



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**UAV επόμενης γενιάς: αξιοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη (AI) για  
αναβαθμισμένες επιχειρήσεις Πληροφοριών, Επιτήρησης, Απόκτησης Στόχου και  
Αναγνώρισης (ISTAR)**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ανδρέας Γ. Μπακαλάρος**

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Δ. Δουλάμης

**Καθηγητής Τομέα Τοπογραφίας, ΕΜΠ**

**Αθήνα, Ιούνιος 2024**

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**UAV επόμενης γενιάς: αξιοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη (AI) για αναβαθμισμένες επιχειρήσεις Πληροφοριών, Επιτήρησης, Απόκτησης Στόχου και Αναγνώρισης (ISTAR)**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Γ. Μπακαλάρης

Επιβλέπων : Νικόλαος, Δ. Δουλάμης

Καθηγητής Τομέα Τοπογραφίας, ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14<sup>η</sup> Ιουνίου 2024.

.....  
Νικόλαος Δουλάμης  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Αναστάσιος Δουλάμης  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Θεοδώρα Βαρβαρίγου  
Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2024

Copyright © Ανδρέας Μπακαλάρος, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

<b>Περίληψη</b>	<b>6</b>
<b>Abstract</b>	<b>7</b>
<b>1. Εισαγωγή</b>	<b>10</b>
1.1 Οι αποστολές ISTAR	10
1.2. Η σημασία των UAVs στις αποστολές ISTAR	14
<b>2. AI και στρατιωτικές εφαρμογές</b>	<b>16</b>
2.1 Τι είναι το AI (Artificial Intelligence)	16
2.2 Ένοπλες δυνάμεις και AI	19
<b>3. Βασικά εξαρτήματα ενός ISTAR UAV</b>	<b>25</b>
3.1 Αεροσκάφος (Airframe)	25
3.2 Σύστημα Πρόωσης (Propulsion System)	27
3.3 Αεροηλεκτρονικός εξοπλισμός (Avionics)	30
3.4 Σύστημα επικοινωνιών και Ζεύξη Δεδομένων (Communication System and Data Link)	34
3.5 Ωφέλιμο φορτίο (Payload)	38
3.6 Ηλεκτρικό Σύστημα ισχύος (Power System)	43
3.7 Συστήματα ασφαλείας (Safety Systems)	46
<b>4. Βασικά εξαρτήματα σταθμού ελέγχου εδάφους (Ground Control Station (GCS))</b>	<b>48</b>
4.1 Σύστημα υπολογιστή (Computer System)	49
4.2 Κονσόλα Ελέγχου και Διεπαφής Χρήστη (Control and User Interface Console - CUIC)	50
4.3 Σύστημα επικοινωνίας (Communication System)	51
4.4 Σύστημα ελέγχου ωφέλιμου φορτίου (Payload Control System)	53
4.5 Τροφοδοσία ρεύματος (Power Supply)	54
4.6 Σύστημα Καταγραφής, αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων (Data Recording, Storage and Analysis System)	55
4.7 Συστήματα ασφαλείας (Safety Systems)	57
4.8 Σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης (Navigation and Positioning System)	58
4.9 Εργαλεία Σχεδιασμού Πτήσης και Διαχείρισης Αποστολών (Flight Planning and Mission Management Tools)	60
4.10 Εξοπλισμός υποστήριξης (Support Equipment)	61
4.11 Επιχειρησιακοί παράμετροι του εξοπλισμού εδάφους	62
<b>5. Τεχνολογίες AI που αναβαθμίζουν τις επιχειρήσεις ISTAR</b>	<b>64</b>
5.1 Αναγνώριση και ταξινόμηση στόχων. Ο αλγόριθμος YOLO (You Only Look Once)	64
5.2 Ενσωματώνοντας τον αλγόριθμό YOLO σε ένα UAV (YOLO-Based UAV Technology, YBUT)	69
5.2.1 Ρύθμιση Υλικού (Hardware Setup)	71
5.2.2 Ενσωμάτωση με το λογισμικό του UAV	72
5.2.3 Ρύθμιση της κάμερας	74
5.2.4 Συλλογή δεδομένων και εκπαίδευση του αλγορίθμου	77
5.2.5 Έτερες αποστολές που μπορεί να αναλάβει ένα YOLO UAV	79
5.3 Αυτόνομη Πλοήγηση	83
5.4 Predictive Analytics	84
5.5 Επεξεργασία εικόνας και σήματος	86
5.6 Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP)	88
5.7 Αναγνώριση μοτίβων και ανίχνευση ανωμαλιών	90
5.8 Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση Αποστολών	92

5.9 Συνεργατικές επιχειρήσεις	94
5.10 Προσαρμοστική Υποστήριξη Αποφάσεων	96
5.11 Βελτιωμένη αξιοπιστία και συντήρηση	98
5.12 Προσδιορισμός συντεταγμένων των στόχων	101
5.13 Κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity)	103
<b>6. Στρατιωτικά ISTAR UAVs</b>	<b>105</b>
6.1 Κατηγορίες στρατιωτικών UAVs	106
6.2 Προδιαγραφές NATO στρατιωτικών UAVs	109
6.3 Μελέτες περιπτώσεων ISTAR UAVs με δυνατότητες AI	112
6.3.1 Μικρού μεγέθους UAVs	112
6.3.2 Μεγαλύτερα ISTAR UAVs	115
<b>7. Ηθικά ζητήματα και Κανονιστική Συμμόρφωση</b>	<b>1</b>
7.1 Ηθικά ζητήματα	1
7.2 Κανονιστική Συμμόρφωση	1
<b>8. Μελλοντικές Τάσεις και Κατευθύνσεις</b>	<b>1</b>
8.1 Μελλοντικές τάσεις βασικών εξαρτημάτων	1
8.2 Μελλοντικές προοπτικές ενσωμάτωσης AI σε ISTAR UAVs	1
<b>9. Αντί επιλόγου: Ολοκληρωμένα συστήματα UAV, GCS και AI</b>	<b>1</b>
<b>Βιβλιογραφικές Αναφορές</b>	<b>1</b>

## Περίληψη

Η διπλωματική αυτή εργασία επικεντρώνεται στην αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence, AI) για την αναβάθμιση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) επόμενης γενιάς, με στόχο την ενίσχυση των επιχειρήσεων ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance). Οι επιχειρήσεις ISTAR αποτελούν κεντρικό πυλώνα των σύγχρονων στρατιωτικών επιχειρήσεων, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση των UAV προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω της δυνατότητάς τους να επιχειρούν σε επικίνδυνα ή δυσπρόσιτα περιβάλλοντα, μειώνοντας ταυτόχρονα τον κίνδυνο για το ανθρώπινο δυναμικό.

Η εργασία ξεκινά με μια λεπτομερή ανάλυση των αποστολών ISTAR και τη σημασία των UAV σε αυτές. Στη συνέχεια, επεξηγείται η Τεχνητή Νοημοσύνη και η σημασία της για τις Ένοπλες Δυνάμεις, ενώ αναφέρονται τα πεδία όπου το AI αναδύεται ως στρατιωτική τεχνολογία. Αναλύονται ακόμα τα βασικά εξαρτήματα ενός UAV και του σταθμού ελέγχου εδάφους (Ground Control Station, GCS), περιγράφοντας τα κύρια υποσυστήματα και τις επιχειρησιακές παραμέτρους έκαστου.

Περνώντας στο πιο ζωτικό κομμάτι της εργασίας αυτής, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις τεχνολογίες AI που ενισχύουν και αναβαθμίζουν τις δυνατότητες των UAV στις επιχειρήσεις ISTAR, αναφέροντας τα εργαλεία AI (AI Tools) και τις τεχνικές που ενσωματώνουν AI (AI-Powered Techniques) κάθε μίας από αυτές. Ξεκινώντας με την αναγνώριση και ταξινόμηση αντικειμένων, γίνεται λεπτομερής ανάλυση του αλγορίθμου YOLO (You Only Look Once) όπου αναφέρονται οι απαιτήσεις και τα βήματα ενσωμάτωσής του σε ένα UAV, αποσκοπώντας στην παροχή μιας εναλλακτικής και οικονομικά αποδοτικής λύσης για την αναβάθμιση υπαρχόντων ή φθηνών UAV σε προηγμένα συστήματα κυρίως ISR δυνατοτήτων.

Στη συνέχεια εξερευνώνται τα στρατιωτικά ISTAR UAVs, αναφέροντας τις βασικές κατηγορίες, τα έντυπα τυποποίησης και προδιαγραφών κατά NATO ενώ τέλος παρουσιάζονται μελέτες περιπτώσεων (Case Studies) τέτοιων UAVs που ενσωματώνουν τεχνολογίες AI.

Η εργασία εξετάζει επίσης τα ηθικά ζητήματα και θέματα κανονιστικής συμμόρφωσης που συνδέονται με τη χρήση AI σε στρατιωτικά UAVs, αναλύοντας τις προκλήσεις και τις προοπτικές για τη διασφάλιση της υπεύθυνης και αποδοτικής χρήσης της τεχνολογίας. Επιπλέον, αναλύονται οι μελλοντικές τάσεις των βασικών εξαρτημάτων του UAV, καθώς και ορισμένες μελλοντικές προοπτικές όσον αφορά την ενσωμάτωση Τεχνητής Νοημοσύνης σε τεχνολογίες ISTAR UAVs.

Τέλος, αντί επιλόγου παρουσιάζονται δύο σχεδιαγράμματα, ένα για το UAV και ένα για το GCS. Απεικονίζουν τα βασικά εξαρτήματά τους με τα υποσυστήματα έκαστου, καθώς και τα AI Tools που χρησιμοποιούνται σε αυτά, συσσωρεύοντας έτσι απεικονιστικά ολοκληρωμένα συστήματα UAV και GCS.

Η εργασία αυτή καταδεικνύει ότι η ενσωμάτωση της AI στις επιχειρήσεις ISTAR μέσω των UAV προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα, την ακρίβεια και την ευελιξία των στρατιωτικών επιχειρήσεων, καθιστώντας τα UAV αναπόσπαστο μέρος του σύγχρονου στρατιωτικού εξοπλισμού.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Τεχνητή Νοημοσύνη, Στρατιωτική τεχνητή νοημοσύνη, Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), YOLO, Στρατιωτικά UAV, ISR, ISTAR

## **Abstract**

This thesis focuses on leveraging artificial intelligence (AI) to upgrade next-generation Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to enhance Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance (ISTAR) operations. ISTAR operations are a central pillar of modern military operations, providing critical information for strategic decision-making. In this context, the use of UAVs offers significant advantages due to their ability to operate in dangerous or inaccessible environments, while reducing the risk to human resources.

The paper begins with a detailed analysis of ISTAR missions and the importance of UAVs in them. Artificial Intelligence and its importance to the Armed Forces are then explained, while the fields where AI is emerging as a military technology are mentioned. The basic components of a UAV and ground control station (GCS) are further analyzed, describing the main subsystems and the operational parameters of each.

Moving on to the most vital part of this work, special emphasis is placed on the AI technologies that enhance and upgrade the capabilities of UAVs in ISTAR operations, listing the AI-Tools of each from these. Starting with object recognition and classification, the YOLO (You Only Look Once) algorithm is analyzed in detail, also mentioning its integration steps in a UAV, aiming to provide an alternative and cost-effective solution for upgrading existing or low-cost UAVs to advanced systems with mainly ISR capabilities.

The military ISTAR UAVs are then explored, mentioning the main categories, the standardization and specification forms according to NATO, while finally case studies of such UAVs incorporating AI technologies are presented.

The paper also examines the ethical and regulatory compliance issues associated with the use of AI in military UAVs, analyzing the challenges and prospects for ensuring responsible and efficient use of the technology. In addition, the future trends of UAV core components are analyzed, as well as some future perspectives regarding the integration of Artificial Intelligence in ISTAR UAVs technologies.

Finally, instead of an epilogue, two diagrams are presented, one for the UAV and one for the GCS. They illustrate their key components with the subsystems of each, as well as the AI-Tools and AI-Powered Techniques used in them, thus accumulating graphically integrated UAV and GCS systems.

This thesis demonstrates that the integration of AI into ISTAR operations through UAVs offers significant improvements in the efficiency, accuracy and flexibility of military operations, making UAVs an integral part of modern military equipment.

**Keywords:** Artificial Intelligence (AI), Military Artificial Intelligence, UAV, YOLO, Military UAV, ISR, ISTAR



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όσους με υποστήριξαν και με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Πρώτα και κύρια, θέλω να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου, Σοφία, για την αδιάκοπη υποστήριξή της, την αγάπη και την κατανόηση της. Χωρίς την ενθάρρυνση και τη συμπαράστασή της, δεν θα μπορούσα να ανταπεξέλθω στο απαιτητικό μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών αλλά ούτε και να ολοκληρώσω αυτήν την εργασία. Η υπομονή και η πίστη της σε μένα με ενέπνευσαν να συνεχίσω ακόμα και στις πιο δύσκολες στιγμές.

Επίσης, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον γιο μου, Ηρακλή, για την ανεμελιά και τη χαρά που φέρνει στη ζωή μου. Η παρουσία του μου θύμιζε συνεχώς την αξία της σκληρής δουλειάς και της αφοσίωσης.

Ευχαριστώ από καρδιάς την οικογένειά μου, για την αμέριστη στήριξη και τις θυσίες που έκαναν για να μπορώ να φτάσω σε αυτό το σημείο. Η στήριξή τους υπήρξε καθοριστική στην πορεία μου και τα λόγια τους πάντα μου έδιναν δύναμη να συνεχίσω.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον καθηγητή μου, Νικόλαο Δουλάμη, για την αμέριστη καθοδήγηση, την υπομονή και την πολύτιμη συμβολή του. Η καθοδήγησή και οι συμβουλές του βοήθησαν στη βελτίωση και στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Τον ευχαριστώ επίσης που μου επέδειξε εμπιστοσύνη και μου παρείχε την ελευθερία να αναλάβω τις απαραίτητες πρωτοβουλίες για την συγγραφή της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και συμφοιτητές / συμφοιτήτριές μου που με υποστήριξαν με οποιονδήποτε τρόπο. Η αλληλεγγύη και η υποστήριξή τους ήταν πολύτιμες.

Με ευγνωμοσύνη,

Ανδρέας

## 1. Εισαγωγή

Οι επιχειρήσεις Πληροφοριών, Επιτήρησης, Απόκτησης Στόχου και Αναγνώρισης (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance, ISTAR) αποτελούν κρίσιμα στοιχεία των σύγχρονων επιχειρήσεων, διαδραματίζοντας κεντρικό ρόλο στη διατήρηση της στρατιωτικής υπεροχής, στην προστασία των εθνικών συμφερόντων και στη διασφάλιση της ασφάλειας. Παρά τις αξιοσημείωτες εξελίξεις στην τεχνολογία UAV, το πλήρες δυναμικό των επιχειρήσεων ISTAR δεν έχει ακόμη αξιοποιηθεί. Τα τελευταία χρόνια, οι εξελίξεις στις τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) έχουν φέρει επανάσταση στις δυνατότητες των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), προσφέροντας άνευ προηγουμένου ευκαιρίες για την ενίσχυση των δυνατοτήτων ISTAR.

Παραδοσιακά, οι επιχειρήσεις ISTAR βασίζονταν σε μεγάλο βαθμό σε επανδρωμένες πλατφόρμες αναγνώρισης, οι οποίες συχνά θέτουν περιορισμούς όσον αφορά την αυτονομία, την ευελιξία και την έκθεση στον κίνδυνο. Η έλευση των UAV έχει αναδιαμορφώσει το τοπίο των επιχειρήσεων αυτών, προσφέροντας βελτιωμένη επιμονή, ευελιξία και δυνατότητες συλλογής πληροφοριών, ενώ μετριάξει τους κινδύνους που συνδέονται με την ανθρώπινη εμπλοκή.

### 1.1 Οι αποστολές ISTAR

Οι αποστολές πληροφοριών, επιτήρησης απόκτηση στόχων και αναγνώρισης (ISTAR) αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία του σύγχρονου πολέμου, παρέχοντας στους διοικούντες κρίσιμες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων και τη στόχευση ακριβείας. Στο δυναμικό τοπίο του σύγχρονου πολέμου, η επίτευξη κυριαρχίας της πληροφορίας είναι πρωταρχικής σημασίας. Αυτό απαιτεί ολοκληρωμένη συλλογή πληροφοριών, συνεχή επιτήρηση και ακριβείς δυνατότητες απόκτησης στόχων. Οι αποστολές ISTAR διασφαλίζουν την ανωτερότητα των πληροφοριών, επιτρέποντας στους διοικούντες να κατανοήσουν το πεδίο της μάχης, να εντοπίζουν απειλές και να εκτελούν επιχειρήσεις με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

Θα μπορούσαμε να χωρίσουμε τις επιχειρήσεις ISTAR σε επιχειρήσεις ISR (Intelligence, Surveillance, Reconnaissance) και σε επιχειρήσεις TA (Target Acquisition). Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρονται ξεχωριστά, ενώ πλύν των ISTAR UAVs που καλύπτουν το πλήρες φάσμα τέτοιων δυνατοτήτων, στην στρατιωτική και μη βιομηχανία συναντάμε επίσης μεγάλη ποικιλία ISR UAVs χωρίς δηλαδή δυνατότητα απόκτησης στόχων (TA). Προς διευκόλυνση και καλύτερη κατανόηση μπορούμε λοιπόν να ορίσουμε ξεχωριστά τις επιχειρήσεις ISR και TA, ενώ στην παρούσα

διπλωματική εργασία μελετώνται UAVs που δύναται να αναλάβουν το σύνολο των αποστολών ISTAR.

## **Επιχειρήσεις ISR**

Το ISR περιλαμβάνει ένα φάσμα δραστηριοτήτων που στοχεύουν στη συλλογή, ανάλυση και διάδοση πληροφοριών για τον εχθρό. Περιλαμβάνει συλλογή πληροφοριών από διάφορες πηγές όπως η ανθρώπινη νοημοσύνη (Human Intelligence, HUMINT), η ευφυΐα σημάτων (Signal Intelligence, SIGINT), η ευφυΐα εικόνων (Image Intelligence, IMINT) και η νοημοσύνη ανοιχτού κώδικα (Open Source Intelligence, OSINT). Τα μέσα επιτήρησης, συμπεριλαμβανομένων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, δορυφόρων και επανδρωμένων αεροσκαφών αναγνώρισης, παρέχουν επίγνωση πεδίου μάχης σε πραγματικό χρόνο, ενώ οι αποστολές αναγνώρισης παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο μέσω εξειδικευμένων επιχειρήσεων πίσω από τις γραμμές του εχθρού.

## **Επιχειρήσεις TA**

Το TA περιλαμβάνει τον εντοπισμό και τον προσδιορισμό εχθρικών στόχων για την επίτευξη ακριβούς εμπλοκής. Χρησιμοποιώντας διάφορους αισθητήρες και τεχνολογίες, τα στοιχεία TA ανιχνεύουν και ταξινομούν στόχους, παρέχοντας αξιόπιστη νοημοσύνη στα οπλικά συστήματα για ακριβή στόχευση. Η στόχευση ακριβείας ελαχιστοποιεί τις παράπλευρες απώλειες και ενισχύει την αποτελεσματικότητα των στρατιωτικών επιχειρήσεων, συμβάλλοντας στην επίγνωση του πεδίου μάχης και στην επιτυχία της αποστολής.

## **Ιστορική Αναδρομή**

### *Πρώιμη Αναγνώριση*

Η αναγνώριση υπήρξε θεμελιώδες στοιχείο των πολεμικών επιχειρήσεων σε όλη την ιστορία, που χρονολογείται από τους αρχαίους πολιτισμούς. Οι πρώιμες μέθοδοι αναγνώρισης περιλάμβαναν ανθρώπους ανιχνευτές, κατασκόπους και περιπολίες αναγνώρισης που συγκέντρωναν πληροφορίες σχετικά με τις θέσεις, τις κινήσεις και τις προθέσεις του εχθρού.

### *A' και B' Παγκόσμιος Πόλεμος*

Η χρήση της εναέριας αναγνώρισης έγινε ευρέως διαδεδομένη κατά τη διάρκεια του A' και B' Παγκοσμίου Πολέμου, με επανδρωμένα αεροσκάφη που εκτελούσαν αποστολές αναγνώρισης πάνω από εχθρικά εδάφη. Αναγνωριστικά αεροσκάφη κατέγραφαν εναέριες εικόνες και παρείχαν πληροφορίες στους διοικούντες, βοηθώντας τους στη λήψη στρατηγικών και τακτικών αποφάσεων.

### *Εποχή Ψυχρού Πολέμου*

Η εποχή του Ψυχρού Πολέμου είδε προόδους στην τεχνολογία αναγνώρισης, συμπεριλαμβανομένων των κατασκοπευτικών αεροπλάνων μεγάλου υψόμετρου όπως το U-2 και των αναγνωριστικών δορυφόρων. Αυτές οι πλατφόρμες παρείχαν εικόνες σε πραγματικό χρόνο και πληροφορίες σημάτων, επιτρέποντας την παρακολούθηση των εχθρικών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων και των πυρηνικών δυνατοτήτων.

### *Πόλεμος του Κόλπου (1990-1991)*

Ο Πόλεμος του Κόλπου έδειξε τη σημασία των αποστολών ISTAR στον σύγχρονο πόλεμο. Οι δυνάμεις του συνασπισμού χρησιμοποίησαν προηγμένα μέσα αναγνώρισης, συμπεριλαμβανομένων UAV, δορυφόρων και αεροσκαφών αναγνώρισης, για τη συλλογή πληροφοριών και τον εντοπισμό στόχων για χτυπήματα ακριβείας.

### *Εποχή μετά την 11η Σεπτεμβρίου (2001-σήμερα)*

Η εποχή μετά την 11η Σεπτεμβρίου είδε μια σημαντική επέκταση των δυνατοτήτων ISTAR, με γνώμονα τις εξελίξεις στην τεχνολογία και τις αλλαγές στο στρατιωτικό δόγμα. Οι στρατιωτικές επιχειρήσεις στο Αφγανιστάν, το Ιράκ και άλλα θέατρα επιχειρήσεων βασίζονταν σε μεγάλο βαθμό στα στοιχεία των ISR και TA για τη συλλογή πληροφοριών, την επιτήρηση, την αναγνώριση και την απόκτηση στόχων.

### *Τεχνολογικές Πρόοδοι (2000-σήμερα)*

Οι τεχνολογικές εξελίξεις, όπως τα μη επανδρωμένα συστήματα, η δορυφορική απεικόνιση, η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάλυση δεδομένων, έχουν φέρει επανάσταση στις αποστολές ISTAR. Αυτές οι εξελίξεις έχουν αυξήσει την ταχύτητα, την ακρίβεια και την επεκτασιμότητα της συλλογής πληροφοριών και της απόκτησης στόχων, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των στρατιωτικών επιχειρήσεων.

### *Ένταξη στο Στρατιωτικό Δόγμα (2010-σήμερα)*

Οι αποστολές ISTAR έχουν γίνει αναπόσπαστα συστατικά του σύγχρονου στρατιωτικού δόγματος, υποστηρίζοντας ένα ευρύ φάσμα επιχειρήσεων σε τομείς του αέρα, της ξηράς, της θάλασσας και του κυβερνοχώρου. Οι Ένοπλες Δυνάμεις έχουν αναπτύξει εξειδικευμένες δυνατότητες ISR και TA, προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένες επιχειρησιακές απαιτήσεις, συμπεριλαμβανομένης της αντιτρομοκρατίας, της καταπολέμησης εξεγέρσεων και του συμβατικού πολέμου.

## **Τεχνολογικές εξελίξεις που ενισχύουν τις αποστολές ISTAR**

Οι τεχνολογικές καινοτομίες έχουν φέρει επανάσταση στο τοπίο του σύγχρονου πολέμου, και ιδιαίτερα στους τομείς των Πληροφοριών, της Επιτήρησης, Αναγνώρισης και Απόκτησης Στόχων. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών αιχμής έχει μεταμορφώσει τις εν λόγω αποστολές, ενισχύοντας τις παραδοσιακές μεθόδους αναγνώρισης με προηγμένους αισθητήρες, μη επανδρωμένα συστήματα και ανάλυση δεδομένων. Οι βασικές τεχνολογικές εξελίξεις που οδηγούν την εξέλιξη των ISR και TA είναι οι ακόλουθες:

### *Μη επανδρωμένα συστήματα (Unmanned Aerial Systems, UAS)*

Τα UAS έχουν αναδειχθεί ως απαραίτητα στοιχεία για τις αποστολές ISTAR και περιλαμβάνουν όχι μόνο το UAV, αλλά και όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη λειτουργία του συστήματος (σταθμός ελέγχου εδάφους, συστήματα επικοινωνιών, χειριστές κτλ). Τα UAV, εξοπλισμένα με κάμερες υψηλής ανάλυσης, αισθητήρες υπερύθρων και δυνατότητες ανίχνευσης σημάτων, παρέχουν αδιάκοπη επιτήρηση σε τεράστιες περιοχές, επιτρέποντας στους διοικητές να παρακολουθούν τις εχθρικές δραστηριότητες και να εντοπίζουν στόχους με πρωτοφανή ακρίβεια. Επιπλέον, οι αυτόνομες δυνατότητες και οι δυνατότητες σμήνους (swarm) ενισχύουν την επεκτασιμότητα και την αποτελεσματικότητα των λειτουργιών UAV σε πολύπλοκα περιβάλλοντα.

### *Δορυφορικές Απεικονίσεις, Προηγμένοι αισθητήρες και SAR*

Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες δορυφορικής απεικόνισης έχουν διευρύνει σημαντικά το εύρος και την ανάλυση των δυνατοτήτων ISR και TA. Οι δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης επιτρέπουν τη λεπτομερή χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του εδάφους, της υποδομής και των θέσεων του εχθρού, ενώ το συνθετικό ραντάρ διαφράγματος (Synthetic Aperture Radar, SAR) και η υπερφασματική απεικόνιση παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τις συνθήκες του εδάφους και τις υπογραφές στόχων. Επιπλέον, οι εμπορικοί δορυφορικοί σχηματισμοί προσφέρουν παγκόσμια κάλυψη σε πραγματικό χρόνο, αυξάνοντας τις στρατιωτικές δυνατότητες ISTAR με έγκαιρη και επιχειρησιακή νοημοσύνη.

### *Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) και Μηχανική Μάθηση (Machine Learning)*

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης (ML) διαδραματίζουν πλέον κεντρικό ρόλο στις αποστολές ISTAR, ενισχύοντας την ταχύτητα και την ακρίβεια της ανάλυσης δεδομένων και της λήψης αποφάσεων. Οι πλατφόρμες ανάλυσης στοιχείων που τροφοδοτούνται με AI επεξεργάζονται τεράστιες ποσότητες δεδομένων από αισθητήρες, εντοπίζοντας αυτόματα μοτίβα, ανωμαλίες και πιθανές απειλές σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η προγνωστική ανάλυση και τα αυτόνομα συστήματα στόχευσης επιτρέπουν την προληπτική αξιολόγηση κινδύνου και την ακριβή

εμπλοκή των στόχων, μειώνοντας έτσι το γνωστικό φορτίο των χειριστών και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα της αποστολής.

### *Κυβερνοηλεκτρονικός Πόλεμος*

Ο πολλαπλασιασμός των δυνατοτήτων κυβερνοπολέμου και ηλεκτρονικού πολέμου έχει αναδιαμορφώσει τον χώρο μάχης, εισάγοντας νέες ευκαιρίες και προκλήσεις για τις επιχειρήσεις ISTAR. Οι τεχνικές αναγνώρισης και εκμετάλλευσης στον κυβερνοχώρο επιτρέπουν την πρόσβαση σε αντίπαλα δίκτυα, αποκαλύπτοντας πολύτιμες πληροφορίες και διακόπτοντας τις επικοινωνίες του εχθρού. Ομοίως, τα συστήματα ηλεκτρονικού πολέμου, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών αντιμέτρων και των πλατφορμών πληροφοριών σήματος, υποβαθμίζουν τους αισθητήρες και τις επικοινωνίες του εχθρού, ενισχύοντας τη δυνατότητα επιβίωσης και την επιχειρησιακή ασφάλεια για τις φίλιες δυνάμεις.

## 1.2. Η σημασία των UAVs στις αποστολές ISTAR

Τα UAV αντιπροσωπεύουν μια αλλαγή παραδείγματος στη στρατιωτική επιτήρηση και αναγνώριση, προσφέροντας διαρκείς, υψηλής ποιότητας δυνατότητες επιτήρησης χωρίς να εκθέτουν τους ανθρώπινους χειριστές στους κινδύνους που συνδέονται με τα παραδοσιακά επανδρωμένα αεροσκάφη.

### **Ιστορική Αναδρομή**

#### *Πρώιμη ανάπτυξη (δεκαετίες 1950-1980)*

Οι πρώτες μορφές UAV αναπτύχθηκαν κατά την εποχή του Ψυχρού Πολέμου, κυρίως για σκοπούς αναγνώρισης. Το Ryan Model 147, γνωστό και ως Lightning Bug, ήταν από τα πρώτα επιχειρησιακά UAV που χρησιμοποιήθηκαν για αποστολές αναγνώρισης κατά τη διάρκεια του πολέμου του Βιετνάμ από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Αυτά τα πρώιμα UAV ήταν συχνά τηλεχειριζόμενα και δεν είχαν τα εξελιγμένα ωφέλιμα φορτία αισθητήρων και την αυτονομία των σύγχρονων συστημάτων.

#### *Πόλεμος του Κόλπου (1990-1991)*

Ο πόλεμος του Κόλπου σηματοδότησε μια σημαντική καμπή στη χρήση των UAV για στρατιωτικές επιχειρήσεις. Οι Ηνωμένες Πολιτείες ανέπτυξαν UAV, όπως το Pioneer και το Hunter, για αποστολές επιτήρησης και αναγνώρισης πάνω από εχθρικό έδαφος. Αυτά τα UAV παρείχαν εικόνες και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο στους διοικούντες, ενισχύοντας την επίγνωση της κατάστασης και τις δυνατότητες απόκτησης στόχων.

### *Εποχή μετά την 11η Σεπτεμβρίου (2001-σήμερα)*

Ο παγκόσμιος πόλεμος κατά της τρομοκρατίας και οι επακόλουθες στρατιωτικές επιχειρήσεις στο Αφγανιστάν, το Ιράκ και άλλα θέατρα επιχειρήσεων επιτάχυναν την ανάπτυξη των UAV. Οι Ηνωμένες Πολιτείες επέκτειναν τη χρήση UAV για ευρείες αποστολές ISR και TA, χρησιμοποιώντας συστήματα όπως το Predator και το Reaper για επιτήρηση, αναγνώριση και στοχευμένα χτυπήματα εναντίον τρομοκρατικών στόχων. Αυτά τα UAV έπαιξαν κρίσιμο ρόλο στην παρακολούθηση και τη στόχευση εχθρικών δικτύων, παρέχοντας αδιάκοπη επιτήρηση σε εχθρικές περιοχές και μειώνοντας τον κίνδυνο για τα επανδρωμένα αεροσκάφη και τις δυνάμεις εδάφους.

### *Τεχνολογικές Πρόοδοι (2000-σήμερα)*

Στη δεκαετία του 2000 σημειώθηκαν ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία των UAV, συμπεριλαμβανομένων βελτιώσεων στις δυνατότητες των αισθητήρων, την αντοχή και την αυτονομία. Κάμερες EO/IR υψηλής ανάλυσης, δέκτες SAR, SIGINT, υπερφασματικοί και άλλοι αισθητήρες ενσωματώθηκαν σε πλατφόρμες UAV, ενισχύοντας τις δυνατότητές τους σε αποστολές ISTAR. Τα αυτόνομα χαρακτηριστικά, όπως η αυτόματη απογείωση και προσγείωση, η πλοήγηση σε σημεία διαδρομής και ο προσαρμοστικός έλεγχος πτήσης, αύξησαν τη λειτουργική ευελιξία και την αποτελεσματικότητα των UAV.

### *Ένταξη στο Στρατιωτικό Δόγμα (2010-σήμερα)*

Τα UAV έχουν γίνει πλέον αναπόσπαστα συστατικά του σύγχρονου στρατιωτικού δόγματος, υποστηρίζοντας ένα ευρύ φάσμα αποστολών σε όλο το φάσμα των συγκρούσεων. Οι ένοπλες δυνάμεις σε όλο τον κόσμο έχουν επενδύσει πολλά χρήματα σε προγράμματα UAV, επεκτείνοντας τους στόλους και τις δυνατότητές τους για αποστολές ISR και TA. Επιπλέον, τα UAV χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για μη στρατιωτικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της επιτήρησης των συνόρων, της αντιμετώπισης καταστροφών, της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και της επιβολής του νόμου.

### **Δυνατότητες των ISTAR UAVs**

Τα UAV είναι εξοπλισμένα με μια ευρεία γκάμα προηγμένων αισθητήρων που τους επιτρέπουν να συλλέγουν εικόνες σε πραγματικό χρόνο, και να κατασκοπεύουν σήματα και δεδομένα ηλεκτρονικών εκπομπών σε τεράστιες περιοχές, παρέχοντας στους διοικούντες απaráμιλλη επίγνωση της κατάστασης και δυνατότητες αναγνώρισης στόχων.

### *Επιχειρησιακά πλεονεκτήματα*

Η χρήση των UAV σε αποστολές ISR και TA προσφέρει πολλά επιχειρησιακά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα επανδρωμένα αεροσκάφη και τα επίγεια αναγνωριστικά μέσα. Τα UAV μπορούν να περιπλανώνται σε περιοχές στόχων για παρατεταμένες περιόδους, πραγματοποιώντας συνεχή επιτήρηση και παρακολούθηση εχθρικών δραστηριοτήτων χωρίς την ανάγκη ανεφοδιασμού ή ανάπαυσης του πληρώματος. Επιπλέον, τα UAV μπορούν να λειτουργούν σε μεγάλα υψόμετρα, πέρα από την εμβέλεια της εχθρικής αεράμυνας, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο εντοπισμού και αναχαίτισης.

### *Στόχευση και εμπλοκή ακριβείας*

Τα UAV διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη στόχευση και εμπλοκή ακριβείας, παρέχοντας ακριβείς συντεταγμένες και δεδομένα στόχων στα οπλικά συστήματα για ακριβή εμπλοκή. Τα οπλισμένα UAV επίσης μπορούν να χτυπήσουν στόχους υψηλής αξίας με χειρουργική ακρίβεια, ελαχιστοποιώντας τις παράπλευρες απώλειες και τις απώλειες αμάχων. Επιπλέον, διευκολύνουν τη δυναμική ανακατάληψη και επανατοποθέτηση στοιχείων επιχειρήσεων σε απάντηση στις εξελισσόμενες συνθήκες του πεδίου μάχης, ενισχύοντας την ευελιξία και την αποτελεσματικότητα των στρατιωτικών επιχειρήσεων.

### *Στρατηγικές επιπτώσεις*

Η ευρεία υιοθέτηση των UAV σε αποστολές ISTAR έχει σημαντικές στρατηγικές επιπτώσεις για τις στρατιωτικές δυνάμεις και τις αμυντικές στρατηγικές παγκοσμίως. Τα UAV επιτρέπουν στις ένοπλες δυνάμεις να διεξάγουν συνεχόμενη επιτήρηση και αναγνώριση σε αμφοιβητούμενες ή απαγορευμένες περιοχές, υποστηρίζοντας δυνατότητες αποτροπής, έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης κρίσεων. Επιπλέον, τα UAV ενισχύουν την επίγνωση εχθρικών δυνάμεων και τις εκστρατευτικές επιχειρήσεις παρέχοντας στους διοικούντες έγκαιρη και αξιόπιστη νοημοσύνη, επιτρέποντάς τους την ταχεία λήψη αποφάσεων σε αυξημένο επιχειρησιακό ρυθμό.

