



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ MAVLINK**

Θεόδωρος Γεωργιάδης

A.M: 1610

Επιβλέπων: Δουμένης Γρηγόριος

Άρτα, Ιούλιος, 2023

UAV MISSION CONTROL USING MAVLINK

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 28/07/2023

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Γρηγόριος Δουμένης,

Επικ. Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Φώτιος Βαρτζιώτης,

Επικ. Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Νικόλαος Νικολάκης,

Ερευνητής Β', Πανεπιστημιακός Υπότροφος

© Γεωργιάδης Θεόδωρος, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Γεωργιάδης Θεόδωρος

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα ακόλουθα άτομα και φορείς που συνέβαλαν σημαντικά στην ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη εκτίμησή μου στους καθηγητές και τους μέντορες μου, Γρηγόρη Δουμένη και Γιάννη Μασκλαβάνο. Η υποστήριξη, η καθοδήγηση και οι ανεκτίμητες γνώσεις τους συνέβαλαν καθοριστικά στη διαμόρφωση του ακαδημαϊκού μου ταξιδιού. Είμαι ευγνώμων για την αφοσίωσή τους, την τεχνογνωσία και την υπομονή τους σε όλη τη διαδικασία. Οι διδασκαλίες τους διεύρυναν τις γνώσεις μου, βελτίωσαν τις δεξιότητες κριτικής σκέψης μου και εμπλούτισαν την κατανόησή μου. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην εταιρία UCANDRONE που μου έδωσε την ευκαιρία να αναλάβω ένα εξάμηνο πρόγραμμα πρακτικής άσκησης. Αυτή η εμπειρία ήταν εξαιρετικά ικανοποιητική, επιτρέποντάς μου να εμβαθύνω στον συναρπαστικό κόσμο των UAS και των συστημάτων επικοινωνίας. Οι γνώσεις και οι πρακτικές δεξιότητες που απέκτησα κατά τη διάρκεια της θητείας μου, ήταν πολύτιμες για την έρευνά μου και είμαι ευγνώμων για την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε ολόκληρη η ομάδα. Επιπλέον, είμαι βαθιά υπόχρεος στην οικογένειά μου, ιδιαίτερα στους γονείς και στον αδερφό μου, για την αμέριστη υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου διαδρομής. Η αγάπη, η ενθάρρυνση και η πίστη τους στις ικανότητές μου ήταν το σταθερό κίνητρό μου. Είμαι ευγνώμων για τις θυσίες τους, τόσο οικονομικές όσο και συναισθηματικές, που μου επέτρεψαν να συνεχίσω την εκπαίδευσή μου στο πανεπιστήμιο. Η παρουσία και η ενθάρρυνσή τους ήταν πηγή δύναμης σε δύσκολες στιγμές, και είμαι πραγματικά ευλογημένος που τους έχω στη ζωή μου. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους φίλους και συναδέλφους που με στήριξαν και με ενθάρρυναν στην πορεία μου. Οι διεγερτικές συζητήσεις, τα σχόλια και οι κοινές εμπειρίες τους έχουν εμπλουτίσει την έρευνα και την προσωπική μου ανάπτυξη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (UAS), κοινώς γνωστά ως drones, έχουν κερδίσει μεγάλη προσοχή σε διάφορους τομείς, που περιλαμβάνουν στρατιωτικές εφαρμογές, αεροφωτογραφίες και υλικοτεχνικές υπηρεσίες. Ένα σημαντικό εμπόδιο που αντιμετωπίζουν αυτά τα συστήματα σχετίζεται με την περιορισμένη διάρκεια λειτουργίας τους, που αποδίδεται στους περιορισμούς της χωρητικότητας των μπαταριών τους. Αυτή η έρευνα διερευνά τους περίπλοκους καθοριστικούς παράγοντες που ασκούν επιρροή στην κατανάλωση ενέργειας των UAS, διερευνώντας ταυτόχρονα τρόπους για τη βελτίωση των πρωτοκόλλων πλοήγησης για τον μετριασμό αυτής της πρόκλησης. Η μελέτη εξετάζει σχολαστικά τα χαρακτηριστικά πτήσης των UAS, περιλαμβάνοντας παραμέτρους όπως η μπαταρία, η ταχύτητα και το ύψος, οριοθετώντας την περίπλοκη αλληλεπίδρασή τους με τα πρότυπα χρήσης ενέργειας. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η ανησυχία, εισάγεται ένας πρωτότυπος αλγόριθμος, που αντλεί έμπνευση από καθιερωμένες έννοιες παρόμοιες με αυτές που εφαρμόζονται στην αεροπορία. Αυτός ο αλγόριθμος έχει σχεδιαστεί επιδέξια για τον υπολογισμό της ελάχιστης ενεργειακής προϋπόθεσης για τα UAS να επαναφέρουν με ασφάλεια την τροχιά τους στο σημείο προέλευσης, περιλαμβάνοντας σημαντικές μεταβλητές όπως η απόσταση και το υψόμετρο. Η τεκμηρίωση του αλγοριθμικού πλαισίου επιτυγχάνεται μέσω μιας σειράς εμπειρικών δοκιμαστικών πτήσεων, τεκμηριώνοντας αποτελεσματικά την αποτελεσματικότητά του στον τομέα της ενεργειακής βελτιστοποίησης. Ξετυλίνοντας τις πολυπλοκότητες που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας UAS, αυτή η έρευνα προτείνει μια προσαρμοσμένη αλγοριθμική μεθοδολογία για την ασφαλής διακοπή του πλάνου πτήσης κατά τη διάρκεια επιχειρησιακών πτήσεων.

Λέξεις-κλειδιά: Μη επανδρωμένο σύστημα(UAS), Κατανάλωση ενέργειας, Αλγόριθμος.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Systems (UAS), commonly known as drones, have gained considerable attention across various domains, encompassing military applications, aerial photography, and logistical services. A significant impediment faced by these systems pertains to their constrained operational duration, attributed to the limitations of their battery capacities. This investigation delves into the intricate determinants that exert influence over the energy consumption of UAS, concurrently exploring avenues for refining navigational protocols to mitigate this challenge. The study meticulously examines the flight attributes of UAS, encompassing parameters such as battery, velocity, and altitude, delineating their intricate interplay with energy utilization patterns. To address this concern, an original algorithm is introduced, drawing inspiration from established concepts akin to those applied in aviation. This algorithm is adeptly designed to compute the minimal energy prerequisite for UAS to safely retrace their trajectory to the point of origin, encompassing salient variables such as distance and elevation. Substantiation of the algorithmic framework is accomplished through a series of empirical test flights, effectively substantiating its efficacy in the realm of energy optimization. By unraveling the complexities associated with UAS energy consumption, this inquiry propounds a bespoke algorithmic methodology that safely aborts the flight plan during operational sorties.

Keywords: Unmanned Aerial Sytem(UAS), Energy consumption, Algorithm.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT.....	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	14
1.[Εισαγωγή στα Μη Επανδρωμένα Ιπτάμενα Οχήματα].....	15
1.1 [Ιστορική Αναδρομή των UAV's].....	15
1.2 [Θεωρητική εισαγωγή των UAV's]	20
2.[Κατανάλωση ενέργειας στα UAV'S]	22
2.1 [Καιρικές επιδράσεις στην απόδοση και τις λειτουργίες UAV]	22
2.2 [Επιπτώσεις φορτιού στην απόδοση πτήσης του UAV]	25
2.3 [Η επιρροή της ταχύτητας και του υψομέτρου στα χαρακτηριστικά πτήσης του UAV]	27
3.[Πλοήγηση UAV'S: Τεχνικές Εφαρμογές και Βελτιώσεις].....	28
3.1 [Πραγματοποίηση αυτόνομης πλοήγησης]	29
3.2 [Αρχές και εφαρμογές των συστημάτων πλοήγησης GNSS και GPS]	31
3.3 [Βασικά αδρανειακά συστήματα για τη χρήση μη επανδρωμένων συστημάτων]	33
3.3.1 [Σύστημα αδρανειακής πλοήγησης (INS)].....	33
3.3.2 [Μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU)].....	35
3.3.3 [Συμπλοκή των αδρανειακών μονάδων μετρήσεις στα αδρανειακά συστήματα πλοήγησης] .	38
3.4 [Επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου MAVLink: Ενεργοποίηση αποτελεσματικής επικοινωνίας για συστήματα UAV]	38
4 [Εκτίμηση κατανάλωσης ενέργειας σε UAV's].....	46
4.1 [Δημιουργία αλγόριθμου για τη πρόβλεψη διάρκειας πτήσης UAV]	46
4.2 [Δημιουργία αλγόριθμου για τη πρόβλεψη εύρους πτήσης UAV]	49

4.3 [Εκτίμηση χρόνου αιώρησης της πτήσης του UAV]	51
5 [Πειραματική αξιολόγηση]	52
5.1 [Χρήση του Mission Planner για την Βελτιστοποίηση των Επιχειρήσεων UAV και Εκτέλεση Αποστολών]	52
5.2 [Εισαγωγή στη γλώσσα προγραμματισμού Lua: Μια ευέλικτη γλώσσα δέσμης ενεργειών για εφαρμογές UAV].....	54
5.3 [Αξιοποίηση της ισχύς της γλώσσας Lua για δέσμες ενεργειών εισόδου σε συστήματα UAV]	54
5.4 [Εξερεύνηση των δυνατοτήτων δέσμης ενεργειών Lua σε συστήματα UAV's]	56
5.5 [Δημιουργία ενός αλγόριθμου για την επιτυχία της αποστολής των UAV]	56
5.5.1 [Ανάλυση του αλγορίθμου].....	56
5.5.2 [Ροή διαγράμματος και απεικόνιση του αλγορίθμου].....	60
6 [Πειραματική υλοποίηση]	62
6.1 [Επίδειξη του αλγορίθμου στη πλατφόρμα Mission Planner με προγραμματισμένη πτήση]	64
7 [Συμπεράσματα].....	69
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. [Επίθεση των αυστριακών δυνάμεων στη Βενετία με UAV(https://www.researchgate.net/figure/Artistic-depiction-of-the-aerial-bombardment-of-Venice-in-1849-Artwork-from_fig2_328346254)].	15
Εικόνα 2. [Nikola Tesla https://www.sansimera.gr/biographies/42].	16
Εικόνα 3. [Το σκάφος τηλεχειρισμού του Nikola Tesla (https://www.engadget.com/2014-01-19-nikola-teslas-remote-control-boat.html)].	16
Εικόνα 4. [UAV Aerial Target (https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones)].	17
Εικόνα 5. [Το πρώτο σύγχρονο Drone Queen Bee (https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones)].	17
Εικόνα 6. [Cruise Missile V-1 “Doodlebugs“ https://en-academic.com/dic.nsf/enwiki/20222].	18
Εικόνα 7. [AeroVironment Inc. https://en.wikipedia.org/wiki/AeroVironment].	19
Εικόνα 8. [UAV ARCHYTAS τύπου VTOL(https://www.staratalogia.gr/2022/04/drone.html)].	19
Εικόνα 9. [UAV AQUILA τύπου VTOL (https://doureios.com/neo-uav-aquila-typou-vtol-apo-tin-ucandrone/)].	19
Εικόνα 10. [Διανυσματικό άθροισμα του True Airspeed(TAS) (https://skybrary.aero/articles/ground-speed)].	22
Εικόνα 11. [Drone που πλοηγείτε προς τις θερμές καιρικές συνθήκες (https://www.axios.com/2021/10/20/fcc-member-targets-chinese-drone-giant)].	23
Εικόνα 12. [Drone που πλοηγείτε προς τις κρύες καιρικές συνθήκες (https://zz11gss.top/products.aspx?cname=flying+drone+in+snow&cid=226)].	24
Εικόνα 13. [Drone που τραβάει φωτογραφίες (https://www.suasnews.com/2019/02/sony-camera-payload-for-dji-drones-from-klau-geomatrics/)].	25

Εικόνα 14. [Drone που μεταφέρει φορτίο (https://consortiq.com/uas-resources/how-to-balance-your-drones-payload-performance)]	26
Εικόνα 15. [Απεικόνιση του SLAM (https://www.flyability.com/simultaneous-localization-and-mapping)]	29
Εικόνα 16. [Σχεδιασμός πτήσης πλάνου με σημεία διαδρομής]	30
Εικόνα 17. [Αυτόνομο Drone που κατασκεύασε η NASA(https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2020/ps_5.html)]	31
Εικόνα 18. [Συστήματα GPS και GNSS (https://www.mobatime.com/article/difference-between-gnss-gps/)]	31
Εικόνα 19. [Λειτουργία του GNSS (https://www.oxts.com/technical-notes/why-is-an-ins-important-for-mapping/)]	32
Εικόνα 20. [Σύστημα αδρανειακής πλοήγησης (INS) (https://www.uavnavigation.com/support/kb/general/inertial-navigation-system-and-estimation/inertial-navigation)]	33
Εικόνα 21. [Μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU) (https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit)]	35
Εικόνα 22. [Τρόπος λειτουργίας του IMU]	36
Εικόνα 23. [Διασύνδεση MAVLink για κάμερες UAV (https://workswell-thermal-camera.com/mavlink-interface-uav-drone-thermal-camera/)]	39
Εικόνα 24. [Γέφυρα Wi-Fi MAVLink χρησιμοποιώντας το Raspberry Pi (https://ardupilot.org/dev/docs/making-a-mavlink-wifi-bridge-using-the-raspberry-pi.html)]	39
Εικόνα 25. [Προώθηση τηλεμετρίας του πρότυπου MAVLink (https://ardupilot.org/mavproxy/docs/getting_started/forwarding.html)]	40
Εικόνα 26. [Μορφή μηνύματος του προτύπου MAVLink (https://ardupilot.org/dev/docs/mavlink-basics.html)]	41
Εικόνα 27. [Ροή μηνυμάτων υψηλού επιπέδου του προτύπου MAVLink https://ardupilot.org/dev/docs/mavlink-basics.html]	41

Εικόνα 28. [MAVLink Inspector: μηνύματα κατάστασης συστήματος, μήνυμα Heartbeat]...	42
Εικόνα 29. [MAVLink Inspector πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και χαρτογράφηση της κίνησης του MAVLink].....	43
Εικόνα 30. [Πλατφόρμα Mission Planner (https://github.com/ArduPilot/MissionPlanner)].....	53
Εικόνα 31. [Γλώσσα προγραμματισμού Lua (https://en.wikipedia.org/wiki/Lua_%28programming_language%29)].....	54
Εικόνα 32. [Εισαγωγή των Lua Script στη πλατφόρμα Mission Planner].....	55
Εικόνα 33. [Χαμηλή ποσότητα καυσίμων (https://www.buddschev.com/2018/06/15/low-fuel-warning/)].....	57
Εικόνα 34. [Απεικόνιση του αλγορίθμου στη γλώσσα προγραμματισμού Lua, στο περιβάλλον ανάπτυξης Visual Studio Code].....	61
Εικόνα 35. [Σχεδιασμός πλάνου πτήσης στη πλατφόρμα Mission Planner].....	64
Εικόνα 36. [Εκκίνηση των σεναρίων στη πλατφόρμα Mission Planner].....	65
Εικόνα 37. [Απογείωση του Μη επανδρωμένου οχήματος].....	66
Εικόνα 38. [Λαμβάνοντας δεδομένα κατά της διάρκεια της πτήσης].....	66
Εικόνα 39. [Ενεργοποίηση του αλγορίθμου Bingo].....	67
Εικόνα 40. [Ολοκλήρωση του πλάνου πτήσης με ασφαλής προσγείωση].....	68

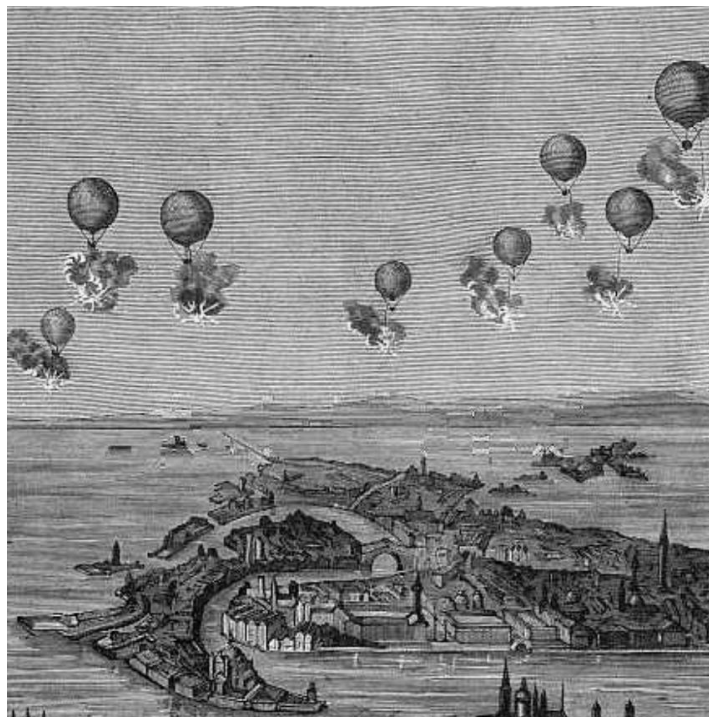
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

UAV.....	Unmanned Aerial Vehicle
UAS.....	Unmanned Aircraft System
LiPo.....	Lithium Polymer
GPS.....	Global Positioning System
GNSS.....	Global navigation satellite system
INS.....	Inertial Navigation System
IMU.....	Inertial Measurement Unit
GCS.....	Ground Control Station
SLAM.....	Simultaneous Location and Mapping
Lidar.....	Light Detection and Ranging
AUV.....	Autonomous Underwater Vehicle
ROV.....	Remotely Operated Vehicle
DOF.....	Degrees of Freedom
AHRS.....	Attitude And Heading Reference System
MAVLink.....	Micro Air Vehicle Link
LON.....	Longitude
LAT.....	Latitude
ALT.....	Altitude

1.Εισαγωγή στα Μη Επανδρωμένα Ιπτάμενα Οχήματα

1.1 Ιστορική Αναδρομή των UAV's

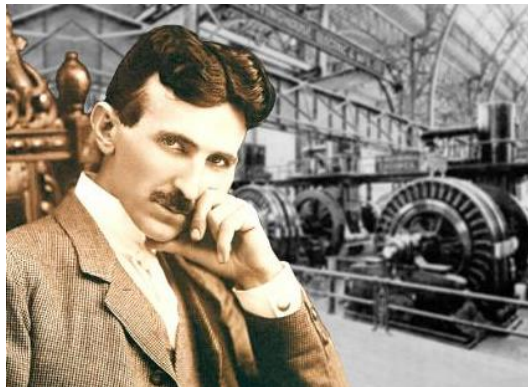
Η ιδέα των UAV's (Unmanned Aerial Vehicles) μπορεί κάλλιστα να χρονολογηθεί από το 1849 όταν η Αυστρία επιτέθηκε στη Βενετία χρησιμοποιώντας μη επανδρωμένα μπαλόνια γεμάτα με εκρηκτικά [51]. Οι αυστριακές δυνάμεις, που πολιορκούσαν τη Βενετία εκείνη την εποχή, εκτόξευσαν περίπου 200 από αυτά τα εμπρηστικά μπαλόνια πάνω από την πόλη. Όσο καινοτόμο κι αν ήταν αυτή η εκδήλωση στον τομέα της στρατιωτικής τεχνολογίας η χρήση μπαλονιών δεν ανταποκρίνεται στον σημερινό ορισμό των UAV's, ειδικά των στρατιωτικών.



Εικόνα 1: Επίθεση των αυστριακών δυνάμεων στη Βενετία με UAV

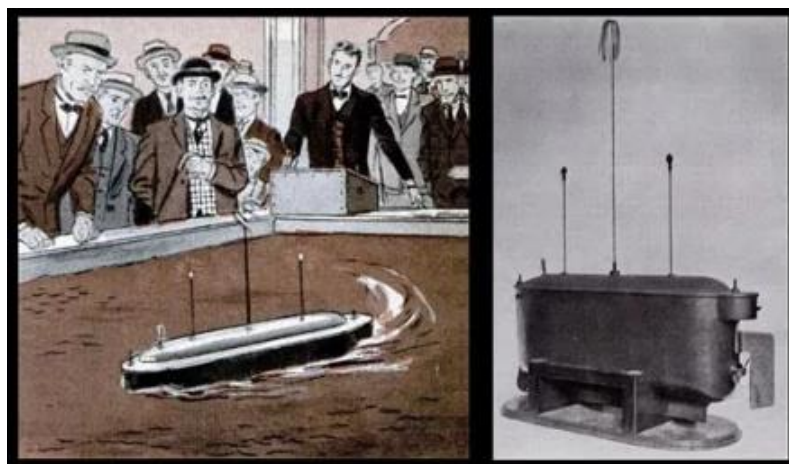
Είναι συναρπαστικό να βλέπουμε τη βασική ιδέα των UAV's να εξετάζεται από στρατιωτικούς τεχνολόγους πριν από περισσότερα από 170 χρόνια.

Πολλά χρόνια αργότερα, το 1892, ο Νικόλα Τέσλα δημιούργησε ένα βασικό σχέδιο για το ραδιόφωνο.



Εικόνα 2: Nikola Tesla

Στις 8 Νοεμβρίου 1898 κατοχύρωσε ένα ραδιοελεγχόμενο ρομπότ-σκάφος. Ο Tesla χρησιμοποίησε αυτό το σκάφος που ελεγχόταν από ραδιοκύματα στην Έκθεση Ηλεκτρικής το 1898, Madison Square Garden [47]. Το ρομπότ-σκάφος του Tesla κατασκευάστηκε με μια κεραία, η οποία μετέδιδε τα ραδιοκύματα που προέρχονταν από το διοικητήριο όπου στεκόταν ο Tesla. Αυτά τα ραδιοκύματα ελήφθησαν από μια ραδιοευαίσθητη συσκευή που ονομάζεται coherer, η οποία μετέδιδε τα ραδιοκύματα σε μηχανικές κινήσεις των ελίκων στο σκάφος.



Εικόνα 3: Το σκάφος τηλεχειρισμού του Nikola Tesla

Δυο δεκαετίες έπειτα το πρώτο UAV που αναπτύχθηκε από τη Βρετανία, γνωστό ως Aerial Target. Το Βρετανικό Aerial Target, ένα μικρό ραδιοελεγχόμενο αεροσκάφος, δοκιμάστηκε για πρώτη φορά τον Μάρτιο του 1917, ενώ η αμερικανική εναέρια τορπίλη

γνωστή ως Kettering Bug πέταξε για πρώτη φορά τον Οκτώβριο του 1918 [52]. Παρόλο που και τα δύο έδειξαν πολλά υποσχόμενα στις πτητικές δοκιμές, καμία δεν χρησιμοποιήθηκε επιχειρησιακά κατά τη διάρκεια του πολέμου.



Εικόνα 4: UAV Aerial Target

Το Queen Bee θεωρείται από πολλούς το πρώτο σύγχρονο drone, παρόλο που έμοιαζε περισσότερο με αεροπλάνο. Πιστεύεται ότι ο όρος «drone» άρχισε να χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή, εμπνευσμένος από το όνομα ενός από αυτά τα μοντέλα, του DH.82B Queen Bee [53]. Τα ραδιοελεγχόμενα drones κατασκευάστηκαν επίσης στις Ηνωμένες Πολιτείες και χρησιμοποιήθηκαν για εξάσκηση και εκπαίδευση στόχων.



