



ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ
ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ
(UAV – UNMANNED AERIAL VEHICLES)



ΜΠΑΤΣΗΣ ΞΕΝΟΦΩΝ

ΑΜ:15030

Επιβλέπων καθηγητής: Σπυρίδων Χρονόπουλος

Άρτα, Σεπτέμβριος 2018

**EXTENSIVE STUDY AND PRESENTATION OF
PROPOSALS FOR IMPROVING UNMANNED AERIAL
VEHICLES (UAV-UNMANNED AERIAL VEHICLES)**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή
Τόπος, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής
Όνομα Επίθετο,
τίτλος, βαθμίδα

2. Μέλος επιτροπής
Όνομα Επίθετο,
τίτλος, βαθμίδα

3. Μέλος επιτροπής
Όνομα Επίθετο,
τίτλος, βαθμίδα

Ο/Η Προϊστάμενος/η του Τμήματος

Όνομα Επίθετο,

τίτλος, βαθμίδα

Υπογραφή

© Μπασιής, Ξενοφών, 2018.

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 πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Δηλώνω επίσης υπευθύνως ότι, όπως απαιτείται από αυτούς τους κανόνες, οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Μπατσής Ξενοφών

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα στάδια των σπουδών μου μέσα από την οποία μου δόθηκε η ευκαιρία να μελετήσω την λειτουργία ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους (UAV), πως αυτό μπορεί να γίνει χρήσιμο για τον άνθρωπο και να αποκτήσω γνώσεις και εμπειρία πάνω στο πεδίο της Ρομποτικής. Επίσης, στην εργασία αυτή μελέτησα σε μεγάλο βαθμό το λογισμικό τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και πως μπορούν να εξελιχθούν στο μέλλον.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου κ. Σπυρίδωνα Χρόνοπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο σημαντικό και ενδιαφέρον ερευνητικό πεδίο, την εμπιστοσύνη, την συνεχή καθοδήγηση, την υποστήριξη αλλά και την επικοινωνιακή συνεργασία καθώς επίσης και τις πολύτιμες συμβουλές του κατά την διάρκεια της εκπόνησής της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τους φίλους μου για την βοήθεια τους και για τη στήριξη τους όλο αυτό το διάστημα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους της πρακτικής μου, κυρίους Δασούλα Τριαντάφυλλο και Αγγέλη Δημήτριο απο το τμήμα της Πληροφορικής του Πανεπιστημιακού Γενικού Νοσοκομείου Ιωαννίνων για τις συμβουλές τους και την βοήθεια τους πάνω σε αυτό το αντικείμενο.

Περίληψη

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και ιδιαιτέρως της ρομποτικής έφερε μια σειρά απο νέα και σημαντικά επιτεύγματα. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη αναφορά στην έρευνα του τομέα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) των οποίων η παραγωγή τους έχει αυξηθεί με γοργούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Η ανάγκη για χρήση αυτόνομων συστημάτων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των drones για να συλλέγουν δεδομένα αποτελεσματικά, για ελέγχους, χαρτογράφηση, επιτήρηση και τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Είναι σημαντικό να επισημάνουμε πώς τα UAV αντικαθιστούν τον ανθρώπινο παράγοντα στο βαθμό που ο χειριστής ελέγχει το επανδρωμένο αεροσκάφος χωρίς να βρίσκεται μέσα σε αυτό. Βέβαια με την ραγδαία εξάπλωσή τους, οι εταιρείες προσπαθούν να βελτιώσουν τα drones ώστε να έχουν πρωταγωνιστικούς ρόλους σε διάφορους κλάδους επαγγελμάτων και ερεύνης.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία, μελετήθηκαν και παρουσιάζονται λύσεις των προβλημάτων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Αρχικά, γίνεται αναφορά στην ιστορία και στην αρχιτεκτονική των UAVs και πώς αναπτύχθηκαν. Στη συνέχεια, μελετάται η σχεδίασή τους, το λογισμικό που χρησιμοποιείται, τα πλεονεκτήματα που μας προσφέρουν, τους κινδύνους που μπορεί να παρουσιαστούν από τη χρήση τους αλλά και πώς μπορούμε στο μέλλον να εξαλείψουμε τα προβλήματα αυτά που αφορούν θέματα ασφάλειας, ψυχαγωγίας και οικονομίας. Η εργασία αυτή έχει κύριο στόχο να παρουσιάσει προτάσεις για την βελτιστοποίηση της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Ακολούθως, τα προκύπτοντα συμπεράσματα παρουσιάζονται με σκοπό την παρουσίαση των προοπτικών εξέλιξή τους.

Abstract

The evolution of technology and especially of robotics has generated a number of new and important achievements. In recent years, there has been conducted a great amount of research relevant to the unmanned aircraft industry (UAV) whose production has grown rapidly in the last few years. The need for autonomous systems has led to the development of drones in order to collect data efficiently for controls, mapping, surveillance and 3D modeling. It is important to note that the UAVs replace the human factor to the extent of the operator being absent but nevertheless manages the controls of the unmanned aerial vehicles. Of course, with the rapid expansion of UAVs, companies try to improve drones to play leading roles into various disciplines and research activities.

In this thesis, were studied and presented solutions to the problems of unmanned aircraft. Initially, is mentioned the history and architecture of UAVs and the way that they were developed. We then study their design, the used software, the benefits that they offer, the risks that may arise from their use, but also the way for eliminating in the future the security, entertainment and economic issues. This work aims to present proposals for the optimization of the unmanned aerial vehicles' technology. Subsequently, the resulting conclusions are presented in order to show the perspectives relevant to their further development.

Κατάλογος Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8
Περίληψη.....	9
Abstract	10
Κατάλογος Περιεχομένων	11
Κατάλογος Πινάκων.....	13
Κατάλογος Διαγραμμάτων / Εικόνων	13
Εισαγωγή.....	15
Κεφάλαιο 1: Ιστορική εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών	17
1.1. Ιστορική αναδρομή.....	17
1.2. Εξέλιξη των UAVs	21
1.3. Τμήματα μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος.....	25
1.3.1. Όχημα ή Πλατφόρμα.....	26
1.3.2. Ωφέλιμο φορτίο	27
1.3.3. Σταθμός ελέγχου εδάφους.....	28
1.4. Αρχιτεκτονική πρωτότυπου UAV	29
1.4.1. Πλαίσιο (Frame).....	30
1.4.2. Ηλεκτρονικά.....	32
1.4.3. Λογισμικό.....	35
Κεφάλαιο 2: Μη Επανδρωμένα Ρομποτικά Οχήματα.....	45
2.1. Εκτεταμένη μελέτη των drones.....	45
2.2. Μοντελοποίηση του UAV	48
2.3. Έλεγχος UAV	51
2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τη σχεδίαση ενός UAV	62
2.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μη επανδρωμένου αεροσκάφους .	64
2.5.1. Οφέλη από τη χρήση των drones	65
2.5.2. Αρνητικοί παράγοντες και κίνδυνοι των UAV.....	66
Κεφάλαιο 3: Χρήση των UAVs για Εξερεύνηση Εναερίου Χώρου	67
3.1. Σύνδεση UAV και Σταθμού Εδάφους.....	67
3.2. UAV ως βάση σε θέματα εθνικής ασφάλειας.....	68
3.3. Εμπορική χρήση.....	69
3.4. Αεροφωτογράφιση και Συλλογή Δεδομένων με UAV.....	70
Κεφάλαιο 4: Εφαρμογές των UAV.....	75
4.5. Εφαρμογές των UAV σε διάφορους τομείς.....	75
4.6. Χαρτογράφηση-Φωτογραμμετρία.....	76
Κεφάλαιο 5: Προβλήματα-Προτάσεις.....	81

5.5	Προβλήματα-Λύσεις των UAV	81
5.6	Προτάσεις για την εξέλιξη των UAV.....	85
	Συμπεράσματα	95
	Επίλογος.....	97
	Βιβλιογραφία (References).....	99

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Ποιοτική περιγραφή ιδιοτήτων διαφόρων ειδών UAVs	24
---	----

Κατάλογος Διαγραμμάτων / Εικόνων

Εικόνα 1. Ιστορία αεροσκαφών [3].....	20
Εικόνα 2. Βασικοί τύποι σύμφωνα με την διάταξη των κινητήρων τους [6].....	23
Εικόνα 3. Αεροσκάφος σταθερών πτερυγίων [7].....	23
Εικόνα 4. Τετρακόπτερο [8].....	23
Εικόνα 5. UAV ελικόπτερο [9].....	23
Εικόνα 6. Αμερικάνικο στρατιωτικό UAV [11].....	25
Εικόνα 7 Δομικά στοιχεία που συνθέτουν ένα UAV [12]	26
Εικόνα 8. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υψομέτρου και διάρκειας πτήσεως των UAV [15]	30
Εικόνα 9. Σκελετός (Frame) ενός UAV [16].....	31
Εικόνα 10 (α). Ηλεκτρονικά του UAV σχετικά με τη χρησιμοποίηση ραδιοσυχνοτήτων και συστήματος πλοήγησης [18]	34
Εικόνα 11 (β). Ηλεκτρονικά του UAV σχετικά με αισθητήρες [19].....	35
Εικόνα 12. UAV Προσομοιωτής [21]	36
Εικόνα 13. Περιβάλλον Προσομοίωσης του λογισμικού MAV3DSIM [22]	37
Εικόνα 14. Δυνάμεις που ασκούνται σε ένα UAV [23].....	38
Εικόνα 15 (α). Περιβάλλον Προσομοίωσης του λογισμικού OSDLite – Waypoints [24].....	40
Εικόνα 16 (b). Περιβάλλον Προσομοίωσης του λογισμικού OSDLite – αναπαράσταση πρώτου προσώπου [25]	41
Εικόνα 17. Περιβάλλον Προσομοίωσης του λογισμικού AGISOFT PhotoScan [27].....	42
Εικόνα 18. Συντεταγμένες του UAV [29].....	45
Εικόνα 19. Άξονες συντεταγμένων του UAV [30].....	46
Εικόνα 20. Δυνάμεις και Συντεταγμένες ενός τετρακόπτερου drone [31].....	48
Εικόνα 21. Παράμετροι συντεταγμένων πλοήγησης ενός UAV [33].....	53
Εικόνα 22 Περιοχές υψομετρικής απόστασης ενός UAV [49].....	54
Εικόνα 23. Μέτρηση υψομέτρου [50]	55
Εικόνα 24. Μεταβολή ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος [36]	56
Εικόνα 25. Φαινόμενο Doppler [37].....	57
Εικόνα 26. Μαγνητικές μετρήσεις χρησιμοποιώντας τη γωνία απόκλισης [38].	58
Εικόνα 27. Δορυφορική Ραδιοφωνική Πλοήγηση ενός UAV [39].....	60
Εικόνα 28. Άλλες υπηρεσίες παγκόσμιας πλοήγησης [40]	60
Εικόνα 29. Σχέδιο εντοπισμού θέσεως αντικειμένου με μέτρηση της απόστασης [41].....	61
Εικόνα 30. Συντριβή UAV [44]	66

Εικόνα 31. Γεωμετρία ασύρματου καναλιού μεταξύ UAV και σταθμού εδάφους [46].....	67
Εικόνα 32. Ταξινόμηση με βάση την κλίση ενός UAV [49].....	73
Εικόνα 33. Ασπρόμαυρη Αεροφωτογραφία [50].....	73
Εικόνα 34. Αεροφωτογραφίες Οικισμών [51]	74
Εικόνα 35. Χαρτογράφηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών [55].....	79
Εικόνα 36. Χαρτογράφηση από Τετρακόπτερο drone [56]	79
Εικόνα 37. Ελληνικό UAV [57].....	79
Εικόνα 38. Κατασκευασμένα UAVs από διάφορες χώρες [58].....	80
Εικόνα 39. Η χρήση του UAV στη γεωργία [68].....	86
Εικόνα 40. UAV με δυνατότητα ψεκασμού καλλιιεργειών [65].....	87
Εικόνα 41. Τετρακόπτερο drone ψεκασμού [66].....	88
Εικόνα 42. Drone για την αντιμετώπιση κουνουπιών [68].....	90
Εικόνα 43. Drone για την αντιμετώπιση πυρκαγιάς [69]	90
Εικόνα 44. UAV κατά της λαθροθηρίας [70]	90
Εικόνα 45. UAV του μέλλοντος [72].....	92
Εικόνα 46. Τετρακόπτερο του μέλλοντος [73]	92
Εικόνα 47. U.S. Air Force Drone [74].....	93
Εικόνα 48. Drone ως μέσο μεταφοράς [75]	96
Εικόνα 49. Διθέσιο drone [76]	96
Εικόνα 50. Στρατιωτικό UAV των Η.Π.Α. [77].....	96

Εισαγωγή

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει την ιστορία και την εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών τα τελευταία χρόνια και πως θα επηρεάσουν την τεχνολογία στο μέλλον. Όπως γνωρίζουμε η συνεχής και ραγδαία αύξηση της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στη δημιουργία αυτόνομων συστημάτων που προσφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στον άνθρωπο. Συγκεκριμένα τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που λέγονται και αλλιώς UAV ή UAS ή RPAS αποτελούν ένα είδος ιπτάμενων οχημάτων που δεν έχουν χειριστή στην άτρακτό τους και πραγματοποιούν πτήσεις είτε αυτόνομα είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης. Ο όρος UAV περιγράφει το είδος χωρίς χειριστή ενώ το UAS περιλαμβάνει όλες τις συσκευές, το προσωπικό και τις διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου το μη επανδρωμένο αεροσκάφος να θεωρείται ως ολοκληρωμένο σύστημα. Ο όρος RPAS καθιερώθηκε σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και με την ανάγκη όλες οι πτήσεις των μη επανδρωμένων αεροσκαφών να έχουν τουλάχιστον έναν επιβλέποντα πιλότο στο έδαφος. Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα συνήθως έχουν τη μορφή μικρού αεροπλάνου ή ελικοπτέρου με έναν ή περισσότερους κινητήρες και έλικες συντονισμένους για πλήρως ελεγχόμενη πτήση από ειδικό πρόγραμμα ή χειριστή εδάφους. Ωστόσο, πολλές εταιρείες την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτύξει τα drones για εμπορικές εφαρμογές με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντικός αριθμός κατασκευαστικών λύσεων και εφαρμογών. Τα drones δηλαδή κερδίζουν το ενδιαφέρον των χρηστών σε θέματα ψυχαγωγίας με τις λειτουργίες που τους παρέχουν και παράλληλα χρησιμοποιούν ισχυρό λογισμικό και συμβάλλουν στην αντιμετώπιση προβλημάτων.

Το κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι οι προτάσεις για την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με την λειτουργία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, τη βελτίωσή τους σε βαθμό που η πτήση τους να πραγματοποιείται με ασφάλεια στον αέρα με απουσία κινδύνων και τον τρόπο μείωσης της καύσης των καυσίμων αυξάνοντας το χρόνο πτήσης τους. Ουσιαστικά, θα παρουσιαστούν

προτάσεις για την καλύτερη και αξιόπιστη λειτουργία τους που είναι ο κύριος στόχος και η μελέτη γύρω από την εξέλιξη τους. Γενικά τα UAV έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που θα αναλύσουμε παρακάτω και διαθέτουν κάποιες λειτουργίες όπως η αεροφωτογράφιση, η χαρτογράφηση περιοχών, η βιντεοσκόπηση, η καταγραφή δεδομένων κ.α. Επίσης, τα drones έχουν κυρίαρχο ρόλο σε θέματα ασφαλείας διότι καλύπτουν σημαντικές ανάγκες και βοηθούν στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων. Πολλές υπηρεσίες όπως η Αστυνομία, ο Στρατός και η Πυροσβεστική έχουν ανάγκη από τέτοιου είδους αυτόνομα συστήματα. Επίσης, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αποτελούν την εξέλιξη της ρομποτικής τεχνολογίας και στο μέλλον θα βοηθήσουν σε μεγάλο βαθμό την ανθρωπότητα.

Κεφάλαιο 1: Ιστορική εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών

1.1. Ιστορική αναδρομή

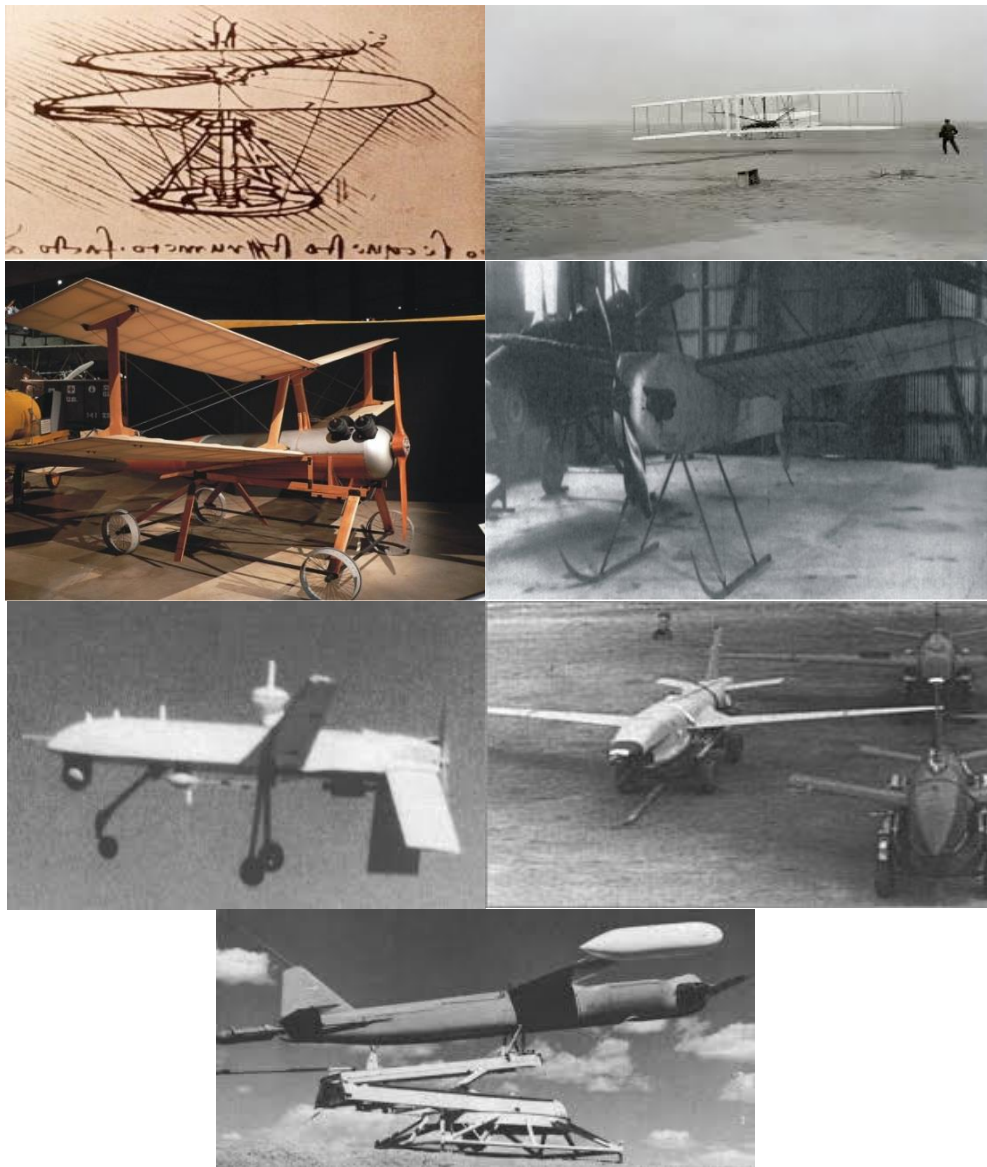
Η ιδέα της πτήσης κατά την αρχαιότητα αποτελούσε διακαή πόθο για τον άνθρωπο. Για πολλά χρόνια αυτό το όνειρο ήταν δύσκολο να πραγματοποιηθεί λόγω έλλειψης εξοπλισμού. Στα τέλη του 5^{ου} αιώνα συντελείται μια πραγματική επανάσταση. Στην Κίνα, ο μηχανικός LuBan εφευρίσκει ένα μηχανικό πτηνό από ξύλο που μπορούσε να αιωρείται στον αέρα ενώ παράλληλα στην Ελλάδα ο μηχανικός Αρχύτας ο Ταραντίνος επινοεί μια παρόμοια εφεύρεση την πετομηχανή. Η πετομηχανή ή περυστήρα όπως ονομάστηκε, είναι ένα μηχανικό πτηνό που εκινείτο με σύστημα αεροπροώθησης χρησιμοποιώντας μηχανισμό συμπίεσης του αέρα. Για πρώτη φορά στην Ιστορία, ο άνθρωπος πιστοποιημένα κατακτά τους αιθères όχι πετώντας ο ίδιος αλλά ελέγχοντας εξ' αποστάσεως το δημιούργημά του που ήταν η υπάμενη μηχανή. Αυτές οι δύο περιπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν ως τα πρώτα UAVs στην Ιστορία.[1] Στο πέρασμα των αιώνων, ο άνθρωπος έκανε συνεχή άλματα στο πεδίο των πτήσεων που στόχευαν στην πτήση του ίδιου του ανθρώπου με τις υπάμενες μηχανές, του DaVinci, του Cayley και το αερόστατο των αδελφών Montgolfier, που θεωρούνταν ως οι πρόγονοι του σημερινού αεροπλάνου. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ο Archibald Montgomery Low καθώς αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα στην επινόηση και ανάπτυξη σημαντικών μερών του συστήματος των UAV. Χαρακτηρίζεται ως θεωρητικός πρωτοπόρος στον τομέα του καθώς ανέπτυξε τις συνδέσεις-συσχετισμούς δεδομένων επιλύοντας ηλεκτρομαγνητικά προβλήματα που προκαλούνται από τον κινητήρα του UAV και είναι γνωστός ως ο πατέρας των συστημάτων καθοδήγησης. Οι μη επανδρωμένες πτήσεις βρήκαν εφαρμογές δυστυχώς σχεδόν εξ' ολοκλήρου για πολεμικούς σκοπούς, από τους στρατιωτικής χρήσης μεσαιωνικούς κινέζικους χαρταετούς έως τον βομβαρδισμό της Βιέννης το 1849 με μη επανδρωμένα αερόστατα. Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους συνέβη στις

22 Αυγούστου 1849, όταν οι Αυστριακοί επιτέθηκαν στην πόλη της Βενετίας με μη επανδρωμένα αερόστατα φορτωμένα με εκρηκτικά. Γενικά, τα αερόστατα δεν αποτέλεσαν μέχρι σήμερα μια αξιόπιστη μη επανδρωμένη πλατφόρμα ενώ αντιθέτως τα αεροσκάφη σταθερών πτερύγων αποτελούν μια σταθερή λύση λόγω των επιδόσεών τους όσο και της δυνατότητας τους για εξέλιξη [2].

Το πρώτο ουσιαστικά μη επανδρωμένο αεροσκάφος δημιουργήθηκε στον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο και είναι γνωστό ως Ruston Proctor Aerial Target και χρησιμοποιούσε τις πρώιμες τεχνικές ραδιοκατεύθυνσης με κύρια αποστολή του την καταδίωξη των εχθρικών Ζέπελιν. Λίγο αργότερα μια βελτιωμένη έκδοση γνωστή και ως ιπτάμενη τορπίλη έκανε την εμφάνισή της έχοντας ενσωματώσει νέες τεχνολογίες όπως η χρήση γυροσκοπίων. Το 1917 το αεροσκάφος αυτό μετείχε σε μία επίδειξη για λογαριασμό του Αμερικανικού Στρατού η οποία οδήγησε στην κατασκευή ενός ακόμα καλύτερου UAV γνωστού ως Kettering Bug. Από τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο και μετά η ανάπτυξη και η εξάπλωση των UAVs υπήρξε ραγδαία βρίσκοντας για δεκαετίες εφαρμογή αποκλειστικά για στρατιωτικούς σκοπούς και συγκεκριμένα την περίοδο του Ψυχρού Πολέμου με τις δυο Υπερδυνάμεις να επιδίδονται σε τεχνολογικό αγώνα στον τομέα των μη επανδρωμένων πτήσεων. Ένα drone διαφέρει από έναν κατευθυνόμενο πύραυλο στο γεγονός πως αυτό θα ανακτηθεί μετά την αποστολή του, ενώ ο πύραυλος θα συγκρουστεί με τον στόχο του. Επίσης το στρατιωτικό drone ενδέχεται να μεταφέρει και εκρηκτικά πάνω του, ενώ ένας κατευθυνόμενος πύραυλος προορίζεται για χρήση της εκρηκτικής του ύλης [2]. Η πρώτη μεγάλης κλίμακας παραγωγή κατασκευής μη επανδρωμένου αεροσκάφους διεξήχθη από τον Reginald Denny. Ασχολήθηκε ενεργά με την κατασκευή αερομοντέλων καθώς και μη επανδρωμένων αεροσκαφών τη δεκαετία του 1930. Τότε, ο ίδιος και οι συνεργάτες του ιδρύουν την Reginald Denny Industries και ανοίγουν ένα κατάστημα με μοντέλα αεροπλάνων το 1934. Το κατάστημα μετά εξελίχθηκε στην εταιρεία κατασκευής μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου είχαν κατασκευαστεί σχεδόν δεκαπέντε χιλιάδες Drones για το στρατό. Στη

μεταπολεμική περίοδο, η αμερικανική εταιρεία Radioplane που ονομάστηκε αργότερα σε Northrop ανέπτυξε μια επιτυχημένη σειρά από drones με όνομα Falconer ή Shelduck. Η παραγωγή τους συνεχίστηκε μέχρι το 1980 υιοθετώντας εξελιγμένο σύστημα ραδιοελέγχου. Την δεκαετία του 1980 η προσοχή εστιάστηκε στα αεροσκάφη που κινούνταν με ηλιακή ενέργεια. Ένα αεροσκάφος που κινείται με ηλιακή ενέργεια, πρέπει να είναι κατασκευασμένο από ελαφρύ υλικό για να επιτρέψει στους χαμηλής ισχύος ηλεκτρικούς κινητήρες του να το απογειώσουν από το έδαφος. Η εταιρεία AeroVironment Inc. προσπάθησε να κατασκευάσει ένα επανδρωμένο αεροσκάφος που να κινείται με ηλιακή ενέργεια το οποίο θα μπορούσε να πετάξει από το Παρίσι στην Αγγλία. Κατά τη δεκαετία του 1990, η γενική διαθεσιμότητα του Global Positioning System (GPS) και των δορυφορικών επικοινωνιών «απελευθέρωσε» το UAV από τον περιορισμό της λειτουργίας εντός εμβέλειας ράδιο-εντοπισμού ή από τα ανακριβή συστήματα πλοήγησης. Το γεγονός αυτό επέτρεψε στα UAVs να λειτουργήσουν σε μεγαλύτερο εύρος κάλυψης, με καλύτερη ακρίβεια θέσης και με συνακόλουθο αποτέλεσμα την ανάπτυξη συστημάτων με ακόμη μεγαλύτερο εύρος κάλυψης. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, η General Atomics Gnat θεωρείται ο δημιουργός μιας νέας γενιάς UAV μεγάλου εύρους. Στις ΗΠΑ δημιουργούνται δυο τύποι μη επανδρωμένων αεροσκαφών που ονομάζονται Predator και Reaper [2]. Το Predator πέταξε πρώτη φορά το 1994 και σχεδιάστηκε με στόχο να έχει δυνατότητα συνεχούς συλλογής πληροφοριών, επιτήρησης και αναγνώρισης αλλά και τη δυνατότητα να φέρει οπλικά συστήματα. Επίσης, το Predator είναι εξοπλισμένο με κατευθυνόμενους πυραύλους και υπήρξε το πρώτο οπλισμένο drone. Το Reaper είναι η μεγαλύτερη έκδοση του Predator με αυξημένες δυνατότητες παραμονής στον αέρα. Τη δεκαετία του 2000 η χρήση των drones για στρατιωτικούς σκοπούς ήταν αυξημένη. Πλέον, εκτός της στρατιωτικής χρήσης των UAVs που αποτελούν την τελευταία λέξη της πολεμικής τεχνολογίας, η γενικευμένη ειρήνη στον δυτικό κόσμο σε συνδυασμό με το όλο και χαμηλότερο κόστος τους έχουν συμβάλει στην πλατιά διάδοσή τους σε πολλούς τομείς των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα από την επιστημονική έρευνα έως την

αεροφωτογράφιση και από την ασφάλεια και την φύλαξη έως την ενασχόληση για λόγους διασκέδασης [2].



Εικόνα 1. Ιστορία αεροσκαφών [3]

1.2. Εξέλιξη των UAVs

Με το πέρασμα στον εικοστό πρώτο αιώνα η τεχνολογία έχει πλέον αρχίσει να αναπτύσσεται με μεγαλύτερους ρυθμούς. Οι επιτυχίες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών πραγματοποιούνταν πλέον η μια μετά την άλλη. Η διαφορετικότητα των εργασιών και εφαρμογών που εκτελούν τα UAVs και οι απαιτήσεις που εισάγουν κάθε μία από αυτές συνιστούν δύο διαφορετικούς σχεδιασμούς συστημάτων. Οι δύο κατηγορίες drone που σχεδιάστηκαν είναι τα αεροσκάφη σταθερών πτερυγίων (Fixed-Wing Aircraft Systems) και τα αεροσκάφη περιστρεφόμενων πτερυγίων (Rotary-Wing Aircraft Systems). Η πρώτη κατηγορία στοχεύει σε ευθεία πτήση μεγάλης διάρκειας και υψηλής ταχύτητας και βασίζεται στις αρχές της αεροδυναμικής και πτητικής ενώ η δεύτερη κατηγορία έχει τη δυνατότητα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης στο χώρο (VTOL) [4].