## **2. AI και στρατιωτικές εφαρμογές**

### **2.1 Τι είναι το AI (Artificial Intelligence)**

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence, AI) είναι ο κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που επικεντρώνεται στην ανάπτυξη συστημάτων και αλγορίθμων ικανών να εκτελούν εργασίες που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη. Αυτές οι εργασίες περιλαμβάνουν την αναγνώριση προτύπων, την επίλυση προβλημάτων, τη λήψη αποφάσεων και την κατανόηση της φυσικής



γλώσσας. Επίσης, τα συστήματα AI συνήθως έχουν την ικανότητα να μαθαίνουν ή να προσαρμόζονται σε νέες πληροφορίες ή ερεθίσματα.

Η AI μπορεί να διακριθεί σε δύο κύριες κατηγορίες:

- *Στενή ή Ασθενής AI (Narrow or Weak AI)*: Αναφέρεται σε συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για να εκτελούν μια συγκεκριμένη εργασία ή μια ομάδα εργασιών, ενώ λειτουργεί κάτω από ένα προκαθορισμένο σύνολο κανόνων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα chatbots, τα συστήματα αναγνώρισης φωνής ή προσώπου, τα συστήματα μετάφρασης γλώσσας και τους ψηφιακούς βοηθούς.
- *Γενική ή Ισχυρή AI (General or Strong AI)*: Αφορά συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να κατανοούν, να προσαρμόζονται, να μαθαίνουν και να εφαρμόζουν γνώσεις σε ένα ευρύ φάσμα εργασιών, όπως κάνει ο ανθρώπινος νους. Προς το παρόν, η Γενική AI παραμένει μια θεωρητική έννοια και είναι υπό ανάπτυξη.

Η ιστορία της AI ξεκινάει από τις δεκαετίες του 1950 και του 1960 με πρωτοπόρους ερευνητές όπως ο John McCarthy, ο Marvin Minsky, και ο Alan Turing. Ο Turing εισήγαγε την ιδέα μιας μηχανής που θα μπορούσε να προσομοιώσει οποιαδήποτε ανθρώπινη διαδικασία σκέψης, θέτοντας τα θεμέλια για την ανάπτυξη της AI.

Η τεχνητή νοημοσύνη βασίζεται στην επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων. Παρά τις δεκαετίες έρευνας, μέχρι πρόσφατα ούτε η χωρητικότητα των υπολογιστών ούτε τα απαιτούμενα σύνολα αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων ήταν διαθέσιμα για να επιτραπεί η λειτουργία των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης. Εκθετικές αυξήσεις στην υπολογιστική επεξεργαστική ταχύτητα και χωρητικότητα αποθήκευσης, την ταχύτητα Διαδικτύου και το «cloud computing», μαζί με τη μαζική ψηφιοποίηση και την ικανότητα διαχείρισης τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, επιτρέπουν τώρα στην τεχνητή νοημοσύνη να ωριμάσει.

Οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης καλύπτουν σχεδόν κάθε πτυχή της σύγχρονης ζωής. Στην υγειονομική περίθαλψη για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης βοηθούν στη διάγνωση ασθενειών και τον σχεδιασμό θεραπείας, αναλύουν ιατρικές εικόνες για ανωμαλίες και εξατομικεύουν τη φροντίδα των ασθενών με βάση τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά. Στα χρηματοοικονομικά, η τεχνητή νοημοσύνη εξουσιοδοτεί αλγοριθμικές πλατφόρμες συναλλαγών, εντοπίζει δόλιες συναλλαγές και βελτιστοποιεί τις επενδυτικές στρατηγικές μέσω προγνωστικών αναλύσεων. Στις μεταφορές, η τεχνητή νοημοσύνη οδηγεί την ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων, βελτιστοποιώντας τη ροή της κυκλοφορίας και ενισχύοντας τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην επεξεργασία φυσικής

γλώσσας, ενισχύοντας εικονικούς βοηθούς, υπηρεσίες μετάφρασης και εργαλεία ανάλυσης συναισθήματος, διευκολύνοντας έτσι την επικοινωνία και την ανάκτηση πληροφοριών σε παγκόσμια κλίμακα.

Πέρα από αυτούς τους τομείς, η τεχνητή νοημοσύνη βρίσκει εφαρμογές στην ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, τα τυχερά παιχνίδια, τη γεωργία, την εκπαίδευση και πολλούς άλλους τομείς, πιέζοντας συνεχώς τα όρια του δυνατού στον τομέα της αυτοματοποίησης και της έξυπνης λήψης αποφάσεων. Καθώς οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης συνεχίζουν να εξελίσσονται και να ωριμάζουν, ο αντίκτυπός τους στην κοινωνία θα είναι αναμφίβολα βαθύς, αναδιαμορφώνοντας τις βιομηχανίες, αυξάνοντας τις ανθρώπινες ικανότητες και ενθαρρύνοντας την καινοτομία με πρωτοφανή ρυθμό.

## **Κύριες τεχνολογίες και εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης**

### *Μηχανική μάθηση (Machine Learning)*

Ένας υποτομέας της AI που βασίζεται στη δημιουργία αλγορίθμων που μπορούν να μάθουν από δεδομένα και να βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου. Εφαρμογές περιλαμβάνουν τη διάγνωση ασθενειών, την ανάλυση χρηματοοικονομικών δεδομένων και την πρόβλεψη καταναλωτικών τάσεων.

### *Νευρωνικά Δίκτυα και Βαθιά Μάθηση (Neural Networks and Deep Learning)*

Τεχνικές που μιμούνται τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου για να αναλύουν μεγάλα σύνολα δεδομένων και να εντοπίζουν σύνθετα μοτίβα. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως η αναγνώριση εικόνας και η επεξεργασία φυσικής γλώσσας

### *Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (NLP)*

Τεχνολογίες που επιτρέπουν στους υπολογιστές να κατανοούν, να ερμηνεύουν και να απαντούν σε ανθρώπινη γλώσσα. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τους ψηφιακούς βοηθούς (όπως η Siri και η Alexa) και τα αυτόματα συστήματα μετάφρασης.

### *Computer Vision*

Η τεχνολογία που επιτρέπει στους υπολογιστές να ερμηνεύουν και να κατανοούν οπτικές πληροφορίες από τον κόσμο. Εφαρμογές περιλαμβάνουν την αναγνώριση προσώπων, την ανίχνευση αντικειμένων και την ανάλυση βίντεο. Θα αναλυθεί περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο.

### *Ρομποτική*

Συνδυάζει την AI με τη μηχανική για τη δημιουργία αυτόνομων συστημάτων που μπορούν να αλληλεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα αυτόνομα οχήματα και τα βιομηχανικά ρομπότ.

### *Εξειδικευμένα συστήματα (Expert Systems)*

Συστήματα που μιμούνται την ικανότητα λήψης αποφάσεων ενός ανθρώπινου ειδικού. Χρησιμοποιούνται σε τομείς όπως η ιατρική διάγνωση, η χρηματοοικονομική ανάλυση και η διαχείριση επιχειρησιακών διαδικασιών.

### *Ενισχυτική μάθηση (Reinforcement Learning)*

Ένας τύπος μηχανικής μάθησης και εκπαίδευσης των αλγορίθμων όπου ένα σύστημα μαθαίνει να λαμβάνει αποφάσεις με δοκιμή και σφάλμα (try and error) αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον του, με στόχο να μεγιστοποιήσει κατά κάποια έννοια της συνολικής ανταμοιβής.

### *Αυτόνομα Συστήματα*

Συστήματα που μπορούν να λειτουργούν και να λαμβάνουν αποφάσεις χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, παρατηρούνται συχνά σε αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα, drones και άλλα αυτόνομα οχήματα ή έξυπνα σπίτια.

### *Swarm Intelligence*

Μια προσέγγιση εμπνευσμένη από τη συμπεριφορά κοινωνικών εντόμων όπως τα μυρμήγκια και οι μέλισσες. Χρησιμοποιείται στη βελτιστοποίηση και τον έλεγχο κατανεμημένων συστημάτων, περιλαμβάνοντας το συντονισμό πολλαπλών παραγόντων για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων.

### *Υπολογιστική Νοημοσύνη (Cognitive Computing)*

Επικεντρώνεται στη δημιουργία συστημάτων που προσομοιώνουν την ανθρώπινη σκέψη και κατανόηση. Εφαρμογές περιλαμβάνουν την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων, την πρόβλεψη τάσεων και την παροχή εξατομικευμένων συστάσεων.

## 2.2 Ένοπλες δυνάμεις και AI

Η χρήση του αυτοματισμού και των υπολογιστών σε στρατιωτικά συστήματα δεν είναι καινούργια. Αυτόματα οπλικά συστήματα υπάρχουν από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, με τις προόδους στην υπολογιστική τεχνολογία να συμβάλλουν σταδιακά στην πολυπλοκότητά τους. Στη δεκαετία του

1940 υπήρχαν ορισμένα αεροσκάφη και ραντάρ αεράμυνας εξοπλισμένα με αναμεταδότες με τους οποίους οι χειριστές ραντάρ και τα ίδια τα συστήματα ραντάρ μπορούσαν να καθορίσουν εάν τα αεροσκάφη που παρακολουθούσαν ήταν φιλικά ή εχθρικά.

Καθώς η τεχνολογία εξελίχθηκε, τα συστήματα αεράμυνας καταστάθηκαν ικανά να αναγνωρίζουν αεροσκάφη και πυραύλους συγκρίνοντας την ταχύτητά τους, το προφίλ του ραντάρ και την θερμική υπογραφή συγκρίνοντας με μία βάση δεδομένων και έτσι να διορθώνουν αυτόματα την κατεύθυνση εκπομπής και να εγκλωβίζουν τους στόχους τους χρησιμοποιώντας ραντάρ ή αισθητήρες ανίχνευσης θερμότητας. Μοντέρνα συστήματα αεράμυνας ,σχεδιασμένα να λειτουργούν έναντι πολλαπλών εισερχόμενων απειλών υψηλών ταχυτήτων, είναι ικανά να λαμβάνουν αποφάσεις στόχευσης με ανθρώπινη έγκριση ή ακόμη και εμπλοκή στόχων χωρίς ανθρώπινη εποπτεία.

Η ανάγκη για ολοένα και μεγαλύτερη ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης σε στρατιωτικές εφαρμογές έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη πολλών ερευνητικών προγραμμάτων. Κυβερνητικοί ερευνητικοί οργανισμοί όπως ο Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) και ο Intelligence Advanced Research Projects Agency (IARPA) στις ΗΠΑ και ο Defence Science and Technology Laboratory (DSTL) στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν μια ποικιλία από προγράμματα AI, τα οποία έχουν σκοπό να ενθαρρύνουν τη συνεργασία με τους εμπορικούς και ακαδημαϊκούς τομείς με σκοπό να προσαρμοστεί και να χρησιμοποιηθεί η τεχνητή νοημοσύνη και οι αυτόνομες τεχνολογίες για στρατιωτικούς σκοπούς. Εκτός από τις ΗΠΑ και το ΗΒ, η Κίνα, η Ρωσία, το Ισραήλ και άλλες στρατιωτικές δυνάμεις έχουν επίσης ενεργά προγράμματα για την ανάπτυξη της στρατιωτικής τεχνητής νοημοσύνης.

Το κατασκοπευτικό αεροπλάνο U-2 της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ, το οποίο πέταξε για πρώτη φορά το 1955, έκανε στα τέλη του 2020 πτήση με έλεγχο από συγκυβερνήτη AI που είναι σε θέση να μάθει και να προσαρμοστεί, σε αντίθεση με έναν συμβατικό αυτόματο πιλότο. Ο συγκυβερνήτης AI, με την επωνυμία Artim ή Artoo, είναι μια οντότητα που βασίζεται σε αλγόριθμους παιχνιδιών η οποία κατά τη διάρκεια μιας εκπαιδευτικής πτήσης, μπόρεσε να ελέγξει τους αισθητήρες του αεροσκάφους και να περάσει πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία εγκαταστάσεων εκτοξευτών πυραύλων πίσω στον άνθρωπο πιλότο. Οι συγκυβερνήτες AI αναμένεται να πετάνε τακτικά με ανθρώπους πιλότους της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ στο εγγύς μέλλον. Στη φωτογραφία φαίνεται το αεροπλάνο U-2 κατά τη φάση της απογείωσης.



## **Χαρακτηριστικά του AI που το καθιστούν ελκυστικό για τον στρατό**

Χαρακτηριστικά όπως η γρήγορη ταχύτητά του, η ικανότητα χειρισμού μεγάλων και πολύπλοκων συνόλων δεδομένων για να εντοπίσει μοτίβα και να αναλάβει επαναλαμβανόμενες εργασίες με ακρίβεια, έχουν διαμορφώσει τους ρόλους που τους έχουν τεθεί από τις ένοπλες δυνάμεις. Μερικά χαρακτηριστικά του AI που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το στρατό είναι:

- Γρήγορη ταχύτητα ανάλυσης και δράσης
- Εκτέλεση απλών αυτοματοποιημένων εργασιών σε κλίμακα
- Έλεγχος ρομποτικών και αυτόνομων συστημάτων
- Αναγνώριση μοτίβων για πρόβλεψη μελλοντικών τάσεων ή ανίχνευση ανωμαλιών
- Αναγνώριση και ταξινόμηση αντικειμένων και σημάτων
- Βελτιστοποίηση συστημάτων για την επίτευξη ενός στόχου
- Βελτίωση της ποιότητας της λήψης αποφάσεων

## **Πεδία όπου η τεχνητή νοημοσύνη αναδύεται ως στρατιωτική τεχνολογία**

Παρακάτω θα αναφερθούν μερικά από τα πολλά πεδία εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στην στρατιωτική τεχνολογία. Σε μερικές από αυτές τις εφαρμογές το AI επιτρέπει ή μπορεί στο μέλλον να επιτρέψει, την ανάπτυξη νέων προϊόντων ή συστημάτων. Σε άλλες περιπτώσεις το AI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψει στα υφιστάμενα συστήματα να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά, να παρατείνουν τη ζωή τους ή να τους δώσει νέους ή βελτιωμένους ρόλους.

### *Απομακρυσμένη εργασία*

Τα ρομποτικά και αυτοματοποιημένα συστήματα έχουν παραδοσιακά χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή «βαρετών, βρώμικων ή επικίνδυνων» στρατιωτικών δραστηριοτήτων προς αντικατάσταση των ανθρώπινων χειριστών. Το AI μπορεί να αποτρέψει την ανάγκη των ανθρώπων να εισέλθουν σε ριψοκίνδυνες καταστάσεις και σε επικίνδυνα περιβάλλοντα. Παραδείγματα αποτελούν ο εντοπισμός και η απόρριψη εκρηκτικών, επιχειρήσεις σάρωσης ναρκοπεδίων στη θάλασσα ή στην ξηρά, ή αναγνώριση σε εχθρικά περιβάλλοντα.

### *Πληροφορίες, επιτήρηση και Αναγνώριση*

Η συλλογή πληροφοριών συγκεντρώνει μεγάλα σύνολα δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων εγγράφων κειμένου, βίντεο και στατικών εικόνων, ηλεκτρονικές πληροφορίες υποκλοπής και πληροφορίες ανοιχτού κώδικα από το διαδίκτυο. Το AI παίζει σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία και ανάλυση αυτών των δεδομένων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φιλτράρισμα και τη διαλογή υλικού που συγκεντρώνεται μαζικά, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας αλγόριθμους ομιλίας ή αναγνώρισης σήματος για «καθαρισμό» δεδομένων από θορυβώδη περιβάλλοντα. Επίσης τα

συστήματα AI είναι ικανά να βοηθήσουν στην ανάλυση ακατέργαστων δεδομένων (raw data), για παράδειγμα μέσω μηχανικής μετάφρασης και περίληψης κειμένου, αναγνώρισης αντικειμένων από εικόνες, γεωγραφικό εντοπισμό εικόνων σε χάρτες ή με συγχώνευση δισδιάστατων εικόνων για δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Τέλος, η τεχνητή νοημοσύνη δύναται να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της συμπεριφοράς στοιχείων ενδιαφέροντος για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τις δραστηριότητές του, όπως ο προσδιορισμός της λειτουργίας ενός κτιρίου βασισμένος σε μια ανάλυση μοτίβων ζωής, και πιθανώς την πρόβλεψη μελλοντικών συμβάντων και δραστηριοτήτων. Αυτό το πεδίο θα αναλυθεί εκτενώς στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

#### *Αυτοματοποίηση οργανωτικών διαδικασιών*

Οι ένοπλες δυνάμεις, όπως όλοι οι μεγάλοι οργανισμοί, βασίζονται σε ένα μεγάλο αριθμό οργανωτικών, διοικητικών και διαχείρισης δεδομένων διαδικασιών για την εκπλήρωση των στόχων τους. Αυτές είναι δραστηριότητες ρουτίνας και συχνά επαναλαμβανόμενες που μπορεί να αντιστοιχούν σε σημαντικό φόρτο εργασίας. Η χρήση του AI για αυτοματοποίηση αυτών των εργασιών έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν εξοικονόμηση αποδοτικότητας και βελτιώσεις, απελευθερώνοντας χρόνο στο προσωπικό για να ασχοληθεί με πιο περίπλοκα θέματα. Τέτοιες δραστηριότητες περιλαμβάνουν στοιχεία διαχείρισης προσωπικού, logistics, διαχείριση οικονομικών και λογιστική.

#### *Επιχειρήσεις στον κυβερνοχώρο*

Η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο είναι ένας τομέας όπου τα συστήματα AI χρησιμοποιούνται ενεργά. Απειλές για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, όπως επιθέσεις κακόβουλου λογισμικού εξελίσσονται γρήγορα και απαιτούν ταχύτητα απόκρισης μακράν μεγαλύτερη από αυτή που επιτρέπει η ανθρώπινη λήψη αποφάσεων. Τα συστήματα AI μπορούν να εντοπίσουν προληπτικά μία ύποπτη δραστηριότητα και να απαντήσουν σε κυβερνοεπιθέσεις σε πραγματικό χρόνο. Με σάρωση για ύποπτα μοτίβα συμπεριφοράς καθώς και για δυνητικά κακόβουλους κώδικες, τα συστήματα AI μπορούν να εντοπίσουν σήματα που υποδεικνύουν μία πρωτότυπη κυβερνοαπειλή.

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για επιθετικό Κυβερνοπόλεμο. Το AI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό αδύναμων σημείων σε δικτυακές άμυνες, καθώς και να σχεδιάσει πρωτότυπο κακόβουλο λογισμικό. Έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι AI ικανοί να εντοπίζουν αυτόνομα και να επιδιορθώνουν τα τρωτά σημεία ασφαλείας σε δικό τους λογισμικό σε δευτερόλεπτα, ενώ ταυτόχρονα επιτίθενται σε αδυναμίες άλλων δικτύων.

### *Ηλεκτρονικός πόλεμος*

Ο ηλεκτρονικός πόλεμος είναι η χρήση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και τεχνολογιών για την διαταραχή, εξαπάτηση ή καταστροφή των ηλεκτρονικών συστημάτων του εχθρού, ενώ παράλληλα προστατεύονται τα φίλια συστήματα. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να παίζει ρόλους σε όλα τα στοιχεία του ηλεκτρονικού πολέμου, με την ικανότητά της να αντιμετωπίζει νέες και απροσδόκητες απειλές και την μεγάλη της ταχύτητα με την οποία λειτουργεί παρέχοντας πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών τεχνικών.

Μέσα στα επόμενα χρόνια η Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ στοχεύει να εφαρμόσει αλγόριθμους γνωστικής τεχνητής νοημοσύνης (cognitive AI) και μηχανικής μάθησης σε συστήματα ηλεκτρονικού πολέμου επί του αεροσκάφους F-15. Η US Air Force θέλει να καταστήσει τα συστήματα του αεροσκάφους ικανά να ανταποκρίνονται γρήγορα σε αναδυόμενες απειλές και να παρέχει ταχείες δυνατότητες επαναπρογραμματισμού και μάθησης για τα συστήματα.

Η DARPA εργάζεται επίσης σε προγράμματα προς ανάπτυξη τεχνολογιών αυτόνομου ηλεκτρονικού πολέμου. Τα προγράμματα Adaptive Radar Countermeasures (ARC) και Behavioural Learning for Adaptive Electronic Warfare (BLADE) αξιοποιούν τις προόδους στην επεξεργασία σήματος και τη μηχανική μάθηση για την ανάπτυξη ευφυών αλγορίθμων που ανιχνεύουν και αντιμετωπίζουν αναδυόμενες απειλές ραντάρ.

### *Διοίκηση, έλεγχος και υποστήριξη αποφάσεων*

Τα συστήματα υποστήριξης και ελέγχου υποστηρίζουν τους επιχειρησιακούς διοικητές στην ανάθεση καθηκόντων και την παρακολούθηση των δυνάμεων και βοηθούν στην παρουσίαση πληροφοριών σε μια εύκολα κατανοητή μορφή για να βοηθήσει τη λήψη αποφάσεων. Είναι επίσης πλέον δυνατή η χρήση τεχνητής νοημοσύνης για άντληση δεδομένων από μια σειρά αισθητήρων σε μια κοινή επιχειρησιακή εικόνα. Η κοινή επιχειρησιακή εικόνα είναι ένας χάρτης που δείχνει αντικείμενα ενδιαφέροντος στο πεδίο μάχης, όπως οι θέσεις φίλων ή εχθρικών δυνάμεων, σημαντικές υποδομές και άλλες σχετικές επιχειρησιακές πληροφορίες.

Ο στρατιωτικός τομέας AI έχει κάνει επίσης μεγάλη πρόοδο στην ανάπτυξη συστημάτων ικανών να παρέχουν υποστήριξη αποφάσεων. Τα συστήματα αυτά προορίζονται για να βοηθήσουν τους διοικούντες να ανταποκριθούν στα εξελισσόμενα γεγονότα στο πεδίο της μάχης, βασισμένα στην ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και στη γνώση του δόγματος μάχης του εχθρού. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να παρουσιάσει ένα μενού πιθανών ενεργειών στον διοικητή, με μια ένδειξη και εξήγηση των πιθανών συνεπειών κάθε ενέργειας. Αν και η ανθρώπινη κρίση θα είναι απαραίτητη στη λήψη αποφάσεων διοίκησης και ελέγχου για κάποιο χρονικό διάστημα ακόμα, η

ταχύτητα και η χωρητικότητα των εργαλείων που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να βοηθήσουν στην εξάλειψη των περιφερειακών εργασιών, επιτρέποντας στους διοικούντες να επικεντρωθούν πλήρως σε εργασίες όπου οι άνθρωποι υπερτερούν των μηχανών.

#### *Αυτόνομα οχήματα και στρατιωτική ρομποτική*

Τηλεκατευθυνόμενα αεροσκάφη και οχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε μάχες τις τελευταίες δύο δεκαετίες και το AI χρησιμοποιείται τώρα όλο και περισσότερο για να επιτρέψει σε τέτοια συστήματα να λειτουργούν αυτόνομα. Οι εφαρμογές AI σε αυτόν τον τομέα είναι παρόμοιες με εκείνες που αναπτύσσονται για τον πολιτικό τομέα σε οχήματα χωρίς οδηγό, τα οποία χρησιμοποιούν αισθητήρες και λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης για να αντιληφθούν το περιβάλλον, να αναγνωρίσουν εμπόδια, να συγχωνεύουν δεδομένα αισθητήρων, να πλοηγούνται και να επικοινωνούν με άλλα οχήματα. Η τεχνολογία είναι πλέον αρκετά ώριμη ώστε στρατιωτικά αυτόνομα οχήματα βρίσκονται στο σημείο ανάπτυξης και επιχειρησιακής εκμετάλλευσης από μεγάλες στρατιωτικές δυνάμεις.

#### *Σμήνη (Swarms)*

Λογισμικό AI είναι επίσης υπό ανάπτυξη και σχεδιασμό για να καταστήσει τα αυτόνομα συστήματα να λειτουργούν ως διασυνδεδεμένα ευφυές σμήνος. Εμπνευσμένο από σμήνη εντόμων, τα σμήνη μηχανών είναι σε θέση να λειτουργούν σε συνεργασία για να συντρίψουν αντιπάλους. Τα σμήνη λειτουργούν αυτόνομα, χωρίς κεντρικό έλεγχο και οι επιμέρους μονάδες είναι σε θέση να αισθανθούν το τοπικό τους περιβάλλον και άλλα μέλη του σμήνους και να συνεργαστούν με άλλα μέλη για να εκτελέσουν μια εργασία.

#### *Θανατηφόρα αυτόνομα οπλικά συστήματα (LAWS - Lethal Autonomous Weapon Systems)*

Τα LAWS είναι οπλικά συστήματα που λειτουργούν με AI ικανά να ταυτοποιούν, να εμπλέκονται και να βάλουν κατά στόχου χωρίς ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Βασίζονται στο συνδυασμό ενός συστήματος αισθητήρων που παρακολουθεί τον περιβάλλον χώρο, ένα σύστημα τεχνητής νοημοσύνης που μπορεί να αναγνωρίσει ένα αντικείμενο ως πιθανό στόχο και να αποφασίσει εάν θα εμπλακεί με αυτόν, και ένα όπλο που μπορεί να καταστρέψει τον στόχο. Οι θεμελιώδεις τεχνολογίες οι οποίες, όταν συνδυάζονται, λειτουργούν ως δομικά στοιχεία για ένα θανατηφόρο αυτόνομο οπλικό σύστημα αναπτύσσονται με γρήγορους ρυθμούς.

Υφίστανται οπλικά συστήματα στα οποία ένας αλγόριθμος παίρνει την απόφαση να πυροβολήσει, παρά ένας άνθρωπος. Παραδείγματα αποτελούν τα περιπλανώμενα πυρομαχικά Harpy της Israel Aerospace Industries που είναι σε θέση να επιλέξουν τους δικούς τους στόχους, το στατικό σύστημα



φρουρών Sentry Tech που αναπτύχθηκε από τη Νότια Κορέα και μπορεί να εντοπίζει και να πυροβολεί στόχους αυτόνομα και το μη επανδρωμένο μαχητικό αεροσκάφος (UCAV) X-47B που αναπτύχθηκε από την Northrop Grumman για το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ και είναι ικανό να εκτελεί αυτόνομα αποστολές μάχης.

### *Επιχειρήσεις Διάδοσης Πληροφοριών*

Οι πλατφόρμες μέσω κοινωνικής δικτύωσης χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ως πηγή ειδήσεων και πληροφοριών, δημιουργώντας ευκαιρίες για εκείνους με κακόβουλη πρόθεση να διαδώσουν ψευδείς και παραπλανητικές πληροφορίες με στόχο τη δημιουργία διχασμών και συγκρούσεων, τη χειραγώγηση δημοκρατικών διαδικασιών και τη στόχευση ατόμων για να τους ριζοσπαστικοποιήσουν ή να τους ενθαρρύνουν να μην υπακούν στις οδηγίες. Αυτές οι επιχειρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν σε συνδυασμό με επί του εδάφους στρατιωτικές επιχειρήσεις για να βοηθήσουν στην επίτευξη στρατιωτικών στόχων.

Διαδικτυακά ρομπότ με δυνατότητα AI – εφαρμογές λογισμικού που εκτελούν απλές και επαναλαμβανόμενες αυτοματοποιημένες εργασίες – μπορούν να διευκολύνουν τέτοιες καμπάνιες δημιουργώντας πλαστές διαδικτυακές ταυτότητες και διαδίδοντας πληροφορίες πολύ πιο γρήγορα από ό,τι θα μπορούσε ένα άτομο. Οι εφαρμογές AI χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη δεδομένων από τα social μέσα για τη δημιουργία ενός ψηφιακού «μοτίβου ζωής» για τα άτομα – συμπεριλαμβανομένων κυβερνητικών αξιωματούχων, πολιτικών και μελών των ενόπλων δυνάμεων – για σκοπούς καταναγκασμού. Οι παραγόμενες από AI εικόνες είναι σε θέση να δημιουργούν συνθετικά μέσα – όλο και περισσότερο ρεαλιστικές φωτογραφίες και βίντεο ή «deep fake» – αυτό θα μπορούσε τελικά να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη διαδικτυακών προσβολών με σκοπό να παραπλανήσουν και να χειραγωγήσουν.

## **3. Βασικά εξαρτήματα ενός ISTAR UAV**

### **3.1 Αεροσκάφος (Airframe)**

Το πλαίσιο του αεροσκάφους είναι η θεμελιώδης δομή των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), ενσωματώνοντας τις έννοιες των αεροδυναμικών αρχών, της δομικής ακεραιότητας και της επιχειρησιακής λειτουργικότητας. Ως το κρίσιμο πλαίσιο στο οποίο ενσωματώνονται όλα τα άλλα εξαρτήματα, ο σχεδιασμός και η κατασκευή του πλαισίου του αεροσκάφους είναι πρωταρχικής σημασίας για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών απόδοσης του UAV, συμπεριλαμβανομένης της αντοχής, της ικανότητας ελιγμών και της χωρητικότητας ωφέλιμου φορτίου.

## **Ζητήματα σχεδιασμού**

Ο σχεδιασμός του σκελετού του αεροσκάφους είναι μια λεπτή προσπάθεια, που εξισορροπεί πολλαπλές εκτιμήσεις για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης σε διάφορα προφίλ αποστολών. Οι βασικές παράμετροι σχεδίασης περιλαμβάνουν την αεροδυναμική απόδοση, τη δομική στιβαρότητα, τη βελτιστοποίηση βάρους και την αρθρωτότητα για προσαρμοστικότητα στις διάφορες αποστολές.

### *Αεροδυναμική απόδοση*

Ο αποτελεσματικός αεροδυναμικός σχεδιασμός ελαχιστοποιεί την οπισθέλκουσα, ενισχύει τη δημιουργία ανύψωσης και βελτιώνει τη συνολική απόδοση πτήσης. Θέματα όπως η γεωμετρία των φτερών, η επιλογή αεροτομής, το σχήμα της ατράκτου και η τοποθέτηση της επιφάνειας ελέγχου είναι σχολαστικά προσαρμοσμένα για τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής απόδοσης σε όλο το λειτουργικό πλαίσιο του UAV.

### *Δομική στιβαρότητα*

Το πλαίσιο του αεροσκάφους πρέπει να παρουσιάζει εγγενή δομική ακεραιότητα για να αντέχει τις αεροδυναμικές δυνάμεις, τους περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες και τις επιχειρησιακές απαιτήσεις. Οι τεχνικές επιλογής υλικού, δομικής ενίσχυσης και κατασκευής προσαρμόζονται για να εξασφαλίζουν ανθεκτικότητα, ελαστικότητα και αντοχή στο χρόνο υπό δυναμικές συνθήκες πτήσης.

### *Βελτιστοποίηση βάρους*

Η επίτευξη μιας λεπτής ισορροπίας μεταξύ της δομικής αντοχής και του βάρους είναι επιτακτική ανάγκη για τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας ωφέλιμου φορτίου και της αυτονομίας πτήσης. Προηγμένα υλικά όπως σύνθετα υλικά από ανθρακονήματα, κράματα τιτανίου και ελαφρά πολυμερή υλικά χρησιμοποιούνται για την επίτευξη βέλτιστων αναλογιών αντοχής προς βάρος, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη συνολική μάζα.

## **Επιχειρησιακοί Παράμετροι**

Εκτός από τις σχεδιαστικές εκτιμήσεις, οι επιχειρησιακές πτυχές του πλαισίου του αεροσκάφους διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας της αποστολής και της επιχειρησιακής αξιοπιστίας του UAV. Παράγοντες όπως η συντηρησιμότητα, η επεκτασιμότητα και η δυνατότητα ανάπτυξης είναι αναπόσπαστοι για τη διασφάλιση της επιχειρησιακής ετοιμότητας και της επιτυχίας της αποστολής.

### *Συντηρησιμότητα*

Η ευκολία συντήρησης και η προσβασιμότητα σε κρίσιμα εξαρτήματα είναι βασικές πτυχές του σχεδιασμού της ατράκτου, ελαχιστοποιώντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας και βελτιώνοντας την επιχειρησιακή διαθεσιμότητα. Θυρίδες που παρέχουν πρόσβαση για δυνατότητα συντήρησης, συστήματα αρθρωτών εξαρτημάτων και βελτιωμένες διαδικασίες συντήρησης εξορθολογίζουν τις λειτουργίες συντήρησης και διευκολύνουν την ταχεία εναλλαγή μεταξύ των αποστολών και την υψηλή επιχειρησιακή διαθεσιμότητα.

### *Επεκτασιμότητα*

Η επεκτασιμότητα του αεροσκάφους περιλαμβάνει την ικανότητα να δέχεται βελτιώσεις και αναβαθμίσεις. Οι κλιμακούμενες αρχιτεκτονικές σχεδίασης διευκολύνουν την εξέλιξη της πλατφόρμας, επιτρέποντας μελλοντικές βελτιώσεις, αναβαθμίσεις και τεχνολογικές εξελίξεις, διατηρώντας παράλληλα τη διαλειτουργικότητα και τη συμβατότητα με τα υπάρχοντα συστήματα.

### *Δυνατότητες ανάπτυξης*

Η αποτελεσματική ανάπτυξη σε θέατρο των επιχειρήσεων και η δυνατότητα μεταφοράς είναι θεμελιώδη χαρακτηριστικά του πλαισίου του αεροσκάφους, που επιτρέπουν την ταχεία κινητοποίηση και την ανταπόκριση της αποστολής. Τα πτυσσόμενα φτερά, τα αποσπώμενα εξαρτήματα και μικροί συντελεστές συμπαγούς μορφής (Compact Form Factors) βελτιστοποιούν το υλικοτεχνικό αποτύπωμα και διευκολύνουν τη μεταφορά και ανάπτυξη σε μη φίλια ή περιορισμένα περιβάλλοντα.

## 3.2 Σύστημα Πρόωσης (Propulsion System)

Το σύστημα πρόωσης αποτελεί την καρδιά των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), παρέχοντας την απαραίτητη ώθηση για διαρκή πτήση και επιχειρησιακή ικανότητα ελιγμών. Κεντρικό στοιχείο για τις επιδόσεις και την ικανότητα αποστολής του UAV, το σύστημα πρόωσης περιλαμβάνει μια ποικιλία τεχνολογιών, που περιλαμβάνει τόσο συμβατικές όσο και καινοτόμες μεθοδολογίες πρόωσης προσαρμοσμένες στις απαιτητικές απαιτήσεις των σύγχρονων εναέριων επιχειρήσεων.

### **Τεχνολογίες πρόωσης**

Το σύστημα πρόωσης των UAV περιλαμβάνει ένα φάσμα τεχνολογιών πρόωσης, καθεμία από τις οποίες παρουσιάζει μοναδικά χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και επιχειρησιακές εκτιμήσεις προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένα προφίλ αποστολής.

### *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Internal Combustion Engines) - Αεριοστρόβιλοι (Gas Turbines)*

Οι παραδοσιακοί κινητήρες εσωτερικής καύσης, συμπεριλαμβανομένων των εμβολοφόρων κινητήρων, και οι αεριοστρόβιλοι, αντιπροσωπεύουν μια σταθερή μεθοδολογία πρόωσης που χαρακτηρίζεται από στιβαρότητα, απλότητα και ευρεία διαθεσιμότητα πηγών καυσίμου. Κατάλληλοι τόσο για UAV με σταθερά φτερά (Fixed Wing) όσο και για UAV με έλικες (Multirotor), και οι δύο τύποι κινητήρων προσφέρουν υψηλές αναλογίες ισχύος προς βάρος και εκτεταμένο εύρος λειτουργίας, καθιστώντας τους κατάλληλους για αποστολές μεγάλης αντοχής που απαιτούν μεγάλη διάρκεια πτήσης.

