



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

**ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΜΗ-
ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ (UAV)**

Ζορμπάς Αλέξανδρος

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος (Επιβλέπων)

Καθηγητής Ζερβάκης Μιχάλης

Επ. Καθηγητής Παρτσινέβελος Παναγιώτης

Χανιά Απρίλιος 2018

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ανεκτίμητη υποστήριξη που μου παρείχαν, παρά τις δυσκολίες της εποχής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Άγγελο Αντωνόπουλο και Στάθη Μπίκο, της ομάδας SenseLab, για τη καθοδήγηση στο κομμάτι της συναρμολόγησης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το κ. Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την αποδοχή συμμετοχής τους στην αξιολόγηση.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιθεώρηση γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μία από πολλές εφαρμογές των μη-επανδρωμένων αεροσκαφών. Η παρούσα εργασία εξετάζει την αποτελεσματικότητα της χρήσης βασικών μεθόδων επεξεργασίας εικόνας, την εύρεση των περιορισμών τους σε γλώσσα Matlab και τη συναρμολόγηση ενός μη-επανδρωμένου αεροσκάφους. Προτείνονται δύο μεθοδολογίες, οι οποίες έχουν ως κοινά χαρακτηριστικά τη μετατροπή εικόνας σε grayscale, ανίχνευση ακμών με Laplacian of Gaussian, εφαρμογή του Μετασχηματισμού Hough και δημιουργία περιοχής ενδιαφέροντος γύρω από κάθε εντοπισμένο καλώδιο. Η πρώτη εξάγει τις περιοχές από την εικόνα, αφού πρώτα γίνει επεξεργασία ενός αριθμού αρχικών εικόνων για την επιτυχή ανίχνευση των καλωδίων. Η δεύτερη μεθοδολογία εστιάζεται στο κεντρικό μέρος της εικόνας, χωρίζοντας το σε τρία τμήματα (επιμέρους περιοχές ενδιαφέροντος) χωρίς να χρειάζεται να προηγηθεί εντοπισμός των καλωδίων. Στη περίπτωση ύπαρξης βλάβης (κομμένο καλώδιο), οι μεθοδολογίες αξιοποιούν χαρακτηριστικά των γραμμών, όπως η συνέχεια τους, η ομοιότητα και η σταθερή μεταξύ τους απόσταση για τη διάκριση τους από άλλες δομές που εμφανίζονται στην εικόνα, αναγνωρίζοντας την απουσία καλωδίου.

ABSTRACT

The inspection of power transmission lines is one of many applications of unmanned aircraft. This paper examines the effectiveness of using basic image processing methods, finding their limitations in Matlab and assembling a unmanned aircraft. Two methodologies are proposed which have in common features like grayscale image conversion, Laplacian of Gaussian edge detection, application of Hough Transformation and creation of areas of interest around the transmission lines. The first one extracts the areas from the image after processing a number of original images in order to detect successfully the lines. The second methodology focuses on the central part of the image, dividing it into three sections (smaller areas of interest) without having to locate the lines first. In the case of a broken line, the methodologies use special line features such as their continuity, resemblance and constant distance between them to distinguish them from other structures shown in the image, detecting their absence.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Σχετική Βιβλιογραφία.....	8
1.2 Στόχος και συνεισφορά διπλωματικής εργασίας	10
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΗ-ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ	12
2.1 Γενική Περιγραφή	12
2.1.1 Αεροσκάφος	13
2.1.2 Σταθμός ελέγχου	14
2.1.3 Φορτίο	15
2.2 Βασικά Εξαρτήματα ΣμηΕΑ.....	15
2.2.1 Ελεγκτής Πτήσης	16
2.2.2 Σκελετός.....	18
2.2.3 Ηλεκτροκινητήρες	19
2.2.4 Έλικας	20
2.2.5 Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας	21
2.2.6 Μπαταρία.....	23
2.2.7 Τηλεχειριστήριο.....	24
2.2.8 Ραδιοτηλεμετρία.....	25
2.2.9 GPS.....	26
2.3 Επιπλέον Εξοπλισμός	26
2.3.1 Raspberry Pi	27
2.3.2 Κάμερα.....	29
2.3.3 Μετάδοση Βίντεο	29
2.3.4 Οθόνη.....	30
2.3.5 Gimbal.....	31
2.4 Κόστος αγοράς.....	31
3. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	32
3.1 Ορισμός Προβλήματος	32
3.2 Γενική Μεθοδολογία	33
3.3 Μετασχηματισμός Hough.....	34
3.4 Προτεινόμενες Μεθοδολογίες	36
3.5 Περιοχές Ενδιαφέροντος από εικόνα.....	37
3.5.1 Περιγραφή	37
3.5.2 Περιορισμοί	38
3.5.3 Εντοπισμός Βλάβης	39
3.6 Περιοχές Ενδιαφέροντος από Πίνακα Hough.....	41

3.6.1	Περιγραφή	41
3.6.2	Περιορισμοί	43
3.6.3	Εντοπισμός Βλάβης	44
3.7	Σύγκριση μεθόδων ανίχνευσης ακμών.....	45
4.	ROBOT OPERATING SYSTEM	47
4.1	Γενική Περιγραφή	47
4.2	Λειτουργία	48
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	50
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53

Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ RICHAWK	16
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΤΗΣΗΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΤΗΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 5. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΡITCH ΕΛΙΚΑ	21
ΕΙΚΟΝΑ 6. HIGH RITCH - LOW RITCH	21
ΕΙΚΟΝΑ 7. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	22
ΕΙΚΟΝΑ 8. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΤΗΣΗΣ ΜΕ ESC ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ	23
ΕΙΚΟΝΑ 9. ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ	24
ΕΙΚΟΝΑ 10. KDS AT9 REMOTE CONTROL	25
ΕΙΚΟΝΑ 11. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΤΗΣΗΣ ΜΕ ΔΕΚΤΗ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟΥ	25
ΕΙΚΟΝΑ 12. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΤΗΣΗΣ ΜΕ ΠΟΜΠΟ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ	26
ΕΙΚΟΝΑ 13. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΤΗΣΗΣ ΜΕ GPS MODULE	26
ΕΙΚΟΝΑ 14. RASPBERRY PI 3 MODEL B	27
ΕΙΚΟΝΑ 15. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΤΗΣΗΣ ΜΕ RASPBERRY PI 3	28
ΕΙΚΟΝΑ 16. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ RASPBERRY PI 3 MODEL B	28
ΕΙΚΟΝΑ 17. RASPBERRY PI CAMERA VERSION 2.1	29
ΕΙΚΟΝΑ 18. ACTION CAMERA SJCAM SJ5000X	29
ΕΙΚΟΝΑ 19. AV TRANSMITTER TS800	30
ΕΙΚΟΝΑ 20. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ A/V TRANSMITTER ΜΕ ACTION CAMERA	30
ΕΙΚΟΝΑ 21. MONITOR BOSCAM GALAXY RD2	30
ΕΙΚΟΝΑ 22. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ GIMBAL	31
ΕΙΚΟΝΑ 23. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑ	31
ΕΙΚΟΝΑ 24. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	33
ΕΙΚΟΝΑ 25. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΕΔΙΟΥ HOUGH	36
ΕΙΚΟΝΑ 26. BLOCK DIAGRAM – ROI FROM FRAME	37
ΕΙΚΟΝΑ 27. ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ 1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΝΤΕΟ (ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ)	38
ΕΙΚΟΝΑ 28. ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ 2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΝΤΕΟ	38
ΕΙΚΟΝΑ 29. BLOCK DIAGRAM – ROI FROM FRAME ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ	40
ΕΙΚΟΝΑ 30. ΚΟΠΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ – ROI FROM FRAME	41
ΕΙΚΟΝΑ 31. ΑΠΟΥΣΙΑ ΚΑΛΩΔΙΟΥ – ROI FROM FRAME	41
ΕΙΚΟΝΑ 32. BLOCK DIAGRAM – ROI FROM HOUGH TABLE	42
ΕΙΚΟΝΑ 33. ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ 1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΝΤΕΟ (ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ, ΟΡΙΑ ROIS ΜΕ ΚΙΤΡΙΝΟ ΧΡΩΜΑ)	43
ΕΙΚΟΝΑ 34. ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ 2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΝΤΕΟ	43
ΕΙΚΟΝΑ 35. BLOCK DIAGRAM – ROI FROM HOUGH TABLE ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ	44
ΕΙΚΟΝΑ 36. ΚΟΠΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ – ROI FROM HOUGH TABLE	45
ΕΙΚΟΝΑ 37. ΑΠΟΥΣΙΑ ΚΑΛΩΔΙΟΥ – ROI FROM HOUGH TABLE	45
ΕΙΚΟΝΑ 38. ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΚΜΩΝ	46
ΕΙΚΟΝΑ 39. ROS GRAPH	48
ΕΙΚΟΝΑ 40. ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΓΡΑΜΜΩΝ (-3° ΕΩΣ 3°)	51

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σχετική Βιβλιογραφία

Οι εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατέχουν σημαντικό ένα σημαντικό κομμάτι της σύγχρονης βιομηχανίας. Είναι σύνηθες φαινόμενο η ύπαρξη βλαβών λόγω φθοράς υλικού, δημιουργώντας προβλήματα στη παροχή ρεύματος ή ακόμα και σοβαρά ατυχήματα. Για τη πρόληψη των βλαβών πραγματοποιούνται επιθεωρήσεις των αγωγών από αέρα μέσω ελικοπτέρων, από έδαφος και από εξειδικευμένα ρομπότ που διατρέχουν κατά μήκος των αγωγών [1]. Η χρήση ελικοπτέρων επιφέρει σοβαρό χρηματικό κόστος, ενώ ταυτόχρονα τίθενται σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Τα ρομπότ απαιτούν την προσαρμογή στον ίδιο τον αγωγό, το βάρος τους ωστόσο μπορεί να προκαλέσει επιπλέον φθορά και η ικανότητα να ξεπερνούν τυχόν εμπόδια είναι περιορισμένη [2].

Τα τελευταία χρόνια, γίνεται συχνότερη η χρήση Συστημάτων μη-Επανδρωμένων Αεροσκαφών. Μία από τις πολλές εφαρμογές τους είναι η εναέρια επιθεώρηση γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας. Εξακολουθούν να βρίσκονται σε εξέλιξη μέθοδοι αξιοποίησης τους.

Οι γραμμές είναι, γενικά, μεγάλες ευθείες με σχετικά χαμηλή καμπυλότητα, το gray level τους δεν εμφανίζει υπερβολικές μεταβολές και το πάχος τους είναι 1 με 2pixels [11]. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει αρκετός θόρυβος στην εικόνα, γίνεται χρήση Gaussian φίλτρου αρχικά, Laplacian φίλτρου ύστερα για εύρεση ακμών και υπολογισμός zero crossings ώστε οι ακμές να γίνουν ευδιάκριτες. Ιδιαίτερο

ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανίχνευση γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας από δεδομένα LIDAR [17]. Προτείνεται ο διαχωρισμός των αντικειμένων που ανήκουν στο έδαφος (σχεδόν ίδια με αυτό) από εκείνα που δεν ανήκουν, όπως δέντρα και γραμμές. Πριν εφαρμοστεί ο μετασχηματισμός Hough, γίνεται χρήση στατιστικής ανάλυσης για εύρεση skewness και κυρτότητας γραμμών. Μια επιπλέον περίπτωση όπου ο μετασχηματισμός Hough βοηθά σημαντικά στην ανίχνευση γραμμών είναι με τη χρήση ενός 94GHz millimeter-wave ραντάρ ακόμη και τη νύχτα [18]. Ένας προ-εκπαιδευμένος Support Vector Machine (SVM) classifier απορρίπτει τους πιθανούς εσφαλμένους εντοπισμούς γραμμών από Hough. Η συγκεκριμένη προτεινόμενη μεθοδολογία περιλαμβάνει και particle filtering για να γίνεται tracking των γραμμών, αξιοποιώντας τη κλίση των γραμμών και την ομοιότητα που εμφανίζουν ως ευθείες. Προηγμένες τεχνικές, όπως τεχνητή νοημοσύνη και νευρωνικά δίκτυα παρουσιάζουν εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η χρήση neural networks για εύρεση line segments βοηθά όταν υπάρχει πολύπλοκο background. Η εύρεση γραμμών συνεχίζεται μέσω Line Segment Descriptor(LSD) και Hough Transform προσπαθώντας να βελτιώσει την επεξεργασία με τον αλγόριθμο levenberg-marquardt για την εύρεση των Vanishing Points (VP). Εκτός από την αναζήτηση καλωδίων ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν διαφορετικές εφαρμογές όπου απαιτείται η χρήση Hough Transform για την εύρεση γραμμών. Για την επιθεώρηση υπόγειων σωληνώσεων, εφαρμόζεται μορφολογική ανάλυση (συγκεκριμένα area-opening), ακολουθώντας edge detection και Hough Transform.

