

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΥ ΜΕΣΩ ΜΑΤΛΑΒ»



Του φοιτητή
Παπανικολάου Αθανάσιου
Αρ. Μητρώου: 52020Μ

Επιβλέπων
Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Θεσσαλονίκη, 2024

Τίτλος Δ.Ε. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΥ ΜΕΣΩ MATLAB

Κωδικός Δ.Ε. 22342

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Παπανικολάου Αθανάσιος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 15/11/2022

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 24/09/2024

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Εφαρμοσμένα Ηλεκτρονικά Συστήματα» στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Παπανικολάου Αθανάσιου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίας στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Όλοι μας βρισκόμαστε εδώ για κάποιον ξεχωριστό λόγο.
Πάψε να είσαι δεσμώτης του παρελθόντος σου.
Γίνε ο αρχιτέκτονας του μέλλοντός σου»*

Robin S. Sharma

Περιεχόμενα

Πρόλογος	8
Κεφάλαιο 1 ^ο : Ιστορική Αναδρομή	10
1.1 Αρχές του 20ού Αιώνα	10
1.2 Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος και Ψυχρός Πόλεμος	11
1.3 Σύγχρονη Εποχή	11
Κεφάλαιο 2 ^ο : Τεχνολογίες και Καινοτομίες	13
2.1 Συστήματα Πλοήγησης	13
2.2 Αισθητήρες και Κάμερες	13
2.3 Τεχνητή Νοημοσύνη	13
2.4 Υλικά Κατασκευής	13
Κεφάλαιο 3 ^ο : Εφαρμογές των ΜΕΑ	16
3.1 Γεωργία	16
3.2 Δημόσια Ασφάλεια	16
3.4 Κινηματογραφία και Μέσα Ενημέρωσης	19
Κεφάλαιο 4 ^ο : Προκλήσεις και Ζητήματα	20
4.1 Νομικό Πλαίσιο και Κανονισμοί	20
4.2 Ασφάλεια και Προστασία Δεδομένων	22
4.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	22
4.4 Ηθικά Ζητήματα	22
Κεφάλαιο 5ο: Συστήματα Πλοήγησης UAV	23
5.1 Βασικές Τεχνολογίες Πλοήγησης	23
5.1.1 GPS (Global Positioning System)	23
5.1.2 GLONASS (Global Navigation Satellite System)	25
5.2 Προηγμένες Τεχνολογίες Πλοήγησης	25
5.2.1 INS (Inertial Navigation System)	25
5.2.2 Συστήματα Ορασης Υπολογιστή (Computer Vision)	26
5.2.3 LIDAR (Light Detection and Ranging)	26
5.2.4 RTK (Real-Time Kinematic)	27
5.3 Συνδυασμός Τεχνολογιών	27
5.4 Προκλήσεις και Προοπτικές	28
Κεφάλαιο 6ο: Επίδραση Καιρικών Μεταβολών στην Πλοήγηση UAV	29
6.1 Άνεμος	29
6.1.1 Επιδράσεις του Ανέμου στην Πλοήγηση UAV	29
6.1.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση του Ανέμου	30
6.2 Βροχή	31
6.2.1 Επιδράσεις της Βροχής στην Πλοήγηση UAV	31
6.2.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση της Βροχής	31
6.3 Ομίχλη και Νεφοκάλυψη	31
6.3.1 Επιδράσεις της Ομίχλης και της Νεφοκάλυψης στην Πλοήγηση UAV	31

6.3.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση της Ομίχλης και της Νεφοκάλυψης.....	32
6.4 Θερμοκρασία	32
6.4.1 Επιδράσεις της Θερμοκρασίας στην Πλοήγηση UAV.....	32
6.4.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση των Ακραίων Θερμοκρασιών	32
6.5 Χιονόπτωση και Πάγος.....	33
6.5.1 Επιδράσεις της Χιονόπτωσης και του Πάγου στην Πλοήγηση UAV.....	33
6.5.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση της Χιονόπτωσης και του Πάγου.....	33
Κεφάλαιο 7ο: Επιδράσεις του Ανέμου στην Πλοήγηση UAV	34
7.1 Επιδράσεις του Ανέμου	34
7.1.1 Σταθερότητα και Έλεγχος.....	34
7.1.2 Κατανάλωση Ενέργειας.....	34
7.1.3 Ακρίβεια Πλοήγησης.....	35
7.2 Τεχνολογικές Λύσεις	35
7.2.1 Αισθητήρες και Συστήματα Ελέγχου.....	35
7.2.2 Σχεδίαση και Υλικά UAV.....	36
7.2.3 Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι και Τεχνητή Νοημοσύνη	36
7.3 Πρακτικές Εφαρμογές και Προκλήσεις.....	36
Κεφάλαιο 8ο: Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι και Τεχνητή Νοημοσύνη για Αντιμετώπιση των Επιδράσεων του Ανέμου σε UAV.....	40
8.1 Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι για Πλοήγηση σε Ανέμους.....	40
8.1.1 Αλγόριθμοι Προσαρμογής Πτήσης.....	40
8.1.2 Αλγόριθμοι Εκτίμησης Ανέμου	40
8.2 Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση.....	41
8.2.1 Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning).....	41
8.2.2 Μηχανική Μάθηση (Machine Learning)	42
8.3 Εφαρμογές και Παραδείγματα	42
Κεφάλαιο 9ο: Αυτόματα Συστήματα Σταθεροποίησης για την Επίδραση του Ανέμου στα UAV.....	44
9.1 Αισθητήρες και Συστήματα Μέτρησης.....	44
9.1.1 Γυροσκόπια και Επιταχυνσιόμετρα	44
9.1.2 Αισθητήρες Ανέμου	44
9.2 Αλγόριθμοι Σταθεροποίησης	45
9.2.1 PID Controllers	45
9.2.2 Adaptive Control Systems	46
9.3 Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση.....	46
9.3.1 Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning).....	46
9.4 Εφαρμογές και Περιπτώσεις Χρήσης	47
9.4.1 Επιτήρηση και Αναγνώριση.....	47
9.4.2 Παράδοση Δεμάτων.....	47
9.4.3 Γεωργία Ακριβείας.....	47
Κεφάλαιο 10ο: Επίδραση του Ανέμου στην Κατανάλωση Ενέργειας των UAV.....	48

10.1 Επιδράσεις του Ανέμου στην Κατανάλωση Ενέργειας.....	48
10.1.1 Αντίθετοι Άνεμοι (Headwinds).....	48
10.1.2 Ουρανοί Άνεμοι (Tailwinds).....	48
10.1.3 Πλάγιοι Άνεμοι (Crosswinds).....	49
10.2 Τεχνολογικές Λύσεις και Στρατηγικές.....	49
10.2.1 Αεροδυναμικός Σχεδιασμός.....	49
10.2.2 Συστήματα Ελέγχου και Πλοήγησης	49
10.2.3 Προγραμματισμός και Σχεδιασμός Διαδρομών	50
10.3 Πρακτικές Εφαρμογές και Παραδείγματα	50
10.3.1 Επιτήρηση και Αναγνώριση.....	50
Κεφάλαιο 11ο: Προσομοίωση	52
Ρύθμιση του μοντέλου πλοήγησης.....	52
Ρύθμιση του ελεγκτή για τα προκαθορισμένα σημεία	53
Μοντέλο Ανέμου	56
Αποτελέσματα	66
Κεφάλαιο 12ο: Συμπεράσματα.....	71
Παράρτημα Κώδικα Matlab	72
Βιβλιογραφία	76

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Σενάριο χωρίς άνεμο	37
Σχήμα 2: Σενάριο με σταθερό άνεμο.....	38
Σχήμα 3: Σενάριο με ριπές ανέμου.....	39
Σχήμα 4: Σενάριο με στροβιλώδη άνεμο.....	40
Σχήμα 5: Σφαιρικά.....	41

Περίληψη

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (ΜΕΑ) ή με την διεθνή ονομασία UAV (Unmanned Aerial Vehicles - UAV), αποτελούν μια από τις κορυφαίες τεχνολογικές εξελίξεις της εποχής μας.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη UAV προσφέρουν ευέλικτες λύσεις χωρίς την ανάγκη για πιλότο σε πολλούς τομείς, χρησιμοποιούνται από τον στρατό και την ασφάλεια μέχρι τις μεταφορές και την γεωργία. Αποτελούν ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο κλάδο όπου έχει ήδη αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται πολλές επιχειρήσεις καθώς συνεχίζει να προσφέρει όλο και νέες δυνατότητες μέσα από την πρόοδο των τεχνολογιών πλοήγησης, των επικοινωνιών και της αυτονομίας.

Στην πρώτη φάση ανάπτυξής τους χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς αλλά στη συνέχεια η τεχνολογία τους βρήκε θέση και στον πολιτικό και στον εμπορικό τομέα. Με την συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογική εξέλιξη που παρουσιάζει ο τομέας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΜΕΑ), αναμένεται να διαδραματίσουν ακόμη πιο κεντρικό ρόλο στην μελλοντική κοινωνία και οικονομία.

Η προσομοίωση με σενάρια ανέμου για μη επανδρωμένα αεροσκάφη (ΜΕΑ) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης και της ασφάλειας των ΜΕΑ υπό διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αυτή η προσέγγιση βοηθά στην κατανόηση του πώς επηρεάζονται τα ΜΕΑ από τον άνεμο κατά τη διάρκεια πτήσης, ιδίως σε ασταθείς συνθήκες, και συμβάλλει στη βελτίωση του σχεδιασμού τους και της πλοήγησής τους.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης των διαφόρων σεναρίων ανέμου σε μια προκαθορισμένη διαδρομή ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους το οποίο πετάει σε σταθερό ύψος με σταθερή ταχύτητα. Εξετάζεται η αλλαγή πορείας του αεροσκάφους ώστε να πάει στο επόμενο προκαθορισμένο σημείο και μελετάμε την επίδραση του ανέμου πάνω στην τροχιά του αεροσκάφους. Ο αυτόματος πιλότος διορθώνει την τροχιά για να πάει στο προκαθορισμένο σημείο με κόστος όμως την διαφοροποίηση της απόστασης που διανύει το αεροσκάφος και κατ' επέκταση της ενέργειας που καταναλώνει.

Στο πρώτο μέρος γίνεται μια αναδρομή στην ιστορική και τεχνολογική εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, στις εφαρμογές που αυτά έχουν σε διάφορους τομείς αλλά και στους προβληματισμούς και τις ηθικές ανησυχίες που εγείρει η χρήση τους.

Στο δεύτερο μέρος της μελέτης, πραγματοποιείται προσομοίωση ενός μοντέλου αεροπλάνου χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα MathWorks Matlab 2023a και τη Simulink. Στη Simulink χρησιμοποιήσαμε το Aerospace Blockset και το UAV Toolbox για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε το μοντέλο πτήσης του αεροσκάφους, να προσομοιώσουμε τα διάφορα σενάρια ανέμου και να έχουμε πρόσβαση στα όργανα ελέγχου πτήσης του αεροσκάφους.

Η προσομοίωση με σενάρια ανέμου προσφέρει ένα κρίσιμο εργαλείο για την ανάπτυξη ασφαλέστερων και πιο αποδοτικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

«Unmanned Aerial Vehicles»

«Athanasios Papanikolaou»

Abstract

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), also known as Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), are one of the leading technological developments of our time.

UAVs offer flexible solutions without the need for a pilot in many areas, used from military and security to transport and agriculture. They are an ever-growing industry where it has already changed the way many operations are carried out as it continues to offer ever new capabilities through advances in navigation, communications and autonomy technologies.

In the first phase of their development they were used for military purposes but subsequently their technology has found a place in both the civil and commercial sectors. With the constantly evolving technological development of the unmanned aerial vehicle (UAV) sector, they are expected to play an even more central role in the future society and economy.

Wind scenario simulation for unmanned aerial vehicles (UAVs) is a technique used to evaluate the performance and safety of UAVs under different atmospheric conditions. This approach helps to understand how UAVs are affected by wind during flight, especially in unstable conditions, and helps to improve their design and navigation.

In this paper an attempt is made to present the different wind scenarios in a predefined path of an unmanned aircraft flying at a constant altitude at a constant speed. We consider changing the aircraft's course to go to the next predetermined point and study the effect of wind on the aircraft's trajectory. The autopilot corrects the trajectory to go to the predetermined point at the cost of varying the distance travelled by the aircraft and hence the energy consumed.

The first part reviews the historical and technological development of drones, their applications in various fields and the concerns and ethical issues raised by their use.

In the second part of the study, a simulation of an airplane model is carried out using MathWorks Matlab 2023a and Simulink. In Simulink we used the Aerospace Blockset and the UAV Toolbox to enable us to create the aircraft flight model, simulate the different wind scenarios and access the aircraft flight controls.

Wind scenario simulation offers a critical tool for developing safer and more efficient unmanned aircraft.

Πρόλογος

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs), γνωστά και ως drones, έχουν εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια και χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς, από στρατιωτικές επιχειρήσεις έως εμπορικές εφαρμογές και έρευνα. Η εξέλιξή τους έχει επηρεαστεί από την πρόοδο στην τεχνολογία των αισθητήρων, της τεχνητής νοημοσύνης και των δικτύων επικοινωνίας.

Ιστορική Εξέλιξη:

Τα πρώτα μη επανδρωμένα αεροσκάφη κατασκευάστηκαν στις αρχές του 20ού αιώνα για στρατιωτικούς σκοπούς. Κατά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, υπήρχαν πειραματικά ΜΕΑ, αλλά δεν ήταν αποτελεσματικά. Ένα παράδειγμα είναι το "Kettering Bug" που αναπτύχθηκε από τις ΗΠΑ ως πρωτότυπο αυτόνομο αεροπλάνο. Η τεχνολογία των ΜΕΑ εξελίχθηκε περαιτέρω κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου. Τότε κατασκευάστηκαν μεγαλύτερα και πιο προηγμένα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που μπορούσαν να εκτελούν αποστολές κατασκοπείας, όπως το **Ryan Firebee** και άλλα μοντέλα των ΗΠΑ. Τα ΜΕΑ γνώρισαν τεράστια πρόοδο την τελευταία δεκαετία. Τα μοντέλα όπως το **MQ-1 Predator** και το **MQ-9 Reaper** των ΗΠΑ είναι παραδείγματα στρατιωτικών ΜΕΑ που χρησιμοποιούνται σε αποστολές κατασκοπείας, επιτήρησης και επιθέσεων.

Τεχνολογικές Εξελίξεις:

Η πρόοδος στους αισθητήρες (όπως GPS, θερμικές κάμερες και LiDAR) επέτρεψε τη βελτίωση της ακρίβειας και των δυνατοτήτων των ΜΕΑ σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας τα πιο αξιόπιστα σε σύνθετες αποστολές. Η ενσωμάτωση αλγορίθμων ΑΙ έχει δώσει στα ΜΕΑ τη δυνατότητα να λειτουργούν αυτόνομα ή ημι-αυτόνομα, με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτό επιτρέπει στα drones να εκτελούν αποστολές αναγνώρισης και επιτήρησης με μεγαλύτερη ακρίβεια. Όσον αφορά στα δίκτυα επικοινωνίας, η ανάπτυξη τεχνολογιών 5G και δικτύων χαμηλής καθυστέρησης βελτίωσε τη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου των ΜΕΑ επιτρέποντας την ταχύτερη ανταπόκριση και βελτίωση της συνεργασίας ανάμεσα σε πολλαπλά drones.¹

Εφαρμογές:

Οι στρατιωτικές δυνάμεις χρησιμοποιούν ΜΕΑ για αναγνώριση, παρακολούθηση και πλήγματα. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε αποστολές σε επικίνδυνες περιοχές, χωρίς να εκτίθενται ανθρώπινες ζωές. Ακόμη, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη βρίσκουν εφαρμογή στην γεωργία και στις επιστήμες. Χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση καλλιεργειών, τον ψεκασμό φυτοφαρμάκων και τη χαρτογράφηση των χωραφιών. Εταιρείες όπως η Amazon και η UPS εξετάζουν τη χρήση drones για τη μεταφορά και την παράδοση εμπορευμάτων. Επιπλέον, τα ΜΕΑ χρησιμοποιούνται σε επιχειρήσεις διάσωσης σε δύσβατες περιοχές, προσφέροντας άμεση επιτήρηση και βοήθεια και στον κατασκευαστικό τομέα, όπου τα drones χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση μεγάλων δομών και την παρακολούθηση έργων από αέρος. Όμως και στην ψυχαγωγία χρησιμοποιούνται για εναέριες φωτογραφίες και βίντεο σε παραγωγές ταινιών, ντοκιμαντέρ και διαφημίσεων.

¹ Groves, P. D. (2013). Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems. **Artech House**.

Προκλήσεις και Προβληματισμοί:

Η χρήση ΜΕΑ έχει δημιουργήσει νομικές προκλήσεις σχετικά με την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια στον εναέριο χώρο, καθώς χρειάζονται κανονισμοί για να αποτρέπονται συγκρούσεις με επανδρωμένα αεροσκάφη και άλλες επικίνδυνες καταστάσεις. Ιδιαίτερα στον στρατιωτικό τομέα, η χρήση ΜΕΑ για επιθέσεις έχει εγείρει ηθικές ανησυχίες για τη χρήση αυτόνομων όπλων και την ευθύνη σε περίπτωση θανάτων αμάχων.

Η εξέλιξη των ΜΕΑ συνεχίζεται, με σημαντική έρευνα να επικεντρώνεται στη βελτίωση της αυτονομίας τους, της ασφάλειάς τους, και των ικανότητά τους για αποστολές σε διάφορους τομείς της ζωής.²

² Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. **Remote Sensing**, 4(6), 1671-1692.

Κεφάλαιο 1^ο: Ιστορική Αναδρομή

1.1 Πρώιμα στάδια

Τα Αυστριακά αερόστατα

Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους χρονολογείται σε μια μάχη που έλαβε χώρα στις 22 Αυγούστου 1849, όταν οι Αυστριακοί επιτέθηκαν στη Βενετία με μη επανδρωμένα αερόστατα τα οποία μετέφεραν εκρηκτικά. Μερικά από τα αερόστατα εκτοξεύτηκαν από το Αυστριακό πλοίο *Vulcano*. Αν και μερικά από τα αερόστατα λειτούργησαν σωστά και βομβάρδισαν επιτυχώς την Δημοκρατία της Βενετίας, κάποια άλλα επέστρεψαν στις Αυστριακές γραμμές του μετώπου εξαιτίας του ανέμου. Οι Αυστριακοί εργαζόταν στο σύστημα αυτό για μήνες. Η εφημερίδα *The Presse*, της Βιέννης ανέφερε: «Η Βενετία θα βομβαρδιστεί από αερόστατα, καθώς οι λιμνοθάλασσες αποτρέπουν την προσέγγιση του πυροβολικού. Πέντε αερόστατα, το καθένα διαμέτρου 7 μέτρων (23 πόδια), κατασκευάστηκαν στο Τρεβίζο. Με ευνοϊκό άνεμο τα αερόστατα εκτοξεύονται και κατευθύνονται προς την Βενετία από όσο πιο κοντά γίνεται, και έπειτα όταν έρχονται σε κάθετη θέση πάνω από την πόλη, θα εκπυροσκοροτηθούν από ηλεκτρομαγνητισμό μέσω ενός μακρού απομονωμένου σύρματος χαλκού με μια μεγάλη γαλβανική μπαταρία που βρίσκεται τοποθετημένη πάνω σε ένα κτίριο. Η βόμβα πέφτει κάθετα, και εκρήγνυται καθώς φτάνει στο έδαφος». Τα αερόστατα δεν θεωρούνται πλέον ΜΕΑ. Από την στιγμή της εφεύρεσης των αεροσκαφών με πτέρυγες, η προσπάθεια πραγματοποίησης μη επανδρωμένων πτήσεων με αυτά για στρατιωτικούς σκοπούς έμεινε πίσω.³

1.2 Αρχές του 20ού Αιώνα

Η πρώτη εμφάνιση των ΜΕΑ σημειώθηκε στις αρχές του 20ού αιώνα κατά τη διάρκεια του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Οι πρώιμες μορφές ΜΕΑ περιλάμβαναν ιπτάμενες μηχανές που κατευθύνονταν εξ αποστάσεως, όπως τα "Kettering Bug" των ΗΠΑ. Παρά την περιορισμένη τους επιτυχία, αυτές οι πρωτόγονες μορφές έθεσαν τις βάσεις για μελλοντικές εξελίξεις.⁴

³Kristen Boon· Douglas Lovelace (2014). *The Domestic Use of Unmanned Aerial Vehicles*. Oxford: Oxford University Press. σελ. 111.

⁴ Taylor, John William Ransom· Munson, Kenneth (1977). *Jane's pocket book of remotely piloted vehicles: robot aircraft today*. USA: Collier Books. σελ. 13.

1.3 Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος και Ψυχρός Πόλεμος

Κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, η τεχνολογία των ΜΕΑ βελτιώθηκε σημαντικά. Τα ΜΕΑ χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για αναγνωριστικές αποστολές και ως ιπτάμενοι στόχοι για εκπαίδευση των πιλότων. Στη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου, οι ΗΠΑ και η Σοβιετική Ένωση επένδυσαν σημαντικά στην ανάπτυξη των ΜΕΑ για κατασκοπευτικές αποστολές, με αποκορύφωμα τα U-2 και τα SR-71 Blackbird.⁵



Εικόνα 1. Σύγχρονα Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη (ΜΕΑ)

1.4 Πειράματα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη κινούμενα από ενέργεια ακτινών

Η ιδέα χρήσης των ΜΕΑ ως φτηνή εναλλακτική των δορυφόρων για την πραγματοποίηση ερευνών στην ατμόσφαιρα, την γη και τις καιρικές συνθήκες και εν μέρει τις επικοινωνίες χρονολογείται από τα τέλη της δεκαετίας του 1950, με τις εννοιολογικές μελέτες να εστιάζουν στα ΜΕΑ με συμβατική προώθηση ή νέες μορφές προώθησης που χρησιμοποιούν μικροκυματικές ακτίνες ή φωτοβολταϊκά ηλιακά κύτταρα.