Την τελευταία δεκαετία έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για τα συστήματα κάθετης προσγείωσης και απογείωσης. Τα VTOL UAVs προσφέρουν σημαντικά οφέλη ιδιαίτερα για μικρότερης εμβέλειας και χαμηλότερου υψόμετρου έρευνες σε σύγκριση με τα UAVs σταθερών πτερυγίων. Οι ΗΠΑ, η Ρωσία, το Ισραήλ και άλλες χώρες χρησιμοποιούν δεκάδες UAVs που διαφέρουν σε μέγεθος, δυνατότητες και τακτική. Τα drones που σχεδίασε το Ισραήλ χρησιμοποιήθηκαν ως ηλεκτρονικά δολώματα, ηλεκτρονικοί πομποί καθώς και για αναγνώριση πραγματικού χρόνου με βίντεο.

Οι σημαντικές εξελίξεις στο πεδίο της μηχανικής, της αεροναυπηγικής, της επιστήμης των υπολογιστών, της τεχνολογίας των αισθητήρων, του αυτόματου ελέγχου καθώς επίσης και της ολοένα και αυξανόμενης εμπορευματοποίησης των ρομποτικών συστημάτων οδήγησε σταδιακά στην ανάπτυξη και εξέλιξη εναέριων μηχανών. Με την πάροδο του χρόνου δημιουργήθηκαν τα μικροσκοπικά μη επανδρωμένα αεροσκάφη και αναπτύχθηκε η ιδέα αύξησης της πτήσης στον αέρα [5].

Η ονομασία drone παραπέμπει σε στρατιωτικές αποστολές και στον όρο πολυκόπτερα. Τα πολυκόπτερα είναι τηλεχειριζόμενα ιπτάμενα

οχήματα των οποίων η κίνηση και η ευστάθεια στον αέρα οφείλεται στην ώθηση των κινητήρων τους. Επομένως, απαιτούν on-board υπολογιστή για να πετάξουν με σταθερότητα. Ο υπολογιστής αυτός συνδυάζει δεδομένα από τους αισθητήρες που διαθέτει όπως για παράδειγμα γυροσκόπιο, επιταχυνσιόμετρο, βαρόμετρο και GPS για να υπολογίσει την κατάσταση και τη θέση του οχήματος.

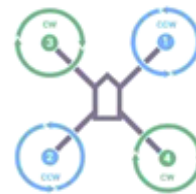
Οι βασικοί τύποι των μη επανδρωμένων αεροσκαφών σύμφωνα με τη διάταξη των κινητήρων τους είναι το Τρικόπτερο, το Τετρακόπτερο, το Εξακόπτερο, το Εξακόπτερο-Διάταξη Y και το Οκτακόπτερο. Τα τρικόπτερα έχουν τρεις κινητήρες σε σχήμα «Y» ή «T» και είναι μια φτηνή και πολύπλοκη λύση ενώ τα τετρακόπτερα έχουν σχήμα «X» και διαθέτουν τέσσερις κινητήρες. Το τετρακόπτερο είναι η πιο δημοφιλή κατηγορία πολυκοπτερών. Το τετρακόπτερο έχει τέσσερις κινητήρες με τον κάθε κινητήρα να λειτουργεί με αντίθετη φορά από τον διπλανό του και ελέγχει την κίνησή του αυξάνοντας και μειώνοντας τις στροφές των κινητήρων του. Οι δύο διαγώνιοι κινούνται αριστερόστροφα και οι άλλοι δύο δεξιόστροφα. Έτσι δημιουργούν αντίθετες δυνάμεις και το drone μένει σταθερό. Σε περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα το τετρακόπτερο χάνει τον έλεγχο και πέφτει αβοήθητο. Το εξακόπτερο έχει έξι κινητήρες και προσφέρει μεγαλύτερη ανυψωτική δύναμη από τα προηγούμενα. Τα εξακόπτερα κοστίζουν περισσότερο και είναι ακριβότερα από τους προηγούμενους τύπους λόγω ότι σε περίπτωση που αντιμετωπίσει πρόβλημα ο κινητήρας το drone δε θα πέσει αλλά θα προσγειωθεί με ασφάλεια. Επίσης, το εξακόπτερο σε Διάταξη Y συνδυάζει την ανυψωτική δύναμη του εξακόπτερου σε μέγεθος τρικόπτερου. Τέλος το οκτακόπτερο έχει ακόμη μεγαλύτερη ανυψωτική δύναμη και είναι μεγαλύτερο με αποτέλεσμα να απαιτεί περισσότερη ενέργεια για να πετάξει [4].



Τρικόπτερο



QUAD +



QUAD X

Τετρακόπτερο

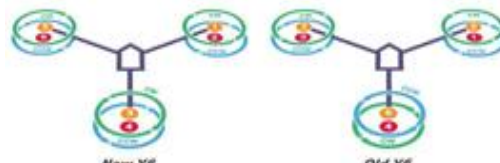


HEXA +



HEXA X

Εξακόπτερο



New Y6

Y6B

Old Y6

Y6A

Εξακόπτερο-Διάταξη Y



OCTO +



OCTO X

Οκτακόπτερο Fixed-Wing Aircraft Systems

Εικόνα 2. Βασικοί τύποι σύμφωνα με την διάταξη των κινητήρων τους [6]



Εικόνα 3. Αεροσκάφος σταθερών πτερυγίων [7]



Εικόνα 4. Τετρακόπτερο [8]



Εικόνα 5. UAV ελικόπτερο [9]

Πίνακας 1. Ποιοτική περιγραφή ιδιοτήτων διαφόρων ειδών UAVs

Τύπος UAV	Payload (Ωφέλιμο φορτίο)	Range (Εύρος)	Handling (Χειρισμός)	Setup time (Χρόνος εγκατάστασης)	Cost (Κόστος)
Fixed wing aircraft	Καλό	Καλό	Κακός	Μέτριος (Μ.Ο.)	Πολύ καλό
Unmanned helicopter	Πολύ καλό	Πολύ καλό	Πολύ καλός	Καλός	Μέτριο
Πολυκόπτερο	Μέτριο (Μ.Ο.)	Μέτριο (Μ.Ο.)	Πολύ καλός	Πολύ καλός	Καλό

Με τον κατάλληλο τεχνολογικό εξοπλισμό επί του σκάφους και την εφαρμογή κατάλληλων νόμων ελέγχου αναπτύσσονται εναέρια συστήματα με υψηλή υπολογιστική ισχύ ικανά για αυτόνομη πτήση στο χώρο ανεξάρτητα της ύπαρξης GPS συστημάτων. Η εξέλιξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των ποικίλων σημερινών συστημάτων και επιτρέπει την ανάδειξη της χρησιμότητας των drones. Η λογική που επικρατεί πλέον είναι ότι ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να είναι μικρό, ελαφρύ και προσιτό ικανό για όλες τις χρήσεις πέρα από στρατιωτικές. Ο ρόλος του ανθρώπου στην χρήση τέτοιου είδους συστήματος είναι περισσότερο ως ελεγκτή παρά ως χειριστή. Σήμερα κάποιες από τις χρήσεις των UAVs περιλαμβάνουν γεωργικές εφαρμογές, διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων, ευφυή μεταφορά, επιστημονική εξερεύνηση, παρακολούθηση και πρόληψη πυρκαγιών, έρευνα και διάσωση καθώς φυσικά και στρατιωτικές εφαρμογές [10].

Τα περισσότερα μη επανδρωμένα συστήματα αποτελούνται από ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος, το ανθρώπινο στοιχείο, το ωφέλιμο φορτίο, τα στοιχεία επικοινωνίας και την αρχιτεκτονική σύνδεσης δεδομένων. Στα επόμενα κεφάλαια αυτής της εργασίας παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι εφαρμογές των drones, το ωφέλιμο φορτίο, η αρχιτεκτονική του και οι ενδεχόμενες αλλαγές ως προς την αρχιτεκτονική τους που μπορεί να υπάρξουν στο μέλλον. Επίσης, είναι σημαντικό να τονίσουμε πως τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας λόγω ότι πολλές εταιρείες επιζητούν να παράξουν περισσότερα φθηνά drones για

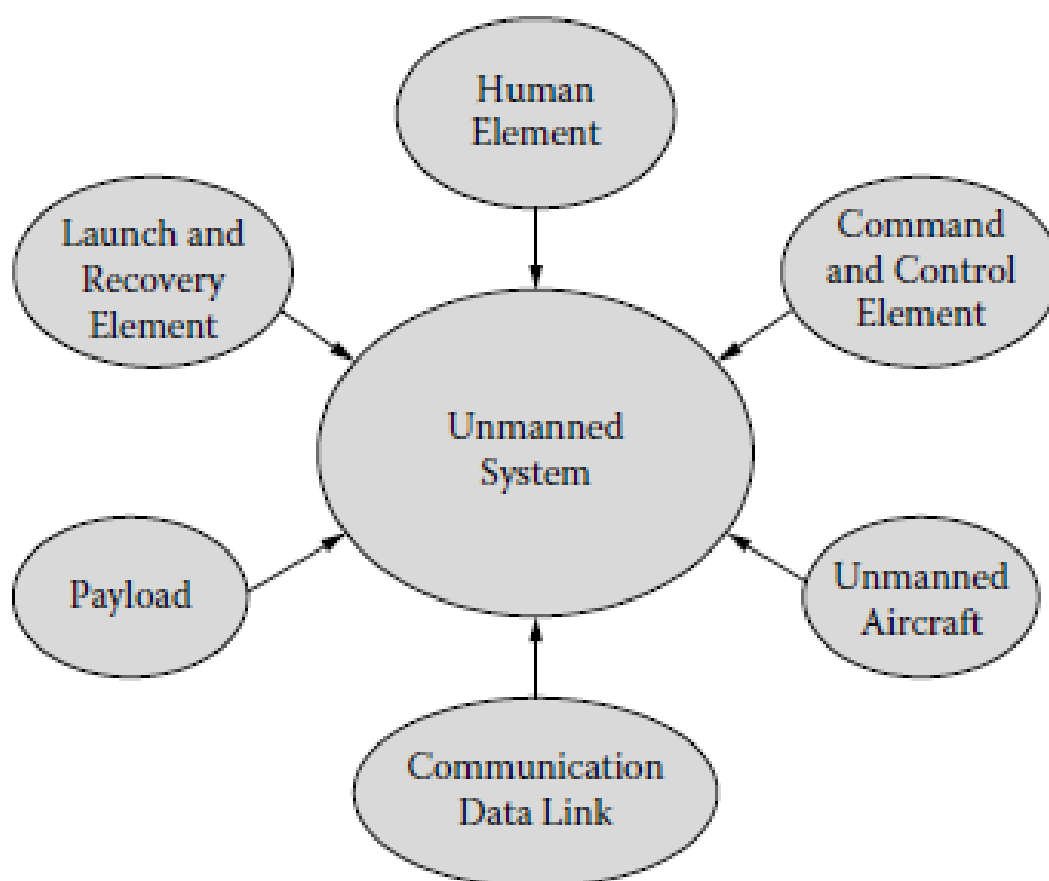
εμπορική χρήση καθώς και πολλές κυβερνήσεις θέλουν εντάξουν στο δυναμικό τους drones για στρατιωτική χρήση. Σε ό,τι βέβαια αφορά στην εξέλιξη τους, μεγάλο ρόλο συντελούν οι μικροελεγκτές με τη βοήθεια παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ώστε τα drones να θεωρούνται σε υψηλό βαθμό ως αυτόνομα [10].



Εικόνα 6. Αμερικάνικο στρατιωτικό UAV [11]

1.3. Τμήματα μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος

Σε αυτή την ενότητα αναλύονται τα δομικά στοιχεία τα οποία απαρτίζουν ένα μη επανδρωμένο όχημα. Τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν ένα UAV είναι το όχημα ή πλατφόρμα (Vehicle or Platform), το ωφέλιμο φορτίο (payload) και ο σταθμός ελέγχου εδάφους (Ground Control Station – GCS). Ένα στρατιωτικό UAV μπορεί να περιλαμβάνει οπλικά συστήματα καθώς και υποστήριξη σε στρατιωτικό εξοπλισμό. Στην εικόνα παρακάτω παρουσιάζονται τα διάφορα στοιχεία που συνδυάζονται για να δημιουργήσουν το συνολικό σύστημα ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους [2].



Εικόνα 7 Δομικά στοιχεία που συνθέτουν ένα UAV [12]

1.3.1. Όχημα ή Πλατφόρμα

Με τον όρο όχημα ή πλατφόρμα, ορίζουμε τη βαθμίδα του UAV η οποία αποτελεί τον κύριο κορμό του σώματος του αεροσκάφους. Το όχημα αποτελείται από το πλαίσιο, τα συστήματα ελέγχου και αποφυγής, τον υπολογιστή ελέγχου πτήσης, το σύστημα προώθησης και το σύστημα ακρίβειας πλοήγησης. Το όχημα δηλαδή είναι το μέσο με το οποίο μεταφέρουμε το ωφέλιμο φορτίο στον προορισμό κάθε αποστολής. Τα drones μπορούν να πετάξουν σε κάθε ύψος γι' αυτό και το σύστημα προώθησης πρέπει να είναι σχεδιασμένο ή προσαρμόσιμο με βάση τις ανάγκες της εκάστοτε αποστολής. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες επιλέγονται για αθόρυβες αποστολές ενώ για αποστολές μεγάλης υψομετρικής απόστασης χρησιμοποιούνται κινητήρες τύπου jet. Ο υπολογιστής ελέγχου πτήσης διασφαλίζει ότι το UAV θα ακολουθήσει το προδιαγεγραμμένο σχέδιο

πήσης και φροντίζει να εκπληρωθεί η αποστολή με τις λιγότερες ενεργειακές απώλειες για το σκάφος και με την αποφυγή τυχόν συγκρούσεων με εμπόδια ή άλλα ιπτάμενα αντικείμενα [2].

1.3.2. Ωφέλιμο φορτίο

Με τον όρο ωφέλιμο φορτίο ορίζουμε τον εξοπλισμό που φέρει το όχημα και είναι άμεσα συνδεδεμένο με το είδος και τις απαιτήσεις της κάθε αποστολής. Αυτό σημαίνει πως αλλάζοντας το ωφέλιμο φορτίο, αλλάζουμε και το είδος της χρήσης του αεροσκάφους μας. Η διαδικασία επαναχρησιμοποίησης των ίδιων αεροσκαφών με μικρές αλλαγές επιφέρει την επίτευξη διαφορετικών ειδών αποστολών. Κάποια παραδείγματα ωφέλιμου φορτίου που χρησιμοποιούνται σε UAVs είναι τα ραντάρ, οι αισθητήρες περιβάλλοντος, ηλεκτροπτικά συστήματα ανίχνευσης και σαρωτές, υπέρυθρα συστήματα και αναλώσιμο φορτίο όπως πυρομαχικά, φωτοβολίδες κ.α. Από τα παραπάνω ωφέλιμα φορτία, μπορούν να υπάρχουν παραπάνω του ενός σε ένα αεροσκάφος για οποιαδήποτε αποστολή [2].

Σχετικά με τα πυρομαχικά, να σημειωθεί πως η μεταφορά τους με drones είναι παράνομη στην Ευρώπη και την Αμερική. Το ωφέλιμο φορτίο αποτελεί ίσως το σημαντικότερο κομμάτι του UAV διότι είναι αυτό που καθορίζει την αξία του και την αποδοτικότητα του. Το όχημα είναι το μέσο που φέρει το ωφέλιμο φορτίο στο οποίο και οφείλεται η επιτυχία των διαφόρων αποστολών. Κάποια εξελιγμένα UAVs φέρουν ένα συνδυασμό διαφορετικών τύπων αισθητήρων μέσα σε ένα τμήμα ωφέλιμου φορτίου. Τα δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία και να ενσωματωθούν προκειμένου να αντληθούν κρίσιμες πληροφορίες για την τελική επίτευξη κάθε είδους αποστολής. Για εφαρμογές απεικόνισης, τα βασικά στοιχεία ενός UAS είναι το ωφέλιμο φορτίο πλοήγησης-προσανατολισμού δηλαδή οι αισθητήρες πλοήγησης καθώς και οι εικονοληπτικοί αισθητήρες [2].

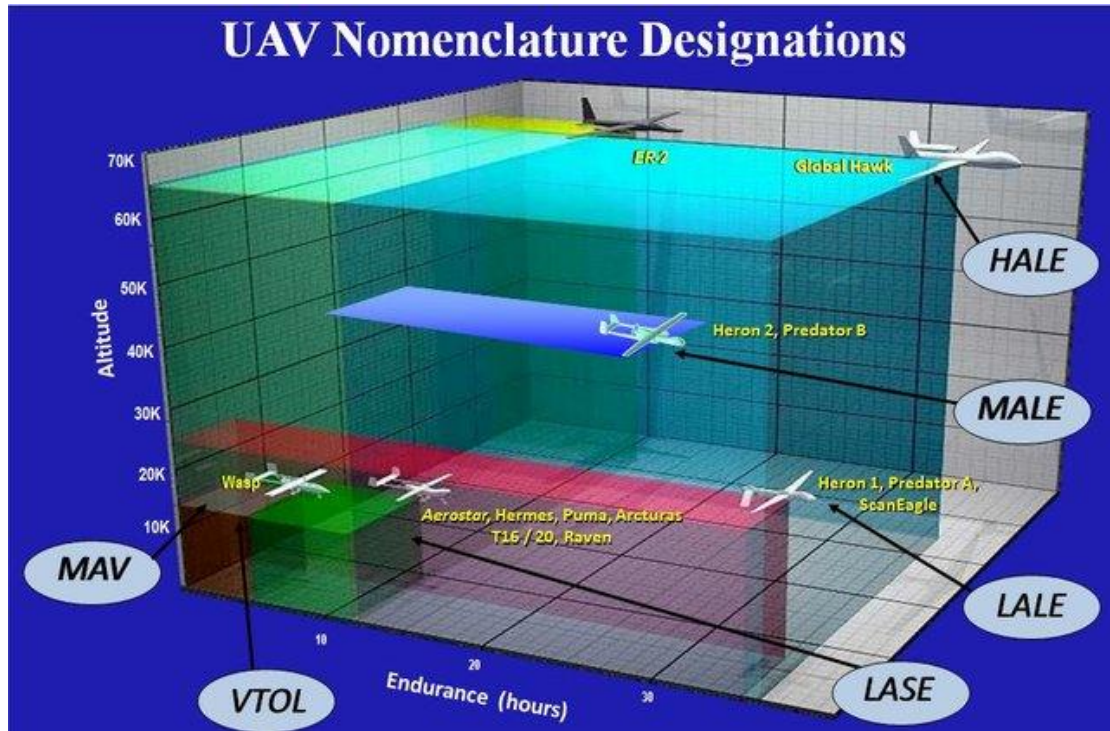
1.3.3. Σταθμός ελέγχου εδάφους

Ο σταθμός ελέγχου εδάφους (GCS) αποτελεί το κέντρο επιχειρήσεων για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, όπου τα βίντεο, εντολές και δεδομένα τηλεμετρίας επεξεργάζονται και προβάλλονται σε οθόνες. Βρίσκεται συνήθως στο έδαφος (ground control station GCS) ή σε πλοίο (ship control station SCS). Ο σταθμός ελέγχου είναι το κέντρο ελέγχου της λειτουργίας και της διασύνδεσης ανθρώπου-μηχανής. Στο σταθμό ελέγχου εδάφους υπάρχουν τα συστήματα επεξεργασίας δεδομένων, τα συστήματα πλοήγησης, τα συστήματα ασφαλούς επικοινωνίας, εικόνες και γραφική απεικόνιση της θέσης στον χάρτη και ενδείξεις σχετικά με την κατάσταση της πτήσης του drone. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα GCS να διατηρεί ασφαλή επικοινωνία τόσο με το όχημα όσο και με τα τοπικά και διεθνή μέσα εναέριας κίνησης. Οποιαδήποτε αλλαγή στη διαδρομή του UAS ή κάποιο προκύπτον σφάλμα στην εναέρια πλατφόρμα ή και στα αποτελέσματα των αισθητήρων του ωφέλιμου φορτίου, θα πρέπει να στέλνονται και να ελέγχονται στο σταθμό ελέγχου. Τα κανάλια μετάδοσης από τον σταθμό ελέγχου στο αεροσκάφος και αντίστροφα είναι οι ραδιοσυχνότητες αλλά υπάρχει δυνατότητα μετάδοσης μέσω ακτίνας λέιζερ ή οπτικών ινών. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν δύο ειδών επικοινωνίες. Η πρώτη επικοινωνία είναι το «uplink – ανερχόμενη ζεύξη» δηλαδή ο χειριστής δίνει εντολές στο αεροσκάφος προκειμένου να ελέγχει το προφίλ πτήσης του και τη λειτουργία του ωφέλιμου φορτίου που μεταφέρεται για τις ανάγκες της αποστολής. Η δεύτερη επικοινωνία είναι το “downlink – κατερχόμενη ζεύξη” δηλαδή το αεροσκάφος εκπέμπει πληροφορίες και εικόνες π.χ. των δεδομένων των ωφέλιμων φορτίων, ή πληροφορίες κατάστασης και πληροφορίες θέσης. Οι σταθμοί ελέγχου έχουν εξελιχθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών λόγω και των παράλληλων ανακαλύψεων στην επιστήμη των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών, παρέχοντας μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών [2].

1.4. Αρχιτεκτονική πρωτότυπου UAV

Σε αυτή την ενότητα θα αναλύσουμε την αρχιτεκτονική ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Η αρχιτεκτονική του χωρίζεται σε κατηγορίες που είναι η κατασκευή και τα ηλεκτρονικά καθώς και το λογισμικό που χρησιμοποιείται από τους συντονιστές. Ωστόσο, πρέπει να αναφέρουμε τις κατηγορίες UAV. Η κατηγοριοποίηση ενός UAV βασίζεται σε χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος, η διάρκεια πτήσης και οι δυνατότητές του. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι LASE, LALE, MALE και HALE [13].

- Η κατηγορία LASE (Low Altitude, Short Endurance-Χαμηλού Υψόμετρου, Μικρής διάρκειας) αναφέρεται στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που δεν προϋποθέτουν τη χρήση αεροδρομίου απογείωσης-προσγείωσης και το βάρος τους κυμαίνεται από 2 έως 5 κιλά. Το άνοιγμα των φτερών τους είναι μικρότερο των 3 μέτρων και εκτοξεύονται είτε από καταπέλτη είτε από ανθρώπινο χέρι.
- Η κατηγορία LALE (Low Altitude, Long Endurance-Χαμηλού Υψόμετρου, Μεγάλης Διάρκειας) αφορά τα drones που έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν φορτία αρκετών κιλών και να ίπτανται σε υψόμετρα μερικών χιλιάδων μέτρων.
- Η κατηγορία MALE (Medium Altitude, Long Endurance-Μετρίου Υψόμετρου, Μεγάλης Διάρκειας) στην οποία τα UAS είναι μεγαλύτερα από τα LALE, μπορούν να ίπτανται σε υψόμετρα κάτω των 9000 μέτρων.
- Τέλος, η κατηγορία HALE (High Altitude Endurance-Μεγάλου Υψόμετρου, Μεγάλης Διάρκειας) περιλαμβάνει τα μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα μη επανδρωμένα αεροσκάφη τα οποία μπορούν να ίπτανται σε υψόμετρα των 20000 μέτρων και η διάρκεια πτήσης τους να φτάνει τις 30 ώρες. Στην επόμενη εικόνα υπάρχουν οι κατηγορίες των drones σύμφωνα με το υψόμετρο και τη διάρκεια πτήσης. Στο συγκεκριμένο γράφημα υπάρχουν κάποια γνωστά UAV όπως το Heron 1, Predator A και Heron 2, Predator B [14].



Εικόνα 8. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υψομέτρου και διάρκειας πτήσεως των UAV [15]

1.4.1. Πλαίσιο (Frame)

Ο σκελετός – πλαίσιο (frame) αποτελείται από τα κύρια εξαρτήματα ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Τα εξαρτήματα αυτά είναι:

- Frame (Σκελετός): Το υλικό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ αλλά ταυτόχρονα και ανθεκτικό. Για τα μικρά drones χρησιμοποιείται κυρίως το πλαστικό και τα παράγωγά του ενώ για τα μεγάλα το αλουμίνιο και τα ανθρακονήματα.
- Motor (Κινητήρας): Παιζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διάρκεια και την ταχύτητα πτήσης αλλά και στο βάρος που μπορεί να μεταφέρει το πλαίσιο.
- Flight Control System (Υπολογιστής Πτήσης): Είναι ο εγκέφαλος του UAS και ελέγχει την ταχύτητα και τα πτερύγια του αεροσκάφους [14].

- Avionics (Σύστημα Πλοήγησης): Είναι το ηλεκτρονικό σύστημα που κατευθύνει το UAV.
- Radar: Τα μεγάλα μη επανδρωμένα αεροσκάφη διαθέτουν ραντάρ για την ανίχνευση στόχων.
- Datalink (Σύστημα Απομακρυσμένης Επικοινωνίας): Είναι το σύστημα όπου επιτυγχάνεται η απομακρυσμένη επικοινωνία του UAV με το χειριστή. Όσο πιο μεγάλο είναι τόσο πιο ικανό να πετάει ακόμα και εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από τον χειριστή.
- Gimbal Control (Σύστημα Ευστάθειας): Είναι το σύστημα ευστάθειας της φωτογραφικής μηχανής το οποίο βελτιώνει την ποιότητα των φωτογραφιών.
- Sensors (Αισθητήρες): Είναι φωτογραφικές μηχανές και συστήματα Lidar τα οποία βασίζονται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας για την διενέργεια μετρήσεων [14].

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα εξαρτήματα ενός drone, το οποίο είναι εμφανώς ότι αποτελείται από Radar και Αισθητήρες απεικόνισης (imaging).



Εικόνα 9. Σκελετός (Frame) ενός UAV [16]

Για ένα τετρακόπτερο τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται αναφέρονται παρακάτω:

- Μοτέρ και έλικες
- Ελεγκτές ταχύτητας (ESC)
- Ελεγκτής πτήσης (Flight Controller)
- Μπαταρία
- Σκελετός [17]

Το μοτέρ έχει σχέση με το υλικό κατασκευής του, τις διαστάσεις του, των αριθμών των στροφών του καθώς και τη μέγιστη τάση λειτουργίας του ενώ οι έλικες έχουν κύρια χαρακτηριστικά την κλίση και το μήκος τους. Οι ελεγκτές ταχύτητας διοχετεύουν την κατάλληλη τιμή ρεύματος στα μοτέρ ανάλογα με την εντολή που δέχεται από τον ελεγκτή πτήσης, ο οποίος επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης. Ο ελεγκτής πτήσης αποτελείται από το λογισμικό, το σχέδιο και τις λειτουργίες πτήσεως. Όπως είναι αναμενόμενο, ο σκελετός περιέχει όλα τα εξαρτήματα [14].

1.4.2. Ηλεκτρονικά

Η βαθμίδα των ηλεκτρονικών αναφέρεται κυρίως στους αισθητήρες (Sensors) που φέρει το UAV. Οι αισθητήρες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: α)Στους αισθητήρες πλοήγησης, β)αποφυγής εμποδίων και γ)καταγραφής και μετρήσεων.

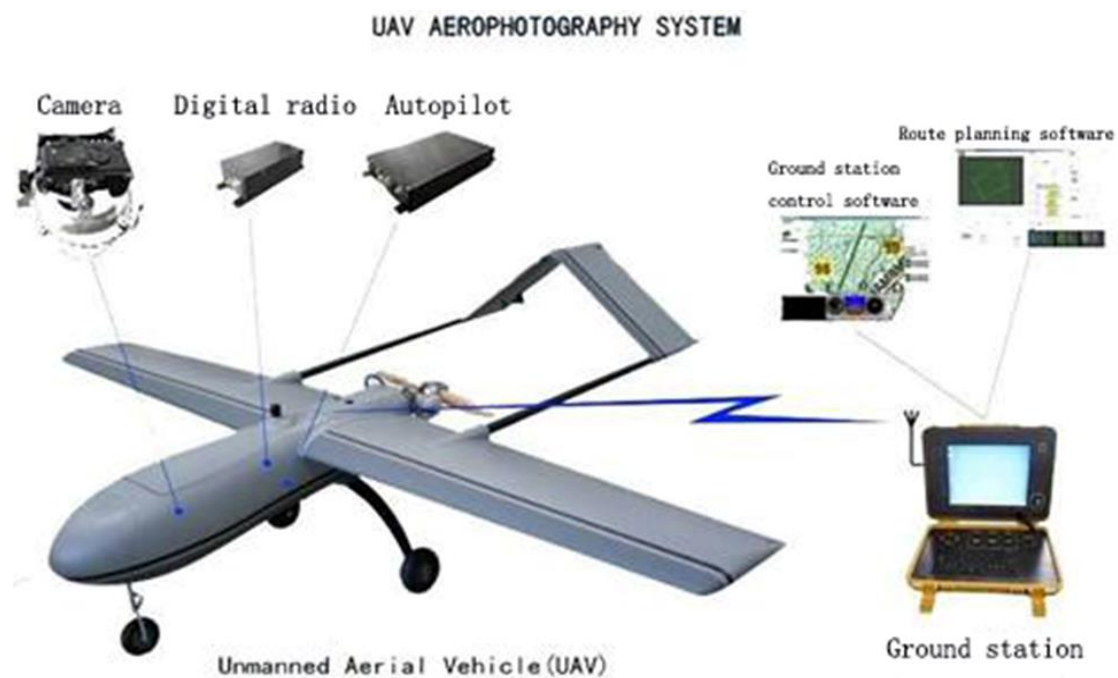
- Αισθητήρες πλοήγησης: Ένα από τα πιο σημαντικά συστήματα των σύγχρονων UAVs είναι το σύστημα πλοήγησης το οποίο του δίνει την δυνατότητα να ίπταται αυτόνομα και να ακολουθεί το σχέδιο πτήσης που του έχει ανατεθεί. Η λειτουργία αυτή θα ήταν αδύνατον όμως να πραγματοποιηθεί με επιτυχία αν δεν είχε την βοήθεια από διάφορους αισθητήρες οι οποίοι τροφοδοτούν με δεδομένα το λογισμικό πλοήγησης. Οι αισθητήρες αυτοί ονομάζονται IMU (Inertial Measurement Units) και είναι το

γυροσκόπιο, το επιταχυνσιόμετρο και το μαγνητόμετρο. Ωστόσο, το σημαντικότερο ρόλο πλοήγησης έχει το GPS [14].

