

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Διπλωματική Εργασία

Εφαρμογή εντοπισμού θέσης για εσωτερικούς χώρους

Όνοματεπώνυμο: Αναστάσιος - Χρυσοβαλάντης Χρόνης

Ημ/νια εκτύπωσης - παρουσίασης:

Όνόματα επιβλεπόντων:

Δρ. Πρωτοψάλτης Αντώνιος

Δρ. Δασυγένης Μηνάς

Κοζάνη, 2020

Εξεταστική επιτροπή

Όνοματεπώνυμο 1

Όνοματεπώνυμο 2

Όνοματεπώνυμο 3

Ημερομηνία εξέτασης:

Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο:

“Εφαρμογή εντοπισμού θέσης για εσωτερικούς χώρους”

καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Πρωτοψάλτη Αντώνη, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Αναστάσιος – Χρυσοβαλάντης Χρόνης, Πρωτοψάλτης Αντώνης, 2020,
Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο εντοπισμός ενός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά σημείου σε εσωτερικό περιβάλλον αποτελεί μια διαχρονική ανάγκη στις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και επομένως μια διαχρονική πρόκληση για τους επιστήμονες. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, καθίσταται αναγκαία η εύρεση αποδοτικών τρόπων εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους. Τις δημοφιλέστερες τεχνικές που επιτυγχάνουν τον εντοπισμό σε εσωτερικά περιβάλλοντα αποτελούν η τεχνική του τριγωνισμού, η τεχνική της εγγύτητας, η τεχνική ανάλυσης της όρασης και οι τεχνικές πλευρισμού.

Σκοπός της εργασίας ήταν να εφαρμοστεί ένα μοντέλο εσωτερικού εντοπισμού το οποίο εξάγει τις πληροφορίες που χρειάζεται μέσω σημάτων WIFI. Αναλυτικότερα, εξετάστηκε αν ο συνδυασμός της ένδειξης RSSI με την τεχνική του τριπλευρισμού μπορεί να οδηγήσει σε ακριβή αποτελέσματα.

Από την πειραματική προσέγγιση που έλαβε χώρα, καταδείχτηκε ότι ο συνδυασμός (Client: Laptop, 3 Access Points: Routers), εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα, λόγω της συνδυαστικής δυναμικής του laptop και των routers.

Λέξεις – κλειδιά: Εντοπισμός σημείου, WIFI σήμα, λαμβανόμενο σήμα, ένδειξη ισχύος, τριπλευρισμός.

ABSTRACT

The localization of a person, object or in general of a point in the interior environment is a timeless necessity in the various human activities and therefore a timely challenge for scientists. In such a context, it is necessary to find efficient ways of indoor locating. The most popular techniques to identify position to indoor environments are the triangulation technique, the proximity technique, the vision analysis technique, and the lateration technique.

The purpose of the project was to implement an internal tracking model that extracts the information needed through WIFI signals. More specifically, it was examined whether combining RSSI with trilateration technique can lead to accurate results.

From the experimental approach, it has been shown that the combination (Client: Laptop, 3 Access Points: Routers) shows the best results due to the combined dynamics of the laptop and the routers.

Key – words: Localization, WIFI signal, received signal, strength indicator, trilateration.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος πινάκων.....	9
Κατάλογος σχημάτων-διαγραμμάτων.....	10
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Προσδιορισμός προβλήματος	12
1.2 Κίνητρο έρευνας	12
1.3 Υπόβαθρο εργασίας.....	13
1.4 Σκοπός εργασίας	15
1.5 Αναγκαιότητα προτεινόμενου συστήματος.....	16
1.6 Δομή εργασίας	17
2. Μοντέλα εντοπισμού σημείου σε εσωτερικούς χώρους.....	18
2.1 Θεωρητική προσέγγιση της έννοιας του εντοπισμού σημείου.....	18
2.2 Προσεγγίσεις για την υλοποίηση διαδικασιών εντοπισμού σημείου.....	20
2.3 Μοντέλα εντοπισμού σημείου.....	22
2.3.1 Τεχνική τριγωνισμού.....	22
2.3.2 Τεχνική της Εγγύτητας.....	24
2.3.3 Τεχνική Ανάλυσης όρασης.....	25
2.3.4 Τεχνικές Πλευρισμού.....	26
2.4 Αλγόριθμοι για τον εντοπισμό σημείου σε εσωτερικό χώρο.....	27
2.4.1 Γωνία Άφιξης.....	27
2.4.2 Χρόνος Άφιξης	28
2.4.3 Αλγόριθμος της Διαφοράς Χρόνου Άφιξης.....	31

2.4.4	Αλγόριθμος της Ένδειξης της Λαμβανόμενης Ισχύος σήματος.....	33
2.4.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων.....	36
2.5	Μέθοδος εκτίμησης της μέγιστης πιθανότητας.....	37
3.	Εντοπισμός εσωτερικού σημείου με χρήση διαφορετικών συνδυασμών CLIENTs και ACCESS POINTs.....	38
3.1	Σκοπός πρακτικού μέρους.....	38
3.2	Μεθοδολογία.....	38
3.3	Διάταξη συστήματος.....	39
3.4	Φιλτράρισμα για την εξομάλυνση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή των μεθόδων.....	43
3.4.1	Γραμμικό φιλτράρισμα Kalman.....	43
3.4.2	Το κέρδος σε μονοδιάστατο φίλτρο Kalman.....	45
3.4.3	Extended φίλτρο Kalman.....	47
3.5	Μαθηματική τυποποίηση της διαδικασίας.....	47
3.6	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	48
4.	Συζήτηση - Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	58
	Βιβλιογραφία.....	61
	Παράρτημα Α.....	63
	Παράρτημα Β.....	88
	Παράρτημα Γ.....	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ενδεικτικές τιμές του παράγοντα απόσβεσης n σε διάφορα περιβάλλοντα.....	34
Πίνακας 2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των παραπάνω αλγορίθμων.....	36

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Ασύρματες τεχνολογίες για εφαρμογές εσωτερικού εντοπισμού.....	20
Σχήμα 2. Ανάλυση των δύο φάσεων του fingerprinting.....	21
Σχήμα 3. Βασική αρχή τεχνικής τριγωνισμού.....	23
Σχήμα 4. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου εφαρμογής τεχνικής της Εγγύτητας.....	25
Σχήμα 5. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου εφαρμογής τεχνικής της Ανάλυσης Όρασης.....	26
Σχήμα 6. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου εφαρμογής της τεχνικής του Τριπλευρισμού.....	26
Σχήμα 7. Γραφική αναπαράσταση του αλγορίθμου Γωνίας Άφιξης σε δύο διαστάσεις.....	27
Σχήμα 8. Γραφική αναπαράσταση του αλγορίθμου Γωνίας Άφιξης σε τρεις διαστάσεις.....	28
Σχήμα 9. Γραφική αναπαράσταση του αλγορίθμου Χρόνου Άφιξης.....	29
Σχήμα 10. Γραφική αναπαράσταση του αλγορίθμου Διαφοράς Χρόνου Άφιξης.....	31
Σχήμα 11. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο προσδιορίζεται σημείο σε εσωτερικό περιβάλλον μέσω της υπερβολής.....	32
Σχήμα 12. Εφαρμογή της μεθόδου TDoA με τρία σημεία πρόσβασης και δύο καμπύλες.....	33
Σχήμα 13. Γενική μορφή αρχιτεκτονικής συστήματος.....	41
Σχήμα 14. Τυπική μορφής απεικόνισης JavaScript UI.....	42
Σχήμα 15. Γενική μορφή βάσης δεδομένων.....	42

Σχήμα 16. Αναπαράσταση αλγορίθμου Kalman για ένα σύστημα υπολογισμού θέσης μέσω ταχύτητας.....	46
Διάγραμμα M1. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Arduino (Client) & Arduino (APs) [Εσωτερικός χώρος].....	50
Διάγραμμα M2. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Arduino (Client) & Routers (APs) [Εσωτερικός χώρος].....	51
Διάγραμμα M3. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Laptop (Client) & Arduino (APs) [Εσωτερικός χώρος].....	52
Διάγραμμα M4. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Laptop (Client) & Routers (APs) [Εσωτερικός χώρος].....	53
Διάγραμμα M5. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Arduino (Client) & Arduino (APs) [Εξωτερικός χώρος].....	54
Διάγραμμα M6. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Arduino (Client) & Routers (APs) [Εξωτερικός χώρος].....	55
Διάγραμμα M7. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Laptop (Client) & Arduino (APs) [Εξωτερικός χώρος].....	56
Διάγραμμα M8. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Laptop (Client) & Routers (APs) [Εξωτερικός χώρος].....	57

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Ο εντοπισμός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά σημείου αποτελεί μια διαχρονική ανάγκη στις διάφορες ανθρώπινες δράσεις και σε ένα τέτοιο πλαίσιο, μια διαχρονική πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα.

Η έννοια του εντοπισμού μπορεί να αφορά είτε σε εσωτερικούς είτε σε εξωτερικούς χώρους. Στη δεύτερη περίπτωση, ο εντοπισμός επιτυγχάνεται με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια, χρησιμοποιώντας συσκευές με ενσωματωμένο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Σημείου Θέσης (Global Positioning System, GPS). Το GPS είναι μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε από τις Ηνωμένες Πολιτείες με κύριο σκοπό την αμυντική στρατιωτική χρήση. Είναι η κατεξοχήν τεχνολογία που διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην πλοήγηση μέσω δορυφόρου. Ο σκοπός του GPS είναι ο προσδιορισμός της θέσης ενός αντικειμένου μέσω των μεγεθών του χρόνου και της ταχύτητας οι τιμές των οποίων παρέχονται μέσω της χρήσης ενδεδειγμένων υπηρεσιών κατάδειξης θέσης (Locations Based Services, LBS). Στις μέρες μας, η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως σε εξωτερικούς χώρους, όπως στην πλοήγηση και στις μετρήσεις συντονισμού. Το GPS εξαρτάται από τους δορυφόρους οι οποίοι αποστέλλουν πληροφορίες μέσω ραδιοσημάτων. [1].

Στην περίπτωση των εσωτερικών χώρων όμως, επειδή τα σήματα που χρησιμοποιεί το GPS έχουν τέτοια συχνότητα που όταν βρεθεί κάποιο φυσικό εμπόδιο (τοίχος, επίπλωση, κτλ.) παρουσιάζουν μεγάλη απόσβεση (attenuation), ο εντοπισμός εσωτερικού σημείου, ανθρώπου ή αντικειμένου καθίσταται δυσχερής έως αδύνατος. Σε μια τέτοια βάση, είναι προφανής η ανάγκη για εξεύρεση αποδοτικών τρόπων που να σχετίζονται με διαδικασίες και δράσεις εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους.

1.2 ΚΙΝΗΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο εντοπισμός θέσης σε κλειστούς χώρους ήταν πάντα ένα θέμα μεγάλου ενδιαφέροντος, με ενισχυμένη άνθηση τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της αλματώδους εξέλιξης της τεχνολογίας που έχει επιτελεστεί. Σε ένα πιο συγκεκριμένο πλαίσιο, η δυνατότητα για καλύτερο εντοπισμό θέσης έγινε περαιτέρω αντιληπτή με την ανάπτυξη της ασύρματης τεχνολογίας (κινητά τηλέφωνα, laptops, tablets, κτλ.). Επιπρόσθετα, τεχνολογίες, όπως το

Ασύρματο Δίκτυο (Wireless Network, WIFI), δηλαδή το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα προκειμένου να μεταφέρει πληροφορίες μέσω ραδιοσυχνοτήτων με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ο Ανιχνευτής Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification, RFID) που αποτελεί μια τεχνολογία χρήσης ραδιοκυμάτων για τον προσδιορισμό με αυτόματο τρόπο της θέσης ανθρώπων ή αντικειμένων και το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System of Mobile Communications, GSM) το οποίο αφορά σε ένα κοινό ευρωπαϊκό κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών, καθώς και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων, συνετέλεσαν και συνεχίζουν να συμβάλλουν στην ενίσχυση των δυνατοτήτων για επίτευξη μεγαλύτερης αποδοτικότητας όσον αφορά στον εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους [2].

1.3 ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Με την πάροδο του χρόνου και την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας, αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι και τεχνικές προκειμένου να υπάρξει κάλυψη των αναγκών που αφορούν στον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

Η τεχνική της Τοποθέτησης Σημείου Πρόσβασης με τη Βοήθεια Χάρτη (Map – Assisted Access Point Placement, M - AAPP), βασίζεται στο συνδυασμό της τεχνικής του Δακτυλικού Αποτυπώματος (Fingerprinting) και ενός χάρτη, προκειμένου να πραγματοποιήσει τον εντοπισμό ενός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά σημείου σε εσωτερικό χώρο. Το fingerprinting αποτελεί μια ακολουθία ψηφιακών δεδομένων σχετικά μικρού μεγέθους η οποία ουσιαστικά αποτελεί τη σύνοψη μιας μεγαλύτερης ακολουθίας ψηφιακών δεδομένων και η οποία παράγεται με τη βοήθεια ενός ειδικού αλγορίθμου ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση. Βασικό χαρακτηριστικό του ψηφιακού αυτού αποτυπώματος αποτελεί η μοναδικότητά του [3].

Η Ένδειξη της Λαμβανόμενης Ισχύς Σήματος (Received Signal Strength Indicator, RSSI), αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο μέτρησης σε μια διαδικασία εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, με την χρήση του να είναι δυνατή σε συνδυασμό με τεχνικές όπως ο Τριπλευρισμός (Trilateration), το fingerprinting ή και με τις δύο μεθόδους μαζί. Η αρχή εφαρμογής της τεχνικής του τριπλευρισμού έγκειται στη δυνατότητα για μέτρηση του μήκους

των τριών πλευρών ενός τριγώνου με κορυφές κατάλληλα σημεία αναφοράς, όπως αυτό θα καταδειχτεί στα επόμενα [4].

Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως όταν απαιτείται εντοπισμός θέσης εντός των δομών ενός πολυόροφου κτιριακού συγκροτήματος, η μέχρι στιγμής επιστημονική εμπειρία και γνώση, καταδεικνύει ως πιο ενδεδειγμένη μέθοδο αυτή του Αλγόριθμου Εσωτερικής Τοποθέτησης στη βάση χρήσης των δυνατοτήτων απομακρυσμένης πρόσβασης (WiFi – Based Indoor Positioning Algorithm, WBI). Ο εν λόγω αλγόριθμος, χρησιμοποιώντας τιμές RSSI οι οποίες συλλέγονται από την περιοχή ενδιαφέροντος και αφού πρώτα επιβεβαιωθεί ότι οι τιμές αυτές ανήκουν στο πλαίσιο οριοθέτησης Ελαχίστου (Min) – Μεγίστου (Max), μέσω της τεχνικής του τριπλευρισμού υπολογίζει τη θέση του ζητούμενου κινητού σημείου. Ενδείκνυται η χρήση ψηφιακών φίλτρων για την εξαγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων [5].

Η συγκεκριμένη τεχνική εμπίπτει στην κατηγορία των Εκτός Οπτικού Πεδίου Αλγορίθμων (Non Line of Sight Algorithms, NLoS). Το NLoS μοντέλο ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency, RF), παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού και κατάδειξης της απόστασης του ζητούμενου κινητού στοιχείου μέσω λογαριθμικής συσχέτισης αυτής με τις ένδειξης RSSI [6].

Επιπροσθέτως, παροντικά έχει μελετηθεί ένα μοντέλο εντοπισμού εσωτερικού χώρου κατάλληλο για τη συχνότητα των 2.4 GHz, όπου συνδυάζει την ένδειξη RSSI με την τεχνική του τριπλευρισμού. Το συγκεκριμένο μοντέλο, χρησιμοποιεί τρία πανομοιότυπα Σημεία Πρόσβασης (Access Points, APs) τα οποία, με βάση τη μορφή τυποποίησης του πρωτοκόλλου IEEE 802.11nwifi, λειτουργούν ως Clients, ενώ ταυτόχρονα μια ασύρματη συσκευή (κινητό τηλέφωνο, tablet, laptop, κτλ.) μετρά και αποστέλλει την λαμβανόμενη ισχύ σήματος, για κάθε ένα από τα τρία APs, σε μία βάση δεδομένων στον υπάρχοντα Διακομιστή (Server) [7].

Με την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας, η ανάπτυξη συστημάτων και λύσεων που αφορούν σε εσωτερικό εντοπισμό, αποτελεί μια διαδικασία πολλά υποσχόμενη αλλά ταυτόχρονα και πολύπλοκη. Ορισμένα από τα βασικότερα προβλήματα που προκύπτουν στον εντοπισμό σημείου σε εσωτερικό περιβάλλον, είναι η κατασκευή χάρτη για τον χώρο στον οποίο θέλουμε να τελεστεί ο εντοπισμός, η εύρεση και επιλογή των καταλληλότερων

σημείων και αλγορίθμων, καθώς και η τοποθέτηση των καταλληλότερων συσκευών εντοπισμού μέσα στο κτίριο [20].

Τέλος, στις δράσεις της Παγκόσμιας Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union, ITU) [8] που αφορούν στον εσωτερικό εντοπισμό, εξετάζονται μοντέλα απόσβεσης (Path Loss, PL), οι παράγοντες που τα επηρεάζουν, καθώς επίσης υπολογίζονται και χρήσιμα προς επεξεργασία μεγέθη και δείκτες.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι μέχρι σήμερα έχει διεξαχθεί πλούσια έρευνα σε μεμονωμένες τεχνικές που αφορούν στο πεδίο του εσωτερικού εντοπισμού, ενώ επίσης έχουν τελεσθεί μελέτες με προσανατολισμό στην καταλληλότερη επιλογή των αισθητήρων του συστήματος εντοπισμού που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση, αφού ο εντοπισμός καθίσταται στην πλειονότητα των περιπτώσεων δυσχερές μέσω της χρήσης τυπικών μεθόδων τρόπων, όπως είναι η χρήση των υπερήχων ή της υπέρυθρης ακτινοβολίας [8].

1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί και θα εφαρμοστεί ένα μοντέλο εσωτερικού εντοπισμού το οποίο εξάγει τις πληροφορίες που χρειάζεται μέσω σημάτων WIFI. Αναλυτικότερα, θα εξεταστεί αν ο συνδυασμός της ένδειξης RSSI με την τεχνική του τριπλευρισμού μπορεί να οδηγήσει σε ακριβή αποτελέσματα.

Για τον σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθούν τέσσερα όμοια APs προκειμένου να εξασφαλιστεί η ίδια εκπεμπόμενη ισχύς σήματος, τρία εκ των οποίων θα λειτουργούν ως clients, οι χωρικές συντεταγμένες των οποίων θα αποτελούν τα κέντρα των κύκλων της τεχνικής του τριπλευρισμού, ενώ το τέταρτο AP θα κατέχει τον ρόλο της ασύρματης, κινητής συσκευής που θα εξάγει την τιμή της έντασης της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος, θα τη μετατρέπει σε απόσταση μέσω της εφαρμογής των κατάλληλων μαθηματικών τύπων, και θα την αποστέλλει στη βάση δεδομένων του server. Για τη μείωση της επίδρασης του θορύβου κατά την εξαγωγή της ένδειξης RSSI από τα τρία clients, θα λάβει χώρα χρήση ενός ψηφιακού μονοδιάστατου φίλτρου Kalman.

1.5 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα που θα υλοποιηθεί στην παρούσα εργασία με σκοπό τον εντοπισμό θέσης σημείων, αντικειμένων και ανθρώπων σε εσωτερικό χώρο, θα στηρίζει τη λειτουργία του στην ύπαρξη ενός client και τριών access points ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής ακρίβεια σε δράσεις εντοπισμού οι οποίες αφορούν σε τομείς και πραγματικές εφαρμογές που σχετίζονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Σε μια τέτοια βάση, το προτεινόμενο σύστημα θα μπορεί να εισαχθεί σε εφαρμογές όπως το tracking and tracing, το οποίο αφορά στο πεδίο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, και το personal navigation, όπου παρατηρείται μια ανάγκη για ενίσχυση των δυνατοτήτων που σχετίζονται με τον εντοπισμό.

Αναλυτικότερα, σε σχέση με το πεδίο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, προκειμένου να αναπτυχθούν εφαρμογές οι οποίες χρησιμοποιούν τις σύγχρονες πρακτικές εντοπισμού και ανίχνευσης, η δομή ανάπτυξης που χρησιμοποιείται απαρτίζεται από τρία στρώματα: τη φυσική στρώση, η οποία αφορά στην κωδικοποίηση των στοιχείων, το στρώμα πληροφοριών που περιλαμβάνει την αρχιτεκτονική πληροφόρησης και τέλος, το στρώμα ελέγχου στο οποίο εμπίπτουν οι διαδικασίες του σχεδιασμού και του ελέγχου. Η συγκεκριμένη μορφοποίηση παρέχει τη δυνατότητα για την ύπαρξη μιας συνεπούς και συστηματικής οργάνωσης των εννοιών tracking and tracing. Επιπλέον, η δομή αυτή, διευκολύνει τον προσδιορισμό του εύρους των εφαρμογών παρακολούθησης και ανίχνευσης, οι οποίες έχουν διαχειριστική αξία, καθιστώντας ευκολότερες τις δράσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και των logistics [21]. Προχωρώντας, σε σχέση με τον τομέα του personal navigation, ακόμα και σήμερα, παρά τη μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας που έχει επιτελεστεί στο εν λόγω πεδίο navigation σε εσωτερικούς χώρους, ανακύπτουν τεράστιες προκλήσεις οι οποίες σχετίζονται με τους παράγοντες της αξιοπιστίας και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Παρ' ότι στο εξωτερικό περιβάλλον οι εφαρμογές εντοπισμού, οι οποίες περιέχονται σε αρκετές κινητές συσκευές πλοήγησης, μπορούν να παρέχουν αποδεκτή ακρίβεια τοποθέτησης κάνοντας χρήση του GPS, η κατάσταση στο εσωτερικό περιβάλλον είναι διαφορετική. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν εναλλακτικές λύσεις οι οποίες αφορούν στη χρήση Wi-Fi, υπερευρείας ζώνης (Ultra-wideband, UWB), ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνότητων (Radio Frequency Identification, RFID), αυτοτελών αισθητήρων, καθώς και βοηθητικών υπηρεσιών απεικόνισης του χώρου, προκειμένου να

επιτευχθεί η λύση του προβλήματος εντοπισμού θέσης με το χαμηλότερο δυνατό κόστος [22].

1.6 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Όσον αφορά στη δομή της εργασίας, το κύριο μέρος αυτής απαρτίζεται από δύο κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται τα σημαντικότερα μοντέλα εντοπισμού σημείου σε εσωτερικούς χώρους, ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί το πρακτικό κομμάτι της εργασίας, λαμβάνει χώρα η ανίχνευση του πιο αποδοτικού συνδυασμού client / σημείων πρόσβασης με τη χρήση της τεχνικής του τριπλευρισμού, η οποία ανήκει στις τεχνικές του πλευρισμού, καθώς και του αλγόριθμου της ένδειξης της λαμβανόμενης ισχύος σήματος.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται μοντέλα εντοπισμού τα οποία βασίζονται στις τεχνικές του τριγωνισμού, της εγγύτητας, της ανάλυσης όρασης και του πλευρισμού. Επιπρόσθετα, λαμβάνει χώρα η θεωρητική προσέγγιση της έννοιας του εντοπισμού σημείου καθώς και η καταγραφή προσεγγίσεων για την υλοποίηση διαδικασιών εντοπισμού. Τέλος, αναλύονται αλγόριθμοι εντοπισμού σημείου σε εσωτερικό χώρο όπως είναι η γωνία άφιξης, ο χρόνος άφιξης, η διαφορά χρόνου άφιξης και ο αλγόριθμος ένδειξης της λαμβανόμενης ισχύος σήματος και αποτυπώνονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών. Στο δεύτερο μέρος, πραγματοποιούνται οι αναλύσεις που αφορούν στο σκοπό του πρακτικού μέρους, ενώ αποτυπώνεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, η διάταξη του συστήματος και η αντίστοιχη μαθηματική διαδικασία. Τέλος, λαμβάνει χώρα η παρουσίαση και συζήτηση των αποτελεσμάτων, ενώ καταδεικνύονται συμπεράσματα και προτάσεις στη βάση των ευρημάτων που προέκυψαν.

2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ

Τα τελευταία χρόνια, ο εντοπισμός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά σημείου σε εσωτερικούς χώρους, συναγωνίζεται σε αποτελεσματικότητα και ακρίβεια τον εντοπισμό σε εξωτερικούς χώρους, που, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο της εισαγωγής, κατά κύριο λόγο γίνεται με τη βοήθεια GPS αλλά και μέσω άλλων μεθόδων και τεχνικών με εξέχουσα τη χρήση τραπεζιομερών χαρτών η οποία εφαρμόζεται στην επιστήμη της υπολογιστικής γεωμετρίας [9]. Στην περίπτωση του εσωτερικού εντοπισμού, λόγω της αδυναμίας χρήσης GPS, καθίσταται απαραίτητη η χρήση άλλων πιο αποτελεσματικών μεθόδων και τεχνικών.

Μια διαδικασία εντοπισμού σε κλειστό χώρο μπορεί να αναζητά πρόσωπα, αντικείμενα, κινητά τηλέφωνα κτλ. σε ένα χώρο εμπορικού κέντρου, αεροδρομίου, νοσοκομείου κ.α.. Οι εφαρμογές του εσωτερικού εντοπισμού μπορεί να αφορούν:

- Στην καθοδήγηση επισκεπτών σε ένα μεγάλης έκτασης εσωτερικό περιβάλλον όπως είναι αυτό ενός εμπορικού κέντρου, ενός εκθεσιακού χώρου ή κάποιου χώρου στάθμευσης οχημάτων.
- Στον έλεγχο των ηλεκτρικών συσκευών μιας κατοικίας, όπως ο κλιματισμός, η θέρμανση ή ο φωτισμός.
- Στις Υπηρεσίες Γνώσης Περιεχομένου (Context Awareness Services, CAS) που απαιτούνται σε συστήματα εφαρμογών όπως αυτά που σχετίζονται με την κοινωνική δικτύωση τα οποία απαιτούν τη χρήση τοποθεσίας.
- Σε ηλεκτρονικές υπηρεσίες υγείας, όπως είναι ο εντοπισμός και η παρακολούθηση της κίνησης των ασθενών σε ένα νοσοκομειακό ίδρυμα.
- Σε δράσεις της βιομηχανίας εμπορίου όπως είναι η ανάλυση της κινητικότητας των πελατών καθώς και η στοχευμένη διαφήμιση στα εμπορικά κέντρα.

