



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Σφαιρική οπτική ανίχνευση συμβάντων με χρήση του
αλγορίθμου APIT**

Απόστολος Ι. Καρνάβας

Επιβλέπων: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ

Ιανουάριος 2018

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σφαιρική οπτική ανίχνευση συμβάντων με χρήση του αλγορίθμου APIT

Απόστολος Ι. Καρνάβας
A.M.: 1115200800029

Επιβλέπων: **Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης συμβάντων που εντοπίζονται σε εικονορροές. Προτείνεται μια παραλλαγή του αλγορίθμου APIT, που χρησιμοποιείται για χωροθέτηση κόμβων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, και παρουσιάζεται ένα σύστημα αυτόματου εντοπισμού που χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο αυτό.

Ο αλγόριθμος με βάση τις συντεταγμένες του σημείου της εικόνας που προσπαθεί να προσδιορίσει χωρικά και μιας βάσης δεδομένων με σημεία αναφοράς δίνει μια εκτίμηση της γεωγραφικής θέσης του συμβάντος. Επειδή η διαδικασία αυτή είναι ανεξάρτητη για κάθε εικόνα έγιναν πολλές δοκιμές πάνω σε στατικές εικόνες ώστε να διαπιστωθεί η εγκυρότητα του αλγορίθμου και να αναλυθεί η ακρίβειά του. Το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει σαν κύριο στόχο να παρουσιάσει τις δυνατότητες χρήσης του αλγορίθμου σε εφαρμογές εντοπισμού θέσης συμβάντων σε βίντεο.

Ο αλγόριθμος είναι γρήγορος και κατά περιπτώσεις μπορεί να δώσει πολύ ακριβή αποτελέσματα. Η ακρίβειά του επηρεάζεται κυρίως από την μορφολογία του εδάφους και την πυκνότητα των σημείων αναφοράς και αναλόγως την περίπτωση μπορεί να χρειαστεί κάποια ιδιαίτερη παραμετροποίηση για να μπορεί να δώσει όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Οπτική ανίχνευση

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: οπτική ανίχνευση, γεωδαισία, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

ABSTRACT

This work focuses on identifying the geographical location of events found in video-streams. We propose a variation of the APIT algorithm, used for node localization in wireless sensor networks , and we present an auto-detection system that uses this algorithm.

The algorithm based on the image coordinates of the point we are trying to locate and reference points from a database, gives an estimation of the location of the event. Because this process is independent for each image, many tests were performed on static images to determine the validity of the algorithm and to analyze its accuracy. The main purpose of the developed system is to present the possibilities of using the algorithm in applications that require event localization from video streams.

The algorithm is fast and on occasion can give very accurate results. Its accuracy is mainly affected by the terrain morphology and the density of the reference points and, depending on the case, some particular parameterization may be needed to give the best possible results.

SUBJECT AREA: Optical detection

KEYWORDS: optical detection, geodesy, wireless sensor networks

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Στάθη Χατζηευθυμιάδη για την ανάθεση του θέματος αλλά και για τη βοήθεια και συνεργασία του στην εκπόνηση της εργασίας αυτής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υπομονή και τη στήριξή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Συστήματα επιτήρησης.....	10
1.2 Υπολογιστική όραση.....	10
1.3 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.....	12
1.4 Ανίχνευση συμβάντων.....	13
2. ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	14
2.1 Γεωδαισία.....	14
2.2 Χωροθέτηση.....	16
2.3 Γεωδαιτικά συστήματα.....	18
2.4 Χαρτογραφική προβολή.....	19
2.5 Η Μερκατορική προβολή.....	21
3. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ OPTICALLOCALIZATIONARIT.....	23
3.1 Ο αλγόριθμος ARIT.....	23
3.2 Βαρυκεντρική μέθοδος.....	27
3.3 Μετατροπή βαρυκεντρικών σε καρτεσιανές συντεταγμένες.....	28
3.4 Μεταφορά του αλγορίθμου ARIT.....	31
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....	36
4.1 Εισαγωγή.....	36
4.2 Πείραμα 1.....	37
4.3 Πείραμα 2.....	39
4.4 Πείραμα 3.....	41
4.4 Πείραμα 3.....	41
4.5 Πείραμα 4.....	43
5. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ OPTICALLOCALIZATIONSYSTEM.....	45
5.1 Η κάμερα.....	45
5.2 Εργαλεία Υλοποίησης.....	47
5.3 Παρουσίαση της εφαρμογής.....	48
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	54
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	56
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Η έννοια του γεωειδούς ως επιφάνεια αναφοράς.....	15
Σχήμα 2: Το γήινο ελλειψοειδές αναφοράς.....	16
Σχήμα 3: Οι κάθετες γραμμές είναι οι μεσημβρινοί ενώ οι οριζόντιες οι παράλληλοι. Η γωνία λ είναι το γεωγραφικό μήκος και η γωνία φ το πλάτος.....	17
Σχήμα 4: Η κυλινδρική, κωνική και επίπεδη προβολή.....	20
Σχήμα 5: Η Μερκατορική προβολή.....	22
Σχήμα 6: Σχηματική απεικόνιση του αλγορίθμου APIT.....	23
Σχήμα 7: Ο ιδανικός έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό.....	25
Σχήμα 8: Η περίπτωση στην οποία το σημείο βρίσκεται εκτός του τριγώνου.....	26
Σχήμα 9: Η περίπτωση στην οποία το σημείο βρίσκεται εντός του τριγώνου.....	26
Σχήμα 10: Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος APIT θα δώσει λανθασμένο αποτέλεσμα	27
Σχήμα 11: Η θέση ενός σημείου για διάφορες τιμές των βαρικεντρικών συντεταγμένων ..	30
Σχήμα 12: Το κέντρο βάρους του τριγώνου.....	32
Σχήμα 13: Το κέντρο του πλαισίου οριοθέτησης.....	32
Σχήμα 14: Γραφική παρουσίαση των σφαιρικών δυνατοτήτων του συστήματος.....	51

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σύστημα μηχανικής όρασης πραγματοποιεί έλεγχο σε γραμμή παραγωγής.....	11
Εικόνα 2: Ένας αισθητήρας φωτός.....	13
Εικόνα 3: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα 1.....	37
Εικόνα 4: Κάτοψη της περιοχής του πειράματος 1.....	38
Εικόνα 5: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα 2.....	39
Εικόνα 6: Κάτοψη της περιοχής του πειράματος 2.....	40
Εικόνα 7: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα 3.....	41
Εικόνα 8: Κάτοψη περιοχής του πειράματος 3.....	42
Εικόνα 9: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα 4.....	43
Εικόνα 10: Κάτοψη της περιοχής του πειράματος 4.....	44
Εικόνα 11: Η κάμερα AXIS Q6032-E.....	45
Εικόνα 12: Η εφαρμογή.....	47
Εικόνα 13: Η οθόνη επιλογών.....	47
Εικόνα 14: Μενού όταν γίνει κλικ στην εικόνα.....	49
Εικόνα 15: Παράθυρο εισαγωγής νέου σημείου αναφοράς.....	49
Εικόνα 16: Εικόνα μετά την εισαγωγή ενός σημείου αναφοράς.....	50
Εικόνα 17: Εικόνα μετά την δημιουργία τεχνητού σημείου στόχου.....	50
Εικόνα 18: Το πράσινο σημείο εντοπίζεται εντός του τριγώνου αν και βρίσκεται αρκετά χιλιόμετρα μακριά.....	52
Εικόνα 19: Περιορισμός του πλήθους των σημείων αναφοράς για τον υπολογισμό σημείου.....	53

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πίνακας αποτελεσμάτων πειράματος 1.....	38
Πίνακας 2: Πίνακας αποτελεσμάτων πειράματος 2.....	40
Πίνακας 3: Πίνακας αποτελεσμάτων πειράματος 3.....	42
Πίνακας 4: Πίνακας αποτελεσμάτων του Πειράματος 4.....	44
Πίνακας 5: Βασικά ορίσματα για την κίνηση της κάμερας.....	46

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Συστήματα επιτήρησης

Τα συστήματα επιτήρησης με χρήση βίντεο γίνονται όλο και πιο δημοφιλή στις μέρες μας για την παρακολούθηση περιοχών αυξημένης ασφάλειας και κινδύνου όπως αστικές περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση ατόμων, αυτοκινητόδρομοι, σύνορα και δασικές εκτάσεις. Η επιτήρηση αυτή γίνεται με χρήση κλειστών κυκλωμάτων τηλεόρασης (Closed-circuit television, CCTV) [1] τα οποία χρησιμοποιούν βιντεοκάμερες για τη μετάδοση ενός οπτικού σήματος από κάποιο μέρος σε κάποιο άλλο. Συνήθως οι κάμερες αυτές είναι συνδεδεμένες με κάποια συσκευή εγγραφής ή κάποιο δίκτυο IP, ενώ την εικόνα τους, σε περιοχές υψηλού ενδιαφέροντος, παρακολουθούν άνθρωποι χειριστές. Παρόλα αυτά, καθώς το πλήθος των συστημάτων επιτήρησης αυξάνεται, δημιουργούνται φαινόμενα ανεπάρκειας χειριστών. Για να καλυφθεί το κενό αυτό αναπτύσσονται όλο και περισσότερα συστήματα που βασίζονται σε τεχνικές υπολογιστικής όρασης για τον εντοπισμό συμβάντων και τη λήψη άμεσων αποφάσεων (πχ εκκίνηση κάποιου συναγερμού) στον τομέα ευθύνης της εκάστοτε κάμερας. Η ανάπτυξη μια αυτοματοποιημένης και κλιμακούμενης μεθόδου ανίχνευσης συμβάντων για πραγματικά σενάρια, αποτελεί πρόκληση λόγω, απρόβλεπτων παραγόντων στο πεδίο επιτήρησης και την κατεύθυνση εποπτείας της κάμερας, της φύσης των οντοτήτων της σκηνής καθώς και των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Με τον όρο “ανίχνευση” δεν εννοούμε απλά τον εντοπισμό (αναγνώριση) κάποιου γεγονότος στην εικονοροή (video stream) της κάμερας αλλά μια αυτοματοποιημένη διαδικασία που θα μας δώσει όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για το συμβάν αυτό. Πάρτε για παράδειγμα μια κάμερα η οποία εποπτεύει μια δασική έκταση για εντοπισμό πιθανών εστιών φωτιάς. Σε περίπτωση που κάποια εστία φωτιάς παρουσιαστεί στην εικόνα, εκτός αυτού καθαυτού του εντοπισμού του γεγονότος (ύπαρξη φωτιάς σε κάποια εικονοστοιχεία (pixels) της εικόνας), μπορεί να μας ενδιαφέρει η πραγματική θέση της φωτιάς (χωροθέτηση), το μέγεθός της, όπως και κάποια πιθανή πρόβλεψη ως προς την ενδεχόμενη εξέλιξή της. Όλα αυτά είναι προβλήματα που συγκαταλέγονται στα αλληλοκαλυπτόμενα πεδία της υπολογιστικής όρασης και της τεχνητής νοημοσύνης.

1.2 Υπολογιστική όραση

Η υπολογιστική όραση (Machine vision) [2] είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο που έχει σαν στόχο την επίτευξη ενός υψηλού επιπέδου κατανόησης, με τη χρήση εικόνων και βίντεο, από μεριάς υπολογιστικών συστημάτων του τρισδιάστατου κόσμου γύρω του με τον τρόπο που το ανθρώπινο οπτικό και νευρικό σύστημα τον αντιλαμβάνεται. Η απόκτηση, επεξεργασία, ανάλυση και κατανόηση ψηφιακών εικόνων και εξαγωγής δεδομένων, αποτελούν βασικό στάδιο στη διαδικασία ανάλυσης και παραγωγής αριθμητικών ή συμβολικών πληροφοριών με κύριο στόχο τη λήψη αποφάσεων.

Κατανόηση, σε αυτό το πλαίσιο, σημαίνει τη μετατροπή εικόνων σε περιγραφές του κόσμου που μπορούν να αλληλεπιδρούν με άλλες διαδικασίες σκέψης ώστε να διεγείρουν

τις κατάλληλες ενέργειες. Αυτή η διαδικασία κατανόησης μπορεί να θεωρηθεί σαν την εξαγωγή συμβολικής πληροφορίας από δεδομένα εικόνας με χρήση μοντέλων κατασκευασμένα με τη βοήθεια της γεωμετρίας, της φυσική, της στατιστικής και της γνωσιακής επιστήμης.



Εικόνα 1: Σύστημα μηχανικής όρασης πραγματοποιεί έλεγχο σε γραμμή παραγωγής

Ως επιστημονικό πεδίο, η υπολογιστική όραση ασχολείται με τη θεωρία πίσω από τα τεχνητά συστήματα που εξάγουν πληροφορία από εικόνες. Τα δεδομένα των εικόνων μπορούν να προέρχονται από διάφορες πηγές , όπως ακολουθίες βίντεο, προβολές από πολλές κάμερες ή πολυδιάστατα δεδομένα ενός ιατρικού σαρωτή. Ως πεδίο η υπολογιστική όραση επιδιώκει να εφαρμόσει τις θεωρίες και τα μοντέλα του για την κατασκευή συστημάτων ηλεκτρονικής όρασης. Μερικές από τις εφαρμογές της υπολογιστικής όρασης σήμερα αποτελούν:

- η αυτοματοποιημένη επιθεώρηση συσκευών κατά την οποία μια κάμερα σαρώνει την προς επιθεώρηση συσκευή αναζητώντας τυχόν σφάλματα στην κατασκευή της
- η καθοδήγηση αυτοματοποιημένων διαδικασιών και ρομπότ στην βιομηχανική παραγωγή
- εφαρμογές παρακολούθησης.
- Η επιβοήθεια ανθρώπων σε κάποια εργασία όπως πχ. Η αυτοματοποιημένη ταξινόμηση ζώων και εντόμων με βάση το είδος τους.
- Εφαρμογές αλληλεπίδρασης ανθρώπου μηχανής
- Μοντελοποίηση αντικειμένων ή περιβαλλόντων, πχ η ανάλυση ιατρικών εικόνων ή η τοπογραφική μοντελοποίηση
- η πλοήγηση αυτοκινούμενων οχημάτων και ρομποτικών συσκευών.

1.3 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (ΑΔΑ, Wireless sensor network, WSN), ονομάζονται τα δίκτυα που αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος κόμβων, όπου ο καθένας τους είναι εξοπλισμένος με αισθητήρες ανίχνευσης φυσικών φαινομένων όπως το φως, η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση κλπ. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων θεωρούνται μια καινοτόμα μέθοδος συλλογής πληροφοριών για την οικοδόμηση συστημάτων πληροφοριών και επικοινωνίας που θα βελτιώσει σημαντικά την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των συστημάτων υποδομής. Σε σύγκριση με τις ενσύρματες λύσεις, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υπερτερούν ως προς την ευκολότερη ανάπτυξη τους στο πεδίο και την μεγαλύτερη ευελιξία των συσκευών τους, ενώ με την ταχεία τεχνολογική ανάπτυξη των αισθητήρων τα δίκτυα αυτά προβλέπεται να γίνουν η βασική τεχνολογία για το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of things, IoT)[3].[4]



Εικόνα 2: Ένας αισθητήρας φωτός

Η ανάπτυξη ενός δικτύου αισθητήρων αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις. Μεταξύ αυτών είναι και η απόκτηση πληροφορίας θέση για τους κόμβους αισθητήρες και τα συμβάντα που εντοπίζονται μέσα στο δίκτυο. Από αυτή την σκοπιά, κατηγοριοποιούμε τα προβλήματα χωροθέτησης ως:

- Εντοπισμού κόμβου. Σαν εντοπισμό κόμβου, ονομάζουμε τη διαδικασία προσδιορισμού των συντεταγμένων ενός αισθητήρα στο ασύρματο δίκτυο.

- Εντοπισμού συμβάντος/στόχου (target). Δηλαδή τη διαδικασία λήψης των συντεταγμένων ενός συμβάντος ή ενός στόχου που εντοπίστηκε μέσα στο δίκτυο των αισθητήρων.

Όσον αναφορά το πρόβλημα εντοπισμού κόμβου έχουν προταθεί αρκετοί αλγόριθμοι εντοπισμού. Με βάση τους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της τοποθεσίας, χωρίζουμε αυτά τα πρωτόκολλα εντοπισμού σε δυο βασικές κατηγορίες: με βάση την ακτίνα (range-based) ή ανεξάρτητα της ακτίνας (range-free). Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιούν ακριβείς υπολογισμούς της απόστασης ή των γωνιών μεταξύ σημείων για τον υπολογισμό της θέσης όπως, την ένδειξη ισχύος δεχόμενου σήματος (Received Signal Strength Indication, RSSI) [5], τον χρόνο άφιξης (Time of Arrival ToA)[6][7], την διαφορά χρόνου άφιξης (Time Difference of Arrival TDoA)[8][9], ή τη γωνία άφιξης (Angle of Arrival AoA)[10]. Αυτοί της δεύτερης δεν κάνουν καμία παραδοχή σχετικά με την εγκυρότητα των υπολογισμών αυτών και χρησιμοποιούν πληροφορίες εγγύτητας για τον εντοπισμό των άγνωστων κόμβων. Τέτοιοι αλγόριθμοι είναι αυτός του κέντρου βάρους (Centroid)[11], APIT[12], SeRLoc[13], Multidimensional Scaling[14], Ad-Hoc Positioning System (APS)[15].

Λόγω των περιορισμών υλικού των συσκευών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι range-free λύσεις θεωρούνται μια οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση ως προς τις προσεγγίσεις που βασίζονται σε μετρήσεις ακριβείας[16]. Αυτές οι λύσεις υπολογίζουν την τοποθεσία των κόμβων αισθητήρων αξιοποιώντας τις πληροφορίες ραδιοεπικοινωνίας μεταξύ γειτονικών κόμβων ή αξιοποιώντας τις δυνατότητες ανίχνευσης που διαθέτει κάθε κόμβος αισθητήρα. Λόγω των ξεχωριστών χαρακτηριστικών αυτών των δύο προσεγγίσεων, κατηγοριοποιούμε τα συστήματα εντοπισμού ανεξαρτήτως ακτίνας σε: συστήματα βασισμένα σε κόμβους αναφοράς, δηλαδή αισθητήρες στο δίκτυο που έχουν γνώση σχετικά με την τοποθεσία τους, και σχήματα στα οποία δεν υπάρχουν τέτοιοι ειδικοί κόμβοι. Τα συστήματα εντοπισμού ανεξαρτήτως ακτίνας εξαλείφουν την ανάγκη εξειδικευμένου υλικού υψηλού κόστους σε κάθε κόμβο αισθητήρα. Το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά διάδοσης των ραδιοκυμάτων διαφοροποιούνται σε σχέση με τον χρόνο και η άμεση εξάρτησή τους από το περιβάλλον, επιβάλλει ένα υψηλό κόστος βαθμονόμησης για τα συστήματα εντοπισμού που βασίζονται σε κόμβους αναφοράς.[17]

1.4 Ανίχνευση συμβάντων

Μπορούμε να χωρίσουμε την ανίχνευση συμβάντων σε βίντεο σε δύο στάδια, το πρώτο είναι η αναγνώριση του συμβάντος μέσω ανάλυσης της εικονοροής, ενώ το δεύτερο είναι η εξέταση των δεδομένων που αντλήθηκαν κατά τη διαδικασία αναγνώρισης, ώστε να παρθούν αποφάσεις με βάση τη θέση και την έκταση του φαινομένου στην εικόνα.