Εικόνα 5: Το πρώτο σύγχρονο Drone Queen Bee

Ωστόσο, το πιο αξιοσημείωτο γεγονός του Β' Παγκοσμίου Πολέμου σχετικά με τα drones ήταν η εμφάνιση των [55] V-1 "Doodlebugs" του γερμανικού στρατού. Εξοπλισμένα με παλμικούς πυραύλους, αυτά τα σκάφη ήταν οι πρώτοι πύραυλοι κρουζ στον κόσμο. Χρησιμοποιήθηκαν σε μια εκστρατεία «τρομοκρατικών βομβαρδισμών» σε βρετανικές πόλεις όπως το Λονδίνο για να αποθαρρύνουν το ηθικό του βρετανικού κοινού. Το σύστημα καθοδήγησής τους χρησιμοποιούσε έναν απλό αυτόματο πιλότο για τον έλεγχο του ύψους και της ταχύτητας αέρα. γυροσκόπια ελεγχόμενη εκτροπή και τον τόνο? το αζιμούθιο διατηρήθηκε χρησιμοποιώντας μαγνητική πυξίδα. μια βαρομετρική συσκευή χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του υψομέτρου. Το γυροσκόπιο, το πηδάλιο και ο ανελκυστήρας ελέγχονταν με χρήση πεπιεσμένου αέρα.



Εικόνα 6: Cruise Missile V-1 "Doodlebugs"

Προχωρώντας τον χρόνο το 1990 – 2010 ήταν μια κομβική περίοδος για την ανάπτυξη στρατιωτικών και πολιτικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών, αφού οι μίνι και μικροεκδόσεις των UAV εισήχθησαν το 1990 και το διάσημο UAV Predator παρουσιάστηκε το 2000 [48]. Χρησιμοποιήθηκε στο Αφγανιστάν για την εκτόξευση πυραύλων και την έρευνα του Οσάμα Μπιν Λάντεν. Τα επόμενα χρόνια, αρκετά μικρού μεγέθους UAV επιτήρησης σταθερών πτερύγων όπως τα Raven, Wasp και Puma αναπτύχθηκαν από την AeroVironment Inc.



Εικόνα 7: AeroVironment Inc.

Πλέον τα UAV έχουν μεταμορφώσει τη σύγχρονη αεροπορία παρέχοντας καινοτόμες λύσεις σε διάφορους κλάδους, βελτιώνοντας την απόδοση, την ασφάλεια και τις δυνατότητες συλλογής δεδομένων [47]. Η ευελιξία, η οικονομική αποδοτικότητα και η προσαρμοστικότητά τους τα καθιστούν ένα ισχυρό εργαλείο στον συνεχώς εξελισσόμενο κόσμο της αεροπορίας και όχι μόνο. Η ταχεία πρόοδος της τεχνολογίας UAV, συμπεριλαμβανομένων των βελτιώσεων στη σταθερότητα πτήσης, της μεγαλύτερης αντοχής, των ενισχυμένων αισθητήρων και της αυξημένης αυτονομίας, συνεχίζει να επεκτείνει τις δυνατότητές τους και τις πιθανές εφαρμογές τους.



Εικόνα 8: UAV ARCHYTAS τύπου VTOL

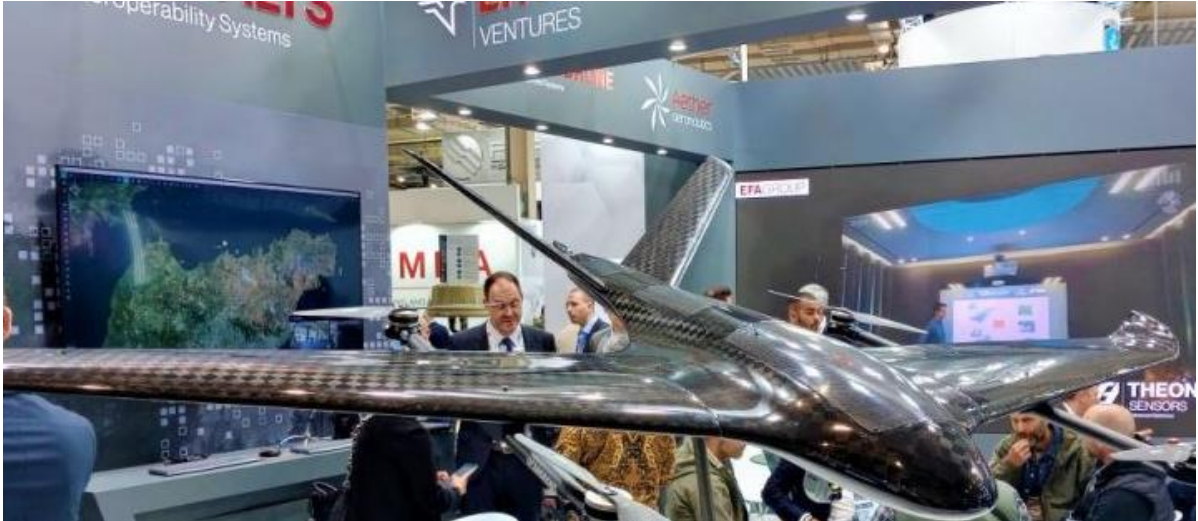
1.2 Εξερεύνηση των βασικών αρχών των UAV

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, κοινώς γνωστά ως UAV ή μη επανδρωμένα αεροσκάφη, είναι αεροσκάφη που λειτουργούν χωρίς ανθρώπινο πιλότο. Ελέγχονται εξ αποστάσεως από έναν άνθρωπο χειριστή ή μπορούν να πετάξουν αυτόνομα με βάση προ-προγραμματισμένες οδηγίες ή αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης. Τα UAV διατίθενται σε διάφορα μεγέθη, που κυμαίνονται από μικρές συσκευές χειρός έως μεγάλα, εξελιγμένα συστήματα ικανά να μεταφέρουν σημαντικά ωφέλιμα φορτία.

Χωρίς να παίζει ρολό το μέγεθος τους τα UAV είναι εξαιρετικά ευέλικτα και μπορούν να προσαρμοστούν αναλόγως ώστε να ταιριάζουν σε ένα ευρύ φάσμα εργασιών και περιβαλλόντων, όπως η εναέρια επιτήρηση, η αναγνώριση, η χαρτογράφηση, η παράδοση φορτίων, η κινηματογράφηση, η φωτογράφηση, η επιστημονική έρευνα, η παρακολούθηση περιβάλλοντος, αλλά και για ψυχαγωγική χρήση.

Εκτός από την ευελιξία τους, υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε διάφορους κλάδους, όπως οι στρατιωτικές εφαρμογές. Ωστόσο δεν έχουν πλεονεκτήματα μόνο σε στρατιωτικές εφαρμογές αλλά και σε εμπορικές εφαρμογές, καθώς καταγράφουν εκπληκτικές αεροφωτογραφίες και κινηματογραφικές φωτογραφίες, αποτυπώνοντας μοναδικές προοπτικές για ταινίες, ντοκιμαντέρ. Είναι εξαιρετικά για αεροφωτογράφιση και κινηματογράφηση ή ακόμα και για επιστημονικές εφαρμογές. Τις περισσότερες φορές, είναι εξοπλισμένα με ατμοσφαιρικούς αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να συλλέξουν πολύτιμα δεδομένα για μοντέλα πρόγνωσης καιρού βελτιώνοντας την ακρίβεια και την κατανόηση των καιρικών μοτίβων. Έτσι τα χρησιμοποιούν αρκετά συχνά για πρόγνωση καιρού ή ακόμα και για περιβαλλοντική παρακολούθηση. Τα UAV διευκολύνουν την περιβαλλοντική έρευνα συλλέγοντας δεδομένα για την κάλυψη της γης, τη βιοποικιλότητα, τα κλιματικά πρότυπα και τα επίπεδα ρύπανσης. Μπορούν να έχουν πρόσβαση σε απομακρυσμένες περιοχές και να παρέχουν πληροφορίες για τις φυσικές καταστροφές, τους πληθυσμούς της άγριας ζωής και τη διατήρηση των οικοτύπων.

Πάρα την πολύπλευρη χρήση τους μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στις επιχειρήσεις των μη επανδρωμένων συστημάτων είναι η περιορισμένη αντοχή τους λόγω των ενεργειακών περιορισμών. Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των μη επανδρωμένων συστημάτων με τη χρήση του προτύπου MAVLink για την ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης τους.



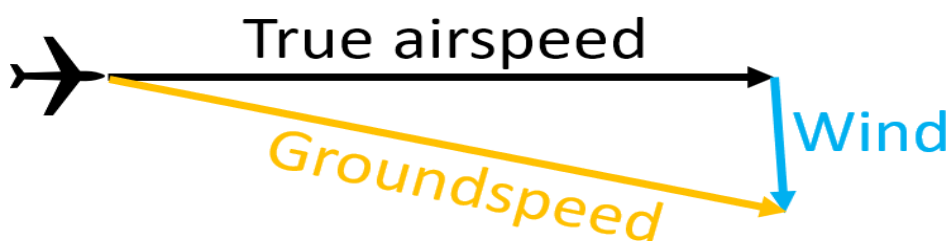
Εικόνα 9: UAV AQUILA τύπου VTOL

2. Κατανάλωση ενέργειας στα UAV'S

Πολλές έρευνες έχουν δείξει πως όσο αναφορά την κατανάλωση ενέργειας των μη επανδρωμένων παρουσιάζεται ένα συχνό πρόβλημα, η προσέγγιση των καυσίμων τους [1]. Πολλές εταιρίες που τα κατασκευάζουν δίνουν περισσότερο σημασία σε συστήματα πλοήγησης η κάμερες παρακολούθησης κλπ. αποφεύγοντας ένα κύριο ζήτημα, το οποίο είναι η “ζωή” του μη επανδρωμένου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα είτε η ποσότητα των καυσίμων να είναι τεράστια, είτε να μην είναι αρκετή για να πραγματοποιήσει μια προγραμματισμένη δρομολόγηση [2]. Για να λυθεί το συγκεκριμένο ζήτημα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την κατανάλωση ενεργείας του μη επανδρωμένου συστήματος [3]. Συνήθως θα λέγαμε πως είναι μια απλή συνάρτηση όσο αναφορά το υψόμετρο και την ταχύτητα [4]. Αλλά πέφτει κατά πολύ έξω αυτή η προσέγγιση, [5] καθώς για την συγκεκριμένη συνάρτηση σημαντικοί παράγοντες είναι οι καιρικές συνθήκες, το βάρος του ιδίου του UAS, το payload και η ταχύτητα. Θα αναλύσουμε παρακάτω τους συγκεκριμένους παράγοντες με αποτέλεσμα να έχουμε μια αποτελεσματική προγραμματισμένη δρομολόγηση.

2.1 Καιρικές επιδράσεις στην απόδοση και τις λειτουργίες UAV

Όσο αναφορά τις δρομολογήσεις των UAS (Unmanned Aircraft Systems) σε εξωτερικούς χώρους οι καιρικές συνθήκες έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την δρομολόγηση του UAS [6] [7]. Σε κάθε δρομολόγηση θα πρέπει να υπάρχει ανθρώπινο δυναμικό που θα πρέπει να ασχοληθεί με τις καιρικές συνθήκες εκείνης της στιγμής, καθώς θα μπορούσαν να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας του [8] [9]. Δυο κύριοι παράγοντες όσο αναφορά τις καιρικές συνθήκες είναι ο άνεμος και η θερμοκρασία.



Εικόνα 10: Διανυσματικό άθροισμα του True Airspeed(TAS)

Ο πιο σημαντικός παράγοντας όσο αναφορά τον άνεμο είναι η κατεύθυνση και η ταχύτητα του, που είτε μπορεί να ωφελήσει, είτε να δώσει αντίσταση στην κίνηση του μη επανδρωμένου συστήματος, αναλόγως με τη φορά του ανέμου [9]. Μεγάλη επιρροή έχει ο τύπος τους, το μέγεθος τους, το βάρος τους αλλά και το payload τους όσο αναφορά την αντίδραση τους την στιγμή της δρομολόγησης. Όταν το UAV αιωρείται, το φαινόμενο του ανέμου δημιουργεί μια ριπή που απαιτεί από το UAV εντολές για να παραμείνει στη θέση του, κάτι που μπορεί να επηρεάσει την απαιτούμενη ισχύ του κινητήρα αλλά και την κατανάλωση ενέργειας του [10].

Εκτελώντας δρομολογήσεις κατά τη διάρκεια αρκετά ζεστού ή κρύου καιρού δεν συνίσταται, επειδή η θερμοκρασία μπορεί να έχει ορισμένες επιπτώσεις στο UAV. Όταν πραγματοποιείται το πλάνο πτήσης σε ζεστό καιρό, ο αέρας είναι λιγότερο πυκνός, καθιστώντας τους έλικες του UAV να δημιουργήσουν ανύψωση, έτσι οι μπαταρίες του να υπερθερμαθούν καθώς παλεύει να δημιουργήσει ανύψωση [5]. Ως αποτέλεσμα ο χρόνος πτήσης να μειωθεί. Εκτός από το πρόβλημα της ενέργειας, η υπερθέρμανση μπορεί να δημιουργήσει και άλλα προβλήματα, όπως η καταστροφή των ενσύρματων συνδέσεων ή και τα ηλεκτρονικά του.



Εικόνα 11: Drone που πλοηγείτε προς τις θερμές καιρικές συνθήκες

Όσο αναφορά την κατανάλωση ενέργειας μεγαλύτερη επιρροή έχει ο κρύος καιρός, εφόσον οι μπαταρίες επηρεάζονται περισσότερο από τον κρύο καιρό. Τα περισσότερα UAV χρησιμοποιηθούν LiPo (Lithium Polymer) μπαταρίες, όπου η λειτουργικότητά τους επηρεάζεται από το κρύο. Όταν ο καιρός είναι υπερβολικά κρύος, οι μπαταρίες γίνονται

κρύες και αυτό μειώνει τη χημική δραστηριότητά τους με αποτέλεσμα ο χρόνος πτήσης να μειωθεί, αλλά και υπάρχει πιθανότητα να προκληθεί κάποια βλάβη στους αισθητήρες του συστήματος. Ένα άλλο ζήτημα που προκαλεί το υπερβολικό κρύο είναι η ορατότητα του χρήστη. Συνήθως ο χειμώνας έρχεται με προβλήματα ορατότητας, όπως χιονόπτωσης ή ομίχλης λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας.



Εικόνα 12: Drone που πλοηγείτε προς τις κρύες καιρικές συνθήκες

Η πίεση του αέρα και η υγρασία είναι επίσης περιβαλλοντικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας ενός UAV κατά τη διάρκεια της πτήσης. Η πίεση αέρα αναφέρεται στη δύναμη που ασκεί ο αέρας στο drone καθώς πετάει. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, η πίεση του αέρα είναι χαμηλότερη, πράγμα που σημαίνει ότι ο αέρας είναι λιγότερο πυκνός. Αυτό μειώνει την ποσότητα ανύψωσης που παράγεται από τις έλικες του, γεγονός που μπορεί να αυξήσει την ενέργεια που απαιτείται για να διατηρήσει τη θέση και το υψόμετρο του. Οι κινητήρες και οι έλικες του πρέπει να εργαστούν σκληρότερα για να αντισταθμίσουν τη μειωμένη πυκνότητα αέρα, η οποία μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση ενέργειας.

Η υγρασία, από την άλλη πλευρά, αναφέρεται στην ποσότητα της υγρασίας στον αέρα. Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας μπορούν να αυξήσουν την πυκνότητα του αέρα, γεγονός που καθιστά πιο δύσκολο για το drone να διατηρήσει μια σταθερή διαδρομή πτήσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αυξημένη πυκνότητα αέρα δημιουργεί μεγαλύτερη οπισθέλκουσα, η οποία μπορεί να κάνει τους κινητήρες και τις έλικες του να λειτουργούν σκληρότερα, αυξάνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας. Η συνδυασμένη επίδραση της πίεσης του αέρα και της υγρασίας μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας ενός drone. Για παράδειγμα, σε περιβάλλοντα μεγάλου υψόμετρου

και υψηλής υγρασίας, οι κινητήρες και οι έλικες του πρέπει να εργαστούν σκληρότερα για να διατηρήσουν την ανύψωση, γεγονός που μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση ενέργειας και να μειώσει τον χρόνο πτήσης.

Συνοψίζοντας ο καιρός έχει μεγάλη επίδραση όσο αναφορά τα UAV's επειδή επηρεάζει την λειτουργικότητα τους. Δεν γίνεται να αγνοήσουμε τις καιρικές συνθήκες και τα προβλήματα που θα προκληθούν, αλλά θα μπορούσαμε να βελτιστοποιήσουμε την κατανάλωση ενέργειας σε αυτές τις συνθήκες, αν λάβουμε υπόψη τη χωρητικότητα της μπαταρίας και τη λειτουργία πτήσης, τη σχεδίαση και τις προδιαγραφές του UAV, όπως το μέγεθος του κινητήρα και των ελίκων.

2.2 Επιπτώσεις φορτίου στην απόδοση πτήσης του UAV

Το ωφέλιμο φορτίο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας ενός UAV κατά τη διάρκεια της πτήσης. Το ωφέλιμο φορτίο αναφέρεται σε οποιοδήποτε πρόσθετο βάρος που φέρει ένα UAV, όπως έναν αισθητήρα, σε ένα φορτίο, μια συσκευή επικοινωνίας, η οποία συνήθως δεν χρησιμοποιείται για τον χειρισμό του μη επανδρωμένου, αλλά συνήθως για ζωντανή μετάδοση μεταξύ του μη επανδρωμένου και του επίγειου σταθμού.



Εικόνα 13: Drone που τραβάει φωτογραφίες

Όταν ένα UAV μεταφέρει βαρύτερο ωφέλιμο φορτίο, απαιτεί περισσότερη ενέργεια για να σηκωθεί και να διατηρήσει τη θέση του στον αέρα. Το πρόσθετο βάρος αυξάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις του και μπορεί να μειώσει τον χρόνο πτήσης του. Αυτό συμβαίνει επειδή οι κινητήρες και οι έλικες του πρέπει να εργαστούν σκληρότερα για να δημιουργήσουν την ώθηση που απαιτείται για την ανύψωση του και του ωφέλιμου

φορτίου του. Απαραίτητη είναι η προσοχή κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης οποιουδήποτε είδους payload, καθώς αν το φορτίο μετατοπιστεί κατά τη διάρκεια της πτήσης, θα οδηγήσει σε μετατόπιση του κέντρου βάρους του μη επανδρωμένου. Αυτό βέβαια θα το λάβει υπόψιν ο αυτόματος πιλότος και θα προσπαθήσει να κρατήσει σε ισορροπία το μη επανδρωμένο σύστημα, χρησιμοποιώντας μεγαλύτερη δύναμη με τις προπέλες που έχει μετατοπιστεί το φορτίο, αν το μη επανδρωμένο είναι τετρακόπτερο, ωστόσο είναι μεγάλη η πιθανότητα το μη επανδρωμένο σύστημα να χάσει τον έλεγχο. Για αυτό ο κατασκευαστής έχει καθορίσει το κέντρο βάρους του μαζί με το επιτρεπόμενο φορτίο. Πρέπει να ληφθεί παράλληλα υπόψιν ότι εγκαθιστώντας οποιαδήποτε φορτίο αυξάνει την αντίσταση που δέχεται από τον αέρα. Με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη επιφάνεια ανέμου, όταν αιωρείται και ακόμα μεγαλύτερη αντίσταση θα υπάρχει κατά τη διάρκεια οριζόντιας πτήσης.



Εικόνα 14: Drone μεταφέρει φορτίο

Συνοπτικά, το ωφέλιμο φορτίο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας ενός UAV. Για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, είναι απαραίτητο να επιλεγεί το κατάλληλο ωφέλιμο φορτίο και να διασφαλιστεί ότι η σχεδίαση και οι προδιαγραφές του μπορούν να ανταποκριθούν στο πρόσθετο βάρος χωρίς να διακινδυνεύει η απόδοσή του.

2.3 Η επιρροή της ταχύτητας και του υψόμετρου στα χαρακτηριστικά πτήσης του UAV

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που πετούν σε μεγαλύτερα υψόμετρα ή μεγαλύτερες ταχύτητες απαιτούν περισσότερη ενέργεια για να διατηρήσουν τη θέση και την ταχύτητά τους. Επιπλέον, οι συνθήκες ανέμου μπορούν επίσης να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας τους κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Γενικά, τα μεγαλύτερα υψόμετρα ή μεγαλύτερες ταχύτητες απαιτούν περισσότερη ενέργεια για να διατηρήσουν τη θέση και την ταχύτητά τους. Αυτό συμβαίνει επειδή το σύστημα πρόωσης τους πρέπει να εργαστεί σκληρότερα για να ξεπεράσει την αυξημένη αντίσταση του αέρα και να διατηρήσει μια σταθερή διαδρομή πτήσης. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, ο αέρας είναι λιγότερο πυκνός, πράγμα που σημαίνει ότι οι έλικες τους πρέπει να περιστρέφονται γρηγορότερα για να δημιουργήσουν την ίδια ποσότητα ανύψωσης όπως θα έκαναν σε χαμηλότερα υψόμετρα. Αυτό απαιτεί περισσότερη ενέργεια από την μπαταρία, κάτι που μπορεί να μειώσει τον χρόνο πτήσης τους.

Ομοίως, όταν ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος πετά με μεγαλύτερες ταχύτητες, αντιμετωπίζει αυξημένη αντίσταση αέρα, η οποία απαιτεί περισσότερη ενέργεια για να ξεπεραστεί. Αυτό συμβαίνει επειδή το σύστημα πρόωσης του πρέπει να εργαστεί σκληρότερα για να δημιουργήσει την ώθηση που απαιτείται για να διατηρήσει την ταχύτητά του. Ως αποτέλεσμα, με υψηλές ταχύτητες θα καταναλώνει περισσότερη ενέργεια.

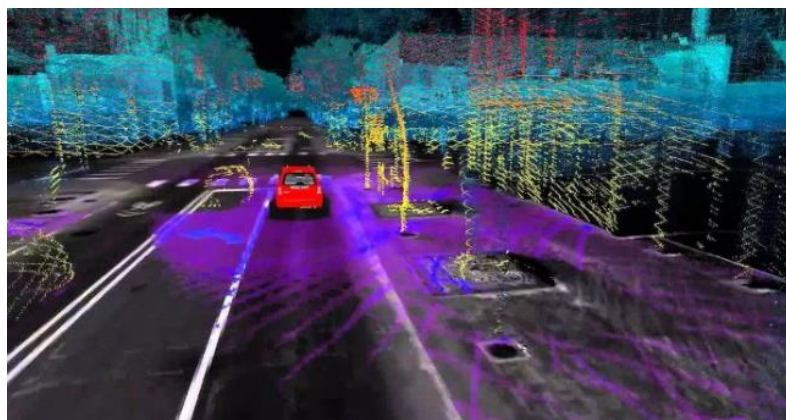
Εκτός από την ταχύτητα και το ύψος, οι συνθήκες του ανέμου μπορούν επίσης να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας τους, κατά τη διάρκεια της πτήσης. Οι αντίθετοι άνεμοι μπορούν να αυξήσουν την κατανάλωση ενέργειας, καθώς το σύστημα πρόωσης πρέπει να εργαστεί σκληρότερα για να διατηρήσει μια σταθερή ταχύτητα. Αντίθετα, οι ουραίοι άνεμοι μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας καθώς το UAV μπορεί να πετάξει πιο γρήγορα με λιγότερη προσπάθεια. Επομένως, για να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας τους, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν οι συνθήκες πτήσης, όπως το ύψος, την ταχύτητα και τις συνθήκες ανέμου, και να προσαρμοστούν για να επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση πτήσης ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας.

