client based application. Wi-Fi or Bluetooth technology (beacons) is required to figure out the location.

The beacons transmit a Bluetooth signal every few seconds around them, the mobile phone receives those signals and by following a program procedure shows the user's location in the indoor space on the device's screen.

The final aim is the development of an application to be used for navigating in a single exhibition hall but prospectively in a whole museum. When the user approaches an exhibit and after having an information on his mobile screen, he will be able to draw all available information about it by visiting a special webpage.

We successfully met our goal as we were able to develop an application that works satisfactorily and spots the location with a slight divergence. We present below the steps we took to develop and support our application in the theoretical part of our thesis.

1. The technology and mathematical formulas we used or we could have alternatively used.
2. Code analysis
3. The observations and conclusions we derived during the development of our thesis.

Σύνοψη

“Augmented Reality in Indoor Navigation”

Το Indoor navigation είναι ένας τρόπος πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως “GPS εσωτερικού χώρου”. Χρησιμοποιείται σε “έξυπνες συσκευές” όπως smartphones, tablets κλπ, μέσω μιας λειτουργίας “indoor routing”, η οποία συνήθως είναι κάποιο app στη συσκευή του χρήστη όπου γίνεται υπολογισμός της ακριβής θέσης του στο χώρο, προκειμένου να γίνει η καθοδήγηση του μέσα σ’ αυτόν. Ο υπολογισμός της θέσης γίνεται απευθείας στη συσκευή του χρήστη, πράγμα που καθιστά το indoor navigation client-based εφαρμογή. Για τον υπολογισμό της θέσης απαιτείται Wi-Fi ή Bluetooth (beacons).

Τα beacons στέλνουν Bluetooth σήμα σε μια συγκεκριμένη εμβέλια γύρω τους κάθε λίγα δευτερόλεπτα. Το κινητό του χρήστη με την εφαρμογή που αναπτύξαμε λαμβάνει αυτά τα σήματα και με μια προγραμματιστική διαδικασία εμφανίζει την τοποθεσία του στον χάρτη του δωματίου που βρίσκεται. Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε με τελικό στόχο την περιήγηση σε μια αίθουσα μουσείου και μελλοντικά σε περισσότερους χώρους. Όταν ο χρήστης πλησιάζει ένα έκθεμα στον χάρτη της αίθουσας θα εμφανίζεται πληροφορία στην οθόνη του τηλεφώνου, που θα οδηγεί, εφόσον ο χρήστης επιθυμεί, σε μια ειδικά διαμορφωμένη ιστοσελίδα από όπου θα αντλεί όλες τις δυνατές λεπτομέρειες που έχουν εκ των προτέρων καταχωρηθεί γι’ αυτό.

Ο σκοπός ολοκληρώθηκε με επιτυχία καθώς καταφέραμε να αναπτύξουμε μια εφαρμογή που λειτουργεί σε ικανοποιητικό βαθμό και εντοπίζει την τοποθεσία με μια μικρή απόκλιση. Στο θεωρητικό μέρος της πτυχιακής μας εργασίας αναλύουμε τα εξής βήματα που ακολουθήσαμε για να αναπτύξουμε την εφαρμογή μας:

1. Τις τεχνολογίες και μαθηματικές φόρμουλες που χρησιμοποιήσαμε αλλά και θα μπορούσαμε να είχαμε χρησιμοποιήσει εναλλακτικά για να επιτευχθεί ο σκοπός μας
2. Αναλύσεις του κώδικα που αναπτύξαμε, και τέλος
3. Τα συμπεράσματα που βγάλαμε καθ’ όλη την διάρκεια της ανάπτυξης και συγγραφής της πτυχιακής μας εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Indoor Navigation.....	1
1.1. Τι είναι το Indoor Navigation.....	2
1.2. Γιατί είναι σημαντικό	2
1.3. Λειτουργία Indoor Navigation	3
1.4. Που χρησιμοποιείται	3
1.5. Περιληπτικά παραδείγματα χρήσης	3
1.6. Περιγραφή πόρων πτυχιακής εργασίας.....	4
Κεφάλαιο 2: Αναλυτικά για Indoor Navigation συστήματα.....	5
2.1. Beacons	6
2.1.1. Τι είναι.....	6
2.1.2. Πως λειτουργούν	6
2.1.3. Κατανάλωση ενέργειας	7
2.1.4. Εφαρμογές.....	10
2.1.5. Πρωτόκολλα Beacons	11
2.2. Bluetooth Low Energy (BLE)	15
2.2.1. Τι είναι.....	15
2.2.2. Bluetooth Smart Ready vs Bluetooth Smart.....	15
2.2.3. Εφαρμογές.....	16
2.2.4. Ανάλυση – Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	17
2.2.5. Bluetooth 5.0	18
2.2.6 Mesh Networking	19
2.3. Πρωτοκολλο Eddystone	21
2.3.1. Τι είναι.....	21
2.3.2. Διαφορές Eddystone – iBeacon.....	21
2.3.3. Ανάλυση πακέτου Eddystone	22
2.3.4. Frame Types	22
2.3.5. Physical Web	26
2.4. Indoor Navigation Analysis	27
2.4.1. Από τί υπάγεται ένα σύστημα Indoor Navigation	27
2.4.2 Client και Server Based εφαρμογές.....	29
2.4.3. Τρόποι υλοποίησης Indoor Navigation	29

2.5. Παραδείγματα χρήσης Indoor Navigation	34
2.5.1. Infsoft - Asset Tracking σε νοσοκομεία	34
2.5.2. Infsoft - Εκκένωση κτηρίων σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης.....	35
2.5.3. Navibees - Indoor Navigation σε μουσεία.....	35
2.5.4. Navibees - Indoor Navigation σε αεροδρόμια.....	36
Κεφάλαιο 3: Αλγόριθμοι Πλοήγησης	38
3.1. Αλγόριθμος Trilateration.....	39
3.2. Αλγόριθμος Multilateration.....	41
3.3. Αλγόριθμος Triangulation.....	43
3.4. Radiolocation	44
3.5. Αλγόριθμος Triangulation.....	45
Κεφάλαιο 4: Ανάλυση Hardware και Software	46
4.1. Οντότητες υλοποίησης - Διεπαφές.....	47
4.1.1. Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	47
4.1.2. Smartphone	48
4.1.3. Beacons	49
4.2. Βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήσαμε	49
4.2.1. Radius Networks - Android Beacon Library	49
4.2.2. Lemmingapex - Trilateration.....	50
4.3. Βασικά σημεία κώδικα υλοποίησης εφαρμογής	51
4.3.1. Ανάλυση Επικοινωνίας Beacon – mobile phone.....	51
4.3.2. Ανάλυση κώδικα για την δημιουργία θέσης χρήστη.....	53
4.3.2. Ανάλυση κώδικα για τα σημεία ενδιαφέροντος	54
4.3.2. Επιπλέον λειτουργίες εφαρμογής	56
4.4. Ηλεκτρονική ανάλυση SKYBEACON	58
Κεφάλαιο 5: Παρουσίαση Frontend και σενάρια τοποθεσίας	62
5.1. Εικόνες παραδείγματα εφαρμογής	63
5.2. Εικόνες σεναρίων τοποθεσίας χρήστη	65
Κεφάλαιο 6: Αξιολόγηση – Συμπεράσματα – Μελλοντικές Επεκτάσεις Εφαρμογής	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	70

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 - Παράδειγμα Indoor Space.....	2
Εικόνα 2 - Beacons	6
Εικόνα 3 - Κατανάλωση μπαταρίας ανάλογα με την συχνότητα ανιχνεύσεων.....	8
Εικόνα 4 - Κατανάλωση μπαταρίας ανάλογα με τον αριθμό beacons	9
Εικόνα 5 - Κατανάλωση μπαταρίας ανάλογα με το ποσοστό χρόνου που πραγματοποιείται το scan	9
Εικόνα 6 - Δομή πακέτου iBeacon.....	12
Εικόνα 7 - Δομή πακέτου Altbeacon	13
Εικόνα 8 - Δομή πακέτου Eddystone.....	14
Εικόνα 9 - Bluetooth Smart	15
Εικόνα 10 - Bluetooth 5	18
Εικόνα 11 - Mesh Networking	19
Εικόνα 12 - Eddystone	21
Εικόνα 13 - Physical Web της Google.....	26
Εικόνα 14 - Internet of things.....	27
Εικόνα 15 - D2D Communication	28
Εικόνα 16 - Client & Server Based Positioning	29
Εικόνα 17 - Πίνακας βασικών τεχνολογιών Indoor Navigation	30
Εικόνα 18 - Indoor Navigation με Wi-Fi.....	30
Εικόνα 19 - Indoor Navigation με BLE	31
Εικόνα 20 - Indoor Navigation με VLC.....	32
Εικόνα 21 - Εντοπισμός εξοπλισμού σε νοσοκομεία	34
Εικόνα 22 - Εκκένωση Κτηρίου σε έκτακτη ανάγκη	35
Εικόνα 23 - Σχήμα επεξήγησης Trilateration Algorithm.....	39
Εικόνα 24 - Γραφική παράσταση υπερβολής.....	41
Εικόνα 25 - Γεωμετρικό σχεδιάγραμμα TDOA	43
Εικόνα 26 - Point 1: Γνωστό σημείο 1, Point 2: Γνωστό σημείο 2, Point 3: Σημείο που ψάχνουμε την απόστασή του, Baseline: Απόσταση μεταξύ των σημείων 1 και 2, Unknown Distance: Απόσταση που ψάχνουμε	44
Εικόνα 27 - Σχήμα διεπαφών	47
Εικόνα 28 - Σύγχρονος ηλεκτρονικός υπολογιστής οικιακής χρήσης	48
Εικόνα 29 - Ένα Smartphone νέας τεχνολογίας.....	48
Εικόνα 30 - SKYBEACON, τα beacons που χρησιμοποιήσαμε στην υλοποίησή μας	49
Εικόνα 31 - Σχήμα συμβατότητας eddystone beacon. Συμβατά σε IOS, Android, Windows phone.....	49
Εικόνα 32 - Beacon που χρησιμοποιεί cc2541.....	58
Εικόνα 33 - Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας Beacon	58
Εικόνα 34 - LIS331DLH block diagram	59
Εικόνα 35 - Ηλεκτρονική δομή LIS331DLH	59
Εικόνα 36 - Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας.....	59
Εικόνα 37 - Διάγραμμα λειτουργίας του αισθητήρα	60
Εικόνα 38 - Ηλεκτρονική δομή Si7013	60

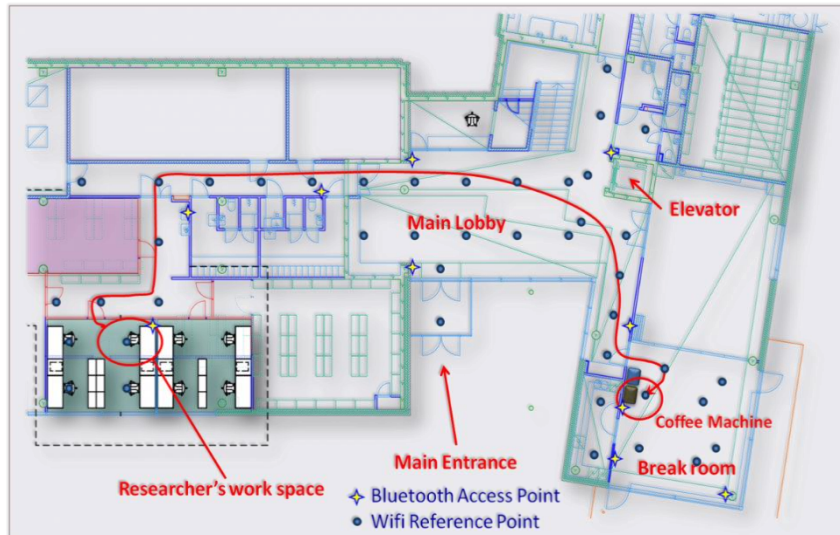
Εικόνα 39 - Προτεινόμενες συνθήκες λειτουργίας αισθητήρα	60
Εικόνα 40 - Γενικές πληροφορίες αισθητήρα	61
Εικόνα 41 - Σχεδιάγραμμα τυπικού ηλεκτρονικού κυκλώματος αισθητήρα υγρασίας θερμοκρασίας	61
Εικόνα 42 - Αρχικό μενού εφαρμογής	63
Εικόνα 43 - Εικόνιδιο εφαρμογής	63
Εικόνα 44 - Μήνυμα εκκίνησης scanning.....	64
Εικόνα 45 - PopUp εκκίνησης bluetooth.....	64
Εικόνα 46 - Παράθυρο εξόδου εφαρμογής	64
Εικόνα 47 - κεντρική σελίδα εφαρμογής, εδώ βλέπουμε τον χάρτη, την θέση του χρήστη και τις τοποθεσίες των σημείων ενδιαφέροντος.....	64
Εικόνα 48 - Χρήστης κοντά στο orange Beacon.....	65
Εικόνα 49 - Pop up window όταν ο χρήστης πατήσει το μπλε κουμπί.....	65
Εικόνα 50 - 2ο σημείο ενδιαφέροντος.....	66
Εικόνα 51 - 3ο σημείο ενδιαφέροντος.....	66
Εικόνα 52 - Παράθυρο επιλογής browser.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

INDOOR NAVIGATION

1.1. Τι είναι το Indoor Navigation

Το **Indoor navigation** είναι ένας τρόπος πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους και μπορεί να ορισθεί ως “**GPS εσωτερικού χώρου**”. Χρησιμοποιείται σε “έξυπνες συσκευές” (smartphones, tablets κλπ) όπου μέσω μιας λειτουργίας “indoor routing”, η οποία συνήθως είναι κάποιο app στη συσκευή του χρήστη, γίνεται υπολογισμός της ακριβούς θέσης του στο χώρο προκειμένου να γίνει η καθοδήγησή του μέσα σ’ αυτόν. Ο υπολογισμός της θέσης γίνεται απευθείας στη συσκευή του χρήστη, πράγμα που καθιστά το indoor navigation **client-based** εφαρμογή. Για τον υπολογισμό της θέσης απαιτείται **Wi-Fi** ή **Bluetooth** (beacons).



Εικόνα 1 - Παράδειγμα Indoor Space

1.2. Γιατί είναι σημαντικό

Η αδυναμία του GPS να λειτουργήσει σωστά σε εσωτερικό χώρο οδήγησε στη δημιουργία τεχνικών για indoor navigation. Συγκεκριμένα, η οποιαδήποτε παρεμβολή στο σήμα που λαμβάνει η συσκευή από το δορυφόρο μπορεί να αλλοιώσει τη λειτουργία του GPS. Για παράδειγμα, η πλοήγηση μέσω GPS παύει να είναι αξιόπιστη σε τούνελ, υπόγεια πάρκινγκ, δάση, σε συνθήκες συννεφιάς, κοντά σε ψηλά κτίρια – ουρανοξύστες και γενικά σε εσωτερικούς χώρους. Με άλλα λόγια, όταν δεν υπάρχει καθαρή οπτική επαφή με το δορυφόρο, το GPS ενδέχεται να δουλεύει λανθασμένα. Επιπρόσθετα ένα ακόμη μειονέκτημα του GPS είναι η αδυναμία να καθορίσει το υψόμετρο που βρίσκεται ο χρήστης και κατά συνέπεια τον όροφο του. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι είναι αναγκαία μία παρόμοια τεχνολογία που θα εξαλείψει τα μειονεκτήματα του GPS.

Πέρα από την αντιστάθμιση των παραπάνω αδυναμιών, το indoor navigation είναι σημαντικό και για άλλους λόγους. Η ανάγκη πλοήγησης δεν τελειώνει όταν φτάσουμε στον προορισμό μας, αλλά μπορεί να συνεχιστεί μέσα σ’ αυτόν. Με τη χρήση Wi-Fi και Bluetooth η ακρίβεια μέτρησης της θέσης είναι πολύ μεγαλύτερη απ’ ότι του GPS και έχει ως συνέπεια να γίνεται αποτελεσματικότερη πλοήγηση σε μικρό χώρο χωρίς τις αποκλίσεις που ενδεχομένως εμφανίζει το GPS. Για παράδειγμα, ο χρήστης βρίσκεται σε ένα εμπορικό κέντρο. Θα πρέπει να είναι ανά πάσα στιγμή σε θέση να γνωρίζει πού βρίσκεται, τι υπάρχει γύρω του (μαγαζιά, προσωπικό κλπ), καθώς και την ποικιλία προϊόντων και τις τιμές τους στα γύρω μαγαζιά.

1.3. Λειτουργία του Indoor Navigation

- **Beacons**

Τα beacons είναι συσκευές Bluetooth που εκπέμπουν πληροφορία σε μια συγκεκριμένη εμβέλεια. Υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας των beacons. Ο πρώτος είναι με **UIDs** (Identifiers), τα οποία για να κατανοηθούν και να χρησιμοποιηθούν από το χρήστη απαιτούν μια εφαρμογή (app) στη συσκευή του και εξωτερικό server. Ο δεύτερος είναι με **URLs**, άμεσα κατανοητά από το χρήστη, που χρειάζονται απλά ένα web browser για να εμφανιστούν.

- **Wi-Fi**

Μέσω Wi-Fi access points (μπορεί να υπάρχουν ήδη τοποθετημένα στο κτήριο) επιτυγχάνεται indoor navigation. Ο τρόπος είναι παρόμοιος με τα beacons, καθώς ο χρήστης χρειάζεται εφαρμογή στη συσκευή του για τον υπολογισμό της θέσης και είναι επίσης απαραίτητος εξωτερικός server. Η εμβέλεια του Wi-Fi είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι των beacons, αλλά η ακρίβεια μικρότερη.

- **VLC (Visible Light Communication)**

Ειδικά LED lamps χρησιμοποιούνται με τρόπο παρόμοιο με beacons, εκπέμπουν δηλαδή ένα ID σε μορφή παλλόμενου φωτός, το οποίο διαβάζεται από την κάμερα του smartphone του χρήστη για να γίνει ο προσδιορισμός της θέσης του. Η ακρίβεια των LED lamps είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι του Wi-Fi και των beacons, αλλά, σαν συνέπεια, η εμβέλειά τους αρκετά μικρότερη.

1.4. Πού χρησιμοποιείται

Όπως προαναφέραμε, το indoor navigation χρησιμοποιείται σε χώρους όπου η χρήση GPS δεν καθίσταται δυνατή. Η χρήση app αυτομάτως δημιουργεί πολλές ενδιαφέρουσες προοπτικές για την εφαρμογή indoor navigation. Οι εφαρμογές του μπορούν να απαντηθούν σε αεροδρόμια, μετρό, μουσεία - εκθέσεις, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα, γραφεία και πολλά άλλα μέρη. Ακόμα όμως και σε ανοιχτούς χώρους, όπου απαιτείται περαιτέρω πλοήγηση, όπως γήπεδα και χώρους φεστιβάλ – συναυλιών είναι δυνατή η χρήση indoor navigation.

1.5. Περιληπτικά παραδείγματα χρήσης indoor navigation

- **Σιδηροδρομικός σταθμός – μετρό:** Ο χρήστης μπορεί να πληροφορηθεί εγκαίρως για τυχόν καθυστερήσεις ή αλλαγές δρομολογίων, να δει λεπτομέρειες δρομολογίων, όπως εκτιμώμενος χρόνος δρομολογίου και στάσεις, και να κλείσει εισιτήριο από το κινητό του.
- **Αεροδρόμιο:** Ο χρήστης μπορεί να κάνει αυτόματα check-in απλά περνώντας εντός εμβέλειας ενός beacon. Όπως και με το σιδηροδρομικό σταθμό, μπορεί να πληροφορείται για τυχόν καθυστερήσεις ή αναβολές πτήσεων, καθώς και να περιηγηθεί στο αεροδρόμιο μέσω ειδικού χάρτη που παρουσιάζει και συγκεκριμένα **σημεία ενδιαφέροντος** (Points Of Interest).
- **Κατάστημα λιανικής:** Έστω μια αντιπροσωπεία αυτοκινήτων. Πλησιάζοντας σε ένα αυτοκίνητο ο χρήστης μπορεί να δει τεχνικές λεπτομέρειες γι' αυτό (μοντέλο, τεχνικά χαρακτηριστικά, χιλιόμετρα κλπ). Στο χώρο του καταστήματος θα μπορεί επίσης να πληροφορείται για τυχόν προσφορές ή εκπτώσεις που μπορεί να έχει.
- **Νοσοκομείο:** Πέραν του χάρτη του νοσοκομείου, μπορεί σε κάθε ιατρείο να δίνονται πληροφορίες για τον αριθμό των ασθενών που περιμένουν, καθώς και τον εκτιμώμενο χρόνο εξέτασης.

1.6. Περιγραφή Πτυχιακής Εργασίας

Για την πτυχιακή εργασία με θέμα “**Augmented Reality Indoor Navigation**” χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω πόροι:

- Γλώσσα προγραμματισμού **Java**.
- Προγράμματα **Android Studio** και **GitKraken**.
- Το Cloud based service **GitLab**.
- Χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθηκες **Android Beacon** και **Trilateration**.
- Τα κινητά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα **Huawei Y6** (Android 5.1.1) και **LG G2 mini** (Android 4.4.2).
- Τα beacons που χρησιμοποιήθηκαν είναι iBeacons της **SkyBeacon** (μοντέλο **forecum-201**), τα οποία υποστηρίζουν και το πρωτόκολλο Eddystone, καθώς και το SDK που απαιτείται για τις ρυθμίσεις τους, το επονομαζόμενο **SKYBEACON**.
- Εφαρμογές **BLE Scanner**, **iBeacon & Eddystone Scanner**, **Beacon Tools**, **Beacon Toy**, **Beacon Simulator** από Google Play.
- Πρόγραμμα περιήγησης **Google Chrome** για κινητά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ

ΓΙΑ INDOOR NAVIGATION

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1. BLE Beacons



Εικόνα 2 - Beacons

2.1.1 Τι είναι

Τα **BLE Beacons** είναι μικροί σε μέγεθος πομποί Bluetooth (συσκευές που μέσω Bluetooth εκπέμπουν δεδομένα σε άλλες φορητές συσκευές). Χρησιμοποιούν την τεχνολογία BLE (Bluetooth Low Energy 4.0) και συγκεκριμένα ανήκουν στην κατηγορία των Bluetooth Smart συσκευών. Αυτό σημαίνει ότι είναι ικανά για μονόδρομη επικοινωνία. Συγκεκριμένα, στέλνουν δεδομένα αλλά δε μπορούν να δεχτούν από το χρήστη.

Στις εφαρμογές τους είναι τοποθετημένα σε τοίχους ή κρυμμένα μέσα σε άλλες συσκευές. Εφόσον χρησιμοποιούν BLE καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια σε σχέση με το classic Bluetooth, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να λειτουργούν για μεγάλο χρονικό διάστημα (από ένα μήνα έως και δύο χρόνια) με μια μπαταρία coin-cell. Τα beacons εκπέμπουν ραδιοκύματα στο πεδίο εμβέλειάς τους και επιτρέπουν σε συσκευές που κάνουν χρήση του Bluetooth Low Energy (smartphones, tablets κλπ) να προβούν σε συγκεκριμένες ενέργειες όταν βρεθούν εντός εμβέλειάς τους. Οι συσκευές αυτές (Bluetooth Smart Ready) χρησιμοποιούν apps για να επεξεργαστούν κατάλληλα τα σήματα των beacons.

Κάθε συσκευή που υποστηρίζει BLE μπορεί να λάβει δεδομένα από ένα beacon, με την προϋπόθεση ότι το Bluetooth στη συσκευή είναι ενεργοποιημένο. Συγκεκριμένα, συσκευές με λογισμικό iOS 7 ή παραπάνω μπορούν να σκανάρουν αυτόματα το χώρο για beacons και όταν ανιχνεύσουν κάποιο να ανοίξουν εφαρμογές σχετικές με το συγκεκριμένο beacon. Σε συσκευές Android η διαδικασία αυτή δεν γίνεται αυτόματα. Αυτό σημαίνει ότι η εκάστοτε εφαρμογή αναλαμβάνει την ανίχνευση beacons και πρέπει να είναι ανοιχτή για να γίνει η διαδικασία.

Οι πιο γνωστοί κατασκευαστές beacons είναι οι **Estimote** και **Kontakt**. Μαζί με τα beacons παρέχουν και SDK (λογισμικό), με το οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει τις ρυθμίσεις τους. Πέραν των beacons του εμπορίου όμως, ακόμα και τα smartphones και tablets μπορούν με την κατάλληλη εφαρμογή να λειτουργήσουν ως beacons.

2.1.2 Πώς λειτουργούν

Τα beacons λειτουργούν στην ίδια συχνότητα με το Wi-Fi (2.4GHz), πράγμα που σημαίνει ότι είναι δυνατές οι παρεμβολές στην επικοινωνία σε ένα δίκτυο που κάνει χρήση και των δύο τεχνολογιών. Κάτι τέτοιο είναι πολύ σπάνιο, αφού τα beacons εκπέμπουν πολύ χαμηλότερη ισχύ εκπομπής και για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (της τάξεως του 1ms). Αν μάλιστα το Wi-Fi λειτουργεί στα 5GHz, δεν υπάρχει πιθανότητα παρεμβολής.

Τα δεδομένα που εκπέμπει ένα beacon σπάνια αλλάζουν, οπότε είναι αρμοδιότητα του χρήστη που θα τα λάβει να τα χρησιμοποιήσει αναλόγως. Για την αλληλεπίδραση μιας συσκευής με ένα beacon, λοιπόν, απαιτείται κάποιο συγκεκριμένο app στη συσκευή αυτή. Έτσι, εξασφαλίζεται ότι το beacon μπορεί να εντοπίσει τον χρήστη μόνο μέσω του app, άρα με τη

θέληση του χρήστη, αντί να στέλνει άσκοπα push notifications σε κάθε συσκευή που βρίσκεται στο πεδίο εμβέλειάς του.

Ένα beacon μπορεί να ανιχνευθεί από μια συσκευή από απόσταση που φτάνει ακόμα και τα 70 μέτρα, με τις κατάλληλες ρυθμίσεις και χωρίς εμπόδια ανάμεσα σε beacon και συσκευή. Η απόσταση αυτή μειώνεται σημαντικά όταν παρεμβάλλονται τοίχοι και γενικά επιφάνειες από μέταλλο ή τούβλο και λιγότερο όταν παρεμβάλλεται πιο λεπτή επιφάνεια. Οι αποστάσεις που μπορεί να βρεθεί μια συσκευή από ένα beacon κατηγοριοποιούνται σε 3 ομάδες, με τον τρόπο αλληλεπίδρασης να μπορεί να είναι διαφορετικός ανάλογα με την κατηγορία. Οι ομάδες αυτές είναι:

- Μακρινή (far): η συσκευή εισέρχεται στο πεδίο εμβέλειας του beacon (π.χ. περνώντας έξω από ένα μαγαζί).
- Κοντινή (near): η συσκευή βρίσκεται στο ίδιο δωμάτιο με το beacon (π.χ. βρισκόμενοι μέσα στο μαγαζί).
- Άμεση (immediate): η συσκευή “αγγίζει” το beacon (π.χ. checkout σ’ ένα μαγαζί).

Τα apps που αναλαμβάνουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της συσκευής και του beacon μπορούν να υπολογίζουν την απόσταση των δύο. Ανάλογα με την απόσταση αυτή και τη μετάβαση από μία κατηγορία απόστασης σε μια άλλη, το app μπορεί να στέλνει στο χρήστη μηνύματα χαιρετισμού – αποχαιρετισμού.

Στην πραγματικότητα, η πληροφορία που εκπέμπουν τα beacons δεν είναι άμεσα κατανοητή. Για την ακρίβεια, εκπέμπουν ένα UUID (Universally Unique Identifier), δηλαδή ένα αριθμό μεγέθους 128 bits που υποδηλώνει τη λειτουργία του, καθώς και έναν αριθμό bytes που περιέχουν πληροφορία. Το UUID θα ειδοποιήσει τη συσκευή να ξεκινήσει να λειτουργεί, ενώ τα bytes πληροφορίας αποτελούνται από ένα Major ID και ένα Minor ID (επισημαίνουν πληροφορίες όπως χώρα, περιοχή, κτήρια, καταστήματα και δωμάτια) και δίνουν επιπλέον πληροφορίες για την επεξεργασία. Είναι ευθύνη του app στην πλευρά του χρήστη να λάβει αυτό το μήνυμα, να συνδεθεί στο internet, όπου και θα το μετατρέψει σε πληροφορία και να στείλει μία ειδοποίηση στη συσκευή του χρήστη. Το μήνυμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αρκετούς τρόπους, για παράδειγμα να δείξει στο χρήστη πού βρίσκεται στο χώρο (real time mapping), ή να ενεργοποιήσει επιλογές σχετικές με το συγκεκριμένο χώρο στο χρήστη (push notifications, προτροπή για check-in στα social media).

Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι η επικοινωνία μέσω BLE (κατά συνέπεια και το broadcast των beacons) δεν είναι κρυπτογραφημένη. Το app, λοιπόν, πρέπει να φτιαχτεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μη μεταφέρονται ευαίσθητα δεδομένα που μπορούν να υποκλαπούν.

2.1.3 Κατανάλωση ενέργειας

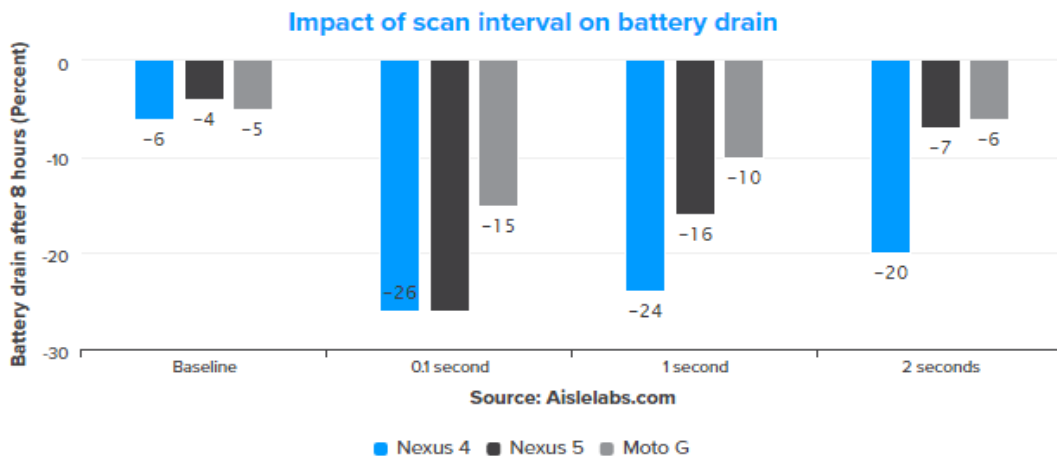
Όπως αναφέραμε παραπάνω, τα beacons χρησιμοποιούν την τεχνολογία BLE, που τους δίνει σημαντικά μικρότερη κατανάλωση ενέργειας απ’ ότι το classic Bluetooth, για την ακρίβεια το 1 – 20% του κλασσικού Bluetooth διατηρώντας παράλληλα το 15 – 50% της ταχύτητάς του. Η κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς ο χρόνος ζωής της μπαταρίας εξαρτάται από τις ρυθμίσεις της δύναμης του σήματος εκπομπής (transmit power ή Tx power) και του χρονικού διαστήματος μεταξύ δύο εκπομπών (advertising interval). Για παράδειγμα, η Apple χρησιμοποιεί στα beacons της (iBeacons) advertising interval ίσο με 100ms, που εγγυάται χρόνο ζωής 1 – 48 μήνες ανάλογα με τη χρήση, χρονικό διάστημα που μπορεί να εκτοξευτεί μέχρι και στα 3 χρόνια αν το advertising interval ανέβει στα 900ms.

