

Εντοπισμός θέσης σε εσωτερικό χώρο

Εκπονήθηκε από τις

Αικατερίνη Αντωνίου [01570]

Όλγα Βασιλείου [01691]

Βαΐα Γιαννάδη [01552]

Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας ήταν να κατανοήσουμε και να υλοποιήσουμε τα στάδια που απαιτούνται για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικό χώρο, με τη χρήση ενός Raspberry Pi 3 Model B, τρία BLE beacons και την προγραμματιστική γλώσσα python. Η παρούσα αναφορά περιλαμβάνει τα αποτελέσματα του κώδικα για τα στάδια 2-5, καθώς και την ανάλυση των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν για το στάδιο 6.

Στάδιο 2 – Δημιουργία αρχείου και ανάγνωση του RSSI

Σε αυτό το στάδιο, ο κώδικας διαβάζει τις πληροφορίες του κάθε beacon και εξάγει την τιμή RSSI (Received Signal Strength Indicator), η οποία αποθηκεύεται για χρήση στα επόμενα στάδια. Για κάθε beacon, αποθηκεύουμε 10 τιμές, με σκοπό την εύρεση του σφάλματος σε παρακάτω στάδιο.

```
pi@raspberrypi:~/Desktop/BLE-Beacon-Scanner-master $ sudo python MyBLELocalization.py
Enter measured x coordinate of Pi: 0.6
Enter measured y coordinate of Pi: 0.4

*** Looking for BLE Beacons ***

*** CTRL-C to Cancel ***

{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -37, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -57, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -49, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -37, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -51, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -51, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -49, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -62, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -37, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -38, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -37, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -51, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -53, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -38, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -56, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -52, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -50, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -54, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -38, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -50, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -49, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -37, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'ccccccc-cccc-cccc-ccccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -51, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
```

Εικόνα 1. Ανάγνωση σήματος από beacons (1)

```
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -53, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -38, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -56, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -52, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -50, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -54, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -38, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -50, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -49, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -37, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -51, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -53, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -52, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -51, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -37, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -54, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -37, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -50, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -38, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -51, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -39, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -38, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'cccccccc-cccc-cccc-cccccccccccc', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -50, 'macAddress': '09:1b:25:88:e2:79'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -55, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'bbbbbbbb-bbbb-bbbb-bbbbbbbbbbbb', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -38, 'macAddress': '16:c8:e6:8b:e1:7f'}
{'type': 'iBeacon', 'uuid': 'aaaaaaaa-aaaa-aaaa-aaaaaaaaaaaa', 'major': 15, 'minor': 5, 'rssi': -55, 'macAddress': '0e:ef:96:ca:19:d8'}
```

Εικόνα 2. Ανάγνωση σήματος από beacons (2)

Στάδιο 3 – Μετατροπή του RSSI σε απόσταση

Σε αυτό το στάδιο, υλοποιούμε τη δοθείσα συνάρτηση για την εύρεση του RSSI ως προς d για να υπολογίσουμε την απόσταση του P_i από το κάθε beacon. Χάριν ευκολίας, δίνουμε στα αποτελέσματα ακρίβεια 3 δεκαδικών ψηφίων. Τα αποτελέσματα αυτού του σταδίου εμφανίζονται παρακάτω, μαζί με τον εντοπισμό του P_i .

Στάδιο 4 – Υπολογισμός συντεταγμένων

Στο στάδιο του trilateration, υπολογίζουμε τις συντεταγμένες x και y του P_i σε σχέση με το σημείο (0,0).

```
Distance of beacon A is:
0.191
Distance of beacon B is:
0.027
Distance of beacon C is:
0.443
The Raspberry is at (0.518,0.42)
Error = 0.084
```

Εικόνα 3. Αποτελέσματα RSSI conversion και trilateration (1)

```

Distance of beacon A is:
0.893
Distance of beacon B is:
0.027
Distance of beacon C is:
0.144
The Raspberry is at (0.898,0.888)
Error = 0.572
Distance of beacon A is:
0.253
Distance of beacon B is:
0.027
Distance of beacon C is:
0.191
The Raspberry is at (0.532,0.514)
Error = 0.133
Distance of beacon A is:
0.22
Distance of beacon B is:
0.031
Distance of beacon C is:
0.144
The Raspberry is at (0.524,0.514)
Error = 0.137
Distance of beacon A is:
0.291
Distance of beacon B is:
0.027
Distance of beacon C is:
0.191
The Raspberry is at (0.542,0.524)
Error = 0.137
Distance of beacon A is:
0.144
Distance of beacon B is:
0.031
Distance of beacon C is:
0.385
The Raspberry is at (0.51,0.436)
Error = 0.097
Distance of beacon A is:
0.253
Distance of beacon B is:
0.031
Distance of beacon C is:
0.166
The Raspberry is at (0.532,0.518)
Error = 0.136