### *Ηλεκτροκινητήρες (Electric Motors)*

Τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης έχουν αναδειχθεί ως διασπαστική δύναμη στον τομέα των UAV, αξιοποιώντας τις προόδους στην τεχνολογία μπαταριών, τους ηλεκτρικούς κινητήρες, τις κυψέλες καυσίμου όπως επίσης και προηγμένα συστήματα διαχείρισης ισχύος για να προσφέρουν αθόρυβες, αποτελεσματικές και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις πρόωσης. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες, από κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες έως καινοτόμους σχεδιασμούς, όπως ηλεκτρικούς ανεμιστήρες αγωγού (Electric Duct Fan, EDF) και κατανεμημένες αρχιτεκτονικές πρόωσης, προσφέρουν απaráμιλλη ευελιξία, γρήγορη απόκριση στην επιτάχυνση και βελτιωμένα χαρακτηριστικά stealth, καθιστώντας τους ιδανικούς για αναγνώριση, επιτήρηση καθώς και αστικές λειτουργίες.

### *Υβριδικά συστήματα πρόωσης (Hybrid propulsion systems)*

Συνδυάζουν ηλεκτρικούς και εσωτερικής καύσεως κινητήρες και έχουν επίσης αναπτυχθεί για να λάβουν τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών. Η επιλογή του συστήματος πρόωσης εξαρτάται από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης αποστολής του UAV, όπως η εμβέλεια, η αυτονομία, υψόμετρο και χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου.

## **Επιχειρησιακοί Παράμετροι**

Εκτός από τις τεχνολογίες πρόωσης, οι επιχειρησιακοί παράμετροι διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον καθορισμό της καταλληλότητας και της αποτελεσματικότητας του συστήματος πρόωσης στο πλαίσιο των αποστολών. Παράγοντες όπως η αυτονομία, η χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου, η αξιοπιστία και η λειτουργική ευελιξία επηρεάζουν την επιλογή, την ενσωμάτωση και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος πρόωσης.

### *Αυτονομία*

Η αυτονομία, που ορίζεται ως η διάρκεια της συνεχούς πτήσης που μπορεί να επιτευχθεί από το UAV, είναι μια κρίσιμη μέτρηση που διέπεται από την απόδοση καυσίμου, την πυκνότητα ενέργειας και τις δυνατότητες διαχείρισης ισχύος του συστήματος πρόωσης. Τα συστήματα πρόωσης που παρουσιάζουν υψηλή ειδική κατανάλωση καυσίμου (SFC) ή υψηλούς ρυθμούς κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να περιορίσουν την επιχειρησιακή αυτονομία, απαιτώντας αντισταθμίσεις μεταξύ της διάρκειας πτήσης και του ωφέλιμου φορτίου της αποστολής.

### *Χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου*

Η ισχύς εξόδου του κινητήρα, η αναλογία ώσης προς βάρος και η απόδοση του συστήματος πρόωσης επηρεάζουν άμεσα την ικανότητα ωφέλιμου φορτίου του UAV, που περιλαμβάνει το βάρος των αισθητήρων, των συστημάτων επικοινωνίας και του βοηθητικού εξοπλισμού. Τα συστήματα πρόωσης ικανά να παρέχουν υψηλές αναλογίες ώσης σε σχέση με τη μάζα τους επιτρέπουν αυξημένη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση εξελεγχόμενων σειρών αισθητήρων και ωφέλιμων φορτίων ειδικά για αποστολές χωρίς συμβιβασμούς στην απόδοση πτήσης ή το επιχειρησιακό εύρος.

### *Αξιοπιστία*

Η αξιοπιστία αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο του συστήματος πρόωσης, που στηρίζει την επιτυχία της αποστολής, τη λειτουργική συνέχεια και την ασφάλεια πτήσης. Τα συστήματα πρόωσης που χαρακτηρίζονται από στιβαρό σχεδιασμό, δυνατότητα εναλλαξιμότητας και ολοκληρωμένους μηχανισμούς ανοχής σφαλμάτων μετριάζουν τον κίνδυνο αστοχιών κατά την πτήση, διασφαλίζοντας ανθεκτικότητα και λειτουργική αποτελεσματικότητα της αποστολής σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες και επιχειρησιακά σενάρια.

### *Λειτουργική ευελιξία*

Η προσαρμοστικότητα και η ευελιξία του συστήματος πρόωσης είναι καθοριστικής σημασίας για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων δυναμικής αποστολής, των περιβαλλοντικών περιορισμών και των τακτικών απαιτήσεων. Οι αρθρωτές αρχιτεκτονικές πρόωσης, οι διαμορφώσιμες ρυθμίσεις ισχύος και οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι ελέγχου, όπως ο ελεγκτής PID (Proportional Integral Derivative Controller) δίνουν τη δυνατότητα στους χειριστές UAV να βελτιστοποιούν την απόδοση του συστήματος πρόωσης σε πραγματικό χρόνο, ανταποκρινόμενοι σε μεταβαλλόμενους στόχους αποστολής, στη δυναμική εναέριου χώρου και σε επιχειρησιακές επιταγές με ευελιξία και ακρίβεια.

### 3.3 Αεροηλεκτρονικός εξοπλισμός (Avionics)

Η αεροηλεκτρονική ή avionics, η σύντηξη τεχνολογιών αεροπορίας και ηλεκτρονικής, χρησιμεύει ως το νευρικό δίκτυο των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), συνδυάζοντας αποτελεσματικά αισθητήρες, υπολογιστικούς αλγόριθμους και διεπαφές επικοινωνίας για να εμπλουτίσει τα UAV με δυνατότητες αυτόνομης πτήσης, επίγνωση της κατάστασης και αποτελεσματικότητα της αποστολής. Ως ο βασικός παράγοντας διευκόλυνσης των λειτουργιών UAV, τα avionics περιλαμβάνουν μια ποικιλία υποσυστημάτων, καθένα από τα οποία συμβάλλει στις λειτουργίες πλοήγησης, καθοδήγησης, επικοινωνίας και ελέγχου του UAV με ακρίβεια, αξιοπιστία και προσαρμοστικότητα. Τα συστήματα επικοινωνιών και data link θα αναλυθούν ξεχωριστά στο επόμενο κεφάλαιο.

#### **Βασικά υποσυστήματα Avionics**

##### *Σύστημα Πλοήγησης (Navigation System)*

Το σύστημα πλοήγησης του UAV αποτελεί την επιτομή της ακρίβειας και της αξιοπιστίας, χρησιμεύοντας ως ο πλέον σημαντικός παράγοντας της επιχειρησιακής του ικανότητας στην πλοήγηση σε περίπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα με ακλόνητη ακρίβεια. Ενσωματώνοντας υπερσύγχρονα συστήματα αδρανειακής πλοήγησης (INS) με δέκτες παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS), αυτό το σύστημα παρέχει συνεχείς ενημερώσεις για τη θέση, την ταχύτητα και τον προσανατολισμό του UAV, επιτρέποντας ακριβή έλεγχο πορείας και διαχείριση τροχιάς. Εμπλουτισμένα από βαρομετρικά όργανα και συστήματα δεδομένων αέρα, εξασφαλίζει ακριβή προσδιορισμό του υψομέτρου και ανίχνευση ατμοσφαιρικών παραμέτρων, ζωτικής σημασίας για ασφαλείς και αποτελεσματικές πτητικές λειτουργίες. Πέρα από την απλή πλοήγηση, αυτό το σύστημα ενσωματώνει την προσαρμοστικότητα, ενσωματώνεται απρόσκοπτα με λογισμικό σχεδιασμού αποστολής και συστήματα αεροηλεκτρονικής για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών πτήσης, την αποφυγή κινδύνων και τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της αποστολής.

##### *Συστήματα αδρανειακής πλοήγησης (INS)*

Τα Συστήματα Αδρανειακής Πλοήγησης (Inertial Navigation System) αποτελούν το θεμέλιο της πλοήγησης ενός UAV, παρέχοντας μέτρηση σε πραγματικό χρόνο της θέσης, της ταχύτητας και του προσανατολισμού του UAV μέσω της ενσωμάτωσης επιταχυνσιόμετρων και γυροσκοπίων. Οι μονάδες INS χρησιμεύουν ως αυτόνομα βοηθήματα πλοήγησης, διευκολύνοντας τον ακριβή έλεγχο της διαδρομής πτήσης, την πλοήγηση με σημεία διαδρομής και την αυτόνομη εκτέλεση αποστολής σε περιβάλλοντα που δεν έχουν πρόσβαση στο GPS ή κατά τη διάρκεια διακοπών της σύνδεσης επικοινωνίας.

### *Μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU)*

Στα UAV, η Μονάδα Αδρανειακής Μέτρησης (IMU) αποτελεί την επιτομή της ακρίβειας και της αξιοπιστίας στα συστήματα πλοήγησης και ελέγχου. Αξιοποιώντας ένα συνδυασμό επιταχυνσιόμετρων, γυροσκοπίων και μερικές φορές μαγνητομέτρων, το IMU παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τον προσανατολισμό, την επιτάχυνση και τη γωνιακή ταχύτητα του οχήματος, επιτρέποντας ακριβείς υπολογισμούς και προσαρμογές διαδρομής πτήσης. Η ικανότητά του να ενσωματώνεται απρόσκοπτα με το GPS και άλλους εξωτερικούς αισθητήρες εξασφαλίζει αδιάλειπτη λειτουργία ακόμη και σε περιβάλλοντα όπου δεν υπάρχει δυνατότητα GPS.

Για να διαχωριστεί από το INS, το INS είναι ένα σύστημα πλοήγησης που χρησιμοποιεί αισθητήρες αδρανειακών μετρήσεων για να υπολογίζει τη θέση, την ταχύτητα και τη διεύθυνση χωρίς εξωτερική αναφορά, ενώ το IMU (Inertial Measurement Unit) είναι μια συσκευή που παρέχει τις αδρανειακές μετρήσεις (επιταχύνσεις και γωνιακές ταχύτητες) που χρησιμοποιούνται από το INS.

### *Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS)*

Τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS - Global Navigation Satellite System), συμπεριλαμβανομένων των GPS, GLONASS και Galileo, αυξάνουν τις δυνατότητες του INS παρέχοντας ακριβείς πληροφορίες εντοπισμού θέσης και χρονισμού στα UAV. Οι δέκτες GNSS επιτρέπουν ακριβή γεωεντοπισμό, πλοήγηση σημείων διαδρομής και προγραμματισμό αποστολής, ενισχύοντας την αυτονομία των UAV και την επιχειρησιακή ευελιξία σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και επιχειρησιακά σενάρια.

### *Συστήματα ελέγχου πτήσης (FCS)*

Τα Συστήματα Ελέγχου Πτήσης (Flight Control System, FCS) αποτελούν ένα κεντρικό σύστημα των UAV, που διέπει τη σταθερότητα πτήσης, την άσκηση ελέγχου και την ικανότητα ελιγμών μέσω υπολογισμού σε πραγματικό χρόνο των εισόδων ελέγχου με βάση την ανάδραση των αισθητήρων και των στόχων της αποστολής. Οι μονάδες FCS ενσωματώνουν αλγόριθμους ελέγχου πτήσης, όπως ο MPC (Model Predictive Control), λογισμικό αυτόματου πιλότου και εναλλάξιμες επιφάνειες ελέγχου για να διευκολύνουν τον ακριβή έλεγχο της συμπεριφοράς, τη διαχείριση υψομέτρου και την προστασία του φακέλου πτήσης (flight envelope), διασφαλίζοντας ασφαλείς και σταθερές λειτουργίες πτήσης κάτω από ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες.

### *Συστήματα Απόκτησης Δεδομένων (DAS)*

Τα Συστήματα Απόκτησης Δεδομένων (Data Acquisition System, DAS) περιλαμβάνουν μια σουίτα αισθητήρων, διεπαφών δεδομένων και μονάδων τηλεμετρίας που επιφορτίζονται με τη συλλογή, την

επεξεργασία και τη μετάδοση κρίσιμων για την αποστολή δεδομένων σε σταθμούς ελέγχου εδάφους (GCS) σε πραγματικό χρόνο. Οι μονάδες DAS περιλαμβάνουν αισθητήρες όπως γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα, δείκτες ταχύτητας αέρα και περιβαλλοντικούς αισθητήρες, επιτρέποντας ολοκληρωμένη επίγνωση της κατάστασης, σχεδιασμό αποστολής και λήψη αποφάσεων κατά την πτήση.

#### *Ενσωματωμένο Σύστημα Υπολογιστή (Onboard Computer System)*

Το ενσωματωμένο σύστημα υπολογιστή αναδεικνύεται ως το νευρικό κέντρο, αναλαμβάνοντας στην ουσία την εκτέλεση επιχειρήσεων με απaráμιλλη αποτελεσματικότητα και νοημοσύνη. Εξοπλισμένο με ισχυρούς επεξεργαστές, προηγμένους αλγόριθμους και ισχυρή μνήμη, το ενσωματωμένο σύστημα υπολογιστή χρησιμεύει ως ο εγκέφαλος πίσω από αποστολές UAV, επεξεργάζοντας τεράστιες ποσότητες δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την εκτέλεση εντολών με ακρίβεια κλασμάτων του δευτερολέπτου. Από τον αυτόνομο έλεγχο πτήσης έως την επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων, αυτό το εξελιγμένο σύστημα ενσωματώνει απρόσκοπτα εισόδους αισθητήρων, δεδομένα πλοήγησης και εντολές χρήστη για την επιτυχία της αποστολής. Η προσαρμοστικότητα και η υπολογιστική του ικανότητα ενδυναμώνουν τα UAV να αντιμετωπίζουν ποικίλες αποστολές, με ευελιξία και αξιοπιστία.

#### *Ενσωματωμένες μονάδες επεξεργασίας (Onboard Processing Units)*

Οι ενσωματωμένες μονάδες επεξεργασίας αντιπροσωπεύουν τον υπολογιστικό πυρήνα του ωφέλιμου φορτίου ενός UAV, ενσωματώνοντας την νοημοσύνη και την αυτονομία που είναι ζωτικής σημασίας για την εκτέλεση σύνθετων εργασιών σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιώντας CPU (Central Processing Units), GPUs (Graphics Processing Units), DSP (Digital Signal Processors), Μικροελεγκτές (Microcontrollers) και FPGAs (Field-Programmable Gate Arrays), τελευταίας τεχνολογίας, αυτές οι μονάδες εξουσιοδοτούν τα UAV να επεξεργάζονται τεράστιους όγκους δεδομένων αισθητήρων με αξιοσημείωτη απόδοση και ταχύτητα. Αξιοποιώντας προηγμένους αλγόριθμους και τεχνικές μηχανικής μάθησης, διευκολύνουν την ανάλυση δεδομένων on the fly, τον εντοπισμό αντικειμένων και τη λήψη αποφάσεων, επιτρέποντας στα UAV να προσαρμόζονται δυναμικά στους εξελισσόμενους στόχους της αποστολής και στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, αυτές οι μονάδες επεξεργασίας διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην αυτόνομη πλοήγηση, την αποφυγή σύγκρουσης και τη συνεργατική συμπεριφορά, ενισχύοντας την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των UAV στον πολυσύχναστο εναέριο χώρο και τις συλλογικές αποστολές. Μέσω των ισχυρών υπολογιστικών δυνατοτήτων και της εγγενούς ευελιξίας τους, οι ενσωματωμένες μονάδες επεξεργασίας όχι μόνο ενισχύουν τη λειτουργική αυτονομία και την επίγνωση της κατάστασης των UAV, αλλά ανοίγουν το δρόμο για την υλοποίηση προηγμένων εφαρμογών που καλύπτουν την αντιμετώπιση καταστροφών, τη γεωργία ακριβείας, την επιθεώρηση υποδομής και όχι μόνο.



Για να καταστεί καλύτερα κατανοητό, το Onboard Computer System (OCS) ενός UAV αποτελεί τον κεντρικό υπολογιστή που ελέγχει τη συνολική λειτουργία του αεροσκάφους, περιλαμβάνοντας τη διαχείριση της πτήσης, την επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων και την επικοινωνία με τον χειριστή ή το σταθμό εδάφους. Αντίθετα, οι Onboard Processing Units (OPUs) είναι εξειδικευμένες μονάδες επεξεργασίας που εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες, όπως η επεξεργασία εικόνας, η ανάλυση δεδομένων και η εκτέλεση αυτόνομων αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Ενώ το OCS παρέχει την κεντρική υποδομή για τη λειτουργία του UAV, οι OPUs επιτρέπουν την κατανομή και επιτάχυνση των επεξεργαστικών φορτίων, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και την ευελιξία του συστήματος.

## **Επιχειρησιακοί Παράμετροι**

Εκτός από τα υποσυστήματα αεροηλεκτρονικής, οι επιχειρησιακοί παράμετροι διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας, της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας των αεροηλεκτρονικών του UAV στο πλαίσιο της εκτέλεσης της αποστολής και της δυναμικής του θεάτρου επιχειρήσεων.

### *Εναλλαξιμότητα και ανοχή σφαλμάτων*

Οι μηχανισμοί εναλλαξιμότητας και ανοχής σφαλμάτων αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού των ανιόνics, μετριάζοντας τον κίνδυνο αστοχιών ενός στοιχείου, ανωμαλιών των αισθητήρων και διαταραχών επικοινωνίας που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την επιτυχία της αποστολής ή την ασφάλεια της πτήσης. Οι εφεδρικές συστοιχίες αισθητήρων, οι ζεύξεις επικοινωνίας δύο καναλιών και οι αλγόριθμοι ανίχνευσης σφαλμάτων διασφαλίζουν τη συνέχεια της αποστολής και την επιχειρησιακή ανθεκτικότητα απέναντι σε αντίπαλες απειλές, δυσλειτουργίες του συστήματος ή περιβαλλοντικούς κινδύνους.

### *Διαλειτουργικότητα και συμβατότητα*

Τα συστήματα αεροηλεκτρονικών συστημάτων πρέπει να παρουσιάζουν διαλειτουργικότητα και συμβατότητα με τα υπάρχοντα αεροπορικά πρότυπα, πρωτόκολλα επικοινωνίας και διεπαφές σχεδιασμού αποστολής για να διευκολύνουν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με παλαιού τύπου συστήματα, τις συνεργατικές λειτουργίες και την κοινή εκτέλεση αποστολών. Τυποποιημένες μορφές δεδομένων, ανοιχτά πλαίσια αρχιτεκτονικής και αρθρωτές διεπαφές λογισμικού επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ πλατφορμών, την ανταλλαγή πληροφοριών και τη συνεργασία σε αποστολές μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών UAV και επιχειρησιακών ενδιαφερομένων.

### *Επεκτασιμότητα και αντοχή στο χρόνο*

Οι αρχιτεκτονικές των avionics πρέπει να ενσωματώνουν την επεκτασιμότητα και τις αρχές αντοχής στο χρόνο, που ικανοποιούν τις εξελισσόμενες απαιτήσεις αποστολής, τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις επιχειρησιακές επιταγές χωρίς να απαιτούνται δαπανηρές αναβαθμίσεις υλικού ή αντικαταστάσεις συστημάτων. Οι αρθρωτές αρχιτεκτονικές ηλεκτρονικών συστημάτων και οι ασύρματες (Over The Air, OTA) ενημερώσεις λογισμικού δίνουν τη δυνατότητα στους χειριστές UAV να προσαρμόζουν τα συστήματα αεροηλεκτρονικής σε αναδυόμενες απειλές, σενάρια αποστολών και ρυθμιστικά πλαίσια με ευελιξία και αποτελεσματικότητα.

## 3.4 Σύστημα επικοινωνιών και Ζεύξη Δεδομένων (Communication System and Data Link)

Το σύστημα επικοινωνιών και το Data Link χρησιμεύουν ως η γραμμή ζωής των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), διευκολύνοντας την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, τη μετάδοση εντολών και τον συντονισμό της αποστολής μεταξύ UAV και σταθμών ελέγχου εδάφους (GCS) με ακρίβεια, αξιοπιστία και επιχειρησιακή ανθεκτικότητα. Αν και αποτελεί τμήμα του AVIONICS θα αναλυθεί ξεχωριστά σε αυτό το κεφάλαιο.

### **Βασικά στοιχεία του συστήματος επικοινωνίας**

#### *Πομποδέκτης (Transceiver)*

Ο πομποδέκτης (transceiver) αποτελεί κρίσιμο στοιχείο του συστήματος επικοινωνιών και data link ενός UAV, εξασφαλίζοντας την αμφίδρομη μετάδοση δεδομένων και την αξιόπιστη επικοινωνία με τον επίγειο σταθμό ελέγχου. Λειτουργεί ταυτόχρονα ως πομπός και δέκτης, χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης σήματος για τη μεταφορά δεδομένων τηλεμετρίας, ελέγχου πτήσης και αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο. Η σχεδίαση του πομποδέκτη περιλαμβάνει υψηλής απόδοσης ενισχυτές, φίλτρα, και μονάδες ψηφιακής επεξεργασίας σήματος (DSP), που επιτρέπουν τη λειτουργία σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων και την αντιμετώπιση παρεμβολών και θορύβου από το περιβάλλον. Επιπλέον, ο πομποδέκτης ενσωματώνει πρωτόκολλα ασφάλειας και κρυπτογράφησης για την προστασία των δεδομένων από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, ενώ υποστηρίζει τεχνολογίες όπως το MIMO (Multiple Input Multiple Output) για βελτίωση της απόδοσης και της εμβέλειας του συστήματος. Ως εκ τούτου, ο πομποδέκτης διασφαλίζει την αποτελεσματική και ασφαλή επικοινωνία, η οποία είναι απαραίτητη για την επιτυχή εκτέλεση αποστολών και την αξιοπιστία των UAV σε κρίσιμες εφαρμογές.

### *Κεραίες (Antennas)*

Η κεραία είναι ένα θεμελιώδες στοιχείο του συστήματος επικοινωνίας σε ένα UAV, το οποίο χρησιμεύει ως διεπαφή μεταξύ της εναέριας πλατφόρμας και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η κύρια λειτουργία της είναι να μεταδίδει και να λαμβάνει σήματα ραδιοσυχνότητας, επιτρέποντας την επικοινωνία μεταξύ του UAV και των σταθμών ελέγχου εδάφους ή άλλων κόμβων επικοινωνίας. Οι κεραίες διατίθενται σε διάφορες μορφές, καθεμία βελτιστοποιημένη για συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων και λειτουργικές απαιτήσεις. Διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη μεγιστοποίηση της ισχύος του σήματος, της εμβέλειας και της αξιοπιστίας των συνδέσεων επικοινωνίας, διασφαλίζοντας έτσι τον απρόσκοπτο έλεγχο και την ανταλλαγή δεδομένων τηλεμετρίας κατά τις λειτουργίες UAV.

### *Ζεύξεις ραδιοσυχνότητας (RF LINK)*

Οι ζεύξεις ραδιοσυχνότητας (RF) αντιπροσωπεύουν τη ραχοκοκαλιά των αρχιτεκτονικών επικοινωνίας UAV, παρέχοντας συνδεσιμότητα οπτικής επαφής (Line of Sight, LOS) και πέραν της οπτικής επαφής (Beyond Line of Sight, BLOS) μεταξύ UAV και επίγειων ή αερομεταφερόμενων κόμβων επικοινωνίας. Οι ζεύξεις ραδιοσυχνότητας λειτουργούν σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των ζωνών VHF, UHF, L, S, C, X, Ku και Ka, προσφέροντας ποικίλες επιλογές μεταξύ του εύρους μετάδοσης, του εύρους ζώνης και της ανθεκτικότητας στις παρεμβολές για την κάλυψη των απαιτήσεων επικοινωνίας για την αποστολή. Οι ζεύξεις ραδιοσυχνότητας επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων τηλεμετρίας σε πραγματικό χρόνο, τη μετάδοση εντολών και δεδομένων αισθητήρων, υποστηρίζοντας τον σχεδιασμό, την εκτέλεση και την ανάλυση μετά την πτήση με αξιοπιστία και λειτουργική αποτελεσματικότητα.

### *Τερματικά δορυφορικής επικοινωνίας (SATCOM)*

Τα τερματικά δορυφορικής επικοινωνίας (SATCOM) επεκτείνουν το λειτουργικό εύρος και την κάλυψη των συστημάτων επικοινωνίας UAV, παρέχοντας παγκόσμια συνδεσιμότητα και συνεχείς συνδέσεις επικοινωνίας μέσω γεωστατικών ή δορυφορικών αστερισμών χαμηλής τροχιάς (Low Earth Orbit, LEO). Τα τερματικά SATCOM αξιοποιούν πρωτόκολλα στενής ή ευρυζωνικής επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των συχνοτήτων ζώνης L, Ku-band και Ka-band, για να προσφέρουν μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας, ασφαλή κανάλια επικοινωνίας και ελαστική συνδεσιμότητα σε απομακρυσμένα, μη φίλια ή αμφισβητούμενα επιχειρησιακά περιβάλλοντα. Τα τερματικά SATCOM επιτρέπουν στους χειριστές UAV να διατηρούν σε πραγματικό χρόνο την επίγνωση της κατάστασης, τις δυνατότητες διοίκησης και ελέγχου (Command and Control) και τις δυνατότητες διάδοσης δεδομένων αποστολής σε εκτεταμένες και διαφορετικές γεωγραφικές

περιοχές, ενισχύοντας την επιχειρησιακή ευελιξία και την αποτελεσματικότητα της αποστολής σε δυναμικά και απαιτητικά περιβάλλοντα αποστολής.

#### *Πρωτόκολλα Data Link (Data Link Protocols)*

Τα πρωτόκολλα μετάδοσης δεδομένων διέπουν τη μετάδοση, λήψη και επεξεργασία πακέτων δεδομένων μεταξύ UAV και σταθμών ελέγχου εδάφους (GCS), διασφαλίζοντας αποτελεσματική, αξιόπιστη και ασφαλή επικοινωνία μέσω ασύρματων καναλιών επικοινωνίας. Τα κοινά πρωτόκολλα σύνδεσης δεδομένων περιλαμβάνουν Tactical Common Data Link (TCDL), Common Data Link (CDL), Universal Control System Interface (UCSI) και διάφορα εμπορικά ή στρατιωτικά πρωτόκολλα επικοινωνίας βελτιστοποιημένα για απαιτήσεις αποστολής UAV, απόδοση δεδομένων και αξιοπιστία σύνδεσης. Τα πρωτόκολλα σύνδεσης δεδομένων επιτρέπουν στους χειριστές UAV να ανταλλάσσουν δεδομένα τηλεμετρίας και αισθητήρων και εντολές αποστολής με ακρίβεια, αμεσότητα και ακεραιότητα, υποστηρίζοντας τον σχεδιασμό, την εκτέλεση και την προσαρμοστική αναδιάρθρωση αποστολής σε πραγματικό χρόνο με βάση δυναμικές επιχειρησιακές απαιτήσεις και περιβαλλοντικά ερεθίσματα.

#### *Σύστημα τηλεμετρίας (Telemetry System)*

Το σύστημα τηλεμετρίας είναι η ραχοκοκαλιά της μετάδοσης δεδομένων και της παρακολούθησης σε ένα UAV, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τις επιχειρησιακές παραμέτρους και την κατάσταση του αεροσκάφους. Αποτελούμενο από αισθητήρες επί του σκάφους, μονάδες επεξεργασίας δεδομένων και συνδέσμους επικοινωνίας, το σύστημα τηλεμετρίας συλλέγει ζωτικής σημασίας πληροφορίες όπως υψόμετρο, ταχύτητα, συντεταγμένες GPS, επίπεδα μπαταρίας και μετρήσεις αισθητήρων κατά τη διάρκεια της πτήσης. Αυτά τα δεδομένα μεταδίδονται στη συνέχεια στον σταθμό ελέγχου εδάφους, όπου οι χειριστές μπορούν να τα αναλύσουν για να λάβουν ενημερωμένες αποφάσεις και προσαρμογές στην αποστολή του UAV. Το σύστημα τηλεμετρίας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της επίγνωσης της κατάστασης, στη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής λειτουργίας του UAV και στη δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου.

#### *Μηχανισμοί κρυπτογράφησης και διασφάλισης πληροφοριών (Encryption and information security mechanisms)*

Τα συστήματα επικοινωνιών και data link πρέπει να συμμορφώνονται με τα αυστηρά πρωτόκολλα επιχειρησιακής ασφάλειας (OPSEC) και διασφάλισης πληροφοριών (IA) για την προστασία ευαίσθητων δεδομένων αποστολής, την προστασία διαβαθμισμένων πληροφοριών και τον μετριασμό του κινδύνου μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης ή εκμετάλλευσης από αντίπαλες

οντότητες. Οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης (πχ Homomorphic Encryption), τα ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας και το υλικό ανθεκτικό σε παραβιάσεις διασφαλίζουν την εμπιστευτικότητα, την ακεραιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων σε όλο τον επιχειρησιακό κύκλο ζωής του UAV, διατηρώντας την αποτελεσματικότητα της αποστολής και την επιχειρησιακή ακεραιότητα σε εχθρικά και αμφισβητούμενα περιβάλλοντα.

Τα μέτρα διασφάλισης πληροφοριών περιλαμβάνουν επίσης μηχανισμούς ελέγχου ταυτότητας, πολιτικές ελέγχου πρόσβασης και συστήματα ανίχνευσης εισβολών για τον εντοπισμό, την αποτροπή και την απόκριση σε απειλές στον κυβερνοχώρο, διασφαλίζοντας ανθεκτικότητα έναντι κυβερνοεπιθέσεων, παραβιάσεων δεδομένων και απόπειρες εκμετάλλευσης πληροφοριών που στοχεύουν συστήματα επικοινωνίας και δεδομένα αποστολής.

## **Επιχειρησιακοί Παράμετροι**

Εκτός από τις τεχνολογίες επικοινωνίας, οι επιχειρησιακοί παράμετροι διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας, της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας των συστημάτων επικοινωνίας UAV στο πλαίσιο της εκτέλεσης της αποστολής και της δυναμικής του θεάτρου επιχειρήσεων.

### *Εναλλαξιμότητα και ποικιλία ζεύξεων*

Οι μηχανισμοί εναλλαξιμότητας και η ποικιλία ζεύξεων είναι ζωτικής σημασίας για το σχεδιασμό του συστήματος επικοινωνίας UAV, μετριάζοντας τον κίνδυνο αστοχιών ενός σημείου, υποβάθμισης του σήματος ή διαταραχών επικοινωνίας που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την επιτυχία της αποστολής ή την ασφάλεια της πτήσης. Οι εφεδρικές ζεύξεις επικοινωνίας, οι κεραιές πολλαπλών ζωνών και οι προσαρμοστικές τεχνικές αναπήδησης συχνότητας εξασφαλίζουν ισχυρή συνδεσιμότητα και ελαστικότητα επικοινωνίας έναντι ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, έτερων παρεμβολών ή ατμοσφαιρικής εξασθένησης, ενισχύοντας τη συνέχεια της αποστολής και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα σε δυναμικά και αμφισβητούμενα επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

### *Διαλειτουργικότητα και συμβατότητα*

Τα συστήματα επικοινωνίας UAV πρέπει να παρουσιάζουν διαλειτουργικότητα και συμβατότητα με υπάρχουσες υποδομές επικοινωνίας, πρωτόκολλα δικτύωσης και διεπαφές σχεδιασμού αποστολής για να διευκολύνουν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με συμμαχικές δυνάμεις, εταίρους συνασπισμού και περιβάλλοντα κοινών αποστολών. Τα τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα ανοιχτά πλαίσια αρχιτεκτονικής και οι διαδικασίες δοκιμών διαλειτουργικότητας επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ πλατφορμών, την ανταλλαγή πληροφοριών και τη συνεργασία

αποστολών μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών UAV, επιχειρησιακών ενδιαφερομένων και εταίρων αποστολής, βελτιώνοντας τον συντονισμό της αποστολής και την κοινή επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα σε περιβάλλοντα αποστολών πολλαπλών τομέων και επιχειρησιακά θέατρα.

### *Επεκτασιμότητα και Ευελιξία*

Οι αρχιτεκτονικές συστημάτων επικοινωνίας θα πρέπει να ενσωματώνουν αρχές επεκτασιμότητας και ευελιξίας για να ικανοποιούν τις εξελισσόμενες απαιτήσεις αποστολής, τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις επιχειρησιακές επιταγές χωρίς να απαιτούνται δαπανηρές αναβαθμίσεις υλικού ή αντικαταστάσεις συστημάτων. Επεκτάσιμα δίκτυα επικοινωνίας, πλατφόρμες ασυρμάτου που καθορίζονται από λογισμικό (Software Defined Radio, SDR) και αρθρωτές διεπαφές επικοινωνίας επιτρέπουν στους χειριστές UAV να προσαρμόζουν τα συστήματα επικοινωνίας σε αναδυόμενες απειλές, σενάρια αποστολών και ρυθμιστικά πλαίσια με ευελιξία και αποτελεσματικότητα, διασφαλίζοντας επιχειρησιακή ετοιμότητα και επιτυχία της αποστολής σε διάφορους επιχειρησιακούς τομείς και προφίλ αποστολής.

## 3.5 Ωφέλιμο φορτίο (Payload)

Το ωφέλιμο φορτίο είναι ο βασικός πολλαπλασιαστικός δύναμης των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), που περιλαμβάνει μια ποικιλία αισθητήρων, καμερών, εξοπλισμού επικοινωνίας και εξειδικευμένων οργάνων προσαρμοσμένων στις μοναδικές απαιτήσεις αποστολών πληροφοριών, επιτήρησης, αναγνώρισης (ISR) και απόκτησης στόχου (TA). Τα συστήματα ωφέλιμου φορτίου σχεδιάζονται, ενσωματώνονται και βελτιστοποιούνται για να παρέχουν αξιόπιστη νοημοσύνη, επίγνωση της κατάστασης σε πραγματικό χρόνο και κρίσιμα για την αποστολή δεδομένα σε επιχειρησιακά ενδιαφερόμενα μέρη με ακρίβεια, αξιοπιστία και λειτουργική ευελιξία. Παρακάτω αναφέρονται τα πιο σημαντικά και συνήθη στοιχεία του Payload.

### **Βασικά στοιχεία του Ωφέλιμου Φορτίου**

#### *Ηλεκτρο-οπτικοί/υπέρυθροι απεικονιστές - αισθητήρες - κάμερες (EO/IR Imagers - Sensors - Cameras)*

Οι αισθητήρες EO/IR χρησιμεύουν ως ο ακρογωνιαίος λίθος των συστημάτων ωφέλιμου φορτίου UAV, παρέχοντας εικόνες και βίντεο υψηλής ανάλυσης και υπέρυθρες υπογραφές εντός του επιχειρησιακού περιβάλλοντος. Οι EO/IR κάμερες ουσιαστικά χρησιμοποιούν αντίστοιχα EO (Electro-Optical) και IR (Infrared) αισθητήρες, ενώ οι απεικονιστές (Imagers) είναι ολοκληρωμένα συστήματα που χρησιμοποιούν αντίστοιχα δεδομένα από τις κάμερες και τους αισθητήρες για να παράγουν και να επεξεργάζονται εικόνες. Οι EO απεικονιστές χρησιμοποιούν οπτικές κάμερες

υψηλής ανάλυσης για την καταγραφή εικόνων στο ορατό φάσμα του φωτός, επιτρέποντας αναγνώριση φωτός της ημέρας, αναγνώριση στόχων και χαρτογράφηση εδάφους, ενώ οι IR απεικονιστές αντίστοιχα, κάμερες που ανιχνεύουν θερμική ακτινοβολία, επιτρέποντας τη λειτουργία σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή πλήρους σκοταδιού και δημιουργώντας έτσι εικόνες με βάση τις θερμοκρασιακές διαφορές. Οι IR αισθητήρες ανιχνεύουν στην ουσία ακτινοβολία στο υπέρυθρο φάσμα. Το υπέρυθρο φάσμα περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος που κυμαίνονται από το κοντινό υπέρυθρο (NIR) έως το μεσαίο (MIR) και το μακρινό υπέρυθρο (FIR).

