



**Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου**  
**Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας**  
**Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών.**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*Στα πλαίσια του*

**Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (ΜΔΕ)**

**«Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα»**

*με θέμα*

---

**«Τεχνικές εντοπισμού θέσης»**

---

**Γεώργιος Ν. Παπαπολυχρονίου**

**A.M. 2008122**

**Επιβλέπων Καθηγητής:**

Τσούλος Γεώργιος, Επίκουρος καθηγητής

## Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα» του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Αποτελεί επιστέγασμα των πολύτιμων γνώσεων που είχα την τύχη και τη χαρά να αποκτήσω στο διάστημα της παρακολούθησης του συγκεκριμένου προγράμματος σπουδών αλλά και αποτέλεσμα πολύωρης, επίπονης μελέτης και έρευνας.

Με την παράδοση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Τσούλο, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και διευθυντή του εργαστηρίου «Ασυρμάτων και Κινητών Επικοινωνιών» για το χρόνο που αφιέρωσε, τις συμβουλές και τις πολύτιμες υποδείξεις του, καθώς και για την ευκαιρία που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα αντικείμενο για το οποίο είχα ιδιαίτερο προσωπικό ενδιαφέρον.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδελφή μου, για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές μου του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού προγράμματος για την αρμονική, πολύτιμη και ευχάριστη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της φοίτησής μας.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όσα άτομα με κατανόησαν και στάθηκαν δίπλα μου στη δύσκολη αυτή προσπάθεια και ειδικότερα στους φίλους και συναδέλφους κ. Ιωάννη Πολύζο και κ. Νικόλαο Πετρούλια.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Σκοπός.....	9
1.1 Εισαγωγή.....	10
1.2 Τοπολογίες δικτύων εντοπισμού.....	12
2. Τεχνικές εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού.....	13
2.1 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην Τριγωνοποίηση (Triangulation).....	13
2.1.1 Μέθοδος της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (RSS).....	13
2.1.2 Μέθοδος του χρόνου άφιξης (TOA).....	17
2.1.3 Μέθοδος της διαφοράς χρόνων άφιξης (TDOA).....	18
2.1.4 Εξελιγμένη μέθοδος των διαφορών χρόνων άφιξης (E – OTD).....	20
2.1.5 Μέθοδος της φάσης του λαμβανόμενου σήματος (POA).....	24
2.1.6 Μέθοδος της γωνίας άφιξης (AOA).....	25
2.2 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην ανάλυση σκηνής (Scene Analysis).....	28
2.2.1 Πιθανοτική μέθοδος.....	29
2.2.2 Μέθοδος των k πλησιέστερων γειτόνων.....	30
2.2.2.1 Μέθοδος των k πλησιέστερων γειτόνων χωρίς βάρη (unweighted kNN).....	31
2.2.2.2 Μέθοδος των k πλησιέστερων γειτόνων με βάρη (weighted kNN).....	32
2.3 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην εγγύτητα (Proximity).....	32
2.3.1 Μέθοδος αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (Cell – ID).....	32
2.3.2 Εξελιγμένη μέθοδος αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (Enhanced	

Cell - ID).....	33
3. Σενάρια Προσομοίωσης – Μελέτη αποτελεσμάτων ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού.....	34
3.1 Συνοπτική περιγραφή προσομοίωσης.....	34
3.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης συσχετίζοντας την ακρίβεια εντοπισμού θέσης με το πλήθος των τεχνικών εντοπισμού που χρησιμοποιούνται..	39
3.2.1 Δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης.....	39
3.2.1.1 Μία τεχνική εντοπισμού θέσης.....	39
3.2.1.2 Συνδυασμός δύο τεχνικών εντοπισμού θέσης.....	42
3.2.1.3 Συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης.....	44
3.2.2 Δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης.....	47
3.2.2.1 Μία τεχνική εντοπισμού θέσης.....	47
3.2.2.2 Συνδυασμός δύο τεχνικών εντοπισμού θέσης.....	49
3.2.2.3 Συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης.....	52
3.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης συσχετίζοντας την ακρίβεια εντοπισμού θέσης με το πλήθος των σταθμών βάσης του δικτύου.....	55
3.3.1 Μία τεχνική εντοπισμού θέσης.....	55
3.3.2 Συνδυασμός δύο τεχνικών εντοπισμού θέσης.....	57
3.3.3 Συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης.....	59
4. Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα.....	60
5. Βιβλιογραφία – Αναφορές.....	61

## Λίστα Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Υπηρεσίες θέσης.....	11
<b>Πίνακας 2:</b> Ο συντελεστής απωλειών διάδοσης σε διαφορετικά περιβάλλοντα.....	14
<b>Πίνακας 3:</b> Αποτελέσματα προσομοίωσης, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, για δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί μια τεχνική για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.....	40
<b>Πίνακας 4:</b> Αποτελέσματα προσομοίωσης, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, για δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί συνδυασμό δύο τεχνικών για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.....	42
<b>Πίνακας 5:</b> Βελτίωση ακρίβειας (%), σε δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης, όπου γίνεται χρήση δύο τεχνικών εντοπισμού αντί μίας, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.....	44
<b>Πίνακας 6:</b> Βελτίωση ακρίβειας (%), σε δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης, όπου γίνεται χρήση τριών τεχνικών εντοπισμού αντί ζεύγους , για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.....	45
<b>Πίνακας 7:</b> Αποτελέσματα προσομοίωσης, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, για δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί μια τεχνική για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.....	47
<b>Πίνακας 8:</b> Αποτελέσματα προσομοίωσης, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, για δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί συνδυασμό δύο τεχνικών για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.....	50
<b>Πίνακας 9:</b> : Βελτίωση ακρίβειας (%), σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης, όπου γίνεται χρήση δύο τεχνικών εντοπισμού αντί μίας, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.....	52
<b>Πίνακας 10:</b> Βελτίωση ακρίβειας (%), σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης, ;οπου γίνεται συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού αντί ζεύγους, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.....	53
<b>Πίνακας 11:</b> Βελτίωση ακρίβειας εντοπισμού θέσης (%), με την προσθήκη ενός σταθμού βάσης, σε δίκτυο τριών σταθμών βάσης όπου γίνεται χρήση μιας τεχνικής για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.....	55

**Πίνακας 12:** Βελτίωση ακρίβειας εντοπισμού θέσης (%), με την προσθήκη ενός επιπλέον σταθμού βάσης, σε δίκτυο τριών σταθμών βάσης όπου γίνεται χρήση συνδυασμού δυο τεχνικών για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.....57

**Πίνακας 13:** Βελτίωση ακρίβειας εντοπισμού θέσης (%), με την προσθήκη ενός επιπλέον σταθμού βάσης, σε δίκτυο τριών σταθμών βάσης όπου γίνεται χρήση συνδυασμού τριών τεχνικών για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.....59

## Λίστα Σχημάτων

<b>Σχήμα 1:</b> Μέθοδος RSS για δίκτυο τριών σταθμών βάσης, απουσία διαλείψεων.....	15
<b>Σχήμα 2:</b> Η μέθοδος RSS παρουσία διάλειψης του λαμβανόμενου σήματος από το σταθμό βάσης 2 (BS 2).....	16
<b>Σχήμα 3:</b> Η μέθοδος TDOA, όταν υπάρχει συγχρονισμός ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τους σταθμούς βάσης του δικτύου.....	18
<b>Σχήμα 4:</b> Η μέθοδος TDOA όταν υφίσταται σφάλμα συγχρονισμού (10%) ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τους 4 σταθμούς βάσης του δικτύου.....	19
<b>Σχήμα 5:</b> Σύστημα εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιεί την τεχνική E – OTD.....	21
<b>Σχήμα 6:</b> Υπερβολική E-OTD.....	22
<b>Σχήμα 7:</b> Κυκλική E-OTD.....	23
<b>Σχήμα 8:</b> Μέθοδος εκτίμησης θέσης βασισμένη στη φάση του εκπεμπόμενου σήματος.....	24
<b>Σχήμα 9:</b> Πρόσπτωση του εκπεμπόμενου κύματος από το κινητό τερματικό σε στοιχειοκεραία N στοιχείων.....	26
<b>Σχήμα 10:</b> Μέθοδος AOA σε δίκτυο τεσσάρων 4 σταθμών βάσης.....	27
<b>Σχήμα 11:</b> Παρουσίαση παραμέτρων σεναρίων προσομοίωσης.....	35
<b>Σχήμα 12:</b> Συνδυασμός 2 τεχνικών εντοπισμού θέσης (RSS & AOA).....	36
<b>Σχήμα 13:</b> Συνδυασμός 2 τεχνικών εντοπισμού θέσης (RSS & TDOA).....	37
<b>Σχήμα 14:</b> Συνδυασμός 2 τεχνικών εντοπισμού θέσης (TDOA & AOA).....	38
<b>Σχήμα 15:</b> Συνδυασμός 3 τεχνικών εντοπισμού θέσης (RSS & TDOA & AOA).....	39
<b>Σχήμα 16:</b> Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για τις τρεις τεχνικές εντοπισμού, σε δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης...41	41
<b>Σχήμα 17:</b> Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό δύο τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο αποτελούμενο από 3 σταθμούς βάσης.....	43

- Σχήμα 18:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό δύο και τριών τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης.....46
- Σχήμα 19:** Επίδοση της τεχνικής TDOA, στην υποψήφια θέση (125,75).....48
- Σχήμα 20:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για τις τρεις τεχνικές εντοπισμού, σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης.....49
- Σχήμα 21:** Γραφική απεικόνιση της μέση τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό ζεύγους τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης.....51
- Σχήμα 22:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό δύο και τριών τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης.....54
- Σχήμα 23:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για κάθε τεχνική εντοπισμού, σε δίκτυο με 3 και 4 σταθμούς βάσης.....56
- Σχήμα 24:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό ζεύγους τεχνικών εντοπισμού θέσης, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου.....58
- Σχήμα 25:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου.....60



## 1. Σκοπός

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια αλματώδης εξέλιξη στα ασύρματα συστήματα. Οι ασύρματες τεχνολογίες έχουν εισχωρήσει σε αρκετά πεδία όπως ιατρική, βιομηχανία, συστήματα μεταφοράς κ.α. Αφού λοιπόν σήμερα υπάρχει ευρεία πρόσβαση στην ασύρματη πληροφορία, υπάρχει μια τεράστια απαίτηση για ακριβή εντοπισμό θέσης στα ασύρματα δίκτυα, τόσο σε εξωτερικά όσο και σε εσωτερικά περιβάλλοντα.

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση των κυριότερων τεχνικών εντοπισμού που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι διαφορετικές τοπολογίες δικτύων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι τεχνικές εντοπισμού θέσης. Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη ενότητα θα παρουσιαστούν μέθοδοι που βασίζονται στην τριγωνοποίηση :

- μέθοδος της στάθμης ισχύος λήψεως (RSS)
- μέθοδος του χρόνου άφιξης (TOA)
- μέθοδος της διαφοράς χρόνων άφιξης (TDOA)
- εξελιγμένη μέθοδος των διαφορών χρόνων άφιξης (E – OTD)
- μέθοδος της λαμβανόμενης φάσης του σήματος (POA)
- μέθοδος της γωνίας άφιξης του σήματος

Στη δεύτερη ενότητα θα παρουσιαστούν μέθοδοι εντοπισμού που βασίζονται στην ανάλυση σκηνής (Scene Analysis). Ειδικότερα θα αναλυθούν :

- πιθανοτική μέθοδος
- μέθοδος των k πλησιέστερων γειτόνων

Στην τρίτη ενότητα θα παρουσιαστούν μέθοδοι εντοπισμού που βασίζονται στην εγγύτητα (Proximity methods). Πιο συγκεκριμένα, θα αναλυθούν :

- μέθοδος αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (Cell – ID)
- εξελιγμένη μέθοδος αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, θα εξεταστούν διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης, τα οποία διαφέρουν τόσο προς τον αριθμό των σταθμών βάσης του δικτύου, όσο και προς το πλήθος των τεχνικών εντοπισμού θέσης που υλοποιούνται.

Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν σενάρια που αφορούν υλοποίηση των μεθόδων εντοπισμού θέσης ,αρχικά ξεχωριστά και μετέπειτα σε συνδυασμό αυτών, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν τα αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού, και πως αυτή επηρεάζεται, από το πλήθος των σταθμών βάσης, αλλά και την τεχνική εντοπισμού που χρησιμοποιείται ανά περίπτωση.

## 1.1 Εισαγωγή

Το πρώτο σύστημα εντοπισμού κατασκευάστηκε το 1903-1904 από τον Γερμανό μηχανικό C. Hulsmeyer, ο οποίος πιστοποίησε τη λήψη ραδιοκυμάτων ανακλώμενων πάνω σε πλοία ευρισκόμενα σε απόσταση ενός χιλιομέτρου. Το σύστημα αυτό βοήθησε στην αποφυγή σύγκρουσης των πλοίων, υπό συνθήκες χαμηλής ορατότητας.

Αυτή η ανακάλυψη αποτέλεσε τον προάγγελο του συστήματος RADAR, ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης, που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και έκανε δυνατό τον εντοπισμό κινητών και ακίνητων στόχων, σε αποστάσεις και σε συνθήκες φωτισμού απαγορευτικές για τον απλό οπτικό εντοπισμό με το ανθρώπινο μάτι.

Στις μέρες μας, με την αλματώδη ανάπτυξη των ασύρματων συστημάτων, τα συστήματα εντοπισμού έπαψαν να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε στρατιωτικές εφαρμογές και πλέον απαντώνται σε όλα τα πεδία ανθρώπινης δραστηριότητας.

Στο εμπόριο, τα συστήματα εντοπισμού χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των υλικών σε ένα χώρο (RFID ετικέτες). Πλέον κάθε πολίτης διαθέτει δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GPS), διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο τις μετακινήσεις του, εξοικονομώντας έτσι πολύτιμο χρόνο και χρήματα.

Όσον αφορά τα κυβελωτά συστήματα, οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης Enhanced-911 (E-911) αποτέλεσαν τον καταλύτη για την ανάπτυξη τεχνολογιών εντοπισμού.

Εκτός όμως από τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, η γνώση της γεωγραφικής θέσης των κινητών τερματικών μπορεί να βοηθήσει και στη δημιουργία πολλών άλλων νέων υπηρεσιών, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 1 ως Υπηρεσίες Θέσης.

Με τον όρο Υπηρεσίες Θέσης, αναφερόμαστε στις υπηρεσίες που μπορούν να προσφερθούν στους χρήστες, εφόσον είναι γνωστή η γεωγραφική τους θέση [6].

Κατηγορία	Περιγραφή
Τοπικές Πληροφορίες	Τι υπάρχει κοντά (τουριστικά μέρη, εστιατόρια, κινηματογράφοι), τοπικά νέα, τοπικός Χρυσός Οδηγός
Προσανατολισμός - Δρομολόγηση	Ενημέρωση παρούσας κίνησης, επιλογή συντομότερης διαδρομής, καθοδήγηση δρομολογίου, δημόσιες μεταφορές
Εμπόριο	Μηνύματα (SMS) βάσει αδείας, κουπόνια από κοντινά καταστήματα, ειδικές προσφορές
Ασφάλεια	Η θέση μου, η θέση της οικογένειάς μου, που βρίσκεται το αυτοκίνητό μου
Διαχείριση πόρων	Διαχείριση προσωπικού, οχημάτων , κατανομή πόρων
Κοινωνικά, Παιχνίδια	Γνωριμία με άτομα που βρίσκονται κοντά μου, αλληλοδραστικά παιχνίδια
Έκτακτη Ανάγκη	Προσδιορισμός θέσης σε επείγουσα κλήση, όπως ορίζεται από τις Κοινοτικές Διατάξεις
Χρέωση κλήσης	Χρέωση της κλήσης ανάλογα με την τοποθεσία (σπίτι, δουλειά, στον δρόμο)

### **Πίνακας 1** Υπηρεσίες θέσης.

Πέραν όμως των παραδειγμάτων που αναφέρθηκαν , υπάρχουν αναρίθμητες εφαρμογές οι οποίες θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την χρήση συστημάτων εντοπισμού. Απαιτείται επομένως συνεχής βελτίωση των συστημάτων εντοπισμού, τόσο σε επίπεδο υλικού, όσο και στους αλγορίθμους που αυτά χρησιμοποιούν, ώστε να μπορούν να εκτιμήσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τη γεωγραφική θέση του στόχου.

## 1.2 Τοπολογίες συστημάτων εντοπισμού

Ένα σύστημα εντοπισμού, στην απλούστερη μορφή του, αποτελείται από ένα πομπό και ένα δέκτη. Ο δέκτης επεξεργάζεται διάφορα χαρακτηριστικά λαμβανόμενου σήματος (ισχύς, χρόνος άφιξης, γωνία άφιξης κ.α.) και προσπαθεί να εκτιμήσει την γεωγραφική θέση του πομπού.

Στην πιο σύνθετη μορφή του, ένα ασύρματο σύστημα εντοπισμού αποτελείται από πολλούς δέκτες ή αλλιώς συσκευές μέτρησης και πολλούς πομπούς.

Στη συνέχεια, θα αναλυθούν οι τέσσερις περιπτώσεις τοπολογίας ασυρμάτων συστημάτων εντοπισμού θέσης [3].

- **Σύστημα Απομακρυσμένου Εντοπισμού**  
(Remote Positioning System)

Στα συστήματα αυτά ο πομπός του σήματος είναι κινητός και υπάρχουν διάφορες συσκευές μέτρησης του εκπεμπόμενου σήματος σε γνωστές γεωγραφικές θέσεις. Τα αποτελέσματα από όλες τις συσκευές μέτρησης συλλέγονται σε ένα κεντρικό σταθμό όπου και υπολογίζεται η τοποθεσία του πομπού.

- **Σύστημα αυτο-εντοπισμού**  
(Self Positioning System)

Στα συστήματα αυτό-εντοπισμού, η συσκευή μέτρησης είναι κινητή. Η συσκευή μέτρησης λαμβάνει σήματα από διάφορους πομπούς, των οποίων η θέση είναι γνωστή, και έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει τη θέση της βασιζόμενη στις μετρήσεις που έχει λάβει.

- **Έμμεσο σύστημα απομακρυσμένου εντοπισμού**  
(Indirect Remote Positioning System)

Στο έμμεσο σύστημα απομακρυσμένου εντοπισμού, υπάρχει ασύρματη ζεύξη δεδομένων, μέσω της οποίας αποστέλλονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων από μια συσκευή μέτρησης σε έναν άλλο δέκτη για επεξεργασία.

- **Έμμεσο σύστημα αυτο-εντοπισμού**  
(Indirect Self Positioning System)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων επεξεργάζονται από την κεντρική μονάδα του δικτύου και αποστέλλονται μέσω ασύρματης ζεύξης δεδομένων προς την κινητή συσκευή.

## 2. Τεχνικές εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού

Έχοντας πλέον περιγράψει τη δομή ενός συστήματος εντοπισμού, θα αναφερθούμε σε όλες εκείνες τις τεχνικές που χρησιμοποιεί ένα σύστημα εντοπισμού, ώστε να εκτιμήσει τη γεωγραφική θέση του κινητού τερματικού.

Οι τεχνικές αυτές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες.

Στην πρώτη κατηγορία αναφέρονται οι τεχνικές εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην Τριγωνοποίηση, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού. Στην κατηγορία αυτή ανήκει η μέθοδος της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος, η μέθοδος του χρόνου άφιξης, η μέθοδος της διαφοράς χρόνων άφιξης, η εξελεγμένη μέθοδος των διαφορών χρόνων άφιξης, η μέθοδος της φάσης του λαμβανόμενου σήματος και τελευταία, η μέθοδος της γωνίας άφιξης του σήματος.

Στην δεύτερη κατηγορία αναφέρονται οι τεχνικές που βασίζονται στην ανάλυση τοποθεσίας, για να εκτιμήσουν την πιθανή γεωγραφική θέση του κινητού τερματικού. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστεί εκτενώς η πιθανοτική μέθοδος και η μέθοδος των  $k$  πλησιέστερων γειτόνων.

Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν οι τεχνικές που βασίζονται στην εγγύτητα, για να προσδιορίσουν τη θέση του κινητού τερματικού. Στην κατηγορία αυτή ανήκει η μέθοδος της αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης καθώς και η εξελεγμένη μέθοδος αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης.

### 2.1 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην Τριγωνοποίηση (Triangulation)

#### 2.1.1 Μέθοδος της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (Received Signal Strength)

Το κινητό τερματικό συλλέγει μετρήσεις, που αφορούν την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποστέλλονται στο σταθμό βάσης που το εξυπηρετεί. Έτσι η οντότητα του δικτύου που ευθύνεται για τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού, γνωρίζοντας αυτές τις στάθμες ισχύος, χρησιμοποιεί διάφορα μοντέλα ραδιοκάλυψης [5] (μοντέλο ελεύθερου χώρου, μοντέλο οπτικής επαφής, μοντέλο HATA κ.α.) και υπολογίζει την απόσταση του κινητού τερματικού από τον αντίστοιχο σταθμό βάσης του δικτύου.

Ο υπολογισμός της απόστασης του κινητού τερματικού από τον αντίστοιχο σταθμό βάσης του δικτύου, γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης (1.1), επιλύοντας ως προς την απόσταση  $R$ .

$$\frac{P_r}{P_t} = G_{0t} G_{0r} \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^n \quad (1.1)$$

όπου  $P_r$  η λαμβανόμενη ισχύς του σήματος από το σταθμό βάσης

$P_t$  η ισχύς εκπομπής του αντίστοιχου σταθμού βάσης

$G_{0t}$  το κέρδος της κεραίας του σταθμού βάσης

$G_{0r}$  το κέρδος της κεραίας του κινητού τερματικού

$\lambda$  το μήκος κύματος

και  $n$  ο συντελεστής απωλειών διάδοσης

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή απωλειών διάδοσης  $n$ , σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Path Loss Exponents for Different Environments	
Environment	Path Loss Exponent, $n$
Free space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

**Πίνακας 2:** Ο συντελεστής απωλειών διάδοσης σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

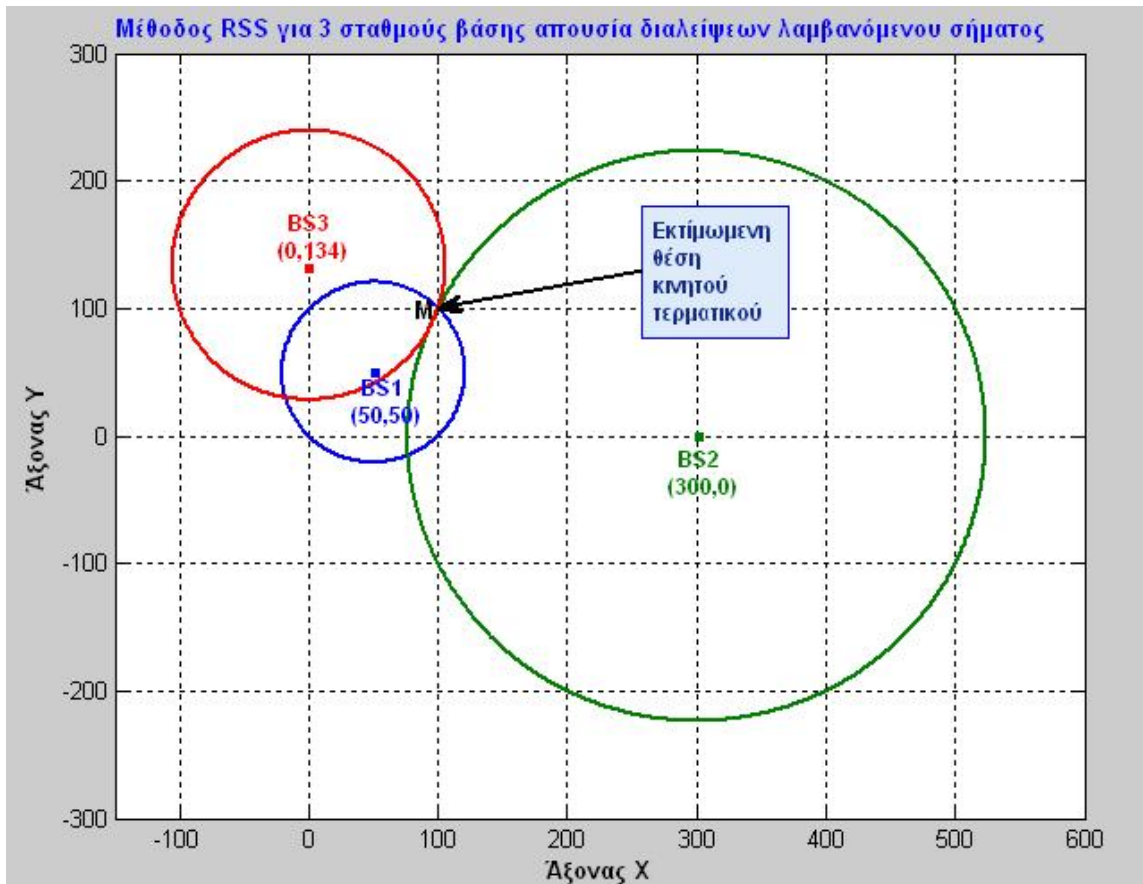
Η οντότητα του δικτύου που ευθύνεται για την εκτίμηση θέσης του κινητού τερματικού, χρησιμοποιεί την εξίσωση (1.2) για να δημιουργήσει κύκλους, οι οποίοι έχουν σαν κέντρο τους σταθμούς βάσης και ακτίνες τις αντίστοιχες αποστάσεις από το κινητό τερματικό, όπως αυτές υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της εξίσωσης (1.1).

$$(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2 = C^2 \quad (1.2)$$

όπου  $x_B, y_B$  οι συντεταγμένες του σταθμού βάσης

και  $C$  η απόσταση ανάμεσα στον συγκεκριμένο σταθμό βάσης και το κινητό τερματικό.