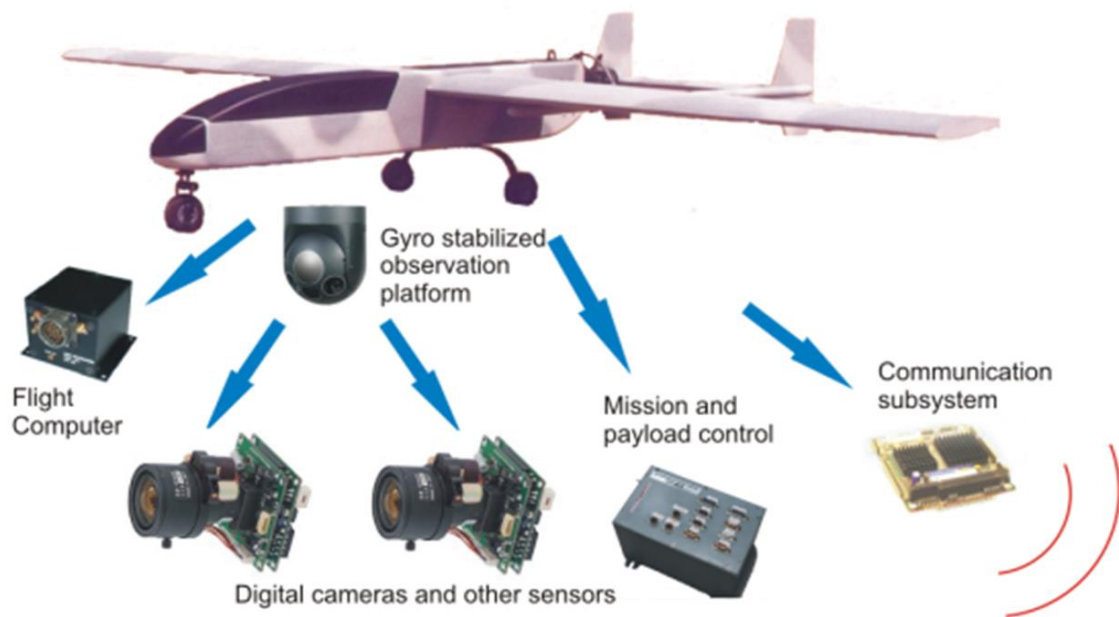
- Αισθητήρες αποφυγής εμποδίων: Τα περισσότερα σύγχρονα μη επανδρωμένα αεροσκάφη διαθέτουν σύστημα αποφυγής εμποδίων. Το σύστημα αυτό λαμβάνει δεδομένα από προκαθορισμένους αισθητήρες και αλλάζει την κατεύθυνση κίνησής του όποτε ανιχνεύσει εμπόδιο εντός του διαδρόμου πτήσης. Οι αισθητήρες που συνθέτουν το σύστημα αποφυγής εμποδίων είναι κάμερες και εξαρτήματα μέτρησης απόστασης με τη χρήση υπερήχων (Ultrasonic Sensors) [14].
- Αισθητήρες καταγραφής και μετρήσεων: Οι πιο σημαντικοί αισθητήρες είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή και τη διεξαγωγή μετρήσεων. Τα UAS χρησιμοποιούν κάμερες και συστήματα LIDAR (Light Detection And Ranging). Οι κάμερες αυτές μπορεί να είναι απλές φωτογραφικές μηχανές ή πολυφασματικοί αισθητήρες που ανιχνεύουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή και θερμική ακτινοβολία [13]. Το LIDAR πρόκειται για ένα όργανο (συσκευή ενεργούς τηλεπισκόπησης) με το οποίο μετράμε το αποτέλεσμα της διαμόρφωσης της ακτινοβολίας λόγω της σύστασης της ατμόσφαιρας. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας laser στην ατμόσφαιρα, στην καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας καθώς και στο χρόνο που μεσολαβεί ανάμεσα στην εκπομπή και στη λήψη [14].

Επίσης, στη βαθμίδα των ηλεκτρονικών συγκαταλέγεται και η επικοινωνία δεδομένων (Data Link). Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της τεχνολογίας των UAV είναι η επικοινωνία του αεροσκάφους με τον χειριστή ο οποίος μπορεί είτε να πιλοτάρει είτε να παρακολουθεί την πτήση και να είναι έτοιμος να επέμβει σε περίπτωση που χρειαστεί. Τα περισσότερα drones επικοινωνούν με την κονσόλα του επίγειου σταθμού μέσω του φάσματος συχνοτήτων της κινητής τηλεφωνίας περί τα 2.4GHz δηλαδή στο εύρος των UHF (Ultra High Frequency) [17]. Οι επικοινωνίες δεδομένων

είναι ευάλωτες από πολλές απόψεις. Τα κανάλια μετάδοσης της πληροφορίας μπορεί να είναι αρκετά «θορυβώδη» και μπορεί να έχουμε πολλές λανθασμένες λήψεις πληροφορίας. Για την προστασία των δεδομένων χρησιμοποιούνται κατάλληλα firewalls του δικτύου ώστε να διασφαλιστούν τα δεδομένα. Το TCDL (Tactical Common Data Link) πρωτόκολλο επικοινωνίας χρησιμοποιεί ισχυρή ασφάλεια δεδομένων και υποστηρίζει πλήρη και αμφίδρομη ταυτόχρονη επικοινωνία. Δουλεύει στο εύρος των 12-18GHz και μεταφέρει δεδομένα με ταχύτητα 274Mbits. Στις παρακάτω δύο εικόνες βλέπουμε τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που διαθέτουν κάμερες, αισθητήρες, ψηφιακό ράδιο, αυτόματο πιλότο, γυροσκόπιο, σύστημα επικοινωνίας και χρήση εξ' αποστάσεως ελέγχου μέσω υπολογιστού που με το κατάλληλο λογισμικό που θα αναλύσουμε σε επόμενο κεφάλαιο είναι εφικτό το πιλοτάρισμα του UAS [14].



Εικόνα 10 (α). Ηλεκτρονικά του UAV σχετικά με τη χρησιμοποίηση ραδιοσυχνοτήτων και συστήματος πλοήγησης [18]



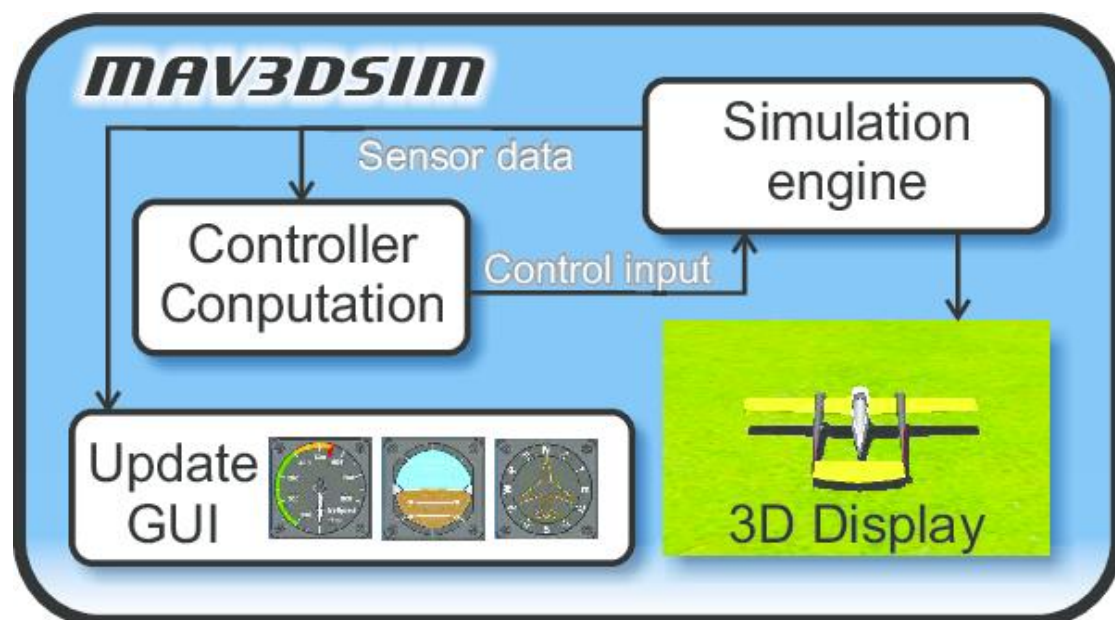
Εικόνα 11 (β). Ηλεκτρονικά του UAV σχετικά με αισθητήρες [19]

1.4.3. Λογισμικό

Όπως είναι φυσικό, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιούν κατάλληλα λογισμικά. Το λογισμικό εντοπίζεται κυρίως στον ελεγκτή πτήσης. Υπάρχει το ανοιχτό λογισμικό και το λογισμικό κλειστού κώδικα. Στο ανοιχτό λογισμικό ο κώδικας διανέμεται δωρεάν και είναι ελεύθερος προς τροποποίηση. Στο λογισμικό κλειστού κώδικα υπάρχει ο κώδικας που είναι επί πληρωμή και αναπτύσσεται από τις εταιρείες για εμπορικούς σκοπούς. Παρακάτω θα αναλυθούν λογισμικά προσομοίωσης των UAV. Αυτά τα λογισμικά δίνουν τη δυνατότητα εικονικής πλοήγησης και μετάδοσης διαφόρων δεδομένων από αισθητήρες του εικονικού drone στον χρήστη [20].

MAV3DSim

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε το λογισμικό προσομοίωσης MAV3DSim. Το MAV3DSim αποτελείται από τρεις βασικές βαθμίδες που είναι ο προσομοιωτής, ο ελεγκτής υπολογισμού και τα δεδομένα απεικόνισης. Η μηχανή προσομοίωσης είναι υπεύθυνη για τον σωστό υπολογισμό των δυναμικών εξισώσεων του UAV. Ο ελεγκτής υπολογισμού αναφέρεται στη θέση όπου διεξάγεται ο προγραμματισμένος έλεγχος και ρυθμίζει τον ελεγκτή και στέλνει τα δεδομένα του στη μηχανή προσομοίωσης. Τα δεδομένα απεικόνισης απεικονίζουν μια 3D εικόνα του σχήματος και της θέσης του drone ευρισκόμενο σε ένα περιβάλλον 3D. Η μηχανή προσομοίωσης βασίζεται στο μοντέλο CRRCSim που στηρίζεται σε ανοιχτό κώδικα προσομοίωσης που σημαίνει ότι μπορούμε να δούμε και να τροποποιήσουμε τον πηγαίο κώδικα κατά το δοκούν. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι ο προσομοιωτής CRRCSim εφαρμόζει ένα ολοκληρωμένο μη γραμμικό μοντέλο με έξι βαθμούς ελευθερίας μέσα στον πηγαίο κώδικα [20].



Εικόνα 12. UAV Προσομοιωτής [21]

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται από την μηχανή προσομοίωσης για το αεροπλάνο και το τετράκοπτο στηρίζεται στις παραμέτρους της σχέσης (1)

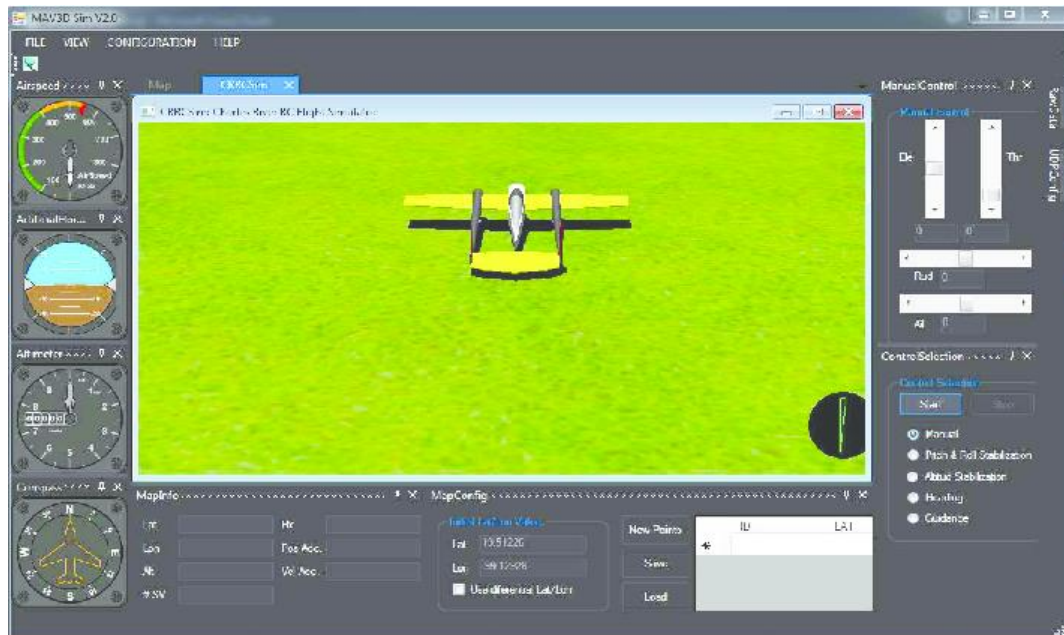
$$x = [\lambda, \tau, R, V_N, V_E, V_D, \varphi, \theta, \psi, p, q, r] \quad \text{Σχέση (1)}$$

Κάθε αεροσκάφος στη μηχανή προσομοίωσης περιγράφεται από ένα διάνυσμα κατάστασης που είναι το ως ένας πίνακας 12x1 που έχει σχέση κυρίως με τη θέση του οχήματος, την αδρανειακή ταχύτητα, το μέγεθος του οχήματος και το διάνυσμα της περιστροφικής ταχύτητας. Ειδικότερα οι μαθηματικές σχέσεις των προηγούμενων παραμέτρων παρουσιάζονται στη συνέχεια:

$$\lambda = V_N / R \quad \text{Σχέση (2)}$$

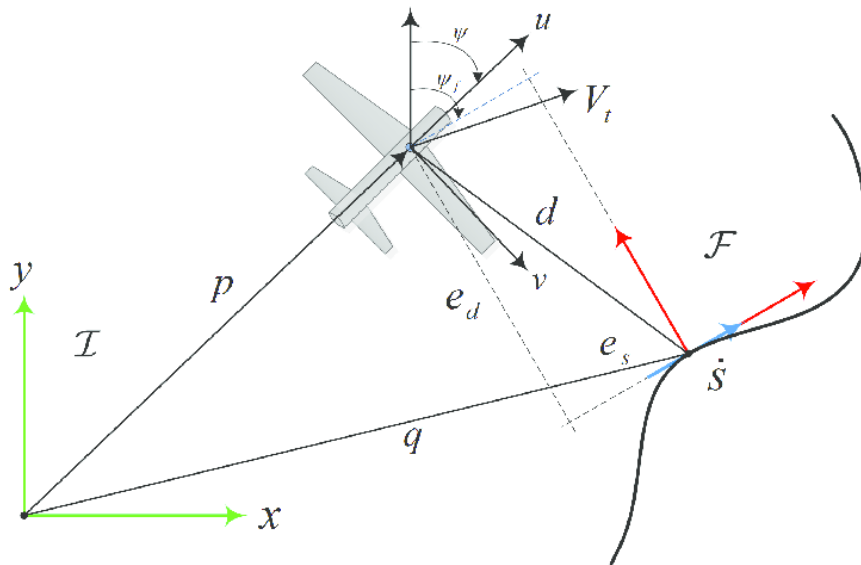
$$\tau = V_E / R \cos \lambda, \quad R = -V_D \quad \text{Σχέση (3)}$$

όπου λ είναι το γεωγραφικό πλάτος και τ το γεωγραφικό μήκος. R είναι η απόσταση από το κέντρο της Γης έως το όχημα [20].



Εικόνα 13. Περιβάλλον Προσομοίωσης του λογισμικού MAV3DSIM

[22]



Εικόνα 14. Δυνάμεις που ασκούνται σε ένα UAV [23]

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η απεικόνιση του φορέα κατάστασης x – Σχέση (1) – από τον προσομοιωτή. Υπάρχουν διάφορες απεικονίσεις που συνήθως συμπεριλαμβάνουν μια οθόνη του Google Maps σχετικά με τη θέση του UAV σε κάποιο σημείο πάνω από την επιφάνεια της Γης.

$$x=V_t \cos \psi, y=V_t \sin \psi \text{ και } \dot{\psi}=\omega \quad \text{Σχέση (4)}$$

όπου x και y είναι οι συντεταγμένες της θέσεως του αεροσκάφους, οι ψ και ω αναπαριστούν γωνίες (Σχήμα 13) και V_t είναι η ταχύτητα η ταχύτητα του αεροσκάφους [20].

OSDLite

Το OSDLite είναι ένα ελεύθερο λογισμικό για την ερμηνεία δεδομένων από αισθητήρες. Αυτό το λογισμικό μπορεί να εκτελεί τη δοκιμή – προσομοίωση ενός UAV. Κάποιες από τις προδιαγραφές του OSDLite είναι:

- Επεξεργασία εικόνας σε πραγματικό χρόνο
- Υποστήριξη HD
- Διαχείριση μονάδας (π.χ. UAV)
- Συμβατότητα με το πρωτόκολλο MAVLink 1.0
- Καταγραφείας παραμέτρων (βίντεο & αισθητήρες)
- Προσομοίωση από αποθήκευση παραμέτρων [14]

Το OSDLite υποστηρίζει μια για επίγεια drones καθώς και μια έκδοση για αεροσκάφη. Κάθε μία από αυτές βασίζεται σε μια μηχανή 3D rendering. Αυτό επιτρέπει την ακριβή μοντελοποίηση της χωρικής τοποθέτησης του υπό προσομοίωση μοντέλου. Για να είναι δυνατή η εκτέλεση επεξεργασίας εικόνας σε πραγματικό χρόνο η μηχανή γραφικών OSDLite χρησιμοποιεί την επιτάχυνση υλικού της κάρτας γραφικών. Η μηχανή γραφικών έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

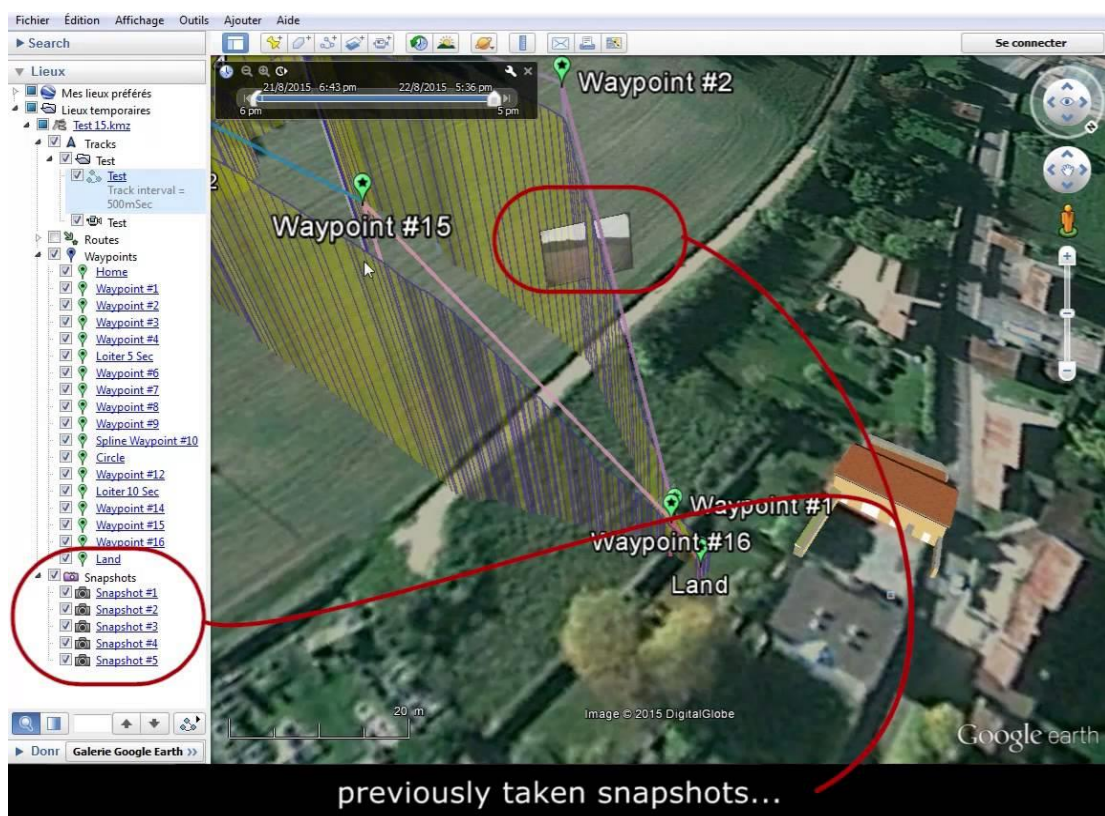
- Καταγραφή βίντεο
- Αποκωδικοποίηση αρχείων βίντεο
- Διαχείριση Shader
- Ογκομετρικές σκιές (volumetric shadows)
- Διαχείριση συγκρούσεων
- Skybox [14]

Η λήψη, η εγγραφή και η αναπαραγωγή βίντεο βασίζονται σε φίλτρα DirectShow. Επομένως, η επιλογή του hardware υλικού αλλά και των κωδικοποιητών συμπίεσης είναι πρωταρχικής σημασίας για τη διασφάλιση των επιδόσεων καθώς και της σταθερότητας του συστήματος.

Επίσης, το OSDLite υποστηρίζει το πρωτόκολλο MAVLink 1.0 που αναπτύχθηκε αρχικά για το σύστημα ArduPilot. Στη συνέχεια, παρέχεται η προσθήκη των δεδομένων των αισθητήρων από την πλατφόρμα SensorsAPI της Microsoft [14].

Σε ό,τι αφορά δε το ψηφιακό ΑΤΗ (ΑΤΗ Digital), αυτό παρέχει πληροφορίες όπως ο προσανατολισμός, η κατεύθυνση, το υψόμετρο κ.α. Επί της ουσίας παρέχει τα στοιχεία-πληροφορίες όπως:

- Μία πυξίδα με δείκτες και μία σκάλα κλίσης
- Την ταχύτητα και ένα δείκτη Waypoint
- Ένα υψομετρικό ραντάρ
- Ένα βαρομετρικό ύψος
- Έναν γραφικός δείκτης της κάθετης ταχύτητας
- Ταχύμετρο αέρα
- Ένδειξη ταχύτητας εδάφους
- Πρότυπο ταχύμετρο
- Μία απεικόνιση αεροναυτικών δεδομένων [14]



Εικόνα 15 (α). Περιβάλλον Προσομοίωσης του λογισμικού OSDLite – Waypoints [24]



Εικόνα 16 (b). Περιβάλλον Προσομοίωσης του λογισμικού OSDLite – αναπαράσταση πρώτου προσώπου [25]

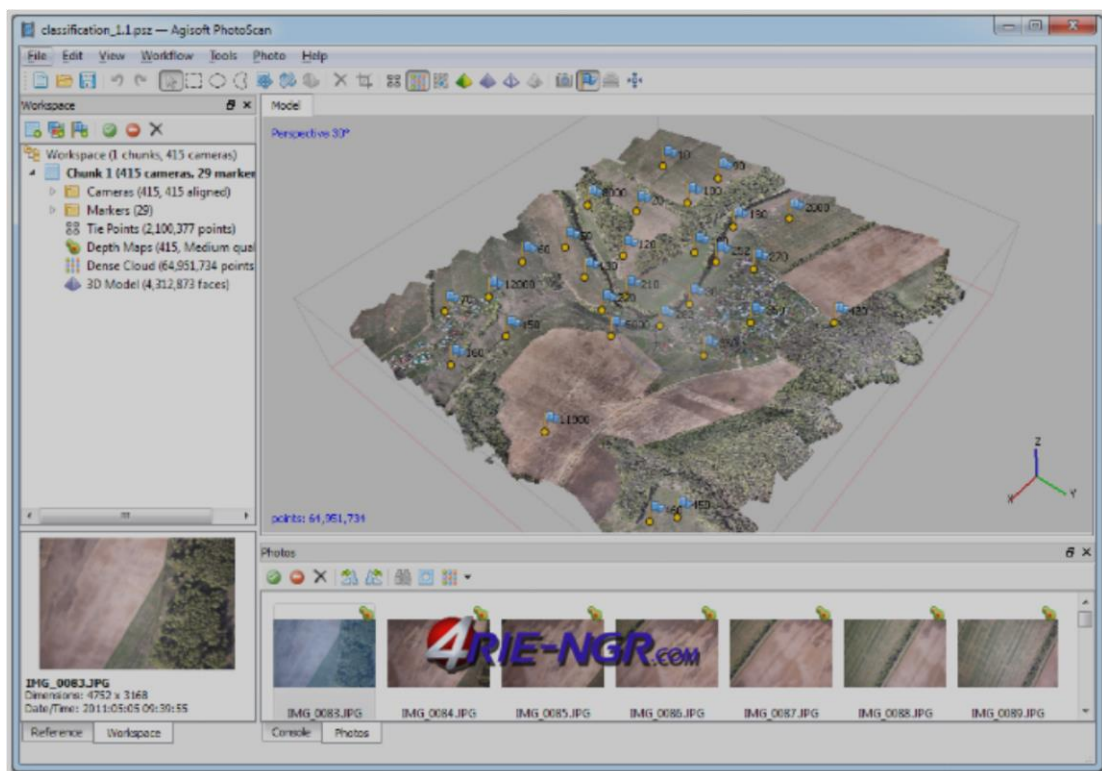
AGISOFT PhotoScan

Το Agisoft είναι ένα “standalone” πρόγραμμα για την επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων και τη δημιουργία 3D χωρικών δεδομένων. Έχει εφαρμογή σε GIS εφαρμογές, καταγραφή εκτάσεων, καταγραφή πολιτιστικής κληρονομιάς, παραγωγή «οπτικών εφέ» για έμμεσες μετρήσεις αντικειμένων σε διάφορες κλίμακες. Υπάρχουν δύο εκδόσεις που είναι το Agisoft PhotoScan Standard και το Agisoft PhotoScan Professional. Το Agisoft PhotoScan Standard δημιουργεί αυτόματα επαγγελματικής ποιότητας 3D μοντέλα αποτελούμενα από εικόνες. Το πρόγραμμα παρέχει εξαιρετική συνένωση των φωτογραφιών χωρίς να απαιτούνται κανόνες ή δεδομένες συνθήκες λήψης. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

- Συνένωση φωτογραφιών
- Παραγωγή νέφους σημείων (αραιό/πυκνό)
- Παραγωγή πολυγωνικού μοντέλου
- Απεικόνιση υψής [26]

Το Agisoft PhotoScan Pro επιτρέπει τη δημιουργία υψηλής ανάλυσης ορθοφωτογραφιών με γεωαναφορά και πολυγωνικά μοντέλα με υφή. Η πλήρως αυτοματοποιημένη ροή εργασίας επιτρέπει και σε έναν μη ειδικό να επεξεργαστεί χιλιάδες αεροφωτογραφίες σε έναν υπολογιστή ώστε να παράξει φωτογραμμετρικά προϊόντα επαγγελματικού επιπέδου. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

- Τριγωνισμός από αεροφωτογράφιση ή και από κοντινές λήψεις
- Παραγωγή νέφους σημείων (αραιό/πυκνό)
- Παραγωγή πολυγωνικού μοντέλου (απλό/με υφή)
- Εισαγωγή-χρήση συστήματος συντεταγμένων
- Παραγωγή Ψηφιακού Ανάγλυφου Μοντέλου
- Παραγωγή ορθοφωτογραφιών
- Γεωαναφορά χρησιμοποιώντας δεδομένα καταγραφής πτήσεως
- Πολυφασματική επεξεργασία εικόνων
- 4D ανακατασκευή δυναμικών σκηνών
- Υποστήριξη Python scripting [26]



Εικόνα 17. Περιβάλλον Προσομοίωσης του λογισμικού AGISOFT PhotoScan [27]

Virtual Surveyor

Το Virtual Surveyor είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας. Παραλαμβάνει το εξαγωγίμο αρχείο του Agisoft και δημιουργεί τρισδιάστατη απεικόνιση με όλη τη τοπογραφική πληροφορία και είναι ιδανικό για όμορφες παρουσιάσεις 3D. Τα οφέλη από τη χρήση του προγράμματος αυτού είναι:

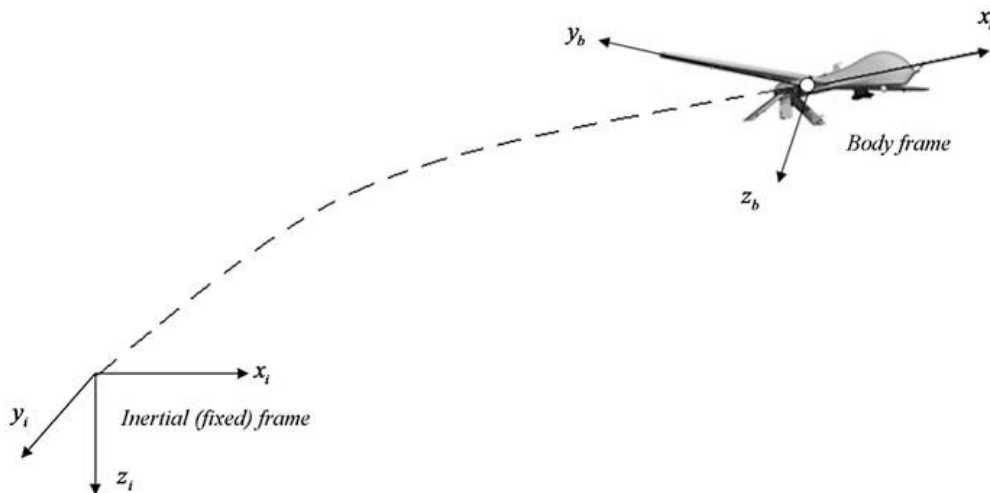
- Εικονική μέτρηση ως τοπογράφος πεδίου.
- Γρήγορη οπτικοποίηση.
- Σχεδίαση break-lines και σημείων αναφοράς σε ένα 3D περιβάλλον.
- Εκτέλεση υπολογισμών όγκων και συγκρίσεις μεταξύ διαδοχικών καταστάσεων.
- Υπολογισμός σε πραγματικό χρόνο καμπυλών, κλίσεων και κατευθύνσεων.
- Άμεση εξαγωγή σε CAD [26].