3.Πλοήγηση UAV'S: Τεχνικές Εφαρμογές και Βελτιώσεις

Στις μέρες μας είναι θεμελιώδης απαίτηση, τα μη επανδρωμένα συστήματα να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται και να αποφασίζουν για το αν είναι εφικτή η διαδικασία που θέλουν να ακολουθήσουν. Πλέον η αυτόνομη πλοήγηση επιτρέπει στα μη επανδρωμένα και ρομποτικά συστήματα να ακολουθούν συγκεκριμένες διαδικασίες, αλλά και σημεία διαδρομής, χωρίς να χρειάζεται η συμμετοχή του ανθρώπινου δυναμικού. Για να πραγματοποιηθεί μια τέτοια διαδικασία, κάθε είδος μη επανδρωμένου συστήματος είναι εξοπλισμένο με συγκεκριμένο λογισμικό αλλά και διάφορους αισθητήρες, κλπ. Το πιο κοινό σύστημα που χρησιμοποιείται για την πλοήγηση είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS), το οποίο παρέχει ακριβείς πληροφορίες τοποθεσίας χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο δορυφόρων σε τροχιά γύρω από τη γη. Το UAV μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για να προσδιορίσει τη θέση και το ύψος του και να προσαρμόσει ανάλογα τη διαδρομή πτήσης του. Άλλα συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πλοήγηση περιλαμβάνουν τα συστήματα αδρανειακής πλοήγησης (INS), τα οποία χρησιμοποιούν επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια για τη μέτρηση των ρυθμών επιτάχυνσης και περιστροφής του και τα βαρομετρικά υψόμετρα, τα οποία χρησιμοποιούν την πίεση αέρα για τον προσδιορισμό του υψομέτρου του. Εκτός από αυτά τα συστήματα, τα UAV μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν αλγόριθμους όρασης υπολογιστών και μηχανικής μάθησης για να αναγνωρίζουν και να παρακολουθούν χαρακτηριστικά στο έδαφος, όπως κτίρια, δρόμους και άλλα αντικείμενα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει το UAV να πλοηγηθεί σε πολύπλοκα περιβάλλοντα και να αποφύγει τα εμπόδια. Για τον έλεγχο της πλοήγησης του, χρησιμοποιείται συνήθως ένας σταθμός ελέγχου εδάφους (GCS). Το GCS επιτρέπει στον χειριστή να ορίζει σημεία και να παρακολουθεί τη θέση, το υψόμετρο και τον προσανατολισμό του σε πραγματικό χρόνο. Ο χειριστής μπορεί επίσης να προσαρμόσει τη διαδρομή πτήσης, την ταχύτητα και το ύψος του όπως απαιτείται.

3.1 Πραγματοποίηση αυτόνομης πλοήγησης

Τα μη επανδρωμένα συστήματα (UAS), χρησιμοποιώντας δέκτες GPS/GNSS, συστήματα αδρανειακής πλοήγησης(INS), σαρωτές LiDAR (light detection and ranging), αισθητήρες υπέρηχων, οπτικές κάμερες αλλά και σε μερικές περιπτώσεις την τεχνική πλοήγησης SLAM(Simultaneous Location And Mapping). Επιτυγχάνουμε όχι μόνο την αυτόνομη πλοήγηση, αλλά και την αποφυγή εμποδίων και συγκρούσεων, καθώς είναι απαιτούμενο αυτό το επίπεδο ασφάλειας για να πιστοποιηθεί ένα UAS. Όλα τα μη επανδρωμένα συστήματα συνήθως χρησιμοποιούν συνδυασμούς, όπως η χρήση GNSS (Global Navigation Satellite System) και INS, σαρωτές LiDAR ή οπτικές κάμερες, έτσι ώστε να παρέχουν δυνατότητες αυτόνομης πλοήγησης, αποφυγή συγκρούσεων και εμποδίων. Παράλληλα η σύμπτυξη διαφορετικών αισθητήρων είναι απαραίτητη για την ενοποίηση των διαφορετικών πηγών, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ακριβές μοντέλο του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται το UAS. Αυτό μπορούμε να το πραγματοποιήσουμε και με τη χρήση της τεχνικής πλοήγησης SLAM.



Εικόνα 15: Απεικόνιση του SLAM

Η οποία τεχνική δημιουργεί ένα χάρτη του περιβάλλοντος τους, για να κατανοήσουν της θέση τους μέσα σε αυτό. Η αυτόνομη πλοήγηση ενός UAV τυπικά ορίζεται από μια σειρά σημείων που είναι προγραμματισμένα στον ενσωματωμένο υπολογιστή. Αυτά τα σημεία καθορίζουν την επιθυμητή διαδρομή πτήσης και παρέχουν ένα πλαίσιο για να προηγηθεί το UAV στον προορισμό του. Οπού ο χειρίστης ορίζει την αποστολή επιλέγοντας τα σημεία που θα πλοηγηθεί το UAV, τα σημεία μπορούν να επιλεγθούν από κάποιο λογισμικό που δημιουργεί ένα σχέδιο πτήσης. Έπειτα το λογισμικό χρησιμοποιεί

αυτές τις πληροφορίες για να δημιουργήσει ένα σχέδιο πτήσης. Αφού γίνει η απογείωση, θα χρησιμοποιήσει τους ενσωματωμένους αισθητήρες για να προσδιορίσει τη θέση του και τον προσανατολισμό του και με τη βοήθεια των αισθητήρων το λογισμικό θα υπολογίσει την καλύτερη διαδρομή προς το επόμενο σημείο. Το UAV θα συνεχίζει να πλοηγεί σε κάθε σημείο διαδρομής μέχρι να φτάσει στο τέλος του σχεδίου πτήσης. Και αφού φτάσει στο τελευταίο σημείο, αναλόγως τις απαιτήσεις της αποστολής το UAV θα προσγειωθεί ή θα επιστρέψει στο home location.



Εικόνα 16: Σχεδιασμός πτήσης πλάνου με σημεία διαδρομής

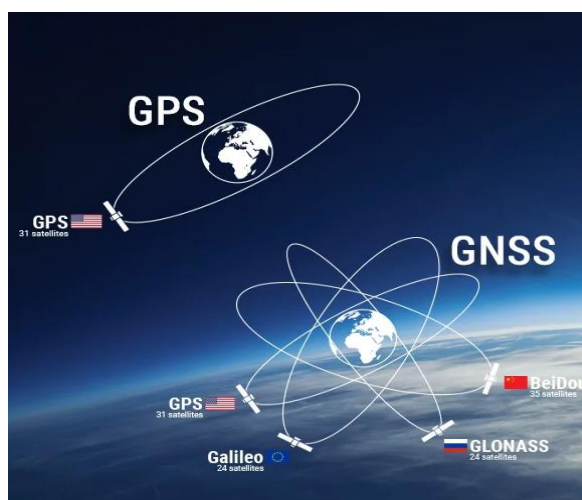
Συνοπτικά, η αυτόνομη πλοήγηση με χρήση σημείων περιλαμβάνει τον καθορισμό της αποστολής, τον προγραμματισμό του UAV με τα σημεία διαδρομής, την απογείωση, την πλοήγηση σε κάθε σημείο με χρήση αισθητήρων και λογισμικού και την ολοκλήρωση της αποστολής αφού έχουν φτάσει όλα τα σημεία διαδρομής. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στο UAV να εκτελεί σύνθετες εργασίες χωρίς άμεση παρέμβαση του χειριστή, καθιστώντας το χρήσιμο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως τοπογραφία, χαρτογράφηση και επιτήρηση. Για την πραγματοποίηση της απαιτείται ένας συνδυασμός αισθητήρων, λογισμικού και αλγορίθμων λήψης αποφάσεων που συνεργάζονται για να οδηγήσουν το UAV στον προορισμό του με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Τα σημεία διαδρομής παρέχουν ένα πλαίσιο για τη διαδρομή πτήσης του UAV, ενώ η τεχνική πλοήγηση (SLAM) μπορούν να βοηθήσουν το UAV να λάβει καλύτερες αποφάσεις και να πλοηγηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια.



Εικόνα 17: Αυτόνομο Drone που κατασκεύασε η NASA

3.2 Αρχές και εφαρμογές των συστημάτων πλοήγησης GNSS και GPS

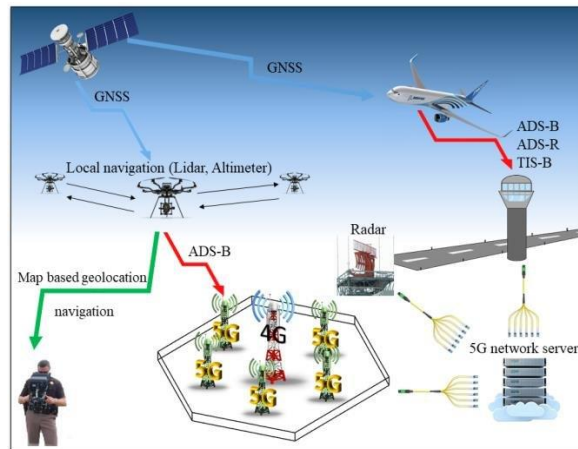
Το GNSS και είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει όλα τα παγκόσμια συστήματα δορυφορικού εντοπισμού θέσης. Το συγκεκριμένο σύστημα περιλαμβάνει αστερισμούς δορυφόρων που περιφέρονται σε τροχιά πάνω από την επιφάνεια της γης και μεταδίδουν συνεχώς σήματα που επιτρέπουν στους χρήστες να προσδιορίσουν τη θέση τους.



Εικόνα 18: Συστήματα GPS και GNSS

Το GPS (Global Positioning System) είναι ένα στοιχείο του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης (GNSS). Συγκεκριμένα, αναφέρεται στο NAVSTAR Global Positioning System, έναν αστερισμό δορυφόρων που αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών (DoD). Αρχικά, το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Αναπτύχθηκε για στρατιωτική χρήση, αλλά αργότερα έγινε προσβάσιμο και σε πολίτες. Το GPS είναι πλέον το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο GNSS στον κόσμο και

παρέχει συνεχείς πληροφορίες εντοπισμού θέσης και χρονισμού παγκοσμίως, υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες.



Εικόνα 19: Λειτουργία του GNSS

Τόσο το GPS όσο και το GNSS αποτελούνται από τρία κύρια τμήματα: το διαστημικό τμήμα (δορυφόροι), το επίγειο τμήμα (σταθμοί ελέγχου εδάφους) και το τμήμα χρήστη (GNSS ή δέκτες GPS). Η ακριβής θέση κάθε δορυφόρου είναι γνωστή ανά πάσα στιγμή. Οι δορυφόροι στέλνουν συνεχώς ραδιοφωνικά σήματα προς τη γη, τα οποία λαμβάνονται από δέκτες GNSS ή GPS. Οι σταθμοί ελέγχου εδάφους που παρακολουθούν το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης παρακολουθούν συνεχώς δορυφόρους, ενημερώνουν τις θέσεις καθενός και επιτρέπουν τη μετάδοση πληροφοριών στη γη στους δορυφόρους. Τα δυο συστήματα GPS & GNSS με την μεταξύ τους συνεργασία χρησιμοποιούνται για πιο έξυπνες λειτουργίες πλοήγησης. Όπως η Διατήρηση θέσης, που επιτρέπει στα UAV να διατηρεί μια σταθερή θέση σε ένα καθορισμένο υψόμετρο. Η πλοήγηση επιστροφής στο σημείο εκκίνησης, όπου ένα μη επανδρωμένο σύστημα επιστρέφει αυτόματα με το πάτημα ενός κουμπιού στη θέση απογείωσης. Και η Αυτόνομη πτήση, όπου η διαδρομή πτήσης ρυθμίζεται με βάση σημεία GPS/GNSS τα οποία θα ακολουθήσει το μη επανδρωμένο σύστημα χρησιμοποιώντας λειτουργίες αυτόματου πιλότου. Πολλά μη επανδρωμένα συστήματα όπως τα UAV, τα UGV και τα AUV απαιτούν τη χρήση GPS/GNSS για να τους παρέχεται υψηλός βαθμός ακρίβειας εντοπισμού θέσης για εφαρμογές όπως η χαρτογράφηση, η τοπογραφία, η γεωργία ακριβείας και η έρευνα και διάσωση. Μια κεραία GNSS είναι τοποθετημένη κάπου στο όχημα και τα δορυφορικά δεδομένα τροφοδοτούνται συνήθως στα συστήματα αεροηλεκτρονικής, αυτόματου πιλότου ή πλοήγησης. Εκτός από την πλοήγηση, τα μη

επανδρωμένα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν το GNSS για τη γεωαναφορά των συγκεντρωμένων δεδομένων, την αποφυγή συγκρούσεων ή την παροχή δυνατοτήτων παρακολούθησης. Τα δεδομένα GNSS παρέχουν εισόδους στον βρόχο ελέγχου ενός μη επανδρωμένου συστήματος, επιτρέποντάς του να διατηρήσει τη θέση του, να επιστρέψει στο home location ή να ακολουθήσει μια σειρά προκαθορισμένων σημείων διαδρομής. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα ρομπότ που μεταφέρονται στο νερό, όπως τα AUV (autonomous underwater vehicle) και τα ROV (remotely operated vehicle), των οποίων οι θέσεις μπορούν να επηρεαστούν σημαντικά από την παλιρροιακή δραστηριότητα.

3.3 Βασικά αδρανειακά συστήματα για τη χρήση μη επανδρωμένων συστημάτων

3.3.1 Σύστημα αδρανειακής πλοήγησης (INS)

Τα συστήματα αδρανειακής πλοήγησης (INS) είναι εξαιρετικά κατάλληλα στον τομέα των μη επανδρωμένων συστημάτων και είναι βασικό συστατικό στην πλοήγηση των UAV, [12] [13] καθώς υπολογίζει τη θέση, τον προσανατολισμό, και τη ταχύτητα ενός κινουμένου αντικειμένου, με τη χρήση αισθητήρων κίνησης, περιστροφής και χωρίς την αναγκαία χρήση του GPS. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σκληρά περιβάλλοντα, καθώς δεν είναι ευαίσθητα σε εμπλοκές και δεν εκπέμπουν σημαντική ανιχνεύσιμη ακτινοβολία.



Εικόνα 20: Σύστημα αδρανειακής πλοήγησης (INS)

Αρκετοί μέθοδοι πλοήγησης, όπως για παράδειγμα η ραδιοπλοήγηση και η ουράνια πλοήγηση, βασίζονται σε εξωτερικά αντικείμενα ή πηγές πληροφοριών, όπως ορόσημα, ουράνια αντικείμενα, δορυφόρους ή πομπούς [14]. Ο τρόπος που λειτουργεί η αδρανειακή πλοήγηση είναι μια αυτοαναφορική μέθοδος με την οποία ένα σύστημα μπορεί να παρακολουθεί τη θέση, τον προσανατολισμό και την ταχύτητά του (αφού δοθούν οι αρχικές τιμές για αυτές τις παραμέτρους), χωρίς την ανάγκη από εξωτερικούς παράγοντες. Γνωρίζοντας την επιτάχυνση ενός αντικειμένου μπορούμε να προσδιορίσουμε την ταχύτητα με την χρήση μαθηματικής ολοκλήρωσης. Για αυτό το λόγο απαιτούνται επιταχυνσιομετρα για την αδρανειακή πλοήγηση. Χρησιμοποιώντας επίσης γυροσκοπία υπολογίζουμε τον γωνιακό ρυθμό (γωνιακή ταχύτητα), όπου μας εξασφαλίζει τον προσανατολισμό του συστήματος στο περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται [17]. Επιπλέον με την συνεργασία μαγνητόμετρων, τα οποία μετρούν την ισχύ και την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου τη γης είναι εφικτό να υπολογιστεί η εκτροπή αλλά και η κατεύθυνση του μη επανδρωμένου συστήματος. Όλα αυτά τα συστήματα επικοινωνούν με μια υπολογιστική μονάδα η οποία μεταφράζει τα δεδομένα έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν [15] [16]. Καθώς το όχημα συνεχίζει να κινείται, το σύστημα θα συνεχίζει να υπολογίζει και να ενημερώνετε αυτόματα, από όλα τα στοιχεία κίνησης μέσω των δεδομένων που δέχεται από τους διάφορους αισθητήρες κίνησης [18]. Έπειτα το διάλυσμα βαρύτητας μετράτε από τα επιταχυνσιομετρα σε ένα φίλτρο Kalman για τη εκτίμηση της συμπεριφοράς του συστήματος [28]. Με βάση τη συμπεριφορά μετατρέπονται οι μετρήσεις επιταχύνσεις σε ένα αδρανειακό πλαίσιο αναφοράς, όπου ενσωματώνονται για να λάβουν τη γραμμική ταχύτητα.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι INS που χρησιμοποιούνται στα UAV: strapdown και gimbaled. Σε ένα Strapdown INS, οι αισθητήρες είναι στερεωμένοι άκαμπτα στο UAV και κινούνται με το UAV. Σε ένα Gimbaled INS, οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε μια πλατφόρμα που είναι απομονωμένη από την κίνηση του UAV, επιτρέποντας στους αισθητήρες να παραμένουν σταθεροί και να μετρούν τις αλλαγές στην κίνηση του UAV σε σχέση με τη σταθερή πλατφόρμα.

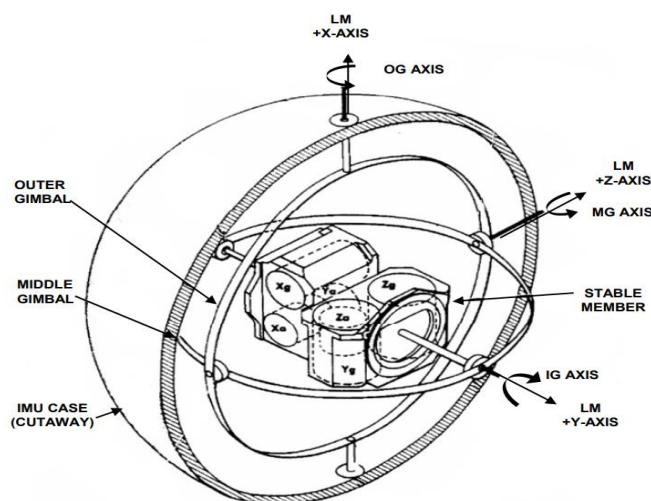
Η χρήση του INS στα UAV παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, μεταξύ των οποίων. Ένα INS επιτρέπει στα UAV να πλοηγούνται ανεξάρτητα, χωρίς να βασίζονται σε εξωτερικά συστήματα εντοπισμού θέσης όπως το GPS. Αυτό τους επιτρέπει να λειτουργούν σε περιοχές όπου τα σήματα GPS μπορεί να είναι αδύναμα ή μη διαθέσιμα,

όπως σε εσωτερικούς χώρους ή σε αστικά φαράγγια. Το INS μπορεί να παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις θέσης, ταχύτητας και στάσης, ακόμη και σε περιβάλλοντα όπου τα σήματα GPS μπορεί να είναι αδύναμα ή μπλοκαρισμένα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα UAV που εκτελούν κρίσιμες αποστολές, όπως η έρευνα και η διάσωση, όπου η ακρίβεια είναι απαραίτητη. Το INS μπορεί να παρέχει ένα εφεδρικό σύστημα πλοήγησης σε περίπτωση βλάβης του GPS. Ενσωματώνοντας το INS με το GPS και άλλους εξωτερικούς αισθητήρες, τα UAV μπορούν να έχουν πολλαπλά συστήματα πλοήγησης που παρέχουν πλεονασμό και ενισχύουν την ασφάλεια.

Συνοπτικά, το INS είναι ένα σημαντικό σύστημα αισθητήρων που χρησιμοποιείται σε UAV για να παρέχει αυτόνομη πλοήγηση και εφεδρικό εντοπισμό θέσης σε καταστάσεις όπου τα σήματα GPS μπορεί να είναι αδύναμα ή μη διαθέσιμα. Η χρήση του ενισχύει την αυτονομία, την ακρίβεια και την ασφάλεια των λειτουργιών UAV.

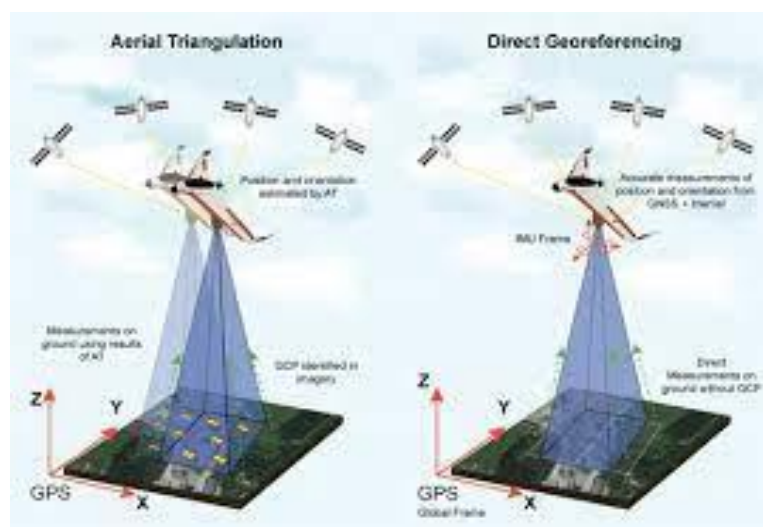
3.3.2 Μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU)

Η μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU), είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιεί βαρόμετρα, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια και με τον συνδυασμό διάφορων αδρανειακών αισθητήρων, καταφέρνει τη μέτρηση της επιτάχυνσης και της περιστροφής, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παροχή της δεδομένης θέσης.



Εικόνα 21: Μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU)

Είναι βασικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε μη επανδρωμένα συστήματα ,αλλά και σε αρκετά οχήματα προηγμένης τεχνολογίας [19]. Χρησιμοποιούνται για ελιγμούς, ελέγχους, σταθεροποίηση, καθοδήγηση, διόρθωση, μέτρηση καθώς και για χαρτογραφήσεις. Παράλληλα επιτρέπει την λειτουργία ενός δεκτή GPS να λειτουργεί όταν τα σήματα του δεν είναι προσιτά σε ορισμένα σημεία, όπως σε σήραγγες κτίρια ή και όταν υπάρχουν ηλεκτρονικές παρεμβολές [21]. Ορισμένα μοντέλα IMU έχουν επίσης ενσωματωμένα μαγνητόμετρα, τα οποία εξάγουν μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου της Γης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ακρίβειας των μετρήσεων προσανατολισμού.