Στην ιδανική περίπτωση όπου δεν παρατηρούνται διαλείψεις, λόγω σκίασης ή λόγω του φαινομένου των πολυδιαδρομών (multipath), η ακριβής θέση του κινητού τερματικού βρίσκεται στο σημείο τομής των κύκλων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



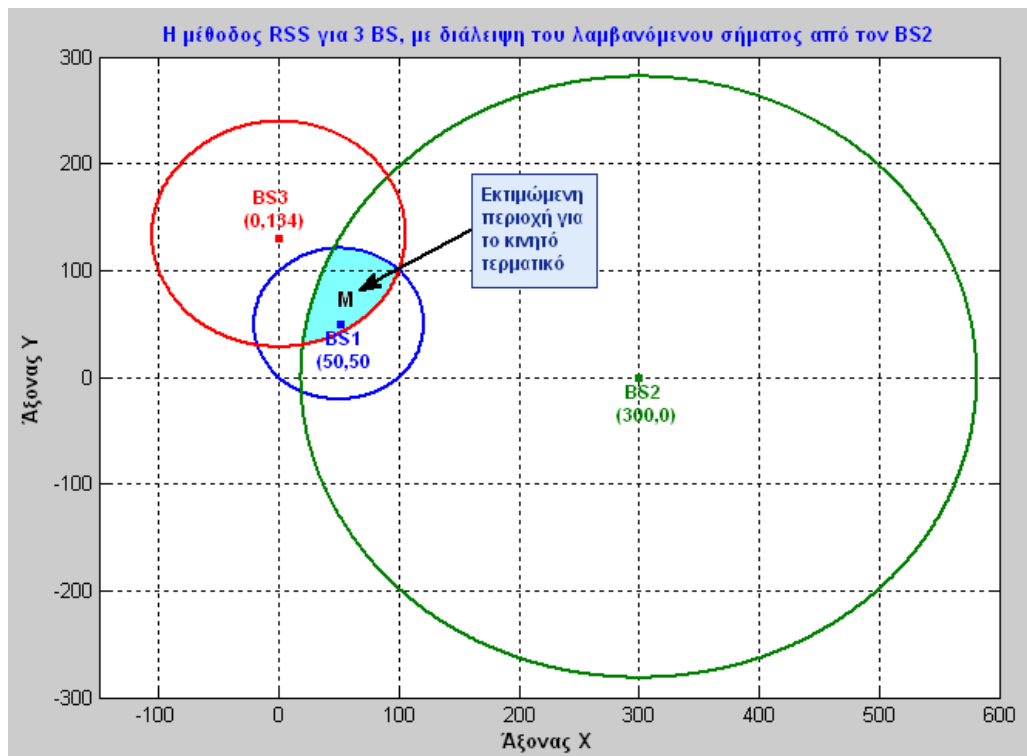
**Σχήμα 1:** Μέθοδος RSS για δίκτυο τριών σταθμών βάσης, απουσία διαλείψεων.

Όμως, η πιθανότητα να μην υπόκεινται σε διάλειψη ταυτόχρονα όλα τα σήματα από τους σταθμούς είναι μικρή. Αυτό που συνήθως παρατηρείται, είναι τουλάχιστον ένα εκ των λαμβανόμενων σημάτων από τους σταθμούς βάσης να υφίσταται διάλειψη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η ακτίνα του κύκλου που η μέθοδος θα υπολογίσει για τον σταθμό βάσης, του οποίου το σήμα υπόκειται σε διάλειψη, να είναι μεγαλύτερη από την πραγματική, μιας και θεωρεί πως το κινητό τερματικό απέχει μεγαλύτερη απόσταση από το σταθμό βάσης. Σε αυτή την περίπτωση, η μέθοδος της στάθμης ισχύος λήψεως, δεν θα εκτιμήσει την ακριβή θέση του κινητού τερματικού.

Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 2, όπου το λαμβανόμενο σήμα από το σταθμό βάσης 2, υπόκειται σε διάλειψη και η εκτιμώμενη θέση του κινητού βρίσκεται εντός της χρωματισμένης περιοχής. Το εμβαδό της εκτιμώμενης περιοχής για το κινητό τερματικό εκφράζει την ακρίβεια εντοπισμού της μεθόδου.

./.

Όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδό της εκτιμώμενης περιοχής, τόσο χειρότερη είναι η ακρίβεια εντοπισμού της μεθόδου.



**Σχήμα 2:** Η μέθοδος RSS παρουσία διάλειψης του λαμβανόμενου σήματος από το σταθμό βάσης 2 (BS 2).

Εάν παρατηρείται διάλειψη στο λαμβανόμενο σήμα, από έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης, η εκτιμώμενη θέση του κινητού τερματικού βρίσκεται εντός της κοινής περιοχής των κύκλων.

Αυτό που γίνεται εύκολα αντιληπτό, είναι ότι το εμβαδό της εκτιμώμενης περιοχής που βρίσκεται το κινητό τερματικό αυξάνεται όσο μεγαλώνει ο αριθμός των λαμβανόμενων σημάτων από τους σταθμούς βάσης που υπόκεινται σε διάλειψη.

Η μέθοδος RSS δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιπτώσεις όπου η απαιτούμενη ακρίβεια είναι λίγα μέτρα, καθώς αποδεικνύεται ευάλωτη στην επίδραση φαινομένων σκίασης και πολλαπλών διαδρομών. Τα φαινόμενα γίνονται εντονότερα σε εσωτερικούς χώρους. Παρουσιάζει όμως σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς η απαιτούμενη πληροφορία είναι ήδη διαθέσιμη στα υπάρχοντα συστήματα, ο χρόνος που απαιτείται για την εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι μικρός, ενώ απαιτούνται ελάχιστες τροποποιήσεις στο δίκτυο για την εφαρμογή της μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα, είναι απαραίτητη η προσθήκη της οντότητας δικτύου, η οποία χρησιμοποιεί τις μετρήσεις που αποστέλλει το κινητό τερματικό για να υπολογίσει την απόσταση που αυτό απέχει από τους αντίστοιχους σταθμούς βάσης και ευθύνεται για την εκτίμηση της γεωγραφικής του θέσης.



### 2.1.2 Μέθοδος του χρόνου άφιξης (Time Of Arrival)

Βασική ιδέα στη μέθοδο αυτή είναι ο υπολογισμός της απόστασης, χρησιμοποιώντας το χρόνο άφιξης (Time Of Arrival) ενός γνωστού σήματος από το κινητό τερματικό στον σταθμό βάσης (ή και αντίστροφα) [6].

Η απόσταση τότε υπολογίζεται από την εξίσωση (1.3):

$$d_i = c \cdot t_i + c \cdot t_{\text{off},i} \quad (1.3)$$

όπου

$d_i$  : η υπολογιζόμενη απόσταση από το  $i$ -οστό σταθμό βάσης

$c$  : η ταχύτητα διάδοσης του φωτός

$t_i$  : ο χρόνος άφιξης του σήματος από τον  $i$ -οστό σταθμό βάσης

$t_{\text{off},i}$  : η διαφορά χρονισμού μεταξύ του ρολογιού του κινητού τερματικού και του ρολογιού από τον  $i$ -οστό σταθμό βάσης

Αφού υπολογιστούν οι αποστάσεις από τους αντίστοιχους σταθμούς βάσης, η θέση του κινητού τερματικού προκύπτει από το σημείο διασταύρωσης των κύκλων των TOA. Απαιτούνται μετρήσεις από 3 σταθμούς βάσης για εκτίμηση θέσης σε επίπεδο δύο διαστάσεων (2D), ενώ για υπολογισμό στο τρισδιάστατο χώρο απαιτούνται τουλάχιστον 4 μετρήσεις.

Γενικά η μέθοδος TOA παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- Πρέπει να μπει χρονική ετικέτα (timestamp) στο εκπεμπόμενο σήμα, ώστε η συσκευή μέτρησης να μπορεί να καθορίσει την απόσταση που ταξίδεψε το σήμα.
- Επειδή η διαφορά χρονισμού  $t_{\text{off},i}$  είναι μια άγνωστη μεταβλητή, εισάγεται σφάλμα, γι' αυτό και η μέθοδος απαιτεί τον συγχρονισμό όλων των σταθμών βάσης του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, η διαφορά χρονισμού δεν θα πάψει να υπάρχει, αλλά θα είναι πλέον σταθερή ανεξαρτήτως σταθμού βάσης ( $t_{\text{off},i} = t_{\text{off}}$ ), εξαρτώμενη όμως ακόμα από το ρολόι του κινητού τερματικού.

Εξαιτίας των ανωτέρω μειονεκτημάτων, η μέθοδος αυτή έχει εγκαταλειφθεί και έχει δώσει τη θέση της στην επόμενη μέθοδο που θα εξεταστεί, η οποία εξαλείφει οποιαδήποτε διαφορά χρονισμού.

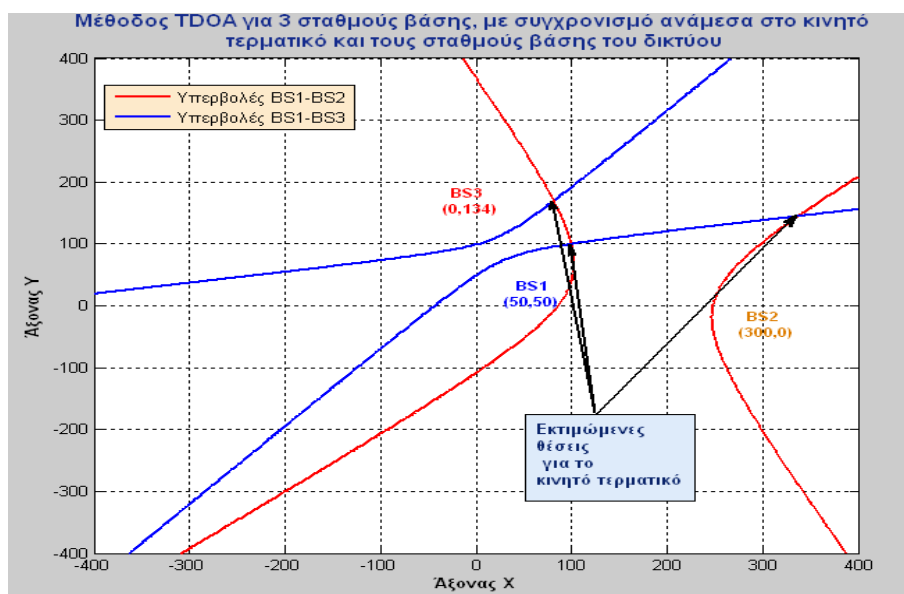
### 2.1.3 Μέθοδος της διαφοράς χρόνων άφιξης (Time Difference Of Arrival)

Κατά τη μέθοδο αυτή δεν απαιτούνται μετατροπές στο κινητό τερματικό, απαιτούνται όμως στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται εγκατάσταση στους σταθμούς βάσης, ειδικών μονάδων υπολογισμού θέσης του κινητού τερματικού, οι οποίες ονομάζονται LMU (Location Measurement Units).

Στις LMU πραγματοποιούνται μετρήσεις του χρόνου άφιξης του σήματος που εκπέμπει το κινητό τερματικό προς τρεις ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Το εκπεμπόμενο σήμα είναι μια ακολουθία παλμών συγχρονισμού (burst training sequence) [6]. Το κινητό τερματικό εξυπηρετείται από εκείνο το σταθμό βάσης του δικτύου, του οποίου το λαμβανόμενο σήμα είναι το πιο ισχυρό σε σχέση με το λαμβανόμενο σήμα από τους υπόλοιπους σταθμούς βάσης. Για να είναι δυνατή επομένως η μέτρηση του χρόνου άφιξης από περισσότερους του ενός σταθμούς βάσης, το δίκτυο πραγματοποιεί εξαναγκασμένες διαπομπές (forced handovers). Οι γεωγραφικές θέσεις των LMU καθώς και η διαφορά χρονισμού τους (timing offset) πρέπει να είναι γνωστές στο δίκτυο.

Οι διαφορές των χρόνων άφιξης μεταφράζονται σε διαφορές αποστάσεων. Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων, για τα οποία η διαφορά των αποστάσεων από δυο σταθερά σημεία παραμένει σταθερή, είναι μια υπερβολή. Συνεπώς, το κινητό τερματικό κινείται επάνω στην υπερβολή, με τους σταθμούς βάσης να αποτελούν τις εστίες της.

Στο Σχήμα 3, παρουσιάζεται η εκτίμηση θέσης για κινητό τερματικό, παίρνοντας μετρήσεις από 3 σταθμούς βάσης, χωρίς σφάλμα συγχρονισμού ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τους σταθμούς βάσης.



**Σχήμα 3:** Η μέθοδος TDOA, όταν υπάρχει συγχρονισμός ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τους σταθμούς βάσης του δικτύου.

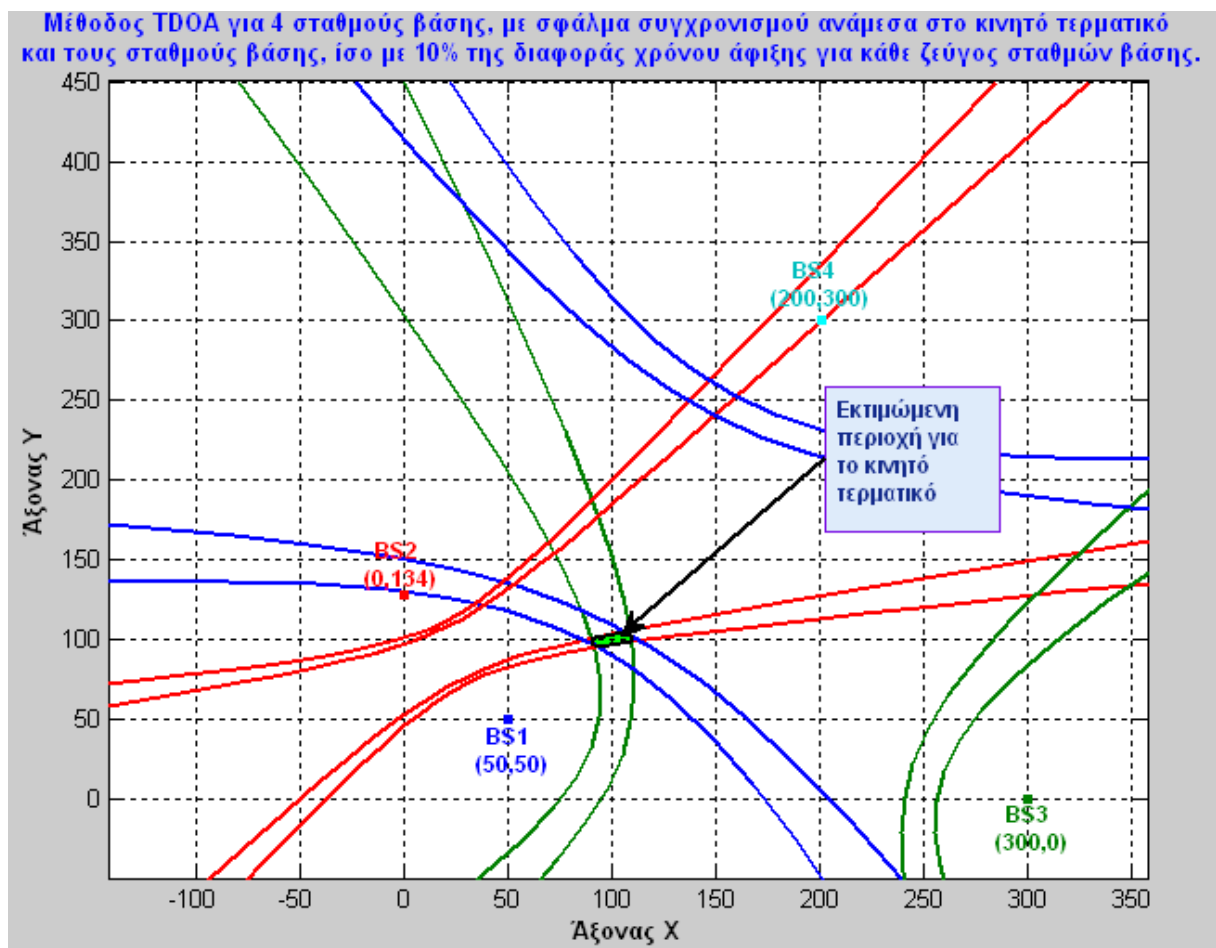
Παρατηρούμε ότι προκύπτουν 2 ανεξάρτητες υπερβολές με τις συμμετρικές τους, για τις οποίες ισχύουν οι ακόλουθες εξισώσεις :

$$\text{TDOA}_{12} = \text{TOA}_1 - \text{TOA}_2 \rightarrow |d_1 - d_2| = c \cdot \text{TDOA}_{12} \quad (1.4)$$

$$\text{TDOA}_{13} = \text{TOA}_1 - \text{TOA}_3 \rightarrow |d_1 - d_3| = c \cdot \text{TDOA}_{13} \quad (1.5)$$

Διαπιστώνουμε ότι χρησιμοποιώντας μετρήσεις από τρεις σταθμούς βάσης προκύπτουν τρεις πιθανές θέσεις ύπαρξης του κινητού τερματικού. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό θα πρέπει να συμπεριλάβουμε μια επιπλέον μέτρηση από τέταρτο σταθμό βάσης ή να χρησιμοποιήσουμε κάποια αρχική πληροφορία για τη θέση του κινητού.

Στο Σχήμα 4, γίνεται εκτίμηση της περιοχής που κινείται το κινητό τερματικό, λαμβάνοντας μετρήσεις από 4 σταθμούς βάσης, οι οποίοι δεν είναι συγχρονισμένοι με το κινητό τερματικό. Έχει επιλεγεί σφάλμα συγχρονισμού ίσο με το 10% της διαφοράς χρόνου άφιξης για κάθε ζεύγος σταθμών βάσης.



**Σχήμα 4:** Η μέθοδος TDOA όταν υφίσταται σφάλμα συγχρονισμού (10%) ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τους 4 σταθμούς βάσης του δικτύου.

Όπως και προηγουμένως, ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις :

$$\text{TDOA}_{12} = (\text{TOA}_1 - \text{TOA}_2) + \text{error}_1 \rightarrow |d_1 - d_2| = c \cdot \text{TDOA}_{12} \quad (1.6)$$

$$\text{TDOA}_{13} = (\text{TOA}_1 - \text{TOA}_3) + \text{error}_2 \rightarrow |d_1 - d_3| = c \cdot \text{TDOA}_{13} \quad (1.7)$$

$$\text{TDOA}_{14} = (\text{TOA}_1 - \text{TOA}_4) + \text{error}_3 \rightarrow |d_1 - d_4| = c \cdot \text{TDOA}_{14} \quad (1.8)$$

Διαπιστώνουμε ότι εξαιτίας της ύπαρξης σφαλμάτων συγχρονισμού, η τομή των υπερβολών δεν θα είναι σημείο αλλά μια περιοχή. Η εκτιμώμενη θέση του κινητού τερματικού θα βρίσκεται εντός της χρωματιστής περιοχής. Το μέγεθος του εμβαδού της εκτιμώμενης περιοχής εκφράζει την ακρίβεια της συγκεκριμένης μεθόδου εντοπισμού.

#### 2.1.4 Εξελιγμένη μέθοδος των διαφορών χρόνων άφιξης (Enhanced Observed Time Difference)

Η εξελιγμένη μέθοδος διαφορών χρόνων άφιξης (Enhanced Observed Time Difference, E-OTD), αποτελεί παραλλαγή της μεθόδου TDOA. Η μέθοδος E-OTD αναπτύχθηκε με βάση την παρατηρούμενη χρονική διαφορά (Observed Time Difference). Οι μετρήσεις OTD έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν επιβάλλουν την διαπομπή για να γίνουν οι μετρήσεις από τους σταθμούς βάσης μιας και το κινητό τερματικό μετράει τις χρονικές διαφορές μεταξύ των σημάτων που εκπέμπουν οι σταθμοί βάσης [6].

Για την υλοποίηση της μεθόδου είναι απαραίτητη η προσθήκη νέων μονάδων τόσο στο δίκτυο, όσο και στο κινητό τερματικό, γεγονός που αυξάνει το κόστος υλοποίησης.

Υπάρχουν τρεις βασικές έννοιες που σχετίζονται με την εξελιγμένη μέθοδο διαφορών χρόνων άφιξης.

