

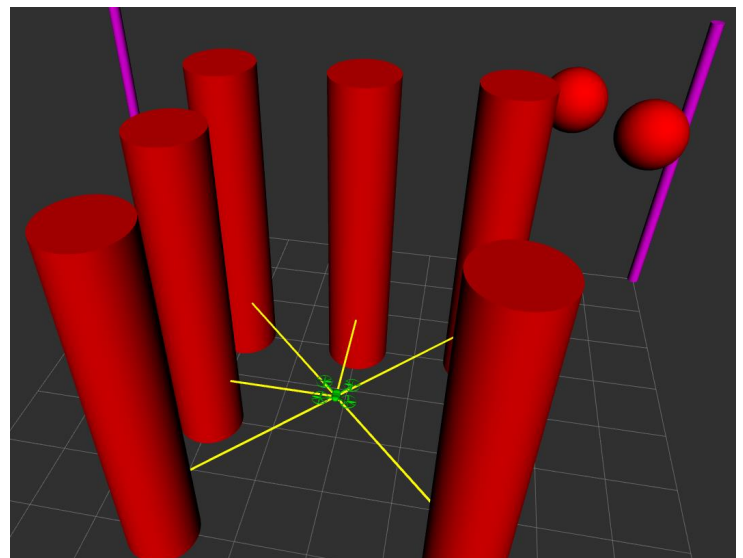
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΟΜΑΔΑ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Υπολογιστική Γεωμετρία & Εφαρμογές 3D Μοντελοποίησης

“Drone Positioning system”

Επώνυμο	Σταματόπουλος
Όνομα	Μάριος Νεκτάριος
Έτος	4 ^ο
ΑΜ	1059383

Source code : [Github](#)

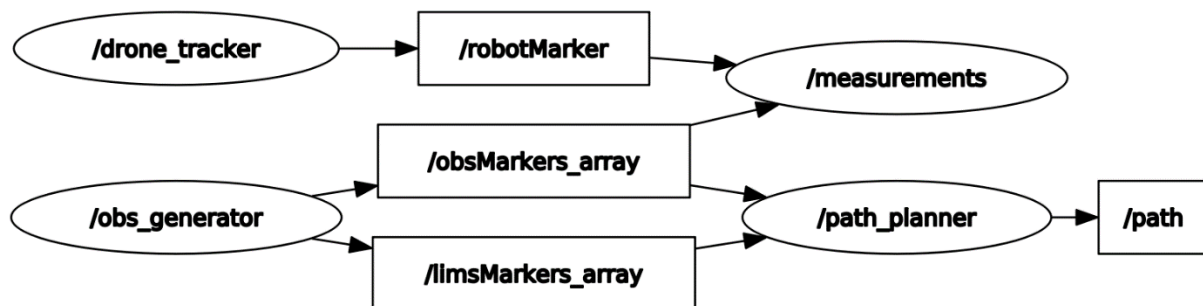


Εισαγωγή

Αναπτύχθηκε σύστημα αναγνώρισης drone και εκτίμηση του pose του (θέση και περιστροφή του στον τρισδιάστατο χώρο) μέσω μιας απλής webcam τοποθετημένη πάνω από τον χώρο εργασίας. Η ανίχνευση έγινε με 2 τεχνικές, στην πρώτη χρησιμοποιήθηκε fiducial marker και συγκεκριμένα οι Aruco ενώ η 2^η υλοποιήθηκε μέσω τεχνικών υπολογιστικής όρασης και μόνο. Γίνεται 3D απεικόνιση του drone στον χώρο και εισάγονται εικονικά εμπόδια από τα οποία υπολογίζονται οι αποστάσεις προς τις 8 κατευθύνσεις του drone. Τέλος δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστεί μονοπάτι από την θέση του drone προς ένα τελικό σημείο αποφεύγοντας τα εμπόδια.