1.2 Στόχος και συνεισφορά διπλωματικής εργασίας

Ο Μετασχηματισμός Hough διαδραματίζει αδιαμφισβήτητα σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση γεωμετρικών σχημάτων. Στη παρούσα εργασία, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην εύρεση γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βασικών μεθόδων image processing. Το background του εξεταζόμενου υλικού είναι αρκετά πολύπλοκο ώστε να διακρίνεται σχετικά εύκολα από τα καλώδια. Για το λόγο αυτό, δεν έγινε χρήση μεθόδων machine learning ή artificial intelligence. Αναπτύχθηκαν δύο μεθοδολογίες ανίχνευσης γραμμών, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην αξιοποίηση του Hough Transform. Το αεροσκάφος που συναρμολογήθηκε, καταγράφει φωτογραφίες όπου οι αγωγοί εμφανίζονται ως κάθετες γραμμές (bird view), οπότε η αναζήτηση στον πίνακα Hough δε πραγματοποιείται σε ολόκληρο εύρος μοιρών γωνίας. Προτείνεται η αναζήτηση σε συγκεκριμένο εύρος γωνίας (κοντά στη κάθετη) έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου επεξεργασίας και της πιθανότητας ανίχνευσης λανθασμένων γραμμών ως ένα σημείο. Οι βασικές μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, όμως, δεν είναι επαρκείς για την ύπαρξη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων επεξεργασίας σε εικόνες όπου τα καλώδια δεν είναι ευδιάκριτα σε σχέση με το background. Σε τέτοιες περιπτώσεις εφαρμόζονται πιο προηγμένες δομές επεξεργασίας, πολλές φορές υποβοηθούμενες από το υλικό βασικών. Για την επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας επεξεργασίας εικόνας έγινε προσεκτική μελέτη της συγκεκριμένης εφαρμογής ώστε να εντοπιστούν τα ειδικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου προς αναγνώριση και των συνθηκών υπό τις οποίες αυτά εμφανίζονται. Η συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να περιγραφεί και να αναλυθεί σε οπτικούς όρους εστιάζοντας α. στο χαρακτηριστικό της συνέχειας της γραμμής, β. στο χαρακτηριστικό της ομοιότητας του αντικειμένου (γραμμή) και γ. στην έντονη διαφοροποίηση του αντικειμένου (γραμμή), ως προς το σχήμα του, από το περιβάλλον.

Ειδικά για το γ., φυσικά υπάρχει το ενδεχόμενο να βρεθούν κι άλλες ευθείες γραμμές στο περιβάλλον, αλλά αυτές που αναζητούνται έχουν το επιπλέον

χαρακτηριστικό της ‘σταθερής’ κατεύθυνσης σε πολλαπλά, διαδοχικά frames. Δηλαδή, μπορεί το περιβάλλον να έχει όμοιες δομές με αυτή που αναζητείται, αλλά επειδή είναι μη συνεχόμενες ή/και με διαφορετικές κατευθυντικότητες από frames σε frames, τελικά να απορρίπτονται. Στόχος της διπλωματικής εργασίας αποτελεί την εύρεση των περιορισμών χρήσης των βασικών, αυτών, δομών και παράλληλα τη προσπάθεια εξαγωγής χρήσιμου επεξεργασμένου υλικού σε περιπτώσεις όπου οι γραμμές είναι ευδιάκριτες σε σχέση με το περιβάλλον.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΗ-ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

2.1 Γενική Περιγραφή

Τα Συστήματα Μη-Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) αποτελούν ένα σύνολο από επιμέρους υποσυστήματα όπως εκείνο του αεροσκάφους, του φορτίου που τυχόν μεταφέρει και του σταθμού ελέγχου. Η λειτουργία είναι εφικτή χωρίς την ύπαρξη καταρτισμένου ανθρώπινου προσωπικού εντός του αεροσκάφους. Ειδικά σχεδιασμένο υλικό, εφοδιασμένο με αισθητήρες και λογισμικό προσαρμοσμένο για πτήση, είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση του αεροσκάφους σύμφωνα με τις εντολές που λαμβάνει από το τηλεχειριστήριο ή το σταθμό ελέγχου.

Η δυνατότητα προσαρμογής των μη-επανδρωμένων αεροσκαφών για ποικίλες εφαρμογές, έχει ως αποτέλεσμα τη διαρκώς αυξανόμενη χρήση τους. Ορισμένες από αυτές είναι η λήψη εναέριων φωτογραφιών/βίντεο, δειγματοληψία και ανάλυση της ατμόσφαιρας για πρόγνωση καιρού, αστυνομικές, πυροσβεστικές και στρατιωτικές επιχειρήσεις, επιθεώρηση γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, κλπ.

2.1.1 Αεροσκάφος

Ο τύπος και το μέγεθος του αεροσκάφους εξαρτάται από τις ανάγκες της αποστολής που καλείται να φέρει εις πέρας. Εκτός του βάρους των εξαρτημάτων του, μεταφέρει τυχόν απαραίτητο εξοπλισμό που απαιτεί η αποστολή, όπως κάμερα και ραντάρ. Επηρεάζεται σημαντικά, λοιπόν, η διάρκεια πτήσης από το συνολικό βάρος του αεροσκάφους. Για το λόγο αυτό, είναι αναγκαία η κατάλληλη επιλογή μπαταρίας και ελίκων σε συνδυασμό με τους ηλεκτροκινητήρες.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες τύπων αεροσκαφών, με σταθερές πτέρυγες (fixed-wing) , μονού ηλεκτροκινητήρα (single motor) και πολυκοπτέρου (multicopter) που διαθέτει παραπάνω από έναν ηλεκτροκινητήρα. Κρίνοντας από το είδος της αποστολής στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε τύπος, παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα.

Τα ΣμηΕΑ τύπου σταθερής πτέρυγας πλησιάζουν αρκετά σε ομοιότητα και αρχή πτήσης τα αεροπλάνα. Απογειώνονται, πετάνε και προσγειώνονται δίχως την ύπαρξη ηλεκτροκινητήρα. Είναι ικανά να πετάνε σε μεγαλύτερα υψόμετρα και η διάρκεια πτήσης κυμαίνεται από μερικά λεπτά της ώρας ως και 16 ώρες δεδομένου ότι διαθέτουν επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για λειτουργία. Απαραίτητο κρίνεται, όμως, το σύστημα απογείωσης του συγκεκριμένου είδους ειδάλλως η πτήση είναι αδύνατη. Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι δεν έχουν τη δυνατότητα αιώρησης πάνω από σημείο, μετακινούνται αδιάπαυστα.

Από την άλλη μεριά, η ύπαρξη ενός ή περισσότερων ηλεκτροκινητήρων ενισχύει τη σταθερότητα στη πτήση καθώς επίσης διευκολύνει την απογείωση και τη προσγείωση που γίνονται κατακόρυφα. Η διάρκεια πτήσης είναι σημαντικά λιγότερη σε σχέση με της σταθερής πτέρυγας, φτάνοντας τα 35 λεπτά της ώρας με ιδανικές καιρικές συνθήκες.

2.1.2 Σταθμός ελέγχου

Όπως αναφέρεται στην ονομασία του, ο σταθμός ελέγχου είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο του αεροσκάφους σε όλη τη διάρκεια της αποστολής. Μέσω αυτού, ο άνθρωπος αλληλεπιδρά με το σύστημα αφού ελέγχει την εξέλιξη της αποστολής βρισκόμενος επί εδάφους (GCS), πλοίου (SCS) ή αεροπλάνου (ACS). Είναι συνηθισμένο να προ-σχεδιάζεται η διαδρομή του αεροσκάφους στο σταθμό, που στη περίπτωση αυτή θεωρείται MPCCS.

Κατά την αποστολή, ακόμα και εν πτήση, το αεροσκάφος βρίσκεται σε επικοινωνία με το σταθμό ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, μεταδίδονται τα απαραίτητα δεδομένα για τη πτήση, όπως τα επόμενα στίγματα που πρέπει να επισκεφθεί και τη χρονική στιγμή που χρειάζεται να χρησιμοποιήσει τυχόν επιπλέον εξοπλισμό που φέρει. Αντίστοιχα, το αεροσκάφος στέλνει στο σταθμό πληροφορίες για τη τρέχουσα κατάστασή του, δηλαδή το γεωγραφικό στίγμα του, προσανατολισμό, υψόμετρο, τάση μπαταρίας, κλπ. Ανάλογα με την αποστολή, είναι δυνατόν να ληφθούν εικόνες και βίντεο από τον εξοπλισμό.

Ο σταθμός ελέγχου εξασφαλίζει λειτουργίες παρόμοιες με το πιλοτήριο των επανδρωμένων αεροσκαφών με στόχο τον πλήρη έλεγχο στη διαχείριση των συστημάτων κατά την διάρκεια της αποστολής. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας μηχανικής εμπλοκής ή ανεπιθύμητης κακής λειτουργίας των χειριστηρίων και των συστημάτων ελέγχου. Σημαντική είναι επίσης η παροχή μέσων που σε περίπτωση προβλέψιμης βλάβης, αποτρέπουν αυτόματα χειρισμό συστημάτων τα οποία μπορούν να επιδεινώσουν τη κατάσταση. Ενδεικτικές πινακίδες και αναγραφές στο οπτικό πεδίο του χειριστή, τον ενημερώνουν για τη τρέχουσα κατάσταση των συστημάτων του αεροσκάφους και τους περιορισμούς τους.

2.1.3 Φορτίο

Ένα μη-επανδρωμένο αεροσκάφος καλείται να αντεπεξέρχεται σε παραπάνω από ένα τύπο αποστολής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη υποστήριξης ποικίλων ειδών φορτίου (payload) και δυνατοτήτων. Κάθε αποστολή απαιτεί διαφορετικό εξοπλισμό, οπότε δεν είναι εφικτό να σχεδιαστεί ένας συγκεκριμένος, ο οποίος να καλύπτει όλες τις περιπτώσεις.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου απαιτείται ο σχεδιασμός εξειδικευμένου payload για μια αποστολή. Η επιλογή των επιμέρους εξαρτημάτων, αισθητήρων, ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, είδους υλικού κατασκευής είναι κρίσιμη τόσο για την απόδοσή του όσο για την απόδοση του αεροσκάφους που το φέρει. Προτιμάται η δοκιμή επέκτασης των δυνατοτήτων συστημάτων που έχουν ήδη αναπτυχθεί παρά η απευθείας δημιουργία νέου είδους payload λόγω κόστους. Για παράδειγμα, το υλικό της βιντεοκάμερας ενός αεροσκάφους που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τοπογραφικών σχεδίων, μπορεί να χρησιμεύσει στην ανίχνευση ανθρώπων ή αντικειμένων ενδιαφέροντος μέσω ψηφιακής επεξεργασίας.

Ύστερα από την ανάπτυξη, χρειάζεται πιστοποίηση σωστής λειτουργίας του payload και αξιοπιστίας του αεροσκάφους. Είναι αρκετά πιθανόν ότι η επέκταση δε θα καλύπτει τις ανάγκες του αρχικού σκοπού, προβαίνοντας στη δημιουργία νέου συστήματος που σίγουρα θα επιβαρύνει το κόστος παραγωγής και το χρόνο ολοκλήρωσης.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες payload που διαχωρίζονται με βάση τη παραμονή επί του αεροσκάφους όπως αισθητήρες, βιντεοκάμερες και την αρκετά πιθανή έως βέβαιη αποχώρηση όπως υγρό ψεκασμού δέντρων, υλικό πυρόσβεσης.

2.2 Βασικά Εξαρτήματα ΣμηΕΑ

Η επιλογή των εξαρτημάτων ενός ΣμηΕΑ πρέπει να είναι προσεκτική, ώστε να είναι συμβατά μεταξύ τους προσφέροντας ασφαλές πτήσεις. Γνωρίζοντας τα

επιμέρους χαρακτηριστικά, βοηθά στο λεπτομερή έλεγχο πριν κάθε αποστολή και σε περίπτωση βλάβης, ξεκαθαρίζει το πού και τι πρέπει ο πιλότος να ελέγξει. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται με τη σειρά επιλογής, τα εξαρτήματα του αεροσκάφους της παρούσας εργασίας.