- Η παρατηρούμενη χρονική διαφορά (Observed Time Difference - OTD) μεταξύ των χρόνων άφιξης των σημάτων, από δύο διαφορετικούς σταθμούς βάσης.
- Η πραγματική χρονική διαφορά (Real Time Difference – RTD) που είναι η διαφορά στο συγχρονισμό μεταξύ δυο σταθμών βάσης του δικτύου. Όταν οι σταθμοί βάσης είναι απόλυτα συγχρονισμένοι, τότε  $\text{RTD} = 0$ . Οι τιμές της RTD μετριοούνται από τις LMU.
- Η γεωμετρική χρονική διαφορά (Geometric Time Difference – GTD) που οφείλεται στη χρονική διαφορά λήψης των σημάτων από δυο διαφορετικούς σταθμούς βάσης, λόγω της γεωμετρικής τους θέσης.

$$\text{GTD} = (s_1 - s_2)/c \quad (1.9)$$

όπου :

$s_1$  είναι η απόσταση ανάμεσα στο κινητό τερματικό και το BS1

και

$s_2$  είναι η απόσταση ανάμεσα στο κινητό τερματικό και το BS2

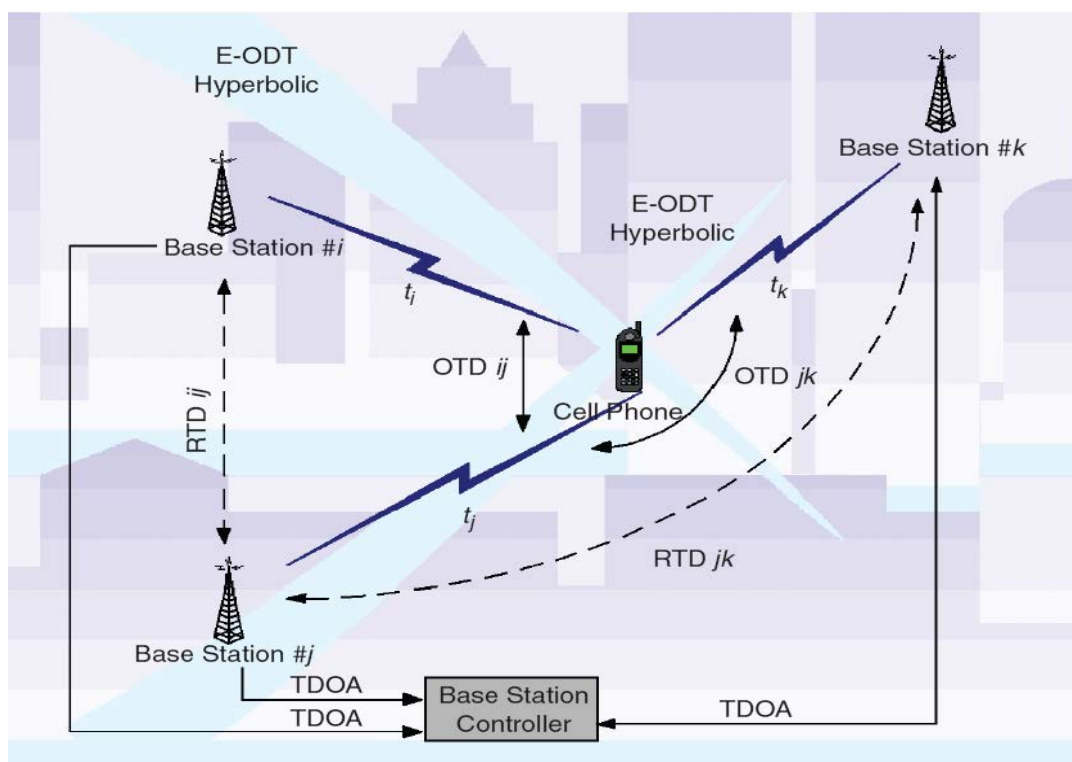
Προφανώς όταν οι σταθμοί βάσης ισαπέχουν από το κινητό τερματικό, τότε  $\text{GTD} = 0$ .

Και οι τρεις έννοιες που αναλύθηκαν παραπάνω συσχετίζονται στην εξίσωση (1.10):

$$\text{GTD} = \text{OTD} - \text{RTD} \quad (1.10)$$

Η GTD είναι η πραγματική ποσότητα που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό θέσης, αφού δίνει πληροφορία για τη θέση του κινητού τερματικού.

Στο Σχήμα 5, παρουσιάζεται σύστημα εντοπισμού που χρησιμοποιεί την τεχνική E – OTD [2].

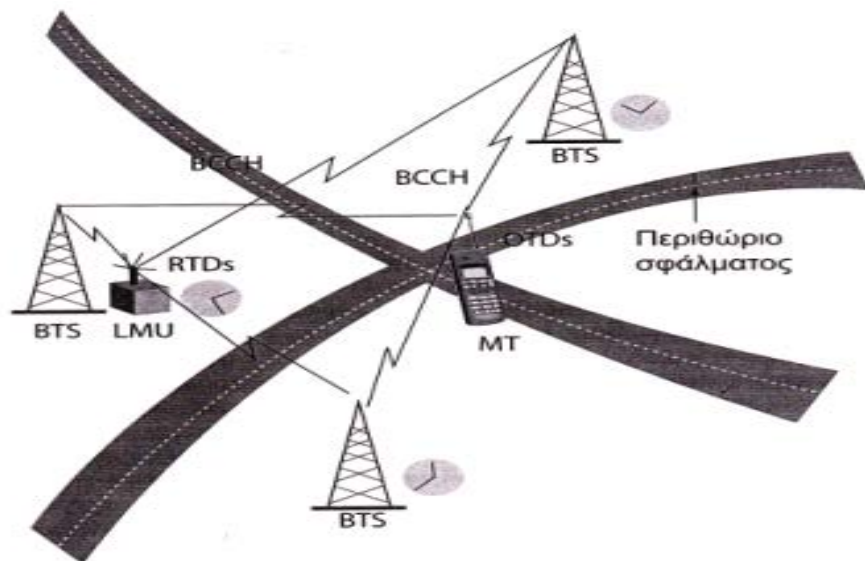


Σχήμα 5. Σύστημα εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιεί την τεχνική E – OTD.

Υπάρχουν δύο παραλλαγές της μεθόδου E-OTD.

### Υπερβολική E-OTD

Κατά τη μέθοδο της υπερβολικής E-OTD, ο υπολογισμός της θέσης του κινητού τερματικού προκύπτει με βάση το γεγονός ότι υπάρχει μια σταθερή τιμή GTD ( $s_1 - s_2 = \text{σταθερή}$ ) μεταξύ δύο σταθμών βάσης, επομένως το κινητό κινείται πάνω σε μια υπερβολή. Η ακριβής θέση του κινητού τερματικού προκύπτει από την τομή υπερβολών όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.



**Σχήμα 6:** Υπερβολική E-OTD.

### Κυκλική E-OTD

Στην παραλλαγή της κυκλικής E-OTD, το κινητό τερματικό και οι LMU, δεν μετρούν τις χρονικές διαφορές μεταξύ των λαμβανόμενων σημάτων από ένα ζεύγος σταθμών βάσης, αλλά μετρούν τη χρονική στιγμή άφιξης των σημάτων ξεχωριστά.

Οι μετρούμενες ποσότητες που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση αυτή είναι :

- Ο παρατηρούμενος χρόνος στο κινητό τερματικό (Mobile Observed Time - MOT), όταν το σήμα φθάνει από το σταθμό βάσης. Αυτή η τιμή μετρίεται σε σχέση με το εσωτερικό ρολόι του κινητού.
- Ο παρατηρούμενος χρόνος στην LMU (LMU Observed Time - LOT), όταν το σήμα φθάνει από το σταθμό βάσης. Αυτή η τιμή μετρίεται σε σχέση με το εσωτερικό ρολόι της LMU. Γενικά υπάρχει μια χρονική διαφορά ανάμεσα στο εσωτερικό ρολόι του κινητού και στο εσωτερικό ρολόι της LMU.
- Η γεωμετρική απόσταση μεταξύ του κινητού και του BTS (DMB).

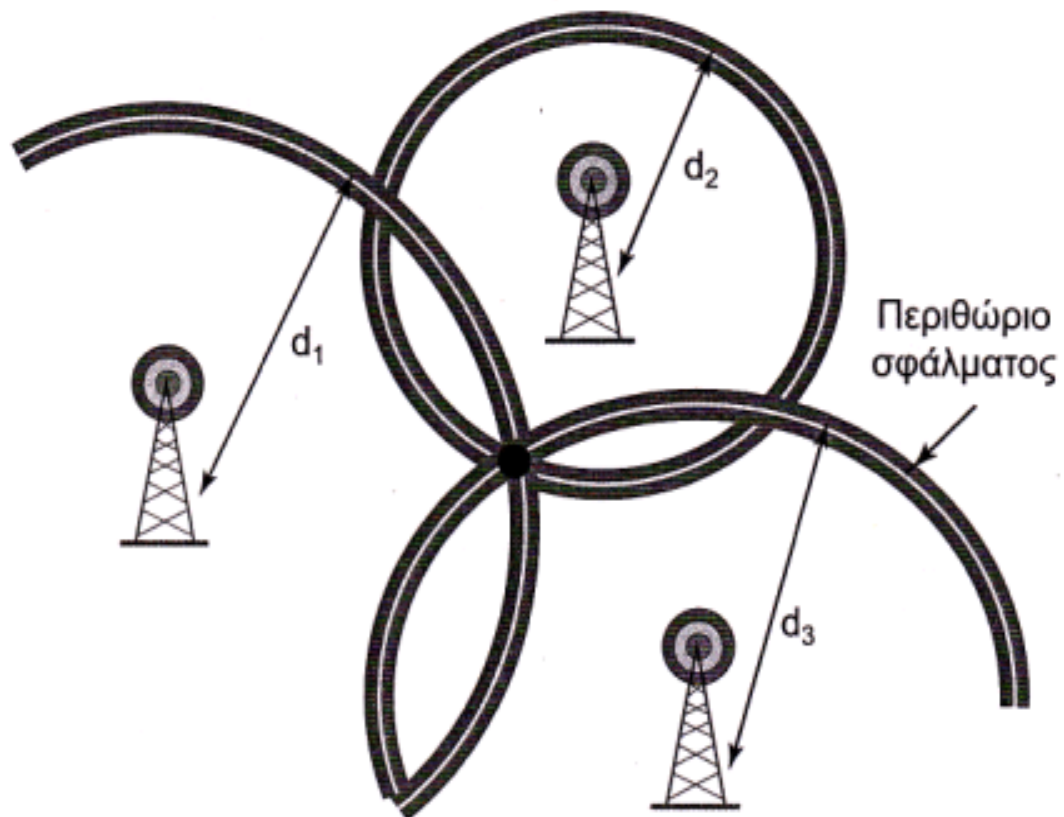
- Η γεωμετρική απόσταση μεταξύ της LMU και του BTS (DLB).

Οι ανωτέρω ποσότητες συνδέονται με την εξίσωση (1.11):

$$DMB - DLB = c \cdot (MOT - LOT + \epsilon) \quad (1.11)$$

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν τρεις (3) άγνωστες μεταβλητές στην ανωτέρω σχέση. Οι συντεταγμένες του κινητού τερματικού ( $x_m, y_m$ ) και η χρονική διαφορά των ρολογιών  $\epsilon$ . Άρα χρειάζονται τρεις (3) σταθμοί βάσης για να επιλυθεί το σύστημα.

Στην εξίσωση (1.11) παρατηρούμε ότι ο όρος ( $DMB - DLB$ ) είναι διαφορά γεωμετρικών αποστάσεων. Θα αναμέναμε λοιπόν η θέση του κινητού τερματικού να προέκυπτε από τομή υπερβολών. Όμως, αν παρατηρήσουμε καλύτερα, ο όρος DLB είναι η γεωμετρική απόσταση μεταξύ της LMU και του BTS, έχει σταθερή τιμή και δεν εξαρτάται από τη θέση του κινητού τερματικού. Αυτός είναι επομένως ο λόγος που η θέση του κινητού τερματικού προκύπτει από την τομή των κύκλων που ορίζονται γύρω από τους σταθμούς βάσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.

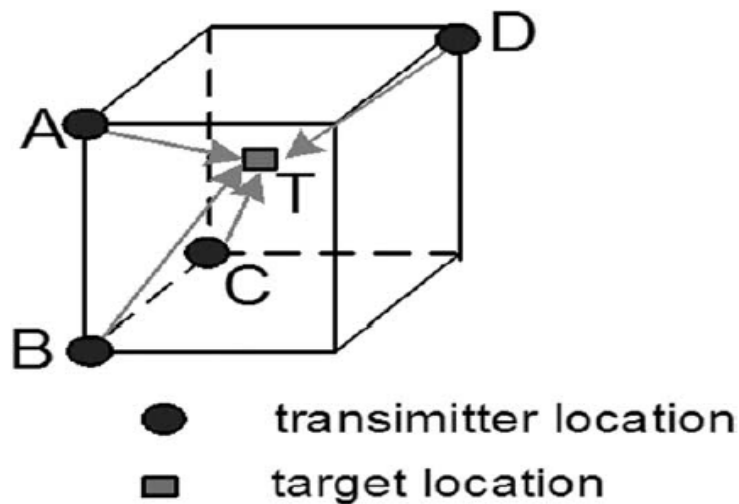


Σχήμα 7: Κυκλική E-OTD.

### 2.1.5 Μέθοδος της φάσης του λαμβανόμενου σήματος (Phase Of Arrival)

Η μέθοδος της φάσης του λαμβανόμενου σήματος, χρησιμοποιεί τη φάση του φέροντος σήματος (carrier phase) ή τη διαφορά φάσης, για να υπολογίσει την απόσταση ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τους σταθμούς βάσης του δικτύου [3].

Αρχικά θα αναλυθεί ο εντοπισμός θέσης του κινητού τερματικού με χρήση της μεθόδου της φάσης του λαμβανόμενου σήματος σε εσωτερικό χώρο και συγκεκριμένα σε ένα εικονικό κτίριο σε σχήμα κύβου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8. Στη συνέχεια θα αναφερθεί και η περίπτωση εντοπισμού θέσης σε εξωτερικούς χώρους.



**Σχήμα 8:** Μέθοδος εκτίμησης θέσης βασισμένη στη φάση του εκπεμπόμενου σήματος.

Οι σταθμοί εκπομπής A έως και D βρίσκονται στις κορυφές του εικονικού κτιρίου σε σχήμα κύβου και εκπέμπουν σήματα ίδιας συχνότητας  $f$ , με μηδενικό offset φάσης. Το κινητό τερματικό, που στο Σχήμα 8 συμβολίζεται με T, ανιχνεύει τη φάση του λαμβανόμενου σήματος από τους σταθμούς βάσης ( $\varphi_i$ ) και με τη βοήθεια της εξίσωσης (1.12) το σύστημα εντοπισμού γνωρίζει την απόσταση που απέχει το κινητό τερματικό από τους αντίστοιχους σταθμούς εκπομπής ( $D_i$ ).

$$\varphi_i = \mathbf{k} \cdot \mathbf{D}_i \quad (1.12)$$

όπου

$$\mathbf{k} = (2 \cdot \pi) / \lambda$$

και

$i$  είναι οι σταθμοί εκπομπής (A,B,C,D)

./.



Με κατάλληλη επιλογή της συχνότητας εκπομπής  $f$ , ώστε το μήκος κύματος  $\lambda$  να είναι μεγαλύτερο από τη διαγώνιο του κυβικού κτιρίου, δηλαδή  $0 < \varphi_i < 2\pi$ , κάθε ανιχνευόμενη φάση αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη απόσταση εντός του κτιρίου.

Γνωρίζοντας πλέον τις αποστάσεις από τους σταθμούς εκπομπής, η εκτιμώμενη θέση του κινητού τερματικού βρίσκεται στο σημείο τομής των σφαιρών που έχουν σαν κέντρα τους σταθμούς εκπομπής και σαν ακτίνες τις αντίστοιχες αποστάσεις.

Επίσης, τα συστήματα εντοπισμού θέσης θα μπορούσαν να εκτιμήσουν τη θέση του κινητού τερματικού, μετατρέποντας τη διαφορά φάσης που μετρά ο δέκτης ανάμεσα σε δυο σήματα που εκπέμπονται από ένα ζεύγος σταθμών εκπομπής σε διαφορά αποστάσεων. Στην περίπτωση αυτή η θέση του κινητού τερματικού θα προέκυπτε από τομή υπερβολών.

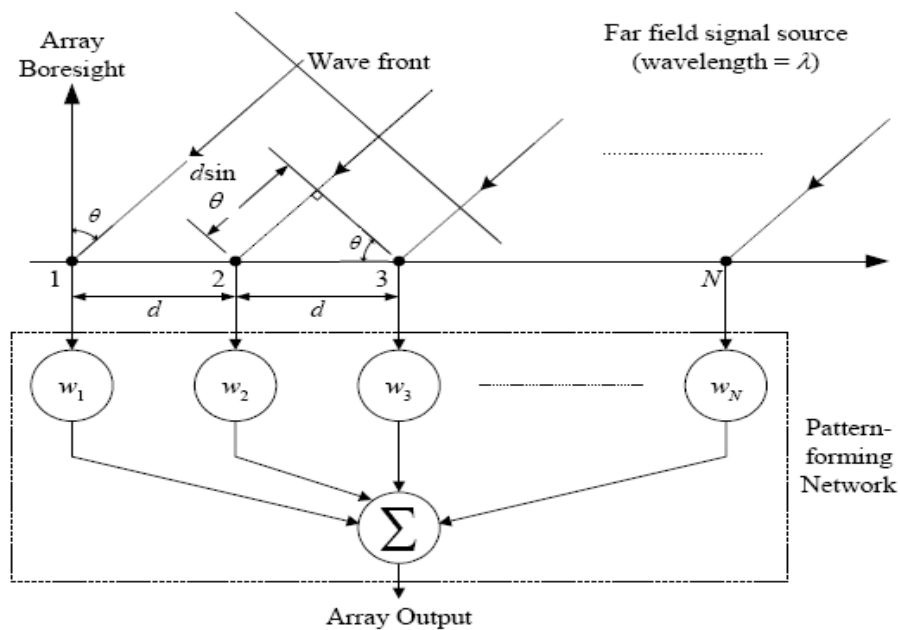
Στην περίπτωση εντοπισμού θέσης σε εξωτερικούς χώρους, κάνοντας χρήση της μεθόδου της φάσης του λαμβανόμενου σήματος, η ανιχνευόμενη από το δέκτη φάση των σημάτων από τους σταθμούς εκπομπής αντιστοιχεί σε αποστάσεις, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους κατά μήκος κύματος  $\lambda$ . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ομόκεντρων κύκλων, με κέντρα τους σταθμούς εκπομπής και ακτίνες αυτών τις αντίστοιχες αποστάσεις. Τα σημεία του χώρου στα οποία τέμνονται οι κύκλοι από όλους τους σταθμούς εκπομπής, αποτελούν τις πιθανές υποψήφιες θέσεις για το κινητό τερματικό. Η εκτίμηση θέσης του κινητού τερματικού θα βρίσκεται εντός της περιοχής που ορίζεται από τις πιθανές υποψήφιες θέσεις.

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ένα πολύ μεγάλο μειονέκτημα. Χρειάζεται ένα μονοπάτι οπτικής επαφής (LOS) καθώς είναι ευαίσθητη στο φαινόμενο πολυδιαδρομών, ειδικά σε εσωτερικούς χώρους.

### 2.1.6 Μέθοδος της γωνίας άφιξης του σήματος (Angle Of Arrival)

Η μέθοδος της γωνίας άφιξης (Angle Of Arrival, AOA), απαιτεί την εγκατάσταση ειδικών κεραιών στους σταθμούς βάσης του δικτύου. Αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιούνται στοιχειοκεραίες ή κεραίες στοιχειοσειράς.

Στο Σχήμα 9, περιγράφεται μια στοιχειοκεραία αποτελούμενη από  $N$  στοιχεία κατά την πρόσπτωση του εκπεμπόμενου κύματος από το κινητό τερματικό υπό γωνία  $\theta$  [4].



**Σχήμα 9:** Πρόσπτωση του εκπεμπόμενου κύματος από το κινητό τερματικό σε στοιχειοκεραία  $N$  στοιχείων.

Για διάδοση σε μακρινές αποστάσεις θεωρούμε το μέτωπο του κύματος επίπεδο, και δεδομένου ότι αυτό φθάνει υπό γωνία  $\theta$  στην στοιχειοκεραία του σταθμού βάσης, θα ανιχνευθεί μια διαφορά φάσης  $\Delta\Phi$  από γειτονικά στοιχεία, εξαιτίας του γεγονότος ότι το κύμα χρειάζεται να διανύσει επιπλέον απόσταση για να φθάσει στο επόμενο στοιχείο.

Η διαφορά φάσης αυτή ισούται με :

$$\Delta\Phi = k \cdot d \cdot \sin\theta . \quad (1.13)$$

όπου  $k = (2 \cdot \pi) / \lambda$

και  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ των στοιχείων της στοιχειοκεραίας

Στην εξίσωση (1.13), η διαφορά φάσης  $\Delta\Phi$ , η απόσταση μεταξύ των στοιχείων  $d$  και ο παράγοντας  $k$ , αποτελούν γνωστές μεταβλητές, ενώ η μόνη άγνωστη μεταβλητή είναι η γωνία  $\theta$ .

Αφού υπολογιστεί η γωνία  $\theta$  για κάθε σταθμό βάσης, ο εντοπισμός του κινητού τερματικού πραγματοποιείται μέσω της γωνίας ημίσιου ισχύος  $\Delta_{3dB}$  (η γωνία που σχηματίζουν οι διευθύνσεις εκατέρωθεν της διεύθυνσης μεγίστου για τις οποίες η ένταση ακτινοβολίας είναι η μισή της μέγιστης τιμής).

Το εύρος της γωνίας ημίσιου ισχύος ( $\Delta_{3dB}$ ), υπολογίζεται από την εξίσωση (1.14).

$$\Delta_{3dB} = \cos^{-1} \left[ \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot d} \left( -\beta \pm \frac{2,782}{N} \right) \right] \quad (1.14)$$

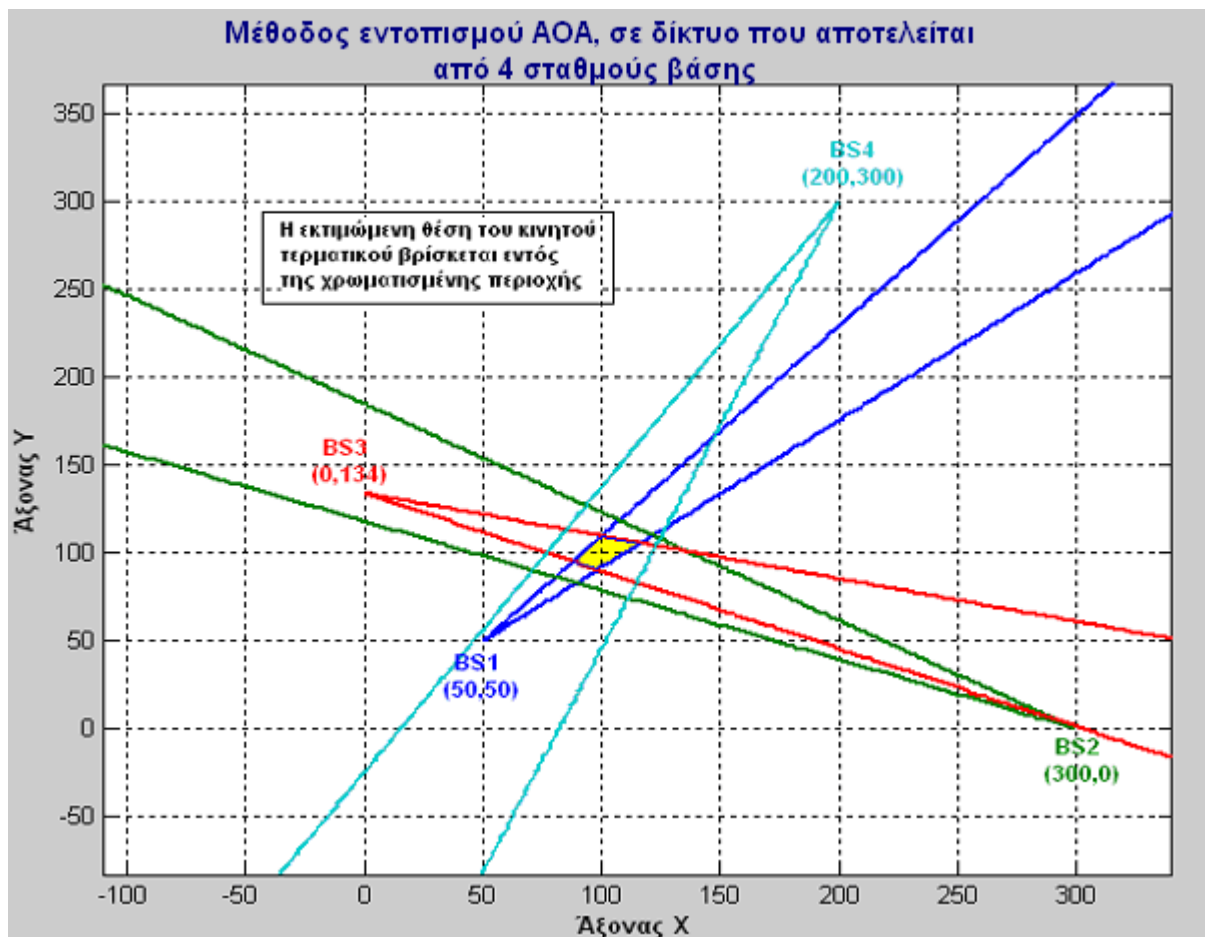
όπου  $d$  η απόσταση μεταξύ των στοιχείων της στοιχειοκεραίας

$\beta$  η διαφορά φάσης διέγερσης των στοιχείων

και  $N$  το πλήθος των στοιχείων της στοιχειοκεραίας

Από την εξίσωση (1.14) προκύπτει ότι το εύρος της γωνίας ημίσιου ισχύος ( $\Delta_{3dB}$ ) εξαρτάται από το πλήθος των στοιχείων της στοιχειοκεραίας και γίνεται μικρότερο όσο αυξάνεται ο αριθμός τους.