Περιβάλλον ανάπτυξης

Ολόκληρο το σύστημα έχει αναπτυχθεί με την βοήθεια του περιβάλλοντος ROS (Robot Operating System) [1] το οποίο δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να χωρίσει τον κώδικα του σε μικρότερα κομμάτια ονομαζόμενα Nodes(κόμβοι) και αναλαμβάνει την επικοινωνία μεταξύ τους. Επίσης διαθέτει διάφορα εργαλεία και βιβλιοθήκες για μαθηματικές μετατροπές, απεικονίσεις κ.α. σχετικά με ρομποτική που επιταχύνουν την διαδικασία ανάπτυξης. Παρακάτω φαίνεται η βασική δομή του συστήματος στην οποία όσα είναι σε κύκλο είναι κόμβοι οι οποίοι είτε στέλνουν ή δέχονται (ανάλογα με την φορά του βέλους) τα μηνύματα που είναι μέσα στα τετράγωνα.



Εικόνα 1 Δομή του συστήματος

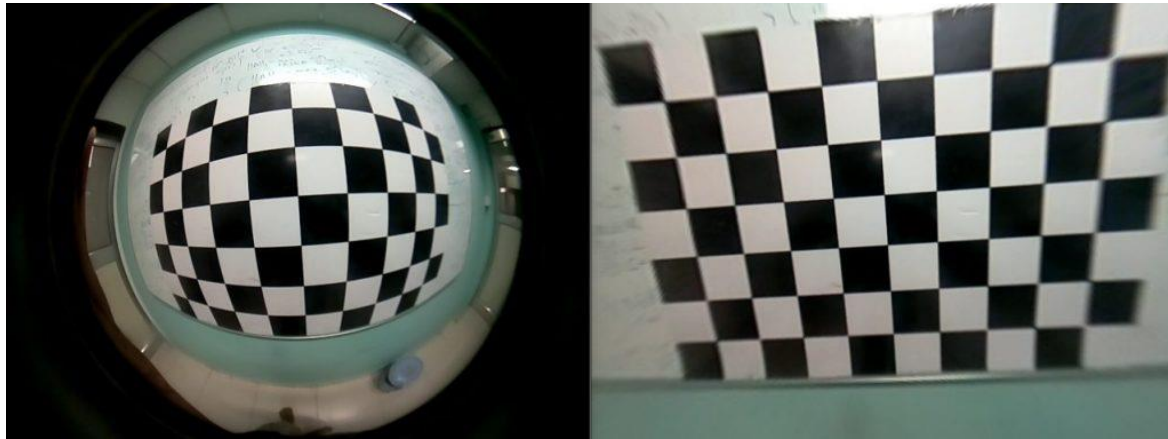
Τα κύρια nodes είναι:

- **drone_tracker** → βρίσκει την θέση και τον προσανατολισμό του drone
- **obs_generator** → δημιουργεί τα εικονικά εμπόδια και τα στέλνει για απεικόνιση
- **measurements** → υπολογίζει τις αποστάσεις του drone από τα εμπόδια
- **path** → υπολογίζει το μονοπάτι που θα ακολουθηθεί για την αποφυγή των εμποδίων

Επίσης χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό η βιβλιοθήκη OpenCV [2] η οποία διαθέτει πολλές συναρτήσεις που βοηθούν στις εφαρμογές υπολογιστικής όρασης.

Εκτίμηση Pose του drone

Για την εκτίμηση αναπτύχθηκαν 2 διαφορετικές τεχνικές ωστόσο και για τις 2 χρειάζεται να γίνει ένα calibration στην κάμερα ώστε να ανιχνευθούν και να εξαλειφθούν οι παραμορφώσεις που προκαλούνται λόγω του φακού. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας μια σκακιέρα η οποία βοηθάει στο να εξαχθούν εύκολα και γρήγορα πολλά σημεία ενδιαφέροντος που θα βοηθήσουν στον καθορισμό των παραμέτρων του φακού (focal length, κέντρο φακού και την λοξότητα στον κάθε άξονα).