2.2.1 Ελεγκτής Πτήσης

Καθ' όλη τη λειτουργία του ΣμηΕΑ, η μονάδα που είναι υπεύθυνη για την εποπτεία και τη πτήση του λέγεται ελεγκτής πτήσης (Flight Controller – FC). Αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή και ένα σύνολο αισθητήρων με σκοπό τον έλεγχο του ΣμηΕΑ. Για τη παρούσα εργασία, επιλέχθηκε ένας κλώνος του Pixhawk PX4, του οποίου τα χαρακτηριστικά αναλύονται στη συνέχεια.



Εικόνα 1. Ελεγκτής πτήσης Pixhawk

Διαθέτει το ολοκληρωμένο κύκλωμα *STM32F427* που αποτελείται από τον επεξεργαστή αρχιτεκτονικής ARM 32-bit, Cortex M4, χρονισμένο στα 168MHz, μνήμη RAM 256KB και ενσωματωμένο GPS U-Blox 7. Σε περίπτωση βλάβης του βασικού κυκλώματος, τίθεται σε λειτουργία το δευτερεύον ολοκληρωμένο κύκλωμα *STM32F103*.

Περιλαμβάνει ως βασικό επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο το MPU6000, επιπλέον αισθητήρα γυροσκοπίου 16-bit 3-axis ST Micro L3GD20H για

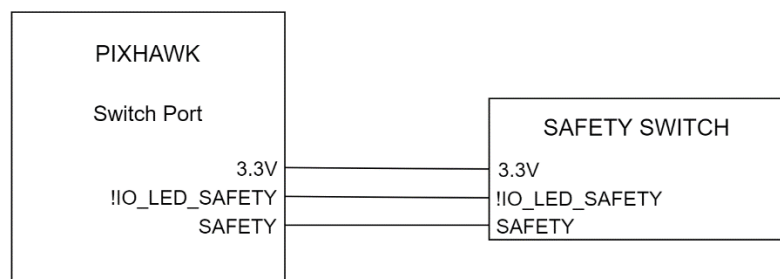
αναγνώριση του προσανατολισμού του αεροσκάφους, μαγνητόμετρο 14-bit 3-axis ST Micro LSM303D για την ανίχνευση εξωτερικών επιρροών (περιβάλλον) και αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης MEAS MS5611 για εξακρίβωση ύψους.

Για την αποφυγή ατυχήματος σε περίπτωση στροφής των ηλεκτροκινητήρων από ακούσια εντολή του πιλότου, υπάρχει ο διακόπτης ασφαλείας. Όταν ενεργοποιηθεί το ΣμηΕΑ, ο διακόπτης αναβοσβήνει συνεχόμενα υποδηλώνοντας ότι οποιαδήποτε εντολή του τηλεχειριστηρίου δε θα εκτελεστεί.

Μόλις πατηθεί ο διακόπτης, εκπέμπεται σταθερό κόκκινο χρώμα, υποδηλώνοντας ότι το αεροσκάφος είναι έτοιμο για απογείωση και ότι ο έλεγχος του έχει ανατεθεί στο τηλεχειριστήριο.



Εικόνα 2. Διακόπτης ασφαλείας ελεγκτή πτήσης



Εικόνα 3. Συνδεσμολογία ελεγκτή πτήσης με διακόπτη ασφαλείας

Κατά τη προετοιμασία πριν τη πτήση, είναι δυνατόν να παρακαμφθεί η λειτουργία του διακόπτη, θέτοντας ενεργό το σήμα *!IO_LED_SAFETY* από το σταθμό ελέγχου. Το αεροσκάφος γνωρίζει ότι ο διακόπτης είναι ενεργοποιημένος, όταν το σήμα *SAFETY* είναι ενεργό.

2.2.2 Σκελετός

Ο σκελετός αποτελεί τη κοινή βάση μέσω της οποίας συνδέονται όλα τα εξαρτήματα μεταξύ τους. Συνήθη υλικά κατασκευής του είναι αλουμίνιο, ίνες άνθρακα, πλαστικό και ξύλο. Το συναρμολογημένο ΣμηΕΑ της παρούσας εργασίας διαθέτει σκελετό από ίνες άνθρακα επιτυγχάνοντας αρκετά ικανοποιητική διάρκεια πτήσης (σχεδόν 15 λεπτά με ιδανικές καιρικές συνθήκες).



Εικόνα 4. Σκελετός S500

Ο κατασκευαστής προτείνει συγκεκριμένο εύρος επιλογής ηλεκτροκινητήρων, ελίκων, ελεγκτών ταχύτητας και μπαταρίας ανάλογα με το μοντέλο του σκελετού. Συνίσταται για το S500 ηλεκτροκινητήρες μεγέθους 2212 έως 2216, έλικες 10 έως 12 ίντσες, ελεγκτές ταχύτητας 20A έως 40A και μπαταρίες 3 έως 4 κελιών.

2.2.3 Ηλεκτροκινητήρες

Κάθε ΣμηΕΑ βασίζεται εξ' ολοκλήρου στην ικανότητα των ηλεκτροκινητήρων του να παράγουν επαρκή ώση για τη πτήση. Τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την επιλογή τους είναι η διάμετρος του ρότορα, το ύψος του, οι περιστροφές ανά Volt (KV) ανάλογα με τις έλικες και η κατανάλωση ρεύματος.

Όταν τροφοδοτείται ο ηλεκτροκινητήρας με μια τιμή τάσης, περιστρέφεται και όσο αυξάνεται η τάση εισόδου (μέχρι ενός ορίου), η περιστροφή γίνεται ταχύτερα. Ο ρυθμός, λοιπόν, περιστροφής ονομάζεται revolutions per minute (rpm), δηλαδή περιστροφές ανά λεπτό. Ο υπολογισμός τους γίνεται ως εξής :

$$rpm = KV * Voltage \quad (1.1)$$

όπου KV περιστροφές ανά Volt και Voltage η τιμή τάσης εισόδου.

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει στη περίπτωση που ο ηλεκτροκινητήρας δεν επιβαρύνεται από το βάρος κάποιου φορτίου, που θα μείωνε την απόδοση. Μεγάλες τιμές rpm παρουσιάζουν συνήθως ηλεκτροκινητήρες μικρής διαμέτρου, διότι καλούνται να παράξουν ώση με σχετικά χαμηλές τιμές ροπής. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται σε μικρού μεγέθους ΣμηΕΑ (κατηγορία A0).

Από την άλλη μεριά, ηλεκτροκινητήρες μεγάλης διαμέτρου (> 20mm) εμφανίζουν λιγότερα KV αλλά παράγουν αρκετά περισσότερη ροπή. Ευνοούνται μέσω αυτής ΣμηΕΑ που φέρουν βαρύ εξοπλισμό και που καλούνται να πραγματοποιήσουν πτήσεις όπου η σταθερότητα είναι κρίσιμος παράγοντας. Από άποψη απόδοσης, οι ηλεκτροκινητήρες μεγάλης διαμέτρου υπερισχύουν διότι με την ίδια τιμή τάσης, παράγουν περισσότερη ώση παρά τα λιγότερα rpm.

Για την επιλογή κατάλληλων ηλεκτροκινητήρων χρειάζεται η συμβουλή των στοιχείων απόδοσης τους που εκδίδει ο κατασκευαστής τους. Παρέχει μετρήσεις όπως κατανάλωση ρεύματος, ισχύ, ώση χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο μέγεθος ελίκων και διαφορετικές τιμές τάσης (Κεφάλαιο 2.2.6). Πριν την επιλογή, επιβάλλεται η γνώση του βάρους του ΣμηΕΑ και τυχόν επιπλέον εξοπλισμού του.

Για να επιτυγχάνεται έστω απλή αιώρηση, απαιτείται η παραγόμενη ώση να είναι αρκετά μεγαλύτερη από το βάρος. Αναμενόμενο είναι για οποιοδήποτε άλλο χειρισμό, ακόμη και χωρίς αισθητή αντίσταση ανέμου, να χρειάζεται επαρκής ώση.

Στη περίπτωση που οι ηλεκτροκινητήρες λειτουργούν στο όριο των rpm τους, φθείρονται και είναι πιθανόν να πάψουν να λειτουργούν. Γι' αυτό, προτιμάται η χρήση ηλεκτροκινητήρων των οποίων η συνολική ώση ξεπερνά τουλάχιστον το διπλάσιο του βάρους του ΣμηΕΑ, ώστε να αποφεύγονται ατυχήματα.

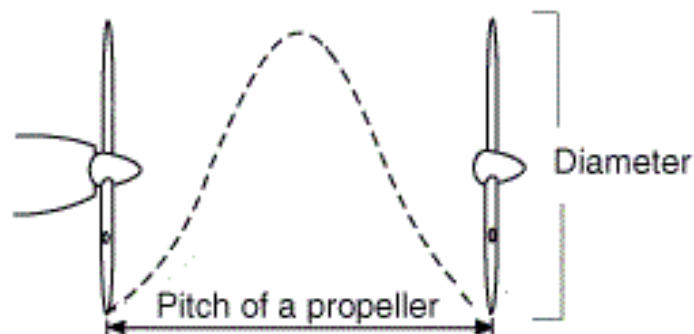
$$Thrust \geq \frac{Weight}{2} \quad (1.2)$$

όπου Thrust η παραγόμενη ώση και Weight το βάρος του ΣμηΕΑ.

Η ώση τους, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, είναι ίση με 2.4 φορές το βάρος του αεροσκάφους, με σκοπό την ύπαρξη περιθωρίου προσθήκης επιπλέον εξοπλισμού.

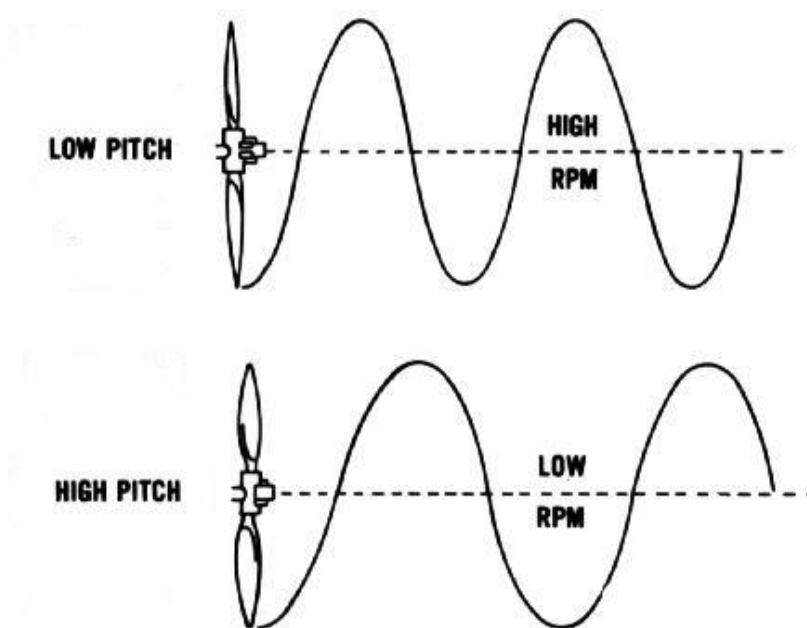
2.2.4 Έλικας

Η επιλογή των ηλεκτροκινητήρων δεν είναι δυνατή δίχως τους κατάλληλες έλικες. Είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή ώσης κατά τη διάρκεια απογείωσης, πτήσης και προσγείωσης. Τα χαρακτηριστικά τους είναι η φορά περιστροφής, η διάμετρος τους (ή μήκος) και το pitch. Για παράδειγμα, οι έλικες που χρησιμοποιήθηκαν, έχουν τα στοιχεία 1047, που σημαίνει έλικας μήκους 10 inches και η απόσταση που θα διένυε αν αφηνόταν ελεύθερος έχοντας πραγματοποιήσει μια πλήρη περιστροφή, είναι 4.7 inches.



Εικόνα 4. Αναπαράσταση διαμέτρου και pitch έλικα

Έλικες με μεγάλη τιμή pitch συνοδεύουν ηλεκτροκινητήρες με χαμηλό KV, διότι δεν εμφανίζουν υψηλές ταχύτητες αλλά παράγουν μεγάλα ποσά ώσης. Χαμηλή τιμή pitch σημαίνει ότι ο έλικας περιστρέφεται πολύ γρήγορα και είναι ιδανικός για πτήσεις όπου οι υψηλές ταχύτητες είναι απαραίτητες και όχι η σταθερότητα.