Εικόνα 22: Τρόπος λειτουργίας του IMU

Ένας μεμονωμένος αδρανειακός αισθητήρας μπορεί να ανιχνεύσει μια μόνο μέτρηση κατά μήκος ή γύρω από έναν μόνο άξονα. Ωστόσο ένα IMU παρέχει 2 έως 6 DOF (Degrees of Freedom), που αναφέρεται στον αριθμό των διαφορετικών τρόπων με τους οποίους ένα αντικείμενο μπορεί να κινηθεί σε όλο τον τρισδιάστατο χώρο [23]. Για την πραγματοποίηση, τρεις μεμονωμένοι αισθητήρες πρέπει να τοποθετούν μαζί σε ένα σύμπλεγμα γνωστό ως τριάδα. Αυτό το σύνολο αισθητήρων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη τριάδα αναφέρεται συνήθως ως αισθητήρας αδράνειας 3 αξόνων, καθώς ο αισθητήρας παρέχει μια μέτρηση κατά μήκος για κάθε έναν από τους τρεις άξονες. Η σύντηξη αισθητήρων είναι η (μαθηματική) τέχνη του συνδυασμού των δεδομένων από κάθε αισθητήρα σε μια μονάδα IMU για τη δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας του προσανατολισμού και της κατεύθυνσης της συσκευής. Οι τυπικές διαμορφώσεις περιέχουν ένα επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο και μαγνητόμετρο ανά άξονα για κάθε έναν από τους

τρεις κυρίους άξονες(PITCH, ROLL, YAW) [22]. Οι μετρήσεις που εξάγονται από τους αισθητήρες του συστήματος, γωνιακοί ρυθμοί, γραμμικές επιταχύνσεις και εντάσεις του μαγνητικού πεδίου ή AHRS (Attitude and Heading Reference System), Μπορούν να τροφοδοτηθούν σε συσκευές όπως τα συστήματα αδρανειακής πλοήγησης (INS), τα οποία όπως αναφέραμε προηγούμενος υπολογίζουν τη θέση, τον προσανατολισμό, και τη ταχύτητα ενός κινούμενου αντικειμένου. Τα δεδομένα που παρέχονται από το IMU περνάνε σε έναν επεξεργαστή, ο οποίος υπολογίζει το ύψος, τη ταχύτητα και τη θέση του συστήματος, επιπλέον δίνουν κάποια ιδέα για το περιβάλλον γύρω του, αλλά αυτές οι πληροφορίες μπορούν επίσης να υποβληθούν σε επεξεργασία για πρόσθετη γνώση [24]. Το αδρανειακό σύστημα ενσωματώνει τον γωνιακό ρυθμό από το γυροσκόπιο για τον υπολογισμό της γωνιακής θέσης.

Μερικές από τις βασικές χρήσεις των IMU στα UAV είναι πως χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης, της ταχύτητας και της στάσης του UAV, επιτρέποντάς του να πλοηγείτε μεταξύ των σημείων διαδρομής και να παρακολουθεί με ακρίβεια τη θέση του κατά τη διάρκεια της πτήσης. Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της στάσης και του προσανατολισμού του UAV, επιτρέποντάς του να εκτελεί ελιγμούς όπως roll, pitch και yaw. Αυτό είναι απαραίτητο για πολλές εφαρμογές, όπως η αεροφωτογράφιση, η τοπογραφία και η χαρτογράφηση. Παράλληλα χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση του κατά τη διάρκεια της πτήσης, μειώνοντας τους κραδασμούς και διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία. Αυτό είναι σημαντικό για πολλές εφαρμογές, όπως η κινηματογράφηση, η επιθεώρηση και η επιτήρηση. Τέλος, μπορούν να παρέχουν πλεονασμό σε περίπτωση βλάβης του GPS ή άλλων δυσλειτουργιών του συστήματος πλοήγησης. Με την ενσωμάτωση πολλών αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων των IMU, τα UAV μπορούν να έχουν πολλαπλά συστήματα πλοήγησης που παρέχουν πλεονασμό και ενισχύουν την ασφάλεια.

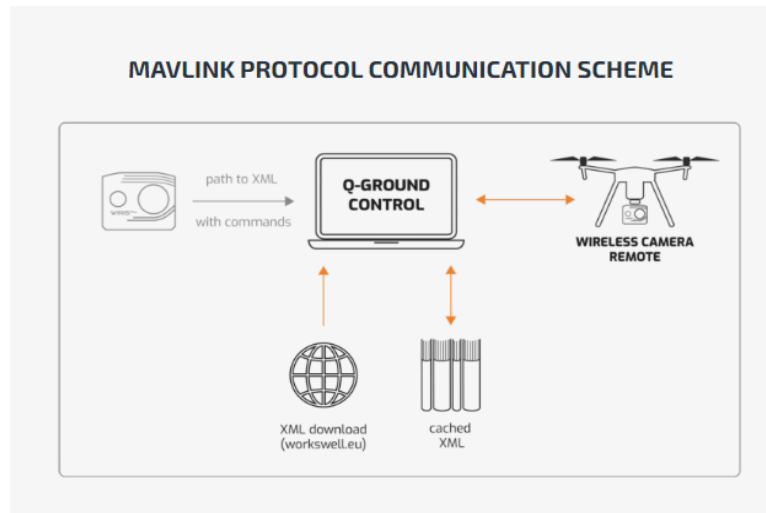
Γενικότερα το IMU χρησιμοποιείται για ποικίλες εφαρμογές σε UAV και drones. Επιτρέπουν στο αεροσκάφος να διατηρεί σταθερότητα και έλεγχο ενώ έχει ισχυρούς ανέμους ή εκτελεί απότομους ελιγμούς. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να επιτρέψουν την τήρηση σταθμών υψηλής ακρίβειας ή την αυτόνομη παρακολούθηση σημείων διαδρομής. Εντοπίζει τυχόν αποκλίσεις στη στάση και την κίνηση στον ορίζοντα για να βοηθήσει το UAV σας να ευθυγραμμιστεί και να αποτρέψει τη μετατόπιση.

3.3.3 Συμπλοκή των αδρανειακών μονάδων μετρήσεων στα αδρανειακά συστήματα πλοήγησης

Τα αδρανειακά συστήματα περιέχουν μονάδες αδρανειακής μέτρησης, τα οποία διαθέτουν γωνιακά και γραμμικά επιταχυνσιόμετρα όπως και γυροσκόπια. Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο για να διευκρινίσουμε πως το όχημα περιστρέφεται στο διάστημα πρέπει να παρέχει τουλάχιστον ένας αισθητήρας σε κάθε έναν από τους τρεις άξονες (PITCH, YAW, ROLL). Το σύστημα υπολογίζει συνεχόμενα τη θέση στην οποία βρίσκεται το όχημα, τον προσανατολισμό του, και την ταχύτητα του με βάση τα στοιχεία και τα δεδομένα κίνησης που δέχεται από διάφορους αισθητήρες κίνησης [17]. Η κυρία διάφορα για το INS είναι ότι περιέχει το φίλτρο Kalman, το οποίο είναι ένας αισθητήρας σύντηξης. Δίνει την ιδιότητα να συγχωνεύσει όλα τα επιμέρους μέρη και να δώσει ως αποτέλεσμα μια πολύ πιο ακριβή έξοδο. Εκτός ότι περιλαμβάνει γυροσκόπιο μαγνητόμετρο και επιταχυνσιόμετρο περιλαμβάνει και GPS, με αποτέλεσμα μια συγκεκριμένη έξοδο πλοήγησης για να καταλαβαίνει το όχημα την θέση στην οποία βρίσκεται. Ενώ το IMU περιέχει απλώς ένα μαγνητόμετρο , επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο.

3.4 Επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου MAVLink

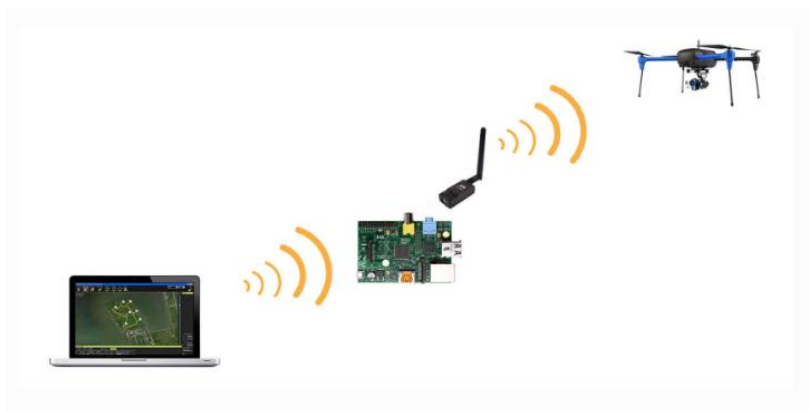
Τα μη επανδρωμένα οχήματα επικοινωνούν συνήθως με ένα σταθμό βάσης με σκοπό την αναφορά της κατάστασης τους ή/και την λήψη εντολών. Το πρωτόκολλο MAVLink (Micro Air Vehicle Link) είναι ένα από τα ευρέως διαδεδομένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ μη επανδρωμένων συστημάτων και επίγειων σταθμών [12] [13].



Εικόνα 23: Διασύνδεση MAVLink για κάμερες UAV

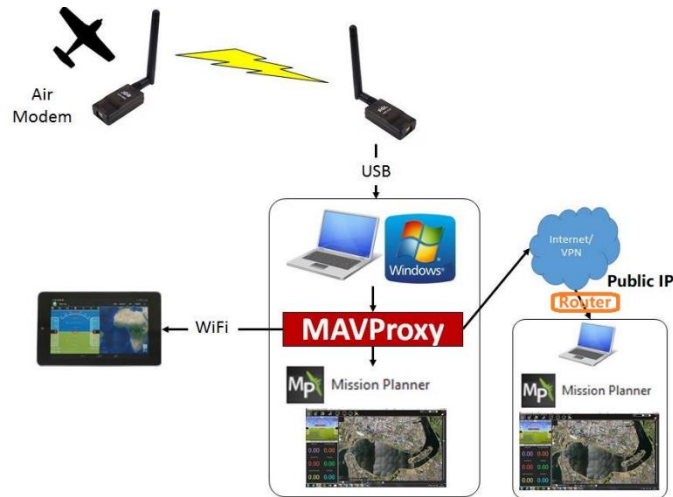
Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο επιτρέπει την μετάδοση πρότυπων μηνυμάτων που περιέχουν δομημένες πληροφορίες. Χρησιμοποιείται σε μεγάλα συστήματα αυτόματου πιλότου, κυρίως ArduPilot και PX4 (Flight Controller), και παρέχει ισχυρά χαρακτηριστικά όχι μόνο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο αποστολών μη επανδρωμένων συστημάτων, αλλά και για την ενσωμάτωσή τους στο Διαδίκτυο.

Το πρωτόκολλο MAVLink ορίζει τον μηχανισμό για τη δομή των μηνυμάτων και τον τρόπο σειριοποίησής τους στο επίπεδο εφαρμογής. Τα μηνύματα προωθούνται στο δίκτυο στο οποίο θα μεταδοθούν. Το πλεονέκτημα του είναι ότι υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους μεταφοράς, χάρις την ελαφριά δομή του.



Εικόνα 24: Γέφυρα Wi-Fi MAVLink χρησιμοποιώντας το Raspberry Pi

Μπορεί να μεταδοθεί μέσω WiFi, Ethernet (δηλαδή δικτύων TCP/IP) ή μέσα από σειριακά κανάλια τηλεμετρίας χαμηλού εύρους ζώνης που λειτουργούν σε συχνότητες subGHz ή να υπάρξει ροή των μηνυμάτων μέσω δικτύων IP.

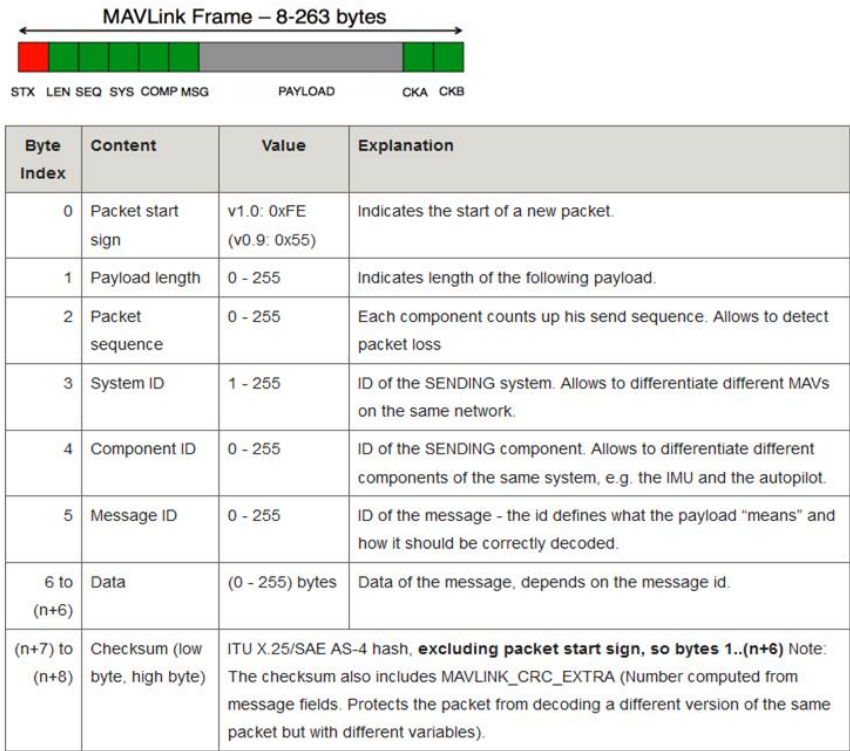


Εικόνα 25: Προώθηση τηλεμετρίας του πρότυπου MAVLink

Το μη επανδρωμένο σύστημα επικοινωνεί με τον επίγειο σταθμό μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων, τα οποία είναι δυαδικά σειριακά μηνύματα. Αυτή η ιδιότητα της δυαδικής σειριοποίησης έχει ένα σημαντικό όφελος μείωση του μεγέθους του μεταδιδόμενου μηνύματος στο μέγιστο σε σύγκριση με άλλους τύπους σειριοποίησης, όπως η XML ή ακόμα και το ελαφρύτερο JSON[34].

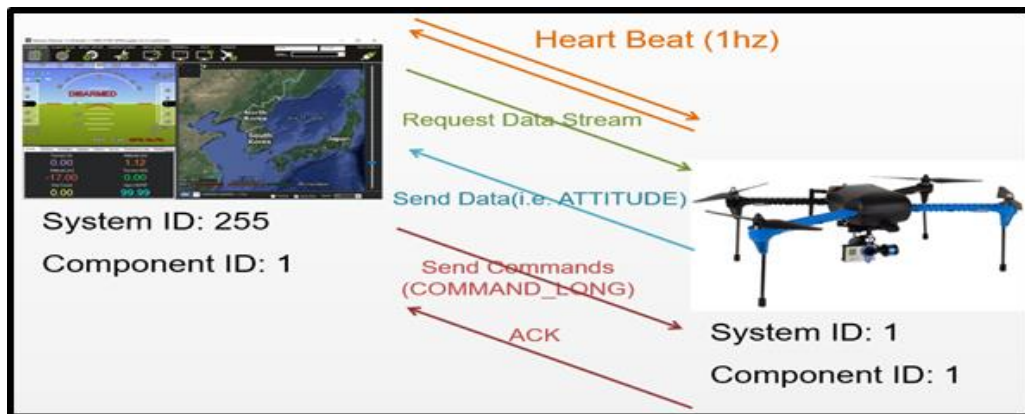
Εκτός από τη δομή και τον τρόπο στεριοποίησης των μηνυμάτων, το MAVLink ορίζει διάφορους τύπους μηνυμάτων, τα οποία προσδιορίζονται από το Αναγνωριστικό μηνυματός τους(ID) [35]. Κατηγοριοποιούμε τα μηνύματα MAVLink σε δύο κατηγορίες:

- **Μηνύματα κατάστασης:** αυτά τα μηνύματα αποστέλλονται από το μη επανδρωμένο σύστημα στον επίγειο σταθμό και περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του συστήματος, όπως το αναγνωριστικό του, τοποθεσία, ταχύτητα και υψόμετρο.
- **Μηνύματα εντολών:** είναι από τον επίγειο σταθμό (ή πρόγραμμα χρήστη) στο μη επανδρωμένο σύστημα για να εκτελέσει κάποια ενέργειες ή αποστολές από τον αυτόματο πιλότο. Για παράδειγμα, το Ο επίγειος σταθμός μπορεί να στείλει μια εντολή σε ένα drone για να προσγειωθεί ή να πάει σε ένα σημείο ή ακόμα και να εκτελέσει μια αποστολή με πολλά σημεία διαδρομής.



Εικόνα 26: Μορφή μηνύματος του προτύπου MAVLink

Λαμβάνοντας υπόψη τον μεγάλο αριθμό μηνυμάτων MAVLink, η περιεκτική περιγραφή όλων αυτών των μηνυμάτων είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής αυτής της εργασίας και μπορεί να βρεθεί λεπτομερώς στο [10].



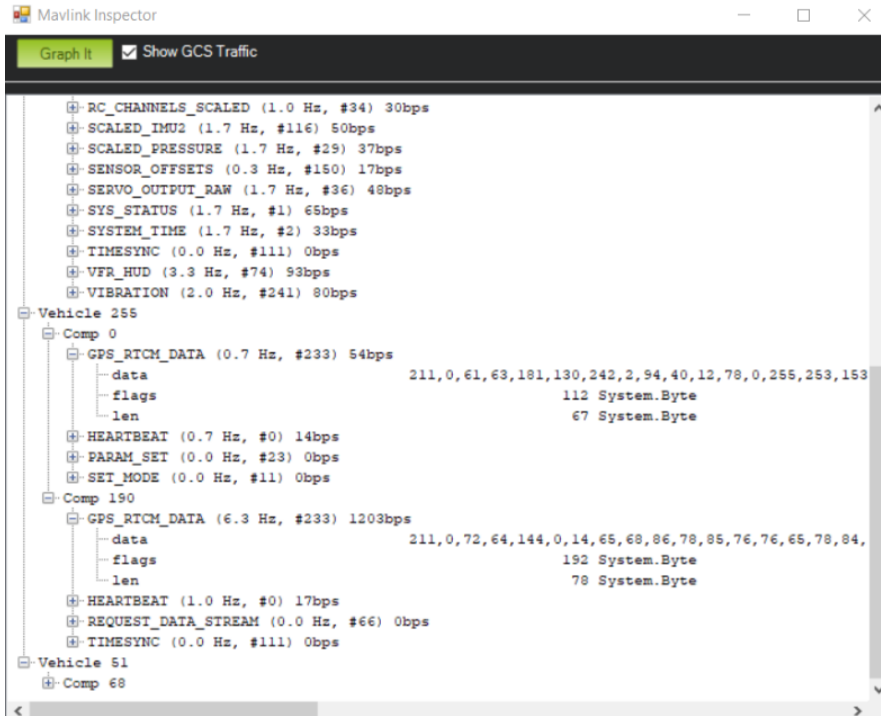
Εικόνα 27: Ροή μηνυμάτων υψηλού επιπέδου του προτύπου MAVLink

1) Κατάσταση μηνυμάτων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μηνυμάτων κατάστασης που ορίζονται στο MAVLink, όπως :

- Μηνύματα HEART BEAT:

Το μήνυμα HEART BEAT είναι το πιο σημαντικό μήνυμα στο πρωτόκολλο MAVLink, καθώς δείχνει ότι το σύστημα του οχήματος είναι ενεργό. Στέλνοντας περιοδικά το συγκεκριμένο μήνυμα κάθε δευτερόλεπτο στον επίγειο σταθμό, έτσι ώστε να ενημερώσει το GCS ότι είναι ενεργό.



Εικόνα 28: MAVLink Inspector: μηνύματα κατάστασης συστήματος, μήνυμα Heartbeat

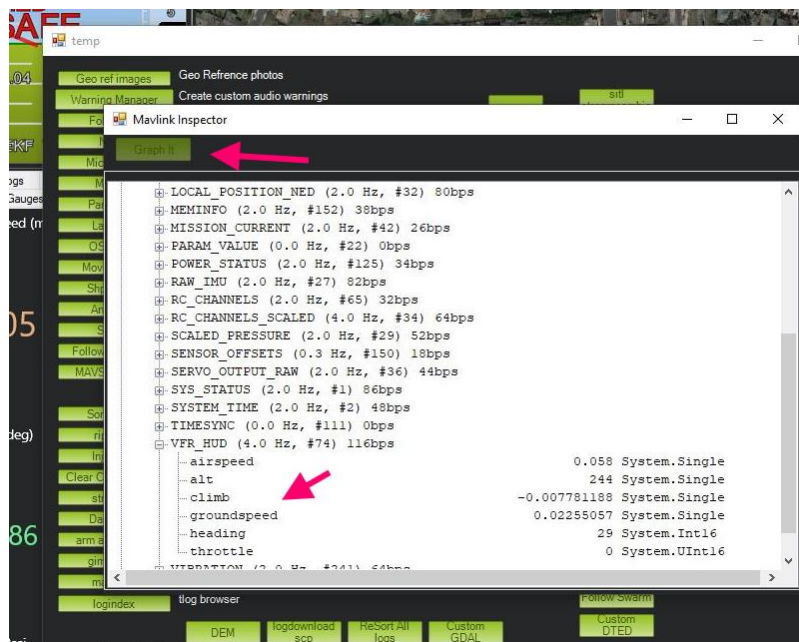
Το heart beat είναι υποχρεωτικό μήνυμα. Επιπρόσθετα το ωφέλιμο φορτίο μηνύματος περιέχει βασικές πληροφορίες, πεδία για το μη επανδρωμένο σύστημα. Το πρώτο πεδίο είναι το type, το οποίο υποδεικνύει τον τύπο του συστήματος. Το πεδίο base_mode υποδεικνύει διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Η κατανόηση του base_mode είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή ανάλυση του μηνύματος καρδιακού παλμού και εξαγωγή χρήσιμες πληροφορίες από αυτό. Το πεδίο system_status αντιπροσωπεύει μια σημαία που υποδεικνύει την κατάσταση του συστήματος. Τέλος, το πεδίο mavlink_version υποδεικνύει την έκδοσή του MAVLink. Δεν είναι επεξεργάσιμο από το χρήστη και ορίζεται από το πρωτόκολλο.

- **Μηνύματα εντολών:**

Υπάρχουν πολλά μηνύματα εντολών στο MAVLink που δίνουν τη δυνατότητα να ζητήσετε από το μη επανδρωμένο σύστημα να εκτελέσει ορισμένες Ενέργειες.

- **Μήνυμα κατάστασης συστήματος:**

Το μήνυμα κατάστασης συστήματος αποτελείται από δεδομένα σχετικά με τους αισθητήρες ελέγχου που είναι ενσωματωμένοι στο μη επανδρωμένο σύστημα και καθορίζει ποιοι από αυτούς τους αισθητήρες είναι ενεργοποιημένοι ή απενεργοποιημένοι και ποιοι αισθητήρες λειτουργούν ή έχουν σφάλματα. Επίσης εκτελεί δεδομένα σχετικά με την κατάσταση της μπαταρίας, τα οποία είναι χρήσιμα για την παρακολούθηση του επιπέδου της μπαταρίας του. Εκτός αυτού, παρέχει πληροφορίες για τα σφάλματα επικοινωνίας και τους συνδέσμους επικοινωνίας. Οι πληροφορίες σχετικά με την μπαταρία και τους συνδέσμους επικοινωνίας είναι ζωτικής σημασίας για την κατάλληλη ασφάλεια του μη επανδρωμένου συστήματος. Σε περίπτωση που πέσει η στάθμη της μπαταρίας ή η ποιότητα επικοινωνίας επιδεινωθεί. Το μη επανδρωμένο σύστημα μπορεί να προγραμματίσει εκ των προτέρων την προσγείωση, αλλά ακόμα και την επιστροφή στην αρχική τοποθεσία από όπου αυτό ξεκίνησε.



Εικόνα 29: MAVLink Inspector πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και χαρτογράφηση της κίνησης του MAVLink

- **Μηνύματα καθολικής θέσης:**

Το μήνυμα καθολικού εντοπισμού θέσης που αντιπροσωπεύει τις φιλτραρισμένες GPS συντεταγμένες που παρέχονται από τον αισθητήρα καθολικής θέσης. Αυτό το μήνυμα περιέχει σημαντικές πληροφορίες όσο αναφορά το μη επανδρωμένο σύστημα, που σχετίζονται με τις παγκόσμιες του θέσεις, συγκεκριμένα, γεωγραφικό πλάτος GPS (lat), γεωγραφικό μήκος (lon) και επίσης απόλυτο υψόμετρο (alt). Το μήνυμα περιέχει επίσης ένα πεδίο σχετικού υψομέτρου (relative_alt), το οποίο αντιπροσωπεύει το υψόμετρο σε σχέση με το σημείο του εδάφους απογείωσης του μη επανδρωμένου εναέριου συστήματος.