Η δράση του εντοπισμού, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, λαμβάνει χώρα με τη βοήθεια ενός ασύρματου δικτύου στο οποίο εμπεριέχονται πληθώρα άλλων συσκευών με διαφορετικά λειτουργικά συστήματα και ποικίλα πρωτόκολλα επικοινωνίας [9].

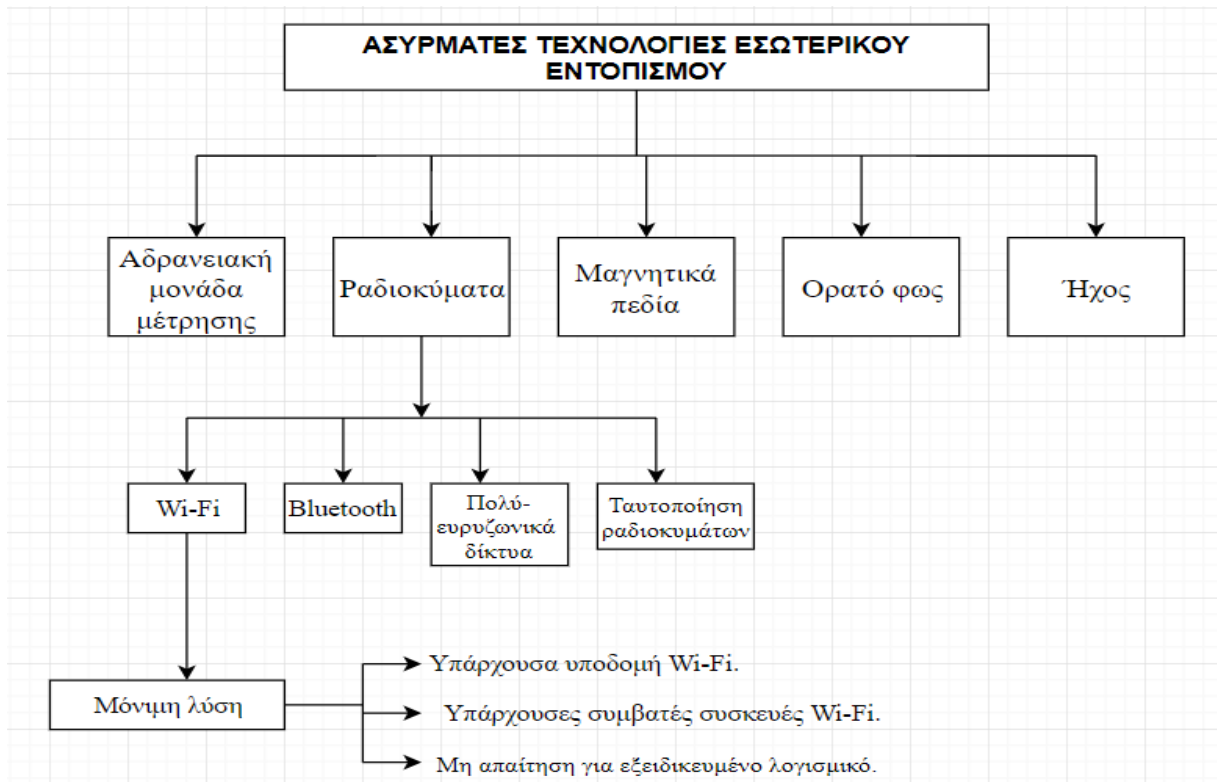
Εν γένει, ο εντοπισμός θέσης σε εσωτερικό περιβάλλον, αν και στη θεωρία φαίνεται σχετικά απλός ως προς την επίτευξή του, καθώς βασίζεται στη γενική ιδέα ότι η αναγνώριση της θέσης ενός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά κάποιου σημείου μπορεί να πραγματοποιηθεί με την βοήθεια ορισμένων σταθερών κόμβων (anchors), στην πράξη καθίσταται αρκετά δυσχερής και πολύπλοκος διότι συναντώνται ορισμένα φυσικά και μη εμπόδια τα οποία πρέπει να ξεπεραστούν καθώς εισάγουν θόρυβο στο σύστημα επηρεάζοντας έτσι τα μεταδιδόμενα σήματα. Ως θόρυβος ορίζεται οποιασδήποτε ανεπιθύμητο σήμα διαδίδεται μαζί με το επιθυμητό και μπορεί να οφείλεται κυρίως σε τρεις παράγοντες [10]:

- Στις υπάρχουσες παρεμβολές μεταξύ διαφορετικών σημάτων, όπως για παράδειγμα τα σήματα δύο ή περισσότερων routers που γειτνιάζουν.
- Στις φυσικές θέσεις των αντικειμένων καθώς και των προσώπων που υπάρχουν σε έναν χώρο, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά την μετάδοση των σημάτων, λόγω των ανακλάσεων και διαχύσεων πάνω σε αυτά τα εμπόδια.
- Στην ίδια την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών η οποία κατά κανόνα είναι αναξιόπιστη καθώς οι περισσότερες μέθοδοι και τεχνικές εξάγουν τα αποτελέσματά τους μέσω εμπειρικών μαθηματικών τύπων.

Για τον σχεδιασμό ενός συστήματος εντοπισμού θέσης για κλειστούς χώρους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί με την πάροδο του χρόνου. Ο εντοπισμός καθίσταται εφικτός μέσω της χρήσης [3]:

- Υπέρυθρης ακτινοβολίας,
- Υπερήχων,
- Ραδιοσυχνοτήτων,
- Ακουστικών ήχων, καθώς και
- Φωτός.

Στο ακόλουθο σχήμα συνοψίζονται οι διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό εσωτερικού σημείου, μέσω χρήσης ασύρματων τεχνολογιών.



Σχήμα 1. Ασύρματες τεχνολογίες για εφαρμογές εσωτερικού εντοπισμού [3].

2.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ

Γενικά, οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται, προκειμένου να υλοποιηθεί ο εντοπισμός σημείου ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες [4]:

- Σε αυτές που σχετίζονται με τη μέτρηση του βεληνεκούς (Range Measurement) και
- Σε αυτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο του δακτυλικού αποτυπώματος (Fingerprinting).

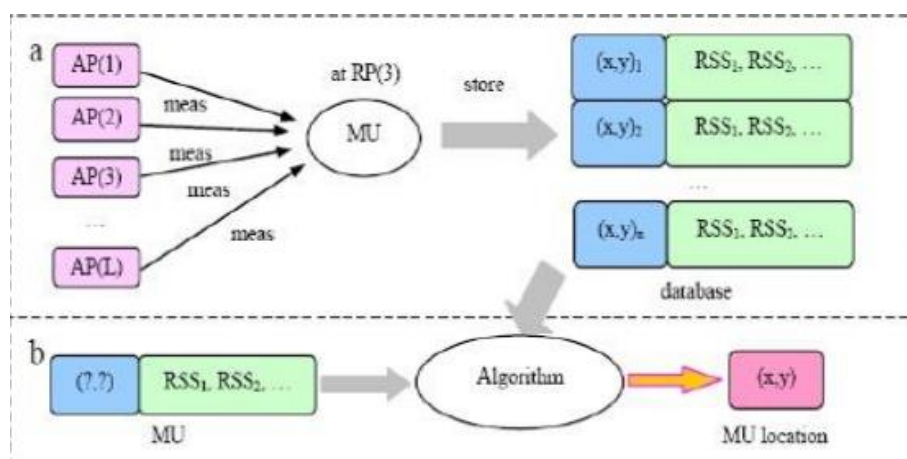
Στην πρώτη κατηγορία αξιολογείται η απόσταση μεταξύ αντικειμένων, χρησιμοποιώντας τις λεγόμενες δέσμες αναφοράς (Reference Beacons), οι οποίες περιλαμβάνουν τις απαραίτητες πληροφορίες για το σήμα ενδιαφέροντος [11] και βασίζουν τη λειτουργία τους στο μοντέλο πτήσης απόστασης-χρόνου (Distance to Time Flight Model),

δηλαδή χρησιμοποιούν το χρόνο που απαιτείται για το σήμα ώστε αυτό να φτάσει από την πηγή μετάδοσης στον παραλήπτη, ή εναλλακτικά στην απώλεια ισχύος του σήματος. Ο υπολογισμός της θέσης του ζητούμενου σημείου καθίσταται εφικτός χρησιμοποιώντας την μετρούμενη απόσταση από πολλαπλές δέσμες αναφοράς, οι οποίες έχουν γνωστές θέσεις.

Όσον αφορά στη δεύτερη κατηγορία, αυτή όπως ειπώθηκε στηρίζεται στη μέθοδο του δακτυλικού αποτυπώματος, η οποία αποτελεί μία τεχνική που χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των συστημάτων που έχουν ως βάση για την εξαγωγή των μετρήσεων την ένδειξη RSSI. Η τεχνική του fingerprinting αποτελείται από δύο φάσεις:

- Στην πρώτη φάση, την φάση εκπαίδευσης, χρησιμοποιούνται ως δακτυλικό αποτύπωμα ενδείξεις RSSI ώστε να αποθηκευτούν στην βάση δεδομένων του υπάρχοντος συστήματος με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια.
- Στην δεύτερη φάση, λαμβάνονται νέες μετρήσεις RSSI της κινητής μονάδας (Mobile Unite, MU) με κάθε ένα από τα APs ξεχωριστά και συγκρίνονται με αυτές που ήδη υπάρχουν μέσα στην βάση δεδομένων από την προηγούμενη φάση ώστε να αναγνωριστούν τα APs που ταιριάζουν καλύτερα. Τέλος, χρησιμοποιούνται ντετερμινιστικοί και πιθανοτικοί αλγόριθμοι, ώστε οι τιμές των ενδείξεων RSSI πραγματικού χρόνου να ταυτοποιηθούν με τα δεδομένα των σημάτων.

Στο σχήμα που ακολουθεί αναπαρίσταται γραφικά οι δύο φάσεις της τεχνικής του δακτυλικού αποτυπώματος που προαναφέρθηκαν.



Σχήμα 2. Ανάλυση των δύο φάσεων του fingerprinting [12].

2.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ

Στις μέρες, ολοένα και περισσότερες υπηρεσίες και εφαρμογές βασίζονται στην πληροφορία της τοποθεσίας του χρήστη (Localization Based Services, LBS). Για την υλοποίηση και λειτουργία των παραπάνω υπηρεσιών και εφαρμογών καθίσταται απαραίτητος ο εντοπισμός θέσης, δηλαδή η εκτίμηση της τοποθεσίας ενός ανθρώπου, αντικειμένου ή σημείου μέσα σε έναν χώρο ή γενικά σε ένα κλειστό ή ανοιχτό περιβάλλον. Στην πορεία του χρόνου, έχει έρθει στο φως μια πληθώρα τεχνολογιών και τεχνικών που επιτελούν το παραπάνω έργο. Σήμερα, είναι γνωστό το γεγονός ότι ο μέσος άνθρωπος περνά περίπου το 90% του χρόνου του σε κλειστούς χώρους. Για τον λόγο αυτό, κρίθηκε επιτακτική η ανάγκη δημιουργίας εναλλακτικών αξιόπιστων συστημάτων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους, καθώς το GPS δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση εξαιτίας της πολύ μεγάλης απόσβεσης σήματος που παρατηρείται λόγω της ύπαρξης πλήθους κινητών και ακίνητων αντικειμένων στους εσωτερικούς χώρους, σύμφωνα με τα προηγούμενα.

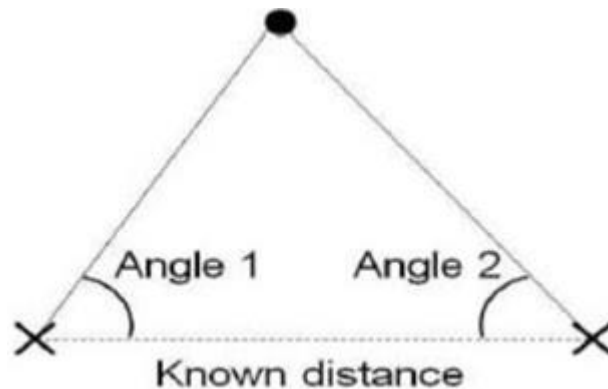
Στον εντοπισμό στοιχείων εσωτερικού χώρου, χρησιμοποιείται ένας αριθμός μοντέλων που βασίζονται σε διαφορετικές μεθόδους και φιλοσοφίες. Οι κυριότερες και πιο γνωστές τεχνικές που επιτυγχάνουν τον εντοπισμό ενός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά σημείου σε κλειστούς χώρους είναι [3]:

- Η τεχνική του Τριγωνισμού (Triangulation)
- Η τεχνική της Εγγύτητας
- Η Τεχνική Ανάλυσης Όρασης
- Οι Τεχνικές Πλευρισμού (Lateration)

2.3.1 ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ (TRIANGULATION)

Ο τριγωνισμός αποτελεί διαχρονική τεχνική η οποία εκτός από την πιο πρόσφατη εφαρμογή της στο πεδίο του εντοπισμού θέσης, χρησιμοποιείται και σε ευρύτερες επιστήμες όπως η τοπογραφία και η χαρτογραφία. Εν γένει, αποτελεί παγιωμένη τεχνική για τον προσδιορισμό της θέσης ενός ανθρώπου, ενός αντικειμένου ή γενικά ενός σημείου, καθώς και για γενικότερες δράσεις όπως η χάραξη ενός τεχνικού έργου, η οποία στηρίζεται στην αποτύπωση του γήινου χώρου [3].

Η βασική ιδέα της τεχνικής αυτής έγκειται στο γεγονός ότι αν γνωρίζουμε δυο γωνίες και μία πλευρά ενός τριγώνου, μπορούμε να υπολογίσουμε όλα τα υπόλοιπα στοιχεία αυτού.



Σχήμα 3. Βασική αρχή τεχνικής τριγωνισμού [12].

Ως Τριγωνισμός (Triangulation), ή εναλλακτικά ως Τριγωνικό Δίκτυο, ορίζεται ένα σύνολο σημείων πάνω σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια αναφοράς, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με γωνίες και αποστάσεις που δύναται να μετρηθούν [13].

Σε ένα πιο συγκεκριμένο πλαίσιο, κατά την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου, μετρώνται οι γωνίες από τα άκρα μιας επιλεγμένης γνωστής βάσης προς το σημείο που καλούμαστε να αποτυπώσουμε. Η βάση, η οποία συνήθως αποτελεί ένα ευθύγραμμο τμήμα με γνωστό μήκος, σχεδιάζεται σε ένα μέσο αποτύπωσης, με το σημείο τομής των πλευρών των γωνιών να δίνει το νέο σημείο αναφοράς. Στην πράξη, η τεχνική εφαρμόζεται σε εκτεταμένα δίκτυα σταθμών τα οποία δημιουργούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν τριγωνικές απεικονίσεις μεταξύ τους, τις λεγόμενες αλυσίδες τριγώνων. Στη βάση της διαδικασίας που αναλύθηκε προηγουμένως, λαμβάνει χώρα η μέτρηση των γωνιών αυτών των τριγώνων καθώς και μιας απόστασης σε κάποιο σημείο του τριγωνισμού, η οποία καθορίζει εκτός από το σχήμα και το μέγεθος του δικτύου [3].

Εν γένει, μπορεί να καταδειχτεί ότι η τεχνική του τριγωνισμού εφαρμόζεται στη βάση δύο συνιστωσών. Αυτές οι συνιστώσες είναι η πλευρικότητα και η γωνιότητα. Η πρώτη εκτιμά τη θέση ενός σημείου μετρώντας τις αποστάσεις αυτού από πολλά, διαφορετικά σημεία αναφοράς. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα με έμμεσο τρόπο με χρήση των μεθόδων RSSI (Received Signal Strength), ToA (Time of Arrival) ή TDoA (Time Difference of Arrival) οι οποίες θα αναλυθούν στα επόμενα. Μετά το πέρας της διαδικασίας πραγματοποιείται ο υπολογισμός της ζητούμενης απόστασης μέσω εμπειρικών μαθηματικών

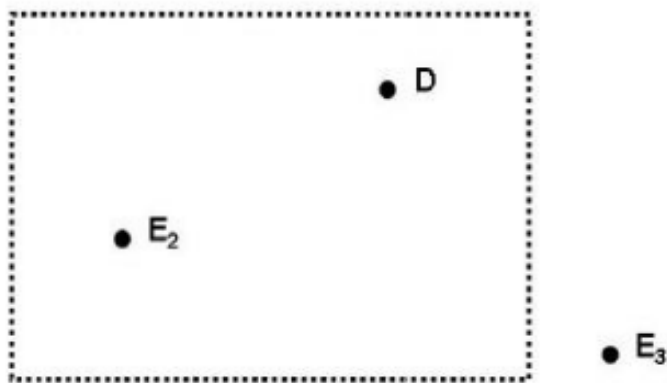
τύπων. Όσον αφορά στη συνιστώσα της γωνιότητας, αυτή «τοποθετεί» ένα αντικείμενο υπολογίζοντας γωνίες σε σχέση με πολλά σημεία αναφοράς. Αυτή είναι και η διαφοροποίησή της με τη συνιστώσα της πλευρικότητας, η οποία όπως ειπώθηκε έχει ως βάση τη διάσταση και όχι τη γωνία [12].

Τέλος, αξίζει να τονιστεί ότι παλαιότερα, τα πρωτεία στα εθνικά συστήματα αναφοράς για τον εντοπισμό θέσης κατείχαν τα εθνικά δίκτυα. Σήμερα όμως, την πρώτη θέση της μεθοδολογίας των τριγωνισμών κατέχουν οι σταθμοί μόνιμου χαρακτήρα των δορυφορικών συστημάτων, δηλαδή δέκτες οι οποίοι βρίσκονται διάσπαρτοι σε ολόκληρη την επικράτεια της χώρας και έχουν τη δυνατότητα να αντλούν διαρκώς και σε πραγματικό χρόνο παρατηρήσεις από όλους τους δορυφόρους με τους οποίους μπορούν να επικοινωνούν. Στην πράξη, οι πληροφορίες των παραπάνω σταθμών συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο σε ένα κατάλληλα επιλεγμένο κέντρο ελέγχου, και εν συνεχεία διαμοιράζονται στους ενδιαφερόμενους χρήστες τα στοιχεία του σταθμού αναφοράς ώστε να καταστεί εφικτός ο εντοπισμός της θέσης μέσω της τεχνικής του τριγωνισμού. Υπό αυτό το πρίσμα, ο εκάστοτε χρήστης καθίσταται διαρκώς ικανός να προσδιορίζει τη θέση ενός σημείου με αυξημένη ακρίβεια, με τη θέση αυτή να μπορεί να εκφραστεί είτε στη βάση ενός εθνικού είτε στα πλαίσια ενός παγκόσμιου συστήματος αναφοράς, χωρίς να ανακύπτει η ανάγκη για τοποθέτηση δέκτη σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες [13].

2.3.2 Τεχνική της Εγγύτητας (Proximity Technique)

Η τεχνική αυτή μελετά και συγκρίνει τη θέση ενός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά ενός σημείου, σε σχέση με μία γνωστή θέση ή περιοχή. Προκειμένου να εφαρμοστεί η τεχνική αυτή, θα πρέπει σε αρχικό πλαίσιο να καθοριστεί ο αριθμός των κόμβων (anchors) οι οποίοι θα τοποθετηθούν σε γνωστές θέσεις, οι οποίες προφανώς δεν δημιουργούν την ανάγκη για εντοπισμό μιας και είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους. Κατά την πρακτική εφαρμογή της τεχνικής της εγγύτητας, όταν ένας στόχος εντοπιστεί από έναν ανιχνευτή, τότε αυτός θεωρείται ότι βρίσκεται στην περιοχή εγγύτητας του εν λόγω ανιχνευτή [12].

Ενδεικτικά, στο παράδειγμα που αποτυπώνεται στο σχήμα 4 που ακολουθεί, τα σημεία E_2 και E_3 αποτελούν στόχους, με το σημείο E_2 να βρίσκεται εντός της περιοχής εγγύτητας του ανιχνευτή D (ορθογώνιο που οριοθετείται από το πλαίσιο τελειών) και το σημείο E_3 να βρίσκεται εκτός αυτής.

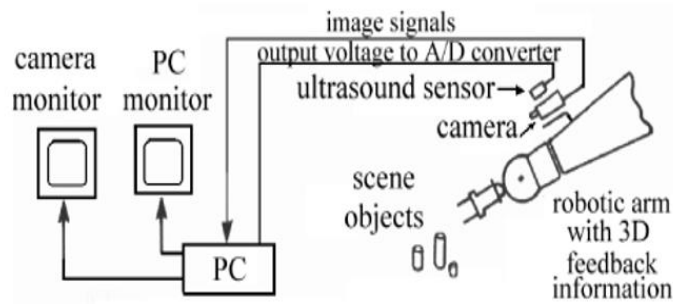


Σχήμα 4. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου εφαρμογής τεχνικής της Εγγύτητας [12].

2.3.3 Τεχνική Ανάλυσης Όρασης (Vision Analysis Technique)

Στόχος της συγκεκριμένης τεχνικής είναι η παρακολούθηση μιας μεγάλης περιοχής περιμετρικά ενός αντικειμένου ενδιαφέροντος, μέσω της χρήσης ενός ή περισσοτέρων σημείων τα οποία λειτουργούν ως κάμερες. Προκειμένου να εφαρμοστεί η τεχνική αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εκτός από κάμερες, διατάξεις αισθητήρων, όπως για παράδειγμα αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας [12].

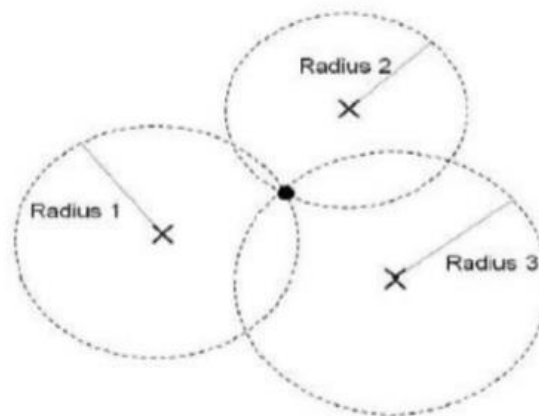
Αναλυτικότερα, οι εικόνες που λαμβάνουν οι κάμερες ή εναλλακτικά οι αισθητήρες, συγκρίνονται με αυτές που προϋπάρχουν σε μια βάση δεδομένων έτσι ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή μιας εκτίμησης της ζητούμενης θέσης. Απεικονιστικά, στο ακόλουθο σχήμα αναπαρίστανται τα τερματικά της κάμερας και του ηλεκτρονικού υπολογιστή καθώς και ο τρόπος σύνδεσης αυτών με το φορητό υπολογιστή του συστήματος, ο οποίος εξάγει και αποστέλλει μια αναλογική τάση σε έναν αισθητήρα υπερήχων. Ταυτόχρονα, εισάγονται στο σύστημα σήματα υπό μορφή εικόνας, προκειμένου να υπολογιστεί η θέση των αντικειμένων στο χώρο, με μια διάταξη μηχανικού βραχίονα, σε τελευταίο στάδιο, να παρέχει πληροφορίες για τον επιτυχή εντοπισμό των σημείων ή αντικειμένων ενδιαφέροντος, μέσω της κατάδειξης επαφής ή όχι αυτού με τα ζητούμενα σημεία ή αντικείμενα. Ο μηχανικός βραχίονας, ο οποίος έχει τη δυνατότητα για παροχή στο σύστημα πληροφορίας τριών διαστάσεων, αποτελεί απαραίτητη συνιστώσα της διαδικασίας εντοπισμού, μιας και είναι αυτός μέσω του οποίου λαμβάνεται εικόνα των προς διερεύνηση σημείων ή αντικειμένων, με την απαιτούμενη ακρίβεια της διαδικασίας να εξασφαλίζεται μέσω της διαδικασίας της ανάδρασης,



Σχήμα 5. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου εφαρμογής τεχνικής της Ανάλυσης Όρασης [12].

2.3.4 Τεχνικές Πλευρισμού (Lateration Techniques)

Οι τεχνικές του Πλευρισμού (Lateration), Τριπλευρισμού (Trilateration) καθώς και του Πολυπλευρισμού (Multilateration) προσδιορίζουν τη θέση ενός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά σημείου μέσω του υπολογισμού της απόστασης του ζητούμενου σημείου από κάποια σημεία αναφοράς των οποίων οι θέσεις είναι γνωστές και επομένως, και σε αυτή την περίπτωση, δεν προκύπτει η ανάγκη για τον εντοπισμό τους. Στο ακόλουθο σχήμα, παρίσταται η τεχνική του τριπλευρισμού κατά την οποία υπολογίζεται η θέση του σημείου ενδιαφέροντος μετρώντας τις αποστάσεις από τουλάχιστον τρία σταθερά σημεία αναφοράς.



Σχήμα 6. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου εφαρμογής της τεχνικής του Τριπλευρισμού [12].

Η συγκεκριμένη τεχνική θα αναλυθεί περαιτέρω στο πρακτικό κομμάτι της παρούσας εργασίας, μιας και αποτελεί χρησιμοποιούμενη μέθοδο για την περαίωση αυτού.