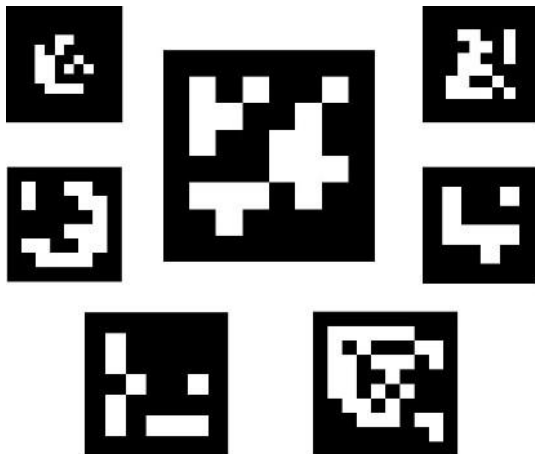


Εικόνα 2 Διόρθωση παραμέτρων κάμερας (πριν και μετά)

Έτσι συλλέγονται διάφορες φωτογραφίες της σκακιέρας έχοντας διάφορες θέσεις και προσανατολισμό και ανιχνεύονται οι γωνίες της κάθε μιας, βρίσκονται οι 2D συντεταγμένες και γίνεται το τελικό calibration

Χρήση Aruco Marker

Οι Aruco markers [3], [4] αποτελούν ένα είδος fiducial markers και χρησιμοποιούνται εκτενώς σε ρομποτικές εφαρμογές σχετικές με ανίχνευση και προσανατολισμό στον χώρο.



Εικόνα 3 Aruco Markers

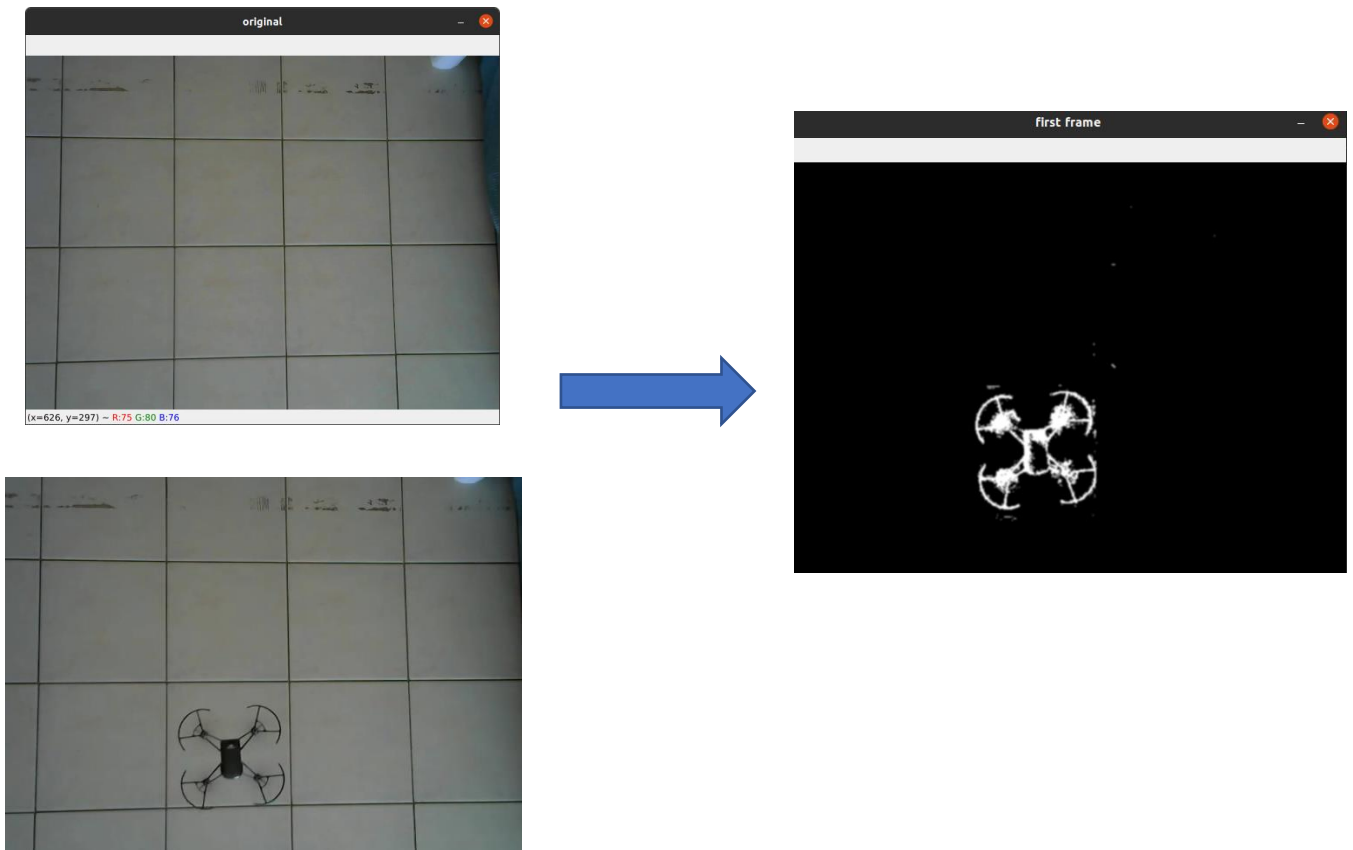
Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι μόνο ένα marker παρέχει αρκετές αντιστοιχίες (οι 4 γωνίες του) για να γίνει Pose recognition και η εσωτερική του δυαδική κωδικοποίηση τους καθιστά αξιόπιστα και δύσκολα επηρεαζόμενα από θόρυβο. Οπότε για να γίνει η ανίχνευση μετατρέπεται όλη εικόνα σε