2) **Μηνύματα εντολών**

Υπάρχουν πολλά μηνύματα εντολών στο πρωτόκολλο MAVLink που δίνουν τη δυνατότητα στον χειρίστη να ζητήσει από το μη επανδρωμένο σύστημα να εκτελέσει ορισμένες ενέργειες, όπως:

- **COMMAND_LONG:**

Το COMMAND_LONG είναι μια εντολή πολλαπλών χρήσεων που επιτρέπει την αποστολή διαφορετικών τύπων εντολών ανάλογα με τον τύπο εντολής του μηνύματος και τις παραμέτρους του. Το πεδίο εντολής αναφέρεται στον τύπο της εντολής που θα γίνει εκτελούνται. Επίσης, για κάθε εντολή, ένα σύνολο σχετικών παραμέτρων στην εντολή μπορεί να οριστεί.

- **The Mission Item Command:**

Η The Mission Item Command επιτρέπει την αποστολή ενός σημείου διαδρομής προς το μη επανδρωμένο σύστημα, έτσι ώστε να πλοηγηθεί αυτόνομα προς αυτό το συγκεκριμένο σημείο σε λειτουργία GUIDED MODE. Κάθε μήνυμα The Mission Item Command έχει μια ακολουθία αριθμών, η οποία καθορίζει τον αριθμό του στην αποστολή, ξεκινώντας από το 0, το οποίο καθορίζει την τοποθεσία του σπιτιού. Έχει επίσης τρία πεδία (x,y,z), τα οποία καθορίζουν τις συντεταγμένες του του σημείου διαδρομής. Ωστόσο, η συντεταγμένη πρέπει να καθοριστεί σε σχέση με ένα πλαίσιο αναφοράς.

Επιπλέον, το μήνυμα έχει ένα πεδίο που ονομάζεται πλαίσιο, το οποίο καθορίζει τη συντεταγμένη αναφοράς πλαισίου του σημείου της διαδρομής. Αυτή η παράμετρος είναι σημαντική γιατί είναι απαραίτητο να ερμηνεύσουμε την έννοια των συντεταγμένων (x,y,z).

Ωστόσο, μπορεί το συγκεκριμένο πρωτόκολλο να είναι από τα πιο γνωστά μοντέλα επικοινωνίας, αλλά όπως κάθε τεχνολογία, έχει τις προκλήσεις του και τους περιορισμούς της.

Λόγο της σχεδίασης του να είναι ένα πρωτόκολλο ελαφρύ και αποτελεσματικό, στερείται εύρος επικοινωνίας. Πράγμα που σημαίνει ότι είναι κατάλληλο για να μεταδίδει δεδομένα μέσω καναλιών επικοινωνίας χαμηλού εύρους, αλλά υπάρχει πρόβλημα όταν αντιμετωπίζουμε πολύπλοκα συστήματα μεγάλης ποσότητας δεδομένων. Το μέγεθος του φορτίου μηνυμάτων είναι 255 byte έτσι υπάρχει πρόβλημα στις μεγάλες μεταφορές δεδομένων καθώς απαιτείται διάσπαση των μηνυμάτων σε πολλά μικρότερα μηνύματα. Ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε κατά τη χρήση του προτύπου MAVLink είναι η έλλειψη ασφάλειας. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι ευάλωτο σε απειλές ασφάλειας όπως υποκλοπή ή παραβίαση δεδομένων ή ακόμα και μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Αυτό γίνεται διότι δεν χρησιμοποιεί μηχανισμούς κρυπτογράφησης ή ελέγχους ταυτότητας. Εκτός από την έλλειψη ασφάλειας, υπάρχει πρόβλημα έλλειψης της επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν καθυστερήσεις στη μετάδοση, αλλά και στην επεξεργασία των δεδομένων που ενδέχεται να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητες συνέπειες.

Πάρα τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει το πρωτόκολλο εξακολουθεί να παραμένει δημοφιλές λόγω του ανοιχτού κώδικα, την ευκολία υλοποίησης, και το εύρος υποστήριξης που υπάρχει από τη κοινότητα. Τα ζητήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω προσεκτικού σχεδιασμού και χρήσης συμπληρωματικών τεχνολογιών.

Συνοπτικά, τα UAV χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό συστημάτων πλοήγησης, συμπεριλαμβανομένων των GPS, INS και όρασης υπολογιστή, για να καθορίσουν τη θέση, το υψόμετρο και τον προσανατολισμό τους σε σχέση με το περιβάλλον τους. Αυτά τα συστήματα ελέγχονται από έναν σταθμό ελέγχου εδάφους, επιτρέποντας στον χειριστή να παρακολουθεί και να προσαρμόζει τη διαδρομή πτήσης του UAV όπως χρειάζεται.

4 Εκτίμηση κατανάλωσης ενέργειας σε UAV's

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο περιλαμβάνει την ανάπτυξη προσαρμοσμένων αλγορίθμων οι οποίοι είναι προγραμματισμένοι στη γλώσσα LUA, για την εκτίμηση της κατανάλωσης της ενέργειας, του υπολειπομένου χρόνου πτήσης και της υπολειπομένης απόστασης. Η LUA είναι μια ευέλικτη γλώσσα, για τη δημιουργία σεναρίων. Ο στόχος αυτών των αλγορίθμων είναι να παρέχουν ακριβείς εκτιμήσεις για την κατανάλωση ενέργειας του UAV, επιτρέποντας στους χρήστες να υπολογίσουν τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης του και την απόσταση που μπορεί ακόμα να καλύψει. Αξιοποιώντας την ευελιξία του LUA, τα σενάρια προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για κρίσιμες επιχειρησιακές πτυχές του UAV, βελτιώνοντας τη συνολική του απόδοση και επιτρέποντας καλύτερο σχεδιασμό και διαχείριση πτήσης.

Με βάση τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας, διαφορετικά ενεργειακά μοντέλα μπορούν να προταθούν με βάση το πλαίσιο της δρομολόγησης UAV. Θεωρητική κατανόηση της πτήσης προσδιορίζει τις κύριες παραμέτρους σχεδιασμού για την επίτευξη της ελάχιστης ανύψωσης για απογείωση ενός ιπτάμενου αντικειμένου.

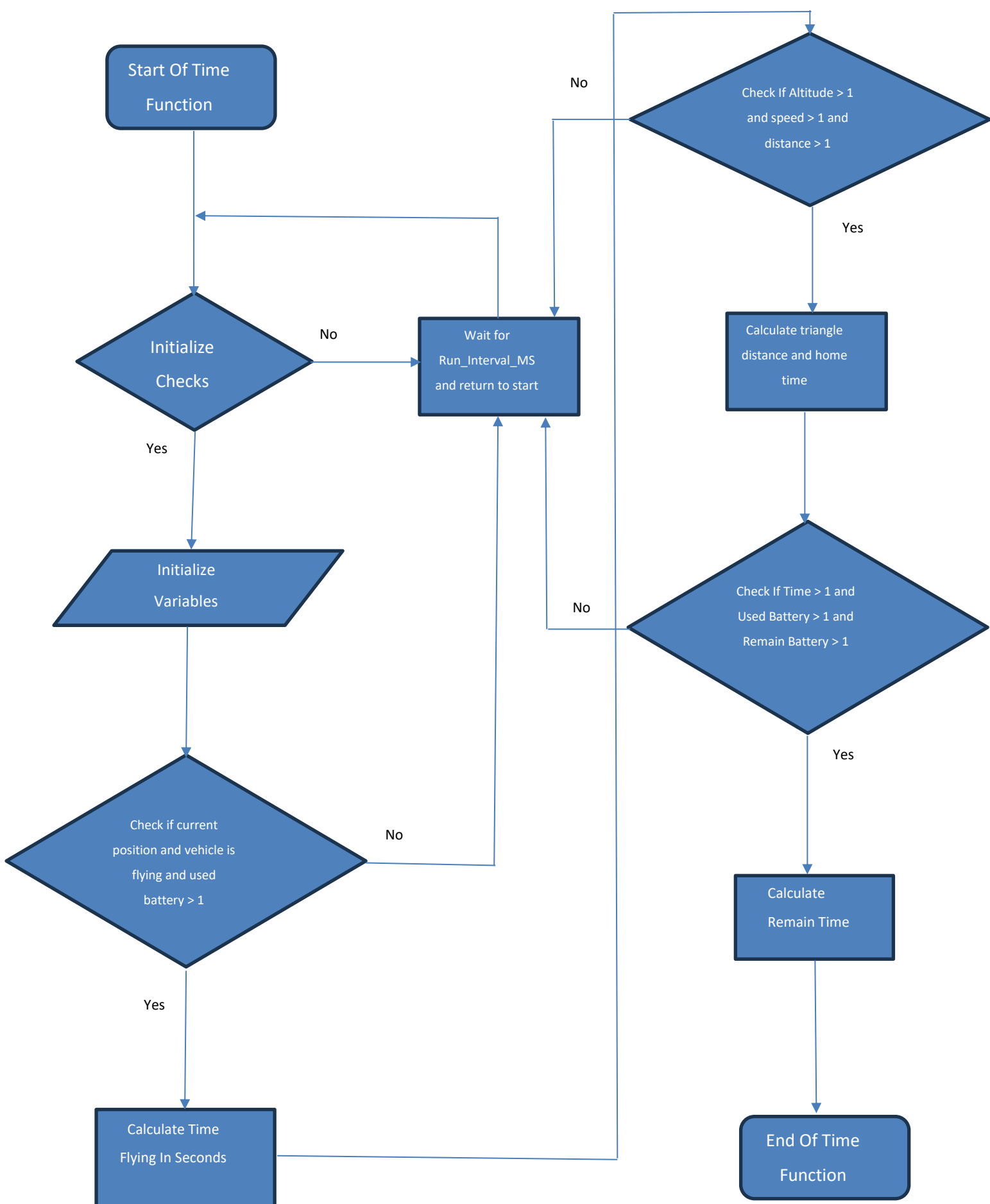
4.1 Δημιουργία αλγόριθμου για τη πρόβλεψη διάρκειας πτήσης UAV

Το συγκεκριμένο σενάριο περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός script για τον υπολογισμό του υπολειπομένου χρόνου πτήσης, που βασίζεται σε παραμέτρους που λαμβάνονται από την πλατφόρμα MissionPlanner ενώ το UAV βρίσκεται σε πτήση. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν χωρητικότητα μπαταρίας, χρησιμοποιημένη μπαταρία, τρέχον χρόνο πτήσης, απόσταση, υψόμετρο και ταχύτητα. Αξιοποιώντας αυτές τις παραμέτρους, το σενάριο υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας και προβλέπει τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης του UAV. Η ακριβής εκτίμηση αυτών των παραγόντων είναι ζωτικής σημασίας για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη διαχείριση της πτήσης, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη απόδοση του UAV και την αποτελεσματική χρήση των πόρων της μπαταρίας. Το σενάριο Lua χρησιμεύει ως πολύτιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της ενεργειακής κατάστασης του UAV και τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών πτήσης.

Οι συγκεκριμένοι παράμετροι είναι κρίσιμοι για την ορθή λειτουργία του αλγορίθμου. Η χωρητικότητα της μπαταρίας του UAV, υποδεικνύοντας την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσει. Ωστόσο δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το

100% της χωρητικότητας της μπαταρίας, καθώς δεν είναι υγιεινό για τη ζωή της. Για αυτό συνήθως χρησιμοποιούμε το 70% της χωρητικότητας της, το οποίο αναφέρεται ως αποτελεσματική χωρητικότητα. Παρακολουθώντας την ποσότητα της μπαταρίας που καταναλώθηκε κατά της διάρκειας της πτήσης μπορούμε να υπολογίσουμε, την υπολειπόμενη χωρητικότητα της. Για την εκτίμηση ωστόσο της ενέργειας που καταναλώθηκε είναι απαραίτητη η διάρκεια πτήσης εκείνης της στιγμής. Στον αλγόριθμο δημιουργήθηκε μια σχέση απόστασης από το σημείο εκκίνησης και υψόμετρου **TRIANGLE_DISTANCE = DISTANCE + ALTITUDE**. Καθώς το υψόμετρο παίζει ρόλο στον προσδιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας, αφού οι αλλαγές στο υψόμετρο απαιτούν ποικίλα ποσά ισχύος. Η απόσταση που διανύει το UAV είναι μια πολύτιμη μέτρηση για την εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας και της εναπομένουσας απόστασης που μπορεί να διανύσει με βάση τη διαθέσιμη μπαταρία, επηρεάζει επίσης την κατανάλωση ενέργειας. Με βάση τη σχέση της απόστασης από το σημείο εκκίνησης, του υψόμετρου και της ταχύτητας του UAV υπολογίζεται ο χρόνος απόστασης που έχει το UAV στο σημείο που βρίσκεται από το σημείο εκκίνησης **HOME_TIME = TRIANGLE_DISTANCE / SPEED**. Η ταχύτητα παίζει σημαντικό παράγοντα εφόσον οι υψηλότερες ταχύτητες τείνουν να καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με τις χαμηλότερες ταχύτητες. Φτάνοντας στο τέλος του αλγορίθμου έχοντας τη σχέση της απόστασης από το σημείο εκκίνησης, του υψόμετρου και της ταχύτητας. Βάζοντας στη συγκεκριμένη σχέση τον χρόνο πτήσης εκείνης της στιγμής, την αποτελεσματική χωρητικότητα και την ποσότητα μπαταρίας που έχει καταναλωθεί μπορούμε να κάνουμε εκτίμηση για τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης του UAV.

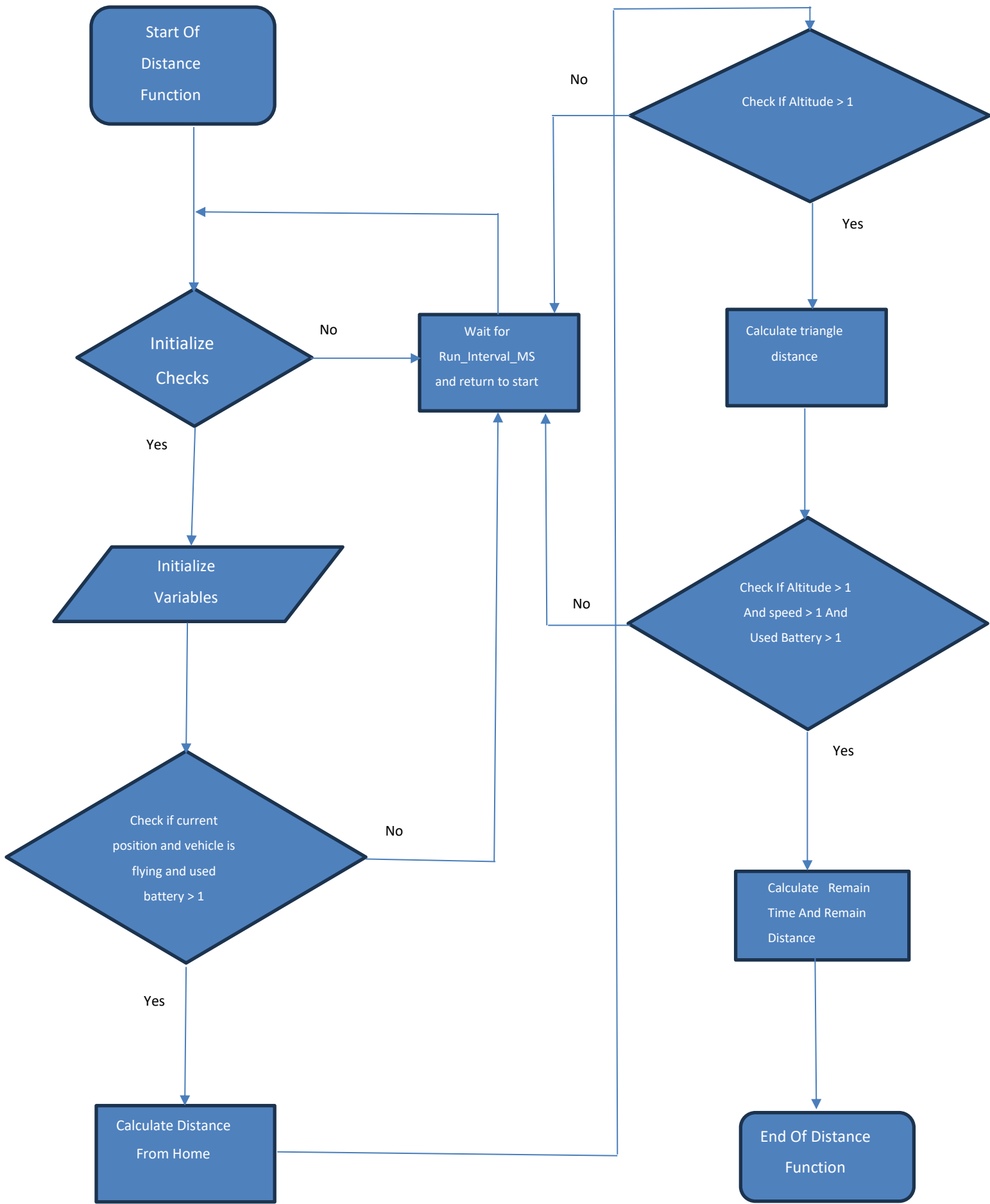
$$\text{REMAIN_TIME} = ((\text{TIME} * \text{TOTAL_BATTERY}) / \text{USED_BATTERY}) - ((\text{TIME} * \text{USED_BATTERY}) / \text{USED_BATTERY})$$



4.2 Δημιουργία αλγόριθμου για τη πρόβλεψη εύρους πτήσης UAV

Το συγκεκριμένο σενάριο περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός script για τον υπολογισμό της υπολειπόμενης απόστασης, που βασίζεται σε παραμέτρους που λαμβάνονται από την πλατφόρμα MissionPlanner ενώ το UAV βρίσκεται σε πτήση. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν χωρητικότητα μπαταρίας, χρησιμοποιημένη μπαταρία, τρέχον χρόνο πτήσης, απόσταση, υψόμετρο και ταχύτητα. Ο αρχικός τύπος έλαβε υπόψη παράγοντες όπως η χωρητικότητα της μπαταρίας, η χρησιμοποιημένη μπαταρία, ο τρέχων χρόνος πτήσης και η ταχύτητα. Ωστόσο, εντοπίστηκαν ορισμένες ασυνέπειες. Ωστόσο, εντοπίστηκαν ορισμένες ασυνέπειες. Για αυτό προτάθηκε ένας τροποποιημένος τύπος, ο οποίος αντιπροσωπεύει το ποσοστό της υπολειπόμενης χωρητικότητας της μπαταρίας, το κλάσμα του χρόνου πτήσης που έχει περάσει και την ταχύτητα. Αξιοποιώντας αυτές τις παραμέτρους, αυτός ο τροποποιημένος τύπος παρέχει μια εκτίμηση της απόστασης που έχει απομένει του UAV. Η ακριβής εκτίμηση αυτών των παραγόντων είναι ζωτικής σημασίας για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη διαχείριση της πτήσης, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη απόδοση του UAV και την αποτελεσματική χρήση των πόρων της μπαταρίας. Το σενάριο Lua χρησιμεύει ως πολύτιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της ενεργειακής κατάστασης του UAV και τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών πτήσης.

Αρχικά ο υπολογισμός της απόστασης από το σημείο εκκίνησης πραγματοποιείται καλώντας τη παράμετρο **HOME** από τη πλατφόρμα Mission Planner. Ως αποτέλεσμα έχουμε τη συγκεκριμένη απόσταση του UAV από το σημείο εκκίνησης ως το συγκεκριμένο σημείο που βρίσκεται εκείνη τη στιγμή. Προσθέτοντας το υψόμετρο έχουμε μια σχέση τρισδιάστατης απόστασης **TRIANGLE_DISTANCE = DISTANCE + ALTITUDE**, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για να επιτευχθεί ο υπολογισμός της υπολειπόμενης απόστασης θα πρέπει να υπολογίσουμε τον υπολειπόμενο χρόνο με τον ίδιο τύπο που χρησιμοποιήσαμε στο παραπάνω ΥΠΟ κεφάλαιο. **REMAIN_TIME = ((TIME * TOTAL_BATTERY) / USED_BATTERY) - ((TIME * USED_BATTERY) / USED_BATTERY)**. Τέλος για την ολοκλήρωση του συγκεκριμένου αλγορίθμου και για τον υπολογισμό της υπολειπόμενης απόστασης θα χρησιμοποιήσουμε τον υπολειπόμενο χρόνο σε σχέση με την ταχύτητα του UAV για να υπολογισθεί η απόσταση που θα μπορεί να πραγματοποιήσει το UAV με βάση το ποσοστό της μπαταρίας που έχει εκείνη τη συγκεκριμένη στιγμή. **REMAIN_DISTANCE = REMAIN_TIME * SPEED**.