Στόχος της αναγνώρισης συμβάντων είναι να προσδιοριστούν και να εντοπιστούν συγκεκριμένα χώρο-χρονικά μοτίβα σε βίντεο, όπως ένα άτομο που κινεί το χέρι του ή μια εστία φωτιάς. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή και σαν ανάλυση περιεχομένου βίντεο (video content analysis, VCA) [18]. Το πρόβλημα αυτό είναι παρόμοιο με την ανίχνευση αντικειμένων από πολλές απόψεις, αφού το συμβάν μπορεί να εντοπιστεί οπουδήποτε στη σκηνή (τόσο χωρικά όσο και χρονικά) και απαιτεί αξιόπιστη ανίχνευση παρουσία σημαντικού παρεμβολικού θορύβου. Στόχος μας είναι να πραγματοποιήσουμε την

αναγνώριση συμβάντων σε δύσκολες συνθήκες, πραγματικού κόσμου, όπου το γεγονός ενδιαφέροντος πολλές φορές επισκιάζεται από τη δραστηριότητα και τις συνθήκες ενός δυναμικού περιβάλλοντος.

Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί VCA μπορεί να εντοπίσει αλλαγές στο περιβάλλον και ακόμα να αναγνωρίσει και να συγκρίνει αντικείμενα με κάποια βάση δεδομένων, χρησιμοποιώντας πληροφορίες όπως το μέγεθος, η ταχύτητα και το χρώμα. Μπορεί ακόμα να γίνει ανάλυση ώστε να εντοπιστούν ασυνήθιστα μοτίβα στο περιβάλλον επισκόπησης. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να εντοπίζουν ανωμαλίες στην κίνηση ανθρώπινου πλήθους, όπως για παράδειγμα σε ένα αεροδρόμιο κάποιος που κινείται σε αντίθετη κατεύθυνση κατά την αποβίβαση.

Η αναγνώριση συμβάντων (event recognition) μπορεί να διαιρεθεί στις εξής υποκατηγορίες:

- Με βάση κάποιο κατώφλι. Η ανίχνευση βασισμένη σε κατώφλι είναι ένας απλός τρόπος ανίχνευσης συμβάντων μέσω της χρήσης διαφόρων παραμέτρων που μπορούν να υποδηλώσουν εάν έχει συμβεί κάποιο γεγονός ή όχι. Τα δεδομένα που συλλέγονται από έναν αισθητήρα, αναλύονται για να διαπιστωθεί αν έχει ξεπεραστεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο κατωφλίου το οποίο υποδηλώνει κάποιο γεγονός. Για παράδειγμα, ένας ανιχνευτής θερμοκρασίας μπορεί να στέλνει σήμα μόνο εφόσον ανιχνεύσει θερμοκρασία πάνω από μια ορισμένη τιμή. Τέτοιου είδους ανίχνευση είναι αρκετά διαδεδομένη στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε μια προσπάθεια να μετριαστεί το ενεργειακό κόστος της επικοινωνίας μεταξύ των αισθητήρων.
- Εποπτευόμενη ανίχνευση. Η εποπτευόμενη ανίχνευση είναι όταν τα συμβάντα είναι γνωστά εξ αρχής και μπορούν να μοντελοποιηθούν ώστε να μπορούν να συγκριθούν με δεδομένα πραγματικού χρόνου. Η ανίχνευση αυτή απαιτεί πληροφορία σχετικά με τα εκάστοτε γεγονότα και το περιβάλλον η οποία είναι γνωστή εκ των προτέρων. Αυτό γίνεται συνήθως με τη δειγματοληψία μετρήσεων κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος με σκοπό τη δημιουργία ενός μοντέλου περιγραφής του συμβάντος.
- Ανίχνευση χωρίς επιτήρηση. Όταν τα συμβάντα που μας ενδιαφέρουν μπορεί να είναι άγνωστα ή δεν έχουν παρατηρηθεί ήδη, τότε είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε ανίχνευση χωρίς επιτήρηση. Αυτό απαιτεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης που με την πάροδο του χρόνου βρίσκουν ανώμαλα γεγονότα σε σύγκριση με τα κανονικά συμβάντα.

Αφού ένα συμβάν ανιχνευθεί μπορούμε να παράξουμε γνώση με βάση την παρατήρηση του φαινομένου. Παραδείγματος χάριν σε περίπτωση πυρκαγιάς μπορούμε να αναζητήσουμε την θέση της πυρκαγιάς αυτής, ένα σύστημα ανίχνευσης πυραύλων μπορεί να θέλει να προσδιορίσει τον πιθανό στόχο, ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ταυτοποίησης μπορεί να ανοίγει μια πόρτα κλπ.

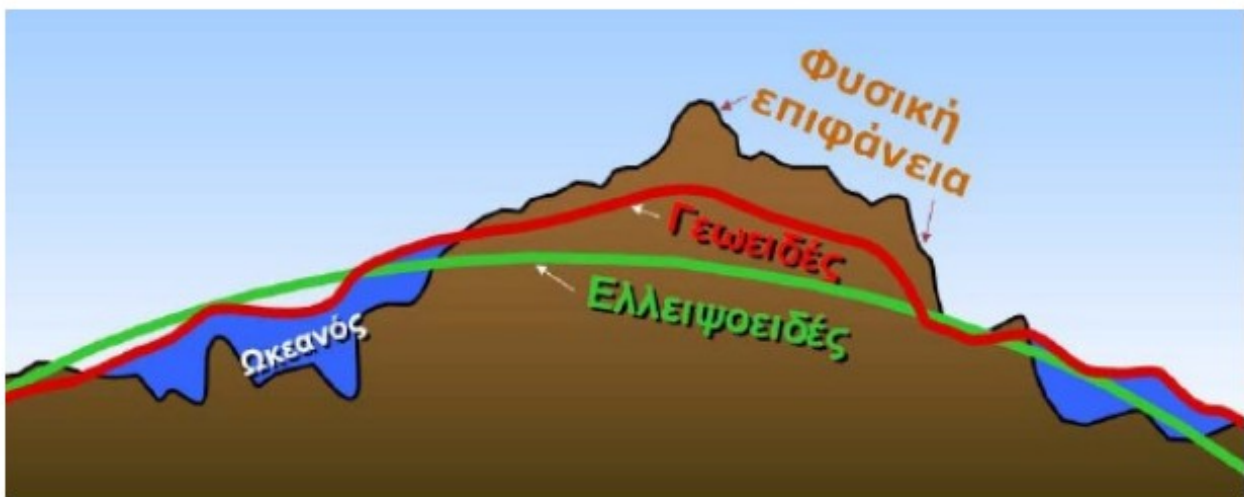
Τέλος υπάρχει σημαντική διαφορά σε ποιο μέρος του συστήματος η ανάλυση αυτή γίνεται. Η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να γίνεται είτε στην ίδια την κάμερα, δηλαδή σε κάποιον ακριανό κόμβο του συστήματος, είτε σε κάποιον κεντρικό εξυπηρετητή. Κάθε μια από αυτές τις εναλλακτικές έχει τα προτερήματα και τα μειονεκτήματά της.

2. ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

2.1 Γεωδαισία

Στην τοπογραφία ενδιαφερόμαστε κυρίως για τον προσδιορισμό της αμοιβαίας θέσης μεταξύ σημείων ενδιαφέροντος στην επιφάνεια της Γης, ή πάνω από αυτή. Όταν εργαζόμαστε σε μικρές περιοχές η σχέση των συντεταγμένων μεταξύ σημείων μπορεί να προσδιοριστεί απλά από τις εκτελούμενες μετρήσεις (πχ. Γωνίες, αποστάσεις, υψόμετρα κλπ). Σε εκτεταμένες περιοχές δεν μπορούμε να κάνουμε το ίδιο πράγμα, δεδομένου ότι δεν μπορούμε να μετρήσουμε τις άμεσες σχέσεις μεταξύ των σημείων και πρέπει να αναφέρουμε τις μετρήσεις μας σε ένα κοινό πλαίσιο ή επιφάνεια που να συσχετίζει τα δυο σημεία.

Η περιγραφή μιας τέτοια επιφάνειας αναφοράς και οι σχέσεις μεταξύ των σημείων και της επιφάνειας αναφοράς είναι μια από τις κύριες επιδιώξεις της γεωδαισίας [19] με σκοπό, τη μελέτη του σχήματος και του μεγέθους της Γης και μεταξύ άλλων και τον προσδιορισμό της θέσης σημείων ενδιαφέροντος. Ο όρος “Σχήμα της Γης” έχει τις διάφορες έννοιες στη γεωδαισία ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιείται και την ακρίβεια με την οποία το μέγεθος και η μορφή της Γης πρόκειται να καθοριστούν. Στην πράξη, συνήθως μια επιφάνεια αναφοράς κοντά στην τοπογραφική επιφάνεια της Γης επιλέγεται ως επιφάνεια αναφοράς που παίζει τον επιδιωκόμενο ρόλο του πλαισίου αναφοράς. Τα φαινόμενα με τα οποία ασχολείται η επιστήμη της γεωδαισίας, γνωστά και σαν γεωδυναμικά, περιλαμβάνουν την κίνηση των τεκτονικών πλακών, την παλίρροια και την κίνηση του άξονα της γης (polar motion).



Σχήμα 1: Η έννοια του γεωειδούς ως επιφάνεια αναφοράς

Το οριζόντιο επίπεδο είναι μια αποδεκτή επιφάνεια αναφοράς κατάλληλη για τη μελέτη μικρών περιοχών, πχ μερικών km^2 ή του μεγέθους μιας πόλης, όπου δεν δίνεται καμία προσοχή στην καμπυλότητα της Γης. Η σφαίρα θεωρήθηκε ως κατάλληλο μοντέλο του σχήματος της Γης από τους αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους. Η έννοια μιας σφαιρικής Γης, προσφέρει μια απλή επιφάνεια που είναι από μαθηματική άποψη εύκολο να εξεταστεί. Πολλοί αστρονομικοί και υπολογισμοί πλοήγησης τη χρησιμοποιούν ως επιφάνεια που αντιπροσωπεύει τη Γη, χωρίς ωστόσο η εν λόγω προσέγγιση να είναι ικανοποιητική για γεωδαιτικές εφαρμογές που απαιτούνται μετρήσεις σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ σημείων. Σε μεγάλο βαθμό, το σχήμα της Γης είναι αποτέλεσμα της περιστροφής της, που έχει σαν αποτέλεσμα διόγκωσή στον ισημερινό, και της αλληλεπίδρασης γεωλογικών διεργασιών όπως η σύγκρουση των τεκτονικών πλακών και η ηφαιστειογενής δραστηριότητα, με το πεδίο βαρύτητας της Γης. Αυτό ισχύει για τη στερεά και υγρή επιφάνεια, καθώς και την ατμόσφαιρα της γης. Για το λόγο αυτό, η μελέτη του πεδίου βαρύτητας της Γης ονομάζεται φυσική γεωδαισία.

Το γεωειδές είναι η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου γήινης βαρύτητας που προσεγγίζει περισσότερο τη Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ, Mean sea level) που εκτείνεται και κάτω από τις ηπείρους. Η ονομασία γεωειδές σημαίνει στην κυριολεξία, η επιφάνεια που είναι “κάτι σαν τη Γη” αφού συμπίπτει με την επιφάνεια στην οποία οι ωκεανοί θα προσαρμόζονταν σε ολόκληρη τη Γη εάν ήταν ελεύθεροι να ρυθμίσουν τη συμπεριφορά τους στην επίδραση της βαρύτητας.

Η μέση στάθμη της θάλασσας λαμβάνεται ως η στάθμη με μηδέν ορθομετρικό υψόμετρο και θεωρείται ως η καταλληλότερη επιφάνεια αναφοράς για τα ορθομετρικά υψόμετρα (υψομετρικό datum) που προσδιορίζονται συνήθως μέσω των διαδικασιών γεωμετρικής χωροστάθμησης. Αντιθέτως το γεωειδές ως μια πολύπλοκη μαθηματική επιφάνεια δεν είναι κατάλληλη για τον οριζόντιο (δισδιάστατο) προσδιορισμό θέσης και συνεπώς αντί αυτού η επιφάνεια αναφοράς που συνήθως επιλέγεται είναι το ελλειψοειδές. [20]



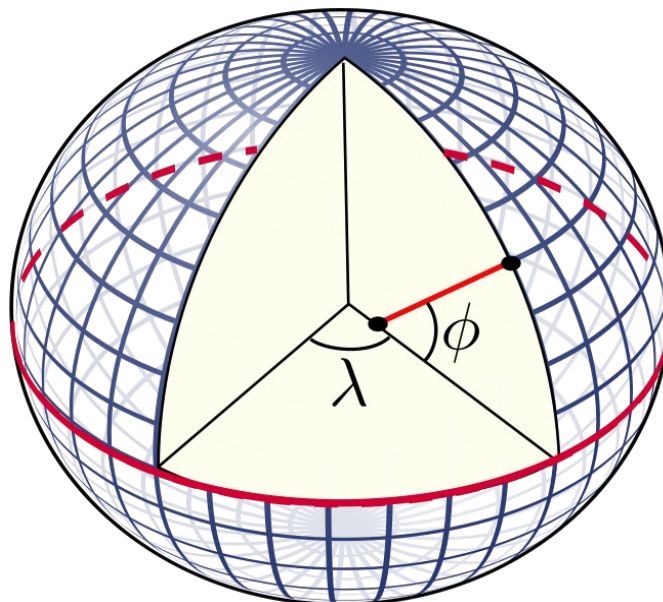
Σχήμα 2: Το γήινο ελλειψοειδές αναφοράς

2.2 Χωροθέτηση

Με το όρο χωροθέτηση (localization) εννοούμε την διαδικασία εύρεσης της απόλυτης τοποθεσίας (location) [21] ενός σημείου με βάση κάποιο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς. Σαν απόλυτη θέση ορίζεται ένα συγκεκριμένο ζεύγος γεωγραφικού πλάτους και μήκους σε ένα καρτεσιανό πλέγμα συντεταγμένων όπως για παράδειγμα, ένα σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων ή ένα σύστημα βασισμένο σε ελλειψοειδές όπως το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα (World Geodetic System ή WGS).

Η απόλυτη τοποθεσία, ωστόσο, είναι ένας όρος με ελάχιστη πραγματική σημασία, καθώς οποιαδήποτε θέση πρέπει να εκφράζεται σε σχέση με κάτι άλλο. Για παράδειγμα, το γεωγραφικό μήκος σε κάποιο συστήματα συντεταγμένων είναι ο αριθμός των βαθμών ανατολικά ή δυτικά του πρώτου μεσημβρινού (Prime Meridian), μιας γραμμής, από τον βόριο στο νότιο πόλο, που επιλέγεται αυθαίρετα και συνήθως περνάει από το Γκρίνουϊτς του Λονδίνου. Ομοίως, το γεωγραφικό πλάτος είναι ο αριθμός των βαθμών βόρεια ή νότια του Ισημερινού. Επειδή το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος εκφράζονται σε σχέση με αυτές τις γραμμές, μια θέση που εκφράζεται σε γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος είναι στην πραγματικότητα μια σχετική θέση.

Σαν γεωγραφικό πλάτος (latitude) ορίζεται η γεωγραφική συντεταγμένη που καθορίζει τη θέση ενός σημείου πάνω στην επιφάνεια της Γης ως προς το βορά και το νότο. Νοητές γραμμές γνωστές ως παράλληλοι, σταθερού γεωγραφικού πλάτους, διατρέχουν κυκλικά τη Γη παράλληλα του ισημερινού. Το γεωγραφικό πλάτος ενός σημείου, είναι η γωνία μεταξύ του παράλληλου που διατρέχει το σημείο αυτό και τον ισημερινό και παίρνει τιμές από 0° στον ισημερινό σε $\pm 90^\circ$ στους πόλους.



Σχήμα 3: Οι κάθετες γραμμές είναι οι μεσημβρινοί ενώ οι οριζόντιες οι παράλληλοι. Η γωνία λ είναι το γεωγραφικό μήκος και η γωνία ϕ το πλάτος.

Σαν γεωγραφικό μήκος (longitude) ορίζεται η γεωγραφική συντεταγμένη που καθορίζει τη θέση ενός σημείου πάνω στην επιφάνεια της Γης ως προς την ανατολή και τη δύση. Οι μεσημβρινοί είναι νοητές γραμμές που ενώνουν τον βόρειο και το νότιο πόλο. Όλα τα σημεία πάνω σε έναν μεσημβρινό έχουν το ίδιο γεωγραφικό μήκος. Ένας από τους μεσημβρινούς κατά σύμβαση λέγεται πρώτος μεσημβρινός και τα σημεία σε αυτόν έχουν γεωγραφικό μήκος είναι ίσο με μηδέν. Το γεωγραφικό μήκος ενός σημείου, είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία που διατρέχει τους δυο πόλους και το σημείο αυτό, και τον πρώτο μεσημβρινό και παίρνει τιμές από 0° έως $\pm 180^\circ$.

2.3 Γεωδαιτικά συστήματα

Ένα γεωδαιτικό σύστημα (geodetic datum) [22] είναι ένα σύστημα συντεταγμένων, με βάση σημεία αναφοράς, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης σημείων πάνω στη Γη ή άλλα παρόμοια αστρικά σώματα. Ένα οριζόντιο σύστημα αναφοράς, χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε ένα σημείο στην επιφάνεια της Γης, με χρήση του γεωγραφικού πλάτους και μήκους ή κάποιου άλλου συστήματος συντεταγμένων. Για την περιγραφή αυτή, ορίζεται μια σφαίρα ή ένα ελλειψοειδές. Κάθε σύστημα ορίζει ένα διαφορετικό ελλειψοειδές αναλόγως τη χρήση του και γι αυτό οι συντεταγμένες μεταξύ συστημάτων για την ίδια θέση μπορεί να διαφέρουν. Τα κάθετα συστήματα αναφοράς χρησιμεύουν για τη μέτρηση του υψόμετρου και του βάθους των ωκεανών. Τα κάθετα συστήματα αναφοράς μπορούν να βασίζονται είτε στο επίπεδο της θάλασσας, είτε στο γεωειδές ή ακόμα και στο ελλειψοειδές που χρησιμοποιείται στο οριζόντιο σύστημα. (geodetic system wiki)

Το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα είναι ένα πρότυπο που χρησιμοποιείται στη χαρτογραφία, τη γεωδαισία και τη δορυφορική πλοήγηση συμπεριλαμβανομένου και του GPS. Περιλαμβάνει ένα τυποποιημένο σύστημα συντεταγμένων για την γη, μια τυποποιημένη ελλειψοειδή επιφάνεια αναφοράς για δεδομένα υψόμετρου, και μια βαρυντικά ισοδυναμική επιφάνεια (το γεωειδές) που ορίζει και τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η τελευταία αναθεώρηση είναι το WGS84 το οποίο καθιερώθηκε το 1984 και αναθεωρήθηκε τελευταία φορά το 2004.

Ο μεσημβρινός μηδενικού γεωγραφικού μήκους στο WGS 84 είναι ο μεσημβρινός διεθνούς αναφοράς (IERS Reference Meridian, IRM) ο οποίος βρίσκεται $5.3''$ ή 102 μέτρα ανατολικά του μεσημβρινού του Γκρίνουιτς στο γεωγραφικό πλάτος του Βασιλικού παρατηρητηρίου. Η επιφάνεια αναφοράς είναι ένα σφαιροειδές με ακτίνα στο ύψος του ισημερινού $R=6378137\text{ m}$ και ελλειπτικότητα $f=1/298.257223563$. Το WGS84 χρησιμοποιεί το γεωειδές EGM96 (Earth Gravitational Model 1996) σε μια αναθεωρημένη μορφή του 2004. Το γεωειδές αυτό ορίζει τη μέση στάθμη της θάλασσας με τη βοήθεια μιας σειράς σφαιρικών αρμονικών 360 βαθμών. Οι αποκλίσεις του γεωειδούς EGM96 από το ελλειψοειδές αναφοράς WGS84 κυμαίνονται από περίπου -105m έως 85m.