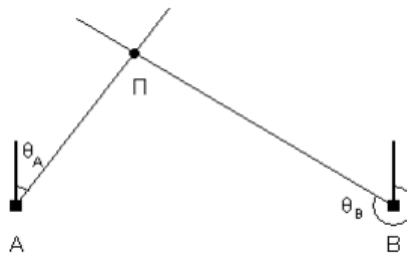
2.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΘΕΣΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί τρία βασικά είδη αλγορίθμων τα οποία υπολογίζουν τη θέση ενός ανθρώπου, αντικειμένου ή γενικά σημείου σε εσωτερικούς χώρους. Οι τρεις αυτοί αλγοριθμικοί τύποι, οι οποίοι στο σύνολό τους εντάσσονται στο πεδίο του ασύρματου εντοπισμού, είναι οι επόμενοι [12]:

- Οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε υπολογισμό γωνιών:
 - Αλγόριθμος της Γωνίας Άφιξης (Angle of Arrival, AoA)
- Οι αλγόριθμοι που βασίζονται στο χρόνο:
 - Αλγόριθμος του Χρόνου Άφιξης (Time of Arrival, ToA)
 - Αλγόριθμος της Διαφοράς Χρόνου Άφιξης (Time Difference of Arrival, TDoA)
- Οι αλγόριθμοι υπολογισμού της έντασης του σήματος:
 - Αλγόριθμος της Ένδειξης της Λαμβανόμενης Ισχύος Σήματος (Received Signal Strength Indicator, RSSI).

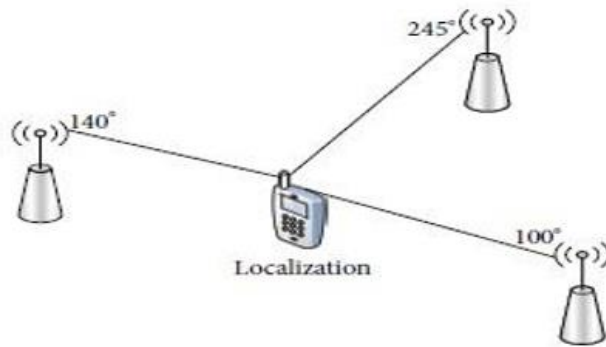
2.4.1 Γωνία Άφιξης (Angle of Arrival, AoA)

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση γωνιών προς το στόχο, ώστε με επίλυση του σχηματιζόμενου τριγώνου να υπολογίζεται η θέση αυτού. Δύο σημεία πρόσβασης είναι αρκετά ώστε να προσδιοριστεί πλήρως η θέση του ζητούμενου στόχου στο δισδιάστατο χώρο.



Σχήμα 7. Γραφική αναπαράσταση του αλγορίθμου Γωνίας Άφιξης σε δύο διαστάσεις [14].

Αν όμως χρειάζεται η αύξηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων ή η εφαρμογή της τεχνικής αυτής στον τρισδιάστατο χώρο, τότε απαιτούνται μία ή περισσότερες επιπλέον μετρήσεις, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης μέσω του τριγωνισμού.



Σχήμα 8. Γραφική αναπαράσταση του αλγορίθμου Γωνίας Άφιξης σε τρεις διαστάσεις [12].

Η μέτρηση της γωνίας καθίσταται εφικτή είτε με μηχανική περιστροφή μίας κατευθυντικής κεραίας, είτε με χρήση στοιχειοκεραίας, η χρήση της οποίας προσδίδει μεγαλύτερη ευελιξία και έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Στην περίπτωση της στοιχειοκεραίας, υπολογίζεται η διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων λήψης ώστε να βρεθεί, μέσω της εφαρμογής των κατάλληλων εμπειρικών τύπων, η διεύθυνση προέλευσης του σήματος [12].

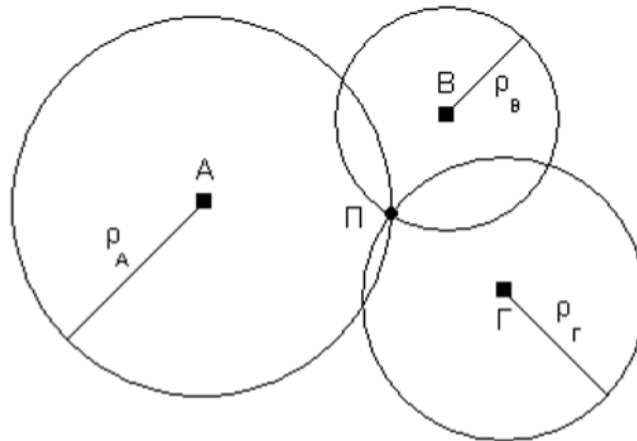
Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι, ότι δεν χρειάζεται καμία πρόσθετη λειτουργία στο δίκτυο ώστε να καταστεί δυνατή η εκτέλεσή της. Σε περιβάλλοντα όμως όπου υπάρχουν φυσικά εμπόδια, η ακρίβεια της μεθόδου μειώνεται σημαντικά λόγω της δυσχερέστερης ανίχνευσης της πραγματικής διεύθυνσης προέλευσης του σήματος εξαιτίας της ανάπτυξης φαινομένων ανάκλασης. Έτσι, η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε χώρους όπου κατά κύριο λόγο υπάρχει οπτική επαφή με την πηγή εκπομπής του σήματος [14].

2.4.2 Χρόνος Άφιξης (Time of Arrival, ToA)

Η μέθοδος του Χρόνου Άφιξης [14] ανήκει στην κατηγορία των αλγορίθμων οι οποίοι εξάγουν συμπεράσματα για τον εντοπισμό σε εσωτερικά περιβάλλοντα μέσω μετρήσεων χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να υπολογιστεί η απόσταση ανάμεσα στον κόμβο πρόσβασης ο οποίος έχει γνωστές συντεταγμένες και το προς εντοπισμό σημείο,

χρησιμοποιούνται μετρήσεις χρόνου, οι οποίες είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν αν και εφόσον τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται διασχίζουν το χώρο με γνωστή και σταθερή ταχύτητα.

Η συγκεκριμένη μέθοδος μας εισάγει στην γενικότερη κατηγορία μεθόδων εντοπισμού που στηρίζονται στον «πλευρισμό» (Lateration), δηλαδή στην εξαγωγή πληροφοριών για την θέση ενός σημείου με βάση την απόστασή του από κάποια, περισσότερα του ενός, γνωστά σημεία, τα οποία ταυτίζονται με τα σημεία πρόσβασης [12]. Για την ανάλυση που ακολουθεί θα θεωρήσουμε ότι όλα τα σημεία αναφοράς βρίσκονται στο ίδιο διδιάστατο επίπεδο, αν και η μέθοδος μπορεί εύκολα να γενικευτεί έτσι ώστε να εφαρμοστεί και στον τρισδιάστατο χώρο.



Σχήμα 9. Γραφική αναπαράσταση του αλγορίθμου Χρόνου Άφιξης [14].

Σύμφωνα το παραπάνω σχήμα, το οποίο αναπαριστά ένα σύστημα εντοπισμού με τη μέθοδο του χρόνου άφιξης, το σημείο τομής Π των τριών κύκλων είναι το ζητούμενο σημείο, οι αποστάσεις ρ_A , ρ_B και ρ_Γ είναι οι ακτίνες των κύκλων και Α, Β, Γ είναι τα κέντρα αυτών. Οι αποστάσεις ρ_A , ρ_B και ρ_Γ προκύπτουν από την εφαρμογή του τύπου:

$$\rho_x = c \times t_x$$

για κάθε κύκλο ξεχωριστά.

Για να εφαρμοστεί αποδοτικά η μέθοδος χρόνου άφιξης πρέπει να πληρούνται δύο βασικές προϋποθέσεις [14]:

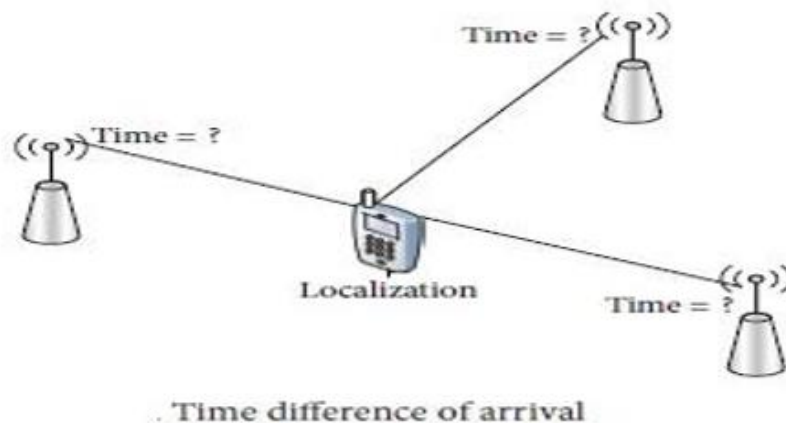
- Αρχικά, θα πρέπει να είναι γνωστή σε όλους τους κόμβους πρόσβασης, η χρονική στιγμή (t_0) της εκπομπής του εκάστοτε σήματος, προκειμένου να καταστεί εφικτός ο υπολογισμός της διαφοράς χρόνου και επομένως του χρόνου που απαιτείται για τη διάδοση του σήματος, μέσω της αφαίρεσης της στιγμής t_0 από τη χρονική στιγμή της λήψης.
- Εν συνεχεία, είναι απαραίτητος ο συγχρονισμός των ρολογιών του συστήματος προκειμένου να μην υπάρχει κανένα σφάλμα στον υπολογισμό του χρόνου διάδοσης. Αυτή η προϋπόθεση είναι πολύ σημαντική για τον λόγο ότι οι χρόνοι που υπολογίζονται είναι πάρα πολύ μικροί με αποτέλεσμα το παραμικρό σφάλμα στον χρόνο διάδοσης να έχει πολύ μεγάλη επίδραση στην ακρίβεια του εντοπισμού.

Η συγκεκριμένη μέθοδος, αν και σε θεωρητικό επίπεδο θεωρείται απλή στην εφαρμογή της, πρακτικά, η ακρίβεια συγχρονισμού η οποία απαιτείται, σύμφωνα με τα προηγούμενα, προκειμένου να εκτελεστεί ένας αξιόπιστος εντοπισμός, είναι δύσκολο να επιτευχθεί τόσο σε οικονομικό όσο και τεχνολογικό επίπεδο.

Πιο συγκεκριμένα, για την επίτευξη αποτελεσμάτων αυξημένης ακρίβειας, η ταχύτητα με την οποία θα πρέπει να διαδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα θα πρέπει να είναι αυτή του φωτός ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$). Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν με την συγκεκριμένη ταχύτητα υπό συνθήκες κενού, στην περίπτωση όμως ενός εσωτερικού χώρου και ειδικά σε περιβάλλοντα όπου τα σήματα υπόκεινται σε πολλές ανακλάσεις, εισάγεται θόρυβος στο σύστημα με επακόλουθο να μειώνεται σημαντικά η ακρίβεια των μετρήσεων εξαιτίας της αδυναμίας επίτευξης της ταχύτητας διάδοσης του φωτός. Σε μια τέτοια βάση, η θεώρηση ότι η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι σταθερή και ίση με την ταχύτητα του φωτός σε μια διαδικασία εντοπισμού σε εσωτερικό περιβάλλον, απέχει σημαντικά από την πραγματικότητα, όπου το μέσο διάδοσης στις περισσότερες περιπτώσεις όχι μόνο δεν είναι το κενό, αλλά δεν διακρίνεται καν από ομοιογένεια, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός μιας ισοδύναμης σταθερής ταχύτητας διάδοσης για το σύνολο των μετρήσεων. Ειδικά δε σε περιβάλλοντα πολλαπλών ανακλάσεων ή πολυ-διαδρομικής διάδοσης (multipath propagation), η εισαγόμενη διασπορά στο σήμα λήψης μειώνει ακόμη περισσότερο την ακρίβεια των μετρήσεων, ακόμα και αν ο συγχρονισμός που επιτυγχάνεται είναι σε αποδεκτό επίπεδο.

2.4.3 Αλγόριθμος της Διαφοράς Χρόνου Άφιξης (Time Difference of Arrival, TDoA)

Η συγκεκριμένη μέθοδος υιοθετείται σε μεγαλύτερο βαθμό από οποιαδήποτε άλλη, καθώς χρησιμοποιεί τις περισσότερες φορές ραδιοσήματα (Radio Frequency signals, RF signals) προκειμένου να τελέσει έναν εντοπισμό σε εσωτερικό περιβάλλον, τα οποία αποτελούν μια διαδεδομένη και χωρίς ιδιαίτερες τεχνικές δυσκολίες τεχνική. Όπως και οι τεχνικές του τριπλευρισμού και του πολυπλευρισμού, έτσι και αυτή εφαρμόζεται μεταξύ πολλών ζευγών σημείων αναφοράς των οποίων οι θέσεις είναι γνωστές, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη υπολογισμού αυτών. Η μέθοδος της διαφοράς χρόνου άφιξης χρησιμοποιεί για την δημιουργία αποτελεσμάτων, το σχετικό χρόνο που απαιτείται από τα σήματα να φτάσουν στα προαναφερθέντα ζεύγη των γνωστών σημείων [14].



Σχήμα 10. Γραφική αναπαράσταση του αλγορίθμου Διαφοράς Χρόνου Άφιξης [12].

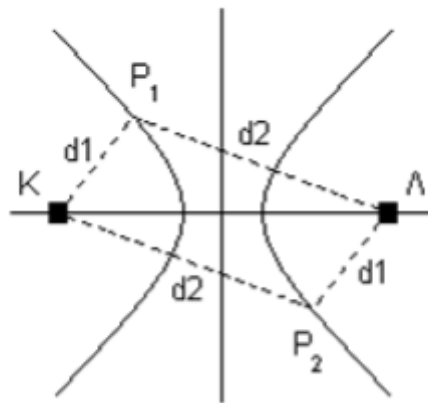
Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά στον τρόπο εφαρμογής της μεθόδου, ο client εκπέμπει ένα σύστημα σημάτων μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, το οποίο διαδίδεται και λαμβάνεται από τα γνωστά σημεία πρόσβασης, τα οποία συνήθως είναι τρία, σε χρόνους t_1 , t_2 και t_3 . Εν συνεχεία, από την ανά δύο διαφορά μεταξύ των χρόνων αυτών, καθίσταται δυνατή η συγκέντρωση πληροφοριών που αφορούν στην θέση του υπό εντοπισμό σημείου. Αναλυτικότερα, η διαφορά ανάμεσα στους χρόνους $|t_1 - t_2|$ αντιστοιχεί στη διαφορά ανάμεσα

στην απόσταση του κόμβου πρόσβασης 1 και του client και στην απόσταση του κόμβου πρόσβασης 2 και του client. Η διαφορά δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{R}{c_1} - \frac{R}{c_2} = t_1 - t_2$$

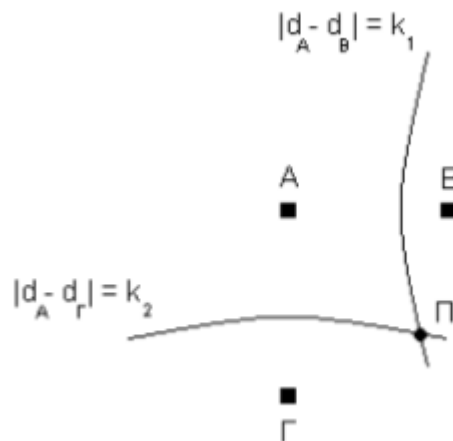
όπου c_1 είναι η ταχύτητα ενός είδους σήματος, c_2 είναι η ταχύτητα ενός άλλου είδους σήματος, t_1 και t_2 οι χρόνοι των δύο αυτών σημάτων που ταξιδεύουν μεταξύ των δύο κόμβων, και R η μεταξύ τους απόσταση [12]. Ομοίως για τις διαφορές $|t_2 - t_3|$ και $|t_3 - t_1|$.

Είναι γνωστό ότι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων των οποίων η διαφορά των αποστάσεων από δύο άλλα σημεία σταθερών συντεταγμένων είναι σταθερή, λέγεται υπερβολή.



Σχήμα 11. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο προσδιορίζεται σημείο σε εσωτερικό περιβάλλον μέσω της υπερβολής [14].

Προχωρώντας, προκειμένου να καθοριστεί η θέση του ζητούμενου σημείου στο επίπεδο, θα πρέπει να βρεθεί το σημείο τομής δύο υπερβολών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε καμπύλη απαιτεί για το σχηματισμό της δύο σημεία πρόσβασης, για τον εντοπισμό του ζητούμενου σημείου θα πρέπει να προσδιοριστούν τουλάχιστον τρία σημεία πρόσβασης. Εύκολα μπορεί να απορριφθεί το ένα σκέλος κάθε υπερβολής, αφού μέσα από τις μετρήσεις χρόνου συμπεραίνεται το κοντινότερο στον client, σημείο πρόσβασης. Στην περίπτωση που δεν μπορεί να τελεστεί ακριβής εντοπισμός θέσης σημείου με δύο καμπύλες εξαιτίας για παράδειγμα του γεγονότος ότι τέμνονται σε παραπάνω από ένα σημεία, ή απαιτείται να τελεστεί ο εντοπισμός σε τρισδιάστατο επίπεδο τότε είναι αναγκαία η προσθήκη μίας ή και περισσότερων καμπυλών.



Σχήμα 12. Εφαρμογή της μεθόδου TDoA με τρία σημεία πρόσβασης και δύο καμπύλες [14].

Επιλογικά, η μέθοδος της διαφοράς χρόνου άφιξης χρησιμοποιείται ευρέως από σύγχρονες και προηγμένες τεχνικές εντοπισμού σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας καθώς δεν χρειάζεται κανένας συγχρονισμός των ρολογιών του συστήματος, δηλαδή συγχρονισμός μεταξύ του ρολογιού του client και των κόμβων πρόσβασης. Το γεγονός αυτό, καθιστά την συγκεκριμένη μέθοδο σχετικά απλή και ευέλικτη στην υλοποίησή της [14].

2.4.4 Αλγόριθμος της Ένδειξης της Λαμβανόμενης Ισχύος Σήματος (Received Signal Strength Indicator, RSSI)

Στις προαναφερθείσες μεθόδους, δηλαδή σε αυτή του χρόνου άφιξης και σε αυτή της διαφοράς του χρόνου άφιξης, οι οποίες εντάσσονται στο πεδίο των τεχνικών του πλευρισμού και του τριπλευρισμού, για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και τον καθορισμό της θέσης του ζητούμενου σημείου, χρησιμοποιείται ο χρόνος που χρειάζεται το σήμα προκειμένου να φτάσει από τον client στους κόμβους πρόσβασης. Μια μέθοδος η οποία βασίζεται επίσης στις τεχνικές του τριπλευρισμού και του πλευρισμού είναι αυτή της Ένδειξης της Λαμβανόμενης Ισχύος Σήματος (Received Signal Strength Indicator, RSSI), η οποία όμως διαφοροποιείται σε σχέση με τις άλλες δύο στο γεγονός ότι τα αποτελέσματά της δεν στηρίζονται στον παράγοντα του χρόνου αλλά στην ένταση του μεταφερόμενου ηλεκτρομαγνητικού σήματος [14].

Η ζητούμενη ένδειξη της λαμβανόμενης ισχύος σήματος προκύπτει από τη μέτρηση της έντασης του σήματος το οποίο εκπέμπεται από ένα σημείο πρόσβασης ή ένα διακομιστή (router) και αποτελεί μια τιμή βάση της οποίας ελέγχεται αν η ισχύς του σήματος βρίσκεται

σε ένα αποδεκτό επίπεδο ώστε να υπάρξει μια καλή ασύρματη σύνδεση. Η ένταση του λαμβανόμενου σήματος μετράται σε decibel-mili (dBm) και η ισχύς σε mili-Watts (mW). Η ένδειξη RSSI μπορεί να συνδυάσει την ένταση του λαμβανόμενου σήματος και την απόσταση μέσω του τύπου:

$$PL = PL_{d_0} + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + x_\sigma$$

Στην παραπάνω σχέση:

PL: Η συνολική απώλεια της ισχύος του σήματος σε dBm, η οποία προκύπτει κατά την διαδρομή του σήματος από τον πομπό στο δέκτη,

PL_{d_0} : Η απώλεια της ισχύος του σήματος σε dBm όταν πομπός και δέκτης βρίσκονται στην απόσταση αναφοράς d_0 , η οποία συνήθως λαμβάνεται ίση με 1 μέτρο,

d: Η ζητούμενη απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη,

x_σ : Μία κανονική τυχαία μεταβλητή, που στην πλειονότητα των περιπτώσεων λαμβάνεται ίση με το 0.

n: Η τιμή του εκθετικού παράγοντα του σήματος.

Ο ακόλουθος πίνακας 1 αποτυπώνει ενδεικτικές τιμές για τον παράγοντα n στα διάφορα περιβάλλοντα.

Πίνακας 1

Περιβάλλον	Παράγοντας απόσβεσης σήματος n
Ελεύθερος χώρος	2
Αστική περιοχή με εναλλασσόμενες συχνότητες	2,7-3,5
Αστική περιοχή με συχνότητες σκέδασης	3-5
Γραμμή ορατότητας σε κτήριο	1,6-1,8

Παρεμποδισμός από κτήριο	4-6
Παρεμποδισμός από βιομηχανική ζώνη	2-3

Πίνακας 1. Ενδεικτικές τιμές του παράγοντα απόσβεσης σήματος n σε διάφορα περιβάλλοντα [16].

Προχωρώντας ο τύπος υπολογισμού της απόστασης του πομπού από το δέκτη είναι ο επόμενος, ο οποίος αποτελεί και αυτόν μέσω του οποίου θα εξαχθούν τα αποτελέσματα στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας:

$$RSSI = -10 * n * \log_{10}(Distance) + A =$$

$$Distance = 10^{\frac{(RSSI-A)}{10*n}}$$

Στην παραπάνω σχέση:

RSSI: Η ένδειξη της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος, η οποία εξάγεται από τους αισθητήρες του συστήματος,

A: Η ισχύς του σήματος όταν ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται σε απόσταση 1 μέτρο,

n : Η τιμή του εκθετικού παράγοντα του σήματος, η οποία λαμβάνεται μέσα από πίνακες και διαφέρει από περιβάλλον σε περιβάλλον.

Distance: Η ζητούμενη απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.

Επομένως, προκειμένου να υπολογιστεί η ζητούμενη απόσταση ανάμεσα στον κόμβο πρόσβασης και τον client είναι απαραίτητη η γνώση των προαναφερθέντων μεταβλητών, οι οποίες εξάγονται μέσα από την κατάλληλη επίλυση των παραπάνω εμπειρικών τύπων.

Εν κατακλείδι, ο Αλγόριθμος της Ένδειξης της Λαμβανόμενης Ισχύος Σήματος δεν χρειάζεται καμία επιπλέον προσθήκη στο δίκτυο προκειμένου να μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία καθώς όλα τα δίκτυα διαθέτουν σημεία αναφοράς για το σήμα κατά την λήψη. Παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη μέθοδος είναι σχετικά απλή στην εφαρμογή της τόσο σε θεωρητικό όσο και πρακτικό επίπεδο, έχει ως βασικό μειονέκτημα ότι σε περιβάλλοντα με αυξημένη ανομοιογένεια και σε χώρους που περιλαμβάνουν πολλαπλές πηγές με αποτέλεσμα την ύπαρξη θορύβου, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της μειώνεται αισθητά.

2.4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων

Συγκεντρωτικά, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων που αναλύθηκαν προηγουμένως είναι:

Πίνακας 2

Αλγόριθμος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
ToA	Είναι η πιο ακριβής τεχνική για παραγωγή αποτελεσμάτων όταν στο πρόβλημα εσωτερικού εντοπισμού υπεισέρχονται πολλαπλές διαδρομές.	Είναι πολύπλοκη στην εφαρμογή της και χρειάζεται ακριβή συγχρονισμό όλων των συσκευών, διαδικασία αρκετά χρονοβόρα.
TDoA	Χρειάζεται να συγχρονίσει μόνο τα σημεία πρόσβασης τα οποία συμμετέχουν στον εντοπισμό, χωρίς να χρειάζεται ακριβής συγχρονισμός server-client.	Χρειάζεται προηγούμενη γνώση ώστε να εξαλειφθεί ο παράγοντας της αβεβαιότητας της θέσης και επηρεάζεται από τις πολλαπλές διαδρομές των σημάτων.
AoA	Από τη στιγμή που οι απαιτούμενες χρονικές πληροφορίες του πομπού εμπεριέχονται στο σήμα, ο δέκτης δεν χρειάζεται να διατηρήσει την συνάφεια της φάσης της πηγής οποιαδήποτε δέσμης, με το χρόνο.	-Χρειάζεται περισσότερες κεραίες με τη δυνατότητα να μετρήσουν γωνίες, κάτι που αυξάνει το κόστος. -Επηρεάζεται από τις πολλαπλές διαδρομές των σημάτων, την διάδοση χωρίς οπτική επαφή και τις ανακλάσεις σε τοίχους και άλλα αντικείμενα. Ως συνέπεια μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά η κατεύθυνση των εισερχόμενων σημάτων με άμεση επίπτωση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. -Είναι πολύ ευαίσθητη στον παράγοντα της απόστασης, δηλαδή όσο μεγαλύτερη η απόσταση τόσο μικρότερη η ακρίβεια.

RSSI	Είναι εύκολο να υλοποιηθεί, δεν απαιτείται εξειδικευμένος χάρτης της τοπολογίας του δικτύου, παρά μόνο μια κάρτα ασύρματου δικτύου.	Η ύπαρξη εμποδίων οδηγεί σε μη ακριβή αποτελέσματα, με τα στοιχεία του περιβάλλοντος να επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα.
------	---	---

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των παραπάνω αλγορίθμων [16].

2.5 Μέθοδος εκτίμησης της μέγιστης πιθανότητας (Maximum Likelihood Estimation)

Η μέθοδος εκτίμησης της μέγιστης πιθανότητας (Maximum Likelihood Estimation, MLE), αποτελεί μια μέθοδο η οποία εμπίπτει στο πεδίο της στατιστικής, σύμφωνα με την οποία η εκτίμηση των παραμέτρων μιας κατανομής λαμβάνει χώρα μέσω της μεγιστοποίησης μιας συνάρτησης πιθανότητας έτσι ώστε, στη βάση ενός υποτιθέμενου στατιστικού μοντέλου τα παρατηρούμενα δεδομένα να είναι πιο πιθανά. Παρ' ότι η μέθοδος εκτίμησης της μέγιστης πιθανότητας χρησιμοποιήθηκε αρχικά στην επιστήμη της στατιστικής επεκτάθηκε στη συνέχεια στις τηλεπικοινωνίες και στη θεωρία των ψηφιακών φίλτρων [19].

3. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΥΝΔΙΑΣΜΩΝ CLIENTs ΚΑΙ ACCESSPOINTS

3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΠΡΑΚΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

Σκοπός του πρακτικού μέρους της παρούσας εργασίας είναι ο έλεγχος της ακρίβειας εντοπισμού εσωτερικού σημείου με χρήση διαφορετικών συνδιασμών clients και access points. Για την επίτευξη του εντοπισμού χρησιμοποιούνται ασύρματοι αισθητήρες arduino, routers (ιδίου τύπου), καθώς και ένας φορητός υπολογιστής με ενσωματωμένη κάρτα ασύρματου δικτύου που εξασφαλίζει την πρόσβαση στην ασύρματη τεχνολογία WIFI από την οποία εξάγεται η ένδειξη RSSI, δηλαδή η ένδειξη της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, αξιολογούνται οι παρακάτω συνδυασμοί σε κλειστό χώρο 96 τ.μ.:

- Client: Arduino, 3 Access Points: Arduino και χρήση φίλτρου Kalman,
- Client: Arduino, 3 Access Points: Routers και χρήση φίλτρου Kalman,
- Client: Laptop, 3 Access Points: Arduino,
- Client: Laptop, 3 Access Points: Routers.

Αρχικά τοποθετούνται τα 3 anchors (routers / Arduino), σε σημεία των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές μέσα στο περιβάλλον στο οποίο θέλουμε να γίνει ο εντοπισμός. Αφού έχουν ενεργοποιηθεί τα APs και εξασφαλίζεται ότι εκπέμπουν σήμα, τίθεται σε λειτουργία το client (Arduino / laptop), προκειμένου να γίνει εξαγωγή των μεγεθών τα οποία είναι απαραίτητα για τον εντοπισμό του ζητούμενου σημείου.

Εν συνεχεία, το client συνδέεται σε κάθε ένα από τα 3 APs ξεχωριστά και μετράει την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος σε dBm για κάθε ένα από αυτά. Σε επόμενο στάδιο, μετατρέπει τις ληφθείσες μετρήσεις ισχύος σε απόσταση μέσω της χρήσης του κατάλληλου μαθηματικού τύπου (βλέπε παρακάτω) εξάγοντας έτσι 3 εκτιμήσεις αποστάσεις r_1 , r_2 και r_3

για κάθε access point, τις οποίες ανεβάζει στη χρησιμοποιούμενη βάση δεδομένων. Με το πέρας του συνόλου αυτών των διαδικασιών, μία ιστοσελίδα php, μέσω της χρήσης ενός προγράμματος JavaScript, παίρνει τις αποστάσεις που υπάρχουν αποθηκευμένες στην βάση δεδομένων και μέσω της χρήσης κατάλληλων μαθηματικών τύπων (βλέπε παρακάτω) τις μετατρέπει σε συντεταγμένες. Οι συντεταγμένες αυτές αποτυπώνουν τη θέση του ζητούμενου σημείου. Σε τελικό στάδιο, στην ιστοσελίδα php, σε έναν καμβά που περιέχει και ο οποίος αλλάζει ανάλογα με το μέγεθος του χώρου στον οποίο θέλουμε να γίνει ο εντοπισμός, εμφανίζονται οι συντεταγμένες του ζητούμενου σημείου στον χρήστη. Η ακρίβεια του κάθε συνδυασμού client – access points καθορίζεται μέσω της απόκλισης από τις συντεταγμένες που μετράμε με τη χρήση μετρητικών μηχανικών διατάξεων.

Στην περίπτωση client / Arduino λαμβάνονται αρχικά 30 μετρήσεις ισχύος σήματος για κάθε ένα από τα 3 access points, προκειμένου να ρυθμιστεί η συνάρτηση του ψηφιακού φίλτρου Kalman και να υπολογιστεί η τιμή του εκθετικού παράγοντα σήματος n , η οποία διαφέρει για κάθε περιβάλλον.

Για την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, θα λάβει χώρα σύγκριση και με αντίστοιχες μετρήσεις που θα ληφθούν για εξωτερικό χώρο. Ο εξωτερικός χώρος που θα χρησιμοποιηθεί θα καλύπτει έκταση 125 τ.μ.

3.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο χωρίο αυτό περιγράφονται οι διατάξεις του συστήματος που χρησιμοποιείται ανά περίπτωση μελέτης.

1^η Περίπτωση (Client: Arduino, 3 Access Points: Arduino και χρήση φίλτρου Kalman):

- Ένα laptop,
- Ένα router,
- Τέσσερις μικροελεγκτές Arduino τύπου WeMos D1 Mini ESP8266 NodeMcu 4M - WIFI Development Board και
- Τέσσερα καλώδια τύπου micro-usb σε usb.

2^η Περίπτωση (Client: Arduino, 3 Access Points: Routers και χρήση φίλτρου Kalman):

- Ένα laptop,
- Τρία routers,
- Ένας μικροελεγκτής Arduino τύπου WeMos D1 Mini ESP8266 NodeMcu 4M - WIFI Development Board και
- Ένα καλώδιο τύπου micro-usb σε usb.

3^η Περίπτωση (Client: Laptop, 3 Access Points: Arduino):

- Ένα laptop,
- Ένα router,
- Τρεις μικροελεγκτές Arduino τύπου WeMos D1 Mini ESP8266 NodeMcu 4M - WIFI Development Board και
- Τρία καλώδια τύπου micro-usb σε usb.

4^η Περίπτωση (Client: Laptop, 3 Access Points: Routers):

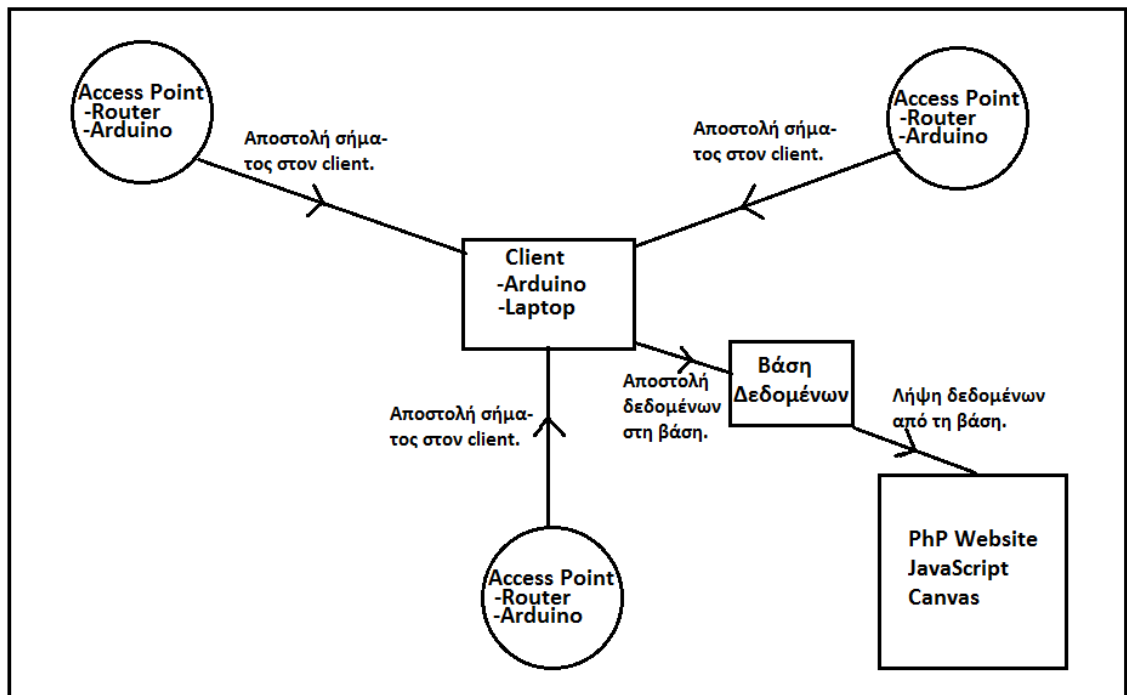
- Ένα laptop,
- Τρία routers.

Στην περίπτωση 2 και 4 τα routers που χρησιμοποιούνται ως access points είναι ίδια μεταξύ τους, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι χαρακτηρίζονται από την ίδια ισχύ.

Σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις, τα access points, τα οποία μπορούν να είναι είτε routers είτε Arduino ιδίου τύπου, εκπέμπουν σήμα. Στην συνέχεια ο client, ο οποίος μπορεί να είναι είτε Arduino είτε laptop, συνδέεται σε κάθε ένα από τα τρία access points ξεχωριστά και μετρά, μέσω της εφαρμογής της κατάλληλης συνάρτησης, την ισχύ του σήματος εξάγοντας έτσι την ένδειξη RSSI την οποία στην συνέχεια μετατρέπει σε απόσταση μέσω της εφαρμογής του κατάλληλου μαθηματικού τύπου. Κατόπιν, συνδέεται με τη βάση δεδομένων, με την βοήθεια του ελεύθερου προς χρήση λογισμικού XAMPP, το οποίο παρέχει στον χρήστη πρόσβαση στον εξυπηρετητή ιστοσελίδων http Apache καθώς και στη βάση δεδομένων MySQL, και αποστέλλει σε αυτή τις τρεις αποστάσεις που έχει υπολογίσει. Τέλος, η ιστοσελίδα php παίρνει τις αποστάσεις αυτές από την βάση δεδομένων και μέσω της

εφαρμογής του προγράμματος της μεθόδου του τριπλευρισμού που περιέχεται στη γλώσσα JavaScript, υπολογίζει από τις αποστάσεις αυτές το ζητούμενο σημείο και το εμφανίζει στον καμβά.

Η τυπική μορφή του συστήματος στη βάση των παραπάνω συνδυασμών είναι η ακόλουθη:



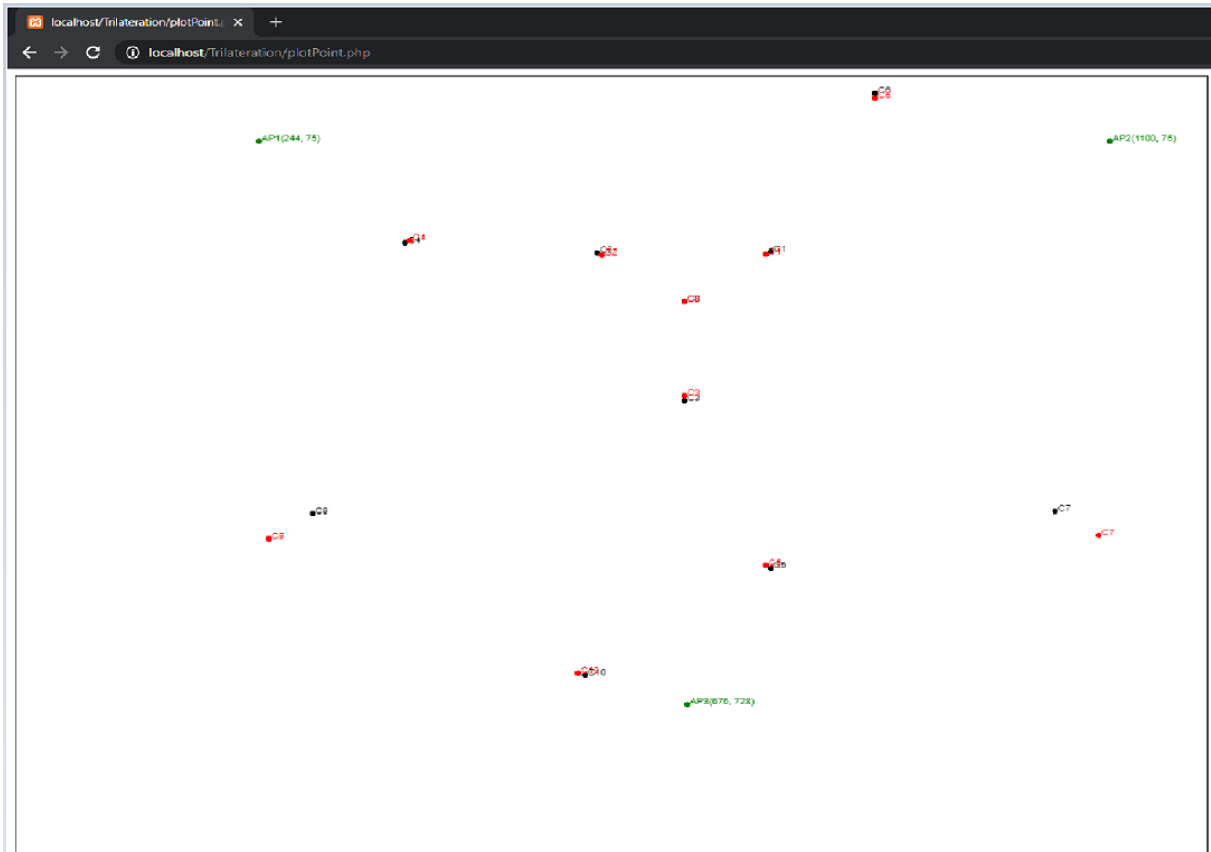
Σχήμα 13. Γενική μορφή αρχιτεκτονικής συστήματος.

Αναλυτικότερα, τα access points εκπέμπουν σήμα στη συχνότητα των 2.4GHz, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί με τη βοήθεια της ένδειξης RSSI για τον εντοπισμό του επιθυμητού σημείου. Τα access points αποτελούν τα κέντρα των κύκλων, των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές, ενώ ο client χρησιμοποιείται για την εύρεση του ζητούμενου σημείου, στη βάση των προβλεπομένων από την τεχνική του τριπλευρισμού την οποία χρησιμοποιούμε.

Το πρόγραμμα για τον εντοπισμό σημείου που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, υλοποιήθηκε σε γλώσσα C++ και παρατίθεται στο παράρτημα Β. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση του κώδικα που αφορά στον client αποστέλλονται και αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων με όνομα 'trilateration'. Ο κώδικας που υλοποιεί την βάση αποτυπώνεται επίσης στο παράρτημα Β. Το πρόγραμμα σε JavaScript (JS) που

ανιχνεύει το ζητούμενο σημείο αποτυπώνεται οπτικά σε μία ιστοσελίδα html με τη μορφή canva. Το αντίστοιχο λογισμικό παρατίθεται και αυτό στο παράρτημα Β.

Η τυπική μορφής απεικόνισης JavaScript UI που προκύπτει μετά την εκτέλεση του προγράμματος είναι:



Σχήμα 14. Τυπική μορφής απεικόνισης JavaScript UI.

Τέλος η γενική μορφή της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιείται είναι:

	id	r1	r2	r3	time	plotted
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	1	800	700	800	2019-12-17 12:37:53	1
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	2	800	600	450	2020-01-07 19:00:14	0

Check all With selected: Edit Copy Delete Export

Σχήμα 15. Γενική μορφή βάσης δεδομένων.

Όπου:

- id: Ο μοναδικός αριθμός ταυτότητας ο οποίος αποδίδεται αυτόματα από το σύστημα σε κάθε σειρά μετρήσεων.
- r1, r2, r3: Οι αποστάσεις οι οποίες εισάγονται στην βάση από τον client.
- time: Η χρονοσφραγίδα, η οποία προκύπτει από την τρέχουσα ημερομηνία και ώρα.
- plotted: Ο αριθμός που επαληθεύει αν μια σειρά μετρήσεων έχει απεικονιστεί στον canva. Η μεταβλητή plotted διατηρεί την τιμή το 0 έως ότου λάβει χώρα η απεικόνιση οπότε η τιμή γίνεται 1.

3.4 ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Για την εξομάλυνση των φαινομένων αστάθειας, στην περίπτωση που έχουμε client Arduino, χρησιμοποιείται το γραμμικό φίλτρο Kalman.

3.4.1 Γραμμικό φιλτράρισμα Kalman (Kalman Linear Filtering)

Ως φίλτρο μπορεί να θεωρηθεί οποιοσδήποτε μηχανισμός επιτρέπει την διέλευση των επιθυμητών σημάτων, ενώ παράλληλα αποτρέπει την διέλευση των ανεπιθύμητων, όπως είναι ο θόρυβος. Πιο συγκεκριμένα, τα φίλτρα εξομαλύνουν την μορφή εξόδου των σημάτων, εξαλείφοντας τη μεγάλη διασπορά των τιμών που αυτά μπορεί να έχουν, εισάγοντας έτσι σφάλμα στο σύστημα.

Εντρυφώντας στα γραμμικά φίλτρα, στις επιστήμες της στατιστικής και του αυτομάτου ελέγχου, έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται μία πληθώρα γραμμικών ψηφιακών φίλτρων. Ένα τέτοιο φίλτρο, το οποίο χρησιμοποιείται και στη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων της ένδειξης RSSI στην παρούσα εργασία με σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας αυτών, αποτελεί το φίλτρο Kalman [16].

Όσο ο χρόνος εξελίσσεται σε μια διαδικασία, η ανάγκη για την εφαρμογή του φίλτρου Kalman μεγαλώνει, καθώς εισάγονται στο σύστημα θόρυβος και άλλες ανακρίβειες, αλλοιώνοντας έτσι την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ουσιαστικά, το φίλτρο Kalman αποτελεί έναν αλγόριθμο ο οποίος χρησιμοποιεί μια σειρά από μετρήσεις προκειμένου να

βελτιώσει τα εξαγόμενα αποτελέσματα, μέσω της εξασφάλισης καλύτερων εκτιμήσεων για τις μεταβλητές που συντελούν στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων.

Στην περίπτωση του εντοπισμού σημείου σε εσωτερικό περιβάλλον, το φίλτρο Kalman χρησιμοποιείται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από οποιαδήποτε άλλη διεργασία για τέσσερις βασικούς λόγους [17]:

- Έχει αποδειχθεί πειραματικά και καταγράφεται βιβλιογραφικά ότι στην περίπτωση του εντοπισμού λειτουργεί άρτια.
- Χρειάζεται έναν μικρό αριθμό επαναλήψεων σε σχέση με άλλα παρόμοια φίλτρα προκειμένου να συγκλίνει η έξοδός του.
- Παρέχεται ως ελεύθερο λογισμικό (freeware) στην βιβλιοθήκη του Arduino.
- Είναι σχετικά απλό στην κατανόηση και στην εφαρμογή του αφού χρησιμοποιεί μόνο δύο καταστάσεις.

Αναλυτικότερα, ο αλγόριθμος του φίλτρου Kalman λειτουργεί σε δύο στάδια [18]:

1. Στο πρώτο στάδιο, ή αλλιώς στάδιο πρόβλεψης, το φίλτρο τροφοδοτείται με μετρήσεις του μεγέθους στο οποίο επιθυμούμε την εφαρμογή του, προκειμένου να υπολογιστούν οι παράμετροι του φίλτρου, μαζί με τις αβεβαιότητες τους, με σκοπό την παραγωγή εκτιμήσεων του μεγέθους, πάνω στο οποίο εφαρμόζεται το φίλτρο. Εν συνεχεία, παρατηρείται το αποτέλεσμα της επόμενης μέτρησης, ενημερώνοντας έτσι τις υπάρχουσες εκτιμήσεις.
2. Το δεύτερο στάδιο, είναι αυτό της ενημέρωσης (Update Step), κατά το οποίο τα νέα δεδομένα εισάγονται στο σύστημα και μετά από σύγκριση με τα αποτελέσματα του πρώτου σταδίου, αποφασίζεται η βαρύτητα που θα έχουν οι παράμετροι που καθορίζουν τη λειτουργία του φίλτρου.

Οι διαφορές μεταξύ των μετρήσεων και των πραγματικών τιμών αποτελούν το σφάλμα μέτρησης και μπορούν να παρασταθούν μέσω του στατιστικού μεγέθους της διακύμανσης η οποία στην περίπτωση εφαρμογών με χρήση φίλτρων αποτελεί την αβεβαιότητα μέτρησης [17].

3.4.2 Το κέρδος σε μονοδιάστατο φίλτρο Kalman

Ως κέρδος (K_n) ενός μονοδιάστατου φίλτρου Kalman, καλείται ο λόγος της Αβεβαιότητας Εκτίμησης (Uncertainty in Estimate) προς το άθροισμα της Αβεβαιότητας Εκτίμησης και της Αβεβαιότητας Μέτρησης (Uncertainty in Measurement) [18].

$$K_n = \frac{\text{Αβεβαιότητα εκτίμησης}}{\text{Αβεβαιότητα εκτίμησης} + \text{Αβεβαιότητα μέτρησης}} = \frac{P_{n,n-1}}{P_{n,n-1} + r_n}, 0 \leq K_n \leq 1$$

Οι εξισώσεις μέσα από τις οποίες υλοποιείται η κατάσταση ενημέρωσης είναι:

$$\hat{x}_{n,n} = \hat{x}_{n,n-1} + K_n(y_n - \hat{x}_{n,n-1}) = (1 - K_n)\hat{x}_{n,n-1} + K_n y_n$$

Στην παραπάνω σχέση:

\hat{x} : Η είσοδος του φίλτρου και

y_n : Η έξοδος του φίλτρου.

Επιπλέον, η εξίσωση σύμφωνα με την οποία λαμβάνει χώρα το στάδιο της ενημέρωσης της αβεβαιότητας εκτίμησης είναι:

$$P_{n,n} = (1 - K_n)P_{n,n-1}$$

Στην προαναφερθείσα σχέση:

K_n : Το κέρδος Kalman,

$P_{n,n-1}$: Η αβεβαιότητα εκτίμησης η οποία υπολογίστηκε στην προηγούμενη εκτίμηση του φίλτρου και

$P_{n,n}$: Η αβεβαιότητα εκτίμησης της τρέχουσας κατάστασης.

Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα καθορισμού της θέσης μέσω της ταχύτητας, ισχύει:

$$\hat{x}_{n,n-1} = \hat{x}_{n-1,n-1} + \Delta t \hat{x}_{n-1,n-1}$$

Όπου

$$\hat{x}_{n,n-1} = \hat{x}_{n-1,n-1}$$

Τότε

$$P_{n,n-1}^x = P_{n-1,n-1}^x + \Delta t P_{n-1,n-1}^u$$

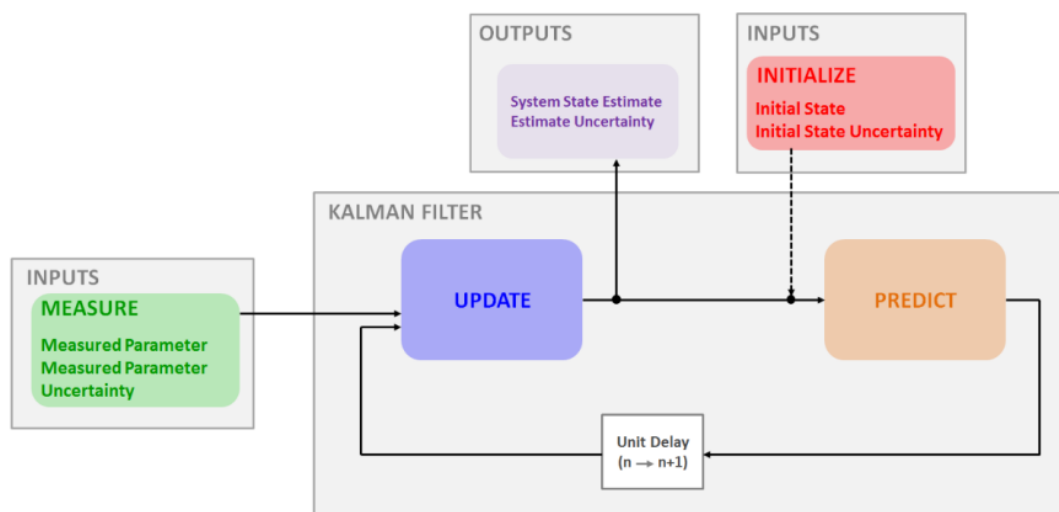
$$P_{n,n-1}^u = P_{n-1,n-1}^u$$

Όπου

P^x : Η αβεβαιότητα εκτίμησης θέσης και

P^u : Η αβεβαιότητα εκτίμησης ταχύτητας.

Συγκεντρωτικά, η λειτουργία του αλγορίθμου του φίλτρου Kalman για ένα σύστημα καθορισμού της θέσης μέσω της ταχύτητας παρίσταται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 16. Αναπαράσταση αλγορίθμου Kalman για ένα σύστημα υπολογισμού θέσης μέσω ταχύτητας [18].

Στο παραπάνω σχήμα:

Η κατάδειξη (Inputs Measure): Απεικονίζει την είσοδο των παραμέτρων ταχύτητας καθώς και της αβεβαιότητας μέτρησης στο φίλτρο.

Η κατάδειξη (KALMAN FILTER): Απεικονίζει τα δύο στάδια του φίλτρου, δηλαδή της ενημέρωσης (UPDATE) και της πρόβλεψης (PREDICT) σύμφωνα με τα προηγούμενα, καθώς και το χρονικό διάστημα καθυστέρησης μεταξύ των επαναλήψεων (Unit Delay).

Η κατάδειξη (OUTPUTS): Απεικονίζει την έξοδο του φίλτρου, δηλαδή τις φιλτραρισμένες τιμές του ζητούμενου μεγέθους.

Η κατάδειξη (INPUTS Initialize): Απεικονίζει την αρχικοποίηση του προβλήματος σε σχέση με τις συνιστώσες της θέσης και της αβεβαιότητας.

3.4.3 Extended φίλτρο Kalman

Στο πεδίο της εκτίμησης, η μη γραμμική εκδοχή του φίλτρου Kalman είναι το λεγόμενο Extended Kalman Filter (EKF). Η συγκεκριμένη εκδοχή του φίλτρου, λειτουργεί γύρω από μια εκτίμηση του μέσου όρου (Current mean) και της συνδιακύμανσης (Covariance) των μετρούμενων μεγεθών, γραμμικοποιώντας έτσι το σύστημα. Επιπλέον, στο Extended Kalman φίλτρο χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της ανάπτυξης σε σειρά Taylor πολλών μεταβλητών καθώς και η μέθοδος Monte Carlo [17].