ασπρόμαυρη, ανιχνεύονται τα 2D σημεία των ακμών του marker και γνωρίζοντας τις παραμέτρους του φακού και το μήκος της πλευράς του marker εξάγεται το διάνυσμα της θέσης και της περιστροφής του σε σχέση με την κάμερα. Έπειτα το διάνυσμα της περιστροφής του μετατρέπεται σε πίνακα περιστροφής μέσω της μεθόδου Rodrigues και έπειτα από αυτό υπολογίζονται οι γωνίες roll,pitch,yaw (Euler Angles).

Χρήση Computer Vision τεχνικών

Παρόλο που η χρήση του Aruco Marker είναι γρήγορη και αξιόπιστη η τοποθέτηση του στο drone είναι δύσκολη και επηρεάζει την πτήση και είναι πιθανό να μπλεχτεί στους έλικες. Συνεπώς η ιδανική λύση θα ήταν το drone να πετάει ελεύθερο και να γίνεται παραπάνω επεξεργασία. Έτσι γίνεται η εξής διαδικασία:

- Εφαρμόζεται τεχνική Background subtraction (αφαίρεση φόντου) κατά την οποία διατηρούνται στην μνήμη τα προηγούμενα καρέ , αφαιρούνται από το τρέχον και εφαρμόζοντας ένα κατώφλι στην εικόνα που προκύπτει ,παράγεται μια μάσκα η οποία αντιστοιχεί στην περιοχή του drone .