Η μπαταρία, όμως, δεν είναι ο μόνος τρόπος τροφοδοσίας ενός beacon. Μία άλλη λύση είναι τα USB beacons, σε μορφή USB sticks. Τα συγκεκριμένα beacons συνδέονται σε ένα USB port που αναλαμβάνει την τροφοδοσία και είναι χρήσιμα για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλο χρόνο ζωής. Υπάρχουν, επίσης και τα solar powered beacons, τα οποία λειτουργούν με φως και εγγυώνται μέσο χρόνο ζωής 8 χρόνια, λειτουργώντας με advertising interval 10ms.

Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας στην πλευρά του χρήστη, μια συσκευή με ενεργοποιημένο Bluetooth καταναλώνει 1 – 3% της μπαταρίας σε μία μέρα, εφόσον βρίσκεται σε αδράνεια. Η κατανάλωση αυξάνεται αν παράλληλα χρησιμοποιείται και κλασικό Bluetooth,

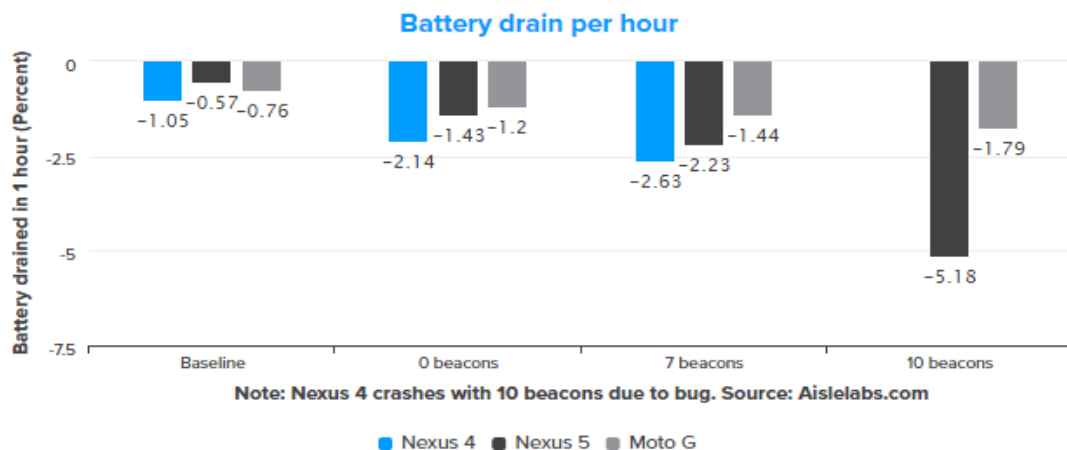
για παράδειγμα αν είναι συνδεδεμένα ακουστικά Bluetooth στη συσκευή. Άλλος παράγοντας που παίζει ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας, πέραν του χρόνου που γίνεται η σάρωση για beacons, είναι ο αριθμός των scans που κάνει η συσκευή, καθώς και ο αριθμός των beacons που βρίσκονται εντός εμβέλειάς του.

Το 2014, η Aiselabs πραγματοποίησε μια έρευνα για να μελετήσει την κατανάλωση ενέργειας από την πλευρά του χρήστη. Χρησιμοποίησε τρία διαφορετικά smartphones, τα Nexus 4 και Nexus 5 της LG και το Moto G της Motorola. Τα τρία αυτά smartphones επιλέχθηκαν επειδή τα σιπάκια τους, Wi-Fi/Bluetooth, αντιπροσωπεύουν διαφορετικές εποχές εξέλιξης της τεχνολογίας. Οι μετρήσεις έγιναν χωρίς άλλες εφαρμογές να τρέχουν και αφορούσαν τη συχνότητα με την οποία οι συσκευές έκαναν scans και τον αριθμό των beacons εντός εμβέλειας.



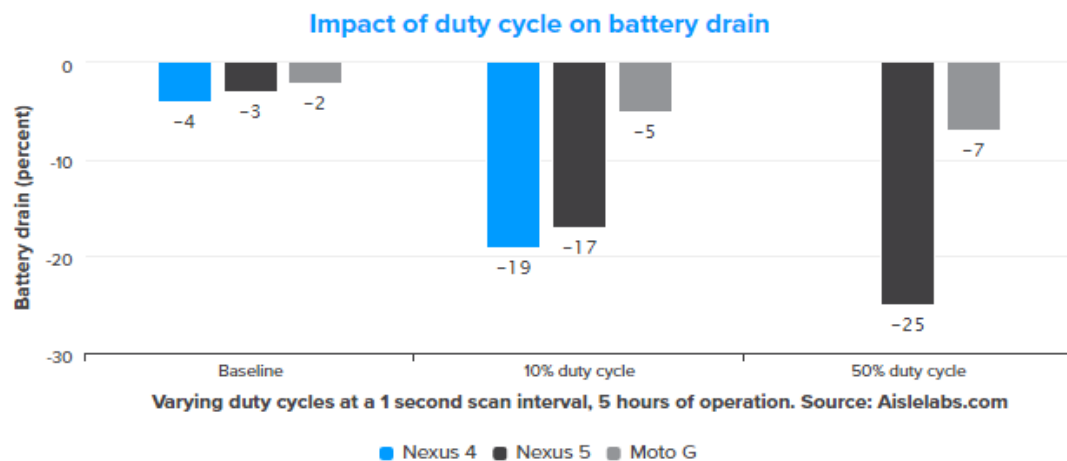
Εικόνα 3 - Κατανάλωση μπαταρίας ανάλογα με την συχνότητα ανιχνεύσεων

Στο πρώτο πείραμα μετριέται η κατανάλωση μπαταρίας σε διάστημα 8 ωρών με διαφορετικές συχνότητες ανιχνεύσεων. Χρησιμοποιήθηκαν 7 beacons και 50% duty cycle (το σκανάρισμα διαρκεί όσο το 50% της συχνότητάς του).



Εικόνα 4 - Κατανάλωση μπαταρίας ανάλογα με τον αριθμό beacons

Στο δεύτερο πείραμα μετριέται η κατανάλωση μπαταρίας σε διάστημα μιας ώρας ανάλογα με τον αριθμό beacons που εκπέμπουν εντός εμβέλειας του smartphone. Χρησιμοποιήθηκε συχνότητα ανίχνευσης 1 δευτερόλεπτο με διάρκεια ανίχνευσης 50%, δηλαδή 0.5 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 5 - Κατανάλωση μπαταρίας ανάλογα με το ποσοστό χρόνου που πραγματοποιείται το scan

Στο τρίτο πείραμα μετριέται η κατανάλωση μπαταρίας σε διάστημα 5 ωρών, ανάλογα με το χρόνο ανίχνευσης. Χρησιμοποιήθηκαν 10 beacons και συχνότητα ανίχνευσης 1 δευτερόλεπτο (οπότε 10% duty cycle σημαίνει ότι το scan διαρκεί 0.1sec και 50% ότι διαρκεί 0.5sec).

Βλέπουμε ότι τα νεότερα chipsets καταναλώνουν λιγότερη μπαταρία απ' ό,τι τα παλαιότερα. Επίσης, όσο περισσότερα είναι τα beacons εντός εμβέλειας των smartphones, τόσο περισσότερη και η μπαταρία που καταναλώνεται (το Nexus 4 απέτυχε (crash) με 10 beacons

λόγω κάποιου bug, οπότε απουσιάζει από τη συγκεκριμένη μέτρηση). Παρατηρήθηκε, επίσης, ότι η συχνότητα των scans παίζει μεγαλύτερο ρόλο από τη διάρκειά τους. Για παράδειγμα, μια συσκευή που κάνει scan διάρκειας 0.1sec κάθε 0.2sec καταναλώνει σημαντικά περισσότερη μπαταρία απ' ό,τι όταν κάνει scan διάρκειας 5' κάθε 10'. Αυτό συμβαίνει γιατί το Bluetooth στο κινητό ενεργοποιείται και απενεργοποιείται πολύ πιο συχνά στη μία περίπτωση απ' ό,τι στην άλλη.

2.1.4 Εφαρμογές

- **Advertising:**

Ένα beacon μπορεί να τοποθετηθεί σε σημεία ενδιαφέροντος (Points Of Interest), όπως στάση λεωφορείου, δωμάτιο, μαγαζί, ακόμα και σε κάποιο έπιπλο, έκτημα ή αυτόματο πωλητή. Εκεί, στέλνει πακέτα δεδομένων που περιέχουν ένα UUID. Στην πλευρά του χρήστη υπάρχει ένα app που δέχεται το UUID και το επεξεργάζεται ανάλογα με το πώς έχει ορίσει η εφαρμογή. Από τις πιο διαδεδομένες χρήσεις των beacons είναι η διαφήμιση (advertising). Το beacon στέλνει push notifications που περιέχουν διαφημίσεις, όπως και στο GPS, αλλά με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια και καταναλώνοντας πολύ λιγότερη ενέργεια. Ο χρήστης δέχεται το UUID και συνδέεται σε ένα server ικανό να το διαβάσει και να το μετατρέψει στην επιθυμητή πληροφορία, την οποία και θα στείλει στο χρήστη. Χρησιμοποιώντας άλλα πρωτόκολλα (που θα αναλυθούν παρακάτω) πέραν του iBeacon, όπως το URIBeacon και το Eddystone, είναι δυνατόν να παρακάμψουμε το κομμάτι του εξωτερικού server.

- **Indoor Navigation:**

Τα beacons χρησιμοποιούνται για να βρουν τη συσκευή του χρήστη στο χώρο και στη συνέχεια να εκτελέσουν διάφορες ενέργειες, όπως να τον καθοδηγήσουν στο χώρο. Τα είδη indoor navigation εξαρτώνται από τον αριθμό των beacons και το χώρο όπου τοποθετούνται. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν τρεις κατηγορίες:

- Πολλά beacons ανά δωμάτιο:

Όταν έχουμε περισσότερα του ενός beacons σε ένα δωμάτιο χρησιμοποιείται η τεχνική trilateration για να βρεθεί η θέση της συσκευής στο χώρο σε ακτίνα δύο μέτρων. Τα beacons μαζί με τις υπόλοιπες πληροφορίες εκπέμπουν και την τιμή του RSSI τους (Received Signal Strength Indication – Ισχύς Εκπεμπόμενου Σήματος). Το RSSI είναι μία τιμή που ρυθμίζεται από τον κατασκευαστή του beacon και αντιπροσωπεύει τη δύναμη εκπομπής του σε μια συγκεκριμένη απόσταση, συνήθως το ένα μέτρο. Χρησιμοποιώντας την ισχύ του σήματος που εκπέμπει το beacon και την ισχύ του σήματος που λαμβάνει ο χρήστης μπορούμε να βρούμε κατά προσέγγιση την απόσταση beacon – χρήστη. Όταν αυτή η διαδικασία γίνεται με περισσότερα beacons μπορούμε να βρούμε την απόσταση του χρήστη απ' το καθένα και κατά συνέπεια τη θέση του στο χώρο. Εκτός του trilateration χρησιμοποιούνται κι άλλες τεχνικές, όπως τα Neural Networks.

- Ένα beacon ανά δωμάτιο:

Όταν υπάρχει ένα beacon ανά δωμάτιο ο χρήστης μπορεί να ξέρει σε ποιο δωμάτιο βρίσκεται. Σε συνδυασμό με έναν εικονικό χάρτη του κτηρίου μπορεί να πλοηγηθεί σ' αυτό. Για την πλοήγηση χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής (shortest path) για να δοθούν οδηγίες στο χρήστη και να πάει σε κάποιο άλλο δωμάτιο.

- Πολλά beacons ανά κτήριο:

Σε ανοιχτό χώρο χρησιμοποιείται η τεχνική πλοήγησης Pedestrian Dead Reckoning. Η τεχνική αυτή βρίσκει την τελευταία γνωστή θέση της συσκευής και, χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες της μεταβάλλει τη θέση του χρήστη όταν αυτός κινείται. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο χρήστης αρχίζει να κινείται προς μια κατεύθυνση, υπολογίζεται η ταχύτητά του από τη συσκευή και η θέση του

μετατοπίζεται ανάλογα με την ταχύτητα αυτή προς την κατεύθυνση που υπολογίζει η πυξίδα της συσκευής. Με την προσθήκη beacons σε συγκεκριμένα σημεία του

χώρου μπορούν να δημιουργηθούν checkpoints, ώστε, όταν ο χρήστης εισέρχεται εντός εμβέλειας του beacon, η θέση του να επανυπολογίζεται για να μειωθεί ο κίνδυνος λάθους μετρήσεων. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η κάλυψη ενός μεγάλου χώρου, όπως εμπορικού κέντρου, με ένα μικρό αριθμό beacons.

- Εφαρμογές υγείας:

Τα beacons μπορούν να βρίσκουν τη θέση του χρήστη στο χώρο. Η ιδιότητά τους αυτή τα καθιστά αποτελεσματικά στο να χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση ασθενών στο σπίτι. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί για κάμερες, όντας πιο διακριτικά και μην παραβιάζοντας την ιδιωτικότητα του ασθενούς. Μια άλλη χρήση τους είναι σε νοσοκομεία ή χώρους εργασίας, όπου, για παράδειγμα, τοποθετώντας ένα beacon σε ένα κουτί με αντισηπτικό μπορούμε να ξέρουμε τη συχνότητα που χρησιμοποιείται και κατά συνέπεια το αν οι εργαζόμενοι τηρούν κάποιους κανόνες υγιεινής.

2.1.5 Πρωτόκολλα Beacons

- iBeacon

Το 2013 η Apple κυκλοφόρησε το πρωτόκολλο iBeacon με σκοπό να ενισχύσει τον τομέα των καταστημάτων λιανικής στο θέμα της εξυπηρέτησης πελατών και της προώθησης προσφορών. Ξεκινώντας τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους από τα καταστήματα Apple, όσοι χρήστες, που είχαν Apple Store στα iPhones τους και ενεργοποιημένα τα “in store” push notifications, έμπαιναν σ’ ένα κατάστημα Apple, δέχονταν στα κινητά τους ειδοποιήσεις για προσφορές και προτεινόμενα προϊόντα.

Το iBeacon λειτουργεί ως εξής: έχοντας ανοιχτό το Bluetooth οι συσκευές (iPhone, iPad, iPod) σκανάρουν το χώρο. Όταν εντοπίσουν ένα beacon, μπορεί αυτομάτως να τρέξει μια εφαρμογή (ακόμα και αν δεν είναι ανοιχτή) που θα επεξεργαστεί τα δεδομένα που εκπέμπει το beacon.

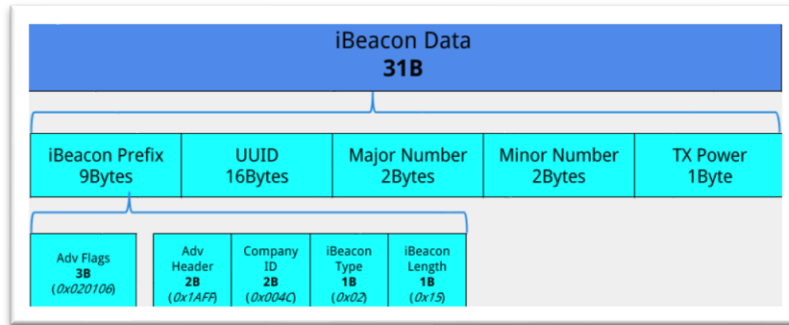
Το iBeacon είναι το πρωτόκολλο της Apple για να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία BLE και όχι beacon στη φυσική του υπόσταση. Κάθε beacon μπορεί να λειτουργήσει ως iBeacon εφόσον εκπέμπει δεδομένα στα στάνταρ που έχει θέσει η Apple. Η Apple δεν κατασκευάζει beacons προς το παρόν, αντιθέτως, οι κατασκευαστές των beacons τα κάνουν συμβατά με iBeacon. Η τιμή των beacons κυμαίνεται από 5\$ έως 30\$, ανάλογα με τις ρυθμίσεις του κατασκευαστή για την ισχύ και τη συχνότητα εκπομπής, με την τελευταία να κυμαίνεται από 1Hz έως και 10Hz.

- Ανάλυση iBeacon

Τα beacons που λειτουργούν με το πρωτόκολλο iBeacon εκπέμπουν 4 κομμάτια πληροφορίας στα μηνύματά τους. Αυτά είναι:

- Ένα UUID που ταυτοποιεί το beacon.
- Ένα Major ID που ταυτοποιεί ένα υποσύνολο beacons από ένα ευρύτερο σύνολο.
- Ένα Minor ID που ταυτοποιεί ένα συγκεκριμένο beacon από το σύνολο.
- Το συμπλήρωμα ως προς 2 του Tx Power, που υποδηλώνει το RSSI.

Η εφαρμογή του χρήστη διαβάζει τις 3 πρώτες τιμές και συνδέεται σε μια βάση δεδομένων για να ταυτοποιήσει το beacon και να λάβει την πληροφορία του. Το Tx Power χρησιμοποιείται για να βρεθεί η απόσταση του χρήστη από το beacon.



Εικόνα 6 - Δομή πακέτου iBeacon

Το πρόθεμα (prefix) έχει την τιμή 0x0201061AFF004C0215. Αυτή η τιμή αναλύεται ακολούθως:

- 0x020106: Ορίζει το πακέτο ως BLE General Discoverable και BR/EDR high-speed incompatible. Εν ολίγοις, δηλώνει ότι το beacon απλά εκπέμπει, δεν συνδέεται.
- 0x1AFF: Η πληροφορία που ακολουθεί είναι 26 bytes και περιέχει ειδικά δεδομένα του κατασκευαστή.
- 0x004C: Το ID της Apple στο Bluetooth SIG.
- 0x02: Δευτερεύον ID που χρησιμοποιείται από όλα τα iBeacons.
- 0x15: Το υπόλοιπο μήνυμα είναι 21 bytes.

Τα Major ID και Minor ID αναλύουν στοιχεία του UUID. Συγκεκριμένα, το Major ID υποδηλώνει το κατάσταση και το Minor ID το beacon μέσα στο κατάσταση.

○ Παράδειγμα χρήσης iBeacon

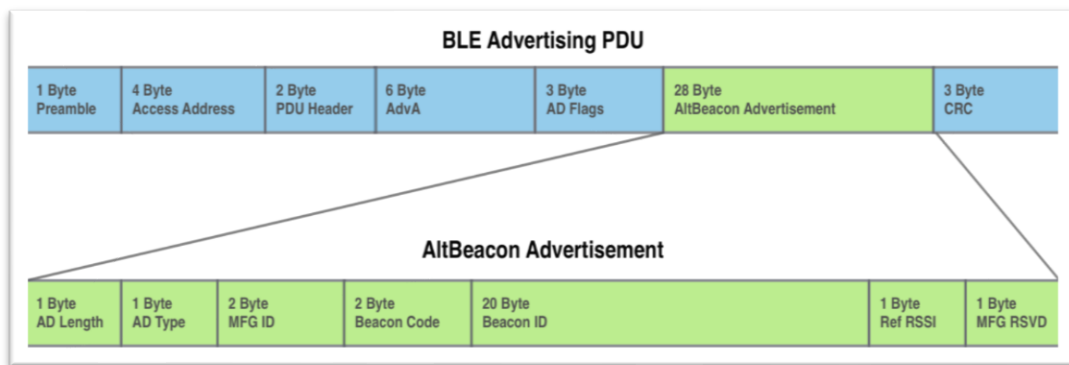
Μία καφετέρια έχει τοποθετήσει iBeacons στον πάγκο και στο ταμείο. Όταν ο χρήστης μπαίνει μέσα, ένα app βρίσκει το πλησιέστερο iBeacon, κάνει αναζήτηση στη βάση δεδομένων της καφετέριας, αντιλαμβάνεται ότι το iBeacon ανήκει στην *Καφετέρια X*, βρίσκει στο λογαριασμό του χρήστη ένα ενεργό εκπτωτικό κουπόνι για καφέ και του στέλνει ειδοποίηση στο κινητό.

• AltBeacon

Το AltBeacon δημιουργήθηκε από την Radius Networks και είναι μια εναλλακτική ανοικτού κώδικα στο iBeacon. Λειτουργεί όπως και το iBeacon, χωρίς να είναι εταιρικό. Δεν υποστηρίζεται ακόμα τόσο ευρέως όσο το iBeacon. Ενώ τα iBeacons έχουν διαθέσιμα τα 20 από τα 27 bytes για πληροφορία του χρήστη, τα AltBeacons έχουν διαθέσιμα τα 26 από τα 28, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να μεταφερθεί μεγαλύτερη πληροφορία ανά μήνυμα.

○ Ανάλυση AltBeacon

Το πακέτο AltBeacon αποτελείται από 28 bytes, εκ των οποίων τα 26 μπορούν να επεξεργαστούν. Τα δύο πρώτα είναι καθορισμένα από το BLE stack. Το ADV Length έχει τιμή 0x1B και το ADV Type 0xFF.



Εικόνα 7 - Δομή πακέτου Altbeacon

ο Παραδείγματα AltBeacon

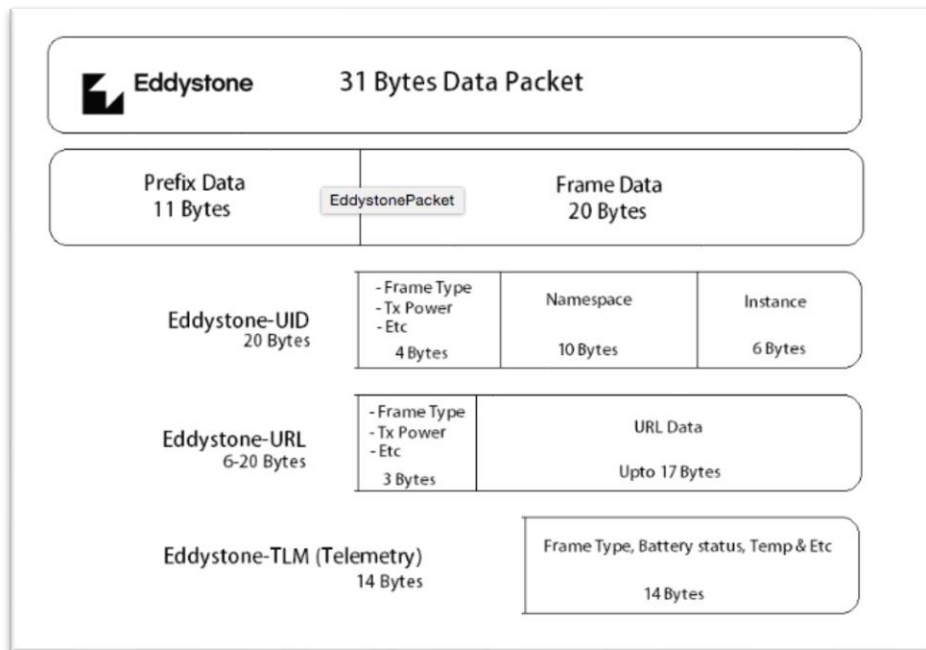
Εφόσον το AltBeacon έχει την ίδια λειτουργία με το iBeacon, ισχύουν τα ίδια παραδείγματα με κάποιες μικρές διαφορές. Αυτές είναι η δυνατότητα για διαφορετικά ID κατασκευαστή, διαφορετικούς κωδικούς beacon και πληροφορίες για τον κατασκευαστή (τελευταίο byte).

• Eddystone

Το Eddystone (παλιότερα γνωστό ως URIBeacon) αναπτύχθηκε από τη Google το 2015 για χρήση στο Physical Web. Χωρίζεται σε 4 κατηγορίες: Eddystone-UID, Eddystone-EID, Eddystone-TLM και Eddystone-URL. Πιο συγκεκριμένα:

- Eddystone-UID: λειτουργεί όπως το iBeacon, δηλαδή εκπέμπει ένα UUID το οποίο μεταφράζεται σε μήνυμα στην πλευρά του χρήστη (και συγκεκριμένα στην εφαρμογή) μέσω ενός εξωτερικού server.
- Eddystone-EID: παρόμοιο με το Eddystone-UID, με τη διαφορά ότι υπάρχει κρυπτογράφηση για αυξημένη ασφάλεια.
- Eddystone-TLM: παρέχει πληροφορίες σχετικά με το beacon, όπως το επίπεδο της μπαταρίας, δεδομένα αισθητήρων κλπ. Για να έχει τη λειτουργικότητα ενός beacon, πρέπει να συνοδεύεται και από άλλο frame (UID, EID, URL).
- Eddystone-URL: αντί για UUID εκπέμπει ένα URL άμεσα κατανοητό από τον χρήστη. Με τον τρόπο αυτό εξαλείφει την ανάγκη εξωτερικού server. Το Eddystone-URL είναι το θεμελιώδες συστατικό του Google Physical Web.

ο Ανάλυση Eddystone



Εικόνα 8 - Δομή πακέτου Eddystone

Το πακέτο Eddystone έχει μήκος 31 bytes και αποτελείται από 2 κομμάτια. Το πρώτο και κοινό σε όλους τους τύπους είναι το πρόθεμα και έχει μήκος 11 bytes. Το δεύτερο κομμάτι, μεγέθους 20 bytes, αλλάζει ανά τύπο.

- Στο Eddystone-UID (και EID) τα 4 πρώτα bytes έχουν πληροφορίες για τον τύπο του πακέτου και το Tx Power και τα 16 επόμενα είναι το UUID που εκπέμπει το beacon. Απ' αυτά τα 10 πρώτα είναι το namespace και τα άλλα 6 το instance.
- Στο Eddystone-URL τα bytes πληροφορίας είναι τρία. Ακολουθεί το URL, που μπορεί να απαρτίζεται από 3 έως 17 bytes.
- Στο Eddystone-TLM, το οποίο έχει μήκος 14 bytes, αναπαρίστανται στοιχεία όπως το frame type, η μπαταρία του beacon και στοιχεία αισθητήρων, όπως θερμοκρασία και υγρασία.

2.2. Bluetooth Low Energy (BLE)



Εικόνα 9 - Bluetooth Smart

2.2.1. Τι είναι

Το BLE (Bluetooth Low Energy ή Bluetooth Smart) είναι μια τεχνολογία ασυρμάτων δικτύων προσωπικού χώρου (Personal Area Network, PAN). Κατασκευάστηκε από την Bluetooth Special Interest Group (SIG) και είναι η έκδοση 4.0 της τεχνολογίας Bluetooth. Ξεκίνησε ως ιδέα το 2001, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε κινητά Nokia το 2006 (ως Wibree) και συγχωνεύτηκε με το πρωτόκολλο Bluetooth το 2010. Το πρώτο smartphone που υποστήριξε Bluetooth 4.0 ήταν το iPhone 4s, που κυκλοφόρησε τον Οκτώβριο του 2011.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του BLE έναντι του κλασσικού Bluetooth είναι η σημαντικά μικρότερη κατανάλωση ενέργειας - από την οποία και έχει πάρει το όνομά του - ενώ παράλληλα κρατάει την ίδια εμβέλεια επικοινωνίας. Οι Bluetooth Smart συσκευές είναι μικρές, φθηνές και μπορούν να λειτουργούν για μήνες (σε κάποιες περιπτώσεις και χρόνια) με coin-cell μπαταρίες (πχ CR2032), καταναλώνοντας ελάχιστη ενέργεια.

Τα λειτουργικά συστήματα που υποστηρίζουν BLE είναι τα iOS, Android, Windows Phone και Blackberry σε smartphones - tablets, ενώ από υπολογιστές τα macOS, Linux, Windows 8 και Windows 10. Υπολογίζεται ότι στα τέλη του 2018 το 90% των συσκευών που υποστηρίζουν Bluetooth θα υποστηρίζουν και BLE.

Παρόλο που το BLE είναι εξέλιξη του Bluetooth, δεν υπάρχει backwards compatibility με την τεχνολογία του Classic Bluetooth. Αντ' αυτού, το BLE επιτρέπει στις συσκευές να χρησιμοποιήσουν μία ή και τις δύο τεχνολογίες Bluetooth. Οι συχνότητες που χρησιμοποιεί το BLE είναι οι ίδιες με το Classic Bluetooth (2.4GHz, πράγμα που επιτρέπει στις Dual Mode συσκευές (εξήγηση παρακάτω) να χρησιμοποιούν κεραία single radio. Το σύστημα διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί το BLE είναι πιο απλό απ' ό τι το Classic Bluetooth (GFSK).

2.2.2. Bluetooth Smart Ready vs Bluetooth Smart

Οι συσκευές που υποστηρίζουν BLE χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Bluetooth Smart Ready και Bluetooth Smart. Η διάκριση ανάμεσα στις κατηγορίες γίνεται με κριτήριο το πόσες τεχνικές έχει η συσκευή για μετάδοση φωνής και δεδομένων. Οι συσκευές που έχουν μόνο μία τεχνική ονομάζονται Single Mode. Στην περίπτωση του BLE, η τεχνική αυτή είναι το Bluetooth 4.0 και οι συσκευές ανήκουν στην κατηγορία Bluetooth Smart. Τέτοιες συσκευές περιλαμβάνουν αισθητήρες, λειτουργούν με μπαταρίες τύπου coin-cell και έχουν φτιαχτεί για να συλλέγουν ένα συγκεκριμένο τύπο δεδομένων. Παραδείγματα είναι παλμογράφοι, μετρητές βημάτων, έξυπνα ρολόγια, χειριστήρια πόρτες, καθώς και κλειδιά αυτοκινήτων. Αντίστοιχα, οι συσκευές με παραπάνω από μία τεχνική μετάδοσης δεδομένων ονομάζονται Dual Mode, χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες Bluetooth (classic) και Bluetooth 4.0 (BLE) και ανήκουν στην κατηγορία των Bluetooth Smart Ready devices. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα smartphones,

τα tablets, υπολογιστές με τα λειτουργικά συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, τηλεοράσεις, αποκωδικοποιητές και κονσόλες.