Εικόνα 5. High Pitch - Low Pitch

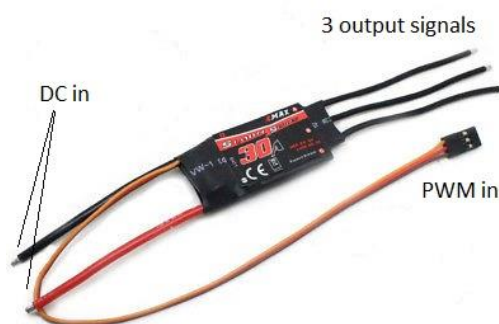
2.2.5 Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας (Electronic Speed Controller – ESC) είναι το ηλεκτρονικό κύκλωμα που ρυθμίζει τη ταχύτητα περιστροφής των

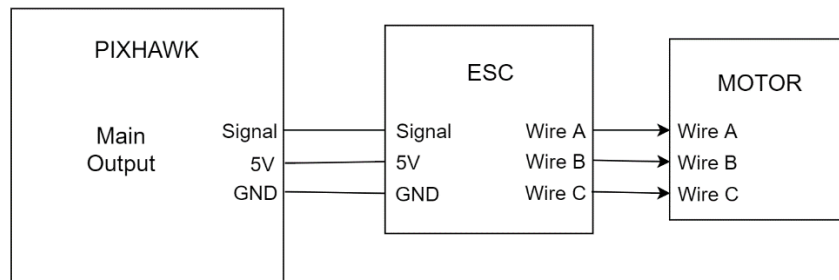
ηλεκτροκινητήρων. Δέχεται ως είσοδο DC τάση απευθείας από τη μπαταρία και ένα σήμα Pulse Width Modulation (PWM) από τον ελεγκτή πτήσης.

Όσο αυξάνεται η συχνότητα των παλμών, ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφεται γρηγορότερα. Το σήμα PWM προέρχεται από τον ελεγκτή πτήσης που μεταφράζει τις εντολές που λαμβάνει από το τηλεχειριστήριο σε PWM. Αρκετοί ESCs διαθέτουν Κύκλωμα Εξουδετέρωσης Μπαταρίας (Battery Elimination Circuit) εξασφαλίζοντας τάση εξόδου 5V. Η περιστροφή του ηλεκτροκινητήρα επιτυγχάνεται τροφοδοτώντας με ρεύμα τους 3 ηλεκτρομαγνήτες του, υποχρεώνοντας το μόνιμο μαγνήτη που βρίσκεται στο κέντρο του να περιστραφεί.

Βασικός κανόνας στην επιλογή κατάλληλων ESCs είναι το ρεύμα εξόδου τους να καλύπτει τουλάχιστον 20% επιπλέον από το μέγιστο ρεύμα κατανάλωσης των ηλεκτροκινητήρων. Για παράδειγμα, οι ηλεκτροκινητήρες του συναρμολογημένου ΣμηΕΑ εμφανίζουν μέγιστο ρεύμα 20A, οπότε οι ESC που παρέχουν ρεύμα εξόδου μεγαλύτερο από αυτό, είναι των 30A.



Εικόνα 6. Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας



Εικόνα 7. Συνδεσμολογία ελεγκτή πτήσης με ESC και ηλεκτροκινητήρα

2.2.6 Μπαταρία

Η μπαταρία παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία του ΣμηΕΑ. Τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την επιλογή της είναι τα κελιά, η χωρητικότητα, το βάρος και η μέγιστη ένταση ρεύματος που μπορεί να παρέχει. Ο τύπος μπαταρίας που χρησιμοποιείται ευρέως έως τώρα για ΣμηΕΑ, είναι πολυμερών λιθίου (LiPo) διότι διαθέτουν μεγαλύτερη χωρητικότητα για το βάρος τους σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες μπαταρίας.

Η ονομαστική τάση μιας μπαταρίας εξαρτάται από το πλήθος των επιμέρους κελιών της. Κάθε κελί διαθέτει ονομαστική τάση 3.7V. Μια μπαταρία LiPo μπορεί να αποτελείται μέχρι και από 6 κελιά συνδεδεμένα σε σειρά.

Οι ηλεκτροκινητήρες είναι τα εξαρτήματα που απαιτούν παροχή μεγάλης έντασης ρεύμα κατά τη διάρκεια λειτουργίας, που σημαίνει ότι η μπαταρία πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες τους. Εφόσον είναι γνωστή η μέγιστη ένταση ρεύματος τους, η αντίστοιχη ένταση ρεύματος της μπαταρίας απαιτείται να είναι μεγαλύτερη ώστε να τροφοδοτεί δίχως κίνδυνο βλάβης της.

Για τον υπολογισμό της μέγιστης έντασης ρεύματος μπαταρίας, είναι απαραίτητη η γνώση του ρυθμού εκφόρτισης και της χωρητικότητας της.

$$I = C * Capacity \quad (1.3)$$

όπου I (mA) η ένταση ρεύματος, C (1/h) ο ρυθμός εκφόρτισης, $Capacity$ (mAh) χωρητικότητα

Prop	Volts (V)	Amps (A)	Watts (W)	Thrust (g)
1047	7.4	7.3	54.02	590
	10	11.4	114	920
	11.1	12.7	140.97	1050
11X7	7.4	8.6	63.64	680
	10	12.7	127	1020
	11.1	14.5	160.95	1120

Εικόνα 8. Πίνακας στοιχείων ηλεκτροκινητήρα

Κάθε ηλεκτροκινητήρας υπόκειται από το κατασκευαστή σε μια σειρά εξετάσεων με διαφορετικούς έλικες για να υπολογισθούν μεγέθη όπως η κατανάλωση ρεύματος, η ώση και τα rpm. Προκύπτει από το παραπάνω πίνακα ότι η μέγιστη ένταση ρεύματος όλων των ηλεκτροκινητήρων, τροφοδοτημένοι από μπαταρία 3S, είναι $(4 \times 12.7)A = 50.8A$. Η ώση, επίσης, ενός από αυτούς είναι 1050gr ή 4200gr η συνολική ώση. Δεδομένου ότι το βάρος του ΣμηΕΑ είναι 1.8Kg, ο συγκεκριμένος ηλεκτροκινητήρας καλύπτει τις προϋποθέσεις προς χρήση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιλέχθηκε μπαταρία LiPo χωρητικότητας 4000 mAh, ρυθμού εκφόρτισης 45C, 3 κελιών. Η μέγιστη ένταση ρεύματος παροχής της είναι 180A, αρκετή για να καλύψει τόσο τους ηλεκτροκινητήρες όσο και τον εξοπλισμό που αναφέρεται στη συνέχεια.

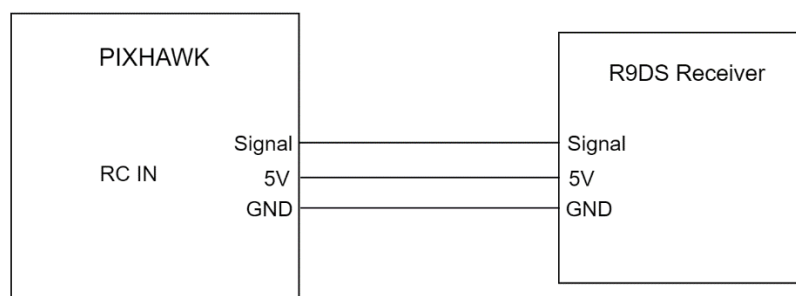
2.2.7 Τηλεχειριστήριο

Ο χειρισμός του ΣμηΕΑ προκύπτει από τις εντολές που στέλνονται από το τηλεχειριστήριο. Πιο συγκεκριμένα, πάνω στο αεροσκάφος βρίσκεται ο δέκτης του τηλεχειριστηρίου (R9DS receiver) που επικοινωνεί στα 2.4GHz και είναι συνδεδεμένος με τον ελεγκτή πτήσης μέσω της θύρας RC IN. Το τηλεχειριστήριο

που χρησιμοποιήθηκε είναι το KDS AT9 που διαθέτει 9 κανάλια προς αξιοποίηση τόσο των βασικών χειρισμών του ΣμηΕΑ όσο και του εξοπλισμού που φέρει.



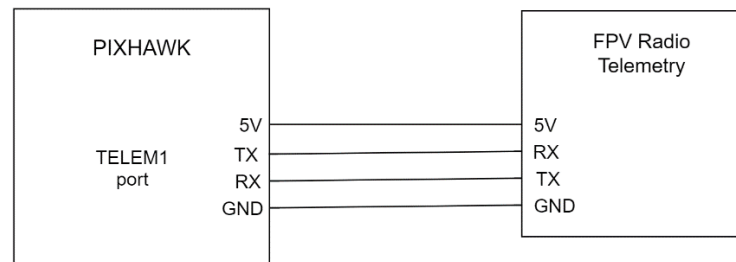
Εικόνα 9. KDS AT9 Remote Control



Εικόνα 10. Συνδεσμολογία ελεγκτή πτήσης με δέκτη τηλεχειριστηρίου

2.2.8 Ραδιοτηλεμετρία

Από τη στιγμή που το ΣμηΕΑ τεθεί σε λειτουργία, οι αισθητήρες αλλάζουν τις μετρήσεις τους ανάλογα με τη κατάσταση του (πτήση, κίνηση, κ.ο.κ.). Για να υπάρχει πρόσβαση σε αυτές, ο ελεγκτής πτήσης συνδέθηκε με έναν πομπό ραδιο-τηλεμετρίας μέσω της θύρας TELEM1.

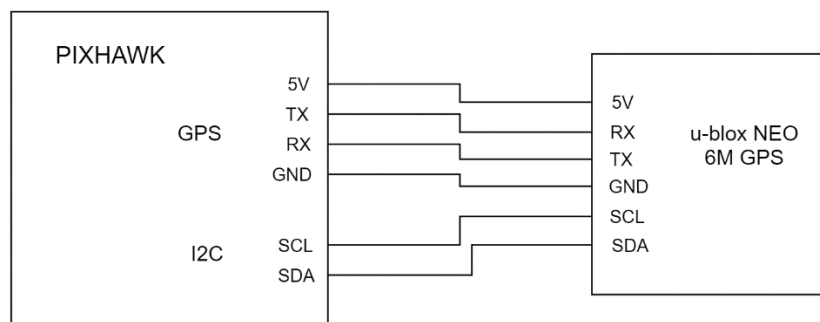


Εικόνα 11. Συνδεσμολογία ελεγκτή πτήσης με πομπό ραδιοτηλεμετρίας

Σε φορητό υπολογιστή, που λειτουργεί ως σταθμός ελέγχου, λαμβάνονται τα δεδομένα μέσω του δέκτη ραδιοτηλεμετρίας, συνδεδεμένος σε θύρα USB.

2.2.9 GPS

Η ακριβής γεωγραφική θέση του αεροσκάφους εντοπίζεται μέσω του *u-blox NEO 6M GPS module*. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αξιοποίηση της συνοδευτικής του πυξίδας από τον ελεγκτή πτήσης. Παρόλο που διαθέτει ο ίδιος ενσωματωμένη πυξίδα, είναι πιο αξιόπιστη η εξωτερική λόγω μικρότερης παρεμβολής από κοντινά ηλεκτρονικά κυκλώματα. Στη περίπτωση που εισαχθεί εξωτερική πυξίδα, επιλέγεται ως προεπιλογή για χρήση.



Εικόνα 12. Συνδεσμολογία ελεγκτή πτήσης με GPS module

2.3 Επιπλέον Εξοπλισμός

Για την επιθεώρηση των καλωδίων MT, το ΣμηΕΑ φέρει επιπλέον εξοπλισμό με σκοπό τη λήψη διαδοχικών φωτογραφιών και την ανίχνευση των καλωδίων μέσα

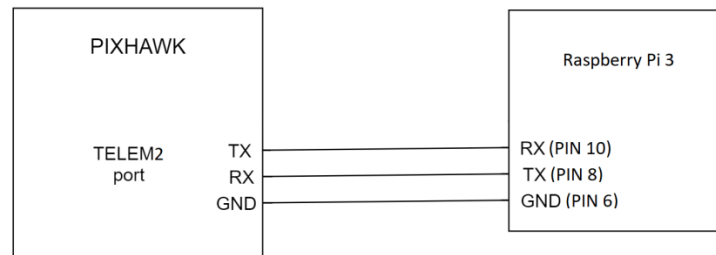
σε αυτές. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα εξαρτήματα που επιτυγχάνουν την αποστολή.