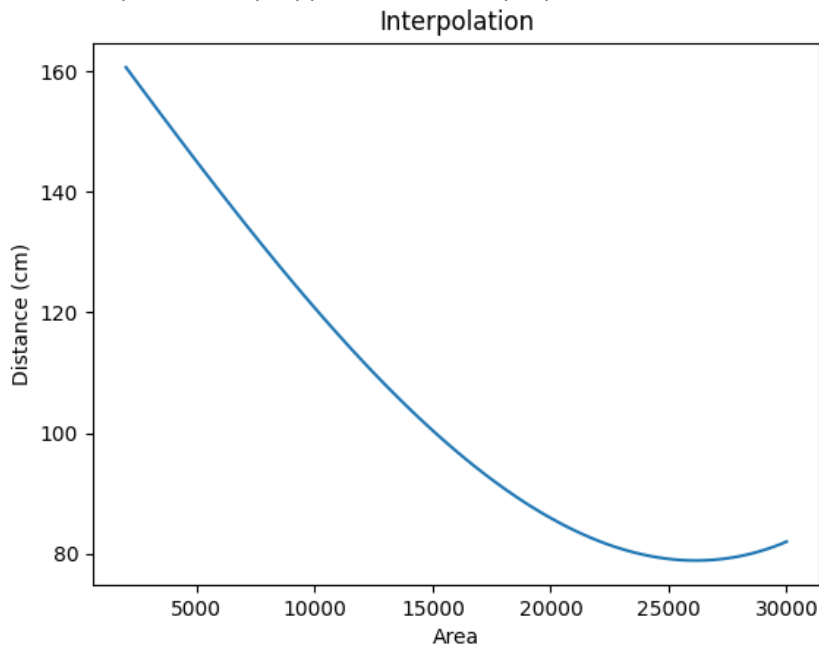


Εικόνα 4 Background Subtraction και δημιουργία μάσκας

Λόγω θορύβου κάποιες φορές η μάσκα βγάξει λάθος αποτελέσματα και δεν εντοπίζει την θέση του drone ,έτσι επιλέγεται πάντα η περιοχή που έχει το μεγαλύτερο εμβαδόν έχει οριστεί ένα ελάχιστο

κατώφλι εμβαδόν περιοχής ώστε να θεωρηθεί ότι σε αυτή την περιοχή υπάρχει drone αφού συνήθως η παρουσία θορύβου έχει ως αποτέλεσμα πολλές και μικρές περιοχές.

- Για να εκτιμηθεί το υψόμετρο του drone υπολογίζεται το εμβαδόν της περιοχής. Έχοντας μετρήσει για διαφορετικές τιμές υψόμετρου την τιμή του εμβαδού γίνεται ένα interpolation με αποτέλεσμα να εξάγεται ένα πολυώνυμο που να συσχετίζει το εμβαδόν της περιοχής με την απόσταση από την κάμερα. Οπότε αφαιρώντας αυτή την απόσταση από το ύψος της κάμερας σε σχέση με το πάτωμα βρίσκεται το υψόμετρο.



Εικόνα 5 Πολυώνυμο για εκτίμηση απόστασης από κάμερα

- Για να υπολογιστούν οι 2D συντεταγμένες του κέντρου υπολογίζονται οι ροπές των σημείων της περιοχής
- Οπότε γνωρίζοντας τις 2D συντεταγμένες του κέντρου, την απόσταση του από την κάμερα και τις παραμέτρους της κάμερας γίνεται να γίνει ο ανάστροφος μετασχηματισμός ενός 3D σημείου στο 2D επίπεδο της κάμερας.



Εικόνα 6 Εξαγωγή 3D συντεταγμένων

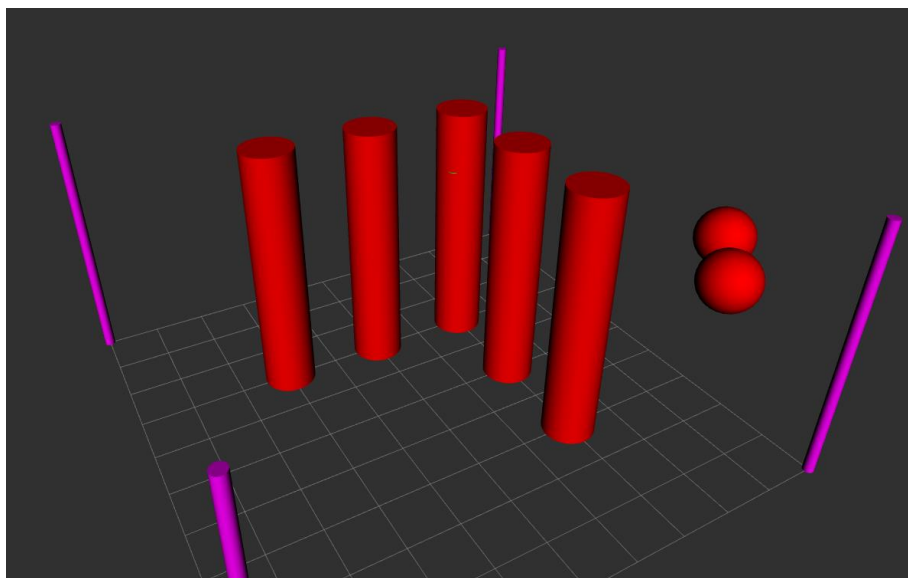
Στην εικόνα παρακάτω φαίνονται δεξιά οι 2D συντεταγμένες και το εμβαδόν της περιοχής και αριστερά οι 3D συντεταγμένες.