Ως γνωστόν, ένας τοπογράφος σε ένα πεδίο ενδιαφέροντός του σαρώνει το έδαφος που θέλει να μετρήσει και αναζητάει γραμμές και μεμονωμένα σημεία που του επιτρέπουν να περιγράψει την τοπογραφία της περιοχής. Αυτές οι γραμμές και τα σημεία έχουν επιλεγεί προφανώς μέσα από λεπτομερή διαδικασία η οποία είναι και πολύ δύσκολο να αυτοματοποιηθεί. Με το Virtual Surveyor μπορούμε να εκτελέσουμε αυτή τη διαδικασία σε ένα εικονικό περιβάλλον. Οι ορθοφωτογραφίες και τα ψηφιακά μοντέλα με υψομετρικές λεπτομέρειες προέρχονται από UAVs. Τα παραχθέντα αρχεία είναι μεγάλα σε μέγεθος και αυτή η κατάσταση επιβάλλει ειδικές απαιτήσεις σε ό,τι αφορά την επιλογή του λογισμικού επεξεργασίας. Πάραυτα το λογισμικό Virtual Surveyor διαχειρίζεται το μέγεθος και την ανάλυση των αρχείων αυτών με ιδιαίτερα αποτελεσματικό τρόπο [26].

Κεφάλαιο 2: Μη Επανδρωμένα Ρομποτικά Οχήματα

2.1. Εκτεταμένη μελέτη των drones

Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε τον τρόπο σχεδίασης ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους και θα γίνει αναφορά σε μαθηματικές σχέσεις. Στην επόμενη δε ενότητα αναφέρεται αναλυτικά ολόκληρη η σχεδίαση. Αρχικά θα αναλύσουμε τα συστήματα συντεταγμένων ενός UAV. Ένα από αυτά τα συστήματα είναι το σύστημα πλαισίου σώματος του drone και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα [28].

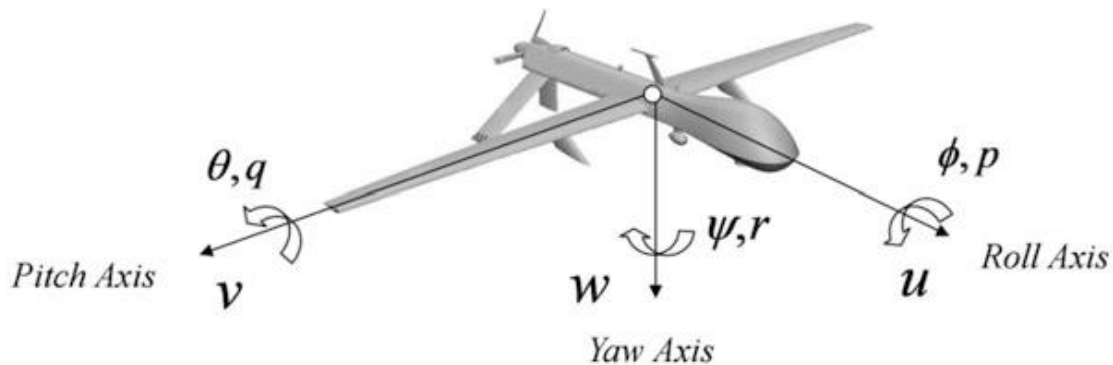


Εικόνα 18. Συντεταγμένες του UAV [29]

Ο άξονας x είναι ο οριζόντιος άξονας ενώ ο ημιάξονας y ορίζεται με κατεύθυνση της δεξιά πτέρυγα του UAV. Ο άξονας z έχει κατεύθυνση προς το κάτω μέρος του αεροσκάφους και δείχνει το κέντρο της Γης. Σύμφωνα με τις υποθέσεις ότι το αεροσκάφος είναι ένα άκαμπτο σώμα και η μάζα του παραμένει σταθερή για σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα μπορεί να γραφεί ως εξής [5]:

$$F = m(dV_c/dt)_i \quad \text{Σχέση (5)}$$

όπου m είναι η μάζα του αεροσκάφους, V_c είναι η ταχύτητα του κέντρου της μάζας του αεροσκάφους, F είναι η δύναμη που ενεργεί και i δείκτης που υποδεικνύει το αδρανειακό πλαίσιο. Τα F και V_c είναι διανυσματικά μεγέθη [28].



Εικόνα 19. Άξονες συντεταγμένων του UAV [30]

Στο σχήμα 17 διαπιστώνουμε τις γωνίες Euler του drone, τις συνιστώσες ταχύτητας καθώς και τις γωνιακές ταχύτητες. Οι εξισώσεις κίνησης ενός UAV είναι παρόμοιες με εκείνες ενός αεροπλάνου. Ο προσανατολισμός ενός αεροσκάφους μπορεί να περιγραφεί με τρεις διαδοχικές περιστροφές και αυτές οι γωνιακές περιστροφές ονομάζονται γωνίες Euler. Η έννοια αυτή αναπτύχθηκε από τον Leonhard Euler για να καθορίσουμε τον προσανατολισμό ενός άκαμπτου σώματος στο χώρο (3D αναπαράσταση) [28].

Η μικρή θεωρία διαταραχών (small perturbation theory) είναι μια τεχνική γραμμικοποίησης των μη γραμμικών εξισώσεων. Κατά την διεξαγωγή αυτής της μαθηματικής μεθόδου, είναι δυνατόν να βρεθούν κατά προσέγγιση λύσεις σε προβλήματα που δεν μπορούν να λυθούν με ακρίβεια. Όσο για τις εξισώσεις κίνησης του αεροπλάνου που δεν είναι γραμμικές πρέπει να γραμμικοποιηθούν για την επίλυση προβλημάτων κατά την κίνηση των αεροσκαφών. Πρώτα από όλα, για να εφαρμοσθεί η μέθοδος θεωρείται ότι η κίνηση του αεροσκάφους αποτελείται από διαταραχές σχετικά με τη σταθερή κατάσταση πτήσης [28]. Στη συνέχεια, ως βάση για τη θεωρία αποτελεί το γεγονός ότι οι μικρές διαταραχές

προστίθενται στις σταθερές καταστάσεις. Κάποιες ενδεικτικές εξισώσεις αναφέρονται στη συνέχεια:

$$\begin{aligned}u &= u_0 + \Delta_u & p &= p_0 + \Delta_p & \theta &= \theta_0 + \Delta_\theta \\v &= v_0 + \Delta_v & q &= q_0 + \Delta_q & \varphi &= \varphi_0 + \Delta_\varphi \\w &= w_0 + \Delta_w & r &= r_0 + \Delta_r & \psi &= \psi_0 + \Delta_\psi\end{aligned}\tag{6}$$

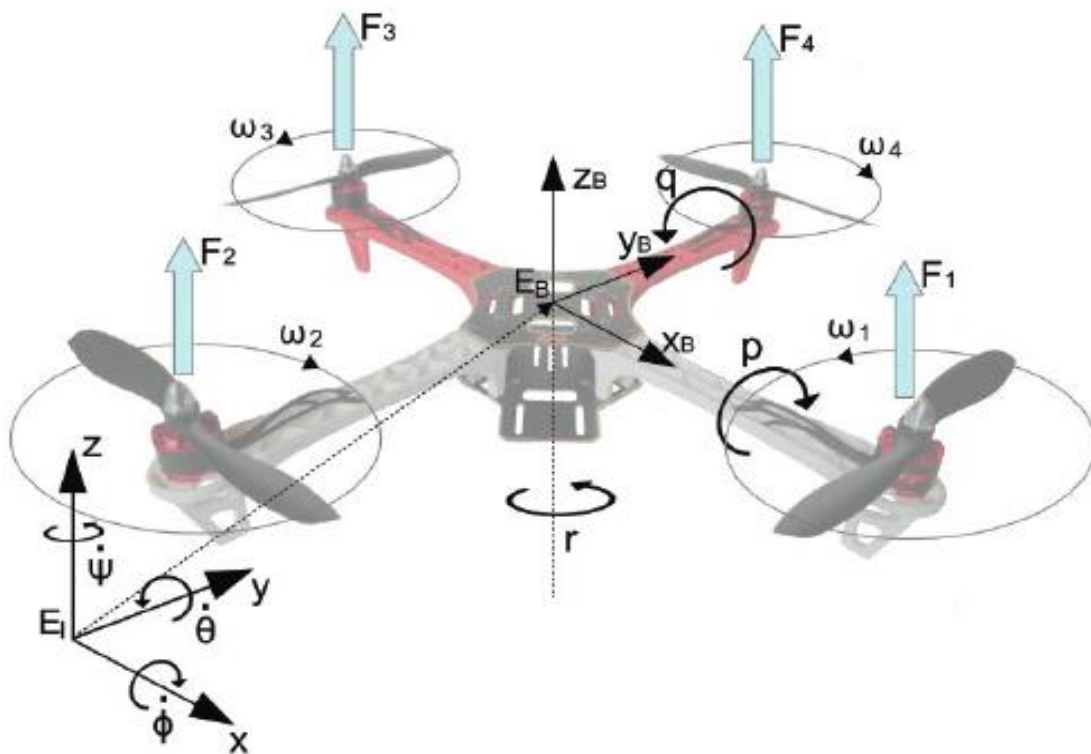
Εάν η κατάσταση πτήσης αναφοράς θεωρείται συμμετρική, οι δυνάμεις πρόωσης παραμένουν σταθερές το ίδιο και ο άξονας x καθώς συμπίπτει με το διάνυσμα της ταχύτητας του αεροσκάφους. Έτσι οι εξισώσεις διαμορφώνονται ως εξής:

$$\begin{aligned}u &= u_0 + \Delta_u & p &= \Delta_p & \theta &= \theta_0 + \Delta_\theta \\v &= \Delta_v & q &= \Delta_q & \varphi &= \Delta_\varphi \\w &= \Delta_w & r &= \Delta_r & \psi &= \Delta_\psi\end{aligned}\tag{7}$$

όπου τα u , v και w είναι οι συνιστώσες ταχύτητας στις κατευθύνσεις x , y και z , καθώς και τα p , q , r είναι γωνιακές ταχύτητες γύρω από τους άξονες x , y , z . Ο δείκτης 0 υποδηλώνει τις σταθερές [28].

2.2. Μοντελοποίηση του UAV

Οι βασικές κινήσεις που μπορεί να εκτελέσει ένα ελικόπτερο τύπου τετρακόπτερου είναι η κάθετη κίνηση, η πρόσθια, η πλάγια ολίσθηση και η περιστροφή yaw. Γενικά, η κίνησή του στο κάθετο επίπεδο επιτυγχάνεται από τις δυνάμεις ώσης που παράγουν και οι τέσσερις κινητήρες ενώ η κίνηση στο χώρο και η περιστροφική κίνηση επιτυγχάνονται με τη διαφορά ώσης των ανά ζεύγη περιστρεφόμενων ελίκων. Ειδικότερα, η πρόσθια κίνηση επιτυγχάνεται από τη διαφορά ώσης των δύο μπροστινών ροτόρων με τους δύο πίσω, η πλάγια ολίσθηση με τη διαφορά ώσης των δύο πλευρικών ροτόρων με τους άλλους δύο ενώ η περιστροφή yaw επιτυγχάνεται στα πλαίσια της διαφοράς ώσης που παράγουν οι έλικες. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της δεξιάς περιστροφής yaw ο μπροστά αριστερά ρότορας με τον πίσω δεξιά παράγουν μεγαλύτερη ροπή από τους άλλους δύο [28].



Εικόνα 20. Δυνάμεις και Συντεταγμένες ενός τετρακόπτερου drone [31]

Για την ανάλυση της κίνησης του UAV τα δύο βασικά συστήματα συντεταγμένων είναι το Earth Fixed Frame (EFF) που ορίζεται από τις συντεταγμένες του εδάφους και το φερόμενο στο πλαίσιο Body Fixed Frame (BFF) [32].

$$V_b = [uvw]^T \in R^3 \text{ αναφέρεται στην ταχύτητα ως προς το BFF} \quad \text{Σχέση (8)}$$

$$\Omega_b = [pqr]^T \in R^3 \text{ αναφέρεται στην γωνιακή ταχύτητα ως προς το BFF} \quad \text{Σχέση (9)}$$

$$\theta = [\varphi\theta\psi]^T \in R^3 \text{ αναφέρεται στις γωνίες περιστροφής ως προς το EFF} \quad \text{Σχέση (10)}$$

$$X = [x \ y \ z]^T \in R^3 \text{ αναφέρεται στη θέση ως προς το EFF} \quad \text{Σχέση (11)}$$

Επιπλέον, για τη διαδικασία της μοντελοποίησης ισχύουν οι παρακάτω υποθέσεις:

- Η κατασκευή του αεροσκάφους είναι συμπαγής και συμμετρική καθώς και η δομή των ροτόρων είναι συμπαγής.
- Οι δυνάμεις ώσης των ροτόρων είναι ανάλογη του τετραγώνου της γωνιακής περιστροφικής ταχύτητας.
- Το κέντρο του φερόμενου από το σκάφος συστήματος συντεταγμένων ταυτίζεται με το κέντρο βάρους [32].

Επίσης, οι βασικές δυνάμεις και ροπές που ασκούνται στο UAV εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους όπως τη γωνία προσβολής και την αεροτομή. Υποθέτουμε ότι οι δυνάμεις F_i και οι ροπές T_i είναι ανάλογες του τετραγώνου της γωνιακής ταχύτητας ω_i .

$$F_i = k_f \omega_i \quad \text{Σχέση (12)}$$

$$T_i = k_t \omega_i \quad \text{Σχέση (12)}$$

όπου $i=1, 2, 3, 4$ και k_f, k_t οι συντελεστές της δύναμης και της ροπής αντίστοιχα. Ειδικότερα, οι βασικές δυνάμεις και ροπές που ασκούνται στο

κέντρο της μάζας ενός τετρακόπτερου κατά τη διάρκεια μιας πτήσης hover είναι η δύναμη ώσης ή αλλιώς thrust δύναμη, η roll ροπή, η pitch ροπή και η yaw ροπή [32]:

- Δύναμη (Thrust): Είναι η συνισταμένη δύναμη των κάθετων δυνάμεων που δρουν και στους τέσσερις έλικες και είναι παράλληλη στον άξονα z του αδρανειακού συστήματος συντεταγμένων:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = k_f (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad \text{Σχέση (13)}$$

- Ροπή (Roll): Είναι η ροπή που προκαλεί την πλάγια ολίσθηση του ελικοπτέρου όπου π.χ. για δεξιόστροφη ολίσθηση ισχύει:

$$T_p = L(-F_1 + F_2 + F_3 - F_4) = Lk_f(-\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad \text{Σχέση (14)}$$

- Ροπή (Pitch): Είναι η ροπή που προκαλεί την πρόσθια και την οπίσθια κίνηση ενός τετρακοπτέρου όπου π.χ. για πρόσθια κίνηση ισχύει:

$$T_q = L(-F_1 + F_2 + F_3 + F_4) = Lk_f(-\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad \text{Σχέση (15)}$$

- Yaw Ροπή: Είναι η ροπή που παράγεται γύρω από το ρότορα λόγω των δυνάμεων που δρουν σε όλους τους έλικες και προκαλεί την περιστροφή yaw του τετρακοπτέρου:

$$T_r = L(T_1 + T_2 - T_3 - T_4) = Lk_t(\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad \text{Σχέση (16)}$$

όπου L είναι η απόσταση του κάθε κινητήρα από το κέντρο μάζας του τετρακόπτερου. Η συνισταμένη των δυνάμεων και των ροπών ισούται με μηδέν, δηλαδή $\Sigma F = 0$ και $\Sigma T = 0$.

2.3. Έλεγχος UAV

Σε αυτή την ενότητα θα αναλύσουμε τον έλεγχο που είναι απαραίτητος για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη όταν βρίσκονται στον αέρα. Κυρίως θα αναφερθούμε στα επιταχυνσιόμετρα, στα συστήματα δεδομένων, στα ραντάρ επιφανείας, στο ραδιοϋψόμετρο, στο βαρομετρικό ύψος, στο ραντάρ Doppler, στις μαγνητικές μετρήσεις, στη δορυφορική ραδιοφωνική πλοήγηση και στο GPS. Όλα τα παραπάνω είναι απαραίτητα για ένα drone από τη στιγμή που ίπταται μέχρι την στιγμή της προσγειώσης [28].

Σε ό,τι αφορά τα επιταχυνσιόμετρα, αυτά είναι συσκευές που μετρούν την επιτάχυνση κατά μήκος του άξονα ανίχνευσης. Η μέτρηση της επιτάχυνσης μπορεί να υλποιηθεί σε έναν ενσωματωμένο υπολογιστή έτσι ώστε να συντελεί στη μέτρηση και τον έλεγχο της ταχύτητας καθώς και στην γνώση της σωστής χωρικής θέσης του UAV. Το επιταχυνσιόμετρο μετατρέπει την επιτάχυνση σε ένα ηλεκτρικό σήμα. Η έξοδος ενός επιταχυνσιόμετρου μπορεί να είναι αναλογική ή ψηφιακή. Στην αναλογική περίπτωση, η τάση εξόδου είναι άμεσα ανάλογη προς την επιτάχυνση. Αν όμως έχουμε την έξοδο ενός ψηφιακού επιταχυνσιόμετρου, εκείνη μπορεί να προσπελαστεί απευθείας χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα όπως σειριακές διεπαφές ο οποίος είναι η επιτάχυνση της μαζικής έλξης στη Γη [28].

Οι παράμετροι δεδομένων που σχετίζονται με την πτήση, προκύπτουν ανιχνεύοντας τις πιέσεις, τις θερμοκρασίες και τις κατευθύνσεις ροής που μετρώνται στο πλαίσιο. Διάφοροι σημαντικοί υπολογισμοί αφορούν την εύρεση της θερμοκρασίας του αέρα, του υψομέτρου, της ταχύτητας του αέρα και του αριθμού Mach. Ένα σύστημα δεδομένων παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη μέτρηση παραμέτρων όπως η πίεση, το ύψος, η κατακόρυφη ταχύτητα, η ταχύτητα αέρα και η τοπική θερμοκρασία αέρα. Τα δεδομένα προέρχονται από τρεις βασικές μετρήσεις που εκτελούνται σε ανιχνευτές και αφορούν π.χ. τη συνολική πίεση και τη συνολική θερμοκρασία του αέρα. Η συνολική πίεση P_T μετριέται με τη βοήθεια σωλήνων Pitot. Ακολούθως, τα στρατιωτικά αεροσκάφη UAV υψηλής απόδοσης φέρουν αισθητήρες Pitot που

εκτείνονται μπροστά από το αεροσκάφος έτσι ώστε να είναι αρκετά μακριά από την επίδραση της αεροδυναμικής παρεμβολής. Ορισμένα drone διαθέτουν αυτούς του ανιχνευτές Pitot με ξεχωριστά στόμια πίεσης και βρίσκονται στην άτρακτο τους δηλαδή μεταξύ της μύτης και της πτέρυγας τους [28].

Σε ό,τι αφορά τα radar επιφανείας, αυτά χρησιμοποιούνται ώστε να παρατηρούν το UAV κατά τη διάρκεια πτήσης του. Αυτές οι παρατηρήσεις λαμβάνουν συνήθως τη μορφή μετρήσεων απόστασης μεταξύ του UAV και του εδάφους.

Οι μετρήσεις σε ό,τι αφορά το drone, του αζιμουθίου και της ανύψωσης μπορούν να εκφραστούν με βάση τις καρτεσιανές συντεταγμένες της θέσης του UAV (x, y, z) ως εξής (Εικόνα 19) [28]:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \alpha &= \tan^{-1} \{ y/x \} \\ \beta &= \tan^{-1} \{ z/\sqrt{x^2 + y^2} \} \end{aligned} \quad \text{Σχέση (17)}$$

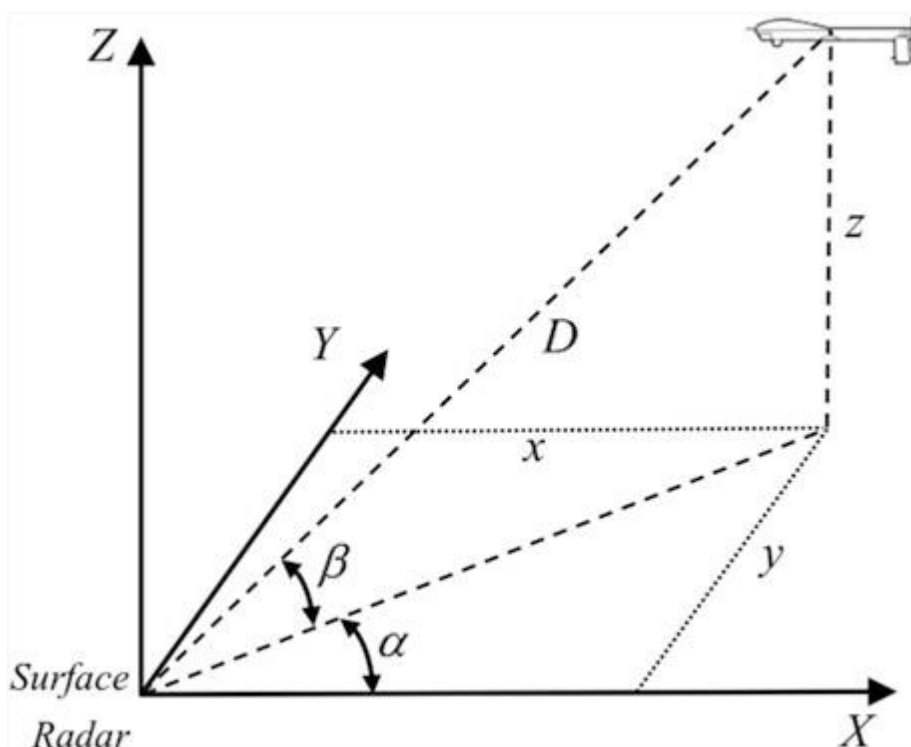
Η μέτρηση της γωνίας και και της απόστασης συντελείται ταυτόχρονα από το ραντάρ επιφανείας. Μια ενσωματωμένη μέθοδος μέτρησης γωνίας χρησιμοποιείται συνήθως σε συστήματα ραντάρ και καθορίζει την απόσταση D από το UAV, τη γωνία αζιμούθιου και τη γωνία ανύψωσης. Οι συντεταγμένες προσδιορίζονται με ένα μόνο σημείο και δεν απαιτούν δύσκολους υπολογισμούς. Οι παρακάτω μαθηματικές σχέσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των καρτεσιανών συντεταγμένων του drone:

$$\begin{aligned} x &= D \cos\beta \cos\alpha \\ y &= D \cos\beta \sin\alpha \\ z &= D \sin\beta \end{aligned} \quad \text{Σχέση (18)}$$

Οι γωνίες αζιμουθίου και ανύψωσης προσδιορίζονται από τις μετρήσεις ραντάρ. Ένας σταθμός ραντάρ επαρκεί για να χρησιμοποιηθεί η προαναφερθείσα μέθοδος μέτρησης. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου αναφέρονται στη συνέχεια:

- Για τη μέτρηση των συντεταγμένων απαιτείται ένας και μοναδικός σταθμός.
- Η μέθοδος παρέχει την απαιτούμενη ακρίβεια για δεδομένα διαστήματα κάλυψης.
- Η επεξεργασία των δεδομένων χαρακτηρίζεται ως εύκολη.
- Όμως, το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η ακρίβεια μέτρησης συντεταγμένων ενός UAV μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από το ραντάρ της επιφάνειας [28].

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τις γεωμετρικές παραμέτρους πλοήγησης στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.



Εικόνα 21. Παράμετροι συντεταγμένων πλοήγησης ενός UAV [33]

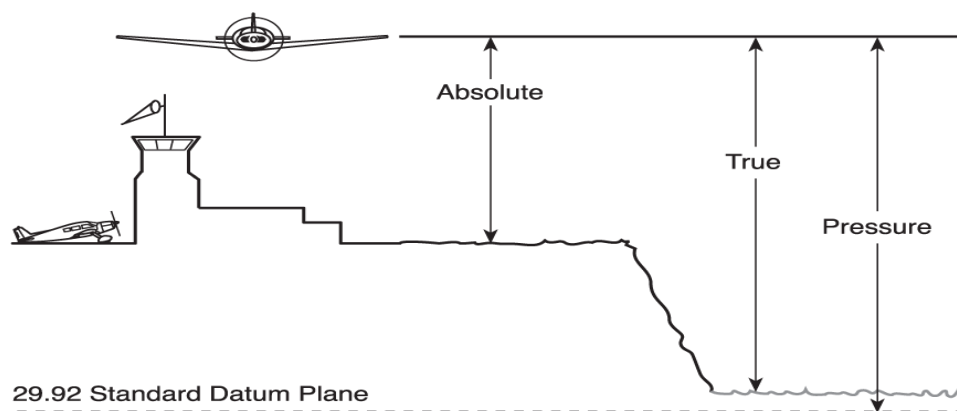
Η μέτρηση του ύψους πτήσης εκτελείται με τη χρήση ραδιοτεχνικών μεθόδων. Δύο κεραιές εκπομπής και λήψεως είναι εγκατεστημένες στο αεροσκάφος που περιέχει ως αναμενόμενο έναν πομπό αλλά και δέκτη. Οι κεραιές τοποθετούνται συχνά στα φτερά του αεροσκάφους. Η κεραία του πομπού A1 στέλνει ραδιοκύματα τα οποία ανακλώνται όταν αυτά φτάσουν στην επιφάνεια της Γης. Μερικά από τα ανακλώμενα κύματα λαμβάνονται από το αεροσκάφος μέσω της κεραιάς λήψεως [28]. Ο χρόνος μετάδοσης μπορεί να βρεθεί από την παρακάτω σχέση.

$$t = 2H/c \quad \text{Σχέση (19)}$$

όπου H είναι το ύψος πτήσης και c είναι η ταχύτητα διάδοσης των ραδιοσημάτων. Η καταγραφή των χρόνων λήψεως δύο σημάτων χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ύψους. Ο χρόνος t_1 είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει το σήμα από τον πομπό στο δέκτη που βρίσκονται σε απόσταση " l " μεταξύ τους ενώ ο χρόνος t_2 προκύπτει από τη σχέση (19). Επομένως το πραγματικό υψόμετρο της πτήσης θα δίνεται από την σχέση (20) όπου $\tau = |t_1 - t_2|$ [28].

$$H = (c\tau + l)/2 \quad \text{Σχέση (20)}$$

Οι διάφοροι τύποι υψομετρικών περιοχών δίνονται στο παρακάτω σχήμα.

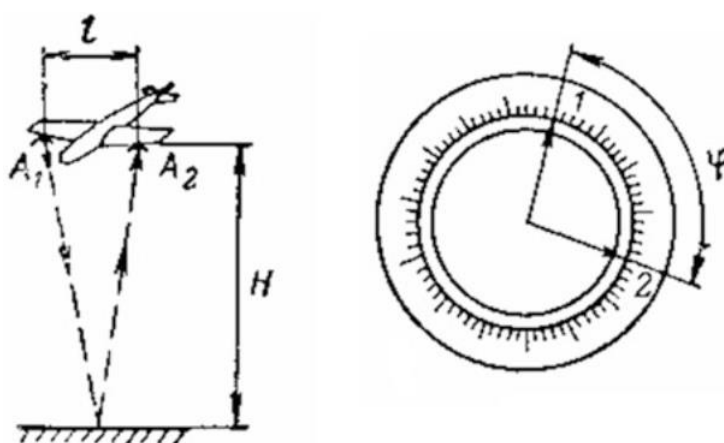


Εικόνα 22 Περιοχές υψομετρικής απόστασης ενός UAV [49]

Στη συνέχεια βλέπουμε την οπτική αναπαράσταση του υπολογισμού του ύψους βάσει της σχέσεως (20). Είναι επίσης εμφανής και η γωνία μεταξύ των δύο σημάτων που υπολογίζεται εύκολα βάσει της σχέσεως (21). Επιπροσθέτως, για την αύξηση της ακρίβειας μέτρησης, η γωνιακή ταχύτητα της δέσμης θα μπορούσε να αυξηθεί [28].