Η Raytheon εισηγήθηκε αυτό που πλέον περιγράφεται ως ΜΕΑ που χρησιμοποιεί ισχύ ακτινών, το οποίο πέταξε σε υψόμετρο 15 χιλιομέτρων, από το 1959, και πραγματοποίησε επίδειξη πιστοποίησης το 1964, με μια κεραία πομπού να τροφοδοτεί ένα ελικόπτερο σε σχοινί 20 μέτρων. Το ελικόπτερο μετέφερε μια παράταξη ανορθωτικών κεραιών ή "rectenna" που περιελάμβανε χιλιάδες διόδους που μετέτρεπαν τη μικροκυματική δέσμη σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Η επίδειξη του 1964 έλαβε αρκετή δημοσιότητα, αλλά το θέμα δεν προχώρησε, μιας και ο ενθουσιασμός για τους δορυφόρους ήταν πολύ μεγάλος και το σύστημα ανορθωτικών

⁵ Whittle, Richard (2014). *Predator: The Secret Origins of the Drone Revolution*. New York: Henry Holt and Company. σελ. 20.

κεραιών ήταν βαρύ και μη αποτελεσματικό. Ωστόσο, την δεκαετία του 1970, η NASA άρχισε να δείχνει ενδιαφέρον στην ισχύ των ακτινών για διαστημικές εφαρμογές, και το 1982, δημοσίευσε ένα σχέδιο για πολύ ελαφρύτερο και φθηνότερο σύστημα ανορθωτικών κεραιών.

Η ανορθωτική κεραία της NASA ήταν κατασκευασμένη από λεπτή πλαστική ταινία, με τις δίπολες κεραίες και τα κυκλώματα λήψης να είναι τοποθετημένα στην επιφάνεια της. Το 1987, το Καναδικό Ερευνητικό Κέντρο Επικοινωνιών χρησιμοποίησε μια βελτιωμένη ανορθωτική κεραία για να τροφοδοτήσει ένα MEA με άνοιγμα φτερών 5 μέτρων και βάρους 4,5 κιλών, ως μέρος του προγράμματος SHARP (Stationary High Altitude Relay Platform, Στατική Πλατφόρμα Αναμετάδοσης Υψηλού Υψομέτρου). Το MEA του SHARP πραγματοποίησε κυκλική πτήση 150 μέτρων πάνω από την κεραία του πομπού. Το MEA χρειαζόταν 150 βατ, και είχε τη δυνατότητα να αποκτήσει αυτό το επίπεδο ισχύος από δέσμες μικροκυματικών ακτινών 6 έως 12 κιλοβάτ.⁶

1.5 Σύγχρονη Εποχή

Στη σύγχρονη εποχή, τα MEA έχουν εξελιχθεί σε σύγχρονα τεχνολογικά συστήματα με πολλαπλές δυνατότητες. Η ανάπτυξη των UAV (Unmanned Aerial Vehicles) όπως το Predator και το Reaper από τις ΗΠΑ έχει αλλάξει τον τρόπο διεξαγωγής των στρατιωτικών επιχειρήσεων, προσφέροντας δυνατότητες μακράς διάρκειας επιτήρησης και ακριβείας επιθέσεων.

⁶ David, Donald (1997). «Standard aircraft». *Encyclopedia of World Aircraft*. Etobicoke, Ontario: Prospero Books. σελ. 854.

Κεφάλαιο 2^ο: Τεχνολογίες και Καινοτομίες

2.1 Συστήματα Πλοήγησης

Τα σύγχρονα ΜΕΑ είναι εξοπλισμένα με προηγμένα συστήματα πλοήγησης που περιλαμβάνουν GPS (Global Positioning System) και GLONASS (Global Navigation Satellite System). Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την ακριβή τοποθέτηση και την αυτόνομη πλοήγηση των αεροσκαφών σε πολύπλοκες αποστολές.

2.2 Αισθητήρες και Κάμερες

Οι αισθητήρες και οι κάμερες που χρησιμοποιούνται στα ΜΕΑ έχουν εξελιχθεί σημαντικά. Οι κάμερες υψηλής ανάλυσης επιτρέπουν την λεπτομερή παρακολούθηση και καταγραφή, ενώ οι θερμικοί αισθητήρες και οι υπέρυθρες κάμερες επιτρέπουν την παρακολούθηση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή μέσω καπνού και άλλων εμποδίων.

2.3 Τεχνητή Νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη των ΜΕΑ. Τα συστήματα AI επιτρέπουν στα ΜΕΑ να πραγματοποιούν αυτόνομες πτήσεις, να αναγνωρίζουν και να αποφεύγουν εμπόδια, και να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο βάσει δεδομένων που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της πτήσης. Τα ΜΕΑ μπορούν να συλλέγουν και να επεξεργάζονται δεδομένα κατά την πτήση, προσφέροντας ανάλυση σε πραγματικό χρόνο για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως χαρτογράφηση, παρακολούθηση ή γεωργική ανάλυση. Επιπλέον, η ενσωμάτωση μηχανικής μάθησης στα ΜΕΑ τους επιτρέπει να προσαρμόζονται και να βελτιώνουν τις πτήσεις τους καθώς μαθαίνουν από προηγούμενες αποστολές.

2.4 Υλικά Κατασκευής

Τα ελαφρά και ανθεκτικά υλικά, όπως οι σύνθετες ίνες άνθρακα, έχουν συμβάλει στη βελτίωση της απόδοσης των ΜΕΑ. Αυτά τα υλικά επιτρέπουν μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης και αυξημένη ικανότητα μεταφοράς φορτίου, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου ή ενέργειας.

Τα υλικά και η κατασκευή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones) παίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργικότητα, την ανθεκτικότητα και την αποδοτικότητά τους. Τα

υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των drones πρέπει να είναι ελαφριά για να επιτρέπουν μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης και καλύτερη ευελιξία, αλλά και ανθεκτικά για να αντέχουν στις καταπονήσεις και τους κραδασμούς κατά τη χρήση.

Υλικά Κατασκευής Σκελετού

- **Ανθρακονήματα (Carbon Fiber):** Το ανθρακόνημα είναι από τα πιο διαδεδομένα υλικά για τον σκελετό των drones. Είναι πολύ ελαφρύ, αλλά εξαιρετικά ανθεκτικό. Επιπλέον, προσφέρει μεγάλη αντοχή στις καταπονήσεις και τις δονήσεις, κάτι που το καθιστά ιδανικό για πτήσεις σε δύσκολες συνθήκες.
- **Πλαστικά Ενισχυμένα με Υαλοβάμβακα (Glass -Fiber Reinforced Plastics - GFRP):** Τα πλαστικά με ενίσχυση υαλοβάμβακα είναι μια πιο οικονομική εναλλακτική στα ανθρακονήματα. Είναι ελαφριά και αρκετά ανθεκτικά, αν και δεν προσφέρουν την ίδια αντοχή όπως τα ανθρακονήματα.
- **Αλουμίνιο:** Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται συχνά σε μέρη του πλαισίου, όπως οι βραχίονες και τα στηρίγματα, λόγω της ανθεκτικότητάς του και της σχετικά χαμηλής του πυκνότητας. Είναι φθηνότερο από τα ανθρακονήματα, αλλά και βαρύτερο.
- **Πολυμερή (PLA, ABS, Nylon):** Τα πλαστικά αυτά, ειδικά το ABS και το Nylon, χρησιμοποιούνται σε πιο προσιτά drones λόγω της χαμηλής τους τιμής και της ευκολίας επεξεργασίας. Αν και είναι ελαφριά, δεν είναι τόσο ανθεκτικά όσο τα σύνθετα υλικά.

Τεχνολογίες Σύνθετων Υλικών

- **Σύνθετα Υλικά (Composites):** Τα σύνθετα υλικά είναι συνδυασμός δύο ή περισσότερων υλικών για να δημιουργηθεί ένα νέο υλικό που συνδυάζει τις ιδιότητες τους. Στα drones, χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά που συνδυάζουν την ελαφρότητα των πολυμερών με την ανθεκτικότητα των υαλονημάτων ή των ανθρακονημάτων.
- **Εφαρμογή με 3D Εκτύπωση:** Η 3D εκτύπωση επιτρέπει τη δημιουργία ελαφρών και ανθεκτικών εξαρτημάτων με ειδικά σχεδιασμένα μοτίβα και δομές, κάνοντας δυνατή την προσαρμογή των drones στις συγκεκριμένες ανάγκες της αποστολής τους.

Αεροδυναμική Σχεδίαση

- **Βελτιστοποίηση σχήματος:** Οι κατασκευαστές drones δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στην αεροδυναμική σχεδίαση, μειώνοντας την αντίσταση του αέρα και βελτιώνοντας την

απόδοση κατά την πτήση. Το σχήμα των φτερών και του σώματος επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα, τη σταθερότητα και την κατανάλωση ενέργειας.

- **Μειωμένο βάρος:** Τα ελαφρά υλικά όπως τα ανθρακονήματα και τα σύνθετα πολυμερή επιτρέπουν στα drones να παραμένουν ελαφριά, επιμηκύνοντας τον χρόνο πτήσης και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας.

Προστασία και Ανθεκτικότητα

- **Ανθεκτικότητα σε καιρικές συνθήκες:** Τα υλικά πρέπει να αντέχουν σε υγρασία, θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, και UV ακτινοβολία. Τα σύνθετα υλικά όπως το ανθρακόνημα και τα ενισχυμένα πλαστικά διατηρούν τις ιδιότητές τους σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- **Προστασία από κραδασμούς:** Τα drones εξοπλίζονται με συστήματα απορρόφησης κραδασμών, συχνά από καουτσούκ ή άλλα ελαστικά υλικά, τα οποία προστατεύουν τα ηλεκτρονικά και τις κάμερες από τη δόνηση που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της πτήσης ή σε τυχόν πρόσκρουση.

Κινητήρες και Προπέλες

- **Κινητήρες χωρίς ψήκτρες (Brushless Motors):** Οι κινητήρες αυτοί είναι πιο αποδοτικοί, ανθεκτικοί και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους παραδοσιακούς κινητήρες. Οι προπέλες, συνήθως από πλαστικά ενισχυμένα με ίνες άνθρακα, προσφέρουν μεγάλη σταθερότητα και αποδοτικότητα.
- **Προπέλες από σύνθετα υλικά:** Οι προπέλες, που είναι κρίσιμες για την αποδοτική πτήση, κατασκευάζονται συχνά από ανθρακονήματα ή ενισχυμένα πλαστικά για να είναι ελαφριές και ανθεκτικές. Η αεροδυναμική σχεδίασή τους συμβάλλει στη βέλτιστη ισχύ κατά την πτήση.

Μείωση Θορύβου

- **Αθόρυβα υλικά:** Οι προπέλες και οι κινητήρες εξελίσσονται ώστε να μειώνεται ο θόρυβος που παράγεται κατά την πτήση, κάτι που είναι σημαντικό σε εφαρμογές όπως η φωτογράφιση ή η επιτήρηση σε κατοικημένες περιοχές.

Η συνεχής εξέλιξη των υλικών και της κατασκευής των drones συνδυάζει ελαφρότητα, ανθεκτικότητα, και αεροδυναμική αποδοτικότητα, καθιστώντας τα κατάλληλα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Κεφάλαιο 3^ο: Εφαρμογές των ΜΕΑ

3.1 Γεωργία

Στον τομέα της γεωργίας, τα ΜΕΑ χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση των καλλιεργειών, την ανίχνευση παρασίτων και ασθενειών, καθώς και για την εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Τα ΜΕΑ επιτρέπουν την ακριβή γεωργία, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.⁷



Εικόνα 2. Εφαρμογή στη γεωργία

3.2 Δημόσια Ασφάλεια

Τα ΜΕΑ χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση και τη διαχείριση καταστροφών, την αναζήτηση και διάσωση, καθώς και την επιτήρηση συνόρων. Οι δυνατότητες των ΜΕΑ να φτάνουν σε δυσπρόσιτες περιοχές και να παρέχουν άμεσες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο έχουν αποδειχθεί ανεκτίμητες σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (ΜΕΑ) έχουν γίνει σημαντικό εργαλείο στον τομέα της ασφάλειας, παρέχοντας ευελιξία, ταχύτητα και αποτελεσματικότητα σε διάφορες εφαρμογές. Οι δυνατότητες τους στον τομέα της παρακολούθησης, της επιτήρησης και της αντιμετώπισης κρίσεων τα καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμα για υπηρεσίες ασφαλείας, στρατιωτικές επιχειρήσεις και άλλες κρατικές και ιδιωτικές αρχές.

Επιτήρηση και Παρακολούθηση

- **Σύνορα και ευαίσθητες περιοχές:** Τα ΜΕΑ χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση συνόρων, στρατιωτικών εγκαταστάσεων, ενεργειακών υποδομών (όπως αγωγοί

⁷ Floreano, D., & Wood, R. J. (2015). Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature*, 521(7553), 460-466

πετρελαίου) και άλλων στρατηγικών σημείων. Μπορούν να καλύπτουν μεγάλες περιοχές γρήγορα, ανιχνεύοντας εισβολές ή ύποπτες δραστηριότητες.

- **Αστυνομικές επιχειρήσεις:** Οι αστυνομικές δυνάμεις χρησιμοποιούν ΜΕΑ για την παρακολούθηση και συλλογή πληροφοριών σε αστικά κέντρα, σε διαδηλώσεις ή εκδηλώσεις μεγάλης κλίμακας, καθώς και για την αναγνώριση εγκληματικών δραστηριοτήτων.
- **Διαχείριση πλήθους:** Σε μεγάλες συγκεντρώσεις ή εκδηλώσεις (αθλητικά γεγονότα, συναυλίες), τα ΜΕΑ μπορούν να παρακολουθούν τη συμπεριφορά του πλήθους, ανιχνεύοντας ενδείξεις ταραχών ή πανικού και βοηθώντας τις αρχές να αντιδράσουν άμεσα.

Έλεγχος και Ασφάλεια Υποδομών

- **Επιτήρηση κρίσιμων υποδομών:** Τα ΜΕΑ χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση και συντήρηση εγκαταστάσεων όπως εργοστάσια, φράγματα, αεροδρόμια, λιμάνια, σιδηροδρομικούς σταθμούς και άλλα σημαντικά κέντρα, μειώνοντας το κόστος και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της ασφάλειας.
- **Επιθεώρηση εγκαταστάσεων υψηλού κινδύνου:** Οι υποδομές ενέργειας (ηλεκτρικοί σταθμοί, αγωγοί φυσικού αερίου, πυρηνικά εργοστάσια) απαιτούν συνεχή επιτήρηση για την αποτροπή πιθανών απειλών. Τα ΜΕΑ επιτρέπουν την επιθεώρηση περιοχών που είναι δύσκολα προσβάσιμες ή επικίνδυνες για τους ανθρώπους.

Διαχείριση Κρίσεων και Αντιμετώπιση Καταστροφών

- **Διάσωση και ανεύρεση αγνοουμένων:** Σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, όπως σεισμοί, πλημμύρες ή πυρκαγιές, τα ΜΕΑ χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αγνοουμένων και την αξιολόγηση των ζημιών από αέρα. Εξοπλισμένα με θερμικές κάμερες, μπορούν να εντοπίσουν ανθρώπους σε δύσβατες περιοχές ή σε συντρίμια.
- **Αντιμετώπιση πυρκαγιών:** Τα ΜΕΑ μπορούν να επιτηρούν πυρκαγιές σε δάση ή αστικές περιοχές, παρέχοντας στους πυροσβέστες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την κατεύθυνση της φωτιάς και τις περιοχές υψηλού κινδύνου.

Επιτήρηση Θαλάσσιων Συνόρων και Ναυτική Ασφάλεια

- **Παρακολούθηση θαλάσσιων συνόρων:** Τα ΜΕΑ μπορούν να επιτηρούν τα θαλάσσια σύνορα για την πρόληψη παράνομης μετανάστευσης, λαθρεμπορίου και πειρατείας. Η

δυνατότητα κάλυψης μεγάλων αποστάσεων σε σύντομο χρόνο τα καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμα για την ακτοφυλακή.

- **Έρευνα και διάσωση στη θάλασσα:** Σε θαλάσσιες επιχειρήσεις, τα ΜΕΑ είναι χρήσιμα για την ανεύρεση και διάσωση ατόμων που έχουν πέσει στη θάλασσα ή για τον εντοπισμό σκαφών που βρίσκονται σε κίνδυνο.

Αντιτρομοκρατικές Επιχειρήσεις

- **Εντοπισμός απειλών:** Τα ΜΕΑ μπορούν να παρακολουθούν από απόσταση ύποπτες δραστηριότητες ή να πραγματοποιούν επιθεωρήσεις σε ύποπτα κτήρια και περιοχές, μειώνοντας τον κίνδυνο για τους ανθρώπινους πράκτορες.
- **Προστασία από εκρηκτικά:** Σε περίπτωση που εντοπιστεί ύποπτο αντικείμενο ή όχημα, τα ΜΕΑ μπορούν να το επιθεωρήσουν με ασφάλεια, αποφεύγοντας να εκτεθούν άνθρωποι στον κίνδυνο.⁸

Καταπολέμηση Εγκλήματος και Διάσωση Ομήρων

- **Επιτήρηση και καταδίωξη εγκληματιών:** Κατά τη διάρκεια αστυνομικών επιχειρήσεων, τα ΜΕΑ μπορούν να επιτηρούν από ψηλά ύποπτα οχήματα ή εγκληματίες που διαφεύγουν, βοηθώντας τις δυνάμεις ασφαλείας να συντονιστούν και να αποφύγουν απειλές.
- **Διάσωση ομήρων:** Σε επιχειρήσεις διάσωσης ομήρων, τα ΜΕΑ μπορούν να εισέλθουν σε επικίνδυνες περιοχές για συλλογή πληροφοριών χωρίς να θέσουν σε κίνδυνο τις ζωές των αστυνομικών ή των ομήρων.

Πρόληψη και Διαχείριση Εγκλήματος

- **Παρακολούθηση και επιτήρηση περιοχών υψηλής εγκληματικότητας:** Τα ΜΕΑ επιτρέπουν τη συνεχή επιτήρηση περιοχών με υψηλή εγκληματικότητα, λειτουργώντας ως αποτρεπτικός παράγοντας και συλλέγοντας στοιχεία για εγκληματικές δραστηριότητες.
- **Διαχείριση κυκλοφορίας και ατυχημάτων:** Στην επιτήρηση της κυκλοφορίας, τα ΜΕΑ χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κυκλοφοριακής ροής και την ταχύτερη αντίδραση σε ατυχήματα.

⁸ Springer, Paul J. (2013). *Military Robots and Drones: A Reference Handbook: A Reference Handbook*. Santa Barbara, California: ABC-CLIO. σελ. 1970-1971.

Οι παραπάνω εφαρμογές των ΜΕΑ στον τομέα της ασφάλειας αποδεικνύουν τη μεγάλη χρησιμότητά τους στην προστασία, την επιτήρηση και τη διαχείριση κρίσεων, με τα ΜΕΑ να προσφέρουν δυνατότητες που δεν ήταν εφικτές με παραδοσιακά μέσα.



Εικόνα 3. Πρόληψη και Διαχείριση Εγκλήματος

3.3 Εμπορική Διανομή

Οι εταιρείες ταχυμεταφορών και οι κολοσσοί του ηλεκτρονικού εμπορίου εξετάζουν τη χρήση των ΜΕΑ για τη γρήγορη παράδοση δεμάτων. Αυτή η εφαρμογή υπόσχεται να μειώσει τους χρόνους παράδοσης και να βελτιώσει την εξυπηρέτηση πελατών, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες και δύσκολα προσβάσιμες περιοχές.⁹

3.4 Κινηματογραφία και Μέσα Ενημέρωσης

Η κινηματογραφία και τα μέσα ενημέρωσης έχουν εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες των ΜΕΑ για αεροφωτογράφιση και βιντεοσκόπηση. Τα ΜΕΑ επιτρέπουν τη λήψη εντυπωσιακών πλάνων από αέρος, προσφέροντας νέες προοπτικές και βελτιώνοντας την ποιότητα των παραγωγών.

⁹ Kristen Boon· Douglas Lovelace (2014). *The Domestic Use of Unmanned Aerial Vehicles*. Oxford: Oxford University Press. σελ. 111.

Κεφάλαιο 4^ο: Προκλήσεις και Ζητήματα

4.1 Νομικό Πλαίσιο και Κανονισμοί

Η ανάπτυξη των ΜΕΑ έχει δημιουργήσει την ανάγκη για ένα ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο που θα ρυθμίζει τη χρήση τους. Οι κανονισμοί πρέπει να επιτυγχάνουν την ασφάλεια των πτήσεων, την προστασία της ιδιωτικότητας και την αποφυγή συγκρούσεων με άλλα αεροσκάφη.¹⁰

Το νομικό πλαίσιο και οι κανονισμοί για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV - Unmanned Aerial Vehicles), γνωστά και ως drones, καθορίζονται από διεθνείς και εθνικές αρχές για την εξασφάλιση της ασφαλούς και υπεύθυνης χρήσης τους. Οι κανονισμοί αυτοί ποικίλλουν ανάλογα με τη χώρα, τη χρήση του ΜΕΑ (επαγγελματική ή ψυχαγωγική), και το μέγεθος ή το βάρος του αεροσκάφους.¹¹

Βασικές Αρχές Νομικού Πλαισίου για Drones:

- **Εγγραφή και Ταυτοποίηση:** Τα περισσότερα κράτη απαιτούν την εγγραφή των drones που υπερβαίνουν ένα συγκεκριμένο βάρος (συνήθως 250 γραμμάρια) στις αρμόδιες αρχές πολιτικής αεροπορίας. Τα drones πρέπει να φέρουν σήμανση αναγνώρισης που να συνδέεται με τον ιδιοκτήτη ή τον χειριστή τους.
- **Ασφάλεια και Ζώνες Πτήσης:** Απαγορεύεται η πτήση πάνω από πυκνοκατοικημένες περιοχές, ευαίσθητες εγκαταστάσεις (όπως στρατιωτικές βάσεις ή κυβερνητικά κτίρια) και **αεροδρόμια** χωρίς άδεια. Πολλές χώρες έχουν καθιερώσει ζώνες απαγόρευσης πτήσεων (no-fly zones), όπου τα drones δεν επιτρέπεται να πετούν για λόγους ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικότητας.
- **Όρια Ύψομέτρου και Απόστασης:** Συνήθως, οι πτήσεις drones περιορίζονται σε ύψος κάτω από 120 μέτρα (400 πόδια) πάνω από το έδαφος για να αποφεύγονται συγκρούσεις με επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι πτήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται εντός οπτικής επαφής (VLOS - Visual Line of Sight), δηλαδή ο χειριστής πρέπει να μπορεί να βλέπει το drone καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης.
- **Επαγγελματική Χρήση:** Για την επαγγελματική χρήση drones (όπως εναέρια φωτογραφία, επιθεωρήσεις, γεωργία), απαιτείται συνήθως ειδική άδεια χειριστή από την

¹⁰ Finn, R. L., & Wright, D. (2012). Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. *Computer Law & Security Review*, 28(2), 184-194.