```

```

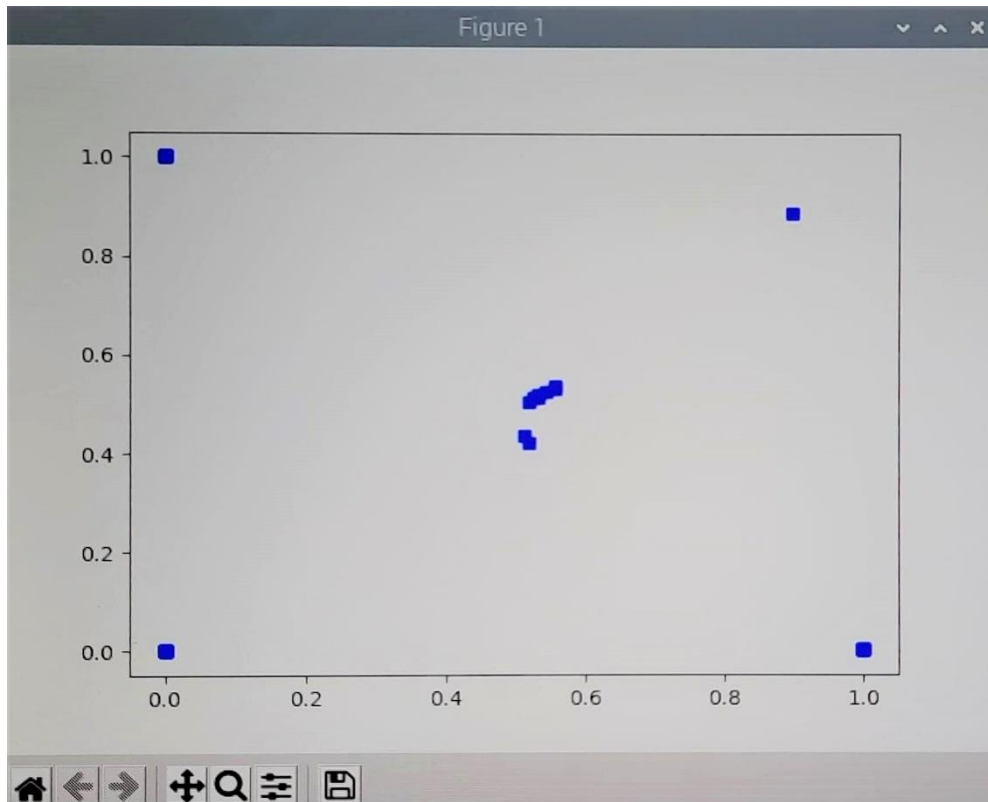
Distance of beacon A is:
0.191
Distance of beacon B is:
0.027
Distance of beacon C is:
0.166
The Raspberry is at (0.518,0.504)
Error = 0.132
Distance of beacon A is:
0.334
Distance of beacon B is:
0.027
Distance of beacon C is:
0.191
The Raspberry is at (0.555,0.538)
Error = 0.145
Distance of beacon A is:
0.334
Distance of beacon B is:
0.027
Distance of beacon C is:
0.22
The Raspberry is at (0.555,0.532)
Error = 0.139

```

Εικόνες 4-5. Αποτελέσματα RSSI conversion και trilateration (2)

Στάδιο 5 – Δημιουργία χάρτη

Σε αυτό το στάδιο, δημιουργούμε έναν χάρτη για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων του trilateration. Επίσης, υπολογίζουμε το μέγεθος του λάθους για κάθε 10 μηνύματα που λαμβάνουμε από κάθε beacon, με βάση τις πραγματικές συντεταγμένες του P_i , τις οποίες εισάγει ο χρήστης. Τα αποτελέσματα του λάθους εμφανίζονται μαζί με τα αποτελέσματα του σταδίου 4, ενώ η απεικόνιση των συντεταγμένων του P_i φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 6. Απεικόνιση συντεταγμένων P_i

Στάδιο 6 – Βελτιστοποίηση

Moving average

Για τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού του P_i με τη χρήση της τεχνικής moving average, βρίσκουμε τον μέσο όρο των 10 τιμών RSSI που λαμβάνουμε από κάθε beacon, δηλαδή την μέση απόσταση του P_i από το καθένα. Χρησιμοποιούμε τις τιμές αυτές στη θέση των μεμονωμένων αποστάσεων του κάθε beacon, στις συναρτήσεις του σταδίου 4 για τον υπολογισμό των συντεταγμένων του P_i . Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το νέο μέγεθος λάθους εντοπισμού και, συγκρίνοντάς το με το αρχικό λάθος, παρατηρούμε κυρίως μείωση του σφάλματος και κατ' επέκταση, βελτίωση της ακρίβειας του trilateration.