Στο Σχήμα 10, παρουσιάζεται η εκτίμηση θέσης για το κινητό τερματικό, σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης, χρησιμοποιώντας την ΑΟΑ μέθοδο εντοπισμού.



**Σχήμα 10:** Μέθοδος ΑΟΑ σε δίκτυο τεσσάρων 4 σταθμών βάσης

Στο Σχήμα 10, η εκτιμώμενη θέση για το κινητό τερματικό βρίσκεται εντός της κοινής περιοχής των χώρων που ορίζουν οι γωνίες μισής ισχύος των κύριων λοβών κάθε σταθμού βάσης (χρωματισμένη περιοχή).

Τα πλεονεκτήματα της AOA είναι ότι:

- Μπορεί να γίνει εκτίμηση θέσης με λίγες συσκευές μέτρησης. Απαιτούνται 2 συσκευές μέτρησης για εκτίμηση θέσης σε επίπεδο 2 διαστάσεων.
- Δεν απαιτείται συγχρονισμός ανάμεσα στις συσκευές μέτρησης
- Δεν χρειάζεται να γίνει κάποια μετατροπή στα κινητά τερματικά

Παρουσιάζει όμως και σημαντικά μειονεκτήματα όπως :

- Απαιτείται η εισαγωγή ακριβών διατάξεων κεραιών λήψης
- Υποβάθμιση της εκτίμησης θέσης, όταν το κινητό τερματικό απομακρύνεται από το σύνολο των συσκευών μέτρησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το εμβαδόν της περιοχής που ορίζεται από το εύρος της γωνίας ημίσειας ισχύος κάθε σταθμού βάσης αυξάνεται όσο αυξάνει η απόσταση.

## 2.2 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην ανάλυση σκηνής (Scene Analysis)

Η ανάλυση σκηνής, αναφέρεται στον τύπο των αλγορίθμων που πρώτα συλλέγουν μετρήσεις που αφορούν την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης σε κάθε υποψήφια θέση, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο μια βάση δεδομένων με «δαχτυλικά αποτυπώματα» του χώρου. Στη συνέχεια προβαίνουν σε εκτίμηση της θέσης ενός αντικειμένου, ταυτίζοντας τις μετρήσεις που γίνονται εκείνη τη στιγμή με το πλησιέστερο εκ των προτέρων «δαχτυλικό αποτύπωμα» της βάσης δεδομένων.

Υπάρχουν δύο στάδια για τη διαδικασία fingerprinting Το offline στάδιο και το online ή runtime στάδιο.

### OFFLINE ΣΤΑΔΙΟ

Κατά το offline στάδιο, συλλέγονται οι στάθμες ισχύος του λαμβανόμενου σήματος από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης και τις συσκευές μέτρησης, από όλες τις υποψήφιες θέσεις του κινητού τερματικού. Δημιουργείται κατ' αυτό τον τρόπο, μια βάση δεδομένων, όπου βρίσκονται καταχωρημένες οι λαμβανόμενες στάθμες ισχύος από γειτονικούς σταθμούς βάσης, για τις αντίστοιχες υποψήφιες θέσεις του κινητού τερματικού.

## ONLINE ΣΤΑΔΙΟ

Κατά τη διάρκεια του online σταδίου, η τεχνική εντοπισμού θέσης, χρησιμοποιεί τις παρατηρούμενες μετρήσεις ισχύος του σήματος μαζί με τις προηγούμενες μετρήσεις (που συλλέχθηκαν κατά το offline στάδιο) και προσπαθεί να εκτιμήσει τη θέση του κινητού τερματικού.

Η μεγάλη πρόκληση για τις τεχνικές εντοπισμού που βασίζονται στο αποτύπωμα τοποθεσίας, είναι ότι η λαμβανόμενη ισχύς του σήματος μπορεί να επηρεαστεί από την περίθλαση, την ανάκλαση και τη σκέδαση.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις κυριότερες μεθόδους ταυτοποίησης για την τεχνική fingerprinting, την πιθανοτική μέθοδο και την μέθοδο πλησιέστερου γείτονα (kNN).

### 2.2.1 Πιθανοτική μέθοδος

Κατά το offline στάδιο, συλλέγονται μετρήσεις με τις στάθμες ισχύος του λαμβανόμενου σήματος από τους σταθμούς βάσης, για τις υποψήφιες θέσεις στις οποίες κινείται το κινητό τερματικό. Αν θεωρήσουμε αυτές τις RSS μετρήσεις, τυχαίες μεταβλητές οι οποίες ακολουθούν μια γνωστή κατανομή, π.χ. Gaussian, οι λαμβανόμενες τιμές στάθμης ισχύος σε μια υποψήφια θέση θα βοηθούσαν στον υπολογισμό της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της κατανομής για τη θέση αυτή.

Επομένως μελετώντας τη συμπεριφορά και τις τιμές γνωστών κατανομών με υπολογισμένες μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις, μπορούμε να υπολογίσουμε τις απαραίτητες πιθανότητες  $P(\mathbf{q}|\mathbf{L}_i)$ , οι οποίες εκφράζουν την πιθανότητα το διάνυσμα μετρήσεων, το οποίο είναι τυχαία μεταβλητή γνωστής κατανομής, να πάρει την τιμή  $\mathbf{q}$ , στη θέση  $\mathbf{L}_i$ .

Επίσης, αν υποθέσουμε ότι όλες οι υποψήφιες θέσεις, στις οποίες συλλέγονται μετρήσεις, είναι ανεξάρτητες, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική πιθανότητα μιας υποψήφιας θέσης, πολλαπλασιάζοντας τις επιμέρους πιθανότητες όλων των υποψήφιων θέσεων.

Υποθέτοντας ότι υπάρχουν  $w$  υποψήφιες θέσεις  $\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_w$  και  $\mathbf{u}$  είναι το διάνυσμα των παρατηρούμενων σταθμών ισχύος κατά το online στάδιο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον ακόλουθο κανόνα απόφασης (2.1) :

$$\text{Επίλεξε τη θέση } \mathbf{L}_i, \text{ εάν } P(\mathbf{L}_i|\mathbf{u}) > P(\mathbf{L}_j|\mathbf{u}) \quad (2.1)$$

$$\text{για } i, j = 1, 2, 3, \dots, w$$

$$\text{και } i \neq j$$

Παρατηρούμε ότι ο κανόνας απόφασης (2.1) χρησιμοποιεί το κριτήριο της μέγιστης εκ των υστέρων πιθανότητας..

Εδώ, η  $P(L_i|u)$ , υποδεικνύει την πιθανότητα το κινητό τερματικό να βρίσκεται στη θέση  $L_i$ , δεδομένου ότι λάβει το δiάνυσμα ισχύος  $u$ . Επίσης, θεωρούμε ότι η πιθανότητα το κινητό τερματικό να βρίσκεται στη θέση  $L_i$ , ορίζεται σαν  $P(L_i)$ .

Εφαρμόζοντας τη φόρμουλα του **Bayes** και υποθέτοντας ότι  $P(L_i) = P(L_j)$ ,

για  $i, j = 1, 2, 3, \dots, w$ , προκύπτει ο κανόνας απόφασης (2.2) που βασίζεται στην πιθανοφάνεια κατά την οποία  $P(u|L_i)$ , είναι η πιθανότητα να λάβουμε το δiάνυσμα ισχύος  $u$ , δεδομένου ότι το κινητό τερματικό βρίσκεται στη θέση  $L_i$ .

$$\text{Δηλαδή, επέλεξε } L_i \text{ εάν } P(u|L_i) > P(u|L_j) \quad (2.2)$$

$$\text{για } i, j = 1, 2, 3, \dots, w$$

$$\text{και } i \neq j$$

Οι κανόνες απόφασης (2.1) και (2.2), δεν μας δίνουν τις ακριβείς συντεταγμένες που βρίσκεται το κινητό τερματικό, αλλά μας πληροφορούν ποια από τις υποψήφιες θέσεις βρίσκεται πιο κοντά σε αυτό. Απαιτείται λοιπόν η εφαρμογή και άλλων κανόνων ώστε να βρούμε το ακριβές στίγμα του κινητού τερματικού..

Η μια λύση είναι να επιλέξουμε τις  $g$  πιο κοντινές υποψήφιες θέσεις, και να υπολογίσουμε το μέσο όρο των συντεταγμένων τους. Δηλαδή, οι συντεταγμένες του κινητού τερματικού  $(X_{mob}, Y_{mob})$  προκύπτουν από τις παρακάτω εξισώσεις :

$$X_{mob} = (x_1 + x_2 + \dots + x_g)/g \quad (2.3)$$

$$\text{και } Y_{mob} = (y_1 + y_2 + \dots + y_g)/g \quad (2.4)$$

Παρατηρούμε όμως ότι με αυτό τον τρόπο, όλες οι επιλεγμένες θέσεις αντιμετωπίζονται με την ίδια βαρύτητα, γεγονός που οδηγεί σε σημαντικό σφάλμα.

Η βέλτιστη λύση επομένως είναι ο μέσος όρος των  $g$  επιλεγμένων θέσεων, να λαμβάνει υπόψη του ως βάρη, τις πιθανότητες  $P(u|L_i)$  των υποψηφίων θέσεων.

### 2.2.2 Μέθοδος των $k$ πλησιέστερων γειτόνων ( $k$ Nearest Neighbor)

Κατά τη διαδικασία του offline σταδίου αναφέρθηκε ότι συλλέγονται οι στάθμες ισχύος του λαμβανόμενου σήματος από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης.

Επομένως για κάθε γεωγραφική θέση ορίζεται ένα δiάνυσμα της μορφής

$$F_i = [ROF_{1i}, ROF_{2i}, \dots, ROF_{mi}] \quad (2.5)$$

όπου  $m$  είναι ο αριθμός των σταθμών βάσης του δικτύου

και **ROF** οι στάθμες ισχύος σήματος από τους σταθμούς βάσης για το offline στάδιο.

Αντίστοιχα, κατά το online στάδιο, σε κάθε γεωγραφική θέση ορίζεται ένα διάνυσμα της μορφής

$$\mathbf{G}_i = [\mathbf{RON}_{1i}, \mathbf{RON}_{2i}, \dots, \mathbf{RON}_{mi}] \quad (2.6)$$

όπου **RON** είναι οι λαμβανόμενες στάθμες ισχύος από τους σταθμούς βάσης για το online στάδιο

και **m** είναι ο αριθμός των σταθμών βάσης.

Η διανυσματική απόσταση ανάμεσα στις μετρήσεις του offline από αυτές του online σταδίου, για κάθε γεωγραφική θέση  $S_i$ , δίνεται από τη σχέση (2.7) :

$$D_i = \sqrt{(\mathbf{ROF}_{1i} - \mathbf{RON}_{1i})^2 + (\mathbf{ROF}_{2i} - \mathbf{RON}_{2i})^2 + \dots + (\mathbf{ROF}_{mi} - \mathbf{RON}_{mi})^2} \quad (2.7)$$

Η μέθοδος των  $k$  πλησιέστερων γειτόνων ( $k$ NN), χρησιμοποιεί τις online μετρήσεις ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (**RON**) για να ψάξει για τις  $k$  πλησιέστερες θέσεις που ταιριάζουν από μια βάση δεδομένων, για τις οποίες η διανυσματική απόσταση ανάμεσα στις τιμές του offline και online σταδίου είναι η ελάχιστη.

Αν η περιοχή ενδιαφέροντος χωριζόταν σε υποχώρους, η εκτιμώμενη περιοχή στην οποία κινείται το κινητό τερματικό, θα ήταν αυτή που περιλάμβανε τις περισσότερες περιοχές από τις  $k$  που βρέθηκαν.

Στην περίπτωση όμως που ζητούμενο είναι η εύρεση των γεωγραφικών συντεταγμένων του κινητού τερματικού ( $x_m, y_m$ ) και όχι απλά η εύρεση του υποχώρου στον οποίο βρίσκεται, διακρίνουμε δύο περιπτώσεις.

### 2.2.2.1 Μέθοδος $k$ πλησιέστερων γειτόνων χωρίς βάρη ( unweighted kNN )

Στην μέθοδο  $k$ NN χωρίς βάρη, οι γεωγραφικές συντεταγμένες του κινητού τερματικού ( $X_m, Y_m$ ) προκύπτουν από το μέσο όρο των γεωγραφικών συντεταγμένων των  $k$  επιλεγμένων θέσεων με την ελάχιστη διανυσματική απόσταση [7].

$$\text{Δηλαδή, } \mathbf{X}_m = (\mathbf{x}_1 + \mathbf{x}_2 + \dots + \mathbf{x}_k) / k \quad (2.8)$$

$$\text{και } \mathbf{Y}_m = (\mathbf{y}_1 + \mathbf{y}_2 + \dots + \mathbf{y}_k) / k \quad (2.9)$$

Όμως, από τις  $k$  υποψήφιες θέσεις που επιλέχθηκαν, δεν έχουν όλες την ίδια απόσταση από την πραγματική θέση του κινητού τερματικού. Κάποιες από τις υποψήφιες θέσεις απέχουν πολύ περισσότερο από την θέση του κινητού τερματικού απ' ότι άλλες.

Επομένως ο υπολογισμός του μέσου όρου από τους ανωτέρω τύπους για εκτίμηση θέσης του κινητού τερματικού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικό σφάλμα.

### **2.2.2.2 Μέθοδος k πλησιέστερων γειτόνων με βάρη ( weighted kNN )**

Κατά τη μέθοδο k πλησιέστερων γειτόνων με βάρη, ο μέσος όρος των συντεταγμένων των k επιλεγμένων θέσεων, μπορεί να λαμβάνει υπόψη του ως βάρη, τις αποστάσεις  $D_i$  των διανυσμάτων offline και online σταδίου.

Έτσι, το σφάλμα μειώνεται, γιατί δίνεται έμφαση στις συντεταγμένες των επιλεγμένων θέσεων που έχουν τις μικρότερες αποστάσεις  $D_i$ , αλλά αυξάνεται η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου.

## **2.3 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην εγγύτητα (Proximity)**

Οι τεχνικές εντοπισμού που βασίζονται στην εγγύτητα, δεν δίνουν ακριβείς πληροφορίες για τις συντεταγμένες που βρίσκεται το κινητό τερματικό, αλλά δίνουν πληροφορίες για την περιοχή του χώρου στην οποία είναι πιθανό να βρίσκεται αυτό.

Συνήθως, ένα τέτοιο σύστημα εντοπισμού αποτελείται από ένα πυκνό πλέγμα κεραιών το οποίο καλύπτει το χώρο μελέτης. Κάθε κεραία είναι τοποθετημένη σε μια θέση γνωστών συντεταγμένων. Αν στο κινητό τερματικό τοποθετηθεί ένας πομπός σήματος, τότε αυτό βρίσκεται πιο κοντά στην κεραία που ανιχνεύει το σήμα. Κατ' αυτόν τον τρόπο γνωρίζουμε τον υποχώρο της περιοχής ενδιαφέροντος όπου αυτό βρίσκεται και εξυπηρετείται από τη συγκεκριμένη κεραία. Αν το σήμα που εκπέμπει το κινητό τερματικό ανιχνευθεί από περισσότερες από μια κεραιές, τότε θεωρούμε ότι αυτό βρίσκεται πιο κοντά στην κεραία η οποία ανιχνεύει το ισχυρότερο σήμα.

Στην ενότητα αυτή, θα αναλυθούν τεχνικές εντοπισμού που απαντώνται σε κυψελωτά δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε στις μεθόδους αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (Cell – ID) και στην εξελιγμένη μέθοδο αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (Enhanced Cell – ID),

### **2.3.1 Μέθοδος της αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (Cell – ID)**

Η μέθοδος αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (Cell-ID), αποτελεί την απλούστερη μέθοδο για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού. Η πληροφορία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό θέσης είναι η παγκόσμια ταυτότητα της κυψέλης (Cell Global Identity, CGI) που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό. Η πληροφορία CGI είναι μοναδική παγκοσμίως και χαρακτηρίζει κάθε κυψέλη [6].



Κατά τη μέθοδο Cell – ID , καθορίζεται απλά ποια είναι η κυψέλη που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό και χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες του σταθμού βάσης ή του κέντρου της περιοχής κάλυψης, ως μια εκτίμηση θέσης του κινητού τερματικού.

Στη βάση δεδομένων του δικτύου υπάρχουν οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σταθμών βάσης, η κατευθυντικότητα των κεραιών τους, η ισχύς εκπομπής καθώς και η ελάχιστη στάθμη σήματος που πρέπει να λαμβάνει το κινητό για να θεωρηθεί ότι καλύπτεται από τη συγκεκριμένη κεραία.

#### *ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ*

- Η πληροφορία της γεωγραφικής θέσης υπάρχει ήδη στη βάση δεδομένων του δικτύου, επομένως δεν χρειάζονται υπολογισμοί για την απόκτησή της.
- Γρήγορη εξαγωγή αποτελεσμάτων

#### *ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ*

- Η ακρίβεια της μεθόδου κυμαίνεται ανάλογα με την ακτίνα της κυψέλης που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό. Τυπικά η ακρίβεια κυμαίνεται από 50m (εσωτερικοί χώροι) έως 30km (αγροτικές περιοχές).
- Λόγω της επίδρασης των φαινομένων διάδοσης, η κυψέλη που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό δεν είναι πάντοτε και η πιο κοντινή.

### **2.3.2 Εξελιγμένη μέθοδος της αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης (Enhanced Cell – ID)**

Η μέθοδος Enhanced Cell – ID , που είναι γνωστή και ως CGI++, χρησιμοποιεί την αναφορά μετρήσεων δικτύου (NMR) και χάρτες ραδιοκάλυψης, με σκοπό την εύρεση θέσης του κινητού τερματικού [6].

Το κινητό τερματικό καταγράφει τις λαμβανόμενες στάθμες σήματος από την τρέχουσα κυψέλη και από άλλες έξι κυψέλες με το ισχυρότερο σήμα και στη συνέχεια αποστέλλει την πληροφορία αυτή στο δίκτυο κάθε 480ms, ως αναφορά μετρήσεων δικτύου (Network Measurement Report, NMR). Μια NMR περιλαμβάνει και τις ταυτότητες των κυψελών (CGIs) από τις οποίες λαμβάνει σήμα το κινητό τερματικό

Οι χάρτες ραδιοκάλυψης δημιουργούνται με σκοπό να απεικονίσουν την προσδοκώμενη στάθμη σήματος σε κάθε σημείο της περιοχής εξυπηρέτησης του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο γνωρίζουμε σε κάθε γεωγραφική θέση, κάνοντας χρήση κάποιου μοντέλου διάδοσης, την αναμενόμενη ισχύ σήματος από κάθε σταθμό βάσης του δικτύου.

Δεδομένων των θέσεων των σταθμών βάσης και των λαμβανόμενων σταθμών ισχύος στο κινητό από τους σταθμούς βάσης, με εφαρμογή κάποιας γεωμετρικής μεθόδου, όπως π.χ. τριγωνοποίησης, μπορεί να υπολογιστεί η θέση του κινητού τερματικού. Όταν βρεθεί ο κατάλληλος συνδυασμός από τη βάση δεδομένων, τότε επιστρέφεται η πραγματική θέση του κινητού.

Βασικό πλεονέκτημα της εξελιγμένης μεθόδου αναγνώρισης ταυτότητας κυψέλης είναι ότι καθίσταται δυνατή η εκτίμηση θέσης κάθε μισό δευτερόλεπτο, χωρίς να απαιτείται επιπλέον λογισμικό ή εξοπλισμός.

### **3. Σενάρια προσομοίωσης – Μελέτη αποτελεσμάτων ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού**

#### **3.1 Συνοπτική περιγραφή προσομοίωσης**

Στην ενότητα αυτή θα εξεταστούν διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης, τα οποία διαφέρουν τόσο προς τον αριθμό των σταθμών βάσης του δικτύου, όσο και προς το πλήθος των τεχνικών εντοπισμού θέσης που υλοποιούνται.

Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν σενάρια που αφορούν υλοποίηση των μεθόδων εντοπισμού θέσης ,αρχικά ξεχωριστά και μετέπειτα σε συνδυασμό αυτών, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου.

Στη συνέχεια, θα αναλυθούν τα αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού, και πως αυτή επηρεάζεται, από το πλήθος των σταθμών βάσης αλλά και την τεχνική εντοπισμού που χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις.

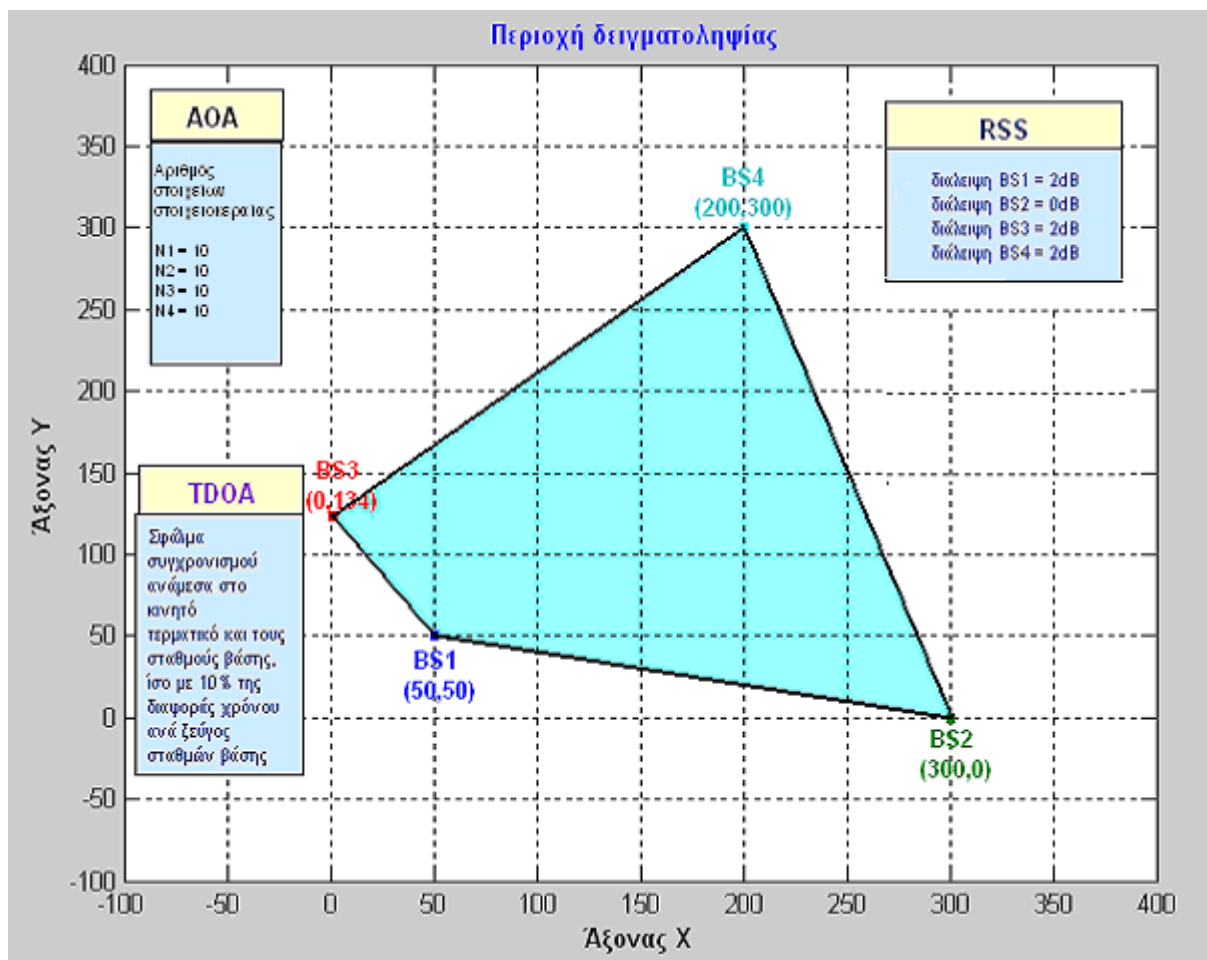
Στο Σχήμα 11, απεικονίζεται η περιοχή που ορίζεται από τους 4 σταθμούς βάσης, εντός της οποίας κινείται το κινητό τερματικό στα σενάρια προσομοίωσης. Επίσης αναφέρονται οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σταθμών βάσης του δικτύου, καθώς και οι παραδοχές έγιναν και αφορούν τις τεχνικές εντοπισμού.