¹¹ Custers, Bart (2016). *The Future of Drone Use: Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives*. Berlin: Springer. σελ. 9.

αρμόδια αρχή, όπως και η λήψη ειδικών μέτρων ασφαλείας. Οι χειριστές επαγγελματικών drones πρέπει να έχουν πιστοποιητικό επάρκειας που να αποδεικνύει ότι έχουν ολοκληρώσει εκπαίδευση πτήσης και γνωρίζουν τους κανονισμούς.

- **Ιδιωτικότητα και Δεδομένα:** Τα drones δεν πρέπει να παραβιάζουν την **ιδιωτικότητα** των ανθρώπων. Υπάρχουν νόμοι που απαγορεύουν τη χρήση drones για τη **λήψη φωτογραφιών ή βίντεο** χωρίς τη συγκατάθεση των ατόμων που βρίσκονται σε ιδιωτικό χώρο. Η χρήση drones για συλλογή δεδομένων υπόκειται σε κανονισμούς περί προστασίας προσωπικών δεδομένων.¹²
- **Ασφάλιση:** Σε πολλές χώρες απαιτείται οι χειριστές drones να διαθέτουν **ασφάλιση αστικής ευθύνης** για κάλυψη ζημιών που μπορεί να προκληθούν σε τρίτους από τη χρήση του drone.

Νομικό Πλαίσιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει ενιαίο νομικό πλαίσιο για τα drones, μέσω του Κανονισμού (ΕΕ) 2019/947 και του Κανονισμού (ΕΕ) 2019/945, που τέθηκαν σε ισχύ το 2020. Οι κανονισμοί αυτοί προβλέπουν:

- **Κατηγοριοποίηση Drones:** Τα drones κατηγοριοποιούνται σε **ανοικτή κατηγορία** (Open Category), **ειδική κατηγορία** (Specific Category), και **πιστοποιημένη κατηγορία** (Certified Category), ανάλογα με το επίπεδο κινδύνου που ενέχει η πτήση τους.
- **Ανοικτή Κατηγορία (Open Category):** Προορίζεται για μη επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για μη επικίνδυνες πτήσεις, με αυστηρούς περιορισμούς σε ύψος (120 μέτρα), οπτική επαφή, και περιορισμούς στην εγγύτητα με άτομα και κτίρια.
- **Ειδική Κατηγορία (Specific Category):** Περιλαμβάνει πιο επικίνδυνες πτήσεις, όπως πτήσεις πέρα από το οπτικό πεδίο (BVLOS - Beyond Visual Line of Sight) ή πάνω από πυκνοκατοικημένες περιοχές. Σε αυτή την κατηγορία απαιτείται εκτίμηση κινδύνου και άδεια από την αρμόδια αρχή.
- **Εκπαίδευση και Πιστοποίηση:** Οι χειριστές drones πρέπει να περάσουν **εκπαιδευτικά προγράμματα** και να αποκτήσουν πιστοποιήσεις, ειδικά για επαγγελματική χρήση ή για πτήσεις που ενέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο.

¹² Finn, R. L., & Wright, D. (2012). Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. *Computer Law & Security Review*, 28(2), 184-194.

- **Ηλεκτρονική Ταυτοποίηση και Geo-Fencing:** Τα drones που ανήκουν σε πιο προηγμένες κατηγορίες πρέπει να είναι εφοδιασμένα με **ηλεκτρονική ταυτοποίηση** και συστήματα **geo-fencing** για την αποφυγή εισόδου σε απαγορευμένες περιοχές πτήσεων.

Το νομικό πλαίσιο για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη εξελίσσεται συνεχώς για να καλύψει τις τεχνολογικές εξελίξεις και να διασφαλίσει την ασφαλή χρήση τους. Είναι σημαντικό οι χειριστές να γνωρίζουν και να τηρούν τους κανονισμούς της περιοχής όπου πετούν, καθώς η μη συμμόρφωση μπορεί να οδηγήσει σε ποινές ή και νομικές συνέπειες.

4.2 Ασφάλεια και Προστασία Δεδομένων

Τα ΜΕΑ ενέχουν κινδύνους παραβίασης δεδομένων και κυβερνοεπιθέσεων. Η προστασία των δεδομένων που συλλέγονται και μεταδίδονται από τα ΜΕΑ είναι κρίσιμη για την αποφυγή κακόβουλων χρήσεων και την προστασία της ιδιωτικότητας.

4.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Τα ΜΕΑ μπορούν να προκαλέσουν θόρυβο και να επηρεάσουν την άγρια ζωή. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη και τη χρήση των ΜΕΑ, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι αρνητικές συνέπειες.¹³

4.4 Ηθικά Ζητήματα

Η χρήση των ΜΕΑ για στρατιωτικούς σκοπούς εγείρει ηθικά ζητήματα, ιδίως όσον αφορά την ευθύνη για απώλειες ανθρώπινων ζώων και την προστασία των ανθρώπινων δικαιωμάτων. Η ανάπτυξη και η χρήση των ΜΕΑ πρέπει να γίνεται με σεβασμό στις ηθικές αξίες και τα ανθρώπινα δικαιώματα. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αποτελούν μια τεχνολογία με απεριόριστες δυνατότητες και ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών που τα υποστηρίζουν προσφέρει νέες ευκαιρίες για καινοτομία, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν με προσοχή. Η ισορροπία μεταξύ καινοτομίας, ασφάλειας και ηθικής χρήσης θα καθορίσει τον μελλοντικό ρόλο των ΜΕΑ στην κοινωνία.¹⁴

¹³ Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146.

¹⁴ Finn, R. L., & Wright, D. (2012). Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. *Computer Law & Security Review*, 28(2), 184-194.

Κεφάλαιο 5ο: Συστήματα Πλοήγησης UAV

Τα συστήματα πλοήγησης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) αποτελούν τον πυρήνα της αποτελεσματικής και ασφαλούς λειτουργίας τους. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν μια ποικιλία τεχνολογιών και αισθητήρων για την επίτευξη ακριβούς πλοήγησης.

5.1 Βασικές Τεχνολογίες Πλοήγησης 5.1.1 GPS (Global Positioning System)

Το GPS είναι μια δορυφορική τεχνολογία πλοήγησης που παρέχει πληροφορίες τοποθέτησης και χρονομέτρησης. Το σύστημα αποτελείται από 24 δορυφόρους που εκπέμπουν σήματα, τα οποία λαμβάνονται από τον δέκτη GPS του UAV για να υπολογιστεί η θέση του.

Το σύστημα πλοήγησης **GPS** (Global Positioning System) παίζει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία και πλοήγηση των **μη επανδρωμένων αεροσκαφών** (UAVs ή drones). Τα drones χρησιμοποιούν το GPS για να καθορίσουν τη θέση τους σε σχέση με τη Γη, να εκτελέσουν πτήσεις αυτόνομα, να ακολουθούν προκαθορισμένες διαδρομές και να διασφαλίσουν την ακρίβεια της πτήσης.

Πώς λειτουργεί το σύστημα πλοήγησης GPS στα MEA:

➤ Λήψη σήματος από δορυφόρους:

Το GPS λειτουργεί μέσω δορυφόρων που στέλνουν **σήματα θέσης** στο MEA. Τα περισσότερα σύγχρονα MEA χρησιμοποιούν έναν **δέκτη GPS**, ο οποίος λαμβάνει σήματα από πολλούς δορυφόρους ταυτόχρονα. Ο δέκτης GPS υπολογίζει τη **θέση**, το **ύψος**, και την **ταχύτητα** του MEA με βάση την απόσταση από αυτούς τους δορυφόρους.

➤ Αυτόνομη πλοήγηση:

Το GPS επιτρέπει στο MEA να πραγματοποιεί **αυτόνομες πτήσεις** με βάση προκαθορισμένες διαδρομές που εισάγονται στο σύστημα πλοήγησης του αεροσκάφους μέσω λογισμικού πλοήγησης ή εφαρμογών. Οι χειριστές μπορούν να προγραμματίσουν διαδρομές χρησιμοποιώντας **σημεία ενδιαφέροντος (waypoints)** που προσδιορίζουν ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες που πρέπει να ακολουθήσει το MEA.

➤ **Επαναφορά θέσης (Return to Home):**

Πολλά ΜΕΑ είναι εξοπλισμένα με λειτουργία **Return to Home (RTH)**, η οποία ενεργοποιείται όταν το ΜΕΑ χάνει την επικοινωνία με τον χειριστή ή όταν η μπαταρία είναι χαμηλή. Χρησιμοποιώντας το GPS, το ΜΕΑ επιστρέφει αυτόματα στην αρχική του θέση εκκίνησης.

➤ **Σταθερότητα και ακρίβεια πτήσης:**

Το GPS βοηθά στη διατήρηση της **σταθερότητας της πτήσης**, επιτρέποντας στο ΜΕΑ να αιωρείται με ακρίβεια σε ένα συγκεκριμένο σημείο, ακόμη και αν υπάρχουν εξωτερικοί παράγοντες όπως άνεμος. Η ακρίβεια της πλοήγησης εξαρτάται από το πόσους δορυφόρους λαμβάνει σήμα το ΜΕΑ και την ποιότητα του GPS συστήματος.

Πλεονεκτήματα του GPS για τα ΜΕΑ

- **Αυτονομία πτήσης:** Το GPS επιτρέπει στα ΜΕΑ να εκτελούν αυτόνομες πτήσεις, χωρίς την ανάγκη συνεχούς παρέμβασης από τον χειριστή.
- **Ακρίβεια και σταθερότητα:** Χάρη στο GPS, τα ΜΕΑ μπορούν να εκτελούν ακριβείς ελιγμούς και να παραμένουν σταθερά σε συγκεκριμένες θέσεις, ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες.
- **Ασφάλεια:** Οι λειτουργίες όπως το "Return to Home" και το geo-fencing αυξάνουν την ασφάλεια κατά τη χρήση του ΜΕΑ, προστατεύοντας το αεροσκάφος και το περιβάλλον του.

Προκλήσεις και περιορισμοί

- **Σφάλματα GPS:** Τα σήματα GPS μπορεί να επηρεαστούν από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως **παρεμβολές** από κτίρια ή ορεινές περιοχές, ή από **καιρικές συνθήκες**, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ακρίβεια.
- **Απόλυτη εξάρτηση:** Τα ΜΕΑ που βασίζονται αποκλειστικά στο GPS για την πλοήγηση μπορεί να αντιμετωπίσουν προβλήματα αν χαθεί το σήμα ή αν υπάρχει ηλεκτρονική παρεμβολή (jamming).

Συνοψίζοντας, το GPS είναι ένα από τα πιο σημαντικά συστήματα πλοήγησης για τα ΜΕΑ, παρέχοντας ακρίβεια, ασφάλεια και αυτονομία στην πτήση. Ωστόσο, η συνδυαστική χρήση άλλων συστημάτων, όπως το GNSS και το RTK, μπορεί να βελτιώσει ακόμη περισσότερο τις επιδόσεις και την αξιοπιστία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, καθιστώντας

τα ιδανικά εργαλεία για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από την επιθεώρηση υποδομών μέχρι την εναέρια χαρτογράφηση και τις παραδόσεις. Εξασφαλίζουν, υψηλή ακρίβεια τοποθέτησης (μέχρι και μερικά μέτρα σε ανοιχτό χώρο), διαθεσιμότητα σε παγκόσμια κλίμακα και χαμηλό κόστος εξοπλισμού και λειτουργίας. Αντίθετα, μπορεί να επηρεαστεί από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως πυκνά δάση ή αστικά περιβάλλοντα και ευαίσθητο σε παρεμβολές και απώλειες σήματος.



Εικόνα 4. MEA με σύστημα πλοήγησης

5.1.2 GLONASS (Global Navigation Satellite System)

Το GLONASS είναι το ρωσικό αντίστοιχο του GPS και προσφέρει παρόμοια λειτουργικότητα. Χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με το GPS για να αυξήσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των δεδομένων πλοήγησης.

- **Πλεονεκτήματα:**
 - Βελτιωμένη ακρίβεια όταν χρησιμοποιείται μαζί με GPS.
 - Αυξημένη ανθεκτικότητα σε παρεμβολές σήματος.
- **Μειονεκτήματα:**
 - Παρόμοια ευαισθησία σε περιβαλλοντικούς παράγοντες με το GPS.

5.2 Προηγμένες Τεχνολογίες Πλοήγησης

5.2.1 INS (Inertial Navigation System)

Τα INS χρησιμοποιούν αισθητήρες αδρανείας, όπως γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα για να υπολογίσουν τη θέση, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του UAV χωρίς την ανάγκη εξωτερικών

σημάτων.¹⁵

- **Πλεονεκτήματα:**
 - Δεν εξαρτώνται από εξωτερικά σήματα, καθιστώντας τα ιδανικά για περιβάλλοντα χωρίς GPS.
 - Παρέχουν γρήγορη και ακριβή απόκριση στις αλλαγές της κίνησης.
- **Μειονεκτήματα:**
 - Τα σφάλματα συσσωρεύονται με την πάροδο του χρόνου (drift).
 - Υψηλό κόστος εξοπλισμού και συντήρησης.

5.2.2 Συστήματα Όρασης Υπολογιστή (Computer Vision)

Τα συστήματα όρασης υπολογιστή χρησιμοποιούν κάμερες και αλγορίθμους επεξεργασίας εικόνας για την αναγνώριση και την ανάλυση του περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση και την αποφυγή εμποδίων.

- **Πλεονεκτήματα:**
 - Ακριβής αναγνώριση και αποφυγή εμποδίων.
 - Λειτουργία σε περιβάλλοντα χωρίς GPS.
- **Μειονεκτήματα:**
 - Εξαρτώνται από τις συνθήκες φωτισμού.
 - Υψηλές απαιτήσεις επεξεργασίας δεδομένων.

5.2.3 LIDAR (Light Detection and Ranging)

Τα συστήματα LIDAR χρησιμοποιούν λέιζερ για να μετρήσουν αποστάσεις και να δημιουργήσουν τρισδιάστατες απεικονίσεις του περιβάλλοντος. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την ακριβή χαρτογράφηση και πλοήγηση σε περίπλοκα περιβάλλοντα.

- **Πλεονεκτήματα:**
 - Υψηλή ακρίβεια στην αποτύπωση του περιβάλλοντος.
 - Λειτουργία ανεξάρτητη από τις συνθήκες φωτισμού.

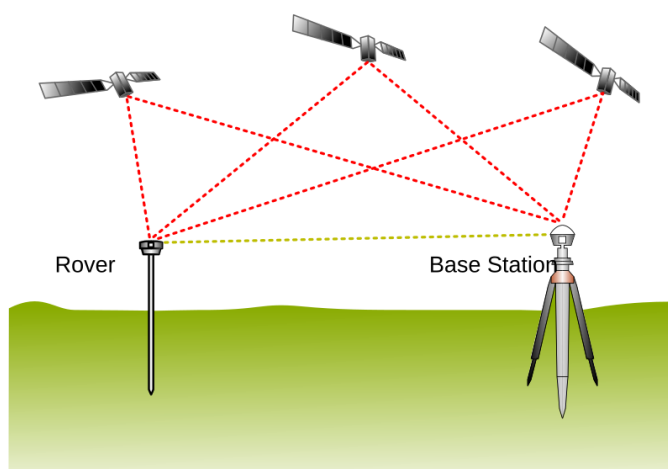
¹⁵ Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. **Remote Sensing**, 4(6), 1671-1692

- **Μειονεκτήματα:**
 - Υψηλό κόστος εξοπλισμού.
 - Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας.

5.2.4 RTK (Real -Time Kinematic)

Η τεχνολογία RTK βελτιώνει την ακρίβεια των συστημάτων GPS χρησιμοποιώντας δεδομένα από σταθμούς βάσης για τη διόρθωση των σφαλμάτων θέσης σε πραγματικό χρόνο. Τα UAV με RTK μπορούν να επιτύχουν ακρίβεια σε επίπεδο εκατοστού.

- **Πλεονεκτήματα:**
 - Εξαιρετική ακρίβεια τοποθέτησης.
 - Ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια, όπως η γεωργία ακριβείας.
- **Μειονεκτήματα:**
 - Εξάρτηση από σταθμούς βάσης.
 - Υψηλό κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης.



Εικόνα 5. RTK σύστημα πλοήγησης

5.3 Συνδυασμός Τεχνολογιών

Η αποτελεσματική πλοήγηση των UAV συχνά επιτυγχάνεται με τον συνδυασμό διάφορων τεχνολογιών πλοήγησης. Για παράδειγμα, ένας συνδυασμός GPS/GLONASS, INS και συστημάτων όρασης υπολογιστή μπορεί να προσφέρει ακριβή και αξιόπιστη πλοήγηση σε ποικίλα περιβάλλοντα και

συνθήκες.¹⁶

- **Συνεργατικότητα:** Η ενσωμάτωση πολλαπλών τεχνολογιών εξασφαλίζει την ανθεκτικότητα του συστήματος πλοήγησης και την ελαχιστοποίηση των κινδύνων αποτυχίας.
- **Εφεδρεία:** Σε περίπτωση απώλειας ενός σήματος (π.χ., GPS), οι άλλες τεχνολογίες μπορούν να διασφαλίσουν τη συνέχεια της πλοήγησης.

5.4 Προκλήσεις και Προοπτικές

Η ανάπτυξη των συστημάτων πλοήγησης UAV αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις, όπως η εξάρτηση από εξωτερικά σήματα, η ανάγκη για υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία, και η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας. Η συνεχής καινοτομία και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών θα συνεχίσουν να βελτιώνουν τις δυνατότητες των UAV, επιτρέποντας νέες εφαρμογές και αντιμετωπίζοντας τις υπάρχουσες προκλήσεις.

Τα συστήματα πλοήγησης των UAV είναι ουσιώδη για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία τους. Η εξέλιξη των τεχνολογιών GPS, GLONASS, INS, όρασης υπολογιστή, LIDAR και RTK έχει επιτρέψει τη χρήση των UAV σε ποικίλες εφαρμογές και περιβάλλοντα. Ο συνδυασμός αυτών των τεχνολογιών εξασφαλίζει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των συστημάτων πλοήγησης, αντιμετωπίζοντας παράλληλα τις προκλήσεις που προκύπτουν από τη χρήση τους.

¹⁶ Lu, X., & Niu, X. (2017). A novel integration of LIDAR and vision data for UAV navigation. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 87(3-4), 583-597.

Κεφάλαιο 6ο: Επίδραση Καιρικών Μεταβολών στην Πλοήγηση UAV

Η πλοήγηση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες. Οι μεταβολές του καιρού, όπως οι άνεμοι, η βροχή, η ομίχλη, η θερμοκρασία και η χιονόπτωση, μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των αισθητήρων, τη σταθερότητα της πτήσης και την ακρίβεια των συστημάτων πλοήγησης.¹⁷

6.1 Άνεμος

6.1.1 Επιδράσεις του Ανέμου στην Πλοήγηση UAV¹⁸

- **Σταθερότητα και Έλεγχος:** Οι ισχυροί άνεμοι μπορούν να επηρεάσουν σοβαρά τη σταθερότητα και τον έλεγχο των UAV. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για τα μικρότερα UAV, τα οποία είναι πιο ευάλωτα σε ατμοσφαιρικές διαταραχές. Οι ριπές ανέμου μπορεί να προκαλέσουν απόκλιση από την προκαθορισμένη πορεία και να δυσκολέψουν την πλοήγηση σε ευθεία γραμμή.
- **Κατανάλωση Ενέργειας:** Η αντίσταση του ανέμου αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας, καθώς το UAV πρέπει να χρησιμοποιήσει περισσότερη ισχύ για να διατηρήσει τη θέση του και να αντιμετωπίσει τις αντίθετες δυνάμεις. Αυτό μειώνει την διάρκεια της πτήσης και την αποδοτικότητα του UAV.

Ο άνεμος μπορεί να έχει σημαντικές επιδράσεις στην πλοήγηση και την απόδοση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAVs), επηρεάζοντας την ασφάλεια, την κατανάλωση ενέργειας και την ακρίβεια των αποστολών. Οι διαφορετικοί τύποι ανέμων, όπως οι ισχυροί άνεμοι, τα ρεύματα αέρα και οι ριπές, μπορούν να δημιουργήσουν προκλήσεις για τα UAVs, ιδιαίτερα τα μικρότερα και ελαφρύτερα μοντέλα.

Επιπτώσεις του ανέμου σε διαφορετικές φάσεις της πτήσης

- **Απογείωση και Προσγείωση:** Η απογείωση και η προσγείωση είναι ιδιαίτερα ευάλωτες φάσεις της πτήσης όσον αφορά την επίδραση του ανέμου. Ο ισχυρός άνεμος ή οι ριπές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη σταθερότητα του UAV, καθιστώντας αυτές τις διαδικασίες πιο επικίνδυνες. Η ακριβής προσγείωση σε προκαθορισμένο σημείο μπορεί

¹⁷ Lee, J., Choi, Y., & Kim, Y. (2020). Weather effects on the accuracy of UAV photogrammetry. *Remote Sensing*, 12(14), 2234.

¹⁸ Watkins, S., Barlow, J. F., & Brown, A. R. (2006). Measurement of wind-induced perturbations to the flight of small UAVs. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94(11), 845-858.

να είναι δύσκολη με ισχυρό πλάγιο άνεμο, απαιτώντας ειδικούς ελιγμούς και προσαρμογή του UAV για να αντισταθμιστούν οι επιδράσεις του ανέμου.

- **Πτήση σε Υψηλό Υψόμετρο:** Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να είναι υψηλότερη και να επηρεάσει τη σταθερότητα και την κατεύθυνση του UAV. Τα ελαφριά UAVs μπορεί να παρουσιάσουν αυξημένες ταλαντώσεις και απόκλιση από την προκαθορισμένη πορεία τους.
- **Πτήση σε χαμηλό υψόμετρο:** Σε χαμηλότερα υψόμετρα, τα UAVs μπορεί να επηρεαστούν από **τοπικές συνθήκες ανέμου**, όπως οι αναταράξεις που προκαλούνται από κτίρια, δέντρα ή βουνά. Αυτές οι συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν απρόβλεπτες αλλαγές στην πορεία και την ισορροπία του UAV.

6.1.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση του Ανέμου

- **Αισθητήρες Ανέμου:** Οι αισθητήρες ανέμου μπορούν να ανιχνεύσουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται από το σύστημα ελέγχου του UAV για να προσαρμόσει τις ρυθμίσεις πτήσης, διατηρώντας την σταθερότητα και την πορεία του αεροσκάφους.
- **Αυτόματα Συστήματα Σταθεροποίησης:** Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν δεδομένα από αισθητήρες για να ρυθμίσουν την ισχύ των κινητήρων και την κλίση των φτερών σε πραγματικό χρόνο, διατηρώντας την σταθερότητα του UAV. Αυτό περιλαμβάνει τεχνολογίες όπως οι γυροσκοπικοί σταθεροποιητές και οι αυτορυθμιζόμενοι έλικες.