Στην Ελλάδα από το 1990 χρησιμοποιείται το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ87) το οποίο όμως σταδιακά αντικαθίσταται από το νέο Hellenic Terrestrial Reference System 2007 ή HTRS07. Το HTRS07, το οποίο προδιαγράφεται για χρήση από το Ελληνικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσεως (HEPOS), βασίζεται σε μετρήσεις GPS και

είναι συμβατό με το Ευρωπαϊκό Επίγειο Σύστημα Αναφοράς 1989 (European Terrestrial Reference System 1989 ή ETRS89). [23]

2.4 Χαρτογραφική προβολή

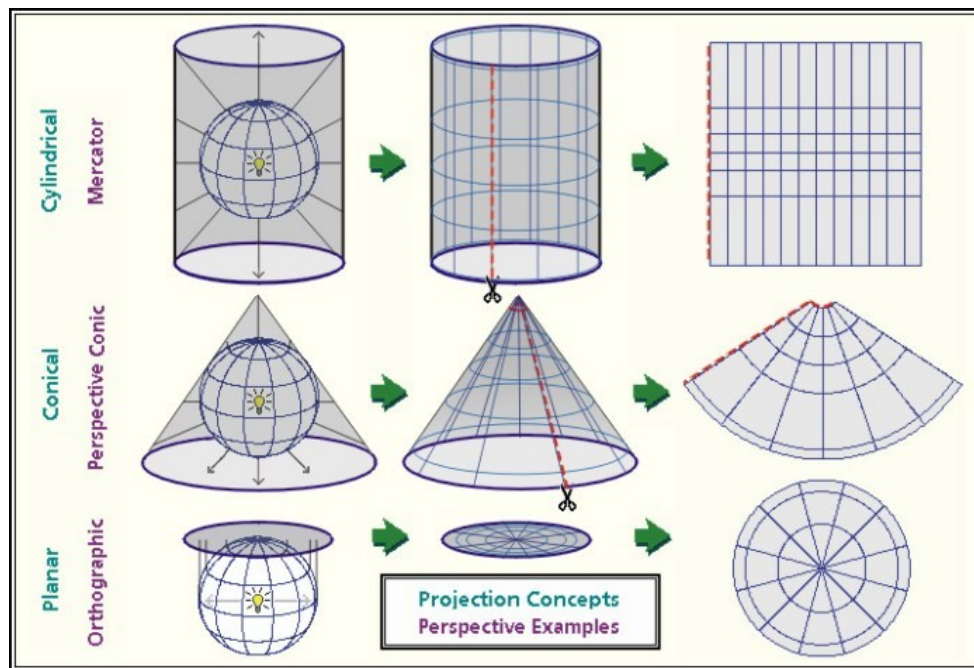
Μια χαρτογραφική προβολή (map projection) [24][25] είναι ένας μετασχηματισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων μιας θέσης στην επιφάνεια μια σφαίρας ή ενός ελλειψοειδούς σε κάποιο επίπεδο. Οι χαρτογραφικές προβολές είναι απαραίτητες για τη δημιουργία χαρτών και όλες, χωρίς εξαιρέσεις, παραμορφώνουν την επιφάνεια που προβάλλεται ως προς κάποιο γεωμετρικό χαρακτηριστικό των σχημάτων, δηλαδή τις αποστάσεις, τις γωνίες, τις διευθύνσεις και τα εμβαδά. Αναλόγως το σκοπό του χάρτη, κάποιες παραμορφώσεις μπορεί να είναι αποδεκτές ενώ άλλες όχι και έτσι κατ'επέκταση υπάρχουν διαφορετικές χαρτογραφικές προβολές που διατηρούν κάποια γεωμετρική ιδιότητα εις βάρος κάποιας άλλης. Επίσης όταν μια χαρτογραφική προβολή κατασκευάζεται πρέπει να ληφθεί υπόψιν η συμβατότητα με γεωδαιτικά συστήματα ώστε αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον χάρτη.

Η κατασκευή μια χαρτογραφικής προβολής περιλαμβάνει δύο βήματα:

- Την επιλογή ενός μοντέλου για το σχήμα της Γης ή του αστρικού σώματος (συνήθως είναι σφαίρα ή ελλειψοειδές). Λόγο της διαφοροποίησης του σχήματος της Γης από αυτά τα δυο σχήματα ήδη υπάρχει παραμόρφωση από αυτό το βήμα.
- Τη μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές ή πολικές συντεταγμένες.

Οι χαρτογραφικές προβολές ταξινομούνται ανάλογα της γεωμετρικής επιφάνειας στην οποία απεικονίζεται (προβάλλεται) η επιφάνεια αναφοράς ως εξής:

- Κωνική προβολή, όταν χρησιμοποιείται ένας κώνος.
- Αζιμουθιακή προβολή, (γνωστή και ως επίπεδη) όταν χρησιμοποιείται ένα επίπεδο.
- Κυλινδρική προβολή, όταν χρησιμοποιείται ένας κύλινδρος, η οποία περιλαμβάνει και την Μερκατορική προβολή. Η Μερκατορική προβολή είναι σύμμορφη, ονομάζεται και ισοκυλινδρική προβολή και είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην κατασκευή και σύνθεση του ναυτικού χάρτη. Μια απλοποιημένη έκδοση της Μερκατορικής προβολής χρησιμοποιείται στους ψηφιακούς χάρτες της Google.



Σχήμα 4: Η κυλινδρική, κωνική και επίπεδη προβολή.

Ανάλογα με τον προσανατολισμό της γεωμετρικής επιφάνειας σε σχέση με τον άξονα περιστροφής της Γης, η απεικόνιση διακρίνεται σε:

- Ορθή όταν ο άξονας συμμετρίας της αναπτυσσόμενης επιφάνειας προβολής ταυτίζεται με τον άξονα περιστροφής της γης.
- Πλάγια όταν ο άξονας συμμετρίας της αναπτυσσόμενης επιφάνειας προβολής σχηματίζει μια τυχαία γωνία με τον άξονα περιστροφής της γης.
- Εγκάρσια όταν ο άξονας συμμετρίας της αναπτυσσόμενης επιφάνειας προβολής είναι κάθετος με τον άξονα περιστροφής της γης.

Ανάλογα με το είδος του γεωμετρικού μεγέθους που διατηρεί αναλλοίωτο μια χαρτογραφική προβολή από την επιφάνεια αναφοράς (της Γης) στο τελικό επίπεδο του χάρτη, μπορεί να χαρακτηριστεί ως:

- Ισαπέχουσα, όταν διατηρούνται αναλλοίωτες οι αποστάσεις (μήκη) από ένα ή περισσότερα σημεία
- Σύμμορφη, όταν διατηρούνται αναλλοίωτες οι γωνίες ή οι διευθύνσεις (π.χ. το αζιμούθιο). Οι σύμμορφες προβολές διατηρούν τα σχήματα (τη μορφή τους).
- Ισοδύναμη, όταν διατηρούνται τα εμβαδά των επιφανειών.

2.5 Η Μερκατορική προβολή

Η Μερκατορική προβολή (Mercator projection) [26] είναι μια κυλινδρική χαρτογραφική προβολή που πρωτοπαρουσιάστηκε από τον Φλαμανδό χαρτογράφο Γεράρδο Μερκατορ το 1669. Βρήκε ευρεία χρήση στη ναυτιλία λόγω της ικανότητάς της να αντιπροσωπεύει γραμμές σταθερής πορείας, γνωστές ως λοξοδρομικές γραμμές, σαν ευθύγραμμα τμήματα που διατηρούν τις γωνίες με τους μεσημβρινούς. Αν και η γραμμική κλίμακα είναι ίση προς όλες τις κατευθύνσεις γύρω από κάποιο σημείο, διατηρώντας έτσι τις γωνίες και τα σχήματα μικρών αντικειμένων, η Μερκατορική προβολή παραμορφώνει το μέγεθος των αντικειμένων καθώς το γεωγραφικό πλάτος αυξάνεται από τον Ισημερινό προς τους πόλους, στους οποίους η κλίμακα γίνεται άπειρη. Έτσι, για παράδειγμα, οι εδαφικές εκτάσεις όπως αυτές της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής φαίνονται πολύ μεγαλύτερες από ότι είναι στην πραγματικότητα σε σχέση με εδαφικές εκτάσεις κοντά στον Ισημερινό, όπως η Κεντρική Αφρική.

Στη Μερκατορική προβολή οι καρτεσιανές συντεταγμένες πάνω στο χάρτη σε σχέση με τις γεωγραφικές, για μια επιφάνεια σφαίρας είναι

$$x = R(\lambda - \lambda_0) \quad (1)$$

$$y = R \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2) \quad \text{όπου } R \text{ είναι η ακτίνα του κύκλου } \varphi \text{ είναι το γεωγραφικό}$$

πλάτος και λ το γεωγραφικό μήκος. Παρατηρούμε ότι για $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ το y τείνει στο άπειρο.

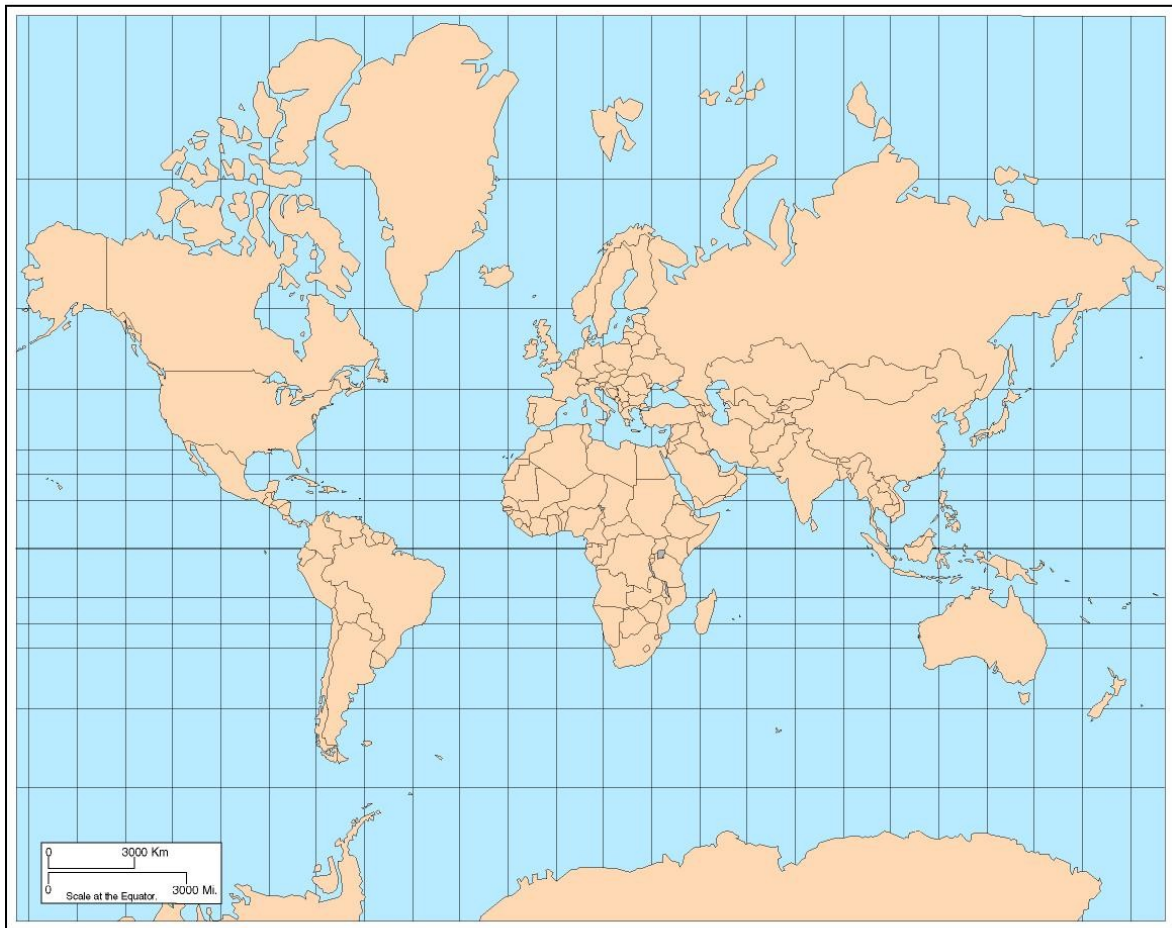
Αντίστοιχα για επιφάνεια ελλειψοειδούς έχουμε

$$x = \alpha(\lambda - \lambda_0)$$

$$y = \frac{\alpha}{2} \ln \left[\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right] \quad \text{όπου } e = \frac{\varepsilon}{\alpha} \text{ και } \varepsilon = \sqrt{\alpha^2 - \beta^2}$$

όπου α ο μεγάλος άξονας και β ο μικρός ενώ e είναι η εκκεντρότητα της έλλειψης.

Η χαρτογραφική προβολή Web Mercator είναι μια παραλλαγή της Μερκατορικής προβολής που χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές διαδικτύου (Google Maps, Bing Maps, OpenStreetMap, Yahoo! Maps κλπ). Ουσιαστικά είναι μια Μερκατορική προβολή σφαίρας που χρησιμοποιεί σαν σύστημα συντεταγμένων αυτό του ελλειψοειδούς του WGS84, με την ακτίνα της σφαίρας να είναι ίση με τον μεγάλο άξονα του ελλειψοειδούς. Αυτή η “μίξη” αυτή διαφορετικών συστημάτων και επιφανειών εισάγουν επιπλέον παραμορφώσεις και γι αυτό το λόγο η προβολή Web Mercator έχει δεχθεί έντονη κριτική και έχει χαρακτηριστεί σαν ανακριβής και ακατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια. [27][28][29]



Σχήμα 5: Η Μερκατορική προβολή

3. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ OPTICALLOCALIZATIONAPIT

3.1 Ο αλγόριθμος APIT

Η τεχνική *APIT* (Approximate point in triangle) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης κόμβων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Το σχήμα αυτό προϋποθέτει ότι ένα μικρό ποσοστό των κόμβων (κόμβοι αναφοράς, anchor nodes), είναι εξοπλισμένοι με εκπομπούς μεγάλης εμβέλειας, ενώ έχουν και γνώση της γεωγραφικής τους θέσης μέσω κάποιου μηχανισμού (πχ GPS). Οι κόμβοι αυτοί οργανώνονται σε επικαλυπτόμενα τρίγωνα μεταξύ των κόμβων αναφοράς όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Η παρουσία ενός κόμβου εντός ή εκτός αυτών των τριγωνικών περιοχών μας επιτρέπει να περιορίσουμε την πιθανή γεωγραφική θέση του κόμβου αυτού δίνοντάς μας μια αρκετά καλή προσέγγιση.



Σχήμα 6: Σχηματική απεικόνιση του αλγορίθμου APIT.

Η θεωρητική μέθοδος που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος *APIT* για να περιορίσει την περιοχή στην οποία ο κόμβος που ψάχνουμε (κόμβος στόχος, target node) μπορεί να ανήκει, λέγεται έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό (Point in triangulation test, *PIT*). Στο τεστ αυτό αρχικά οι κόμβοι αναφοράς εκπέμπουν ένα σήμα (broadcast) προς όλους τους γειτονικούς κόμβους. Ο κόμβος επιλέγει τρεις κόμβους αναφοράς μεταξύ των κόμβων από τους οποίους έλαβε κάποιο σήμα και εξετάζει αν βρίσκεται μέσα στο τρίγωνο που οι τρεις αυτοί κόμβοι σχηματίζουν. Η διαδικασία αυτού του ελέγχου επαναλαμβάνεται με διαφορετικούς συνδυασμούς κόμβων μέχρι είτε να εξαντληθούν όλοι οι συνδυασμοί είτε να επιτευχθεί κάποια ζητούμενη ακρίβεια. Κατόπιν ο αλγόριθμος υπολογίζει το κέντρο βάρους (center of gravity) της τομής όλων των τριγώνων που περιέχουν τον ζητούμενο κόμβο σαν εκπρόσωπο της θέσης του κόμβου αυτού.

Ο αλγόριθμος *APIT* οπότε μπορεί να εκφραστεί σε τέσσερα βήματα:

1. Εκπομπή σημάτων των κόμβων αναφοράς.
2. Έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό.
3. Άθροιση των επιμέρους τριγώνων.
4. Υπολογισμός του εκπροσώπου.

APIT

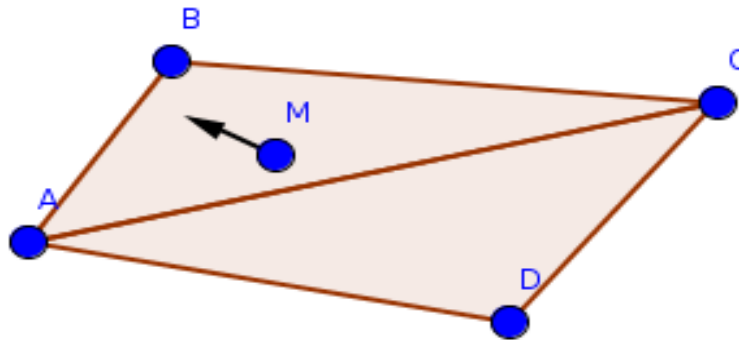
```
1 Recieve location beacons  $(X_i, Y_i)$  from  $N$  anchors
2 InsideSet  $\leftarrow \emptyset$ 
3 for each triangle  $T_i \in \binom{N}{3}$  triangles do
4   if Point-In-Triangle-Test( $T_i$ ) is TRUE then
5     InsideSet  $\leftarrow$  InsideSet  $\cup T_i$ 
6   end if
7   if accuracy (InsideSet > enough) then
8     break
9   end if
10 end for
11 Estimate Position  $\leftarrow$  CenterOfGravity ( $\cap T_i \in$  InsideSet)
```

Αξίζει να σημειώσουμε ότι το πλήθος των τριγώνων που περιλαμβάνεται στο InsideSet στον παραπάνω αλγόριθμο, είναι ίσο με $\binom{N}{3}$ όπου N το πλήθος των κόμβων από τους οποίους έφτασε κάποιο σήμα. Οπότε σε ένα δίκτυο M κόμβων, αν σε έναν κόμβο έφτασαν σήματα από 30 κόμβους, το πλήθος των τριγώνων που πρέπει να ελεγχθούν είναι $\binom{30}{3} = 4,060$. Αν ο έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τρίγωνο παίρνει τις σωστές αποφάσεις αν ο κόμβος βρίσκεται εντός ή εκτός του τριγώνου, κάθε τέτοια απόφαση μικραίνει την περιοχή στην οποία ο κόμβος αυτός μπορεί να βρίσκεται, μειώνοντας έτσι και το τελικό σφάλμα.