Πιο συγκεκριμένα :

- Για την μέθοδο της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (RSS), το λαμβανόμενο σήμα από κάθε σταθμό βάσης του δικτύου υπόκειται σε διάλειψη 2dB, πλην του λαμβανόμενου σήματος από το σταθμό βάσης 2. Ο λόγος που δεν επιλέγουμε να εξετάσουμε το “χειρότερο” σενάριο, όπου όλα τα λαμβανόμενα σήματα υπόκεινται σε διάλειψη, είναι ότι η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο σε ένα πραγματικό σύστημα είναι μικρή.

- Για την μέθοδο της διαφοράς χρόνου άφιξης (TDOA), το σφάλμα συγχρονισμού μεταξύ του κινητού τερματικού και των σταθμών βάσης του δικτύου, ορίζεται σε 10% της διαφοράς χρόνου άφιξης για κάθε ζεύγος σταθμών βάσης.
- Για την μέθοδο της γωνίας άφιξης του σήματος (AOA), οι σταθμοί βάσης του δικτύου χρησιμοποιούν στοιχειοκεραίες, οι οποίες διαθέτουν 10 στοιχεία.

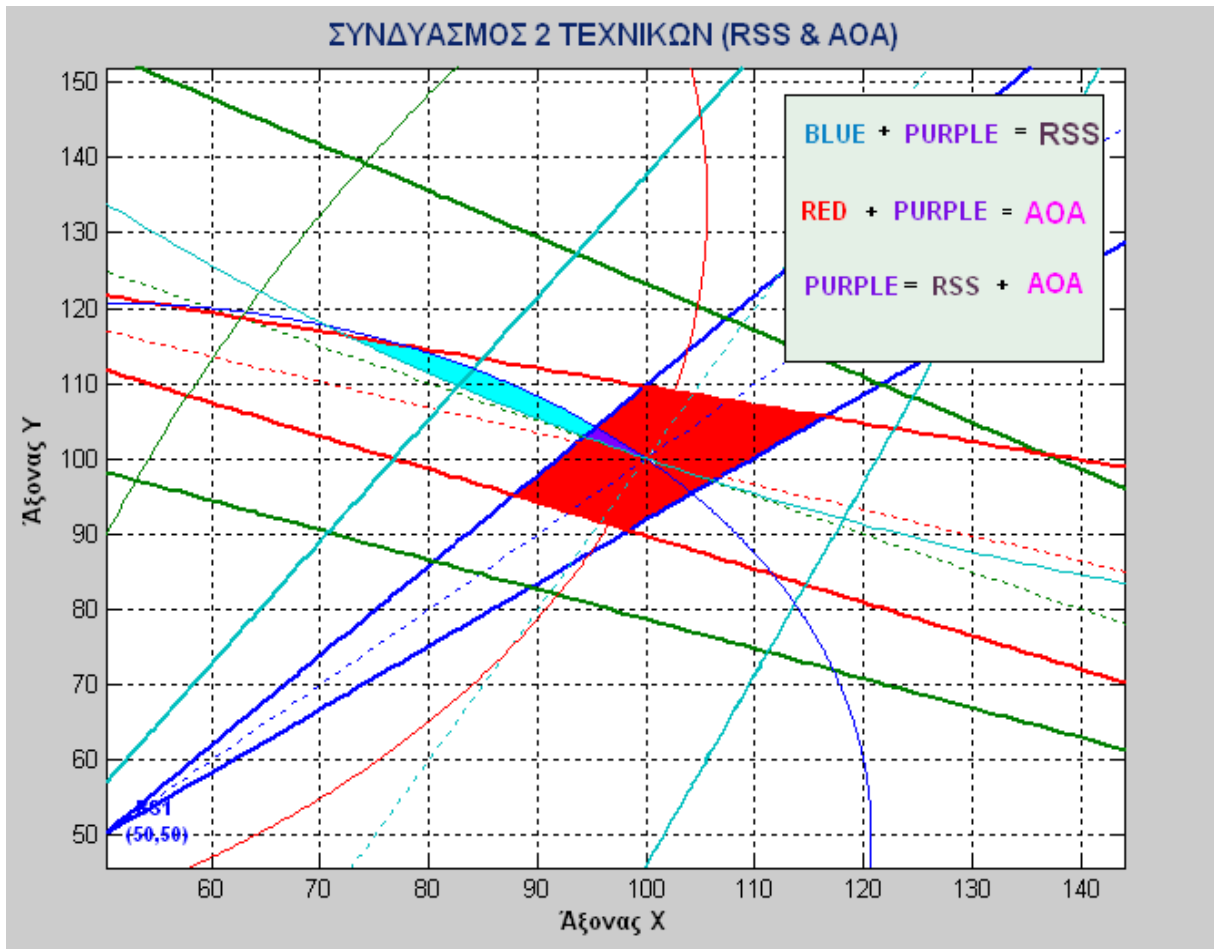
Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί πως η επιλογή των υποψήφιων θέσεων για το κινητό τερματικό έγινε με τυχαίο τρόπο. Επίσης, θεωρήσαμε ότι οι σταθμοί βάσης του δικτύου έχουν επαρκή ισχύ, ώστε καθένας εξ' αυτών να καλύπτει ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος (χρωματισμένη περιοχή). Θα παρουσιαστεί επομένως ένα θεωρητικό σύστημα εντοπισμού, που θα βοηθήσει στην κατανόηση της επίδρασης του πλήθους των σταθμών βάσης και των τεχνικών εντοπισμού στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού.



**Σχήμα 11:** Παρουσίαση παραμέτρων σεναρίων προσομοίωσης.

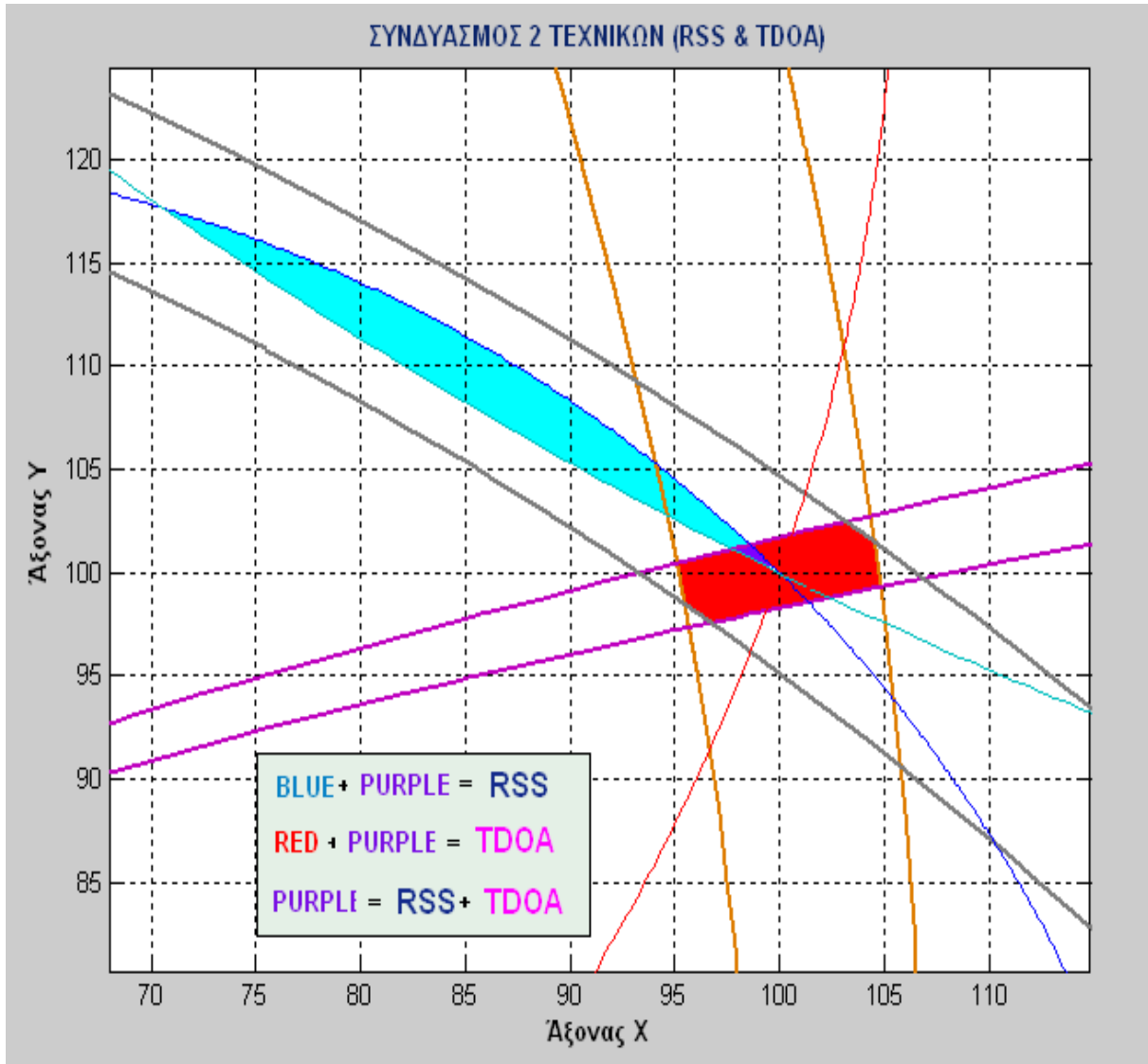
Πριν την ανάλυση των αποτελεσμάτων, κρίνεται σκόπιμη η επίδειξη σχημάτων με τις αντίστοιχες τεχνικές εντοπισμού που υλοποιήθηκαν, τα οποία θα βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Έχουν ήδη παρουσιαστεί σχήματα με υλοποίηση μιας μόνο τεχνικής, κατά την παρουσίαση των μεθόδων εντοπισμού θέσης, επομένως θα παρουσιαστούν σχήματα που αφορούν συνδυασμό των τεχνικών ανά ζεύγη, καθώς και την τελική υλοποίηση με το συνδυασμό και των τριών τεχνικών εντοπισμού.



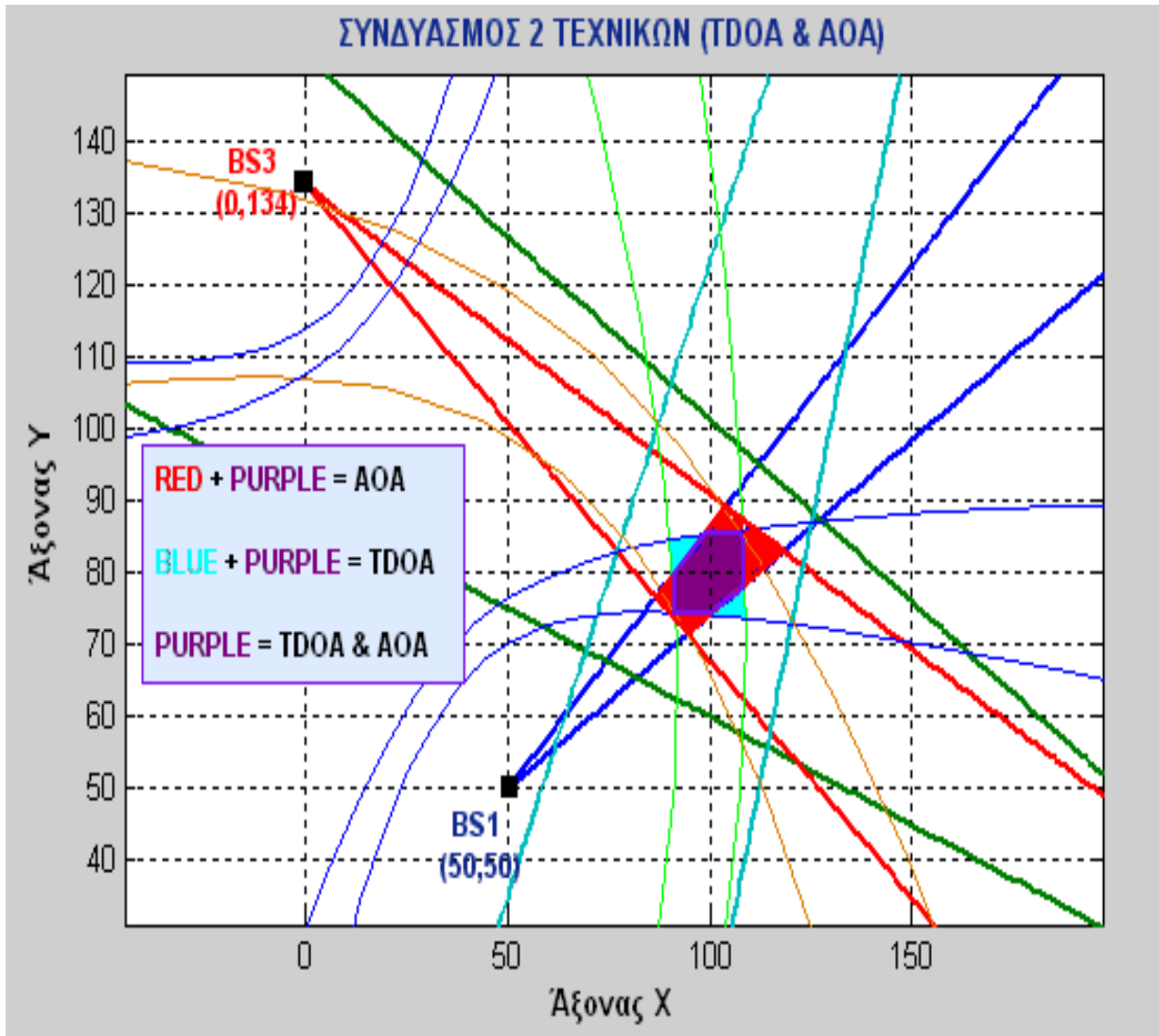
**Σχήμα 12:** Συνδυασμός 2 τεχνικών εντοπισμού θέσης (RSS & AOA).

Στο Σχήμα 12, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συνδυασμού δύο τεχνικών εντοπισμού, για την εκτίμηση θέσης του κινητού τερματικού. Πιο συγκεκριμένα, η εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό χρησιμοποιώντας την μέθοδο εντοπισμού RSS, απεικονίζεται με μπλε και μωβ χρώμα. Αντίστοιχα, με χρώμα κόκκινο και μωβ, απεικονίζεται η εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό, κάνοντας χρήση της AOA μεθόδου εντοπισμού. Ο συνδυασμός δύο μεθόδων εντοπισμού θέσης, έχει σαν αποτέλεσμα την εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό που απεικονίζεται με χρώμα μωβ και αποτελεί την κοινή περιοχή ανάμεσα στις εκτιμώμενες περιοχές που προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθόδων RSS και AOA.



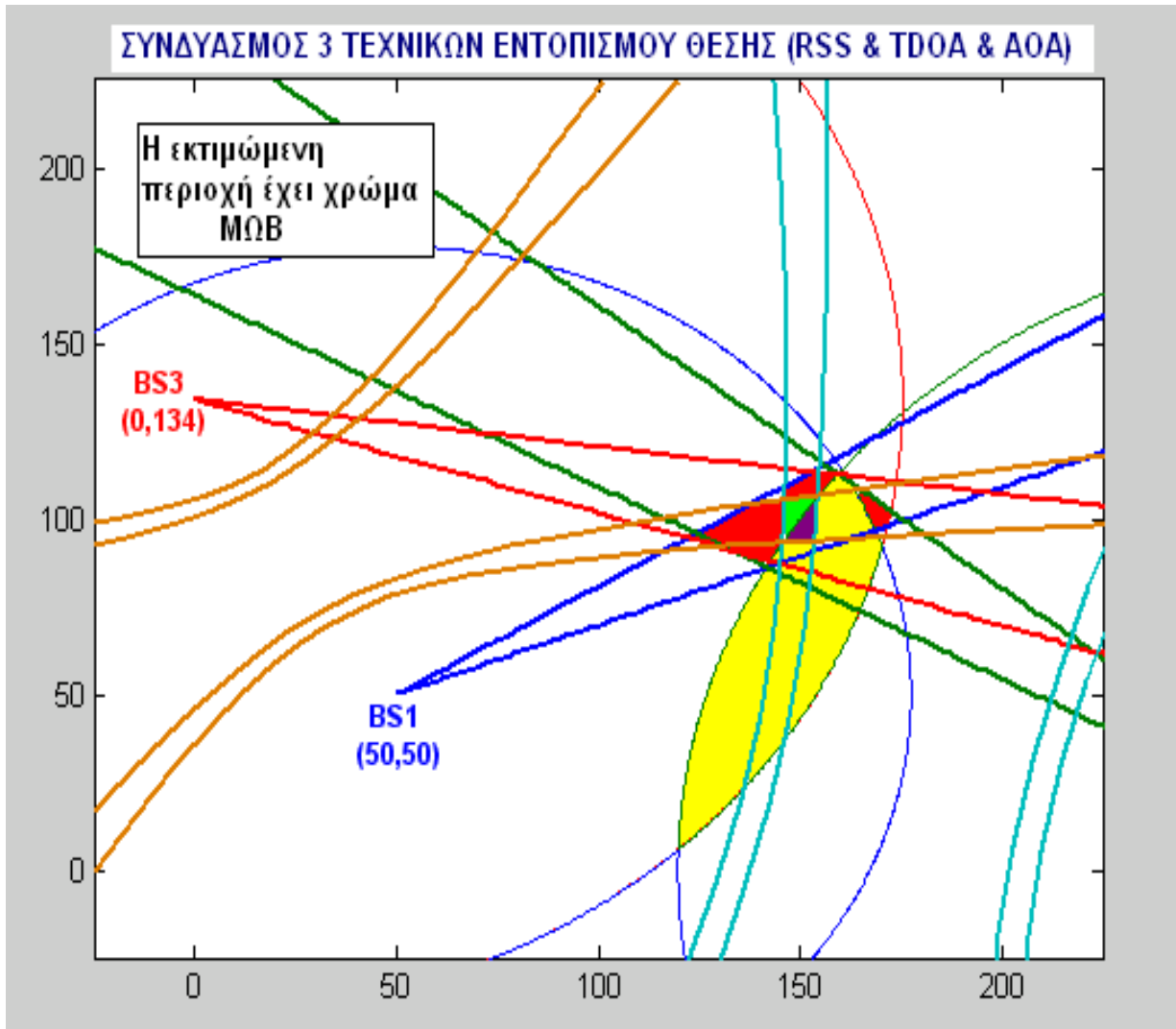
**Σχήμα 13:** Συνδυασμός 2 τεχνικών εντοπισμού θέσης (RSS & TDOA).

Στο Σχήμα 13, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συνδυασμού των τεχνικών εντοπισμού RSS και TDOA, για την εκτίμηση θέσης του κινητού τερματικού. Αναλυτικότερα, η εφαρμογή της RSS μεθόδου εντοπισμού, έχει σαν αποτέλεσμα την εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό που απεικονίζεται με τα χρώματα μπλε και μωβ. Αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας την TDOA τεχνική εντοπισμού θέσης, προκύπτει η εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό που απεικονίζεται με κόκκινο και μωβ χρώμα. Ο συνδυασμός των τεχνικών εντοπισμού RSS και TDOA, έχει σαν αποτέλεσμα την εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό που απεικονίζεται με χρώμα μωβ και αποτελεί την κοινή περιοχή ανάμεσα στις εκτιμώμενες περιοχές που προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθόδων RSS και TDOA.



**Σχήμα 14:** Συνδυασμός 2 τεχνικών εντοπισμού θέσης (TDOA & AOA).

Στο Σχήμα 14, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συνδυασμού των τεχνικών εντοπισμού θέσης TDOA και AOA, για εκτίμηση της θέσης του κινητού τερματικού. Με χρώμα κόκκινο και μωβ απεικονίζεται η εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό, έπειτα από εφαρμογή της AOA μεθόδου εντοπισμού. Με χρώμα μπλε και μωβ απεικονίζεται η εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό, με εφαρμογή της TDOA μεθόδου εντοπισμού θέσης. Ο συνδυασμός των τεχνικών εντοπισμού TDOA και AOA, έχει σαν αποτέλεσμα την εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό που απεικονίζεται με μωβ χρώμα και αποτελεί την κοινή περιοχή ανάμεσα στις εκτιμώμενες περιοχές που προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθόδων TDOA και AOA.



**Σχήμα 15:** Συνδυασμός 3 τεχνικών εντοπισμού θέσης (RSS & TDOA & AOA)

Στο Σχήμα 15, η εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό απεικονίζεται με μωβ χρώμα και αποτελεί την κοινή περιοχή ανάμεσα στις εκτιμώμενες περιοχές που προκύπτουν από την εφαρμογή των τεχνικών εντοπισμού RSS, TDOA και AOA.

### 3.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης συσχετίζοντας την ακρίβεια εντοπισμού θέσης με το πλήθος τεχνικών εντοπισμού που χρησιμοποιούνται

#### 3.2.1 Δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης

##### 3.2.1.1 Μία τεχνική εντοπισμού θέσης

Στον Πίνακα 3, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του σεναρίου προσομοίωσης, για δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης, κάνοντας χρήση μιας τεχνικής για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.