4.3 Εκτίμηση χρόνου αιώρησης της πτήσης του UAV

Η αιώρηση περιλαμβάνει τη διατήρηση μιας σταθερής θέσης στον αέρα χωρίς σημαντική οριζόντια κίνηση, ενώ η κίνηση αναφέρεται στην ικανότητα του UAV να ταξιδεύει οριζόντια δημιουργώντας ώθηση τόσο για ανύψωση όσο και για πρόωση. Όταν ένα UAV αιωρείται χρειάζεται να δώσει αρκετή ώθηση έτσι ώστε να σηκώσει το βάρος του και να διατηρήσει μια σταθερή θέση στον αέρα. Δεομένου ότι δεν υπάρχει κάποια κίνηση κατά την αιώρηση δεν καταναλώνεται ισχύς για να ξεπεραστεί η αντίσταση του αέρα σε αντίθεση με την κίνηση. Για τον υπολογισμό του χρόνου αιώρησης του UAV, δημιουργήθηκε ένας μαθηματικός τύπος **HOVERING_TIME = EFFECTIVE_CAPACITY / AMP_DRAW**. Αρχικά για τον υπολογισμό του χρόνου αιώρησης θα χρησιμοποιήσουμε ένα συγκεκριμένο ποσοστό της μπαταρίας, καθώς οι **LiPo** μπαταρίες μπορεί να καταστραφούν εάν αποφορτιστούν πλήρως. Στον συγκεκριμένο τύπο γίνεται χρήση του 65% της πλήρους μπαταρίας, ωστόσο αυτή η τιμή μπορεί να αλλάξει. Έπειτα υπολογίζουμε το **AMP_DRAW**. Για να υπολογισθεί η συγκεκριμένη τιμή υπολογίζουμε **AMP_DRAW = COMPLETE_WEIGHT * POWER / VOLTS**. Για τον τύπο θα χρειαστούμε το συνολικό βάρος του UAV συμπεριλαμβανομένου το φορτίο το οποίο κουβαλάει και τη μπαταριά με μονάδα μέτρησης τα κιλά. Έπειτα έχουμε το **POWER**, το οποίο είναι η ισχύς που απαιτείται για την ανύψωση ενός κιλού του εξοπλισμού εκφρασμένη σε **WATT** ανά κιλό. Και τέλος η τάση της μπαταρίας που εκφράζεται σε **VOLTS**. Την συγκεκριμένη τιμή **AMP_DRAW** συνήθως την αναγράφουν πάνω τα μοτέρ που χρησιμοποιούν τα UAV. Χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα για την υλοποίηση του τύπου. Ας υποθέσουμε ότι το **EFFECTIVE_CAPACITY = 65%**, Τα **VOLTS = 14.8**, το βάρος του UAV είναι **2KG**, τα **WATT** για την ανύψωση ενός κιλού είναι **170 WATT/KG**. Στην αρχή θα υπολογίσουμε το **AMP_DRAW = COMPLETE_WEIGHT * POWER / VOLTS**.

$$\text{AMP_DRAW} = 2\text{KG} * 170/14.8 = 22.97 \text{ A.}$$

Τέλος χρησιμοποιούμε τον τύπο για τον υπολογισμό του χρόνου αιώρησης **HOVERING_TIME = EFFECTIVE_CAPACITY / AMP_DRAW**.
HOVERING_TIME = 5 Ah * 65% / 22.97 A = 0.1415 Hours = 8.49 min

5 Πειραματική αξιολόγηση

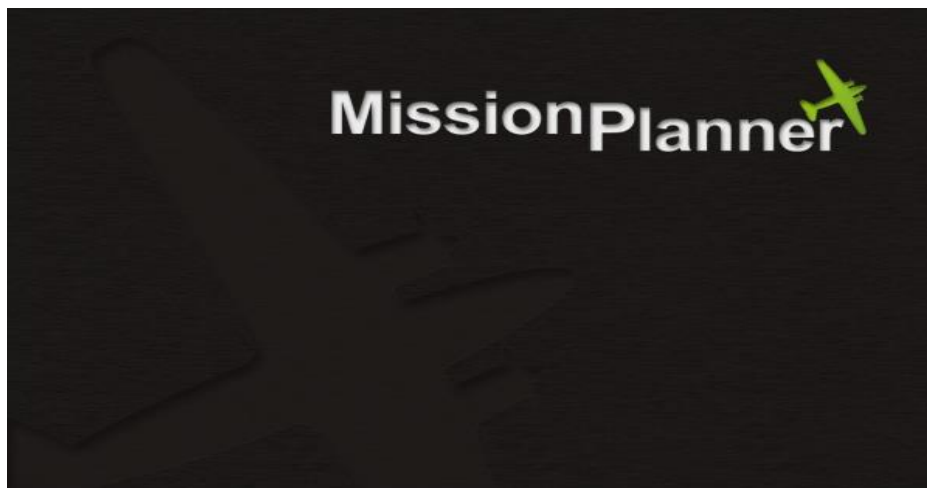
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα διερευνηθεί η χρήση της γλώσσας προγραμματισμού LUA για τη δημιουργία ενός ενεργειακός αποδοτικού αλγόριθμου πλοήγησης. Το κεφάλαιο οργανώνεται σε πέντε υποκεφάλαια, ξεκινώντας με μια εισαγωγή στον σχεδιαστή αποστολής, ακολουθούμενη από μια επεξήγηση της γλώσσας προγραμματισμού LUA. Το κεφάλαιο εμβαθύνει επίσης στην υποστήριξη ARDUPILOT για εισαγωγή SCRIPTING με τη γλώσσα προγραμματισμού LUA και στις δυνατότητες των σεναρίων LUA. Επιπλέον, το κεφάλαιο εξετάζει έναν προσαρμοσμένο αλγόριθμο που δημιουργήθηκε για την εκτέλεση της εντολής "επιστροφή στη γη" για drones όταν δεν υπάρχει αρκετή χωρητικότητα μπαταρίας για να συνεχιστεί η πτήση. Ο αλγόριθμος είναι παρόμοιος με τον αλγόριθμο καυσίμου BINGO που χρησιμοποιείται για αεροσκάφη. Αυτός ο προσαρμοσμένος αλγόριθμος είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν σενάρια LUA για να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν ενεργειακά αποδοτικούς αλγόριθμους πλοήγησης για μη επανδρωμένα οχήματα. Συνολικά, αυτό το κεφάλαιο παρέχει έναν κατατοπιστικό και πρακτικό οδηγό για τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού LUA για την ανάπτυξη αλγορίθμων πλοήγησης με έμφαση στην ενεργειακή απόδοση. Ο προσαρμοσμένος αλγόριθμος που συζητήθηκε στο κεφάλαιο καταδεικνύει τη δύναμη και την ευελιξία των σεναρίων LUA στο πλαίσιο των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων και των κινητών ρομπότ.

5.1 Χρήση του Mission Planner για την Βελτιστοποίηση των Επιχειρήσεων UAV και Εκτέλεση Αποστολών

Το Mission Planner είναι ένα βασικό εργαλείο λογισμικού για τη διαχείριση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) ή drones. Χρησιμοποιείται ευρέως από χομπίστες, ερευνητές και επαγγελματίες που ασχολούνται με τον τομέα των μη επανδρωμένων συστημάτων. Λειτουργεί ως ένα ολοκληρωμένο εργαλείο σχεδιασμού και παρακολούθησης αποστολών, επιτρέποντας στους χρήστες να διαμορφώνουν, να ελέγχουν και να παρακολουθούν τα drones τους. Αναπτύχθηκε ως σταθμός ελέγχου εδάφους ανοιχτού κώδικα, και εξουσιοδοτεί τους χειριστές με ένα ολοκληρωμένο σύνολο χαρακτηριστικών για τον σχεδιασμό, τον έλεγχο και την παρακολούθηση των αποστολών. Οι χρήστες μπορούν εύκολα να σχεδιάσουν αποστολές αυτόνομης πτήσης ορίζοντας σημεία διαδρομής, διαδρομές πτήσης, υψόμετρο και ταχύτητα. Η φιλική προς το χρήστη

διεπαφή επιτρέπει διαισθητικές ρυθμίσεις παραμέτρων αποστολής και προσαρμογή. Κατά τη διάρκεια της πτήσης, τα δεδομένα τηλεμετρίας σε πραγματικό χρόνο παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για τη θέση, την ταχύτητα και το επίπεδο μπαταρίας τους. Οι χρήστες μπορούν επίσης να έχουν πρόσβαση σε ζωντανές ροές βίντεο από την κάμερα του drone, επιτρέποντας την απομακρυσμένη παρατήρηση και έλεγχο. Το Mission Planner υποστηρίζει περαιτέρω ενημερώσεις για βαθμονόμηση, διαμόρφωση και διαγνωστικά για να διασφαλίσει τη βέλτιστη απόδοση και αξιοπιστία του drone. Συνολικά, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διευκόλυνση ασφαλών και αποτελεσματικών λειτουργιών, καθιστώντας το ένα ανεκτίμητο εργαλείο για χομπίστες, ερευνητές και επαγγελματίες στον τομέα.

Επιπλέον, το Mission Planner υποστηρίζει ενημερώσεις υλικολογισμικού για drones, επιτρέποντας στους χρήστες να διατηρούν το λογισμικό τους ενημερωμένο με τις πιο πρόσφατες δυνατότητες και βελτιώσεις. Συνολικά, είναι ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο λογισμικού που δίνει τη δυνατότητα να γίνει ο σχεδιασμός, ο έλεγχος και η αποτελεσματική παρακολούθηση στις αποστολές. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη δυνατότητα αυτόνομης πτήσης, συλλογής δεδομένων και αεροφωτογράφισης, βιντεοσκόπησης, παρέχοντας παράλληλα βασικά χαρακτηριστικά ασφάλειας και ελέγχου για τις λειτουργίες των drone.



Εικόνα 30: Πλατφόρμα Mission Planner

5.2 Εισαγωγή στη γλώσσα προγραμματισμού Lua: Μια ευέλικτη γλώσσα δέσμης ενεργειών για εφαρμογές UAV

Μια γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία scripting, χρησιμοποιείται για τον χειρισμό, την προσαρμογή και την αυτοματοποίηση των εγκαταστάσεων ενός υπάρχοντος συστήματος [39].



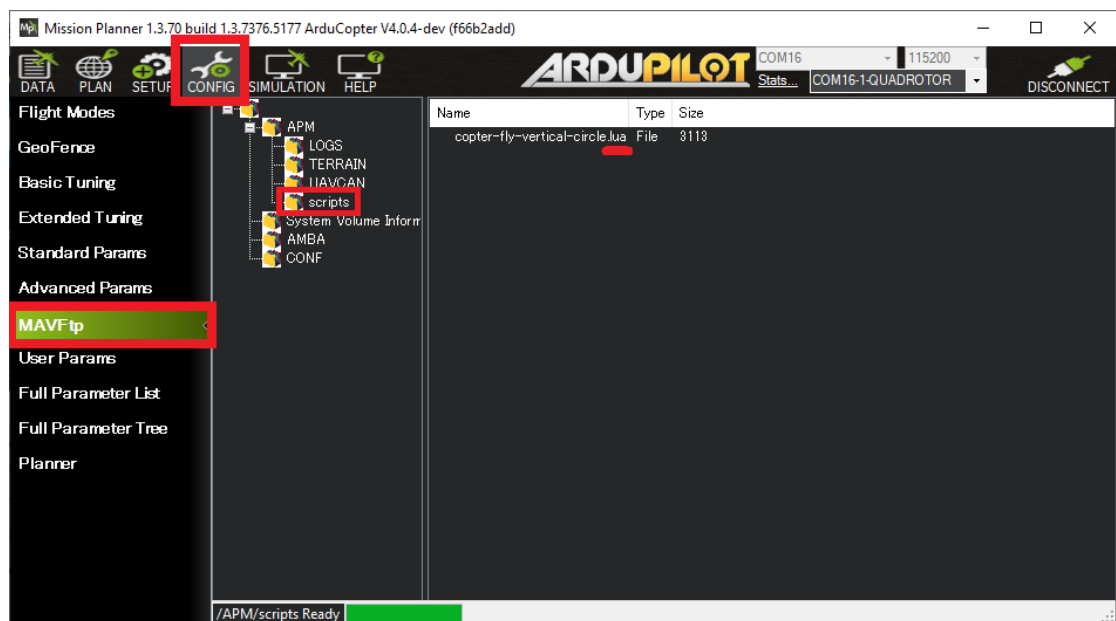
Εικόνα 31: Γλώσσα προγραμματισμού Lua

Υποστηρίζει διαδικαστικό προγραμματισμό, αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, λειτουργικό προγραμματισμό, προγραμματισμό βάσει δεδομένων και περιγραφή δεδομένων. Επιπλέον συνδυάζει απλή διαδικαστική σύνταξη με ισχυρές κατασκευές περιγραφής δεδομένων που βασίζονται σε συσχετιστικούς πίνακες και επεκτάσιμη σημασιολογία. Και τέλος πληκτρολογείτε δυναμικά, εκτελείται με ερμηνεία bytecode με μια εικονική μηχανή που βασίζεται σε μητρώο και διαθέτει αυτόματη διαχείριση μνήμης με σταδιακή συλλογή σκουπιδιών, καθιστώντας το ιδανικό για διαμόρφωση, δημιουργία σεναρίων και γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων.

5.3 Αξιοποίηση της ισχύς της γλώσσας Lua για δέσμες ενεργειών εισόδου σε συστήματα UAV

Η ArduPilot έχει εισαγάγει υποστήριξη για τη δημιουργία SCRIPTING με τη γλώσσα προγραμματισμού LUA. Παρέχεται ένα ασφαλές περιβάλλον “Sandboxed”, έτσι ώστε νέες συμπεριφορές και ενέργειες που θα προστεθούν στον αυτόματο πιλότο δεν θα επηρεάσουν ή θα τροποποιήσουν τον βασικό κώδικα πτήσης. Τα Scripts αποθηκεύονται στην κάρτα SD της πλακέτας του αυτομάτου πιλότου και εκτελούνται παράλληλα με τον

βασικό κώδικα πτήσης. Για να εισαγάγετε ένα σενάριο LUA στο ArduPilot, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την καρτέλα Scripting στο λογισμικό Mission Planner, το οποίο παρέχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή για τη διαχείριση σεναρίων και τη διαμόρφωση των παραμέτρων τους. Το σενάριο μπορεί να φορτωθεί στον αυτόματο πιλότο χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο επικοινωνίας MAVLink και μπορεί να εκτελεστεί σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της πτήσης. Η χρήση της δέσμης ενεργειών LUA στο ArduPilot παρέχει μια ευέλικτη και προσαρμόσιμη προσέγγιση στον έλεγχο αποστολών UAV, επιτρέποντας στους χρήστες να εφαρμόσουν τους δικούς τους αλγόριθμους και τη λογική ελέγχου χωρίς να χρειάζεται να τροποποιήσουν το βασικό υλικολογισμικό. Επιτρέπει επίσης την ανάλυση και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο των παραμέτρων UAV, οι οποίες μπορούν να είναι χρήσιμες σε διάφορες εφαρμογές όπως η γεωργία ακριβείας, η τοπογραφία και οι επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Συνολικά, η υποστήριξη για δέσμες ενεργειών LUA στο ArduPilot παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για τον έλεγχο της αποστολής UAV, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά του αυτόματου πιλότου στις συγκεκριμένες ανάγκες και απαιτήσεις τους.



Εικόνα 32: Εισαγωγή των Lua Script στη πλατφόρμα Mission Planner

5.4 Εξερεύνηση των δυνατοτήτων δέσμης ενεργειών Lua σε συστήματα UAV's

Πολλά Scripts μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα ωστόσο, τα Scripts εκτελούνται με χαμηλή προτεραιότητα στο σύστημα, γεγονός που διασφαλίζει ότι ο βασικός κώδικας πτήσης θα συνεχίσει να εκτελείται ακόμα κι αν ένα σενάριο χρειάζεται πολύ χρόνο για να επεξεργαστεί. Προκειμένου να επιτραπεί η εκτέλεση πολλών σεναρίων, σε κάθε σενάριο εκχωρείται ένα σταθερό κομμάτι χρόνου στο οποίο αναμένεται να ολοκληρώσει την επεξεργασία του.

Η δέσμη ενεργειών επιτρέπεται να καθορίσει μια νέα συνάρτηση επανάκλησης και την ώρα κατά την οποία θα πρέπει να κληθεί, γεγονός που της επιτρέπει να εκτελείται συνεχώς. Αν και αυτό χρησιμεύει για τον ασφαλή περιορισμό του χρόνου εκτέλεσης στη χειρότερη περίπτωση, τα σενάρια δεν είναι εγγυημένα ότι θα εκτελεστούν σε αξιόπιστο χρονοδιάγραμμα.

Κάθε Script εκτελείται στο δικό του περιβάλλον "sandboxed". Αυτό επιτρέπει σε κάθε δέσμη ενεργειών να χειρίζεται οποιοσδήποτε καθολικές μεταβλητές θέλει χωρίς να προκαλεί προβλήματα σε άλλα σενάρια και επιτρέπει στο σενάριο να διατηρείται η κατάσταση μεταξύ των κλήσεων προς την επανάκλησή του. Ωστόσο, μια παρενέργεια αυτού είναι ότι η μεγάλη χρήση μνήμης σε ένα Script μπορεί να προκαλέσει έλλειψη μνήμης σε άλλα Scripts.

5.5 Δημιουργία ενός αλγόριθμου για την επιτυχία της αποστολής των UAV

5.5.1 Ανάλυση του αλγορίθμου

Στον συγκεκριμένο αλγόριθμο υπάρχουν δυο κομμάτια στα οποία λειτουργεί. Ωστόσο πρέπει να υπάρξουν κάποιες προϋποθέσεις έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί κάποιο κομμάτι του κώδικα. Γιατί χρησιμοποιήσα τον συγκεκριμένο όρο; ο όρος bingo fuel "καύσιμο bingo" είναι ένας στρατιωτικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σημείο κατά τη διάρκεια της αποστολής ενός αεροσκάφους όταν έχει αρκετό καύσιμο για να επιστρέψει με ασφάλεια στη βάση ή να εκτραπεί σε ένα εναλλακτικό αεροδρόμιο. Ο όρος "bingo" χρησιμοποιείται για να υποδείξει ότι το αεροσκάφος έχει φτάσει σε ένα κρίσιμο σημείο όσον αφορά τα καύσιμα και ότι είναι

επιτακτική ανάγκη να επιστρέψει στη βάση ή να προσγειωθεί σε εναλλακτική τοποθεσία το συντομότερο δυνατό. Η έννοια του " καυσίμου bingo" είναι σημαντική στη στρατιωτική αεροπορία επειδή επιτρέπει στους πιλότους να σχεδιάζουν τις αποστολές τους πιο αποτελεσματικά και να λαμβάνουν κρίσιμες αποφάσεις σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου και την επιλογή διαδρομής.



Εικόνα 33: Χαμηλή ποσότητα καυσίμων

Γνωρίζοντας την ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για την επιστροφή στη βάση ή την εκτροπή σε άλλο αεροδρόμιο, οι πιλότοι μπορούν να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με το πόσο μακριά μπορούν να πετάξουν και πόσα καύσιμα μπορούν να αντέξουν οικονομικά να κάψουν κατά τη διάρκεια της αποστολής. Εκτός από τη χρήση του στη στρατιωτική αεροπορία, ο όρος καύσιμο BINGO χρησιμοποιείται επίσης στην εμπορική αεροπορία και σε άλλες βιομηχανίες όπου η διαχείριση καυσίμων αποτελεί κρίσιμη ανησυχία. Παρακολουθώντας στενά την κατανάλωση καυσίμου και προγραμματίζοντας για απρόοπτα, όπως εκτροπές που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, οι πιλότοι μπορούν να διασφαλίσουν ότι έχουν αρκετό καύσιμο για να ολοκληρώσουν τις αποστολές τους με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα.

Το BINGO SCRIPT καλείται κάθε 5 δευτερόλεπτα για να τρέξει. Ωστόσο όπως αναφέραμε πρέπει να τηρηθούν κάποιες προϋποθέσεις για να λειτουργήσει ένα από τα δυο. Αρχικά αφού παρθούν οι παράμετροι που είναι αναγκαίοι για τον ορθή εκτέλεση του αλγορίθμου από την πλατφόρμα που χρησιμοποιούμε για την λειτουργία του UAV. Η προϋπόθεση για το πρώτο κομμάτι του είναι όταν το COPTER έχει ένα συγκεκριμένο

υψόμετρο μεγαλύτερο του ενός, η ταχύτητα του να είναι μικρότερο του 1 δηλαδή σχεδόν μηδενική και το κυριότερο η απόσταση από το σπίτι(Home Distance) να είναι μεγαλύτερη η ίση από την επιστρεφόμενη απόσταση(Return Distance) **if altitude > 1 and speed < 1 and home_distance >= return_distance**. Ωστόσο για να λειτουργήσει πρέπει πρώτα να υπολογισθεί το **home_distance = current_posit:get_distance(home) + altitude**, η οποία απόσταση είναι μια προσέγγιση. Ο οποίος τύπος υπολογίζει την τριγωνομετρική απόσταση του UAV, καθώς προσθέτει την απόσταση από το σημείο εκκίνησης και το υψόμετρο του εκείνη τη στιγμή. Αφού υπολογισθεί η τριγωνομετρική απόσταση από το σημείο εκκίνησης, υπολογίζουμε το **return_distance = home_distance ***

Total_Battery/Used_battery

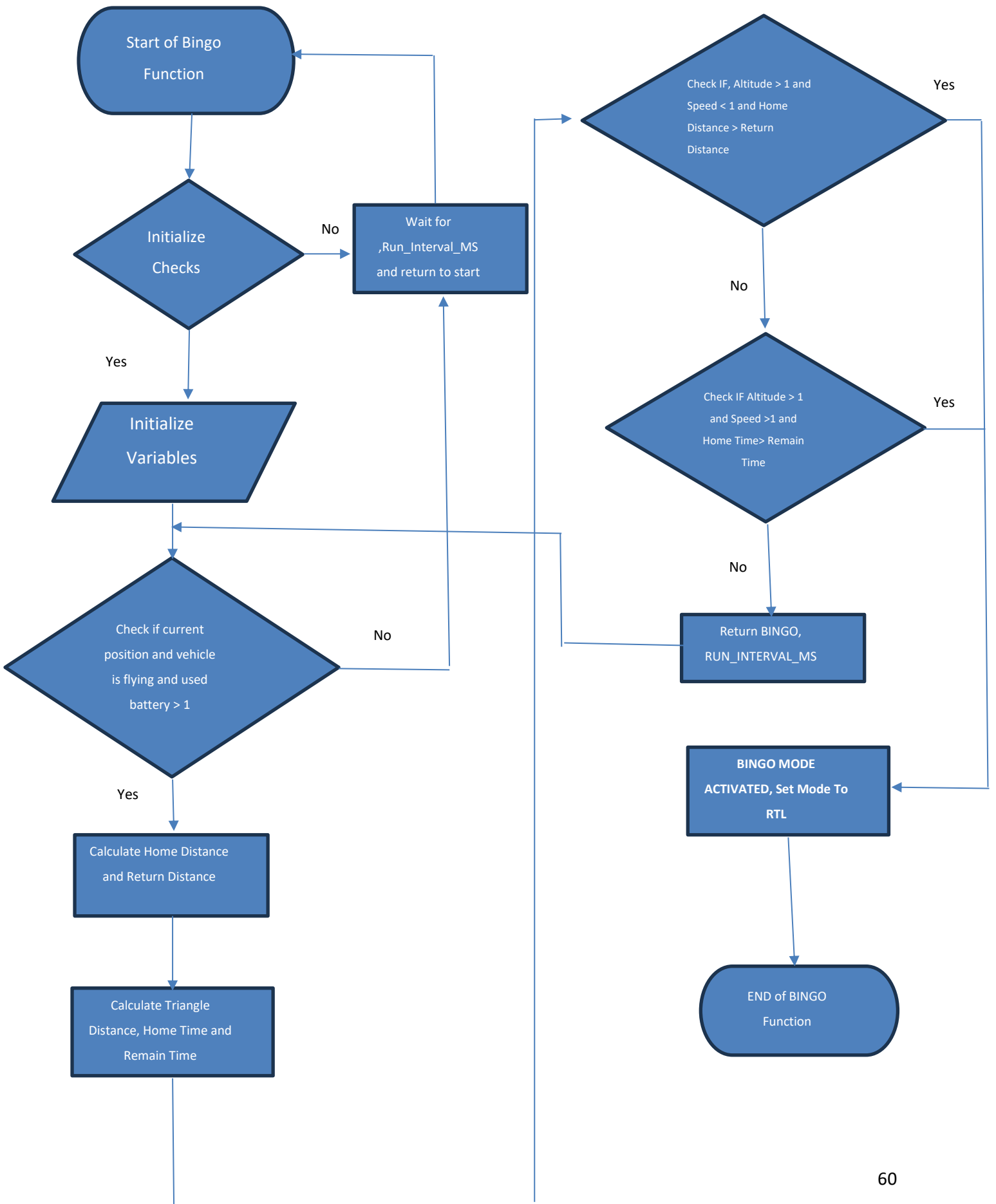
Εφόσον καλυφθούν οι συγκεκριμένες προϋποθέσεις τότε θα ενεργοποιηθεί ο κώδικας το οποίο επηρεάζει την κατάσταση του COPTER εκτελώντας το **RTL(RETURN TO LAUNCH MODE) mode vehicle: set_mode (COPTER_MODE_RTL)**. Αυτό γίνεται διότι το home distance είναι η απόσταση που έχει το drone από το home location και σε οριζόντιο άξονα και σε κάθετο, δηλαδή υπολογίζουμε και το υψόμετρο και την απόσταση από το “σπίτι”, και το return distance, το οποίο είναι η απόσταση που έχει το drone από το “σπίτι” και σε οριζόντιο άξονα και σε κάθετο με την προϋπόθεση ότι πολλαπλασιάζεται με τα ποσοστά της μπαταρίας. Αφού το home distance είναι μεγαλύτερο από το return distance, το COPTER αλλάζει το MODE πτήσης του σε RTL αναγκάζοντας το να επιστρέψει στο σημείο απογείωσης του.