2.3.1 Raspberry Pi



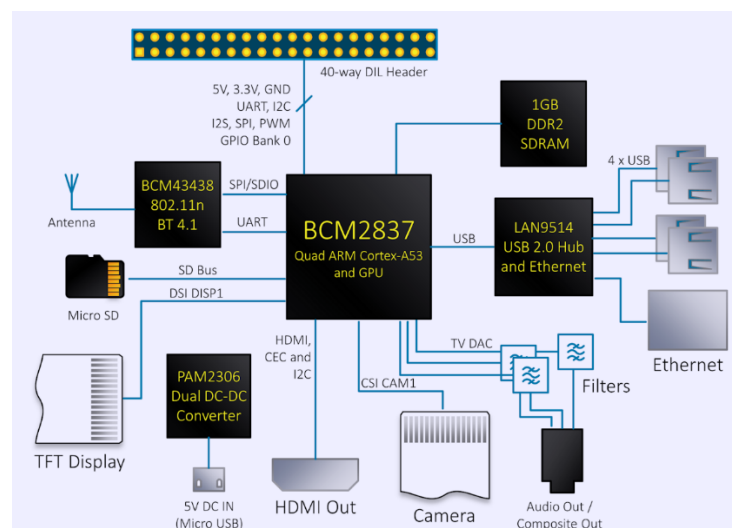
Εικόνα 13. Raspberry Pi 3 Model B

Το Raspberry Pi 3 Model B αποτελεί έναν ολοκληρωμένο υπολογιστή σε μέγεθος πιστωτικής κάρτας. Έχει ενσωματωμένο ένα σύστημα σε τσιπ (System on Chip – SoC) BroadCom BCM2837 που συνδυάζει μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας Cortex-A53, αρχιτεκτονικής ARM, με τέσσερις πυρήνες, χρονισμό στα 1.2GHz με ένα σύστημα γραφικών Broadcom VideoCore IV και μνήμη LPDDR2 RAM μεγέθους 1GB. Διαθέτει, επίσης, τέσσερις θύρες USB, θύρα Ethernet 100Mbps, κεραία για ασύρματη σύνδεση WiFi 2.4GHz 802.11n, Bluetooth 4.1, υποδοχή κάρτας μνήμης Micro SD, θύρα εξόδου HDMI, θύρα εξόδου βίντεο DSI και αναλογική έξοδο ήχου-βίντεο 3.5mm.



Εικόνα 14. Συνδεσμολογία ελεγκτή πτήσης με Raspberry Pi 3

Τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης πλακέτας που παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία με το ελεγκτή πτήσης και στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνων είναι τα σαράντα ψηφιακά pins εισόδου-εξόδου γενικής χρήσης και η θύρα εισόδου κάμερας CSI. Η κάμερα είναι υπεύθυνη για την λήψη εναέριων φωτογραφιών προς επεξεργασία, όταν σταλεί εντολή από το τηλεχειριστήριο. Αξιοποιώντας τρία pins, το Raspberry Pi συνδέεται με τον ελεγκτή πτήσης ώστε να ανιχνεύει πότε στέλνεται η εντολή αυτή. Η τροφοδοσία παρέχεται μέσω ενός Universal Battery Elimination Circuit (UBEC) για να διασφαλιστεί παροχή τάσης 5V.



Εικόνα 15. Λειτουργικό διάγραμμα Raspberry pi 3 Model B

2.3.2 Κάμερα

Το ΣμηΕΑ είναι εξοπλισμένο με δύο κάμερες, μία συνδεδεμένη με το Raspberry Pi, (picamera) υπεύθυνη για λήψη φωτογραφιών των καλωδίων MT και μία κάμερα δράσης SJCAM SJ5000x που βοηθά στη πτήση του. Η picamera αποτελείται από τον αισθητήρα IMX219 των 8 Megapixel και δεύτερη κάμερα από τον αισθητήρα IMX078 των 12 Megapixel.



Εικόνα 16. Raspberry Pi Camera version 2.1



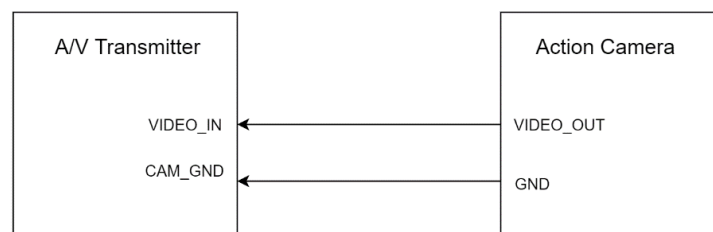
Εικόνα 17. Action Camera SJCAM SJ5000x

2.3.3 Μετάδοση Βίντεο

Για την διευκόλυνση του πιλότου αλλά και για την επιθεώρηση κατά τη διάρκεια της πτήσης σε περιοχές δύσκολα προσβάσιμες, έγινε χρήση του πομπού ήχου-βίντεο (av transmitter) TS800 συχνότητας 5.8GHz και ισχύος 1500mW.



Εικόνα 18. AV Transmitter TS800



Εικόνα 19. Συνδεσμολογία A/V Transmitter με Action Camera

2.3.4 Οθόνη

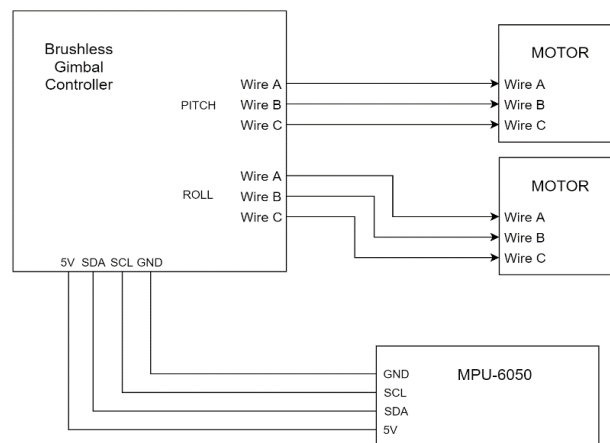
Το βίντεο της κάμερας δράσης λαμβάνει στο δέκτης της η οθόνη 7 ιντσών Boscama Galaxy RD2, η οποία προσαρμόζεται πάνω στο τηλεχειριστήριο.



Εικόνα 20. Monitor Boscama Galaxy RD2

2.3.5 Gimbal

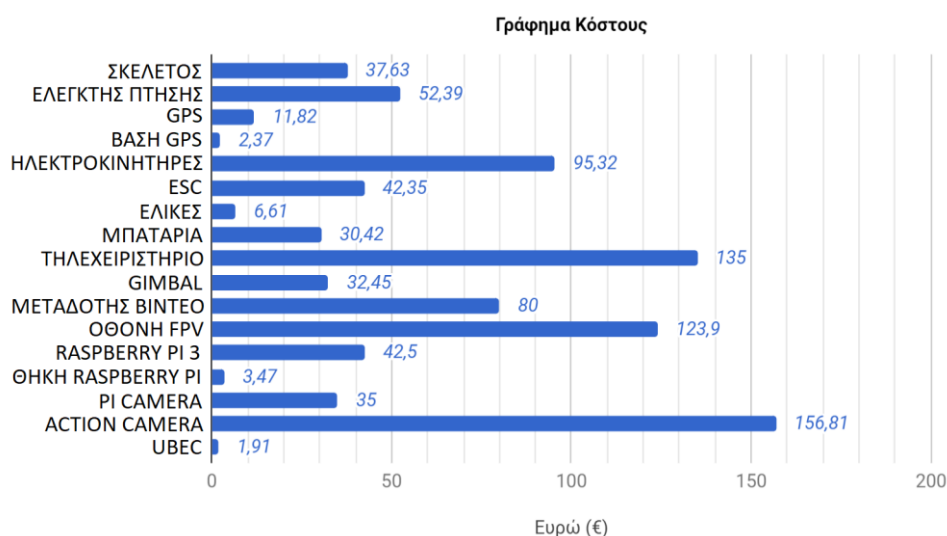
Το gimbal έχει ως στόχο τη διατήρηση των καμερών του ΣμηΕΑ ακίνητων ως προς τις οριζόντιες κινήσεις του. Αποτελείται από τον ελεγκτή SimpleBGC 2.2 ο οποίος δέχεται ως είσοδο τη κατάσταση του γυροσκοπίου MPU-6050 στους άξονες x και y, ρυθμίζοντας τη κίνηση δύο ηλεκτροκινητήρων για roll και pitch ανάλογα με τη κίνηση του ΣμηΕΑ.



Εικόνα 21. Συνδεσμολογία gimbal

2.4 Κόστος αγοράς

Τα κάτωθι εξαρτήματα επιλέχθηκαν ύστερα από έρευνα αγοράς λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς συμβατότητας τους. Η ποιότητα τους δεν είναι τελευταίας τεχνολογίας, διότι το κόστος καλύφθηκε από τον εξεταζόμενο φοιτητή ύστερα από πρωτοβουλία του. Το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 889,95€.



Εικόνα 22. Αναλυτικό κόστος ανά εξάρτημα

3. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

3.1 Ορισμός Προβλήματος

Η διάβρωση των καλωδίων MT λόγω καιρικών συνθηκών οδηγεί στη δημιουργία βλαβών μέσα στο δίκτυο. Αρκετές φορές είναι δύσκολος ο ακριβής εντοπισμός του σημείου βλάβης, ειδικά σε δύσβατες περιοχές, κάνοντας το έργο των συνεργείων επισκευής ιδιαίτερα απαιτητικό.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, το συναρμολογημένο ΣμηΕΑ ενισχύει το έργο εντοπισμού βλαβών με τη χρήση βασικών μεθοδολογιών επεξεργασίας εικόνας που εκτελούνται στο Raspberry Pi.

Η ανίχνευση των καλωδίων αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα με αρκετές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην αξιοποίηση κλασσικών μεθόδων image processing και έλεγχο των περιορισμών τους. Αρκετά πιθανή είναι η χρήση των αποτελεσμάτων σε πιο προηγμένες τεχνικές, όπως machine learning, για την ανίχνευση σε περιπτώσεις με πολυπλοκότερο υπόβαθρο.

Μια εναλλακτική λύση θα μπορούσε να είναι ο σχεδιασμός πτήσης του ΣμηΕΑ ώστε να ίπταται σε προκαθορισμένα γεωγραφικά σημεία, που αντιπροσωπεύουν πυλώνες MT, δίχως χρήση αλγορίθμου επεξεργασίας. Κάτι τέτοιο δε συνίσταται διότι είναι πιθανό το ΣμηΕΑ να συγκρουστεί με κάποιου είδους εμπόδιο, προκαλώντας βλάβη τόσο στο ίδιο όσο και στο γύρω περιβάλλον, καθώς επίσης ο

άμεσος εντοπισμός του γεωγραφικού στίγματος της βλάβης στη περίπτωση αυτή είναι αδύνατος. Η συνεργασία του πιλότου ΣμηΕΑ με το συνεργείο επισκευής είναι ο ασφαλέστερος και πιο αποδοτικός τρόπος ανίχνευσης βλαβών από τον αέρα.

3.2 Γενική Μεθοδολογία

Τα στάδια της γενικής μεθοδολογίας φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα :



Εικόνα 23. Διάγραμμα γενικής μεθοδολογίας

Αφού ληφθεί μια εικόνα, μετατρέπεται σε grayscale για τη ταχύτερη επεξεργασία της. Ύστερα, εφαρμόζεται η μέθοδος ανίχνευσης ακμών Laplacian of Gaussian για την εξαγωγή όλων των ακμών.

Για τον εντοπισμό γραμμών γίνεται χρήση του Μετασχηματισμού Hough. Αφού ανιχνευθούν επιτυχώς τα καλώδια, δημιουργούνται περιοχές ενδιαφέροντος (Regions of Interest - ROIs) γύρω τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι σχεδόν

προβλέψιμη η θέση των καλωδίων σε κάθε επόμενο frame, μειώνοντας τη πιθανότητα εσφαλμένης ανίχνευσης.

3.3 Μετασχηματισμός Hough

Μία από τις προκλήσεις στη ψηφιακή επεξεργασία εικόνας είναι ο εντοπισμός ακμών. Μέθοδοι ανίχνευσης γραμμών, όπως Canny και Sobel, επιτυγχάνουν συνήθως τον εντοπισμό των βασικότερων σημείων που ανήκουν σε γραμμή. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η ανίχνευση δεν είναι επιτυχής λόγω ύπαρξης θορύβου, δημιουργώντας απόκλιση μεταξύ της εντοπισμένης με τη πραγματική γραμμή.

Ο μετασχηματισμός Hough αντιμετωπίζει το πρόβλημα αυτό ομαδοποιώντας τα εντοπισμένα σημεία σε υποψήφιες γραμμές. Η γενική μορφή των γραμμών περιγράφεται ως εξής:

$$y = mx + b \quad (2.1)$$

όπου (x,y) σημεία στο καρτεσιανό επίπεδο, m η κλίση γραμμής, b σημείο τομής γραμμής με άξονα y. Το πρόβλημα έγκειται στη περιγραφή κάθετων γραμμών, των οποίων ο συντελεστής m δεν ορίζεται.