Μέτρα για την αντιμετώπιση του ανέμου

- **Προγραμματισμός πτήσης:** Ο προσεκτικός προγραμματισμός της πτήσης μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των ανέμων. Οι πιλότοι και οι χειριστές UAVs πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις προβλέψεις καιρού και να αποφεύγουν πτήσεις σε συνθήκες έντονου ανέμου.
- **Λειτουργία GPS και αυτόνομη πλοήγηση:** Τα συστήματα GPS και αυτόνομης πλοήγησης επιτρέπουν στα MEA να αντισταθμίζουν τις επιδράσεις του ανέμου, διορθώνοντας αυτόματα την πορεία τους για να παραμένουν σταθερά και να ακολουθούν τις προγραμματισμένες διαδρομές.
- **Αυξημένη ισχύς κινητήρα:** Τα MEA μπορούν να ρυθμίσουν την **ισχύ των κινητήρων** για να αντισταθμίσουν την αντίσταση του ανέμου. Η αυξημένη ισχύς επιτρέπει στα UAVs να διατηρούν την πορεία τους ακόμα και σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.
- **Μέτρα ασφάλειας:** Σε περιπτώσεις έντονου ανέμου, οι χειριστές UAVs θα πρέπει να εξετάζουν το ενδεχόμενο **προσωρινής διακοπής της αποστολής** ή την προσαρμογή του σχεδίου πτήσης για να μειώσουν τους κινδύνους.

Ο άνεμος είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την πλοήγηση και την απόδοση των UAVs. Οι χειριστές πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις συνθήκες ανέμου πριν και κατά τη διάρκεια της πτήσης, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες σταθεροποίησης και πλοήγησης για να διασφαλίσουν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της αποστολής.

6.2 Βροχή

6.2.1 Επιδράσεις της Βροχής στην Πλοήγηση UAV

- **Απόδοση Αισθητήρων:** Η βροχή μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των οπτικών και υπέρυθρων αισθητήρων, μειώνοντας την ικανότητα του UAV να ανιχνεύσει αντικείμενα και να διατηρήσει την πλοήγησή του. Οι σταγόνες βροχής μπορούν να προκαλέσουν θόλωση των φακών και να μειώσουν την ακρίβεια των αισθητήρων.
- **Βάρος και Αεροδυναμική:** Η βροχή μπορεί να προσθέσει βάρος στο UAV και να αλλάξει τις αεροδυναμικές του ιδιότητες, επηρεάζοντας την απόδοση της πτήσης. Το νερό μπορεί να συσσωρευτεί στις επιφάνειες του UAV, αυξάνοντας την αντίσταση και μειώνοντας την ταχύτητα πτήσης.

6.2.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση της Βροχής

- **Αδιάβροχοι Αισθητήρες:** Η χρήση αδιάβροχων αισθητήρων μπορεί να μειώσει την επίδραση της βροχής στην πλοήγηση. Αυτοί οι αισθητήρες είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν αποτελεσματικά σε υγρές συνθήκες, διασφαλίζοντας την αξιοπιστία των δεδομένων που συλλέγονται.
- **Επιχρίσματα και Υλικά:** Τα υδρόφοβα επιχρίσματα και τα υλικά που απωθούν το νερό μπορούν να βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση του επιπρόσθετου βάρους και της αεροδυναμικής αντίστασης που προκαλεί η βροχή. Αυτές οι επιφάνειες εμποδίζουν την προσκόλληση του νερού, διατηρώντας το βάρος και την αεροδυναμική σταθερότητα του UAV.

6.3 Ομίχλη και Νεφοκάλυψη

6.3.1 Επιδράσεις της Ομίχλης και της Νεφοκάλυψης στην Πλοήγηση UAV

- **Ορατότητα:** Η ομίχλη και η νεφοκάλυψη μειώνουν την ορατότητα, καθιστώντας δύσκολη την πλοήγηση με οπτικούς αισθητήρες και κάμερες. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα του UAV να ανιχνεύει εμπόδια και να προσανατολίζεται στο χώρο.
- **Ανακλαστικότητα:** Η ομίχλη μπορεί να επηρεάσει την ανακλαστικότητα των λέιζερ και των ραδιοκυμάτων, επηρεάζοντας την απόδοση των συστημάτων LIDAR και ραντάρ. Η διάχυση του φωτός στην ομίχλη μπορεί να μειώσει την ακρίβεια των μετρήσεων από αυτούς τους

αισθητήρες.

6.3.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση της Ομίχλης και της Νεφοκάλυψης

- **Συστήματα LIDAR και Ραντάρ:** Τα συστήματα αυτά μπορούν να παρέχουν δεδομένα για την πλοήγηση ακόμη και σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας. Τα LIDAR χρησιμοποιούν λέιζερ για τη χαρτογράφηση του περιβάλλοντος, ενώ τα ραντάρ χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για την ανίχνευση αντικειμένων και την αποφυγή εμποδίων.
- **Τεχνητή Νοημοσύνη:** Οι αλγόριθμοι ΑΙ μπορούν να βελτιώσουν την επεξεργασία των δεδομένων από αισθητήρες, βελτιώνοντας την πλοήγηση σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να αναλύσουν και να ερμηνεύσουν τα δεδομένα από πολλαπλούς αισθητήρες, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα του περιβάλλοντος.

6.4 Θερμοκρασία

6.4.1 Επιδράσεις της Θερμοκρασίας στην Πλοήγηση UAV

- **Απόδοση Μπαταρίας:** Οι ακραίες θερμοκρασίες, είτε πολύ υψηλές είτε πολύ χαμηλές, μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση και τη διάρκεια ζωής των μπαταριών του UAV. Οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να μειώσουν την απόδοση της μπαταρίας, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν υπερθέρμανση.
- **Πυκνότητα Αέρα:** Η θερμοκρασία επηρεάζει την πυκνότητα του αέρα, που με τη σειρά της επηρεάζει την άνοδο και την αεροδυναμική απόδοση του UAV. Σε υψηλές θερμοκρασίες, η πυκνότητα του αέρα μειώνεται, μειώνοντας την ανυψωτική δύναμη και την απόδοση της πτήσης.

6.4.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση των Ακραίων Θερμοκρασιών

- **Θερμική Μόνωση και Θέρμανση Μπαταριών:** Η χρήση θερμικής μόνωσης και συστημάτων θέρμανσης μπορεί να προστατεύσει τις μπαταρίες και τα ηλεκτρονικά από τις ακραίες θερμοκρασίες. Αυτό διασφαλίζει ότι οι μπαταρίες λειτουργούν σε βέλτιστες συνθήκες, διατηρώντας την απόδοση και τη διάρκεια ζωής τους.
- **Αλγόριθμοι Ελέγχου:** Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι μπορούν να ρυθμίσουν τις παραμέτρους πτήσης ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας για να βελτιώσουν την απόδοση. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να προσαρμόσουν την ισχύ των κινητήρων και την κλίση των φτερών για να διατηρήσουν την σταθερότητα και την απόδοση της πτήσης.

6.5 Χιονόπτωση και Πάγος

6.5.1 Επιδράσεις της Χιονόπτωσης και του Πάγου στην Πλοήγηση UAV

- **Βάρος και Αντοχή:** Το χιόνι και ο πάγος μπορούν να προσθέσουν σημαντικό βάρος στο UAV, μειώνοντας την αντοχή και την απόδοση της πτήσης. Η συσσώρευση πάγου μπορεί να αυξήσει την αντίσταση και να μειώσει την αεροδυναμική απόδοση.
- **Αισθητήρες:** Ο πάγος μπορεί να καλύψει τους αισθητήρες, μειώνοντας την αποτελεσματικότητά τους. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα του UAV να ανιχνεύσει εμπόδια και να προσανατολιστεί στο χώρο.

6.5.2 Τεχνολογικές Λύσεις για Αντιμετώπιση της Χιονόπτωσης και του Πάγου

- **Αποπάγωση:** Συστήματα αποπάγωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποτρέψουν την συσσώρευση πάγου στους αισθητήρες και τις επιφάνειες του UAV. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν θερμαντικά στοιχεία ή ειδικά υλικά που εμποδίζουν την προσκόλληση του πάγου.
- **Σχεδίαση Αεροσκαφών:** Ο σχεδιασμός του UAV με υδρόφοβα υλικά και επιχρίσματα μπορεί να μειώσει την επίδραση του χιονιού και του πάγου. Οι επιφάνειες αυτές εμποδίζουν την προσκόλληση του χιονιού και του πάγου, διατηρώντας την αεροδυναμική σταθερότητα και την απόδοση της πτήσης.

Οι καιρικές συνθήκες μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στην πλοήγηση και την απόδοση των UAV. Οι τεχνολογικές λύσεις, όπως οι αισθητήρες ανέμου, τα συστήματα LIDAR και ραντάρ, οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι ελέγχου, και τα υδρόφοβα υλικά μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που παρουσιάζουν οι διάφορες καιρικές συνθήκες. Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών αυτών θα βελτιώσει την ικανότητα των UAV να λειτουργούν αξιόπιστα και αποτελεσματικά σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών. Παρακάτω απεικονίζεται η επίδραση των καιρικών φαινομένων στην πλοήγηση ενός UAV.¹⁹



Εικόνα 6. MEA και αντιμετώπιση καιρικών φαινομένων

¹⁹ Park, S. J., & Kim, S. H. (2018). Development of a robust UAV navigation system under strong wind conditions using multi-sensor fusion. *Sensors*, 18(9), 2981.

Κεφάλαιο 7ο: Επιδράσεις του Ανέμου στην Πλοήγηση UAV

Ο άνεμος είναι ένας από τους κυριότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την πλοήγηση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV). Οι άνεμοι μπορούν να επηρεάσουν την σταθερότητα, την κατανάλωση ενέργειας, την ακρίβεια της πλοήγησης και την ασφάλεια της πτήσης.

7.1 Επιδράσεις του Ανέμου

7.1.1 Σταθερότητα και Έλεγχος

➤ **Αστάθεια και Απόκλιση:**

- **Ριπές Ανέμου:** Οι ριπές ανέμου μπορούν να προκαλέσουν αιφνίδιες αλλαγές στην κατεύθυνση και την ταχύτητα του UAV. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απότομες κινήσεις, αναταράξεις και απόκλιση από την προκαθορισμένη πορεία.
- **Τουρμπουλέντς (Turbulence):** Οι τουρμπουλέντς μπορούν να δημιουργήσουν ασταθείς καιρικές συνθήκες που δυσκολεύουν την πλοήγηση και τον έλεγχο του UAV ειδικά σε χαμηλό υψόμετρο ή κοντά σε εμπόδια.

➤ **Διαχείριση Κατεύθυνσης:**

- **Αντίθετοι Άνεμοι (Headwinds):** Μειώνουν την ταχύτητα εδάφους (ground speed) του UAV, αυξάνοντας τον χρόνο πτήσης για να φτάσει στον προορισμό του.
- **Ουρανοί Άνεμοι (Tailwinds):** Αυξάνουν την ταχύτητα εδάφους, μειώνοντας τον χρόνο πτήσης αλλά μπορεί να προκαλέσουν αστάθεια κατά την προσγείωση ή την απογείωση.
- **Πλάγιοι Άνεμοι (Crosswinds):** Μπορούν να προκαλέσουν πλευρικές μετατοπίσεις, καθιστώντας δύσκολη την ευθεία πτήση και αυξάνοντας τον κίνδυνο πρόσκρουσης σε εμπόδια.

7.1.2 Κατανάλωση Ενέργειας

➤ **Αύξηση Κατανάλωσης Καυσίμου/Ενέργειας:**

- Οι ισχυροί άνεμοι αυξάνουν την αντίσταση που πρέπει να υπερνικήσει το UAV για να διατηρήσει την πορεία του. Αυτό απαιτεί περισσότερη ισχύ από τους κινητήρες, με αποτέλεσμα την αυξημένη κατανάλωση καυσίμου ή ενέργειας από τις μπαταρίες.
- Οι συνεχείς προσαρμογές στην πορεία και τη σταθερότητα λόγω των ανέμων αυξάνουν τη χρήση των συστημάτων ελέγχου, καταναλώνοντας επιπλέον ενέργεια.

➤ **Μείωση Διάρκειας Πτήσης:**

- Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας μειώνει τη συνολική διάρκεια της πτήσης, περιορίζοντας την αυτονομία του UAV. Αυτό είναι κρίσιμο για αποστολές μακράς διάρκειας ή για αποστολές σε απομακρυσμένες περιοχές.

7.1.3 Ακρίβεια Πλοήγησης

➤ **Παρεκκλίσεις από την Πορεία:**

- Οι άνεμοι μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές παρεκκλίσεις από την προκαθορισμένη πορεία του UAV. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των παραδόσεων, τη συλλογή δεδομένων και άλλες κρίσιμες λειτουργίες.

➤ **Δυσκολίες στην Προσγείωση και την Απογείωση:**

- Οι πλάγιοι και αντίθετοι άνεμοι μπορούν να προκαλέσουν αστάθεια κατά την προσγείωση και την απογείωση, αυξάνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων. Η ακριβής πλοήγηση κατά τις φάσεις αυτές είναι κρίσιμη για την ασφάλεια του UAV.

7.2 Τεχνολογικές Λύσεις

7.2.1 Αισθητήρες και Συστήματα Ελέγχου

➤ **Αισθητήρες Ανέμου:**

- Οι αισθητήρες ανέμου μετρούν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται από το σύστημα ελέγχου του UAV για να προσαρμόσει την πτήση ανάλογα με τις συνθήκες του ανέμου.
- Οι αλγόριθμοι πλοήγησης μπορούν να ενσωματώσουν αυτές τις πληροφορίες για να βελτιστοποιήσουν την πορεία του UAV και να μειώσουν τις παρεκκλίσεις.

➤ **Αυτόματα Συστήματα Σταθεροποίησης:**

- Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν δεδομένα από γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα για να διατηρήσουν τη σταθερότητα του UAV. Οι αισθητήρες αυτοί ανιχνεύουν τις αλλαγές στη γωνία και την κλίση του UAV, και προσαρμόζουν την ισχύ των κινητήρων για να διατηρήσουν την ισορροπία.
- Οι προηγμένοι αλγόριθμοι ελέγχου μπορούν να προσαρμόσουν την πτήση σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τις επιπτώσεις των ριπών ανέμου και των τουρμπουλέντς.

7.2.2 Σχεδίαση και Υλικά UAV

➤ Αεροδυναμικός Σχεδιασμός:

- Ο σχεδιασμός του UAV με γνώμονα την αεροδυναμική μπορεί να μειώσει την αντίσταση του αέρα και να βελτιώσει τη σταθερότητα σε συνθήκες ανέμου. Τα φτερά και οι επιφάνειες ελέγχου πρέπει να σχεδιάζονται για να αντέχουν σε υψηλές ταχύτητες ανέμου χωρίς να προκαλούν αστάθεια.

➤ Υλικά Κατασκευής:

- Η χρήση ελαφρών και ανθεκτικών υλικών, όπως οι σύνθετες ίνες άνθρακα, μπορεί να μειώσει το βάρος του UAV και να αυξήσει την ανθεκτικότητά του σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Τα υλικά αυτά πρέπει να είναι ανθεκτικά στις δυνάμεις που ασκούνται από τον άνεμο και να διατηρούν την ακεραιότητά τους.

7.2.3 Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι και Τεχνητή Νοημοσύνη

➤ Αλγόριθμοι Προσαρμογής Πτήσης:

- Οι αλγόριθμοι αυτοί χρησιμοποιούν δεδομένα από αισθητήρες για να προσαρμόσουν την πτήση σε πραγματικό χρόνο. Μπορούν να προβλέψουν και να αντισταθμίσουν τις επιπτώσεις των ανέμων, διατηρώντας την πορεία και τη σταθερότητα του UAV.

➤ Μηχανική Μάθηση:

- Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να βελτιώσουν τις επιδόσεις του UAV μαθαίνοντας από προηγούμενες πτήσεις. Με την ανάλυση των δεδομένων πτήσης, οι αλγόριθμοι μπορούν να προσαρμόσουν τις ρυθμίσεις για καλύτερη απόδοση σε συνθήκες ανέμου.

7.3 Πρακτικές Εφαρμογές και Προκλήσεις

➤ Επιτήρηση και Αναγνώριση:

- Οι αποστολές επιτήρησης και αναγνώρισης απαιτούν ακριβή πλοήγηση και σταθερότητα. Οι άνεμοι μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των δεδομένων και την ακρίβεια των παρατηρήσεων.

➤ Παράδοση Δεμάτων:

- Οι άνεμοι μπορούν να καθυστερήσουν τις παραδόσεις ή να προκαλέσουν ζημιές στα

δέματα. Οι εταιρείες που χρησιμοποιούν UAV για παραδόσεις πρέπει να λάβουν υπόψη τις καιρικές συνθήκες και να προσαρμόσουν τις πτήσεις τους ανάλογα.

➤ **Γεωργία Ακριβείας:**

Στη γεωργία ακριβείας, τα UAV χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση καλλιεργειών και την εφαρμογή λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων. Οι άνεμοι μπορούν να επηρεάσουν την κατανομή των χημικών και την ακρίβεια των μετρήσεων.²⁰

Οι επιπτώσεις του ανέμου στη γεωργία με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAVs) είναι σημαντικές, καθώς οι καιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση, την ακρίβεια και την ασφάλεια των αποστολών. Ο άνεμος μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία των UAVs με διάφορους τρόπους, και αυτές οι επιδράσεις μπορεί να έχουν άμεσες συνέπειες στη γεωργική παραγωγή και τη διαχείριση των καλλιεργειών.

Κύριες επιδράσεις του ανέμου στην πλοήγηση UAVs στη γεωργία

➤ **Αστάθεια και απώλεια ελέγχου:**

Ιδιαίτερα σε ισχυρούς ανέμους, τα UAVs μπορεί να γίνονται πιο **ασταθή** και δύσκολα ελέγξιμα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε **απώλεια ελέγχου** και κινδύνους κατά τη διάρκεια της πτήσης, επηρεάζοντας την ικανότητα του UAV να παρακολουθεί και να συλλέγει δεδομένα με ακρίβεια.

➤ **Επιπτώσεις στην ακρίβεια δεδομένων:**

Οι ριπές του ανέμου μπορεί να προκαλέσουν διακυμάνσεις στην κάμερα και στους αισθητήρες του UAV, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η ποιότητα των εικόνων και των δεδομένων που συλλέγονται. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερο ακριβείς χάρτες και αναφορές για τις καλλιέργειες.

➤ **Δυσκολίες στην προσγείωση και απογείωση:**

Οι ισχυροί πλάγιοι άνεμοι μπορεί να καθιστούν τις διαδικασίες προσγείωσης και απογείωσης πιο επικίνδυνες. Αυτό απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και προσαρμογή των διαδρομών πτήσης για να αποφευχθούν ατυχήματα.

²⁰ Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712.

➤ **Αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας:**

Σε περιπτώσεις αντίθετου ανέμου, τα UAVs απαιτούν **περισσότερη ενέργεια** για να διατηρήσουν την ταχύτητά τους και τη σταθερότητα, οδηγώντας σε ταχύτερη εξάντληση της μπαταρίας. Αυτό μπορεί να περιορίσει την αποτελεσματικότητα των αποστολών και να μειώσει την εμβέλεια των UAVs.

➤ **Επίδραση στην καλλιέργεια:**

Ο άνεμος μπορεί να έχει και άμεσες επιπτώσεις στις καλλιέργειες, επηρεάζοντας την ανάπτυξή τους και προκαλώντας ζημιές. Τα UAVs μπορεί να χρησιμοποιούνται για να παρακολουθούν τις συνέπειες του ανέμου στις καλλιέργειες, αλλά η αποτελεσματικότητα της παρακολούθησης μπορεί να περιοριστεί από τις ίδιες τις καιρικές συνθήκες.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των επιδράσεων του ανέμου

➤ **Καλή σχεδίαση αποστολών:**

Ο προγραμματισμός των αποστολών με βάση τις **καιρικές προβλέψεις** και τους ανέμους μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή δυσμενών συνθηκών πτήσης. Οι αγρότες θα πρέπει να ελέγχουν τις καιρικές συνθήκες πριν από την εκτέλεση αποστολών.

➤ **Αύξηση σταθερότητας UAV:**

Η χρήση UAVs με τεχνολογίες **σταθεροποίησης** και **υψηλής ποιότητας γυροσκοπίων** μπορεί να βελτιώσει την αντίσταση στο άνεμο, διατηρώντας την πτήση πιο ομαλή και ακριβή.

➤ **Προσαρμογή σε διαφορετικά περιβάλλοντα:**

Η χρήση UAVs σε **διαφορετικά περιβάλλοντα** απαιτεί προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες ανέμου. Ο σχεδιασμός της πτήσης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη γεωγραφία και την τοπογραφία της περιοχής.

Ο άνεμος αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την πλοήγηση των UAV. Η κατανόηση των επιπτώσεων του ανέμου και η ανάπτυξη τεχνολογικών λύσεων για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων είναι κρίσιμη για την ασφαλή και αποτελεσματική χρήση των UAV. Οι αισθητήρες ανέμου, τα αυτόματα συστήματα

σταθεροποίησης, οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι και οι βελτιώσεις στον σχεδιασμό και τα υλικά των UAV μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων του ανέμου και στη βελτίωση της πλοήγησης.



Εικόνα 7. Εφαρμογή στις καλλιέργειες

Κεφάλαιο 8ο: Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι και Τεχνητή Νοημοσύνη για Αντιμετώπιση των Επιδράσεων του Ανέμου σε UAV

Η πλοήγηση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες και ιδιαίτερα από τον άνεμο. Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι και η τεχνητή νοημοσύνη (AI) προσφέρουν προηγμένες λύσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.

8.1 Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι για Πλοήγηση σε Ανέμους 8.1.1 Αλγόριθμοι Προσαρμογής Πτήσης

Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι πτήσης επιτρέπουν στα UAV να αντιδρούν δυναμικά στις αλλαγές των ανέμων, προσαρμόζοντας τις παραμέτρους της πτήσης σε πραγματικό χρόνο.

➤ **PID Controllers (Proportional-Integral-Derivative Controllers):**

Οι ελεγκτές PID χρησιμοποιούνται για να διατηρούν την σταθερότητα και την πορεία του UAV. Προσαρμόζουν την ισχύ των κινητήρων με βάση τις αποκλίσεις από την επιθυμητή πορεία.