Α/Α	ΘΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ		1 ΤΕΧΝΙΚΗ		
	Xm	Ym	RSS	TDOA	AOA
1	50	150	1391	3592	175
2	50	100	191	104	114
3	100	200	14819	1116	855
4	100	150	3664	1318	448
5	100	100	762	1744	266
6	100	50	276	6925	343
7	150	250	47313	602	1674
8	150	200	21067	1240	1121
9	150	150	7426	541	804
10	150	100	2215	878	707
11	150	50	893	556	1211
12	200	250	38663	212	1921
13	200	200	30478	7	1349
14	190	140	9744	183	911
15	200	100	4852	676	786
16	200	50	1856	240	1172
17	230	200	38043	50	1485
18	250	150	22154	1480	1107
19	250	95	8532	1262	717
20	250	50	3286	2572	619
21	275	25	2131	2403	371
22	225	25	1778	5999	1569
23	225	75	4073	2139	735
24	225	125	11053	875	882
25	225	175	25612	176	1234
26	225	225	50698	21	1737
27	175	75	1987	132	867
28	175	125	5864	983	819
29	175	175	16343	55	1051
30	175	225	37418	531	1482
31	175	270	68040	1585	2091
32	125	75	790	2173	523
33	125	125	2667	676	540
34	125	170	8931	1813	760
35	125	225	28376	803	1248
36	75	75	237	2851	107
37	75	125	837	30	193
38	75	175	6036	1767	461
			<b>RSS</b>	<b>TDOA</b>	<b>AOA</b>
<b>Μέση τιμή εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής</b>			<b>13960,42</b>	<b>1323,95</b>	<b>906,71</b>

**Πίνακας 3.** Αποτελέσματα προσομοίωσης, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, για δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί μια τεχνική για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

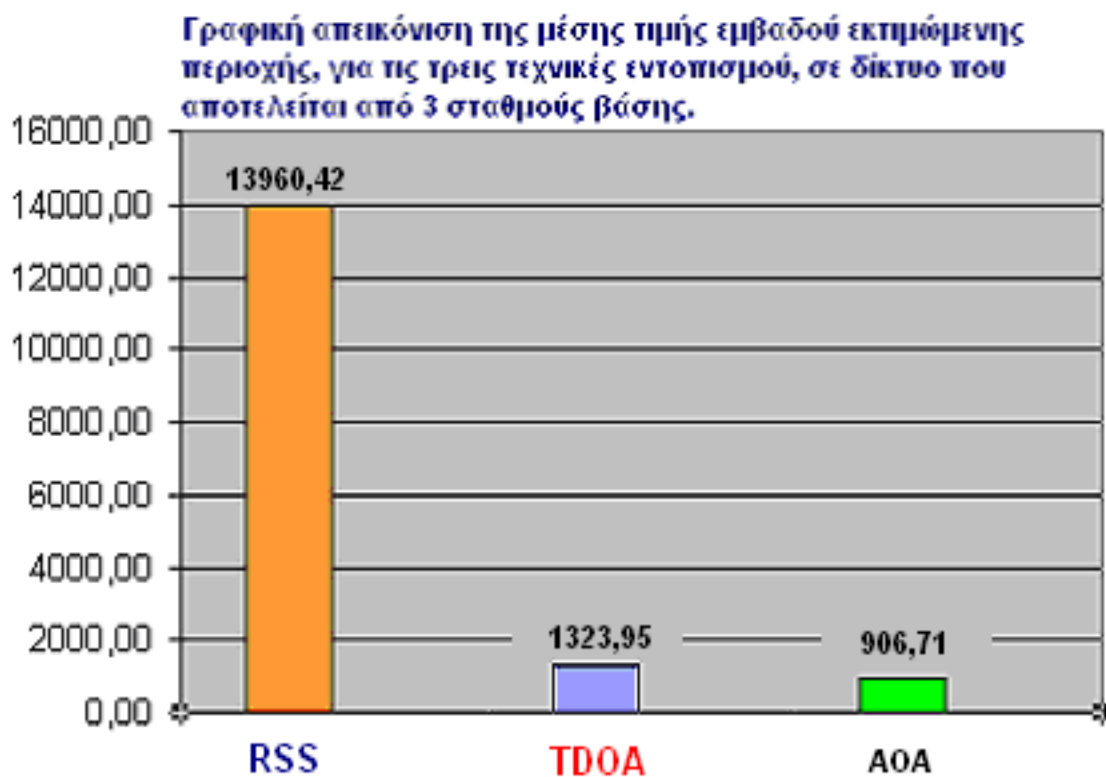
Σε πορτοκαλί φόντο, απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής που επιτυγχάνει η κάθε τεχνική εντοπισμού, ενώ σε πράσινο οι ελάχιστες. Να σημειωθεί ότι μικρότερη τιμή της εκτιμώμενης περιοχής σημαίνει και καλύτερη ακρίβεια, μιας και το εμβαδόν που ορίζεται είναι μικρότερο.

Στο σενάριο αυτό, καλύτερη επίδοση επιτυγχάνει η τεχνική AOA, με την τεχνική TDOA να ακολουθεί, ενώ η τεχνική RSS έχει τη χειρότερη επίδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού.



Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να επισημανθεί ότι για την τεχνική TDOA, σε δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης, υπάρχουν περισσότερες από μια πιθανές θέσεις για το κινητό τερματικό. Το εμβαδόν στον Πίνακα 3, που αφορά την TDOA τεχνική, είναι το άθροισμα των εμβαδών όλων των εκτιμώμενων θέσεων για τη συγκεκριμένη υποψήφια θέση του κινητού τερματικού, γεγονός που δικαιολογεί την μέτρια επίδοση της TDOA τεχνικής.

Στο Σχήμα 16, ακολουθεί η γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για τις τρεις τεχνικές εντοπισμού, σε δίκτυο αποτελούμενο από 3 σταθμούς βάσης.



**Σχήμα 16:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για τις τρεις τεχνικές εντοπισμού, σε δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης.

### 3.2.1.2 Συνδυασμός δύο τεχνικών εντοπισμού θέσης

Στον Πίνακα 4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, για δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης, με συνδυασμό δύο τεχνικών εντοπισμού, για εκτίμηση θέσης του κινητού τερματικού.

ΘΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ			2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ								
A/A	Xm	Ym	RSS&TDOA	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την RSS (%)	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την TDOA (%)	RSS&AOA	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την RSS (%)	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την AOA (%)	TDOA&AOA	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την TDOA (%)	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την AOA (%)
1	50	150	77	94,46	97,86	69	95,04	60,57	124	96,55	29,14
2	50	100	16	91,62	84,62	57	70,16	50,00	12	88,46	89,47
3	100	200	293	98,02	73,75	352	97,62	58,83	355	68,19	58,48
4	100	150	70	98,09	94,69	207	94,35	53,79	54	95,90	87,95
5	100	100	63	91,73	96,39	118	84,51	55,64	119	93,18	55,26
6	100	50	180	34,78	97,40	65	76,45	81,05	140	97,98	59,18
7	150	250	236	99,50	60,80	781	98,35	53,35	326	45,85	80,53
8	150	200	92	99,56	92,58	537	97,45	52,10	90	92,74	91,97
9	150	150	15	99,80	97,23	389	94,76	51,62	31	94,27	96,14
10	150	100	48	97,83	94,53	295	86,68	58,27	100	88,61	85,86
11	150	50	79	91,15	85,79	261	70,77	78,45	130	76,62	89,27
12	200	250	76	99,80	64,15	890	97,70	53,67	56	73,58	97,08
13	200	200	4	99,99	42,86	640	97,90	52,56	3	57,14	99,78
14	190	140	26	99,73	85,79	440	95,48	51,70	20	89,07	97,80
15	200	100	18	99,63	97,34	380	92,17	51,65	51	92,46	93,51
16	200	50	69	96,28	71,25	388	79,09	66,89	101	57,92	91,38
17	230	200	14	99,96	72,00	695	98,17	53,20	13	74,00	99,12
18	250	150	82	99,63	94,46	514	97,68	53,57	172	88,38	84,46
19	250	95	169	98,02	86,61	332	96,11	53,70	273	78,37	61,92
20	250	50	271	91,75	89,46	276	91,60	55,51	189	92,65	69,47
21	275	25	426	80,01	82,27	110	94,84	70,35	135	94,38	63,61
22	225	25	205	88,47	96,58	296	83,35	81,13	138	97,70	91,20
23	225	75	114	97,20	94,67	350	91,41	52,38	167	92,19	77,28
24	225	125	51	99,54	94,17	416	96,24	52,83	106	87,89	87,98
25	225	175	15	99,94	91,48	582	97,73	52,84	31	82,39	97,49
26	225	225	18	99,96	14,29	808	98,41	53,48	7	66,67	99,60
27	175	75	39	98,04	70,45	347	82,54	59,98	65	50,76	92,50
28	175	125	20	99,66	97,97	399	93,20	51,28	42	95,73	94,87
29	175	175	3	99,98	94,55	507	96,90	51,76	16	70,91	98,48
30	175	225	79	99,79	85,12	700	98,13	52,77	84	84,18	94,33
31	175	270	278	99,59	82,46	962	98,59	53,99	252	84,10	87,95
32	125	75	94	88,10	95,67	159	79,87	69,60	169	92,22	67,69
33	125	125	34	98,73	94,97	243	90,89	55,00	68	89,94	87,41
34	125	170	71	99,21	96,08	335	96,25	55,92	60	96,69	92,11
35	125	225	270	99,05	66,38	565	98,01	54,73	354	55,92	71,63
36	75	75	61	74,26	97,86	30	87,34	71,96	84	97,05	21,50
37	75	125	17	97,97	43,33	102	87,81	47,15	16	46,67	91,71
38	75	175	144	97,61	91,85	170	97,18	63,12	289	83,64	37,31
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ			100,97			388,61			116,89		

*Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοίωσης, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, για δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί συνδυασμό δύο τεχνικών για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.*

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 4, παρατηρούμε ότι σε δίκτυο 3 σταθμών βάσης, την καλύτερη επίδοση, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, επιτυγχάνει το ζεύγος RSS & TDOA, με μικρή διαφορά ακολουθεί το ζεύγος TDOA & AOA, ενώ την χειρότερη επίδοση κατέχει το ζεύγος RSS & AOA.

Σε πορτοκαλί φόντο, απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές εμβαδού (χειρότερη ακρίβεια) ενώ σε πράσινο φόντο οι ελάχιστες (καλύτερη ακρίβεια), ενώ μπορούμε να δούμε και σε ποιες θέσεις επιτυγχάνονται αυτές.

Στο Σχήμα 17, αναπαρίσταται γραφικά η μέση τιμή εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό δύο τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης.



**Σχήμα 17:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό δύο τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο αποτελούμενο από 3 σταθμούς βάσης.

Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία, είναι η βελτίωση που επιτυγχάνεται κάνοντας χρήση δυο τεχνικών εντοπισμού θέσης αντί μιας. Η βελτίωση φαίνεται καλύτερα στον Πίνακα 5.

Βελτίωση ακρίβειας (%), χρησιμοποιώντας δύο τεχνικές αντί μιας, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού							
	RSS			TDOA		AOA	
RSS & TDOA	99,28		RSS & TDOA	92,37		RSS & AOA	57,14
RSS & AOA	97,22		AOA & TDOA	91,17		TDOA & AOA	87,11

**Πίνακας 5:** Βελτίωση ακρίβειας (%), σε δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης, που κάνει χρήση δύο τεχνικών εντοπισμού αντί μιας, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.

Εάν σε σύστημα εντοπισμού που χρησιμοποιεί μια μόνο τεχνική, απαιτηθεί ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια στον καθορισμό της θέσης του κινητού τερματικού, τα αποτελέσματα του Πίνακα 5 είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς μπορούν να υποδείξουν ποια τεχνική θα πρέπει να προστεθεί.

Συγκεκριμένα, εάν το σύστημα χρησιμοποιούσε την RSS τεχνική, βέλτιστη ακρίβεια, ως προς εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού, επιτυγχάνεται με την προσθήκη της TDOA τεχνικής εντοπισμού.

Στην περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιούσε την τεχνική TDOA, καλύτερη επιλογή για αύξηση της ακρίβειας είναι η προσθήκη της RSS τεχνικής εντοπισμού. Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημάνουμε, πως η μεγάλη βελτίωση στην ακρίβεια, προσθέτοντας μια ακόμη τεχνική εντοπισμού πέραν της TDOA, οφείλεται στο γεγονός ότι απορρίπτονται πλέον οι περισσότερες της μιας εκτιμώμενες περιοχές για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.

Αν το σύστημα εντοπισμού χρησιμοποιούσε την τεχνική AOA, βέλτιστη επιλογή ως προς τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού, θα αποτελούσε η προσθήκη της TDOA τεχνικής.

### 3.2.1.3 Συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα ως προς τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης, όταν σύστημα που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης, βασίζεται σε υλοποίηση τριών τεχνικών αντί για δύο, για να εκτιμήσει την ακριβή θέση του κινητού τερματικού (Πίνακας 6).

ΘΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ 3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ			Βελτίωση ακρίβειας (%) ως προς ζεύγος τεχνικών εντοπισμού			
Α/Α	Xm	Ym	RSS&TDOA&ΑΟΑ	RSS & TDOA	RSS & ΑΟΑ	TDOA & ΑΟΑ
1	50	150	50	35,06	27,54	59,68
2	50	100	6	62,50	89,47	50,00
3	100	200	162	44,71	53,98	54,37
4	100	150	28	60,00	86,47	48,15
5	100	100	62	1,59	47,46	47,90
6	100	50	65	63,89	0,00	53,57
7	150	250	151	36,02	80,67	53,68
8	150	200	43	53,26	91,99	52,22
9	150	150	15	0,00	96,14	51,61
10	150	100	48	0,00	83,73	52,00
11	150	50	49	37,97	81,23	62,31
12	200	250	27	64,47	96,97	51,79
13	200	200	2	50,00	99,69	33,33
14	190	140	12	53,85	97,27	40,00
15	200	100	18	0,00	95,26	64,71
16	200	50	38	44,93	90,21	62,38
17	230	200	6	57,14	99,14	53,85
18	250	150	82	0,00	84,05	52,33
19	250	95	132	21,89	60,24	51,65
20	250	50	90	66,79	67,39	52,38
21	275	25	58	86,38	47,27	57,04
22	225	25	67	67,32	77,36	51,45
23	225	75	79	30,70	77,43	52,69
24	225	125	51	0,00	87,74	51,89
25	225	175	15	0,00	97,42	51,61
26	225	225	3	83,33	99,63	57,14
27	175	75	30	23,08	91,35	53,85
28	175	125	20	0,00	94,99	52,38
29	175	175	3	0,00	99,41	81,25
30	175	225	40	49,37	94,29	52,38
31	175	270	117	57,91	87,84	53,57
32	125	75	81	13,83	49,06	52,07
33	125	125	34	0,00	86,01	50,00
34	125	170	28	60,56	91,64	53,33
35	125	225	163	39,63	71,15	53,95
36	75	75	30	50,82	0,00	64,29
37	75	125	11	35,29	89,22	31,25
38	75	175	111	22,92	34,71	61,59
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>			53	47,17	86,27	54,37

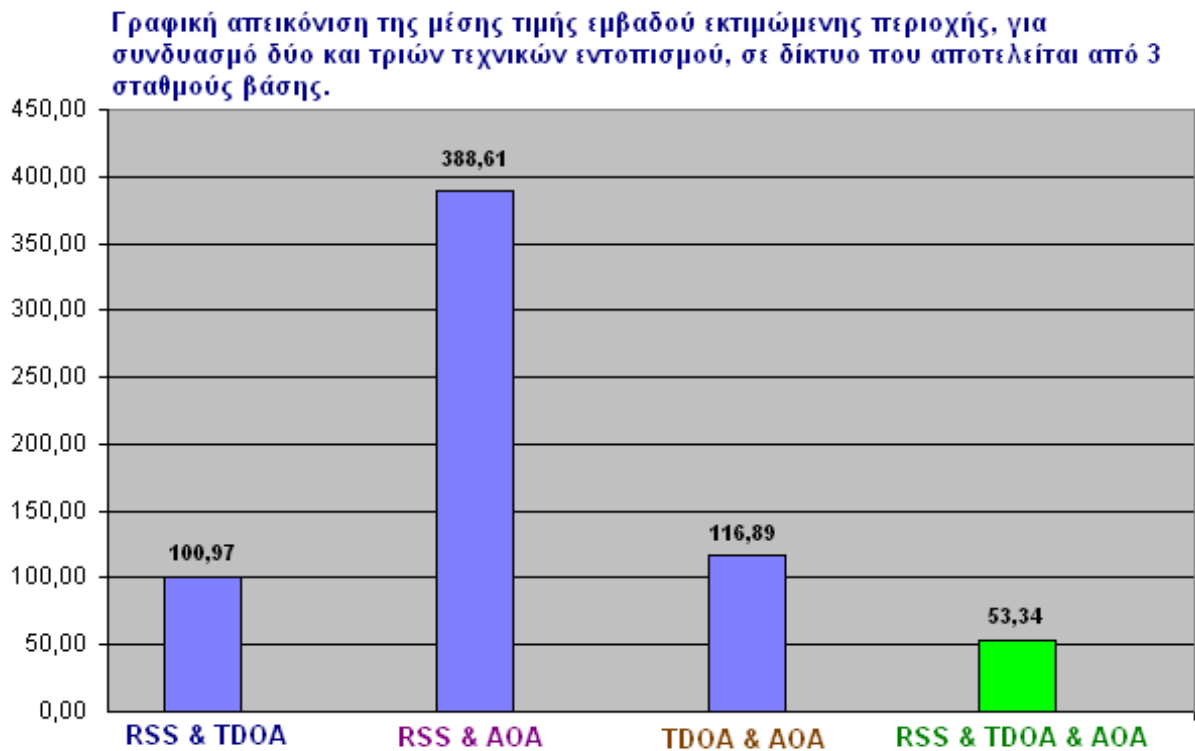
**Πίνακας 6:** Βελτίωση ακρίβειας (%), σε δίκτυο με 3 σταθμούς βάσης, που κάνει χρήση τριών τεχνικών εντοπισμού αντί μίας, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Σε πορτοκαλί φόντο απεικονίζονται οι τιμές που υποδεικνύουν τη χειρότερη επίδοση, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού (για την στήλη συνδυασμού και των τριών τεχνικών εντοπισμού) ή τη βελτίωση της ακρίβειας σε σχέση με αυτή που επιτυγχάνεται από συνδυασμό ζεύγους τεχνικών εντοπισμού.

Κατ' αντιστοιχία, σε πράσινο φόντο επισημαίνονται οι βέλτιστες τιμές ως προς την ακρίβεια εντοπισμού ή τη βελτίωσή της.

Στο Σχήμα 18, αναπαρίσταται γραφικά η μέση τιμή του εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, σε σύστημα εντοπισμού που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί συνδυασμό δύο και τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης.



**Σχήμα 18:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό δύο και τριών τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης.

Μεγαλύτερη βελτίωση με την προσθήκη άλλης μιας τεχνικής παρατηρείται για το ζεύγος RSS & AOA με 86,27%, ακολουθεί το ζεύγος TDOA & AOA με 54,37% και την χειρότερη επίδοση επιτυγχάνει το ζεύγος RSS & TDOA με μόλις 47,17%.

### 3.2.2 Δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης

#### 3.2.2.1 Μία τεχνική εντοπισμού θέσης

Στον Πίνακα 7, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του σεναρίου προσομοίωσης, για δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί μια τεχνική για την εκτίμηση θέσης του κινητού τερματικού.

Α/Α	ΘΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ		1 ΤΕΧΝΙΚΗ		
	Xm	Ym	RSS	TDOA	AOA
1	50	150	682	107	175
2	50	100	191	70	114
3	100	200	1360	24	854
4	100	150	824	17	448
5	100	100	574	118	266
6	100	50	276	394	329
7	150	250	1260	206	666
8	150	200	933	42	775
9	150	150	925	6	729
10	150	100	895	87	659
11	150	50	793	155	762
12	200	250	361	56	413
13	200	200	753	2	696
14	190	140	1052	1	783
15	200	100	1205	11	731
16	200	50	1243	65	829
17	230	200	846	13	767
18	250	150	1550	108	1045
19	250	95	1725	21	717
20	250	50	1672	259	612
21	275	25	1690	353	371
22	225	25	1528	190	742
23	225	75	1438	58	713
24	225	125	1326	10	850
25	225	175	1024	31	868
26	225	225	556	7	603
27	175	75	1038	39	731
28	175	125	1025	31	735
29	175	175	902	7	753
30	175	225	750	76	664
31	175	270	781	204	394
32	125	75	647	708	483
33	125	125	815	48	535
34	125	170	934	5	736
35	125	225	1411	124	912
36	75	75	237	220	107
37	75	125	543	18	193
38	75	175	1125	289	461
			<b>RSS</b>	<b>TDOA</b>	<b>AOA</b>
<b>Μέση τιμή εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής</b>			<b>970,79</b>	<b>110,00</b>	<b>611,08</b>

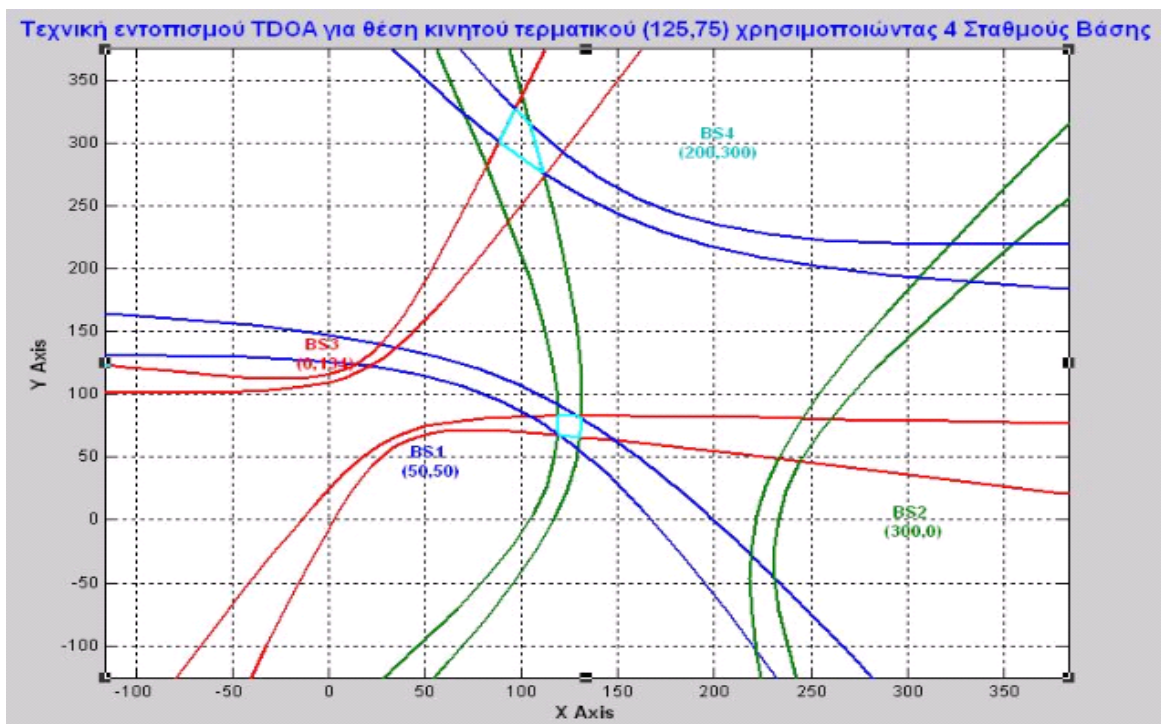
**Πίνακας 7:** Αποτελέσματα προσομοίωσης, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, για δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί μια τεχνική για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 7, παρουσιάζεται η επίδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, των τεχνικών RSS, TDOA και AOA, σε δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης.

Σε πορτοκαλί φόντο, απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές που επιτυγχάνει η κάθε τεχνική εντοπισμού, ενώ σε πράσινο οι ελάχιστες.