#### Φασματικοί Πολυφασματικοί και Υπερφασματικοί απεικονιστές - κάμερες - αισθητήρες (Spectral, Multispectral and Hyperspectral Imagers - Cameras - Sensors)

Οι φασματικές, πολυφασματικές και υπερφασματικές συσκευές απεικόνισης αποτελούν ένα φάσμα προηγμένων τεχνολογιών απεικόνισης που φέρνουν επανάσταση στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε εφαρμογές UAV . Αντίστοιχα με τους EO/IR Imagers, είναι ολοκληρωμένα συστήματα που χρησιμοποιούν αντίστοιχα δεδομένα από τις κάμερες και τους αισθητήρες τους για να καταγράψουν, επεξεργαστούν και να απεικονίσουν δεδομένα. Ένας απεικονιστής μπορεί να περιλαμβάνει πολλούς αισθητήρες και κάμερες για τη δημιουργία σύνθετων εικόνων. Οι φασματικές συσκευές απεικόνισης καταγράφουν εικόνες μέσα σε συγκεκριμένες ζώνες μήκους κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, προσφέροντας θεμελιώδεις φασματικές πληροφορίες για την περιοχή/στόχο. Οι πολυφασματικές συσκευές απεικόνισης επεκτείνονται σε αυτό καταγράφοντας ταυτόχρονα δεδομένα σε πολλαπλές διακριτές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, προσφέροντας ευρύτερη κάλυψη και πλουσιότερα σύνολα δεδομένων για ανάλυση. Αυτό επιτρέπει αυξημένη διάκριση χαρακτηριστικών. Οι υπερφασματικές απεικονίσεις τέλος αντιπροσωπεύουν την κορυφή της φασματικής απεικόνισης, καταγράφοντας εκατοντάδες ή χιλιάδες συνεχόμενες στενές φασματικές ζώνες με υψηλή φασματική ανάλυση. Αυτές οι λεπτομερείς φασματικές πληροφορίες επιτρέπουν εξελιγμένες τεχνικές ανάλυσης όπως η φασματική αποσύνδεση και ταξινόμηση, διευκολύνοντας την ακριβή αναγνώριση και τον χαρακτηρισμό των αντικειμένων/στόχων.

#### *LiDAR*

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Light Detection and Ranging (LiDAR) σε ωφέλιμα φορτία UAV προαναγγέλλει μια μεταμορφωτική εποχή στις δυνατότητες τηλεπισκόπησης. Τα συστήματα LiDAR χρησιμοποιούν παλμούς λέιζερ για να μετρούν με ακρίβεια τις αποστάσεις από την επιφάνεια της Γης, δημιουργώντας σύννεφα σημείων 3D υψηλής ανάλυσης με εξαιρετική ακρίβεια και λεπτομέρεια. Αυτά τα σημειακά σύννεφα επιτρέπουν την ολοκληρωμένη χαρτογράφηση του εδάφους, την ανάλυση της δομής του περιβάλλοντος και τη μοντελοποίηση της υποδομής με απaráμιλλη ακρίβεια, ακόμη και σε δύσκολα περιβάλλοντα, όπως πυκνά δάση ή αστικά τοπία. Η

ευελιξία του LiDAR επιτρέπει μια μυριάδα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της τοπογραφικής χαρτογράφησης, της ακριβούς μοντελοποίησης υψομέτρου και άλλες. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες του LiDAR από ψηλά, τα UAV εξοπλισμένα με αυτήν την τεχνολογία δίνουν επαυξημένες δυνατότητες στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων.

#### *Θερμικοί Απεικονιστές ή Θερμικές Κάμερες (Thermal Imagers or Cameras)*

Οι συσκευές θερμικής απεικόνισης ή θερμικές κάμερες χρησιμοποιούν αντίστοιχα θερμικούς αισθητήρες. Είναι μια υποκατηγορία των IR αισθητήρων που ανιχνεύουν κυρίως την ακτινοβολία στο μακρινό υπέρυθρο φάσμα, το οποίο είναι γνωστό και ως θερμική ακτινοβολία. Αυτοί οι αισθητήρες είναι εξαιρετικά χρήσιμοι για την ανίχνευση θερμοκρασιακών διαφορών, καθώς μπορούν να δημιουργούν εικόνες βασισμένες στη θερμική υπογραφή αντικειμένων και ζωντανών οργανισμών. Οι συσκευές θερμικής απεικόνισης επιτρέπουν την αναγνώριση πηγών θερμότητας, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με λειτουργία κινητήρων εσωτερικής καύσης, ηλεκτρικές δυσλειτουργίες, διαρροές αγωγών ή ακόμα και παρουσία ανθρώπων ή ζώων σε αποστολές έρευνας και διάσωσης.

#### *Ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (SAR)*

Τα Synthetic Aperture Radar (SAR) είναι μια τεχνική ραντάρ που χρησιμοποιεί την κίνηση της πλατφόρμας UAV που φέρει τον αισθητήρα για να δημιουργήσει υψηλής ανάλυσης εικόνες της επιφάνειας της Γης, ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών και φωτός. Προσφέρουν απaráμιλλες δυνατότητες αναγνώρισης παντός καιρού, ημέρας-νύχτας, διεισδύοντας μέσα από σύννεφα, το φύλλωμα και αντίξοες καιρικές συνθήκες για να παρέχουν εικόνες ραντάρ υψηλής ανάλυσης και δεδομένα χαρτογράφησης εδάφους. Οι αισθητήρες SAR επιτρέπουν την ένδειξη επίγειου κινούμενου στόχου (GMTI), την ταξινόμηση στόχων και την ανίχνευση αλλαγών, βελτιώνοντας την επίγνωση της κατάστασης και τον εντοπισμό στόχων σε πολύπλοκα επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

#### *Δέκτες Signals Intelligence (SIGINT)*

Οι δέκτες SIGINT ανακόπτουν, αναλύουν και ταξινομούν ηλεκτρομαγνητικά σήματα που προέρχονται από αντίπαλες επικοινωνίες, συστήματα ραντάρ και εκπομπές ηλεκτρονικού πολέμου (EW). Οι δέκτες SIGINT εντοπίζουν εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων (RF), γεωεντοπίζουν πηγές σήματος και εντοπίζουν δίκτυα επικοινωνίας, παρέχοντας αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με τις προθέσεις, τις δυνατότητες και τα επιχειρησιακά πρότυπα του εχθρού για την υποστήριξη της λήψης τακτικών αποφάσεων και του σχεδιασμού της αποστολής.



### *Καταδείκτες και συστήματα στόχευσης λέιζερ (Laser pointers and targeting systems)*

Οι καταδείκτες λέιζερ και τα συστήματα στόχευσης επιτρέπουν στόχευση ακριβείας, έλεγχο πυρός και τερματική καθοδήγηση για κατευθυνόμενα πυρομαχικά, διευκολύνοντας την ακριβή εμπλοκή επίγειων στόχων, κινούμενων οχημάτων και εχθρικών στοιχείων με ελάχιστες παράπλευρες απώλειες. Οι καταδείκτες λέιζερ φωτίζουν τις συντεταγμένες στόχων για κατευθυνόμενους πυραύλους, ενώ τα συστήματα στόχευσης παρέχουν προσδιορισμό στόχων, παρακολούθηση και ενδείξεις εμπλοκής σε επίγεια ή αερομεταφερόμενα οπλικά συστήματα σε πραγματικό χρόνο.

### *Συσκευή Ηλεκτρονικού Πολέμου (Electronic Warfare Suite)*

Η σουίτα Ηλεκτρονικού Πολέμου (EW) ενός UAV περιλαμβάνει μια εξελιγμένη σειρά αισθητήρων, αλγορίθμων και συστημάτων αντιμετρών που έχουν σχεδιαστεί σχολαστικά για τον εντοπισμό, την ανάλυση και τον μετριασμό ηλεκτρονικών απειλών στο θέατρο επιχειρήσεων. Αξιοποιώντας προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος, σαρώνει αυτόνομα το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα για να εντοπίσει εχθρικές εκπομπές ραντάρ, σήματα επικοινωνιών και ηλεκτρονικές υπογραφές ενδεικτικές των αντίπαλων δραστηριοτήτων. Αυτή η σουίτα προσφέρει πολύπλευρες δυνατότητες, όπως μέτρα ηλεκτρονικής υποστήριξης για παθητική ανίχνευση (Electronic Support Measures, ESM), ηλεκτρονικά αντίμετρα (Electronic Countermeasures, ECM) για ενεργό εμπλοκή ή εξαπάτηση και ηλεκτρονική επίθεση (Electronic Attack, EA) για διακοπή των δικτύων διοίκησης, ελέγχου και επικοινωνίας του εχθρού. Ενσωματωμένη στα συστήματα αποστολής του UAV, η σουίτα EW όχι μόνο ενισχύει την επίγνωση της κατάστασης παρέχοντας ευφύια απειλών σε πραγματικό χρόνο, αλλά εξουσιοδοτεί επίσης την πλατφόρμα να χρησιμοποιεί δυναμικά, ανταποκρινόμενα αντίμετρα, ενισχύοντας έτσι σημαντικά την επιτυχία της αποστολής και τη δυνατότητα επιβίωσης σε αμφισβητούμενα περιβάλλοντα.

### *Εργαλεία επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων (Data processing and analysis tools)*

Τα εργαλεία επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων που είναι ενσωματωμένα στο UAV αντιπροσωπεύουν μια σύγκλιση αιχμής λογισμικού και υλικού που έχει σχεδιαστεί για να μετατρέπει τα ακατέργαστα δεδομένα (raw data) αισθητήρων σε νοημοσύνη με απaráμιλλη ταχύτητα και ακρίβεια. Χρησιμοποιώντας εξελιγμένους αλγόριθμους και τεχνικές μηχανικής μάθησης, αυτά τα εργαλεία επιτρέπουν την επεξεργασία και τη συγχώνευση δεδομένων πολλαπλών πηγών σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβανομένων εικόνων από ηλεκτρο-οπτικές/υπέρυθρες (EO/IR) κάμερες, δεδομένα ραντάρ από συστήματα ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (SAR) και υποκλοπή σημάτων από εξοπλισμό ευφυΐας σημάτων (SIGINT). Εξάγοντας ουσιαστικές γνώσεις από τεράστιες ροές δεδομένων, το σύστημα διευκολύνει την ταχεία αναγνώριση στόχων, τον εντοπισμό ανωμαλιών και την αναγνώριση προτύπων, δίνοντας τη δυνατότητα στους χειριστές να

λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις με βελτιωμένη επίγνωση της κατάστασης. Επιπλέον, αυτά τα εργαλεία έχουν σχεδιαστεί για προσαρμοστικότητα, επιτρέποντας την προσαρμογή και τη βελτιστοποίηση με βάση τους στόχους της αποστολής και τις εξελισσόμενες επιχειρησιακές απαιτήσεις. Ουσιαστικά, οι δυνατότητες επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων του UAV χρησιμεύουν ως πολλαπλασιαστής δυνάμεων, επιτρέποντας στους διοικούντες να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση του περιβάλλοντος του πεδίου μάχης και να αξιοποιήσουν αποτελεσματικά τη νοημοσύνη για την επιτυχία της αποστολής.

## **Επιχειρησιακοί Παράμετροι**

Εκτός από τα υποσυστήματα ωφέλιμου φορτίου, οι επιχειρησιακοί παράμετροι διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας, της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας των ωφέλιμων φορτίων UAV στο πλαίσιο της εκτέλεσης της αποστολής και της δυναμικής του θεάτρου επιχειρήσεων.

### *Ευελιξία και προσαρμοστικότητα αποστολής*

Τα συστήματα ωφέλιμου φορτίου πρέπει να επιδεικνύουν ευελιξία αποστολής και προσαρμοστικότητα για να ικανοποιούν τις διαφορετικές επιχειρησιακές απαιτήσεις, περιβαλλοντικές συνθήκες και τακτικούς στόχους. Οι αρθρωτές αρχιτεκτονικές ωφέλιμου φορτίου, τα εναλλάξιμα πακέτα αισθητήρων, οι ευέλικτες διεπαφές τοποθέτησης και οι αρθρωτές θέσεις ωφέλιμου φορτίου για συγκεκριμένες αποστολές επιτρέπουν γρήγορη επαναδιαμόρφωση και βελτιστοποίηση για δυναμικά σενάρια αποστολών, διασφαλίζοντας την επιχειρησιακή συνάφεια και την αποτελεσματικότητα της αποστολής σε διάφορα προφίλ αποστολών.

### *Περιορισμοί βάρους, ισχύος και μεγέθους (Size, Weight and Power - SWaP)*

Ο σχεδιασμός και η ενσωμάτωση ωφέλιμου φορτίου πρέπει να συμμορφώνονται με τους αυστηρούς περιορισμούς βάρους, ισχύος και μεγέθους (SWaP) που επιβάλλονται από τους περιορισμούς της πλατφόρμας UAV, τη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου και τις απαιτήσεις σε αυτονομία της αποστολής. Τα συστήματα ωφέλιμου φορτίου πρέπει να αξιοποιούν μικροσκοπικούς αισθητήρες, ηλεκτρονικά χαμηλής ισχύος και αποδοτικούς αλγόριθμους επεξεργασίας δεδομένων, όπως ο CNN (Convolutional Neural Networks) για να μεγιστοποιήσουν την ικανότητα αποστολής εντός των περιορισμών SWaP, επιτρέποντας παρατεταμένες διάρκειες πτήσης, βελτιωμένη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου και λειτουργική ευελιξία.

### *Θέματα βάρους, ισορροπίας και κέντρου βάρους (CG)*

Τα συστήματα ωφέλιμου φορτίου μαζί με τα εξαρτήματα σύνδεσης, στήριξης και ενσωμάτωσης πρέπει να τηρούν αυστηρούς περιορισμούς βάρους, ισορροπίας και κέντρου βάρους (CG) που επιβάλλονται από περιορισμούς πλατφόρμας UAV, κριτήρια αεροδυναμικής απόδοσης και απαιτήσεις ευστάθειας πτήσης. Η βέλτιστη τοποθέτηση ωφέλιμου φορτίου, η κατανομή βάρους και η τοποθέτηση λαμβάνοντας υπόψη το CG ελαχιστοποιούν την αεροδυναμική οπισθέλκουσα, βελτιστοποιούν τη δυναμική πτήσης και διατηρούν τα χαρακτηριστικά απόδοσης UAV κατά τις λειτουργίες της αποστολής, διασφαλίζοντας ασφαλή, σταθερή και αποτελεσματική απόδοση πτήσης σε διάφορες διαμορφώσεις ωφέλιμου φορτίου και επιχειρησιακά ωφέλιμα φορτία.

### *Περιβαλλοντική ανθεκτικότητα και αντοχή*

Τα συστήματα ωφέλιμου φορτίου θα πρέπει να επιδεικνύουν ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας, των φορτίων δόνησης, των κρουστικών φορτίων και της έκθεσης σε αντίξοες καιρικές συνθήκες που συναντώνται κατά τις αποστολές UAV. Είναι πολύ σημαντικό να έχουν διέλθει επιτυχώς τις απαραίτητες αντίστοιχες δοκιμές. Επίσης είναι εξίσου σημαντική η αντοχή των εξαρτημάτων σύνδεσης, στήριξης και ενσωμάτωσης του ωφέλιμου φορτίου. Τα ανθεκτικά υλικά, τα ανθεκτικά σχέδια και οι ανθεκτικές στη διάβρωση επιστρώσεις ενισχύουν την αξιοπιστία, τη μακροζωία και τη λειτουργική αντοχή των εξαρτημάτων ενσωμάτωσης ωφέλιμου φορτίου, μετριάζοντας τον κίνδυνο δομικής κόπωσης, υποβάθμισης επιμέρους εξαρτημάτων και υποβάθμισης της απόδοσης κατά τη διάρκεια του λειτουργικού κύκλου ζωής των πλατφόρμων UAV και των ωφέλιμων φορτίων αποστολής.

### *Απόσβεση κραδασμών*

Είναι σημαντική η εφαρμογή μηχανισμών απόσβεσης κραδασμών για τον μετριασμό των επιπτώσεων των κραδασμών του UAV και των εξωτερικών διαταραχών στην απόδοση του αισθητήρα και στην υπολογιστική ακρίβεια. Θα πρέπει να τοποθετηθούν με ασφάλεια τα ευαίσθητα εξαρτήματα μέσα σε κατάλληλο περίβλημα για να διατηρηθεί η σταθερότητα και η αξιοπιστία κατά τη διάρκεια της πτήσης.

## 3.6 Ηλεκτρικό Σύστημα ισχύος (Power System)

Τα UAV βασίζονται συνήθως σε μπαταρίες ή γεννήτριες που κινούνται με καύσιμο ως κύρια πηγή ενέργειας. Η επιλογή μεταξύ αυτών των επιλογών εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος, η διάρκεια της αποστολής και οι απαιτήσεις ισχύος του UAV.

## **Υποσυστήματα Ηλεκτρικής Ισχύος**

### *Μπαταρίες (Batteries)*

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) χρησιμοποιούνται συνήθως σε UAV λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και του ελαφρού και επαναφορτιζόμενου χαρακτήρα τους. Αυτές οι μπαταρίες παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την τροφοδοσία του συστήματος πρόωσης του UAV, των ηλεκτρονικών συσκευών, των αισθητήρων και άλλων ηλεκτρονικών ειδών του σκάφους.

### *Γεννήτριες με καύσιμο (Generators)*

Σε μεγαλύτερα UAV ή σε εκείνα που έχουν σχεδιαστεί για αποστολές μεγάλης αυτονομίας, γεννήτριες που κινούνται με καύσιμο, όπως κινητήρες εσωτερικής καύσης ή μικροστρόβιλοι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι γεννήτριες καταναλώνουν καύσιμο (π.χ. βενζίνη, ντίζελ ή καύσιμο τζετ) για να παράγουν μηχανική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός εναλλάκτη ή γεννήτριας. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των συστημάτων του UAV και τη φόρτιση των μπαταριών του αεροσκάφους εάν υπάρχουν.

### *Μετατροπείς Ισχύος (Power Inverters - Converters)*

Οι μετατροπείς ισχύος στο σύστημα τροφοδοσίας ενός UAV διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση και τη βελτιστοποίηση της ροής ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των διαφορετικών αναγκών των εξαρτημάτων του σκάφους. Αυτοί οι μετατροπείς περιλαμβάνουν συνήθως μετατροπείς DC-DC και μετατροπείς DC-AC, οι οποίοι ρυθμίζουν αποτελεσματικά τα επίπεδα τάσης και τα μετατρέπουν σε διαφορετικούς τύπους ηλεκτρικών ρευμάτων, όπως απαιτείται από τις διάφορες συσκευές ωφέλιμου φορτίου. Εξασφαλίζοντας μια σταθερή και αξιόπιστη τροφοδοσία ρεύματος, αυτοί οι μετατροπείς συμβάλλουν στη συνολική απόδοση, τη μακροζωία και την ασφάλεια των λειτουργιών UAV. Επιπλέον, οι εξελίξεις στην τεχνολογία μετατροπέων ισχύος οδήγησαν σε βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση, τη σμίκρυνση και τη μείωση βάρους, επιτρέποντας στα UAV να επιτύχουν μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης και βελτιωμένες δυνατότητες αποστολής.

### *Σύστημα διανομής ισχύος (Power Distribution System)*

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται ή αποθηκεύεται στο UAV πρέπει να διανέμεται αποτελεσματικά σε διάφορα υποσυστήματα και εξαρτήματα. Ένα σύστημα διανομής ισχύος διαχειρίζεται τη ροή του ηλεκτρισμού, διασφαλίζοντας ότι κάθε εξάρτημα λαμβάνει την απαιτούμενη τάση και ρεύμα. Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει συνήθως καλώδια τροφοδοσίας,

συνδέσμους, συσκευές προστασίας κυκλώματος (π.χ. ασφάλειες, διακόπτες κυκλώματος) και μερικές φορές ρυθμιστές τάσης για τη σταθεροποίηση της τάσης που παρέχεται σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά.

### *Συστήματα Επιτήρησης και Διαχείρισης Μπαταριών (Battery Monitoring and Management Systems - BMS)*

Τα συστήματα παρακολούθησης και διαχείρισης μπαταριών (Battery Monitoring and Management Systems) αποτελούν κρίσιμο στοιχείο στον εξοπλισμό του Power System. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν πλήρη επισκόπηση και έλεγχο της κατάστασης των μπαταριών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του UAV. Ένα σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης μπαταριών περιλαμβάνει συνήθως αισθητήρες που μετρούν διάφορες παραμέτρους, όπως η τάση, η θερμοκρασία και η ροή ρεύματος κάθε μπαταρίας. Αυτές οι πληροφορίες συλλέγονται και αναλύονται από ένα ειδικό υποσύστημα ελέγχου. Επιπλέον, το Battery Monitoring and Management System παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την αντοχή και την υγεία των μπαταριών με την πάροδο του χρόνου, βοηθώντας έτσι στην προγραμματισμένη συντήρηση και αντικατάστασή τους όταν είναι απαραίτητο.

## **Επιχειρησιακοί Παράμετροι**

Εκτός από τις τεχνολογίες πρόωσης, τα επιχειρησιακά ζητήματα διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον καθορισμό της καταλληλότητας και της αποτελεσματικότητας του συστήματος ισχύος στο πλαίσιο των αποστολών UAV.

### *Αυτονομία*

Η αυτονομία, είναι μια κρίσιμη μέτρηση επίσης για το Σύστημα Ισχύος, που διέπεται από την ενεργειακή απόδοση, την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας και τις δυνατότητες διαχείρισης ενέργειας του συστήματος ισχύος. Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης, που χαρακτηρίζονται από μπαταρίες υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και αποδοτικούς ηλεκτρικούς κινητήρες, προσφέρουν εκτεταμένη αυτονομία πτήσης σε σύγκριση με κινητήρες εσωτερικής καύσης, επιτρέποντας παρατεταμένες διάρκειες αποστολής, αδιάκοπες δυνατότητες επιτήρησης και βελτιωμένη λειτουργική ευελιξία σε διάφορα προφίλ αποστολής και περιβαλλοντικές συνθήκες.

### *Αξιοπιστία*

Η αξιοπιστία αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο του συστήματος ισχύος, υποστηρίζοντας την επιτυχία της αποστολής, τη λειτουργική συνέχεια και την ασφάλεια πτήσης. Τα συστήματα ισχύος που χαρακτηρίζονται από στιβαρό σχεδιασμό, εναλλάξιμα εξαρτήματα και ολοκληρωμένους

μηχανισμούς ανοχής σφαλμάτων μετριάζουν τον κίνδυνο αστοχιών κατά τη διάρκεια της πτήσης, διακοπής ρεύματος ή εξάντλησης ενέργειας, διασφαλίζοντας ανθεκτικότητα και λειτουργική αποτελεσματικότητα της αποστολής σε δυναμικά και αμφισβητούμενα επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

#### *Επεκτασιμότητα και Διαχείριση Ενέργειας*

Οι αρχιτεκτονικές συστημάτων ισχύος θα πρέπει να ενσωματώνουν αρχές επεκτασιμότητας και διαχείρισης ενέργειας για να ανταποκρίνονται στις ποικίλες απαιτήσεις αποστολής, τις διαμορφώσεις ωφέλιμου φορτίου και τα επιχειρησιακά περιβάλλοντα. Επεκτάσιμα δίκτυα διανομής ισχύος, παραμετροποιήσιμες ρυθμίσεις ισχύος και προσαρμοστικοί αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας, επιτρέπουν στους χειριστές UAV να βελτιστοποιούν την απόδοση του συστήματος ισχύος σε πραγματικό χρόνο, εξισορροπώντας την κατανάλωση ενέργειας, τις απαιτήσεις πρόωσης και τις απαιτήσεις ωφέλιμου φορτίου αποστολής για μεγιστοποίηση της λειτουργικής απόδοσης και της αποτελεσματικότητας της αποστολής.

### 3.7 Συστήματα ασφαλείας (Safety Systems)

Τα συστήματα ασφαλείας είναι κρίσιμα στοιχεία των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), που έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώνουν την επιχειρησιακή ασφάλεια, να μετριάζουν τους κινδύνους και να διασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τις επιχειρησιακές οδηγίες. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, πρωτοκόλλων και διαδικασιών που στοχεύουν στην πρόληψη ατυχημάτων, στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων και στην προστασία του προσωπικού, των περιουσιακών στοιχείων και του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια επιχειρήσεων. Με την ενσωμάτωση ισχυρών συστημάτων ασφαλείας, οι χειριστές μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της αποστολής, να μειώσουν την έκθεση στον κίνδυνο και να ενισχύσουν την εμπιστοσύνη του κοινού στη μη επανδρωμένη αεροπορία.

#### **Βασικά στοιχεία των συστημάτων ασφαλείας**

##### *Συστήματα εναλλαξιμότητας ελέγχου πτήσης (Flight Control Redundancy Systems)*

Τα συστήματα εναλλαξιμότητας ελέγχου πτήσης αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των UAV, παρέχοντας μηχανισμούς ανακατεύθυνσης και εφεδρικές δυνατότητες ελέγχου για τον μετριασμό του κινδύνου αστοχιών ή δυσλειτουργιών του συστήματος ελέγχου πτήσης. Οι εφεδρικοί υπολογιστές ελέγχου πτήσης, οι συστοιχίες αισθητήρων και τα συστήματα ενεργοποιητών επιτρέπουν στα UAV να διατηρούν σταθερά χαρακτηριστικά πτήσης, να εκτελούν διαδικασίες έκτακτης ανάγκης και να πλοηγούνται με ασφάλεια σε καθορισμένες ζώνες προσγείωσης σε περίπτωση πρωτογενών αστοχιών του συστήματος ή δυσμενών συνθηκών πτήσης. Η

εναλλαξιμότητα ελέγχου πτήσης ενισχύει την επιχειρησιακή ασφάλεια, την ανθεκτικότητα πτήσης και τη συνέχεια της αποστολής, διασφαλίζοντας ασφαλείς και αξιόπιστες λειτουργίες του UAV σε δυναμικά και απαιτητικά περιβάλλοντα.

#### *Συστήματα Αίσθησης και Αποφυγής (Sense and Avoid Systems)*

Τα συστήματα Sense and Avoid (SAA) διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αποφυγή σύγκρουσης και στην διασφάλιση του εναέριου χώρου κατά τη διάρκεια επιχειρήσεων UAV, στην ανίχνευση κοντινών αεροσκαφών, εμποδίων και κινδύνων και στον αυτόνομο ελιγμό του UAV για τη διατήρηση ασφαλών αποστάσεων διαχωρισμού και την αποφυγή πιθανών συγκρούσεων. Τα συστήματα SAA αξιοποιούν αισθητήρες όπως ραντάρ, Lidar, EO κάμερες και δέκτες Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση αερομεταφερόμενων και επίγειων αντικειμένων στην περιοχή, ενώ χρησιμοποιούν αλγορίθμους εντοπισμού εμποδίων (Obstacle Detection Algorithms, ODA) επιτρέποντας έτσι την αξιολόγηση απειλών σε πραγματικό χρόνο και την πρόβλεψη τροχιάς ελιγμού και αποφυγής σύγκρουσης. Τα συστήματα SAA ενισχύουν την ασφάλεια του εναέριου χώρου, μετριάζουν τους κινδύνους σύγκρουσης στον αέρα και επιτρέπουν την ενσωμάτωση UAV σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα εναέριου χώρου με επανδρωμένη και μη αεροπορική κυκλοφορία.

#### *Σύστημα παρακολούθησης της υγείας (Health and Monitoring System)*

Το σύστημα παρακολούθησης της υγείας (Health and Monitoring System) αποτελεί βασικό στοιχείο των συστημάτων ασφαλείας ενός UAV, καθώς διασφαλίζει την έγκαιρη ανίχνευση και διάγνωση ανωμαλιών στα διάφορα υποσυστήματα. Μέσω συνεχούς συλλογής και ανάλυσης δεδομένων από αισθητήρες, το σύστημα αυτό προβλέπει πιθανές αστοχίες και υποστηρίζει προληπτική συντήρηση, μειώνοντας τον κίνδυνο αιφνίδιων βλαβών και βελτιστοποιώντας τη λειτουργική απόδοση και την ασφάλεια του UAV. Περιλαμβάνει τόσο παραδοσιακές μεθόδους όπως αισθητήρες και μεθόδους μέτρησης και στατιστικής όσο και τεχνολογίες AI που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

### **Επιχειρησιακοί Παράμετροι**

Εκτός από τα στοιχεία του συστήματος ασφαλείας, οι επιχειρησιακοί παράμετροι διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας, της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας των συστημάτων ασφαλείας στο πλαίσιο των επιχειρήσεων UAV και της εκτέλεσης της αποστολής.

### *Εκπαίδευση και επάρκεια χειριστή*

Η αποτελεσματική χρήση των συστημάτων ασφαλείας βασίζεται στην εκπαίδευση του χειριστή, την επάρκεια και την τήρηση των τυπικών επιχειρησιακών διαδικασιών (Standard Operational Procedures, SOPs) που διέπουν τη λειτουργία του συστήματος, τα πρωτόκολλα απόκρισης έκτακτης ανάγκης και τις κρίσιμες για την ασφάλεια εργασίες. Ολοκληρωμένα εκπαιδευτικά προγράμματα, εκπαιδευτικές ενότητες βασισμένες σε προσομοιωτές και επαναλαμβανόμενες αξιολογήσεις επάρκειας επιτρέπουν στους χειριστές UAV να αναπτύξουν τις γνώσεις, τις δεξιότητες και την επίγνωση της κατάστασης που απαιτούνται για την αποτελεσματική χρήση συστημάτων ασφαλείας, την απόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και τον μετριασμό επιχειρησιακών κινδύνων κατά τις αποστολές.

### *Ενοποίηση συστήματος και εναλλαξιμότητα*

Τα συστήματα ασφαλείας θα πρέπει να ενσωματώνονται απρόσκοπτα σε αρχιτεκτονικές του UAV, σε ανιόνics υποσυστήματα και σε ροές εργασιών σχεδιασμού αποστολής για να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα, η εναλλαξιμότητα και οι δυνατότητες ανακατεύθυνσης σε κρίσιμα συστήματα και λειτουργικούς τομείς. Τα εναλλάξιμα συστήματα ασφαλείας, οι εφεδρικοί έλεγχοι και οι μηχανισμοί ασφαλείας έναντι αστοχίας ενισχύουν την επιχειρησιακή ανθεκτικότητα, τη συνέχεια της αποστολής και την ασφάλεια πτήσης παρέχοντας πολλαπλά επίπεδα προστασίας από βλάβες του συστήματος, περιβαλλοντικούς κινδύνους και απρόβλεπτα περιστατικά κατά τη διάρκεια επιχειρήσεων.

## **4. Βασικά εξαρτήματα σταθμού ελέγχου εδάφους (Ground Control Station (GCS))**

Ο Σταθμός Ελέγχου εδάφους (GCS) χρησιμεύει ως το νευρικό κέντρο των επιχειρήσεων των μη επανδρωμένων εναέριων συστημάτων (UAS), παρέχοντας στους χειριστές μια κεντρική πλατφόρμα για σχεδιασμό αποστολής, έλεγχο πτήσης, διαχείριση ωφέλιμου φορτίου και επίγνωση της κατάστασης σε πραγματικό χρόνο. Ως η κύρια διασύνδεση μεταξύ ανθρώπινων χειριστών και των αερομεταφερόμενων στοιχείων, το GCS περιλαμβάνει μια εξελιγμένη σειρά από υλικό, λογισμικό και διεπαφές χρήστη προσαρμοσμένα για να διευκολύνουν την απρόσκοπτη επικοινωνία, την αποτελεσματική εκτέλεση της αποστολής και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα σε διάφορους τομείς αποστολών και θέατρα επιχειρήσεων. Παρακάτω παρατίθενται τα πιο σημαντικά στοιχεία του GCS.



UAV επόμενης γενιάς: αξιοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη (AI) για αναβαθμισμένες επιχειρήσεις Πληροφοριών, Επιτήρησης, Απόκτησης Στόχου και Αναγνώρισης (ISTAR)



Ο πιλότος και ο χειριστής αισθητήρων να ελέγχουν ένα UAV MQ-9A Reaper των ΗΠΑ



Ο GCS ενός UAV Desert Hawk III του ΗΒ

#### 4.1 Σύστημα υπολογιστή (Computer System)

Το υπολογιστικό σύστημα αποτελείται από διάφορα βασικά εξαρτήματα που επιτρέπουν την επεξεργασία δεδομένων, τον έλεγχο του UAV και την αλληλεπίδραση με τους χειριστές.

##### **Βασικά στοιχεία του Computer System**

###### *Central Processing Unit - CPU (Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας)*

Η CPU είναι ο πυρήνας του υπολογιστικού συστήματος και χειρίζεται την εκτέλεση των εντολών και των υπολογισμών.

###### *Μνήμη (Memory)*

Η μνήμη αποθηκεύει δεδομένα και ενδιάμεσα αποτελέσματα υπολογισμών που χρησιμοποιούνται από τη CPU. Περιλαμβάνει τη RAM (Random Access Memory) και τη μνήμη μόνιμης αποθήκευσης όπως η SSD ή η HDD.

### *Κάρτα Γραφικών (Graphics Card)*

Η κάρτα γραφικών είναι υπεύθυνη για την απεικόνιση γραφικών και την επεξεργασία γραφικών εντολών, είτε για την εμφάνιση του χρήστη είτε για την επεξεργασία εικόνας από το UAV.

### *Σκληρός Δίσκος (Hard Disk Drive - HDD) ή Μονάδα Στερεάς Κατάστασης (Solid State Drive - SSD)*

Ο σκληρός δίσκος αποθηκεύει τα δεδομένα και το λογισμικό του συστήματος, ενώ η SSD παρέχει ταχύτερους χρόνους ανάγνωσης και εγγραφής.

### *Περιφερειακές Συσκευές Εισόδου/Εξόδου (Input/Output - I/O Devices)*

Περιλαμβάνουν ποντίκια, πληκτρολόγια, οθόνες αφής, συσκευές εισόδου εικόνας και ήχου, και άλλα περιφερειακά για την αλληλεπίδραση με το σύστημα.

### *Δίκτυο (Network)*

Παρέχει συνδεσιμότητα σε εξωτερικά δίκτυα και συσκευές, επιτρέποντας τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ του GCS και άλλων συσκευών.

### *Λογισμικό Ελέγχου Εδάφους (Ground Control Software)*

Το λογισμικό που εκτελείται στον GCS και παρέχει το περιβάλλον χρήστη, την επικοινωνία με το UAV, την προβολή δεδομένων και άλλες λειτουργίες ελέγχου.

## 4.2 Κονσόλα Ελέγχου και Διεπαφής Χρήστη (Control and User Interface Console - CUIC)

Το Control and User Interface Console (Κονσόλα Ελέγχου και Περιβάλλοντος Χρήστη) περιλαμβάνει διάφορα βασικά στοιχεία που επιτρέπουν στους χειριστές να ελέγχουν το UAV και να παρακολουθούν τις αποστολές του.

### **Βασικά στοιχεία της CUIC**

#### *Πίνακας Ελέγχου (Control Panel)*

Συσκευή που περιλαμβάνει διακόπτες, κουμπιά και λειτουργικά στοιχεία για τον έλεγχο του UAV. Επιτρέπει στους χειριστές να εκτελούν εντολές όπως προετοιμασία και έλεγχος, απογείωση, προσγείωση και άλλες λειτουργίες.