3D Απεικόνιση

Η 3D απεικόνιση γίνεται μέσω του εργαλείου Rviz που διαθέτει το ROS. Συγκεκριμένα η θέση και η περιστροφή του drone συμπεριλαμβάνονται στο μήνυμα τύπου Marker και ρυθμίζοντας το Rviz γίνεται άμεση απεικόνιση.

Δημιουργία εμποδίων

Υπάρχουν 2 τύποι εμποδίων, οι κύλινδροι και οι σφαίρες. Στην συγκεκριμένη υλοποίηση η θέση τους ορίζεται από πριν μέσω του κώδικα ωστόσο προορίζεται να παριστάνεται το καθ' ένα από έναν Aruco marker και να αλλάζουν δυναμικά θέση. Με κάθε αλλαγή της θέσης και του μεγέθους τους στέλνεται αντίστοιχο μήνυμα στους κόμβους που σχετίζονται με το path planning και τον υπολογισμό των αποστάσεων. Η απεικόνιση γίνεται πάλι μέσω του Rviz και οι μωβ κύλινδροι σηματοδοτούν τα όρια της περιοχής εργασίας.

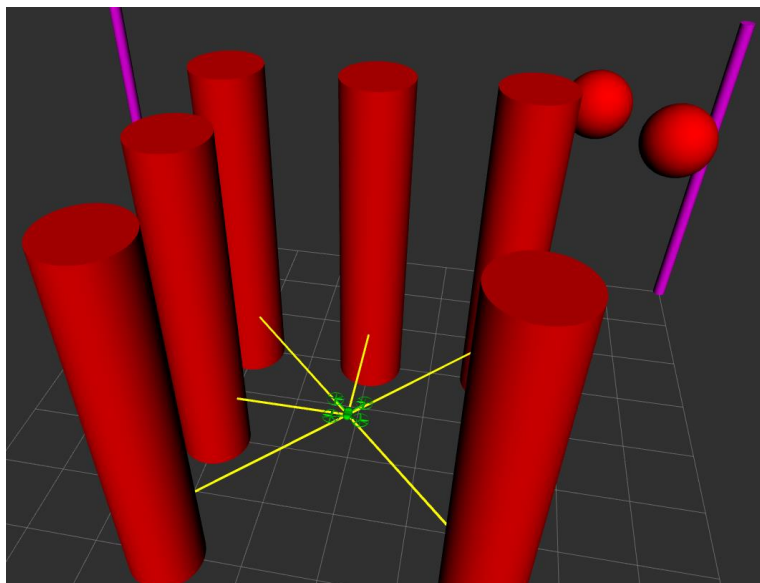


Εικόνα 7 Απεικόνιση Εμποδίων

Υπολογισμός αποστάσεων

Υπολογίζονται οι αποστάσεις στις 8 κατευθύνσεις του drone. Για να γίνει αυτό κάθε νέα θέση και μέγεθος εμποδίου αποθηκεύονται και όταν χρειαστεί να υπολογιστούν οι αποστάσεις δημιουργούνται 8 διανύσματα γύρω από το drone που αντιστοιχούν στις 8 κατευθύνσεις και για κάθε ένα εξάγεται η εξίσωση της ευθείας που περνάει από τα άκρα του. Οπότε υπολογίζεται αν η ευθεία τέμνεται με αντικείμενα και η απόσταση του drone από το σημείο τομής. Στο τέλος για κάθε σημείο κρατιέται η μικρότερη. Επίσης σε κάθε ενημέρωση της θέσης υπολογίζεται η απόσταση σε σχέση με την προηγούμενη και εφόσον αυτή ξεπερνάει ένα κατώφλι αθροίζεται στην συνολική απόσταση που έχει διανύσει το drone και η νέα θέση αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί ως παλιά στην επόμενη φορά.