- **Πλεονεκτήματα:** Απλότητα, ευρεία εφαρμογή, σταθερή απόκριση.
- **Μειονεκτήματα:** Περιορισμένη απόδοση σε πολύπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα.

➤ **Adaptive Control Systems:**

Αυτά τα συστήματα προσαρμόζουν τις παραμέτρους ελέγχου με βάση την πραγματική συμπεριφορά του UAV σε συνθήκες ανέμου. Χρησιμοποιούν τεχνικές όπως η γραμμική παρατήρηση και η εκτίμηση παραμέτρων για την προσαρμογή των αλγορίθμων ελέγχου σε πραγματικό χρόνο.

- **Πλεονεκτήματα:** Βελτιωμένη απόδοση σε μεταβαλλόμενες συνθήκες, προσαρμοστικότητα.
- **Μειονεκτήματα:** Αυξημένη πολυπλοκότητα και υπολογιστικές απαιτήσεις.

8.1.2 Αλγόριθμοι Εκτίμησης Ανέμου

Οι αλγόριθμοι εκτίμησης ανέμου παρέχουν προβλέψεις για την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, επιτρέποντας στα UAV να προσαρμόζουν την πτήση τους ανάλογα.

➤ **Kalman Filters:**

Χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της κατάστασης του UAV και των εξωτερικών διαταραχών όπως ο άνεμος και συνδυάζουν μετρήσεις από αισθητήρες με μοντέλα πτήσης για να παρέχουν ακριβείς

εκτιμήσεις της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου.

- **Πλεονεκτήματα:** Ακρίβεια, δυνατότητα συγχώνευσης πολλαπλών πηγών δεδομένων.
- **Μειονεκτήματα:** Απαιτεί λεπτομερή μοντέλα πτήσης και καλή κατανόηση της δυναμικής του UAV.

➤ **Particle Filters:**

Χρησιμοποιούν δείγματα (σωματίδια) για να εκτιμήσουν την κατανομή της κατάστασης του συστήματος και προσφέρουν ευελιξία και μπορούν να διαχειριστούν μη γραμμικά και μη γκαουσιανά μοντέλα.

- **Πλεονεκτήματα:** Ευελιξία, δυνατότητα διαχείρισης πολύπλοκων μοντέλων.
- **Μειονεκτήματα:** Υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις.

8.2 Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση προσφέρουν εξελιγμένες λύσεις για την αντιμετώπιση των επιδράσεων του ανέμου στην πλοήγηση των UAV. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να μάθουν από τα δεδομένα πτήσης και να προσαρμόσουν την πλοήγηση σε πραγματικό χρόνο.

8.2.1 Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning)

➤ **Q-Learning και Deep Q-Learning:**

Το Q-Learning είναι μια μέθοδος ενισχυτικής μάθησης που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση των αποφάσεων πλοήγησης με βάση την εμπειρία. Το Deep Q-Learning χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα για να διαχειριστεί την υψηλή διαστατικότητα των δεδομένων πλοήγησης.

- **Πλεονεκτήματα:** Ικανότητα να μαθαίνουν από την εμπειρία, προσαρμοστικότητα σε δυναμικά περιβάλλοντα.
- **Μειονεκτήματα:** Απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων και χρόνο εκπαίδευσης.

➤ **Policy Gradient Methods:**

Αυτές οι μέθοδοι βελτιώνουν την πολιτική πλοήγησης με βάση τη βαθμωτή ανάλυση της απόδοσης. Χρησιμοποιούνται για να βελτιστοποιήσουν συνεχείς ενέργειες, όπως η ρύθμιση των κινητήρων και των φτερών.

- **Πλεονεκτήματα:** Κατάλληλες για συνεχή συστήματα, δυνατότητα για πολύπλοκες προσαρμογές.
- **Μειονεκτήματα:** Πολυπλοκότητα στην εκπαίδευση, ευαισθησία στις παραμέτρους.

8.2.2 Μηχανική Μάθηση (Machine Learning)

➤ Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks):

Τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των επιπτώσεων του ανέμου και την προσαρμογή των συστημάτων ελέγχου. Μπορούν να επεξεργαστούν μεγάλα σύνολα δεδομένων και να εντοπίσουν πρότυπα που δεν είναι άμεσα εμφανή.

- **Πλεονεκτήματα:** Δυνατότητα μάθησης από μεγάλα δεδομένα, ευελιξία.
- **Μειονεκτήματα:** Υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις, ανάγκη για μεγάλους όγκους δεδομένων εκπαίδευσης.

➤ Support Vector Machines (SVMs):

Χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση και την παλινδρόμηση των δεδομένων πτήσης για την πρόβλεψη των επιπτώσεων του ανέμου.

- **Πλεονεκτήματα:** Υψηλή ακρίβεια σε μικρά σύνολα δεδομένων, αποτελεσματικότητα.
- **Μειονεκτήματα:** Περιορισμένη ικανότητα σε μεγάλα και πολυδιάστατα δεδομένα.

8.3 Εφαρμογές και Παραδείγματα

➤ Επιτήρηση και Αναγνώριση:

- Η χρήση προσαρμοστικών αλγορίθμων και AI για τη σταθεροποίηση και την ακρίβεια της πλοήγησης σε αποστολές επιτήρησης και αναγνώρισης.
- Βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων και της αξιοπιστίας των αποστολών σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.

➤ Παράδοση Δεμάτων:

- Οι αλγόριθμοι AI βελτιώνουν την ακρίβεια και την ταχύτητα των παραδόσεων, μειώνοντας τις επιπτώσεις των ανέμων στις διαδρομές.
- Χρήση προγνωστικών μοντέλων για την επιλογή των βέλτιστων διαδρομών με βάση τις καιρικές συνθήκες.

➤ Γεωργία Ακριβείας:

- Εφαρμογή προσαρμοστικών αλγορίθμων για τη βελτιστοποίηση της διανομής χημικών ουσιών και τη συλλογή δεδομένων από καλλιέργειες.
- Μείωση της επίδρασης των ανέμων στην κατανομή των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, βελτιώνοντας την απόδοση των καλλιεργειών.

Η χρήση προσαρμοστικών αλγορίθμων και τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να βελτιώσει

σημαντικά την απόδοση και την αξιοπιστία των UAV σε συνθήκες ανέμου. Οι αλγόριθμοι αυτοί επιτρέπουν στα UAV να αντιδρούν δυναμικά στις μεταβολές του ανέμου, προσαρμόζοντας τις παραμέτρους της πτήσης σε πραγματικό χρόνο. Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών αυτών θα βελτιώσει την ικανότητα των UAV να λειτουργούν αξιόπιστα και αποτελεσματικά σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών.²¹



Εικόνα 8. Μη επανδρωμένο αεροσκάφος επιτήρησης και αναγνώρισης

²¹ Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. **Precision Agriculture**, 13(6), 693-712.

Κεφάλαιο 9ο: Αυτόματα Συστήματα Σταθεροποίησης για την Επίδραση του Ανέμου στα UAV

Η σταθεροποίηση είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της πτήσης και την ακρίβεια της πλοήγησης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) σε συνθήκες ανέμου. Τα αυτόματα συστήματα σταθεροποίησης χρησιμοποιούν προηγμένους αλγορίθμους και αισθητήρες για να προσαρμόζουν συνεχώς τις παραμέτρους πτήσης, αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις που προκαλούνται από τους ανέμους.

9.1 Αισθητήρες και Συστήματα Μέτρησης

9.1.1 Γυροσκόπια και Επιταχυνσιόμετρα

➤ Γυροσκόπια (Gyroscopes):

Τα γυροσκόπια μετρούν την γωνιακή ταχύτητα του UAV σε τρεις άξονες (roll, pitch, yaw). Παρέχουν δεδομένα σχετικά με τις αλλαγές στη στάση και την κλίση του αεροσκάφους.

- **Πλεονεκτήματα:** Υψηλή ακρίβεια, άμεση απόκριση στις αλλαγές στάσης.
- **Μειονεκτήματα:** Συγκέντρωση σφαλμάτων με την πάροδο του χρόνου (drift).

➤ Επιταχυνσιόμετρα (Accelerometers):

Μετρούν την επιτάχυνση του UAV σε τρεις άξονες και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ταχύτητας και της θέσης.

- **Πλεονεκτήματα:** Απλή λειτουργία, χαμηλό κόστος.
- **Μειονεκτήματα:** Ευαισθησία σε κραδασμούς και μηχανικές δονήσεις.

9.1.2 Αισθητήρες Ανέμου

➤ Ανεμόμετρα (Anemometers):

Μετρούν την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή της πτήσης ώστε να αντισταθμιστούν οι επιδράσεις του ανέμου.

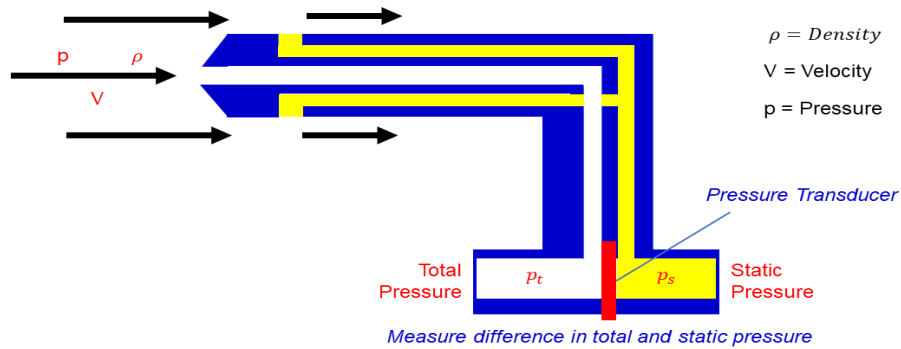
- **Πλεονεκτήματα:** Παρέχουν άμεση πληροφόρηση για τις συνθήκες ανέμου.
- **Μειονεκτήματα:** Ευαισθησία σε περιβαλλοντικές συνθήκες, απαιτούν τακτική συντήρηση.

➤ Πιτοστατικοί Σωλήνες (Pitot Tubes):

Μετρούν την δυναμική πίεση του αέρα για την εκτίμηση της ταχύτητας πτήσης. Χρησιμοποιούνται σε

συνδυασμό με άλλους αισθητήρες για την ακριβή εκτίμηση των επιδράσεων του ανέμου.

- **Πλεονεκτήματα:** Ακρίβεια στις μετρήσεις ταχύτητας αέρα.
- **Μειονεκτήματα:** Ευαισθησία σε ακαθαρσίες και παγωνιά.



Εικόνα 9. Pitot tube (πιτοστατικός σωλήνας)



Εικόνα 10. Πιτοστατικός σωλήνας σε αεροσκάφος

9.2 Αλγόριθμοι Σταθεροποίησης

9.2.1 PID Controllers

➤ Proportional-Integral-Derivative (PID) Controllers:

Ρυθμίζουν την ισχύ των κινητήρων με βάση τις αποκλίσεις από την επιθυμητή πορεία (πρόσθια/οπίσθια, πλάγια, κατακόρυφη).

- **Proportional (P):** Αντιδρά άμεσα στις αποκλίσεις από την επιθυμητή πορεία.

- **Integral (I):** Υπολογίζει το σωρευτικό σφάλμα για να εξαλείψει τις μακροπρόθεσμες αποκλίσεις.
- **Derivative (D):** Προβλέπει μελλοντικές αποκλίσεις και διορθώνει τις ενέργειες.
- **Πλεονεκτήματα:** Σταθερή απόκριση, ευρεία εφαρμογή, εύκολη ρύθμιση.
- **Μειονεκτήματα:** Περιορισμένη απόδοση σε πολύπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα.

9.2.2 Adaptive Control Systems

➤ Model Reference Adaptive Control (MRAC):

Χρησιμοποιεί ένα προκαθορισμένο μοντέλο αναφοράς για την προσαρμογή των παραμέτρων ελέγχου. Προσαρμόζει δυναμικά τις παραμέτρους βάσει της σύγκρισης μεταξύ του πραγματικού συστήματος και του μοντέλου αναφοράς.

- **Πλεονεκτήματα:** Βελτιωμένη απόδοση σε μεταβαλλόμενες συνθήκες, γρήγορη προσαρμογή.
- **Μειονεκτήματα:** Αυξημένη πολυπλοκότητα, απαιτεί ακριβές μοντέλο αναφοράς.

➤ L1 Adaptive Control:

Παρέχει ταχεία και ακριβή προσαρμογή στις δυναμικές αλλαγές του συστήματος και στις εξωτερικές διαταραχές. Χρησιμοποιεί έναν ταχέως προσαρμοζόμενο νόμο ελέγχου και ένα φίλτρο L1 για τη σταθεροποίηση.

- **Πλεονεκτήματα:** Γρήγορη απόκριση, αυξημένη σταθερότητα.
- **Μειονεκτήματα:** Πολυπλοκότητα στην εφαρμογή, απαιτεί υψηλή υπολογιστική ισχύ.

9.3 Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση

9.3.1 Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning)

➤ Deep Reinforcement Learning (DRL):

Χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα για να μάθει τις βέλτιστες ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν βάσει των συνθηκών ανέμου και της τρέχουσας κατάστασης του UAV. Οι αλγόριθμοι DRL όπως το DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient) και το PPO (Proximal Policy Optimization) έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικοί στην αντιμετώπιση σύνθετων περιβαλλόντων.

- **Πλεονεκτήματα:** Ικανότητα μάθησης από εμπειρία, προσαρμοστικότητα σε δυναμικά περιβάλλοντα.
- **Μειονεκτήματα:** Απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων και χρόνο εκπαίδευσης.

➤ **Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL):**

Χρησιμοποιείται για τον συντονισμό πολλών UAV σε περιβάλλοντα με μεταβαλλόμενες συνθήκες ανέμου. Επιτρέπει στα UAV να συνεργάζονται και να ανταλλάσσουν πληροφορίες για την καλύτερη διαχείριση των επιδράσεων του ανέμου.

- **Πλεονεκτήματα:** Συνεργατική μάθηση, βελτιωμένη συνολική απόδοση.
- **Μειονεκτήματα:** Αυξημένη πολυπλοκότητα, δυσκολία στον συντονισμό.

9.4 Εφαρμογές και Περιπτώσεις Χρήσης

9.4.1 Επιτήρηση και Αναγνώριση

- Χρήση αυτόματων συστημάτων σταθεροποίησης για τη διατήρηση της σταθερότητας και της ακρίβειας πτήσης κατά την επιτήρηση περιοχών και την αναγνώριση στόχων.
- Βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων και της αξιοπιστίας των αποστολών σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.

9.4.2 Παράδοση Δεμάτων

- Χρήση προσαρμοστικών αλγορίθμων για τη διαχείριση των επιδράσεων του ανέμου κατά τη διάρκεια παραδόσεων δεμάτων, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την ταχύτητα των παραδόσεων.
- Εφαρμογή ΑΙ για την επιλογή των βέλτιστων διαδρομών με βάση τις καιρικές συνθήκες.

9.4.3 Γεωργία Ακρίβειας

- Εφαρμογή αυτόματων συστημάτων σταθεροποίησης για τη βελτιστοποίηση της διανομής χημικών ουσιών και τη συλλογή δεδομένων από καλλιέργειες.
- Μείωση της επίδρασης των ανέμων στην κατανομή των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, βελτιώνοντας την απόδοση των καλλιεργειών.

Τα αυτόματα συστήματα σταθεροποίησης παίζουν κρίσιμο ρόλο στη βελτίωση της πλοήγησης και της απόδοσης των UAV σε συνθήκες ανέμου. Η ενσωμάτωση προηγμένων αισθητήρων, προσαρμοστικών αλγορίθμων και τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει στα UAV να αντιμετωπίζουν δυναμικά τις προκλήσεις που προκαλούν οι άνεμοι, διασφαλίζοντας την ασφάλεια και την ακρίβεια των αποστολών τους. Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών αυτών θα βελτιώσει την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των UAV σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Κεφάλαιο 10ο: Επίδραση του Ανέμου στην Κατανάλωση Ενέργειας των UAV

Η κατανάλωση ενέργειας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση και την αυτονομία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV). Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, ιδιαίτερα οι άνεμοι, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας κατά την πτήση.²²

10.1 Επιδράσεις του Ανέμου στην Κατανάλωση Ενέργειας

10.1.1 Αντίθετοι Άνεμοι (Headwinds)

➤ **Αυξημένη Αντίσταση:**

Οι αντίθετοι άνεμοι αυξάνουν την αεροδυναμική αντίσταση που πρέπει να υπερνικήσει το UAV για να διατηρήσει την πορεία του. Η αυξημένη αντίσταση απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ από τους κινητήρες, οδηγώντας σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Η ταχύτητα εδάφους (ground speed) μειώνεται, απαιτώντας περισσότερο χρόνο πτήσης για την κάλυψη της ίδιας απόστασης και συνεπώς περισσότερη ενέργεια.

➤ **Αναταράξεις και Αστάθεια:**

Οι ισχυροί αντίθετοι άνεμοι μπορούν να προκαλέσουν αναταράξεις και αστάθεια, καθιστώντας δυσκολότερο τον έλεγχο του UAV. Η συνεχής προσαρμογή των συστημάτων ελέγχου για τη διατήρηση της σταθερότητας αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας.

10.1.2 Ουρανοί Άνεμοι (Tailwinds)

➤ **Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας:**

Οι ουρανοί άνεμοι μπορούν να μειώσουν την αεροδυναμική αντίσταση και να αυξήσουν την ταχύτητα εδάφους του UAV. Αυτό επιτρέπει στο UAV να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις με λιγότερη ενέργεια. Η ταχύτητα εδάφους αυξάνεται, μειώνοντας τον χρόνο πτήσης και την κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη της ίδιας απόστασης.

➤ **Κίνδυνος Υπερβολικής Ταχύτητας:**

Οι πολύ ισχυροί ουρανοί άνεμοι μπορεί να προκαλέσουν υπερβολική ταχύτητα, αυξάνοντας την πιθανότητα απώλειας ελέγχου ή δομικής καταπόνησης του UAV. Οι προσπάθειες ελέγχου της ταχύτητας μπορούν να αυξήσουν την κατανάλωση ενέργειας.

²² Luo, C., & Lu, P. (2019). Influence of wind on the flight stability and energy consumption of small unmanned aerial vehicles. *Journal of Aerospace Engineering*, 32(2), 04019007.

10.1.3 Πλάγιοι Άνεμοι (Crosswinds)

➤ Πλευρική Μετατόπιση και Σταθερότητα:

Οι πλάγιοι άνεμοι προκαλούν πλευρικές μετατοπίσεις και αστάθεια, καθιστώντας δύσκολη την ευθεία πτήση. Οι κινητήρες και τα συστήματα ελέγχου πρέπει να προσαρμοστούν συνεχώς για να διατηρήσουν την πορεία, αυξάνοντας την κατανάλωση ενέργειας.

➤ Αυξημένη Κατανάλωση Καυσίμου/Ενέργειας:

Η συνεχής προσαρμογή της πτήσης για την αντιστάθμιση των πλάγιων ανέμων αυξάνει τη χρήση των κινητήρων και των συστημάτων ελέγχου, με αποτέλεσμα την αυξημένη κατανάλωση καυσίμου ή ενέργειας.²³

10.2 Τεχνολογικές Λύσεις και Στρατηγικές

10.2.1 Αεροδυναμικός Σχεδιασμός

➤ Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού Φτερών και Ατράκτου:

Η αεροδυναμική σχεδίαση των φτερών και της ατράκτου μπορεί να μειώσει την αεροδυναμική αντίσταση και να βελτιώσει την απόδοση του UAV σε συνθήκες ανέμου. Η χρήση ελαφρών και ανθεκτικών υλικών, όπως οι σύνθετες ίνες άνθρακα, μπορεί να μειώσει το βάρος του UAV και να βελτιώσει την ανθεκτικότητά του σε αεροδυναμικές καταπονήσεις.

➤ Εφαρμογή Υδροδυναμικών Επιχρισμάτων:

Τα υδροδυναμικά επιχρίσματα μπορούν να μειώσουν την τριβή μεταξύ της επιφάνειας του UAV και του αέρα, βελτιώνοντας την αεροδυναμική απόδοση και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας.

10.2.2 Συστήματα Ελέγχου και Πλοήγησης

➤ Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι Ελέγχου:

Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι ελέγχου μπορούν να προσαρμόζουν τις παραμέτρους πτήσης σε πραγματικό χρόνο με βάση τις συνθήκες ανέμου, βελτιστοποιώντας την απόδοση και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας. Η χρήση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των προβλέψεων και την προσαρμοστικότητα των συστημάτων ελέγχου.

➤ Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας:

Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας μπορούν να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να προσαρμόζουν τις παραμέτρους πτήσης για την βέλτιστη χρήση της ενέργειας. Η χρήση μπαταριών υψηλής απόδοσης και τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να βελτιώσει την

²³ Besada, J. A., Parra, J., & Vazquez, A. (2016). Wind effects on the performance of small fixed-wing UAVs: Modeling and real-time compensation. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 84(1-4), 343-358.

αποδοτικότητα των UAV.

10.2.3 Προγραμματισμός και Σχεδιασμός Διαδρομών

➤ Βέλτιστη Σχεδίαση Διαδρομών:

Ο προγραμματισμός διαδρομών που λαμβάνουν υπόψη τις προβλέψεις των ανέμων μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας. Οι διαδρομές μπορούν να σχεδιαστούν για να εκμεταλλευτούν τους ουρανούς ανέμους και να αποφύγουν τους αντίθετους ή πλάγιους ανέμους. Χρήση προγνωστικών μοντέλων και αλγορίθμων βελτιστοποίησης για την επιλογή των βέλτιστων διαδρομών πτήσης.

➤ Προγνωστικά Μοντέλα Ανέμου:

Η ενσωμάτωση προγνωστικών μοντέλων ανέμου στα συστήματα πλοήγησης μπορεί να παρέχει ακριβείς πληροφορίες για τις συνθήκες ανέμου κατά τη διάρκεια της πτήσης. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των μεταβολών του ανέμου και την προσαρμογή της πτήσης σε πραγματικό χρόνο.