### *Μοχλοί και Συσκευές Ελέγχου (Joysticks and Control Devices)*

Συσκευές ελέγχου όπως τα joystick, τα trackballs και οι διακόπτες που χρησιμοποιούνται για την κατεύθυνση και τον έλεγχο του UAV στον αέρα.

### *Οθόνη Χρήστη (User Interface Display)*

Οθόνη που παρουσιάζει δεδομένα και γραφικά στοιχεία που αφορούν την κατάσταση του UAV, τη διαδρομή πτήσης, τα αισθητήρια δεδομένα και άλλες πληροφορίες για την αποστολή.

### *Οθόνη Τηλεμετρίας (Telemetry Display)*

Ειδική οθόνη που εμφανίζει δεδομένα τηλεμετρίας όπως θέση, ταχύτητα, ύψος και άλλες πληροφορίες για την πτήση του UAV.

### *Οθόνη Χάρτη και Πλοήγησης (Map and Navigation Display)*

Οθόνη που παρουσιάζει τη θέση του UAV σε πραγματικό χρόνο σε έναν χάρτη, συνήθως με χρήση GPS. Επιτρέπει στους χειριστές να παρακολουθούν την πορεία του UAV και να εκτελούν αλλαγές στη διαδρομή ανάλογα με τις ανάγκες της αποστολής.

### *Διασύνδεση Επικοινωνίας (Communication Interface)*

Περιλαμβάνει συσκευές για τη διαχείριση των συστημάτων επικοινωνίας μεταξύ του GCS και του UAV, όπως διακόπτες ή κουμπιά για τον έλεγχο του data link και των συστημάτων επικοινωνίας μέσω δορυφόρων.

### *Ενδείξεις Κατάστασης (Status Indicators)*

Φωτεινά ή αριθμητικά ενδεικτικά στοιχεία που εμφανίζουν την τρέχουσα κατάσταση και την απόδοση του UAV, όπως η κατάσταση της μπαταρίας, η σήμανση της σύνδεσης και άλλες παραμέτρους.

## 4.3 Σύστημα επικοινωνίας (Communication System)

Το σύστημα επικοινωνίας περιλαμβάνει διάφορα βασικά στοιχεία που εξασφαλίζουν την αποτελεσματική και αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ του UAV και του GCS.

## **Βασικά στοιχεία του Συστήματος επικοινωνίας**

### *Πομποδέκτης (Transceiver)*

Συσκευή αντίστοιχα όπως είδαμε και στο UAV, που επιτρέπει τη μετάδοση και λήψη σημάτων μεταξύ του UAV και του GCS. Εξασφαλίζει τη συνεχή επικοινωνία για την αποστολή εντολών και τη λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

### *Κεραίες (Antennas)*

Συσκευές που ενισχύουν και κατευθύνουν τα σήματα μεταξύ του UAV και του GCS. Μπορεί να περιλαμβάνουν διάφορους τύπους κεραιών όπως Omnidirectional, Directional ή Parabolic για βέλτιστη απόδοση επικοινωνίας.

### *Ζεύξη Δεδομένων (Data Link)*

Σύστημα που διασφαλίζει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του UAV και του GCS. Περιλαμβάνει ασύρματες ζεύξεις, συχνότητες μετάδοσης και πρωτόκολλα επικοινωνίας.

### *Ζεύξη Διοίκησης και Ελέγχου (Command and Control (C2) Link)*

Ειδική ζεύξη που χρησιμοποιείται για την αποστολή εντολών από το GCS προς το UAV και τη λήψη επιβεβαιώσεων ή αναφορών κατάστασης από το UAV προς το GCS. Εξασφαλίζει την ασφαλή και αξιόπιστη μεταφορά των κρίσιμων δεδομένων ελέγχου.

### *Ζεύξη Βίντεο (Video Link)*

Σύστημα που μεταδίδει ζωντανή εικόνα και βίντεο από τις κάμερες του UAV προς το GCS. Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση της αποστολής σε πραγματικό χρόνο.

### *Ζεύξη Τηλεμετρίας (Telemetry Link)*

Ζεύξη που μεταφέρει δεδομένα τηλεμετρίας, όπως η θέση, η ταχύτητα, το ύψος και άλλες κρίσιμες πληροφορίες για την πτήση του UAV προς το GCS.

### *Δορυφορικά Συστήματα Επικοινωνίας (Satellite Communication (SATCOM) Systems)*

Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις ή σε περιοχές όπου οι επίγειες ζεύξεις δεν είναι διαθέσιμες. Παρέχουν αξιόπιστη επικοινωνία μέσω δορυφόρων.

### *Συστήματα Κρυπτογράφησης και Ασφαλείας (Encryption and Security Systems)*

Εξασφαλίζουν την προστασία των δεδομένων επικοινωνίας από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και κυβερνοεπιθέσεις. Περιλαμβάνουν τεχνικές κρυπτογράφησης, έλεγχο ταυτότητας και άλλα πρωτόκολλα ασφαλείας.

### *Εφεδρικά Συστήματα Επικοινωνίας (Redundant Communication Systems)*

Εφεδρικά συστήματα που διασφαλίζουν τη συνέχιση της επικοινωνίας σε περίπτωση αποτυχίας του κύριου συστήματος. Περιλαμβάνουν εφεδρικές ζεύξεις και πομποδέκτες για τη διατήρηση της σύνδεσης.

### *Συστήματα Διαχείρισης Δικτύου (Network Management Systems)*

Εργαλεία και λογισμικό που επιτρέπουν την παρακολούθηση και τη διαχείριση του δικτύου επικοινωνίας. Παρέχουν πληροφορίες για την απόδοση του δικτύου, εντοπίζουν προβλήματα και βοηθούν στη διατήρηση της ποιότητας της επικοινωνίας.

### *Συστήματα αναμετάδοσης επικοινωνίας (Communication Relay Systems)*

Αποτελούν μια εξελιγμένη δικτυακή υποδομή που επεκτείνει την επιχειρησιακή εμβέλεια και τις δυνατότητες των μη επανδρωμένων εναέριων πλατφορμών. Μέσω της στρατηγικής ανάπτυξης ενδιάμεσων κόμβων, συμπεριλαμβανομένων άλλων UAV, επίγειων σταθμών αναμετάδοσης ή δορυφορικών συνδέσεων, τα συστήματα αναμετάδοσης διευκολύνουν την απρόσκοπτη επικοινωνία και μετάδοση δεδομένων μεταξύ του UAV και των σταθμών ελέγχου εδάφους, ακόμη και σε απομακρυσμένα ή παρεμποδισμένα περιβάλλοντα.

## 4.4 Σύστημα ελέγχου ωφέλιμου φορτίου (Payload Control System)

Το σύστημα ελέγχου φορτίου (payload control system) περιλαμβάνει διάφορα βασικά στοιχεία που επιτρέπουν τον έλεγχο και τη διαχείριση του φορτίου που μεταφέρει το UAV.

### **Βασικά στοιχεία του Payload Control System**

#### *Μονάδα Διεπαφής Φορτίου (Payload Interface Unit)*

Συσκευή που επιτρέπει τη σύνδεση και την επικοινωνία μεταξύ του UAV και του GCS για τον έλεγχο του φορτίου. Διασφαλίζει ότι τα σήματα και οι εντολές μεταδίδονται σωστά και αποτελεσματικά.

### *Λογισμικό Ελέγχου Φορτίου (Payload Control Software)*

Λογισμικό που επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν και να διαχειρίζονται το φορτίο σε πραγματικό χρόνο. Παρέχει διεπαφές χρήστη για την αποστολή εντολών και την παρακολούθηση της κατάστασης του φορτίου.

### *Συστήματα Ελέγχου Καμερών και Αισθητήρων (Camera and Sensor Control Systems)*

Ειδικά υποσυστήματα για τον έλεγχο των καμερών, των αισθητήρων και άλλων συσκευών παρακολούθησης που μπορεί να φέρει το UAV. Περιλαμβάνουν δυνατότητες για την περιστροφή, την εστίαση και τη ρύθμιση των παραμέτρων των καμερών και των αισθητήρων.

### *Εργαλεία Διαγνωστικού Ελέγχου και Παρακολούθησης (Diagnostic and Monitoring Tools)*

Λογισμικό και εξοπλισμός που παρακολουθούν την κατάσταση και τη λειτουργία του ωφέλιμου φορτίου σε πραγματικό χρόνο. Παρέχουν ειδοποιήσεις για τυχόν προβλήματα ή αποκλίσεις από τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

## 4.5 Τροφοδοσία ρεύματος (Power Supply)

Το σύστημα ισχύος του σταθμού ελέγχου εδάφους (GCS) για μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) περιλαμβάνει διάφορα βασικά στοιχεία που εξασφαλίζουν την αξιόπιστη παροχή ενέργειας στα διάφορα συστήματα και υποσυστήματα του GCS.

### **Βασικά στοιχεία του συστήματος ισχύος**

#### *Μονάδα Παροχής Ισχύος (Power Supply Unit - PSU)*

Παρέχει την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του GCS. Μπορεί να περιλαμβάνει μετασχηματιστές, ρυθμιστές τάσης και φίλτρα για την εξασφάλιση σταθερής και καθαρής παροχής ενέργειας.

#### *Αδιάλειπτη Παροχή Ισχύος (Uninterruptible Power Supply - UPS)*

Σύστημα που παρέχει προσωρινή παροχή ενέργειας σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Περιλαμβάνει μπαταρίες και μετατροπείς για τη διατήρηση της λειτουργίας του GCS έως ότου αποκατασταθεί η κύρια πηγή ενέργειας ή ενεργοποιηθεί μια εφεδρική πηγή.

### *Μπαταρίες (Batteries)*

Αποθηκευτικές μονάδες ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παροχή ισχύος σε περίπτωση διακοπής της κύριας πηγής ενέργειας. Μπορούν να είναι μπαταρίες λιθίου, μολύβδου-οξέος ή άλλων τεχνολογιών με υψηλή αποθηκευτική ικανότητα και αξιοπιστία.

### *Σύστημα Διανομής Ισχύος (Power Distribution System)*

Δίκτυο που διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια από την κύρια πηγή ισχύος σε όλα τα υποσυστήματα του GCS. Περιλαμβάνει καλωδιώσεις, διακόπτες, πίνακες διανομής και ασφαλειοδιακόπτες για την προστασία των συστημάτων από υπερφορτώσεις και βραχυκυκλώματα.

### *Γεννήτριες (Generators)*

Εφεδρικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πρόσβαση σε κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης ή σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Οι γεννήτριες μπορούν να είναι βενζινοκίνητες, πετρελαιοκίνητες ή ακόμα και ηλιακές.

### *Ηλιακά Πάνελ (Solar Panels)*

Εναλλακτική πηγή ενέργειας που χρησιμοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται συχνά σε φορητούς σταθμούς ελέγχου ή σε απομακρυσμένες περιοχές χωρίς πρόσβαση σε παραδοσιακές πηγές ενέργειας.

### *Ρυθμιστές Τάσης (Voltage Regulators)*

Συσκευές που σταθεροποιούν την τάση της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, εξασφαλίζοντας ότι τα συστήματα του GCS λαμβάνουν την κατάλληλη τάση για την ομαλή λειτουργία τους.

### *Μετατροπείς Ισχύος (Power Inverters - Converters)*

Συσκευές που μετατρέπουν την συνεχόμενη τάση (DC) από τις μπαταρίες ή τα ηλιακά πάνελ σε διαφορετική συνεχόμενη τάση (Converters) ή εναλλασσόμενη τάση (AC) (Inverters) για τη λειτουργία των συστημάτων του GCS που απαιτούν AC.

### *Σύστημα Παρακολούθησης Ισχύος (Power Monitoring System)*

Εργαλεία και λογισμικό που παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας, την κατάσταση των μπαταριών, την απόδοση των γεννητριών και άλλων πηγών ενέργειας. Παρέχουν ειδοποιήσεις και αναφορές για την κατάσταση του συστήματος ισχύος.

### *Συστήματα Ψύξης (Cooling Systems)*

Εξοπλισμός που διασφαλίζει την ψύξη των μονάδων ισχύος και των σχετικών συσκευών, αποτρέποντας την υπερθέρμανση και διατηρώντας τη λειτουργία σε ασφαλή θερμοκρασία.

## 4.6 Σύστημα Καταγραφής, αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων (Data Recording, Storage and Analysis System)

Το σύστημα καταγραφής, αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων περιλαμβάνει διάφορα βασικά στοιχεία που εξασφαλίζουν τη συλλογή, την αποθήκευση και την ανάλυση των δεδομένων που προέρχονται από το UAV.

### **Βασικά στοιχεία του συστήματος**

#### *Σύστημα Απόκτησης Δεδομένων (Data Acquisition System)*

Συσκευές και λογισμικό που συλλέγουν δεδομένα από τους αισθητήρες και τα συστήματα του UAV σε πραγματικό χρόνο.

#### *Υλικό Καταγραφής Δεδομένων (Data Logging Hardware, DLH)*

Συσκευές που αποθηκεύουν τα δεδομένα που συλλέγονται από το UAV. Μπορεί να περιλαμβάνουν SSD, σκληρούς δίσκους ή αποθηκευτικούς χώρους τύπου flash.

#### *Λύσεις Αποθήκευσης Δεδομένων (Data Storage Solutions, DSS)*

Υποδομές αποθήκευσης για τη διατήρηση των δεδομένων που συλλέγονται κατά τη διάρκεια των πτήσεων. Μπορεί να περιλαμβάνουν τοπικούς αποθηκευτικούς χώρους (όπως NAS ή SAN) και cloud-based αποθηκευτικές λύσεις για ασφαλή και αξιόπιστη αποθήκευση.

#### *Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (Database Management System, DBMS)*

Λογισμικό που οργανώνει και διαχειρίζεται τα δεδομένα που αποθηκεύονται. Παρέχει εργαλεία για την αποθήκευση, ανάκτηση και διαχείριση μεγάλων όγκων δεδομένων, επιτρέποντας γρήγορη πρόσβαση και ανάλυση.

#### *Λογισμικό Επεξεργασίας και Ανάλυσης Δεδομένων (Data Processing and Analysis Software)*

Εργαλεία που επεξεργάζονται τα συλλεγμένα δεδομένα για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών. Περιλαμβάνουν λογισμικό για την ανάλυση εικόνων, βίντεο, γεωχωρικών δεδομένων και άλλων τύπων δεδομένων που συλλέγονται από το UAV.



### *Εργαλεία Οπτικοποίησης (Visualization Tools)*

Λογισμικό που μετατρέπει τα δεδομένα σε γραφικές παραστάσεις, χάρτες και άλλες μορφές οπτικής αναπαράστασης. Βοηθούν στην κατανόηση των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

### *Συστήματα Αντιγράφων Ασφαλείας και Ανάκτησης Δεδομένων (Data Backup and Recovery Systems)*

Διασφαλίζουν την προστασία των δεδομένων από απώλεια ή καταστροφή. Περιλαμβάνουν λύσεις για τη δημιουργία τακτικών αντιγράφων ασφαλείας και τη δυνατότητα ανάκτησης των δεδομένων σε περίπτωση ανάγκης.

### *Πρωτόκολλα Ασφαλείας (Security Protocols)*

Μέτρα για την προστασία των δεδομένων από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και κυβερνοεπιθέσεις. Περιλαμβάνουν κρυπτογράφηση δεδομένων, έλεγχο πρόσβασης και άλλες τεχνικές ασφαλείας.

### *Εργαλεία Ενσωμάτωσης Δεδομένων (Data Integration Tools)*

Εφαρμογές που επιτρέπουν την ενσωμάτωση δεδομένων από διάφορες πηγές και συστήματα. Διευκολύνουν τη συνδυασμένη ανάλυση δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες και συσκευές.

## 4.7 Συστήματα ασφαλείας (Safety Systems)

Τα συστήματα ασφάλειας περιλαμβάνουν διάφορα βασικά στοιχεία που εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία του UAV και την προστασία του εξοπλισμού και του προσωπικού.

### **Βασικά στοιχεία των συστημάτων ασφάλειας**

#### *Μηχανισμοί Ασφαλείας (Failsafe Mechanisms)*

Συστήματα που ενεργοποιούνται σε περίπτωση βλάβης ή απώλειας επικοινωνίας με το UAV. Περιλαμβάνουν διαδικασίες για την αυτόματη επιστροφή στο σημείο εκκίνησης, την προσγείωση σε ασφαλές σημείο, την ανάπτυξη αλεξίπτωτου ή την πλοήγηση σε προκαθορισμένη πορεία.

#### *Λειτουργία Έκτακτης Επιστροφής στη Βάση (Emergency Return-to-Home (RTH) Function)*

Λειτουργία που επιτρέπει στο UAV να επιστρέψει αυτόματα στο προκαθορισμένο σημείο εκκίνησης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, όπως απώλεια σήματος ή χαμηλή μπαταρία.

### *Γεωπερίφραξη (Geofencing)*

Εικονικά όρια που ορίζονται στο λογισμικό του GCS για να αποτρέψουν το UAV από το να πετάξει σε απαγορευμένες ή επικίνδυνες περιοχές. Αν το UAV πλησιάσει ή υπερβεί αυτά τα όρια, ενεργοποιούνται αυτόματα ενέργειες για την αποτροπή της παράβασης.

### *Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (Battery Management System, BMS)*

Παρακολούθηση της κατάστασης της μπαταρίας και των επιπέδων φόρτισης για την αποτροπή ξαφνικής αποφόρτισης. Ενεργοποιεί προειδοποιήσεις και πρωτόκολλα ασφαλείας όταν η μπαταρία φτάσει σε κρίσιμο επίπεδο.

### *Παρακολούθηση Κατάστασης σε Πραγματικό Χρόνο (Real-Time Health Monitoring, RTHM)*

Συνεχής παρακολούθηση των συστημάτων του UAV και του GCS για τον εντοπισμό βλαβών ή αποκλίσεων από τις κανονικές λειτουργίες. Παρέχει άμεσες ειδοποιήσεις και προτείνει ενέργειες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων.

### *Έκτακτα Συστήματα Παράκαμψης (Emergency Override Controls, EOC)*

Δυνατότητα χειροκίνητης παρέμβασης από τον χειριστή για την άμεση ανάληψη ελέγχου του UAV σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης. Περιλαμβάνει φυσικά κουμπιά ή διακόπτες στον σταθμό ελέγχου.

### *Λίστες Ελέγχου και Διαγνωστικά Πτήσης (Pre-Flight Checklists and Diagnostics)*

Διαδικασίες και εργαλεία για τον έλεγχο της κατάστασης του UAV και του GCS πριν από την πτήση. Εξασφαλίζουν ότι όλα τα συστήματα λειτουργούν σωστά και ότι έχουν ολοκληρωθεί όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι ασφαλείας.

## 4.8 Σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης (Navigation and Positioning System)

Το σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο των αξιόπιστων και με ακρίβεια πτητικών λειτουργιών. Στον πυρήνα του βρίσκεται μια σουίτα σχολαστικά ενσωματωμένων εξαρτημάτων που έχουν σχεδιαστεί για να προσδιορίζουν και να διατηρούν τη θέση και τον προσανατολισμό του UAV με μέγιστη ακρίβεια.

Για να ενισχύσει την ανθεκτικότητα και την εναλλαξιμότητα, το σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης μπορεί να ενσωματώσει εναλλακτικές τεχνικές εντοπισμού θέσης, όπως οπτική

οδομετρία (Visual Odometry) ή τριγωνισμό ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Triangulation). Προηγμένοι αλγόριθμοι συγχωνεύουν δεδομένα από πολλούς αισθητήρες για να υπολογίσουν τη θέση, την ταχύτητα και τον προσανατολισμό του UAV σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας ακριβή πλοήγηση και έλεγχο πτήσης. Περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία όπως GPS, GNSS, INS, IMU κα.

## **Βασικά στοιχεία του Συστήματος πλοήγησης και εντοπισμού θέσης**

### *Λογισμικό Σταθμού Ελέγχου εδάφους (Ground Control Station Software)*

Είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία και την ενοποίηση δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες και πηγές, προσφέροντας σε πραγματικό χρόνο ακριβή πληροφορία θέσης, πλοήγησης και κατάστασης πτήσης, διασφαλίζοντας την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία και έλεγχο του UAV.

### *Χάρτες (Maps)*

Παρέχουν γεωγραφικές πληροφορίες υψηλής ακρίβειας και λεπτομέρειας, επιτρέποντας την ακριβή σχεδίαση διαδρομών, την αποφυγή εμποδίων και την ανάλυση της περιοχής πτήσης. Ενσωματώνονται σε προηγμένες πλατφόρμες GIS (Geographic Information Systems), προσφέροντας εργαλεία για την ανάλυση τοπογραφικών δεδομένων και την υποστήριξη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

### *Εργαλεία ανάλυσης δεδομένων (Analysis Tools)*

Επιτρέπουν την προηγμένη επεξεργασία και ερμηνεία δεδομένων πτήσης σε πραγματικό χρόνο, βελτιστοποιώντας την απόδοση και την ασφάλεια του UAV. Αυτά τα εργαλεία χρησιμοποιούν εξελιγμένους αλγόριθμους και τεχνικές μηχανικής μάθησης για την ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων, εντοπίζοντας ανωμαλίες, προβλέποντας τάσεις και υποστηρίζοντας στρατηγικές αποφάσεις.

### *Διεπαφές χρήστη (User Interfaces)*

Προσφέρουν εργονομικές και διαδραστικές πλατφόρμες για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του UAV, επιτρέποντας στους χειριστές να λαμβάνουν γρήγορες και ενημερωμένες αποφάσεις. Ενσωματώνουν γραφικές απεικονίσεις δεδομένων πτήσης, χάρτες σε πραγματικό χρόνο και εργαλεία ανάλυσης, διευκολύνοντας την αποτελεσματική διαχείριση της αποστολής και την ασφάλεια της πτήσης.

### *Συστήματα ραδιοπλοήγησης (Radio Navigation Systems)*

Χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για τον ακριβή εντοπισμό και την παρακολούθηση της θέσης του UAV σε σχέση με σταθερούς σταθμούς αναφοράς. Αυτά τα συστήματα, όπως το VOR (VHF Omnidirectional Range) και το DME (Distance Measuring Equipment), παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες θέσης ακόμα και σε περιβάλλοντα όπου τα δορυφορικά σήματα μπορεί να είναι ανεπαρκή ή να παρουσιάζουν παρεμβολές.

### *Εφεδρικά Συστήματα (Redundant Systems)*

Διασφαλίζουν την αξιοπιστία και τη συνεχή λειτουργία του συστήματος πλοήγησης σε περίπτωση αποτυχίας κύριων εξαρτημάτων. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν εφεδρικούς αισθητήρες, υπολογιστές και επικοινωνιακές γραμμές, παρέχοντας ανοχή σε σφάλματα και διασφαλίζοντας την αδιάλειπτη πλοήγηση και τον έλεγχο του UAV.

## 4.9 Εργαλεία Σχεδιασμού Πτήσης και Διαχείρισης Αποστολών (Flight Planning and Mission Management Tools)

Τα Εργαλεία Σχεδιασμού Πτήσης και Διαχείρισης Αποστολών (Flight Planning and Mission Management Tools) είναι ζωτικής σημασίας για την ενορχήστρωση κρίσιμων επιχειρήσεων με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Στον πυρήνα της βρίσκεται μια σουίτα εξελιγμένων εφαρμογών λογισμικού που έχουν σχεδιαστεί σχολαστικά για να εξορθολογίζουν τον σχεδιασμό, την εκτέλεση και την παρακολούθηση αποστολών UAV.

### **Βασικά στοιχεία του Flight Planning and Mission Management Tools**

#### *Λογισμικό Σχεδιασμού Αποστολής (Mission Planning Software)*

Εργαλείο που επιτρέπει τον σχεδιασμό της διαδρομής του UAV, καθορίζοντας σημεία πορείας (waypoints), ζώνες ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα καθήκοντα. Περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η εισαγωγή γεωγραφικών δεδομένων, η σχεδίαση διαδρομών και η προσαρμογή παραμέτρων πτήσης.

#### *Ενσωμάτωση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geospatial Information System (GIS) Integration)*

Επιτρέπει την χρήση γεωγραφικών δεδομένων για την ακριβή χαρτογράφηση της περιοχής πτήσης. Παρέχει εργαλεία για την ανάλυση και τη διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων, όπως χάρτες, δορυφορικές εικόνες και τρισδιάστατα μοντέλα τοπογραφίας.

### *Εργαλεία Προσομοίωσης και Προεπισκόπησης Πτήσης (Flight Simulation and Preview Tools)*

Εφαρμογές που επιτρέπουν την προσομοίωση της σχεδιασμένης αποστολής σε εικονικό περιβάλλον πριν την πραγματική πτήση. Βοηθούν στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και στη βελτιστοποίηση της αποστολής.

### *Αυτόματη Βελτιστοποίηση Διαδρομής (Automatic Route Optimization)*

Λειτουργίες που χρησιμοποιούν αλγόριθμους για τη βελτιστοποίηση της διαδρομής του UAV με βάση κριτήρια όπως η διάρκεια της πτήσης, η κατανάλωση καυσίμου, οι περιοχές αποφυγής και οι καιρικές συνθήκες.

### *Διεπαφή Διαχείρισης Αποστολής (Mission Management Interface)*

Εργαλείο που επιτρέπει την παρακολούθηση της προόδου της αποστολής σε πραγματικό χρόνο. Παρέχει δεδομένα όπως η τρέχουσα θέση του UAV, η κατάσταση των αισθητήρων και των συστημάτων, και επιτρέπει την τροποποίηση της αποστολής κατά τη διάρκεια της πτήσης.

### *Εργαλεία Καταγραφής και Ανάλυσης Δεδομένων (Data Logging and Analysis Tools)*

Συστήματα που καταγράφουν όλα τα δεδομένα πτήσης και αποστολής για μεταγενέστερη ανάλυση. Χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης του UAV και για την ανίχνευση και ανάλυση πιθανών προβλημάτων.

### *Ενσωμάτωση Μετεωρολογικών Δεδομένων (Weather Integration)*

Συμβατότητα με μετεωρολογικές υπηρεσίες για την απόκτηση δεδομένων καιρού σε πραγματικό χρόνο, όπως άνεμοι, θερμοκρασία και υγρασία, που μπορούν να επηρεάσουν την πτήση του UAV.

### *Εφεδρικοί Μηχανισμοί και Μηχανισμοί Ασφαλείας (Redundancy and Fail-Safe Mechanisms)*

Συστήματα που εξασφαλίζουν την συνέχιση της αποστολής σε περίπτωση αποτυχίας κάποιου από τα βασικά εργαλεία. Περιλαμβάνουν εφεδρικές λύσεις και πρωτόκολλα για την ασφαλή επιστροφή του UAV όπως είδαμε παραπάνω.

## 4.10 Εξοπλισμός υποστήριξης (Support Equipment)

Ο εξοπλισμός υποστήριξης (Support Equipment) περιλαμβάνει διάφορα βασικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση, την εκτέλεση αποστολών και τη γενική υποστήριξη του UAV.

## **Βασικά στοιχεία του Εξοπλισμού Υποστήριξης**

### *Σταθμός Φόρτισης (Charging Station)*

Ο σταθμός φόρτισης είναι ένα σημαντικό συστατικό εάν το UAV λειτουργεί με μπαταρίες. Παρέχει τη δυνατότητα φόρτισης των μπαταριών πριν από τις αποστολές.

### *Σύστημα Εκτόξευσης και Ανάκτησης (Launch and Recovery System)*

Τα συστήματα εκτόξευσης περιλαμβάνουν εκτοξευτές καταπέλτη, πνευματικούς σωλήνες εκτόξευσης και χειροκίνητους μηχανισμούς εκτόξευσης που είναι προσαρμοσμένοι να φιλοξενούν UAV διαφορετικών συντελεστών μορφής, κατηγοριών βάρους και απαιτήσεων αποστολής. Τα συστήματα ανάκτησης περιλαμβάνουν συστήματα σύλληψης διχτύων, εξοπλισμό σύλληψης και αυτόνομα βοηθήματα προσγείωσης που έχουν σχεδιαστεί για να διευκολύνουν τις προσγειώσεις ακριβείας, να ελαχιστοποιούν τα ίχνη προσγείωσης και να διασφαλίζουν την ασφαλή ανάκτηση των UAV μετά την ολοκλήρωση της αποστολής.

### *Εξοπλισμός Συντήρησης και Επισκευής (Maintenance and Repair Equipment)*

Περιλαμβάνει εργαλεία, ανταλλακτικά και άλλον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για τη συντήρηση και επισκευή του UAV, συμπεριλαμβανομένων των ελέγχων πριν από την απογείωση και μετά την προσγείωση.

### *Σύστημα Αποθήκευσης και Μεταφοράς (Storage and Transportation System)*

Αυτό περιλαμβάνει κατάλληλους χώρους αποθήκευσης και τα μέσα μεταφοράς για το UAV και τον σχετικό εξοπλισμό, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής μεταφορά του από και προς τις τοποθεσίες των αποστολών.

## **4.11 Επιχειρησιακοί παράμετροι του εξοπλισμού εδάφους**

Εκτός από τα ανωτέρω στοιχεία, οι επιχειρησιακοί παράμετροι διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας, της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας του GCS στο πλαίσιο των επιχειρήσεων UAV και της εκτέλεσης της αποστολής.

### *Εργονομία και ανθρώπινος παράγοντας*

Η εργονομία και ο ανθρώπινος παράγοντας αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού του GCS και του εξοπλισμού υποστήριξης, βελτιστοποιώντας τις διεπαφές χρήστη, τις διατάξεις ελέγχου και τις διαμορφώσεις σταθμών εργασίας για τη βελτίωση της άνεσης, της αποτελεσματικότητας και

της επίγνωσης της κατάστασης του χειριστή κατά τη διάρκεια εκτεταμένης διάρκειας αποστολής. Οι εργονομικά σχεδιασμένες κονσόλες ελέγχου, οι ρυθμιζόμενες διατάξεις καθισμάτων και οι αντιθαμβωτικές οθόνες ελαχιστοποιούν την κούραση του χειριστή και τον πληροφοριακό φόρτο εργασίας, επιτρέποντας διαρκή απόδοση και λειτουργική αποτελεσματικότητα σε διάφορα επιχειρησιακά περιβάλλοντα και προφίλ αποστολής.

#### *Διαλειτουργικότητα και Συνεργασία*

Οι αρχιτεκτονικές εξοπλισμού εδάφους θα πρέπει να παρουσιάζουν χαρακτηριστικά διαλειτουργικότητας και συνεργασίας για να διευκολύνουν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με συμμαχικές δυνάμεις, εταίρους συνασπισμού και κοινά περιβάλλοντα αποστολής. Τα τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα ανοιχτά πλαίσια αρχιτεκτονικής και οι διαδικασίες δοκιμών διαλειτουργικότητας επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ πλατφορμών, την ανταλλαγή πληροφοριών και τη συνεργασία αποστολών μεταξύ διαφορετικών UAS, επιχειρησιακών ενδιαφερομένων και συμμάχων, βελτιώνοντας τον συντονισμό της αποστολής και την κοινή επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα σε περιβάλλοντα αποστολών πολλαπλών τομέων και επιχειρησιακά θέατρα.

#### *Επεκτασιμότητα και αρθρωτός σχεδιασμός*

Ο εξοπλισμός εδάφους στο σύνολό του θα πρέπει να παρουσιάζει επεκτασιμότητα και αρχές αρθρωτού σχεδιασμού για να ικανοποιεί τις εξελισσόμενες απαιτήσεις αποστολής, επιχειρησιακά περιβάλλοντα και διαμορφώσεις πλατφόρμας χωρίς να απαιτούνται εκτεταμένες επενδύσεις υποδομής ή αντικαταστάσεις εξοπλισμού. Οι επεκτάσιμες αρχιτεκτονικές εξοπλισμού εδάφους, τα αρθρωτά στοιχεία και οι διαλειτουργικές διεπαφές επιτρέπουν στους χειριστές να προσαρμόζουν τα συστήματα υποστήριξης στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις αποστολών, αναβαθμίσεις πλατφόρμας και αναδυόμενες επιχειρησιακές προκλήσεις με ευελιξία και αποτελεσματικότητα, διασφαλίζοντας επιχειρησιακή ετοιμότητα και επιτυχία της αποστολής σε διάφορα προφίλ αποστολών και επιχειρησιακά θέατρα.

#### *Εκπαίδευση και επάρκεια χειριστή*

Η αποτελεσματική χρήση του GCS και του εξοπλισμού υποστήριξης βασίζεται στην εκπαίδευση των χειριστών αυτού, την επάρκεια και τη συμμόρφωση με τις τυποποιημένες διαδικασίες λειτουργίας (SOPs) που διέπουν τη λειτουργία του συνόλου των εξαρτημάτων, τις διαδικασίες συντήρησης και τα πρωτόκολλα ασφαλείας. Ολοκληρωμένα προγράμματα εκπαίδευσης, ασκήσεις πρακτικής άσκησης και αξιολογήσεις επάρκειας επιτρέπουν στο προσωπικό να αναπτύξει τις γνώσεις, τις δεξιότητες και τις ικανότητες που απαιτούνται για τη λειτουργία, συντήρηση και

υποστήριξη πλατφορμών GCS και λοιπού εξοπλισμού εδάφους με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, διασφαλίζοντας την ετοιμότητα της αποστολής και την επιχειρησιακή ανθεκτικότητα σε όλη τον επιχειρησιακό κύκλο ζωής του UAV.

## 5. Τεχνολογίες AI που αναβαθμίζουν τις επιχειρήσεις ISTAR

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα βασικά εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης (AI tools) καθώς και τεχνικές AI (AI-Powered Techniques), που χρησιμοποιούνται ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον σε UAVs που εκτελούν επιχειρήσεις Πληροφοριών, Παρακολούθησης, Απόκτησης Στόχου και Αναγνώρισης.

### 5.1 Αναγνώριση και ταξινόμηση στόχων. Ο αλγόριθμος YOLO (You Only Look Once)

Η αναγνώριση και ταξινόμηση στόχων αναφέρεται στην ικανότητα των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) που είναι εξοπλισμένα με αλγόριθμους AI να αναγνωρίζουν και να κατηγοριοποιούν διάφορους στόχους ενδιαφέροντος στο θέατρο επιχειρήσεων.

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης ανίχνευσης αντικειμένων μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στο ίδιο το UAV όσο και στον Σταθμό Ελέγχου Εδάφους (GCS), ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της αποστολής και τις δυνατότητες της πλατφόρμας UAV. Η ενσωματωμένη ανίχνευση αντικειμένων επιτρέπει στο UAV να εντοπίζει και να παρακολουθεί αυτόνομα στόχους ή ανωμαλίες σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να βασίζεται στη συνεχή επικοινωνία με τον Σταθμό Ελέγχου εδάφους. Αυτή η ικανότητα είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε σενάρια όπου η ταχεία απόκριση ή η λήψη αποφάσεων με χαμηλή καθυστέρηση είναι κρίσιμης σημασίας. Εναλλακτικά, σε σενάρια όπου ο εντοπισμός αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο δεν είναι απαραίτητος ή όπου οι υπολογιστικοί πόροι στο UAV είναι περιορισμένοι, μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι ανίχνευσης αντικειμένων στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους.