Οι Bluetooth Smart Ready συσκευές μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους και να ανταλλάξουν δεδομένα, όπως επίσης και με συσκευές που υποστηρίζουν Classic Bluetooth, καθώς και να λάβουν τα δεδομένα που συλλέγουν οι Bluetooth Smart συσκευές.

2.2.3. Εφαρμογές

Το Bluetooth SIG έχει ορίσει συγκεκριμένα προφίλ Bluetooth, δηλαδή τρόπους συμπεριφοράς σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι συσκευές που υποστηρίζουν BLE πρέπει να υλοποιούν τα κατάλληλα προφίλ για να λειτουργούν σωστά. Για να επικοινωνήσουν δύο συσκευές Bluetooth πρέπει να υποστηρίζουν τα ίδια προφίλ.

Όλα τα προφίλ εφαρμογών BLE βασίζονται στο προφίλ GATT (Generic Attributes). Το GATT περιγράφει χρήσεις, ρόλους και συμπεριφορές της συσκευής όταν στέλνει ή δέχεται μικρά πακέτα δεδομένων (attributes) σε εφαρμογές low energy.

Εφαρμογές των Bluetooth Smart συσκευών μπορούμε να βρούμε από τα επιμέρους προφίλ του GATT. Οι χρήσεις του εκτείνονται σε αρκετούς τομείς, όπως στον τομέα της υγείας, της φυσικής κατάστασης, των αισθητήριων οργάνων, των περιφερειακών για υπολογιστές και των proximity services. Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια προφίλ και τη χρήση τους.

- Υγεία
 - BLP (Blood Pressure Profile): μετράει την αρτηριακή πίεση.
 - HTP (Health Thermometer Profile): μετράει τη θερμοκρασία του σώματος.
 - CGMP (Continuous Glucose Monitoring Profile): Μετράει τη γλυκόζη στο αίμα.
- Φυσική κατάσταση
 - BCS (Body Composition Service): υπολογίζει ποσοστά λίπους, οστών, νερού και μυών στο ανθρώπινο σώμα.
 - CSCSP (Cycling Speed and Cadence Profile): μέσω σύνδεσης σε ποδήλατα (και ποδήλατα γυμναστηρίου) μετράει την ταχύτητα και τον ρυθμό που αναπτύσσει ο χρήστης.
 - HRP (Heart Rate Profile): μετράει τους παλμούς της καρδιάς.
 - WSP (Weight Scale Profile): υπολογίζει το βάρος του χρήστη.
- Internet
 - IPSP (Internet Protocol Support Profile): επιτρέπει την ανταλλαγή πακέτων IPv6 μεταξύ BLE συσκευών.
- Αισθητήρες
 - ESP (Environmental Sensing Profile): παίρνει μετρήσεις σχετικά με το περιβάλλον (θερμοκρασία, υγρασία κλπ)
 - UDS (User Data Service): επιτρέπει τον συγχρονισμό δεδομένων μεταξύ client και server, καθώς και την απομακρυσμένη επεξεργασία δεδομένων από client.
- Σύνδεση περιφερειακών
 - HOGP (HID Over GATT Profile): επιτρέπει την ασύρματη σύνδεση HID συσκευών (ποντίκια, πληκτρολόγια κλπ) με τη συσκευή μας μέσω BLE.
- Proximity Services
 - FMP (Find Me Profile): προσδιορίζει τα γεγονότα που γίνονται όταν σε μία συσκευή πατάμε ένα κουμπί και στέλνει ένα alert σε μια άλλη συσκευή.
 - PXP (Proximity Profile): επιτρέπει έλεγχο εμβέλειας μεταξύ δύο συσκευών.
- Ειδοποιήσεις
 - PASP (Phone Alert Status Profile): επιτρέπει σε μια συσκευή PUID να ειδοποιήσει τον χρήστη για τις ειδοποιήσεις (κλήσεις, μηνύματα) ενός τηλεφώνου συνδεδεμένου με τη συσκευή.

- TIP (Time Profile): επιτρέπει σε μια συσκευή να λάβει δεδομένα σχετικά με την ημερομηνία, την ώρα, τη ζώνη ώρας και το Daylight Saving Time (τις αλλαγές της ώρας Μάρτιο και Οκτώβριο).
- Μπαταρία
 - BAS (Battery Service): υπολογίζει την κατάσταση της μπαταρίας της συσκευής.

2.2.4. Ανάλυση – Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Interface

Το Bluetooth Smart λειτουργεί στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων (ISM, 2.400 – 2.4835GHz) με το κλασσικό Bluetooth, με διαφορετικά κανάλια όμως. Συγκεκριμένα, αντί για 79 κανάλια του 1MHz έχει 40 κανάλια των 2MHz. Τα δεδομένα που μεταφέρονται δέχονται διαμόρφωση GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Το bit rate είναι 1Mbit/sec και η μέγιστη ισχύς εκπομπής 10mW.

Ο πίνακας που ακολουθεί συγκρίνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Bluetooth και Bluetooth Low Energy:

Τεχνικό Χαρακτηριστικό	Bluetooth	Bluetooth Low Energy
Εμβέλεια	100m	>100m
Ρυθμός Μετάδοσης	1 – 3Mbit/sec	125Kbit/sec – 2Mbit/sec
Throughput	0.7 – 2.1Mbit/sec	0.27Mbit/sec
Καθυστέρηση	100ms	6ms
Ελάχιστος Χρόνος Αποστολής Δεδομένων	100ms	3ms
Κατανάλωση Ισχύος	1W	0.01 – 0.5W

- Advertising

Για τον εντοπισμό συσκευών BLE χρησιμοποιούνται 3 κανάλια από τα 40 του διαθέσιμου φάσματος (τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για μετάδοση δεδομένων). Συγκεκριμένα, τα κανάλια 37, 38 και 39 χρησιμοποιούνται για broadcast. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται 3 κανάλια είναι για να αποφευχθούν τυχόν παρεμβολές. Ο τρόπος λειτουργίας είναι ο εξής: οι συσκευές που κάνουν broadcast και οι συσκευές που τις αναζητούν μεταδίδουν με τη σειρά σε κάθε κανάλι. Αυτό σημαίνει ότι οι πιθανότητες να εντοπιστεί το broadcast της συσκευής θεωρητικά είναι 1 στις 9. Γίνεται κατανοητό ότι ο χρόνος να εντοπιστεί μία συσκευή από μια άλλη και να γίνει η σύνδεση ποικίλει και είναι μεγαλύτερος απ' το χρόνο που χρειάζεται για να μεταφερθεί ένα πακέτο δεδομένων.

- Λογισμικό

Όπως αναφέραμε παραπάνω, όλες οι BLE συσκευές υλοποιούν το προφίλ Bluetooth GATT. Η δομή του GATT είναι η παρακάτω:

- **Client:** συσκευή που στέλνει εντολές και αιτήματα GATT και δέχεται απαντήσεις, για παράδειγμα ένα smartphone.
- **Server:** συσκευή που δέχεται τις εντολές και τα αιτήματα GATT και στέλνει τις ανάλογες απαντήσεις, για παράδειγμα ένας αισθητήρας θερμοκρασίας.
- **Characteristic:** η πληροφορία που μεταφέρεται μεταξύ server και client, για παράδειγμα η θερμοκρασία.
- **Service:** μαζεμένες πληροφορίες (services) που συνδυάζονται για να φέρουν εις πέρας μια λειτουργία, για παράδειγμα το service Health Thermometer. Το συγκεκριμένο service αποτελείται από έναν αριθμό μετρήσεων θερμοκρασίας και ένα χρονικό διάστημα στο οποίο λαμβάνεται κάθε επόμενη μέτρηση. Να

σημειωθεί ότι ένα service μπορεί να περιέχει και άλλα services (sub-services). Στην περίπτωση αυτή το κυρίως service ονομάζεται πρωτεύον (primary) και τα υπόλοιπα δευτερεύοντα (secondary).

- **Descriptor:** πρόσθετες (προαιρετικές) πληροφορίες σχετικά με το characteristic, για παράδειγμα η μονάδα μέτρησης θερμοκρασίας και τα άνω και κάτω όρια μέτρησης.
- **Identifier:** Τα characteristics, services και descriptors ονομάζονται και χαρακτηριστικά (attributes). Ξεχωρίζουν μεταξύ τους μέσω UUIDs (Unique Identifiers). Κάθε χαρακτηριστικό μπορεί να πάρει μία τυχαία τιμή, ωστόσο η Bluetooth SIG έχει δεσμεύσει μια σειρά UUID (της μορφής xxxxxxxx-0000-1000-8000-00805F9B34FB) για βασικά χαρακτηριστικά. Μάλιστα, για λόγους αποδοτικότητας, τα identifiers αυτά αναπαρίστανται με 16 ή 32 bits, αντί για τα 128 που συνήθως απαιτούνται. Για παράδειγμα το service Device Information έχει την τιμή 0x180A αντί για 0000180A-0000-... .
- **GATT Operations:** εντολές που μπορεί να στείλει ο client για να μάθει πληροφορίες για τον server ή να διαβάσει τις τιμές που του στέλνει ο server (αντίστοιχα ο server μπορεί να γράψει τις τιμές). Μεταξύ άλλων ο client μπορεί να βρει/δει:
 - το UUID για κάθε primary service.
 - ένα service από το UUID.
 - τα δευτερεύοντα services ενός πρωτεύοντος.
 - τα characteristics ενός service.
 - τα characteristics ενός UUID.
 - τα descriptors ενός characteristic.
- **Notifications – Indications:** ο client μπορεί να ζητήσει ένα notification για μια τιμή από το server, την οποία ο server θα στείλει μόλις γίνει διαθέσιμη (μόλις γίνει μέτρηση). Μ' αυτήν την τεχνική αποτρέπεται το polling, δηλαδή το να μένει ο server μονίμως ενεργός και να περιμένει να του ζητηθεί η τιμή από τον client. Αντίστοιχο είναι και το indication, με τη διαφορά ότι ο client στέλνει μήνυμα επιβεβαίωσης στον server ότι έλαβε την τιμή.

2.2.5. Bluetooth® 5



Εικόνα 10 - Bluetooth 5

Τον Δεκέμβριο του 2016 κυκλοφόρησε και επίσημα η τελευταία έκδοση του Bluetooth, το Bluetooth 5. Στη νέα έκδοση υπάρχουν βελτιώσεις σε βασικά χαρακτηριστικά

του BLE, όπως εμβέλεια (τετραπλάσια), ταχύτητα μετάδοσης (διπλάσια) και μέγεθος όγκου δεδομένων (οκταπλάσιο). Ενημερώσεις έχουν γίνει και σε άλλους τομείς, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη συνεργασία με άλλες ασύρματες τεχνολογίες και να ελαχιστοποιείται το ενδεχόμενο παρεμβολών.

Το πρώτο smartphone που εφαρμόζει την τεχνολογία Bluetooth 5 είναι το Samsung Galaxy S8. Παρόλα αυτά, προς το παρόν η παραγωγή συμβατών προϊόντων δεν είναι μαζική, με αποτέλεσμα το S8 να μη μπορεί να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες που του παρέχει η νέα αυτή τεχνολογία. Η μαζική κυκλοφορία Bluetooth 5 συσκευών αναμένεται να ξεκινήσει στις αρχές του 2018.

2.2.6. Mesh Networking



Εικόνα 11 - Mesh Networking

Η πλέον σύγχρονη τεχνολογία στο χώρο του Bluetooth Low Energy είναι το Bluetooth Mesh Networking. Σαν ιδέα ξεκίνησε το 2015 και παρουσιάστηκε επισήμως τον Ιούλιο του 2017. Ουσιαστικά εισάγει την τοπολογία Mesh στον κόσμο του BLE. Το μεγάλο πλεονέκτημά του είναι η εμβέλεια του δικτύου, που πλέον μπορεί να φτάσει τιμές όπως τα 100m, ακόμα και τα 1000m ανάλογα με τις ρυθμίσεις.

Η εν λόγω τοπολογία λειτουργεί ως εξής: κάθε κόμβος (χρήστης) συνδέεται με τους υπόλοιπους (από έναν μέχρι και όλους) και μεταφέρει δεδομένα, χωρίς να απαιτείται κεντρικό hub από το οποίο πρέπει να περάσουν τα δεδομένα για να φτάσουν από ένα κόμβο σ' έναν άλλο. Κάθε κόμβος, δηλαδή, μπορεί περιστασιακά να λειτουργήσει ως hub και υπάρχουν περισσότεροι του ενός δρόμοι για να φτάσουν τα δεδομένα στον προορισμό τους. Σε συνδυασμό με την τεχνολογία BLE, λοιπόν, είναι πλέον δυνατή η ραδιοεπικοινωνία πολλών συσκευών με πολλές συσκευές, σε αντίθεση με την επικοινωνία ένας με έναν που χαρακτηρίζει την τεχνολογία Bluetooth.

Το Bluetooth Mesh λειτουργεί ως εξής: Οι κόμβοι (συσκευές) στέλνουν και δέχονται μηνύματα. Τα μηνύματα αυτά μεταφέρονται από κόμβο σε κόμβο μέσω της τεχνικής SAR (Segmentation and Reassembly – Κατάτμηση και Επανασυναρμολόγηση) σε πακέτα που μπορούν να φτάσουν τα 384 bytes. Συνήθως, βέβαια, επαρκούν 11 bytes. Απ' αυτά τα πρώτα 1 – 3 είναι το opcode. Το opcode είναι 1 byte σε ειδικά (special) μηνύματα, 2 bytes στα κανονικά μηνύματα (regular) και 3 bytes στα συγκεκριμένης χρήσης (vendor-specific) μηνύματα. Κάθε μήνυμα έχει διευθύνσεις πηγής και προορισμού, οι οποίες και καθορίζουν τη διαδρομή που θα ακολουθηθεί για να μεταφερθεί το μήνυμα στον προορισμό. Επίσης έχει ένα sequence number, έτσι ώστε να αποφεύγεται η άσκοπη αναμετάδοσή του (replay attack). Τα μηνύματα είναι κρυπτογραφημένα και επικυρωμένα ως προς την αυθεντικότητά τους. Για την κρυπτογράφηση χρησιμοποιούνται 2 κλειδιά: ένα για το δίκτυο και ένα για την εφαρμογή που μεταφέρει το μήνυμα. Για να αποφευχθούν ατέρμονες βρόγχοι (δηλ. να μη στέλνεται το μήνυμα επ' αόριστον) τα μηνύματα έχουν TTL (Time To Live – χρόνο ζωής), έναν αριθμό που μειώνεται κάθε φορά που κάποιος κόμβος λάβει και στείλει το μήνυμα.

Για τη μεταφορά του μηνύματος από την πηγή στον προορισμό χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος flooding (πλημμύρα). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, ο κόμβος – πηγή στέλνει το μήνυμα σε κάθε γειτονικό του κόμβο. Πρέπει ανά πάσα στιγμή να ισχύει $TTL \geq 2$. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα μειώνει το TTL κατά 1 και το στέλνει με τη σειρά του στους γειτονικούς του κόμβους, εφόσον αυτοί δεν το έχουν λάβει ήδη, μέχρι αυτό να φτάσει στον κόμβο – προορισμό.

Μην έχοντας καταλήξει επισήμως στα πρακτικά όρια του Bluetooth Mesh, μπορούμε να ξέρουμε μόνο τα θεωρητικά του όρια. Αυτά είναι:

- Μέγιστος αριθμός κόμβων: 32767
- Μέγιστος αριθμός ομάδων κόμβων: 16384
- Μέγιστος αριθμός υποδικτύων: 4096
- Μέγιστο TTL: 127

Για να λειτουργήσει μια συσκευή σε ένα Bluetooth Mesh δίκτυο απαραίτητη προϋπόθεση είναι να βρίσκεται μέσα στο δίκτυο. Η διαδικασία που ενσωματώνει τη συσκευή στο δίκτυο είναι γνωστή ως τροφοδοσία (Provisioning) και είναι απαραίτητη για τη δημιουργία του δικτύου. Στη διαδικασία της τροφοδοσίας ένας τροφοδότης (Provisioner – κόμβος που εισάγει άλλες συσκευές ως κόμβους στο δίκτυο) δίνει ένα κλειδί δικτύου και μία διεύθυνση στη συσκευή. Οι πληροφορίες αυτές κρυπτογραφούνται προσωρινά με ένα κλειδί που προκύπτει με τον αλγόριθμο Diffie – Hellman. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, οι δύο κόμβοι δημιουργούν ένα κοινό κλειδί, που δεν είναι απαραίτητο να είναι κρυφό, και ένα ιδιωτικό ο καθένας. Αφού τα συνδυάσουν, στέλνει ο καθένας το τελικό κλειδί στον άλλο και στη συνέχεια ο κάθε κόμβος χρησιμοποιεί το ιδιωτικό του κλειδί για την αποκρυπτογράφηση του μηνύματος. Με τη χρήση κρυπτογράφησης αποφεύγονται οι υποκλοπές των πληροφοριών και η αλλοίωσή τους από τρίτο κόμβο (Man In The Middle Attack). Μέσα στη διαδικασία της τροφοδοσίας παράγεται και ένα κλειδί για τη συσκευή (Device Key), το οποίο χρησιμοποιείται για κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση των μηνυμάτων προς τον συγκεκριμένο κόμβο.

Το Bluetooth Mesh μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές αυτοματισμών εσωτερικού χώρου (πχ έξυπνο σπίτι), σε δίκτυα αποτελούμενα από αισθητήρες (Sensor Networks – WSN), καθώς και για asset tracking, δηλαδή παρακολούθησης της θέσης μίας συσκευής στο χώρο. Ένα παράδειγμα χρήσης Bluetooth Mesh είναι ο έλεγχος μέσω smartphone του φωτισμού ενός κτηρίου χρησιμοποιώντας Bluetooth lamps. Συγκεκριμένα, μπορούμε να χωρίσουμε το κυρίως δίκτυο (κάθε λάμπα) σε υποδίκτυα ανάλογα με το δωμάτιο που θέλουμε να ελέγξουμε. Μπορούμε να ελέγξουμε κάθε δωμάτιο, ακόμα και κάθε λάμπα ανεξάρτητα. Με την επέκταση εμβέλειας που προσθέτει το mesh, η εφαρμογή πλέον δεν περιορίζεται σε σπίτια, αλλά μπορεί να επεκταθεί και σε μεγαλύτερους χώρους, όπως εμπορικά κέντρα και εργοστάσια.

2.3. Eddystone



Εικόνα 12 - Eddystone

2.3.1. Τι είναι

Το Eddystone είναι ένα προφίλ Bluetooth Low Energy (BLE) που αναπτύχθηκε από τη Google το 2015. Πήρε το όνομά του από το φάρο Eddystone στην Αγγλία, ο οποίος αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα της απλότητας της χρήσης του και της μονόπλευρης επικοινωνίας που χαρακτηρίζει τα πρωτόκολλα BLE. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάθε συσκευή που υποστηρίζει BLE, με κύρια λειτουργία του τα BLE beacons.

Λειτουργεί χωρίς σύνδεση με άλλες συσκευές, απλά εκπέμπει πληροφορία. Αυτό σημαίνει ότι τα Eddystone beacons δε μπορούν να ξέρουν ποιες και πόσες συσκευές βρίσκονται εντός εμβέλειάς τους. Λόγω της απλότητας του πακέτου του, είναι απαραίτητη στην πλευρά του χρήστη μια εφαρμογή (Google Chrome) για να μεταφραστεί το σήμα που εκπέμπει το beacon σε πληροφορία. Ανάλογα με το frame type του χωρίζεται στις εξής υποκατηγορίες: Eddystone-UID (και EID), Eddystone-URL και Eddystone-TLM.

Σε αντίθεση με τα iBeacon και AltBeacon, το Eddystone έχει διαφορετικούς τρόπους χρήσης, ανάλογα με το frame type του. Για παράδειγμα, το Eddystone-UID χρησιμοποιείται όπως και τα υπόλοιπα πρωτόκολλα BLE (π.χ. iBeacon, AltBeacon) σε εφαρμογές μεταξύ των οποίων και το Google Maps, ενώ το Eddystone-URL είναι ο θεμελιώδης λίθος του Physical Web της Google.

2.3.2. Διαφορές Eddystone – iBeacon

- Το iBeacon επισήμως υποστηρίζεται μόνο από συσκευές iOS, ενώ το Eddystone και από συσκευές Android.
- Το Eddystone είναι πρωτόκολλο ανοικτού κώδικα, πράγμα που σημαίνει ότι το specification (ορισμός) του είναι διαθέσιμος προς όλους, σε αντίθεση με το iBeacon.
- Τα πακέτα των Eddystone και iBeacon είναι διαφορετικά. Για την ακρίβεια, το Eddystone έχει περισσότερα από ένα frame types.
- Στις συσκευές iOS, το iBeacon λειτουργεί χρησιμοποιώντας τις δομές iOS Location Services και Core Location. Το Eddystone, απ' την άλλη, λειτουργεί χρησιμοποιώντας τη δομή Core Bluetooth.
- Στις συσκευές Android και τα δύο πρωτόκολλα λειτουργούν χρησιμοποιώντας το Android Bluetooth API. Το Eddystone μπορεί να χρησιμοποιήσει και το Nearby Notifications του Google Play Services.

2.3.3. Ανάλυση Πακέτου Eddystone

Το πακέτο Eddystone έχει μήκος 31 bytes και αποτελείται από δύο κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι είναι κοινό σε όλα τα frame types και ονομάζεται prefix data (πρόθεμα) και έχει μήκος 11 bytes.

- Τα 3 πρώτα bytes περιέχουν πληροφορίες για τα Flags (*Flags. CSS v5, Part A, § 1.3*).
- Τα επόμενα 4 bytes περιέχουν πληροφορίες για τις υπηρεσίες (*Complete list of 16-bit Service UUIDs. Ibid. § 1.1*).
- Τα τελευταία 4 bytes περιέχουν πληροφορίες για το εκάστοτε frame type. Το frame type απεικονίζεται στα 4 πιο σημαντικά bits του πρώτου byte της ομάδας αυτής, με τις τιμές τους να έχουν ως εξής (το RESERVED έχει δεσμευτεί για μελλοντική χρήση):

Frame Type	Τιμή 4 bits	Τιμή byte
UID	0000	0x00
URL	0001	0x10
TLM	0010	0x20
EID	0011	0x30
RESERVED	0100	0x40

Ακολουθεί ένα παράδειγμα προθέματος Eddystone πακέτου:

Byte no.	Τιμή	Περιγραφή	Data Type
0	0x02	Μήκος	Flags. CSS v5, Part A, § 1.3
1	0x01	Τύπος δεδομένων flags	
2	0x06	Δεδομένα flags	
3	0x03	Μήκος	
4	0x03	Τύπος δεδομένων λίστας 16-bit service UUIDs	Complete list of 16-bit Service UUIDs. Ibid. § 1.1
5	0xAA	16-bit Eddystone UUID	
6	0xFE	...	
7	0x??	Μήκος	Service Data. Ibid. § 1.11
8	0x16	Τύπος δεδομένων Service Data	
9	0xAA	16-bit Eddystone UUID	
10	0xFE	...	

2.3.4. Frame Types

- Eddystone-UID

Ανακοινώθηκε τον Απρίλιο του 2016. Η λειτουργία του είναι παρόμοια με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα BLE. Δηλαδή, εκπέμπει ένα UUID (Universally Unique Identifier), το οποίο η εφαρμογή στην πλευρά του χρήστη διαβάζει και μέσω ενός εξωτερικού server μετατρέπει σε πληροφορία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για Indoor Navigation, για αναγνώριση αντικειμένων και γενικά για να αλληλεπιδρά με εφαρμογές με όποιον τρόπο επιθυμεί ο προγραμματιστής.

Όσον αφορά τη δομή του πακέτου, το πρώτο byte περιέχει το Frame Type, έχει την τιμή 0x00. Το δεύτερο byte περιέχει το Tx Power, δηλαδή την ισχύ του σήματος εκπομπής. Το UUID που εκπέμπεται έχει μήκος 16 bytes (Beacon ID), εκ των οποίων τα 10 πρώτα περιέχουν το Namespace και τα επόμενα 6 το Instance. Το Beacon ID χρησιμοποιείται για οργάνωση των beacons. Συγκεκριμένα, το Namespace μπορεί να χωρίσει τα beacons σε ομάδες και το Instance να βρίσκει ένα συγκεκριμένο beacon στην ομάδα. Τα 2 τελευταία bytes έχουν δεσμευτεί για μελλοντική χρήση και έχουν την τιμή 0x00.

Δομή Eddystone-UID frame

Byte no.	Πεδίο	Περιγραφή
0	Frame type	0x00
1	Ranging Data	Tx Power στα 0 μέτρα
2 - 11	Namespace	Namespace
12 - 17	Instance	Instant
18	Μελλοντική χρήση	0x00
19	Μελλοντική χρήση	0x00

Παρατηρήσεις

- Το μήκος του Eddystone-UID frame είναι σταθερό στα 31 bytes, δηλαδή όλο το Eddystone packet. Η τιμή του Service Data Length byte πρέπει να είναι 0x17.
- Το Ranging Data είναι η τιμή της ισχύος εκπεμπόμενου σήματος (Tx Power) σε dBm σε απόσταση 0 μέτρα από το beacon, σε αντίθεση με άλλα πρωτόκολλα που μετρούν το Tx Power στο ένα μέτρο. Η τιμή του είναι ένας 8 bit ακέραιος και έχει εύρος από -100dBm έως +20dBm με σφάλμα 1dBm. Ένας άλλος τρόπος να μετρηθεί η τιμή του είναι να μετρηθεί στο ένα μέτρο και να προστεθούν 41dBm.
- Το Namespace ID είναι ένα μοναδικό beacon ID.
- Το Instance ID είναι ένα ID μοναδικό μέσα στο Namespace.

- Eddystone-EID

Παρόμοιο με το Eddystone-UID. Εκπέμπει ένα ID που, μέσω ενός εξωτερικού server, μετατρέπεται σε πληροφορία στο app του χρήστη που το λαμβάνει. Η διαφορά του με το UID είναι ότι το ID είναι κρυπτογραφημένο για λόγους ασφαλείας και αλλάζει περιοδικά. Ονομάζεται Encrypted Ephemeral Identifier και έχει μήκος 8 bytes. Η εκάστοτε υπηρεσία που το χρησιμοποιεί μπορεί να το αλλάζει κατά βούληση όποτε θέλει, αλλά στους άλλους παρατηρητές φαίνεται απλά να αλλάζει τυχαία. Το Eddystone-EID προορίζεται για συσκευές που χρησιμοποιούνται για ασφάλεια και ιδιωτικότητα.

Δομή Eddystone-EID frame

Byte	Πεδίο	Περιγραφή
0	Frame type	0x30
1	Ranging data	Tx Power στα 0 μέτρα
2 - 9	EID	Ephemeral ID μεγεθους 8 bits

Παρατήρηση

- Το μήκος του Eddystone-EID frame είναι σταθερό στα 21 bytes και μετά το EID διαιρείται.

- Eddystone-TLM

Το μήνυμα που εκπέμπεται περιέχει πληροφορίες για το beacon. Παραδείγματα είναι το επίπεδο της μπαταρίας του, οι μετρήσεις από τους αισθητήρες του (θερμοκρασία, υγρασία κλπ) και άλλες πληροφορίες που ενδέχεται να ενδιαφέρουν τον προγραμματιστή – διαχειριστή. Οι πληροφορίες αυτές ονομάζονται τηλεμετρία (telemetry). Το Eddystone-TLM frame δεν περιέχει beacon ID, οπότε θα πρέπει να συνδυαστεί με ένα άλλο frame που παρέχει το ID (UID – URL - EID) για να λειτουργήσει.

Εφόσον συνδυάζεται με άλλα frame types, το Eddystone-TLM μπορεί είτε να είναι κρυπτογραφημένο είτε όχι.

○ Unencrypted Eddystone-TLM:

Δομή Unencrypted Eddystone-TLM frame

Byte no.	Πεδίο	Περιγραφή
0	Frame type	0x20
1	Έκδοση	0x00
2 – 3	VBATT	Τάση μπαταρίας, 1mV/bit
4 – 5	TEMP	Θερμοκρασία beacon
6 – 9	ADV_CNT	Μετρητής advertisement frames
10 - 13	SEC_CNT	Χρόνος λειτουργίας του beacon

Παρατηρήσεις:

- Το μέγεθος του Eddystone-TLM frame είναι σταθερό στα 14 bytes και πρέπει να διαιρείται μετά τα SEC_CNT bytes. Η τιμή του Service Data Length byte πρέπει να είναι 0x11.
- Η έκδοση του TLM προς το παρόν είναι 0x00, αλλά το byte έχει δεσμευτεί σε περίπτωση μελλοντικής βελτίωσης.
- Το VBATT είναι η τάση της μπαταρίας σε millivolts. Στα USB beacons έχει την τιμή 0, εφόσον τα συγκεκριμένα δεν διαθέτουν μπαταρία.
- Το TEMP μετριέται σε βαθμούς Κελσίου.
- Το ADV_CNT είναι ο αριθμός των μεταδόσεων frames κάθε τύπου απ' τη στιγμή που άνοιξε το beacon ή έγινε επανεκκίνησή του. Αν μηδενιστεί, πρέπει να μηδενιστεί και το SEC_CNT.
- Το SEC_CNT είναι ο χρόνος που έχει περάσει από την τελευταία ενεργοποίηση ή επανεκκίνηση του beacon. Μετριέται με ακρίβεια 0.1sec. Αν μηδενιστεί, πρέπει να μηδενιστεί και το ADV_CNT.