Για τον υπολογισμό των σημείων τομής ευθύγραμμου τμήματος με κύκλο χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω διαδικασία [5] αφού στις συντεταγμένες του ευθυγράμμου τμήματος έχουν αφαιρεθεί οι συντεταγμένες του κύκλου γιατί η διαδικασία θεωρεί ότι ο κύκλος βρίσκεται στο σημείο $0(0,0)$



όπου:

- $(x_1, y_1) \rightarrow$ αρχή ευθύγραμμου τμήματος
- $(x_2, y_2) \rightarrow$ τέλος ευθύγραμμου τμήματος
- $r \rightarrow$ ακτίνα κύκλου

Εικόνα 8 Υπολογισμός τομής ευθείας-κύκλου

$$d_r = \sqrt{d_x^2 + d_y^2}$$
$$D = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{vmatrix} = x_1 y_2 - x_2 y_1$$

gives the points of intersection as

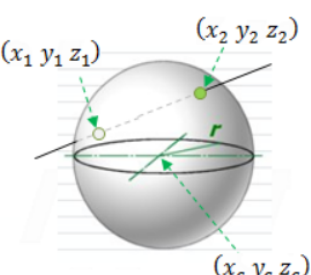
$$x = \frac{D d_y \pm \operatorname{sgn}^*(d_y) d_x \sqrt{r^2 d_r^2 - D^2}}{d_r^2}$$
$$y = \frac{-D d_x \pm |d_y| \sqrt{r^2 d_r^2 - D^2}}{d_r^2},$$

Για το σημείο τομής ευθείας με κύλινδρο σε 3D επίπεδο αρχικά υπολογίζεται η τομή της προβολής της ευθείας στο xy επίπεδο με τον κύκλο που έχει κέντρο και ακτίνα ίδιο με τον κύλινδρο στο xy επίπεδο. Έπειτα γνωρίζοντας το σημείο τομής στο xy επίπεδο και την εξίσωση της ευθείας υπολογίζεται η συντεταγμένη z και το σημείο θεωρείται τομή μόνο αν το z που υπολογίστηκε είναι εντός ορίων του ύψους του κυλίνδρου.

Για τον υπολογισμό του σημείου τομής μιας ευθείας και μιας σφαίρας χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω διαδικασία [6].

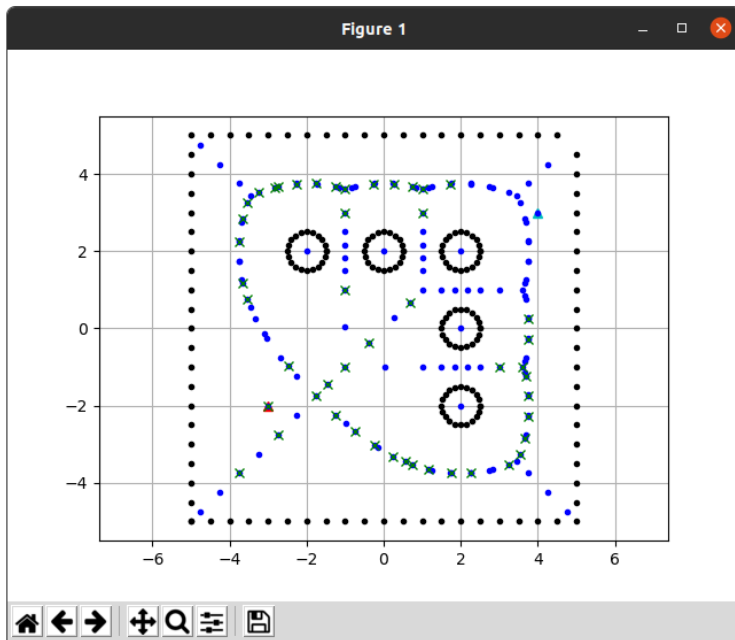
Path Planning

Για να γίνει εφικτό το path planning όλες οι νέες θέσεις των εμποδίων αποθηκεύονται στην μνήμη και δημιουργείται ένα KD Tree ώστε να γίνεται γρηγορότερη ανάκτηση των γειτονικών σημείων. Έπειτα, υπολογίζεται το διάγραμμα Voronoi του οποίου οι ακμές ισαπέχουν από τα γειτονικά σημεία και έτσι βολεύει να γίνει αναζήτηση του ελάχιστου μονοπατιού χρησιμοποιώντας αυτές. Ωστόσο κάποιες