### Υπολογιστική Όραση (Computer Vision)

Η υπολογιστική όραση είναι ένα πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης και της επιστήμης των υπολογιστών που εστιάζει στο να επιτρέπει στους υπολογιστές να ερμηνεύουν και να κατανοούν οπτικές πληροφορίες από τον πραγματικό κόσμο, όπως ακριβώς κάνουν οι άνθρωποι με την όρασή τους. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη αλγορίθμων και τεχνικών για την εξαγωγή ουσιαστικών πληροφοριών από εικόνες ή βίντεο. Η ανίχνευση αντικειμένων, η οποία είναι η διαδικασία



εντοπισμού και ταξινόμησης αντικειμένων μέσα σε εικόνες ή καρτέ βίντεο, είναι μια από τις βασικές εφαρμογές του Computer Vision. Στην υπολογιστική όραση χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες και τεχνικές, όπως:

#### *Επεξεργασία εικόνας*

Περιλαμβάνει επεξεργασία εικόνων για βελτίωση της ποιότητάς τους, αφαίρεση θορύβου ή εξαγωγή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Τεχνικές όπως το φιλτράρισμα, η ανίχνευση ακμών και οι μορφολογικές λειτουργίες χρησιμοποιούνται συνήθως.

#### *Ανίχνευση και περιγραφή χαρακτηριστικών*

Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν τον εντοπισμό διακριτικών χαρακτηριστικών μέσα στις εικόνες, όπως γωνίες, άκρες ή σημεία κλειδιά. Στη συνέχεια δημιουργούνται σημάνσεις για να περιγράψουν αυτά τα χαρακτηριστικά, επιτρέποντας την ανίχνευση και την αντιστοίχιση τους σε διαφορετικές εικόνες.

#### *Μηχανική μάθηση (Machine Learning, ML)*

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, ιδιαίτερα οι τεχνικές βαθιάς μάθησης (deep learning), όπως τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN), έχουν γίνει ο ακρογωνιαίος λίθος των σύγχρονων συστημάτων ανίχνευσης αντικειμένων. Αυτοί οι αλγόριθμοι εκπαιδεύονται σε μεγάλα σύνολα δεδομένων σχολιασμένων εικόνων για να μάθουν μοτίβα και σχέσεις μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων.

#### *Εντοπισμός αντικειμένων*

Η ανίχνευση αντικειμένων συνήθως περιλαμβάνει όχι μόνο την αναγνώριση αντικειμένων αλλά και τον εντοπισμό τους εντός της εικόνας σχεδιάζοντας οριοθετημένα πλαίσια γύρω τους. Οι τεχνικές εντοπισμού στοχεύουν στον ακριβή προσδιορισμό της θέσης και του μεγέθους των αντικειμένων μέσα στις εικόνες.

#### *Ταξινόμηση και αναγνώριση*

Μόλις τα αντικείμενα ανιχνευθούν και εντοπιστούν εντός της εικόνας, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι ταξινόμησης όπως ο CNN και ο SVM (Support Vector Machine) για την ανάθεση ετικετών ή κατηγοριών σε αυτά τα αντικείμενα με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να αναγνωρίζει και να διακρίνει μεταξύ διαφορετικών τύπων αντικειμένων.

### *Αντιστοίχιση και παρακολούθηση χαρακτηριστικών*

Στο πλαίσιο της ανίχνευσης αντικειμένων μέσω UAVs, οι τεχνικές αντιστοίχισης και παρακολούθησης χαρακτηριστικών είναι σημαντικές για τη διατήρηση της συνέχειας στον εντοπισμό αντικειμένων σε διαδοχικά καρέ βίντεο ή εικόνων. Αυτές οι τεχνικές διασφαλίζουν ότι τα αντικείμενα μπορούν να αναγνωρίζονται και να παρακολουθούνται με συνέπεια καθώς κινούνται μέσα στη σκηνή.

Αξιοποιώντας αυτές τις τεχνολογίες και τεχνικές, η υπολογιστική όραση επιτρέπει στα UAVs να ανιχνεύουν και να εντοπίζουν αυτόνομα αντικείμενα ενδιαφέροντος στο περιβάλλον τους, καθιστώντας τα ανεκτίμητα εργαλεία για διάφορες εφαρμογές, όπως επιτήρηση, έρευνα και διάσωση, γεωργία και επιθεώρηση υποδομής.

## **Αλγόριθμοι Computer Vision**

Στον τομέα των αλγορίθμων υπολογιστικής όρασης, έχουν προκύψει δύο αξιοσημείωτες προσεγγίσεις για την εκτέλεση εργασιών ανίχνευσης αντικειμένων με αξιοσημείωτη αποτελεσματικότητα και ακρίβεια. Ένας τέτοιος αλγόριθμος είναι ο YOLO (You Only Look Once), ο οποίος έφερε επανάσταση στην ανίχνευση αντικειμένων εισάγοντας ένα ενοποιημένο πλαίσιο που εκτελεί την ανίχνευση αντικειμένων σε ένα μόνο πέρασμα μέσω του νευρωνικού δικτύου. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους που βασίζονται σε πολύπλοκους αγωγούς πολλαπλών σταδίων, το YOLO είναι ικανό να ανιχνεύει αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο με εντυπωσιακή ταχύτητα, διατηρώντας παράλληλα υψηλή ακρίβεια.

Ένας άλλος αξιοσημείωτος αλγόριθμος είναι η οικογένεια R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network), η οποία περιλαμβάνει μεθόδους όπως το Fast R-CNN και το Faster R-CNN. Το R-CNN προσεγγίζει την ανίχνευση αντικειμένων προτείνοντας μια στρατηγική με βάση την περιοχή, όπου οι υποψήφιες περιοχές αντικειμένων αρχικά δημιουργούνται και στη συνέχεια ταξινομούνται. Παρά το γεγονός ότι είναι υπολογιστικά απαιτητικές οι παραλλαγές R-CNN έχουν επιτύχει επιδόσεις αιχμής σε εργασίες ανίχνευσης αντικειμένων, ιδιαίτερα σε σενάρια που απαιτούν υψηλή ακρίβεια.

## **Ο αλγόριθμος YOLO**

Ο αλγόριθμος You Only Look Once (YOLO), ο οποίος βασίζεται στις αρχές του CNN που είδαμε παραπάνω, έχει αναδειχθεί ως μια θεμελιώδης προσέγγιση στον τομέα της ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο μέσα σε εικόνες. Το YOLO, το οποίο εισήχθη το 2015 από τους Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick και Ali Farhadi, προσφέρει ένα αποτελεσματικό και

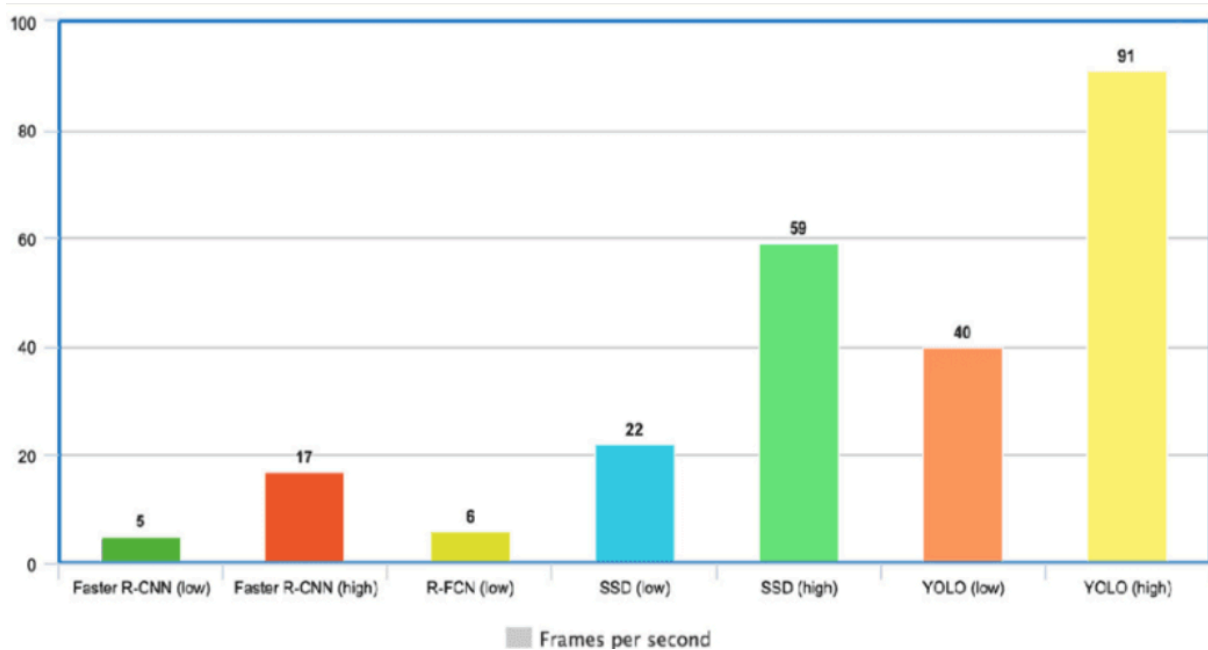
ενοποιημένο πλαίσιο για την ανίχνευση αντικειμένων διαιρώντας την εικόνα σε ένα πλέγμα και προβλέποντας οριοθετημένα πλαίσια και πιθανότητες ταξινόμησης σε κάθε κελί πλέγματος.

*Τι κάνει το YOLO δημοφιλές για την ανίχνευση αντικειμένων;*

Μερικοί από τους λόγους για τους οποίους η YOLO ηγείται του ανταγωνισμού περιλαμβάνουν:

- Ταχύτητα

Το YOLO είναι εξαιρετικά γρήγορο γιατί δεν ασχολείται με πολύπλοκους αγωγούς. Μπορεί να επεξεργαστεί εικόνες με ταχύτητα 45 καρέ ανά δευτερόλεπτο (FPS). Επιπλέον, το YOLO φθάνει πάνω από το διπλάσιο της μέσης μέσης ακρίβειας (mAP) σε σύγκριση με άλλα συστήματα σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που το καθιστά εξαιρετικό υποψήφιο για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα.



- Ακρίβεια ανίχνευσης

Το YOLO είναι πολύ πιο ακριβές από άλλα μοντέλα τελευταίας τεχνολογίας με πολύ λίγα σφάλματα.

- Καλή γενίκευση

Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις νέες εκδόσεις του YOLO. Με αυτές τις εξελίξεις, το YOLO προχώρησε λίγο παραπέρα παρέχοντας μια καλύτερη γενίκευση για νέους τομείς, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές που βασίζονται σε γρήγορο και ισχυρό εντοπισμό αντικειμένων.

- Ανοιχτή πηγή

Η δημιουργία του YOLO ως ανοιχτού κώδικα οδήγησε την κοινότητα να βελτιώνει συνεχώς το μοντέλο. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους το YOLO έχει κάνει τόσες πολλές βελτιώσεις σε τόσο περιορισμένο χρονικό διάστημα.

## **Κατανόηση του YOLO - Βασικές Έννοιες**

### *Single Shot Detection (SSD)*

Το YOLO ακολουθεί το παράδειγμα SSD, που σημαίνει ότι προβλέπει τα οριοθετημένα πλαίσια και τις πιθανότητες ταξινόμησης για αντικείμενα απευθείας από την εικόνα εισόδου σε ένα μόνο πέρασμα μέσω του νευρωνικού δικτύου. Αυτό οδηγεί σε σημαντικά ταχύτερους χρόνους συμπερασμάτων σε σύγκριση με ανιχνευτές δύο σταδίων όπως το Faster R-CNN.

### *Προσέγγιση βάσει πλέγματος*

Το YOLO λειτουργεί με την τεχνική της ανίχνευσης βάσει πλέγματος, όπου η εικόνα εισόδου χωρίζεται σε ένα πλέγμα κελιών. Κάθε κελί πλέγματος είναι υπεύθυνο για την πρόβλεψη οριοθετημένων πλαισίων και των σχετικών πιθανοτήτων ταξινόμησης. Τα οριοθετημένα πλαίσια παραμετροποιούνται από τις κεντρικές συντεταγμένες, το πλάτος, το ύψος και τη βαθμολογία εμπιστοσύνης. Επιπλέον, το YOLO υιοθετεί μια αρχιτεκτονική συνελκτικού νευρωνικού δικτύου για εξαγωγή και πρόβλεψη χαρακτηριστικών.

### *Πρόβλεψη οριοθέτησης*

Μέσα σε κάθε κελί πλέγματος, το YOLO προβλέπει οριοθετημένα πλαίσια που ενθυλακώνουν τη χωρική έκταση των ανιχνευόμενων αντικειμένων. Αυτά τα πλαίσια οριοθέτησης χαρακτηρίζονται από τις σχετικές θέσεις τους σε σχέση με το κελί του πλέγματος και συνοδεύονται από βαθμολογίες εμπιστοσύνης που υποδηλώνουν την πιθανότητα να περιέχει ένα αντικείμενο.

### *Πρόβλεψη ταξινόμησης*

Εκτός από τα πλαίσια οριοθέτησης, το YOLO προβλέπει πιθανότητες ταξινόμησης για κάθε αντικείμενο που ανιχνεύεται. Αυτό επιτρέπει στο YOLO να διακρίνει μεταξύ πολλαπλών κατηγοριών αντικειμένων που υπάρχουν σε μια δεδομένη εικόνα, διευκολύνοντας έτσι την πλήρη αναγνώριση αντικειμένων.

### *Anchor Boxes - NoN Maximum Suppression*

Για να βελτιώσει το σύνολο των ανιχνευόμενων αντικειμένων το YOLO χρησιμοποιεί επιλεκτικά κουτιά αγκύρωσης υψηλής εμπιστοσύνης ενώ απορρίπτει περιττές ανιχνεύσεις, για να βελτιώσει την ακρίβεια των προβλέψεων οριοθέτησης. Αυτά τα κουτιά αγκύρωσης χρησιμεύουν ως πρότυπα

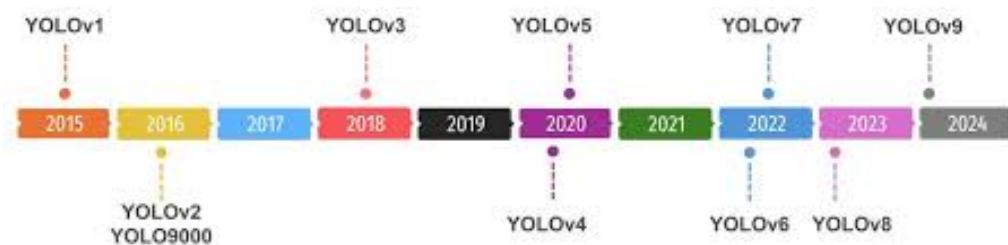
αναφοράς για διαφορετικά σχήματα και μεγέθη αντικειμένων, επιτρέποντας στο YOLO να εντοπίζει καλύτερα αντικείμενα με ποικίλους λόγους διαστάσεων.

### *Feature Pyramide Network*

Το YOLO χρησιμοποιεί μια πυραμίδα χαρακτηριστικών για την εξαγωγή χαρακτηριστικών σε διαφορετικές κλίμακες, επιτρέποντας την ανίχνευση αντικειμένων σε διάφορα μεγέθη και αναλύσεις εντός της εικόνας εισόδου.

## Εξέλιξη του YOLO

Από την πρώτη κυκλοφορία του YOLO το 2015, έχει εξελιχθεί πολύ με διαφορετικές εκδόσεις. Στη κάτωθι εικόνα φαίνεται η εξέλιξή του στην πάροδο του χρόνου.



## 5.2 Ενσωματώνοντας τον αλγόριθμο YOLO σε ένα UAV (YOLO-Based UAV Technology, YBUT)

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι απαιτήσεις και τα βήματα ενσωμάτωσης του αλγορίθμου YOLO σε ένα UAV. Η προσέγγιση αυτή σκοπό έχει την παροχή μιας εναλλακτικής και οικονομικά αποδοτικής λύσης για την αναβάθμιση υφιστάμενων ή φθηνότερων UAV με νέες δυνατότητες. Με την ανάπτυξη και υλοποίηση αυτής της τεχνολογίας, επιτυγχάνεται η εύκολη και προσιτή μετατροπή συμβατικών UAV σε αποτελεσματικά εργαλεία παρακολούθησης και αναγνώρισης με πλειάδα εφαρμογών, σε στρατιωτικό και μη επίπεδο.

Τα UAV βρίσκονται σε περίοδο ταχείας ανάπτυξης, ενώ επίσης η απόδοση ανίχνευσης στόχου με βάση τον αλγόριθμο You Only Look Once (YOLO) έχει φτάσει σε υψηλό επίπεδο στη βιομηχανία και συνεχίζει να εξελίσσεται. Αυτές οι δύο τεχνολογίες μπορούν να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν μια νέα τεχνολογία, την τεχνολογία UAV που βασίζεται στο YOLO ή YBUT (YOLO-Based UAV Technology). Τα UAV μπορούν να παρέχουν περισσότερα σενάρια εφαρμογών

UAV επόμενης γενιάς: αξιοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη (AI) για αναβαθμισμένες επιχειρήσεις Πληροφοριών, Επιτήρησης, Απόκτησης Στόχου και Αναγνώρισης (ISTAR)

για τον αλγόριθμο YOLO και ο αλγόριθμος YOLO αντίστοιχα μπορεί να βοηθήσει τα UAV να ολοκληρώσουν περισσότερες νέες αποστολές.

Σε στρατιωτικό πλαίσιο, η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια λύση που μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος και τον χρόνο ανάπτυξης ικανοτήτων κυρίως ISR σε ένα υφιστάμενο ή πιο οικονομικό UAV. Επιτυγχάνεται έτσι η ενίσχυση των δυνατοτήτων παρακολούθησης και αναγνώρισης των Ενόπλων Δυνάμεων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας των επιχειρήσεων.

Στην κάτωθι εικόνα βλέπουμε ένα παράδειγμα χρήσης του αλγορίθμου YOLOv5 σε UAV για την αναγνώριση στρατιωτικών οχημάτων και στρατιωτών. Η εικόνα αυτή αποτελεί την έξοδο του YOLOv5 που είναι το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας ανίχνευσης αντικειμένων. Αποτελείται από τα προβλεπόμενα πλαίσια οριοθέτησης, τις ετικέτες κλάσεων και τους βαθμούς εμπιστοσύνης για κάθε αντικείμενο που ανιχνεύεται.



## 5.2.1 Ρύθμιση Υλικού (Hardware Setup)

### **Ενσωματωμένος υπολογιστής**

#### *Ισχύς επεξεργασίας*

Η επιλογή ενός ενσωματωμένου υπολογιστή υψηλής απόδοσης είναι υψίστης σημασίας για την εκτέλεση του υπολογιστικά εντατικού αλγόριθμου YOLO σε πραγματικό χρόνο. Θα πρέπει να επιλεγούν επεξεργαστές πολλαπλών πυρήνων ή εξειδικευμένοι επιταχυντές τεχνητής νοημοσύνης (π.χ. GPU, TPU) που μπορούν να χειριστούν τους παράλληλους υπολογισμούς που απαιτούνται για εργασίες ανίχνευσης αντικειμένων.

#### *Μνήμη και αποθήκευση*

Πρέπει να διασφαλιστεί επαρκής μνήμη RAM και χωρητικότητα αποθήκευσης για την προσαρμογή του μοντέλου YOLO, των δεδομένων εισόδου και των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων. Αυτό θα αποτρέψει τα σημεία συμφόρησης στην απόδοση και θα διευκολύνει την απρόσκοπτη λειτουργία κατά τη διάρκεια παρατεταμένων αποστολών.

### **Σουίτα αισθητήρων**

Αναλόγως των αποστολών και του επιχειρησιακού περιβάλλοντος θα πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο να ενσωματωθούν συμπληρωματικοί αισθητήρες όπως LiDAR, αισθητήρες υπέρυθρων (IR) ή πολυφασματικές / υπερφασματικές κάμερες για να βελτιωθεί η επίγνωση της κατάστασης και τις δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν πολύτιμα συμπληρωματικά δεδομένα για την ανίχνευση ενδιαφέροντος και την πλοήγηση σε πολύπλοκα εδάφη.

### **Σύστημα επικοινωνίας**

Θα πρέπει να υπάρχει μια ισχυρή σύζευξη δεδομένων μεταξύ του UAV και του σταθμού ελέγχου εδάφους για την επικοινωνία και τη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι τεχνολογίες επικοινωνίας υψηλού εύρους ζώνης (π.χ. Wi-Fi, 4G/5G ή αποκλειστικές ραδιοζεύξεις) είναι ικανές να χειρίζονται μεγάλους όγκους δεδομένων που παράγονται από τον αλγόριθμο YOLO.

## 5.2.2 Ενσωμάτωση με το λογισμικό του UAV

### **Αρχιτεκτονική λογισμικού**

#### *Αρθρωτή Σχεδίαση*

Είναι ιδιαίτερα σημαντική η υιοθέτηση μιας αρθρωτής αρχιτεκτονικής λογισμικού που διευκολύνει την ενσωμάτωση του αλγόριθμου YOLO στην υπάρχουσα στοίβα λογισμικού. Τα αρθρωτά εξαρτήματα εξασφαλίζουν ευελιξία, επεκτασιμότητα και ευκολία συντήρησης, επιτρέποντας απρόσκοπτες ενημερώσεις και βελτιώσεις με την πάροδο του χρόνου.

#### *Ενσωμάτωση Διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών API*

Θα πρέπει να αναπτυχθούν διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (Application Programming Interfaces, API) ή βιβλιοθήκες λογισμικού για να ενσωματωθεί η λειτουργικότητα του αλγορίθμου YOLO. Τα API αφαιρούν τις υποκείμενες λεπτομέρειες υλοποίησης, επιτρέποντας την απρόσκοπτη ενοποίηση με άλλες ενότητες λογισμικού και διευκολύνοντας τη διαλειτουργικότητα σε διαφορετικές πλατφόρμες και περιβάλλοντα.

### **Αγωγός επεξεργασίας εικόνας (Image Processing Pipeline)**

#### *Λήψη εικόνας σε πραγματικό χρόνο*

Θα πρέπει να εφαρμοστεί ένας αγωγός απόκτησης εικόνων σε πραγματικό χρόνο για τη λήψη εικόνων ή καρέ βίντεο από την ενσωματωμένη κάμερα του UAV. Επίσης θα πρέπει να βελτιστοποιηθούν οι παράμετροι λήψης εικόνας (π.χ. ρυθμός καρέ, ανάλυση) για να εξισορροπιστεί η ταχύτητα επεξεργασίας με την ποιότητα της εικόνας, διασφαλίζοντας τη συμβατότητα με τις απαιτήσεις εισαγωγής του αλγόριθμου YOLO.

#### *Προεπεξεργασία*

Έχει ιδιαίτερη σημασία η προεπεξεργασία των ληφθέντων εικόνων για να βελτιωθεί η καταλληλότητά τους για εργασίες ανίχνευσης αντικειμένων. Οι κοινές τεχνικές προεπεξεργασίας περιλαμβάνουν την αλλαγή μεγέθους, την κανονικοποίηση και τη μετατροπή χρωματικού χώρου για την τυποποίηση των δεδομένων εισόδου και τη βελτίωση της απόδοσης του αλγορίθμου YOLO.

### **Ενσωμάτωση αλγορίθμου YOLO**

#### *Φόρτωση μοντέλου*

Θα πρέπει να φορτωθεί το προεκπαιδευμένο μοντέλο YOLO στη μνήμη κατά την προετοιμασία του συστήματος. Είναι πολύ σημαντική η επιλογή της κατάλληλης έκδοσης του YOLO (π.χ. YOLOv3, YOLOv4) με βάση τις απαιτήσεις απόδοσης και τους υπολογιστικούς περιορισμούς. Τέλος, είναι



εξίσου σημαντική η χρήση κατάλληλων πλαισίων και μοντέλων ανοιχτού κώδικα για την εκπαίδευση και εκτέλεση του YOLO (π.χ. Darknet, TensorFlow, ONNX).

### *Μηχανή συμπερασμάτων*

Θα πρέπει εν συνεχεία να εφαρμοστεί μια μηχανή συμπερασμάτων για την εκτέλεση ανίχνευσης αντικειμένων χρησιμοποιώντας το φορτωμένο μοντέλο YOLO. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές επιτάχυνσης του hardware (π.χ. GPU, TPU) και βελτιστοποιημένες βιβλιοθήκες συμπερασμάτων (π.χ. CUDA, TensorRT) για να επιταχυνθεί η εξαγωγή συμπερασμάτων μοντέλου και να επιτευχθεί απόδοση σε πραγματικό χρόνο.

## **Ανίχνευση και παρακολούθηση αντικειμένων**

### *Πρόβλεψη οριοθέτησης πλαισίου*

Θα πρέπει να γίνει επεξεργασία στην έξοδο του αλγόριθμου YOLO για να εξαχθούν οριοθετημένα πλαίσια και βαθμολογίες εμπιστοσύνης για τα ανιχνευμένα αντικείμενα. Επίσης είναι σημαντική η εφαρμογή τεχνικών μετά την επεξεργασία (π.χ. Non max. suppression) για να φιλτραριστούν και να τελειοποιηθούν τα αντικείμενα που ανιχνεύθηκαν, εξαλείφοντας τις περιττές ανιχνεύσεις και βελτιώνοντας την ακρίβεια εντοπισμού.

### *Ταξινόμηση αντικειμένων*

Θα πρέπει να ταξινομηθούν τα αντικείμενα που ανιχνεύονται με βάση τις σημασιολογικές τους κατηγορίες (π.χ. οχήματα, άτομα, κτίρια) χρησιμοποιώντας την έξοδο πιθανοτήτων ταξινόμησης από τον αλγόριθμο YOLO. Θα πρέπει να εκχωρηθούν μοναδικά αναγνωριστικά σε αντικείμενα που παρακολουθούνται για να διευκολυνθεί η διατήρηση και η συσχέτιση των αντικειμένων σε διαδοχικά πλαίσια.

## **Ενσωμάτωση δοκιμής και επικύρωσης**

### *Δοκιμή μονάδας*

Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σχολαστική δοκιμή μονάδας στα μεμονωμένα στοιχεία λογισμικού για να επαληθευτεί η ορθότητα και η λειτουργικότητά τους. Στο πλαίσιο αυτό θα πρέπει να γίνει χρήση εικονικών αντικειμένων και εξοπλισμού δοκιμής για να απομονωθούν οι εξαρτήσεις και να διασφαλιστεί αξιόπιστη συμπεριφορά σε διαφορετικά σενάρια και περιστατικά ακραίων περιπτώσεων.

### *Έλεγχος ενσωμάτωσης*

Τέλος, θα πρέπει να εκτελεστούν ολοκληρωμένες δοκιμές για να επικυρωθεί η λειτουργικότητα από άκρο σε άκρο του ενσωματωμένου συστήματος και να ελεγχθεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ λειτουργικών μονάδων λογισμικού, στοιχείων υλικού και εξωτερικών διεπαφών για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των προβλημάτων ενσωμάτωσης προληπτικά.

## **Βελτιστοποίηση και συντονισμός απόδοσης**

### *Διαμόρφωση προφίλ και συγκριτική αξιολόγηση*

Θα πρέπει να προσδιοριστεί η απόδοση του ολοκληρωμένου συστήματος για να εντοπιστούν τα σημεία συμφόρησης απόδοσης και τους τομείς που χρήζουν βελτιστοποίησης. Επιπρόσθετα είναι απαραίτητη η σύγκριση του συστήματος υπό διάφορες συνθήκες φόρτου εργασίας για να αξιολογηθεί η επεκτασιμότητα, η χρήση πόρων και η ανταπόκρισή του.

### *Αλγοριθμική Βελτιστοποίηση*

Τέλος θα χρειαστεί να γίνει βελτιστοποίηση της εφαρμογής του αλγορίθμου YOLO και των σχετικών αγωγών επεξεργασίας δεδομένων για τη βελτίωση της υπολογιστικής απόδοσης και τη μείωση της καθυστέρησης εξαγωγής συμπερασμάτων. Θα πρέπει να εξερευνηθούν αλγοριθμικές βελτιστοποιήσεις (π.χ. κλάδεμα μοντέλων (model pruning), κβαντοποίηση (quantization)) για να μειωθεί το μέγεθος του μοντέλου και να επιταχυνθεί η ταχύτητα εξαγωγής συμπερασμάτων χωρίς να θυσιάζεται η ακρίβεια.

### 5.2.3 Ρύθμιση της κάμερας

Το UAV θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με κάμερα υψηλής ποιότητας που παρέχει καθαρές και λεπτομερείς εικόνες ή ροές βίντεο. Η κάμερα θα πρέπει να μπορεί να καταγράφει εικόνες ή καρέ βίντεο σε επαρκή ανάλυση για ανίχνευση αντικειμένων.

Η ρύθμιση της κάμερας είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για την αξιοποίηση του αλγορίθμου YOLO (You Only Look Once) σε επιχειρήσεις ISTAR με UAVs. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα κάμερας εξασφαλίζει βέλτιστη ποιότητα εικόνας, κάλυψη οπτικού πεδίου και περιβαλλοντική προσαρμοστικότητα για αποτελεσματική ανίχνευση και παρακολούθηση αντικειμένων.

## **Επιλογή κάμερας**

### *Υψηλή ανάλυση*

Είναι σημαντικό να επιλεγεί μια κάμερα με δυνατότητες απεικόνισης υψηλής ανάλυσης για τη λήψη καθαρών και λεπτομερών εικόνων ή καρέ βίντεο. Η υψηλότερη ανάλυση επιτρέπει πιο ακριβείς λεπτομέρειες αντικειμένων και βελτιωμένη ακρίβεια ανίχνευσης, ειδικά για μικρά ή μακρινά αντικείμενα.

### *Ρυθμός καρέ*

Επίσης είναι σημαντικό η κάμερα να έχει υψηλό ρυθμό καρέ για να ελαχιστοποιείται το θάμπωμα της κίνησης και να εξασφαλιστεί ομαλή αναπαραγωγή βίντεο. Οι υψηλότεροι ρυθμοί καρέ επιτρέπουν την παρακολούθηση και ανάλυση δυναμικών σκηνών σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την επίγνωση της κατάστασης .

### *Απόδοση χαμηλού φωτισμού*

Ακόμα θα πρέπει η κάμερα να έχει ανώτερη απόδοση σε χαμηλό φωτισμό για να διατηρηθεί η ποιότητα της εικόνας σε δύσκολες συνθήκες φωτισμού, όπως η αυγή, το σούρουπο ή οι νυχτερινές λειτουργίες. Λειτουργίες όπως αισθητήρες με οπίσθιο φωτισμό, μεγάλο δυναμικό εύρος (Wide Dynamic Range, WDR) και ευαισθησία σε χαμηλό φωτισμό ενισχύουν την ορατότητα και τις δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε περιβάλλοντα χαμηλού φωτισμού.

## **Διαμόρφωση φακού**

### *Μεταβλητό εστιακό μήκος*

Θα πρέπει να γίνεται χρήση φακών με μεταβλητή εστιακή απόσταση για να προσαρμόζεται το οπτικό πεδίο (Field of View, FOV) και το επίπεδο ζουμ σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αποστολής. Οι φακοί μεταβλητού εστιακού μήκους παρέχουν ευελιξία στη λήψη ευρυγώνιων πανοραμικών ή στη μεγέθυνση σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος για λεπτομερή έλεγχο.

### *Μέγεθος διαφράγματος*

Θα πρέπει να εξεταστεί το μέγεθος του διαφράγματος του φακού για να ελεγχθεί η ποσότητα του φωτός που εισέρχεται στον αισθητήρα της κάμερας. Τα μεγαλύτερα ανοίγματα επιτρέπουν καλύτερες δυνατότητες συλλογής φωτός και βελτιωμένη απόδοση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, ενώ τα μικρότερα ανοίγματα παρέχουν μεγαλύτερο βάθος πεδίου για πιο ευκρινή εστίαση σε μεγαλύτερο εύρος αποστάσεων.

### *Σταθεροποίηση οπτικής εικόνας (OIS - Optical Image Stabilization)*

Επίσης θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν φακοί με σταθεροποιητή οπτικής εικόνας για να μειωθεί το κούνημα της κάμερας και το θάμπωμα κίνησης που προκαλείται από κίνηση του UAV ή διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Το OIS εξασφαλίζει πιο ευκρινείς εικόνες και πιο ομαλό υλικό βίντεο, βελτιώνοντας την ποιότητα του εντοπισμού και της παρακολούθησης αντικειμένων.

## **Περιβαλλοντική προσαρμοστικότητα**

### *Αντοχή στις καιρικές συνθήκες*

Οι κάμερες θα πρέπει να έχουν οι ίδιες περίβλημα ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες ή προστατευτικό κάλυμμα για να αντέχουν την έκθεση σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως βροχή, άνεμος, σκόνη και ακραίες θερμοκρασίες. Οι στεγανοποιημένες από τις καιρικές συνθήκες κάμερες εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία και μακροζωία σε απαιτητικά εξωτερικά περιβάλλοντα.

### *Θερμική Απεικόνιση*

Θα πρέπει επίσης να εξεταστεί το ενδεχόμενο να ενσωματωθούν κάμερες θερμικής απεικόνισης μαζί με κάμερες ορατού φωτός για να βελτιωθούν οι δυνατότητες ανίχνευσης, ειδικά για τον εντοπισμό στόχων ή αντικειμένων με διακριτές θερμικές υπογραφές. Η θερμική απεικόνιση παρέχει πολύτιμα συμπληρωματικά δεδομένα για την αναγνώριση αντικειμένων σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας ή που καλύπτονται από το φύλλωμα ή το καμουφλάζ.

## **Τοποθέτηση και σταθεροποίηση**

### *Σταθεροποίηση*

Η κάμερα θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα σύστημα σταθεροποίησης με αναρτήρες για να ελαχιστοποιηθούν οι κραδασμοί και να εξασφαλιστεί σταθερό βίντεο κατά τη διάρκεια της πτήσης. Η σταθεροποίηση με αναρτήρες αντισταθμίζει τις κινήσεις του UAV και τις εξωτερικές διαταραχές, διατηρώντας μια σταθερή πλατφόρμα για ακριβή εντοπισμό και παρακολούθηση αντικειμένων.

### *Επιλογές τοποθέτησης*

Θα πρέπει να διερευνηθούν διάφορες επιλογές τοποθέτησης, συμπεριλαμβανομένων σταθερών στηριγμάτων, στηριγμάτων που επιτρέπουν την περιστροφή, κλίση και ζουμ (Pan-Tilt-Zoom) ή ειδικά σχεδιασμένων συστημάτων με αναρτήρες, ανάλογα με τις απαιτήσεις αποστολής και τους περιορισμούς ωφέλιμου φορτίου. Θα πρέπει επίσης η κάμερα να τοποθετηθεί με ασφάλεια για να αποτραπεί ανεπιθύμητη κίνηση ή κακή ευθυγράμμιση κατά τη διάρκεια της πτήσης.

## **Βαθμονόμηση και ευθυγράμμιση**

### *Βαθμονόμηση κάμερας*

Θα πρέπει να εκτελεστεί βαθμονόμηση του συστήματος της κάμερας για διορθώσεις σε παραμορφώσεις φακού, εφέ προοπτικής και γεωμετρικούς μετασχηματισμούς. Η σωστή βαθμονόμηση εξασφαλίζει ακριβείς χωρικές μετρήσεις και εντοπισμό αντικειμένων, απαραίτητα για την ακριβή ανίχνευση και παρακολούθηση αντικειμένων.

### *Ευθυγράμμιση με τη κατεύθυνση πτήσης*

Το οπτικό πεδίο της κάμερας θα πρέπει να ευθυγραμμιστεί με την κατεύθυνση πτήσης του UAV για να μεγιστοποιηθεί η κάλυψη της περιοχής επιτήρησης και να βελτιστοποιηθεί η απόδοση ανίχνευσης αντικειμένων. Επίσης απαιτείται να προσαρμοστεί η γωνία και ο προσανατολισμός της κάμερας για να διατηρηθεί μια καθαρή οπτική γωνία και να ελαχιστοποιηθούν τα κρυφά σημεία που προκαλούνται από δομικά στοιχεία του UAV ή εξαρτήματα ωφέλιμου φορτίου.