Το δεύτερο κομμάτι του κώδικα θα λειτουργήσει αφού υπολογίσουμε την απόσταση από το σημείο εκκίνησης και το υψόμετρο που βρίσκεται το UAV εκείνη τη στιγμή. Έτσι καταφέρνουμε να κάνουμε μια εκτίμηση τριγωνομετρική απόσταση **triangle_distance = current_posit:get_distance(home) + altitude**. Αφού το COPTER έχει ένα υψόμετρο μεγαλύτερο του ενός, η ταχύτητα του να είναι μεγαλύτερη του 1 και το κυριότερο ο χρόνος από το σπίτι (**Home Time**) = **triangle_distance / gps:ground_speed(0)**, να είναι μεγαλύτερη η ίση από την επιστρεφόμενο χρόνο (**Remain Time**) = **(TIME * Total_Battery) / Used_battery - (TIME * Used_battery) / Used_battery**. Εφόσον καλυφθούν οι συγκεκριμένες προϋποθέσεις τότε θα ενεργοποιηθεί ο κώδικας το οποίο επηρεάζει την κατάσταση του COPTER εκτελώντας το **RTL(RETURN TO LAUNCH MODE) mode vehicle: set_mode (COPTER_MODE_RTL)**. Για να αλλάξει το MODE πτήσης του COPTER πρέπει όπως

αναφέραμε παραπάνω το Home Time δηλαδή , η τριγωνομετρική απόσταση σε εξίσωση με την ταχύτητα του COPTER να είναι μεγαλύτερη από το Remain Time, δηλαδή τον τρέχων χρόνο πτήσης σε εξίσωση με την συνολική μπαταριά πτήσης και την μπαταριά που έχει χρησιμοποιηθεί για εκείνη την χρονική στιγμή. Αν πραγματοποιηθεί αυτή η προϋπόθεση το COPTER αλλάζει MODE σε RTL, με αποτέλεσμα να γυρίσει στο σημείο εκκίνησης του.

Συμπερασματικά, το κεφάλαιο παρέχει μια λεπτομερή επισκόπηση της χρήσης της γλώσσας προγραμματισμού LUA για την ανάπτυξη ενός ενεργειακός αποδοτικού αλγόριθμου πλοήγησης. Το κεφάλαιο καλύπτει διάφορα υποθέματα, συμπεριλαμβανομένων των βασικών στοιχείων του σχεδιαστή αποστολής, των χαρακτηριστικών της γλώσσας προγραμματισμού LUA και της υποστήριξης ARDUPILOT για εισαγωγή σεναρίων με τη γλώσσα προγραμματισμού LUA. Ένα από τα κυριότερα σημεία του κεφαλαίου είναι η συζήτηση για τον προσαρμοσμένο αλγόριθμο που αναπτύχθηκε για την εκτέλεση της εντολής "επιστροφή στη γη" για drones όταν η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι ανεπαρκής. Ο προσαρμοσμένος αλγόριθμος βασίζεται στον αλγόριθμο καυσίμου BINGO που χρησιμοποιείται για αεροσκάφη και παρέχει έναν αποτελεσματικό τρόπο βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των αλγορίθμων πλοήγησης για μη επανδρωμένα οχήματα. Το κεφάλαιο τονίζει τη σημασία της ανάπτυξης ενεργειακά αποδοτικών αλγορίθμων πλοήγησης, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων και των κινητών ρομπότ. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες της γλώσσας προγραμματισμού LUA, οι προγραμματιστές μπορούν να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν αλγόριθμους πλοήγησης που βελτιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας ενώ επιτυγχάνουν τους επιθυμητούς στόχους αποστολής.

5.5.2 Ροή διαγράμματος και απεικόνιση του αλγορίθμου



```

C:\Users\Theo > Documents > Mission Planner > sid > quad > scripts > BINGO.lua
1 -- This scripts runs every 5 seconds by taking parameters from Mission Planner, in order to calculate when the COPTER will change its mode to RTL:
2 -- The mode can change while the COPTER is MOVING or the COPTER is IMMOVABLE
3 -- There are certain conditions in order for the BINGO MODE to be activated, that are based on the parameters that we take from Mission Planner
4
5 local SCRIPT_NAME      = 'BINGO' -- define a NON-global variable SCRIPT_NAME, that will call the script name
6 local RUN_INTERVAL_MS  = 5000 -- define a NON-global variable RUN_INTERVAL_MS, that will call the script every 5 seconds(5000ms)
7 local MAV_SEVERITY_NOTICE = 5 -- define a NON-global variable MAV_SEVERITY_NOTICE, that will send the text string with message severity level = NOTICE
8 local MAV_SEVERITY_INFO  = 6 -- define a NON-global variable MAV_SEVERITY_INFO, that will send the text string with message severity level = INFO
9 local COPTER_MODE_RTL    = 6 -- define a NON-global variable COPTER_MODE_RTL, that will attempt to change vehicle mode (in this example COPTER) to RTL(RETURN TO LAU
10
11 local function gcs_msg(severity, txt) -- An obvious consequence of first-class functions is that we can store functions not only in global variables, but also in table
12     gcs:send_text(severity, string.format('%s: %s', SCRIPT_NAME, txt)) -- Will send the text string with message severity level
13 end -- End of local function gcs_msg
14
15 function BINGO() -- Call the function BINGO as a statement
16
17     if not ahrs:healthy() then return time, RUN_INTERVAL_MS end -- If the Attitude Heading Reference System is not healthy, return to function distance
18     if not vehicle:get_likely_flying() then return time, RUN_INTERVAL_MS end -- If the autopilot thinks it is not flying, return to function distance
19
20     local Effective_capacity = battery:pack_capacity_mah(0) * 0.65 -- Define a NON-global variable, that returns the full capacity in mAh, for the effective percentage
21     local RESERVE = battery:pack_capacity_mah(0) * 0.10 -- Define a NON-global variable, that returns the reserve battery capacity
22     local Total_Battery = Effective_capacity - RESERVE -- Define a NON-global variable, that returns the Total battery, that the drone will use for the flight
23     local Remain_Battery = Effective_capacity - battery:consumed_mah(0) -- Define a NON-global variable, that returns the remaining battery of the drone, at that point
24     local TIME = vehicle:get_time_flying_ms()/1000 -- Define a NON-global variable, that returns the flying time in seconds of the COPTER
25     local Used_battery = battery:consumed_mah(0) -- Define a NON-global variable, that returns the consumed mAh(Used battery), that the drone used at that point of time
26     local current_posit = ahrs:get_location() -- Define a NON-global variable, that returns nil or Location userdata that contains the vehicles current position
27     local home = ahrs:get_home() -- Define a NON-global variable, that returns a Location that contains the vehicles current home waypoint.
28     --local position = ahrs:get_position() --Returns nil or Location userdata that contains the vehicles current position.
29     local speed = gps:ground_speed(0) -- Define a NON-global variable, that returns the ground speed of the COPTER
30     local altitude = position:alt() / 1000 -- Define a NON-global variable, that returns the altitude of the COPTER
31     local distance = current_posit:get_distance(home) -- Define a NON-global variable, that returns the distance from home in meters
32
33     if last_posit == nil then -- if last_posit statement is nil then
34         last_posit = current_posit -- last_posit = current_posit
35     end -- end if last_posit statement == nil
36
37     if current_posit and home and vehicle:get_likely_flying() then -- The if statement will execute, if the current posit, home and vehicle:get_likely_flying() are a
38
39         local home_distance = current_posit:get_distance(home) + altitude -- Define a NON-global variable, that calculates the home distance based on the altitude and
40         local return_distance = (current_posit:get_distance(home) + altitude) * Total_Battery/Used_battery -- Define a NON-global variable, that calculates the return
41         if altitude > 1 and speed < 1 and home_distance >= return_distance then -- The if statement will execute, if the altitude > 1 and speed < 1 and home_distance
42             vehicle:set_mode(COPTER_MODE_RTL) -- Change the vehicle mode (in this example COPTER) to RTL(RETURN TO LAUNCH)
43             gcs_msg(MAV_SEVERITY_INFO, "BINGO MODE ACTIVATED:") -- Print BINGO MODE ACTIVATED to the info screen of the MissionPlanner
44         end -- end if altitude > 1 and speed < 1 and home_distance >= return_distance statement
45
46         local triangle_distance = current_posit:get_distance(home) + altitude -- Define a NON-global variable, that calculates the triangle distance based on the alti
47         local home_time = triangle_distance / gps:ground_speed(0) -- -- Define a NON-global variable, that calculates the time from home based on the triangle distan
48         local remain_time = (TIME * Total_Battery) / Used_battery - (TIME * Used_battery) / Used_battery -- Define a NON-global variable, that calculates the remain t
49
50         if altitude > 1 and speed > 1 and triangle_distance / gps:ground_speed(0) > (TIME * Total_Battery) / Used_battery - (TIME * Used_battery) / Used_battery then
51             vehicle:set_mode(COPTER_MODE_RTL) -- Change the vehicle mode (in this example COPTER) to RTL(RETURN TO LAUNCH)
52             gcs_msg(MAV_SEVERITY_INFO, "BINGO MODE ACTIVATED:") -- Print BINGO MODE ACTIVATED to the info screen of the MissionPlanner
53         end --end if altitude > 1 and speed > 1 and triangle_distance / gps:ground_speed(0) > (TIME * Total_Battery) / Used_battery - (TIME * Used_battery) / Used_bat
54
55     end --end if current_posit and home and vehicle:get_likely_flying() and Used_battery > 1 statement
56
57     return BINGO, RUN_INTERVAL_MS -- Call the function distance every 5 seconds
58
59 end -- -- End function BINGO
60 gcs_msg(MAV_SEVERITY_INFO, 'INITIALIZED BINGO FUNCTION') -- Will send the text every time the script restarts
61 return BINGO() -- Return the BINGO function

```

Εικόνα 34: Απεικόνιση του αλγορίθμου στη γλώσσα προγραμματισμού Lua, στο περιβάλλον ανάπτυξης Visual Studio Code

6 Πειραματική υλοποίηση

Αυτή η πειραματική υλοποίηση επικεντρώνεται σε μια εναέρια προγραμματισμένη πτήση που χρησιμοποιεί ένα προσαρμοσμένο σενάριο γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού LUA. Το πείραμα περιλαμβάνει ένα σενάριο με δύο ίχνη, το καθένα με συγκεκριμένες συνθήκες ενεργοποίησης για πτήση UAV. Εμπνευσμένο από την ιδέα της Πολεμικής Αεροπορίας του "Bingo Fuel", που αναφέρεται στο σημείο στην αποστολή ενός αεροσκάφους όταν έχει επαρκή καύσιμα για να επιστρέψει με ασφάλεια στη βάση, το προσαρμοσμένο σενάριο έχει αναπτυχθεί για τη βελτιστοποίηση των πτητικών λειτουργιών. Όπως αναφεραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο υπάρχει πρόβλημα ως προς την καταναλωση ενέργειας των UAV's. Πάρα την πολύπλευρη τους χρήση υπάρχει περιορισμένη ενεργειακή χωρητικότητα, εφόσον βασίζονται στις τρέχουσες τεχνολογίας μπαταριών ως κυρία πηγή ενέργειας. Συνήθως οι εταιρίες αλλά και οι χρήστες των UAV, βασίζονται σε συστήματα επικοινωνίας, σε κάμερες και σε αισθητήρες, όπου πολλές φορές δεν υπολογίζουν τους ενεργειακούς περιορισμούς οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν το UAV σε κρίσιμες καταστάσεις.

Η πλατφόρμα Mission Planner χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την εκτέλεση της προγραμματισμένης πτήσης. Μέσω αυτής της πειραματικής αξιολόγησης, το έγγραφο καταδεικνύει την πρακτική εφαρμογή και την αποτελεσματικότητα των προσαρμοσμένων σεναρίων LUA στη βελτίωση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των πτήσεων μη επανδρωμένων οχημάτων (UAV). Δουλεύοντας σε μια πλατφόρμα όπως το Mission Planner το οποίο είναι Open Source, το λογισμικό αναπτύσσεται από κοινού από μια κοινότητα προγραμματιστών που μπορούν να έχουν πρόσβαση, να τροποποιούν και να διανέμουν τον κώδικα. Παράλληλα είναι εφικτή η προσαρμογή του λογισμικού σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη χωρίς περιορισμούς. Και εφόσον το λογισμικό του ανοιχτού κώδικα διαμένει ελεύθερα, οι χρήστες ενθαρρύνονται συνεισφέρουν στην ανάπτυξη του. Αντιθέτως με τα εμπορικά UAV των οποίων ο κώδικας δεν είναι διαθέσιμος στο κοινό, οπότε οι χρήστες δεν έχουν πρόσβαση στον κώδικα για την τροποποίηση του ή τη προσαρμογή του. Οι χρήστες δεν μπορούν να προσαρμόσουν τον κώδικα με βάση τις ανάγκες τους. Με αποτέλεσμα να υπάρξουν συνέπειες κατά τη πτήση του UAV.

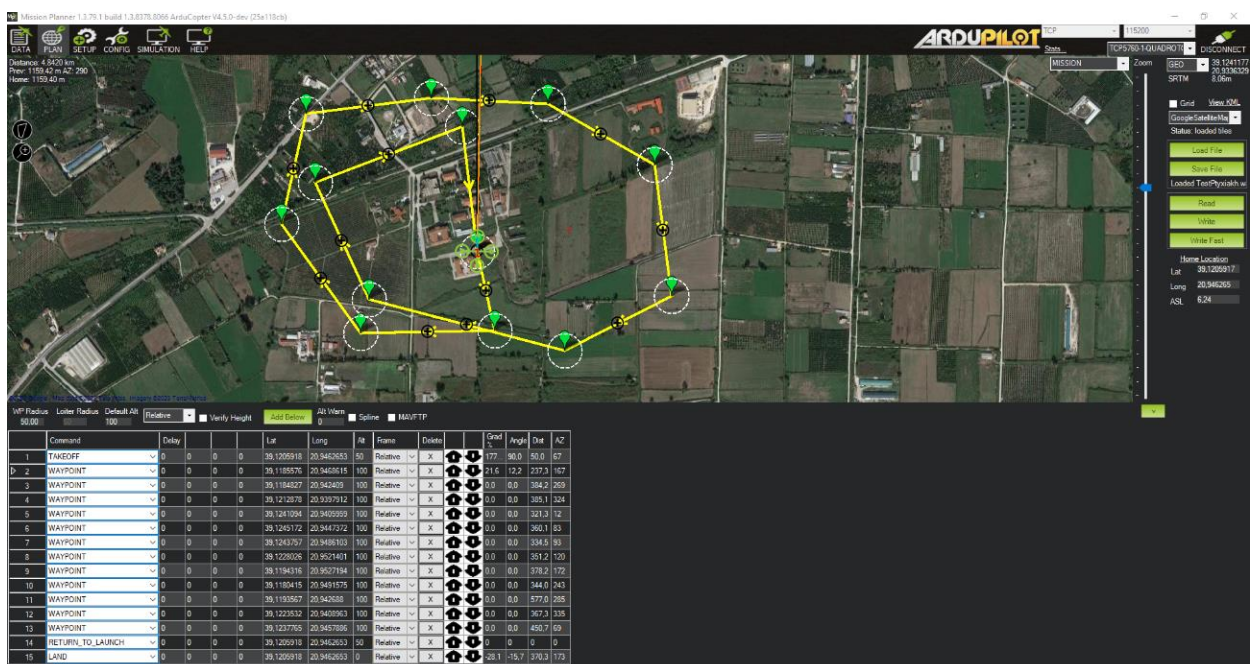
Τα ευρήματα αυτής της έρευνας συμβάλλουν στην πρόοδο των τεχνολογιών UAV, ιδιαίτερα στον τομέα του αυτόνομου ελέγχου πτήσης και λήψης αποφάσεων. Το πρακτικό παράδειγμα που παρουσιάζεται σε αυτό το έγγραφο προσφέρει έναν οδικό χάρτη για μελλοντική ανάπτυξη και εφαρμογή προσαρμοσμένων σεναρίων βασισμένων στη γλώσσα προγραμματισμού LUA, επιτρέποντας στα UAV να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά σε διάφορα σενάρια. Ο αλγόριθμος που έχει σχεδιαστεί με τη γλώσσα προγραμματισμού LUA έχει δοκιμαστεί μέχρι στιγμής σε προσομοίωση που μας παρέχεται από την πλατφόρμα του Mission Planner. Η προσομοίωση λειτούργησε σε ιδανικές καιρικές συνθήκες. Από τις εικόνες που θα δούμε παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος λειτούργησε σωστά εκτελώντας την εντολή στην προσομοίωση να επιστρέψει στο σημείο απογείωσης και έπειτα να προσγειωθεί με το επιθυμητό ποσοστό μπαταρίας. Ο αλγόριθμος εστιάζει στην ασφαλής διακοπή της πτήσης στην περίπτωση που δεν μπορεί να ολοκληρώσει το πλάνο πτήσης εξαιτίας της μη επαρκούς μπαταρίας. Γίνεται παρακολούθηση της μπαταρίας σε πραγματικό χρόνο με πρόσβαση σε δεδομένα τηλεμετρίας και γίνεται συνεχής αξιολόγηση της υπολειπομένης χωρητικότητας της μπαταρίας και παρακολούθηση του ρυθμού της κατανάλωσης ενέργειας. Ο αλγόριθμος έχει σχεδιαστεί για τετρακόπτερα μέχρι στιγμής, ωστόσο με μικρές αλλαγές μπορεί να λειτουργήσει και για αλλά μη επανδρωμένα οχήματα.

Όπως αναφέραμε προηγούμενος η προσομοίωση λειτούργησε σε ιδανικές καιρικές συνθήκες και πήραμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει σωστά σε χειρότερες καιρικές συνθήκες καθώς δεν υπολογίζουμε την ξαφνική αλλαγή της ταχύτητας του ανέμου με αποτέλεσμα το UAV να είναι σε κρίσιμη κατάσταση όσο αναφορά το επίπεδο της μπαταρίας. ο αλγόριθμος θα δεχτεί αρκετές μελλοντικές αλλαγές για την καλύτερη κατανόηση της κατανάλωσης ενέργειας του. Με τη χρήση αισθητήρων αλλά και μερικών τροποποιήσεων που θα γίνουν στον αλγόριθμο θα μπορούμε να υπολογίζουμε τις κρατούσες καιρικές συνθήκες. Παράλληλα προσθέτοντας προσαρμοστικά όρια για το ποτέ να ενεργοποιηθεί ο αλγόριθμος, έτσι ώστε να γυρίσει στο σημείο απογείωσης θα κάνει την εντολή αρκετά πιο βάσιμη. Εφόσον θα μπορεί να αναλύσει καλύτερα την κατανάλωση ενέργειας του UAV, έτσι ώστε το UAV να κάνει πάντα σωστή διακοπή του πλάνου πτήσης και να επιστρέφει στο σημείο εκκίνησης. Τέλος για την καλύτερη επέκταση του αλγορίθμου, μπορούσαμε να προσθέσουμε και αλλά οχήματα πέρα τον τετρακοπτέρων.

Συνολικά, αυτή η πειραματική εφαρμογή χρησιμεύει ως πολύτιμη μελέτη περίπτωσης, υπογραμμίζοντας τη σημασία των προσαρμοσμένων σεναρίων LUA για τη βελτίωση της ασφάλειας, της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητας των πτήσεων UAV. Τονίζει τη σημασία της έξυπνης λήψης αποφάσεων πτήσεων, που βασίζεται σε έννοιες όπως το Bingo Fuel, για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών UAV και το άνοιγμα νέων δυνατοτήτων για την εφαρμογή τους σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της επιτήρησης, της παρακολούθησης και της μεταφοράς.

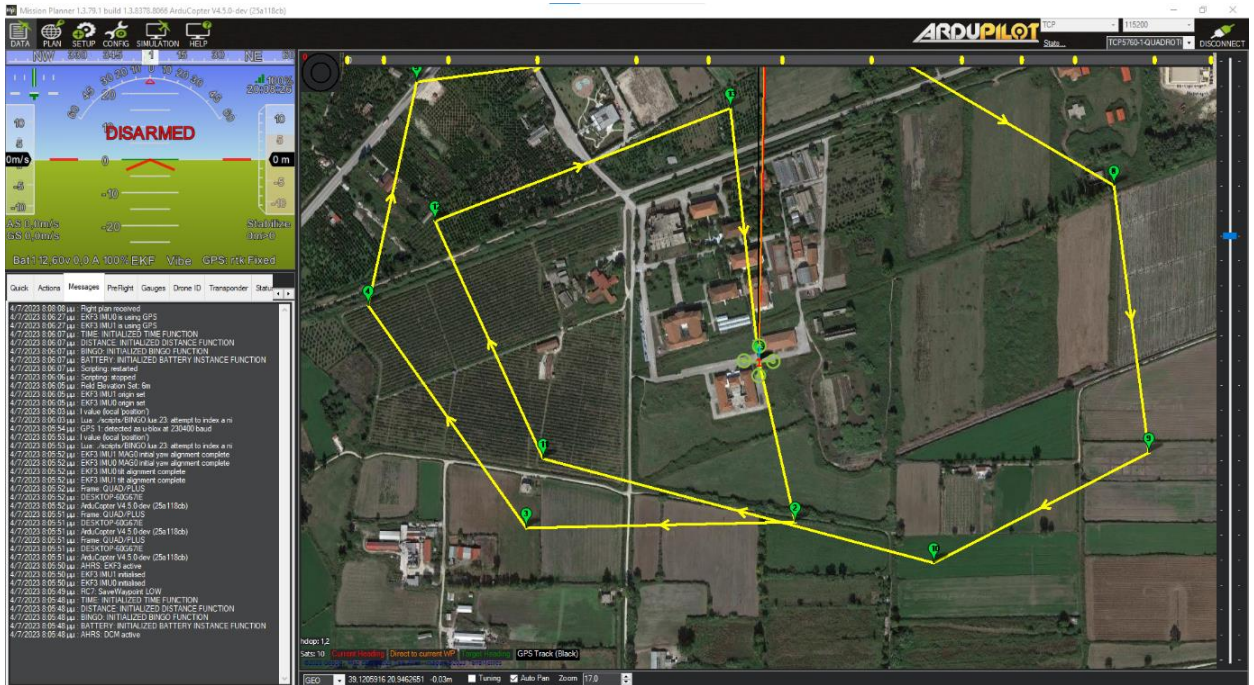
6.1 Επίδειξη του αλγορίθμου στη πλατφόρμα Mission Planner με προγραμματισμένη πτήση

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το προγραμματισμένο πλάνο στη πλατφόρμα Mission Planner, με 15 σημεία διαδρομής, όπου θα λειτουργήσει η προσομοίωση τετρακοπτέρου. Το πρώτο σημείο διαδρομής είναι η απογείωση του “UAV” στα 50 μετρά, προχωρώντας ωστόσο στο 2^ο σημείο και μέχρι το 13^ο σημείο το υψόμετρο είναι στα 100 μετρά. Έπειτα εκτελείται η 14^η εντολή Return To Launch, η οποία αναγκάζει το “UAV” να γυρίσει στο σημείο απογείωσης και εφόσον φτάσει στις συντεταγμένες από τις οποίες έγινε η εκκίνηση εκτελείται το 15^ο σημείο το οποίο είναι η προσγείωση της προσομοίωσης.