Με κίτρινο φόντο στη στήλη αποτελεσμάτων της τεχνικής TDOA, επισημαίνονται τιμές μεγαλύτερες των αναμενόμενων. Κατά την παρουσίαση της τεχνικής TDOA, είδαμε ότι για δίκτυο που αποτελείται από 3 σταθμούς βάσης, υπάρχουν περισσότερες από μια εκτιμώμενες περιοχές (Σχήμα 3). Το εμβαδό που υπολογίστηκε στον Πίνακα 7, ήταν το άθροισμα των εμβαδών όλων των εκτιμώμενων περιοχών, για κάθε υποψήφια θέση του κινητού τερματικού. Θα περιμέναμε λοιπόν, η προσθήκη τέταρτου σταθμού βάσης στο δίκτυο, μέσω της επιπλέον υπερβολής που σχηματίζεται, να απορρίψει όλες τις εκτιμώμενες περιοχές για το κινητό τερματικό εκτός από μία. Κατά κανόνα αυτό ισχύει, όμως υπάρχουν και υποψήφιες θέσεις στις οποίες αντιστοιχούν δυο εκτιμώμενες περιοχές. Η υποψήφια θέση (125,75) καθώς και αυτές των οποίων οι τιμές βρίσκονται σε κίτρινο φόντο, αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα των εξαιρέσεων του κανόνα. Στο Σχήμα 19 που ακολουθεί, φαίνεται η επίδοση της τεχνικής TDOA για την υποψήφια θέση (125,75).



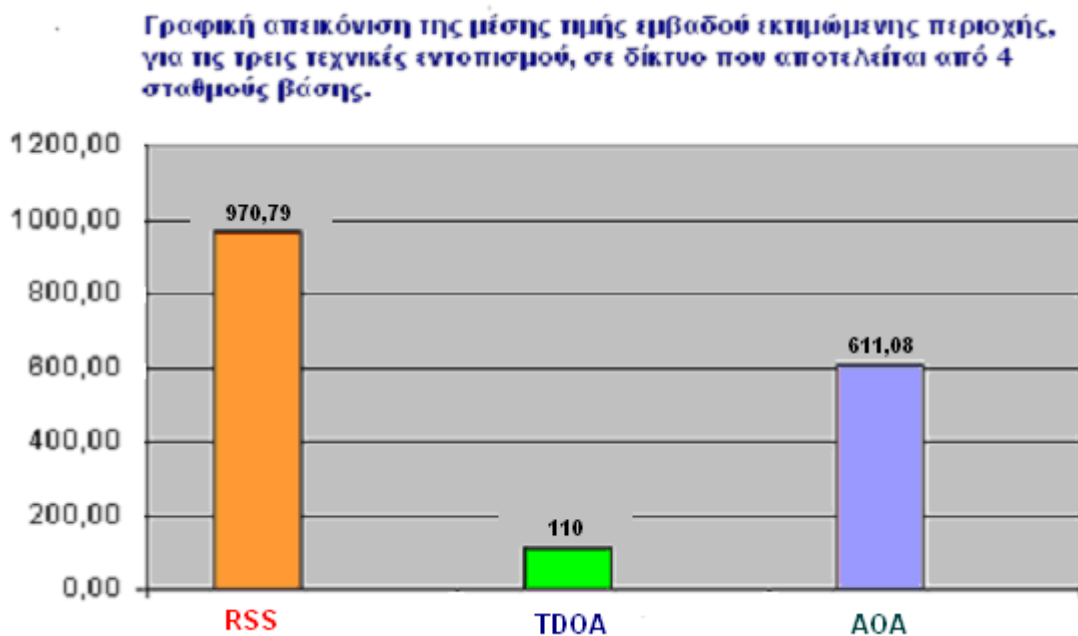
**Σχήμα 19:** Επίδοση της τεχνικής TDOA, στην υποψήφια θέση (125,75).



Επιστρέφοντας στην ανάλυση των αποτελεσμάτων του Πίνακα 7, καλύτερη επίδοση ως προς την ακρίβεια, σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης, επιτυγχάνει η τεχνική TDOA.

Τη δεύτερη θέση κατέχει η τεχνική AOA, ενώ τη χειρότερη επίδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού του κινητού τερματικού επιτυγχάνει η τεχνική RSS.

Στο Σχήμα 20, αναπαρίστανται γραφικά η απόδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, που επιτυγχάνουν οι τρεις τεχνικές εντοπισμού, σε δίκτυο αποτελούμενο από 4 σταθμούς βάσης.



**Σχήμα 20:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για τις τρεις τεχνικές εντοπισμού, σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης.

### 3.2.2.2 Συνδυασμός δύο τεχνικών εντοπισμού θέσης

Στον Πίνακα 8, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, για δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης, με υλοποίηση συνδυασμού δύο τεχνικών εντοπισμού.

ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ 4 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ											
ΟΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ			2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ								
A/A	Xm	Ym	RSS&TDOA	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την RSS (%)	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την TDOA (%)	RSS&AOA	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την RSS (%)	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την AOA (%)	TDOA&AOA	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την TDOA (%)	Βελτίωση ακρίβειας ως προς την AOA (%)
1	50	150	48	92,96	55,14	69	89,88	60,57	93	13,08	46,86
2	50	100	16	91,62	77,14	57	70,16	50,00	12	82,86	89,47
3	100	200	14	98,97	41,67	333	75,51	61,01	22	8,33	97,42
4	100	150	8	99,03	52,94	207	74,88	53,79	17	0,00	96,21
5	100	100	59	89,72	50,00	118	79,44	55,64	113	4,24	57,52
6	100	50	180	34,78	54,31	65	76,45	80,24	140	64,47	57,45
7	150	250	98	92,22	52,43	132	89,52	80,18	174	15,53	73,87
8	150	200	21	97,75	50,00	285	69,45	63,23	42	0,00	94,58
9	150	150	2	99,78	66,67	336	63,68	53,91	6	0,00	99,18
10	150	100	43	95,20	50,57	294	67,15	55,39	87	0,00	86,80
11	150	50	74	90,67	52,26	261	67,09	65,75	106	31,61	86,09
12	200	250	25	93,07	55,36	65	81,99	84,26	56	0,00	86,44
13	200	200	0,8	99,89	60,00	261	65,34	62,50	2	0,00	99,71
14	190	140	0,5	99,95	50,00	376	64,26	51,98	1	0,00	99,87
15	200	100	5	99,59	54,55	360	70,12	50,75	11	0,00	98,50
16	200	50	34	97,26	47,69	388	68,79	53,20	65	0,00	92,16
17	230	200	6	99,29	53,85	287	66,08	62,58	13	0,00	98,31
18	250	150	42	97,29	61,11	514	66,84	50,81	87	19,44	91,67
19	250	95	5	99,71	76,19	332	80,75	53,70	20	4,76	97,21
20	250	50	65	96,11	74,90	276	83,49	54,90	126	51,35	79,41
21	275	25	115	93,20	67,42	110	93,49	70,35	135	61,76	63,61
22	225	25	97	93,65	48,95	296	80,63	60,11	138	27,37	81,40
23	225	75	30	97,91	48,28	350	75,66	50,91	58	0,00	91,87
24	225	125	5	99,62	50,00	413	68,85	51,41	10	0,00	98,82
25	225	175	15	98,54	51,61	421	58,89	51,50	31	0,00	96,43
26	225	225	3	99,46	57,14	164	70,50	72,80	7	0,00	98,84
27	175	75	25	97,59	35,90	347	66,57	52,53	30	23,08	95,90
28	175	125	7	99,32	77,42	353	65,56	51,97	15	51,61	97,96
29	175	175	3	99,67	57,14	356	60,53	52,72	7	0,00	99,07
30	175	225	37	95,07	51,32	158	78,93	76,20	76	0,00	88,55
31	175	270	60	92,32	70,59	37	95,26	90,61	107	47,55	72,84
32	125	75	92	85,78	87,01	159	75,43	67,08	166	76,55	65,63
33	125	125	23	97,18	52,08	243	70,18	54,58	48	0,00	91,03
34	125	170	2	99,79	60,00	326	65,10	55,71	5	0,00	99,32
35	125	225	57	95,96	54,03	306	78,31	66,45	116	6,45	87,28
36	75	75	61	74,26	72,27	30	87,34	71,96	84	61,82	21,50
37	75	125	12	97,79	33,33	102	81,22	47,15	13	27,78	93,26
38	75	175	25	97,78	91,35	170	84,89	63,12	51	82,35	88,94
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ			37,24			246,24			60,26		

*Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, για δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί συνδυασμό δύο τεχνικών για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.*

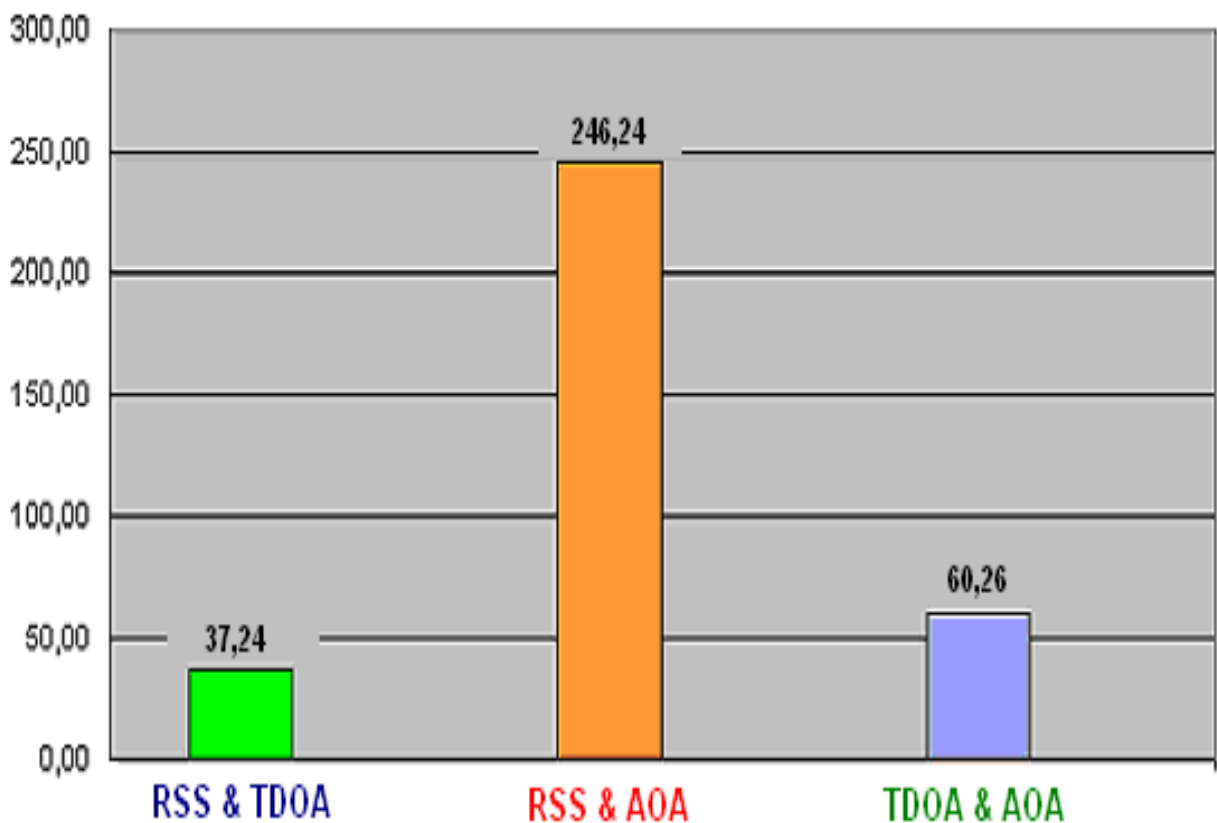
### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 8, σε πορτοκαλί φόντο, απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές υπολογιζόμενου εμβαδού (χειρότερη ακρίβεια) ανά ζεύγος τεχνικών εντοπισμού, ενώ σε πράσινο φόντο, οι ελάχιστες (βέλτιστη ακρίβεια).

Επίσης παρατηρούμε, ότι σε δίκτυο 4 σταθμών βάσης, την καλύτερη επίδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, επιτυγχάνει το ζεύγος RSS & TDOA, ακολουθεί το ζεύγος TDOA & AOA, ενώ την χειρότερη επίδοση κατέχει το ζεύγος RSS & AOA.

Στο Σχήμα 21, αναπαρίσταται γραφικά η μέση τιμή εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, που επιτυγχάνει ο συνδυασμός δυο τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο τεσσάρων σταθμών βάσης.

**Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό ζεύγους τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης.**



**Σχήμα 21:** Γραφική απεικόνιση της μέση τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό ζεύγους τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης.

Στον Πίνακα 9, παρατηρούμε τη βελτίωση στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού, χρησιμοποιώντας συνδυασμό δύο τεχνικών εντοπισμού αντί μίας, σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης.

ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ 4 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ							
Βελτίωση ακρίβειας (%), χρησιμοποιώντας δύο τεχνικές αντί μίας, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού							
	RSS			TDOA			AOA
RSS & TDOA	96,16		RSS & TDOA	66,14		RSS & AOA	59,70
RSS & AOA	74,64		AOA & TDOA	45,22		TDOA & AOA	90,14

**Πίνακας 9:** Βελτίωση ακρίβειας (%), σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης, όπου γίνεται χρήση δύο τεχνικών εντοπισμού αντί μίας, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.

Ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 9, μπορούμε σε σύστημα με 4 σταθμούς βάσης που χρησιμοποιεί μια τεχνική εντοπισμού, να επιλέξουμε την προσθήκη της κατάλληλης τεχνικής, που θα βελτιστοποιήσει την ακρίβεια εντοπισμού του κινητού τερματικού.

Αν το σύστημα χρησιμοποιούσε την RSS σαν βασική τεχνική εντοπισμού, με προσθήκη της τεχνικής TDOA, επιτυγχάνουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού.

Αν το σύστημα χρησιμοποιούσε την TDOA σαν βασική τεχνική εντοπισμού, η προσθήκη της τεχνικής RSS είναι η προτιμότερη.

Ενώ, για σύστημα εντοπισμού με 4 σταθμούς βάσης και χρήση της AOA σαν βασικής τεχνικής εντοπισμού, η προσθήκη της τεχνικής TDOA επιτυγχάνει τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια εντοπισμού του κινητού τερματικού.

### 3.2.2.3 Συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα ως προς τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης, όταν το σύστημα που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης βασίζεται σε υλοποίηση τριών τεχνικών εντοπισμού αντί για δύο, για να εκτιμήσει την ακριβή θέση του κινητού τερματικού.

ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ 4 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ						
A/A	ΘΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ		3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ	Βελτίωση ακρίβειας (%) ως προς ζεύγος τεχνικών εντοπισμού		
	Xm	Ym	RSS&TDOA&AOA	RSS & TDOA	RSS & AOA	TDOA & AOA
1	50	150	44	8,33	36,23	52,69
2	50	100	6	62,50	89,47	50,00
3	100	200	12	14,29	96,40	45,45
4	100	150	8	0,00	96,14	52,94
5	100	100	58	1,69	50,85	48,67
6	100	50	65	63,89	0,00	53,57
7	150	250	85	13,27	35,61	51,15
8	150	200	21	0,00	92,63	50,00
9	150	150	2	0,00	99,40	66,67
10	150	100	43	0,00	85,37	50,57
11	150	50	49	33,78	81,23	53,77
12	200	250	25	0,00	61,54	55,36
13	200	200	0,8	0,00	99,69	60,00
14	190	140	0,5	0,00	99,87	50,00
15	200	100	5	0,00	98,61	54,55
16	200	50	34	0,00	91,24	47,69
17	230	200	6	0,00	97,91	53,85
18	250	150	42	0,00	91,83	51,72
19	250	95	5	0,00	98,49	75,00
20	250	50	65	0,00	76,45	48,41
21	275	25	58	49,57	47,27	57,04
22	225	25	67	30,93	77,36	51,45
23	225	75	30	0,00	91,43	48,28
24	225	125	5	0,00	98,79	50,00
25	225	175	15	0,00	96,44	51,61
26	225	225	3	0,00	98,17	57,14
27	175	75	16	36,00	95,39	46,67
28	175	125	7	0,00	98,02	53,33
29	175	175	3	0,00	99,16	57,14
30	175	225	37	0,00	76,58	51,32
31	175	270	36	40,00	2,70	66,36
32	125	75	79	14,13	50,31	52,41
33	125	125	23	0,00	90,53	52,08
34	125	170	2	0,00	99,39	60,00
35	125	225	57	0,00	81,37	50,86
36	75	75	30	50,82	0,00	64,29
37	75	125	9	25,00	91,18	30,77
38	75	175	25	0,00	85,29	50,98
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		28,38	23,80	88,48	52,91

*Πίνακας 10: Βελτίωση ακρίβειας (%), σε δίκτυο με 4 σταθμούς βάσης, όπου γίνεται συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού αντί ζεύγους, για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τερματικού.*

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

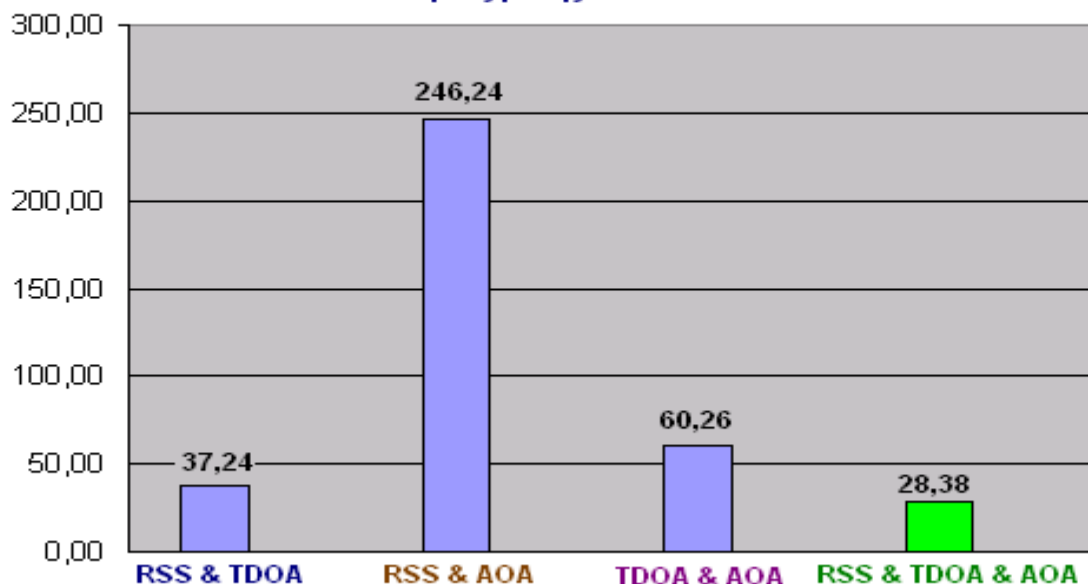
Αναλύοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 10, παρατηρούμε ότι η προσθήκη μιας επιπλέον τεχνικής, στο ζεύγος τεχνικών RSS & TDOA, επιφέρει ελάχιστη βελτίωση στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού. Αυτό φαίνεται από το πλήθος των υποψηφίων θέσεων στις οποίες δεν παρατηρείται βελτίωση στην ακρίβεια εντοπισμού. Άλλωστε, το ζεύγος τεχνικών RSS & TDOA, κατά την ανάλυση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού, είχε επιτύχει την καλύτερη επίδοση.

Με την προσθήκη της τεχνικής RSS, στο ζεύγος τεχνικών TDOA & AOA, παρατηρείται μέση βελτίωση 52,91% , στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού.

Η μεγαλύτερη μέση βελτίωση, ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού, παρατηρείται με την προσθήκη της τεχνικής TDOA, στο ζεύγος τεχνικών RSS & AOA. Κάτι αναμενόμενο, μιας και το ζεύγος RSS & AOA είχε επιτύχει τη χειρότερη επίδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, κατά την ανάλυση του συνδυασμού ζεύγους τεχνικών.

Στο Σχήμα 22, αναπαρίσταται γραφικά η μέση τιμή του εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, σε σύστημα εντοπισμού που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί συνδυασμό δύο και τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης.

**Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό δύο και τριών τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης**



**Σχήμα 22:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό δύο και τριών τεχνικών εντοπισμού, σε δίκτυο που αποτελείται από 4 σταθμούς βάσης.

### 3.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης συσχετίζοντας την ακρίβεια εντοπισμού θέσης με το πλήθος των σταθμών βάσης του δικτύου

#### 3.3.1 Μία τεχνική εντοπισμού θέσης

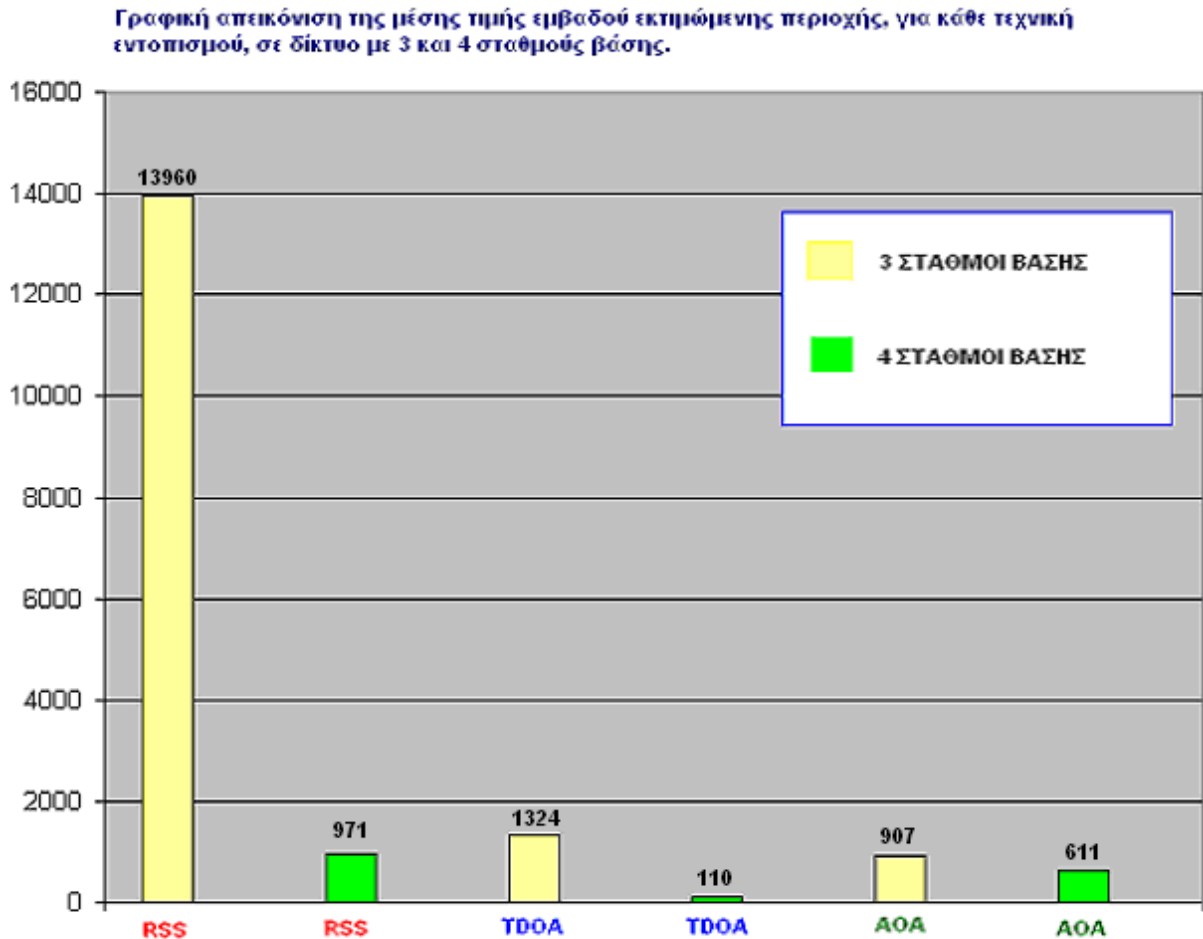
Στον Πίνακα 11, παρουσιάζεται η επίδραση που επιφέρει στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης, η προσθήκη ενός ακόμη σταθμού βάσης, σε δίκτυο που χρησιμοποιεί μια τεχνική για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΥΞΑΝΟΝΤΑΣ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ											
Α/Α	ΘΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ		RSS			TDOA			AOA		
	Χm	Υm	3 Σταθμοί Βάσης	4 Σταθμοί Βάσης	Βελτίωση ακρίβειας %	3 Σταθμοί Βάσης	4 Σταθμοί Βάσης	Βελτίωση ακρίβειας %	3 Σταθμοί Βάσης	4 Σταθμοί Βάσης	Βελτίωση ακρίβειας %
1	50	150	1391	682	50,97	3592	107	97,02	175	175	0,00
2	50	100	191	191	0,00	104	70	32,69	114	114	0,00
3	100	200	14819	1360	90,82	1116	24	97,85	855	854	0,12
4	100	150	3664	824	77,51	1318	17	98,71	448	448	0,00
5	100	100	762	574	24,67	1744	118	93,23	266	266	0,00
6	100	50	276	276	0,00	6925	394	94,31	343	329	4,08
7	150	250	47313	1260	97,34	602	206	65,78	1674	666	60,22
8	150	200	21067	933	95,57	1240	42	96,61	1121	775	30,87
9	150	150	7426	925	87,54	541	6	98,89	804	729	9,33
10	150	100	2215	895	59,59	878	87	90,09	707	659	6,79
11	150	50	893	793	11,20	556	155	72,12	1211	762	37,08
12	200	250	38663	361	99,07	212	56	73,58	1921	413	78,50
13	200	200	30478	753	97,53	7	2	71,43	1349	696	48,41
14	190	140	9744	1052	89,20	183	1	99,45	911	783	14,05
15	200	100	4852	1205	75,16	676	11	98,37	786	731	7,00
16	200	50	1856	1243	33,03	240	65	72,92	1172	829	29,27
17	230	200	38043	846	97,78	50	13	74,00	1485	767	48,35
18	250	150	22154	1550	93,00	1480	108	92,70	1107	1045	5,60
19	250	95	8532	1725	79,78	1262	21	98,34	717	717	0,00
20	250	50	3286	1672	49,12	2572	259	89,93	619	612	1,13
21	275	25	2131	1690	20,69	2403	353	85,31	371	371	0,00
22	225	25	1778	1528	14,06	5999	190	96,83	1569	742	52,71
23	225	75	4073	1438	64,69	2139	58	97,29	735	713	2,99
24	225	125	11053	1326	88,00	875	10	98,86	882	850	3,63
25	225	175	25612	1024	96,00	176	31	82,39	1234	868	29,66
26	225	225	50698	556	98,90	21	7	66,67	1737	603	65,28
27	175	75	1987	1038	47,76	132	39	70,45	867	731	15,69
28	175	125	5864	1025	82,52	983	31	96,85	819	735	10,26
29	175	175	16343	902	94,48	55	7	87,27	1051	753	28,35
30	175	225	37418	750	98,00	531	76	85,69	1482	664	55,20
31	175	270	68040	781	98,85	1585	204	87,13	2091	394	81,16
32	125	75	790	647	18,10	2173	708	67,42	523	483	7,65
33	125	125	2667	815	69,44	676	48	92,90	540	535	0,93
34	125	170	8931	934	89,54	1813	5	99,72	760	736	3,16
35	125	225	28376	1411	95,03	803	124	84,56	1248	912	26,92
36	75	75	237	237	0,00	2851	220	92,28	107	107	0,00
37	75	125	837	543	35,13	30	18	40,00	193	193	0,00
38	75	175	6036	1125	81,36	1767	289	83,64	461	461	0,00
Μέση τιμή εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής			13960	971		1324	110		907	611	
Μέση βελτίωση ακρίβειας %			RSS			TDOA			AOA		
			93,05			91,69			32,60		