10.3 Πρακτικές Εφαρμογές και Παραδείγματα

10.3.1 Επιτήρηση και Αναγνώριση

Οι αποστολές επιτήρησης και αναγνώρισης απαιτούν υψηλή ακρίβεια και αυτονομία. Η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας σε συνθήκες ανέμου είναι κρίσιμη για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτών των αποστολών. Επίσης γίνεται χρήση συστημάτων προσαρμοστικού ελέγχου και αεροδυναμικού σχεδιασμού για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

➤ Παράδοση Δεμάτων:

Οι εταιρείες που χρησιμοποιούν UAV για παραδόσεις δεμάτων πρέπει να λάβουν υπόψη τις επιπτώσεις του ανέμου στην κατανάλωση ενέργειας. Η βελτιστοποίηση των διαδρομών και η χρήση προηγμένων συστημάτων ελέγχου μπορούν να μειώσουν το κόστος και να αυξήσουν την αποδοτικότητα. Είναι απαραίτητη η εφαρμογή προγνωστικών μοντέλων ανέμου και αλγορίθμων βελτιστοποίησης διαδρομών για τη βελτίωση της απόδοσης.

➤ Γεωργία Ακριβείας:

Στη γεωργία ακριβείας, η χρήση UAV για την παρακολούθηση καλλιεργειών και την εφαρμογή χημικών ουσιών απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας. Εφαρμόζονται συστήματα διαχείρισης ενέργειας και προσαρμοστικών αλγορίθμων ελέγχου για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας των UAV επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες ανέμου. Η κατανόηση των επιπτώσεων του ανέμου και η ανάπτυξη τεχνολογικών λύσεων για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι κρίσιμη για την απόδοση και την αυτονομία των UAV.

Οι τεχνολογικές λύσεις, όπως ο αεροδυναμικός σχεδιασμός, τα προσαρμοστικά συστήματα ελέγχου και ο προγραμματισμός διαδρομών μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στη βελτίωση της αποδοτικότητας των UAV σε συνθήκες ανέμου.²⁴

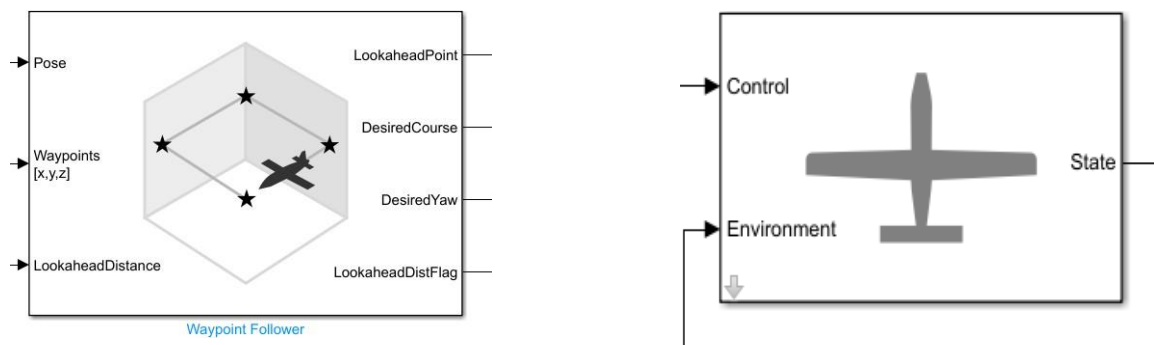
²⁴ Tokekar, P., Hook, J. V., Mulla, D., & Isler, V. (2016). Sensor planning for a symbiotic UAV and UGV system for precision agriculture. **IEEE Transactions on Robotics**, 32(6), 1498-1511.

Κεφάλαιο 11ο: Προσομοίωση

Για να κάνουμε την προσομοίωση χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Math Works Matlab 2023a και τη Simulink. Στη Simulink χρησιμοποιήσαμε το Aerospace Blockset και το UAV Toolbox για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε το μοντέλο πτήσης του αεροσκάφους, να προσομοιώσουμε τα διάφορα σενάρια ανέμου και να έχουμε πρόσβαση στα όργανα ελέγχου πτήσης του αεροσκάφους.

Σκοπός της προσομοίωσης είναι να δείξουμε την επίδραση των διαφόρων σεναρίων ανέμου σε μια προκαθορισμένη διαδρομή ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους το οποίο πετάει σε σταθερό ύψος με σταθερή ταχύτητα. Όταν το αεροσκάφος πάει να στρίψει για να πάει στο επόμενο προκαθορισμένο σημείο, μελετάμε την επίδραση του ανέμου πάνω στην τροχιά του αεροσκάφους. Ο αυτόματος πιλότος διορθώνει την τροχιά για να πάει στο προκαθορισμένο σημείο με κόστος όμως την διαφοροποίηση της απόστασης που διανύει το αεροσκάφος και κατ'επέκταση της ενέργειας που καταναλώνει.

Πρωτίστως ξεκινήσαμε να σχεδιάσουμε έναν ελεγκτή που θα καθοδηγεί το μη επανδρωμένο αεροσκάφος σε προκαθορισμένα σημεία (waypoint following controller). Επιλέξαμε το αεροσκάφος μας να περάσει από 5 σημεία τα οποία βρίσκονται όλα στο ίδιο ύψος. Χρησιμοποιήσαμε τα block της Simulink, Guidance Model και Waypoint Follower.

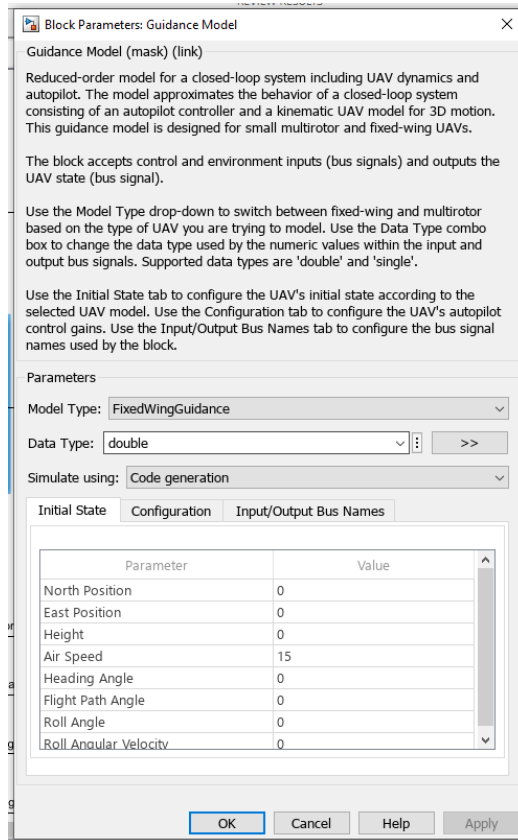


Εικόνα 11. Waypoint Follower (σημεία πλοήγησης)

Αυτά τα δύο block ελέγχουν τον αυτόματο πιλότο του αεροσκάφους και ρυθμίζουν τα προκαθορισμένα σημεία από τα οποία θα περάσει το αεροσκάφος.

Ρύθμιση του μοντέλου πλοήγησης

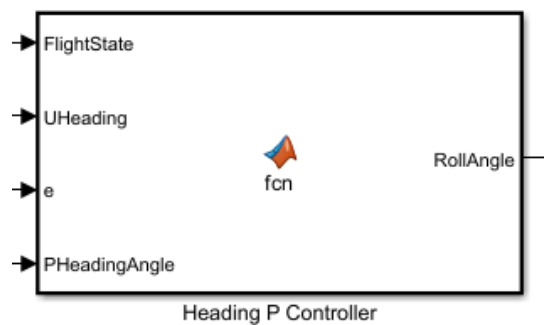
Το μοντέλο πλοήγησης για μη επανδρωμένα αεροσκάφη με σταθερά φτερά (fixed wing guidance model) προσεγγίζει την κινηματική συμπεριφορά ενός συστήματος κλειστού βρόγχου του αυτόματου πιλότου και της αεροδυναμικής των αεροσκαφών με σταθερά φτερά. Το μοντέλο αυτό είναι αξιόπιστο όταν προσομοιώνουμε μικρές πτήσεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε σταθερές συνθήκες πτήσεις.



Εικόνα 12. Ρύθμιση του μοντέλου πλοήγησης

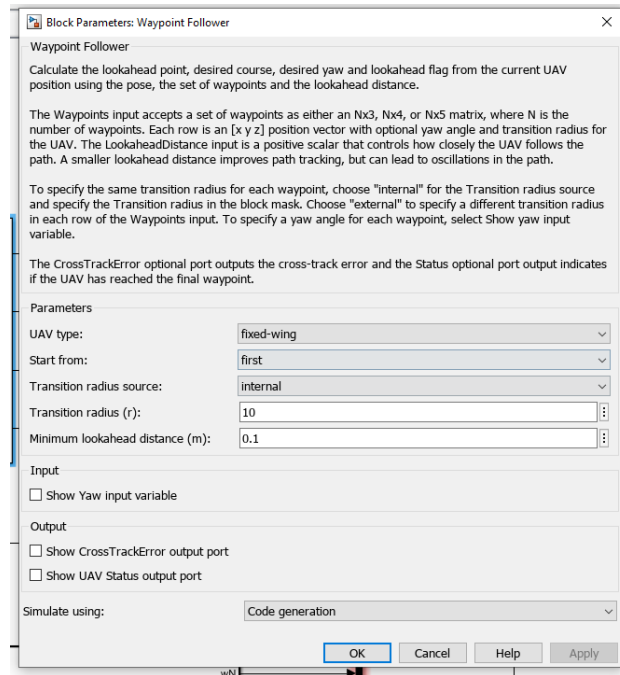
Ρύθμιση του ελεγκτή για τα προκαθορισμένα σημεία

Ο ελεγκτής αποτελείται από 2 μέρη, το block Waypoint Follower και το Heading P Controller



Εικόνα 13. Ρύθμιση του ελεγκτή για τα προκαθορισμένα σημεία

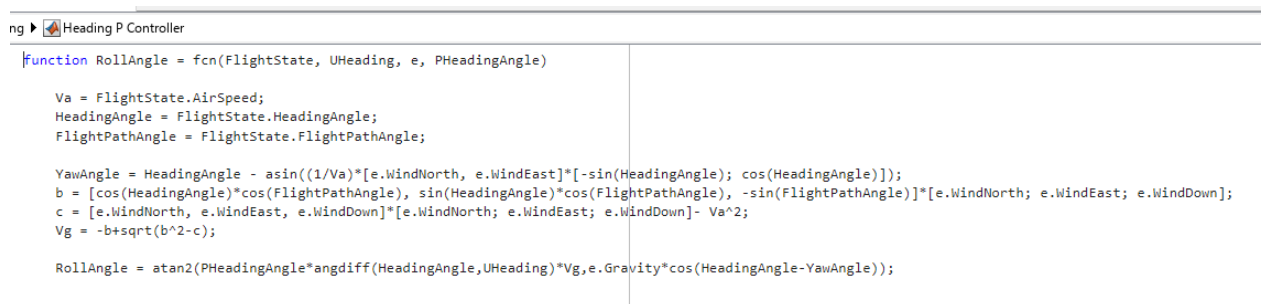
Το Block Waypoint Follower υπολογίζει την επιθυμητή κατεύθυνση (heading) για το αεροσκάφος η οποία βασίζεται στη συγκεκριμένη θέση και κλίση του αεροσκάφους, τη ρυθμισμένη απόσταση που



Εικόνα 14. Block Parameters Waypoint Follower (λίστα προκαθορισμένων σημείων)

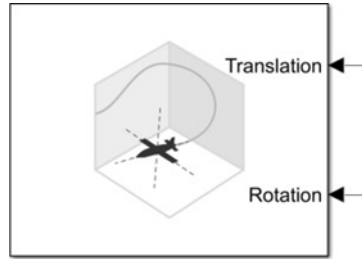
μπορεί να βλέπει μπροστά το αεροσκάφος (lookahead distance) και τη λίστα από τα προκαθορισμένα σημεία. Κατά την πτήση του το αεροσκάφος επισκέπτεται το κάθε σημείο της λίστας προσπαθώντας κάθε φορά που πρέπει να στρίψει να κρατήσει ακτίνα στροφής το πολύ ίση με την προκαθορισμένη ακτίνα.

Το Heading P Controller είναι ένας αναλογικός ελεγκτής ο οποίος ρυθμίζει τη γωνία στροφής (heading angle) ελέγχοντας την κλίση του αεροσκάφους (roll) κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες πτήσης.



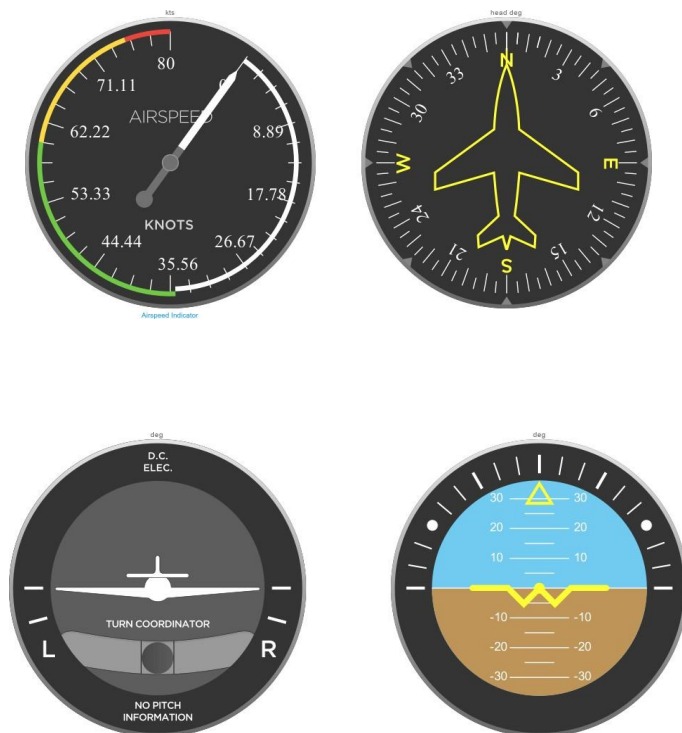
Εικόνα 15. Heading P Controller (αναλογικός ελεγκτής ρύθμισης γωνίας στροφής)

Για να οπτικοποιήσουμε την πτήση χρησιμοποιήσαμε το UAV Animation block, το οποίο μας δείχνει τη διαδρομή που ακολούθησε το αεροσκάφος και το υψόμετρο.



Εικόνα 16. UAV Animation Block

Επίσης χρησιμοποιήσαμε τα όργανα ελέγχου πτήσης της Simulink τα οποία προσομοιώνουν τα πραγματικά όργανα που βρίσκονται μέσα σε ένα αεροσκάφος. Χρησιμοποιήσαμε το όργανο που δείχνει την ταχύτητα του αεροσκάφους, την κατεύθυνση, την κλίση κατά τη διάρκεια της στροφής και τον τεχνητό ορίζοντα. Επειδή κρατήσαμε σταθερό υψόμετρο δεν χρησιμοποιήσαμε το όργανο που δείχνει το υψόμετρο πτήσης. Με αυτό τον τρόπο έχουμε μια πραγματική εικόνα της πτήσης όπως φαίνεται μέσα από τον πίνακα ελέγχου του αεροσκάφους.



Εικόνα 17. Όργανα πτήσης αεροσκάφους

Όργανο ταχύτητας αεροσκάφους

Το όργανο ταχύτητας αεροσκάφους ονομάζεται δείκτης ταχύτητας αέρος (Air Speed Indicator - ASI). Είναι ένα κρίσιμο όργανο στο πιλοτήριο που δείχνει την ταχύτητα του αεροσκάφους σε σχέση με τον αέρα που το περιβάλλει.

Πώς λειτουργεί το όργανο ταχύτητας

Ο δείκτης ταχύτητας αέρος λειτουργεί με βάση τη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο πηγών:

- **Στατική πίεση:** Αυτή μετράται από μια στατική θύρα (static port) που βρίσκεται συνήθως στο πλάι του αεροσκάφους, όπου η πίεση του αέρα είναι ίση με την εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση.
- **Δυναμική πίεση:** Αυτή μετράται από τον σωλήνα Pitot (Pitot tube), ο οποίος είναι προσανατολισμένος προς την κατεύθυνση της ροής του αέρα. Η πίεση αυτή σχετίζεται με την ταχύτητα του αέρα που χτυπά τον σωλήνα.

Το ASI μετρά τη διαφορά μεταξύ της **στατικής** και της **δυναμικής πίεσης**, και με αυτή την τιμή υπολογίζει την **ταχύτητα αέρος** (indicated airspeed - IAS), που εμφανίζεται στον πιλότο ως κόμβοι (knots) ή μίλια ανά ώρα (mph).

Διαφορετικά είδη ταχύτητας που εμφανίζονται σε ένα αεροσκάφος

- **Indicated Airspeed (IAS):** Είναι η ταχύτητα που διαβάζεται απευθείας από τον δείκτη ταχύτητας. Αντιπροσωπεύει την ταχύτητα του αεροσκάφους σε σχέση με τον αέρα γύρω του και είναι η πιο άμεσα χρησιμοποιούμενη ταχύτητα κατά την πτήση.
- **True Airspeed (TAS):** Η πραγματική ταχύτητα του αεροσκάφους σε σχέση με τον αέρα, διορθωμένη για την ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία. Σε μεγάλο υψόμετρο, η διαφορά μεταξύ IAS και TAS γίνεται μεγαλύτερη.
- **Ground Speed (GS):** Είναι η ταχύτητα του αεροσκάφους σε σχέση με το έδαφος. Η ταχύτητα αυτή επηρεάζεται από τον άνεμο (οπίσθιο άνεμο την αυξάνει, αντίθετος άνεμος τη μειώνει).

Σημασία του ASI

- **Αποφυγή απώλειας στήριξης:** Ο πιλότος χρησιμοποιεί το ASI για να διατηρεί την ταχύτητα εντός ασφαλών ορίων, αποφεύγοντας την απώλεια στήριξης ή την

υπερβολική ταχύτητα.

- **Καθορισμός ταχύτητας κατά την απογείωση και την προσγείωση:** Το ASI είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό των ταχυτήτων κατά τις κρίσιμες φάσεις της πτήσης, όπως η απογείωση και η προσγείωση.

Το όργανο ταχύτητας είναι απαραίτητο για την ασφαλή πτήση και τον χειρισμό του αεροσκάφους σε διαφορετικές συνθήκες πτήσης.



Εικόνα 18. Όργανο μέτρησης ταχύτητας (AIRSPEED)

Πυξίδα αεροσκάφους

Η πυξίδα αεροσκάφους είναι ένα από τα βασικά όργανα πλοήγησης που χρησιμοποιούνται για να δείξουν την κατεύθυνση της πτήσης σε σχέση με τον μαγνητικό βορρά. Ονομάζεται μαγνητική πυξίδα (Magnetic Compass) και αποτελεί βασικό εξοπλισμό στα περισσότερα αεροσκάφη, παράλληλα με άλλα συστήματα πλοήγησης όπως το GPS και το INS (Inertial Navigation System).

Λειτουργία της μαγνητικής πυξίδας

Η πυξίδα λειτουργεί με βάση το μαγνητικό πεδίο της Γης. Περιλαμβάνει έναν μαγνητικό δείκτη που περιστρέφεται ελεύθερα και προσανατολίζεται προς τον μαγνητικό βορρά. Η ένδειξη της κατεύθυνσης γίνεται σε μοίρες, με τη βόρεια κατεύθυνση να είναι στις 0° και οι άλλες κατευθύνσεις να κατανέμονται κυκλικά:

- **0° ή 360°:** Βορράς (N)
- **90°:** Ανατολή (E)
- **180°:** Νότος (S)
- **270°:** Δύση (W)

Χρήση της πυξίδας

- **Πλοήγηση:** Οι πιλότοι χρησιμοποιούν την πυξίδα για να διατηρήσουν την επιθυμητή πορεία του αεροσκάφους ή για να προσανατολιστούν σε σχέση με τον μαγνητικό βορρά.
- **Εφεδρικό όργανο:** Παρότι σήμερα χρησιμοποιούνται πιο σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα πλοήγησης (GPS, INS, HSI), η πυξίδα εξακολουθεί να είναι ένα κρίσιμο εφεδρικό όργανο, σε περίπτωση αποτυχίας των ηλεκτρονικών συστημάτων.

Προκλήσεις στη χρήση της μαγνητικής πυξίδας

- **Σφάλματα κλίσης και επιτάχυνσης:** Η μαγνητική πυξίδα μπορεί να υποστεί σφάλματα λόγω των δυνάμεων επιτάχυνσης ή κατά τη διάρκεια στροφών και ανόδου/καθόδου. Αυτά τα σφάλματα είναι γνωστά ως σφάλματα "dip" και "acceleration/deceleration errors".

- **Απόκλιση μαγνητικού βορρά:** Η μαγνητική πυξίδα δείχνει προς τον μαγνητικό βορρά και όχι τον γεωγραφικό βορρά. Η διαφορά αυτή ονομάζεται **μαγνητική απόκλιση** (variation) και ποικίλει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση.

Άλλα όργανα για την κατεύθυνση

- **Δείκτης κατεύθυνσης (Heading Indicator - HI):** Το όργανο αυτό είναι γυροσκοπικό και βοηθά στην καλύτερη διατήρηση της κατεύθυνσης, καθώς είναι λιγότερο επιρρεπές σε σφάλματα από τη μαγνητική πυξίδα.
- **Οριζόντιος Δείκτης Κατεύθυνσης (Horizontal Situation Indicator - HSI):** Συνδυάζει τη λειτουργία της πυξίδας και του δείκτη κατεύθυνσης, παρέχοντας στους πιλότους πιο ακριβείς και εύχρηστες πληροφορίες πλοήγησης.

Η μαγνητική πυξίδα παραμένει σημαντικό εργαλείο για τους πιλότους, κυρίως ως εφεδρικό και απλό σύστημα πλοήγησης.



Εικόνα 19. Όργανο πυξίδας αεροσκάφους

Όργανο κλίσης αεροσκάφους

Το όργανο που μετρά και δείχνει το pitch (γωνία ανόδου ή καθόδου) ενός αεροσκάφους είναι κυρίως ο τεχνητός ορίζοντας ή όργανο στάσης (Attitude Indicator - AI). Αυτό το όργανο απεικονίζει τη γωνία ανύψωσης ή καθόδου (pitch) του αεροσκάφους σε σχέση με τον ορίζοντα.

Τι είναι το pitch

Το pitch είναι η γωνία του αεροσκάφους γύρω από τον εγκάρσιο άξονα (ο άξονας που εκτείνεται από φτερό σε φτερό). Με άλλα λόγια, το pitch δείχνει αν η μύτη του αεροσκάφους είναι στραμμένη προς τα πάνω ή προς τα κάτω σε σχέση με τον πραγματικό ή τεχνητό ορίζοντα:

- **Άνοδος (Nose Up):** Όταν η μύτη του αεροσκάφους είναι στραμμένη προς τα πάνω.
- **Κάθοδος (Nose Down):** Όταν η μύτη του αεροσκάφους είναι στραμμένη προς τα κάτω.