Μια θεωρητική λύση στο πρόβλημα ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό είναι Τέλειος έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό (*Perfect PIT Test*)η ακόλουθη:

Perfect PIT Test: Δεδομένων τριών κόμβων αναφοράς A, B και C για ένα σημείο M άγνωστης θέσης ως προς το τρίγωνο ABC ισχύει το εξής:

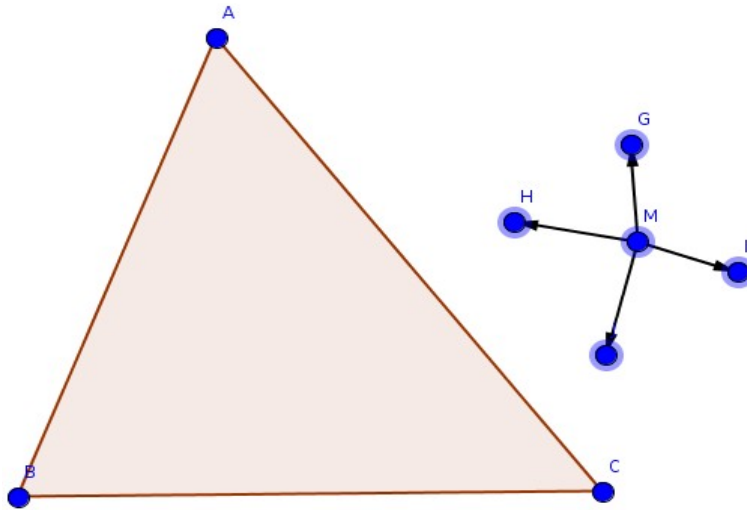
Αν υπάρχει μια κατεύθυνση από το M τέτοια ώστε ένα παρακείμενο στο M σημείο M' είναι πιο κοντά ή πιο μακριά από τα σημεία A, B και C από το M ταυτόχρονα τότε το M βρίσκεται εκτός του τριγώνου ABC . Διαφορετικά, το M βρίσκεται εντός του τριγώνου ABC .



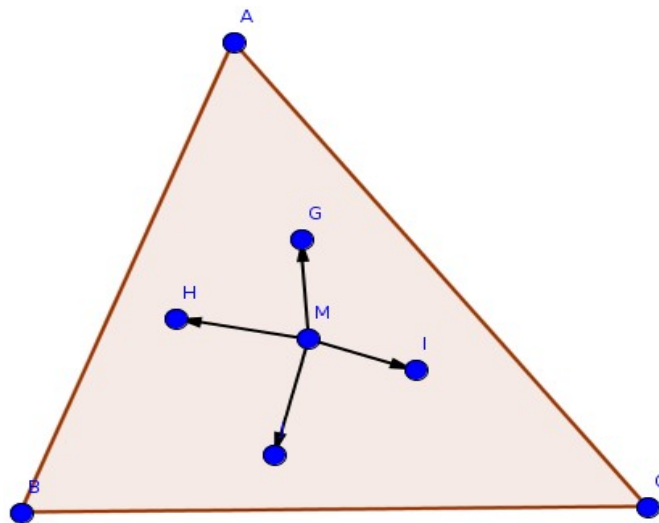
Σχήμα 7: Ο ιδανικός έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό.

Για την εκτέλεση του ελέγχου ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στα οποία δεν υπάρχει δυνατότητα κίνησης των κόμβων ορίζεται το προσεγγιστικό *PIT Test* (*Aproximate PIT Test*, *APIT*) το οποίο εκμεταλλεύεται τη σχετική πυκνότητα των κόμβων στα δίκτυα αυτά. Η βασική ιδέα πίσω από τον έλεγχο *APIT* είναι να χρησιμοποιήσουμε πληροφορία των γειτονικών κόμβων, η οποία ανταλλάσσεται μέσω εκπομπών, ώστε να μιμηθούμε την κίνηση ενός κόμβου όπως στο *Perfect PIT test*.

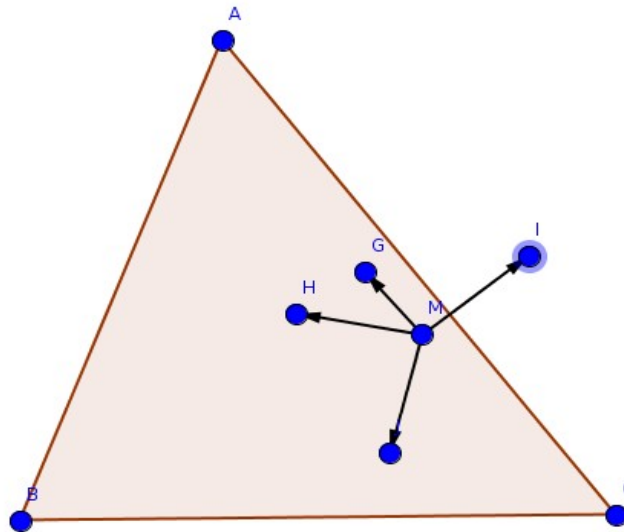
APIT Test: Αν κανένας γείτονας του κόμβου M δεν είναι μακρύτερα/κοντύτερα από τους τρεις κόμβους A, B, C ταυτόχρονα υποθέτουμε ότι ο M βρίσκεται εντός του τριγώνου ABC , Ειδάλλως, υποθέτουμε ότι ο M βρίσκεται εξωτερικά του τριγώνου.



Σχήμα 8: Η περίπτωση στην οποία το σημείο βρίσκεται εκτός του τριγώνου.



Σχήμα 9: Η περίπτωση στην οποία το σημείο βρίσκεται εντός του τριγώνου.



Σχήμα 10: Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος APIT θα δώσει λανθασμένο αποτέλεσμα

3.2 Βαρυκεντρική μέθοδος

Στη γεωμετρία, βαρυκεντρικό σύστημα συντεταγμένων (barycentric coordinate system) [30] ονομάζεται το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο η θέση των σημείων ενός simplex (τρίγωνο, τετράεδρο, κλπ) ορίζεται σαν το κέντρο μάζας, ή βαρύκεντρο, συνήθως άνισων βαρών των κορυφών του. Το σύστημα συντεταγμένων επεκτείνεται και εκτός του simplex, όπου μια ή περισσότερες συντεταγμένες είναι αρνητικές. Το σύστημα αυτό προτάθηκε το 1827 από τον Αυγούστω Φέρντιναντ Μόμπιους (August Ferdinand Möbius).

Έστω x_1, \dots, x_n οι κορυφές ενός simplex στον ευκλείδειο χώρο A . Αν για ένα σημείο P στο A ισχύει $(a_1 + \dots + a_n)P = a_1x_1 + \dots + a_nx_n$ και τουλάχιστον ένα εκ των a_1, \dots, a_n δεν απλοποιείται στην εξίσωση αυτή θεωρούμε ότι οι συντελεστές (a_1, \dots, a_n) είναι οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες του P ως προς τα x_1, \dots, x_n . Οι κορυφές έχουν συντεταγμένες $x_1 = (1, 0, 0, \dots, 0)$, $x_2 = (0, 1, 0, \dots, 0)$, ..., $x_n = (0, 0, 0, \dots, 1)$. Οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες δεν είναι μοναδικές: για κάθε $b \neq 0$ οι (ba_1, \dots, ba_n) είναι επίσης βαρυκεντρικές συντεταγμένες του P .

Όταν καμία από τις βαρυκεντρικές συντεταγμένες δεν είναι αρνητικές, το σημείο P βρίσκεται εντός του simplex που σχηματίζουν οι κορυφές x_1, \dots, x_n .

Όταν αναφερόμαστε σε τρίγωνα οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες ονομάζονται και συντεταγμένες περιοχής (area coordinates) ή τοπικές συντεταγμένες (areal coordinates),

διότι αποδεικνύεται ότι οι συντεταγμένες ενός σημείου P ως προς το τρίγωνο ABC είναι ισοδύναμες με τις προσημασμένες αναλογίες των εμβαδών των PBC , PCA και PAB ως προς το εμβαδόν του τριγώνου ABC .

Οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στα γραφικά και συγκεκριμένα στην γεωμετρική μοντελοποίηση. Συχνά, ένα τρισδιάστατο αντικείμενο μπορεί να προσεγγιστεί με κάποιο πολύεδρο τέτοιο ώστε οι γενικευμένες βαρυκεντρικές συντεταγμένες ως προς το πολύεδρο αυτό να έχουν κάποια γεωμετρική σημασία. Με αυτό τον τρόπο, η επεξεργασία του αντικείμενου μπορεί να απλοποιηθεί. Ακόμα οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες είναι εξαιρετικά χρήσιμες σε εφαρμογές μηχανικής που αφορούν τριγωνικούς υποτομείς. Με τη χρήση τους τα αναλυτικά ολοκληρώματα συχνά είναι ευκολότερο να αξιολογηθούν ενώ χρησιμοποιούνται πολλές φορές σε Γκαουσιανούς πίνακες.

3.3 Μετατροπή βαρυκεντρικών σε καρτεσιανές συντεταγμένες

Θεωρούμε ένα τρίγωνο T με κορυφές A, B, C . Κάθε σημείο P μπορεί να γραφτεί σαν γραμμικός συνδυασμός των τριών αυτών σημείων. Δηλαδή για κάθε σημείο P υπάρχουν τρεις μοναδικοί αριθμοί $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \geq 0$ για τους οποίους ισχύει $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$ και $P = \lambda_1 A + \lambda_2 B + \lambda_3 C$ οι αριθμοί $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ονομάζονται βαρυκεντρικές συντεταγμένες του σημείου P σε σχέση με το τρίγωνο ABC . Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και οι συντεταγμένες είναι τρεις έχουμε μόνο δυο βαθμούς ελευθερίας (degrees of freedom) καθώς $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$. Κατά συνέπεια κάθε σημείο μπορεί να ορισθεί μόνο με δυο από τις τρεις βαρυκεντρικές συντεταγμένες.

Δοθέντος ενός σημείου P στο επίπεδο ενός τριγώνου μπορούμε να υπολογίσουμε τις βαρυκεντρικές συντεταγμένες από τις καρτεσιανές και αντιστρόφως.

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες του σημείου αυτού μπορούν να γραφτούν με τη βοήθεια των καρτεσιανών συντεταγμένων των κορυφών του τριγώνου ABC και των βαρυκεντρικών συντεταγμένων $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ του P ως εξής:

$$x_P = \lambda_1 x_A + \lambda_2 x_B + \lambda_3 x_C \quad (1)$$

$$y_P = \lambda_1 y_A + \lambda_2 y_B + \lambda_3 y_C \quad (2)$$

Αυτό σημαίνει ότι οι καρτεσιανές συντεταγμένες κάθε σημείου είναι:

$$x_P = \lambda_1 x_A + \lambda_2 x_B + \lambda_3 x_C \quad (1)$$

$$y_P = \lambda_1 y_A + \lambda_2 y_B + \lambda_3 y_C \quad (2)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1 \Leftrightarrow \lambda_3 = 1 - \lambda_1 - \lambda_2 \quad (3)$$

$$(1), (3) \Rightarrow x_P = \lambda_1 x_A + \lambda_2 x_B + (1 - \lambda_1 - \lambda_2) x_C \Leftrightarrow \lambda_1 = \frac{x_P - x_C - \lambda_2 (x_B - x_C)}{x_A - x_C} \quad (4)$$

$$(2), (3) \Rightarrow \lambda_2 = \frac{y_P - y_C - \lambda_1 (y_A - y_C)}{y_B - y_C} \quad (5)$$

$$(4), (5) \Rightarrow \lambda_1 = \frac{(x_P - x_C)(y_B - y_C) + (y_P - y_C)(x_C - x_B)}{(x_A - x_C)(y_B - y_C) + (y_A - y_C)(x_C - x_B)} \quad (6)$$

$$(5), (6) \Rightarrow \lambda_2 = \frac{(y_C - y_A)(x_P - x_C) + (x_A - x_C)(y_P - y_C)}{(y_B - y_C)(x_A - x_C) + (x_C - x_B)(y_A - y_C)} \quad (7)$$

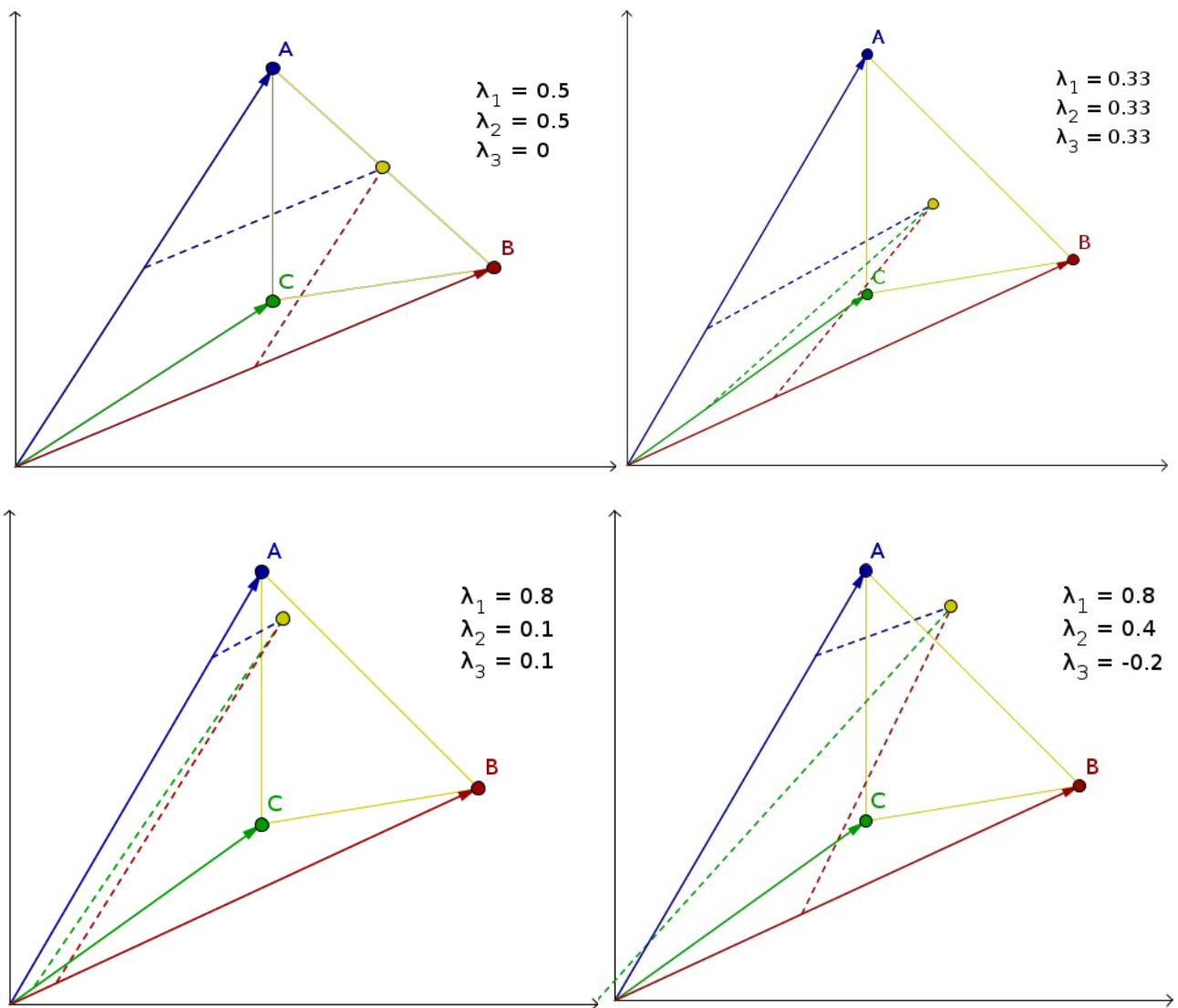
$$\lambda_3 = 1 - \lambda_1 - \lambda_2$$

Μια από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές των βαρυκεντρικών συντεταγμένων είναι ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου ως προς ένα τρίγωνο. Αν και πιο συχνά οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν σημεία εντός κάποιου τριγώνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την περιγραφή σημείων εκτός αυτού. Αν ένα σημείο βρίσκεται εκτός δοθέντος τριγώνου, τότε μπορούμε ακόμα να χρησιμοποιήσουμε τους τύπους που αναλύθηκαν πιο πάνω για να υπολογίσουμε τις βαρυκεντρικές του συντεταγμένες. Επειδή το σημείο βρίσκεται εκτός του τριγώνου, τουλάχιστον μια εκ των βαρυκεντρικών συντεταγμένων θα παραβιάζει την υπόθεση που κάναμε παραπάνω ότι $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \geq 0$. Ουσιαστικά όταν μας δίνεται ένα οποιοδήποτε σημείο με καρτεσιανές συντεταγμένες, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον κανόνα αυτό για να προσδιορίσουμε τη θέση του σημείου ως προς το τρίγωνο.

Αν ένα σημείο βρίσκεται εντός του τριγώνου όλες οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες του παίρνουν τιμές στο ανοιχτό διάστημα $(0,1)$. Αν ένα σημείο βρίσκεται στις ακμές του τριγώνου αλλά όχι σε κάποια κορυφή, μια από τις συντεταγμένες $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (και συγκεκριμένα αυτή που σχετίζεται με την κορυφή που βρίσκεται απέναντι στην ακμή) είναι μηδέν, ενώ οι άλλες δυο βρίσκονται στο διάστημα $(0,1)$. Αν το σημείο βρίσκεται σε κάποια κορυφή, η συντεταγμένη που σχετίζεται με αυτή την κορυφή έχει την τιμή 1 ενώ όλες οι άλλες είναι ίσες με μηδέν. Τέλος, αν το σημείο βρίσκεται εξωτερικά του τριγώνου τουλάχιστον μια συντεταγμένη είναι αρνητική.

Άρα συνοψίζοντας:

- Το σημείο P βρίσκεται εντός τριγώνου T αν και μόνο αν $0 < \lambda_i < 1 \quad \forall i \in 1,2,3$.
- Το σημείο βρίσκεται στις ακμές ή κάποια κορυφή του τριγώνου αν $0 \leq \lambda_i \leq 1 \quad \forall i \in 1,2,3$ και $\lambda_i = 0$ για κάποιο $i \in 1,2,3$.
- Διαφορετικά, το P βρίσκεται εκτός του τριγώνου.
- Οι τρεις κορυφές του τριγώνου έχουν σαν βαρυκεντρικές συντεταγμένες τις $(1,0,0)$, $(0,1,0)$, $(0,0,1)$.
- Το κέντρο βάρους του τριγώνου έχει συντεταγμένες $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$.



Σχήμα 11: Η θέση ενός σημείου για διάφορες τιμές των βαρικεντρικών συντεταγμένων $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$.

3.4 Μεταφορά του αλγορίθμου APIT

Η μεταφορά του αλγορίθμου *APIT* που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας απαιτεί την ύπαρξη σημείων αναφοράς με γνωστές συντεταγμένες τόσο στο πεδίο της εικόνας όσο και στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς. Το γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων που θα χρησιμοποιηθεί είναι ανεξάρτητο του αλγορίθμου. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, παραδείγματος χάριν, για την πειραματική δοκιμή του αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκε το *WGS84* για την περιγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων. Παρόλα αυτά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε σύστημα.

Ας υποθέσουμε την ύπαρξη n σημείων (P_1, P_2, \dots, P_n) (σημεία αναφοράς) εντός της εικόνας F . Τα σημεία αυτά χαρακτηρίζονται από τις συντεταγμένες $(x_i, y_i, xg_i, yg_i, hg_i)$. Οι δύο πρώτες συντεταγμένες x_i, y_i αναφέρονται στις συντεταγμένες του σημείου επί του συστήματος αναφοράς της εικόνας. Οι επόμενες τρεις συντεταγμένες xg_i, yg_i, hg_i είναι οι γεωγραφικές συντεταγμένες του ίδιου σημείου στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Ο δείκτης i διατρέχει όλο το σύνολο των σημείων αναφοράς $i \in (1, \dots, n)$.

Όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε τη γεωγραφική θέση ενός σημείου P_x (σημείο στόχος) στην εικόνα η διαδικασία που ακολουθούμε είναι η εξής:

Αρχικά δημιουργούμε όλους τους δυνατούς συνδυασμού τριγώνων μεταξύ των σημείων αναφοράς.