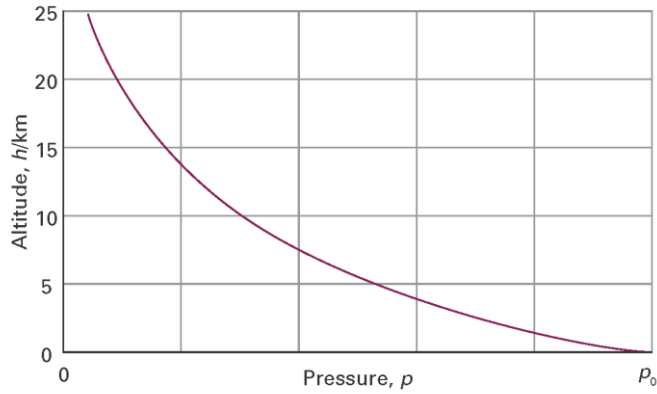
$$\varphi = \omega t = 2H\omega/c$$

Σχέση (21)



Εικόνα 23. Μέτρηση υψόμετρου [50]

Τα ιπτάμενα οχήματα που εκτελούν πτήσεις σε χαμηλά υψόμετρα, είναι πολύ σημαντικό να βασίζονται σε συστήματα που παρέχουν συνεχώς ακριβείς υψομετρικές πληροφορίες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο βαρομετρικός υψομετρητής που είναι ένας εξαιρετικός αισθητήρας για κατακόρυφη μέτρηση ύψους κατά τη διάρκεια μιας ευθύγραμμης πτήσης. Γενικά, τα βαρόμετρα αρχικοποιούνται χρησιμοποιώντας το ύψος, τη θερμοκρασία και την πίεση στο σημείο εκκίνησης του οχήματος στο οποίο και είναι εγκατεστημένα. Ωστόσο, όταν το αεροσκάφος μετακινηθεί σε άλλο μέρος, τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας γύρω από το όχημα αλλάζουν που αυτό προκαλεί μεγάλα βαρομετρικά σφάλματα. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα πρέπει να εκτελούνται αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τα δεδομένα από άλλες πηγές όπως εκείνης του GPS, κ.λπ. Στη συνέχεια παρατίθεται σχήμα που φαίνεται χαρακτηριστικό παράδειγμα μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης σε σχέση με το ύψος πτήσης [28].



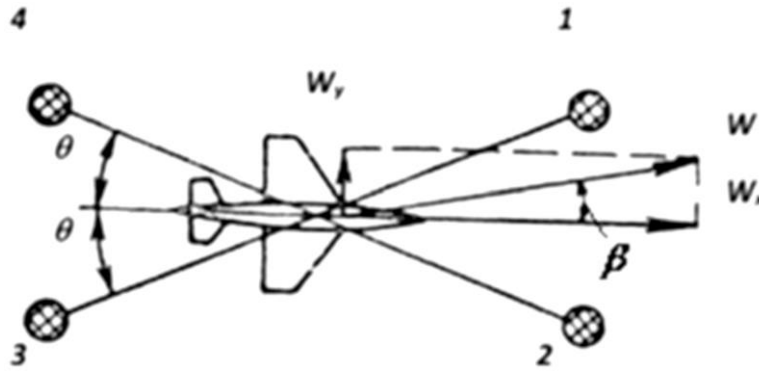
Εικόνα 24. Μεταβολή ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος [36]

Το ραντάρ Doppler παρέχει μέτρηση ταχύτητας. Η γωνία κλίσης μεταξύ του διανύσματος ταχύτητας W και της συνιστώσας στον x -άξονα είναι η κατεύθυνση W_x . Ένα ραντάρ Doppler λειτουργεί μεταδίδοντας μια στενή δέσμη ενέργειας μικροκυμάτων στο έδαφος και μετρά τη μετατόπιση συχνότητας που εμφανίζεται στο ανακλώμενο σήμα ως αποτέλεσμα της σχετικής κίνησης μεταξύ του αεροσκάφους και του εδάφους [28].

Η ταχύτητα πάνω από το έδαφος W και η γωνία κλίσης β μπορούν να μετρηθούν με τη χρήση της μεθόδου Doppler. Η μέθοδος αυτή εξαρτάται από τη μετάδοση προκαθορισμένης συχνότητας σημάτων και από τη λήψη των ανακλώμενων τους σημάτων. Η αλλαγή συχνότητας σχετίζεται με την ταχύτητα πτήσης. Ας υποθέσουμε ότι υπάρχουν συστήματα πομπού και δέκτη στο αεροσκάφος που κινείται με ταχύτητα W . Τα ραδιοσήματα με συχνότητα f που αποστέλλονται από τον πομπό φτάνουν στην επιφάνεια της Γης και στη συνέχεια ανακλώνται και λαμβάνονται από το δέκτη του ιπτάμενου οχήματος. Η συχνότητα των σημάτων που παρατηρούνται από τον δέκτη του αεροσκάφους δίνεται από τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις όπου F_D είναι η μετατόπιση συχνότητας Doppler, λ είναι το μήκος κύματος και $\cos\gamma$ είναι η γωνία κλίσης της εκπεμπόμενης δέσμης ενέργειας [28]:

$$f_1 = f + 2F_D \quad \text{Σχέση (22)}$$

$$F_D = (W/\lambda)\cos\gamma \quad \text{Σχέση (23)}$$



Εικόνα 25. Φαινόμενο Doppler [37]

Στο παραπάνω σχήμα, βλέπουμε μια συσκευή μέτρησης γωνίας ταχύτητας Doppler και γωνιακής μετατόπισης. Σε ένα τέτοιου είδους σύστημα, τέσσερις κεραιές εκπέμπουν ραδιοσήματα στις περιοχές 1, 2, 3 και 4 που βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια της Γης. Επίσης, το άθροισμα των συχνοτήτων Doppler δύο ζευγών καναλιών, (1-3) και (2-4) δίνεται ως εξής [28]:

$$f_{d(1+3)} = 4(W/\lambda)\cos\gamma \cos(\theta+\beta) \quad \text{Σχέση (23)}$$

$$f_{d(2+4)} = 4(W/\lambda)\cos\gamma \cos(\theta-\beta)$$

Εκτελώντας το άθροισμα και την αφαίρεση των συχνοτήτων μπορούμε να γράψουμε:

$$f_{d(1+3)} + f_{c(2+4)} = k_1 W \cos\beta \quad \text{Σχέση (24)}$$

$$f_{d(1+3)} - f_{c(2+4)} = k_2 W \sin\beta$$

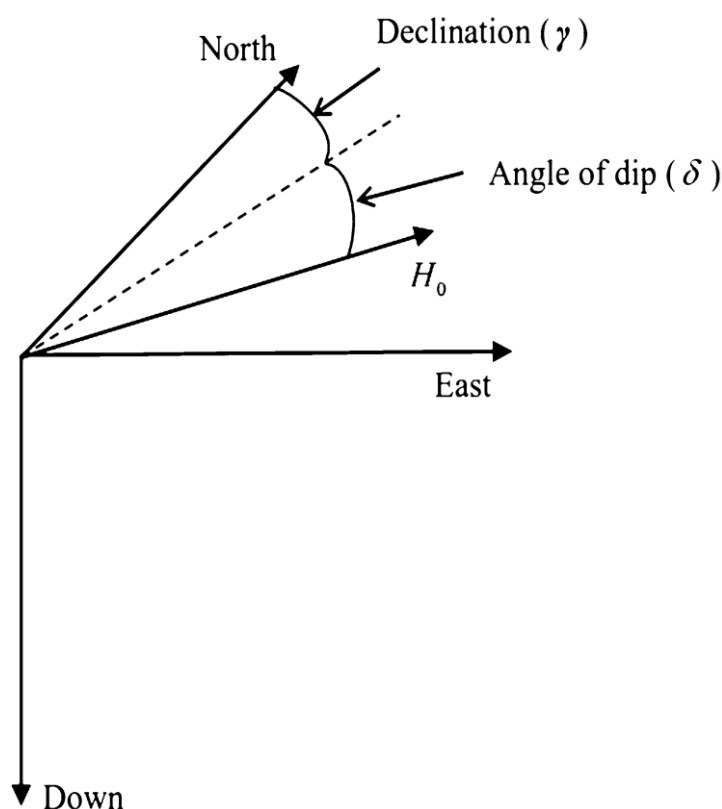
Η ταχύτητα πτήσης W και η γωνία κλίσης β προσδιορίζονται μέσω της παραπάνω εξίσωσης. Όταν δε η γωνία κλίσης είναι σχεδόν μηδενική τότε η προηγούμενη σχέση παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$f_{d(1+3)} + f_{c(2+4)} = k_1 W \quad \text{Σχέση (25)}$$

$$f_{d(1+3)} - f_{c(2+4)} = 0$$

Η εξίσωση (25) αποτελεί τη διαφορά των συχνοτήτων. Οι τυπικές αποκλίσεις των συσκευών μέτρησης Doppler είναι της τάξεως του 0.2% σε σχέση με τη γωνία κλίσης. Η απόδοση βέβαια υποβαθμίζεται κατά τη διάρκεια πτήσης πάνω από το νερό λόγω της μεγάλης διασποράς του ανακλώμενου σήματος [28].

Η κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της Γης σε οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειάς της ορίζεται σε σχέση με τον αληθινό βορρά και ονομάζεται γωνία μαγνητικής απόκλισης. Είναι χρήσιμο βέβαια στα UAVs να υπάρχει και εξοπλισμός μέτρησης μαγνητικής απόκλισης με τη χρήση μαγνητόμετρου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συσκευή προσδιορισμού θέσεως. Αυτοί οι αισθητήρες βρίσκουν την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της Γης και μετρούν το μέγεθός του. Επιπλέον, η μικρή τους μάζα, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το μικρό τους κόστος, τους καθιστά ιδανικούς για την ενσωμάτωσή τους σε UAVs. Παρακάτω φαίνεται η γωνία απόκλισης [28].



Εικόνα 26. Μαγνητικές μετρήσεις χρησιμοποιώντας τη γωνία απόκλισης [38]

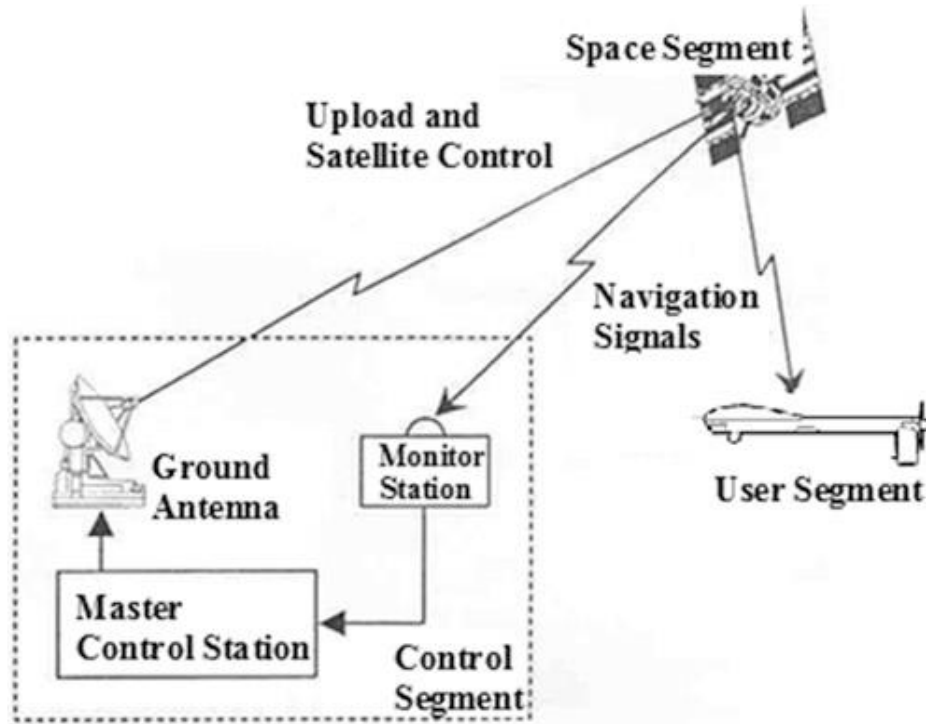
Το παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) παρέχει αξιόπιστο στίγμα θέσης και πληροφορίες υπό όλες τις καιρικές συνθήκες και ανά πάσα χρονική στιγμή. Το σύστημα χρησιμοποιεί συνολικά 24 δορυφόρους

ενώ απαιτούνται τέσσερις δορυφόροι για τον υπολογισμό της θέσης του χρήστη. Υπάρχουν και άλλα παρόμοια συστήματα που χρησιμοποιούνται ή σχεδιάζονται να χρησιμοποιηθούν όπως το GLONASS (Ρωσία) και το Galileo (Ευρώπη) [28].

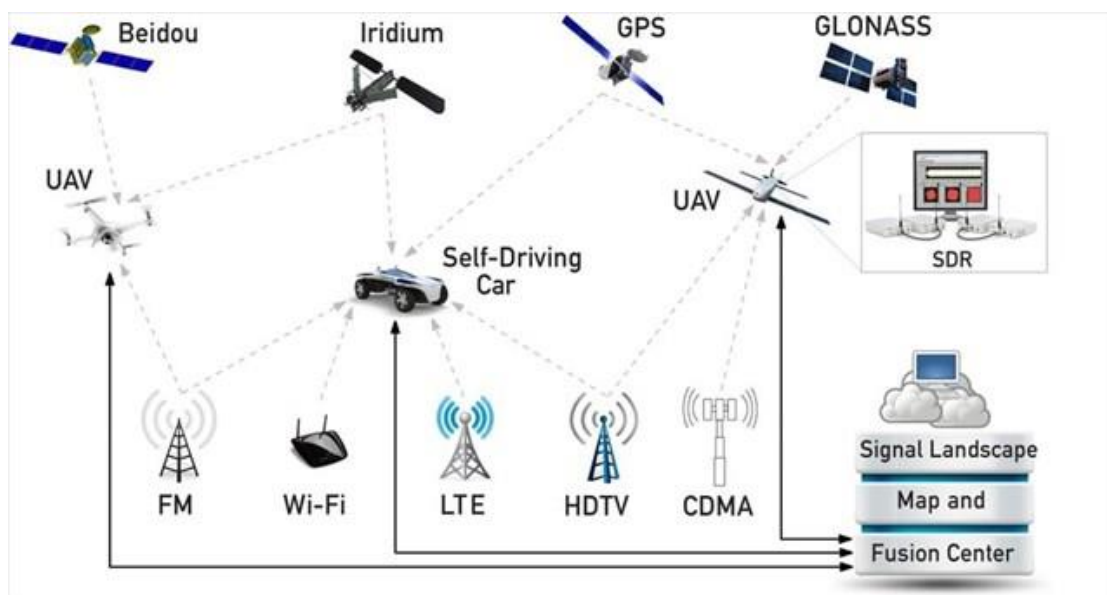
Σε ό,τι αφορά ένα σύστημα GPS, ο δέκτης GPS επιλέγει τους καλύτερους διαθέσιμους δορυφόρους για τη λήψη μετρήσεων. Το σύστημα είναι διαθέσιμο σε δύο εκδόσεις, μια βασική υπηρεσία εντοπισμού θέσεως (SPS - Standard Positioning Service) για πολίτες και μια ακριβή υπηρεσία εντοπισμού θέσης (PPS - Precise Positioning Service) για στρατιωτικούς χρήστες. Η ακρίβεια της SPS είναι 10m και της PPS 3m και μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση του διαφορικού GPS (DGPS). Αυτό ενισχύει την ακρίβεια του GPS παρέχοντας ένα δίκτυο σταθερών επίγειων σταθμών που καταγράφουν τη διαφορά ανάμεσα στις θέσεις που υποδεικνύονται από τους διάφορους δορυφόρους. Αυτές οι διαφορές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια από κάθε δέκτη για να διορθώσει τα σφάλματα του αρχικού εντοπισμού θέσεως. Η ακρίβεια του DGPS μειώνεται με την απόσταση του δέκτη από το σταθμό αναφοράς και κάποιες μετρήσεις δείχνουν μια υποβάθμιση της τάξης των 0.2m ανά 100 χιλιόμετρα [28].

Εκτός από το GPS πολύ χρήσιμο στη λειτουργία των UAV είναι και το σύστημα INS (Inertial Navigation System). Πρόκειται για ένα βοήθημα πλοήγησης που χρησιμοποιεί αισθητήρες κίνησης, επιταχυνσιόμετρα, αισθητήρες περιστροφής που υπολογίζουν αν πασα στιγμή τη θέση, τον προσανατολισμό και την ταχύτητα του κινούμενου αντικειμένου χωρίς να χρειάζονται εξωτερικά σημεία αναφοράς. Το GPS αποτελείται από τρία μέρη που είναι το διαστημικό τμήμα, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα χρήστη. Η Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ αναπτύσσει, διατηρεί, λειτουργεί και συντονίζει όλα τα τμήματα της υπηρεσίας. Οι δορυφόροι GPS μεταδίδουν σήματα από το διάστημα, τα οποία κάθε δέκτης GPS χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό της τρισδιάστατης θέσης (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και υψόμετρο) και παράλληλα μεταδίδουν την τρέχουσα ώρα. Το διαστημικό τμήμα αποτελείται από δορυφόρους μεσαίας τροχιάς (MO – Medium Orbit). Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από

έναν κύριο σταθμό ελέγχου, επίγειες κεραιές και σταθμούς παρακολούθησης. Το επίπεδο χρήστη αποτελεί το UAV. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δομή ενός συστήματος GPS [28].

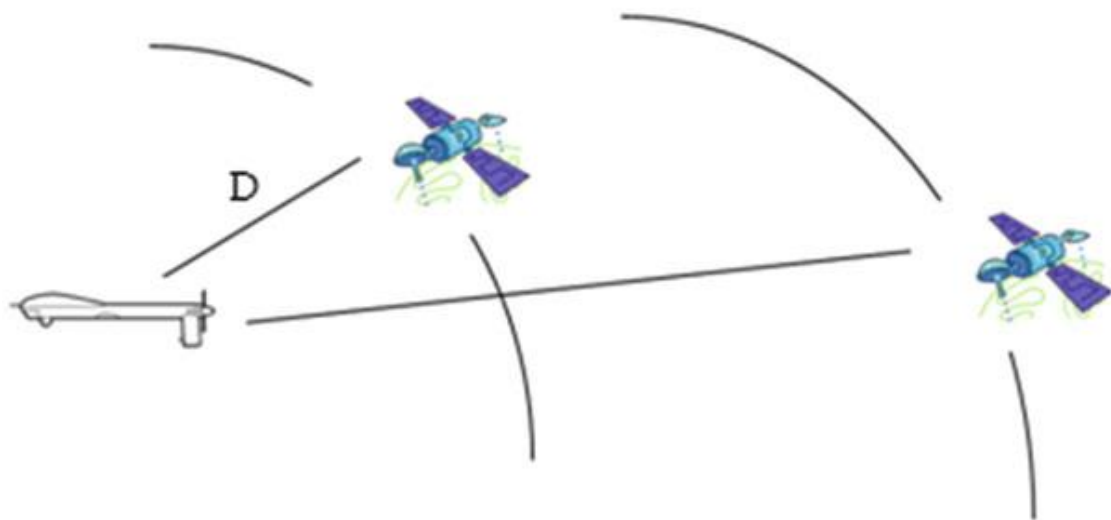


Εικόνα 27. Δορυφορική Ραδιοφωνική Πλοήγηση ενός UAV [39]



Εικόνα 28. Άλλες υπηρεσίες παγκόσμιας πλοήγησης [40]

Ένας δέκτης GPS υπολογίζει τη θέση του με ακριβή χρονισμό των σημάτων που στέλνονται από τους δορυφόρους. Κάθε δορυφόρος GPS μεταδίδει συνεχώς σήματα, τα οποία περιλαμβάνουν τον χρόνο μετάδοσης του μηνύματος, τις ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την τροχιά των δορυφόρων και την γενική κατάσταση του συστήματος. Ο δέκτης χρησιμοποιεί τα μηνύματα που λαμβάνει για τον προσδιορισμό του χρόνου διέλευσης του κάθε μηνύματος και υπολογίζει τις αποστάσεις από τους δορυφόρους. Αυτές οι αποστάσεις, μαζί με τις θέσεις των δορυφόρων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσεως του δέκτη. Τα UAVs μπορούν πλέον να λειτουργούν υπό διάφορες συνθήκες και περιβάλλοντα χρησιμοποιώντας δέκτες GPS. Αυτό επιτρέπει τη χρήση των MALE UAVs (Medium-altitude long-endurance UAV μεσαίου υψόμετρου, υψηλής αντοχής) και HALE UAVs (High-Altitude Long Endurance UAV μεγάλου υψόμετρου, υψηλής αντοχής) σε όλα τα μέρη του κόσμου [28].



Εικόνα 29. Σχέδιο εντοπισμού θέσεως αντικειμένου με μέτρηση της απόστασης [41]

2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τη σχεδίαση ενός UAV

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει αναφορά στο σχεδιασμό του συστήματος ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Ο σχεδιασμός των περισσότερων συστημάτων που βασίζονται σε αεροσκάφη θεωρείται ότι περιλαμβάνει την σχεδιαστική, την προκαταρκτική (prototyping) και την τελική φάση σχεδιασμού. Γενικότερα η σχεδίαση ενός ιπτάμενου οχήματος μπορεί να περιλαμβάνει τους παρακάτω καθοριστικούς παράγοντες:

1. Φορτίο
2. Χρόνος πτήσης και αντοχή
3. Ακτίνα δράσης
4. Δυνατότητα αερομεταφοράς
5. Εύρος Ταχύτητας
6. Εκκίνηση και Ανάκτηση οχήματος
7. Περιβαλλοντικές συνθήκες
8. Συντήρηση [32]

Το μέγεθος και η μάζα του ωφέλιμου φορτίου και η απαίτηση για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος είναι συχνά ο πρώτος καθοριστικός παράγοντας καθορισμού της διάταξης, του μεγέθους και της συνολικής μάζας του αεροσκάφους. Η θέση του ωφέλιμου φορτίου είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συντελεί στη διαμόρφωση και τη διάταξη της ατράκτου. Π.χ. UAV μεγάλων αποστάσεων που θα προορίζεται για επιτήρηση χώρων τότε σίγουρα θα περιέχει ένα ημισφαιρικό οπτικό πεδίο ανίχνευσης και μια μεγάλη σχετικά επιφάνεια για κεραίες. Οι προηγούμενες απαιτήσεις και μόνο καθορίζουν τη θέση του κέντρου μάζας του UAV [32].

Ο απαιτούμενος χρόνος πτήσης του οχήματος μπορεί να διαρκέσει μια ώρα για επιτήρηση κοντινής απόστασης αλλά και περισσότερο από 24 ώρες για σύστημα επιτήρησης μεγάλης εμβέλειας ή για σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης (AEW - Airborne Early Warning). Ο όγκος, η μάζα και η

κατανάλωση του καυσίμου που απαιτείται έχει σχέση με την απαιτούμενη αντοχή και την αεροδυναμική του αεροσκάφους και του κινητήρα του. Η μάζα του μεταφερόμενου καυσίμου μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο το 10% της συνολικής μάζας του UAV αλλά μπορεί να ανέρχεται και στο 50% για UAV με υψηλό χρόνο πτήσεως [32].

Εν συνεχεία του ζητήματος σχετικού με το χρόνο πτήσεως, η ακτίνα δράσης του UAV μπορεί να είναι ποικίλη λόγω της ποσότητας καυσίμου που μπορεί να μεταφέρει, της αποτελεσματικής χρήσης του, της ταχύτητας ή της συχνότητας και της πολυπλοκότητας των επικοινωνιακών συνδέσεων του. Σε ό,τι αφορά βέβαια τις απαιτήσεις αυξημένης ταχύτητας δεδομένων και απόδοσης άλλων ηλεκτρονικών και μηχανικών λειτουργιών του αεροσκάφους, αυτές θα επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση ενέργειας. επίσης, η αυξημένη ακτίνα δράσης θα έχει σημαντική επίδραση στην επιλογή πιο εξελιγμένου εξοπλισμού πλοήγησης αυτού του τύπου των UAVs [32].

Όμως, και το περιβάλλον εκτός των προαναφερθέντων παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση ενός UAV. Καταρχάς, ένα σύστημα το οποίο έχει σχεδιαστεί μόνο για εύκρατες συνθήκες, θα αποτύχει εάν λειτουργήσει σε πιο ακραίες συνθήκες υψόμετρου, θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας, βροχοπτώσεων, υγρασίας και άλλων ατμοσφαιρικών συνθηκών. Σε κρύες και ακραίες συνθήκες ψύχους δε, η απόδοση των μπαταριών αλλάζει άρδην καθώς και οι επιδόσεις των ηλεκτρονικών συσκευών μπορεί να χειροτερεύσουν έως και την παύση λειτουργίας τους. Σε συνθήκες υπερβολικής θερμότητας δε, οι κινητήρες ενδέχεται να χάσουν σημαντικό μέρος της ισχύος τους μέχρι και την ολική κατάρρευση των ηλεκτρονικών συστημάτων (υπερθέρμανση). επίσης, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες όπως η ταχύτητα του ανέμου και οι παραγόμενες αναταράξεις στο πλαίσιο του οχήματος μπορεί να είναι ένας σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό ανθεκτικότερης κατασκευής [42].

Επίσης, ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη νυχτερινή λειτουργία πτήσεως πρέπει να ενσωματώνεται στο σχεδιασμό τόσο του UAV όσο και της επίγειας βάσης ελέγχου του. Ακόμη, το υψόμετρο πτήσεως είτε πρόκειται για 3000m ή 20000m, θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την

περιοχή των περυγίων και θα έχει επίδραση στη διαμόρφωσή τους. Το υπερβολικό υψηλό επίπεδο ακουστικού θορύβου μπορεί να προκαλέσει ενοχλήσεις στις αστικές επιχειρήσεις ενώ μπορεί να οδηγήσει σε μη ηθελημένη ανίχνευση του ιπτάμενου συστήματος σε στρατιωτικές επιχειρήσεις. Η ανεξέλεγκτη μετάδοση ραδιοσυχνοτήτων μπορεί επίσης να έχει ως αποτέλεσμα παρεμβολές ή ανίχνευση του εν λόγω UAV [32].

Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ένα σύστημα UAV είναι λειτουργικό αποτελεί σημαντικό παράγοντα αξιοπιστίας. Περαιτέρω παράγοντες που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά τον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος, αποτελούν τον έλεγχο και την ευθύνη του συστήματος, το κόστος και την δυνατότητα εφοδιασμού του καθώς και το χρόνο που απαιτείται για την αντικατάσταση ελαττωματικών ή φθαρμένων εξαρτημάτων και τη συντήρηση ρουτίνας. Η επίτευξη γρήγορης και επαρκούς προσβασιμότητας σε υποσυστήματα τόσο στα UAV όσο και στον σταθμό ελέγχου του, πρέπει να λαμβάνεται προσεκτικά υπόψιν κατά τον αρχικό σχεδιασμό του [32].

2.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μη επανδρωμένου αεροσκάφους

Θα γίνει αναφορά στη συνέχεια, στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Αυτά αφορούν από δυνατότητες εξαιρετικής απόδοσης με ευελιξία στον προγραμματισμό μέχρι και την χρήση υπό επικίνδυνες συνθήκες. Σε ό,τι αφορά δε τα μειονεκτήματα, δυστυχώς υφίστανται περιορισμοί από την κατανάλωση ενέργειας μέχρι και στην περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς μεγάλων φορτίων [43].

2.5.1. Οφέλη από τη χρήση των drones

Τα πλεονεκτήματα ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους είναι:

- Χαμηλό κόστος (πήσης, συντήρησης)
- Ικανότητα πήσης κοντά στο στόχο
- Ευελιξία προγραμματισμού, σχεδιασμού
- Άμεση εκτέλεση πήσης
- Δυνατότητα κατακόρυφων, πλάγιων και οριζόντιων λήψεων
- Άμεση χρήση δεδομένων
- Χρήση υπό επικίνδυνες συνθήκες
- Εκπαιδευτική αξία
- Επιτήρηση με δυνατότητες λήψης video
- Εντοπισμός στόχων [43]

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν μια σειρά από πλεονεκτήματα. Μειώνουν το χρόνο ανάμεσα στον εντοπισμό ενός στόχου και την επίθεση εναντίον του και γλυτώνουν πολλές ζωές πιλότων σε στρατιωτικές επιχειρήσεις διότι οι πιλότοι καθοδηγούν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη εξ' αποστάσεως. Έτσι ακόμη και αν ένα αεροσκάφος καταρριφθεί δεν θα καθεί ανθρώπινη ζωή. Ένας ακόμη λόγος όπως αναφέραμε είναι το χαμηλό κόστος δηλαδή τα αεροσκάφη αυτά είναι σχετικά φθηνά και είναι εύκολο να κατασκευαστούν. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη κοστίζουν λιγότερο από τα αεροπλάνα. Όπως κάθε ρομπότ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους ρόλους, σε επικίνδυνες και δύσκολες αποστολές, να λειτουργήσουν σε επικίνδυνο περιβάλλον όπως ένα πεδίο μάχης που έχει μολυνθεί από βιολογικά ή χημικά όπλα. Έχει διαπιστωθεί ότι οι άνθρωποι χάνουν σε αποτελεσματικότητα μετά από δέκα έως δώδεκα ώρες συνεχούς εργασίας. Ωστόσο, τα UAVs με συστήματα αυτοπροστασίας και αυτοπροστήριξης αυξάνουν κατά πολύ το επιχειρησιακό διάστημα. Εκτός αυτού αν και ένα ψηφιακό σύστημα μπορεί να αντιδράσει πολύ πιο γρήγορα μπροστά σε έναν ενδεχόμενο κίνδυνο, αυτό που κάνει σημαντικό το ρόλο του είναι η επαναληπτικότητα των αυτόνομων κινήσεών του με μικρή πιθανότητα λάθους ακόμη και μετά από πολλές ώρες λειτουργίας σε σύγκριση με τον άνθρωπο [43].