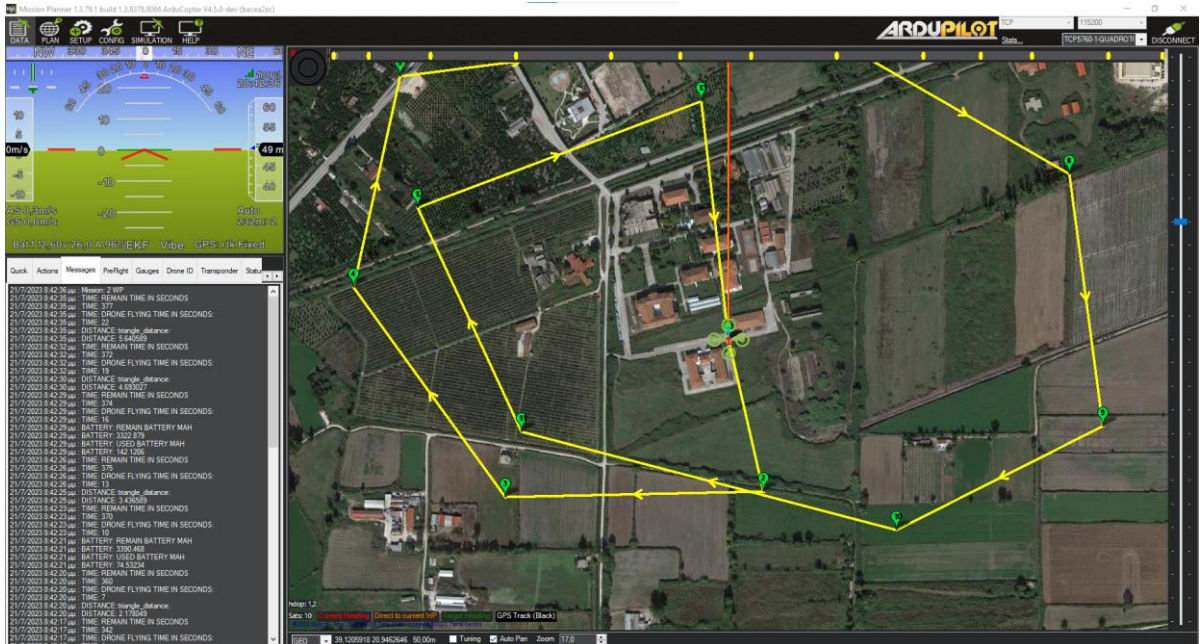
Εικόνα 35: Σχεδιασμός πλάνου πτήσης στη πλατφόρμα Mission Planner

Πριν ξεκινήσουμε το πλάνο πτήσης κάνουμε την εκκίνηση των σεναρίων μέσα από το Action command του Mission Planner, και μπορούμε να δούμε στα μηνύματα της οθόνης αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα ή αν ήταν ορθή η εκκίνηση των σεναρίων.



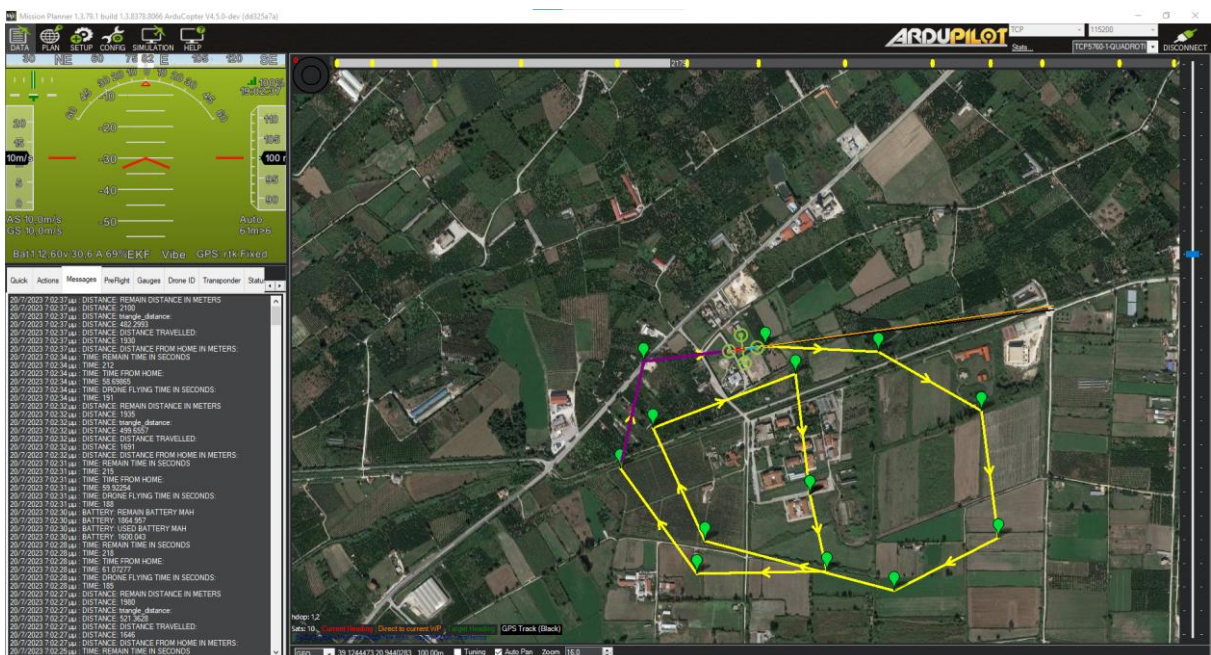
Εικόνα 36: Εκκίνηση των σεναρίων στη πλατφόρμα Mission Planner

Αφού ήταν ορθή η εκκίνηση των σεναρίων τότε εκτελούμε το πλάνο πτήσης πατώντας το κουμπι “AUTO”, μέσα από το Action Command του Mission Planner όπως αναφέραμε πριν.



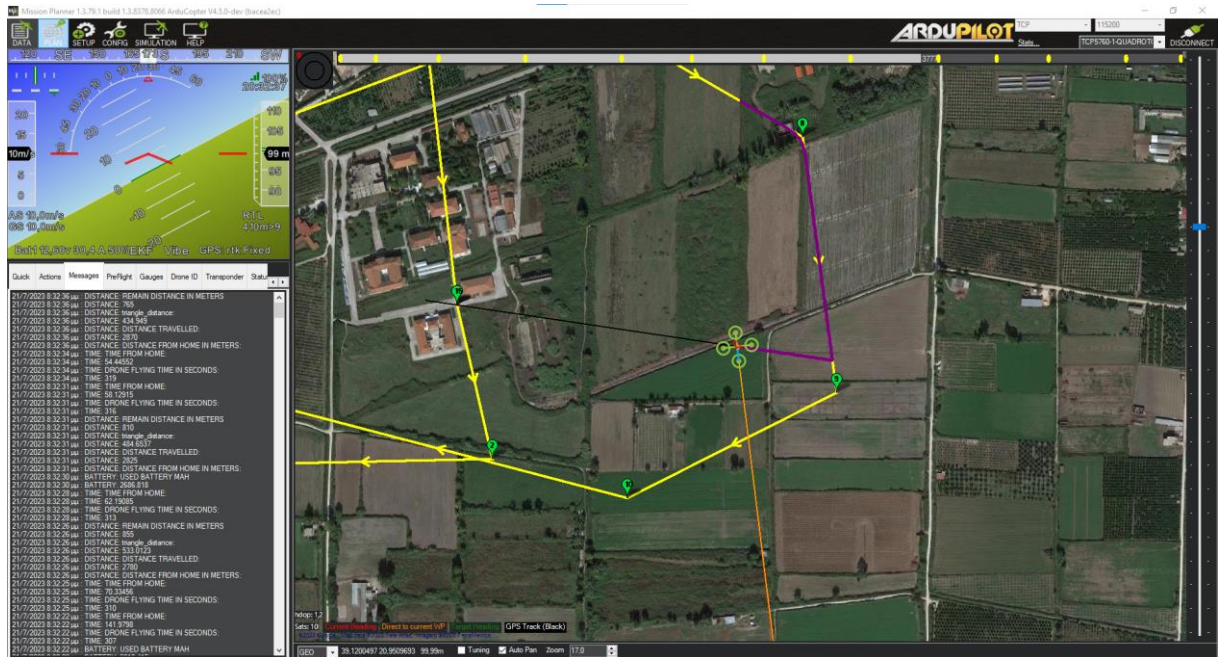
Εικόνα 37: Απογείωση του Μη επανδρωμένου οχήματος

Από την απογείωση έως την προσγείωση παρατηρούμε ότι δεχόμαστε δεδομένα στην οθόνη μηνυμάτων του Mission Planner εξαιτίας του αλγορίθμου.



Εικόνα 38: Λαμβάνοντας δεδομένα κατά της διάρκεια της πτήσης

Τα συγκεκριμένα μηνύματα μας βοηθάνε να καταλάβουμε την κατάσταση της μπαταρίας του UAV, στην οποία βρίσκεται. Και εκτός από τα δεδομένα της μπαταρίας που δεχόμαστε στην οθόνη γνωρίζουμε, το υψόμετρο από το έδαφος, την απόσταση από το σημείο εκκίνησης την ταχύτητα του UAV, το χρόνο που θα χρειαστεί για να γυρίσει πίσω στο σημείο εκκίνησης, το χρόνο που πετάει τον υπολειπόμενο χρόνο της μπαταρίας, την υπολειπομένη απόσταση που μπορεί να διανύσει, τη υπολειπομένη μπαταρία αλλά και τη μπαταρία που έχει καταναλώσει.

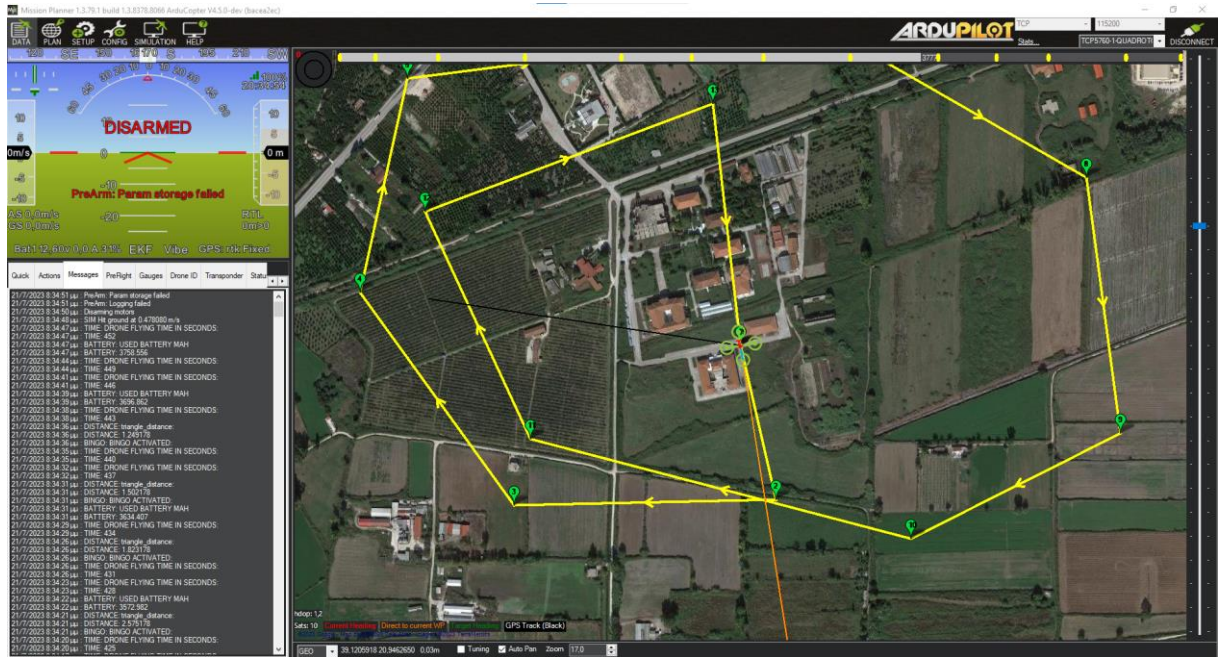


Εικόνα 39: Ενεργοποίηση του αλγορίθμου Bingo

Κατά της διάρκεια της πτήσης παρατηρούμε ότι έχει γίνει διακοπή του πλάνου και το “UAV” έχει ξεκινήσει ήδη και γυρνάει πίσω στο σημείο εκκίνησης αυτό γίνεται διότι έχει ξεπεραστεί το όριο που έχουμε ορίσει, δηλαδή ο χρόνος από το σπίτι (**Home Time**) = $\text{triangle_distance} / \text{gps:ground_speed}(0)$, να είναι μεγαλύτερος ή ίσος από τον επιστρεφόμενο χρόνο (**Remain Time**) = $(\text{TIME} * \text{Total_Battery}) / \text{Used_battery} - (\text{TIME} * \text{Used_battery}) / \text{Used_battery}$.

Τέλος με βάση τη τελευταία εικόνα που βλέπουμε παρατηρούμε ότι ήταν ορθή η διακοπή του πλάνου πτήσης στο συγκεκριμένο σημείο για το υπολειπόμενο ποσοστό της μπαταρίας του UAV αλλά και για την απόσταση που είχε από το σημείο εκκίνησης όπως και το υψόμετρο από το έδαφος. Ωστόσο όπως αναφέραμε πριν δεν υπήρχε αντίθετος

άνεμος καθώς η προσομοίωση έτρεξε σε ιδανικές καιρικές συνθήκες. Παρατηρούμε ότι η προσομοίωση έχει ήδη προσγειωθεί στο σημείο απογείωσης με υπολειπόμενο ποσοστό μπαταρίας 31%, το οποίο είναι αρκετά ασφαλές και υγιές για τις μπαταρίες LiPo που χρησιμοποιούνται συνήθως στα DRONES. Ο συνολικός χρόνος του πλάνου πτήσης ήταν 452 δευτερόλεπτα, δηλαδή 7 λεπτά και 32 δευτερόλεπτα, η συνολική μπαταριά που καταναλώθηκε ήταν 3758.56 mAh και η υπολειπομένη μπαταριά ήταν 1741.44 mAh.



Εικόνα 40: Ολοκλήρωση του πλάνου πτήσης με ασφαλής προσγείωση

7 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία, εμβαθύνουμε στο περίπλοκο βασίλειο των μη επανδρωμένων εναέριων συστημάτων (UAS), αναλύοντας σχολαστικά τη δυναμική κατανάλωσης ενέργειας τους ενώ αξιολογούμε τις πολυσχιδείς μεταβλητές που διαμορφώνουν περίπλοκα την απόδοσή τους. Ξεκινάμε μια αποστολή μέσα από κρίσιμες πτυχές, όπως οι καιρικές συνθήκες, οι εκτιμήσεις για το ωφέλιμο φορτίο και η αλληλεπίδραση μεταξύ ταχύτητας και υψόμετρου πτήσης, καθεμία από τις οποίες ασκεί αισθητή επίδραση στο τοπίο κατανάλωσης ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα επιχειρεί τη διεύρυνση στο έδαφος της αυτόνομης πλοήγησης, σημειώνοντας τη συζήτηση με μια σχολαστική ανάλυση των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και των θεμελιωδών αδρανειακών συστημάτων εγγενών στις λειτουργίες των μη επανδρωμένων πλατφορμών. Τα περιγράμματα αυτής της εξερεύνησης επεκτείνονται για να περιλαμβάνουν μια διορατική εισαγωγή στο πρωτόκολλο επικοινωνίας MAVLink, μια θεμελιώδη γέφυρα στην αρχιτεκτονική επικοινωνίας αυτών των συστημάτων.

Μέσα σε αυτές τις σελίδες, οι προσαρμοσμένοι αλγόριθμοι βρίσκονται στο επίκεντρο, εκτιμώντας την κατανάλωση ενέργειας. αναλύοντας σχολαστικά χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα και το ύψος. Αυτός ο έλεγχος αποκαλύπτει επιδέξια την περίπλοκη αλληλεπίδρασή τους μέσα στην περίπλοκη συμφωνία των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, δεν περιορίζεται στον απλό έλεγχο. Υπερβαίνει τις παραδοσιακές προσεγγίσεις λαμβάνοντας υπόψη ακόμα περισσότερους παράγοντες, όπως η απόσταση από το σημείο εκκίνησης, τον καταναλωμένη μπαταρία, τον χρόνο πτήσης του κλπ. Αυτός ο αλγόριθμος, αναλαμβάνει να υπολογίσει την ελάχιστη ενεργειακή προϋπόθεση, και να διακόψει με ασφάλεια το πλάνο πτήσης διασφαλίζοντας ότι το UAS θα επαναφέρει με ασφάλεια την πορεία του στο σημείο προέλευσης.

Το ταξίδι, αντί να είναι αποκλειστικά θεωρητικό, βρίσκει εμπειρική επικύρωση μέσω μιας ακολουθίας σχολαστικά διεξαγόμενων δοκιμαστικών πτήσεων. Αυτές οι πτήσεις τεκμηριώνουν την ικανότητα του αλγορίθμου, υπογραμμίζοντας την αποτελεσματικότητά. Αυτή η εμπειρική βάση επιβεβαιώνει την ισχύ του αλγοριθμικού πλαισίου, σηματοδοτώντας ένα κομβικό ορόσημο στη λειτουργική

αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, αυτή η κορύφωση είναι απλά η αρχή μιας συνέχειας. Οι περιπλοκές γύρω από την κατανάλωση ενέργειας UAS, της πλοήγησης τους και την αλγοριθμική καινοτομία δεν βρίσκουν το τελικό τους σημείο εδώ. Η υποστήριξη που προσφέρει η ARDUPILOT για δέσμες ενεργειών LUA, ξεκλειδώνει έναν κόσμο δυνατοτήτων για περίπλοκες προσαρμογές. Το ταξίδι μας περιλαμβάνει το γόνιμο έδαφος των δυνατοτήτων δημιουργίας σεναρίων LUA, με αποκορύφωμα την αποκάλυψη ενός προσαρμοσμένου σεναρίου που σχεδιάστηκε για να θεσπίσει μια εντολή "επιστροφή στη γη", που ενεργοποιείται έμπειρα όταν φτάσουμε σε συγκεκριμένα όρια κατανάλωσης ενέργειας. Οι συνέπειες αυτής της έρευνας μας δελεάζουν να αξιοποιήσουμε αυτά τα ευρήματα για να χαράξουμε την τροχιά των μελλοντικών προόδων και καινοτομιών στον πραγματικό κόσμο και όχι σε προσομοιώσεις.

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, το μέλλον προμηνύεται. Ένα μέλλον όπου τα UAS υποστηρίζονται από μια νέα αλγοριθμική μεθοδολογία. Καθώς ολοκληρώνουμε αυτό το κεφάλαιο, δεν αποχαιρετούμε. Οι μελλοντικοί ορίζοντες είναι φορτωμένοι με ευκαιρίες, υποδεικνύοντας την αφομοίωση αυτών των ευρημάτων σε μελλοντικές εξελίξεις, κατευθύνοντας την τροχιά των προσπαθειών των UAS προς σφαίρες άνευ προηγουμένου αποτελεσματικότητας.

BIBΛIOΓPAΦIA

1. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1429220>
2. <https://arxiv.org/abs/1604.08464>
3. Sundar, K., Rathinam, S.: Algorithms for routing an unmanned aerial vehicle in the presence of refueling depots. *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 11, 287–294 (2014)
4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527315003692>
5. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7513397>
6. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/palgrave.jors.2601867?journalCode=tjor20>
7. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2015.1085655?journalCode=tpsr20>
8. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/lemcs-15/25838333>
9. Sarıççek, İ., Akkuş, Y.: Unmanned aerial vehicle hub-location and routing for monitoring geographic borders page 11.
10. <https://www.droneinfo.fi/en/study-material/how-weather-affects-flight-weather-knowledge?toggle=How%20does%20wind%20affect%20flight%3F>
11. <https://www.mdpi.com/1424-8220/15/6/13874>
12. "Basic Principles of Inertial Navigation Seminar on inertial navigation systems" (PDF). AeroStudents.com. Tampere University of Technology, page 5. Retrieved 17 April 2018.
13. <https://aerospace.honeywell.com/us/en/about-us/blogs/four-facts-about-inertial-navigation-systems>
14. Inertial Navigation Systems (INS), Technology Editor UST
15. Wan Mohd Yaakob Wan Bejuri, Mohd Murtadha Mohamad, Raja Zahilah Raja Mohd Radzi, Sheikh Hussain Shaikh Salleh (2019). An Improved Resampling Scheme for Particle Filtering in Inertial Navigation System. *Lecture Notes in Computer Science*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14802-7_48
16. Wan Mohd Yaakob Wan Bejuri, Mohd Murtadha Mohamad, Hadri Omar, Farhana Syed Omar and Nurfarah Ain Limin (2019). Robust Special Strategies Resampling for Mobile Inertial Navigation Systems. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. <https://engrxiv.org/preprint/view/781>
17. <https://www.wiley.com/enus/Eshbach's+Handbook+of+Engineering+Fundamentals,+5th+Edition-p-9780470432754>
18. Weed, D.; Broderick, J.; Love, J.; Ryno, T. (2004). "GPS Align In Motion of civilian strapdown INS". *PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium* (IEEE Cat. No.04CH37556).
19. https://www.researchgate.net/publication/319283545_3D_human_gesture_capturing_and_recognition_by_the_IMMU-based_data_glove
20. <https://www.aseifl.com/Why-Your-Avionics-Need-GPS-INS-Solutions-for-Anti-Drone-Technologies-1-12336.html>
21. <https://www.eetimes.com/gps-system-with-imus-tracks-first-responders/>
22. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34601995/>
23. <https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-articles/what-is-an-inertial-measurement-unit-imu>
24. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/feature/selecting-an-inertial-measurement-unit-imu-for-uav-applications/>
25. <https://www.movella.com/products/sensor-modules/xsens-mti-7-gnss-ins>

26. <https://researchmatters.in/article/openshoe-project-tracking-each-step-safety>
27. <https://gt-silicon.com/>
28. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ieeshutpages/xplore/xplore-shut-page.html>
29. <https://www.wiley.com/enus/Eshbach's+Handbook+of+Engineering+Fundamentals,+5th+Edition-p-9780470432754>
30. <https://ardupilot.org/dev/docs/mavlink-basics.html>
31. <https://github.com/mavlink/mavlink>
32. " <https://mavlink.io/en/>
33. "GitHub - mavlink/mavlink: Marshalling / communication library for drones"
34. <https://forums.ni.com/t5/LabVIEW/Interfacing-Ardupilotmega-with-Labview-with-Mavlink-Protocol/td-p/1961063/page/4>
35. <https://auterion.com/mavlink-communication-protocol-the-open-standard/>
36. <https://ardupilot.org/dev/docs/mavlink-requesting-data.html>
37. <https://www.lua.org/about.html>
38. <https://ardupilot.org/dev/docs/common-lua-scripts.html>
39. <https://www.lua.org/pil/>
40. <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>
41. <https://uavrt.nau.edu/index.php/docs/control/using-mission-planner/>
42. https://www.ziprecruiter.co.uk/?utm_source=zr-go-redirect
43. <https://ardupilot.org/ardupilot/index.html>
44. <https://github.com/ArduPilot/MissionPlanner>
45. <https://ardupilot.org/ardupilot/docs/common-partners.html>
46. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20140002398>
47. <https://www.teslasociety.com/radio.htm#:~:text=As%20early%20as%201892%2C%20Nikola,in%201898%2C%20Madison%20Square%20Garden>
48. <https://interestingengineering.com/innovation/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
49. <https://dronesgator.com/the-history-of-drones/>
50. <https://teslauniverse.com/nikola-tesla/images/tesla-radio-controlled-boat-first-demonstrated-1898>
51. https://www.researchgate.net/figure/Artistic-depiction-of-the-aerial-bombardment-of-Venice-in-1849-Artwork-from_fig2_328346254
52. https://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_britain.html
53. <https://www.dehavillandmuseum.co.uk/aircraft/de-havilland-dh82b-queen-bee/>
54. [Zaloga 2005](#), page 11