Κατόπιν εξετάζουμε καθένα από αυτά αν περιέχει το σημείο στόχος P_x . Σε αντίθεση με τον αλγόριθμο *APIT*, όπως αυτός υλοποιείται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, για να προσδιορίσουμε αν το ζητούμενο σημείο στόχος βρίσκεται εντός κάποιου τριγώνου, χρησιμοποιούμε τη βαρύκεντρική μέθοδο, η οποία περιγράφηκε παραπάνω, στο σύστημα αναφοράς της εικόνας. Δηλαδή λύνουμε το σύστημα:

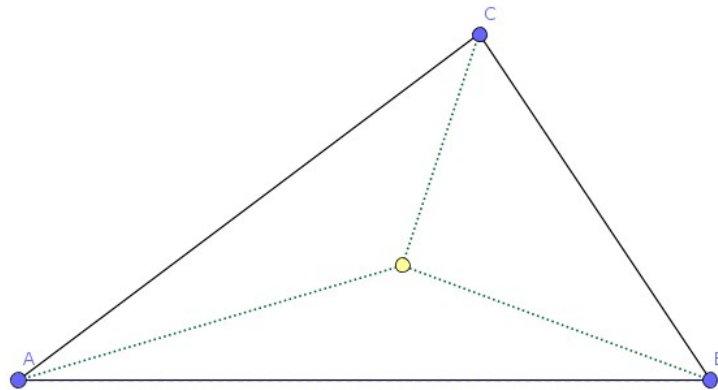
$$x_P = \lambda_1 x_A + \lambda_2 x_B + \lambda_3 x_C \quad (1)$$

$$y_P = \lambda_1 y_A + \lambda_2 y_B + \lambda_3 y_C \quad (2)$$

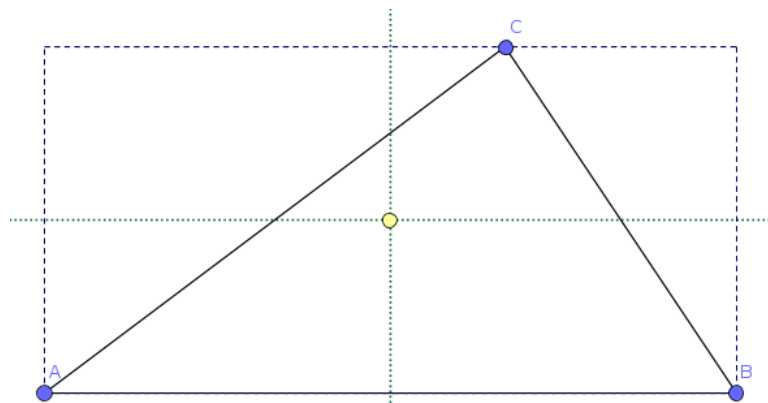
$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1 \Leftrightarrow \lambda_3 = 1 - \lambda_1 - \lambda_2 \quad (3)$$

Αν ισχύει $0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \leq 1$ και $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \leq 1$ τότε το σημείο βρίσκεται εντός του τριγώνου, διαφορετικά βρίσκεται εκτός.

Όταν το σημείο στόχος εντοπιστεί εντός κάποιου τριγώνου θα πρέπει να αντιστοιχηθεί σε κάποιο σημείο του τριγώνου αυτού. Για την αντιστοίχιση μπορούν να υιοθετηθούν πολλά σχήματα. Επιλέξαμε να ορίσουμε ως εκπρόσωπο το κέντρο μάζας ή αλλιώς κέντρο βάρους (centroid) του τριγώνου. Εναλλακτικά μπορεί να θεωρηθεί σαν εκπρόσωπος το κέντρο του πλαισίου οριοθέτησης (bounding box) του τριγώνου.



Σχήμα 12: Το κέντρο βάρους του τριγώνου



Σχήμα 13: Το κέντρο του πλαισίου οριοθέτησης

Σαν γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου εκπροσώπησης με χρήση του κέντρου μάζας του τριγώνου θεωρούμε τις:

$$xg_p = \frac{xg_1 + xg_2 + xg_3}{3}$$

$$yg_p = \frac{yg_1 + yg_2 + yg_3}{3}$$

$$hg_p = \frac{hg_1 + hg_2 + hg_3}{3}$$

Σαν γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου εκπροσώπησης με χρήση του πλαισίου οριοθέτησης θεωρούμε τις ακόλουθες:

$$xg_p = \frac{[\max(xg_1, xg_2, xg_3) + \min(xg_1, xg_2, xg_3)]}{2}$$

$$yg_p = \frac{[\max(yg_1, yg_2, yg_3) + \min(yg_1, yg_2, yg_3)]}{2}$$

$$hg_p = \frac{hg_1 + hg_2 + hg_3}{3}$$

Όπου $xg_i, yg_i, hg_i, i \in [1, 2, 3]$ οι γεωγραφικές συντεταγμένες (latitude, longitude) και το υψόμετρο (altitude) των σημείων του τριγώνου.

Για να επιτευχθεί η απαιτούμενη ακρίβεια στη διαδικασία χωροθέτησης, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να ικανοποιείται ο έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό για πολλαπλά τρίγωνα καθένα με τον δικό του εκπρόσωπο. Οι συγκεκριμένοι εκπρόσωποι αναφέρονται όλοι στο ίδιο σημείο της εικόνας.

Για την επιλογή του συνολικού εκπροσώπου οργανώνουμε όλους τους εκπροσώπους των τριγώνων σε ένα σύνολο U . Η επιλογή συνολικού εκπροσώπου και άρα η επίλυση του προβλήματος χωροθέτησης συνίσταται στο γραμμικό συνδυασμό όλων των επιμέρους εκπροσώπων.

$$V_{rep} = \sum_{i=1}^k w_i V_i, w_i = \frac{1}{k}.$$

Όπου V_{rep} οι γεωγραφικές συντεταγμένες του συνολικού εκπροσώπου, V_i οι συντεταγμένες των επιμέρους εκπροσώπων και w_i το βάρος του κάθε τριγώνου.

Αν οι επιφάνειες των τριγώνων έχουν όλες το ίδιο εμβαδόν τότε θεωρούμε $w_i = \frac{1}{k}$. Εάν οι επιφάνειες των τριγώνων που ικανοποιούν τον έλεγχο δεν είναι ίσες, το παρουσιαζόμενο σύστημα μπορεί να αναθέσει υψηλότερο βάρος (w_i) στα τρίγωνα με την μικρότερη επιφάνεια. Ένα τρίγωνο χαμηλού εμβαδού που ικανοποιεί τον έλεγχο ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό επαυξάνει την ακρίβεια στην αντίστοιχη χωροθέτηση συμβάντος.

Τα βάρη που ανατίθεται στη συγκεκριμένη περίπτωση στα τρίγωνα με επιτυχή έλεγχο ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό διαμορφώνονται ως εξής:

$$w_i = \frac{\sum_{j \neq i} S_j}{(k-1) \sum_j S_j}$$

Όπου S_j το εμβαδόν του τριγώνου j και k ο συνολικός αριθμός των τριγώνων για τα οποία ο έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό ήταν επιτυχής.

Αν για παράδειγμα έχουμε $k=4$ τρίγωνα με εμβαδά $\{2, 3, 8, 9\}$:

$$w_1 = \frac{\sum_{j \neq 1} S_j}{(k-1) \sum_j S_j} = \frac{3+8+9}{3 \cdot 22} = \frac{20}{66}$$

Ακολουθεί ο αλγόριθμος OpticalLocalizationAPIT σε ψευδογλώσσα:

1 **Point** localizationApit (**Event** *e*, **List** *Points*):

2 **int** *x* = *e*.*x*

3 **int** *y* = *e*.*y*

4 **List** *PITList* = PITTest(*x*, *y*, *Points*)

5 **Point** *point* = locate(*x*, *y*, *PITList*)

6 **return** *point*

1 **List** PITTest(**double** *x*, **double** *y*, **List** *TList*):

2 **int** *N* = length(*PList*)

3 **List** *PITList* = new List()

4 **for** *Triangle* *T* in *TList* **do**

5 **if** triangleIncludes(*x*, *y*, *T*) **then**

6 *PITList*.add(*T*)

7 **end if**

8 **end for**

9 **return** *PITList*

1 **boolean** triangleIncludes(**double** *x*, **double** *y*, **Triangle** *T*):

2 **double** $l_1 = \frac{((P_2.y - P_3.y)(x - P_3.x) + (P_3.x - P_2.x)(y - P_3.y))}{((P_2.y - P_3.y)(P_1.x - P_3.x) + (P_3.x - P_2.x)(P_1.y - P_3.y))}$

3 **double** $l_2 = \frac{((P_3.y - P_1.y)(x - P_3.x) + (P_1.x - P_3.x)(y - P_3.y))}{((P_2.y - P_3.y)(P_1.x - P_3.x) + (P_3.x - P_2.x)(P_1.y - P_3.y))}$

4 **double** $l_3 = 1 - l_1 - l_2$

5 **return** $l_1 \geq 0$ **and** $l_1 \leq 1$ **and** $l_2 \geq 0$ **and** $l_2 \leq 1$ **and** $l_3 \geq 0$ **and** $l_3 \leq 1$

```
1 Point locate(double x, double y, List TList):
2   List PITList = PITTest(x, y, TList)
3   Point P = new Point()
4   double totalW = 0
5   double w = 0
6   int k = length(PITList)
7   for every triangle  $T_i$  in PITList do
8     totalW = totalW +  $S_i$ 
9   end for
10  for each triangle  $T_i$  in PITList do
11     $w = \frac{\text{totalW} - S_i}{(k - 1) \cdot \text{totalW}}$ 
12    P.xg += w ·  $P_{T_i,rep}$ .xg
13    P.yg += w ·  $P_{T_i,rep}$ .yg
14    P.hg += w ·  $P_{T_i,rep}$ .hg
15  end for
16  return P
```

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Για την πειραματική δοκιμή του αλγορίθμου σε πρώτη φάση έγιναν δοκιμές σε στατικές εικόνες διάφορων γωνιών λήψεως και κλίμακας.

Για την καλύτερη κατανόηση από εδώ και στο εξής θα αναφερόμαστε σε σημεία των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές και έχουν τον ρόλο των κόμβων αναφοράς στον αλγόριθμο APIT σαν “σημεία αναφοράς”, ενώ για σημεία που αντιπροσωπεύουν σημεία στα οποία θεωρούμε ότι συνέβη κάποιο συμβάν και αναζητούμε τη θέση τους σαν “σημεία στόχοι”.

Για κάθε πείραμα η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- Αρχικά επιλέχθηκαν κάποια σημεία αναφοράς στην εικόνα και με χρήση της εφαρμογής Google Maps[31] βρέθηκαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες τους (Latitude, Longitude). Για τις τιμές του υψομέτρου σε κάθε θέση χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή [32].
- Κατόπιν επιλέχθηκαν κάποια σημεία στόχοι στην εικόνα. Για τα σημεία αυτά βρέθηκαν επίσης η γεωγραφική τους θέση ώστε να γίνει σύγκριση της εκτίμησης του αλγορίθμου με τις πραγματικές τιμές.

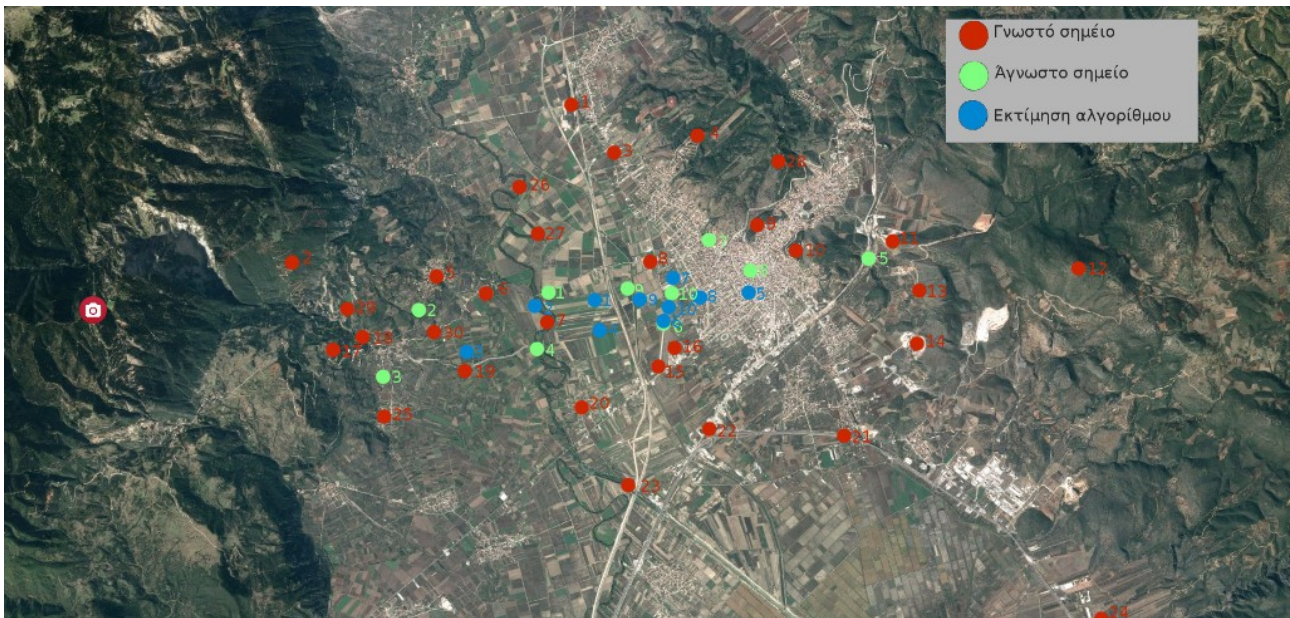
Για κάθε πείραμα που ακολουθεί παραθέτουμε την εικόνα η οποία χρησιμοποιήθηκε σαν σύστημα αναφοράς, μια κάτοψη της περιοχής που φαίνεται στην εικόνα αναφοράς και έναν πίνακα σύγκρισης των πραγματικών και των εκτιμώμενων συντεταγμένων. Στις εικόνες με κόκκινες κουκκίδες αναπαρίστανται τα σημεία αναφοράς, με πράσινες τα σημεία στόχοι και με μπλε οι εκτιμώμενες θέσεις που έδωσε σαν αποτέλεσμα ο αλγόριθμος. Σαν σφάλμα ορίζουμε την απόσταση της πραγματικής θέσης των σημείων ενδιαφέροντος από την εκτιμώμενη.

4.2 Πείραμα 1

Φωτογραφία της ευρύτερης περιοχής της Λαμίας. Η φωτογραφία 1 είναι τραβηγμένη από το εκκλησάκι του Προφήτη Ηλία στην περιοχή των Δυο βουνών (38.799599, 22.351112). Το μέγεθος της εικόνας η οποία χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν 3264x2448 px. Επιλέχθηκαν 30 σημεία αναφοράς και 10 σημεία ενδιαφέροντος.



Εικόνα 3: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα 1.



Εικόνα 4: Κάτοψη της περιοχής του πειράματος 1.

Πίνακας 1: Πίνακας αποτελεσμάτων πειράματος 1.

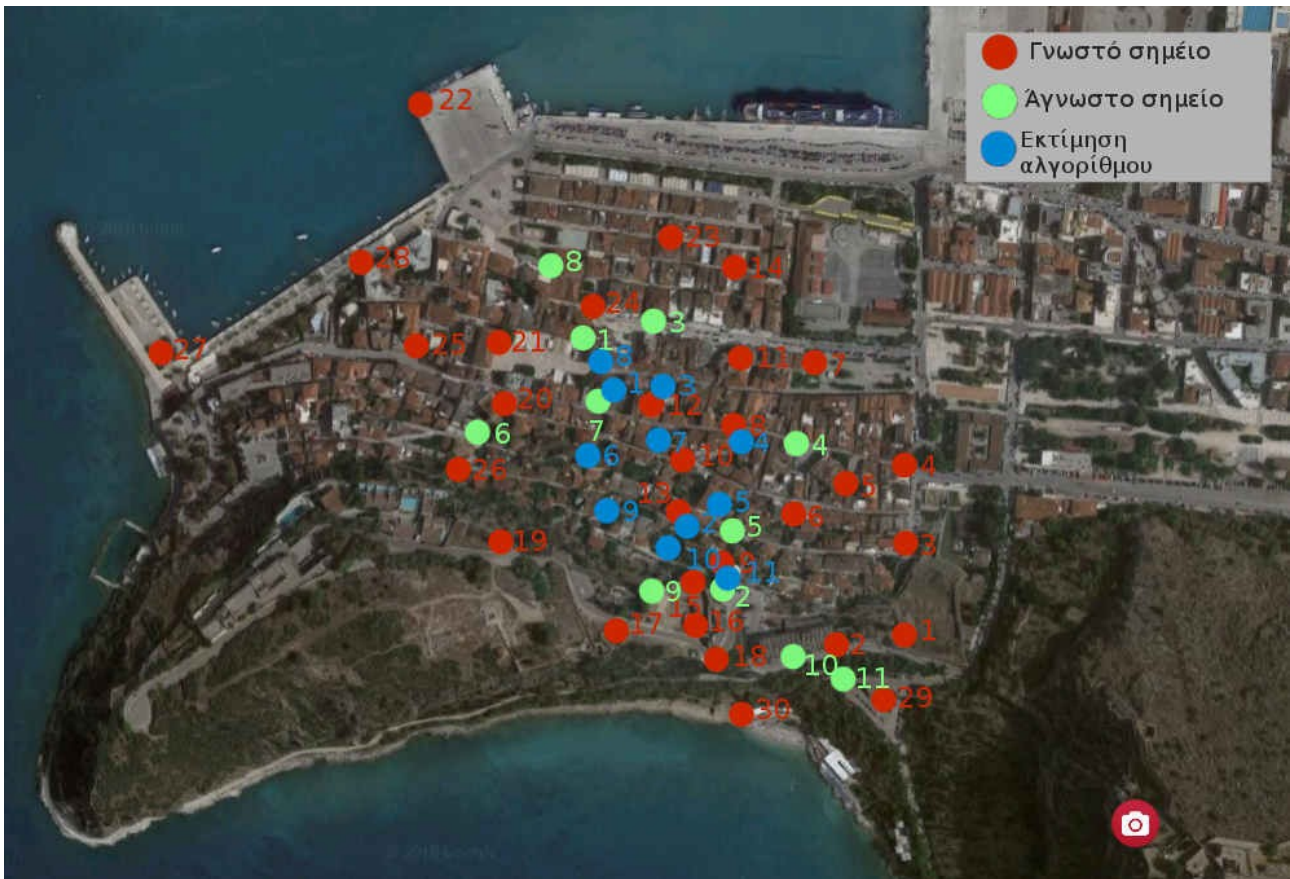
	Συντεταγμένες Εικόνας		Πραγματικές συντεταγμένες			Εκτίμηση συντεταγμένων			Σφάλμα	
	Ύψος	Πλάτος	Latitude	Longitude	Altitude	Latitude	Longitude	Altitude	Γεωγραφικό	Υψομετρικό
1	1511	1568	38.862132	22.407153	16.62	38.869514	22.416519	120.08	1153.83	103.46
2	1689	1606	38.842617	22.391777	134.61	38.861054	22.408091	135.14	2489.73	0.53
3	1844	2502	38.830474	22.399561	42.93	38.845983	22.407278	100.26	1849.54	57.33
4	1509	1983	38.856151	22.416990	14.50	38.866909	22.423585	102.22	1325.47	87.72
5	1237	1538	38.913918	22.447736	94.72	38.892816	22.437341	195.97	2512.98	101.25
6	1372	1786	38.877661	22.430459	9.55	38.878077	22.429923	117.27	65.50	107.72
7	1326	1304	38.893382	22.421555	44.30	38.884175	22.422313	152.36	1025.92	108.06
8	1300	1561	38.895880	22.435041	58.03	38.884772	22.431636	146.47	1269.84	88.44
9	1405	1556	38.876168	22.418966	12.45	38.876478	22.422722	121.67	326.96	109.22
10	1362	1605	38.882205	22.426916	12.15	38.880309	22.428226	129.55	239.36	117.40
Μέσο σφάλμα									1225.91	88.113

4.3 Πείραμα 2

Φωτογραφία της παλιάς πόλης του Ναυπλίου. Η φωτογραφία 2 είναι τραβηγμένη από το κάστρο Παλαμήδι (37.563578, 22.801694). Το μέγεθος της εικόνας η οποία χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν 1600x1066 px.