## 5.2.4 Συλλογή δεδομένων και εκπαίδευση του αλγορίθμου

Η σημασία της συλλογής δεδομένων και της εκπαίδευσης για την ενσωμάτωση του αλγορίθμου YOLO σε ένα UAV που εκτελεί αποστολές ISTAR έγκειται στην ενίσχυση της ακρίβειας, της προσαρμοστικότητας, της στιβαρότητας και της αποτελεσματικότητάς του στον εντοπισμό και την αναγνώριση αντικειμένων ενδιαφέροντος σε δυναμικά και απαιτητικά περιβάλλοντα. Αυτή η διαδικασία διασφαλίζει ότι ο αλγόριθμος μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά τους στόχους της αποστολής παρέχοντας έγκαιρα αξιόπιστες πληροφορίες στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων.

### *Ποιότητα δεδομένων και ακρίβεια*

Η ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του αλγορίθμου YOLO επηρεάζει άμεσα την ποιότητα και την ακρίβειά του στον εντοπισμό και την αναγνώριση αντικειμένων ενδιαφέροντος. Τα UAV που λειτουργούν σε αποστολές τέτοιου είδους αντιμετωπίζουν διαφορετικά περιβάλλοντα, συνθήκες φωτισμού και τύπους αντικειμένων. Επομένως, η συλλογή περιεκτικών και διαφορετικών συνόλων δεδομένων διασφαλίζει ότι ο αλγόριθμος μπορεί να ανιχνεύσει και να ταξινομήσει με ακρίβεια αντικείμενα κάτω από διάφορες συνθήκες.

### *Προσαρμοστικότητα σε απαιτήσεις αποστολής*

Διαφορετικές αποστολές ISTAR έχουν συγκεκριμένες κατηγορίες στόχων ή σενάρια που απαιτούν ιεράρχηση προτεραιοτήτων. Με την επιμέλεια συνόλων δεδομένων εκπαίδευσης, προσαρμοσμένων

στους στόχους της αποστολής, ο αλγόριθμος YOLO μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια ώστε να επικεντρώνεται στον αποτελεσματικό εντοπισμό σχετικών αντικειμένων. Για παράδειγμα, εάν η αποστολή περιλαμβάνει ανίχνευση στρατιωτικών οχημάτων σε δασώδη περιοχή, ο αλγόριθμος θα πρέπει να εκπαιδευτεί σε δεδομένα που περιέχουν εικόνες τέτοιων οχημάτων σε παρόμοια περιβάλλοντα.

#### *Ανθεκτικότητα στην περιβαλλοντική μεταβλητότητα*

Οι αποστολές ISTAR πραγματοποιούνται συχνά σε δυναμικά και απρόβλεπτα περιβάλλοντα. Ο αλγόριθμος YOLO πρέπει να εκπαιδευτεί σε διάφορα σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνουν παραλλαγές στις καιρικές συνθήκες, τους τύπους εδάφους και τους προσανατολισμούς των αντικειμένων. Αυτό διασφαλίζει ότι παραμένει στιβαρό και αξιόπιστο ακόμη και σε δύσκολες καταστάσεις, όπως συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή ακατάστατο φόντο.

#### *Ελαχιστοποίηση ψευδών θετικών και αρνητικών*

Τα ψευδώς θετικά (εσφαλμένη αναγνώριση αντικειμένων μη-στόχων ως στόχοι) και τα ψευδώς αρνητικά (αποτυχία εντοπισμού πραγματικών στόχων) μπορούν να υπονομεύσουν την αποτελεσματικότητα των αποστολών ISTAR. Μέσω της σχολαστικής συλλογής δεδομένων και του σχολιασμού, η εκπαιδευτική διαδικασία στοχεύει στην ελαχιστοποίηση αυτών των σφαλμάτων παρέχοντας στον αλγόριθμο επαρκή παραδείγματα αντικειμένων-στόχων από διαφορετικές προοπτικές, αποστάσεις και αποφράξεις.

#### *Βελτιστοποίηση για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο*

Τα UAV που λειτουργούν σε αποστολές ISTAR απαιτείται συχνά να έχουν δυνατότητες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο ή σχεδόν σε πραγματικό χρόνο για να παρέχουν έγκαιρη πληροφορία στους χειριστές στο έδαφος. Η εκπαίδευση του αλγόριθμου YOLO με έμφαση στην υπολογιστική αποτελεσματικότητα διασφαλίζει ότι μπορεί να εκτελέσει εργασίες ανίχνευσης αντικειμένων γρήγορα χωρίς συμβιβασμούς στην ακρίβεια. Αυτή η βελτιστοποίηση μπορεί να περιλαμβάνει τεχνικές όπως κλάδεμα μοντέλου (model pruning) και η κβαντοποίηση (quantization), ή τροποποιήσεις αρχιτεκτονικής για να ταιριάζουν στους υπολογιστικούς περιορισμούς του ενσωματωμένου υλικού του UAV.

### 5.2.5 Έτερες αποστολές που μπορεί να αναλάβει ένα YOLO UAV

Παρακάτω αναφέρονται οι πιο σημαντικές εφαρμογες της τεχνολογίας YBUT, πέραν του στρατιωτικού τομέα. Είναι βέβαιο ότι στο μέλλον η λίστα αυτή θα εμπλουτιστεί με νέα πεδία.

#### **Search and Rescue**

Στις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης, η ενσωμάτωση των YOLO UAV σηματοδοτεί ένα μεταμορφωτικό άλμα στην αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα. Οι δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο του YOLO επιτρέπουν την ταχεία αναγνώριση ατόμων που βρίσκονται σε κίνδυνο ή επικίνδυνες συνθήκες, μειώνοντας δραστικά τους χρόνους απόκρισης και επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση. Η ικανότητά του να επεξεργάζεται τεράστιες ποσότητες οπτικών δεδομένων με ένα μόνο πέρασμα ενισχύει την επίγνωση της κατάστασης, βοηθώντας τις ομάδες διάσωσης να αξιολογήσουν γρήγορα την έκταση μιας περιοχής καταστροφής και να εντοπίσουν κρίσιμα σημεία για παρέμβαση. Επιπλέον, τα YOLO UAV προσφέρουν απaráμιλλη προσαρμοστικότητα σε διαφορετικά περιβάλλοντα, από κακοτράχαλα εδάφη έως αστικά τοπία, εξασφαλίζοντας ολοκληρωμένη κάλυψη και μεγιστοποιώντας τις πιθανότητες εντοπισμού και διάσωσης επιζώντων.

#### **Παρακολούθηση άγριας και θαλάσσιας ζωής**

Στις επιχειρήσεις παρακολούθησης της άγριας ζωής και της θαλάσσιας ζωής, η ενσωμάτωση των YOLO UAV προαναγγέλλει μια πρωτοποριακή εποχή επιτήρησης και διατήρησης. Αξιοποιώντας τις προηγμένες δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα YOLO UAV επιτρέπουν στους ερευνητές και τους οικολόγους να εντοπίζουν και να παρακολουθούν γρήγορα τα είδη-στόχους, διευκολύνοντας τις εκτιμήσεις πληθυσμού και τις μελέτες συμπεριφοράς με πρωτοφανή ακρίβεια. Με αυτόνομη σάρωση τεράστιων εκτάσεων εδάφους ή ωκεανού, αυτά τα UAV παρέχουν ολοκληρωμένη κάλυψη, επιτρέποντας την αποτελεσματική παρακολούθηση άπιαστων ή απειλούμενων ειδών σε απομακρυσμένους ή απρόσιτους οικοτόπους. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να ανιχνεύει και να ταξινομεί αντικείμενα σε ακατάστατα και δυναμικά περιβάλλοντα εξασφαλίζει ακριβή συλλογή δεδομένων ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες.

#### **Επιθεώρηση υποδομών / κατασκευών**

Στον τομέα των αποστολών υποδομής και δομικής επιθεώρησης, η ανάπτυξη ενός YOLO UAV σηματοδοτεί μια καθοριστική πρόοδο στις μεθοδολογίες επιθεώρησης, προαναγγέλλοντας πρωτοφανή αποτελεσματικότητα και ακρίβεια. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, το YOLO UAV απλοποιεί τον εντοπισμό πιθανών δομικών ελαττωμάτων, ανωμαλιών ή κινδύνων με αξιοσημείωτη ταχύτητα και ακρίβεια. Καλύπτοντας

γρήγορα εκτεταμένες περιοχές και παρέχοντας εικόνες υψηλής ανάλυσης, δίνει τη δυνατότητα στους επιθεωρητές να διεξάγουν διεξοδικές αξιολογήσεις, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το χρόνο διακοπής λειτουργίας και τους κινδύνους ασφάλειας που σχετίζονται με τις χειροκίνητες επιθεωρήσεις.

### **Αγροτική καλλιέργεια ακριβείας**

Σε αποστολές γεωργίας ακριβείας, η ενσωμάτωση των YOLO UAV αντιπροσωπεύει μια μεταμορφωτική πρόοδο στη γεωργική απόδοση και βιωσιμότητα. Αξιοποιώντας τις προηγμένες δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα YOLO UAV επιτρέπουν στους αγρότες να παρακολουθούν σχολαστικά την υγεία των καλλιεργειών, να εντοπίζουν παράσιτα και ασθένειες και να βελτιστοποιούν την κατανομή των πόρων με πρωτοφανή ακρίβεια. Σε αυτόνομα τοπογραφικά χωράφια και οπωρώνες, αυτά τα UAV παρέχουν ολοκληρωμένα χωρικά δεδομένα, δίνοντας τη δυνατότητα στους αγρότες να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, από την άρδευση ακριβείας έως τη στοχευμένη εφαρμογή φυτοφαρμάκων. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να επεξεργάζεται γρήγορα τεράστιες ποσότητες οπτικών πληροφοριών διασφαλίζει την έγκαιρη παρέμβαση, μετριάζοντας τις απώλειες των καλλιεργειών και μεγιστοποιώντας τις αποδόσεις.

### **Παρακολούθηση περιβάλλοντος**

Σε αποστολές περιβαλλοντικής παρακολούθησης, η ανάπτυξη των YOLO UAV σηματοδοτεί μια αλλαγή παραδείγματος προς πιο αποτελεσματική και ολοκληρωμένη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Αξιοποιώντας τις υπερσύγχρονες δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα YOLO UAV επιτρέπουν σε ερευνητές και περιβαλλοντικούς φορείς να παρακολουθούν τα οικοσυστήματα με απaráμιλλη ακρίβεια και ταχύτητα. Αυτά τα UAV μπορούν να αναγνωρίσουν και να ταξινομήσουν γρήγορα διάφορα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, και τύπους κάλυψης γης, διευκολύνοντας τις αξιολογήσεις βιοποικιλότητας, την παρακολούθηση των οικοτόπων και τις αξιολογήσεις της υγείας των οικοσυστημάτων. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να καλύπτει μεγάλες περιοχές σε μία πτήση και να επεξεργάζεται τεράστιες ποσότητες οπτικών δεδομένων εξορθολογίζει τις προσπάθειες παρακολούθησης και ενισχύει την επίγνωση της κατάστασης, υποστηρίζοντας τελικά την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης.

### **Διαχείριση κυκλοφορίας**

Σε αποστολές διαχείρισης της κυκλοφορίας, η χρήση των YOLO UAV αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόοδο στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας των μεταφορών. Αξιοποιώντας τις προηγμένες δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα



YOLO UAV επιτρέπουν στις αρχές ρύθμισης κυκλοφορίας να παρακολουθούν τα οδικά δίκτυα με απaráμιλλη ακρίβεια και απόκριση. Αυτά τα UAV μπορούν να ανιχνεύουν και να ταξινομούν γρήγορα οχήματα, πεζούς και πιθανούς κινδύνους, διευκολύνοντας την ανάλυση ροής της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, τη διαχείριση συμφόρησης και την πρόληψη ατυχημάτων. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να καλύπτει μεγάλες περιοχές και να επεξεργάζεται γρήγορα οπτικά δεδομένα απλοποιεί τις προσπάθειες παρακολούθησης, παρέχοντας στις ομάδες διαχείρισης της κυκλοφορίας έγκαιρες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων και την παρέμβαση.

### **Ασφάλεια εκδηλώσεων**

Σε αποστολές ασφαλείας εκδηλώσεων, η ανάπτυξη των YOLO UAV σηματοδοτεί ένα άλμα στη διασφάλιση της ασφαλείας και της ασφάλειας μεγάλων συγκεντρώσεων και χώρων. Αξιοποιώντας τις υπερσύγχρονες δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα YOLO UAV επιτρέπουν στο προσωπικό ασφαλείας να διεξάγει ολοκληρωμένη εναέρια επιτήρηση με απaráμιλλη αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα. Αυτά τα UAV μπορούν να ανιχνεύουν και να προσδιορίζουν γρήγορα πιθανές απειλές για την ασφάλεια, να παρακολουθούν τις κινήσεις του πλήθους και να παρέχουν επίγνωση της κατάστασης σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας μέτρα προληπτικής απόκρισης. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να καλύπτει εκτεταμένες περιοχές και να επεξεργάζεται γρήγορα οπτικά δεδομένα ενισχύει την ικανότητα των ομάδων ασφαλείας να προβλέπουν και να μετριάζουν τους κινδύνους, προστατεύοντας τελικά τους συμμετέχοντες και τα περιουσιακά στοιχεία.

### **Περιπολία συνόρων και επιτήρηση ακτών**

Σε αποστολές περιπολίας συνόρων και ακτοπλοϊκής επιτήρησης, η ενσωμάτωση των YOLO UAV σηματοδοτεί μια καθοριστική πρόοδο στην ενίσχυση της ασφαλείας των συνόρων και της ευαισθητοποίησης στον θαλάσσιο τομέα. Αξιοποιώντας τις προηγμένες δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα YOLO UAV επιτρέπουν στις υπηρεσίες περιπολίας συνόρων και ακτοπλοϊκής επιτήρησης να διεξάγουν εναέρια αναγνωρίσεις με πρωτοφανή αποτελεσματικότητα και ακρίβεια. Αυτά τα UAV μπορούν να ανιχνεύουν και να ταξινομούν γρήγορα πλοία, οχήματα και πιθανές απειλές, παρέχοντας έγκαιρες ειδοποιήσεις στο προσωπικό ασφαλείας για αναχαίτιση και απόκριση. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να καλύπτει τεράστιες εκτάσεις γης και θάλασσας με μία μόνο πτήση, σε συνδυασμό με την ταχεία επεξεργασία οπτικών δεδομένων, ενισχύει τις δυνατότητες παρακολούθησης και την επίγνωση της κατάστασης κατά μήκος των συνόρων και των ακτών.

## **Χαρτογράφηση και τοπογραφία**

Σε αποστολές χαρτογράφησης και τοπογραφίας, η ενσωμάτωση των YOLO UAV αντιπροσωπεύει μια αλλαγή παραδείγματος στην ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της συλλογής και ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων. Αξιοποιώντας τις πρωτοποριακές του δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα YOLO UAV επιτρέπουν στις ομάδες τοπογραφίας να εντοπίζουν και να ταξινομούν γρήγορα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος, συμπεριλαμβανομένων των περιγραμμάτων του εδάφους, της βλάστησης και των δομών, με απaráμιλλη ακρίβεια. Αυτά τα UAV μπορούν να πλοηγηθούν αυτόνομα σε πολύπλοκα τοπία, καλύπτοντας μεγάλες περιοχές σε μία πτήση, ενώ επεξεργάζονται γρήγορα οπτικά δεδομένα για τη δημιουργία λεπτομερών τοπογραφικών χαρτών και μοντέλων 3D. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να ανιχνεύει και να ταξινομεί αντικείμενα σε διαφορετικά περιβάλλοντα εξασφαλίζει ολοκληρωμένη συλλογή δεδομένων, διευκολύνοντας ακριβείς μετρήσεις υψομέτρου, εκτιμήσεις χρήσης γης και σχεδιασμό υποδομής.

## **Πυρασφάλεια και έλεγχο πυρκαγιών**

Σε αποστολές πυρασφάλειας και ελέγχου πυρκαγιάς, η ενσωμάτωση των YOLO UAV σηματοδοτεί μια επαναστατική πρόοδο στις στρατηγικές προληπτικής ανίχνευσης και απόκρισης πυρκαγιάς. Αξιοποιώντας τις υπερσύγχρονες δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα UAV αυτά δίνουν τη δυνατότητα στις ομάδες πυρόσβεσης να εντοπίζουν και να παρακολουθούν γρήγορα τις εστίες πυρκαγιάς με απaráμιλλη ταχύτητα και ακρίβεια. Επίσης τα YOLO UAV μπορούν αυτόνομα να περιπολούν τεράστιες περιοχές, αναλύοντας γρήγορα οπτικά δεδομένα για να ανιχνεύσουν φλόγες, καπνό και ενεργές εστίες, ακόμη και σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Παρέχοντας επίγνωση της κατάστασης σε πραγματικό χρόνο, το YOLO δίνει τη δυνατότητα στις ομάδες πυρόσβεσης να αναπτύξουν πόρους πιο αποτελεσματικά, καθοδηγώντας τις προσπάθειες εκκένωσης και κατευθύνοντας τις τακτικές καταστολής με ακρίβεια. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να ανιχνεύει και να ταξινομεί αντικείμενα σε δυναμικά περιβάλλοντα διασφαλίζει την έγκαιρη ανίχνευση πιθανών κινδύνων και υποστηρίζει προληπτικά μέτρα για τον περιορισμό και τον μετριασμό περιστατικών πυρκαγιάς.

## **Πρόβλεψη καιρού**

Στις αποστολές πρόγνωσης καιρού, η ενσωμάτωση των YOLO UAV αντιπροσωπεύει ένα μεταμορφωτικό άλμα στη συλλογή και ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιοποιώντας τις πρωτοποριακές του δυνατότητες ανίχνευσης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, τα YOLO UAV επιτρέπουν στους μετεωρολόγους να ερευνούν γρήγορα τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και να παρακολουθούν τα καιρικά φαινόμενα με πρωτοφανή ακρίβεια. Αυτά τα UAV μπορούν να πλοηγούνται αυτόνομα σε διάφορα υψόμετρα, τραβώντας εικόνες υψηλής ανάλυσης και

εντοπίζοντας βασικά μετεωρολογικά χαρακτηριστικά όπως σύννεφα, βροχόπτωση και μοτίβα ανέμου σε πραγματικό χρόνο. Παρέχοντας έγκαιρες και λεπτομερείς παρατηρήσεις, το YOLO ενισχύει την ακρίβεια των μοντέλων πρόγνωσης καιρού, επιτρέποντας πιο αξιόπιστες προβλέψεις για τα έντονα καιρικά φαινόμενα και τις επιπτώσεις τους. Επιπλέον, η ικανότητα του YOLO να ανιχνεύει και να ταξινομεί αντικείμενα σε δυναμικά καιρικά περιβάλλοντα υποστηρίζει την παρακολούθηση εξελισσόμενων καιρικών συστημάτων και διευκολύνει τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για επικίνδυνες συνθήκες.

### 5.3 Αυτόνομη Πλοήγηση

Η αυτόνομη πλοήγηση αναφέρεται στην ικανότητα των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) να λειτουργούν και να ελίσσονται ανεξάρτητα και χωρίς συνεχή ανθρώπινη καθοδήγηση. Στο πλαίσιο των επιχειρήσεων, αυτή η ικανότητα είναι υψίστης σημασίας λόγω των τεράστιων και συχνά απαιτητικών θεάτρων επιχειρήσεων όπου διεξάγονται αποστολές ISTAR.

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης αυτόνομης πλοήγησης βρίσκονται κυρίως στο ίδιο το UAV και όχι στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους (GCS). Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στο UAV να πλοηγείται στο περιβάλλον του, να σχεδιάζει την τροχιά του και να κάνει προσαρμογές σε πραγματικό χρόνο στην πορεία πτήσης του χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση. Ενώ ο Σταθμός Ελέγχου εδάφους μπορεί να παρέχει εντολές υψηλού επιπέδου και σημεία διαδρομής για την αποστολή του UAV, η πραγματική εκτέλεση των αυτόνομων καθηκόντων πλοήγησης, όπως η αποφυγή εμποδίων, ο σχεδιασμός διαδρομής και η εκτίμηση θέσης, αντιμετωπίζεται στο UAV. Αυτή η ενσωματωμένη αυτονομία επιτρέπει στο UAV να λειτουργεί αποτελεσματικά σε δυναμικά και απρόβλεπτα περιβάλλοντα, ακόμη και όταν η επικοινωνία με το GCS διακόπτεται προσωρινά.

## Τεχνολογίες AI

### *Computer Vision*

Πέραν της χρήσης τέτοιων αλγορίθμων στην ανίχνευση και ταξινόμηση αντικειμένων/στόχων όπως είδαμε παραπάνω, τα UAV συχνά χρησιμοποιούν αλγόριθμους υπολογιστικής όρασης για να ερμηνεύσουν οπτικά δεδομένα από κάμερες ή αισθητήρες επί του σκάφους. Αυτοί οι αλγόριθμοι επιτρέπουν στο UAV να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του, να αναγνωρίζει εμπόδια και να αναγνωρίζει σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως ορόσημα ή στόχους. Τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural Networks, CNN) χρησιμοποιούνται συνήθως για εργασίες όπως η ανίχνευση αντικειμένων, η παρακολούθηση και η κατανόηση του περιβάλλοντος.

### *Ταυτόχρονη εντόπιση και χαρτογράφηση (SLAM)*

Οι τεχνικές SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) επιτρέπουν στα UAV να κατασκευάζουν χάρτες του περιβάλλοντός τους σε πραγματικό χρόνο, ενώ ταυτόχρονα καθορίζουν τη δική τους θέση μέσα σε αυτούς τους χάρτες. Μια από τις πλέον διαδεδομένες τεχνικές AI για SLAM είναι η ORB-SLAM (Oriented FAST and Rotated BRIEF SLAM). Με τη συγχώνευση δεδομένων από διάφορους αισθητήρες, όπως κάμερες, LiDAR ή μονάδες αδρανειακής μέτρησης (IMU), οι αλγόριθμοι SLAM επιτρέπουν στα UAV να πλοηγούνται αυτόνομα σε άγνωστα περιβάλλοντα ή περιβάλλοντα στα οποία δεν επιτρέπεται ή δεν είναι δυνατή η χρήση GPS.

### *Ενσωμάτωση αισθητήρων και δεδομένων*

Η ενσωμάτωση δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες, όπως GPS, αισθητήρες αδράνειας, κάμερες, LiDAR και ραντάρ ενισχύει την επίγνωση της κατάστασης και την αξιοπιστία του UAV. Οι τεχνικές συγχώνευσης αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων των Kalman Filters (KF), και Bayesian Inference (BI) ή των μοντέλων συγχώνευσης που βασίζονται σε βαθιά μάθηση (DL), όπως το Μοντέλο Βαθέων Νευρωνικών Δικτύων για Συγχώνευση Αισθητήρων (Deep Neural Network Sensor Fusion Model, DNNSFM), επιτρέπουν στα UAV να αντιλαμβάνονται με ακρίβεια το περιβάλλον τους και να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις πλοήγησης.

### *Στιβαρότητα και διασφάλιση ασφάλειας*

Η διασφάλιση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των αυτόνομων συστημάτων πλοήγησης UAV είναι πρωταρχικής σημασίας. Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ισχυρών μηχανισμών ανίχνευσης και ανάκτησης σφαλμάτων, την αξιολόγηση και τον μετριασμό του κινδύνου και τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις για λειτουργίες UAV σε διάφορα περιβάλλοντα. Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική AI είναι ο Έλεγχος Ενισχυτικής Μάθησης (Deep Reinforcement Learning Control, DRLC).

## 5.4 Predictive Analytics

Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης αξιοποιούν ιστορικά δεδομένα, εισόδους αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και περιβαλλοντικές μεταβλητές για την πρόβλεψη μελλοντικών γεγονότων, τάσεων ή συμπεριφορών του συστήματος, επιτρέποντας στους χειριστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης της αποστολής και τον μετριασμό των κινδύνων. Η προγνωστική ανάλυση στοιχείων βοηθά τους διοικούντες στη λήψη αποφάσεων παρέχοντας έγκαιρες προειδοποιήσεις και επιτρέποντας προληπτικές απαντήσεις σε αναδυόμενες απειλές. Οι τεχνολογίες τεχνητής

νοημοσύνης προγνωστικής ανάλυσης συνήθως εφαρμόζονται στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους (GCS) και όχι απευθείας στο ίδιο το UAV.

## **Τεχνολογίες AI**

### *Συλλογή και προεπεξεργασία δεδομένων*

Η προγνωστική ανάλυση βασίζεται σε μεγάλους όγκους δεδομένων που συλλέγονται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, περιβαλλοντικών παραμέτρων, ιστορικών δεδομένων πτήσης και αρχείων καταγραφής αποστολών. Οι αλγόριθμοι AI προεπεξεργάζονται και καθαρίζουν αυτά τα δεδομένα, όπως ο PCA (Principal Component Analysis) εντοπίζοντας σχετικά χαρακτηριστικά και διασφαλίζοντας την ποιότητα των δεδομένων πριν από την ανάλυση.

### *Μοντέλα μηχανικής μάθησης*

Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που βασίζονται σε AI αποτελούν τη ραχοκοκαλιά των προγνωστικών αναλυτικών στοιχείων στα UAV. Οι εποπτευόμενοι αλγόριθμοι μάθησης, όπως οι Logistic Regression (LR) και Decision Trees (DT), εκπαιδεύονται σε ιστορικά δεδομένα για να προβλέψουν μελλοντικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, τα μοντέλα αυτά μπορούν να προβλέψουν τις καιρικές συνθήκες, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας ή την απόδοση του εξοπλισμού, ενώ τα μοντέλα ταξινόμησης μπορούν να προβλέψουν πιθανούς κινδύνους ή αποτελέσματα αποστολών.

### *Ανάλυση χρονοσειρών*

Τα UAV παράγουν ροές δεδομένων με χρονική σήμανση κατά τη διάρκεια των αποστολών πτήσης, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων αισθητήρων, συντεταγμένων GPS και δεδομένων τηλεμετρίας. Οι τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών, που τροφοδοτούνται από αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης, όπως τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (Recurrent Neural Networks, RNN) και τα δίκτυα Μακρο-Βραχυ πρόθεσης Μνήμης (Long-Short Term Memory Networks, LSTMN), επιτρέπουν στους χειριστές UAV να προβλέπουν μελλοντικές καταστάσεις, τροχιές ή γεγονότα με βάση προηγούμενες παρατηρήσεις.

### *Ανίχνευση ανωμαλιών και πρόβλεψη σφαλμάτων*

Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης ανωμαλιών που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη, όπως ο Isolation Forest (IF), αναλύουν δεδομένα αισθητήρων UAV για να εντοπίσουν αποκλίσεις από την αναμενόμενη συμπεριφορά, σηματοδοτώντας πιθανές δυσλειτουργίες ή ανωμαλίες. Αξιοποιώντας τεχνικές όπως η χωρίς επίβλεψη μάθηση (Unsupervised Learning, UL) και η ομαδοποίηση, τα UAV μπορούν να ανιχνεύσουν μη φυσιολογικά μοτίβα στις μετρήσεις των αισθητήρων, στη δυναμική πτήσης ή την απόδοση του συστήματος, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση και την πρόβλεψη σφαλμάτων.

### *Επιχειρησιακή βελτιστοποίηση*

Τα προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία βοηθούν στη βελτιστοποίηση των λειτουργιών UAV προβλέποντας τις απαιτήσεις πόρων, τη διάρκεια της αποστολής και τις βέλτιστες διαδρομές πτήσης. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, όπως οι Genetic Algorithms (GA), Particle Swarm Optimization (PSO) ή Reinforcement Learning (RL), επιτρέπουν στα UAV να σχεδιάζουν προσαρμοστικά διαδρομές, να κατανέμουν πόρους και να βελτιστοποιούν τους στόχους της αποστολής με βάση δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και περιβαλλοντικές συνθήκες.

### *Εκτίμηση Κινδύνου και Υποστήριξη Αποφάσεων*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης διευκολύνουν την αξιολόγηση κινδύνου και την υποστήριξη αποφάσεων σε επιχειρήσεις UAV ποσοτικοποιώντας τις αβεβαιότητες, αξιολογώντας πιθανά αποτελέσματα και προτείνοντας βέλτιστες πορείες δράσης. Αλγόριθμοι όπως ο Bayesian Inference (BI), ο Monte Carlo Simulations (MCS) και τα Decision Trees (DT) χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των κινδύνων που σχετίζονται με παραμέτρους αποστολής, περιβαλλοντικούς παράγοντες και λειτουργικούς περιορισμούς, επιτρέποντας στους χειριστές UAV να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για τον μετριασμό των κινδύνων και τη μεγιστοποίηση της επιτυχίας της αποστολής.

## 5.5 Επεξεργασία εικόνας και σήματος

Οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και σήματος με τεχνητή νοημοσύνη βελτιώνουν τον εντοπισμό, την ταξινόμηση και την παρακολούθηση στόχων σε διάφορα περιβάλλοντα. Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης όπως τα Convolutional Neural Networks (CNNs) μπορούν να αναλύσουν εικόνες και δεδομένα αισθητήρων για να προσδιορίσουν αντικείμενα ενδιαφέροντος, όπως εχθρικές θέσεις ή ανωμαλίες του περιβάλλοντος με υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες, όπως χαμηλή ορατότητα ή ακατάστατο φόντο. Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης επεξεργασίας εικόνας και σήματος μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στο ίδιο το UAV όσο και στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους (GCS), ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της αποστολής και τις δυνατότητες της πλατφόρμας UAV.

Σε πολλά UAV, ιδιαίτερα σε αυτά που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες όπως κάμερες, LiDAR ή ραντάρ, αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας και σήματος αναπτύσσονται απευθείας στο UAV. Εναλλακτικά, σε σενάρια όπου οι δυνατότητες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο στο UAV είναι

περιορισμένες ή όπου απαιτείται ανάλυση υψηλότερου επιπέδου, μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας και σήματος στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους

## **Τεχνολογίες AI**

### *Βελτίωση και αποκατάσταση εικόνας*

Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας που βασίζονται σε AI ενισχύουν την ποιότητα των οπτικών δεδομένων που καταγράφονται από τις ενσωματωμένες κάμερες των UAV. Αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης όπως τα Generative Adversarial Networks (GAN) και τα Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα (CNN) για την ανακατασκευή εικόνων υψηλής ανάλυσης, την αφαίρεση του θορύβου, το ξεθάμπωμα και την επαναφορά λεπτομερειών, βελτιώνοντας έτσι τη σαφήνεια και τη χρησιμότητα των εικόνων που συλλέγονται.

### *Σημασιολογική κατάτμηση (Semantic Segmentation)*

Οι αλγόριθμοι σημασιολογικής κατάτμησης (SSA) διαχωρίζουν τις εναέριες εικόνες σε σημασιολογικά σημαντικές περιοχές, επιτρέποντας στα UAS να κατανοούν τη σημασιολογία του σκηνικού και να εξάγουν χρήσιμες πληροφορίες. Τεχνικές βαθιάς μάθησης, όπως τα Fully Convolutional Networks (FCN) και οι αρχιτεκτονικές U-Net ταξινομούν μεμονωμένα pixel σε εικόνες σε διακριτές κατηγορίες (π.χ. δρόμοι, βλάστηση, κτίρια), διευκολύνοντας τη λεπτομερή ανάλυση και ερμηνεία των εναέριων εικόνων για σχεδιασμό αποστολής και επίγνωση της κατάστασης.

### *Ανίχνευση αλλαγών και αναγνώριση ανωμαλιών*

Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης αλλαγών βάσει τεχνητής νοημοσύνης, όπως ο Change Vector Analysis (CVA) συγκρίνουν διαδοχικές εναέριες εικόνες για να εντοπίσουν χρονικές αλλαγές στο περιβάλλον, όπως τροποποιήσεις υποδομής, κινήσεις οχημάτων ή ύποπτες δραστηριότητες. Αξιοποιώντας μοντέλα βαθιάς μάθησης και τεχνικές διαφοροποίησης εικόνας (CNN), τα UAS μπορούν να ανιχνεύουν αυτόματα ανωμαλίες, ειδοποιώντας τους χειριστές για πιθανές απειλές ασφαλείας ή αλλαγές στο επιχειρησιακό περιβάλλον που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.

### *Επεξεργασία σήματος για Ηλεκτρονικό Πόλεμο (EW)*

Τα UAV εξοπλισμένα με ωφέλιμα φορτία ηλεκτρονικού πολέμου (EW) βασίζονται σε τεχνικές επεξεργασίας σημάτων που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη για την αναχίτιση, ανάλυση και ταξινόμηση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που εκπέμπονται από εχθρικούς στόχους, συμπεριλαμβανομένων ραντάρ, συστημάτων επικοινωνίας και ηλεκτρονικών συσκευών. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, όπως οι Support Vector Machines (SVM) και τα CNN, επιτρέπουν

στα UAS να εκτελούν ταξινόμηση σημάτων σε πραγματικό χρόνο, γεωγραφικό εντοπισμό και αξιολόγηση απειλών, ενισχύοντας την επίγνωση της κατάστασης και αντιμετωπίζοντας αποτελεσματικά τις εχθρικές ηλεκτρονικές απειλές.

#### *Συγχώνευση δεδομένων και πολυτροπική ανάλυση*

Οι τεχνολογίες AI διευκολύνουν τη συγχώνευση εικόνων, σημάτων και άλλων δεδομένων αισθητήρων που συλλέγονται από τα UAV για να δημιουργήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση της κατάστασης. Τεχνικές πολυτροπικής ανάλυσης, όπως η Kalman Filter, συμπεριλαμβανομένων μοντέλων σύντηξης που βασίζονται σε βαθιά μάθηση και μεθόδων Bayesian Inference (BI) και Particle Filters (PF), ενσωματώνουν πληροφορίες από διαφορετικές πηγές αισθητήρων (π.χ. οπτικό, υπέρυθρο, ραντάρ) για τη δημιουργία αξιοποιήσιμης νοημοσύνης, τον εντοπισμό συσχετισμών και την παροχή πολύτιμων γνώσεων για τον σχεδιασμό της αποστολής και τη λήψη αποφάσεων.

## 5.6 Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP)

Οι τεχνολογίες NLP (Natural Language Processing) βοηθούν στην ανάλυση και την εξαγωγή πολύτιμης νοημοσύνης από πηγές κειμένου, όπως υποκλοπές επικοινωνιών, νοημοσύνη ανοιχτού κώδικα (OSINT) και αναφορές. Τα συστήματα NLP που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη μπορούν αυτόματα να αναλύουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων κειμένου, να αναγνωρίζουν σχετικές πληροφορίες και να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Οι τεχνολογίες AI Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας (NLP) εφαρμόζονται κυρίως στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους (GCS) και όχι απευθείας στο ίδιο το UAV. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο ρόλος του NLP στις επιχειρήσεις UAV είναι συχνά περιορισμένος σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης, δεδομένης της φύσης των μη επανδρωμένων εναέριων αποστολών.

### **Τεχνολογίες AI**

#### *Κατανόηση κειμένου και εξαγωγή πληροφοριών*

Οι αλγόριθμοι NLP με τεχνητή νοημοσύνη αναλύουν δεδομένα κειμένου για την εξαγωγή σχετικών πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων οντοτήτων, γεγονότων, τοποθεσιών και συναισθημάτων. Τεχνικές όπως η Named Entity Recognition (NER), η Named Entity Disambiguation (NED) και η Text Classification (TC), επιτρέπουν στα UAS να αναγνωρίζουν βασικές οντότητες (π.χ. άτομα, οργανισμούς, τοποθεσίες) και να εξάγουν αξιοποιήσιμη νοημοσύνη από μη δομημένες πηγές κειμένου όπως αναφορές αποστολών, νοημοσύνη ανοιχτού κώδικα (OSINT) και τροφοδοσίες μέσω κοινωνικής δικτύωσης.