○ Encrypted Eddystone-TLM

Δομή Encrypted Eddystone-TLM frame

Byte no.	Πεδίο	Περιγραφή
0	Frame type	0x20
1	Έκδοση	0x01
2 – 13	ETLM	12 bytes κρυπτογραφημένα TLM data
14 – 15	SALT	16-bit Salt
16 - 17	MIC	16-bit Έλεγχος ακεραιότητας μηνύματος

• Eddystone-URL:

Το Eddystone-URL είναι η εξέλιξη του URIBeacon. Εισάγει μια καινοτομία στον τρόπο λειτουργίας των beacons. Αντί για UUID το beacon εκπέμπει ένα συμπιεσμένο URL άμεσα κατανοητό από το χρήστη που ανακατευθύνεται σε μια ασφαλή μέσω SSL ιστοσελίδα. Με τον τρόπο αυτό εξαλείφεται η ανάγκη για εξωτερικό server και κατά συνέπεια, η εφαρμογή στην πλευρά του χρήστη. Σε συσκευές με Android 4.4 και άνω εμφανίζεται μια ειδοποίηση (push notification) όταν ο χρήστης εισέλθει εντός εμβέλειας του beacon. Στα λογισμικά iOS είναι απαραίτητη η εγκατάσταση Google Chrome και συγκεκριμένες άδειες για να εμφανίζονται οι ειδοποιήσεις.

Το Eddystone-URL είναι ο θεμελιώδης λίθος του Physical Web, μιας προσπάθειας της Google να ανακαλύψει ο χρήστης τον περιβάλλοντα χώρο του μέσω περιεχομένου ιστού.

Δομή Eddystone-URL frame

Byte no.	Πεδίο	Περιγραφή
0	Frame type	0x10
1	Tx Power	Tx Power στα 0 μέτρα
2	URL Scheme Prefix	Πρόθεμα URL
3	URL	Μήκους 1 – 17 bytes

○ Transmit Power (Tx Power)

Αριθμός μεγέθους 8 bits. Μετράει σε dBm το εκπεμπόμενο σήμα του beacon σε απόσταση 0 μέτρων από τη συσκευή του χρήστη. Παίρνει τιμές από -100dBm έως +20dBm.

○ URL Scheme Prefix

Ορίζει το πρόθεμα και τον τρόπο κωδικοποίησης του URL

Παραδείγματα:

- <http://www>. (0x00)
- <https://www>. (0x01)
- http:// (0x02)
- https:// (0x03)

○ URL

Έχει μεταβλητό μέγεθος, από 1 έως 17 bytes. Το URL είναι συμπιεσμένο για να χωράει στο πακέτο Eddystone. Οι καταλήξεις του URL κωδικοποιούνται στο 16-δικό σύστημα. Όταν ο χρήστης λάβει το URL, ο αριθμός αυτός μεταφράζεται σε καταλήξεις URL, σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί:

Καταλήξεις URL – Κωδικοί

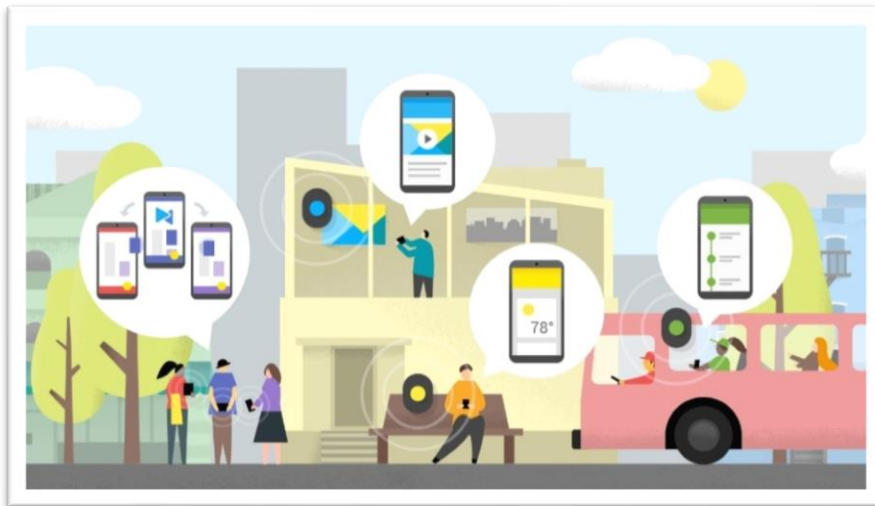
Δεκαδικό	Δεκαεξαδικό	Κατάληξη
0	0x00	.com/
1	0x01	.org/
2	0x02	.edu/
3	0x03	.net/
4	0x04	.info/
5	0x05	.biz/
6	0x06	.gov/
7	0x07	.com
8	0x08	.org
9	0x09	.edu
10	0x0A	.net
11	0x0B	.info
12	0x0C	.biz
13	0x0D	.gov
14...32	0x0E...0x20	Μελλοντική χρήση
127...255	0x7F...0xFF	Μελλοντική χρήση

2.3.5. Physical Web

Το Physical Web είναι ένα project της Google που χρησιμοποιώντας beacons επιτρέπει στο χρήστη να αλληλεπιδράσει με οτιδήποτε βρίσκεται γύρω του. Αντί για UUIDs χρησιμοποιεί URLs, οπότε γίνεται κατανοητό ότι λειτουργεί με Eddystone-URL beacons. Τα beacons προτιμούνται από άλλες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, λόγω κυρίως της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, που έχει ως αποτέλεσμα ένα beacon να μπορεί να λειτουργεί μέχρι και για χρόνια, αλλά και επειδή η χρήση BLE πλέον είναι από τις πιο δημοφιλείς σε smartphones και tablets.

Η λειτουργία του είναι απλή: ο χρήστης κινείται στο χώρο στον οποίο έχουν τοποθετηθεί beacons. Όταν βρεθεί εντός εμβέλειας ενός beacon, στη συσκευή του εμφανίζεται ένα push notification, που τον ανακατευθύνει σε μια ιστοσελίδα. Δεν απαιτείται εφαρμογή στην πλευρά του χρήστη και οι ειδοποιήσεις είναι αθόρυβες και χωρίς δόνηση. Τα beacons μπορούν να τοποθετηθούν παντού και οι σελίδες που ανοίγουν έχουν σχέση με τη θέση του beacon.

Για να μπορέσει κάποιος να χρησιμοποιήσει το Physical Web απαιτούνται κάποιες ρυθμίσεις στη συσκευή του. Συγκεκριμένα, πρέπει να είναι ενεργοποιημένα δεδομένα ή ενεργή σύνδεση σε Wi-Fi, Bluetooth και τοποθεσία. Επίσης, στις Ρυθμίσεις Google θα πρέπει να είναι ενεργοποιημένο το Nearby Notifications.



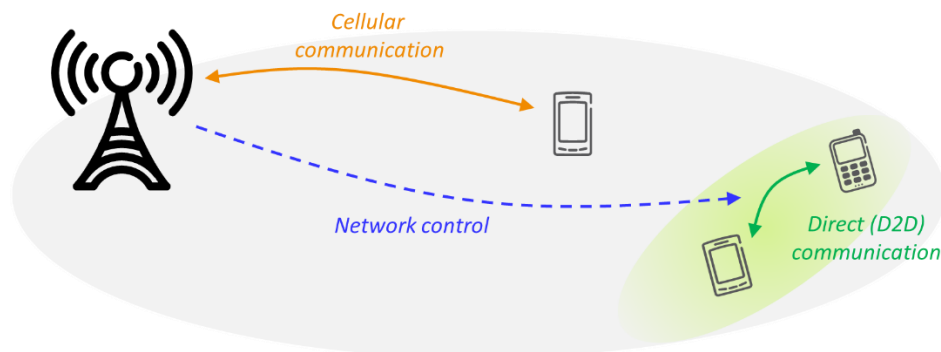
Εικόνα 13 - Physical Web της Google

Παραδείγματα της χρήσης του Physical Web είναι:

- Ένα beacon τοποθετημένο στο κολλάρο ενός σκύλου θα μπορούσε να περιέχει πληροφορίες σχετικά με το αφεντικό του, σε περίπτωση που αυτός χαθεί.
- Οι επιβάτες ενός λεωφορείου ειδοποιούνται για την επόμενη στάση.
- Έστω ένα κατάστημα ενοικίασης ποδηλάτων. Ο χρήστης μπορεί να εγγραφεί κατευθείαν μέσω μιας φόρμας.
- Χάρτης σε εμπορικό κέντρο.

Ο όρος “things” αναφέρεται σε μια πληθώρα συσκευών που μπορούν να δώσουν πληροφορία χρήσιμη για επικοινωνία. Οι συσκευές αυτές συλλέγουν δεδομένα και τα προωθούν σε άλλες συσκευές κ.ο.κ. Τα παραδείγματα είναι αρκετά και κάποια από αυτά είναι: εμφυτεύματα παρακολούθησης καρδιακής λειτουργίας, αναμεταδότες biochip σε οικόσιτα ζώα, κάμερες που δίνουν ζωντανή εικόνα της κυκλοφορίας σε οδικό δίκτυο, αυτοκίνητα με αισθητήρες, συσκευές ανάλυσης DNA και πολλά άλλα. Γενικότερα, ο όρος “things” αντιπροσωπεύει ένα μείγμα hardware, λογισμικού, δεδομένων και υπηρεσιών.

- Device-to-device (D2D) communication:



Εικόνα 15 - D2D Communication

Στα παραδοσιακά κυψελωτά (cellular) δίκτυα κάθε είδους επικοινωνία πρέπει να γίνει μέσω ενός σταθμού βάσης, ασχέτως αν 2 συσκευές βρίσκονται αρκετά κοντά η μία στην άλλη. Ενώ η τεχνική αυτή είναι επαρκής για εφαρμογές με μικρές απαιτήσεις σε φόρτο δεδομένων, όπως κλήσεις και γραπτά μηνύματα, η τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται. Και στη σημερινή εποχή οι χρήστες του δικτύου καταναλώνουν τεράστιο και συνεχώς αυξανόμενο όγκο δεδομένων, με αποτέλεσμα ο συμβατικός τρόπος λειτουργίας να μην επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες του δικτύου σε ταχύτητα και Quality of Service. Χρησιμοποιείται, λοιπόν η device-to-device επικοινωνία (D2D), ένας τρόπος επικοινωνίας στον οποίο δύο συσκευές συνδέονται άμεσα μεταξύ τους χωρίς την παρεμβολή σταθμού βάσης (basestation) ή core network. Με τη χρήση D2D βελτιώνεται η απόδοση του δικτύου και μειώνεται η καθυστέρηση επικοινωνίας.

Η D2D επικοινωνία εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι δύο χρήστες μπορούν να βρεθούν εντός εμβέλειας ώστε η επικοινωνία μεταξύ τους να μην απαιτεί σταθμό βάσης, ότι χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες και ότι η απευθείας επικοινωνία είναι πιο γρήγορη.

- Proximity Services:

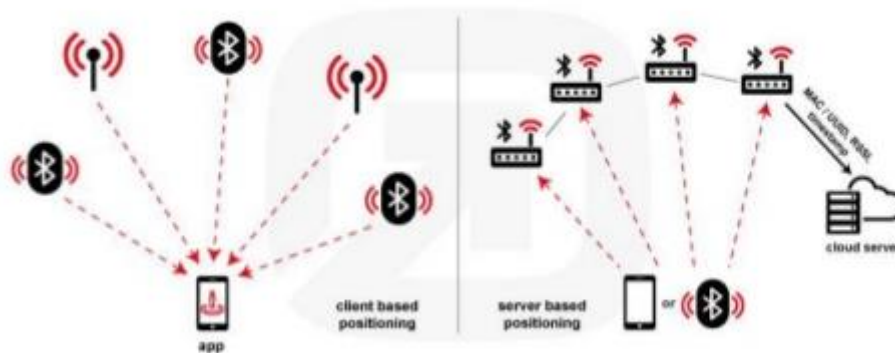
Τα proximity services είναι υπηρεσίες που γίνονται διαθέσιμες όταν μία συσκευή εισέλθει σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή βρεθεί στην εμβέλεια μιας άλλης συσκευής. Η συσκευή αυτή μπορεί να είναι beacon, Wi-Fi access point ή και άλλος χρήστης.

Για να καταλάβουμε καλύτερα τη λειτουργία των proximity services δίνουμε ένα παράδειγμα. Έστω ότι βρισκόμαστε σε ένα πάρκινγκ, στην είσοδο του οποίου, καθώς και σε διάφορα άλλα σημεία, βρίσκονται τοποθετημένα beacons. Μόλις ο χρήστης φτάσει εντός εμβέλειας κάποιου beacon μπορεί να ανοίξει ένα real-time map του πάρκινγκ που δείχνει όλες τις κενές θέσεις. Μ' αυτόν τον τρόπο είναι προφανές ότι ο οδηγός θα γλυτώσει χρόνο και άσκοπες μετακινήσεις εντός του πάρκινγκ, και θα αποφευχθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Το Indoor Navigation, λοιπόν υλοποιεί τους παραπάνω όρους. Είναι εφαρμογή του Internet of Things, προσφέρει Device-to-Device επικοινωνία, η οποία για να λειτουργήσει απαιτεί οι συσκευές που επικοινωνούν μεταξύ τους να είναι η μία στην εμβέλεια της άλλης, άρα κατατάσσεται στα Proximity Services.

2.4.2. Client και Server Based Εφαρμογές

Ο τρόπος εύρεσης της θέσης του χρήστη στο χώρο (positioning) κατατάσσει τις εφαρμογές indoor navigation σε δύο κατηγορίες: client based και server based.



Εικόνα 16 - Client & Server Based Positioning

Στις client based positioning γίνεται απευθείας στη συσκευή του χρήστη. Απαιτείται η συσκευή να έχει εγκατεστημένη μία εφαρμογή (app) που αναλύει τα σήματα των access points, LED lamps ή beacons ως προς την ισχύ τους και τα διασταυρώνει με τις τιμές τους σε μια βάση δεδομένων (RSSI), ώστε να βρει τη θέση του στο χώρο χωρίς να συνδεθεί με τα access points. Εφόσον πρόκειται αποκλειστικά για positioning, τα δεδομένα του χρήστη μένουν στο κινητό του.

Το client based positioning χρησιμοποιείται σε καταστήματα λιανικής, εμποροπανηγύρεις, αεροδρόμια, σιδηροδρομικούς σταθμούς, μουσεία και νοσοκομεία. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι η ύπαρξη Wi-Fi access points, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Το μειονέκτημα είναι ότι σε client based εφαρμογές που χρησιμοποιούν εξ ολοκλήρου Wi-Fi αποκλείονται οι χρήστες iOS, μιας και δεν υποστηρίζεται Wi-Fi positioning στα λογισμικά αυτά.

Στις server based εφαρμογές, οι εκάστοτε πομποί (tags, beacons, access points) εκπέμπουν ένα ειδικό κλειδί (MAC, UUID), το οποίο στέλνεται σε ένα server. Ο server κάνει τον υπολογισμό που αναλαμβάνει η εφαρμογή του χρήστη στις client based εφαρμογές. Δηλαδή, χρησιμοποιεί τα Tx Powers που λαμβάνει ο χρήστης και τις συντεταγμένες των πομπών για να βρει τη θέση του.

Στο server based positioning εντοπίζονται όλες οι συσκευές και δεν υπάρχει ανάγκη για app. Είναι χρήσιμο σε εφαρμογές asset και personnel tracking. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται για εντοπισμό ιατρικών εργαλείων σε νοσοκομείο, αυτοκινήτων σε πάρκινγκ και συγκεκριμένων προϊόντων σε σουπερμάρκετ. Ο διαχειριστής μπορεί να λαμβάνει ειδοποιήσεις όταν ένα αντικείμενο φύγει από μια συγκεκριμένη περιοχή, με αποτέλεσμα την προστασία των αντικειμένων από κλοπή.

2.4.3. Τρόποι υλοποίησης Indoor Navigation

Υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες που μπορούν να υλοποιηθούν για να βρεθεί η θέση του χρήστη στο χώρο και στη συνέχεια να περιηγηθεί σ' αυτόν. Κάποια παραδείγματα είναι τα:

GPS, BLE (Bluetooth Low Energy), Wi-Fi, NFC (Near Field Communication), VLC (Visible Light Communication). Ακολουθεί ένας πίνακας με κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους.

Technology	Indoor/Outdoor	Accuracy	Range	Cross-Platform	Power Supply
GPS		 5-20 m	 worldwide		
WiFi		 5-15 m	 < 150 m		
Bluetooth		 1-3 m	 < 30 m		
VLC		 < 50 cm	 < 8 m		

Εικόνα 17 - Πίνακας βασικών τεχνολογιών Indoor Navigation

Όπως βλέπουμε, το GPS αδυνατεί να προσφέρει αξιόπιστη πλοήγηση σε εσωτερικό χώρο. Αυτό συμβαίνει γιατί η επικοινωνία με GPS γίνεται μέσω δορυφόρων. Σε εσωτερικούς χώρους, λοιπόν, αλλά και σε μέρη όπου υπάρχουν εμπόδια μεταξύ δορυφόρου – χρήστη (δάση, κοντά σε ψηλά κτήρια, τούνελ, ακόμα και με συννεφιά) το GPS παύει να είναι αξιόπιστο. Επιπροσθέτως, εφόσον έχει δημιουργηθεί για να βοηθάει το χρήστη να φτάσει στον προορισμό του σε κλίμακα χάρτη, η ακρίβειά του (5 – 20 μέτρα) είναι αρκετά αναξιόπιστη όταν ο χρήστης κινείται σε χώρο που έχει σημεία ενδιαφέροντος, π.χ. σε κάθε 1 – 2 μέτρα.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες τεχνολογίες, είναι ικανές να προσφέρουν indoor navigation, αφού δεν στηρίζονται σε εξωτερικό παράγοντα.

- Indoor Navigation με Wi-Fi



Εικόνα 18 - Indoor Navigation με Wi-Fi

Το να επιτευχθεί indoor navigation μέσω Wi-Fi (Wi-Fi Positioning System – WPS) είναι αρκετά εύκολο, καθώς στα περισσότερα κτήρια υπάρχουν ήδη Wi-Fi access points, πράγμα που είναι και το μεγάλο πλεονέκτημα του Wi-Fi. Συσκευές όπως hotspots, ταμεία και access points μπορούν να χρησιμοποιηθούν για indoor navigation. Ο χρήστης δεν χρειάζεται να έχει συνδεθεί σε κάποιο access point, αντιθέτως αρκεί να έχει ανοικτό το Wi-Fi στη συσκευή του.

Για να βρεθεί η θέση του χρήστη χρησιμοποιείται η τεχνική fingerprinting. Το RSSI (Received Signal Strength Indicator) και η MAC των access

Points χρησιμοποιούνται για να βρεθεί η θέση του χρήστη. Απαραίτητη είναι και μία εφαρμογή στη συσκευή του χρήστη, η οποία θα υπολογίζει τη θέση του βάσει των δεδομένων αυτών.

Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τον αριθμό των δικτύων, πιθανή αντανάκλαση του σήματος (σε διαδρόμους) και παρεμβολές από τοίχους, ταβάνια, ακόμα και το σώμα του χρήστη. Η ακρίβεια μέτρησης εκτιμάται στα 5 με 15 μέτρα, ανάλογα με τους παραπάνω παράγοντες. Η ακρίβεια αυτή μπορεί να βελτιωθεί με τους αισθητήρες του smartphone. Το πλεονέκτημα του Wi-Fi απέναντι στο GPS είναι η δυνατότητα να προσδιοριστεί και ο όροφος που βρίσκεται ο χρήστης.

Πλεονεκτήματα:

- Δε χρειάζεται GPS
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες υποδομές Wi-Fi.
- Αρκεί το Wi-Fi να είναι ενεργοποιημένο στη συσκευή του χρήστη.
- Μεγάλη εμβέλεια (έως 150 μέτρα)
- Εντοπίζει τον όροφο.

Μειονεκτήματα:

- Μικρή ακρίβεια σε σχέση με άλλες τεχνολογίες.
- Αν η εφαρμογή είναι client based δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από iOS συσκευές.
- Απαιτείται app στη συσκευή του χρήστη.

- Indoor Navigation με BLE



Εικόνα 19 - Indoor Navigation με BLE

Μία καλή εναλλακτική είναι τα BLEbeacons, τα οποία λειτουργούν με την τεχνολογία BluetoothLowEnergy (BLE) ή BluetoothSmart. Πρόκειται για μικρούς πομπούς που εκπέμπουν σήματα, αλλά δε λαμβάνουν. Είναι σχετικά φθηνά, λειτουργούν με μπαταρία τύπου coincell (πιο σπάνια με USBή visiblelight), με τη διάρκεια ζωής της να φτάνει τα 2 χρόνια και σε εσωτερικό χώρο έχουν εμβέλεια έως 30 μέτρα. Η ακρίβεια μέτρησης είναι 1 μέτρο. Έχουν δύο τρόπους λειτουργίας, ανάλογα με τα πρωτόκολλα που υποστηρίζουν: ο πρώτος τρόπος (iBeacon, AltBeacon, Eddystone-UID, Eddystone-EID) είναι εκπέμποντας ένα UUID, δηλαδή ένα κωδικό, ο οποίος μέσω ενός εξωτερικού server μετατρέπεται σε πληροφορία που μπορεί να εκμεταλλευτεί η συσκευή του χρήστη. Για να γίνει το τελευταίο, απαιτείται σχετική εφαρμογή (app) στη συσκευή. Ο δεύτερος τρόπος (Eddystone-URL) είναι εκπέμποντας ένα URL(σε shortened μορφή), το οποίο ο χρήστης διαβάζει κατευθείαν χωρίς την παρέμβαση εξωτερικού server. Το μόνο που απαιτείται στην πλευρά του χρήστη είναι ένας webbrowser, όπως το GoogleChrome. Επίσης, ο χρήστης απαιτείται να έχει ενεργοποιημένο Bluetooth στη συσκευή του.

Για να υπολογιστεί η θέση του χρήστη στο χώρο χρειάζονται περισσότερα του ενός beacons. Η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι το trilateration, σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται η ισχύς εκπομπής (Tx Power) κάθε beacon εντός εμβέλειας του

smartphone και συγκρίνεται με το RSSI (Tx Power στο 1 μέτρο) για να υπολογιστεί η απόσταση του χρήστη από κάθε beacon. Ο συνδυασμός των αποστάσεων αυτών δίνει την τελική θέση. Οι εφαρμογές που προσφέρονται για χρήση των beacons σε ένα χώρο συνήθως προσφέρουν αυτοματοποιημένη την παραπάνω διαδικασία.

Πέρα από indoor navigation τα beacons μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προβάλλουν διαφημίσεις και εκπωτικά κουπόνια σε καταστήματα. Μια άλλη χρήση τους είναι η μέτρηση της κυκλοφοριακής ροής στην εμβέλειά τους, καθώς και η τοποθέτησή τους σε “σημεία κλειδιά” σε εσωτερικούς χώρους, με σκοπό να προβάλλουν την ανάλογη πληροφορία.

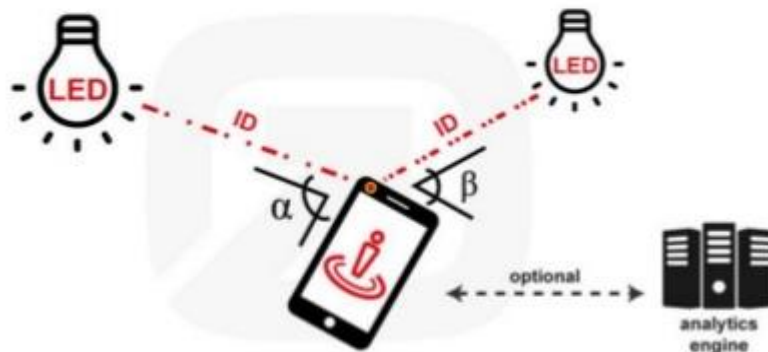
Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό Κόστος
- Μικρή κατανάλωση ενέργειας
- Λειτουργούν εκεί που άλλες τεχνικές δε μπορούν
- Συμβατά με iOS και Android
- Μεγάλη ακρίβεια μέτρησης σε σχέση με Wi-Fi

Μειονεκτήματα:

- Επιπλέον hardware
- Ενδέχεται να απαιτείται app στη συσκευή του χρήστη
- Σχετικά μικρή εμβέλεια

- Indoor Navigation με VLC (Visible Light Communication)



Εικόνα 20 - Indoor Navigation με VLC

Το VLC είναι μία σχετικά νέα τεχνολογία πλοήγησης για εσωτερικούς χώρους. Λειτουργεί ως εξής: ειδικές λάμπες LED ή φθορισμού εκπέμπουν φως που μπορεί να ανιχνευθεί από κάμερες smartphone ή από ειδικούς ανιχνευτές φωτός τοποθετημένους για παράδειγμα σε καρότσι σούπερ μάρκετ.

Η κάθε λάμπα έχει ένα ID, το οποίο και μετατρέπεται σε παλμικό φως (αναβοσβήνει) και το εκπέμπει στο πεδίο εμβέλειάς της. Όπως και με τα beacons, ο χρήστης απαιτείται να έχει ειδικό app για να μπορεί να πλοηγηθεί στο χώρο. Το app εμφανίζει ένα χάρτη με την τοποθεσία κάθε λάμπας και το ID της. Όταν ο χρήστης βρεθεί εντός εμβέλειας μιας λάμπας χρησιμοποιείται η κάμερα του smartphone για να διαβάσει το ID. Η γωνία του φωτός δίνει τη θέση του χρήστη στο χώρο. Εφόσον χρησιμοποιείται app μπορούν να χρησιμοποιηθούν κι άλλες τεχνολογίες, όπως beacons, σε σημεία όπου δε φτάνει το φως.

Το VLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και beacons. Παραδείγματα είναι: σουπερμάρκετ, εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια, σιδηροδρομικοί σταθμοί, ξενοδοχεία, πάρκινγκ και μουσεία.

Πλεονεκτήματα:

- Οι λάμπες βρίσκονται σε κάθε κτήριο
- Συμπληρωματική χρήση beacons
- Εύκολος περιορισμός της εμβέλειας των σημάτων
- Οι σύγχρονες λάμπες LED έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- Δεν απαιτούνται μπαταρίες
- Μεγάλη ακρίβεια (μικρότερη του μέτρου) και σχετικά μεγάλη εμβέλεια (8 μέτρα)
- Δε χρησιμοποιείται εξωτερικός εξοπλισμός που “χτυπάει στο μάτι”

Μειονεκτήματα:

- Υψηλή κατανάλωση ενέργειας στη συσκευή του χρήστη
- Μικρή ευελιξία κατά την εγκατάσταση των LED
- Περιορίζεται σε εσωτερικούς χώρους
- Απαιτείται εφαρμογή

2.5. Παραδείγματα Χρήσης IndoorNavigation

Έχοντας αναλύσει τον όρο indoornavigation, τρόπους υλοποίησής του και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε υλοποιήσεις με beacons, θα εξετάσουμε παραδείγματα υλοποιήσεων συστημάτων indoornavigation από εταιρίες του χώρου. Συγκεκριμένα, θα ασχοληθούμε με τις infsoft και NaviBees.

2.5.1. infsoft- Asset Tracking σε νοσοκομεία

Η infsoft χρησιμοποιεί indoor navigation σε νοσοκομεία με σκοπό να παρακολουθεί τη θέση ιατρικού εξοπλισμού, προσωπικού και ασθενών.

Σε ένα μεγάλο νοσοκομείο μπορεί να υπάρξουν προβλήματα εντοπισμού εξοπλισμού, αφού φορητές συσκευές όπως πιεσόμετρα και παλμογράφοι μετακινούνται συνεχώς και ενδέχεται να έχουν ξεχαστεί κάπου. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η οργάνωση των κρεβατιών των ασθενών. Επίσης, ορισμένοι ασθενείς ενδέχεται να έχουν τάσεις φυγής ή να χαθούν μέσα στο κτήριο καθώς κυκλοφορούν.



Εικόνα 21 - Εντοπισμός εξοπλισμού σε νοσοκομεία

Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιείται indoorpositioning. Η πρώτη κίνηση είναι να τοποθετηθούν αισθητήρες σε διαδρόμους και πόρτες. Ο ιατρικός εξοπλισμός και τα κρεβάτια εξοπλίζονται με BLEbeacons, ενώ το προσωπικό μέσω εφαρμογής μπορεί να παρακολουθεί τη θέση τους. Η εφαρμογή μπορεί να προσφέρει και πληροφορίες κατάστασης (κατειλημμένο, διαθέσιμο) για το κάθε αντικείμενο/ κρεβάτι. Αν κάποιο αντικείμενο απαγορεύεται να βγει από κάποιο συγκεκριμένο χώρο, το προσωπικό θα ειδοποιείται σε περίπτωση που κάτι τέτοιο γίνει (είτε κατά λάθος είτε λόγω κλοπής) και η θέση του στο νοσοκομείο θα είναι πάντα γνωστή λόγω των αισθητήρων. Όταν ένας αισθητήρας λάβει το σήμα ενός beacon, το στέλνει σε ένα cloudserver, ο οποίος υπολογίζει τη θέση του beacon.

Μέσω ενός app το προσωπικό μπορεί να δει τη θέση των beacons, άρα του εξοπλισμού στο χώρο. Το προσωπικό φοράει ειδικά βραχιόλια ανάγκης, τα οποία είναι εξοπλισμένα με πομπό Bluetooth. Σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης (επιλοκή στην υγεία ασθενή, επιθετική συμπεριφορά), ο χρήστης μπορεί να πατήσει ένα κουμπί και να στείλει τη θέση του στο

υπόλοιπο προσωπικό ώστε να σπεύσουν για βοήθεια. Τα βραχιολάκια αυτά έχουν ενσωματωμένο ένα beacon, το οποίο, με το πάτημα ενός κουμπιού, εκπέμπει ένα σήμα στους τριγύρω αισθητήρες. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια με τον εξοπλισμό.

Βραχιόλι Bluetooth φορούν και οι ασθενείς, με αποτέλεσμα να παρακολουθούνται οι κινήσεις τους. Αυτό είναι χρήσιμο σε περίπτωση που κάποιος ασθενής επιχειρήσει να μπει σε δωμάτιο που απαγορεύεται η είσοδος σε άτομα που δεν ανήκουν στο προσωπικό, χαθεί ή προσπαθήσει να φύγει χωρίς εξιτήριο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι αισθητήρες κλείνουν τις πόρτες ή σημαίνουν συναγερμό.

2.5.2. infsoft - Εκκένωση κτηρίων σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης

Σε μια εταιρία που στεγάζεται σε μεγάλο και πολώροφο κτήριο – ουρανοξύστη ενδέχεται να υπάρξουν περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης, όπως φωτιά, σεισμός, ακόμη και τρομοκρατικό χτύπημα. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι υπηρεσίες διάσωσης (αστυνομία, πυροσβεστική, πρώτες βοήθειες) θα διευκολυνθούν αρκετά αν γνωρίζουν τον αριθμό των παρευρισκόμενων στο κτήριο, καθώς και τη θέση τους.