Εικόνα 5: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα 2.



Εικόνα 6: Κάτοψη της περιοχής του πειράματος 2.

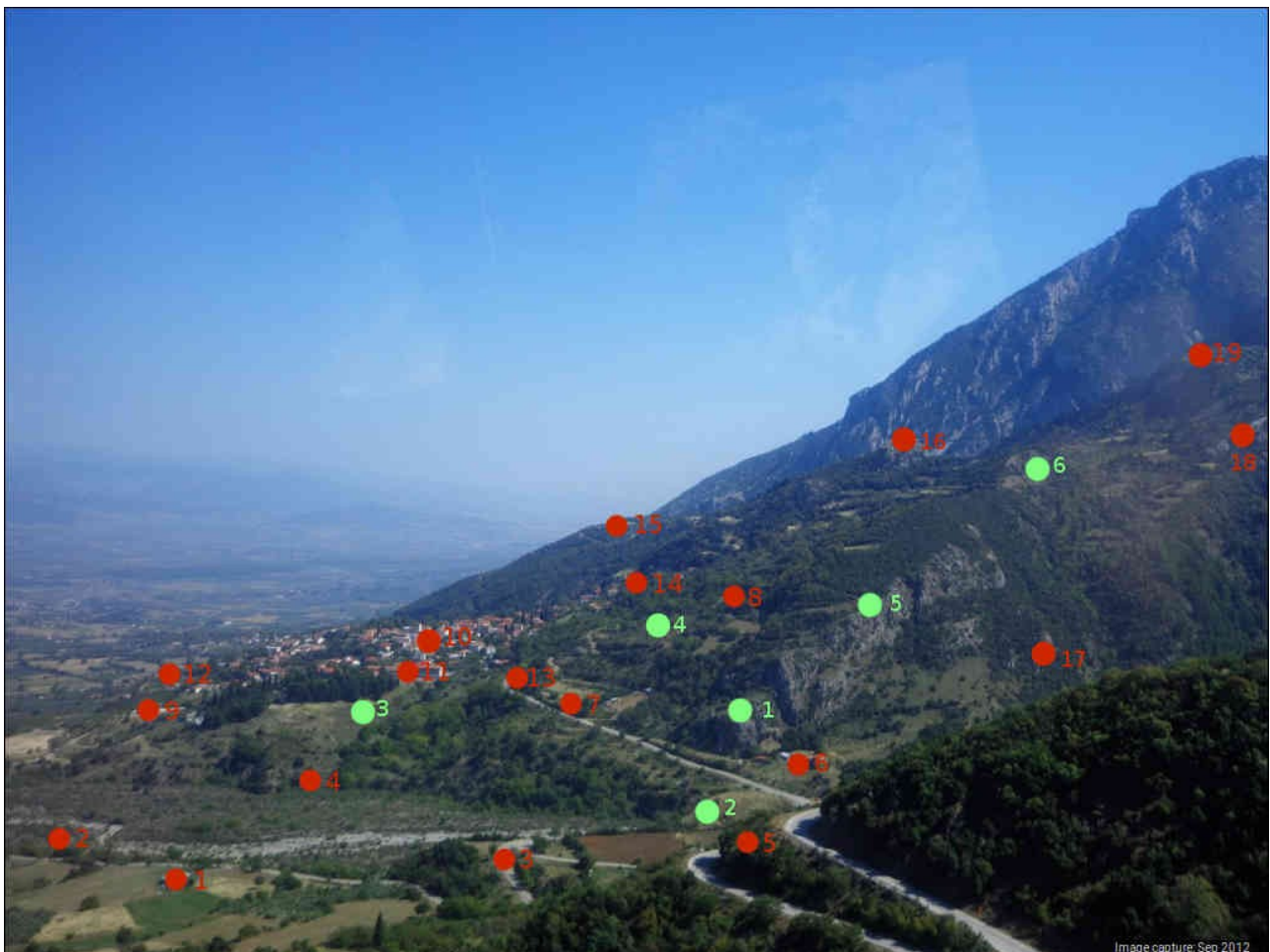
Πίνακας 2: Πίνακας αποτελεσμάτων πειράματος 2.

	Συντεταγμένες Εικόνας		Πραγματικές συντεταγμένες			Εκτίμηση συντεταγμένων			Σφάλμα	
	Ύψος	Πλάτος	Latitude	Longitude	Altitude	Latitude	Longitude	Altitude	Γεωγραφικό	Υψομετρικό
1	459	1137	37.566097	22.797156	4.17	37.565708	22.797469	12.21	51.25	8.04
2	504	731	37.564212	22.798535	35.93	37.564625	22.798172	19.26	55.98	16.67
3	500	1304	37.566265	22.797888	2.47	37.565723	22.797938	11.01	60.32	8.54
4	657	1309	37.565312	22.799288	4.79	37.565303	22.798685	10.27	53.15	5.48
5	598	931	37.564636	22.798649	16.80	37.564821	22.798445	14.85	27.27	1.95
6	419	899	37.565378	22.796155	15.82	37.565252	22.797259	18.42	98.33	2.60
7	496	1062	37.565611	22.797355	7.59	37.565346	22.797819	13.61	50.40	6.02
8	450	1241	37.566648	22.796891	2.73	37.565965	22.797311	11.09	84.44	8.36
9	397	679	37.564235	22.797865	43.47	37.564802	22.797401	26.59	75.15	16.88

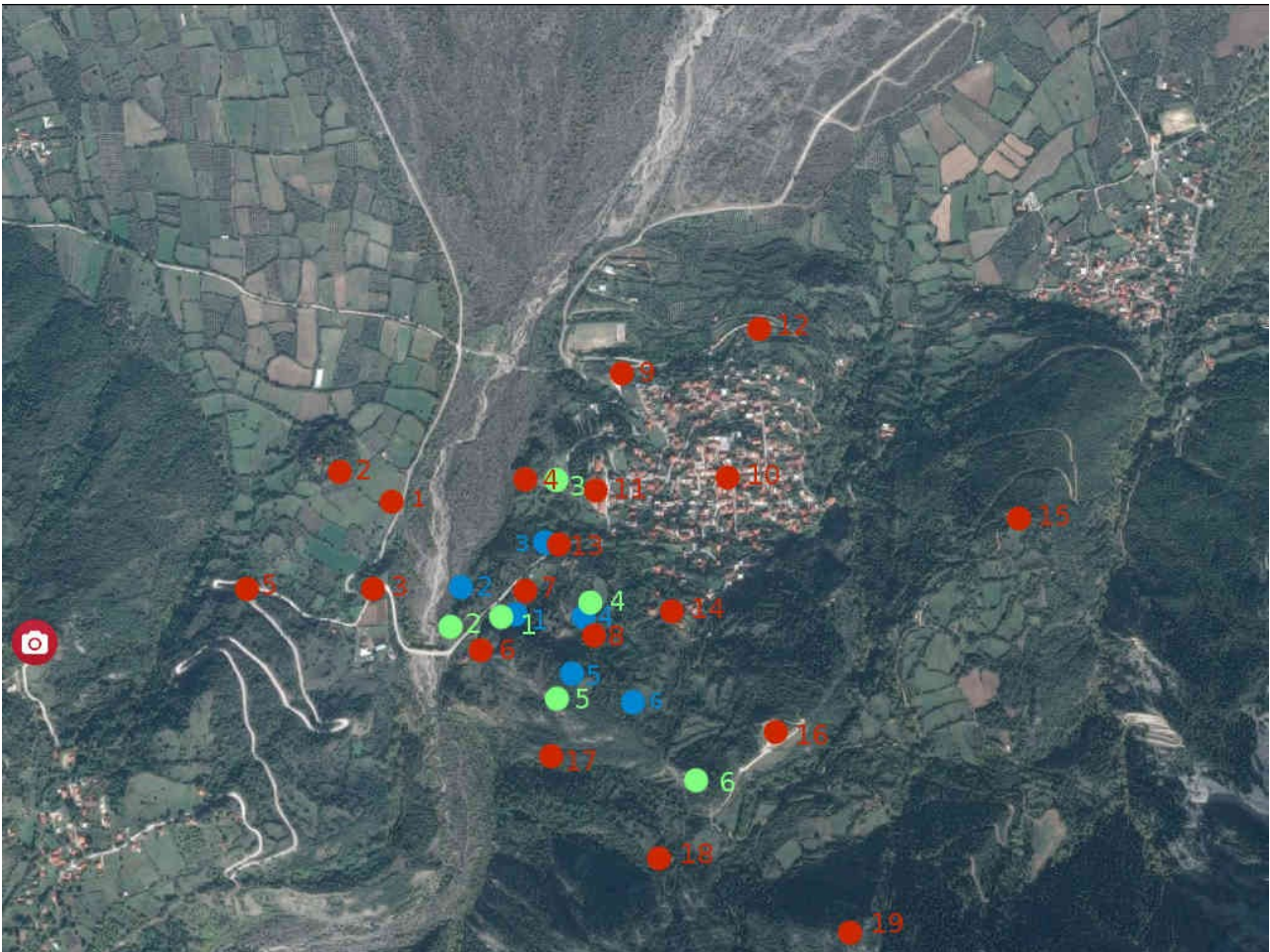
10	645	541	37.563692	22.799197	20.58	37.564470	22.798256	13.98	119.85	6.60
11	790	489	37.563510	22.799726	18.18	37.564256	22.798615	20.42	128.32	2.24
Μέσο σφάλμα									73.138	7.579

4.4 Πείραμα 3

Φωτογραφία της Υπάτης Φθιώτης τραβηγμένη από σημείο της επαρχιακής οδού Κομποτάδων-Μονή Αγάθωνος (38.868081, 22.221851). Το μέγεθος της εικόνας η οποία χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν 1024x768 pixels.



Εικόνα 7: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα 3.



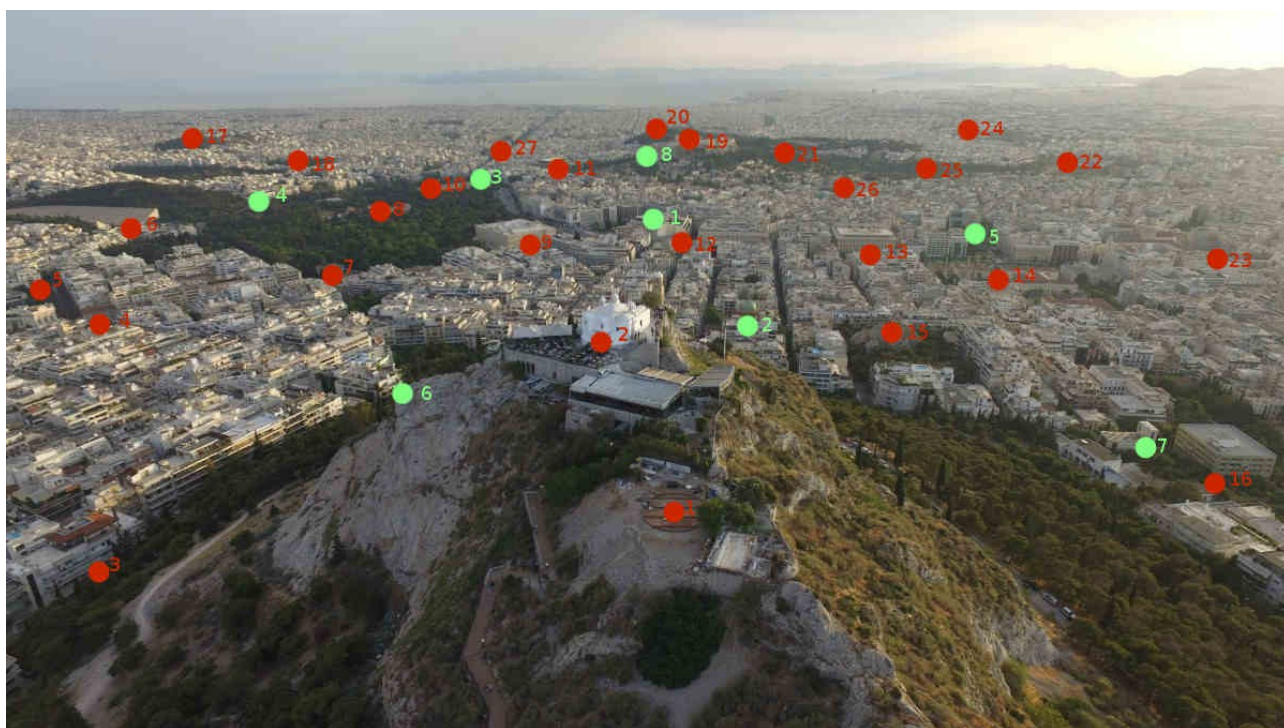
Εικόνα 8: Κάτοψη περιοχής του πειράματος 3.

Πίνακας 3: Πίνακας αποτελεσμάτων πειράματος 3.

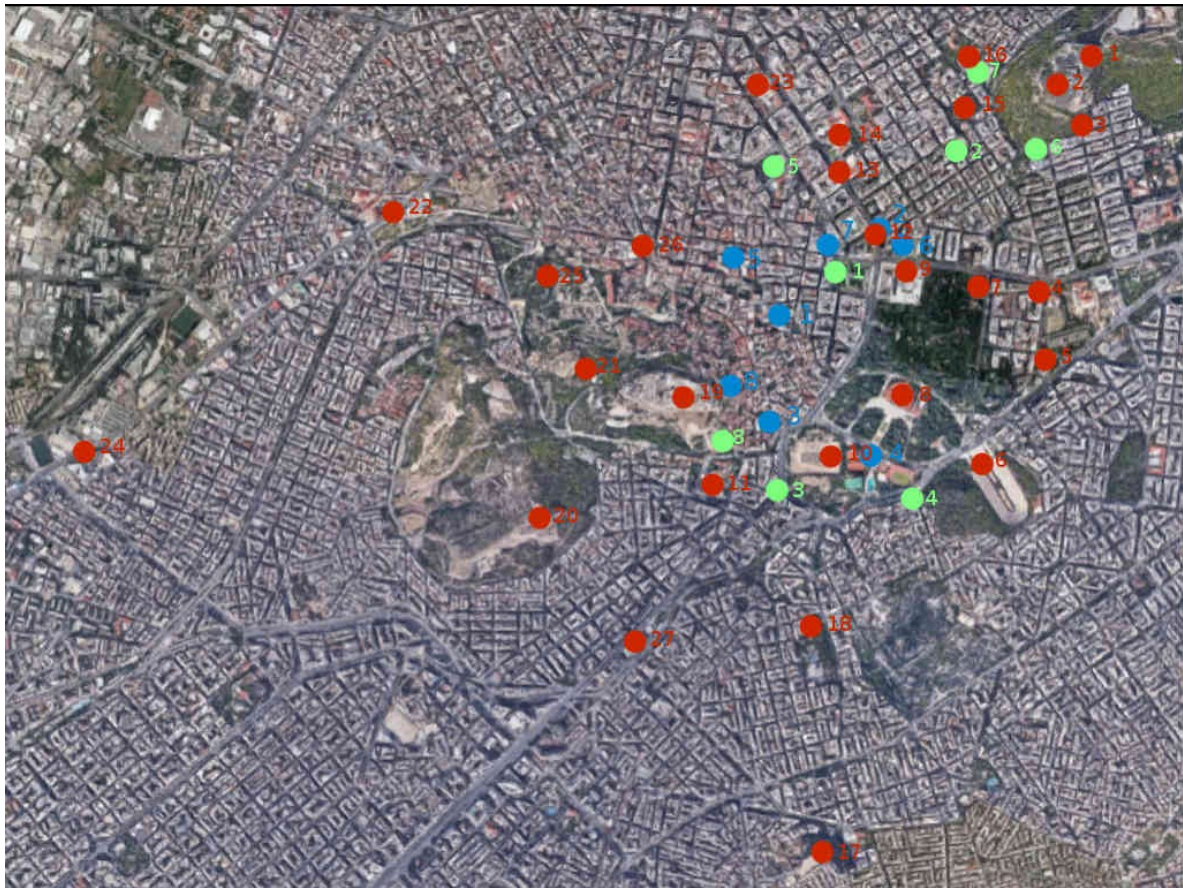
	Συντεταγμένες Εικόνας		Πραγματικές συντεταγμένες			Εκτίμηση συντεταγμένων			Σφάλμα	
	Ύψος	Πλάτος	Latitude	Longitude	Altitude	Latitude	Longitude	Altitude	Γεωγραφικό	Υψομετρικό
1	570	596	38.868021	22.233850	386.45	38.868368	22.234523	457.44	69.87	70.99
2	652	570	38.868236	22.232679	357.33	38.869223	22.233176	442.21	117.83	84.88
3	572	291	38.871397	22.236191	357.33	38.870151	22.235600	412.00	147.64	54.67
4	501	530	38.868883	22.236776	448.23	38.868611	22.236649	465.75	32.17	17.52
5	484	701	38.867102	22.235499	510.82	38.867277	22.236335	504.98	74.93	5.84
6	375	836	38.865256	22.239846	614.69	38.866884	22.238004	539.90	241.21	74.79
Μέσο σφάλμα									113.94	51.45

4.5 Πείραμα 4

Φωτογραφία της Αθήνας τραβηγμένη από drone πάνω από τον λόφο Λυκαβηττό (37.983134, 23.745478). Το μέγεθος της εικόνας η οποία χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν 1200x674 pixels.



Εικόνα 9: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα 4.



Εικόνα 10: Κάτοψη της περιοχής του πειράματος 4.

Πίνακας 4: Πίνακας αποτελεσμάτων του Πειράματος 4.

	Συντεταγμένες Εικόνας		Πραγματικές συντεταγμένες			Εκτίμηση συντεταγμένων			Σφάλμα	
	Ύψος	Πλάτος	Latitude	Longitude	Altitude	Latitude	Longitude	Altitude	Γεωγραφικό	Υψομετρικό
1	195	603	37.975731	23.734006	82.43	37.974061	23.731679	104.99	275.79	22.55
2	296	692	37.979823	23.738939	117.21	37.977082	23.735648	128.27	419.66	11.06
3	159	443	37.968514	23.731570	72.39	37.970748	23.731410	101.47	248.75	29.08
4	178	236	37.968101	23.737391	83.96	37.969363	23.735192	106.54	238.38	22.58
5	209	904	37.979257	23.730951	76.36	37.976187	23.729656	95.57	359.78	19.21
6	358	370	37.979758	23.742637	161.50	37.976347	23.736530	132.99	656.02	28.50
7	408	1064	37.982440	23.739624	127.70	37.976931	23.733479	109.84	815.70	17.86
8	137	598	37.971546	23.728858	112.28	37.971657	23.729264	107.31	37.64	4.96
Μέσο σφάλμα									381.46	19.47

5. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ OPTICALLOCALIZATIONSYSTEM

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής αναπτύχθηκε μια εφαρμογή σε γλώσσα προγραμματισμού Java η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο OpticalLocalizationAPIT.