Γι' αυτό επιλέχθηκε μια διαφορετική εξίσωση, συμπεριλαμβάνοντας τις κάθετες γραμμές:

$$\rho = x * \cos\theta + y * \sin\theta \quad (2.2)$$

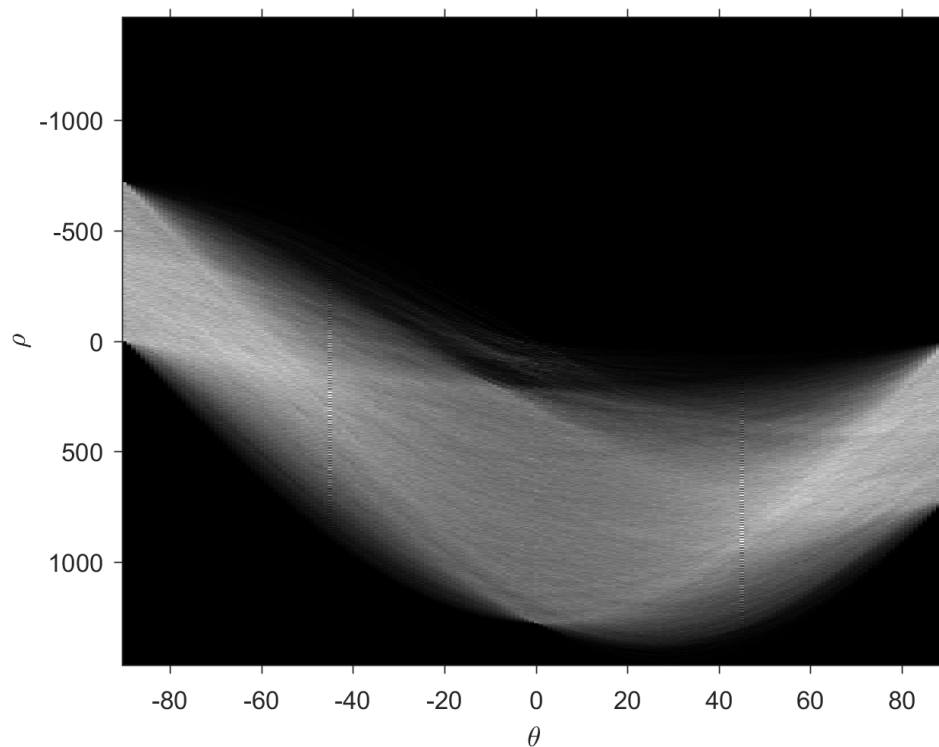
όπου ρ η απόσταση της γραμμής από το origin (0,0), θ η γωνία μεταξύ του άξονα-x και της προβολής της γραμμής, (x,y) οι συντεταγμένες του σημείου. Είναι δυνατόν, λοιπόν, ένα ζευγάρι συγκεκριμένου ρ και θ , να εκφράσει πλήρως μία μοναδική γραμμή.

Το καινούριο επίπεδο που δημιουργήθηκε, ονομάζεται επίπεδο Hough. Ένα σημείο (x₁,y₁) του καρτεσιανού επιπέδου, αντιστοιχεί σε μια ημιτονοειδή καμπύλη

στο επίπεδο Hough (εξίσωση 2.2). Η τελευταία αντιπροσωπεύει όλες τις ευθείες που διαπερνούν το συγκεκριμένο σημείο στο καρτεσιανό επίπεδο.

Δεδομένου ενός δεύτερου σημείου στο καρτεσιανό επίπεδο (x_2, y_2) , ορίζεται μοναδική ευθεία γραμμή που διαπερνά τα (x_1, y_1) και (x_2, y_2) . Μεταβαίνοντας στο επίπεδο Hough, η ευθεία γραμμή αντιστοιχεί στο σημείο τομής των ημιτονοειδών καμπυλών από τα δύο σημεία.

Στη πράξη γίνεται χρήση ενός πίνακα (Hough Accumulator) διαστάσεων ανάλογων της διαγωνίου της εξεταζόμενης εικόνας και την ακρίβεια της γωνίας θ . Αφού προηγηθεί εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου ανίχνευσης ακμών στην εικόνα, για κάθε γωνία θ (συνήθως από -90° έως 89°) τα σημεία των εντοπισμένων ακμών δίνουν συγκεκριμένες τιμές του ρ (εξίσωση 2.2). Για κάθε υπολογισμένο ζευγάρι (ρ, θ) , ο αλγόριθμος αποδίδει μια «ψήφο» στο αντίστοιχο κελί (ρ, θ) του Hough Accumulator. Τέλος, η ανίχνευση γραμμών προκύπτει από την εύρεση local maxima στον πίνακα Hough έχοντας ως μέτρο σύγκρισης ένα όριο (threshold) που μπορεί να το ορίσει ο χρήστης. Όσο πιο χαμηλό το threshold, τόσο περισσότερες γραμμές θα εμφανιστούν στο τελικό αποτέλεσμα είτε σωστές είτε λανθασμένες. Πολύ μεγάλη τιμή του, όμως, μπορεί να οδηγήσει στη παράληψη γραμμών που πιθανόν να μην είναι επιθυμητό. Μπορεί να οριστεί ακόμη και το πλήθος των γραμμών προς ανίχνευση.



Εικόνα 24. Αναπαράσταση πεδίου Hough

3.4 Προτεινόμενες Μεθοδολογίες

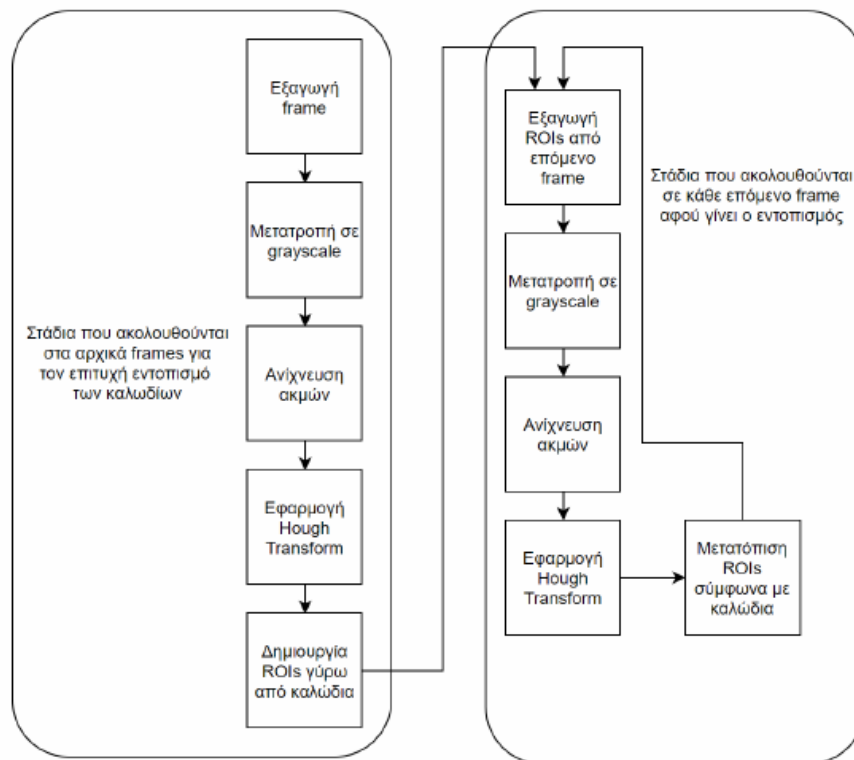
Αναπτύχθηκαν δύο μεθοδολογίες για την ανίχνευση των καλωδίων. Τα κοινά χαρακτηριστικά τους είναι η δημιουργία περιοχών ενδιαφέροντος για τον εντοπισμό ενός καλωδίου ανά ROI και η αξιοποίηση κρίσιμων παραμέτρων από τις εικόνες όπως η συνέχεια των γραμμών, η ομοιότητα και η σταθερή απόσταση μεταξύ τους, και η διαφοροποίηση σε σχέση με το περιβάλλον. Είναι δυνατός ο εντοπισμός δομών με παρόμοια χαρακτηριστικά των καλωδίων, όμως απορρίπτονται είτε λόγω ασυνέχειας είτε λόγω διαφοροποίησης της κατεύθυνσης σε διαδοχικές εικόνες.

3.5 Περιοχές Ενδιαφέροντος από εικόνα

3.5.1 Περιγραφή

Η πρώτη μεθοδολογία βασίζεται στην εξαγωγή των ROIs από την ίδια την εικόνα.

Τα στάδια είναι τα εξής:



Εικόνα 25. Block Diagram – ROI from frame

Είναι εμφανής η διάκριση σε δύο βασικά στάδια. Το πρώτο αφορά την επιτυχή ανίχνευση των καλωδίων σε έναν αριθμό αρχικών εικόνων. Η εφαρμογή των μεθόδων επεξεργασίας στη φάση αυτή πραγματοποιείται σε ολόκληρες τις εικόνες. Μόλις εντοπιστούν οι γραμμές, δημιουργούνται ROIs γύρω από κάθε μία μεγέθους 20pixels σε μήκος και πλάτος όσο το ύψος της εικόνας. Αφού δημιουργηθούν οι ROIs, εξάγονται και επεξεργάζονται αποκλειστικά αυτές σε κάθε επόμενο frame, ακολουθώντας τη κατεύθυνση των καλωδίων και μειώνοντας σημαντικά το χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου.



Εικόνα 26. Στιγμιότυπο 1 επεξεργασίας βίντεο (Εντοπισμένες γραμμές με κόκκινο χρώμα)



Εικόνα 27. Στιγμιότυπο 2 επεξεργασίας βίντεο

3.5.2 Περιορισμοί

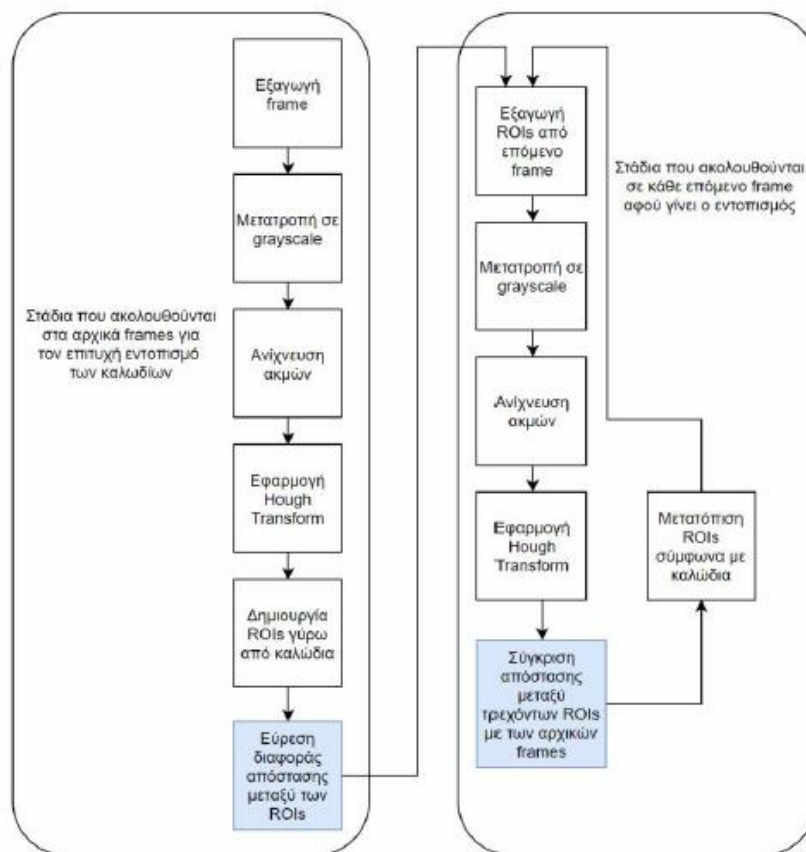
Δεδομένης της επεξεργασίας ολόκληρων των αρχικών frames, η σμίκρυνση των διαστάσεών τους είναι αναγκαία για ταχύτερη επεξεργασία. Αυτό ωφελεί και

τις επόμενες εικόνες αφού τα ROIs θα είναι μικρότερα σε εικόνα που έχει υποστεί σμίκρυνση. Να σημειωθεί ότι η υπερβολική σμίκρυνση είναι δυνατόν να οδηγήσει στην απώλεια βασικών χαρακτηριστικών των γραμμών, δυσκολεύοντας την ανίχνευση τους. Για το λόγο αυτό, το ποσοστό που θα μικρύνει η εικόνα πρέπει να οριστεί λαμβάνοντας υπόψιν το μέγεθος εικόνας που γίνεται λήψη και της διαθέσιμης τεχνολογίας υλικού που θα εκτελεί τον αλγόριθμο.