3.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Αρχικά, όταν θέλουμε να πραγματοποιήσουμε έναν εντοπισμό σε εσωτερικό χώρο, υπολογίζεται από το σύστημα η τιμή του εκθετικού παράγοντα σήματος n , η οποία διαφέρει για κάθε περιβάλλον, αφού αλλάζει η δομή αυτού. Ο υπολογισμός αυτός καθίσταται εφικτός μέσω του τύπου:

$$n = \frac{A - RSSI}{10 * \log d}$$

Εν συνεχεία, αφού υπολογιστεί η τιμή του εκθετικού παράγοντα σήματος n , το client μετατρέπει τη λαμβανόμενη ισχύ σήματος σε απόσταση. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται μέσω της μαθηματικής σχέσης:

$$r = 10^{\frac{A - RSSI}{10 * n}}$$

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι υπολογισμένες αποστάσεις ανεβαίνουν στη βάση δεδομένων. Τις αποστάσεις αυτές λαμβάνει η ιστοσελίδα php η οποία μέσω ενός προγράμματος javascript τελεί τα βήματα που είναι απαραίτητα για να λάβει χώρα η διαδικασία του τριπλευρισμού προκειμένου να εξαχθούν οι τελικές συντεταγμένες του επιθυμητού σημείου. Η διαδικασία αυτή μαθηματικά τυποποιείται ως ακολούθως:

Βήμα 1^ο : Υπολογίζουμε το μοναδιαίο διάνυσμα στην κατεύθυνση x .

$$e_x = \frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_1 \vee}$$

$$\text{Τότε: } e_{xx} = \frac{P_{2x}-P_{1x}}{\sqrt{(P_{2x}-P_{1x})^2+(P_{2y}-P_{1y})^2}} \text{ και } e_{xy} = \frac{P_{2y}-P_{1y}}{\sqrt{(P_{2x}-P_{1x})^2+(P_{2y}-P_{1y})^2}}$$

Βήμα 2^ο: Υπολογίζουμε την προσημασμένη συνιστώσα x του διανύσματος \vec{P}_1 σε \vec{P}_3 .

$$i = e_x * (P_3 - P_1)$$

Βήμα 3^ο: Υπολογίζουμε το μοναδιαίο διάνυσμα στην κατεύθυνση y.

$$e_y = \frac{(P_3 - P_1 - ie_x)}{P_3 - P_1 - ie_x \vee}$$

Βήμα 4^ο: Υπολογίζουμε την απόσταση μεταξύ των κέντρων \vec{P}_1, \vec{P}_2 .

$$d = |P_2 - P_1|$$

Βήμα 5^ο: Υπολογίζουμε την προσημασμένη συνιστώσα y του διανύσματος \vec{P}_1 σε \vec{P}_3 .

$$j = e_y(P_3 - P_1)$$

Βήμα 6^ο: Υπολογισμός συντεταγμένης x.

$$x = \frac{(r_1^2 - r_2^2 + d^2)}{2d}$$

Βήμα 7^ο: Υπολογισμός συντεταγμένης y.

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

3.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πειραματικού μέρους με τις ακόλουθες μορφές:

- Υπό μορφή πίνακα παραθέτονται οι μέσοι όροι των αποκλίσεων Δr για κάθε ένα από τα τέσσερα διαφορετικά σεν (client – access point).
- Υπό μορφή διαγραμμάτων παρουσιάζονται οι αποκλίσεις Δr , οι υπολογιζόμενες αποστάσεις από το σύστημα καθώς και οι πραγματικές αποστάσεις του client από το κάθε access point.

- Υπό μορφή πινάκων, απεικονίζονται στο παράρτημα, οι μετρήσεις από τις οποίες προέκυψαν τα παραπάνω διαγράμματα και οι μέσοι όροι.

Αρχικά παραθέεται ο πίνακας των μέσων όρων των αποκλίσεων για κάθε σετ μετρήσεων:

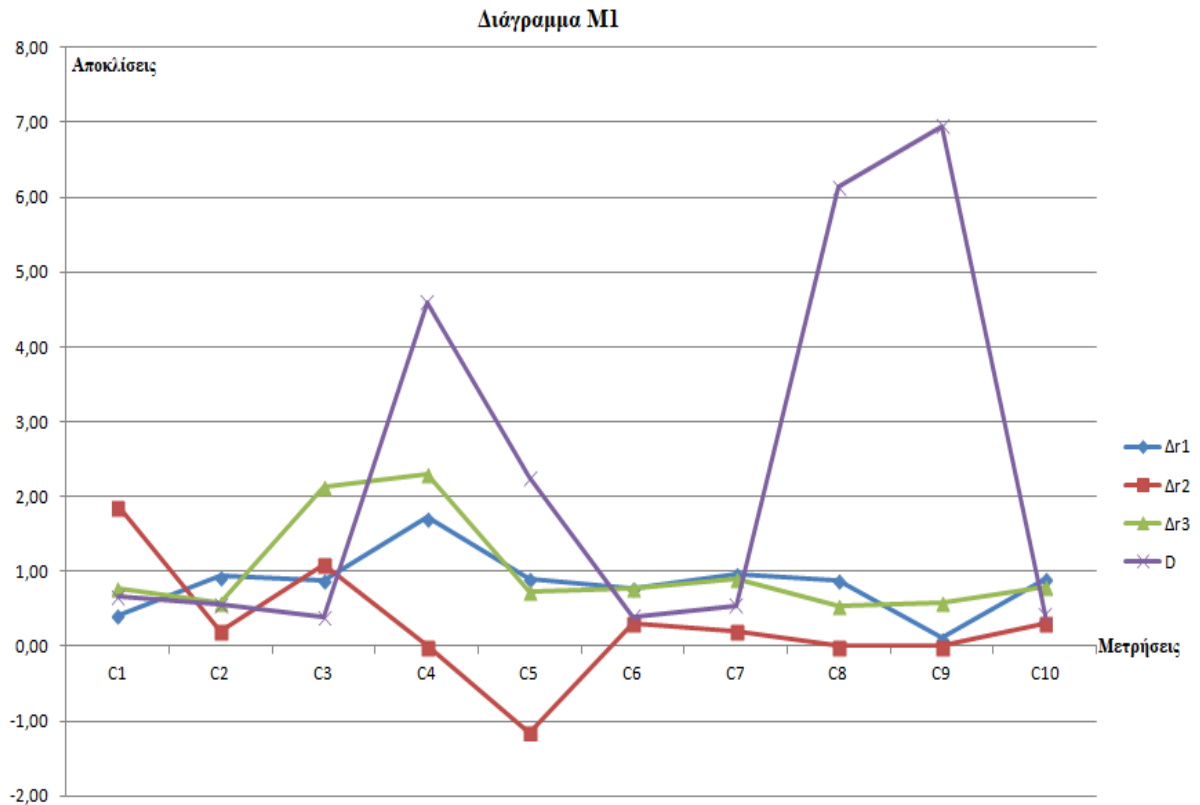
Εσωτερικός χώρος:

Πίνακας Αποκλίσεων				
A/A	Σετ client-ap	M.O Δr_1	M.O Δr_2	M.O Δr_3
1	Laptop-Routers	0.18	-0.11	0.30
2	Laptop-Arduino	0.15	-0.14	0.36
3	Arduino-Routers	0.27	-0.13	0.64
4	Arduino-Arduino	1.20	0.77	1.17

Εξωτερικός χώρος:

Πίνακας Αποκλίσεων				
A/A	Σετ client-ap	M.O Δr_1	M.O Δr_2	M.O Δr_3
1	Laptop-Routers	0.035	0.052	0.011
2	Laptop-Arduino	-0.039	-0.053	-0.020
3	Arduino-Routers	-0.017	-0.025	0.003
4	Arduino-Arduino	0.147	0.138	0.196

Εν συνεχεία απεικονίζονται τα προκύπτοντα διαγράμματα για τον κάθε συνδυασμό μετρήσεων (Παράρτημα Γ) και για κάθε είδος χώρου ξεχωριστά.

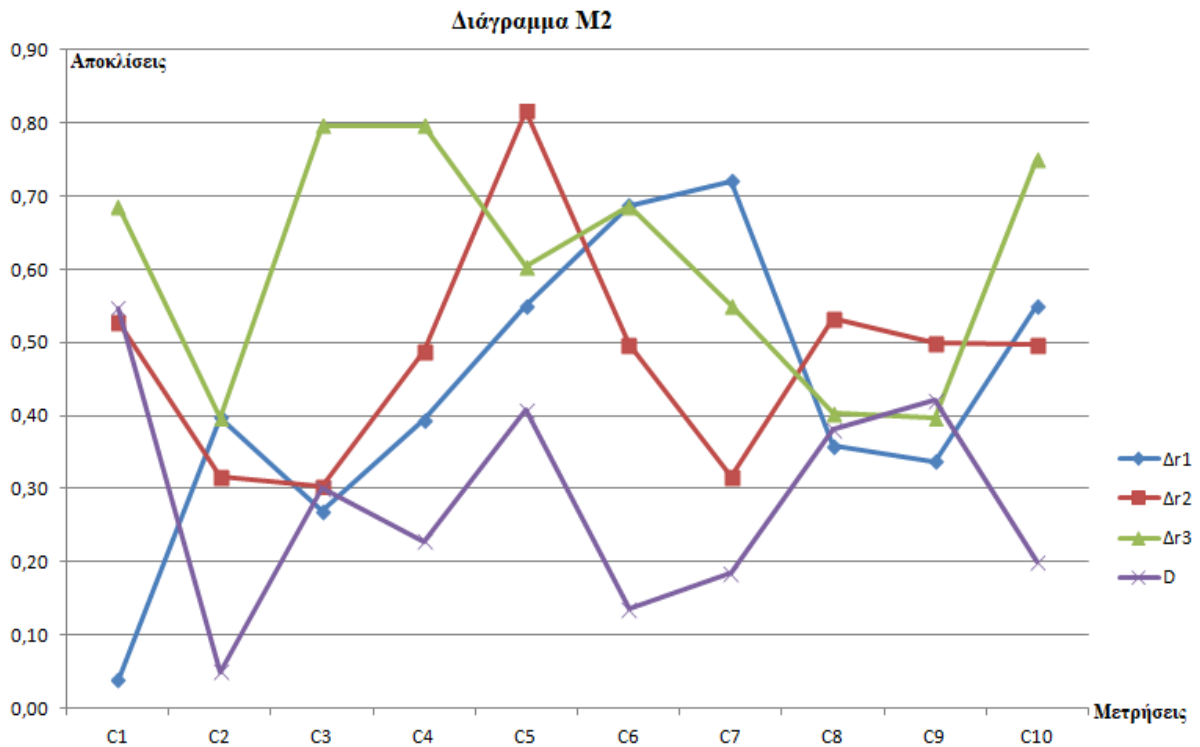


Διάγραμμα Μ1. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Arduino (Client) & Arduino (APs) [Εσωτερικός χώρος].

Στο παραπάνω ζεύγος Client - Access Point λόγω της μικρής εκπεμπόμενης ισχύος σήματος των Arduino παρατηρείται απόκλιση από 0,39 έως 6,95 μέτρα. Η μεγάλη αυτή απόκλιση παρατηρείται εξαιτίας των περιπτώσεων μη σύνδεσης λόγω της απόστασης και των φυσικών εμποδίων που υπάρχουν ανάμεσα στον client και τα τρία access points.

Από το διάγραμμα προκύπτει επίσης ότι το Δr1 κυμαίνεται από 0,11 έως 1,77 μέτρα, το Δr2 κυμαίνεται από 0,21 έως 1,87 μέτρα (με κάποιες περιπτώσεις μη σύνδεσης) και το Δr3 κυμαίνεται από 0,53 έως 2,31 μέτρα.

Στην περίπτωση που το Δr υπολογίζεται αρνητικό, σημαίνει ότι το σύστημα υπολόγισε την απόσταση ανάμεσα στον client και το access point σε τιμή μεγαλύτερη από την πραγματική. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, οι υπολογιζόμενες αποστάσεις είναι μικρότερες των πραγματικών. Τέλος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στα πραγματικά και στα υπολογιζόμενα σημεία λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0,39 και 6,95 μέτρων.

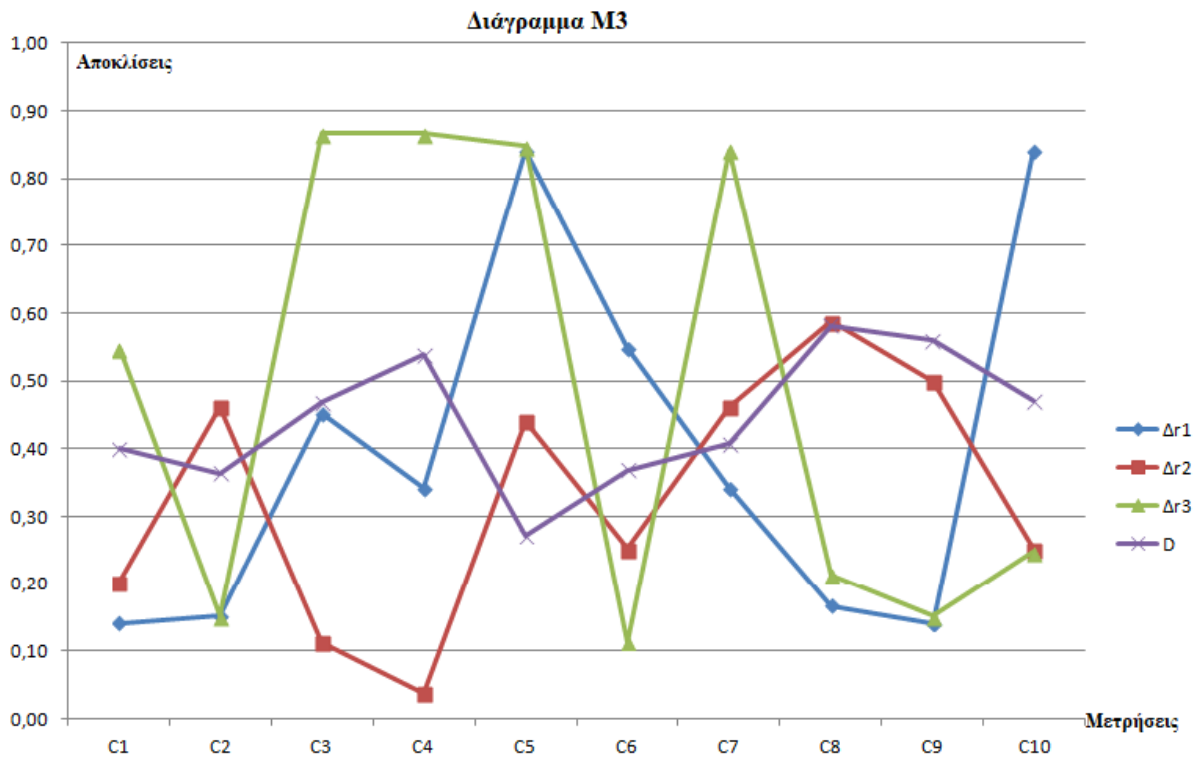


Διάγραμμα M2. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Arduino (Client) & Routers (APs) [Εσωτερικός χώρος].

Στο παραπάνω ζεύγος Client - Access Point λόγω της μεγαλύτερης εκπεμπόμενης ισχύος σήματος των routers παρατηρείται απόκλιση από 0,05 έως 0,55 μέτρα.

Προκύπτει επίσης ότι το Δr_1 κυμαίνεται από 0,04 έως 0,72 μέτρα, το Δr_2 κυμαίνεται από 0,30 έως 0,82 μέτρα και το Δr_3 από 0,40 έως 0,80 μέτρα.

Σε όλες τις περιπτώσεις, οι υπολογιζόμενες αποστάσεις είναι μικρότερες των πραγματικών (δεν προκύπτουν αρνητικά αποτελέσματα). Τέλος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στα πραγματικά και στα υπολογιζόμενα σημεία λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0,05 έως 0,55 μέτρων.

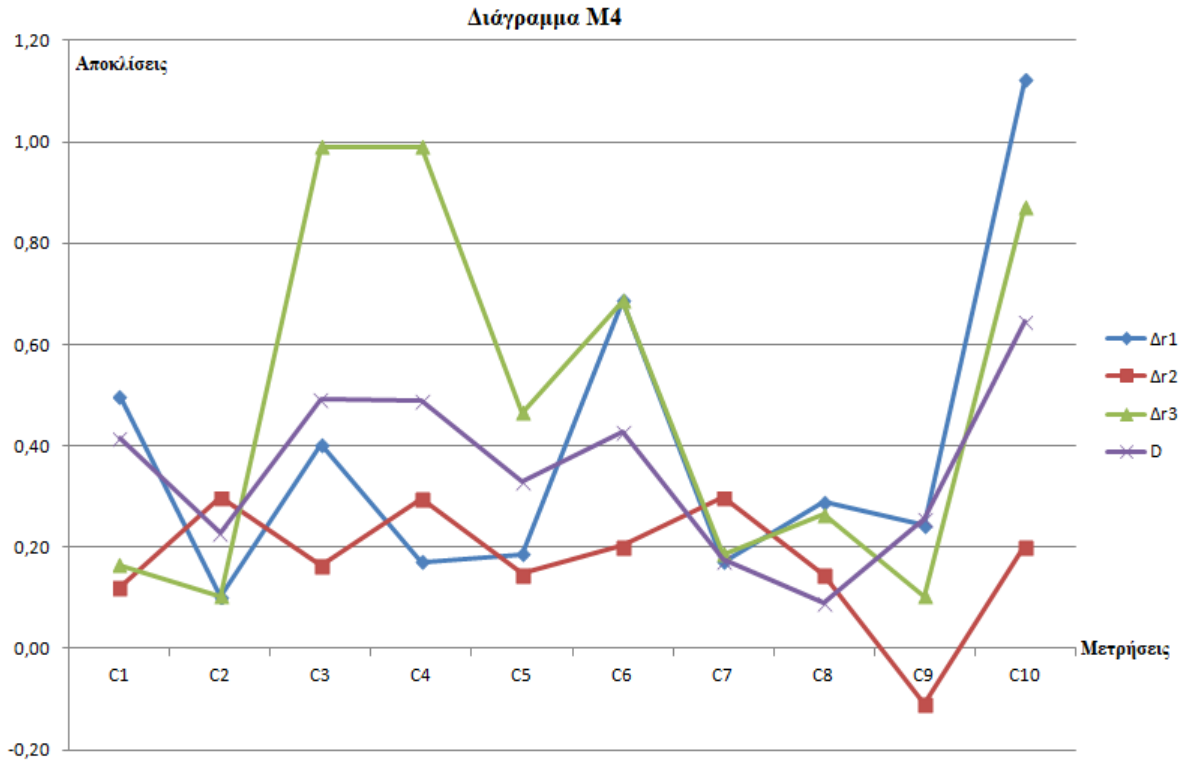


Διάγραμμα Μ3. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Laptop (Client) & Arduino (APs) [Εσωτερικός χώρος].

Στο παραπάνω ζεύγος Client - Access Point παρατηρείται απόκλιση μετρήσεων και πραγματικών τιμών μεταξύ 0,36 και 0,58 μέτρα.

Προκύπτει ότι το Δr_1 κυμαίνεται από 0,14 έως 0,84 μέτρα, το Δr_2 κυμαίνεται από 0,04 έως 0,59 μέτρα και το Δr_3 από 0,11 έως 0,87 μέτρα.

Σε όλες τις περιπτώσεις, οι υπολογιζόμενες αποστάσεις είναι μικρότερες των πραγματικών (και σε αυτή την περίπτωση δεν προκύπτουν αρνητικά αποτελέσματα). Τέλος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στα πραγματικά και στα υπολογιζόμενα σημεία λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0,36 έως 0,58 μέτρων.

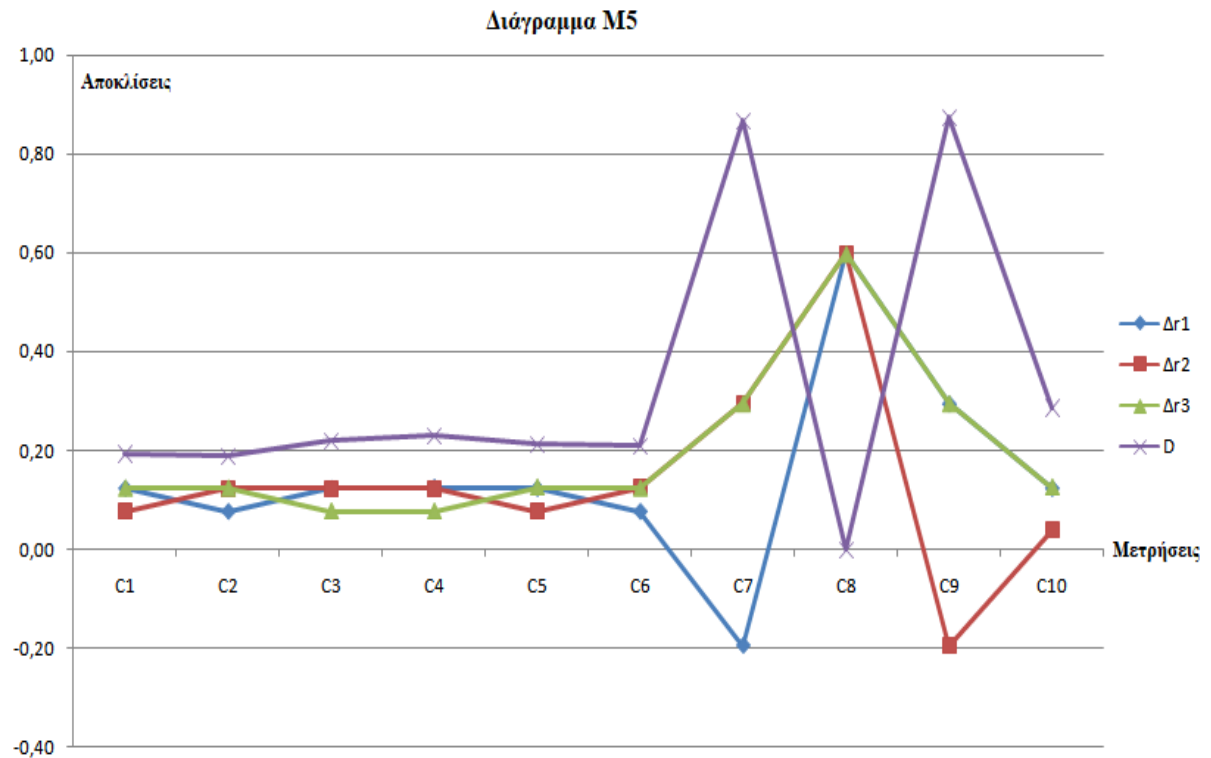


Διάγραμμα Μ4. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Laptop (Client) & Routers (APs) [Εσωτερικός χώρος].

Στο παραπάνω ζεύγος Client - Access Point λόγω της μεγαλύτερης εκπεμπόμενης ισχύος σήματος των routers παρατηρείται απόκλιση από 0,09 έως 0,64 μέτρα.

Προκύπτει ότι το Δr_1 κυμαίνεται από 0,10 έως 1,12 μέτρα, το Δr_2 κυμαίνεται από 0,11 έως 0,30 μέτρα και το Δr_3 από 0,10 έως 0,99 μέτρα.

Στην περίπτωση που το Δr υπολογίζεται αρνητικό, σημαίνει ότι το σύστημα υπολόγισε την απόσταση ανάμεσα στον client και το access point σε τιμή μεγαλύτερη από την πραγματική. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, οι υπολογιζόμενες αποστάσεις είναι μικρότερες των πραγματικών. Τέλος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στα πραγματικά και στα υπολογιζόμενα σημεία λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0,09 και 0,64 μέτρων.

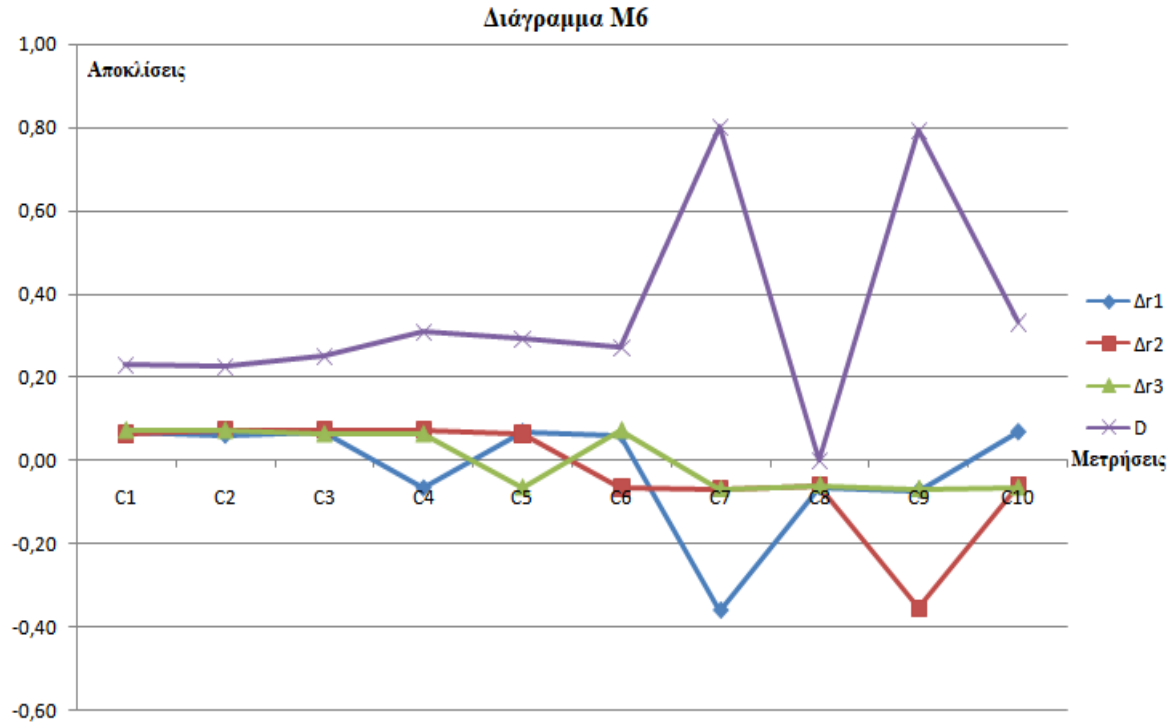


Διάγραμμα M5. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Arduino (Client) & Arduino (APs) [Εξωτερικός χώρος].