2.5.2. Αρνητικοί παράγοντες και κίνδυνοι των UAV

Τα μειονεκτήματα ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους είναι:

- Ο χειριστής που χειρίζεται το UAV πρέπει να είναι έμπειρος ώστε να μην καταστρέψει το drone.
- Το χαμηλό υψόμετρο πτήσεως (π.χ. εγκυμονεί πιθανότητες πρόσκρουσης σε διάφορα αντικείμενα)
- Οι περιορισμοί των φορτίων
- Η χρήση εντός εμβέλειας ραδιοσυστημάτων
- Περιορισμοί στην χρήση μπαταρίας
- Καιρικές συνθήκες [43]

Παρά τα εμφανή πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών, πάραυτα υφίστανται πολλά μειονεκτήματα. Ειδικότερα, η μικρή διάρκεια της μπαταρίας είναι ένας σημαντικός περιορισμός. Τα επαγγελματικά εμπορικά drones μπορούν να πετούν κατά μέσο όρο περίπου 25 συνεχόμενα λεπτά. Όσο για τις καιρικές συνθήκες όλα τα αεροσκάφη επηρεάζονται αρνητικά από την υγρασία, τη θερμοκρασία και τους δυνατούς ανέμους [43].



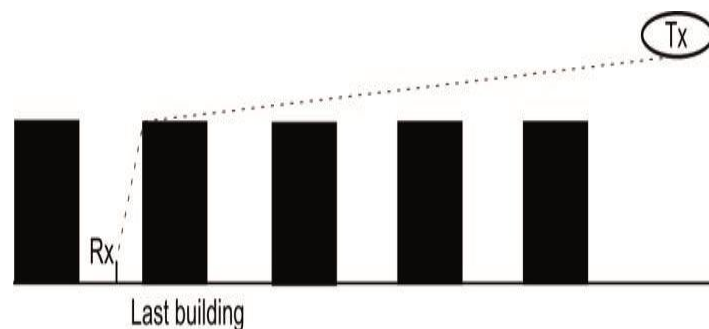
Εικόνα 30. Συντριβή UAV [44]

Κεφάλαιο 3: Χρήση των UAVs για Εξερεύνηση Εναερίου Χώρου

3.1 Σύνδεση UAV και Σταθμού Εδάφους

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά περί της διασύνδεσης μεταξύ ενός UAV και ενός σταθμού εδάφους. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ελέγχονται και λειτουργούν από απόσταση με τη χρήση διαφόρων συχνοτήτων (UHF, VHF) επιδεικνύοντας ένα ικανοποιητικό εύρος ζώνης για την υποστήριξη σχετικά χαμηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων που απαιτούνται για τον τηλεχειρισμό και την τηλεμετρία. Παρόλα αυτά για τη μετάδοση των δεδομένων, χρειάζεται μια ακόμη ασύρματη σύνδεση καθώς η αποθήκευση των δεδομένων επάνω στο όχημα δεν οφείλει παραμόνο αν αυτά μεταδοθούν στο σταθμό βάσης λόγω ανάγκης επεξεργασίας των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real-time processing) [45].

Οι συχνότητες λειτουργίας βρίσκονται στα UHF όπως προαναφέρθηκε όπου κυριαρχούν φαινόμενα όπως η περίθλαση, η ανάκλαση κ.α. Για την ανάπτυξη δε ενός μοντέλου ικανού να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την απώλεια διαδρομής με δεδομένη γεωμετρία, υπάρχει ανάγκη για μοντελοποίηση του ενθόρυβου καναλιού. Τα φαινόμενα ανάκλασης και περίθλασης λαμβάνονται προφανώς υπόψιν για την δημιουργία του μοντελοποιημένου καναλιού. Αυτό το μοντέλο πρέπει να περιγράφει τα αναμενόμενα επίπεδα εξασθένησης όταν π.χ. ο σταθμός ελέγχου ευρίσκεται σε αστικές περιοχές και ειδικότερα σε επίπεδο δρόμου.



Εικόνα 31. Γεωμετρία ασύρματου καναλιού μεταξύ UAV και σταθμού εδάφους [46]

3.2 UAV ως βάση σε θέματα εθνικής ασφάλειας

Σήμερα, οι κύριες εφαρμογές μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων αφορούν στρατιωτικές επιχειρήσεις. Τα περισσότερα στρατιωτικά μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιούν συστήματα κυρίως για τη συλλογή πληροφοριών, για επιτήρηση, αναγνώριση (ISR - Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) και επιθέσεις. Η επόμενη γενιά των UAVs θα εκτελεί πιο πολύπλοκες αποστολές με τη χρήση τεχνητής εφυσίας όπως εναέριες μάχες, εντοπισμό στόχων, αναγνώριση και καταστροφή, επίθεση και εξουδετέρωση αεροάμυνας του εχθρού, ηλεκτρονικό πόλεμο και ανεφοδιασμό [45]. Τα, και αναμετάδοση επικοινωνιών καθώς και εναέρια παράδοση UAVs ήδη χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στον τομέα της ασφάλειας. Οι βασικές εφαρμογές των drones που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ασφάλειας είναι:

- Αστυνομικές επιχειρήσεις σε αστικό ή μη αστικό περιβάλλον
- Επιτήρηση περιβάλλοντος νοσοκομείων και εγκαταστάσεων πάρκινγκ
- Επίβλεψη κυβερνητικών κτηρίων και περίπολοι περιμέτρου
- Καταδίωξη ή και παρακολούθηση υπόπτων σε περιοχές ακόμη και με πυκνή βλάστηση
- Επίβλεψη χώρων εργοστασίων και κρίσιμων υποδομών (π.χ. σταθμοί ενέργειας)
- Επιτήρηση δρόμων με μεγάλη κυκλοφορία οχημάτων
- Παρακολούθηση ύποπτης δραστηριότητας σε νυχτερινές ώρες κατόπιν ενεργοποίησης συναγερμού [47]

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρακολούθηση γίνεται πιο εύκολη ακόμη και τη νύχτα με την ενσωμάτωση θερμικών καμερών στα UAV. επίσης, ένα drone μπορεί να μεταβεί σε ένα σημείο που θα εντοπιστεί μια ύποπτη δραστηριότητα πολύ πιο γρήγορα από ό,τι ένας πεζός και μάλιστα να συνεχίσει να παρακολουθεί το χώρο και τις κινήσεις κάποιου εισβολέα με ακρίβεια χωρίς να γίνει αντιληπτό. Επομένως, τα drones μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμο σύμμαχο σε ομάδες αντιμετώπισης επειγόντων περιστατικών [47].

3.3 Εμπορική χρήση

Ένας χώρος στον οποίο τα drones λαμβάνουν μεγάλη αναγνώριση και στον οποίο διεξάγεται μεγάλη έρευνα τα τελευταία χρόνια είναι ο εμπορικός. Η χρήση των UAVs μελετήθηκε και εφαρμόστηκε αρχικά για στρατιωτική χρήση και όχι για δημόσια. Ειδικότερα, η εμπορική τους χρήση μπορεί να αποβεί πολύ δαπανηρή καθώς επιβάλλεται η επίλυση σοβαρών προβλημάτων. Υπάρχουν θέματα αναγνώρισης τοποθεσίας, δρομολόγησης και συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων drones ώστε να αποφεύγονται συγκρούσεις και π.χ. με την γρήγορη και ασφαλή παράδοση των εμπορευμάτων [14].

Πολλές εταιρείες έχουν σκοπό να δαπανήσουν πολλά χρήματα στην εμπορική χρήση των drones. Κάποιες εταιρείες είναι η Amazon, η DHL, η Uber, η Apple, η Microsoft και η Google που αποτελούν τους ηγέτες σε αυτόν το τομέα. Ειδικότερα, η Amazon υπόσχεται παράδοση μικρών εμπορευμάτων σε χρόνο μικρότερο των 30 λεπτών. Πρόκειται για μια υπηρεσία που η δράση της ξεκινά από τις αποθήκες της Amazon όπου μικρά δέματα τοποθετούνται πάνω σε UAVs (σε ειδικά διαμορφωμένους αποθηκευτικούς χώρους). Στη συνέχεια, τα drones αναχωρούν από την αποθήκη μεταφέροντας το δέμα προς την τοποθεσία παραλαβής με τη χρήση GPS. Στη συνέχεια απελευθερώνει το δέμα κοντά στην πόρτα του πελάτη και τέλος επιστρέφει στην αποθήκη της εταιρείας. Όλη η διαδικασία λαμβάνει χώρα χωρίς να παρεμβαίνει ο ανθρώπινος παράγοντας. Σύμφωνα με την Amazon πάνω από το 80% των αποστολών που πραγματοποιεί αφορά δέματα με βάρος μικρότερο των 5Kg καθιστώντας δυνατή την παράδοσή τους με τη χρήση drones. Εκτός από την Amazon, η DHL επιχειρεί σε όλη τη Γερμανία και κάνει αποστολές δεμάτων με drones [14].

Σε ό,τι αφορά δε την αποφυγή της σύγκρουσης μεταξύ διαφόρων εναερίων οχημάτων, οι εταιρείες έχουν αναπτύξει αλγόριθμους αυτοπροστασίας και ανίχνευσης του περιβάλλοντος ώστε να θεωρούνται πλήρως αυτόνομα. Πολλοί αλγόριθμοι έχουν προταθεί για να αποτελέσουν τη βάση σχεδιασμού αρκετά εξελιγμένης συμπεριφοράς αποφυγής

ατυχημάτων αλλά μόνο λίγοι πετυχαίνουν τον προαναφερθέντα στόχο. Το θέμα αυτό εμποδίζει την εμπορική χρήση των UAVs και σε άλλες εφαρμογές διότι πετούν αυτόνομα και πάραυτα υπάρχει περίπτωση πρόκλησης ατυχημάτων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παγκόσμια αγορά drones για εμπορική χρήση παίρνει διαστάσεις υπολογίσιμης δύναμης στον κλάδο της τεχνολογίας και σύμφωνα με έρευνες, έως το 2020 η αγορά τους θα τριπλασιαστεί σε όγκο. Στην Ευρώπη, έως το 2035 τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη θα απασχολούν άμεσα πάνω από 100.000 άτομα και θα υπάρχει οικονομικό όφελος άνω των 10 δισεκατομμυρίων ευρώ κυρίως. Συνεπώς, η αγορά των drones αντιπροσωπεύει ήδη ένα ταχέως αναπτυσσόμενο τομέα με μεγάλες δυνατότητες για δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και οικονομικής ανάπτυξης. Βέβαια όλες οι εταιρείες πρέπει να τηρούν όλους τους κανόνες αερομεταφοράς. Σε αυτό το πλαίσιο, η Επιτροπή των Μόνιμων Αντιπροσώπων του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου ενέκρινε την συμφωνία που συνήφθη από το Κοινοβούλιο στις 29 Νοεμβρίου σχετικά με τους αναθεωρημένους κοινούς κανόνες ασφαλείας για την πολιτική αεροπορία. Η μεταρρύθμιση περιλαμβάνει κανόνες για τα μη στρατιωτικά αεροσκάφη ώστε να κινούνται με ασφάλεια στον εναέριο χώρο [14].

3.4 Αεροφωτογράφιση και Συλλογή Δεδομένων με UAV

Ο όρος αεροφωτογραφία αναφέρεται σε εικόνες από φωτογράφιση της επιφάνειας της Γης, οι οποίες λαμβάνονται είτε από ελικόπτερα, αεροπλάνα και αερόστατα, είτε από διαστημόπλοια και UAVs. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά μιας αεροφωτογραφίας είναι ο αύξοντας αριθμός, η ημερομηνία και ώρα λήψης, η εστιακή απόσταση, το ύψος πτήσης, η κλίμακα, κα τα εικονοσημεία. Κάθε αεροφωτογραφία διακρίνεται από ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Αυτά είναι η εστιακή

απόσταση, η έκθεση, και οι φακοί. Η αεροφωτογράφιση από μικρό ύψος (70-100 μέτρα) προσφέρει πολύ υψηλής ευκρίνειας [10].

Ανάλογα με τον προσανατολισμό οι αεροφωτογραφίες διακρίνονται στις κατακόρυφες όπου ο οπτικός άξονας της φωτογραφικής μηχανής είναι κατακόρυφος, στις κεκλιμένες των οποίων ο οπτικός άξονας είναι κεκλιμένος ως προς την κατακόρυφο και η κλίση φτάνει μέχρι και 45 μοίρες, και τέλος στις πλάγιες αεροφωτογραφίες των οποίων η κλίση είναι μεγαλύτερη από 45 μοίρες. Οι αεροφωτογραφίες διακρίνονται στις ασπρόμαυρες, στις υπέρυθρες, στις έγχρωμες και στις έγχρωμες υπέρυθρες. Οι ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες είναι χρήσιμες κυρίως για χαρτογραφήσεις και φωτοερμηνεία. Από την άλλη πλευρά η καταγραφή των υπέρυθρων αεροφωτογραφιών γίνεται συνήθως σε μήκη κύματος $\lambda=0,6-0,9\mu\text{m}$. Οι έγχρωμες αεροφωτογραφίες αποτελούν πολύ χρήσιμες εικόνες καθώς απεικονίζουν με απόλυτα πιστό τρόπο τα ορατά χρώματα που συναντώνται στη φύση. Τέλος, οι έγχρωμες υπέρυθρες φωτογραφίες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς. Η καταγραφή των αεροφωτογραφιών γίνεται σε μήκη κύματος $\lambda=0,3-0,9\mu\text{m}$. Ανάλογα με τους φακούς διακρίνονται σε τρεις διαφορετικούς τύπους που είναι ο υπερευρυγώνιος, ο ευρυγώνιος και ο κανονικός [10].

Οι αεροφωτογραφίες δύναται να εμπεριέχουν μεγάλο αριθμό σφαλμάτων. Η ύπαρξη σφαλμάτων πρόερχονται κατά κύριο λόγο από τις παραμορφώσεις της κλίμακας μεγέθους και τις μετατοπίσεις των εικονοσημείων.

Οι αεροφωτογραφίες ανάλογα με την κλίση του οπτικού άξονα της φωτογραφικής μηχανής διακρίνονται σε:

- Κατακόρυφες (όταν η διεύθυνση του οπτικού άξονα ταυτίζεται με την κατακόρυφο ή έχουμε κλίση έως 5 μοίρες)
- Λίγο πλάγιες (κλίση από 5 έως 30 μοίρες)
- Πλάγιες (κλίση από 30 έως 60 μοίρες)
- Οριζόντιες (οπτικός άξονας επί οριζοντα)
- Ζενίθιες (όταν ο άξονας κατευθύνεται προς το ζενίθ) [5]

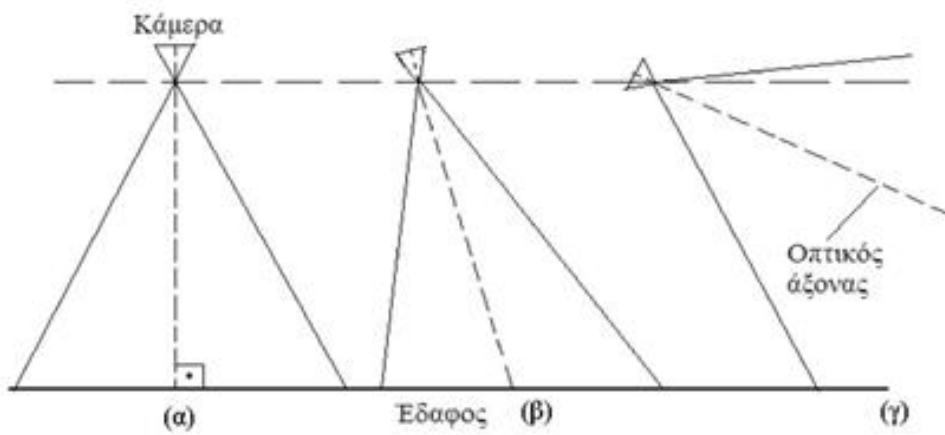
Στη συνέχεια αναφέρονται τα πλεονεκτήματα ανάλογα με την κλίση του οπτικού άξονα. Ειδικότερα για κατακόρυφες αεροφωτογραφίες ισχύει ότι:

- Υπάρχει σχεδόν ομοιόμορφη κλίμακα σε όλη την έκταση της φωτογραφίας, σε αντίθεση με τις πλάγιες αεροφωτογραφίες όπου η κλίμακα μεταβάλλεται τοπικά. Η σταθερή κλίμακα διευκολύνει τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς πάνω στη φωτογραφία και οι απαιτούμενες διορθώσεις είναι πιο εύκολα πραγματοποιήσιμες σε σχέση με αυτές των πλάγιων αεροφωτογραφιών, καθώς βασίζονται σε απλούστερους μαθηματικούς τύπους.
- Λόγω της σταθερής κλίμακας, η ερμηνεία των κατακόρυφων αεροφωτογραφιών είναι ευκολότερη από αυτή των πλάγιων. Επί πλέον, στις κατακόρυφες αεροφωτογραφίες, αντικείμενα μεγάλου ύψους όπως κτίρια δεν καλύπτουν άλλα αντικείμενα στο βαθμό που συμβαίνει στις πλάγιες αεροφωτογραφίες.
- Η στερεοσκοπική μελέτη είναι πιο αξιόπιστη στην κατακόρυφη σε σύγκριση με την πλάγια αεροφωτογραφία [48].

Όμως οι πλάγιες αεροφωτογραφίες παρουσιάζουν και εκείνες με τη σειρά τους τα δικά του πλεονεκτήματα:

- Η πλάγια αεροφωτογραφία καλύπτει μεγαλύτερη επιφάνεια σε σύγκριση με την κατακόρυφη για το ίδιο ύψος κάμερας και την ίδια εστιακή απόσταση.
- Η κάλυψη από νέφη αποτρέπει τη λήψη καθαρών κατακόρυφων αεροφωτογραφιών, όχι όμως και στην περίπτωση της λήψης πλάγιων αεροφωτογραφιών. Επίσης, αντικείμενα που είναι κάτω από άλλα αντικείμενα μεγαλύτερων διαστάσεων, μπορούν να διακριθούν σε μια πλάγια αλλά όχι σε μια κατακόρυφη αεροφωτογραφία. Ακόμα, ράχες ή σπήλαια δεν διακρίνονται ευκρινώς σε κατακόρυφη αεροφωτογραφία όταν βρίσκονται ακριβώς στην κατακόρυφο της κάμερας.
- Οι πλάγιες αεροφωτογραφίες χρησιμοποιούν κάμερες χαμηλού κόστους.
- Ο υπολογισμός υψών από πλάγιες αεροφωτογραφίες είναι ακριβέστερος σε σύγκριση με τις κατακόρυφες [48].

Ταξινόμηση με βάση την κλίση



Κατακόρυφη (α), χαμηλή πλάγια (β) και υψηλή πλάγια (πανοραμική) αεροφωτογραφία (γ).

Εικόνα 32. Ταξινόμηση με βάση την κλίση ενός UAV [49]



Εικόνα 33. Ασπρόμαυρη Αεροφωτογραφία [50]

Αεροφωτογραφίες Οικισμών



- Ανάλυση pixel εικόνων (4-10 cm/pixel) αποτύπωση οικισμών παραγωγή διαγραμμάτων κλίμακας $\geq 1: 500$



Εικόνα 34. Αεροφωτογραφίες Οικισμών [51]

Κεφάλαιο 4: Εφαρμογές των UAV

4.5 Εφαρμογές των UAV σε διάφορους τομείς

Οι διευρυμένες υπηρεσίες που προσφέρει ένα UAV είναι:

- Αποτυπώσεις υψηλής ακρίβειας περιοχών (2D/3D)
- Κτηματολογικές αποτυπώσεις
- Βιντεοσκοπήσεις
- Παρακολούθηση εργοταξιακής προόδου
- Εφαρμογές γεωργίας (εντοπισμός ασθενειών, έλεγχος λιπάνσεων, καταγραφή ζημιών)
- Επιθεωρήσεις τεχνικών έργων (κτίρια, γέφυρες, δίκτυα υψηλής τάσης, σιδηροδρομικές μεταφορές, δίκτυα κοινής ωφέλειας) και ενεργειακών εγκαταστάσεων (φωτοβολταϊκά panels, αιολικά πάρκα)
- Αποτυπώσεις και υπολογισμός όγκων ορυχείων
- Ανάδειξη και τεκμηρίωση πολιτιστικών χώρων (αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία)
- Παρακολούθηση ΧΥΤΑ
- Παρακολούθηση και συστηματική καταγραφή χρήσεων γης
- Περιβαλλοντικές εφαρμογές (έλεγχος διατήρησης περιβαλλοντικών ορίων, εντοπισμός εστίας πυρκαγιάς, ανίχνευση δηλητηριωδών αερίων, καταγραφή της ρύπανσης ακτών)
- Χαρτογράφηση θερμοκρασιακών διαφοροποιήσεων (αστικό και βιομηχανικό περιβάλλον)
- Παρακολούθηση ακραίων φαινομένων και καταγραφή των καταστρεπτικών αποτελεσμάτων τους (καταστροφές, πλημμύρες και καταιγίδες)
- Ασφάλεια – παρακολούθηση ακτογραμμής και συνόρων
- Επιθεώρηση γραμμών υψηλής τάσεως [52]

4.6 Χαρτογράφηση-Φωτογραμμετρία

Τα UAVs είναι ένας απαραίτητος βοηθός σε πολλές εργασίες - χαρτογραφήσεις. Με την ενσωμάτωση ελαφριών φωτογραφικών μηχανών πάνω στο drone και τη συμβολή του GPS, καθίσταται δυνατή η συγκέντρωση ψηφιακής πληροφορίας για μια δεδομένη περιοχή. Η λήψη φωτογραφιών γίνεται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Εν συνεχεία ειδικοί επεξεργάζονται τις φωτογραφίες από το UAV και λαμβάνοντας υπόψη την κλίμακα μέτρησης και τις σωστές γεωγραφικές συντεταγμένες σχηματίζουν εντέλει μια ολοκληρωμένη εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος. Το γεγονός ότι μπορεί να μην απαιτείται μετάδοση πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο διευκολύνει το έργο των UAVs καθώς δεν επιβαρύνονται με επιπλέον εξοπλισμό για την άμεση μετάδοση πληροφορίας. Κατά αυτό τον τρόπο τα drones παρέχουν μια πιο οικονομική λύση για χαρτογράφηση περιοχών ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από τις τοπικές αρχές χωρίς να εξαρτώνται από μεγάλες υπηρεσίες χαρτογράφησης [53].

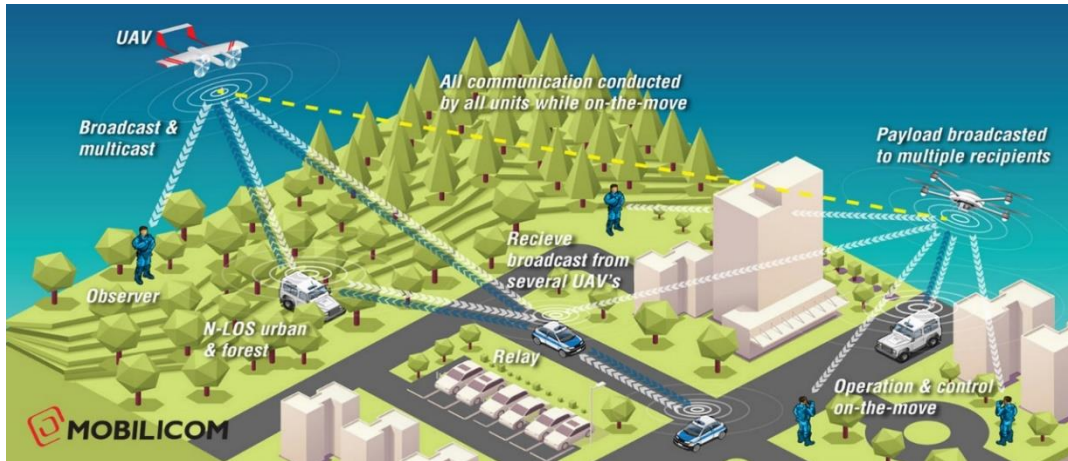
Πρέπει όμως να γίνει αναφορά στον όρο φωτογραμμετρία. Η ψηφιακή φωτογραμμετρία λειτουργεί με τη λήψη φωτογραφιών του αντικειμένου ή του χώρου από πολλές και διαφορετικές τοποθεσίες με τη χρήση ψηφιακών καμερών. Έπειτα, γίνεται επεξεργασία των εικόνων αυτών με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού ώστε να καθοριστούν οι ακριβείς τοποθεσίες από τις οποίες έγινε η λήψη των φωτογραφιών. Όταν υπολογιστούν οι τοποθεσίες, εξειδικευμένο λογισμικό ελέγχει για κοινά σημεία μεταξύ δύο ή και περισσότερων φωτογραφιών για να καθοριστεί η θέση των αντικειμένων στον τριδιάστατο χώρο. Η δημιουργία τριδιάστατων χαρτών με την χρήση της αέριας φωτογραμμετρίας επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση της κάμερας στο UAV, με προσανατολισμό συνήθως κάθετα προς το έδαφος. Σε περιπτώσεις τριδιάστατης αποτύπωσης μνημείων ή αγαλμάτων η κάμερα τοποθετείται οριζόντια στο drone. Κατά τη μέθοδο αυτή, λαμβάνονται πολλαπλές επικαλυπτόμενες φωτογραφίες του εδάφους ή του μοντέλου από το UAV σε σημεία αναφοράς τα οποία βρίσκονται πάνω σε μια προκαθορισμένη πορεία που ακολουθεί το UAV.

Η πτήση είναι αυτόνομη καθώς δεν θα ήταν δυνατή η επίτευξη τόσο υψηλών επιπέδων επικάλυψης σε αντίθετη περίπτωση. Το γεγονός αυτό είναι που καθιστά τελικώς απαραίτητη τη χρήση του UAV. Η φωτογραμμετρία έχει όμως τα θετικά της και τα αρνητικά της αποτελέσματα. Κάποια από τα πλεονεκτήματα που έχει είναι ο πολύ φθηνός εξοπλισμός της, η καλύτερη οπτική αναπαράσταση σε επιφάνειες υψής, οι δυνατότητες αναβάθμισης του λειτουργικού συστήματος επεξεργασίας όποτε δεν χρειάζεται καινούργιος εξοπλισμός για να ανταπεξέλθει σε νέες απαιτήσεις αποτύπωσης. Τα μειονεκτήματα που έχει είναι οι περιορισμοί ανάλυσης λόγω των φακών που χρησιμοποιούν οι κάμερες προκειμένου να διατηρήσουν την διαύγεια των αντικειμένων σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης μειονέκτημα αποτελούν και οι λιγότερες αυτοματοποιημένες διαδικασίες που οδηγούν σε μεγαλύτερα σφάλματα μέτρησης καθώς γίνεται μεγαλύτερη επεξεργασία δεδομένων από τον χρήστη με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλη εξειδίκευση για επίτευξη μικρότερων σφαλμάτων με συνεπακόλουθο τον περισσότερο χρόνο που θα τη λήψη χωρικών μετρήσεων [53].

Η χρήση των μεθόδων φωτογραμμετρίας με τη βοήθεια των Drones και της μεθόδου LiDAR γίνεται όλο και πιο συχνή. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη γιατί η ενσωμάτωση του GPS σε UAV καθιστά εφικτή την σάρωση περιοχών και φθηνότερη συγκριτικά με την χρήση κάποιου αεροσκάφους που έχει ενσωματωμένο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την φωτογραμμετρία. Με αυτό τον τρόπο γίνεται δυνατή η σάρωση μεγάλων περιοχών με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Η τεχνική LiDAR αποτελεί μία πρωτοποριακή και ισχυρή μέθοδο παρατήρησης και αποτύπωσης του χώρου. Ο τρόπος λειτουργίας της τεχνικής αυτής στηρίζεται στην εκπομπή παλμών ακτινοβολίας laser στην ατμόσφαιρα και έπειτα στη συλλογή της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή συγκεντρώνεται και μεταφέρεται στο σύστημα συλλογής δεδομένων που καταγράφει και αναλύει τα σήματα LiDAR. Με τη χρήση της τεχνικής αυτής εντοπίζονται και αποτυπώνονται τα εμπόδια στα οποία προσπίπτουν οι παλμοί ακτινοβολίας [53].