5.1 Η κάμερα

Για την εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκε μια κάμερα AXIS Q6032-E [33]. Η κάμερα αυτή είναι μία δικτυακή κάμερα εξωτερικού χώρου τύπου θόλου. Μπορεί να βιντεοσκοπήσει σε διαστάσεις 736x576 pixel και κωδικοποίηση H.264 ή Motion JPEG στα 25fps. Είναι εφοδιασμένη με φακό Οριζόντιας γωνίας θέασης 57.2° – 1.7°, με δυνατότητες αυτόματης εστίασης και ρύθμιση νυχτερινών λήψεων. Έχει οπτικό ζουμ 36X και δυνατότητα ανυψωτικής κίνησης (tilt) 220° και απεριόριστων περιστροφών (pan) 360° με ταχύτητες 0.05° – 450°/s.



Εικόνα 11: Η κάμερα AXIS Q6032-E

Ο χειρισμός και οι υπόλοιπες ρυθμίσεις της κάμερα γίνονται μέσω του VAPIX[34][35], μιας προγραμματιστικής διεπαφής η οποία χρησιμοποιεί αιτήματα HTTP για να στείλει και να λάβει πληροφορίες από την κάμερα.

Γχ για την λήψη μιας εικονοροής mjpeg το αντίστοιχο αίτημα είναι:

`http://<servername>/axis-cgi/mjpeg/video.cgi`

όπου <servername> είναι η διεύθυνση IP του δικτύου που είναι συνδεδεμένη η κάμερα.

Αντίστοιχα για να πάρουμε από την κάμερα πληροφορίες για το μέγεθος της εικόνα στέλνουμε το αίτημα:

<http://<servername>/axis-cgi/imagesize.cgi>

Για τον χειρισμό της οριζόντια και κάθετης περιστροφής της κάμερα καθώς και τον έλεγχο του ζουμ μπορούμε να στέλνουμε εντολές στην ακόλουθη μορφή:

[http://<servername>/axis-cgi/com/ptz.cgi?<argument>=<value>\[<argument>=<value>...\]](http://<servername>/axis-cgi/com/ptz.cgi?<argument>=<value>[<argument>=<value>...])

σαν ορίσματα (arguments) μπορούμε να δίνουμε τις ακόλουθες τιμές:

Πίνακας 5: Βασικά ορίσματα για την κίνηση της κάμερας

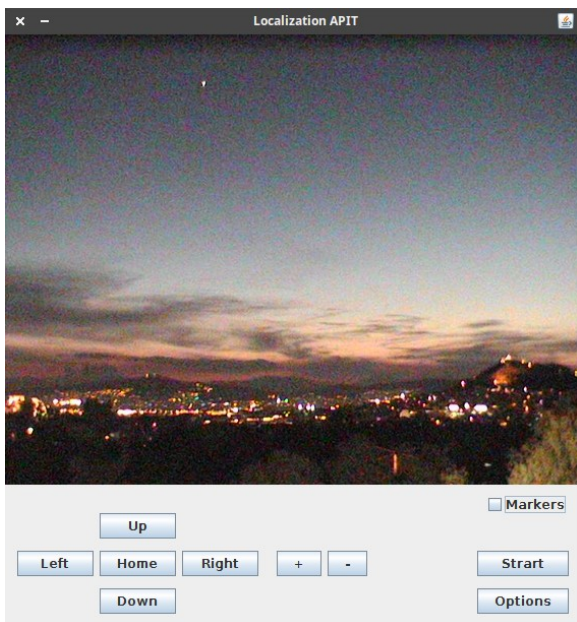
Όρισμα	Έγκυρες τιμές	Περιγραφή
pan=<float>	-180.0 ... 180.0	Περιστρέφει τη συσκευή σε απόλυτα ορισμένη θέση (αυθαίρετο σύστημα μονάδων που βασίζεται στο βηματικό κινητήρα και την αρχική εγκατάσταση)
rpan=<float>	-360.0 ... 360.0	Περιστρέφει τη συσκευή κατά τόσες μοίρες σε σχέση με την τρέχουσα θέση
tilt=<float>	-180.0 ... 180.0	Ανυψώνει τη συσκευή σε απόλυτα ορισμένη θέση (αυθαίρετο σύστημα μονάδων που βασίζεται στο βηματικό κινητήρα και την αρχική εγκατάσταση)
rtilt=<float>	-360.0 ... 360.0	Ανυψώνει τη συσκευή κατά τόσες μοίρες σε σχέση με την τρέχουσα θέση
zoom=<int>	1 ... 9999	Ρυθμίζει τη μεγέθυνση της συσκευής απόλυτα σε τόσα βήματα (μεγάλος αριθμός – μεγάλη μεγέθυνση)
rzoom=<int>	-9999 ... 9999	Ρυθμίζει τη μεγέθυνση της συσκευής σχετικά με την τρέχουσα θέση τόσα βήματα (θετικές τιμές –μεγαλύτερη μεγέθυνση)
Continuouszoommove=<int>	-100...100	Ρυθμίζει τη μεγέθυνση της συσκευής με συνεχή κίνηση. Θετικές τιμές σημαίνουν μεγαλύτερη μεγέθυνση, αρνητικές μικρότερη και η τιμή 0 σταματά τη μεγέθυνση.
query=<string>	[..]	Επιστρέφει τις απόλυτες τιμές της θέσης στο αυθαίρετο σύστημα μονάδων που βασίζεται στο βηματικό κινητήρα και την αρχική εγκατάσταση

5.2 Εργαλεία Υλοποίησης

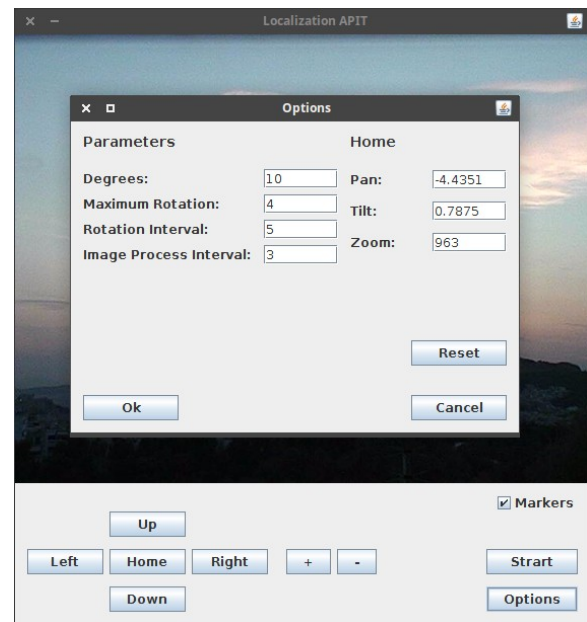
Η γραφική διεπαφή υλοποιήθηκε με τη βοήθεια της εργαλειοθήκης Swing[36] της Java. Το Swing είναι μέρος του Java Foundation Classes(JFC) της Oracle το οποίο είναι μια προγραμματιστική διεπαφή για τη δημιουργία γραφικών διεπαφών για προγράμματα java. Το Swing είναι γραμμένο εξολοκλήρου σε Java και έτσι είναι ανεξάρτητο από το λειτουργικό σύστημα (platform independent).

Για την αποκωδικοποίηση και προβολή της εικονοροής mjpeg χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη libnvc[37]. Η βιβλιοθήκη libnvc αποτελεί ένα πλαίσιο προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί σε προγραμματιστικές εφαρμογές, προσφέροντάς τους δυνατότητες αναπαραγωγή πολυμέσων. Είναι η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της εφαρμογής nlc media player και την διαχειρίζεται και αναπτύσσει ο μη κερδοσκοπικός οργανισμός videoLAN. Προσφέρει την δυνατότητα αναπαραγωγής σχεδόν όλων των τύπων συμπίεσης αρχείων. Επίσης δίνει τη δυνατότητα αναπαραγωγής πρωτοκόλλων ροών δεδομένων που μεταφέρονται μέσω δικτύου.

Τέλος για τη βάση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μια ενσωματωμένη βάση apache derby[38] η οποία είναι ένα έργο ανοιχτού κώδικα και αναπτύσσεται από τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό Apache Software Foundation.



Εικόνα 12: Η εφαρμογή.



Εικόνα 13: Η οθόνη επιλογών.

5.3 Παρουσίαση της εφαρμογής

Η ανάπτυξη της εφαρμογής αυτής έχει σαν σκοπό την παρουσίαση των δυνατοτήτων του αλγορίθμου OpticalLocalizationAPIT. Όπως δείξαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο αλγόριθμος δεχόμενος σαν είσοδο ένα σύνολο σημείων αναφοράς και τις συντεταγμένες ενός συμβάντος στην εικόνα, επιστρέφει μια εκτίμηση για την γεωγραφική θέση του σημείου που αντιπροσωπεύουν οι συντεταγμένες αυτές.

Το σύστημα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει με ευκολία σημεία αναφοράς για πολλαπλές θέσεις της κάμερας με απλή χρήση του ποντικιού. Επίσης σε οποιαδήποτε θέση μπορεί με χρήση του ποντικιού να δημιουργήσει ένα τεχνητό συμβάν και δει το αποτέλεσμα του αλγορίθμου. Τέλος η εφαρμογή μπορεί να θέσει την κάμερα σε λειτουργία σάρωσης στην οποία περιστρέφεται και ανά τακτά χρονικά διαστήματα αναλύει την εικόνα για πιθανά συμβάντα.

Η εφαρμογή αποτελείται από τρία μέρη: Μια γραφική διεπαφή, μια βάση δεδομένων και έναν χειριστή. Ο χειριστής είναι υπεύθυνος για τον χειρισμό της κάμερα μέσω των HTTP αιτημάτων, την εισαγωγή δεδομένων στην βάση και την τροφοδότηση της γραφικής διεπαφής με τις απαραίτητες πληροφορίες για την παρουσίαση δεδομένων στο χρήστη. Επίσης είναι υπεύθυνος για την εκκίνηση και τον τερματισμό των νημάτων που χειρίζονται την λειτουργία σάρωσης.

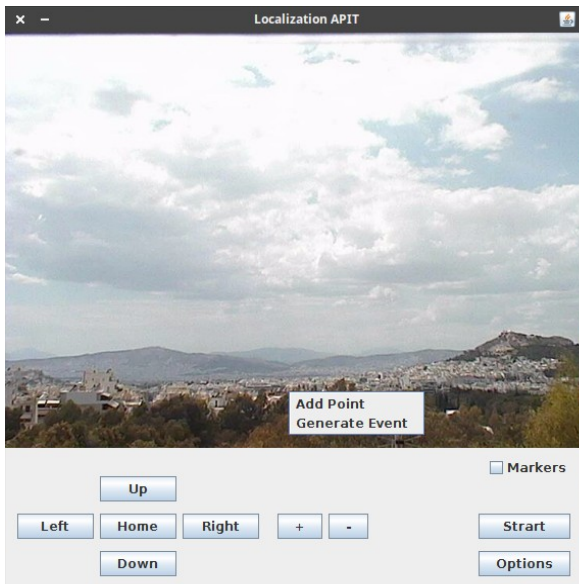
Οι βασικές λειτουργίες της εφαρμογής με βάση τις επιλογές που προσφέρονται μέσω της γραφικής διεπαφής είναι:

- Up: Περιστρέφει την κάμερα μια θέση προς τα πάνω.
- Down: Περιστρέφει την κάμερα μια θέση προς τα κάτω.
- Left: Περιστρέφει την κάμερα μια θέση αριστερά.
- Right: Περιστρέφει την κάμερα μια θέση δεξιά.
- Home: Μεταφέρει την κάμερα στην θέση που έχει οριστεί στα Options.
- + και -: Χειρίζονται το ζουμ της κάμερας.
- Start: Θέτει την κάμερα σε λειτουργία σάρωσης.
- Markers: Εμφανίζει στην εικόνα τα σημεία αναφοράς.
- Options: Δίνει τη δυνατότητα παραμετροποίησης της εφαρμογής.

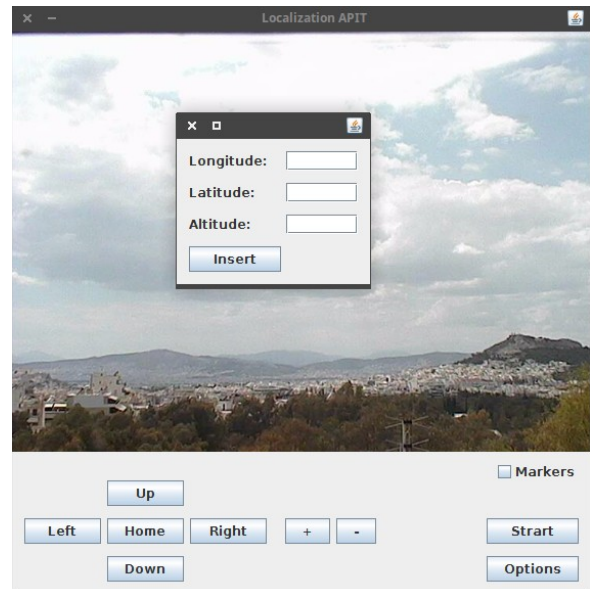
Μέσω της επιλογής “Options” μπορεί να ορίσει τις εξής παραμέτρους:

- Degrees: Η γωνία περιστροφής σε μοίρες, τις οποίες θα περιστραφεί η κάμερα για να πάει από μία θέση στην επόμενη.
- Max Rotation: είναι το πλήθος των θέσεων που θα διασχίσει η κάμερα δεξιά και αριστερά από την αρχική της θέση. Αν η τιμή είναι 0 η κάμερα κάνει πλήρη περιστροφή.
- Rotation Interval: Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα που η κάμερα θα παραμείνει σε κάθε θέση.
- Image Process Interval: Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα ανά τον οποίο γίνεται επεξεργασία της εικόνας ώστε να εντοπιστούν συμβάντα.

- Επίσης μπορούν να οριστούν οι απόλυτες τιμές των pan, tilt και zoom για τη θέση Home.
- Τέλος η επιλογή Reset επαναφέρει τις αρχικές ρυθμίσεις της εφαρμογής ενώ ταυτοχρόνως διαγράφει όλα τα σημεία αναφοράς από την βάση δεδομένων.



Εικόνα 14: Μενού όταν γίνει κλικ στην εικόνα.

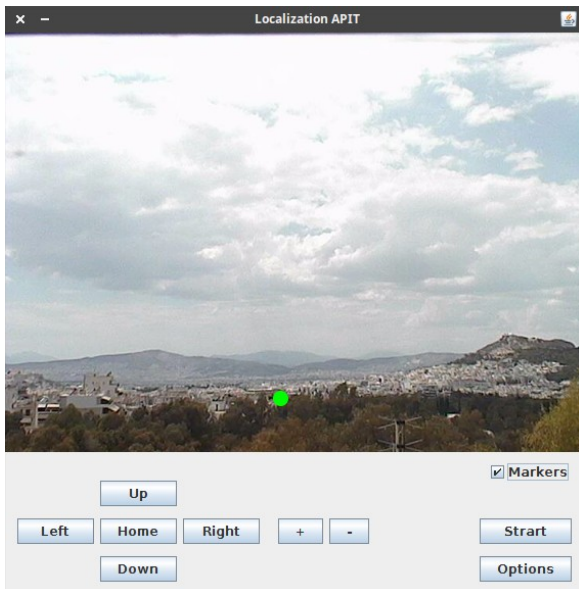


Εικόνα 15: Παράθυρο εισαγωγής νέου σημείου αναφοράς

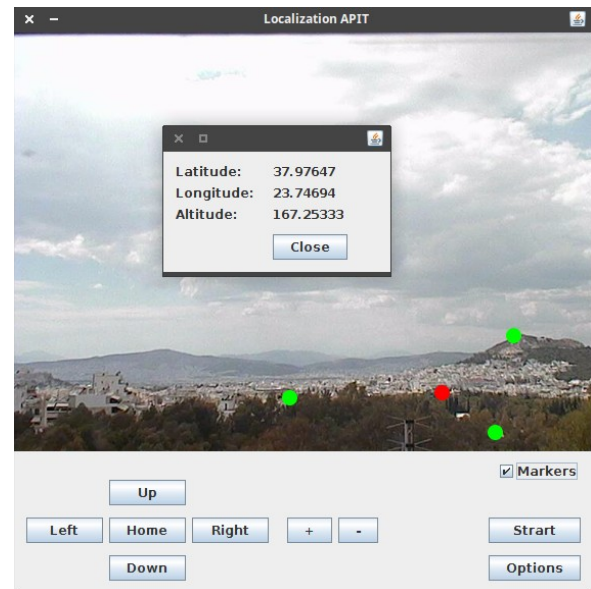
Όταν ο χρήστης κάνει αριστερό κλικ κάπου στην εικόνα, καλείται να επιλέξει αν θέλει να εισάγει ένα νέο σημείο αναφοράς ή να δημιουργήσει ένα τεχνητό συμβάν (Εικόνα 14). Η επιλογή εισαγωγής νέου σημείου “Add Point” εμφανίζει ένα νέο παράθυρο που δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να εισάγει τις γεωγραφικές συντεταγμένες για το σημείο της εικόνας που έγινε το κλικ (Εικόνα 15). Με την εισαγωγή εκτός από τις συντεταγμένες του σημείου, στη βάση εισάγεται και ένας ακέραιος αριθμός που αντιπροσωπεύει την θέση της κάμερας στην οποία γίνεται η εισαγωγή. Αν το πεδίο Markers είναι επιλεγμένο τα σημεία αναφοράς φαίνονται με πράσινο χρώμα (Εικόνα 16).

Η επιλογή “Generate Event” δημιουργεί ένα τεχνητό συμβάν. Η εφαρμογή καλεί τον αλγόριθμο OpticalocalizationAPIT με ορίσματα τις συντεταγμένες της εικόνας στις οποίες έγινε το κλικ και τη λίστα με τα σημεία αναφοράς για την συγκεκριμένη θέση της κάμερας. Αφού υπολογιστεί η θέση ένα παράθυρο ενημερώνει τον χρήστη για τα αποτελέσματα. (Εικόνα 17). Αν το πεδίο Markers είναι επιλεγμένο τα συμβάντα που ορίζει ο χρήστης με αυτή τη διαδικασία εμφανίζονται σαν κόκκινες κουκκίδες πάνω στην εικόνα.

Όταν ο χρήστης εκκινήσει την λειτουργία σάρωσης σταματά να έχει τον έλεγχο της κάμερας (τα κουμπιά κίνησης γίνονται ανενεργά) μέχρι να πιάσει το κουμπί παύσης “Stop”.



Εικόνα 16: Εικόνα μετά την εισαγωγή ενός σημείου αναφοράς.