Πώς λειτουργεί ο τεχνητός ορίζοντας για το pitch

Ο τεχνητός ορίζοντας δείχνει:

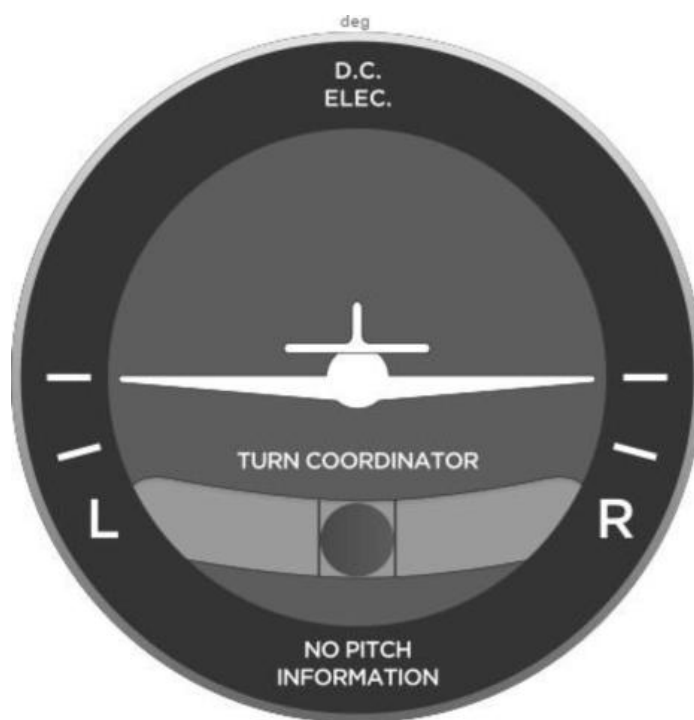
- **Αυξητική γωνία ανόδου (Positive pitch):** Όταν η μύτη του αεροσκάφους είναι πάνω από τη γραμμή του ορίζοντα στην ένδειξη.
- **Αυξητική γωνία καθόδου (Negative pitch):** Όταν η μύτη του αεροσκάφους είναι κάτω από τη γραμμή του ορίζοντα στην ένδειξη.

Η κλίμακα pitch είναι συνήθως διαβαθμισμένη σε μοίρες, και ο πιλότος μπορεί να δει ακριβώς σε ποια γωνία ανόδου ή καθόδου βρίσκεται το αεροσκάφος, γεγονός που βοηθάει στον έλεγχο της ανόδου ή καθόδου, καθώς και στη διατήρηση ευθείας και σταθερής πτήσης.

Άλλα όργανα που σχετίζονται με το pitch

- **Οριζόντιος Δείκτης Κατεύθυνσης (Horizontal Situation Indicator - HSI):** Αν και το HSI επικεντρώνεται περισσότερο στην κατεύθυνση και την πορεία, σε συνδυασμό με άλλα όργανα όπως ο τεχνητός ορίζοντας βοηθά στη διατήρηση της σταθερής πτήσης.
- **Πολλαπλών λειτουργιών οθόνες (Multifunction Displays - MFD):** Στα πιο σύγχρονα αεροσκάφη, οι οθόνες αυτές παρέχουν λεπτομερείς ενδείξεις για το pitch μαζί με άλλες κρίσιμες πληροφορίες πτήσης.

Το pitch είναι κρίσιμο για τη διαχείριση της ανόδου, της καθόδου και της σταθερότητας του αεροσκάφους, και ο τεχνητός ορίζοντας είναι το βασικό όργανο που παρέχει στον πιλότο τις πληροφορίες αυτές σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 20. Όργανο κλίσης αεροσκάφους

Όργανο τεχνητός ορίζοντας

Το όργανο κλίσης ενός αεροσκάφους ονομάζεται **τεχνητός ορίζοντας** ή **όργανο κλίσης και ανόδου/καθόδου** (Attitude Indicator - AI ή Artificial Horizon). Είναι ένα από τα βασικά όργανα του πιλοτηρίου που βοηθά τους πιλότους να διατηρούν την κατάλληλη θέση του αεροσκάφους σε σχέση με τον ορίζοντα, ειδικά σε συνθήκες περιορισμένης ορατότητας.

Λειτουργία του τεχνητού ορίζοντα

Ο τεχνητός ορίζοντας δείχνει την **κλίση** (roll) και την **άνωση/κάθοδο** (pitch) του αεροσκάφους σε σχέση με τον πραγματικό ορίζοντα. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για τον έλεγχο της πτήσης, ιδιαίτερα όταν ο πιλότος δεν μπορεί να βασιστεί σε εξωτερικά οπτικά στοιχεία λόγω νεφών ή άλλων συνθηκών.

- **Κλίση (Roll):** Η κλίση του αεροσκάφους γύρω από τον διαμήκη άξονα (από τη μύτη μέχρι την ουρά), δηλαδή η πλευρική γωνία του αεροσκάφους. Δείχνει αν το αεροσκάφος είναι οριζόντιο, ή αν έχει κλίση προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά.
- **Άνοδος/Κάθοδος (Pitch):** Η κλίση του αεροσκάφους γύρω από τον εγκάρσιο άξονα, δηλαδή η γωνία της μύτης του αεροσκάφους προς τα πάνω ή προς τα κάτω σε σχέση με τον ορίζοντα.

Πώς λειτουργεί το όργανο

Ο τεχνητός ορίζοντας χρησιμοποιεί ένα γυροσκόπιο για να διατηρεί μια σταθερή αναφορά στον ορίζοντα, ανεξάρτητα από την κίνηση του αεροσκάφους. Αυτό το γυροσκόπιο περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα και διατηρεί τον προσανατολισμό του λόγω της **γυροσκοπικής σταθερότητας**, παρέχοντας μια ακριβή απεικόνιση της θέσης του αεροσκάφους.

Εμφάνιση του οργάνου

Στην οθόνη του τεχνητού ορίζοντα:

- Το **μπλε μέρος** αντιπροσωπεύει τον ουρανό.
- Το **καφέ μέρος** αντιπροσωπεύει τη γη.
- Μια **μικρή εικόνα του αεροσκάφους** στο κέντρο δείχνει τη θέση του σε σχέση

με τον τεχνητό ορίζοντα.

Η γωνία της κλίσης και του προσανατολισμού του αεροσκάφους εμφανίζεται με γραμμές και ενδείξεις που επιτρέπουν στον πιλότο να διατηρεί την επιθυμητή θέση κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Σημασία του τεχνητού ορίζοντα

- **Πτήση με όργανα (IFR):** Σε συνθήκες περιορισμένης ορατότητας, όπως ομίχλη ή σύννεφα, το όργανο αυτό είναι κρίσιμο για την ασφαλή πτήση, καθώς ο πιλότος δεν μπορεί να δει τον πραγματικό ορίζοντα.
- **Σταθεροποίηση της πτήσης:** Βοηθά τους πιλότους να διατηρούν την κατάλληλη θέση του αεροσκάφους και να αποφύγουν επικίνδυνες καταστάσεις, όπως υπερβολική κλίση ή κάθοδος.

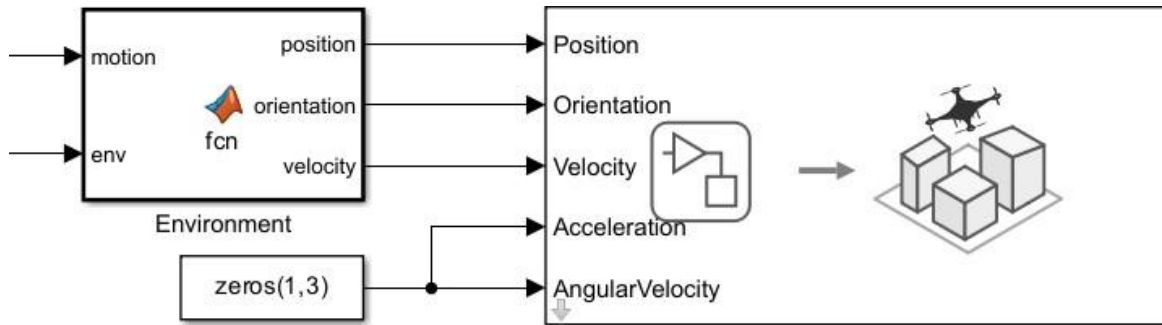
Το όργανο αυτό είναι αναπόσπαστο μέρος των σύγχρονων αεροσκαφών και συμβάλλει σημαντικά στην ασφάλεια της πτήσης, ειδικά όταν η εξωτερική ορατότητα είναι περιορισμένη.



Εικόνα 21. Όργανο τεχνητός ορίζοντας

Μοντέλο Ανέμου

Για να δούμε τις επιπτώσεις του ανέμου στο σύστημα πλοήγησης του μη επανδρωμένου αεροσκάφους μας δημιουργήσαμε 4 σενάρια. Ένα σενάριο χωρίς άνεμο, ένα σενάριο με σταθερό άνεμο, ένα σενάριο με ριπές ανέμου και ένα με στροβιλώδη άνεμο. Δημιουργήσαμε για το λόγο αυτό στη Simulink το περιβάλλον πτήσης το οποίο ελέγχει το block του ανέμου και επηρεάζει την πτήση του αεροσκάφους μας.

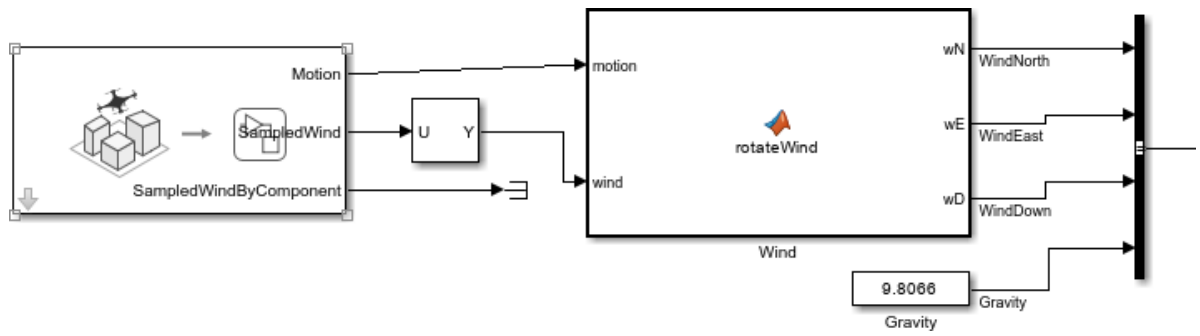


```

Fixed_Wing Environment
1 function [position, orientation, velocity] = fcn(motion, env)
2
3 position = [motion.North motion.East -motion.Height];
4 orientation = eul2quat([motion.HeadingAngle motion.FlightPathAngle motion.RollAngle]);
5
6 % computes ground speed based on wind speed and air speed
7 Va = motion.AirSpeed;
8 headingAngle = motion.HeadingAngle;
9 flightPathAngle = motion.FlightPathAngle;
10 b = [-cos(headingAngle)*cos(flightPathAngle), sin(headingAngle)*cos(flightPathAngle), -sin(flightPathAngle)]*[env.WindNorth; env.WindEast; env.WindDown];
11 c = [env.WindNorth, env.WindEast, env.WindDown]*[env.WindNorth; env.WindEast; env.WindDown]- Va^2;
12 Vg = -b+sqrt(b^2-c);
13
14 velocity = zeros(1,3);
15 % \dot(x) = Vg cos(chi) cos(gamma)
16 velocity(1) = Vg*cos(headingAngle)*cos(flightPathAngle);
17
18 % \dot(y) = Vg sin(chi) cos(gamma)
19 velocity(2) = Vg*sin(headingAngle)*cos(flightPathAngle);
20
21 % \dot(z) = Vg sin(gamma)
22 velocity(3) = Vg*sin(flightPathAngle);
23

```

Εικόνα 22. Δημιουργία μοντέλου ανέμου στη Simulink



```

1 function [wN, wE, wD] = rotateWind(motion, wind)
2
3 R = quat2rotm(motion.Orientation);
4 wind = R*reshape(wind, 3, 1);
5 wN = wind(1);
6 wE = wind(2);
7 wD = wind(3);
8

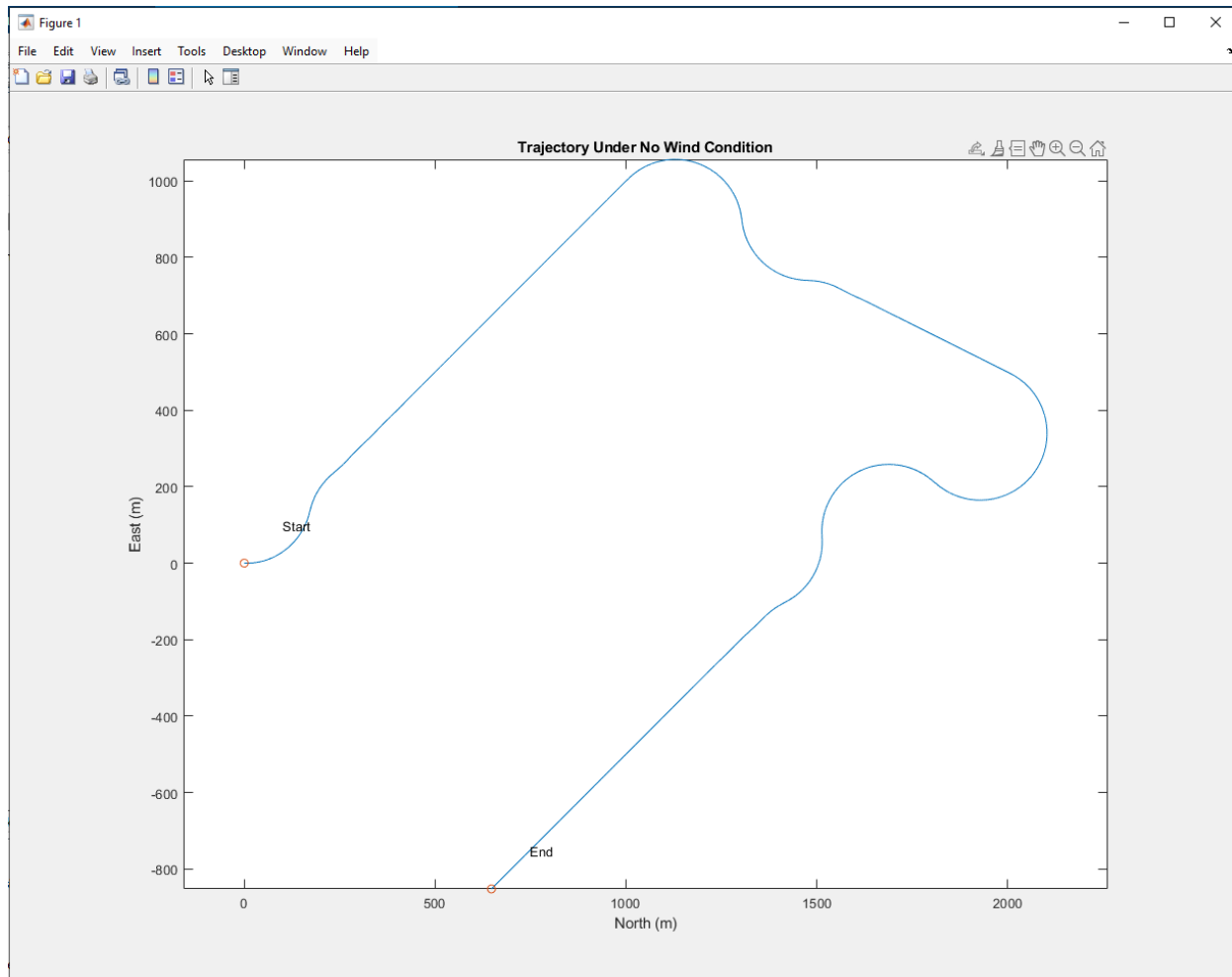
```

Εικόνα 23. Προσομοίωση σε Matlab

Για να λειτουργήσουν τα 4 σενάρια γράφηκε κώδικας στο matlab ο οποίος ελέγχει όλη την προσομοίωση, εμφανίζει τη διαδρομή του αεροσκάφους σε κάθε ένα σενάριο και μετά τα τοποθετεί σε ένα διάγραμμα όλα μαζί για να μπορέσουμε να τα συγκρίνουμε. Ο κώδικας και το ολοκληρωμένο διάγραμμα της Simulink παρατίθεται στο παράρτημα.