Απαραίτητη είναι η επιτυχής ανίχνευση των καλωδίων σε αρχικές εικόνες της πτήσης, για τη δημιουργία των ROIs. Στη περίπτωση που δε δημιουργηθούν αντιπροσωπευτικές ROIs, αναμένονται λανθασμένα αποτελέσματα.

3.5.3 Εντοπισμός Βλάβης

Αλλοιώνοντας το ένα από τα τρία καλώδια μέσω Photoshop, προσομοιώθηκε η ύπαρξη βλάβης στο βίντεο-δείγμα. Για τη περίπτωση αυτή, τροποποιήθηκαν τα στάδια επεξεργασίας ως εξής:



Εικόνα 28. Block Diagram – ROI from frame Εντοπισμός Βλάβης

Για τη γνώση απουσίας οποιουδήποτε καλωδίου, απαιτείται η γνώση του σημείου που βρίσκεται πάνω στην εικόνα ως προς τα υπόλοιπα καλώδια. Δεδομένου ότι η μεταξύ απόσταση των καλωδίων παραμένει σταθερή, στη περίπτωση που σε επόμενο frame δεν ανιχνευθεί κάποιο καλώδιο εντός των ορίων απόστασης, εντοπίζεται βλάβη.



Εικόνα 29. Κοπή καλωδίου – ROI from frame



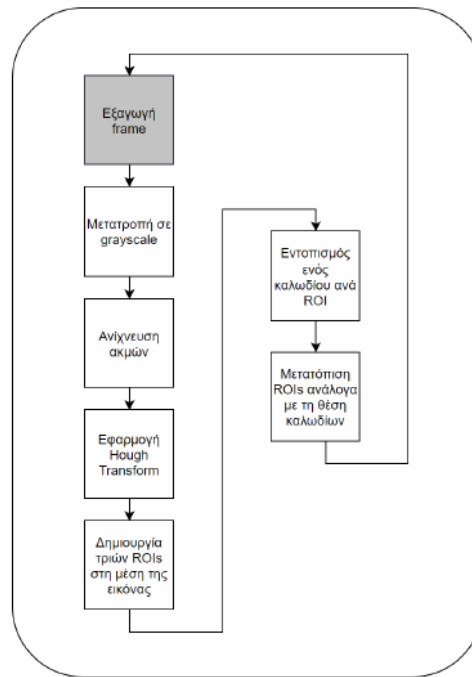
Εικόνα 30. Απουσία καλωδίου – ROI from frame

3.6 Περιοχές Ενδιαφέροντος από Πίνακα Hough

3.6.1 Περιγραφή

Η δεύτερη μεθοδολογία βασίζεται στην εξαγωγή των ROIs από τον πίνακα Hough.

Τα στάδια της είναι τα εξής:



Εικόνα 31. Block Diagram – ROI from Hough Table

Είναι σαφές ότι τα στάδια επεξεργασίας είναι αρκετά λιγότερα από τη πρώτη περίπτωση. Αυτό συμβαίνει, διότι δεν υπάρχει ανάγκη αξιοποίησης αρχικών εικόνων για τον επιτυχή εντοπισμό καλωδίων. Επειδή αναμένονται τα καλώδια να ανιχνευθούν στο κεντρικό μέρος κάθε εικόνας, χωρίζεται σε τρεις ROIs, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 32. Στιγμιότυπο 1 επεξεργασίας βίντεο (Εντοπισμένα καλώδια με κόκκινο χρώμα, όρια ROIs με κίτρινο χρώμα)



Εικόνα 33. Στιγμιότυπο 2 επεξεργασίας βίντεο

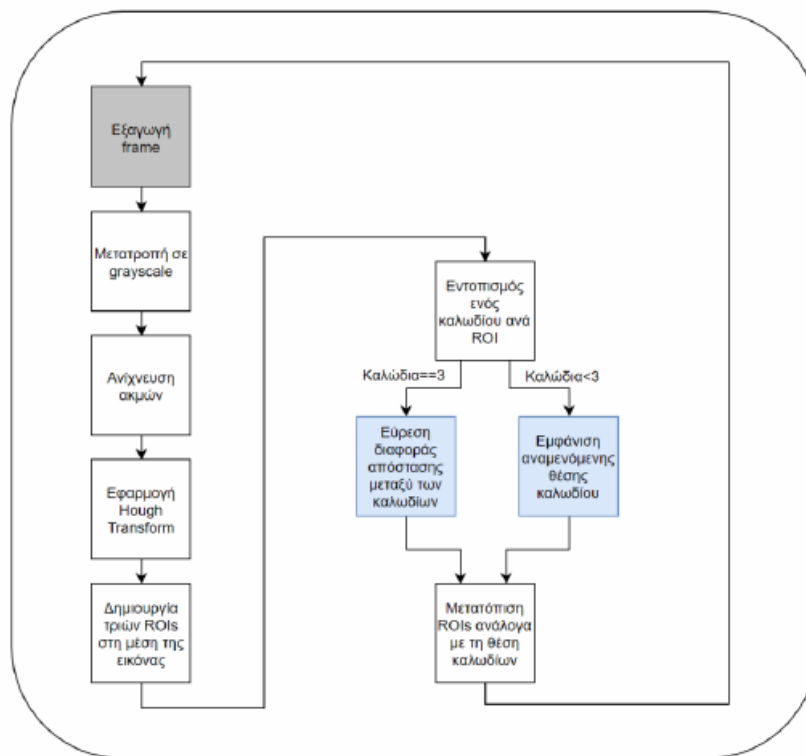
3.6.2 Περιορισμοί

Οι μέθοδοι επεξεργασίας, με εξαίρεση των συναρτήσεων `houghpeaks()` και `houghlines()` του Μετασχηματισμού Hough, εφαρμόζονται σε ολόκληρες τις εικόνες. Στη περίπτωση που η κλίση των καλωδίων ξεπερνούν τις 15° , η μεθοδολογία αδυνατεί να ανιχνεύσει σωστά αφού ένα ROI μπορεί να περιέχει παραπάνω από ένα καλώδια.

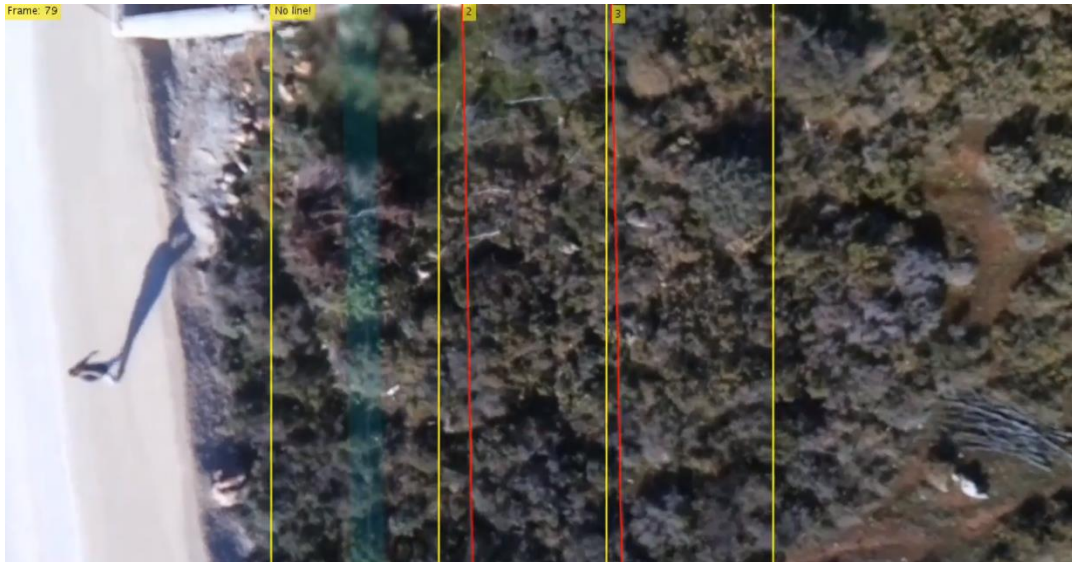
Ο επιτυχής εντοπισμός βασίζεται όχι τόσο στον αλγόριθμο όσο στη κατάλληλη τοποθέτηση του ΣμηΕΑ στην αρχή της πτήσης από τον πιλότο, ώστε κάθε ROI να περιέχει ένα μόνο καλώδιο. Δεδομένης της σωστής τοποθέτησης, αν κατά τη διάρκεια της πτήσης τα καλώδια δε βρίσκονται στο κέντρο της εικόνας, οι ROIs μετακινούνται ώστε να μη τα χάσουν.

3.6.3 Εντοπισμός Βλάβης

Όπως και στη πρώτη μεθοδολογία, προστέθηκαν εδώ στάδια για τον εντοπισμό πιθανής βλάβης, λαμβάνοντας υπόψιν τη μεταξύ απόσταση των καλωδίων. Σε περίπτωση βλάβης, εμφανίζεται στην εικόνα η περιοχή που περίμενε να ανιχνεύσει το καλώδιο ο αλγόριθμος.



Εικόνα 34. Block Diagram – ROI from Hough Table Εντοπισμός Βλάβης



Εικόνα 35. Κοπή καλωδίου – ROI from Hough Table



Εικόνα 36. Απουσία καλωδίου – ROI from Hough Table

3.7 Σύγκριση μεθόδων ανίχνευσης ακμών

Οι μέθοδοι για edge detection που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι Canny, Sobel (vertical), Prewitt (vertical) και LoG. Η απόδοσή τους αξιολογήθηκε συγκρίνοντας τη θέση του κάθε εντοπισμένου καλωδίου με τη πραγματική θέση του καλωδίου ανά frame.

Είναι πιθανόν το εντοπισμένο καλώδιο να μη συμπίπτει καθόλου με το πραγματικό ή ένα κομμάτι της αρχής/τέλους του εντοπισμένου να αποκλίνει από το πραγματικό. Ελέγχοντας κάθε frame, για απόκλιση εξ' ολοκλήρου των εντοπισμένων από τα πραγματικά καλώδια (false detection) μαζί με τη περίπτωση μερικής απόκλισης τουλάχιστον 4 pixels από το πραγματικά, προέκυψαν τα παρακάτω ποσοστά απόκλισης στα διαθέσιμα βίντεο:

Βίντεο 1	Canny	Sobel	Prewitt	LoG
Ποσοστό Απόκλισης (%)	21.6	23.6	22.8	13.8

Βίντεο 2	Canny	Sobel	Prewitt	LoG
Ποσοστό Απόκλισης (%)	20.2	21.8	23.9	16.9

Εικόνα 37. Ποσοστά απόκλισης μεθόδων ανίχνευσης ακμών

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται ότι η απόδοση της μεθόδου Laplacian of Gaussian ξεπερνά αρκετά τις υπόλοιπες. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε ως βασική μέθοδος ανίχνευσης ακμών.

4. ROBOT OPERATING SYSTEM

4.1 Γενική Περιγραφή

Το *Robot Operating System (ROS)* είναι ένα πλαίσιο ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο εφαρμογών πραγματικού χρόνου όπως συστήματα ρομποτικής. Ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι η παροχή βιβλιοθηκών, υπηρεσιών, προγραμμάτων-οδηγών υλικού, διαχείριση πακέτων και μετάδοση μηνυμάτων.

Είναι χωρισμένο σε πακέτα (*ROS Packages*), δηλαδή συλλογές εκτελέσιμων και συνοδευτικών τους αρχείων, σχεδιασμένα κάθε ένα για διαφορετικό σκοπό. Μέσα στις συλλογές, υπάρχουν αρχεία-κόμβοι (*ROS Nodes*), υπεύθυνα για την εκτέλεση του αλγορίθμου που συντάσσει ο προγραμματιστής. Την ίδια στιγμή μπορούν να εκτελούνται παραπάνω από ένας κόμβοι, με την προϋπόθεση ότι βρίσκονται σε επικοινωνία μεταξύ τους. Για την επίτευξη επικοινωνίας, το *ROS* παρέχει έναν κόμβο-αφέντη (*ROS master*), ο οποίος συνδέεται με όλους τους δημιουργημένους κόμβους.