Εικόνα 22 - Εκκένωση Κτηρίου σε έκτακτη ανάγκη

Η λύση είναι απλή. Στο κτήριο, σε πόρτες, διαδρόμους και σημεία με πολύ κόσμο, καθώς και έξω απ' αυτό και σε απόσταση ασφαλείας (π.χ. 50 μέτρα) τοποθετούνται αισθητήρες. Όποιος μπαίνει στο κτήριο παίρνει μια κάρτα (είτε προσωπικού είτε επισκέπτη), η οποία έχει ενσωματωμένο ένα BLEbeacon. Η ανίχνευση και παρακολούθηση της θέσης των παρευρισκόμενων στο κτήριο δε γίνεται συνεχώς. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, μαζί με το συναγερμό ενεργοποιούνται και τα beacons, τα οποία εκπέμπουν σήματα. Οι αισθητήρες τα διαβάζουν και δείχνουν τις θέσεις των ανθρώπων μέσα στο κτήριο σε μια εφαρμογή που ελέγχεται από τις υπηρεσίες διάσωσης. Όποιος βγαίνει από το κτήριο και βρεθεί εντός εμβέλειας των αισθητήρων στην απόσταση ασφαλείας θεωρείται “ασφαλής”. Όσο για τους υπόλοιπους, οι υπηρεσίες διάσωσης ξέρουν τη θέση και τον αριθμό τους, πράγμα που κάνει τη διάσωσή τους ευκολότερη και ταχύτερη.

2.5.3. NaviBees – Indoor Navigation σε μουσεία

Σε ένα μουσείο υπάρχει πληθώρα βελτιώσεων που μπορούν να γίνουν με indoornavigation. Για παράδειγμα, μπορεί να βελτιωθεί η διαδραστικότητα του χρήστη με ένα έκθεμα. Στα εκθέματα τοποθετούνται beacons. Όταν ο χρήστης βρεθεί εντός της εμβέλειας

ενός, ένα push notification που περιέχει πληροφορίες για το έκθεμα, αυτό εμφανίζεται στη συσκευή του. Μέσω ενός app που παρέχει το μουσείο (ή απλά ενός web browser αν χρησιμοποιούνται Eddystone-URL beacons) ο χρήστης μπορεί να δει τις πληροφορίες αυτές. Τα beacons εγκαθίστανται μία φορά και η αλλαγή του περιεχομένου τους γίνεται μέσω του SDK. Οποτε επιθυμεί ο προγραμματιστής.

Μία άλλη δυνατότητα που προσφέρεται είναι η ξενάγηση. Χωρίς να είναι απαραίτητος ξεναγός, ο χρήστης μπορεί να δει στη συσκευή του τη λίστα εκθεμάτων του μουσείου και να βάλει ως προορισμό κάποιο συγκεκριμένο. Μέσω real time mapping θα λάβει οδηγίες για το πώς θα φτάσει στο έκθεμα αυτό. Για να αποφευχθεί συνωστισμός σε διάφορα μέρη και να βελτιωθεί η εμπειρία του επισκέπτη στο μουσείο, μπορεί να προστεθεί ένα προκαθορισμένο δρομολόγιο με συνοδεία ξεναγού. Επίσης, μέσω των beacons μπορούν να ληφθούν στατιστικά στοιχεία, όπως η κίνηση των χρηστών στο χώρο, τα δημοφιλέστερα εκθέματα, ο χρόνος που μένουν οι επισκέπτες στο μουσείο ή σε κάποιο έκθεμα και άλλα. Τέλος, ανάλογα με το τι εκθέματα φαίνεται να ενδιαφέρουν τον κάθε χρήστη, μπορούν να στέλνονται ειδοποιήσεις για άλλα που μπορεί επίσης να τον ενδιαφέρουν.

Η εφαρμογή δεν περιορίζεται μόνο στο χώρο του μουσείου, αλλά και σε μέρη όπως το πάρκινγκ του. Ο χρήστης μπορεί να ενημερωθεί για το που υπάρχουν άδειες θέσεις και να οδηγηθεί σε μία απ' αυτές. Εμφανίζεται, επίσης, το ποσό που πρέπει να καταβάλει, καθώς και η θέση του αυτοκινήτου του όταν επιστρέψει.

Τέλος, το indoor navigation μπορεί να βελτιώσει και την ασφάλεια του μουσείου. Παρακολουθώντας τις κινήσεις των φρουρών, μέσω BLE wristbands, μπορούν να τους δοθούν αρμοδιότητες ανάλογα με τη θέση τους. Επίσης, τοποθετώντας beacons σε συγκεκριμένα σημεία μπορεί να εντοπιστεί εύκολα κάποιος που προσπαθεί να μπει σε απαγορευμένη για το κοινό περιοχή του μουσείου.

Εν ολίγοις, οι υπηρεσίες που παρέχονται είναι οι παρακάτω:

- Ξενάγηση
- Εύρεση συγκεκριμένου εκθέματος
- Πάρκινγκ
- Αλληλεπίδραση με social media
- Βοήθεια σε άτομα με αναπηρία
- Πληροφορίες για εκθέματα
- Αγορά εισιτηρίων
- Στατιστικές πληροφορίες
- Βοήθεια στην οργάνωση

2.5.4. NaviBees – Indoor Navigation σε αεροδρόμια

Σε αεροδρόμια το indoor navigation μπορεί να λύσει αρκετά προβλήματα και να βελτιώσει την εμπειρία του χρήστη. Οι ταξιδιώτες βοηθούνται να βρουν την πύλη ή την πλατφόρμα τους γρήγορα και εύκολα, καθώς και να δουν πότε φεύγει η πτήση τους και να ενημερωθούν για πιθανή καθυστέρηση ή ακύρωση δρομολογίου. Σε σημεία ενδιαφέροντος, όπως γραφεία check-in, ελέγχους ασφάλειας, αλλά και τουαλέτες, ATM, μαγαζιά και εστιατόρια τοποθετούνται beacons που βοηθούν τον χρήστη να τα βρίσκει εύκολα.

Τα αεροδρόμια περιλαμβάνουν και καταστήματα dutyfree. Αυτά μπορούν να επωφεληθούν τη χρήση indoor navigation μέσω διαφημιστικών push notifications που στέλνουν στους χρήστες. Σ' αυτά μπορεί να περιλαμβάνεται η τοποθεσία του καταστήματος, ένας κατάλογος προϊόντων, αλλά και εκπτώσεις – προσφορές.

Όπως και με τα μουσεία, η NaviBees έχει φροντίσει να ενσωματώσει τη λειτουργία πάρκινγκ και στα αεροδρόμια. Ο χρήστης μπορεί να βρει τις διαθέσιμες θέσεις πάρκινγκ, να υπολογίσει το κόστος ανάλογα με το χρόνο που θα είναι παρκαρισμένο το αυτοκίνητό του και να το βρει εύκολα κατά την έξοδό του από το αεροδρόμιο.

Ακολουθώντας και πάλι το παράδειγμα των μουσείων, και το θέμα της ασφάλειας έχει επιμεληθεί στο indoor navigation για αεροδρόμια. Ανατίθενται αρμοδιότητες στους φρουρούς ανάλογα με τη θέση τους και μαρκάρονται συγκεκριμένες περιοχές ως απαγορευμένες προς το κοινό, με αποτέλεσμα όταν παραβιάζονται να στέλνεται μια ειδοποίηση στον κεντρικό χώρο ασφαλείας.

Συνοπτικά οι υπηρεσίες που παρέχονται:

- Αναζήτηση σημείων ενδιαφέροντος
- Πλοήγηση σε επιθυμητή τοποθεσία
- Αλληλεπίδραση με social media
- Ειδοποιήσεις προς ταξιδιώτες
- Πληροφορίες για πτήσεις
- Αυτοματοποιημένο check-in
- Πάρκινγκ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε μερικούς αλγόριθμους που αποτελούν τη βάση σε πολλά συστήματα εντοπισμού θέσης και θα μπορούσαμε και εμείς να χρησιμοποιήσουμε στο πρακτικό μέρος της πτυχιακής αυτής εργασίας. Ονομαστικά οι αλγόριθμοι που θα αναλύσουμε παρακάτω είναι οι:

1. Trilateration
2. Multilateration
3. Triangulation
4. Radiolocation
5. Triangulation

Ο αλγόριθμος trilateration πάνω στον οποίο βασιστήκαμε και χρησιμοποιήσαμε για το πρακτικό μέρος της πτυχιακής μας αποτελεί έναν από τους βασικότερους αλγόριθμους εντοπισμού και εύρεσης συγκεκριμένων σημείων σε έναν χώρο. Αποτελεί βασικό κομμάτι πασίγνωστων συστημάτων όπως το GPS και συστημάτων ραδιοφωνικής πλοήγησης.

Στον αλγόριθμο multilateration, αντιθέτως με τον trilateration και τον triangulation που χρησιμοποιούν απόσταση και κλίσεις αντίστοιχα για να μετρήσουν την απόσταση, δεν χρησιμοποιείται καμία από τις δύο τεχνικές αλλά με μια σειρά μετρήσεων σήματος από σταθμούς δημιουργούνται ελλείψεις με τις οποίες εντοπίζεται το σημείο που αναζητείται.

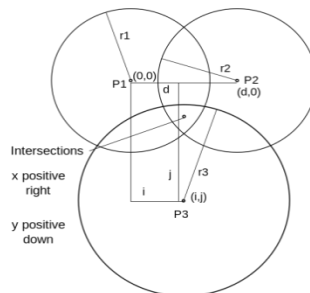
Ένας ακόμα πολύ σημαντικός αλγόριθμος είναι ο triangulation algorithm. Αυτή η τεχνική αποτελεί αρχαίο τρόπο εύρεσης τοποθεσίας ενός απομακρυσμένου αντικειμένου και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα σε διάφορα συστήματα. Με τη χρήση μόνο σταθερών σημείων και την κλίση που δημιουργείται από αυτά προς το σημείο αναζήτησης μέσω απλών υπολογισμών γίνεται δυνατή η εύρεση της απόστασης.

Ο ραδιοεντοπισμός αποτελεί τρόπο εντοπισμού με τη χρήση ραδιοσημάτων. Χρησιμοποιείται κυρίως σε Radar αλλά και για διάφορες άλλες εφαρμογές. Επιπλέον, η χρήση του στην κινητή τηλεφωνία είναι ευρεία και έτσι καθίσταται ένα πολύ σημαντικό κομμάτι σε κάθε σύγχρονη κινητή συσκευή.

Αναφέρουμε και τον triangulation αλγόριθμο ο οποίος είναι ένας συνδυασμός του triangulation και trilateration.

3.1. Trilateration Algorithm

Ο Αλγόριθμος που χρησιμοποιήσαμε και τελικά υλοποιήσαμε την εφαρμογή μας ονομάζεται trilateration algorithm και αποτελεί έναν από τους βασικούς τρόπους εύρεσης σημείων σε έναν χώρο. Αποτελεί κομμάτι συστημάτων όπως το GPS και άλλων. Αυτός ο αλγόριθμος καταφέρνει να εντοπίσει την θέση ενός σημείου μετρώντας την απόσταση με την χρήση της γεωμετρίας κύκλων, σφαιρών ή και τριγώνων.



Εικόνα 23 - Σχήμα επεξήγησης
Trilateration Algorithm

Στο σχήμα αυτό παρατηρούμε 3 κύκλους διαφορετικών διαμέτρων και με διαφορετικά εντελώς κέντρα. Οι ακτίνες τους r_1, r_2, r_3 είναι διαφορετικών αποστάσεων και τα κέντρα τους $P_1(0,0), P_2(d,0), P_3(i,j)$ επίσης διαφορετικά. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι ο κάθε κύκλος τέμνεται με κάθε έναν από τους υπόλοιπους σε δύο διαφορετικά σημεία. Έτσι, δημιουργείται μία περιοχή που όλοι οι κύκλοι έχουν κοινή. Αυτή είναι η περιοχή που ο αλγόριθμος εντοπίζει και η περιοχή στην συνέχεια που εντοπίζουμε και εμείς στην εφαρμογή μας. Αυτή η περιοχή συμβολίζει την τοποθεσία του χρήστη κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Η περιοχή που οι τρεις κύκλοι τέμνονται υπολογίζεται λύνοντας τις εξισώσεις των επιφανειών των τριών κύκλων και έπειτα λύνοντας τις επόμενες τρεις εξισώσεις για τα τρία άγνωστα x, y, z . Τέλος, αφού βρεθεί η λύση, τότε την μετατρέπουμε στο γνωστό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Το Z για λόγους απλοποίησης το θεωρούμε ότι είναι 0, δηλαδή πάνω σε μια επιφάνεια και όχι σε τρισδιάστατο χώρο.

Μαθηματική φόρμουλα

Ξεκινάμε με τις εξισώσεις των τριών κύκλων:

$$\begin{aligned}r_1^2 &= x^2 + y^2 + z^2 \\r_2^2 &= (x - d)^2 + y^2 + z^2 \\r_3^2 &= (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2\end{aligned}$$

Συνεχίζουμε λύνοντας προς x ώστε να εξαλείψουμε την χρήση του y, z :

$$\begin{aligned}r_1^2 &= x^2 + y^2 + z^2 \\r_2^2 &= (x - d)^2 + y^2 + z^2. \\r_1^2 - r_2^2 &= x^2 - (x - d)^2 \\r_1^2 - r_2^2 &= x^2 - (x^2 - 2xd + d^2) \\r_1^2 - r_2^2 &= 2xd - d^2 \\r_1^2 - r_2^2 + d^2 &= 2xd \\x &= \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d}.\end{aligned}$$

Υποθέτουμε ότι οι δύο πρώτοι κύκλοι ενώνονται σε παραπάνω από ένα σημείο το οποίο είναι αυτό:

$$d - r_1 < r_2 < d + r_1.$$

Αντικαθιστούμε την εξίσωση του x στην εξίσωση του πρώτου κύκλου και έχουμε:

$$y^2 + z^2 = r_1^2 - \frac{(r_1^2 - r_2^2 + d^2)^2}{4d^2}.$$

Λύνουμε προς z και αντικαθιστούμε στην φόρμουλα για τον τρίτο κύκλο και λύνουμε προς y :

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 - x^2 + (x - i)^2 + j^2}{2j} = \frac{r_1^2 - r_3^2 + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x.$$

Τέλος, αφού έχουμε βρει το x, y βρίσκουμε και το z :

$$z = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2 - y^2}.$$

Έτσι, έχουμε το σημείο που οι τρεις κύκλοι τέμνονται.

Στη δική μας περίπτωση χρησιμοποιήσαμε μια βιβλιοθήκη γραμμένη σε java, η οποία λαμβάνει τα κέντρα και τις αποστάσεις των beacons με τον παρακάτω τρόπο:

```
double[][] positions = new double[][] { { 5.0, -6.0 }, { 13.0, -15.0 }, { 21.0, -3.0 }, {  
12.4, -21.2 } };
```

```
double[] distances = new double[] { 8.06, 13.97, 23.32, 15.31 };
```

```
NonLinearLeastSquaresSolver solver = new NonLinearLeastSquaresSolver(new  
TrilaterationFunction(positions, distances), new LevenbergMarquardtOptimizer());  
Optimum optimum = solver.solve();
```

```
// the answer
```

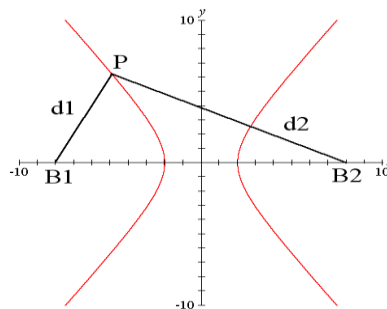
```
double[] centroid = optimum.getPoint().toArray();
```

Εδώ στα positions θέτουμε τις τοποθεσίες που βρίσκεται το κάθε beacon (στην δική μας περίπτωση 3 ή 4) και τις αποστάσεις που έχει το κάθε ένα από την κινητή συσκευή. Αυτές οι αποστάσεις δεν είναι καθορισμένες όπως η σταθερή τοποθεσία κάθε beacon αλλά, αντιθέτως, λαμβάνονται κάθε ένα δευτερόλεπτο μέσω της ανίχνευσης που κάνει η εφαρμογή μας. Τέλος, αφού οι παράμετροι – απόσταση και τοποθεσία – έχουν δοθεί, υπολογίζεται μέσω συναρτήσεων της βιβλιοθήκης το centroid, δηλαδή η περιοχή-σημείο που οι 4 κύκλοι τέμνονται.

3.2. Multilateration Algorithm

Ο αλγόριθμος multilateration ή αλλιώς εν συντομία MLAT αποτελεί μια τεχνική παρακολούθησης βασισμένη στην μέτρηση της διαφοράς της απόστασης μεταξύ 2 σημείων-σταθμών με γνωστές τοποθεσίες με τη χρήση μετάδοσης σημάτων σε γνωστούς χρόνους.

Όταν μετράμε την απόσταση αυτή που έχουν οι 2 σταθμοί-σημεία έχουμε αποτέλεσμα απείρων σημείων-τοποθεσιών που και αποτελούν την λύση. Όταν αυτά τα σημεία ενωθούν τότε δημιουργούν μια υπερβολή και για να βρεθεί η ακριβής τοποθεσία-σημείο στην καμπύλη αυτή ο αλγόριθμος βασίζεται σε πολλαπλές μετρήσεις.



Εικόνα 24 - Γραφική παράσταση υπερβολής

Μία μέτρηση γίνεται με τον εξής τρόπο:

Γίνεται μία δεύτερη μέτρηση με 2 διαφορετικά σημεία-σταθμούς και έτσι δημιουργείται μία ακόμη υπερβολή. Στην συνέχεια αφού γίνει η σύγκριση αυτών των 2 υπερβολών αποκαλύπτονται κάποια κοινά σημεία στις καμπύλες, τα οποία αποτελούν και την λύση.

Ο παρών αλγόριθμος αποτελεί μια συνηθισμένη τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως στην ραδιοναυτιλία ή ηλεκτρονική ναυτιλία (radio navigation), το είδος ναυσιπλοΐας στο οποίο το

στίγμα, η πορεία και οι αποστάσεις του πλοιαρίου υπολογίζονται με διάφορα ηλεκτρονικά όργανα που λαμβάνουν μόνο ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Γνωστά σε όλους μας όργανα που κάνουν τέτοιους υπολογισμούς είναι το ραντάρ, το ραδιογωνιόμετρο και το βαθύμετρο. Τέτοιου είδους συστήματα είναι σχετικά εύκολα να κατασκευαστούν και δεν χρειάζονται κοινό ρολόι καθώς η χρονική διαφορά των σημάτων μπορεί να μετρηθεί οπτικά με τη βοήθεια ενός οργάνου, του οσκιλοσκόπιου. Το όργανο αυτό αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία διαφόρων συστημάτων πλοήγησης που άρχισαν κατά την διάρκεια του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου με το βρετανικό σύστημα GEE και κάποια ακόμα. Μετέπειτα, η δημιουργία μικροεπεξεργαστών την δεκαετία του '80 διευκόλυνε σε υπερθετικό βαθμό την απλούστευση αυτών των συστημάτων αλλά πλέον με την διάδοση της δορυφορικής πλοήγησης, γνωστά σε όλους μας ως GPS, η χρήση αυτών των συστημάτων έχει εκλείψει.

Ο αλγόριθμος επιπλέον χρησιμοποιείται σε στρατιωτικές και πολιτικές εφαρμογές, π.χ. για να γίνει εντοπισμός ενός αεροσκάφους, ενός οχήματος ή και ενός στατικού δέκτη μετρώντας τη διαφορά χρόνου λήψης του σήματος από τον πομπό σε 3 ή και περισσότερους συγχρονισμένους δέκτες (συστήματα εντοπισμού) ή αντιθέτως για τη λήψη σήματος από 3 δέκτες σε έναν πομπό (συστήματα πλοήγησης).

Συστήματα εντοπισμού – εντοπισμός πομπού από πολλούς ακροδέκτες

Γενικά, όταν ένας παλμός μεταδοθεί από έναν πομπό σε 2 διαφορετικούς δέκτες, ο παλμός θα φτάσει σε διαφορετικούς χρόνους σε αυτούς, καθώς οι ακροδέκτες απέχουν διαφορετική απόσταση από τον πομπό. Οι ακροδέκτες το μόνο που πρέπει να γνωρίζουν είναι η διαφορά του χρόνου λήψης του σήματος και όχι το πότε το σήμα μεταδόθηκε.

Αν προσθέσουμε και έναν ακόμα δέκτη τότε θα έχουμε 2 χρόνους διαφοράς λήψης σήματος και ούτω καθ'εξής. Με την προσθήκη επιπλέον εκπομπών η ακρίβεια όλο και βελτιώνεται, π.χ στο σύστημα GPS στο οποίο η ατμόσφαιρα της γης προκαλεί παρεμβολές στα σήματα. Η προσθήκη επιπλέον δορυφόρων εκπομπής έχει ως αποτέλεσμα την ακριβέστερη εύρεση τοποθεσίας του χρήστη και την καλύτερη πλοήγηση.

Επιπλέον, η τοποθεσία που βρίσκονται οι πομποί παίζει μεγάλο ρόλο στην ακρίβεια, καθώς μπορεί να επιτευχθεί πολύ μικρό σφάλμα.

Συστήματα πλοήγησης – εντοπισμός ακροδέκτη από πολλούς πομπούς

Ο αλγόριθμος multilateration μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό ένας ακροδέκτης να εντοπίσει τον εαυτό του με τη χρήση των σημάτων που λαμβάνει από διαφορετικούς συγχρονισμένους πομπούς. Γενικός κανόνας είναι ότι για δισδιάστατο εντοπισμό χρειάζονται τουλάχιστον 3 πομποί, ενώ για τρισδιάστατο εντοπισμό τουλάχιστον 4. Συνηθίζεται οι πομποί να εκπέμπουν τα σήματα σε ίδιους χρόνους αλλά διαφορετικές συχνότητες ώστε να μην γίνεται παρεμβολή των σημάτων μεταξύ τους. Επειδή τα συστήματα πλοήγησης είναι πιο περίπλοκα χρησιμοποιούνται ευρέως κάποιες μέθοδοι:

1. Οι παλμοί μεταδίδονται με διαφορετικούς πομπούς σε ίδιες συχνότητες αλλά σε διαφορετικούς χρόνους.
2. Τα συνεχόμενα σήματα μεταδίδονται σε διαφορετικές συχνότητες
3. Τα συνεχόμενα σήματα μεταδίδονται σε ίδιες συχνότητες αλλά στο κάθε σήμα προστίθεται ένας ιδιαίτερος γνωστός κωδικός ώστε να μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός

Ο αλγόριθμος έχει και στο παρελθόν χρησιμοποιηθεί ευρέως για συστήματα πλοήγησης.

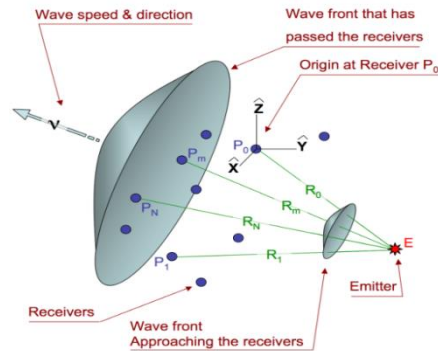
Ένα ιστορικό παράδειγμα συναντάται στο βρετανικό σύστημα DECCA το οποίο αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου και χρησιμοποιούσε τη δεύτερη μέθοδο που αναφέραμε προηγουμένως.

Χρήση της πρώτης μεθόδου έγινε με το σύστημα LORAN-C που κατασκευάστηκε τα τέλη του 1950.

Τέλος, χρήση της τρίτης μεθόδου κάνει το πλέον παγκοσμίως διαδεδομένο σύστημα GPS του οποίου οι δορυφόροι χρησιμοποιούν ψευδοτυχαίους κωδικούς για τη μετατροπή των σημάτων εκπομπής.

Time difference of arrival (TDOA) – Χρόνος διαφοράς λήψης

Παρακάτω παραθέτουμε ένα γεωμετρικό σχεδιάγραμμα TDOA.



Εικόνα 25 - Γεωμετρικό σχεδιάγραμμα TDOA

Το E αποτελεί τον πομπό σήματος που συμβολίζεται με κόκκινο αστερίσκο και σκοπός είναι να βρεθεί η τοποθεσία του. Οι δύο ελλειπτικοί κύκλοι με γκρι χρώμα αναπαριστούν το κύμα σήματος. Το πρώτο είναι αυτό που πλησιάζει τους δέκτες (μικρή έλλειψη) και το δεύτερο αυτό που μόλις τους έχει περάσει. Τα R συμβολίζουν τις αποστάσεις του εκπομπού από τους αντίστοιχους δέκτες και τέλος το v την ταχύτητα και την κατεύθυνση του κύματος.

Υποθέτουμε ότι ο πομπός βρίσκεται στην άγνωστη τοποθεσία τον οποίο θέλουμε να εντοπίσουμε:

$$\vec{E} = (x, y, z)$$

Η τοποθεσία του πομπού βρίσκεται μέσα στο βεληνεκές N+1 ακροδεκτών P των οποίων οι θέσεις είναι γνωστές. Με m συμβολίζουμε οποιονδήποτε ακροδέκτη:

$$\vec{P}_m = (x_m, y_m, z_m)$$

$$0 \leq m \leq N$$

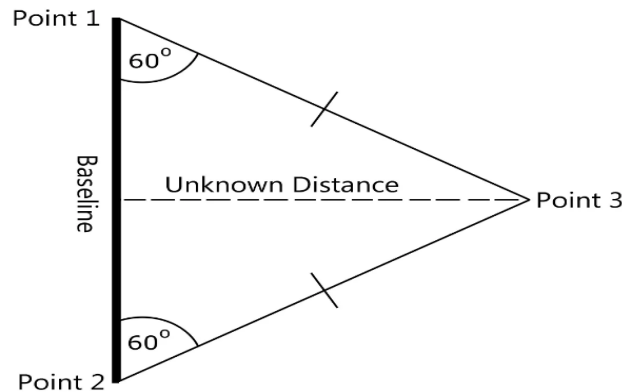
Η απόσταση Rm από έναν από τους δέκτες στον πομπό με βάση τις συντεταγμένες είναι:

$$R_m = |\vec{P}_m - \vec{E}| = \sqrt{(x_m - x)^2 + (y_m - y)^2 + (z_m - z)^2}$$

3.3. Triangulation algorithm

Στην τριγωνομετρία και στην γεωμετρία η τριγωνομέτρηση (triangulation) είναι η διαδικασία εύρεσης ενός σημείου δημιουργώντας τρίγωνα προς αυτό από γνωστά σημεία. Η τριγωνομέτρηση, αντιθέτως από τον τριπλασιασμό (trilateration), χρησιμοποιεί μόνο μέτρηση κλίσεων και όχι άμεση μέτρηση αποστάσεων.

Η τριγωνομέτρηση είναι μία τεχνική με την οποία μπορούμε να μάθουμε την απόσταση που έχει ένα σημείο από ένα άλλο γνωρίζοντας μόνο δύο γνωστά σημεία προς αυτό. Η διαδικασία έχει ως εξής:



Εικόνα 26 - Point 1: Γνωστό σημείο 1, Point 2: Γνωστό σημείο 2,
Point 3: Σημείο που ψάχνουμε την απόστασή του, Baseline:
Απόσταση μεταξύ των σημείων 1 και 2, Unknown Distance:
Απόσταση που ψάχνουμε

Στο παραπάνω παράδειγμα γνωρίζουμε την απόσταση μεταξύ των σημείων 1 και 2 (baseline) και τις κλίσεις που δημιουργούνται από αυτά τα σημεία προς το σημείο 3, οι οποίες είναι και οι δύο 60 μοίρες (η τριγωνομέτρηση μπορεί να γίνει σε όλων των ειδών τρίγωνα).

Γνωρίζουμε ότι:

$$\text{Baseline} = \frac{\text{unknown Distance}}{\tan 60} + \frac{\text{unknown Distance}}{\tan 60}$$

Λύνουμε ως προς unknown distance και απλοποιούμε:

$$\text{Unknown distance} = \frac{\text{Baseline} \times \sin 60 \times \sin 60}{\sin(60+60)}$$

Έτσι αφού γνωρίζουμε το baseline και το ημίτονο των 60 μοιρών μπορούμε να υπολογίσουμε την άγνωστη απόσταση.

Η τριγωνομέτρηση χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα 3D ώστε να γίνεται επιτυχής μέτρηση των διαστάσεων ενός αντικειμένου.

3.4. Radiolocation

Ο ραδιοεντοπισμός είναι η διαδικασία εύρεσης της τοποθεσίας ενός αντικειμένου με τη χρήση ραδιοσημάτων. Συνηθίζεται η χρήση του σε συστήματα RADAR, όπως και για την εύρεση θαμμένων καλώδιων, αγωγών κ.α. Ο ραδιοεντοπισμός επιπλέον βρίσκει χρήση σε εφαρμογές RTLS (real time locating systems).

Ένα αντικείμενο μπορεί να εντοπιστεί με τη χρήση των λαμβανόμενων ραδιοσημάτων. Μία τεχνική μετράει την διαφορά του σθένους του λαμβανόμενου σήματος RSSI με το αρχικό σήμα εκπομπής και έτσι βρίσκει την απόσταση.

Μία άλλη τεχνική χρησιμοποιεί το TDOA που αναφέραμε παραπάνω, δηλαδή την χρονική διαφορά που ο δέκτης έλαβε τα σήματα, με την οποία τεχνική ο χρόνος εκπομπής των σημάτων δεν παίζει ρόλο.

Mobile phones

Ο ραδιοεντοπισμός επίσης χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία μέσω σταθμών βάσεων. Συνήθως αυτό γίνεται με την τριγωνομέτρηση ραδιοφωνικών πύργων και η τοποθεσία του χρήστη ή η κινητή συσκευή μπορεί να βρεθεί με διαφορετικούς τρόπους.