Πίνακας 11: Βελτίωση ακρίβειας εντοπισμού θέσης (%), με την προσθήκη ενός σταθμού βάσης, σε δίκτυο τριών σταθμών βάσης όπου γίνεται χρήση μιας τεχνικής για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο Σχήμα 23, απεικονίζεται γραφικά η επίδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, που επιτυγχάνει κάθε τεχνική, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου.



**Σχήμα 23:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για κάθε τεχνική εντοπισμού, σε δίκτυο με 3 και 4 σταθμούς βάσης.

Όσον αφορά την τεχνική εντοπισμού RSS, η προσθήκη του τέταρτου σταθμού βάσης στο δίκτυο, επιφέρει τη μεγαλύτερη μέση βελτίωση της ακρίβειας (93,05%). Η βελτίωση θα ήταν μεγαλύτερη, αν το λαμβανόμενο σήμα από τον επιπλέον σταθμό δεν είχε υποστεί διάλειψη 2 dB.

Η προσθήκη ενός ακόμη σταθμού βάσης στο δίκτυο, για την τεχνική TDOA, επιφέρει σημαντική βελτίωση στην ακρίβεια εντοπισμού του κινητού τερματικού (91,69%), μιας και όπως έχει ήδη αναφερθεί, στις περισσότερες των υποψηφίων θέσεων υπολογίζεται μια μόνο εκτιμώμενη περιοχή για το κινητό τερματικό. Στον Πίνακα 11, οι τιμές εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής σε κίτρινο φόντο, αφορούν τις υποψήφιες θέσεις στις οποίες αντιστοιχούν δύο εκτιμώμενες περιοχές για το κινητό τερματικό.



Η τεχνική ΑΟΑ, ευνοείται λιγότερο, σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές εντοπισμού, από την προσθήκη τέταρτου σταθμού βάσης στο δίκτυο, μιας και παρατηρείται η μικρότερη μέση βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι σε πολλές υποψήφιες θέσεις για το κινητό τερματικό, κυρίως σε αυτές που απέχουν αρκετά από τον νέο σταθμό βάσης, η εκτιμώμενη περιοχή που ορίζουν οι 3 σταθμοί βάσης, βρίσκεται ολόκληρη εντός του τριγώνου που ορίζεται από τη γωνία ημίσειας ισχύος του τέταρτου σταθμού βάσης. Συνεπώς, όπως φαίνεται και στην αντίστοιχη στήλη του Πίνακα 11, για αρκετές υποψήφιες θέσεις του κινητού τερματικού υπάρχει μηδενική βελτίωση ακρίβειας.

### 3.3.2 Συνδυασμός δύο τεχνικών εντοπισμού θέσης

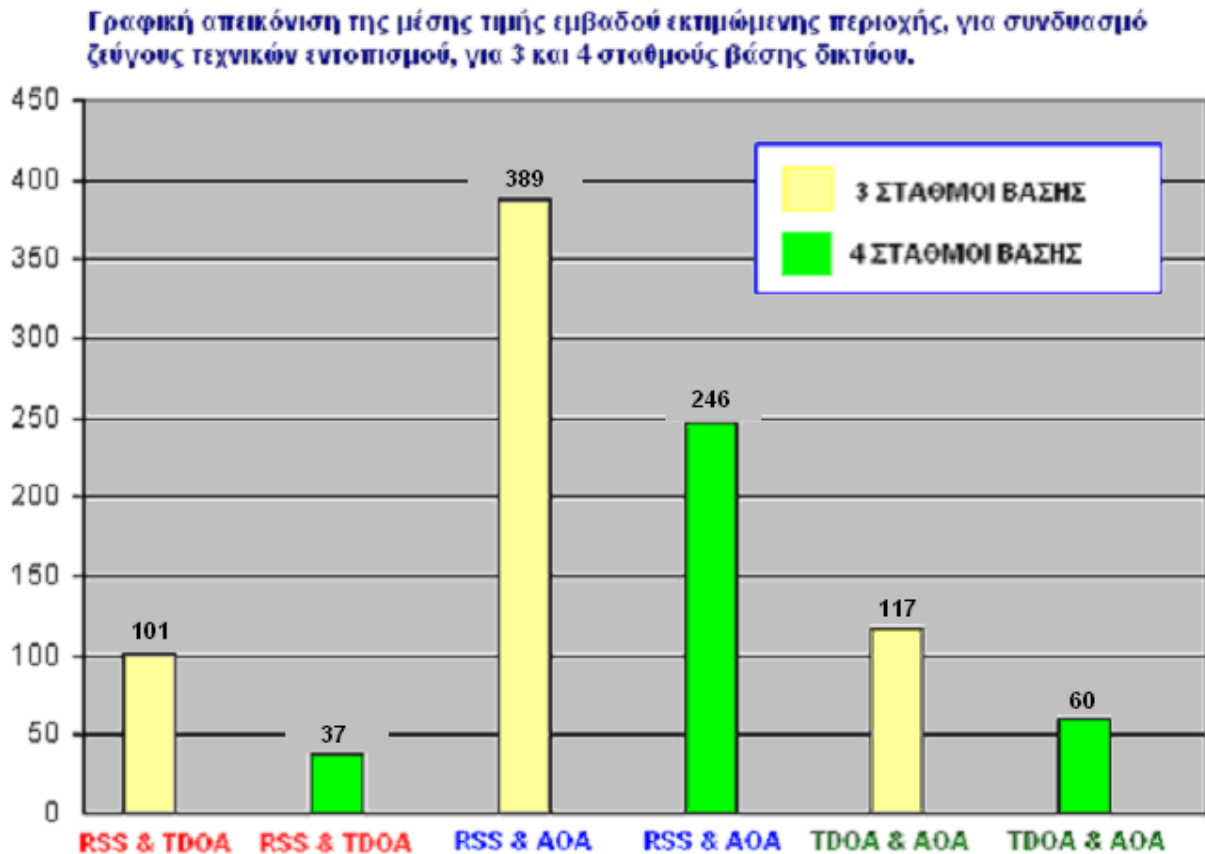
Στον Πίνακα 12, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που επιφέρει στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης, η προσθήκη ενός επιπλέον σταθμού βάσης σε δίκτυο που χρησιμοποιεί συνδυασμό δύο τεχνικών εντοπισμού για να εκτιμήσει τη θέση του κινητού τερματικού.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΥΞΑΝΟΝΤΑΣ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ											
ΘΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ			RSS & ΤΔΟΑ			RSS & ΑΟΑ			ΤΔΟΑ & ΑΟΑ		
A/A	Xm	Ym	3 Σταθμοί Βάσης	4 Σταθμοί Βάσης	Βελτίωση ακρίβειας %	3 Σταθμοί Βάσης	4 Σταθμοί Βάσης	Βελτίωση ακρίβειας %	3 Σταθμοί Βάσης	4 Σταθμοί Βάσης	Βελτίωση ακρίβειας %
1	50	150	77	48	37,66	69	69	0,00	124	93	25,00
2	50	100	16	16	0,00	57	57	0,00	12	12	0,00
3	100	200	293	14	95,22	352	333	5,40	355	22	93,80
4	100	150	70	8	88,57	207	207	0,00	54	17	68,52
5	100	100	63	59	6,35	118	118	0,00	119	113	5,04
6	100	50	180	180	0,00	65	65	0,00	140	140	0,00
7	150	250	236	98	58,47	781	132	83,10	326	174	46,63
8	150	200	92	21	77,17	537	285	46,93	90	42	53,33
9	150	150	15	2	86,67	389	336	13,62	31	6	80,65
10	150	100	48	43	10,42	295	294	0,34	100	87	13,00
11	150	50	79	74	6,33	261	261	0,00	130	106	18,46
12	200	250	76	25	67,11	890	65	92,70	56	56	0,00
13	200	200	4	0,8	80,00	640	261	59,22	3	2	33,33
14	190	140	26	0,5	98,08	440	376	14,55	20	1	95,00
15	200	100	18	5	72,22	380	360	5,26	51	11	78,43
16	200	50	69	34	50,72	388	388	0,00	101	65	35,64
17	230	200	14	6	57,14	695	287	58,71	13	13	0,00
18	250	150	82	42	48,78	514	514	0,00	172	87	49,42
19	250	95	169	5	97,04	332	332	0,00	273	20	92,67
20	250	50	271	65	76,01	276	276	0,00	189	126	33,33
21	275	25	426	115	73,00	110	110	0,00	135	135	0,00
22	225	25	205	97	52,68	296	296	0,00	138	138	0,00
23	225	75	114	30	73,68	350	350	0,00	167	58	65,27
24	225	125	51	5	90,20	416	413	0,72	106	10	90,57
25	225	175	15	15	0,00	582	421	27,66	31	31	0,00
26	225	225	18	3	83,33	808	164	79,70	7	7	0,00
27	175	75	39	25	35,90	347	347	0,00	65	30	53,85
28	175	125	20	7	65,00	399	353	11,53	42	15	64,29
29	175	175	3	3	0,00	507	356	29,78	16	7	56,25
30	175	225	79	37	53,16	700	158	77,43	84	76	9,52
31	175	270	278	60	78,42	962	37	96,15	252	107	57,54
32	125	75	94	92	2,13	159	159	0,00	169	166	1,78
33	125	125	34	23	32,35	243	243	0,00	68	48	29,41
34	125	170	71	2	97,18	335	326	2,69	60	5	91,67
35	125	225	270	57	78,89	565	306	45,84	354	116	67,23
36	75	75	61	61	0,00	30	30	0,00	84	84	0,00
37	75	125	17	12	29,41	102	102	0,00	16	13	18,75
38	75	175	144	25	82,64	170	170	0,00	289	51	82,35
Μέση ακρίβεια			101	37		389	246		117	60	
Μέση βελτίωση ακρίβειας %					RSS&TDOA		RSS&AOA		TDOA&AOA		
					63,11		36,64		48,45		

**Πίνακας 12:** Βελτίωση ακρίβειας εντοπισμού θέσης (%), με την προσθήκη ενός επιπλέον σταθμού βάσης, σε δίκτυο τριών σταθμών βάσης όπου γίνεται χρήση συνδυασμού δυο τεχνικών για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο Σχήμα 24, απεικονίζεται γραφικά η επίδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, που επιτυγχάνει κάθε συνδυασμός ζεύγους τεχνικών, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου.



**Σχήμα 24:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εμβαδού εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό ζεύγους τεχνικών εντοπισμού θέσης, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου.

Όπως έχει αναφερθεί, μικρότερη τιμή σε εμβαδό εκτιμώμενης περιοχής, σημαίνει και μεγαλύτερη ακρίβεια εντοπισμού θέσης.

Ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον Πίνακα 12, η προσθήκη ενός επιπλέον σταθμού βάσης στο δίκτυο, επιφέρει τη μεγαλύτερη μέση βελτίωση ακρίβειας εντοπισμού (63,11%) για το συνδυασμό τεχνικών RSS & TDOA.

Η προσθήκη ενός επιπλέον σταθμού βάσης στο δίκτυο, για το συνδυασμό τεχνικών RSS & AOA, έχει τη μικρότερη επίδραση στη βελτίωση της μέσης ακρίβειας εντοπισμού (36,64%), σε σχέση με τη βελτίωση που παρατηρούμε στους υπόλοιπους συνδυασμούς τεχνικών εντοπισμού.

Όσον αφορά το συνδυασμό των τεχνικών εντοπισμού TDOA & AOA, η προσθήκη ενός ακόμη σταθμού βάσης στο δίκτυο, επιφέρει μέτρια βελτίωση της μέσης ακρίβειας εντοπισμού (48,45%).

### 3.3.3 Συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης

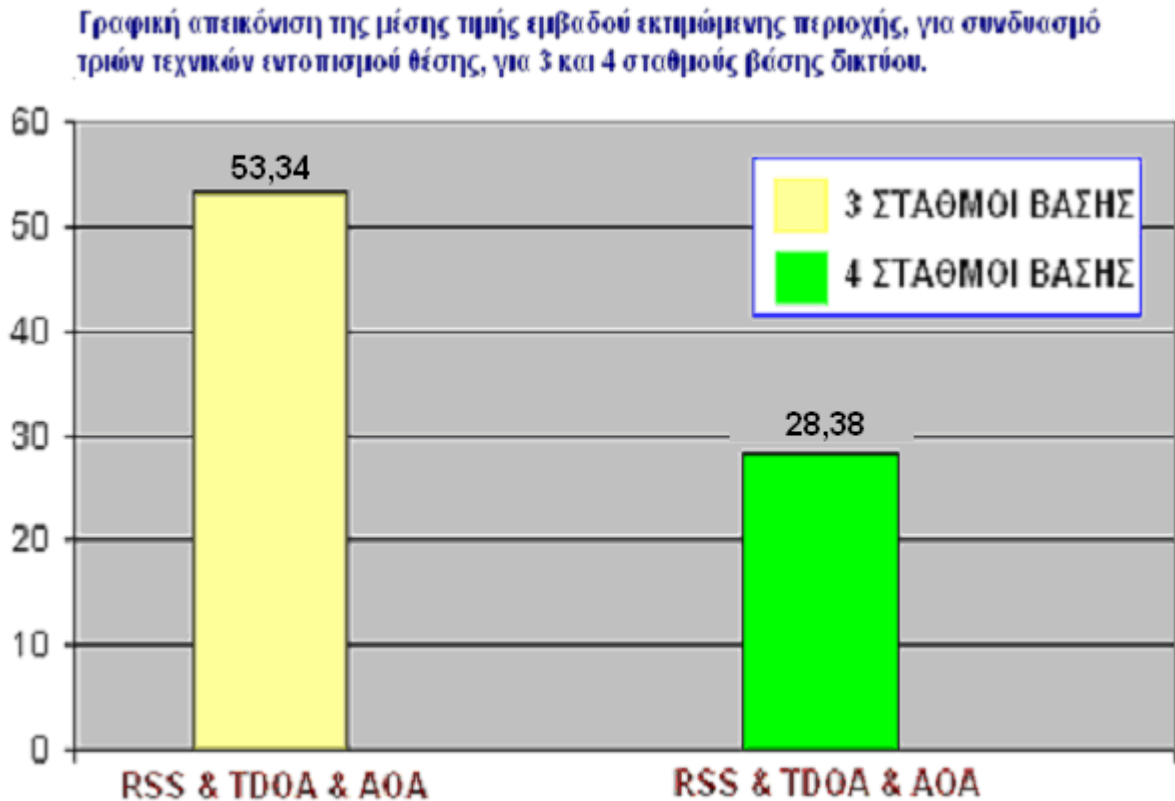
Στον Πίνακα 13, παρουσιάζεται η επίδραση που επιφέρει στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης, η προσθήκη ενός ακόμη σταθμού βάσης σε δίκτυο που χρησιμοποιεί μια τεχνική για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΥΞΑΝΟΝΤΑΣ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ					
Α/Α	ΘΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ		RSS & TDOA & AOA		Βελτίωση ακρίβειας %
	Xm	Ym	3 Σταθμοί Βάσης	4 Σταθμοί Βάσης	
1	50	150	50	44	12,00
2	50	100	6	6	0,00
3	100	200	162	12	92,59
4	100	150	28	8	71,43
5	100	100	62	58	6,45
6	100	50	65	65	0,00
7	150	250	151	85	43,71
8	150	200	43	21	51,16
9	150	150	15	2	86,67
10	150	100	48	43	10,42
11	150	50	49	49	0,00
12	200	250	27	25	7,41
13	200	200	2	0,8	60,00
14	190	140	12	0,5	95,83
15	200	100	18	5	72,22
16	200	50	38	34	10,53
17	230	200	6	6	0,00
18	250	150	82	42	48,78
19	250	95	132	5	96,21
20	250	50	90	65	27,78
21	275	25	58	58	0,00
22	225	25	67	67	0,00
23	225	75	79	30	62,03
24	225	125	51	5	90,20
25	225	175	15	15	0,00
26	225	225	3	3	0,00
27	175	75	30	16	46,67
28	175	125	20	7	65,00
29	175	175	3	3	0,00
30	175	225	40	37	7,50
31	175	270	117	36	69,23
32	125	75	81	79	2,47
33	125	125	34	23	32,35
34	125	170	28	2	92,86
35	125	225	163	57	65,03
36	75	75	30	30	0,00
37	75	125	11	9	18,18
38	75	175	111	25	77,48
Εμβαδόν εκτιμώμενης περιοχής			53	28	
Μέση βελτίωση ακρίβειας %					46,80

**Πίνακας 13:** Βελτίωση ακρίβειας εντοπισμού θέσης (%), με την προσθήκη ενός επιπλέον σταθμού βάσης, σε δίκτυο τριών σταθμών βάσης, όπου γίνεται χρήση συνδυασμού τριών τεχνικών για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.

### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο Σχήμα 25, απεικονίζεται γραφικά η επίδοση ως προς την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, που επιτυγχάνει ο συνδυασμός τριών τεχνικών εντοπισμού, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου.



**Σχήμα 25:** Γραφική απεικόνιση της μέσης τιμής εκτιμώμενης περιοχής, για συνδυασμό τριών τεχνικών εντοπισμού θέσης, για 3 και 4 σταθμούς βάσης δικτύου.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 25, η προσθήκη ενός επιπλέον σταθμού βάσης στο δίκτυο, επιφέρει βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού. Η μέση τιμή της βελτίωσης, όπως αυτή υπολογίστηκε στον Πίνακα 13, είναι 46,80%.

## 4. Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, αναφέραμε τους τομείς ανθρώπινης δραστηριότητας όπου έχουν εισχωρήσει τα συστήματα εντοπισμού και τους λόγους που απαιτούν τη βελτίωση της ακρίβειας που αυτά επιτυγχάνουν.

Επίσης, αναλύθηκαν οι διαφορετικές τοπολογίες συστημάτων εντοπισμού και παρουσιάστηκαν οι κυριότερες τεχνικές εντοπισμού θέσης. Τεχνικές που βασίζονται στην τριγωνοποίηση, στην ανάλυση τοποθεσίας και στην εγγύτητα για να εκτιμήσουν τη θέση του κινητού τερματικού.

Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα σεναρίων προσομοίωσης, εξετάζοντας την ακρίβεια εντοπισμού θέσης σε συνάρτηση, αφ' ενός με το πλήθος τεχνικών εντοπισμού που υλοποιούνται και αφ' ετέρου με το πλήθος των σταθμών βάσης του δικτύου.

Αυτό που παρατηρήθηκε, είναι ότι η ακρίβεια εντοπισμού θέσης αυξάνεται είτε με συνδυασμό των τεχνικών εντοπισμού θέσης, είτε με αύξηση των σταθμών βάσης του δικτύου.

Αποτελεί λοιπόν προτιμότερη λύση, από πλευράς κόστους, η επιδίωξη της βελτίωσης της ακρίβειας εντοπισμού θέσης μέσω του συνδυασμού τεχνικών εντοπισμού, μιας και η εγκατάσταση νέων σταθμών βάσης αυξάνει δραματικά τις δαπάνες χρήσης και συντήρησης του δικτύου. Άλλωστε, ειδικά στις αστικές περιοχές, εγείρονται αντιδράσεις ως προς την τοποθέτηση σταθμών βάσης, εξαιτίας των κινδύνων που ελλοχεύει η αύξηση των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην ανθρώπινη υγεία.

Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν μονόδρομο την βελτίωση των τεχνικών εντοπισμού για την βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού.

## 5. Βιβλιογραφία - Αναφορές

- [1]. Network based wireless location, Ali H. Sayed, Alireza Tarighat and Nima Khadjehouri.
- [2]. Signal Processing Techniques in Network - Aided Positioning, Guolin Sun, Jie Chen, Wei Guo and K.J. Ray Liu.
- [3]. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, Hui Liu, Housang Darabi, Pat Benerjee and Jing Liu
- [4]. Κεραίες – Ανάλυση και Σχεδίαση, Κ. Μπαλάνη
- [5]. Ασύρματες Επικοινωνίες, Αρχές και Πρακτική, Τ. Rappaport
- [6]. Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, Μ. Θεολόγου
- [7]. Μοντελοποίηση Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικού Χώρου με χρήση «Δαχτυλικών Αποτυπωμάτων», Παναγιώτης Σ. Γεώργας