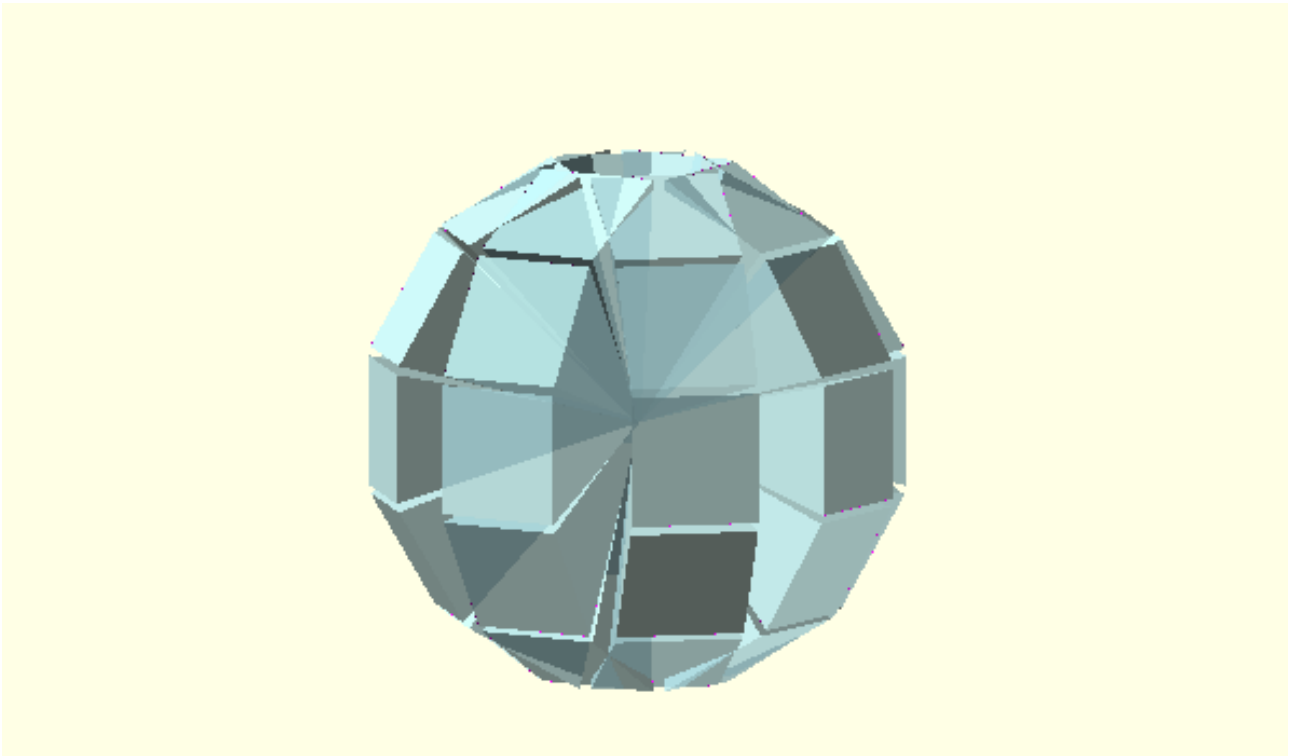
Εικόνα 17: Εικόνα μετά την δημιουργία τεχνητού σημείου στόχου.

Η λειτουργία σάρωσης υλοποιείται με τη βοήθεια δυο νημάτων, το CameraScanTask το οποίο χειρίζεται την κάμερα και το ProcessImageTask για την επεξεργασία της εικόνα. Το CameraScanTask εκτελείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα με βάση τις παραμέτρους που έχουν οριστεί στα Options (παραμέτρος Rotation Interval) και ανάλογα τη θέση της κάμερας την περιστρέφει στην επόμενη. Αντίστοιχα το ProcessImageTask ανά τακτά χρονικά διαστήματα με βάση την τιμή της παραμέτρου (Image Process Interval) στέλνει στην κάμερα την εντολή

`http://<camera-ip>/axis-cgi/jpg/image.cgi`

η οποία ζητά από την κάμερα μια JPEG εικόνα. Η εικόνα αυτή μπορεί να αναλυθεί ώστε να εντοπιστούν συμβάντα. Στην εφαρμογή αυτή δεν υλοποιείται κάποιος συγκεκριμένος αλγόριθμος αναγνώρισης συμβάντων σε εικόνα, αφού σκοπός τη εφαρμογής είναι η επίδειξη του αλγορίθμου OpticalocalizationAPIT.

Ο γεωγραφικός εντοπισμός σε κάθε θέση εξαρτάται μόνο από τα σημεία αναφοράς που έχουμε ορίσει εμείς για τη θέση αυτή. Επίσης δεν υπάρχει κανένας περιορισμός ως προς το πλήθος των θέσεων ή των σημείων που μπορούμε να ορίσουμε. Έτσι μπορούμε με βάση τη γωνία περιστροφής και αναλόγως την γωνία θέασης (angle of view), η οποία εξαρτάται από το ζουμ που έχει οριστεί για την κάμερα, να ορίσουμε πολλές αλληλεπικαλυπτόμενες θέσεις. Έτσι σε περίπτωση κάποιου συμβάντος, η εφαρμογή θα υπολογίσει την τοποθεσία του από διάφορες θέσεις οι οποίες πιθανά να δώσουν διαφορετικές προσεγγίσεις για το σημείο επιτρέποντάς μας να επιλέξουμε αυτή που θεωρούμε πιο ακριβής. Ακόμα όταν ορίσουμε την παράμετρο "Maximum Rotation" να είναι ίση με μηδέν, η κάμερα κατά τη λειτουργία σάρωσης θα εκτελεί πλήρεις περιστροφές (360 μοίρες) δίνοντας παρέχοντας δυνατότητα πανοραμικής εποπτείας.



Σχήμα 14: Γραφική παρουσίαση των σφαιρικών δυνατοτήτων του συστήματος.

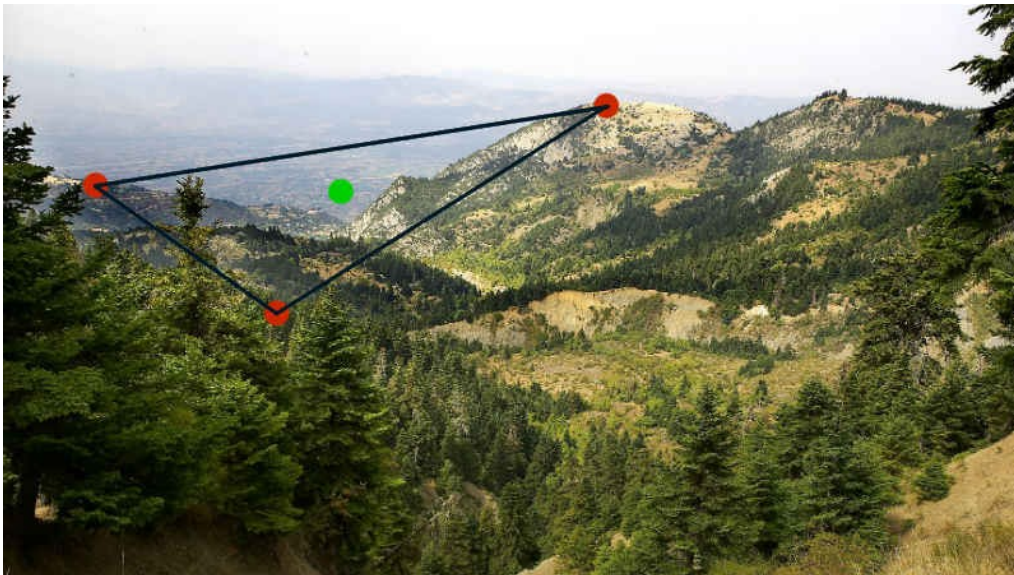
Επίσης χωρίς ιδιαίτερο κόπο το σύστημα μπορεί να επεκταθεί ώστε να μπορούμε να ορίσουμε θέσεις και σημεία όχι μόνο για οριζόντιες περιστροφές αλλά και για κάθετες. Με αυτό τον τρόπο αναλόγως τις δυνατότητες της κάμερας μπορούμε να πετύχουμε πλήρη εποπτεία και στον κάθετο άξονα. Έτσι μπορούμε να έχουμε μια σφαιρική επισκόπηση της περιοχής.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ακρίβεια του αλγορίθμου επηρεάζεται κυρίως από δυο παράγοντες, την πυκνότητα των σημείων αναφοράς στην εικόνα και από τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ των σημείων.

Αν η περιοχή παρατήρησης είναι επίπεδη, η γεωμετρία του χώρου δεν επηρεάζεται από τη γωνία λήψης και τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι πάντα τα ίδια ανεξαρτήτως της θέσης στην οποία έχει στηθεί η κάμερα, αρκεί όλα τα σημεία να περιλαμβάνονται στην εικόνα. Η ακρίβεια με την οποία ο αλγόριθμος θα προσδιορίσει κάποιο σημείο στην εικόνα σε αυτή την περίπτωση εξαρτάται από την κατανομή των σημείων

Αντιθέτως στον τρισδιάστατο χώρο, όπου υπάρχει υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων, η γωνία λήψης παίζει αρκετό ρόλο για την ακρίβεια του αλγορίθμου. Συγκεκριμένα στο Πείραμα 1, στον υπολογισμό της θέσης του σημείου 2, τα τρία τρίγωνα στα οποία ανατίθενται τα μεγαλύτερα βάρη είναι τα $(2, 20, 30)$, $(2, 19, 29)$ και $(2, 24, 30)$ τα οποία όπως φαίνεται στην κάτοψη της περιοχής δεν περιλαμβάνουν το σημείο 2. Αυτό συμβαίνει λόγω της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σημείων. Το σημείο 2 βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο από τα σημεία 19, 20 και 24 με αποτέλεσμα να βρίσκεται κάτω από τις ευθείες $(2, 19)$, $(2, 20)$ και $(2, 24)$ στο σύστημα της εικόνας.



Εικόνα 18: Το πράσινο σημείο εντοπίζεται εντός του τριγώνου αν και βρίσκεται αρκετά χιλιόμετρα μακριά.

Ένα άλλο παράδειγμα αυτής της λάθος εκτίμησης, είναι η Εικόνα 18 όπου το πράσινο σημείο φαίνεται εντός του τριγώνου ακόμα κι αν αυτό στην πραγματικότητα βρίσκεται χιλιόμετρα μακριά. Αν η φωτογραφία ήταν τραβηγμένη από ένα ψηλότερο σημείο το σφάλμα αυτό θα είχε αποφευχθεί.

Μια άλλη παρατήρηση στο Πείραμα 1 είναι ότι το τρίγωνο $(2, 24, 30)$ που αναφέραμε και προηγουμένως βρίσκεται τόσο φιλά στην κατάταξη των βαρών λόγω του ότι τα σημεία που το αποτελούν είναι σχεδόν ευθυγραμμισμένα με αποτέλεσμα να έχει πολύ μικρό εμβαδόν.

Έτσι του ανατίθεται το τρίτο κατά σειρά μικρότερο βάρος ενώ ο εκπρόσωπός του βρίσκεται σχεδόν 4663.70 μέτρα μακριά από τη θέση του σημείου που αναζητάμε.

Για να βελτιωθεί η ακρίβεια του αλγορίθμου θα μπορούσαμε να ορίσουμε ένα όριο στο μέγεθος του εμβαδού των τριγώνων που συμμετέχουν στον υπολογισμό. Έτσι τρίγωνα με πολύ μεγάλο εμβαδόν μπορεί να μην συμμετέχουν καν στον υπολογισμό του συνολικού εκπροσώπου. Το όριο αυτό πρέπει να ορίζεται κατά περίπτωση ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε εικόνας.

Για ο Πείραμα 1 όταν θέσαμε σαν όριο να μη συμμετέχουν στον υπολογισμό τρίγωνα με εμβαδόν μεγαλύτερο των $3 \cdot 10^6 m^2$ το μέσο σφάλμα μειώθηκε σε $674.99 m$ (μείωση της τάξης του $\sim 44\%$) για τις γεωγραφικές συντεταγμένες και σε $74.95 m$ (μείωση $\sim 14\%$) για το υψόμετρο.

Στο Πείραμα 4 για όριο $2 \cdot 10^5 m^2$ το μέσο σφάλμα στις γεωγραφικές συντεταγμένες μειώθηκε σε $192.11 m$ (μείωση $\sim 50\%$) ενώ για το υψόμετρο $19.50 m$ (μείωση $\sim 3\%$).



Εικόνα 19: Περιορισμός του πλήθους των σημείων αναφοράς για τον υπολογισμό σημείου.

Ένας άλλος τρόπος να βελτιώσουμε την ακρίβεια σε ορισμένες περιπτώσεις είναι να διαιρέσουμε την ανάλυση μιας εικόνας σε υποπροβλήματα για κάθε σημείο που θέλουμε να εντοπίσουμε. Κάνοντας ζουμ στην εικόνα μπορούμε να μειώσουμε την εικόνα την οποία ελέγχουμε και κατά συνέπεια και τα σημεία αναφοράς που χρησιμοποιούμε για τον γεωγραφικό εντοπισμό ενός σημείου στόχος.

Για τον υπολογισμό του σημείου 7 στο πείραμα 2 αξιοποιήσαμε μόνο τα σημεία αναφοράς που φαίνονται στην Εικόνα 19. Αποτέλεσμα ήταν το σφάλμα υπολογισμού των γεωγραφικών συντεταγμένων του σημείου να μειωθεί σε $12.58 m$ (μείωση της τάξης του 75%) ενώ το σφάλμα στον υπολογισμό υψομέτρου $3.06 m$ (μείωση $\sim 50\%$).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Closed-circuit television	Κλειστών κυκλωμάτων τηλεόρασης
Video stream	Εικονοροή
Pixel	Εικονοστοιχείο
Machine Vision	Μηχανική όραση
Wireless sensor network	Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων
Internet of things	Διαδίκτυο των πραγμάτων
Range-based	Με βάση την ακτίνα
Range-free	Ανεξάρτητα της ακτίνας
Received Signal Strength Indication	Ένδειξη ισχύος δεχόμενου σήματος
Time of Arrival	Χρόνος άφιξης
Time Difference of Arrival	Διαφορά χρόνου άφιξης
Angle of Arrival	Γωνία άφιξης
Centroid	Κέντρο βάρους
Video component analysis	Ανάλυση περιεχομένου βίντεο
Polar motion	Πολική κίνηση
Mean sea level	Μέση στάθμη της θάλασσας
Localization	Χωροθέτηση
Location	Τοποθεσία
World Geodetic System	Παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα
Prime Meridian	Πρώτος μεσημβρινός
Latitude	Γεωγραφικό πλάτος
Longitude	Γεωγραφικό μήκος
Geodetic datum	Γεωδαιτικό σύστημα
IERS Reference Meridian	Μεσημβρινός διεθνούς αναφοράς
European Terrestrial Reference System	Ευρωπαϊκό Επίγειο Σύστημα Αναφοράς
Map projection	Χαρτογραφική προβολή
Mercator projection	Μερκατορική προβολή
Anchor node	Κόμβος αναφοράς
Target node	Κόμβος στόχος
Point in triangulation test	Έλεγχος ύπαρξης σημείου σε τριγωνισμό
Broadcast	Εκπομπή

Barycentric coordinate system	Βαρυκεντρικό σύστημα συντεταγμένων
Degrees of freedom	Βαθμοί ελευθερίας
Bounding box	Πλαισίο οριοθέτησης

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

CCTV	Closed-circuit television
IP	Internet Protocol
APIT	Aproximate point in triangulation
ΑΔΑ	Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων
WSN	Wireless sensor network
IoT	Internet of Things
RSSI	Received Signal Strength Indication
ΤοΑ	Time of Arrival
TDoA	Time difference of arrival
ΑοΑ	Angle of Arrival
SerLoc	Secure Range-independent Localization
APS	Ad-Hoc Positioning System
VCA	Video component analysis
ΜΣΘ	Μέση στάθμη θάλασσας
WGS	World Geodetic System
GPS	Global Positioning System
IRM	IERS Reference Meridian
EGM	Earth Gravitational Model
ΕΓΣΑ	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
HTRS	Hellenic Terrestrial Reference System
HEPOS	Hellenic Positioning System
ETRS	European Terrestrial Reference System
PIT	Point in triangulation test
JPEG	Joint Photographic Experts Group
FPS	Frames per second
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JFC	Java Foundation Classes

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Closed-circuit_television#Computer_controlled_analytics_and_identification [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_vision [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [4] Wireless Sensor Networks project team in the IEC Market Strategy Board, “Internet of Things: Wireless Sensor Networks”, 2014.
- [5] Whitehouse, C. The design of calamari: An ad hoc Localization System for Sensor Networks. M.Sc. Thesis, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, USA, 2002.
- [6] Wen, C.-Y.; Chen, F.-K. Adaptive AOA-aided TOA self-positioning for mobile wireless sensor networks. *Sensors* 2010, 10, 9742–9770.
- [7] Priyantha, N. The Cricket Indoor Location System. Ph.D. Dissertation. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 2005.
- [8] Kwon, Y.; Mechitov, K.; Sundresh, S.; Kim, W.; Agha, G. Resilient Localization for Sensor Networks in Outdoor Environments, Technical Report; University of Illinois at Urbana-Champaign, Champaign, IL, USA, 2004.
- [9] Priyantha, N. The Cricket Indoor Location System. Ph.D. Dissertation. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 2005.
- [10] Niculescu, D.; Nath, B. Ad Hoc Positioning System (aps) Using Aoa. In Proceedings of the IEEE Infocom 2003, San Francisco, CA, USA, 30 March–3 April 2003.
- [11] Bulusu, N.; Heidemann, J.; Estrin, D. Gps-less low cost out-door localization for very small devices. *IEEE Pers. Commun. Mag.* 2000, 7, 28–34.
- [12] He, T.; Huang, C.; Blum, B.; Stankovic, J.A.; Abdelzaher, T. Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks. In Proceedings of the ACM Mobicom 2003, San Diego, CA, USA, 14-19 September 2003.
- [13] Lazos, L.; Poovendran, R. SeRLoc: Secure Range-independent Localization for Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the ACM WiSe 2004, Philadelphia, PA, USA, 26 September–1 October 2004.
- [14] Shang, Y.; Ruml, W.; Zhang, Y.; Fromherz, M.P. Localization from Mere Connectivity. In Proceedings of the ACM Mobihoc 2003, Annapolis, MD, USA, 1–3 June 2003.
- [15] Niculescu, D.; Nath, B. Ad-hoc Positioning Systems. In Proceedings of GLOBECOM'01, San Antonio, TX, USA, 25–29 November 2001; pp. 2926–2931.
- [16] Tian He, Chengdu Huang, Brian M. Blum, John A. Stankovic, Tarek Abdelzaher, “Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks”, 2003
- [17] Radu Stoleru, Tian He and John A. Stankovic, “Range-Free Localization”, 2007
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Video_content_analysis [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [19] <https://en.wikipedia.org/wiki/Geodesy> [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [20] Δημήτριος Δεληκαράογλου, “Φυσική Γεωδαισία - Θεωρητικές και Τεχνολογικές Βάσεις”, 2010
- [21] <https://en.wikipedia.org/wiki/Location> [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [22] https://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [23] https://el.wikipedia.org/wiki/Ελληνικό_Γεωδαιτικό_Σύστημα_Αναφοράς_1987 [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [24] https://el.wikipedia.org/wiki/Χαρτογραφική_προβολή [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [25] https://en.wikipedia.org/wiki/Map_projection [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [26] https://en.wikipedia.org/wiki/Mercator_projection [Προσπελάστηκε 3/1/18]

- [27] Sarah E. Battersby, Michael P. Finn, E. Lynn Utery, Kristina H. Yamamoto, “Implications of Web Mercator and Its Use in Online Mapping”, 2014
- [28] “NGA Advisory Notice on “Web Mercator””,
http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/web_mercator/index.html [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [29] National Geospatial Intelligence Agency, “Implementation Practice Web Mercator Map Projection”, 2014
- [30] https://en.wikipedia.org/wiki/Barycentric_coordinate_system [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [31] <https://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.htm> [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [32] <https://www.google.com/maps> [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [33] https://www.axis.com/files/manuals/um_q6032e_46628_en_1206.pdf [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [34] https://www.axis.com/files/manuals/varix_ptz_52933_en_1307.pdf [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [35] https://www.axis.com/files/manuals/varix_video_streaming_52937_en_1307.pdf
[Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [36] [https://en.wikipedia.org/wiki/Swing_\(Java\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Swing_(Java)) [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [37] <https://wiki.videolan.org/LibVLC> [Προσπελάστηκε 3/1/18]
- [38] <https://db.apache.org/derby/> [Προσπελάστηκε 3/1/18]