Στο εν λόγω ζεύγος Client - Access Point παρατηρείται απόκλιση από 0,00 έως 0,87 μέτρα. Προκύπτει ότι το Δr_1 κυμαίνεται από 0,08 έως 0,60 μέτρα, το Δr_2 κυμαίνεται από 0,04 έως 0,60 μέτρα και το Δr_3 από 0,08 έως 0,60 μέτρα.

Σε αυτές τις μετρήσεις, προκύπτουν τόσο θετικές τιμές των υπολογιζόμενων αποστάσεων, δηλαδή μικρότερες των πραγματικών, όσο και τιμές αρνητικές, δηλαδή μεγαλύτερες των πραγματικών.

Τέλος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στα πραγματικά και στα υπολογιζόμενα σημεία λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0,00 έως 0,87 μέτρων.

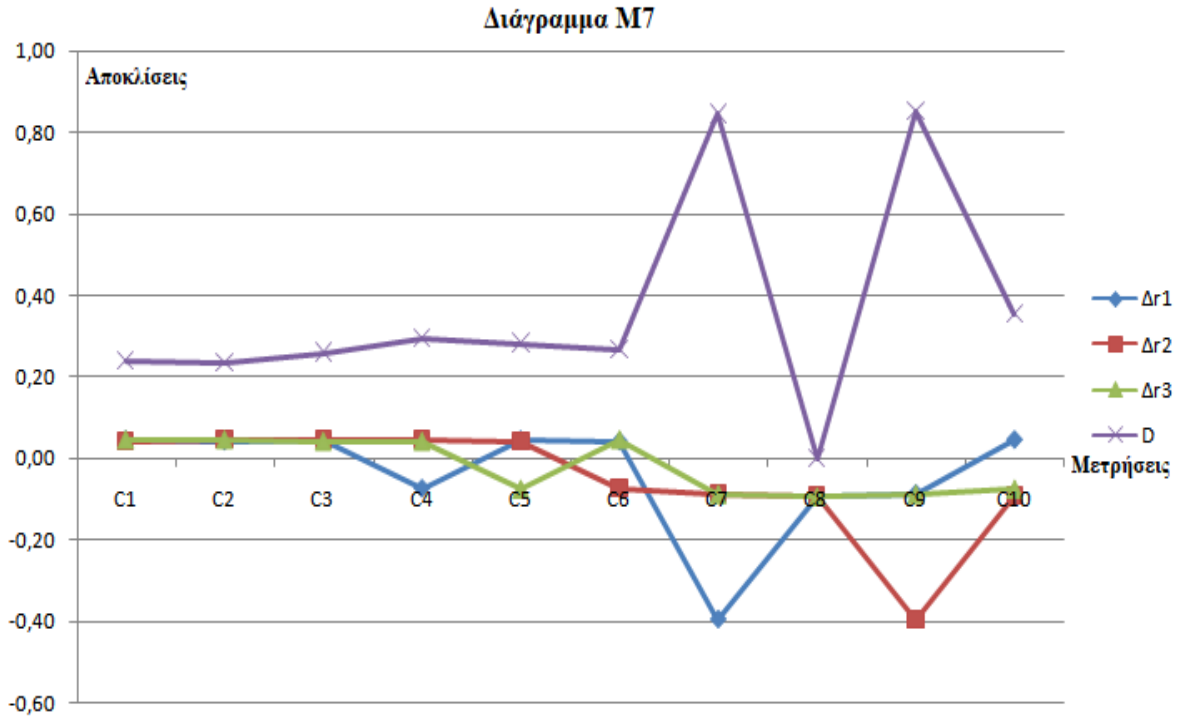


Διάγραμμα Μ6. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Arduino (Client) & Routers (APs) [Εξωτερικός χώρος].

Στο παραπάνω ζεύγος Client - Access Point λόγω της μεγαλύτερης εκπεμπόμενης ισχύος σήματος των routers παρατηρείται απόκλιση από 0,00 έως 0,80 μέτρα. Προκύπτει ότι το Δr_1 κυμαίνεται από 0,06 έως 0,36 μέτρα, το Δr_2 κυμαίνεται από 0,06 έως 0,35 μέτρα και το Δr_3 από 0,06 έως 0,07 μέτρα.

Και σε αυτές τις μετρήσεις, προκύπτουν τόσο θετικές τιμές των υπολογιζόμενων αποστάσεων, δηλαδή μικρότερες των πραγματικών, όσο και τιμές αρνητικές δηλαδή μεγαλύτερες των πραγματικών.

Τέλος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στα πραγματικά και στα υπολογιζόμενα σημεία λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0,00 και 0,80 μέτρων.

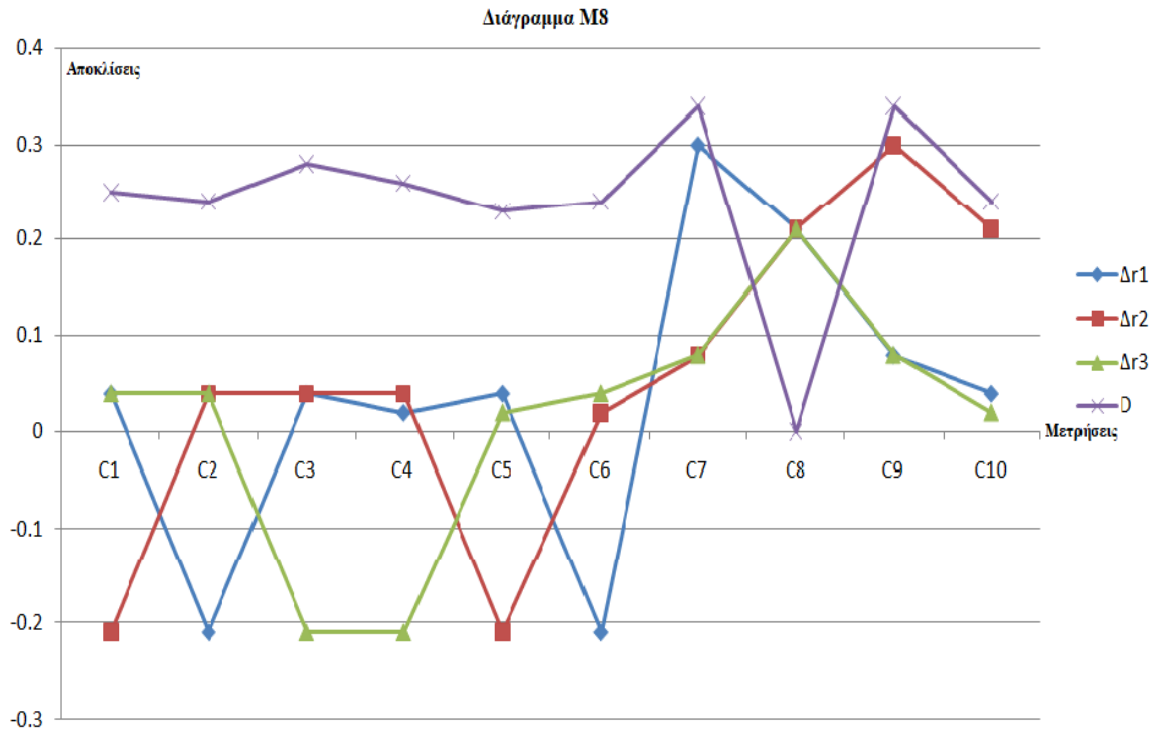


Διάγραμμα Μ7. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Laptop (Client) & Arduino (APs) [Εξωτερικός χώρος].

Στο παραπάνω ζεύγος Client - Access Point παρατηρείται απόκλιση από 0,00 έως 0,85 μέτρα. Προκύπτει ότι το Δr_1 κυμαίνεται από 0,05 έως 0,40 μέτρα, το Δr_2 κυμαίνεται από 0,04 έως 0,40 μέτρα και το Δr_3 από 0,05 έως 0,07 μέτρα.

Και σε αυτή την περίπτωση προκύπτουν τόσο θετικές τιμές των υπολογιζόμενων αποστάσεων, δηλαδή μικρότερες των πραγματικών, όσο και τιμές αρνητικές δηλαδή μεγαλύτερες των πραγματικών.

Τέλος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στα πραγματικά και στα υπολογιζόμενα σημεία λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0,00 έως 0,85 μέτρων.



Διάγραμμα M8. Αποτελέσματα μετρήσεων για το συνδυασμό Laptop (Client) & Routers (APs) [Εξωτερικός χώρος].

Τέλος, στο συγκεκριμένο ζεύγος Client - Access Point παρατηρείται απόκλιση από 0,00 έως 0,34 μέτρα. Προκύπτει ότι το Δr_1 κυμαίνεται από 0,04 έως 0,21 μέτρα, το Δr_2 κυμαίνεται από 0,04 έως 0,21 μέτρα και το Δr_3 από 0,04 έως 0,21 μέτρα.

Όμοια με τις προηγούμενες περιπτώσεις, και σε αυτές τις μετρήσεις, προκύπτουν τόσο θετικές τιμές των υπολογιζόμενων αποστάσεων δηλαδή μικρότερες των πραγματικών, όσο και τιμές αρνητικές δηλαδή μεγαλύτερες των πραγματικών.

Τέλος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στα πραγματικά και στα υπολογιζόμενα σημεία λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0,00 έως 0,34 μέτρων.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σε κάθε μία από τις παρακάτω περιπτώσεις, τα τρία σημεία πρόσβασης εκπέμπουν σήμα από γνωστές συντεταγμένες, οι οποίες μετρώνται με τη χρήση τυπικού μέτρου (χάρακα). Στη συνέχεια, ο client ο οποίος κατέχει το ρόλο του υπό εντοπισμού σημείου μεταφέρεται σε διάφορα σημεία στο χώρο. Σε κάθε σημείο λαμβάνονται μετρήσεις της ισχύος του σήματος, μετατρέπονται σε αποστάσεις και στη συνέχεια αποστέλλονται στην βάση δεδομένων. Τέλος, η ιστοσελίδα παίρνει από την εν λόγω βάση τις αποστάσεις και μέσω της τεχνικής του τριπλευρισμού απεικονίζει την υπολογιζόμενη θέση του ζητούμενου σημείου στον καμβά. Επιπρόσθετα, στον καμβά απεικονίζονται και οι πραγματικές συντεταγμένες των θέσεων στις οποίες μεταφέρθηκε ο client.

Εκκινώντας με την περίπτωση των μετρήσεων εσωτερικού χώρου, στο πρώτο ζεύγος (Client: Arduino, 3 Access Points: Arduino και χρήση φίλτρου Kalman), οι μετρήσεις έδειξαν αποκλίσεις μεταξύ 40 εκατοστών και 1 μέτρου. Αυτό το εύρος σφάλματος παρατηρείται διότι σε εσωτερικούς χώρους το σήμα υπόκειται σε ανακλάσεις και διαθλάσεις πριν καταλήξει από τον πομπό στον δέκτη, με αποτέλεσμα να εξασθενεί σημαντικά η ισχύς του, οδηγώντας έτσι σε όχι και τόσο ακριβή αποτελέσματα. Επιπλέον, τα Arduino που χρησιμοποιήθηκαν έχουν περιορισμένη εμβέλεια, παρατήρηση που επιβεβαιώνεται και από τις περιπτώσεις «Μη σύνδεσης».

Προχωρώντας, στο δεύτερο ζεύγος (Client: Arduino, 3 Access Points: Routers και χρήση φίλτρου Kalman), οι μετρήσεις έδειξαν αποκλίσεις μεταξύ 43 εκατοστών και 60 εκατοστών. Οι αποκλίσεις σε αυτήν την περίπτωση είναι μικρότερες, καθώς τα routers που χρησιμοποιούνται ως access points έχουν μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής σήματος, καλύπτοντας έτσι σε κάποιο βαθμό την μικρή εμβέλεια εκπομπής του Arduino client.

Στο τρίτο ζεύγος (Client: Laptop, 3 Access Points: Arduino), η απόκλιση βελτιώνεται σε μεγάλο βαθμό και βρίσκεται ανάμεσα στα 33 και 48 εκατοστά. Την μειωμένη εμβέλεια εκπομπής των Arduino καλύπτει σε αυτή την περίπτωση η ένταση λήψης σήματος του laptop.

Τέλος, στην τέταρτη περίπτωση (Client: Laptop, 3 Access Points: Routers), οι μετρήσεις παρουσιάζουν ένα ακόμα πιο βελτιωμένο εύρος αποκλίσεων μεταξύ 17 έως 48 εκατοστών, λόγω της μεγαλύτερης ισχύος του laptop και των routers.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο τέταρτος συνδυασμός οδηγεί στην επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων για την περίπτωση του κλειστού χώρου.

Προχωρώντας στις μετρήσεις που αφορούν σε εξωτερικό χώρο, το ζεύγος (Client: Arduino, 3 Access Points: Arduino και χρήση φίλτρου Kalman) οδήγησε σε αποκλίσεις από 0 έως και 87 εκατοστά. Αυτό το σφάλμα προέκυψε από την εξασθένηση του σήματος λόγω της μεγάλης απόστασης ανάμεσα στα access points και στον client και της μικρής εμβέλειας εκπομπής σήματος που διακρίνει τα Arduino.

Στο δεύτερο ζεύγος (Client: Arduino, 3 Access Points: Routers και χρήση φίλτρου Kalman) οι μετρήσεις παρουσιάζουν ένα εύρος σφάλματος από 0 έως 80 εκατοστά. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το σφάλμα είναι μικρότερο καθώς τα access points είναι routers τα οποία αποτελούν διατάξεις που διακρίνονται από μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής σήματος σε σχέση με τα Arduino.

Στο τρίτο ζεύγος (Client: Laptop, 3 Access Points: Arduino), παρατηρείται απόκλιση εύρους από 0 έως 85 εκατοστά. Το συγκεκριμένο ζεύγος παρουσιάζει ένα ελαφρό βελτιωμένο εύρος σφάλματος σε σχέση με το συνδυασμό Client: Arduino, 3 Access Points: Arduino, λόγω της ισχυρότερης κεραίας δικτύου που διαθέτει το laptop.

Τέλος, το τέταρτο ζεύγος (Client: Laptop, 3 Access Points: Routers) παρουσιάζει την μικρότερη απόκλιση η οποία εκτείνεται από 0 έως 34 εκατοστά λόγω της μεγάλης ισχύος εκπομπής και λήψης σήματος τόσο του router όσο και του laptop.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον εσωτερικό και τον εξωτερικό χώρο, παρατηρούμε ότι και για τους τέσσερις συνδυασμούς τα αποτελέσματα είναι καλύτερα για την περίπτωση του εξωτερικού χώρου. Αυτό θεωρείται αναμενόμενο στη βάση του γεγονότος ότι στο εξωτερικό περιβάλλον το σήμα διαχέεται χωρίς την παρεμβολή εμποδίων.

Τα σημαντικότερα εμπόδια που ανακύπτουν σε μια διαδικασία εσωτερικού εντοπισμού σχετίζονται με φαινόμενα ανακλάσεων και διαθλάσεων, τα οποία οδηγούν στη μείωση της ισχύος του σήματος με αποτέλεσμα να ενισχύεται το εύρος του σφάλματος στις τελικές μετρήσεις. Η αντιμετώπιση αυτών των εμποδίων αποτελεί τη σημαντικότερη πρόκληση για την επιστημονική και ερευνητική κοινότητα στο πεδίο του εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο.

Προχωρώντας, η έρευνα που έλαβε χώρα στην παρούσα εργασία αφορά σε 2-D τριπλευρισμό. Σε μια τέτοια βάση, οι προσεγγίσεις που υιοθετήθηκαν μπορούν να αποτελέσουν το υπόβαθρο για περαιτέρω έρευνα η οποία θα αφορά σε 3-D τριπλευρισμό καθώς και πολυπλευρισμό.

Τέλος, η τεχνική του τριπλευρισμού που υιοθετήθηκε στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας εφαρμόστηκε για τρία σημεία πρόσβασης. Παρόμοια έρευνα μπορεί να διεξαχθεί με χρήση μεγαλύτερου αριθμού τέτοιων σημείων, με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Parthasarathy, J., (2006), Positioning and Navigation System Using GPS, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 36(6): 208 – 212.
- [2] Cook B., Buckberry G., Scowcroft I., Mitchell J. and Allen T., (2005), *Indoor Location Using Trilateration Characteristics*, University College London, Siemens Communication, Nottingham Trent University.
- [3] Xuan, D., (2018), *Map - assisted Indoor Positioning Utilizing Ubiquitous WiFi Signals*, School of Computer Science and Electronic Engineering University of Essex.
- [4] Hung – Huan, L., & Yu - Non Y., (2012), *Study on the Use of a Weighted Screening Method for Indoor Positioning Systems*, Department of Electronic Engineering, Chung Yuan Christian University.
- [5] Ahed, A., & Tat – Chee, W., (2012), *Evaluation of WiFi - based Indoor (WBI) Positioning Algorithm*, Third FTRA International Conference on Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing, School of Computer Sciences, Universiti Sains Malaysia.
- [6] Atreyi, B., & Chuan, H., F., (2007), *A Practical Path Loss Model For Indoor WiFi Positioning Enhancement*, *Information, Communications & Signal Processing*, School of Computer Engineering, Nanyang Technological University, Singapore.
- [7] Chrysikos, T., Georgopoulos, G. & Kotsopoulos S., (2009), *Site-specific validation of ITU indoor path loss model at 2.4 GHz*, IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops, Kos.
- [8] Pathak, O., Palaskar, P., Palkar, R. & Tawari, M., (2014), *Wi-Fi Indoor Positioning System Based on RSSI Measurements from Wi-Fi Access Points –A Tri-lateration Approach*, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(4).
- [9] Berg, D., M., Cheong, O., Kreveld, V., M., & Overmars, M., (2011), *Υπολογιστική Γεωμετρία, Αλγόριθμοι και Εφαρμογές*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- [10] Καραγιαννίδης, Γ., Κ., (2012), *Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα*, Εκδόσεις Τζιόλα.

- [11] Mazda, F., F., (1989), *Electronics Engineer's Reference Book*, Butterworth&Co. Publishers.
- [12] Khudhair, A., A., Jabbar, S., Q., Sultan, M., Q., & Wang, D., (2016), Wireless Indoor Localization Systems and Techniques: Survey and Comparative Study, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3(2): 392-409.
- [13] Ρωσσικόπουλος, Δ., (2007), Η μέθοδος του τριγωνισμού: Από την πυθαγόρεια τριάδα στα συστήματα αναφοράς των τεσσάρων διαστάσεων, *Περιοδικό του ΤΕΕ*, 12(334).
- [14] Ασθενόπουλος, Β., Α., (2011), *Εντοπισμός θέσης σε ασύρματο δίκτυο WiFi*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [15] Metageek, (2019), Understanding RSSI, <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>, Ημερομηνίαπροσπέλασης: 19/11/2019.
- [16] Röbesaat, J., Zhang, P., Abselaal, M. & Theel, O., (2017), An Improved BLE Indoor Localization with Kalman - Based Fusion: An Experimental Study, Department of Computer Science, Institute for Parallel and Distributed Systems, *Sensors*, 17(951): 1 – 26.
- [17] Haykin, S., (2004), *Kalman Filtering and Neural Network*, John Wiley & Sons.
- [18] Kalman filter, (2019), Kalman Filter in One Dimension, <https://www.kalmanfilter.net/kalman1d.html>, Ημερομηνίαπροσπέλασης: 26/11/2019.
- [19] Russel, B., M., (2012), *Maximum Likelihood Estimation and Interference: With Examples in R, Sas and Admb*, Wiley.
- [20] Shchekotov, M., (2014), *Indoor Localization Method Based on Wi-Fi Trilateration Technique*, PROCEEDING OF THE 16TH CONFERENCE OF FRUCT ASSOCIATION.
- [21] Van Dorp, K., (2002), Tracking and tracing: a structure for development and contemporary practices, Logistics Information Management.
- [22] Attia, M., Moussa, A., Zhao, X., El-Sheimy, N., (2011), *Assisting personal positioning in indoor environments using map matching*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΚΩΔΙΚΕΣ

Κώδικας μετατροπής arduino σε client:

```
#include <ESP8266WiFi.h>

#include <Pinger.h>

#include <SimpleKalmanFilter.h>

#include <Ethernet.h>

#include <ESP8266WebServer.h>

#include <ESP8266HTTPClient.h>

#include <WiFiClient.h>

#include <SPI.h>

#include <MySQL_Connection.h>

#include <MySQL_Cursor.h>

#include <string.h>

#include <arduino.h>

#include <math.h>

char* SSID1 = "ESP_01";

char* pass1 = "";

char* SSID2 = "ESP_02";

char* pass2 = "";

char* SSID3 = "ESP_03";

char* pass3 = "";
```

```

char* SSID4 = "COSMOTE-040A52";

char* pass4 = "44jUnbcKj7p7zuA9";

ESP8266WebServer server(80);

char serveradr[]=("192.168.1.6");

WiFiClient client;

HTTPClient http;

SimpleKalmanFilter simpleKalmanFilter1(1, 1, 0.01);

SimpleKalmanFilter simpleKalmanFilter2(1, 1, 0.01);

SimpleKalmanFilter simpleKalmanFilter3(1, 1, 0.01);

long A= -47;

double d1=295, d2=288, d3=391, r1=0, r2=0, r3=0, n;//Metriounte me to xeri wste na
ypologistei to <n>

long avg1, avg2, avg3;

void setup() {

int i;

long measured_value, kalman_value, sum=0;

Serial.begin(115200);

wificonnect(SSID1, pass1);

for(i=0; i<30; i++){

measured_value = getRSSI();

sum += measured_value;

Serial.print("Measured: ");

```



```
Serial.println(measured_value);

kalman_value = simpleKalmanFilter1.updateEstimate(measured_value);

Serial.print("Kalman: ");

Serial.println(kalman_value);

delay(100);

}

avg1 = sum / 30;

sum = 0;

wificonnect(SSID2, pass2);

for(i=0; i<30; i++){

measured_value = getRSSI();

sum += measured_value;

Serial.print("Measured: ");

Serial.println(measured_value);

kalman_value = simpleKalmanFilter2.updateEstimate(measured_value);

Serial.print("Kalman: ");

Serial.println(kalman_value);

delay(100);

}

avg2 = sum / 35;

sum = 0;

wificonnect(SSID3, pass3);
```

```

for(i=0; i<35; i++){

measured_value = getRSSI();

sum += measured_value;

Serial.print("Measured: ");

Serial.println(measured_value);

kalman_value = simpleKalmanFilter3.updateEstimate(measured_value);

Serial.print("Kalman: ");

Serial.println(kalman_value);

delay(100);

}

avg3 = sum / 35;

wificonnect(SSID4, pass4);

server.begin();

Serial.println("HTTP server started");

n = signalpropagation(d1, d2, d3, avg1, avg2, avg3);

Serial.println("Setup done!\n");

}

void loop() {

long temp;

wificonnect(SSID1, pass1);

temp = simpleKalmanFilter1.updateEstimate(getRSSI());

r1 = rssitodistance(temp);

```

```

Serial.print("Distance in cm between Client and ESP_01 AP = ");

Serial.println(r1);

wificonnect(SSID2, pass2);

temp = simpleKalmanFilter2.updateEstimate(getRSSI());

r2 = rssidistance(temp);

Serial.print("Distance in cm between Client and ESP_02 AP = ");

Serial.println(r2);

wificonnect(SSID3, pass3);

temp = simpleKalmanFilter3.updateEstimate(getRSSI());

r3 = rssidistance(temp);

Serial.print("Distance in cm between Client and ESP_03 AP = ");

Serial.println(r3);

if(r1 > 0 && r2 > 0 && r3 > 0){

wificonnect(SSID4, pass4);

char request[128];

sprintf(request, "http://%s/Trilateration/saveR.php?r1=%.1f&r2=%.1f&r3=%.1f", serveradr,
r1, r2, r3 );

if (http.begin(client, request)) { // HTTP

Serial.print("[HTTP] GET...\n");

int httpCode = http.GET();

if (httpCode > 0) {

Serial.printf("[HTTP] GET... code: %d\n", httpCode);

```

```

if (httpCode == HTTP_CODE_OK || httpCode ==
HTTP_CODE_MOVED_PERMANENTLY) {

String payload = http.getString();

Serial.println(payload);

}

} else {

Serial.printf("[HTTP] GET... failed, error: %s\n", http.errorToString(httpCode).c_str());

}

http.end();

} else{

Serial.printf("[HTTP] Unable to connect\n");

}

}

Serial.println("");

delay(3000);}

void wificonnect(char* ssid, char* pass){

WiFi.mode(WIFI_STA);

WiFi.disconnect();

WiFi.begin(ssid, pass);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED){

Serial.print(".");

delay(500);

```

```

}

Serial.print("Connected to ");

Serial.println(ssid);

Serial.print("IP address: ");

Serial.println(WiFi.localIP());

}

long getRSSI(){

long rssi;

rssi = WiFi.RSSI();

return rssi;

}

double signalpropagation(double d1,double d2,double d3,long avg1,long avg2,long avg3){

double n1, n2, n3;

n1 = (A - avg1)/(10*log(d1));

n2 = (A - avg2)/(10*log(d2));

n3 = (A - avg3)/(10*log(d3));

n = ((n1 + n2 + n3) / 3)*10;

Serial.print("The signal propagation (n) for this space is: ");

Serial.println(n);

return n;

}

double rssidistance(long temp){

```

```
double r;  
  
r = pow(10, (A - temp) / (10*n));  
  
return r*100;  
  
}
```