Συγκεκριμένα, κατά τις αρχικές μετρήσεις των αποστάσεων και τον υπολογισμό των αντιστοιχων λαθών, το σφάλμα κυμαίνεται στο διάστημα $\{0.084, 0.572\}$, ενώ κατά τον

υπολογισμό του λάθους με βάση τη μέση απόσταση του P_i από το κάθε beacon, το λάθος εντοπισμού ισούται με 0.134, το οποίο είναι μικρότερο από το 60% των προηγούμενων λαθών. Επομένως, η τεχνική του moving average έχει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης του εντοπισμού του P_i , χωρίς όμως να εγγυάται καλύτερα αποτελέσματα σε κάθε πείραμα/μέτρηση.

```
The moving average of beacon A is:
0.31
The moving average of beacon B is:
0.028
The moving average of beacon C is:
0.224
The Raspberry is at (0.548,0.523)
New error = 0.134
```

Εικόνα 7. Υπολογισμός νέου λάθους με βάση τους μέσους όρους

Calculation of constant C

Για τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού του P_i , μπορούμε επίσης να τροποποιήσουμε τη σταθερά C (measured power of P_i) ή τη σταθερά περιβάλλοντος n για ελαχιστοποίηση της απώλειας διαδρομής. Στην παρούσα εργασία, εξετάζουμε την πρώτη σταθερά.

Δεδομένου ότι το περιβάλλον όπου πραγματοποιούμε τα πειράματα διαφέρει από αυτό όπου η σταθερά C ισούται με -62.81, την υπολογίζουμε εκ νέου. Αρχικά, τοποθετούμε το P_i σε γνωστή θέση, γνωρίζοντας την απόστασή του από το κάθε beacon και το RSSI του καθενός. Η θέση αυτή έχει το ελάχιστο λάθος εντοπισμού που υπολογίστηκε βάσει των αρχικών μετρήσεων των beacons. Στη συνέχεια, υλοποιούμε τη συνάρτηση εύρεσης του RSSI ως προς C , υπολογίζουμε τη σταθερά για κάθε beacon και βρίσκουμε τον μέσο όρο των τριών αυτών τιμών ($C_A = -58.969$, $C_B = -53.559$, $C_C = -58.969$, άρα $C = -57.166$), ο οποίος αποτελεί τη νέα τιμή της C με βάση το περιβάλλον των πειραμάτων. Τέλος, καλούμε τις συναρτήσεις **scan_beacons** και **localize** για τον υπολογισμό του νέου σφάλματος εντοπισμού, το οποίο κυμαίνεται πλέον στο διάστημα $\{0.074, 0.88\}$.

Παρατηρούμε ότι, παρόλο που υπάρχει μία τιμή μικρότερη από όλες τις αρχικές τιμές λάθους που υπολογίσαμε, η ακρίβεια εντοπισμού του P_i δεν είναι η βέλτιστη. Αυτό οφείλεται κυρίως στην τοποθέτηση του εξοπλισμού στο δάπεδο, καθώς και στο μικρό εύρος τιμών της σταθεράς, αφού στα περισσότερα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, η C δεν ξεπερνούσε το διάστημα $\{-50, -65\}$.

Παρακάτω επισυνάπτουμε τα αποτελέσματα των νέων μετρήσεων και των υπολογισμών με την νέα σταθερά C , καθώς και τα λάθη εντοπισμού του P_i .

[illegible]

Εικόνες 8-9. Ανάγνωση σήματος από beacons

Distance of beacon A is: 0.558 Distance of beacon B is: 0.078 Distance of beacon C is: 0.977 The Raspberry is at (0.653,0.178) Error = 0.228	Distance of beacon A is: 0.558 Distance of beacon B is: 0.059 Distance of beacon C is: 0.641 The Raspberry is at (0.654,0.45) Error = 0.074	
Distance of beacon A is: 0.849 Distance of beacon B is: 0.078 Distance of beacon C is: 0.738 The Raspberry is at (0.857,0.588) Error = 0.318	Distance of beacon A is: 0.485 Distance of beacon B is: 0.059 Distance of beacon C is: 0.366 The Raspberry is at (0.616,0.551) Error = 0.152	
Distance of beacon A is: 1.124 Distance of beacon B is: 0.078 Distance of beacon C is: 0.24 The Raspberry is at (1.129,1.103) Error = 0.88	Distance of beacon A is: 0.641 Distance of beacon B is: 0.068 Distance of beacon C is: 0.641 The Raspberry is at (0.703,0.5) Error = 0.144	Distance of beacon A is: 0.366 Distance of beacon B is: 0.068 Distance of beacon C is: 0.24 The Raspberry is at (0.565,0.538) Error = 0.142
Distance of beacon A is: 0.421 Distance of beacon B is: 0.068 Distance of beacon C is: 0.366 The Raspberry is at (0.586,0.522) Error = 0.123	Distance of beacon A is: 0.558 Distance of beacon B is: 0.09 Distance of beacon C is: 0.421 The Raspberry is at (0.652,0.567) Error = 0.175	Distance of beacon A is: 0.558 Distance of beacon B is: 0.09 Distance of beacon C is: 0.485 The Raspberry is at (0.652,0.538) Error = 0.147

Εικόνες 10-13. Νέο trilateration και λάθος εντοπισμού