1. AOA (angle of arrival): Σε αυτόν τον τρόπο η τοποθεσία του χρήστη βρίσκεται μόνο αν παίρνουν μέρος δύο ή και περισσότεροι ραδιοφωνικοί πύργοι των οποίων γίνεται εύρεση των γραμμών τους στην τοποθεσία που διατέμνονται.
2. TDOA (time difference of arrival): λειτουργεί με την χρήση multilateration με τη διαφορά ότι το δίκτυο ορίζει την χρονική διαφορά και στη συνέχεια την απόσταση από κάθε πύργο.
3. Location signature: χρησιμοποιεί ψηφιακό αποτύπωμα για να αποθηκεύσει και να ανακαλέσει πρότυπα τα οποία κάθε κινητό τηλέφωνο είναι γνωστό ότι παρουσιάζει σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Οι δυο πρώτοι τρόποι επειδή βασίζονται στον ορίζοντα είναι πολύ δύσκολο έως αδύνατο να λειτουργήσουν σε ορεινές περιοχές ή σε περιοχές με ουρανοξύστες.

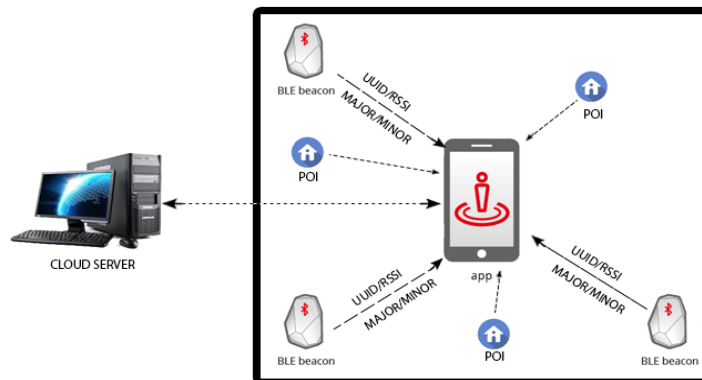
3.5. Triangulation

Ο αλγόριθμος του triangulation είναι ένας συνδυασμός του triangulation και του trilateration.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΛΥΣΗ HARDWARE ΚΑΙ SOFTWARE

4.1. Οντότητες υλοποίησης - Διεπαφές



Εικόνα 27 - Σχήμα διεπαφών

Στο παρόν παράρτημα θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τις οντότητες που χρησιμοποιήσαμε για την ανάπτυξη της εφαρμογής μας και τις οντότητες που χρειάζονται για να λειτουργήσει η εφαρμογή. Συνήθως, για να γίνει η ανάπτυξη εφαρμογών για smartphone οι βασικές οντότητες που χρειάζονται είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής και το ίδιο το κινητό. Αυτό μπορεί να έχει διαφορετικό λειτουργικό σύστημα ανάλογα με τον κατασκευαστή, π.χ. Android, IOS, Windows mobile κ.α. Για εφαρμογές indoor navigation και γενικά για όσες αναπτύσσονται με την χρήση beacons, επειδή η τεχνολογία δεν έχει προχωρήσει αρκετά πάνω σε αυτά, μπορεί να υπάρξει πολλές φορές πρόβλημα συμβατότητας μεταξύ beacon και κινητού. Προτιμότερο είναι η ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών να γίνεται σε λειτουργικά συστήματα IOS που έχει την πρωτιά στην παρούσα τεχνολογία αν και τα τελευταία χρόνια η επίδοση στα android έχει βελτιωθεί πολύ.

Στην υλοποίησή μας χρησιμοποιήσαμε κινητά android διότι είχαμε ήδη προμηθευτεί για προσωπική χρήση και τα αποτελέσματα ήταν καλά. Δυστυχώς δεν είχαμε την δυνατότητα να συγκρίνουμε την υλοποίηση σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα ώστε να αναλύσουμε τα διαφορετικά αποτελέσματα που θα είχαμε και να κάνουμε μια σύντομη έρευνα και αναφορά γι' αυτό. Από όσο έχουμε όμως αναζητήσει αναφορές και tests που έχουν γίνει, οι μετρήσεις και οι επιδόσεις ποικίλουν και πλέον δεν υπάρχει αισθητή διαφορά μεταξύ Android και IOS.

Οι οντότητες που χρησιμοποιήσαμε για να γίνει η ανάπτυξη και η υλοποίησή μας ήταν ο ηλεκτρονικός υπολογιστής (PC), η κινητή συσκευή και τα beacons. Στην προκειμένη υλοποίηση, επειδή ο σκοπός είναι η πλοήγηση μέσα σε ένα δωμάτιο, ο αριθμός των beacon δεν χρειάζεται να ξεπεράσει τα 3 με 4 κομμάτια ώστε να γίνει πετυχημένο trilateration και να υπολογίζεται η θέση του χρήστη. Παρακάτω θα γίνει η ανάλυση των τριών οντοτήτων.

4.1.1. Ηλεκτρονικός υπολογιστής

Γνωστός σε όλους μας ο ηλεκτρονικός υπολογιστής οικιακής χρήσης αποτελεί πλέον ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής ζωής δεσεκατομμυρίων ανθρώπων τις τελευταίες δεκαετίες. Οι δυνατότητες του ηλεκτρονικού υπολογιστή ή αλλιώς desktop ή PC είναι πλέον τεράστιες και αυτό δίνει την δυνατότητα της ανάπτυξης σύγχρονων προγραμμάτων που παλαιότερα θα ήταν αδύνατη.

Στην παρούσα εργασία η χρήση του PC ήταν αναγκαία καθώς, εκτός του ότι γράψαμε το παρόν θεωρητικό μέρος της πτυχιακής μας, μας επέτρεψε την ανάπτυξη της εφαρμογής smartphone. Μέσω του android studio, του πλέον δημοφιλούς προγράμματος ανάπτυξης εφαρμογών σε γλώσσα java, καταφέραμε να αναπτύξουμε εξ' ολοκλήρου την εφαρμογή μας χωρίς κανένα απολύτως πρόβλημα. Οι δυνατότητες του συγκεκριμένου προγράμματος είναι απεριόριστες και η χρήση του γίνεται από έναν τεράστιο αριθμό developers(προγραμματιστών).

Επιπλέον, μέσω του android studio μπορούσαμε να κάνουμε testing την εφαρμογή μας ανά πάσα στιγμή καθώς το monitor μάς έδειχνε πληροφορίες που διαφορετικά θα ήταν δυσκολότερο να είχαμε στο κινητό μας.

Για να γίνει το testing της εφαρμογής πρέπει να συνδέσουμε το smartphone με τον υπολογιστή με usb σε micro usb καλώδιο όταν έχουμε ανοιχτό το android studio και να περάσουμε ολόκληρη την εφαρμογή στο κινητό. Στην συνέχεια με την αναβαθμισμένη έκδοση της εφαρμογής στο κινητό μπορούμε να την τεστάρουμε επί τόπου. Αν δεν την αποσυνδέσουμε, τότε στο android monitor θα μπορούμε να βλέπουμε μηνύματα, τα οποία μας βοηθάνε για testing.

Αφού η εφαρμογή ολοκληρωθεί, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής πλέον δεν χρειάζεται περαιτέρω. Χρησιμοποιήθηκε απλά ως μέσο ανάπτυξης της εφαρμογής. Στην συνέχεια οι μόνες δύο οντότητες που χρειαζόμαστε είναι το κινητό τηλέφωνο και τα beacons.

4.1.2. Smartphone

Η κεντρική συσκευή ανίχνευσης των beacon. Όλη η ανάπτυξη της εφαρμογής έχει σκοπό να λειτουργεί σε android συσκευές και αυτός είναι και ο λόγος ανάπτυξης όλων των εφαρμογών οι οποίες αποτελούν τα προγράμματα των smartphones. Τα smartphones έχουν μπει δυναμικά στην αγορά τα τελευταία χρόνια και πλέον αποτελούν γιγαντιαίο κομμάτι της κινητής τηλεφωνίας.

Στην δική μας υλοποίηση το smartphone αποτελεί τη θέση που ανιχνεύουν τα beacons μας. Η θέση του χρήστη είναι αυτή του κινητού του και με τρόπους που θα αναπτύξουμε παρακάτω γίνεται ο εντοπισμός του κινητού μέσω σημάτων που λαμβάνει από τα beacons. Έτσι το κινητό αποτελεί τερματικό σταθμό και συσκευή εξόδου καθώς ο χρήστης βλέπει στην οθόνη του πού βρίσκεται την στιγμή που θέλει.

Σημειώνουμε ότι με το κινητό τηλέφωνο προβήκαμε σε κάποιες ρυθμίσεις στα beacons χάρη στην εφαρμογή που μας διέθεσαν από την εταιρία που τα προμηθευτήκαμε. Δίχως αυτές τις ρυθμίσεις η ανάπτυξη δεν θα ήταν δυνατή και θα αναφερθούμε άλλη στιγμή σε αυτές.



Εικόνα 28 - Σύγχρονος ηλεκτρονικός υπολογιστής οικιακής χρήσης



Εικόνα 29 - Ένα Smartphone νέας τεχνολογίας

4.1.3. Beacons

Η τρίτη και ίσως σημαντικότερη και ιδιαίτερη οντότητα που χρειαστήκαμε για την ανάπτυξη και λειτουργία της εφαρμογής μας είναι τα beacons. Η τεχνολογία των beacons είναι αντιθέτως με τις δύο προηγούμενες οντότητες πολύ πρόσφατη και ακόμα σε σχετικά πειραματικό στάδιο, αν και υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από εταιρίες, οργανισμούς και χώρους που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία και ο αριθμός αυτών αυξάνεται συνεχώς με γοργούς ρυθμούς.



Εικόνα 30 - SKYBEACON, τα beacons που χρησιμοποιήσαμε στην υλοποίησή μας

Τα beacons αποτελούν μικροσυσκευές που στηρίζονται στην τεχνολογία Bluetooth 4.0. Η λειτουργία τους είναι να στέλνουν ένα Bluetooth σήμα σε ένα συγκεκριμένο βεληνεκές γύρω τους. Αυτό όταν λαμβάνεται από μία ηλεκτρονική συσκευή, όπως π.χ. το smartphone, μπορεί να ανιχνευθεί η τοποθεσία του και έτσι στην συνέχεια να δημιουργηθεί ένα σύστημα indoor navigation. Κάποια σύγχρονα BLE beacons υποστηρίζουν τεχνολογία eddystone την οποία αναπτύξαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο και χρησιμοποιήσαμε και εμείς για τα POI (points of interest).

Για συστήματα indoor navigation η τοποθέτηση των beacons γίνεται σε συγκεκριμένα σημεία στον χώρο, σε συγκεκριμένο ύψος ανάλογα και τις διαστάσεις του εσωτερικού χώρου. Το ύψος προτείνεται να είναι αυτό του ίδιου ύψους που κρατάμε την κινητή συσκευή που θέλουμε να εντοπιστεί ή αλλιώς σε μεγαλύτερους χώρους περίπου στα δύο μέτρα. Η τοποθέτηση στον χώρο συνήθως γίνεται στις γωνίες του δωματίου, καθώς έτσι μπορεί να γίνει mapping του χώρου. Επίσης, έτσι εντοπίζονται οι πραγματικές αποστάσεις από την κινητή



Εικόνα 31 - Σχήμα συμβατότητας eddystone beacon. Συμβατά σε IOS, Android, Windows phone

συσκευή και μπορεί να σχεδιαστεί καλύτερα ο χάρτης. Αν ο χώρος έχει εμπόδια, όπως κολώνες κ.ά., πρέπει να γίνει προσεκτικότερη τοποθέτηση των συσκευών, καθώς τα εμπόδια προκαλούν παρεμβολές στο Bluetooth σήμα και έτσι τα αποτελέσματα δεν θα είναι ιδανικά.

4.2. Βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήσαμε

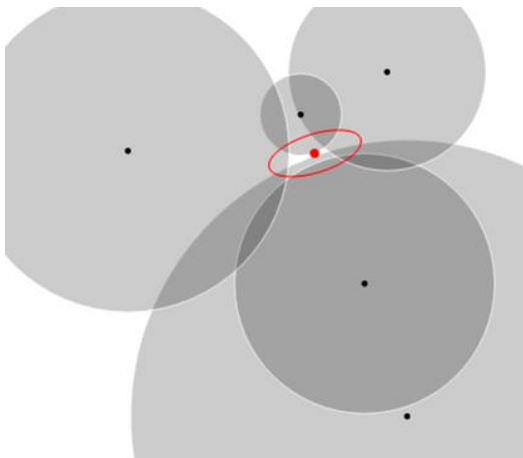
Για να καταφέρουμε να αναπτύξουμε την εφαρμογή μας και να λειτουργεί αποδοτικά χρησιμοποιήσαμε εξωτερικές ανοιχτές βιβλιοθήκες που προμηθευτήκαμε από το Github. Οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήσαμε είναι δύο, από τις οποίες η πρώτη αναπτύχθηκε από τον χρήστη **lemmingapex** με το όνομα **trilateration** και η δεύτερη από την εταιρία παραγωγής Altbeacon, **Radius networks**. Οι δύο αυτές βιβλιοθήκες διατίθενται δωρεάν. Επιπλέον, δίχως αυτές ή έστω αντίστοιχες βιβλιοθήκες δεν θα ήταν δυνατή η ανάπτυξη της εφαρμογής, καθώς κάποιες από τις λειτουργίες αυτών είναι εξαιρετικά δύσκολο να αναπτυχθούν.

4.2.1. Android Beacon Library – Radius Networks

Η βασικότερη από τις δύο βιβλιοθήκες και η πρώτη σε σειρά που χρειαστήκαμε είναι η **Android Beacon Library**. Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη αρχικά αναπτύχθηκε μόνο για την υποστήριξη των Altbeacon αλλά στη συνέχεια βελτιώθηκε και σήμερα υποστηρίζει σχεδόν όλα τα πρωτόκολλα beacons. Με μια απλή αλλαγή στον κώδικα μπορέσαμε να αλλάξουμε τα beacon υποστήριξης στα δικά μας ibeacon και στη συνέχεια να αρχίσουμε την ανάπτυξη της

εφαρμογής μας. Η βιβλιοθήκη αυτή μας επιτρέπει να διαβάζουμε τα beacons σε κινητά android όπως γίνεται στα συστήματα κινητών IOS. Επιπλέον, μερικές από τις βασικές λειτουργίες του είναι η αποστολή ειδοποιήσεων στο κινητό, όταν ο χρήστης έχει μια συγκεκριμένη απόσταση από τα beacons, η λήψη των αποστάσεων που έχει το κινητό από τα beacon(που χρησιμοποιήσαμε και εμείς) και τέλος η αποστολή δεδομένων στο παρασκήνιο αν το android είναι 5.0+ έκδοση. Η βιβλιοθήκη αυτή χρησιμοποιείται από πάρα πολλές εφαρμογές, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί από μερικές από τις γνωστότερες εταιρίες του κόσμου όπως η Coca cola, η Mcdonalds κ.α. Η βιβλιοθήκη αυτή υποστηρίζεται από όλα τα android 4.3+ που υποστηρίζουν Bluetooth.Επιπλέον, η βιβλιοθήκη υποστηρίζει πρωτόκολλο eddystone. Ένα μεγάλο θετικό είναι ότι έχει πολύ εκτενές documentation και αυτό μας βοήθησε ιδιαίτερα στο να κατανοήσουμε και να χρησιμοποιήσουμε τα κομμάτια κώδικα που μας χρειάζονταν ακριβώς.

4.2.2. Trilateration – lemmingapex



Η δεύτερη βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήσαμε ήταν για να μπορέσουμε να κάνουμε επιτυχημένο υπολογισμό θέσης χρήστη μέσω του αλγορίθμου trilateration. Η ανάπτυξη της βιβλιοθήκης αυτής έγινε από έναν και μόνο χρήστη και ίσως με την μικρή βοήθεια άλλων προγραμματιστών και έτσι δεν έχει ούτε τον ίδιο βαθμό πολυπλοκότητας όπως η προηγούμενη ούτε τον ίδιο βαθμό ανάπτυξης. Επίσης, δεν έχει ιδιαίτερα πολλές λειτουργίες, καθώς το μόνο βασικό κομμάτι της είναι μια μαθηματική συνάρτηση που εντοπίζει μια θέση γνωρίζοντας τρία ή και παραπάνω σταθερά σημεία και τις αποστάσεις αυτών από το σημείο που ψάχνουμε. Παρ' όλα αυτά, η χρήση

αυτής της βιβλιοθήκης ήταν αναγκαία και μας βοήθησε πολύ στην ανάπτυξη της εφαρμογής. Με είσοδο τις τοποθεσίες των beacons και τις αποστάσεις που έχουν από το κινητό κάθε στιγμή υπολογίζεται η τοποθεσία του χρήστη σε X και Y άξονα. Παρακάτω ο κώδικας παράδειγμα:

```
double[][] positions = new double[][] { { 5.0, -6.0 }, { 13.0, -15.0 }, { 21.0, -3.0 }, { 12.4, -21.2 } };
double[] distances = new double[] { 8.06, 13.97, 23.32, 15.31 };

NonLinearLeastSquaresSolver solver = new NonLinearLeastSquaresSolver(new TrilaterationFunction(positions, distances),
Optimum optimum = solver.solve();

// the answer
double[] centroid = optimum.getPoint().toArray();
```

Η βιβλιοθήκη χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο **Levenberg–Marquardt algorithm** που είναι γνωστός και ως **damped least-squares (DLS)**.

4.3. Βασικά σημεία του κώδικα υλοποίησης εφαρμογής

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα αναλύσουμε τα σημαντικότερα κομμάτια του κώδικα που έχουμε γράψει για την εφαρμογή μας με εικόνες και σχόλια. Θα αναλύσουμε βασικά προγραμματιστικά μέρη της εφαρμογής μας, τα οποία αποτελούν την ουσία της εφαρμογής. Μερικά από τα βασικότερα κομμάτια που θα αναλύσουμε είναι τα: επικοινωνία beacon εφαρμογής – πώς λαμβάνουμε αποστάσεις, όνομα, RSSI, κ.α μεταξύ beacon και κινητού, πώς αυτές οι αποστάσεις μεταφράζονται σε ένα σύστημα συντεταγμένων και πώς δημιουργείται το στίγμα – θέση χρήστη. Επιπλέον, πώς λειτουργεί το σύστημα σημείων ενδιαφέροντος (poi) και πώς τοποθετούνται αυτά στον χώρο. Τέλος, διάφορες λειτουργίες, όπως αυτόματη εκκίνηση Bluetooth όταν ανοίγει η εφαρμογή.

4.3.1. Ανάλυση επικοινωνίας beacon – mobile phone

Για να γίνει επιτυχημένη και εύκολη σε διαχείριση επικοινωνία μεταξύ beacons και κινητού χρησιμοποιήσαμε μία εξωτερική βιβλιοθήκη, την **Android Beacon Library** (<https://altbeacon.github.io/android-beacon-library/>), η οποία έχει αναπτυχθεί από την εταιρία **RADIUS NETWORKS** (<https://www.radiusnetworks.com/>) και αποτελεί ανοιχτό project στο github, στο οποίο μπορεί ο καθένας να προσφέρει στην περαιτέρω ανάπτυξή του. Την παρούσα βιβλιοθήκη την αναπτύξαμε σε προηγούμενη ενότητα, οπότε τώρα δεν θα ασχοληθούμε με αυτό παρά μόνο με τον κώδικα που χρησιμοποιήσαμε από αυτή και τις αλλαγές που κάναμε.

```
beaconManager = BeaconManager.getInstanceForApplication(this);  
beaconManager.getBeaconParsers().add(new BeaconParser().setBeaconLayout("m:2-3=0215,i:4-19,i:20-21,i:22-23,p:24-24"));  
beaconManager.bind(this);
```

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια της υλοποίησής μας. Με τον παραπάνω τρόπο δηλώνουμε ότι η τεχνολογία των beacons που θα ανιχνεύουμε/επεξεργαζόμαστε κ.τ.λ. είναι iBeacon. Αυτό το δηλώνουμε με την παρακάτω σειρά χαρακτήρων `"m:2-3=0215,i:4-19,i:20-21,i:22-23,p:24-24"` που είναι το χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου αυτού. Η συμβολοσειρά αυτή ανάλογα το είδος beacon που θέλουμε να αναγνωρίσει η συσκευή αλλάζει. Μερικά παραδείγματα άλλων κωδικών beacon είναι τα παρακάτω:

```
ALTBEACON m:2-3=beac,i:4-19,i:20-21,i:22-23,p:24-24,d:25-25  
EDDYSTONE TLM x,s:0-1=feaa,m:2-2=20,d:3-3,d:4-5,d:6-7,d:8-11,d:12-15  
EDDYSTONE UID s:0-1=feaa,m:2-2=00,p:3-3:-41,i:4-13,i:14-19  
EDDYSTONE URL s:0-1=feaa,m:2-2=10,p:3-3:-41,i:4-20v  
IBEAACON m:2-3=0215,i:4-19,i:20-21,i:22-23,p:24-24
```

Η βιβλιοθήκη αρχικά έχει στηθεί για την υποστήριξη των ALTBEACON, αλλά με αυτή την απλή αλλαγή είναι πολύ εύκολο να κάνουμε την ανάπτυξή μας με οποιοδήποτε beacon πρωτόκολλο θέλουμε. Ίσως κάποια όχι τόσο γνωστά beacons να μην υποστηρίζονται ακόμη από την βιβλιοθήκη, αλλά συνεχώς αναβαθμίζεται όχι μόνο από την εταιρία αλλά και από προγραμματιστές που την χρησιμοποιούν όπως εμείς.

Μία από τις σημαντικότερες κλάσεις που χρησιμοποιήσαμε είναι η `onBeaconServiceConnect()` `public void onBeaconServiceConnect()` η οποία ουσιαστικά δηλώνει την κατάσταση την οποία ένα beacon ή περισσότερα ανιχνεύονται από το κινητό και το τι συμβαίνει όσο αυτή η κατάσταση είναι ενεργή.

Στην προκειμένη περίπτωση εμείς προσθέσαμε λίγες γραμμές κώδικα οι οποίες μας βοηθούν στο να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα στην ακρίβεια των αποστάσεων που λαμβάνουμε μεταξύ συσκευής – beacon.

```
beaconManager.setRssiFilterImplClass(RunningAverageRssiFilter.class);  
RunningAverageRssiFilter.setSampleExpirationMilliseconds(50001);  
beaconManager.setRssiFilterImplClass(ArmaRssiFilter.class);  
ArmaRssiFilter.setDEFAULT_ARMA_SPEED(0.1);
```

Η RunningAverageRssiFilter συλλέγει τις μετρήσεις των αποστάσεων για 20 δευτερόλεπτα από κάθε beacon, πετάει τις 10% μεγαλύτερες και μικρότερες αποστάσεις που συνέλεξε και στη συνέχεια υπολογίζει τον μέσο όρο των υπολοίπων που έμειναν. Αυτό σαν λειτουργία προκαλεί τη δημιουργία μιας ακριβέστερης μέτρησης αποστάσεων που απέχουν τα beacons από την κινητή συσκευή, αλλά το αρνητικό είναι ότι για να υπολογιστεί η νέα απόσταση περνούν 20 ολόκληρα δευτερόλεπτα το οποίο δεν μας βολεύει στο app μας, καθώς ο εντοπισμός του χρήστη στον χώρο θα ήταν πάντα 20 δευτερόλεπτα πίσω. Γι' αυτόν το λόγο μειώσαμε τον χρόνο υπολογισμού στα 5 δευτερόλεπτα – χάνουμε λίγο στην ακρίβεια αλλά κερδίζουμε στην ταχύτητα. Το ArmaRssiFilter.setDEFAULT_ARMA_SPEED(0.1) αποτελεί ακόμα έναν τρόπο που μας βοηθάει στο να έχουμε ταχύτερους υπολογισμούς και μπορεί να δώσει καλύτερες επιδόσεις από τον κλασικό αλγόριθμο που χρησιμοποιεί η βιβλιοθήκη.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε πώς ξεχωρίζουμε το κάθε beacon που εκπέμπει κάθε στιγμή, επιλέγουμε τις αποστάσεις τους και τις καθορίζουμε για το κάθε beacon. Αυτό το επιτυγχάνουμε χρησιμοποιώντας τον παρακάτω κώδικα:

```
beaconManager.addRangeNotifier((beacons, region) -> {  
    for (Beacon beacon : beacons) {  
        String beaconName = beacon.getBluetoothName().trim();  
        Log.i(TAG, "Beacon Name: " + beaconName + " Distance to mobile: " + beacon.getDistance());  
        switch (beaconName) {  
            case "SKYBLU":  
                distancesApp[0] = beacon.getDistance();  
                break;  
            case "SKYORANGE":  
                distancesApp[1] = beacon.getDistance();  
                break;  
            case "SKYBLUE":  
                distancesApp[2] = beacon.getDistance();  
                break;  
        }  
    }  
});
```

Η addRangeNotifier() υποδηλώνει μία κλάση η οποία πρέπει να καλείται κάθε φορά που η onBeaconServiceConnect λαμβάνει δεδομένα από τα beacons, που συνήθως είναι κάθε 1".

Για κάθε beacon που λαμβάνουμε περικόπτουμε το όνομά του ώστε να μην έχει κενά και να μπορούμε παρακάτω να τα επιλέξουμε με βάση το όνομα που τους έχουμε θέσει. Για testing λόγους εμφανίζουμε στο monitor του android studio μια σειρά για κάθε beacon, με το όνομα του beacon και την απόσταση που έχει από την κινητή συσκευή κάθε δευτερόλεπτο. Αυτή η γραμμή κώδικα δεν παίζει κανέναν ρόλο στη λειτουργία της εφαρμογής, την χρησιμοποιούμε απλά και μόνο για debugging ρόλο. Τέλος, χρησιμοποιούμε μια switch – case με είσοδο συνάρτησης το όνομα του κάθε beacon (στην περίπτωσή μας 3 beacon – SKYBLU, SKYBLUE, SKYORANGE) και κάθε φορά που καθένα από αυτά τα 3 ανιχνεύεται θέτουμε την απόσταση του από το κινητό ίσο με την αντίστοιχη θέση 0, 1, 2 του πίνακα float (δεκαδικών αριθμών) distancesApp[]. Έτσι, κάθε 1" έχουμε την απόσταση από κάθε beacon και μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της θέσης του χρήστη.

4.3.2. Ανάλυση κώδικα για την δημιουργία θέσης χρήστη

Σε αυτή την ενότητα θα αναλύσουμε τον κώδικα που χρησιμοποιήσαμε για να μπορέσουμε βάσει των δεδομένων που έχουμε μετά την ανίχνευση των beacons να

δημιουργήσουμε την θέση του χρήστη στον χώρο. Αρχικά, για να μπορέσει να γίνει αυτό εφικτό έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε έναν από τους αλγορίθμους τριγωνισμού θέσης που αναλύσαμε στο 3^ο κεφάλαιο. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήσαμε τον αλγόριθμο trilateration.

Γι' αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιήσαμε την παρούσα ανοιχτή βιβλιοθήκη [lemmingapex/trilateration](https://github.com/lemmingapex/trilateration) (<https://github.com/lemmingapex/trilateration>) την οποία μετά από έρευνα καταλήξαμε ότι αποτελεί έναν βολικό για εμάς τρόπο ώστε να κάνουμε επιτυχημένο εντοπισμό θέσης. Την ανάλυση της βιβλιοθήκης αυτής την έχουμε κάνει σε προηγούμενη ενότητα, οπότε εδώ θα αναλύσουμε μόνο τον κώδικα που χρησιμοποιήσαμε για να επιτευχθεί ο στόχος μας.

```
NonLinearLeastSquaresSolver solver = new NonLinearLeastSquaresSolver(new TrilaterationFunction(positionsApp, distancesApp), new LevenbergMarquardtOptimizer());
LeastSquaresOptimizer.Optimum optimum = solver.solve();

RealVector centroid = optimum.getPoint();
```

Το παραπάνω κομμάτι κώδικα αποτελεί ουσιαστικά το βασικό και σχεδόν μοναδικό που χρησιμοποιήσαμε από αυτή την βιβλιοθήκη. Η συνάρτηση αυτή λαμβάνει ως είσοδο τις αποστάσεις των beacons από την κινητή συσκευή κάθε δευτερόλεπτο (`distancesApp[0]`, `distancesApp[1]`, `distancesApp[2]`) και τις σταθερές θέσεις των beacons (`positionsApp[]`) και υπολογίζει το centroid που ουσιαστικά αποτελεί την θέση του χρήστη.

Οι θέσεις των beacons έχουν δηλωθεί στην αρχή με τον εξής τρόπο:

```
double[][] positionsApp = new double[][]{{0.0, 0.0}, {4.0, 2.0}, {0.0, 4.0}};
double[] distancesApp = new double[]{0.0, 0.0, 0.0};
```

Ουσιαστικά τοποθετούμε τα beacons σε ένα νοητό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με τις εξής μετρήσεις:

- {0.0, 0.0} το SKYBLU,
- {4.0, 4.0} το SKYORANGE
- {0.0, 4.0} το SKYBLUE

Θέσαμε λοιπόν σαν αρχή των αξόνων το SKYBLU και τοποθετήσαμε τα υπόλοιπα beacons βάσει αυτού. Επειδή όμως, ανάλογα με το δωμάτιο που τοποθετούνται, οι θέσεις των beacons αλλάζουν, υπάρχει περίπτωση να αλλάξουμε και τα μέτρα που απέχουν μεταξύ τους. Στην προκειμένη περίπτωση τα έχουμε θέσει με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούν έναν τετράγωνο χώρο 4 X 4 μέτρα. Επιπλέον έχουμε αρχικοποιήσει και τις αποστάσεις των beacons από την κινητή συσκευή. Μια παρατήρηση είναι ότι ανάλογα με τις αποστάσεις που απέχουν τα beacons μεταξύ τους πρέπει να θέτουμε και ανάλογο tx power.

Ένα πρόβλημα που συναντήσαμε ήταν ο προσδιορισμός της κλίμακος του χάρτη και της κίνησης ώστε να γίνεται αντιληπτή στον χρήστη οπτικά. Για να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε την κίνηση του χρήστη έπρεπε να μεταφράσουμε την κίνηση σε X και Y άξονα μιας πινέζας που προσδιορίζει την θέση του χρήστη. Αυτό έγινε με τον εξής τρόπο:

```
double[] centroidArray = centroid.toArray();

float toXDelta = (float) centroidArray[0] * 100.0f;
float toYDelta = (float) centroidArray[1] * 100.0f;

new MarkerAnimation().execute(String.valueOf(toXDelta), String.valueOf(toYDelta));
```

Εδώ αρχικά μετατρέψαμε το centroid σε πίνακα, καθώς οι τιμές που δίνει είναι 2, η πρώτη για X και η δεύτερη για Y άξονα. Το πρόβλημα ήταν ότι οι τιμές του centroid ήταν πολύ μικρές, από 0 έως τα μέτρα των διαστάσεων του δωματίου, και έτσι δεν φαινόταν η κίνηση στον χάρτη. Έτσι πολλαπλασιάσαμε το centroid κάθε άξονα χ100 και η κίνηση φαίνεται πραγματική βάσει της διάστασης του χάρτη του δωματίου στο κινητό. Στην συνέχεια καλούμε την Marker Animation που είναι η πινέζα θέσης και της περνάμε τις τιμές X και Y ώστε να τοποθετηθεί στην εκάστοτε θέση.