Κώδικας μετατροπής arduino σε access point:

```
#include <ESP8266WiFi.h>

#include <WiFiClient.h>

#include <ESP8266WebServer.h>

const char *ssid1 = "ESP_01";

const char *password1 = "";

IPAddress local_IP(192,168,1,3);

IPAddress gateway(192,168,1,1);

IPAddress subnet(255,255,255,0);

int count = 0;

ESP8266WebServer server(80);

void setup() {

    delay(1000);

    Serial.begin(115200);

    Serial.println();

    Serial.print("Configuring access point...\n");

    WiFi.softAP(ssid1, password1, 1);

    WiFi.softAPConfig(local_IP, gateway, subnet);

    WiFi.softAP("ESP_01");

    IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();

    Serial.print("ESP_01's IP address: ");

    Serial.println(myIP);
```

```
server.begin();  
  
Serial.println("\nHTTP server started");  
  
}  
  
void loop() {  
  
    server.handleClient();  
  
}
```


Κώδικας για την εμφάνιση της θέσης του σημείου στον καμβά:

```
<!doctype html>

<html>

  <body>

    <canvas width = "900" height = "500" style="border:1px solid
#000000;" id= "my_Canvas"></canvas>

    <script>

class point {

  constructor(x, y) {

    this.x = x;

    this.y = y;

  }

}

var p1 = new point (50.0,185.0);

var p2 = new point (450.0,67.0);

var p3 = new point (672.0,60.0);

var truevalue = new point (416.0,430.0);

var canvas = document.getElementById("my_Canvas");

var ctx = canvas.getContext("2d");

ctx.fillStyle = "#000000";

ctx.beginPath();

ctx.arc( p1.x, p1.y, 3, 0, 2 * Math.PI);
```

```
ctx.fill();

ctx.beginPath();

ctx.fillText("ESP01("+p1.x+", "+p1.y+")",p1.x,p1.y);

ctx.fill();

ctx.beginPath();

ctx.arc( p2.x, p2.y, 3, 0, 2 * Math.PI);

ctx.fill();

ctx.beginPath();

ctx.fillText("ESP02("+p2.x+", "+p2.y+")",p2.x,p2.y);

ctx.fill();

ctx.beginPath();

ctx.arc( p3.x, p3.y, 3, 0, 2 * Math.PI);

ctx.fill();

ctx.beginPath();

ctx.fillText("ESP03("+p3.x+", "+p3.y+")",p3.x,p3.y);

ctx.fill();

ctx.beginPath();

ctx.arc( truevalue.x, truevalue.y, 3, 0, 2 * Math.PI);

ctx.fill();

ctx.beginPath();

ctx.fillText("TruePoint("+truevalue.x+",
"+truevalue.y+")",truevalue.x,truevalue.y);
```

```

        ctx.fill();

<?php
$servername = "localhost";

$username = "root";

$password = "";

$dbname = "trilateration";

$conn = mysqli_connect($servername, $username, $password, $dbname);

if (!$conn) {

die("Connection failed: " . mysqli_connect_error());

}

$sql = "SELECT * FROM `points` WHERE `plotted`=0";

$result = mysqli_query($conn, $sql);

if (mysqli_num_rows($result) > 0) {

    echo 'var numbers = [';

    $row = mysqli_fetch_assoc($result);

    echo '['.$row["r1"].','.$row["r2"].','.$row["r3"].']';

while($row = mysqli_fetch_assoc($result)) {

echo '['.$row["r1"].','.$row["r2"].','.$row["r3"].']';

}

    echo '];';

}

else{

```

```

        echo 'var numbers = null';
    }
?>
function norm ( p)
{
    return Math.pow(Math.pow(p.x,2)+Math.pow(p.y,2),0.5);
}
function TwoDtrilateration( point1, point2, point3, r1, r2, r3)
{
    var resultPos = new point(5.0,0.0);

    var p2p1Distance = Math.pow(Math.pow(point2.x-point1.x,2) + Math.pow(point2.y-
point1.y,2),0.5);

    var ex = new point( (point2.x-point1.x)/p2p1Distance, (point2.y-
point1.y)/p2p1Distance );

    var aux = new point( point3.x-point1.x,point3.y-point1.y );

    var i = ex.x * aux.x + ex.y * aux.y;

    var aux2 = new point( point3.x-point1.x-i*ex.x, point3.y-point1.y-i*ex.y );

    var nx = (aux2.x / norm (aux2));

    var ny = (aux2.y / norm (aux2));

    var ey = new point( nx, ny );

    var j = ey.x * aux.x + ey.y * aux.y;

    var x = (Math.pow(r1,2) - Math.pow(r2,2) + Math.pow(p2p1Distance,2))/ (2 *
p2p1Distance);

```

```

var y = (Math.pow(r1,2) - Math.pow(r3,2) + Math.pow(i,2) + Math.pow(j,2))/(2*j) - i*x/j;
    var finalX = point1.x+ x*ex.x + y*ey.x;

    var finalY = point1.y+ x*ex.y + y*ey.y;

    resultPos.x = finalX;

    resultPos.y = finalY;

    return new point( resultPos.x, resultPos.y );

}

ctx.fillStyle = '#ff0000';

ctx.font = "10px Arial";

if( numbers != null )

{

    for(i=0; i<numbers.length; i++){

        var finalPos = TwoDtrilateration(p1,p2,p3,
numbers[i][0],numbers[i][1],numbers[i][2]);

        ctx.beginPath();

        ctx.arc( finalPos.x, finalPos.y, 2, 0, 2 * Math.PI);

        ctx.fill();

        ctx.beginPath();

        ctx.fillText("Client("+(Math.round( finalPos.x * 1000) / 1000)+",
"+(Math.round( finalPos.y * 1000) / 1000)+")", finalPos.x, finalPos.y);

        ctx.fill();

    }

}

```

```
</script>

<script>

        setTimeout("location.reload(true);", 15000);

</script>

</body>

</html>

<?php

$sql = "UPDATE `points` SET `plotted`=1 WHERE plotted=0";

mysqli_query($conn, $sql);

mysqli_close($conn);?>
```

Κώδικας αποστολής των αποστάσεων στη βάση δεδομένων:

```
<?php
$r1 = $_GET['r1'];
$r2 = $_GET['r2'];
$r3 = $_GET['r3'];
$servername = "localhost";
$username = "root";
$password = "";
$dbname = "trilateration";
$conn = mysqli_connect($servername, $username, $password, $dbname);
if (!$conn) {
die("Connection failed: " . mysqli_connect_error());
}
$sql = "INSERT INTO `points`(`r1`, `r2`, `r3`, `plotted`) VALUES ('$r1', '$r2', '$r3', 0)";
mysqli_query($conn, $sql);
mysqli_close($conn);
?>
```

Κώδικας δημιουργίας της βάσης δεδομένων:

```
-- phpMyAdmin SQL Dump
-- version 4.8.4
-- https://www.phpmyadmin.net/
-- Host: 127.0.0.1
-- Generation Time: Dec 10, 2019 at 07:37 PM
-- Server version: 10.1.37-MariaDB
-- PHP Version: 7.3.0

SET SQL_MODE = "NO_AUTO_VALUE_ON_ZERO";

SET AUTOCOMMIT = 0;

START TRANSACTION;

SET time_zone = "+00:00";

/*!40101 SET @OLD_CHARACTER_SET_CLIENT=@@CHARACTER_SET_CLIENT
*/;

/*!40101 SET
@OLD_CHARACTER_SET_RESULTS=@@CHARACTER_SET_RESULTS */;

/*!40101 SET @OLD_COLLATION_CONNECTION=@@COLLATION_CONNECTION
*/;

/*!40101 SET NAMES utf8mb4 */;

-- Database: `trilateration`

-- Table structure for table `points`

CREATE TABLE `points` (
`id` int(11) NOT NULL,
```



```

`r1` float NOT NULL,

`r2` float NOT NULL,

`r3` float NOT NULL,

`time` timestamp NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,

`plotted` tinyint(1) NOT NULL

) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8;

-- Indexes for dumped tables

-- Indexes for table `points`

ALTER TABLE `points`

ADD PRIMARY KEY (`id`);

-- AUTO_INCREMENT for dumped tables

-- AUTO_INCREMENT for table `points`

ALTER TABLE `points`

MODIFY `id` int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT, AUTO_INCREMENT=14;

COMMIT;

/*!40101 SET CHARACTER_SET_CLIENT=@OLD_CHARACTER_SET_CLIENT */;

/*!40101 SET CHARACTER_SET_RESULTS=@OLD_CHARACTER_SET_RESULTS */;

/*!40101 SET COLLATION_CONNECTION=@OLD_COLLATION_CONNECTION */;

```

Κώδικας λήψης μετρήσεων από το Laptop:

```
#ifndef UNICODE
#define UNICODE
#endif

#include <windows.h>
#include <wlanapi.h>
#include <Windot11.h>
#include <objbase.h>
#include <wtypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#pragma comment(lib, "wlanapi.lib")
#pragma comment(lib, "ole32.lib")

float measurement();

#define N 3

int wmain()
{
    int i;

    char *networks[N] = {"ESP_01", "ESP_02", "ESP_03" };

    float dBm[N];

    char buffer[128];

    for (int i = 0; i < N; i++)
```

```

    {

        sprintf_s(buffer, 128, "netsh wlan connect name=\"%s\"", networks[i]);

        WinExec(buffer, 0);

        Sleep(5000);

        dBm[i] = measurement();

        printf("Average dBm for %s: %.3f\n", networks[i], dBm[i]);

    }

    system("pause");

    return 0;

}

float measurement()

{

    int dBm, sum=0;

    float mo = 0, n = 0;

    HANDLE hClient = NULL;

    DWORD dwMaxClient = 2;

    DWORD dwCurVersion = 0;

    DWORD dwResult = 0;

    DWORD dwRetVal = 0;

    int iRet = 0;

    WCHAR GuidString[39] = { 0 };

    unsigned int i, k, j;

```

```

PWLAN_INTERFACE_INFO_LIST pIfList = NULL;

PWLAN_INTERFACE_INFO pIfInfo = NULL;

PWLAN_CONNECTION_ATTRIBUTES pConnectInfo = NULL;

DWORD connectInfoSize = sizeof(WLAN_CONNECTION_ATTRIBUTES);

WLAN_OPCODE_VALUE_TYPE opCode = wlan_opcode_value_type_invalid;

dwResult = WlanOpenHandle(dwMaxClient, NULL, &dwCurVersion, &hClient);

if (dwResult != ERROR_SUCCESS) {

    wprintf(L"WlanOpenHandle failed with error: %u\n", dwResult);

    return 1;

}

dwResult = WlanEnumInterfaces(hClient, NULL, &pIfList);

if (dwResult != ERROR_SUCCESS)

{

    wprintf(L"WlanEnumInterfaces failed with error: %u\n", dwResult);

    return 1;

}

else

{

    for (i = 0; i < (int)pIfList->dwNumberOfItems; i++)

    {

        pIfInfo = (WLAN_INTERFACE_INFO *)& pIfList->InterfaceInfo[i];

```

```

        iRet = StringFromGUID2(pIfInfo->InterfaceGuid, (LPOLESTR)&
GuidString, sizeof(GuidString) / sizeof(*GuidString));

        if (iRet == 0)

            wprintf(L"StringFromGUID2 failed\n");

        wprintf(L"\n");

        if (pIfInfo->isState == wlan_interface_state_connected) {

            dwResult = WlanQueryInterface(hClient,

                &pIfInfo->InterfaceGuid,

                wlan_intf_opcode_current_connection,

                NULL,

                &connectInfoSize,

                (PVOID *)&pConnectInfo,

                &opCode);

            if (dwResult != ERROR_SUCCESS) {

                wprintf(L"WlanQueryInterface failed with error: %u\n",
dwResult);

                dwRetVal = 1;

            }

            else {

                wprintf(L"  SSID:\t\t ");

                if (pConnectInfo-
>wlanAssociationAttributes.dot11Ssid.uSSIDLength == 0)

                    wprintf(L"\n");

```

```

else {
    for (k = 0;
        k < pConnectInfo-
>wlanAssociationAttributes.dot11Ssid.uSSIDLength;
        k++) {
        wprintf(L"%c",
            (int)pConnectInfo-
>wlanAssociationAttributes.dot11Ssid.
            ucSSID[k]);
    }
    wprintf(L"\n");
}
wprintf(L"  Signal Quality:\t %d\n",
pConnectInfo->wlanAssociationAttributes.wlanSignalQuality);

for (j = 0; j < 30; j++)
{
    WLAN_SIGNAL_QUALITY quality =
pConnectInfo->wlanAssociationAttributes.wlanSignalQuality;

    if (quality <= 0)
        dBm = -100;

    else if (quality >= 100)
        dBm = -35;
}

```

```

else
    dBm = (quality / 2) - 100;
    wprintf(L"dBm = %d\n", dBm);
    sum = sum + dBm;
    wprintf(L"\n");
    Sleep(200);
}
mo = sum / 30.0f;
}
}
}
}
if (pConnectInfo != NULL) {
    WlanFreeMemory(pConnectInfo);
    pConnectInfo = NULL;
}
if (pIfList != NULL) {
    WlanFreeMemory(pIfList);
    pIfList = NULL;
}
return mo;
}

```

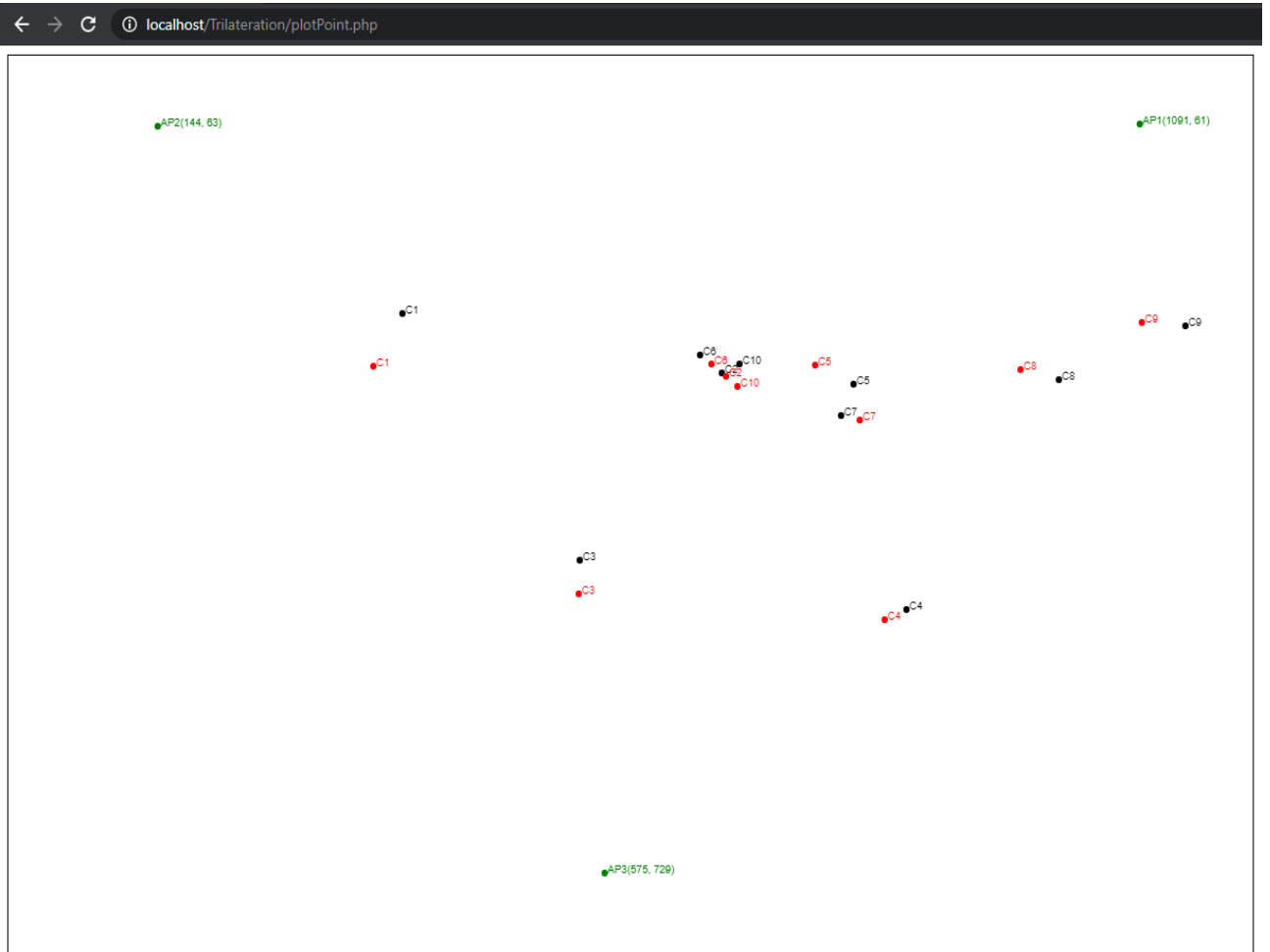
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΚΑΤΟΨΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ HTML ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Συνδυασμός Arduino (Client) & Arduino (APs) [Εσωτερικός χώρος]:



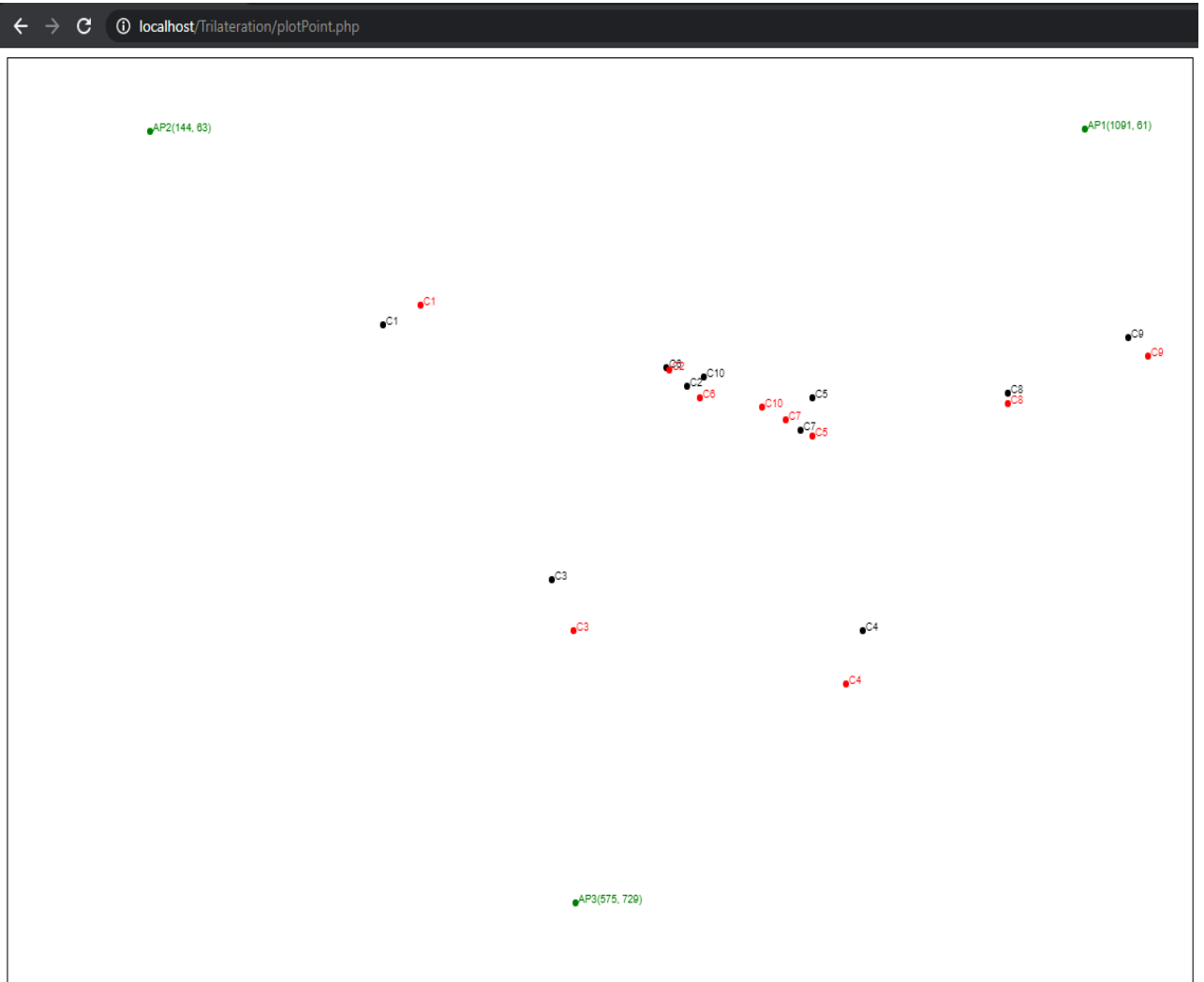
Συνδυασμός Arduino (Client) & Router (APs) [Εσωτερικός χώρος]:



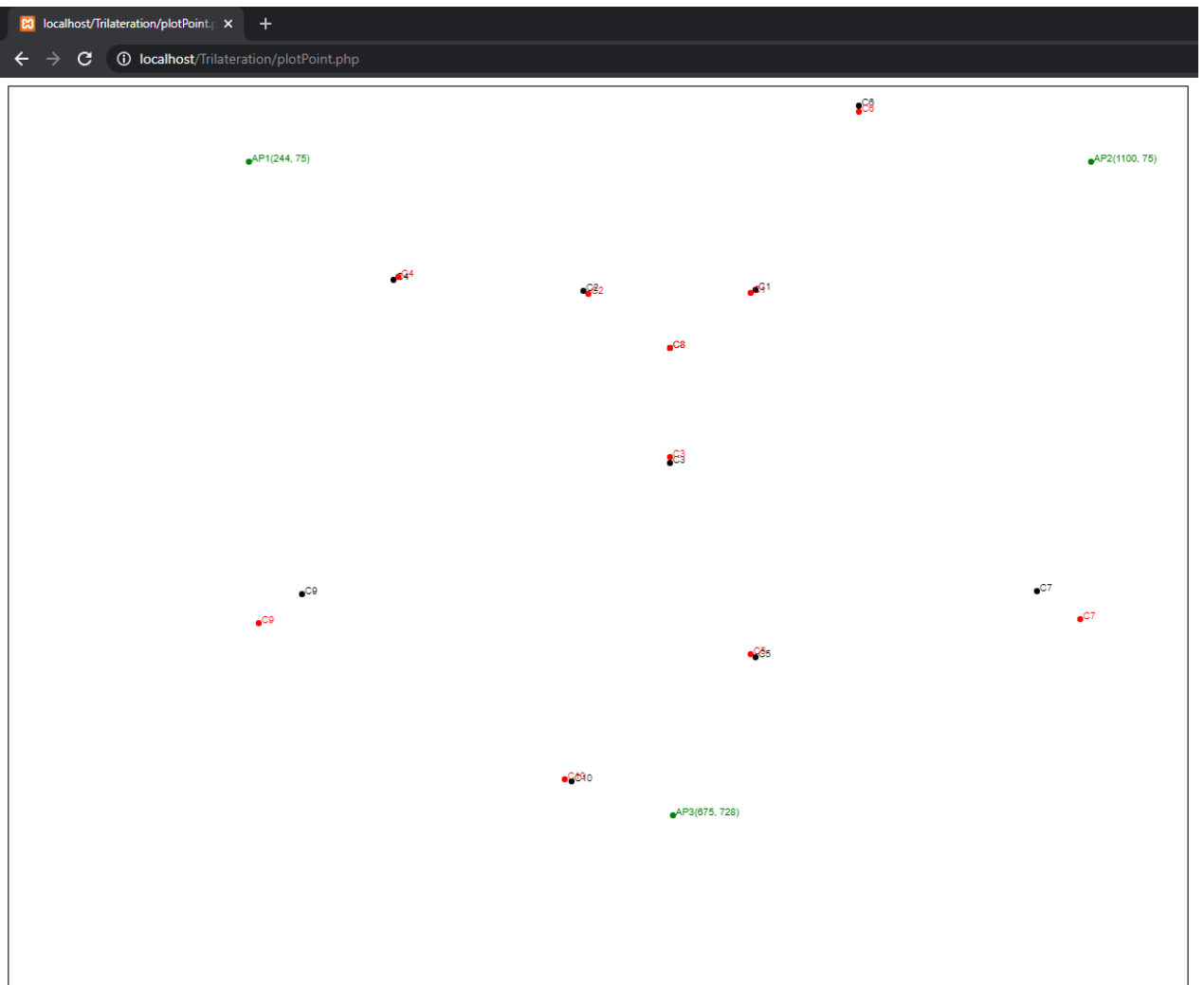
Συνδασμός Laptop (Client) & Arduino (APs) [Εσωτερικός χώρος]:



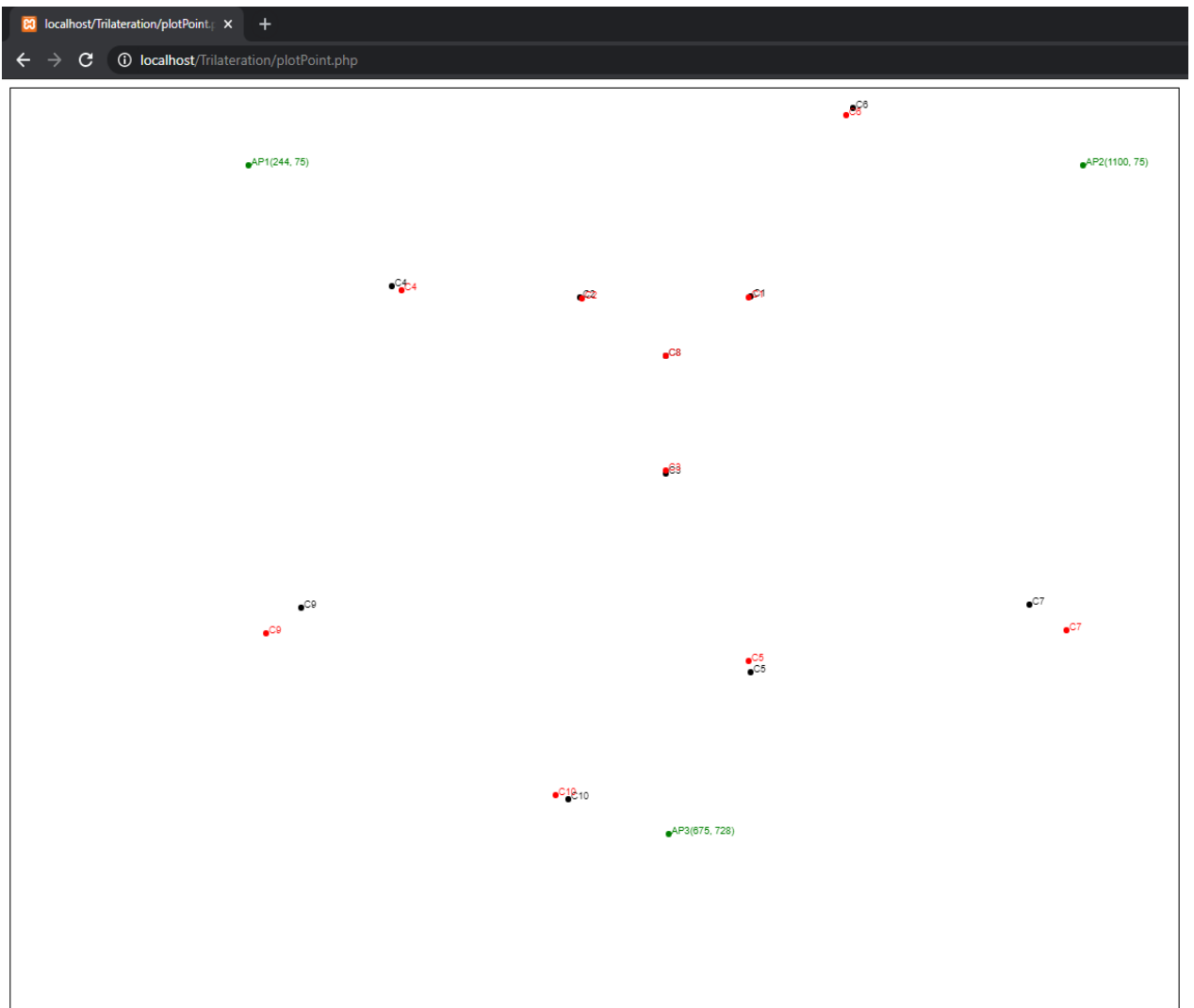
Συνδυασμός Laptop (Client) & Router (APs) [Εσωτερικός χώρος]:



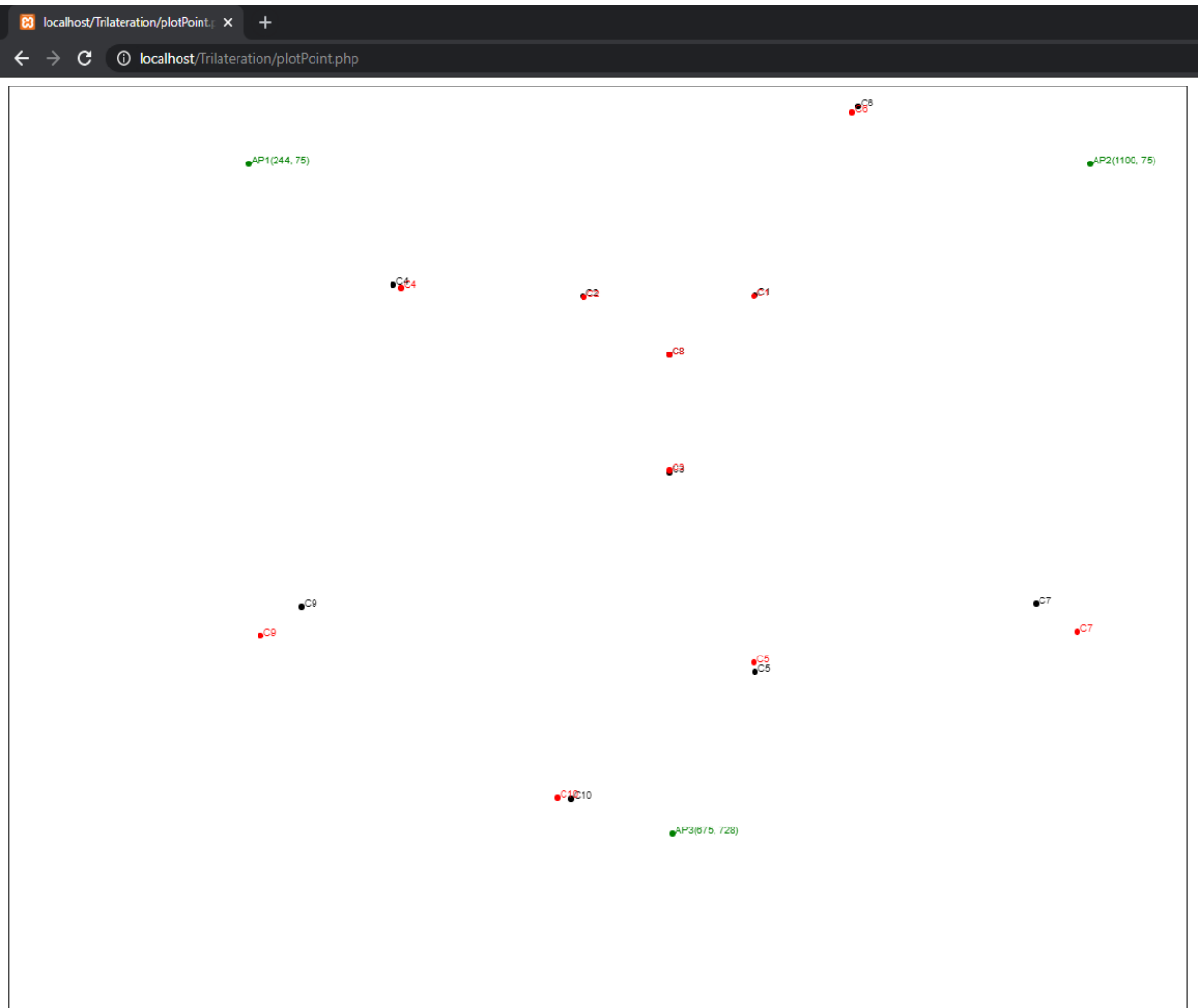
Συνδυασμός Arduino (Client) & Arduino (APs) [Εξωτερικός χώρος]:



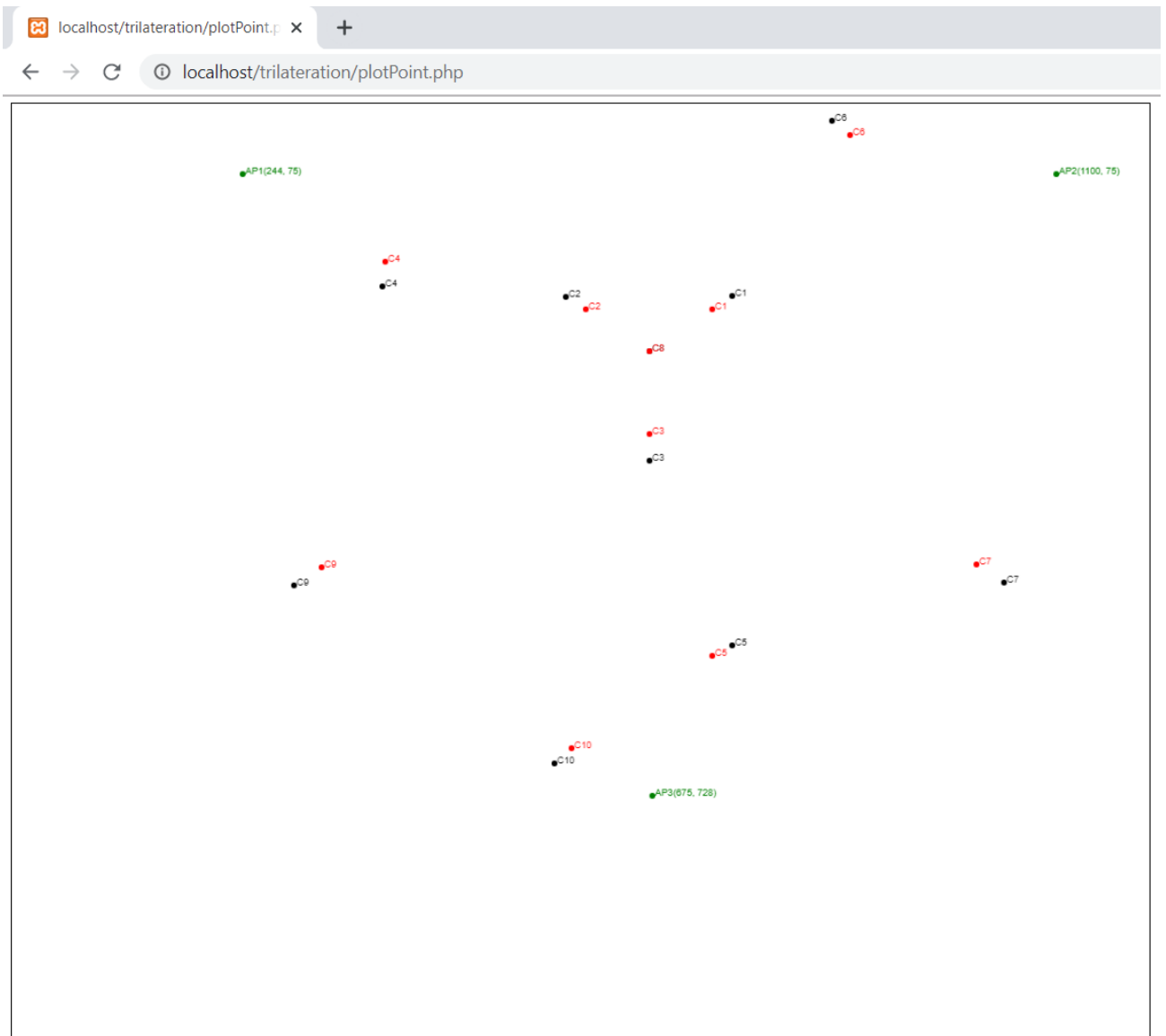
Συνδυασμός Arduino (Client) & Router (APs) [Εξωτερικός χώρος]:



Συνδυασμός Laptop (Client) & Arduino (APs) [Εξωτερικός χώρος]:



Συνδυασμός Laptop (Client) & Router (APs) [Εξωτερικός χώρος]:



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πίνακας Μ1

Arduino (Client) & Arduino (Aps)													
A/A	ESP_01:	ESP_02:	ESP_03:	A	r1	r2	r3	Δr1	Δr2	Δr3	AP 1	AP 2	AP 3
C1	-94	-79	-89	-50	8,59	4,13	6,73	0,41	1,87	0,77	9	6	7,5
C2	-90	-94	-91	-50	7,07	8,59	7,42	0,93	0,21	0,58	8	8,8	8
C3	-91	-88	-76	-50	7,42	6,41	3,56	0,88	1,09	2,14	8,3	7,5	5,7
C4	-82	Μη συνδεση	-75	-50	4,78	-	3,39	1,72	-	2,31	6,5	9,45	5,7
C5	-87	-98	-90	-50	6,10	10,45	7,07	0,90	-1,15	0,73	7	9,3	7,8
C6	-89	-92	-89	-50	6,73	7,79	6,73	0,77	0,31	0,77	7,5	8,1	7,5
C7	-85	-94	-87	-50	5,53	8,59	6,10	0,97	0,21	0,90	6,5	8,8	7
C8	-79	Μη συνδεση	-90	-50	4,13	-	7,07	0,87	-	0,53	5	10	7,6
C9	-75	Μη συνδεση	-91	-50	3,39	-	7,42	0,11	-	0,58	3,5	10,5	8
C10	-87	-92	-88	-50	6,10	7,79	6,41	0,90	0,31	0,79	7	8,1	7,2
				ΜΟ	5,99	7,68	6,19	0,844	0,406	1,009			
				Πραγματικά σημεία			Υπολογισμένα σημεία						
				X	Y		X	Y		D			
				380	230		317	210		0,66			
				688	283		744	287		0,56			
				551	450		543	488		0,39			
				866	494		497	220		4,60			
				815	293		997	427		2,26			
				667	267		699	291		0,40			
				803	321		846	355		0,55			
				1013	289		527	-86		6,14			
				1135	241		556	-144		6,95			
				705	275		741	296		0,42			

Πίνακας Μ1. Μετρήσεις για το συνδυασμό Arduino (Client) & Arduino (APs) [Εσωτερικός χώρος].

Πίνακας Μ2

Arduino (Client) & Router (Aps)													
A/A	Router 1	Router 2	Router 3	A	r1	r2	r3	Δr1	Δr2	Δr3	AP 1	AP 2	AP 3
C1	-87	-78	-82	-47	8,96	5,47	6,81	0,04	0,53	0,69	9	6	7,5
C2	-84	-86	-84	-47	7,60	8,48	7,60	0,40	0,32	0,40	8	8,8	8
C3	-85	-83	-76	-47	8,03	7,20	4,90	0,27	0,30	0,80	8,3	7,5	5,7
C4	-80	-87	-76	-47	6,11	8,96	4,90	0,39	0,49	0,80	6,5	9,45	5,7
C5	-81	-86	-83	-47	6,45	8,48	7,20	0,55	0,82	0,60	7	9,3	7,8
C6	-82	-84	-82	-47	6,81	7,60	6,81	0,69	0,50	0,69	7,5	8,1	7,5
C7	-79	-86	-81	-47	5,78	8,48	6,45	0,72	0,32	0,55	6,5	8,8	7
C8	-75	-88	-83	-47	4,64	9,47	7,20	0,36	0,53	0,40	5	10	7,6
C9	-68	-89	-84	-47	3,16	10,00	7,60	0,34	0,50	0,40	3,5	10,5	8
C10	-81	-84	-81	-47	6,45	7,60	6,45	0,55	0,50	0,75	7	8,1	7,2
				ΜΟ	6,40	8,18	6,59	0,430	0,480	0,607			
				Πραγματικά σημεία			Υπολογισμένα σημεία						
				X	Y		X	Y		D			
				380	230		352	277		0,55			
				688	283		692	286		0,05			
				551	450		550	480		0,30			
				866	494		845	503		0,23			
				815	293		778	276		0,41			
				667	267		678	275		0,14			
				803	321		821	325		0,18			
				1013	289		976	280		0,38			
				1135	241		1093	238		0,42			
				705	275		703	295		0,20			

Πίνακας Μ2. Μετρήσεις για το συνδυασμό Arduino (Client) & Routers (APs) [Εσωτερικός χώρος].

Πίνακας M3

Laptop (Client) & Arduino (Aps)													
A/A	ESP_01:	ESP_02:	ESP_03:	A	r1	r2	r3	Δr1	Δr2	Δr3	AP 1	AP 2	AP 3
C1	-79	-72	-75	-43	8,86	5,80	6,95	0,14	0,20	0,55	9	6	7,5
C2	-77	-78	-77	-43	7,85	8,34	7,85	0,15	0,46	0,15	8	8,8	8
C3	-77	-76	-69	-43	7,85	7,39	4,83	0,45	0,11	0,87	8,3	7,5	5,7
C4	-73	-80	-69	-43	6,16	9,41	4,83	0,34	0,04	0,87	6,5	9,45	5,7
C5	-73	-79	-75	-43	6,16	8,86	6,95	0,84	0,44	0,85	7	9,3	7,8
C6	-75	-77	-76	-43	6,95	7,85	7,39	0,55	0,25	0,11	7,5	8,1	7,5
C7	-73	-78	-73	-43	6,16	8,34	6,16	0,34	0,46	0,84	6,5	8,8	7
C8	-69	-80	-76	-43	4,83	9,41	7,39	0,17	0,59	0,21	5	10	7,6
C9	-63	-81	-77	-43	3,36	10,00	7,85	0,14	0,50	0,15	3,5	10,5	8
C10	-73	-77	-75	-43	6,16	7,85	6,95	0,84	0,25	0,25	7	8,1	7,2
				MO	6,43	8,32	6,71	0,397	0,331	0,485			
				Πραγματικά σημεία		Υπολογισμένα σημεία							
				X	Y		X	Y		D			
				380	230		381	270		0,40			
				688	283		659	261		0,36			
				551	450		581	486		0,47			
				866	494		886	544		0,54			
				815	293		831	315		0,27			
				667	267		687	236		0,37			
				803	321		784	357		0,41			
				1013	289		962	261		0,58			
				1135	241		1086	214		0,56			
				705	275		742	246		0,47			

Πίνακας M3. Μετρήσεις για το συνδυασμό Laptop (Client) & Arduino (APs) [Εσωτερικός χώρος].

Πίνακας M4

Laptop (Client) & Router (Aps)													
A/A	Router 1	Router 2	Router 3	A	r1	r2	r3	Δr1	Δr2	Δr3	AP 1	AP 2	AP 3
C1	-69	-64	-67	-40	8,50	5,88	7,33	0,50	0,12	0,17	9	6	8
C2	-68	-69	-68	-40	7,90	8,50	7,90	0,10	0,30	0,10	8	9	8
C3	-68	-67	-61	-40	7,90	7,33	4,71	0,40	0,17	0,99	8	8	6
C4	-65	-70	-61	-40	6,33	9,15	4,71	0,17	0,30	0,99	7	9	6
C5	-66	-70	-67	-40	6,81	9,15	7,33	0,19	0,15	0,47	7	9	8
C6	-66	-68	-66	-40	6,81	7,90	6,81	0,69	0,20	0,69	8	8	8
C7	-65	-69	-66	-40	6,33	8,50	6,81	0,17	0,30	0,19	7	9	7
C8	-61	-71	-67	-40	4,71	9,85	7,33	0,29	0,15	0,27	5	10	8
C9	-56	-72	-68	-40	3,26	10,61	7,90	0,24	-0,11	0,10	4	11	8
C10	-64	-68	-65	-40	5,88	7,90	6,33	1,12	0,20	0,87	7	8	7
				MO	6,44	8,48	6,72	0,388	0,177	0,483			
				Πραγματικά σημεία		Υπολογισμένα σημεία							
				X	Y		X	Y		D			
				380	230		418	213		0,42			
				688	283		670	269		0,23			
				551	450		573	494		0,49			
				866	494		849	540		0,49			
				815	293		815	326		0,33			
				667	267		701	293		0,43			
				803	321		788	312		0,17			
				1013	289		1013	298		0,09			
				1135	241		1155	257		0,26			
				705	275		764	301		0,64			

Πίνακας M4. Μετρήσεις για το συνδυασμό Laptop (Client) & Routers (APs) [Εσωτερικός χώρος].

Πίνακας M5

Arduino (Client) & Arduino (APs)													
A/A	Router 1	Router 2	Router 3	A	r1	r2	r3	Δr1	Δr2	Δr3	AP 1	AP 2	AP 3
C1	-82	-80	-82	-50	7,88	6,92	7,88	0,12	0,08	0,12	8	7	8
C2	-80	-82	-82	-50	6,92	7,88	7,88	0,08	0,12	0,12	7	8	8
C3	-82	-82	-80	-50	7,88	7,88	6,92	0,12	0,12	0,08	8	8	7
C4	-71	-82	-80	-50	3,87	7,88	6,92	0,13	0,12	0,08	4	8	7
C5	-82	-80	-71	-50	7,88	6,92	3,87	0,12	0,08	0,13	8	7	4
C6	-80	-71	-82	-50	6,92	3,87	7,88	0,08	0,13	0,12	7	4	8
C7	-86	-77	-77	-50	10,20	5,71	5,71	-0,20	0,29	0,29	10	6	6
C8	-83	-83	-83	-50	8,40	8,40	8,40	0,60	0,60	0,60	9	9	9
C9	-77	-86	-77	-50	5,71	10,20	5,71	0,29	-0,20	0,29	6	10	6
C10	-82	-84	-71	-50	7,88	8,96	3,87	0,12	0,04	0,13	8	9	4
				M.O:	7,35	7,46	6,50	0,147	0,138	0,196			
				Πραγματικά σημεία			Υπολογισμένα σημεία						
				X	Y		X	Y		D			
				754	206		738	217		0,19			
				589	207		605	217		0,19			
				672	370		672	348		0,22			
				396	190		394	167		0,23			
				754	567		738	581		0,21			
				864	25		883	34		0,21			
				1089	532		1016	485		0,87			
				672	261		672	261		0,00			
				254	536		327	488		0,87			
				565	692		590	678		0,29			

Πίνακας M5. Μετρήσεις για το συνδυασμό Arduino (Client) & Arduino (APs) [Εξωτερικός χώρος].

Πίνακας M6

Arduino (Client) & Routers (APs)													
A/A	Router 1	Router 2	Router 3	A	r1	r2	r3	Δr1	Δr2	Δr3	AP 1	AP 2	AP 3
C1	-78	-76	-78	-47	7,93	6,94	7,93	0,07	0,06	0,07	8	7	8
C2	-76	-78	-78	-47	6,94	7,93	7,93	0,06	0,07	0,07	7	8	8
C3	-78	-78	-76	-47	7,93	7,93	6,94	0,07	0,07	0,06	8	8	7
C4	-68	-78	-76	-47	4,07	7,93	6,94	-0,07	0,07	0,06	4	8	7
C5	-78	-76	-68	-47	7,93	6,94	4,06	0,07	0,06	-0,06	8	7	4
C6	-76	-68	-78	-47	6,94	4,06	7,93	0,06	-0,06	0,07	7	4	8
C7	-82	-74	-74	-47	10,36	6,07	6,07	-0,36	-0,07	-0,07	10	6	6
C8	-80	-80	-80	-47	9,06	9,06	9,06	-0,06	-0,06	-0,06	9	9	9
C9	-74	-82	-74	-47	6,07	10,35	6,07	-0,07	-0,35	-0,07	6	10	6
C10	-78	-80	-68	-47	7,93	9,06	4,06	0,07	-0,06	-0,06	8	9	4
				M.O:	7,52	7,63	6,70	-0,017	-0,025	0,003			
				Πραγματικά σημεία			Υπολογισμένα σημεία						
				X	Y		X	Y		D			
				757	204		738	217		0,23			
				586	205		605	217		0,22			
				672	373		672	348		0,25			
				401	197		394	167		0,31			
				757	559		738	581		0,29			
				857	26		883	34		0,27			
				1083	529		1016	485		0,80			
				672	261		672	261		0,00			
				261	532		327	488		0,79			
				559	690		590	678		0,33			

Πίνακας M6. Μετρήσεις για το συνδυασμό Arduino (Client) & Routers (APs) [Εξωτερικός χώρος].

Πίνακας M7

Laptop (Client) & Arduino (APs)													
A/A	Router 1	Router 2	Router 3	A	r1	r2	r3	Δr1	Δr2	Δr3	AP 1	AP 2	AP 3
C1	-74	-72	-74	-43	7,95	6,96	7,95	0,05	0,04	0,05	8	7	8
C2	-72	-74	-74	-43	6,96	7,95	7,95	0,04	0,05	0,05	7	8	8
C3	-74	-74	-72	-43	7,95	7,95	6,96	0,05	0,05	0,04	8	8	7
C4	-64	-74	-72	-43	4,07	7,95	6,96	-0,07	0,05	0,04	4	8	7
C5	-74	-72	-64	-43	7,95	6,96	4,07	0,05	0,04	-0,07	8	7	4
C6	-72	-64	-74	-43	6,96	4,07	7,95	0,04	-0,07	0,05	7	4	8
C7	-78	-70	-70	-43	10,40	6,09	6,09	-0,40	-0,09	-0,09	10	6	6
C8	-76	-76	-76	-43	9,09	9,09	9,09	-0,09	-0,09	-0,09	9	9	9
C9	-70	-78	-70	-43	6,09	10,40	6,09	-0,09	-0,40	-0,09	6	10	6
C10	-74	-76	-64	-43	7,95	9,09	4,07	0,05	-0,09	-0,07	8	9	4
				M.O:	7,54	7,65	6,72	-0,039	-0,053	-0,020			
				Πραγματικά σημεία			Υπολογισμένα σημεία						
				X	Y		X	Y		D			
				758	204		738	217		0,24			
				585	205		605	217		0,23			
				672	374		672	348		0,26			
				399	196		394	167		0,29			
				758	561		738	581		0,28			
				858	25		883	34		0,27			
				1087	531		1016	485		0,85			
				672	261		672	261		0,00			
				256	535		327	488		0,85			
				558	693		590	678		0,35			

Πίνακας M7. Μετρήσεις για το συνδυασμό Laptop (Client) & Arduino (APs) [Εξωτερικός χώρος].

Πίνακας M8

Laptop (Client) & Routers (APs)													
A/A	Router 1	Router 2	Router 3	A	r1	r2	r3	Δr1	Δr2	Δr3	AP 1	AP 2	AP 3
C1	-61	-60	-61	-40	7,96	7,21	7,96	0,04	-0,21	0,04	8	7	8
C2	-60	-61	-61	-40	7,21	7,96	7,96	-0,21	0,04	0,04	7	8	8
C3	-61	-61	-60	-40	7,96	7,96	7,21	0,04	0,04	-0,21	8	8	7
C4	-54	-61	-60	-40	3,98	7,96	7,21	0,02	0,04	-0,21	4	8	7
C5	-61	-60	-54	-40	7,96	7,21	3,98	0,04	-0,21	0,02	8	7	4
C6	-60	-54	-61	-40	7,21	3,98	7,96	-0,21	0,02	0,04	7	4	8
C7	-63	-58	-58	-40	9,7	5,92	5,92	0,3	0,08	0,08	10	6	6
C8	-62	-62	-62	-40	8,79	8,79	8,79	0,21	0,21	0,21	9	9	9
C9	-58	-63	-58	-40	5,92	9,7	5,92	0,08	0,3	0,08	6	10	6
C10	-61	-62	-54	-40	7,96	8,79	3,98	0,04	0,21	0,02	8	9	4
				M.O:	7,46	7,54	6,68	0,035	0,052	0,011			
				Πραγματικά σημεία			Υπολογισμένα σημεία						
				X	Y		X	Y		D			
				759	203		738	217		0,25			
				584	204		605	217		0,24			
				672	376		672	348		0,28			
				391	193		394	167		0,26			
				759	570		738	581		0,23			
				864	19		883	34		0,24			
				1045	504		1016	485		0,34			
				672	261		672	261		0,00			
				298	507		327	488		0,34			
				572	694		590	678		0,24			

Πίνακας M8. Μετρήσεις για το συνδυασμό Laptop (Client) & Routers (APs) [Εξωτερικός χώρος].