Για την 3D απεικόνιση χώρων και αντικειμένων είναι αναγκαίο να γνωρίζει κανείς την καλύτερη μέθοδο αφού λάβει υπόψη διαφόρους παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες είναι η ακρίβεια, ο χώρος, ο χρόνος, το μέγεθος του αντικειμένου και φυσικά το κόστος. Δυο μέθοδοι για την 3D απεικόνιση είναι η χρήση laser και η φωτογραμμετρία που αναφέραμε. Με τη βοήθεια της μεθόδου LiDAR το UAV μπορεί να σαρώσει εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα στη διάρκεια μίας και μόνο ημέρας. Η ακρίβεια των μετρήσεων επιτρέπει τη δημιουργία μοντέλων τριών διαστάσεων [54]. Η χρήση της φωτογραμμετρίας και της μεθόδου LiDAR από drones έχει τη δυνατότητα να προσφέρει πληροφορίες για τη δημιουργία μοντέλων σε αρκετούς τομείς ενδιαφέροντος όπως:

- Μοντέλα εδάφους: DEM (Digital Elevation Model), για την υψομετρική απεικόνιση κάποιας επιφάνειας, DSM (Digital Surface Model) και DTM (Digital Terrain Model) για την 3D απεικόνιση μιας περιοχής.
- Ορθοφωτογραφία (γεωμορφολογικά διορθωμένες εναέριες εικόνες).
- 3D μοντέλα κτιρίων.
- Δημιουργία χαρτών με περιγράμματα.
- Δημιουργία χαρτών με λεπτομέρειες όπως άκρες δρόμων και ύψη.
- 3D αποτύπωση βλάστησης.
- 3D αποτυπώσεις ερευνών [53].



Εικόνα 35. Χαρτογράφηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών [55]



Εικόνα 36. Χαρτογράφηση από Τετρακόπτερο drone [56]



Εικόνα 37. Ελληνικό UAV [57]

Drones showcase at Paris Air Show

Aerospace companies from the U.S., Europe and Israel will exhibit some of the latest unmanned aerial technology at the 51st Paris Air Show

MALE UAS: Airbus, Dassault and Finmeccanica seeking to build next generation drone to meet European armed forces' requirements. Israel discussing cooperation on project

MALE = Medium-altitude long-endurance

Predator B "Guardian": Unarmed, extended-range maritime patrol variant of U.S. Air Force's combat-proven MQ-9 Reaper. Endurance 27 hours

UAV = Unmanned Aerial System

Drones not to scale

SeaVue marine surveillance radar in ventral radome

Predator C "Avenger": Stealthy, jet-powered drone under development, capable of long-range reconnaissance and precision strike missions

Predator XP ▲ Unarmed, export version of MQ-1 Predator

Advanced Cockpit GCS ► Ground control station for remote piloting of Predator drones

Watchkeeper: Modified version of Israeli-made Hermes 450 ▼

Sources: Aviation Week, Airbus, General Atomics Picture: General Atomics © GRAPHIC NEWS

Εικόνα 38. Κατασκευασμένα UAVs από διάφορες χώρες [58]

Κεφάλαιο 5: Προβλήματα-Προτάσεις

5.5 Προβλήματα-Λύσεις των UAV

Τα UAVs με την ταχεία ανάπτυξή τους τα τελευταία χρόνια εκτός από τις χρήσιμες εφαρμογές που παρέχουν, παρουσιάζουν και κάποια σημαντικά προβλήματα. Κάποια από αυτά επηρεάζουν και τον άνθρωπο σε μεγάλο βαθμό. Ένα από τα προβλήματα που αφορά τον ανθρώπινο παράγοντα είναι η προστασία της ιδιωτικής ζωής. Η τεχνολογία των drones παρέχει πρόσβαση σε περιοχές που δεν ήταν προσβάσιμες από υπηρεσίες επιβολής του νόμου και μη, χωρίς άδεια, θέτοντας έτσι ζητήματα προστασίας των προσωπικών δεδομένων [59].

Ωστόσο τα UAV έχουν και τον περιορισμό σε ότι αφορά τον εναεριο χώρο. Συγκεκριμένα, έχουν διαμορφωθεί νομοθετικοί περιορισμοί. Η δημόσια συζήτηση που αφορά την προστασία της ιδιωτικής ζωής και ασφάλειας έχει φέρει σε νομοθετικό περιορισμό τη χρήση των drones. Η χρησιμοποίηση των drones στις χώρες της Ευρώπης επί του παρόντος, καθορίζεται από τους κανονισμούς που έχουν θεσπίσει οι εθνικές Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας/ΥΠΑ, οι οποίες και διατηρούν την ευθύνη και την αρμοδιότητα να εκδίδουν άδειες χρησιμοποίησης των εναερίων χώρων τους. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εκδώσει τις κατευθυντήριες οδηγίες αλλά δεν παρεμβάλλεται στις εθνικές υπηρεσίες. Μερικές υπηρεσίες των κρατών της Ευρώπης έχουν εκδώσει τις απαραίτητες οδηγίες και διατάξεις παράλληλα με κάποιες άλλες που βρίσκονται στη φάση έκδοσης τέτοιων διατάξεων ενώ κάποιες άλλες δεν έχουν καν θέσει το θέμα προς συζήτηση σε αρμόδιους κρατικούς μηχανισμούς τους [60]. Οι κεντρικές κατευθύνσεις της πλειοψηφίας των κρατών της Ευρώπης που έχουν εκδώσει οδηγίες για τα drones, είναι ότι η πτήση ενός drone μικτού βάρους μικρότερου των 25 κιλών πρέπει να γίνεται με οπτική επαφή με τον χειριστή του σε ένα ύψος μικρότερο των 500 ποδών περίπου. Στην πράξη η εφαρμογή των ανωτέρω θεσμικών ρυθμίσεων παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες στον τομέα της διαχείρισης

των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης με την υποστήριξη των drones. Στις ΗΠΑ, αν και έχουν υπάρξει αρκετές σοβαρές περιπτώσεις όπου τα UAVs έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις καταστροφών από άλλες χώρες, διστάζουν να τα χρησιμοποιήσουν λόγω των κανονιστικών και νομοθετικών περιορισμών στο εσωτερικό της χώρας.

Σε ό,τι αφορά τη δημόσια ασφάλεια, υπάρχουν μεγάλες καθυστερήσεις στην εφαρμογή των κανονισμών στην πτήση drones. Η ένταξή τους στο Εθνικό Σύστημα Εναέριου Χώρου είναι ένα βασικό πρόβλημα αφού συχνά παρεμβαίνουν στην εναέρια κυκλοφορία δημιουργώντας μια σειρά δυσλειτουργιών. Άλλωστε, η εισαγωγή κάθε νέας τεχνολογίας ή διαδικασίας απαιτεί μια ολοκληρωμένη ανάλυση ασφαλείας πριν να επιτραπεί οποιαδήποτε αλλαγή στο νομοθετικό πλαίσιο [59].

Υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος από τη χρήση των drones όπως η απότομη πτώση, ζημιά στις προπέλες του, σύγκρουση δύο αεροσκαφών ή απλά αστοχία του υλικού. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της πυρκαγιάς στο San Gabriel της Καλιφόρνιας το 2016, η οποία έκαψε περισσότερα από 5.200 στρέμματα, εκατοντάδες κάτοικοι εκκένωσαν τις οικίες τους και 900 πυροσβέστες επιχειρούσαν στην περιοχή. Στις 26-6-2016 τα επανδρωμένα οχήματα εγκατέλειψαν τις επιχειρήσεις πυρόσβεσης λόγω της επικινδυνότητας που υπήρχε από την ανεξέλεγκτη πτήση ιδιωτικών drones στην περιοχή [59].

Παράλληλα, η τεχνολογία των drones συχνά υστερεί στην απόκρισή τους σε δύσκολες καιρικές συνθήκες. Η πρόκληση ζημιάς μπορεί να είναι ο κύριος στόχος σε περιπτώσεις που αφορούν τρομοκρατικές ενέργειες ή Hacking. Στην πραγματικότητα, το μεγαλύτερο μέρος της τεχνολογίας που αναπτύχθηκε για μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι σχεδιασμένο για τεχνητή νοημοσύνη, επιτήρηση και αναγνώριση και αυτή η τεχνολογία μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί και να εφαρμοστεί προς χρήση σε καιρό ειρήνης και ιδίως σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης προς όφελος του πληγέντος πληθυσμού [47].

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση δασικών πυρκαγιών, τόσο στην ανίχνευση, τον εντοπισμό, την παρατήρηση της πυρκαγιάς όσο και στην

παρακολούθηση, την επιτήρηση και τον έλεγχο της επέμβασης των αναζωπυρώσεων της περιμέτρου και της κατευθυντικότητας της πυρκαγιάς σε πραγματικό χρόνο.

Πολλές εφαρμογές απαιτούν διάφορους αισθητήρες που δεν μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα και μόνο drone λόγω των υφιστάμενων περιορισμών του ωφέλιμου φορτίου. Η ερευνητική κοινότητα τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να καταβάλλει σημαντικές προσπάθειες για την υποστήριξη της πυροπροστασίας με τη χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Υπήρξε σχεδιασμός ενός συστήματος πυροπροστασίας με χρήση drones με ενσωματωμένους αισθητήρες με υπέρυθρη όραση και γενετικό αλγόριθμο για την ανίχνευση δασικών πυρκαγιών, εκπέμποντας σήμα συναγερμού σε περίπτωση πυρκαγιάς [47].

Εκτός από τους δασικούς κινδύνους υπάρχουν και οι βιολογικοί. Ένα ξέσπασμα μεταδοτικής νόσου με υψηλό ποσοστό θνησιμότητας είναι ένας άλλος τύπος επικινδυνότητας. Π.χ. σε περίπτωση που μια περιοχή είναι σε καραντίνα που οφείλεται σε νόσο, τα drones θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να προσφέρουν εξοπλισμό και φάρμακα σε αυτούς που βρίσκονται στην ελεγχόμενη περιοχή χωρίς να εκθέσουν μη μολυσμένα άτομα σε πιθανούς βιολογικούς κινδύνους [47].

Τα drones είναι επίσης πολύ αποτελεσματικά και σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος ή διαρροών επικίνδυνων υλικών και μπορεί να είναι και τα μόνα εργαλεία για την αποτελεσματική υποστήριξη της διαχείρισης τέτοιου είδους καταστροφών. Βιομηχανικές εγκαταστάσεις που έχουν πληγεί από μια φυσική ή άλλου είδους καταστροφή παρουσιάζουν σοβαρές πιθανότητες τοξικών κινδύνων για την ανθρώπινη ζωή και το περιβάλλον. Αυτοί οι κίνδυνοι μπορεί να περιορίζονται είτε στην ίδια εγκατάσταση ή να εξαπλώνονται πέρα από τα όρια της εγκατάστασης στην ευρύτερη περιοχή λόγω των καιρικών συνθηκών. Οι κύριες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό ετοιμότητας σχετικά με τις πτήσεις των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στον τομέα των τεχνολογικών ατυχημάτων είναι [61]:

- Χρήση διαφόρων ειδών αισθητήρων αερίων για τον εντοπισμό των κινδύνων όπως το φυσικό αέριο ή άλλες χημικές διαρροές.
- Έγκαιρη και ακριβής ταυτοποίηση της κατεύθυνσης της εξάπλωσης των ανεπιθύμητων υγρών ή αερίων υλικών.
- Αναζήτηση παγιδευμένων ατόμων.
- Υφίσταται αμελητέα απειλή των πιλότων των drones στη φάση της παρέμβασης αφού οι θέσεις απογείωσης και προσγείωσης είναι μακριά από τη μολυσμένη περιοχή.
- Εύρεση κατάλληλων ελεύθερων και ασφαλών χώρων για την προσωρινή στέγαση των πληγέντων.
- Εύρεση βέλτιστων διαδρομών πρόσβασης στις πληγείσες περιοχές για παροχή βοήθειας.
- Επιτήρηση των περιοχών που έχουν εκκενωθεί για την διασφάλιση της επιβολής του νόμου προς αποφυγή φαινομένων λεηλασιών.
- Παράδοση προμηθειών ανακούφισης και αρωγής πληγέντων.
- Παροχή μετεωρολογικών πληροφοριών [62].
- Παροχή βοήθειας στον τομέα της υγείας με έγκαιρη επέμβασή τους.

Εν κατακλείδι, τα προβλήματα που μπορούν να επιληφθούν τα UAV είναι πολλά και διακρίνονται σε τομείς όπως:

- Βιομηχανικά-Πυρηνικά Ατυχήματα
- Βιολογικοί κίνδυνοι
- Δασικές πυρκαγιές
- Δημόσια ασφάλεια
- Προστασία της ιδιωτικής ζωής
- Επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης
- Ταχεία Χαρτογράφηση-Εκτίμηση βλαβών και επιπτώσεων της καταστροφής και αρωγής πληγέντων
- Κίνδυνοι για τα ζώα και για το φυσικό περιβάλλον [62]

5.6 Προτάσεις για την εξέλιξη των UAV

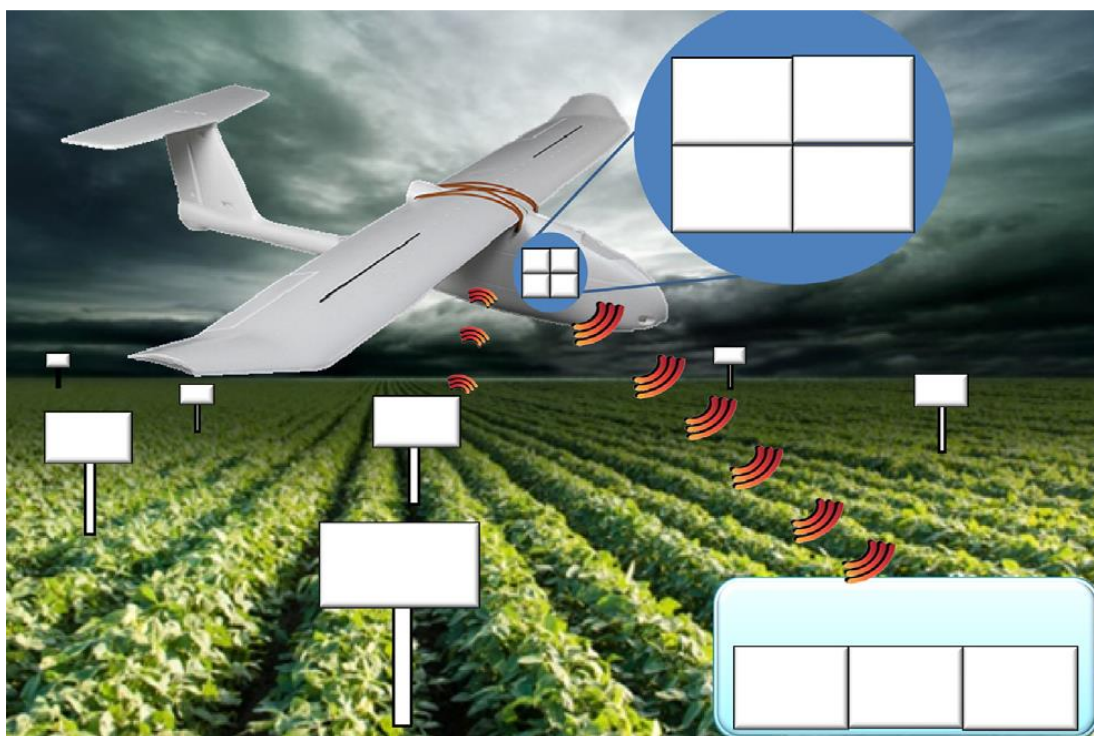
Όπως έχουμε αναφέρει στα προηγούμενα κεφάλαια, για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη υπάρχει ο έλεγχος και ο χειρισμός τους από αυτόνομο σύστημα πλοήγησης ή από τηλεχειριζόμενο σύστημα πλοήγησης. Έτσι μπορεί να υπάρξει έλεγχος των drones μέσω του FlyJacket. Το FlyJacket περιλαμβάνει μια συσκευή παρακολούθησης των κινήσεων και ένα σύστημα υποστήριξης χεριών για να μην κουράζεται ο χρήστης. Τα περισσότερα interfaces ελέγχου drones λειτουργούν μέσω joysticks, τηλεχειριστηρίων και smartphones, ενώ απαιτούν δεξιότητες οι οποίες αποκτώνται μέσω εκπαίδευσης και εξάσκησης. Ερευνητές του Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne εργάζονται σε έναν διαφορετικό τρόπο χειρισμού, που θα μπορούσε να καταστήσει αυτή την τεχνολογία προσβάσιμη σε περισσότερους χρήστες. Αυτή η τεχνολογία αφορά έναν μαλακό εξωσκελετό, τον οποίο αποκαλούν FlyJacket, που επιτρέπει τον έλεγχο ενός drone με κινήσεις του άνω μέρους του σώματος δηλαδή κουνώντας τα χέρια σαν «φτερά». Το FlyJacket πέρα από τη συσκευή παρακολούθησης κίνησης συνδυάζεται με ειδικά γυαλιά-διόπτρες για να μπορεί ο χρήστης να βλέπει μέσα από τους οπτικούς αισθητήρες του drone. Οι διαστάσεις του FlyJacket καθιστούν δυνατή τη μεταφορά του, ενώ οι δημιουργοί του προσβλέπουν σε χρήση του σε αποστολές διάσωσης, ή απλά για ψυχαγωγικούς σκοπούς. Παράλληλα, το ότι τα χέρια παραμένουν ελεύθερα, επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο όπως για παράδειγμα μέσω ενός επιπλέον χειριστηρίου [62].

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της αποστολής τους τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα μπορεί να είναι εξοπλισμένα με διαφορετικά είδη εξειδικευμένων και μη συμβατικών αισθητήρων και συσκευών ανίχνευσης. Για παράδειγμα κάμερες οπτικές ή υπέρυθρες, θερμικοί και ακουστικοί αισθητήρες, βιομετρικοί αισθητήρες Wifi, μικρόφωνα, GPS, ραδιοσυχνότητες μπορούν να επιτρέπουν όλο και μεγαλύτερη αυτονομία πτήσεων, αξιοπιστία, ασφάλεια και προσαρμοστικότητα. Δηλαδή, μέσω αλγορίθμων ελέγχου και αναγνώρισης υπάρχει η δυνατότητα να αντιμετωπίζονται εγκαίρως σφάλματα που δεν έχουν γίνει αντιληπτά. Όσο

αφορά το κομμάτι της εξέλιξης του UAV, θα αναφερθούμε στη σχεδίαση ενός ασύρματου δικτύου με αισθητήρες χαμηλού κόστους που αφορούν γεωργικές εφαρμογές [63]. Ειδικότερα, τα δίκτυα αισθητήρων επιτρέπουν την καλύτερη παρακολούθηση των καλλιεργειών για τον προσδιορισμό του βέλτιστου σημείου συλλογής.

Ο σχεδιασμός ενός UAV θα είναι σημαντικός για το άμεσο μέλλον. Οι αισθητήρες έχουν σχεδόν εισαχθεί σε πολλές πτυχές της ζωής μας. Οι αισθητήρες μπορούν να παρέχουν πληροφορίες αξιολόγησης κινδύνου όπως για παράδειγμα να προειδοποιούν τους αγρότες κατά την παρατήρηση παγετού και να παρέχουν καλύτερη ανίχνευση του μικροκλίματος μίας περιοχής [13].

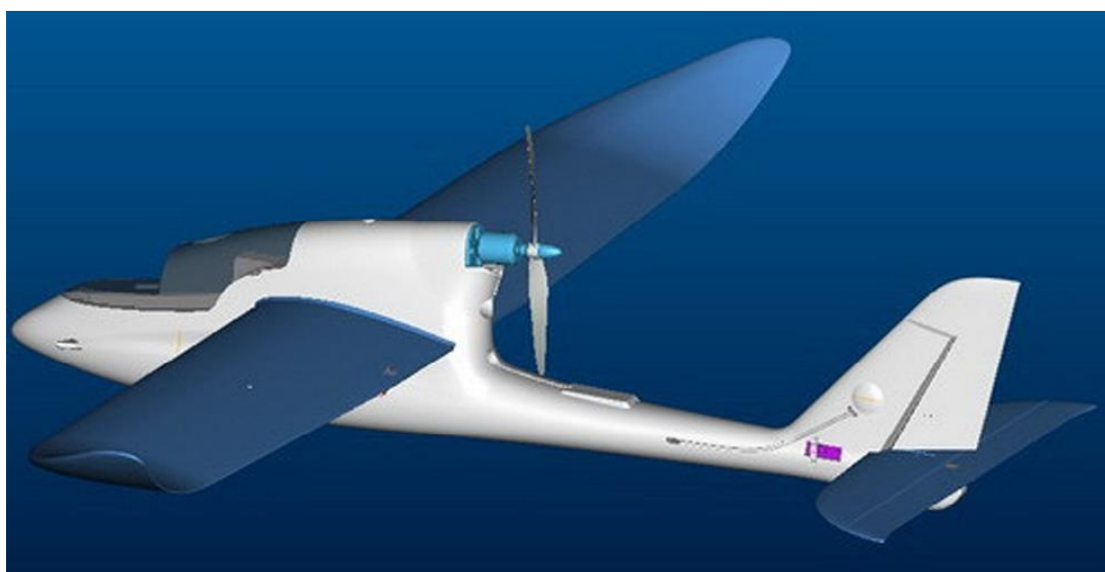
Ένα άλλο σημαντικό σημείο που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι πρόκειται για εναέρια οχήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δράσουν στο περιβάλλον το οποίο είναι σημαντικό πλεονέκτημα. Τα φυτοφάρμακα ή τα εντομοκτόνα μπορούν να μεταφερθούν και να χρησιμοποιηθούν στην επιθυμητή τοποθεσία από ένα drone [42].



Εικόνα 39. Η χρήση του UAV στη γεωργία [68]

Όταν οι αποστάσεις κάλυψης είναι μεγάλες, οι κόμβοι του δικτύου είναι πάρα πολύ μακριά για να επικοινωνούν μεταξύ τους. Ένας κινητός κόμβος μεταφέρεται από το αεροσκάφος και πρέπει να πληροί διάφορες απαιτήσεις όπως [42]:

- Για να επιτευχθεί καλή αυτονομία, είναι απαραίτητο ένα σύστημα χαμηλής κατανάλωσης. Το όχημα πρέπει να είναι σε θέση να καλύπτει αποστάσεις μέχρι 10 χιλιόμετρα.
- Η περιοχή επικοινωνίας πρέπει να επαρκεί για να επιτρέψει στο κινητό κόμβο την επικοινωνία με τους κόμβους αισθητήρων όπου είναι διασκορπισμένοι έτσι ώστε να συλλέγουν τα δεδομένα που προέρχονται από το drone.
- Οι εικόνες από το UAV πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας για την ανίχνευση προβληματικών καταστάσεων όπως π.χ. παράσιτων στις καλλιέργειες. Το όχημα πρέπει να μπορεί να στέλνει βίντεο σε πραγματικό χρόνο με υψηλή ποιότητα ώστε να ελέγχονται επαρκώς οι καλλιέργειες και να μπορεί να αποθηκεύει το βίντεο για μεταγενέστερη επεξεργασία.
- Αν εντοπιστεί ασθένεια ή παράσιτο, πρέπει το UAV να είναι σε θέση να μεταφέρει τις χημικές ουσίες και να ψεκάζει αν καταστεί αναγκαίο [42].



Εικόνα 40. UAV με δυνατότητα ψεκασμού καλλιεργειών [65]



Εικόνα 41. Τετρακόπτερο drone ψεκασμού [66]

Το UAV μπορεί να λαμβάνει πολυφασματικές εικόνες σε συνδυασμό με λεπτομερείς μετρήσεις μικροκλιματικών. Οι λήψεις πολυφασματικών εικόνων από τα drones βοηθούν επίσης στο σωστό χρόνο έναρξης χρήσης φυτοφαρμάκων. Παράδειγμα εφαρμογής με την χρήση UAV αποτελεί ο έλεγχος της βιοποικιλότητας, ο οποίος συνήθως πραγματοποιείται μέσω της χρήσης αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων με αποτέλεσμα να απαιτούνται υψηλές δαπάνες όταν ζητείται υψηλή ανάλυση [42].

Σε ό,τι αφορά το περιβάλλον και τα ζώα, τα UAVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάσωση των ζώων. Μη κυβερνητικές οργανώσεις για την προστασία απειλούμενων ειδών ζώων, χρησιμοποιούν τα drones για να σταματήσουν τους λαθροκυνηγούς. Όλο και περισσότερες διεθνείς μη κυβερνητικές οργανώσεις εφαρμόζουν πιλοτικά προγράμματα που βασίζονται σε μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα για να παρακολουθούν την ομαδική μετανάστευση διαφόρων ειδών ζώων αλλά κυρίως για να σταματήσουν τη λαθροθηρία με τον σύγχρονο εξοπλισμό τους [42].

Τα UAVs παρέχουν ζωτικής σημασίας εναέρια επιτήρηση που εκτείνεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις όπως έχει προαναφερθεί και

μπορούν να ανιχνεύουν τη θερμότητα του ανθρώπινου σώματος και των ζώων με τα συστήματα υπέρυθρης κάμερας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό ειδικά για επιχειρήσεις νυκτός [67].

Επίσης, το UAV μπορεί να βοηθήσει και στην καταπολέμηση των ιών. Για παράδειγμα θα μπορούν να εξολοθρεύουν ιούς που μεταδίδονται από έντομα και κουνούπια. Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο τα κουνούπια ευθύνονται για την μόλυνση 700-800 εκατομμυρίων ανθρώπων με σοβαρότατες ασθένειες μεταξύ αυτών η ελονοσία, ο δάγκειος πυρετός, ο ιός του δυτικού Νείλου και άλλες μολυσματικές νόσοι [59].

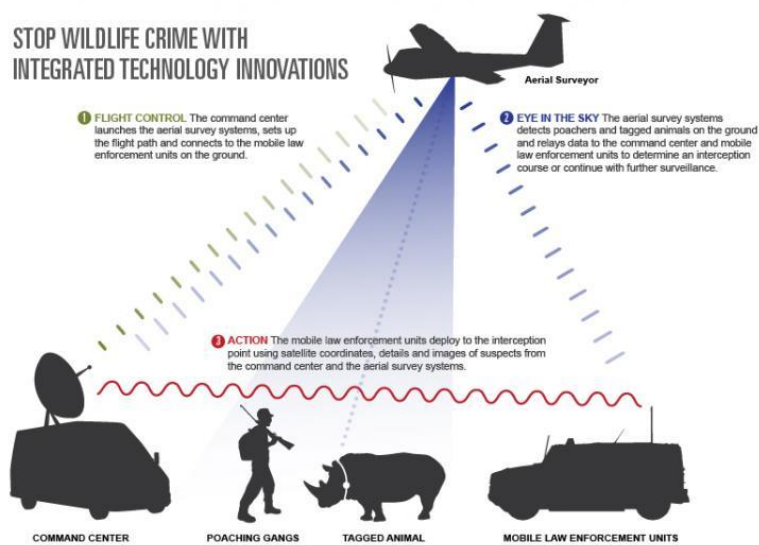
Η λύση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών προκρίθηκε από τον Οργανισμό για την Διεθνή Ανάπτυξη (USAID) έπειτα από τη διαπίστωση ότι οι ψεκασμοί αφενός δεν είναι εξίσου αποτελεσματικοί με το παρελθόν και αφετέρου ότι είναι δαπανηροί. Η αποδεδειγμένα αποτελεσματική μέθοδος της αναπαραγωγής στείρων αρσενικών κουνουπιών σε εργαστήρια, με στόχο να επιτεθούν και να μειώσουν τους τοπικούς πληθυσμούς κουνουπιών, είναι η προφανής εναλλακτική. Μόνο που σε περιοχές του τρίτου κόσμου οι δυσκολίες οδικής ή θαλάσσιας προσπέλασης είναι μεγάλες και η επιλογή της μεταφοράς τους με επανδρωμένα αεροσκάφη είναι επίσης χρονοβόρα και μεγάλου κόστους. Γι' αυτό και επιλέχθηκε η λύση των μη επανδρωμένων οχημάτων. Η USAID φιλοδοξεί ότι με αυτή την τακτική θα μειώσει τους πληθυσμούς των επικίνδυνων κουνουπιών κατά 90 τοις εκατό. Η εξειδικευμένη WeRobotics που ανέλαβε την υλοποίηση του εγχειρήματος θα κατασκευάσει ειδικά drones που θα μεταφέρουν μεν τα στείρωμένα κουνούπια, θα έχουν δε τη δυνατότητα να τα διαχέουν ισομερώς στις διάφορες περιοχές [47].