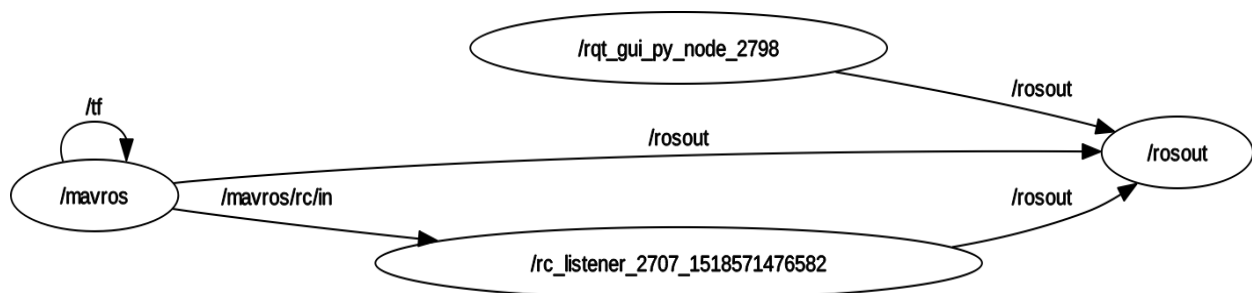
Οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους με την μεταφορά μηνυμάτων (*ROS messages*) μέσω ειδικών καναλιών (*ROS topics*). Μια ειδική μορφή μηνυμάτων είναι τα *ROS services*, που χρησιμοποιούνται για επικοινωνία τύπου *request-reply*. Ένας κόμβος δηλαδή, παρέχει ένα *service* και ένας κόμβος-πελάτης το καλεί στέλνοντας *request* στον αρχικό ενώ περιμένει απάντηση (*reply*).

Το *ROS* χρησιμοποιείται ως μεσολαβητής του ελεγκτή πτήσης και του Raspberry Pi. Παρέχει πρόσβαση στις μετρήσεις όλων των αισθητήρων του ΣμηΕΑ και της σύνδεσης με το τηλεχειριστήριο κατά τη διάρκεια της πτήσης μέσω του πακέτου *mavros* (*ROS mavros*). Το συγκεκριμένο πακέτο επιτυγχάνει τη σύνδεση μέσω του πρωτοκόλλου *Micro Air Vehicle Link* (*MAVLink*).

4.2 Λειτουργία

Αρχικά, έγινε εγκατάσταση του πακέτου *mavros*, το οποίο είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με τον ελεγκτή πτήσης. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε το πακέτο *quadcopter*, το οποίο περιέχει τον κόμβο *rc_listener*. Ο συγκεκριμένος κόμβος εγγράφηκε στο *topic* που αναγνωρίζει όλες τις εντολές που δέχεται ο ελεγκτής πτήσης από το τηλεχειριστήριο, ώστε να γνωρίζει πότε ο πιλότος έδωσε εντολή καταγραφής φωτογραφιών ή καταγραφής βίντεο ή τίποτα από τα δύο.

Παρακάτω φαίνεται ο γράφος σύνδεσης των *ROS Nodes*:



Εικόνα 38. ROS Graph

Υπάρχουν τέσσερις κόμβοι που τρέχουν παράλληλα, ο κόμβος του *mavros*, ο κόμβος *rqt_gui* που είναι υπεύθυνος για τον σχεδιασμό του γράφου (μέσω εντολής *rqt_graph*), ο κόμβος *rc_listener* και ο κόμβος *rosout* που αντιπροσωπεύει τη καταγραφή κειμένου στη κονσόλα. Όλα τα βέλη αποτελούν δίαυλους επικοινωνίας (*ROS topics*). Ο κόμβος *rc_listener* είναι εγγεγραμμένος στο *topic* */mavros/rc/in* το οποίο ανανεώνει ο κόμβος *mavros*. Επειδή ο τελευταίος δε κάνει *publish* τις μετρήσεις των αισθητήρων αυτόματα εξ αρχής, καλώντας το *service* */mavros/set_stream_rate* (με χρήση εντολής *rosservice*) ενεργοποιείται το *publish*

μίας ή όλων των μετρήσεων πριν την εκτέλεση του κόμβου *rc_listener*. Το *service /tf* αφορά τη τρέχουσα θέση του ΣμηΕΑ, που δεν μεταδίδεται σε διαφορετικό κόμβο από του *manros* στη περίπτωση αυτή.

Έχοντας παραχωρήσει ένα συγκεκριμένο κανάλι του τηλεχειριστηρίου (διακόπτης τριών καταστάσεων) για τη παραπάνω δυνατότητα, έγινε κατανομή του σήματος *PWM* σε τρεις καταστάσεις για την έναρξη λήψης φωτογραφιών, έναρξη λήψης βίντεο και παύση λειτουργίας καταγραφής.

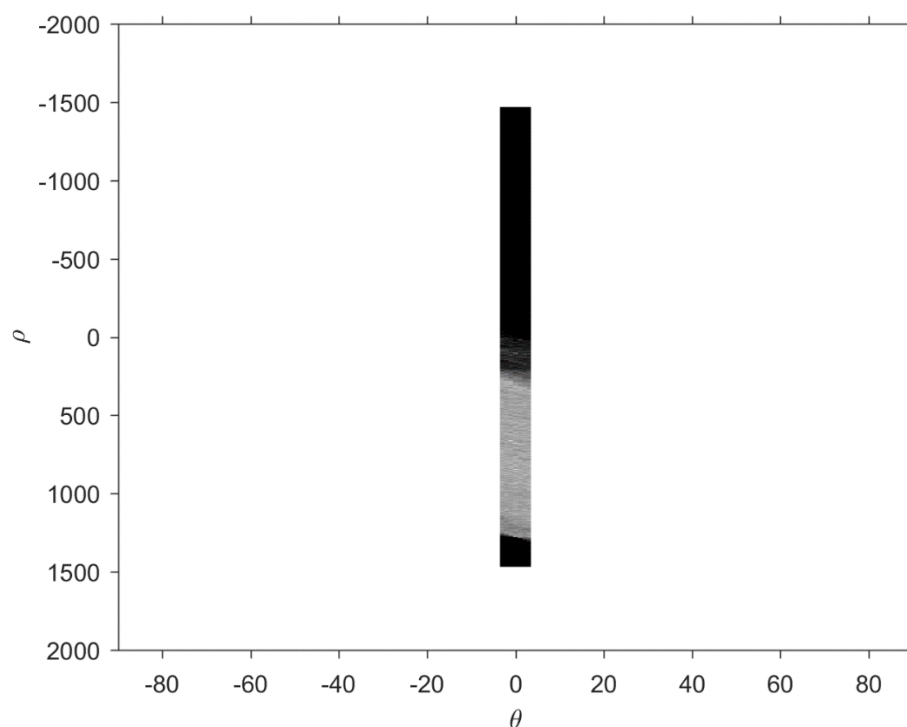
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Οι προτεινόμενες μεθοδολογίες, παρά τους περιορισμούς τους, επιτυγχάνουν το βασικό εντοπισμό των καλωδίων με τη χρήση στοιχειωδών τεχνικών image processing. Ιδανική λύση θα ήταν ο συνδυασμός τους με στόχο την εξάλειψη των περιορισμών.

Η πρώτη πλεονεκτεί στον εντοπισμό γραμμών που δεν φαίνονται κάθετες σε βίντεο λόγω μικρού μεγέθους ROI, ωστόσο προϋποθέτει την επεξεργασία αρχικών frames.

Η δεύτερη μεθοδολογία αντιμετωπίζει επιτυχώς το περιορισμό της προηγούμενης, δημιουργώντας τα τρία κεντρικά ROIs και προϋποθέτοντας τη κατάλληλη πτήση του drone πάνω από τα καλώδια (βρισκόμενα στη μέση των frames). Το μειονέκτημα της είναι ότι στη παρούσα μορφή, δεν είναι δυνατόν να κάνει εντοπισμό σε συνθήκες όπου τα καλώδια δε φαίνονται κάθετα, διότι εισέρχονται σε διπλανό ROI, δημιουργώντας πρόβλημα. Μια πιθανή βελτίωση θα ήταν η προσαρμογή των ορίων των ROIs έτσι ώστε να μην εφάπτονται αλλά να είναι διαχωρισμένα, όπως στη πρώτη μεθοδολογία, και μικρότερα σε μέγεθος, αφού πρώτα έχουν εντοπιστεί επιτυχώς τα καλώδια. Το τελευταίο μπορεί να διασφαλιστεί με τη χρήση πιο αποτελεσματικών μεθόδων edge detection όπως EDLines.

Η εφαρμογή του Μετασχηματισμού Hough αφορά γραμμές με κλίση -3° έως και 3° , θεωρώντας ως 0° τη κλίση μιας κάθετης γραμμής προτείνει μια ελάχιστα διαφοροποιημένη εφαρμογή του από τις υπόλοιπες προτεινόμενες μεθοδολογίες, με στόχο την εξοικονόμηση πολύτιμου χρόνου επεξεργασίας,. Η επεξεργασία των ROIs αντί ολόκληρης εικόνας συμβάλλει εξίσου στην επίτευξη της ανίχνευσης καλωδίων online.



Εικόνα 39. Περιοχή ανίχνευσης γραμμών (-3° έως 3°)

Τον εντοπισμό των καλωδίων μπορεί να ενισχύσει η προσθήκη θερμικής κάμερας. Συνδυάζοντας τη ψηφιακή επεξεργασία εικόνας από θερμική και τυπική κάμερα, η ανίχνευση των γραμμών θα είναι πιο ακριβής, με αρκετά λιγότερες αποκλίσεις. Παράλληλα ενδείκνυται να πραγματοποιείται εντοπισμός βλάβης καλωδίων, εποπτεύοντας τη διαφορά θερμοκρασίας επί αυτών.

Τέλος, μια επιπλέον βελτίωση αποτελεί η ανάπτυξη αλγορίθμου για τον υπολογισμό της γωνίας μεταξύ της κάμερας και των γραμμών, στη περίπτωση που γίνεται καταγραφή με προοπτική και δεν είναι γνωστή η γωνία.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη δημιουργία ενός συστήματος ανίχνευσης βλαβών στο δίκτυο, ικανού να διευκολύνει την εργασία των συνεργείων επισκευής καλύπτοντας δύσβατες περιοχές και θέτοντας λιγότερες φορές σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] L. Wang, F. Liu, Z. Wang, S. Xu, S. Cheng and J. Zhang, “Development of a practical power transmission line inspection robot based on a novel line walking mechanism”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 2010.
- [2] P. Richard, N. Pouliot and S. Montambault, “Introduction of a LIDAR-Based Obstacle Detection System on the LineScout Power Line Robot”, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, July 2014.
- [3] G. Yan, C. Li, G. Zhou, W. Zhang, and X. Li, “Automatic Extraction of Power Lines From Aerial Images”, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, July 2007.
- [4] J. Zhang, L. Liu, B. Wang, X. Chen, Q. Wang, and T. Zheng, “High Speed Automatic Power Line Detection and Tracking for a UAV-Based Inspection”, in Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE), 2012 International Conference, Aug. 2012.
- [5] Y. Chen, Y. Li, H. Zhang, L. Tong, Y. Cao, and Z. Xue, “Automatic power line extraction from high resolution remote sensing imagery based on an improved Radon transform”, Pattern Recognition, Jan. 2016.
- [6] R. O. Duda and P. E. Hart, “Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures”, Commun. ACM, Jan. 1972.
- [7] Baker L., Mills S., Langlotz T., Rathbone C., “Power line detection using Hough transform and line tracing techniques”, International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ), 2016.
- [8] Y. Li, L. Chen, H. Huang, X. Li, W. Xu, L. Zheng, J. Huang, “Nighttime lane markings recognition based on Canny detection and Hough transform”, International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR).

- [9] X. Hu, X. Zhou, D. Zuo, H. Hu, X. Hou, J. Xu, W. Song, H. Liu, “Extraction of High Voltage Transmission Lines based on Morphological Processing”, IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 2016.
- [10] D. Huiying, H. Tingting, “Transmission line extraction method based on Hough Transform”, The 27th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 2015.
- [11] W. Tong, B. Li, J. Yuan, S. Zhao, “Transmission Line Extraction and Recognition from natural complex background”, International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2009.
- [12] G. Zhou, J. Yuan, I. Yen, F. Bastani, “Robust Real-Time UAV Based Power Line Detection and Tracking”, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2016.
- [13] C. Pan, X. Cao, D. Wu, “Power Line Detection via background noise removal”, IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2016.
- [14] Candamo J., Kasturi R., Goldgof D., Sarkar S., “Detection of thin lines using Low-Quality Video from Low-Altitude Aircraft in Urban Settings”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2009.
- [15] O’Kane J. M., “A Gentle Introduction to ROS”, 2013.
- [16] Fahlstrom P., Gleason T., “Introduction to UAV Systems”, 2012.
- [17] Y. Liu, Z. Li, R. Hayward, R. Walker, H. Jin, “Classification of Airborne LIDAR Intensity Data Using Statistical Analysis and Hough Transform with Application to Power Line Corridors”, 2009
- [18] Q. Ma, D. S. Goshi, L.Bui and M. Sun, “An Algorithm for Radar Power Line Detection with Tracking”
- [19] S. Amir, A. A. Siddiqui, N. Ahmed and B. S. Chowdhry, “Implementation of Line Tracking Algorithm using Raspberry Pi in Marine Environment”