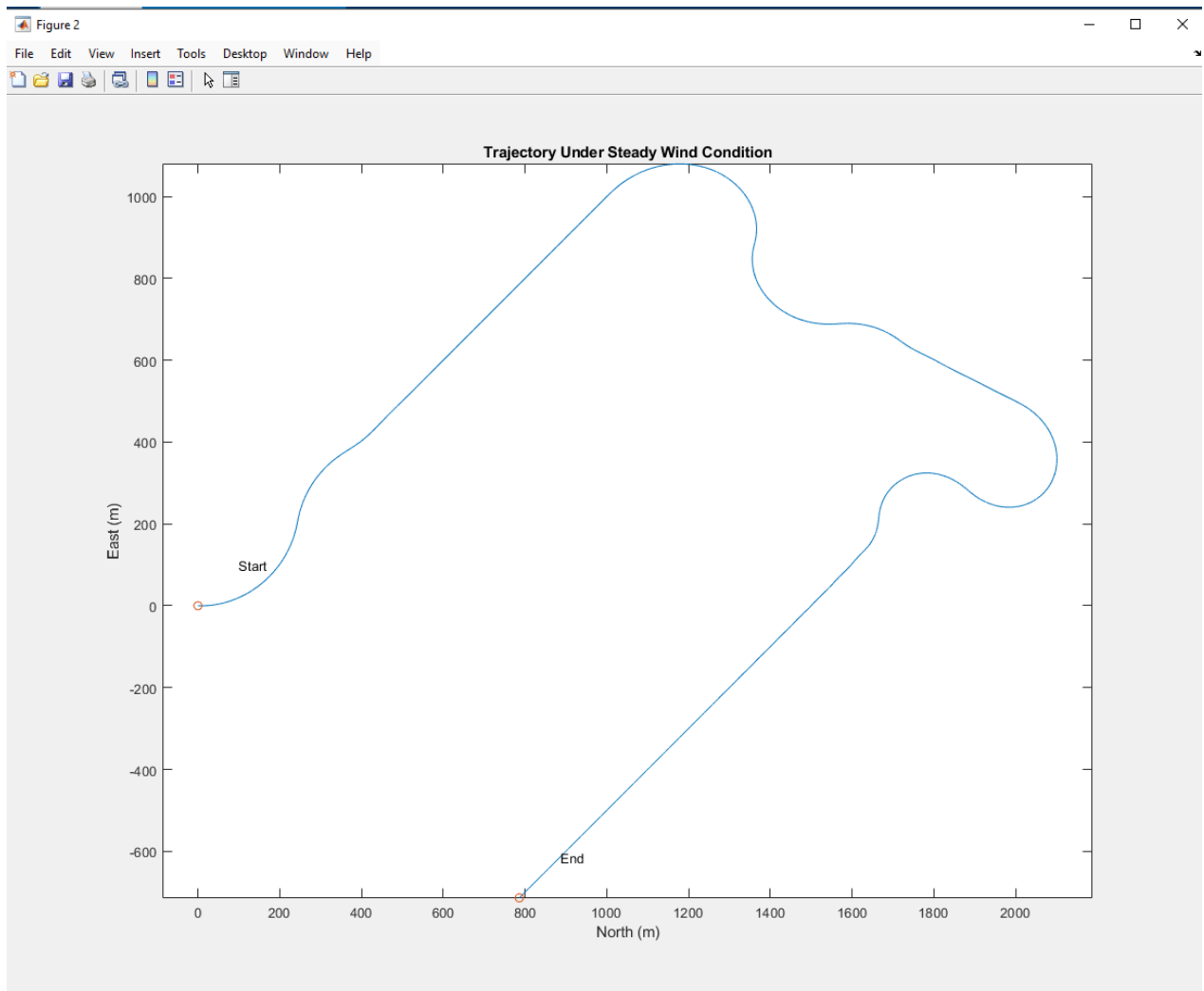
Αποτελέσματα

Σενάριο χωρίς άνεμο



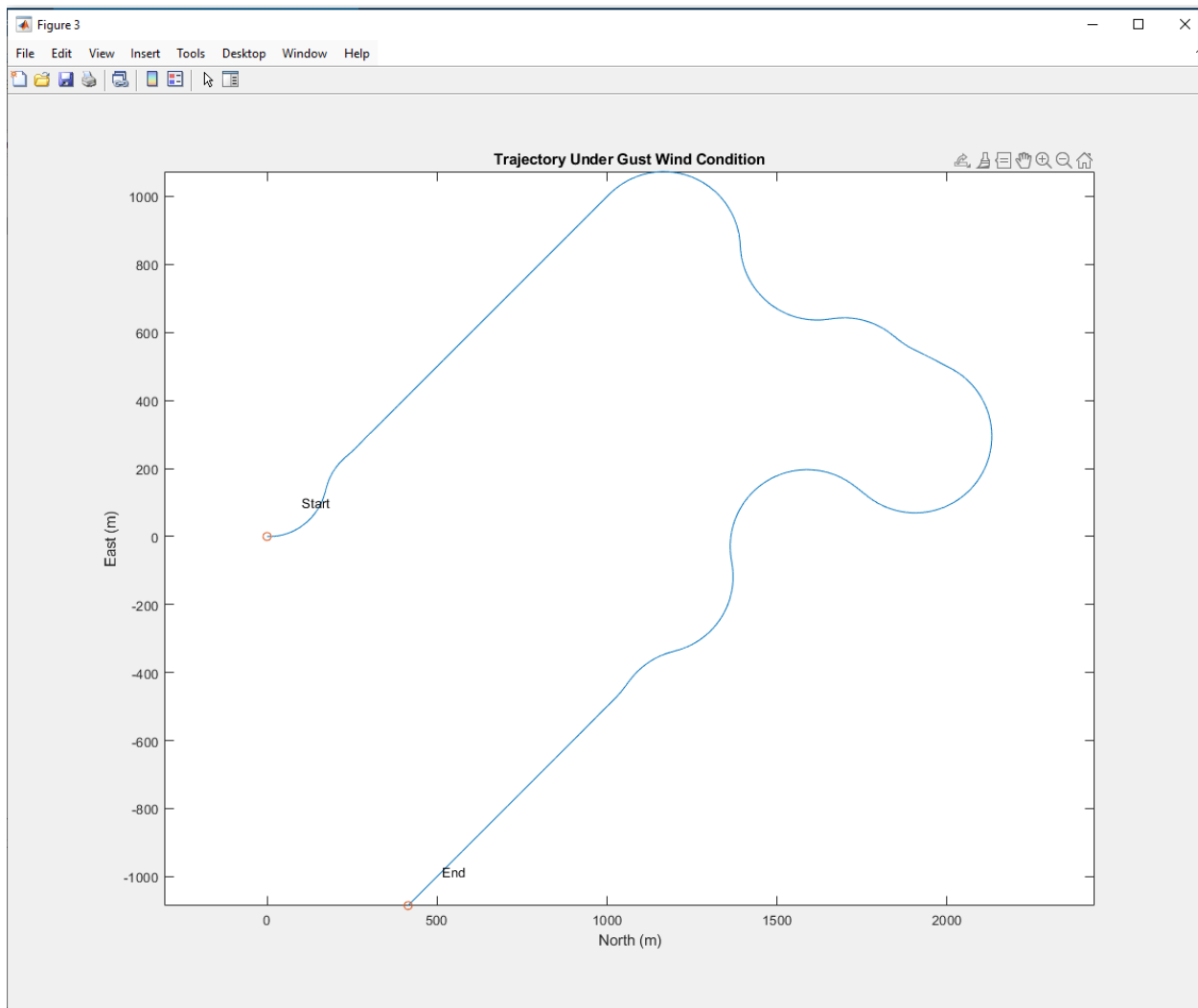
Εικόνα 24. Πλοήγηση ΜΕΑ χωρίς άνεμο

Σενάριο με σταθερό άνεμο



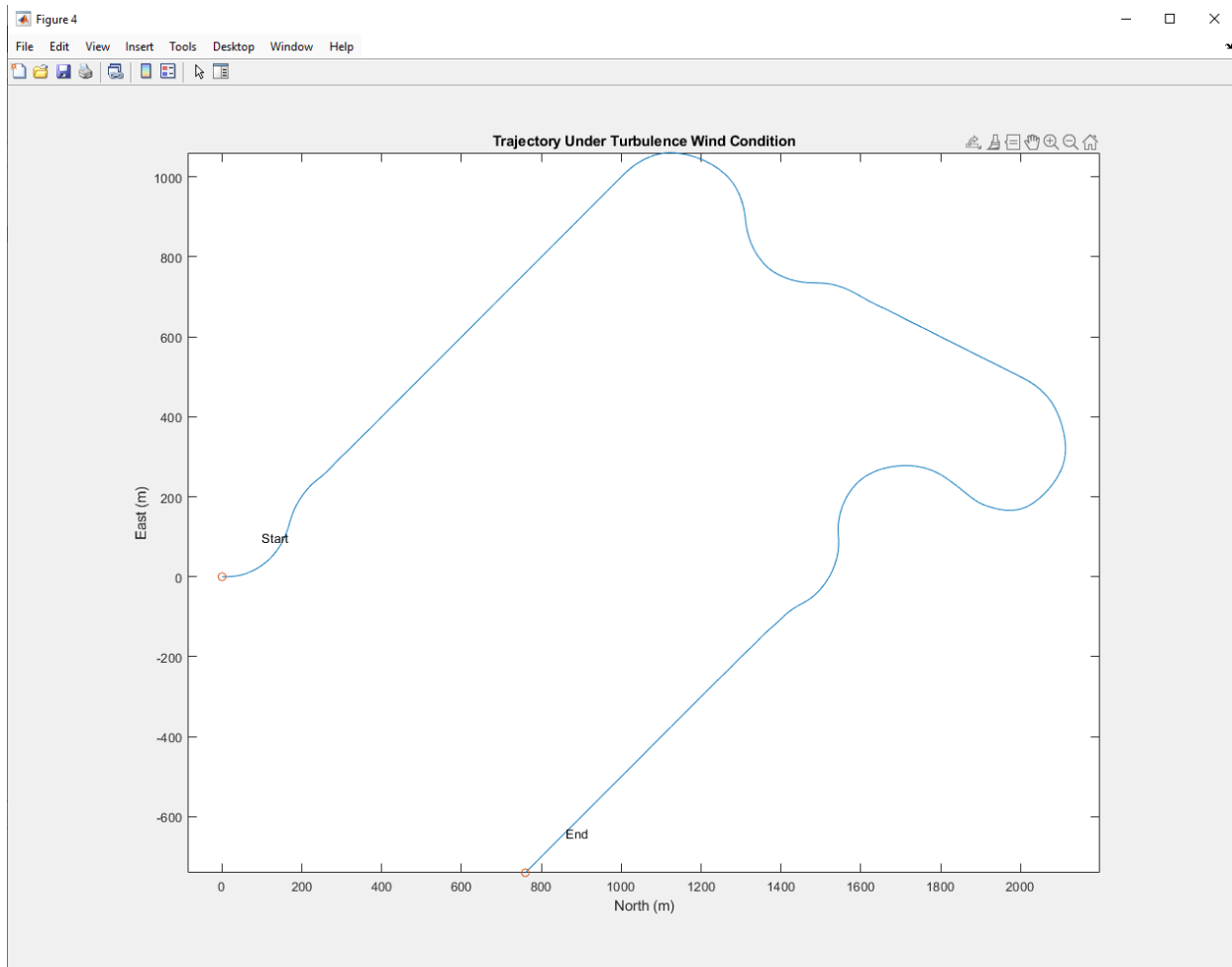
Εικόνα 25. Πλοήγηση ΜΕΑ με σταθερό άνεμο

Σενάριο με ριπές ανέμου



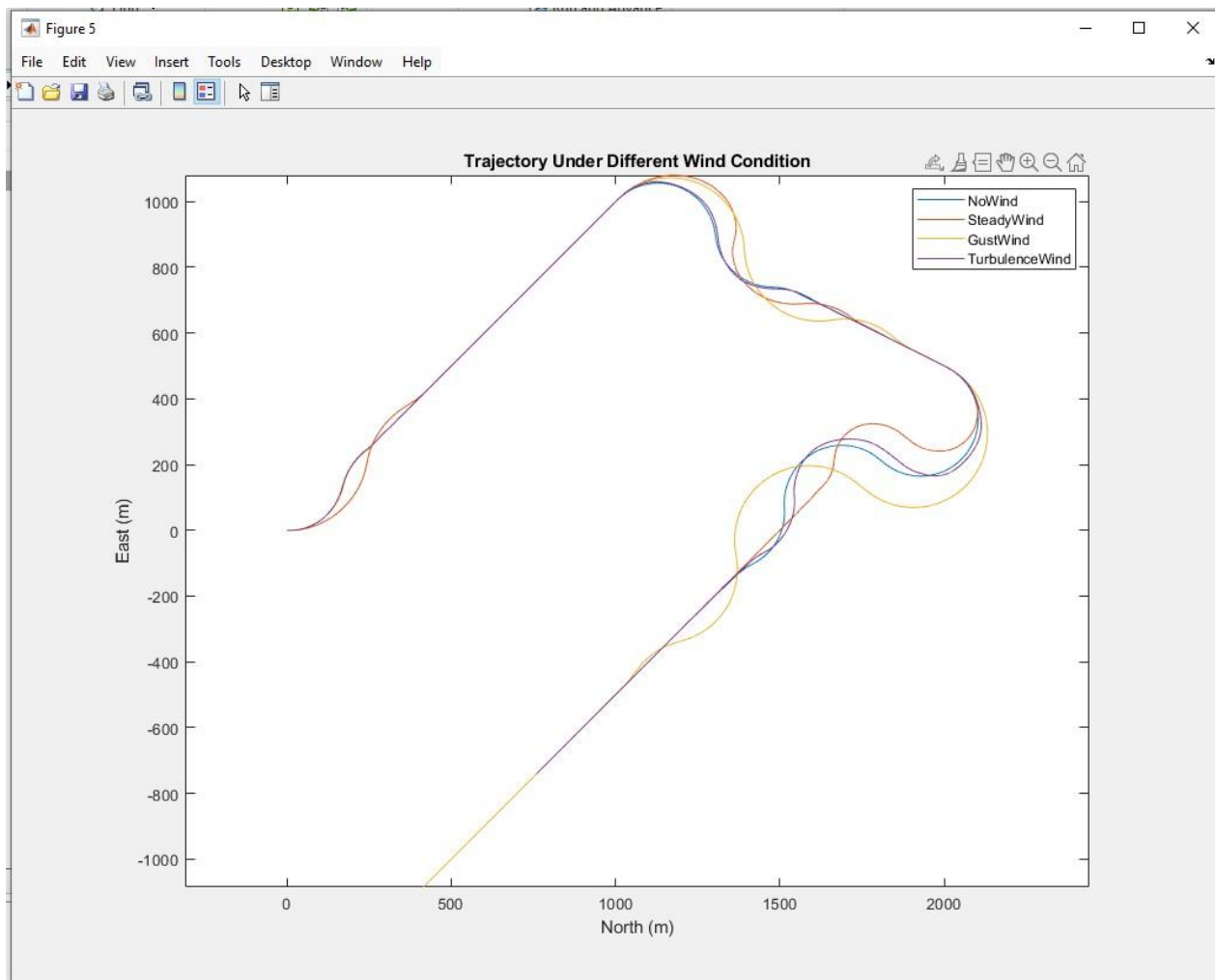
Εικόνα 26. Πλοήγηση ΜΕΑ με ριπές ανέμου

Σενάριο με στροβιλώδη άνεμο



Εικόνα 27. Πλοήγηση MEA με στροβιλώδη άνεμο

Σοφρευτικά



Εικόνα 28. Απεικόνιση τεσσάρων σεναρίων ανέμου

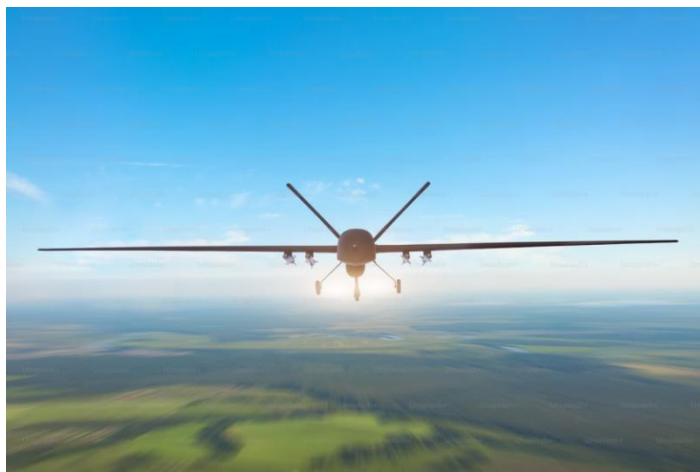
Κεφάλαιο 12ο: Συμπεράσματα

Είναι γεγονός ότι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (ΜΕΑ) έχουν κερδίσει σημαντικό έδαφος σε διάφορους τομείς, από στρατιωτικές εφαρμογές έως πολιτικές χρήσεις. Οι βελτιώσεις στον τομέα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΜΕΑ) προχωρούν με γρήγορους ρυθμούς, ενισχύοντας την αποδοτικότητα, την ασφάλεια και την ευελιξία τους, ενώ συνολικά, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αναδεικνύονται ως ένα πολύτιμο εργαλείο σε πολλούς τομείς, με τεράστιες δυνατότητες αλλά και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Η τεχνολογική εξέλιξη όπου με την αυτονομία και την τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει τα νέα ΜΕΑ να ενσωματώνουν συστήματα αυτοματισμού και τεχνητής νοημοσύνης, δίνουν την δυνατότητα για πιο ακριβή και ασφαλή πλοήγηση. Επιπλέον, η ανάπτυξη νέων μπαταριών και πηγών ενέργειας αυξάνει τη διάρκεια και την απόσταση πτήσης των ΜΕΑ, επιτρέποντας νέες εφαρμογές.

Συνοψίζοντας, με την παρούσα εργασία προσπαθήσαμε να μελετήσουμε την επίδραση του ανέμου στην πλοήγηση ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους καθώς, σύμφωνα με τα δεδομένα της προσομοίωσης, ο άνεμος αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την απόδοση και την αυτονομία των ΜΕΑ. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, ιδιαίτερα οι άνεμοι, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας κατά την πτήση και μέσα από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι ο άνεμος παίζει σημαντικό ρόλο στην αξιοπιστία του συστήματος πλοήγησης ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Επηρεάζει την τροχιά, την απόσταση που αυτό διανύει, τη θέση του και την ενέργεια που καταναλώνει. Συνεπώς, είναι σημαντικό να λαμβάνουμε υπόψη μας τις συνθήκες του ανέμου κατά την πτήση για να υπολογίσουμε σωστά την κατανάλωση καυσίμων και την διάρκεια πτήσης.

Επομένως, η συνεχής εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών προσφέρει νέες δυνατότητες για πληθώρα εφαρμογών, από τις μεταφορές μέχρι τη στρατιωτική και την πολιτική χρήση. Με τις τεχνολογικές βελτιώσεις και την ενσωμάτωση στην κοινωνία, τα ΜΕΑ αναμένεται να διαδραματίσουν ακόμα πιο σημαντικό ρόλο στο μέλλον.



Εικόνα 29. Μη επανδρωμένο αεροσκάφος



Εικόνα 30. <https://nemesishd.gr/analysis/uav-patrol-1>

Παράρτημα Κώδικα Matlab

```
%No wind scenario
```

```
sceneNoWind = uavScenario;
```

```
uavPlatform("UAV", sceneNoWind);
```

```
%Steady wind scenario
```

```
sceneSteadyWind = copy(sceneNoWind);
```

```
plat = sceneSteadyWind.Platforms(1);
```

```
steadyWind = uavWindSteady(Velocity=[3.5 3.5 0]);
```

```
addWind(plat, steadyWind);
```

```
%Gust wind scenario
```

```
sceneGustWind = copy(sceneNoWind);
```

```
plat = sceneGustWind.Platforms(1);
```

```
gustWind = uavWindGust(GustAmplitude=[3.5 3.5 0], StartTime = 30);
```

```
addWind(plat, gustWind);
```

```
%Turbulence wind scenario
```

```
sceneTurbulenceWind = copy(sceneNoWind);
```

```
plat = sceneTurbulenceWind.Platforms(1);
```

```
turbulenceWind = uavWindTurbulence(BandLimitedNoiseSampleTime = 0.1);
```

```

addWind(plat, turbulenceWind);

modelName = "Fixed_Wing";
open_system(modelName)

sceneConfig = modelName + "/UAV Scenario Configuration";
set_param(sceneConfig, UAVScenarioObject="sceneNoWind")
sim(modelName)

xNoWind = logouts{6}.Values.Data(:,1);
yNoWind = logouts{6}.Values.Data(:,2);
figure
plot(xNoWind,yNoWind)
hold on
scatter(xNoWind([1 end]), yNoWind([1 end]))
text(xNoWind(1)+100, yNoWind(1)+100, "Start", AffectAutoLimits="on")
text(xNoWind(end)+100, yNoWind(end)+100, "End", AffectAutoLimits="on")

xlabel("North (m)")
ylabel("East (m)")
title("Trajectory Under No Wind Condition")
axis equal

set_param(sceneConfig, UAVScenarioObject="sceneSteadyWind")
sim(modelName)

xSteadyWind = logouts{6}.Values.Data(:,1);
ySteadyWind = logouts{6}.Values.Data(:,2);
figure
plot(xSteadyWind,ySteadyWind)
hold on
scatter(xSteadyWind([1 end]), ySteadyWind([1 end]))

```

```
text(xSteadyWind(1)+100, ySteadyWind(1)+100, "Start", AffectAutoLimits="on")
text(xSteadyWind(end)+100, ySteadyWind(end)+100, "End", AffectAutoLimits="on")
```

```
xlabel("North (m)")
ylabel("East (m)")
title("Trajectory Under Steady Wind Condition")
axis equal
```

```
set_param(sceneConfig, UAVScenarioObject="sceneGustWind")
sim(modelName)
```

```
xGustWind = logouts{6}.Values.Data(:,1);
yGustWind = logouts{6}.Values.Data(:,2);
figure
plot(xGustWind,yGustWind)
hold on
scatter(xGustWind([1 end]), yGustWind([1 end]))
text(xGustWind(1)+100, yGustWind(1)+100, "Start", AffectAutoLimits="on")
text(xGustWind(end)+100, yGustWind(end)+100, "End", AffectAutoLimits="on")
```

```
xlabel("North (m)")
ylabel("East (m)")
title("Trajectory Under Gust Wind Condition")
axis equal
```

```
set_param(sceneConfig, UAVScenarioObject="sceneTurbulenceWind")
sim(modelName)
```

```
xTurbulenceWind = logouts{6}.Values.Data(:,1);
yTurbulenceWind = logouts{6}.Values.Data(:,2);
figure
plot(xTurbulenceWind,yTurbulenceWind)
```

```

hold on
scatter(xTurbulenceWind([1 end]), yTurbulenceWind([1 end]))
text(xTurbulenceWind(1)+100, yTurbulenceWind(1)+100, "Start", AffectAutoLimits="on")
text(xTurbulenceWind(end)+100, yTurbulenceWind(end)+100, "End", AffectAutoLimits="on")
xlabel("North (m)")
ylabel("East (m)")
title("Trajectory Under Turbulence Wind Condition")
axis equal

```

```

figure
plot(xNoWind,yNoWind)
hold on
plot(xSteadyWind,ySteadyWind)
plot(xGustWind,yGustWind)
plot(xTurbulenceWind,yTurbulenceWind)
legend(["NoWind", "SteadyWind", "GustWind", "TurbulenceWind"])

```

```

xlabel("North (m)")
ylabel("East (m)")
title("Trajectory Under Different Wind Condition")
axis equal

```

```

close_system(modelName, 0)
%dataDictionary = Simulink.data.dictionary.open(modelName + ".sldd");
%discardChanges(dataDictionary)
%close(dataDictionary)

```

Βιβλιογραφία

1. Hugenholtz, C. H., & Walker, J. (2015). Assessing the accuracy of unmanned aerial vehicles for measuring river surface velocity and discharge. **River Research and Applications**, 31(4), 379-391.
2. Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. **Remote Sensing**, 4(6), 1671-1692.
3. Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 92, 79-97.
4. Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. **Precision Agriculture**, 13(6), 693-712.
5. Finn, R. L., & Wright, D. (2012). Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. **Computer Law & Security Review**, 28(2), 184-194.
6. Floreano, D., & Wood, R. J. (2015). Science, technology and the future of small autonomous drones. **Nature**, 521(7553), 460-466.
7. Groves, P. D. (2013). Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems. **Artech House**.
8. El-Sheimy, N., Hou, H., & Niu, X. (2008). Analysis and modeling of inertial sensors using Allan variance. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 57(1), 140-149.
9. Stöcker, C., Bennett, R., Nex, F., Gerke, M., & Zevenbergen, J. (2017). Review of the current state of UAV regulations. **Remote Sensing**, 9(5), 459.
10. Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 11(3), 138-146.
11. Hausamann, D., Zirnig, W., Schreier, G., & Strobl, P. (2005). Monitoring of gas pipelines—a civil UAV application. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, 77(5), 352-360.
12. Lu, X., & Niu, X. (2017). A novel integration of LIDAR and vision data for UAV navigation. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, 87(3-4), 583-597.

13. Luo, C., & Lu, P. (2019). Influence of wind on the flight stability and energy consumption of small unmanned aerial vehicles. **Journal of Aerospace Engineering**, 32(2), 04019007.
14. Strohmeier, M., Lenders, V., & Martinovic, I. (2015). Security of ADS-B: State of the art and beyond. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, 48(4), 1-41.
15. Watkins, S., Barlow, J. F., & Brown, A. R. (2006). Measurement of wind-induced perturbations to the flight of small UAVs. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 94(11), 845-858.
16. Lee, J., Choi, Y., & Kim, Y. (2020). Weather effects on the accuracy of UAV photogrammetry. **Remote Sensing**, 12(14), 2234.
17. Demers, D., & Roy, S. (2019). A survey of the impact of weather conditions on the performance of unmanned aerial vehicles. **International Journal of Aerospace Engineering**, 2019, 1-12.
18. Gebre-Egziabher, D., & Cannon, M. E. (2000). Performance analysis of a tightly coupled GPS/INS system for airborne applications. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, 36(4), 1385-1392.
19. Tokekar, P., Hook, J. V., Mulla, D., & Isler, V. (2016). Sensor planning for a symbiotic UAV and UGV system for precision agriculture. **IEEE Transactions on Robotics**, 32(6), 1498-1511.
20. Jung, J., & Kim, H. (2018). Development of an anti-icing system for UAVs using electrothermal heating. **Aerospace Science and Technology**, 78, 111-119.
21. Park, S. J., & Kim, S. H. (2018). Development of a robust UAV navigation system under strong wind conditions using multi-sensor fusion. **Sensors**, 18(9), 2981.
22. Besada, J. A., Parra, J., & Vazquez, A. (2016). Wind effects on the performance of small fixed-wing UAVs: Modeling and real-time compensation. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, 84(1-4), 343-358.
23. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement Learning: An Introduction. **MIT Press**.
24. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. **MIT Press**.
25. Bishop, C. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. **Springer**.

26. Bou-Ammar, H., Eaton, E., & Ruvolo, P. (2015). Online multi-task learning for policy gradient methods. **Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning (ICML-15)**, 1206-1214.
27. Koenig, D. M., & Borenstein, J. (1998). The effect of wind on small UAV performance. **Journal of Aircraft**, 35(1), 61-66.
28. Gao, F., & Chao, H. (2018). On the energy efficiency of UAV communications in rotary-wing UAV enabled wireless networks: A rotary-wing UAV perspective. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 67(9), 8688-8702.
29. Kristen Boon· Douglas Lovelace (2014). *The Domestic Use of Unmanned Aerial Vehicles*. Oxford: Oxford University Press. σελ. 111.
30. Taylor, John William Ransom· Munson, Kenneth (1977). *Jane's pocket book of remotely piloted vehicles: robot aircraft today*. USA: Collier Books. σελ. 13.
31. Whittle, Richard (2014). *Predator: The Secret Origins of the Drone Revolution*. New York: Henry Holt and Company. σελ. 20.
32. Custers, Bart (2016). *The Future of Drone Use: Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives*. Berlin: Springer. σελ. 9.
33. David, Donald (1997). «Standard aircraft». *Encyclopedia of World Aircraft*. Etobicoke, Ontario: Prospero Books. σελ. 854.
34. Springer, Paul J. (2013). *Military Robots and Drones: A Reference Handbook: A Reference Handbook*. Santa Barbara, California: ABC-CLIO. σελ. 1970-1971.
35. Kristen Boon· Douglas Lovelace (2014). *The Domestic Use of Unmanned Aerial Vehicles*. Oxford: Oxford University Press. σελ. 111.