Η Marker Animation αποτελεί μια ασύγχρονη κλάση στην οποία δημιουργούμε την πινέζα στην επόμενη θέση που θα έχει αυτή βάσει των νέων αποστάσεων από τα beacons:

```
private class MarkerAnimation extends AsyncTask<String, Void, String[]> {
    ImageView marker = (ImageView) findViewById(img_animation);

    @Override
    protected String[] doInBackground(String... params) {
        try {
            Thread.sleep(500);
        } catch (InterruptedException e) {
            Thread.interrupted();
        }
        return params;
    }
}
```

Στην συνέχεια τα νέα X και Y του marker τα περνάμε με τις παρακάτω κλάσεις της AsyncTask:

```
private void MarkerAnimationV2(float x, float y) {
    marker.setX(x);
    marker.setY(y);
}

@Override
protected void onPostExecute(String[] result) {
    MarkerAnimationV2(Float.valueOf(result[0]), Float.valueOf(result[1]));
}
```

Εδώ θέτουμε το νέο X και Y της πινέζας και περνάμε τις νέες τιμές στο MarkerAnimationV2 και πάλι.

Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου τερματιστεί η λειτουργία της εφαρμογής.

4.3.3. Ανάλυση κώδικα για τα σημεία ενδιαφέροντος (poi)

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες της εφαρμογής μας είναι τα σημεία ενδιαφέροντος που έχουμε τοποθετήσει στον χάρτη. Αυτά τα σημεία αποτελούν κάποιες περιοχές στον χάρτη που τους έχουμε θέσει όρια, στις οποίες αν ο χρήστης εισέλθει τότε λαμβάνει πληροφορία για το σημείο αυτό. Η πληροφορία αυτή μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε μορφή, εμείς όμως χρησιμοποιήσαμε κείμενο και τη δυνατότητα αναζήτησης περισσότερης πληροφορίας, αν ο χρήστης θέλει, σε συγκεκριμένη ιστοσελίδα στο διαδίκτυο για κάθε σημείο ενδιαφέροντος. Στην προκειμένη περίπτωση τα σημεία που δημιουργήσαμε είναι 3 και έχουν δημιουργηθεί με ίδιο κώδικα, με εξαίρεση μόνο τη διαφορετική πληροφορία που έχει το καθένα. Ο κώδικας είναι ο παρακάτω:

```
/*BUTTON NEAR BLU*/
if (toXDelta < 150 && toYDelta < 150){
    test = (Button) findViewById(R.id.button);
    buttonU1 = (Button) findViewById(buttonurl1);

    RelativeLayout = (RelativeLayout) findViewById(R.id.rootRL);

    runOnUiThread() -> test.setVisibility(View.VISIBLE);
    runOnUiThread() -> buttonU1.setVisibility(View.VISIBLE);

    buttonU1.setOnClickListener(view -> {
        Intent intent = new Intent(Intent.ACTION_VIEW, Uri.parse("https://orestisdrap.wixsite.com/eypalinio"));
        startActivity(intent);
    });
    test.setOnClickListener(v -> {
        LayoutInflater = (LayoutInflater) getApplicationContext().getSystemService(LAYOUT_INFLATER_SERVICE);
        ViewGroup container = (ViewGroup) LayoutInflater.inflate(R.layout.activity_info, null);

        PopupWindow = new PopupWindow(container, wrap, 200, true);
        PopupWindow.showAtLocation(RelativeLayout, Gravity.NO_GRAVITY, 180, 550);

        container.setOnTouchListener((v1, event) -> {
            PopupWindow.dismiss();
            return true;
        });
    });
} else {
    test = (Button) findViewById(R.id.button);
    buttonU1 = (Button) findViewById(buttonurl1);
    RelativeLayout = (RelativeLayout) findViewById(R.id.rootRL);
    runOnUiThread() -> test.setVisibility(View.INVISIBLE);
    runOnUiThread() -> buttonU1.setVisibility(View.INVISIBLE);
}
```

Όπως είπαμε, το παραπάνω μπλοκ κώδικα είναι ίδιο και για τα 2 ακόμη σημεία ενδιαφέροντος που έχουμε δημιουργήσει. Τα μόνα κομμάτια που είναι διαφορετικά είναι το url, το activity_info, που αποτελεί το παράθυρο στο οποίο υπάρχει η πληροφορία, και τα buttons test και buttonU1, που αποτελούν τα κουμπιά που εμφανίζονται για κάθε διαφορετικό ροί όταν εισέρχεται ο χρήστης στην αντίστοιχη περιοχή.

Αρχικά θέτουμε τα όρια που το ροί θα εμφανιστεί με τη χρήση των toXDelta και toYDelta με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη 300 και στα δύο. Στο 4x4 μέτρα δωμάτιο που κάνουμε τις δοκιμές μας κάθε 75 μονάδες toXDelta και toYDelta υποδηλώνουν 1 μέτρο κανονικής απόστασης. Αν αντιθέτως το δωμάτιο ήταν 3x3 μέτρα, τότε το 1 μέτρο πραγματικής απόστασης θα υποδηλωνόταν σαν 100 μονάδες και ούτω καθ' εξής. Έτσι, δηλώνοντας ότι το toXDelta και το YDelta θέλουμε να είναι το ένα μικρότερο του 150 και το άλλο μικρότερο του 150 και πάλι σχηματίζουμε στον χάρτη έναν χώρο 1,5x1,5 μέτρα που αν εισέλθει ο χρήστης εμφανίζεται το button του ροί για την πληροφορία και το button για το άνοιγμα της ιστοσελίδας του στο διαδίκτυο. Τα button εξαρχής τα έχουμε καταστήσει αόρατα. Όταν ο χρήστης εισέλθει στον χώρο τα αλλάζουμε και τα κάνουμε ορατά. Αντιθέτως, το popupwindow που αναδύεται στην οθόνη, όταν πατήσει το κουμπί του ο εκάστοτε ροί ο χρήστης, καλείται εκείνη την στιγμή. Έχουμε δύο onClickListeners, ένα για τον popupwindow και ένα για το buttonurl.

Τέλος, αν ο χρήστης δεν είναι στην περιοχή, τότε δεν καλείται το popupwindow, και τα 2 buttons παραμένουν αόρατα στον χρήστη. Αυτό γίνεται σε αυτό το κομμάτι στον κώδικα:

```
} else {  
    test = (Button) findViewById(R.id.button);  
    buttonU1 = (Button) findViewById(buttonurl1);  
    relativeLayout = (RelativeLayout) findViewById(R.id.rootRL);  
    runOnUiThread(() -> test.setVisibility(View.INVISIBLE));  
    runOnUiThread(() -> buttonU1.setVisibility(View.INVISIBLE));  
}
```

Επιπλέον με το παρακάτω κομμάτι κώδικα δίνουμε τη δυνατότητα στον χρήστη, όταν ανοίξει το popupwindow, να μπορεί να το κλείσει έπειτα πατώντας οπουδήποτε πάνω στην οθόνη του κινητού τηλεφώνου.

```
container.setOnTouchListener((v1, event) -> {  
    popupWindow.dismiss();  
    return true;  
});
```

4.3.4. Επιπλέον λειτουργίες της εφαρμογής

Τέλος, θα αναφέρουμε λίγες ακόμα λειτουργίες που έχουμε προσθέσει στην εφαρμογή, που δεν παίζουν καθοριστικό ρόλο στη σωστή λειτουργία αυτής αλλά δημιουργήθηκαν για τη βελτίωση του frontend της εφαρμογής και για τη διευκόλυνση του χρήστη στην λειτουργία αυτής.

Παρακάτω, είναι το κομμάτι κώδικα που χρειάζεται για να γίνεται αυτόματη εκκίνηση του Bluetooth στο κινητό μόλις ο χρήστης ανοίξει την εφαρμογή.

```
BluetoothAdapter mBluetoothAdapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();  
if (mBluetoothAdapter == null) {  
    // Device does not support Bluetooth  
}  
if (!mBluetoothAdapter.isEnabled()) {  
    Intent enableBtIntent = new Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE);  
    startActivityForResult(enableBtIntent, REQUEST_ENABLE_BT);  
}
```

Αν ανιχνευτεί ότι το κινητό έχει τεχνολογία Bluetooth γίνεται η αυτόματη εκκίνησή της με την δημιουργία της εκάστοτε Activity- για μας MainActivity- η οποία αποτελεί και το κεντρικό κομμάτι της εφαρμογής μας.

Όταν ο χρήστης εισέλθει στην MainActivity, στην οποία βρίσκεται το κεντρικό κομμάτι της εφαρμογής μας (χάρτης πλοήγησης, κτλ) εμφανίζεται ένα μήνυμα που ειδοποιεί τον χρήστη ότι η πλοήγηση ξεκινάει τώρα.

```
AlertDialog alertDialog = new AlertDialog.Builder(MainActivity.this).create();  
alertDialog.setMessage("Locating your position...");  
alertDialog.setButton(AlertDialog.BUTTON_NEUTRAL, "OK",  
    (dialog, which) -> dialog.dismiss());  
alertDialog.show();  
alertDialog.getButton(DialogInterface.BUTTON_NEUTRAL).setTextColor(Color.parseColor("#37484a"));
```

Το alertDialog είναι ένα απλό παράθυρο που έχει ένα μήνυμα ειδοποίησης και ένα απλό κουμπί OK, το οποίο ο χρήστης πατάει όποτε θέλει ώστε να φύγει το μήνυμα αυτό από την οθόνη.

Τέλος, έχουμε δημιουργήσει δύο ακόμα Activities που είναι πριν από την Main. Η πρώτη αποτελεί το Splash Window, μια απλή εικόνα με το λογότυπο της εφαρμογής, που εμφανίζεται αφού ο χρήστης πατήσει την εφαρμογή και μέχρι να φορτώσει αυτή. Ο ρόλος του Splash Window είναι ο χρήστης να μην βλέπει μια μαύρη οθόνη όσο περιμένει να φορτώσει το app αλλά μια άλλη πιο ευχάριστη εικόνα. Κώδικας:

```
public class SplashActivity extends ButtonActivity {  
  
    @Override  
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {  
        super.onCreate(savedInstanceState);  
  
        Intent intent = new Intent(this, ButtonActivity.class);  
        startActivity(intent);  
        finish();  
    }  
}
```

Μόλις φορτώσει η εφαρμογή, τότε η Splash καλεί την επόμενη Activity, την ButtonActivity. Η ButtonActivity αποτελεί το αρχικό μενού πριν αρχίσει να γίνεται η ανίχνευση την θέσης. Εμείς δεν έχουμε προσθέσει λειτουργίες σε αυτή καθώς δεν το είχαμε ανάγκη. Η μόνη λειτουργία είναι αυτή της εκκίνησης ανίχνευσης η οποία ξεκινά με το πάτημα ενός κουμπιού. Μόλις ο χρήστης το πατήσει ξεκινάει η επόμενη και τελευταία Activity, η Main. Κώδικας:

```
public class ButtonActivity extends AppCompatActivity {  
  
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {  
        super.onCreate(savedInstanceState);  
        setContentView(R.layout.activity_button);  
        final Button button = (Button) findViewById(R.id.button_id);  
        button.setOnClickListener(v -> {  
            Intent intent = new Intent(ButtonActivity.this, MainActivity.class);  
            startActivity(intent);  
        });  
    }  
}
```

Εδώ παρατηρούμε ότι μοιάζει αρκετά με την Splash Activity, με μόνη ουσιαστική διαφορά την προσθήκη ενός κουμπιού και το ότι η εκκίνηση της επόμενης δραστηριότητας γίνεται μόνο όταν ενεργοποιηθεί αυτό το κουμπί.

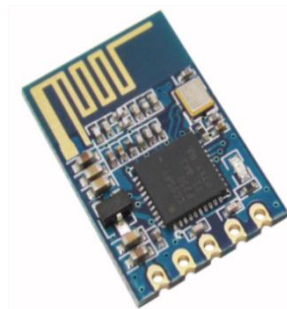
4.4. Ηλεκτρονική ανάλυση skybeacon

Τα beacons που χρησιμοποιήσαμε ονομάζονται Skybeacons και έχουν κατασκευαστεί από γνωστή κινέζικη εταιρία που εξειδικεύεται στην κατασκευή μικροηλεκτρονικών συσκευών. Η τεχνολογία που βασίζονται είναι αυτή των ibeacons και επιπλέον υποστηρίζουν τεχνολογία edystone.

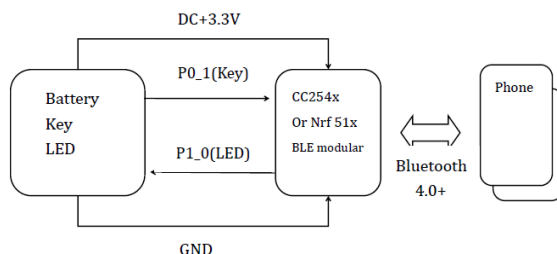
Οι μπαταρίες των beacons είναι οι CR2032 και CR2477 μπαταρίες λιθίου, που μπορούν εύκολα να προμηθευτούν και από ελληνικά καταστήματα. Το chip που χρησιμοποιούν είναι το CC2541 το οποίο αποτελεί ένα από τα πλέον πολυχρησιμοποιημένα για beacons από διαφορετικές εταιρίες. Το chip συνδιάζει εξαιρετικές επιδόσεις, δωρεάν ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης για μικροεπεξεργαστές, το 8051 MCU (βασισμένο στο 8051 της intel), προγραμματιζόμενη μνήμη φλας (flash memory), 8KB RAM και πολλά ακόμα περιφερειακά. Το chip αυτό είναι ιδανικό για συστήματα που χρειάζονται ιδιαίτερη οικονομία σε ενέργεια.

Χαρακτηριστικά του μικροεπεξεργαστή:

- 2.4-GHz *Bluetooth* low energy Compliant and Proprietary RF System-on-Chip
- Supports 250-kbps, 500-kbps, 1-Mbps, 2-Mbps Data Rates
- Excellent Link Budget, Enabling Long-Range Applications Without External Front End
- Programmable Output Power up to 0 dBm
- Excellent Receiver Sensitivity (−94 dBm at 1 Mbps), Selectivity, and Blocking Performance



Εικόνα 32 - Beacon που χρησιμοποιεί cc2541



Εικόνα 33 - Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας Beacon

Παραπλεύρως βλέπουμε το σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας των beacons. Παρατηρούμε και την κινητή συσκευή ως οντότητα που επικοινωνεί με το beacon με Bluetooth 4.0+ module. Επιπλέον, ξεχωρίζουμε την τάση, τη γείωση, το LED (φωτάκι επίδειξης on/off), την μπαταρία και τέλος το τσιπάκι και το Bluetooth module. Παρατηρούμε επίσης την δίοδο επικοινωνίας με το LED και αυτή του κλειδιού.

Το beacon διαθέτει φωτεινό λαμπάκι ενδείξεως on/off και reset. Όταν ο χρήστης πατήσει το κουμπί ώστε να ανοίξει το beacon, το LED ανάβει μία φορά με χρώμα μπλε, ενώ, όταν το ξαναπατήσει, κλείνει και γίνεται κόκκινο. Σε περίπτωση που θέλει να επανακινήσει το beacon, τότε κρατάει πατημένο το κουμπί on/off για λίγα δευτερόλεπτα και αυτό αναβοσβήνει για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα με χρώμα μπλε.

Ανάλυση ενσωματωμένου επιταχυνσιόμετρου (accelerometer)

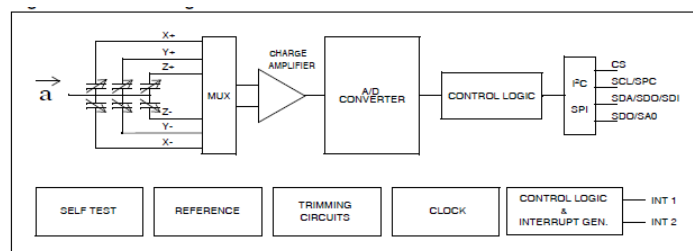
Τα beacons μας διαθέτουν σένσορα accelerometer τον LIS331DLH. Ο σένσορας χρειάζεται ελάχιστη ενέργεια για να λειτουργήσει, είναι όμως υψηλών επιδόσεων και έχει αναπτυγμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και έξυπνο σύστημα αναμονής και αφύπνισης. Έχει την δυνατότητα να μετράει επιταχύνσεις με συχνότητα εξόδου δεδομένων από 0,5Hz έως 1 Hz.

Στοιχεία σένσορα:

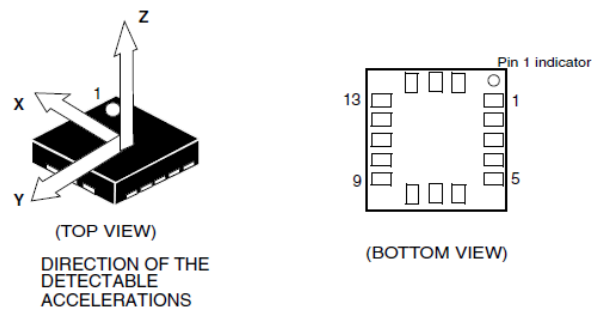
- Λειτουργία από 2.16V έως 3.6V
- Κατανάλωση μέχρι και 10μΑ
- I²C/SPI ψηφιακή έξοδο
- 16 bit έξοδο δεδομένων
- Εφαρμογή για αναμονή και αφύπνιση
- Διαθέτει έτοιμα tests λειτουργίας

Εφαρμογές

Για λειτουργίες κίνησης, έξυπνα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας για συσκευές χειρός, εφαρμογή σε βηματόμετρα, για συσκευές εισόδου εικονικής πραγματικότητας, για ηλεκτρονικά παιχνίδια και, τέλος, για αισθητήρες κίνησης.



Εικόνα 34 - LIS331DLH block diagram



Εικόνα 35 - Ηλεκτρονική δομή LIS331DLH

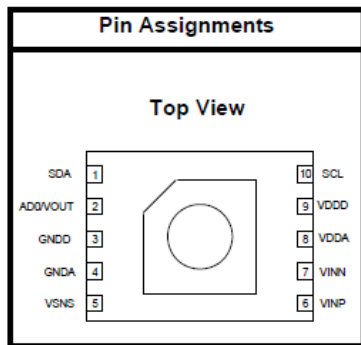
Ανάλυση ενσωματωμένου αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας (Humidity sensor)

Τα beacons διαθέτουν ενσωματωμένο αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας, ένα από τα πλέον βασικά περιφερειακά χαρακτηριστικά των beacons. Οι τιμές που εντοπίζει κυμαίνονται από 0 έως 100% υγρασία και από -10 έως 85 βαθμούς Κελσίου. Η λειτουργία του σε volts είναι από 1.9 έως 3,6 V και έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με 150 μΑ όταν είναι σε λειτουργία και 60 nA όταν βρίσκεται σε λειτουργία αναμονής.

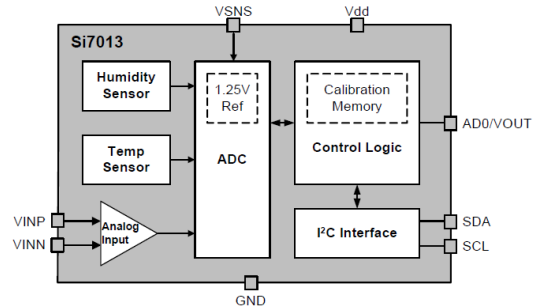


Si7013

Εικόνα 36 - Αισθητήρας Υγρασίας/θερμοκρασίας



Εικόνα 38 - Ηλεκτρονική δομή Si7013



Εικόνα 37 - Διάγραμμα λειτουργίας του αισθητήρα

Εφαρμογές

Χάρη στον σένσορα μπορεί να γίνει η ανάπτυξη διαφορετικών εφαρμογών για οικιακές, εμπορικές ακόμα και βιομηχανικές χρήσεις. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν HVAC/R (heating, ventilation, air conditioning, refrigeration), δηλαδή συστήματα θερμοκρασίας, εξαερισμού, κλιματισμού και ψύξης. Επιπλέον, μπορούμε να αναπτύξουμε συστήματα για θερμοστάτες, σταθμούς καιρού για εσωτερικούς χώρους, βιομηχανικά εργαλεία, κέντρα δεδομένων κ.α.

Παρακάτω παραθέτουμε τους πίνακες με τις προτεινόμενες περιοχές λειτουργίας του αισθητήρα:

Table 1. Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply	VDD		1.9	—	3.6	V
Operating Temperature	TA	I and Y grade	-40	—	+125	°C
Operating Temperature	TA	G grade	-40	—	+85	°C

Εικόνα 39 - Προτεινόμενες συνθήκες λειτουργίας αισθητήρα

Ο παραπάνω πίνακας αποτελεί τις προτεινόμενες συνθήκες λειτουργίας του σένσορα για την τάση του ρεύματος που δέχεται και το επίπεδο της θερμοκρασίας που λειτουργεί. Στην συνέχεια παραθέτουμε έναν πίνακα με μερικές γενικές ρυθμίσεις του σένσορα.

Table 2. General Specifications

1.9 ≤ V_{DD} ≤ 3.6 V; T_A = -40 to 85 °C (G grade) or -40 to 125 °C (I/Y grade); default conversion time unless otherwise noted.

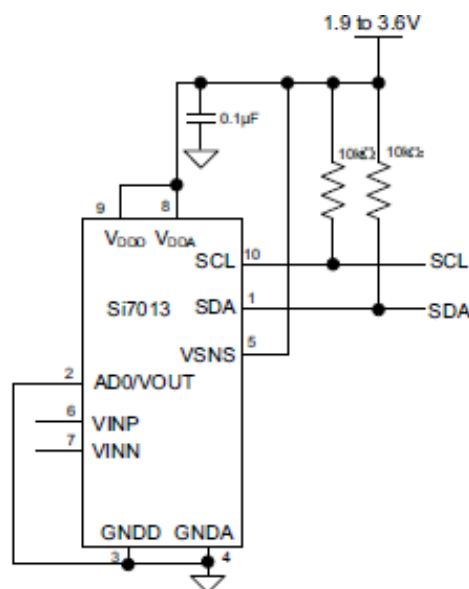
Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Input Voltage High	V _{IH}	AD0, SCL, SDA, VSNS pins	0.7xV _{DD}	—	—	V
Input Voltage Low	V _{IL}	AD0, SCL, SDA, VSNS pins	—	—	0.3xV _{DD}	V
Input Voltage Range	V _{IN}	SCL, SDA, RSTb pins with respect to GND	0.0	—	V _{DD}	V
Input Leakage	I _{IL}	SCL, SDA pins; V _{IN} = GND	—	—	1	μA
		VSNS pin (200K nominal pull up); V _{in} = GND	—	5xV _{DD}	—	μA
Output Voltage Low	V _{OL}	SDA pin; I _{OL} = 2.5 mA; V _{DD} = 3.3 V	—	—	0.6	V
		SDA pin; I _{OL} = 1.2 mA; V _{DD} = 1.9 V	—	—	0.4	V
Output Voltage High	V _{OH}	VOUT pin, I _{OH} = -0.5 mA, V _{DD} = 2.0 V	V _{DD} - 0.2	—	—	V
		VOUT pin, I _{OH} = -10 μA	V _{DD} - 0.1	—	—	V
		VOUT pin, I _{OH} = -1.7 mA, V _{DD} = 3.0 V	V _{DD} - 0.4	—	—	V
Current Consumption	I _{DD}	RH conversion in progress	—	150	180	μA
		Temperature conversion in progress	—	90	120	μA
		Standby, -40 to +85 °C ²	—	0.06	0.62	μA
		Standby, -40 to +125 °C ²	—	0.06	3.8	μA
		Peak I _{DD} during powerup ³	—	3.5	4.0	mA
		Peak I _{DD} during I ² C operations ⁴	—	3.5	4.0	mA
Heater Current ⁵	I _{HEAT}		—	3.1 to 94.2	—	mA

Notes:

1. Initiating a RH measurement will also automatically initiate a temperature measurement. The total conversion time will be t_{CONV(RH)} + t_{CONV(T)}.
2. No conversion or I²C transaction in progress. Typical values measured at 25 °C.
3. Occurs once during powerup. Duration is <5 msec.
4. Occurs during I²C commands for Reset, Read/Write User Registers, Read EID, Read Firmware Version, Read/Write Thermistor Coefficients and Read Thermistor. Duration is <50 μs for all commands except Read Thermistor, which has <150 μs duration.
5. Additional current consumption when HTRE bit enabled. See Section "5.6. Heater" for more information.

Εικόνα 40 - Γενικές πληροφορίες αισθητήρα

Και επιπλέον, ένα σχεδιάγραμμα τυπικού ηλεκτρονικού κυκλώματος για την κατασκευή ενός σένσορα υγρασίας/ θερμοκρασίας.



Εικόνα 41 - Σχεδιάγραμμα τυπικού
ηλεκτρονικού κυκλώματος αισθητήρα υγρασίας
θερμοκρασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ FRONTEND ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλύσουμε το frontend κομμάτι της εφαρμογής μας και επιπλέον θα δείξουμε μερικά παραδείγματα θέσης χρήστη στον χάρτη. Frontend είναι ο όρος που χρησιμοποιείται στον προγραμματιστικό χώρο όταν θέλουμε να αναφερθούμε στο κομμάτι παρουσίασης και εξωτερικής εικόνας ενός προγράμματος, συστήματος, εφαρμογής κ.α.

5.1. Εικόνες παραδείγματα εφαρμογής – Front end

Παρακάτω θα κάνουμε μια παρουσίαση του frontend της εφαρμογής και μερική ανάλυση αυτού. Καθώς η ανάλυση του κώδικα έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εδώ θα αναφερθούμε μόνο στο τι βλέπει ο χρήστης και τις λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει αν το επιθυμεί.

Αφού ο χρήστης εγκαταστήσει την εφαρμογή στο κινητό του θα την ξεχωρίσει χάρη στο



Εικόνα 43 - Εικονίδιο εφαρμογής

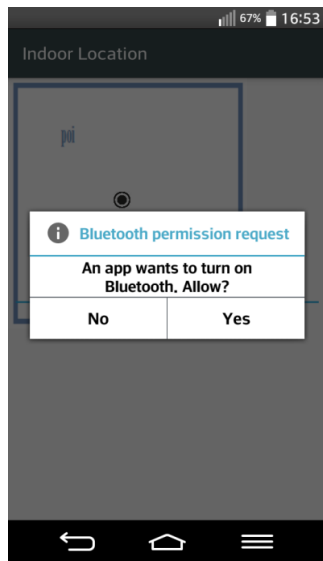
custom icon που της θέσαμε και το όνομα της εφαρμογής “Indoor Location”. Ο χρήστης αρκεί να πατήσει το εικονίδιο της εφαρμογής ώστε να γίνει η εκκίνηση, όπως άλλωστε ισχύει και για κάθε εφαρμογή αναπτυγμένη σε smartphone.

Αφού ανοίξει ο χρήστης την εφαρμογή και περάσει το splash screen, τότε το επόμενο ακριβώς που θα δει είναι η παρούσα εικόνα. Αυτό το menu αποτελεί την αρχή της εφαρμογής και η μόνη λειτουργία που έχει είναι το κουμπί LOCATE USER και μία επεξήγηση. Ο χρήστης πατώντας το κουμπί αυτό κάνει εκκίνηση του scanning και εύρεση της τοποθεσίας του στον χώρο. Με περαιτέρω ανάπτυξη της εφαρμογής σε αυτό το μενού θα προστεθούν και άλλες λειτουργίες αλλά στην παρούσα κατάσταση δεν χρειαζόμαστε κάτι επιπλέον.

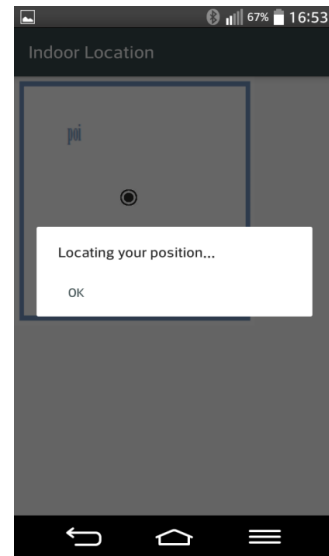
Στη συνέχεια, αφού ο χρήστης πατήσει το κουμπί και γίνει η εκκίνηση του εντοπισμού, τότε έχουμε προσθέσει την λειτουργία να εμφανίζεται ένα notification αν αυτός δεν έχει ανοίξει το Bluetooth του κινητού του. Χωρίς ανοιχτό Bluetooth προφανώς η εφαρμογή δεν λειτουργεί. Αν ο χρήστης έχει από πριν ανοίξει το Bluetooth, τότε αυτή η υπενθύμιση δεν εμφανίζεται και περνάει αμέσως στην επόμενη εικόνα. Σε αυτή εμφανίζεται ένα απλό μήνυμα που ειδοποιεί τον χρήστη ότι έχει αρχίσει ο εντοπισμός του στον χώρο. Αυτό δεν παίζει προφανώς κανέναν ρόλο στη λειτουργία της εφαρμογής αλλά αποτελεί έναν τρόπο ώστε να μην μπερδευτεί ο χρήστης. Παρακάτω παραθέτουμε τις δύο εικόνες:



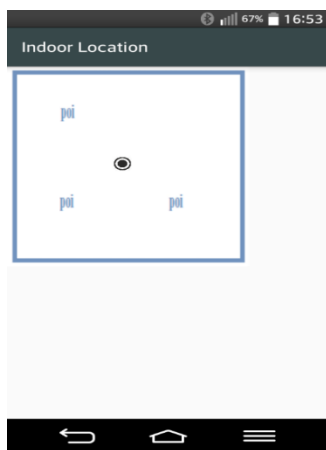
Εικόνα 42 - Αρχικό μενού εφαρμογής



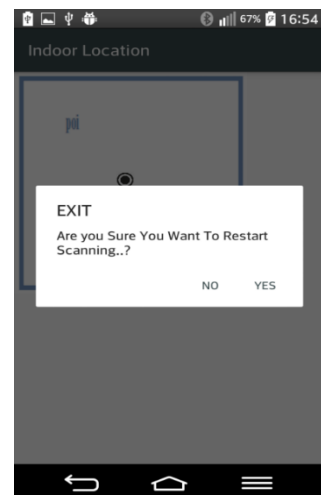
Εικόνα 45 - PopUp εκκίνησης bluetooth



Εικόνα 44 - Μήνυμα εκκίνησης scanning



Εικόνα 47 - κεντρική σελίδα εφαρμογής, εδώ βλέπουμε τον χάρτη, την θέση του χρήστη και τις τοποθεσίες των σημείων



Εικόνα 46 - Παράθυρο εξόδου εφαρμογής

Στην συνέχεια, ο χρήστης βλέπει το κεντρικό κομμάτι της εφαρμογής μας που αποτελεί τον χάρτη του δωματίου με σχεδιασμένα τα σημεία ενδιαφέροντος και μια πινέζα που υποδηλώνει την θέση του εκείνη την στιγμή (η θέση της πινέζας είναι τοποθετημένη στο κέντρο του δωματίου όταν γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής). Ο χάρτης του δωματίου έχει σχεδιαστεί τετράγωνος και οι μετρήσεις έγιναν σε απόσταση 4x4 μέτρα. Αυτό μπορεί να αλλάξει προγραμματιστικά αν χρειαστεί.