Εικόνα 42. Drone για την αντιμετώπιση κουνουπιών [68]



Εικόνα 43. Drone για την αντιμετώπιση πυρκαγιάς [69]



Εικόνα 44. UAV κατά της λαθροθηρίας [70]

Μελλοντικές αλλαγές, προσθήκες ή δυνατότητες στην τεχνολογία των UAV αποτελούν καινοτόμες τεχνολογίες οι οποίες αναφέρονται παρακάτω και είναι ικανές [62]:

- Για αυτόνομη πτήση με αποφυγή εμποδίων
- Για βελτίωση του βαθμού αυτοματοποίησης προς ένα πλήρως αυτόνομο και αυτόματο χαρτογραφικό εργαλείο
- Για ολοκλήρωση και άλλων αισθητήρων με δυναμικά μοντέλα (LiDAR)
- Για βαθμονόμηση αισθητήρων
- Για βελτίωση της ακρίβειας πλοήγησης
- Για Ανοικτό Λογισμικό
- Για νέες εφαρμογές που θα χρησιμοποιούν mechanical learning
- Για Έλεγχο drones μέσω FlyJacket [71]
- Για την Εξέλιξη των θερμικών καμερών
- Να μετρούν το ρυθμό αναπνοής και τον καρδιακό ρυθμό ενός ανθρώπου από απόσταση 60 μέτρων.
- Να αντιμετωπίζουν την εγκληματικότητα με τις κάμερες που διαθέτουν, δίνοντας εικόνα για τις συνθήκες που επικρατούν και διασφαλίζοντας τις λιγότερες δυνατές απώλειες σε περίπτωση επέμβασης των ειδικών δυνάμεων.
- Να μεταφέρουν ανθρώπους με ασφάλεια ως εναέρια ταξί όπου και θα αναπτύσσουν ταχύτητες άνω των 300 χιλιομέτρων την ώρα και θα έχουν ακτίνα δράσης έως 100 χιλιόμετρα χωρίς επαναφόρτιση της μπαταρίας.
- Να κινούνται μέσα στο νερό ως υποβρύχια. Για παράδειγμα θα μπορούσε να παρακολουθεί ένα ταχέως κινούμενο κοπάδι δελφινιών από τον αέρα [67].
- Να παρακολουθούν κατασκευαστικά έργα βοηθώντας σε μεγάλο βαθμό τους μηχανικούς. Η χρησιμοποίηση ενός drone για την επιθεώρηση ενός έργου, μειώνει το κόστος, τον χρόνο αλλά και το ρίσκο ατυχήματος. Γενικά θα μπορούν να βοηθούν σε σεισμούς ή φυσικές καταστροφές, στην επιθεώρηση κτιρίων χωρίς να θέτονται σε κίνδυνο έμπυχο προσωπικό.

- Να μπορούν να μεταφέρουν φάρμακα σε ανθρώπους που έχουν ανάγκη.
- Να μπορούν να κατασκοπεύουν και θα έχουν τη μορφή ενός μικρού εντόμου και θα μπορούν να παρακολουθούν τις κινήσεις των ανθρώπων αλλά και να μεταφέρουν ακόμα και εκρηκτικούς μηχανισμούς [62].
- Να μπορούν να αποφεύγουν τα εμπόδια που συναντούν χωρίς να συγκρουστούν, επιτυγχάνοντας την σωστή αναλογία μεταξύ ακρίβειας και ταχύτητας. Έτσι τα drones θα μπορούν να πλοηγηθούν πολύ γρήγορα σε κατοικημένες περιοχές με έντονη πυκνότητα εμποδίων.



Εικόνα 45. UAV του μέλλοντος [72]



Εικόνα 46. Τετρακόπτερο του μέλλοντος [73]



Εικόνα 47. U.S. Air Force Drone [74]

Συμπεράσματα

- Οι χρήσεις των UAV επεκτείνονται συνεχώς σε όλους τους τομείς που αφορούν το αστικό περιβάλλον, τις μεταφορές και το οδικό δίκτυο.
- Αυξάνεται ραγδαία η χρήση τους για ερευνητικούς σκοπούς.
- Η ποικιλία των αισθητήρων καταγραφής είναι τεράστια και θα αυξάνεται συνεχώς με την εξέλιξη της τεχνολογίας.
- Τα κύρια μειονεκτήματα πολλών εμπορικών συστημάτων είναι δεδομένα για συγκεκριμένες εφαρμογές χωρίς τη δυνατότητα καλύτερευσης εν αντιθέσει με την τεχνολογία των drones [60].
- Έχουν προκύψει σημαντικά θέματα που αφορούν στην ασφάλεια και την ιδιωτικότητα. Σε ό,τι αφορά την ασφάλεια, ήδη εφαρμόζονται πρωτόκολλα και εξοπλισμός ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας τα οποία προσφέρουν δυνατότητες αυτόνομης αποφυγής συγκρούσεων, ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAVs), απομακρυσμένης παρακολούθησης των ιδιοκτητών και των στοιχείων πτήσης τους.
- Εγείρονται προβλήματα ακριβούς προσδιορισμού θέσης κατά την προσγείωση καθώς και πιθανής πρόσκρουσης σε υποδομές ή ανθρώπους. Βιώσιμη λύση μπορεί να βρεθεί μέσω κατάλληλων αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνων και προηγμένων αισθητήρων.
- Τα UAVs έχουν εισέλθει στην καθημερινότητά μας και όπως οι περισσότερες τεχνολογικές λύσεις μπορούν με την ορθολογική τους χρήση να αποτελέσουν συστατικά στοιχεία για την πρόοδο, την βελτίωση της ζωής και την προστασία του πολίτη.
- Θα πρέπει να υπάρξει περαιτέρω έρευνα στον τομέα της μεταφοράς ανθρώπων με UAVs.
- Βελτίωση συστήματος αποφυγής συγκρούσεων.
- Βελτίωση ενεργειακής αυτονομίας εμπορικών drones.
- Βελτίωση πρωτοκόλλων ασφαλούς επικοινωνίας όσον αφορά τα drones που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικο σκοπούς [60].



Εικόνα 48. Drone ως μέσο μεταφοράς [75]



Εικόνα 49. Διθέσιο drone [76]



Εικόνα 50. Στρατιωτικό UAV των Η.Π.Α. [77]

Επίλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει μια αναλυτική παρουσίαση των υφιστάμενων συστημάτων UAV με έμφαση σε συστήματα που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές. Το μεγάλο πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι η δυνατότητα να συλλέγουν σε μικρό χρονικό διάστημα υψηλής ανάλυσης δεδομένα με την άμεση μετάδοση αυτών, επιτρέποντας την γρήγορη παραγωγή αποτελεσμάτων. Τα UAVs έχουν την ικανότητα, είτε να χρησιμοποιηθούν για την εξολοκλήρου διεκπεραίωση εφαρμογών αντικαθιστώντας παραδοσιακές μεθόδους χαρτογράφησης περιοχών και αποτύπωσης αντικειμένων σε υψηλή ανάλυση. Τα UAVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός από σκοπούς γεωμετρικής μοντελοποίησης και χαρτογράφησης μιας περιοχής, αλλά και για την δημιουργία τριδιάστατων δεδομένων. Η παραγωγή αυτών των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τις ως τώρα υπάρχουσες μεθόδους έχει μειωμένες λειτουργικές δαπάνες και μικρές πιθανότητες κινδύνου [78].

Τα συστήματα UAV είναι διαδεδομένα κυρίως σε εφαρμογές που σχετίζονται με υποδομές και την παρακολούθησή τους. Μερικές από τις υποδομές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την επιθεώρηση μέσω τέτοιου είδους συστημάτων είναι γραμμές υψηλής και μέσης τάσης, αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου, δρόμοι, σιδηρόδρομοι κτλ. Επίσης, η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών επεκτείνεται και στον τομέα της χαρτογράφησης. Γνωρίζοντας τις δυνατότητες των drones, ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιούνται αυτά σε κτηματολογικές εφαρμογές, στη διαχείριση της γης αλλά και στην παρακολούθηση καταστροφών. Θεωρούνται ως ένα εργαλείο στον τομέα της τοπογραφίας καθώς σε πολλές περιπτώσεις, αποτελούν μια συμφέρουσα εναλλακτική λύση σε σύγκριση με τον τυπικό τοπογραφικό εξοπλισμό [61].

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι τα UAVs από την αρχή της εμφάνισής τους για στρατιωτικούς σκοπούς έχουν εξελιχθεί σημαντικά και θα συνεχίσουν να εξελίσσονται στο μέλλον συμπεριλαμβανομένων και νέων τεχνολογιών [79-86] με γνώμονα την ταχύτητα, την αξιοπιστία [87-88] αλλά κυρίως την δυνατότητα υψηλής ακρίβειας πρόσβασης [89-90] σε οποιαδήποτε επιθυμητή περιοχή.

Βιβλιογραφία (References)

- [1] El.wikipedia.org. (2018). *Μη επανδρωμένο αεροσκάφος*. [online] Available at: https://el.wikipedia.org/wiki/Μη_επανδρωμένο_αεροσκάφος [Accessed 23 Sep. 2018]
- [2] Κυρίτσης, Σ. (2018). *Ανάπτυξη εφαρμογής σε ενσωματωμένα συστήματα για εναέρια μη επανδρωμένα οχήματα - Ιδρυματικό Αποθετήριο*. [online] Purl.tuc.gr. Available at: <http://purl.tuc.gr/dl/dias/C315C7BC-180D-407A-A646-133EC5750AF8> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [3] HELLAS DRONES NEWS. (2018). *Ιστορικά στοιχεία σχετικά με τα μη επανδρωμένα Εναέρια οχήματα*. [online] Available at: <https://hellasdrones.com/2017/03/ιστορικά-στοιχεία-σχετικά-με-τα-μη-επα> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [4] Κυρίτσης, Σ., Ζερβός, Π. and Αθανασίου, Β. (n.d.). *Συνεργασία σμήνους μη επανδρωμένων οχημάτων (UAVs) σε αποστολές αποτύπωσης*. [online] Tuc.gr. Available at: https://www.tuc.gr/fileadmin/users_data/dasta/dasta/docs/MKE-Sarantis_UAV.pdf [Accessed 23 Sep. 2018].
- [5] Demir, K., Cicibas, H. and Arica, N. (2015). Unmanned Aerial Vehicle Domain: Areas of Research. *Defence Science Journal*, 65(4), p.319.
- [6] dronesworld. (2018). *Τι είναι τα drones; Τι είναι τα πολύκοπτερα; Τύποι πολυκοπτέρων..* [online] Available at: <https://dronesworld.gr/ti-einai-ta-drones-polykoptera/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [7] Aerial Data Systems. (2018). *Fixed-Wing UAV | Aerial Data Systems*. [online] Available at: <http://aerialdatasystems.com/fixed-wing/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [8] quadcopter, N. (2018). *NightHawk DM007 camera quadcopter*. [online] Tetrakoptero.blogspot.com. Available at: <http://tetrakoptero.blogspot.com/2015/05/nighthawk-dm007.html> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [9] Karin, J. (2018). *Special Operations Gets Hummingbird UAV - TFOT*. [online] TFOT. Available at: <http://thefutureofthings.com/6263-special-operations-gets-hummingbird-uav/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [10] Cajzek, R. and Klanšek, U. (2016). An unmanned aerial vehicle for multi-purpose tasks in construction industry. *Istrazivanja i projektovanja za privredu*, 14(2), pp.314-327.
- [11] Project, A. (2018). *The US and its UAVs: A Cost-Benefit Analysis*. American Security Project. Available at: <https://www.americansecurityproject.org/the-us-and-its-uavs-a-cost-benefit-analysis/> [Accessed 23 Sep. 2018].

- [12] Massive-project.teiste.gr. (2018). *Έκθεση ανάλυσης παραμέτρων σχεδίασης ενός συστήματος FSO*. [online] Available at: <http://massive-project.teiste.gr/wp-content/uploads/2013/11/WP2.pdf> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [13] Aswini, N., Krishna Kumar, E. and Uma, S. (2018). UAV and obstacle sensing techniques – a perspective. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 6(1), pp.32-46.
- [14] Ξωνίκης, Γ. and Τζιούτζιας, Θ. (2018). *Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη και οι Εφαρμογές τους σε Remote Sensing και Logistics*. [online] Conta.uom.gr. Available at: [http://wwwConta.uom.gr/Conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2017/UAV in Remote Sensing and Logistics.pdf](http://wwwConta.uom.gr/Conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2017/UAV%20in%20Remote%20Sensing%20and%20Logistics.pdf) [Accessed 23 Sep. 2018].
- [15] Watts, A., Ambrosia, V. and Hinkley, E. (2012). Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*, 4(6), pp.1671-1692.
- [16] Allego, F. (2018). *Unmanned Aerial Vehicle vs Drone*. Bloggerengineer.com. Available at: <http://bloggerengineer.com/2016/10/unmanned-aerial-vehicle-vs-drone.html> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [17] Τζιβάρας, Β. *Μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones)*. Vasilistzivaras.gr. Available at: http://vasilistzivaras.gr/files/introduction_drones.pdf [Accessed 23 Sep. 2018].
- [18] The transmission. (2018). *The solid state RF amplifier's application in UAV remote data transmission*. [online] Wattsine RF Power Amplifier. Available at: http://www.wattsine.com/power-source/UAV_application_solutions/40.html [Accessed 23 Sep. 2018].
- [19] Ρεπανάς, Δ. (2017). *Αντικειμενοστροφείς ταξινομήσεις πολυφασματικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης, με χρήση εικόνων Unmanned Aerial Vehicles (UAV-DRONER)*. [online] Ir.lib.uth.gr. Available at: <http://ir.lib.uth.gr/handle/11615/46770> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [20] Lugo-Cárdenas, I., Flores, G. and Lozano, R. (2014). The MAV3DSim: A Simulation Platform for Research, Education and Validation of UAV Controllers. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), pp.713-717.
- [21] Flores, G. (2014). *Communication scheme of the MAV3DSim*. [online] Researchgate.net. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Gerardo_Flores3/publication/271503307/figure/fig1/AS:392044909481987@1470482198609/Communication-scheme-of-the-MAV3DSim.png [Accessed 23 Sep. 2018].
- [22] Flores, G. (2014). *Integration of the CRRCSim to the MAV3DSim as the simulation engine*. [online] Researchgate.net. Available at:

- https://www.researchgate.net/profile/Gerardo_Flores3/publication/271503307/figure/fig4/AS:392044913676290@1470482199233/Integration-of-the-CRRCSim-to-the-MAV3DSim-as-the-simulation-engine.png [Accessed 23 Sep. 2018].
- [23] Lugo-Cárdenas, I., Flores, G., & Lozano, R. (2014, August). The MAV3DSim: A simulation platform for research, education and validation of UAV controllers. In *19th World Congress The International Federation of Automatic Control (IFAC 2014)* (pp. 713-717).
- [24] SourceForge. (2018). *Advanced Drone system*. [online] Available at: <https://sourceforge.net/projects/ads-project/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [25] Agisoft.com. (2018). *Dense Cloud Classification & DTM Generation*. [online] Available at: <http://www.agisoft.com/index.php?id=35> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [26] METRICA. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ UAV SYSTEMS. [online] Psdatm.gr. Available at: http://www.psdadm.gr/images/pdf/Metrica_--UAS-----.pdf [Accessed 23 Sep. 2018].
- [27] Καλιαμπέτσου, Σ. (2018). ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΤΡΑΚΟΙΤΤΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΥΦΥΪΑΣ ΣΜΗΝΟΥΣ. [online] Ir.lib.uth.gr. Available at: <http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/48213/17455.pdf> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [28] Hajiyev, C., Soken, H. and Vural, S. (2016). *State estimation and control for low-cost unmanned aerial vehicles*. SPRINGER INTERNATIONAL PU.
- [29] Brooker, G. [online] Researchgate.net. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Graham_Brooker/publication/29644008/figure/fig1/AS:309890435305476@1450895045425/The-UAV-designed-and-built-for-this-project-has-a-mass-of-1503kg-Airframe-wingtips-and.png [Accessed 23 Sep. 2018].
- [30] Nanzer, J. and Chen, V. (2017). Microwave interferometric and Doppler radar measurements of a UAV. *2017 IEEE Radar Conference (RadarConf)*.
- [31] Καλιαμπέτσου, Σ. (2018). ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΤΡΑΚΟΙΤΤΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΥΦΥΪΑΣ ΣΜΗΝΟΥΣ. [online] Ir.lib.uth.gr. Available at: <http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/48213/17455.pdf> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [32] Ζήκου, Λ. (2015). *Εξερεύνηση χώρου με συνεργασία εναέριου και επίγειου οχήματος*. Nemertes.lis.upatras.gr. Available at: <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/9166> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [33] ALL ABOUT DRONES. (2018). *Εναλλακτικό GPS: Σύστημα πλοήγησης που δεν χρειάζεται δορυφόρους και ενδείκνυται για drones*. [online] Available at:

- <http://www.allaboutdrones.gr/2016/10/gps-drones.html> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [34] Περούλης, Κ. (2014). Design and Manufacture of a mUAV – Quadcopter. [online] Available at: 10.13140/RG.2.2.13679.23203
- [35] ALL ABOUT DRONES. (2018). *Drones στη γεωργία: Λιγότερη εργασία, μεγαλύτερη παραγωγή*. Available at: http://www.allaboutdrones.gr/2016/11/drones_7.html [Accessed 23 Sep. 2018].
- [36] Παπακαραλάμπους, Θ. (2018). *Drones και προστασία του περιβάλλοντος*. [online] Power Politics. Available at: <https://powerpolitics.eu/drones-και-προστασία-του-περιβάλλοντος> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [37] Tragikogreece.blogspot.com. (2018). *Ta drones στη μάχη κατά των κουνουπιών. Κάνουν ψεκασμούς από αέρος σε δυσπρόσιτες περιοχές με άμεσα αποτελέσματα*. [online] Available at: <http://tragikogreece.blogspot.com/2018/09/drones.html> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [38] Έρχονται drones! (2018). *Έρχονται τα πυροσβεστικά drones!*. Dronesmania.gr. Available at: <https://www.dronesmania.gr/476/erchonte-ta-pirosvestika-drones> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [39] International Business Times. (2018). *Drones Being Used By Conservationists To Stop Poachers, Protect Endangered Species*. [online] Available at: <https://www.ibtimes.com/drones-being-used-conservationists-stop-poachers-protect-endangered-species-1653520> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [40] Anon, (2018). [online] Available at: http://www.allaboutdrones.gr/2018/02/drone.html [Accessed 23 Sep. 2018].
- [41] News.northeastern.edu. (2018). *Northeastern to launch drone food delivery for students*. [online] Available at: <https://news.northeastern.edu/2017/04/01/northeastern-to-launch-drone-food-delivery-for-students> [Accessed 27 Sep. 2018].
- [42] Polo, J., Hornero, G., Duijneveld, C., García, A. and Casas, O. (2015). Design of a low-cost Wireless Sensor Network with UAV mobile node for agricultural applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, pp.19-32.
- [43] Σκαρλάτος, Δ. (2004). *ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΜΗ ΕΠΙΤΑΓΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ*. [online] Photogrammetric-vision.weebly.com. Available at: https://photogrammetric-vision.weebly.com/uploads/8/7/4/5/8745932/ntua_uav_archeological_compressed.pdf [Accessed 23 Sep. 2018].
- [44] Airnews.gr. (2018). *Ποιο αυτοκίνητο; Με drone οι νέες μετακινήσεις!* | Airnews. [online] Available at: <http://www.airnews.gr/2017/10/16/ποιο-αυτοκίνητο-το-passenger-drone-θα-αποτελεί-το-ν> [Accessed 23 Sep. 2018].

- [45] Simunek, M., Pechac, P., & Fontan, F. P. (2011). Excess loss model for low elevation links in urban areas for UAVs. *Radioengineering*, 20(3), 561-568.
- [46] Stratiotikos.gr. (2018). *Ta drones είναι το μέλλον στις περιπτώσεις καρδιακών προσβολών*. [online] Available at: <https://www.stratiotikos.gr/2017/06/ta-drones-ine-to-mellon-stis-periptosis-kardiakon-prosvolon.html> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [47] Hellenicrevenge2.rssing.com. (2018). *HeLLeNiCRVeNgE*. [online] Available at: <http://hellenicrevenge2.rssing.com/browser.php?indx=30944930&item=222> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [48] Σιφναίου, Μ. (2016). *Εναέρια μη επανδρωμένα συστήματα λήψης εικόνων και η χρήση τους σε εφαρμογές μηχανικού (Unmanned aerial vehicles and their use in engineering applications)*. [online] Aristotle University of Thessaloniki Institutional Repository - IKEE. Available at: <https://ikee.lib.auth.gr/record/285293?ln=el> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [49] dotnews.gr. (2018). *Drones και για άμεση ιατρική βοήθεια | dotnews.gr*. [online] Available at: <http://www.dotnews.gr/drones-kai-gia-amesi-iatriki-boitheia> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [50] Docplayer.gr. (2018). *Χρήση Μη Επανδρωμένων Αέριων Οχημάτων (UAV) στη Γεωλογία - PDF*. [online] Available at: <https://docplayer.gr/53097192-Hrisi-mi-epandromenon-aerion-ohimaton-uav-sti-geologia.html> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [51] Docplayer.gr. (2018). *UAV Unmanned Aerial Vehicle Ebee Sensefly - PDF*. [online] Available at: <https://docplayer.gr/10459378-Uav-unmanned-aerial-vehicle-eebe-sensefly.html> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [52] Jo, D. and Kwon, Y. (2017). Analysis of VTOL UAV Propellant Technology. *Journal of Computer and Communications*, 05(07), pp.76-82.
- [53] Siebert, S. and Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, pp.1-14.
- [54] Sankaran, S., Khot, L., Espinoza, C., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V., Vandemark, G., Miklas, P., Carter, A., Pumphrey, M., Knowles, N. and Pavek, M. (2015). Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. *European Journal of Agronomy*, 70, pp.112-123.
- [55] Dronesolutions.gr. (2018). *Ψηφιακή Χαρτογράφηση | Drone Solutions*. [online] Available at: <https://www.dronesolutions.gr/xartografisi.php> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [56] Γεωπονική Φυτοφροντίδα. (2018). *Η χρήση του Drone στη γεωργία. - Γεωπονική Φυτοφροντίδα*. [online] Available at: <http://www.γεωπονικηφυτοφροντιδα.gr/η-χρηση-του-drone-στη-γεωργια> [Accessed 23 Sep. 2018].

- [57] Τοιμπούκης, Γ. (2018). *Αυτό είναι το Ελληνικό Μη Επανδρωμένο Πολιτικό Αεροσκάφος (HCUAV) » Via Diplomacy.* [online] Via Diplomacy. Available at: <https://www.viadiplomacy.gr/afto-ine-to-elliniko-mi-epandromeno-politiko-aeroskafos-hcuav/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [58] Engineering & Technology magazine. (2018). *UK drone force in Afghanistan to be doubled – an annotated graphic.* [online] Available at: <https://engtechmag.wordpress.com/2012/11/27/uk-drone-force-in-afghanistan-to-be-doubled-an-annotated-graphic/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [59] SECURITY MANAGER: Περιοδικό για την ασφάλεια. (2018). *Drones και Εφαρμογές Ασφάλειας | SECURITY MANAGER: Περιοδικό για την ασφάλεια.* [online] Available at: <https://www.securitymanager.gr/drones-ke-efarmoges-asfalias/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [60] Lesd.gr. (2018). *Φωτογραμμετρία με Τεχνολογία UAV | Systems Dynamics.* [online] Available at: <http://www.lesd.gr/φωτογραμμετρία-με-τεχνολογία-uav> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [61] Arain, F., & Moeini, S. (2016). Leveraging on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for effective emergency response and disaster management. In *Proceedings of the Project Management Symposium at U of MD College Park Maryland.*
- [62] ALL ABOUT DRONES. (2018). *ALL ABOUT DRONES.* [online] Available at: <http://www.allaboutdrones.gr/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [63] Austin, R. (2010). *Unmanned air vehicles; UAVS Design, Development and Deployment.* Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley.
- [64] Georgia Straight Vancouver's News & Entertainment Weekly. (2018). *Drones poised to fill Canadian skies.* [online] Available at: <https://www.straight.com/news/657296/drones-poised-fill-canadian-skies> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [65] UAV Propulsion Tech. (2018). *UAV Propulsion Tech.* [online] Available at: <http://uavpropulsiontech.com/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [66] ALL ABOUT DRONES. (2018). *Φυτοπροστασία αμπελιών με drones.* [online] Available at: http://www.allaboutdrones.gr/2017/11/drones_9.html [Accessed 23 Sep. 2018].
- [67] Fire Rescue News. (2018). *Η εφαρμογή των Drones στη Διαχείριση των Καταστροφών.* [online] Available at: <https://www.fire.gr/?p=46857> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [68] Xanthi 2. (2018). *Drone στη μάχη με τα κουνούπια στην Ξάνθη;.* [online] Available at: <https://xanthi2.gr/2017/04/06/drone-στη-μάχη-με-τα-κουνούπια-στην-ξάνθη> [Accessed 23 Sep. 2018].

- [69] Dronequest.gr. (2018). *Author Archives: DroneQuest*. [online] Available at: <http://www.dronequest.gr/author/droneeditor/page/5/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [70] Δείτε (εικόνες) (2018). *Δείτε το ρομποτικό ταξί από το μέλλον (εικόνες)*. [online] 15 minutes. Available at: <http://15minutes.gr/δείτε-το-ρομποτικό-ταξί-από-το-μέλλον-ε> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [71] Mindcore.gr. (2018). *Τι είναι τα UAVs; |*. [online] Available at: <http://mindcore.gr/τι-είναι-τα-uavs> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [72] Kathimerini.gr. (2018). *Ο πόλεμος των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, Του Τάσου Οικονόμου | Kathimerini*. [online] Available at: <http://www.kathimerini.gr/793070/article/epikairothta/kosmos/o-polemos-twn-mh-epandrwmenwn-aeroskafwn> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [73] ALL ABOUT DRONES. (2018). *Drone νυχτερινής όρασης εναντίον λαθροθηρίας*. [online] Available at: http://www.allaboutdrones.gr/2018/04/drone_10.html [Accessed 23 Sep. 2018].
- [74] Axe, D., Axe, D., Barrett, B., Newman, L., Greenberg, A., Graff, G., Newman, L. and Newman, L. (2018). *Pentagon Looks to Double Its Unmanned Air Force*. [online] WIRED. Available at: <https://www.wired.com/2011/05/double-unmanned-air-force/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [75] naftemporiki.gr. (2018). *Ηλεκτρικό διθέσιο ελικόπτερο με 18 έλικες*. [online] Available at: <https://www.naftemporiki.gr/story/734572/ilektriko-dithesio-elikoptero-me-18-elikes> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [76] Dmcarchitect.blogspot.com. (2018). *Passenger Drone: Το πρώτο επιβατικό αεροπλάνο (video)*. [online] Available at: <http://dmcarchitect.blogspot.com/2018/01/passenger-drone.html> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [77] Survincity.com. (2018). *New South American UAV invisible, able to rocket from the deck of an aircraft carrier | Encyclopedia of safety*. [online] Available at: <http://survincity.com/2013/05/new-south-american-uav-invisible-able-to-rocket/> [Accessed 23 Sep. 2018].
- [78] Kim, H., Ben-Othman, J., & Bellavista, P. (2016, December). On Construction of collision-free UAV reinforced Barrier. In *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2016 IEEE* (pp. 1-6). IEEE.
- [79] Chronopoulos, S.K., Votis, C., Raptis, V., Tatsis, G. and Kostarakis, P. (2010) In Depth Analysis of Noise Effects in Orthogonal Frequency Division Multiplexing Systems, Utilising a Large Number of Subcarriers. AIP Conference Proceedings, 1203, 967-972

- [80] Chronopoulos, S.K., Tatsis, G. and Kostarakis, P. (2012) Turbo Coded OFDM with Large Number of Subcarriers. *Journal of Signal and Information Processing*, 3, 161-168. <https://doi.org/10.4236/jsip.2012.32021>
- [81] Chronopoulos, S.K., Christofilakis, V., Tatsis, G. and Kostarakis, P. (2016) Preliminary BER Study of a TC-OFDM System Operating under Noisy Conditions. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 9, 13-16.
- [82] Chronopoulos, S.K., Christofilakis, V., Tatsis, G. and Kostarakis, P. (2016) Performance of Turbo Coded OFDM under the Presence of Various Noise Types. *Wireless Personal Communications*, 87, 1319-1336. DOI: [10.1007/s11277-015-3055-1](https://doi.org/10.1007/s11277-015-3055-1)
- [83] Raptis, V., Tatsis, G., Chronopoulos, S.K., Mallios, S. and Kostarakis, P. (2013) Development and Experimental Measurements of a Tunable Antenna. *Communications and Network*, 5, 220-224. DOI: [10.4236/cn.2013.53026](https://doi.org/10.4236/cn.2013.53026)
- [84] Koumasis, A., Chronopoulos, S.K., Angelis, C.T., Koliopanos, C., Tombros, S. and Kavadias, C. (2006) Smart Antennas with E-Shaped Patch for 3G Applications. *WSEAS Transactions on Communications*, 5, 1636-1641.
- [85] Angelis, C.T. and Chronopoulos, S.K. (2011) System Performance of an LTE MIMO Downlink in Various Fading Environments. In: Gabrielli, S., Elias, D. and Kahol, K., Eds., *Ambient Media and Systems, AMBI-SYS 2011*, Springer, Berlin, Heidelberg, 36-43. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23902-1_5
- [86] Chronopoulos, S.K., Koliopanos, C. and Angelis, C.T. (2007) Satellite Multibeam Signaling for Multimedia Services. *Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Multimedia Communications*, Nafpaktos, 27-29 August 2007, 1-4. <https://doi.org/10.4108/ICST.MOBIMEDIA2007.1693>
- [87] Chronopoulos, S.K., Tatsis, G., Raptis, V. and Kostarakis, P. (2012) A Parallel Turbo Encoder-Decoder Scheme. *Proceedings of the 2nd Pan-Hellenic Conference on Electronics and Telecommunications*, Thessaloniki, 16-18 March 2012.
- [88] Chronopoulos, S.K., Tatsis, G. and Kostarakis, P. (2011) Turbo Codes—A New PCCC Design. *Communications and Network*, 3, 229-234. <https://doi.org/10.4236/cn.2011.34027>
- [89] Chronopoulos, S. K., Angelis, C. T., Koumasis, A., & DRAKOU, P. (2006, July). Evaluation of satellite coverage over Ioannina airport in Greece. In *Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on Communications, Vouliagmeni, Athens, Greece*. Jul. 10-12 pp. 366-369.
- [90] Chronopoulos, S. K., Angelis, C. T., Koumasis, A., & Drakou, P. (2006). Satellite coverage analysis for the investigation of real-time communication in selected areas. *WSEAS Transactions on Communications*, 5(10), 1965-1972.