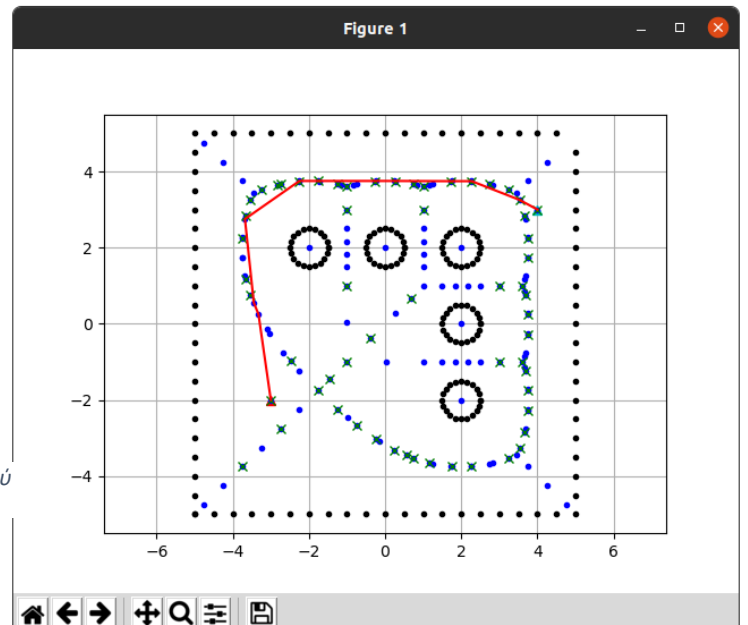
 <p>Line given by parametric form is:</p> $x = x_1 + (x_2 - x_1)t$ $y = y_1 + (y_2 - y_1)t$ $z = z_1 + (z_2 - z_1)t$ <p>Sphere equation:</p> $(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 = r^2$	<p>Substituting line values x, y and z into the equation of the sphere gives a quadratic equation of the form: $at^2 + bt + c = 0$</p> <p>Where: (see example)</p> $a = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$ $b = -2[(x_2 - x_1)(x_c - x_1) + (y_2 - y_1)(y_c - y_1) + (z_2 - z_1)(z_c - z_1)]$ $c = (x_c - x_1)^2 + (y_c - y_1)^2 + (z_c - z_1)^2 - r^2$ <p>The solution for t is: $t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$</p> <p>Condition for intersection: $b^2 - 4ac > 0$</p> <p>Condition for tangency: $b^2 - 4ac = 0$</p> <p>No intersection when: $b^2 - 4ac < 0$</p> <p>The intersection points can be calculated by substituting t in the parametric line equations.</p>
---	--

διαγράφονται καθώς λαμβάνεται υπόψιν και το μέγεθος του drone, έτσι θεωρώντας το drone ως ένα κύκλο με συγκεκριμένη ακτίνα, ελέγχεται για ποιες ακμές θα υπάρξει σύγκρουση του drone με τα εμπόδια αν τις ακολουθήσει. Παρακάτω φαίνεται το εξαγόμενο Voronoi διάγραμμα, με μαύρο τα εμπόδια και με μπλε οι ακμές που πρόκειται να εξερευνηθούν είναι με μπλε.

Για την εύρεση του ελάχιστου μονοπατιού χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος του Dijkstra ο οποίο δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 9 Εφαρμογή Voronoi διαγράμματος και εύρεση Ελάχιστου μονοπατιού



Βιβλιογραφία

- [1] «ROS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ros.org/>.
- [2] «OpenCV,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://opencv.org/>.
- [3] F. & M.-S. R. & M.-C. R. Romero-Ramirez, «Speeded Up Detection of Squared Fiducial Markers,» *Image and Vision Computing*, 2018.
- [4] S. & M.-S. R. & M.-C. F. & M.-C. R. Garrido-Jurado, « Generation of fiducial marker dictionaries using Mixed Integer Linear Programming,» *Image and Vision Computing*, 2015.
- [5] «Circle-Line Intersection,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/Circle-LineIntersection.html>.
- [6] «Intersection of a line and a sphere,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.ambrsoft.com/TrigoCalc/Sphere/SpherLineIntersection_.htm.