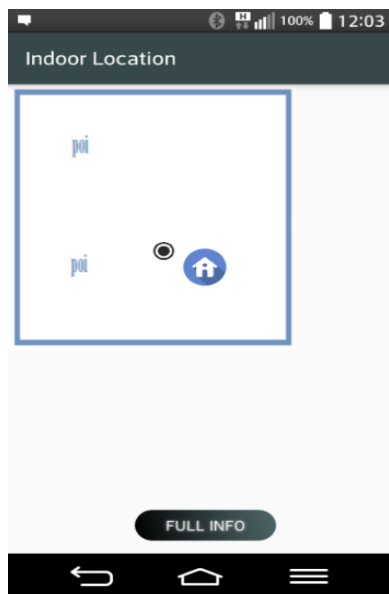
Συνεχίζοντας, παραθέτουμε την εικόνα που εμφανίζεται αν ο χρήστης για κάποιο λόγο θέλει να τερματίσει το scanning και να επιστρέψει στο αρχικό μενού. Αυτή η λειτουργία σε αυτή την φάση της ανάπτυξης δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, αλλά αν προσθέσουμε έξτρα λειτουργίες στο αρχικό μενού, τότε σίγουρα το να επιστρέφουμε πίσω σε αυτό είναι πολύ χρήσιμο έως αναγκαίο. Ο χρήστης με την επιλογή “YES” επιστρέφει στο αρχικό μενού, ενώ αντιθέτως με το “NO” το παράθυρο εξαφανίζεται και ο χρήστης παραμένει στην φάση που βρισκόταν.

5.2. Εικόνες σεναρίων τοποθεσίας χρήστη – Frontend

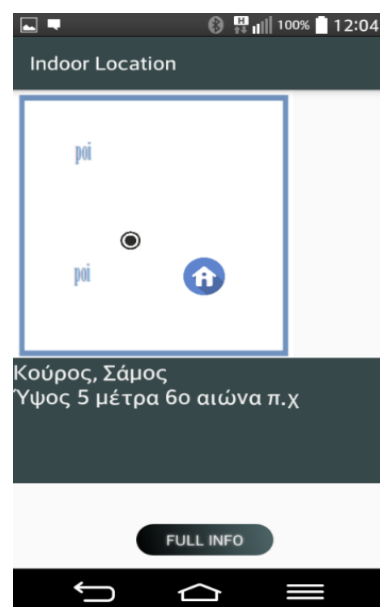
Θα παρουσιάσουμε μερικά σενάρια τοποθεσίας χρήστη και τις διαφορετικές ενεργοποιήσεις των ροί που γίνονται σε κάθε μία από αυτές. Στον χώρο που έχουμε θέσει στην εφαρμογή έχουμε τοποθετήσει 3 σημεία ενδιαφέροντος σε τρεις διαφορετικές εντελώς περιοχές, πάνω αριστερά, κάτω αριστερά και κάτω δεξιά. Ο λόγος που διαλέξαμε αυτό τον αριθμό σημείων ενδιαφέροντος είναι γιατί σε έναν τόσο μικρό χώρο δεν είναι εύκολο να ληφθούν οι αποστάσεις κινητού-beacon με μεγάλη ακρίβεια, καθώς είναι εξαιρετικά δύσκολο έως σχεδόν αδύνατο να υπάρχει ακρίβεια εκατοστών. Έτσι, οι περιοχές του κάθε σημείου ενδιαφέροντος και η ενεργοποίησή τους γίνεται σε εμβαδόν 1,5 τετραγωνικών μέτρων. Θεωρητικά μπορούμε να τοποθετήσουμε όσα σημεία ενδιαφέροντος θέλουμε στον χώρο μας, απλά αυτό θα προκαλούσε σύγχυση και κακή λειτουργικότητα της εφαρμογής και έτσι δεν θα είχαμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ο χρήστης όσο περιηγείται στον χώρο παρατηρεί ότι ανάλογα με τη θέση του στον χάρτη εμφανίζονται κουμπιά σε συγκεκριμένα σημεία. Τα σημεία αυτά είναι γνωστά στον χρήστη καθώς τα έχουμε υποδείξει στον χάρτη με την λέξη ροί. Ο λόγος που γράψαμε στον χάρτη την υπόδειξη είναι για να γνωρίζει ο χρήστης ότι όταν πλησιάσει το σημείο αυτό θα γίνει μία λειτουργία, και επιπλέον για να ξέρει ότι σε εκείνο το σημείο υπάρχει ένα έκθεμα -για το παράδειγμά μας- αλλά γενικά μια ενδιαφέρουσα τοποθεσία. Παρακάτω εκθέτουμε μερικά παραδείγματα τοποθεσίας:

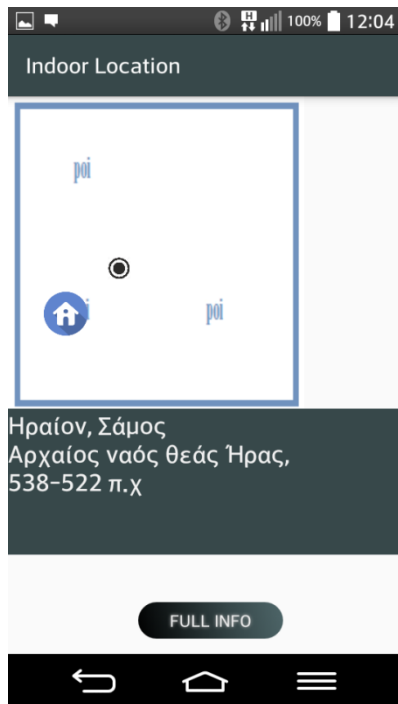
Στην αριστερή εικόνα βλέπουμε έναν χρήστη που έχει πλησιάσει το Beacon Orange. Ο χρήστης βρίσκεται σχετικά στην μέση του δωματίου και επιπλέον παρατηρούμε ότι το ροί που αντιστοιχεί σε εκείνη την τοποθεσία έχει ενεργοποιηθεί. Στο κάτω μέρος της εφαρμογής παρατηρούμε επίσης ότι έχει εμφανιστεί το κουμπί “full Info”, το οποίο αν ο χρήστης πατήσει, θα επισκεφτεί την ιστοσελίδα που δημιουργήσαμε για το συγκεκριμένο σημείο ενδιαφέροντος. Αν αντιθέτως δεν τον ενδιαφέρει περισσότερη πληροφορία, τότε απλώς πατώντας το μπλε κουμπί θα αναδυθεί ένα μικρό pop up window με την βασική και όχι λεπτομέρειες. Αντίστοιχα, το ίδιο συμβαίνει και για τα υπόλοιπα σημεία ενδιαφέροντος, με μόνη διαφορά την πληροφορία. Κάθε ένα έχει διαφορετικό site και διαφορετικό κείμενο στα popups. Στην δεξιά εικόνα βλέπουμε το popup που εμφανίζεται όταν ο χρήστης πατήσει το μπλε κουμπί. Όπως είπαμε, η πληροφορία αλλάζει ανάλογα με το πιο κουμπί πατιέται όπως και η ιστοσελίδα που ανοίγει με το πάτημα του “Full Info”. Παρακάτω παραθέτουμε δύο ακόμα εικόνες για τα δύο υπόλοιπα σημεία ενδιαφέροντος.



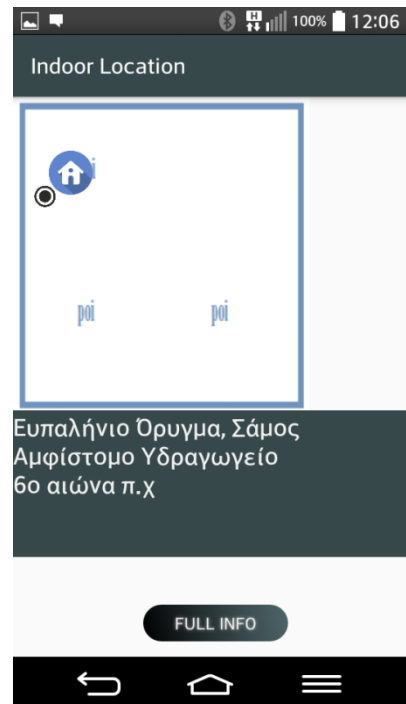
Εικόνα 48 - Χρήστης κοντά στο orange Beacon



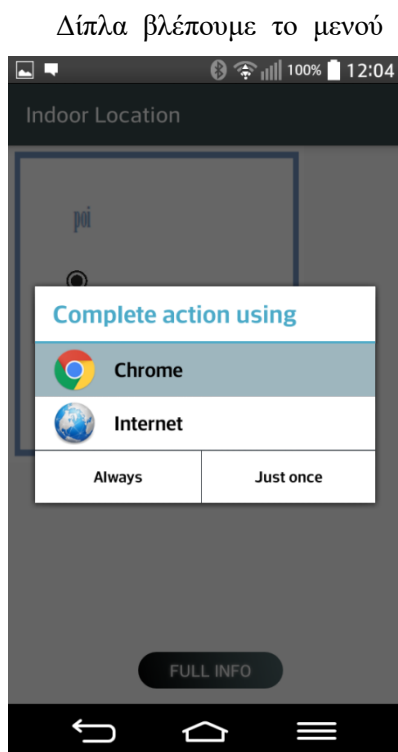
Εικόνα 49 - Pop up window όταν ο χρήστης πατήσει το μπλε κουμπί



Εικόνα 50 - 2ο σημείο ενδιαφέροντος



Εικόνα 51 - 3ο σημείο ενδιαφέροντος



Εικόνα 52 - Παράθυρο επιλογής browser

Δίπλα βλέπουμε το μενού που εμφανίζεται όταν ο χρήστης πατήσει το “Full Info” οποιαδήποτε στιγμή που βρίσκεται κοντά σε σημείο ενδιαφέροντος. Του δίνεται η επιλογή να διαλέξει με ποιον browser θέλει να ανοίξει το αντίστοιχο site κάθε σημείου ενδιαφέροντος. Οι επιλογές είναι ανάλογες με ποιους browser έχει εγκαταστημένους στην κινητή του συσκευή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το τελευταίο της εργασίας μας στο οποίο θα αναλύσουμε τα διάφορα συμπεράσματα που βγάλαμε καθ' όλη τη διάρκεια της υλοποίησης της εφαρμογής αλλά και τις σκέψεις και ιδέες που έχουμε για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση αυτής.

Αξιολόγηση υλοποίησης

Η υλοποίηση της εφαρμογής ήταν και το πιο δύσκολο κομμάτι της πτυχιακής μας εργασίας, όχι τόσο στο θέμα του προγραμματισμού αυτής όσο στις πρακτικές δυσκολίες που συναντήσαμε με την τεχνολογία των beacons και την ακρίβεια του συστήματος indoor navigation. Γενικότερα, η ανάπτυξη μιας εφαρμογής για android ανάλογα με την πολυπλοκότητά της έχει και ανάλογο βαθμό δυσκολίας. Για διάφορες λειτουργίες που προσθέσαμε ήταν αρκετά εύκολη η υλοποίηση καθώς υπάρχουν άπειρα παραδείγματα στο internet που μας βοήθησαν και ακολουθήσαμε πιστά. Αντιθέτως, δεν υπήρχαν πολλά για την ανάπτυξη συστημάτων indoor location σε γλώσσα java και έτσι σε μερικά σημεία που δυσκολευόμασταν δεν είχαμε την δυνατότητα επιπλέον πληροφορίας που θα μας βοηθούσε. Τελικώς όμως καταφέραμε να κάνουμε μια ικανοποιητική εφαρμογή η οποία με την προσθήκη επιπλέον λειτουργιών και με την βελτίωση κυρίως του ακριβούς εντοπισμού της τοποθεσίας σε μικρές αποστάσεις θα μπορούσε να βγει στην αγορά.

Ανάλυση ακριβείας

Το κυριότερο πρόβλημα που είχαμε και εν μέρει συνεχίζουμε να έχουμε είναι αυτό του ακριβούς εντοπισμού της θέσης ή τοποθεσίας του χρήστη. Επειδή οι αποστάσεις που δοκιμάζουμε και κάνουμε την υλοποίηση είναι πολύ μικρές (μόλις 4x4 μέτρα) είναι αρκετά δύσκολο να φαίνεται στον χάρτη η τόσο μικρή αλλαγή τοποθεσίας του χρήστη όταν αυτός, για παράδειγμα, μετακινείται 1 μέτρο προς μια κατεύθυνση. Γι' αυτό το πρόβλημα δεν βρήκαμε μια λύση και πιστεύουμε ότι το κυρίως πρόβλημα είναι η τεχνολογία των beacons όπως και του mobile που κάναμε τα tests που ήταν μόλις έκδοση android 4.4.2.

Με απλές μετρήσεις που κάναμε όταν πέραμε τις αποστάσεις του κινητού από τα beacons παρατηρούσαμε ότι τις περισσότερες φορές δεν αντιστοιχούσαν στην πραγματικότητα και μπορεί να έπαιζαν +/- 1 μέτρο και μερικές φορές ακόμα και περισσότερο. Αυτό προκαλούσε σημαντικότατο πρόβλημα στον υπολογισμό της τοποθεσίας καθώς η μια είσοδος στη συνάρτηση υπολογισμού είναι οι αποστάσεις beacons– κινητού σε κάθε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Παρά το ότι κάναμε πολλές προσπάθειες για να υπάρξει μια σοβαρή βελτίωση, δεν μπορέσαμε να έχουμε το επιθυμητό για εμάς αποτέλεσμα. Το θετικό είναι ότι μετά την έρευνά μας για άλλα αντίστοιχα προγράμματα δεν εντοπίσαμε κάποιο που να έχει πετύχει ακρίβεια πολύ μικρών αποστάσεων αλλά αντίστοιχα όπως και εμείς είχαν προβλήματα. Σε περίπτωση που είχαμε χλωρους μεγαλύτερων διαστάσεων τότε θα ήταν πιο εύκολο να εντοπισθεί ο χρήστης, καθώς οι αποστάσεις που θα διένυε θα ήταν μεγαλύτερες και η μεγέθυνσή του χάρτη μικρότερη, και έτσι δεν θα γινόταν αντιληπτή απόκλιση μερικών δεκάδων εκατοστών. Τέλος, πιστεύουμε ότι για να γίνει σωστή ανάπτυξη ενός application για σύστημα indoor navigation πρέπει ο προγραμματιστής να έχει στην ευχέρειά του διαφορετικά beacons και διαφορετικά smartphone ώστε να μπορεί να έχει μια γενική εικόνα και να μπορεί να βγάλει ασφαλή συμπεράσματα ακριβείας με κάθε ένα από αυτά. Εμείς για οικονομικούς λόγους δεν είχαμε στη διάθεση μας μια γκάμα από διαφορετικά BLE 4.0 beacons και android, ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε δοκιμές. Επομένως, δεν έχουμε την δυνατότητα να αναλύσουμε την ακρίβεια που θα μπορούσαμε πιθανόν να είχαμε πετύχει με άλλο hardware.

Για να καταφέρουμε τον βέλτιστο υπολογισμό απόστασης μεταξύ των beacons και του κινητού, θέσαμε μέσω του sdk των Skybeacon, αφού κάναμε τις απαραίτητες μετρήσεις, το txpower σε -23dbm, ώστε να έχουμε δυνατό σήμα σε κοντινές αποστάσεις μέχρι 4 μέτρα, και το measured power σε -70dbm. Το measured power υπολογίζεται κρατώντας το κινητό 1 μέτρο από το beacon που μετράμε. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε και “φέρνουμε” όλα τα beacons σε ένα ίδιο επίπεδο καθώς, ανάλογα με τη δύναμη που εκπέμπουν οι κεραιές τους,

δυναμώνουμε ή αποδυναμώνουμε την ισχύ του σήματος ώστε σε μια απόσταση να λαμβάνουμε την ίδια δύναμη σήματος από όλα.

Μελλοντικές επεκτάσεις εφαρμογής – Εμπορευματοποίηση

Με περισσότερο χρόνο στην διάθεση μας και τεχνογνωσία θα θέλαμε να προσθέσουμε μερικές λειτουργίες, οι οποίες στην παρούσα κατάσταση δεν θα μας ήταν χρήσιμες αλλά για να την εμπορευματοποίηση της εφαρμογής σίγουρα ναι.

- **Auto-mapping:** Βασική λειτουργία που θα θέλαμε να προσθέσουμε είναι η δημιουργία χάρτη χώρου αυτόματα. Αυτό θα γινόταν με το πάτημα ενός κουμπιού αφού ο χρήστης πρώτα θα είχε τοποθετήσει τα beacons του στα ιδανικότερα σημεία του χώρου και στην συνέχεια με τριγωνομέτρηση θα υπολογίζονταν οι τοποθεσίες αυτών και θα ενώνονταν με γραμμές οι οποίες θα ήταν και τα σύνορα του χώρου.
- **Επιλογή τεχνολογίας των beacon:** Αυτή τη στιγμή η εφαρμογή λειτουργεί μόνο με τη χρήση iBeacon. Εμείς θα θέλαμε να προσθέσουμε τη λειτουργία της επιλογής τεχνολογίας beacon στο αρχικό μενού ώστε να λειτουργεί για όλους τους κατασκευαστές.
- **Παραμετροποίηση κώδικα για λειτουργία σε όλα τα κινητά:** Αυτή την στιγμή η εφαρμογή έχει δοκιμαστεί μόνο σε μία συσκευή android για οικονομικούς λόγους και έτσι θα έχει προβλήματα σε frontend αν εγκατασταθεί σε άλλα. Αυτό, αν και εύκολο να λυθεί, χρειάζεται να έχουμε στη διάθεσή μας διαφορετικά android και διαφορετικών μεγεθών.

Με τις παραπάνω βασικές προσθήκες η εφαρμογή θα ήταν σε ένα πολύ καλό σημείο να βγει στην αγορά. Σίγουρα θα χρειάζονταν και μερικές επιπλέον που θα εντοπίζαμε όσο γινόταν η ανάπτυξη αλλά αυτές οι τρεις κατά την άποψή μας αποτελούν τις βασικότερες από όλες.

Παρατήρουμε ότι οι περισσότερες εφαρμογές indoor navigation που διατίθενται από εταιρίες στοχεύουν σε εταιρίες (αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα, μουσεία) και όχι σε μεμονωμένους χρήστες. Η αγορά έχει πολύ χώρο ελεύθερο γι' αυτήν την τεχνολογία καθώς δεν έχουν εδραιωθεί πολλές εταιρίες στον χώρο λόγω του ότι η τεχνολογία των beacons βρίσκεται εν μέρει σε ανάπτυξη και υπάρχουν πολλά προβλήματα που πρέπει να λυθούν.

Συμπεράσματα υλοποίησης - Επίλογος

Το σύστημα διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί το BLE είναι πιο απλό απ' ότι το Classic Bluetooth. Οι Bluetooth Smart συσκευές είναι μικρές, φθηνές και μπορούν να λειτουργούν για μήνες ακόμα και χρόνια, αφού καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια και υπολογίζεται ότι στα τέλη του 2018 το 90% των συσκευών που υποστηρίζουν Bluetooth θα υποστηρίζουν και BLE. Αυτό σημαίνει ότι η αγορά που σχετίζεται με τα beacons θα αποκτήσει ακόμα μεγαλύτερη ζήτηση μελλοντικά και έτσι θα γίνει αναγκαία η επιπλέον ανάπτυξη εφαρμογών και οι οποίες θα καλύπτουν αυτές τις ανάγκες που θα δημιουργηθούν.

Σε προσωπικό επίπεδο παρά τις δυσκολίες που συναντήσαμε αποκτήσαμε πολλές γνώσεις που σίγουρα θα μας φανούν χρήσιμες στο επαγγελματικό μας μέλλον και ελπίζουμε πως θα εκτιμηθούν. Επιπλέον παρά το γεγονός ότι υλοποιήσαμε την εφαρμογή με επιτυχία βρισκόμαστε σε ένα σημείο που θα θέλαμε να συνεχίσουμε στο μέλλον την περαιτέρω ανάπτυξη της εφαρμογής με την προσθήκη επιπλέον λειτουργιών και με βελτιωμένο frontend.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <https://www.infsoft.com/solutions/indoor-navigation>
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
3. https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_power_plant
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Home_automation
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_transportation_system
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/Device-to-device>
8. <https://www.psfk.com/2013/05/proximity-services-ideal-city.html>
9. <https://www.infsoft.com/blog-en/articleid/40/indoor-navigation-using-wifi-as-a-positioning-technology>
10. <https://www.infsoft.com/blog-en/articleid/41/indoor-navigation-indoor-positioning-using-bluetooth>
11. <https://www.infsoft.com/blog-en/articleid/42/indoor-navigation-indoor-positioning-and-location-based-services-using-vlc-visible-light-communication>
12. https://www.slideshare.net/infsoft_GmbH/basics-of-indoor-navigation-and-indoor-positioning-ebook
13. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050914009090>
14. <https://navibeas.com/#>
15. <https://www.infsoft.com/examples-of-use>
16. https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy
17. <https://web.archive.org/web/20150203053330/http://www.bluetooth.com/Pages/Press-Releases-Detail.aspx?ItemID=138>
18. <https://web.archive.org/web/20150724115332/https://www.bluetooth.org/en-us/bluetooth-brand/smart-marks-faqs>
19. <https://www.bluetooth.com/specifications/gatt>
20. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4327007/>
21. <https://www.bluetooth.com/news/pressreleases/2016/12/07/bluetooth-5-now-available>
22. <https://www.theverge.com/circuitbreaker/2017/5/26/15687670/bluetooth-5-anker-incipio-griffin-iphone-samsung-coming-soon>
23. https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_mesh_networking
24. https://en.wikipedia.org/wiki/Mesh_networking
25. [https://en.wikipedia.org/wiki/Flooding_\(computer_networking\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Flooding_(computer_networking))
26. https://en.wikipedia.org/wiki/Diffie%E2%80%93Hellman_key_exchange
27. <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/how-it-works/le-mesh>
28. https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy_beacon
29. <http://www.pointrlabs.com/posts/beacons-everything-you-need-to-know/>
30. <https://developer.mbed.org/blog/entry/BLE-Beacons-URIBeacon-AltBeacons-iBeacon/>
31. <https://gigaom.com/2014/07/09/retailers-are-excited-about-beacons-but-how-fast-will-they-drain-your-smartphone-battery/>
32. <https://www.aislelabs.com/reports/ibeacon-battery-phones/>
33. <https://en.wikipedia.org/wiki/Trilateration>
34. https://en.wikipedia.org/wiki/Received_signal_strength_indication
35. https://en.wikipedia.org/wiki/Dead_reckoning#Pedestrian_dead_reckoning
36. <http://vincenth.net/blog/archive/2014/04/24/building-cross-platform-ibeacon-apps-for-ios-android-and-windows-with-c-and-xamarin.aspx>
37. [https://en.wikipedia.org/wiki/Eddystone_\(Google\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Eddystone_(Google))
38. <https://ibeacon.solar/>
39. [https://en.wikipedia.org/wiki/Eddystone_\(Google\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Eddystone_(Google))
40. <https://github.com/google/eddystone/blob/master/protocol-specification.md>

41. <http://google.github.io/physical-web/>
42. <https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-uid>
43. <https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-eid>
44. <https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-tlm>
45. <https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-url>
46. <https://github.com/google/eddystone/blob/master/eddystone-tlm/tlm-plain.md>
47. <https://github.com/google/eddystone/blob/master/eddystone-tlm/tlm-encrypted.md>
48. [Beacon Tools - Android Apps on Google Play](#)
49. [Beacon Scanner & Logger \(free\) - Android Apps on Google Play](#)
50. [Evothings Viewer - Android Apps on Google Play](#)
51. [BLE Scanner - Android Apps on Google Play](#)
52. [iBeacon & Eddystone Scanner - Android Apps on Google Play](#)
53. [Beacon Simulator - Android Apps on Google Play](#)
54. [Category:BluetoothLE - Texas Instruments Wiki](#)
55. [Arduino Bluetooth Basics - YouTube](#)
56. [Introduction to the Physical Web \(100 days of Google Dev\) - YouTube](#)
57. [Locating users inside a room with iBeacons - YouTube](#)
58. [Configuration of SKY Bluetooth Beacon with Skybeacon App on iOS - YouTube](#)
59. [Indoor GPS - A Fantastic Indoor Positioning APP - YouTube](#)
60. [How to use Eddystone-URL and what is meant by “no need for an app”](#)
61. [How to receive Eddystone URL Signals on your phone - YouTube](#)
62. [Eddystone format | Beacons | Google Developers](#)
63. [Android does not receive URLs from beacons · Issue #895 · google/physical-web · GitHub](#)
64. [Eddystone-URL: how to enable Physical Web in Chrome? – Estimote Community Portal](#)
65. [eddystone/eddystone-url at master · google/eddystone · GitHub](#)
66. [GitHub - bneedhamia/CurieEddystoneURL: Arduino 101 Sketch to Advertise an Eddystone URL](#)
67. [Eddy and his stones: a DIY beacon and some mobile apps](#)
68. [GitHub - sandeepmistry/arduino-BLEPeripheral: An Arduino library for creating custom BLE peripherals with Nordic Semiconductor's nRF8001 or nR51822.](#)
69. [Physical Web URL Validator](#)
70. [TOP 4 things to watch out for on Chrome for Android with beacons!](#)
71. [android - How can i send notification using a Eddystone URL? - Stack Overflow](#)
72. [Why is physical web eddystone-url so unreliable on Android vs iOS · Issue #720 · google/physical-web · GitHub](#)
73. [Eddystone Scan Example](#)
74. [arduino-BLEPeripheral/EddystoneURL.ino at master · sandeepmistry/arduino-BLEPeripheral · GitHub](#)
75. [Can an HM-10 BLE 4.0 module be configured as an Eddystone beacon transmitting Eddystone frames \(UID, EID, TLM, and URL\)? - Quora](#)
76. [Exploring the Physical Web \(Without Buying Beacons\)](#)
77. [Eddystone-URL and The Physical Web](#)
78. [Google URL Shortener](#)
79. [Arduino Eddystone not shown in Physical Web - Google Groups](#)
80. [Eddystone beacon technology and the Physical Web - mobiForge](#)
81. [UriBeacon](#)
82. [Nerd Club: Working with cheap bluetooth BTLE4 devices HM-10 BLE-CC41A](#)
83. [Bluetooth LE: Using CC-41A \(HM-10 Clone\) - Hackster.io](#)
84. [How can I test Eddystone beacons using the Proximity Beacon API on Android or iOS and are there any dependencies? - Stack Overflow](#)
85. [Radius Networks - Developer](#)
86. [Android Beacon Library](#)

87. [BLE Beacon Indoor Positioning Systems Basics by Locatify](#)
88. [Common FAQs about the Bluetooth Beacon Technology](#)
89. [Google Static Maps API | Google Developers](#)
90. [Overlaying an image map type | Google Maps JavaScript API | Google Developers](#)
91. [Indoor positioning with beacons and mobile devices](#)
92. [Geolocation with Bluetooth Beacons | Mutually Human](#)
93. [GitHub - dmsl/anyplace: A free and open Indoor Navigation Service with superb accuracy!](#)
94. [overlay two images in android to set an imageview - Stack Overflow](#)
95. [Trilateration in practice: testing indoor positioning with beacons | SAP Blogs](#)
96. [android - Multi-point trilateration algorithm in Java - Stack Overflow](#)
97. [mobile - Trilateration algorithm for n amount of points - Geographic Information Systems Stack Exchange](#)
98. [Determining Indoor Position using iBeacon | FutureVision | R/GA Connected by Design](#)
99. [GitHub - lemmingapex/trilateration: Solves a formulation of n-D space trilateration problem using a nonlinear least squares optimizer](#)
100. [Trilateration in Android using iBeacons - Stack Overflow](#)
101. [GitHub - lemmingapex/trilateration: Solves a formulation of n-D space trilateration problem using a nonlinear least squares optimizer](#)
102. [Java 1.7 compatibility problem · Issue #8 · lemmingapex/trilateration · GitHub](#)
103. [Positioning and Trilateration - Alan Zucconi](#)
104. [ECEF - Wikipedia](#)
105. [iBeacon / Beacon Research · GitHub](#)
106. [Bekkelien Master Thesis.pdf](#)
107. [Trilateration - Wikipedia](#)
108. [Calibrate optimal iBeacon distance Measured Power – Linktagger Support](#)
109. [Multilateration](#)
110. [Hyperbolic navigation - Wikipedia](#)
111. [Ραδιοναυτιλία - Βικιπαίδεια](#)
112. [Υπερβολή \(γεωμετρία\) - Βικιπαίδεια](#)
113. [Satellite navigation - Wikipedia](#)
114. [Triangulation - Wikipedia](#)
115. [What is triangulation? - YouTube](#)
116. [Triangulation - YouTube](#)
117. [Triangulation Using Trigonometry - Maple Programming Help](#)
118. [Radiolocation - Wikipedia](#)
119. [ibeacon - Beacon: Why we need calibrate Tx power - Stack Overflow](#)
120. [Choosing the Transmitted Power](#)
121. [Choosing UUID, Major, Minor and Eddystone-UID For Beacons](#)
122. [Beacon Configuration Strategy Guide – Transmission Power - Blog - Kontakt.io](#)
123. [java.util.concurrent | Android Developers](#)
124. [Android Beacon Library](#)