### *Σύνοψη εγγράφων και μοντελοποίηση θεμάτων*

Τα UAS αξιοποιούν τεχνικές NLP που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη για να συνοψίσουν μεγάλα έγγραφα, να εξάγουν βασικές πληροφορίες και να προσδιορίσουν κυρίαρχους τίτλους ή θέματα. Αλγόριθμοι όπως ο Latent Dirichlet Allocation (LDA) και ο TextRank (TR) επιτρέπουν στα UAS να δημιουργούν συνοπτικές περιλήψεις αναφορών αποστολών, ενημερώσεις πληροφοριών και ειδησεογραφικά άρθρα, διευκολύνοντας την ταχεία επεξεργασία πληροφοριών και τη λήψη αποφάσεων από τους χειριστές.

### *Ανάλυση συναισθήματος και παρακολούθηση μέσω κοινωνικής δικτύωσης*

Οι αλγόριθμοι ανάλυσης συναισθήματος με τεχνητή νοημοσύνη, όπως η τεχνική VADER (Valence Aware Dictionary and Sentiment Reasoner), αναλύουν περιεχόμενο κειμένου από πλατφόρμες μέσω κοινωνικής δικτύωσης, ειδησεογραφικά άρθρα και διαδικτυακά φόρουμ για να μετρήσουν το δημόσιο αίσθημα, να εντοπίσουν τις αναδυόμενες τάσεις και να εντοπίσουν πιθανές απειλές για την ασφάλεια. Χρησιμοποιώντας μοντέλα μηχανικής εκμάθησης εκπαιδευμένα σε τεράστιες ποσότητες δεδομένων κειμένου, τα UAS μπορούν να παρακολουθούν συνομιλίες στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, να αξιολογούν τη δυναμική του συναισθήματος και να ειδοποιούν τους χειριστές για σχετικά συμβάντα ή περιστατικά σε πραγματικό χρόνο.

### *Μετάφραση γλώσσας και πολύγλωσση επικοινωνία*

Τα UAS εξοπλισμένα με δυνατότητες NLP που βασίζονται σε AI μπορούν να εκτελούν εργασίες μετάφρασης γλώσσας για να διευκολύνουν την επικοινωνία και την ανταλλαγή πληροφοριών σε πολύγλωσσα περιβάλλοντα. Τα μοντέλα νευρωνικής μηχανικής μετάφρασης (Neural Machine Translation, NMT), που υποστηρίζονται από αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης, όπως το Transformer (TF), επιτρέπουν στα UAS να μεταφράζουν κείμενο μεταξύ πολλών γλωσσών με υψηλή ακρίβεια, ενισχύοντας τη διαλειτουργικότητα και την επίγνωση της κατάστασης σε πολυεθνικές επιχειρήσεις.

### *Συστήματα απάντησης-ερωτήσεων και διαλόγου*

Τα συστήματα απάντησης-ερωτήσεων που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπουν στα UAV να απαντούν σε ερωτήματα από ανθρώπινους χειριστές, παρέχοντας σχετικές πληροφορίες και χρήσιμες πληροφορίες σε μορφή φυσικής γλώσσας. Αξιοποιώντας γενικευμένα Μοντέλα Γλώσσας (Generalized Language Models, GLM) όπως τα μοντέλα βασισμένα στην αρχιτεκτονική Transformer, για παράδειγμα το BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) και το GPT (Generative Pre-trained Transformer), τα UAS μπορούν να κατανοήσουν και να δημιουργήσουν ανθρώπινες απαντήσεις σε ερωτήσεις που σχετίζονται με τον σχεδιασμό της αποστολής, την αναγνώριση στόχων και τις ενημερώσεις κατάστασης.

### *Συγχώνευση πληροφοριών και κατανόηση συμφραζόμενων*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης διευκολύνουν τη συγχώνευση κειμενικών πληροφοριών με άλλα δεδομένα αισθητήρων που συλλέγονται από το UAS για να δημιουργήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση της κατάστασης. Ενσωματώνοντας πληροφορίες που προέρχονται από NLP με εικόνες, σήματα και γεωχωρικά δεδομένα, τα UAV μπορούν να συσχετίσουν αναφορές κειμένου με γεγονότα του πραγματικού κόσμου, να αναγνωρίσουν μοτίβα και να παρέχουν πλούσια νοημοσύνη με βάση τα συμφραζόμενα για ανάλυση αποστολής και υποστήριξη αποφάσεων. Και σε αυτή την τεχνολογία χρησιμοποιούνται τα μοντέλα γλώσσας όπως το BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) και το GPT (Generative Pre-trained Transformer).

## 5.7 Αναγνώριση μοτίβων και ανίχνευση ανωμαλιών

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να εντοπίσει μοτίβα συμπεριφοράς ή να εντοπίσει ανωμαλίες σε αντίπαλες δραστηριότητες, όπως ασυνήθιστες κινήσεις στοιχείων ή ύποπτη συμπεριφορά, που μπορεί να υποδηλώνουν πιθανές απειλές ή παράνομες δραστηριότητες. Οι τεχνολογίες AI αναγνώρισης προτύπων και ανίχνευσης ανωμαλιών (PRAD) μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στο ίδιο το UAV όσο και στον Σταθμό Ελέγχου Εδάφους (GCS), ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της αποστολής και τις δυνατότητες της πλατφόρμας UAV.

Σε πολλά UAV, ιδιαίτερα σε αυτά που έχουν σχεδιαστεί για αυτόνομη λειτουργία και λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, αλγόριθμοι αναγνώρισης προτύπων και ανίχνευσης ανωμαλιών αναπτύσσονται απευθείας στο UAV. Εναλλακτικά, σε σενάρια όπου απαιτείται πιο εκτενής ανάλυση ή σύγκριση ιστορικών δεδομένων, μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι αναγνώρισης προτύπων και ανίχνευσης ανωμαλιών στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους. Σε αυτήν τη διαμόρφωση, τα ακατέργαστα δεδομένα αισθητήρων που συλλαμβάνονται από τους αισθητήρες του UAV μεταδίδονται στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους για επεξεργασία.

## **Τεχνολογίες AI**

### *Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης*

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που βασίζονται σε AI αποτελούν τη βάση της αναγνώρισης προτύπων και της ανίχνευσης ανωμαλιών στα ISTAR UAV. Οι εποπτευόμενες τεχνικές μάθησης, όπως η Support Vector Machines (SVM), η Random Forests (RF) και η αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης, όπως τα CNN και τα RNN, εκπαιδεύονται σε δεδομένα με σήμανση για την αναγνώριση μοτίβων και την ταξινόμηση των παρατηρήσεων σε προκαθορισμένες κατηγορίες. Οι αλγόριθμοι μάθησης χωρίς επίβλεψη (Unsupervised Learning, UL), συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων

ομαδοποίησης όπως η K-means (K-M) και η Hierarchical Clustering (HC), επιτρέπουν στα UAS να ανιχνεύουν ανωμαλίες σε δεδομένα χωρίς σαφείς ετικέτες, εντοπίζοντας μοτίβα που αποκλίνουν από τον κανόνα.

#### *Εκμάθηση εξαγωγής και αναπαράστασης χαρακτηριστικών*

Οι τεχνολογίες AI διευκολύνουν την εξαγωγή σχετικών χαρακτηριστικών από ακατέργαστα δεδομένα αισθητήρων για την αναπαράσταση μοτίβων με ουσιαστικό τρόπο. Οι τεχνικές βαθιάς μάθησης, όπως οι Autoencoders (AE) και οι Variable Autoencoders (VAE), μαθαίνουν συμπαγείς αναπαραστάσεις δεδομένων καταγράφοντας υποκείμενα μοτίβα και δομές, επιτρέποντας στα UAS να εντοπίζουν αποτελεσματικά ανωμαλίες και να διακρίνουν μεταξύ κανονικής και μη φυσιολογικής συμπεριφοράς σε πολύπλοκα περιβάλλοντα.

#### *Στατιστικές μέθοδοι και ανάλυση χρονοσειρών*

Οι στατιστικές μέθοδοι διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην αναγνώριση προτύπων και στην ανίχνευση ανωμαλιών μοντελοποιώντας την κατανομή των δεδομένων και ποσοτικοποιώντας τις αποκλίσεις από την αναμενόμενη συμπεριφορά. Τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών, συμπεριλαμβανομένων αυτοπαλινδρομικών μοντέλων (Autoregressive models, AM), κινητών μέσων (Moving Averages, MA) και μετασχηματισμών Fourier (Fourier Transforms, FT), επιτρέπουν στα UAS να αναλύουν διαδοχικές ροές δεδομένων (π.χ. μετρήσεις αισθητήρων, δεδομένα τηλεμετρίας) και να ανιχνεύουν χρονικά μοτίβα ή ανωμαλίες που υποδεικνύουν μη φυσιολογικά συμβάντα ή δυσλειτουργίες του συστήματος.

#### *Εκμάθηση συνόλου και συγχώνευση πολλαπλών μοντέλων*

Οι τεχνικές εκμάθησης συνόλου (Ensemble Learning Techniques, ELT) συνδυάζουν προβλέψεις από πολλαπλά μοντέλα μηχανικής εκμάθησης για να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση και την στιβαρότητα στις εργασίες αναγνώρισης προτύπων και ανίχνευσης ανωμαλιών. Μέθοδοι όπως τα Bagging (Συσσώρευση, BG), Boosting (Ενίσχυση, BS) και Stacking (Στοιβάξη, ST) επιτρέπουν στα UAS να αξιοποιούν τα συμπληρωματικά πλεονεκτήματα διαφορετικών αλγορίθμων και μορφών αισθητήρων, βελτιώνοντας την ακρίβεια ανίχνευσης και την ανθεκτικότητα στο θόρυβο και την αβεβαιότητα σε σενάρια πραγματικού κόσμου.

#### *Συμφραζόμενη κατανόηση και γνώση τομέα*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν στα UAS να ενσωματώνουν γνώσεις για συγκεκριμένο τομέα και συμφραζόμενη κατανόηση σε αλγόριθμους αναγνώρισης προτύπων και ανίχνευσης ανωμαλιών (πχ One-Class Support Vector Machine, SVM). Ενσωματώνοντας

πληροφορίες από πολλαπλές πηγές, συμπεριλαμβανομένων δεδομένων αισθητήρων, γεωγραφικών χαρτών και στόχων αποστολής, τα UAS μπορούν να ενσωματώσουν τις πληροφορίες και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη σημασία των ανιχνευόμενων προτύπων ή ανωμαλιών σε σχέση με το επιχειρησιακό περιβάλλον.

#### *Επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και προσαρμοστική μάθηση*

Οι αλγόριθμοι αναγνώρισης μοτίβων και ανίχνευσης ανωμαλιών (pattern recognition and anomaly detection algorithms, PRAD) βάσει τεχνητής νοημοσύνης έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στα UAV να αναλύουν γρήγορα τις ροές δεδομένων και να ανταποκρίνονται έγκαιρα σε αναδυόμενες απειλές ή ανωμαλίες. Οι τεχνικές προσαρμοστικής εκμάθησης (adaptive learning, AL), όπως η διαδικτυακή μάθηση (Online Learning, OL) και η σταδιακή ενημέρωση μοντέλων (gradual updating of models, GUM), επιτρέπουν στα UAS να προσαρμόζονται συνεχώς στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και στα εξελισσόμενα τοπία απειλών, διασφαλίζοντας στιβαρή απόδοση σε δυναμικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

## 5.8 Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση Αποστολών

Τα εργαλεία σχεδιασμού και βελτιστοποίησης που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη βοηθούν στο σχεδιασμό αποτελεσματικών διαδρομών περιπολίας, στην κατανομή πόρων και στη βελτιστοποίηση παραμέτρων αποστολής με βάση παράγοντες όπως τα επίπεδα απειλής, οι επιχειρησιακοί στόχοι και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτά τα εργαλεία επιτρέπουν στους διοικούντες να λαμβάνουν καλύτερα ενημερωμένες αποφάσεις και να μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα των επιχειρήσεων.

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης σχεδιασμού και βελτιστοποίησης αποστολής βρίσκονται συνήθως τόσο στο ίδιο το UAV όσο και στο Σταθμό Ελέγχου Εδάφους (GCS). Ενώ ορισμένες πτυχές του σχεδιασμού της αποστολής μπορεί να προκύψουν στο UAV, ιδιαίτερα σε σενάρια όπου η λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο είναι κρίσιμης σημασίας, το μεγαλύτερο μέρος των εργασιών σχεδιασμού και βελτιστοποίησης της αποστολής εκτελούνται συχνά στο Σταθμό Ελέγχου εδάφους.

## Τεχνολογίες AI

### *Αλγόριθμοι σχεδιασμού διαδρομής*

Οι αλγόριθμοι σχεδιασμού διαδρομής που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη, όπως ο A\*, επιτρέπουν στα UAV να δημιουργούν βέλτιστες διαδρομές πτήσης λαμβάνοντας υπόψη τους

στόχους της αποστολής, τους περιορισμούς εδάφους και τις επιχειρησιακές απαιτήσεις. Αυτοί οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν συχνά τεχνικές από ενισχυτική μάθηση, γενετικούς αλγόριθμους ή μεθόδους βελτιστοποίησης για να δημιουργήσουν αποτελεσματικές και ασφαλείς διαδρομές πτήσης. Επίσης τεχνικές όπως η A\* search, η D\* Lite και η Rapidly-exploring Random Trees (RTT) χρησιμοποιούν ευρετικές λειτουργίες που βασίζονται σε AI για αποτελεσματική εξερεύνηση και πλοήγηση σε περίπλοκα περιβάλλοντα. Όλα τα ανωτέρω διασφαλίζουν ασφαλή και αποτελεσματική διέλευση του εναέριου χώρου ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας και τη διάρκεια της αποστολής.

### *Μοντέλα βελτιστοποίησης*

Τα μοντέλα βελτιστοποίησης που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη διευκολύνουν την κατανομή των πόρων και τον προγραμματισμό των εργασιών για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της αποστολής και την επίτευξη των επιθυμητών στόχων. Οι τεχνικές μαθηματικής βελτιστοποίησης, συμπεριλαμβανομένου του γραμμικού προγραμματισμού (Linear Programming, LP), του ακέραιου προγραμματισμού (Integer Programming - IP) και των εξελικτικών αλγορίθμων (Evolutionary Algorithms - EA), επιτρέπουν στα UAS να βελτιστοποιούν τις παραμέτρους της αποστολής όπως επικάλυψη κάποιου αισθητήρα, ιεράρχηση στόχων και σχεδιασμό διαδρομής, εξισορροπώντας αντικρουόμενους στόχους και περιορισμούς για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων αποστολής.

### *Ενισχυτική μάθηση για προσαρμοστικό σχεδιασμό*

Οι τεχνικές ενισχυτικής μάθησης (RL) επιτρέπουν στα UAS να μαθαίνουν βέλτιστες στρατηγικές αποστολής μέσω δοκιμής και λάθους (try and error) σε δυναμικά και αβέβαια περιβάλλοντα. Οι αλγόριθμοι RL, όπως το Q-learning (QL) και τα Deep Q Networks (DQN), επιτρέπουν στα UAV να σχεδιάζουν και να βελτιστοποιούν προσαρμοστικά τις τροχιές της αποστολής με βάση την ανάδραση σε πραγματικό χρόνο και την περιβαλλοντική ανάδραση, μεγιστοποιώντας την επιτυχία της αποστολής και την αποδοτικότητα των πόρων σε πολύπλοκα και εξελισσόμενα επιχειρησιακά σενάρια.

### *Δυναμική κατανομή πόρων και προσαρμοστική εκτέλεση αποστολής*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν στα UAS να κατανέμουν δυναμικά τους πόρους και να προσαρμόζουν τα σχέδια αποστολής ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες και τις εξελισσόμενες απαιτήσεις αποστολής. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης σε πραγματικό χρόνο όπως ο Model Predictive Control (MPC), οι στρατηγικές προσαρμοστικού ελέγχου όπως η ενισχυτική μάθηση (RL) και οι τεχνικές διαδικτυακής εκμάθησης (OL) επιτρέπουν στα UAS να προσαρμόζουν

τις παραμέτρους της αποστολής, να επαναδιαμορφώνουν τις αναθέσεις εργασιών και να βελτιστοποιούν τη χρήση πόρων σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας ευελιξία και ανταπόκριση σε δυναμικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

## 5.9 Συνεργατικές επιχειρήσεις

Η τεχνητή νοημοσύνη διευκολύνει τον συντονισμό και τη συνεργασία μεταξύ πολλαπλών UAVs που λειτουργούν σε δικτυακό περιβάλλον. Αυτό επιτρέπει τις τακτικές σμήνους για βελτιωμένη κάλυψη, συντονισμένες επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης ή εργασίες κατανεμημένης ανίχνευσης.

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης συνεργατικών λειτουργιών μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στο ίδιο το UAV όσο και στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους (GCS), ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις της αποστολής και την πολυπλοκότητα των συνεργατικών εργασιών που εμπλέκονται. Σε ορισμένα UAV, ιδιαίτερα εκείνα που αναπτύσσονται σε συλλογικές αποστολές ή επιχειρήσεις σμήνους, οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης συνεργατικών επιχειρήσεων μπορούν να αναπτυχθούν απευθείας στα UAV. Εναλλακτικά, σε σενάρια όπου απαιτείται κεντρικός συντονισμός ή λήψη αποφάσεων υψηλότερου επιπέδου, μπορούν να εφαρμοστούν τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης συνεργατικών λειτουργιών στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους.

### Τεχνολογίες AI

#### *Συντονισμός και Συνεργασία πολλαπλών φορέων*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης διευκολύνουν τον συντονισμό και τη συνεργασία μεταξύ πολλαπλών UAVs που λειτουργούν στον ίδιο εναέριο χώρο, επιτρέποντάς τους να μοιράζονται πληροφορίες, να συντονίζουν δράσεις και να επιτυγχάνουν κοινούς στόχους αποστολής. Οι αλγόριθμοι συντονισμού (Tuning Algorithms, TA), πχ ο Consensus-based Decentralized Auction (CDA), αλγορίθμων συναίνεσης και προσεγγίσεων θεωρίας παιγνίων (Consensus and Game Theory Approaches Algorithms, CGTA), πχ Contract-Net Protocol, CNP), οι αλγόριθμοι Multi-Agent Reinforcement Learning, MARL), οι αποκεντρωμένες στρατηγικές λήψης αποφάσεων και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας επιτρέπουν στα UAV να επικοινωνούν, να συνεργάζονται αποτελεσματικά, να διαπραγματεύονται και να συγχρονίζουν τις κινήσεις και τις ενέργειές τους σε πραγματικό χρόνο, μεγιστοποιώντας την αποτελεσματικότητα της αποστολής και τη χρήση του εναέριου χώρου.

### *Κατανομή και ανάθεση εργασιών*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης διευκολύνουν την κατανομή και την ανάθεση εργασιών μεταξύ πολλαπλών UAV με βάση τις απαιτήσεις αποστολής, τις δυνατότητες και τους επιχειρησιακούς περιορισμούς. Οι αλγόριθμοι κατανομής καθηκόντων (Task Allocation Algorithms, TAA), όπως προσεγγίσεις βασισμένες στην αγορά (Market-Mased Approaches, MBA), μηχανισμοί δημοπρασίας (Auction Mechanisms, AM) και τεχνικές συνδυαστικής βελτιστοποίησης (Combinatorial Optimization techniques, COT), επιτρέπουν στα UAS να κατανέμουν εργασίες δυναμικά, να βελτιστοποιούν τη χρήση πόρων και να εξισορροπούν τον φόρτο εργασίας μεταξύ των συνεργαζόμενων φορέων, διασφαλίζοντας αποτελεσματική εκτέλεση αποστολής και διαχείριση πόρων.

### *Συγχώνευση και ανταλλαγή πληροφοριών*

Η συγχώνευση και ανταλλαγή πληροφοριών με γνώμονα το AI επιτρέπουν στα UAS να ανταλλάσσουν δεδομένα αισθητήρων, αναφορές πληροφοριών και πληροφορίες επίγνωσης της κατάστασης σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας τη συλλογική λήψη αποφάσεων και ενισχύοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα της αποστολής. Οι αλγόριθμοι συγχώνευσης πληροφοριών Information Fusion Algorithms, IFA), συμπεριλαμβανομένων του Bayesian Inference (BI), του Dempster-Shafer Theory (DST) και του Kalman filter (KF), επιτρέπουν στα UAS να ενσωματώνουν δεδομένα από πολλαπλές πηγές, να επιλύουν συγκρούσεις και να δημιουργούν ολοκληρωμένη κατανόηση καταστάσεων για ανάλυση και σχεδιασμό αποστολής.

### *Συνεργατική ανίχνευση και κάλυψη*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν στα UAS να εκτελούν συνεργατικές εργασίες ανίχνευσης και κάλυψης, βελτιστοποιώντας την τοποθέτηση και την κίνηση των αισθητήρων για μεγιστοποίηση της κάλυψης περιοχής και την αποτελεσματικότητα συλλογής πληροφοριών. Συνεργατικοί αλγόριθμοι ανίχνευσης (Detection Algorithms, DA), όπως οι Distributed Consensus-Based Detection (DCD), Collaborative Sensor Fusion (CSF), Hierarchical Detection Frameworks (HDF), Swarm-based Detection (SD) και Game Theory-based Detection (GTD), επιτρέπουν στα UAV να συντονίζουν τις κινήσεις τους, να προσαρμόζουν τις παραμέτρους των αισθητήρων και να επανατοποθετούνται προσαρμοστικά για να επιτύχουν βέλτιστη κάλυψη και επιτήρηση της επιχειρησιακής περιοχής.

### *Συνεργατική Λήψη Αποφάσεων*

Η συνεργατική λήψη αποφάσεων που βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει στα UAV να λαμβάνουν συλλογικές αποφάσεις με βάση κοινούς στόχους, περιορισμούς αποστολής και

περιστασιακό πλαίσιο. Οι τεχνικές συγχώνευσης αποφάσεων (Decision Fusion Techniques, DFT), συμπεριλαμβανομένων των μηχανισμών ψηφοφορίας (Voting Mechanisms, VM), των αλγορίθμων συναίνεσης (Consensus Algorithms, CA) και των καταναμημένων μεθόδων βελτιστοποίησης (Distributed Optimization Methods, DOM), επιτρέπουν στα UAS να συμβιβάζουν τις αντιφατικές προτιμήσεις, να συγκεντρώνουν μεμονωμένες αποφάσεις και να επιτυγχάνουν συναίνεση για σχέδια δράσης, διασφαλίζοντας συντονισμένη και συνεκτική συμπεριφορά μεταξύ των συνεργαζόμενων φορέων.

#### *Δυναμική ανακατανομή και προσαρμογή των καθηκόντων*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν στα UAV να αναθέτουν καθήκοντα δυναμικά και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις αποστολής, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη διαθεσιμότητα πόρων. Οι αλγόριθμοι ενίσχυσης εκμάθησης (Reinforcement Learning, RL), οι διαδικτυακές τεχνικές βελτιστοποίησης (Online Optimization Techniques, OOT) και οι στρατηγικές προσαρμοστικού ελέγχου (Adaptive Control Strategies, ACS) επιτρέπουν στα UAS να μαθαίνουν από την εμπειρία, να προσαρμόζουν τις στρατηγικές τους και να αναδιαμορφώνουν τις αναθέσεις καθηκόντων σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας ευελιξία και ανθεκτικότητα σε δυναμικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

## 5.10 Προσαρμοστική Υποστήριξη Αποφάσεων

Η τεχνητή νοημοσύνη παρέχει υποστήριξη λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο στους διοικούντες αναλύοντας εισερχόμενα δεδομένα, αξιολογώντας τη σημασία των ανιχνευόμενων γεγονότων και προτείνοντας κατάλληλες πορείες δράσης. Αυτό βοηθά στην ιεράρχηση των εργασιών και στην αποτελεσματική κατανομή των πόρων.

Οι τεχνολογίες AI προσαρμοστικής υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στο ίδιο το UAV όσο και στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους (GCS), ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις της αποστολής και την πολυπλοκότητα των σχετικών εργασιών λήψης αποφάσεων. Σε ορισμένα UAV, ιδιαίτερα σε αυτά που έχουν σχεδιαστεί για αυτόνομη λειτουργία σε δυναμικά περιβάλλοντα, οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης προσαρμοστικής υποστήριξης αποφάσεων ενδέχεται να αναπτυχθούν απευθείας στο UAV. Εναλλακτικά, σε σενάρια όπου απαιτείται κεντρική επίβλεψη ή λήψη αποφάσεων υψηλότερου επιπέδου, μπορούν να εφαρμοστούν στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους. Σε αυτή τη διαμόρφωση, το GCS χρησιμεύει ως ο κεντρικός κόμβος για την παρακολούθηση, την ανάλυση και την καθοδήγηση λειτουργιών UAV.



## **Τεχνολογίες AI**

### *Ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο*

Η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει στα UAV να αναλύουν εισερχόμενα δεδομένα αισθητήρων, περιβαλλοντικές πληροφορίες και παραμέτρους αποστολής σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας έγκαιρες πληροφορίες και συστάσεις για υποστήριξη της λήψης αποφάσεων. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένων των Deep Neural Networks (DNN) και των τεχνικών Online Learning (OLT), επιτρέπουν στα UAS να επεξεργάζονται δεδομένα γρήγορα, να αναγνωρίζουν πρότυπα και να προσαρμόζουν τις στρατηγικές λήψης αποφάσεων με βάση τις εξελισσόμενες συνθήκες και τους στόχους της αποστολής.

### *Υποστήριξη αποφάσεων βάσει του πλαισίου*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν στα UAV να ενσωματώνουν την υποστήριξη αποφάσεων λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της αποστολής, τους επιχειρησιακούς περιορισμούς και το περιστασιακό πλαίσιο. Τα συστήματα υποστήριξης της λήψης αποφάσεων με γνώμονα το πλαίσιο αξιοποιούν την αναπαράσταση γνώσης (Knowledge Representation, KR), τη σημασιολογική συλλογιστική (Semantic Reasoning, SR) και τις τεχνικές συμπερασμάτων με βάση τα συμφραζόμενα (Contextual Inference Techniques, CIT) για να κατανοήσουν τη σημασία των δεδομένων και να παρέχουν υποστήριξη αποφάσεων που είναι σχετική και κατάλληλη για το τρέχον επιχειρησιακό περιβάλλον, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα της αποστολής και την επίγνωση της κατάστασης.

### *Προσαρμοστική μάθηση και βελτιστοποίηση*

Η προσαρμοστική μάθηση και η βελτιστοποίηση με γνώμονα την τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπουν στα UAV να βελτιώνουν συνεχώς τις ικανότητές τους στη λήψη αποφάσεων μέσω εμπειρίας και ανατροφοδότησης. Οι αλγόριθμοι ενίσχυσης μάθησης (RL), οι στρατηγικές προσαρμοστικού ελέγχου (Adaptive Control Strategies, ACS) και οι τεχνικές εξελικτικής βελτιστοποίησης (Evolutionary Optimization Techniques, EOT) επιτρέπουν στα UAS να μαθαίνουν από προηγούμενες αποφάσεις, να προσαρμόζουν τις στρατηγικές τους και να βελτιστοποιούν τα σχέδια αποστολής σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας προσαρμοστική και αποτελεσματική λήψη αποφάσεων σε δυναμικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

### *Συνεργασία ανθρώπου-τεχνητής νοημοσύνης*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης διευκολύνουν τη συνεργασία ανθρώπου-τεχνητής νοημοσύνης στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, επιτρέποντας στους χειριστές UAV να αξιοποιήσουν συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη για να αυξήσουν τις

δικές τους δυνατότητες και τεχνογνωσία. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems, DSS), η Τεχνολογία Ενισχυμένης Πραγματικότητας (Augmented Reality, AR) και οι Διεπαφές Ανθρώπου-Μηχανής (Human-Machine Interfaces, HMI) επιτρέπουν στους χειριστές να αλληλεπιδρούν με μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης, να εξερευνούν εναλλακτικούς τρόπους δράσης και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις βάσει πληροφοριών και συστάσεων που δημιουργούνται από την τεχνητή νοημοσύνη, ενισχύοντας τη συνεργασία και την αποτελεσματικότητα λήψης αποφάσεων στις επιχειρήσεις ISTAR.

#### *Εκτίμηση και Μετρίασμός Κινδύνου*

Η αξιολόγηση και ο μετρίασμός κινδύνου βάσει της τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν στα UAS να αξιολογούν τους πιθανούς κινδύνους που σχετίζονται με διαφορετικούς τρόπους δράσης και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα για τον μετρίασμό τους. Οι μέθοδοι Bayesian Inference (BI), Monte Carlo Simulations (MCS) και τα δέντρα αποφάσεων (Decision Trees, DT) επιτρέπουν στα UAS να αξιολογούν τους κινδύνους, να ποσοτικοποιούν τις αβεβαιότητες και να αξιολογούν τις πιθανές συνέπειες των αποφάσεων, επιτρέποντας στους χειριστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις που εξισορροπούν τον κίνδυνο και την αποτελεσματικότητα στο σχεδιασμό και την εκτέλεση της αποστολής.

### 5.11 Βελτιωμένη αξιοπιστία και συντήρηση

Οι αλγόριθμοι πρόβλεψης συντήρησης που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να προβλέψουν πιθανά προβλήματα που βασίζονται σε αναλύσεις δεδομένων, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση, ελαχιστοποιώντας έτσι τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και διασφαλίζοντας την ετοιμότητα της αποστολής.

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης εφαρμόζονται κυρίως στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους (GCS) και όχι απευθείας στο ίδιο το UAV. Αυτές οι τεχνολογίες επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας, της διαθεσιμότητας και της δυνατότητας συντήρησης των συστημάτων UAV μέσω αναλύσεων βάσει δεδομένων, προγνωστικής συντήρησης και προληπτικών στρατηγικών διαχείρισης σφαλμάτων.

#### **Τεχνολογίες AI**

##### *Προγνωστική Συντήρηση*

Οι αλγόριθμοι πρόβλεψης συντήρησης που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη (Prognostics and Health Management, PHM) αναλύουν δεδομένα αισθητήρων, ιστορικά αρχεία συντήρησης και

μετρήσεις υγείας του εξοπλισμού για να προβλέψουν πιθανές αστοχίες και να προγραμματίσουν προληπτικές δραστηριότητες συντήρησης. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης ανωμαλιών (Anomaly Detection, AD), των αλγορίθμων PHM που βασίζονται σε AI και αναλύουν δεδομένα αισθητήρων, όπως τα Long Short-Term Memory (LSTM) Networks, επιτρέπουν στα UAV να προβλέπουν την υποβάθμιση του εξοπλισμού, να προβλέπουν βλάβες και να δίνουν προτεραιότητα στις εργασίες συντήρησης με βάση την κρισιμότητα και τον αντίκτυπο τους στην ετοιμότητα της αποστολής, ενισχύοντας έτσι τη λειτουργική αξιοπιστία και μειώνοντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας. Επίσης, τεχνικές όπως τα δίκτυα Bayes (Bayes Networks, BN), τα μοντέλα διάδοσης σφαλμάτων (Error Propagation Models, EPM) και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems, DSS) επιτρέπουν στα UAS να αξιολογούν τον αντίκτυπο των αστοχιών, να προβλέπουν τις συνέπειές τους και να εφαρμόζουν προληπτικά μέτρα για τη διατήρηση της ετοιμότητας της αποστολής και της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας.

#### *Ανίχνευση και διάγνωση σφαλμάτων*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης διευκολύνουν τον εντοπισμό και τη διάγνωση σφαλμάτων αναλύοντας δεδομένα αισθητήρων και πληροφορίες τηλεμετρίας για τον εντοπισμό ανωμαλιών, αποκλίσεων από την κανονική συμπεριφορά και πρώιμους δείκτες πιθανών δυσλειτουργιών. Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης, CNN και τα RNN, επιτρέπουν στα UAS να ανιχνεύουν μοτίβα ενδεικτικά σφαλμάτων εξοπλισμού, να εντοπίζουν τις βασικές αιτίες και να διαγιγνώσκουν σύνθετες βλάβες του συστήματος, επιτρέποντας έγκαιρη επέμβαση και ενέργειες συντήρησης.

#### *Παρακολούθηση βάσει συνθηκών*

Η παρακολούθηση που βασίζεται σε συνθήκες με χρήση της τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει στα UAV να παρακολουθούν συνεχώς τη λειτουργική κατάσταση και την υγεία των εξαρτημάτων, συστημάτων και υποσυστημάτων επί του σκάφους σε πραγματικό χρόνο. Οι τεχνικές συγχώνευσης αισθητήρων (Sensor Fusion Techniques, SFT), η ανάλυση δεδομένων (Data Analysis, DA) και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης (ML) επιτρέπουν στα UAS να ενσωματώνουν δεδομένα από πολλούς αισθητήρες (όπως Kalman Filter, Bayesian Inference, Particle Filters), να αξιολογούν την απόδοση του εξοπλισμού και να εντοπίζουν ανωμαλίες ή υποβαθμίσεις σε κρίσιμα συστήματα, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση και ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας.

#### *Προσαρμοστικός Σχεδιασμός Συντήρησης*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν τον προσαρμοστικό σχεδιασμό συντήρησης λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις αποστολής, τους λειτουργικούς περιορισμούς και την κατάσταση της υγείας του εξοπλισμού για τη βελτιστοποίηση των προγραμμάτων συντήρησης και

της κατανομής πόρων. Οι αλγόριθμοι Reinforcement Learning (RL), οι τεχνικές βελτιστοποίησης (Optimization Techniques, OT) και ο δυναμικός προγραμματισμός (Dynamic Programming, DP) επιτρέπουν στα UAS να σχεδιάζουν προσαρμοστικά τις δραστηριότητες συντήρησης, να ιεραρχούν εργασίες και να κατανέμουν πόρους με βάση δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και μεταβαλλόμενες επιχειρησιακές συνθήκες, διασφαλίζοντας αποδοτικές και αποτελεσματικές λειτουργίες συντήρησης.

#### *Αυτοματοποιημένη διάγνωση και επισκευή*

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα διάγνωσης και επισκευής που βασίζονται σε AI επιτρέπουν στα UAV να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν αυτόνομα σφάλματα, δυσλειτουργίες και ζητήματα απόδοσης εξοπλισμού χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Τα έξυπνα συστήματα που βασίζονται σε πράκτορες (Agent-Based Intelligent Systems, ABIS), τα έμπειρα συστήματα (Expert Systems, ES) και οι αυτοματοποιημένοι αλγόριθμοι αντιμετώπισης προβλημάτων (Automated Problem-Solving Algorithms, APSA) επιτρέπουν στα UAS να εντοπίζουν προβλήματα, να προτείνουν διορθωτικές ενέργειες και να εκτελούν διαδικασίες αυτοεπισκευής, μειώνοντας την εξάρτηση από ανθρώπινους τεχνικούς και ενισχύοντας την επιχειρησιακή αυτονομία και αξιοπιστία.

#### *Προληπτική διαχείριση υγείας*

Στην προληπτική διαχείριση υγείας, το AI αξιοποιεί προηγμένα εργαλεία και αλγορίθμους για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας στην πρόγνωση και πρόληψη προβλημάτων. Στο πεδίο αυτό χρησιμοποιούνται προηγμένα εργαλεία AI όπως τα Bayes Networks (BN) και τα Error Propagation Models (EPM) για την ενίσχυση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας στην πρόγνωση και πρόληψη προβλημάτων. Τα BN επιτρέπουν την ανάλυση πιθανοτήτων και την εκτίμηση της κατάστασης των συστημάτων βάσει δεδομένων από αισθητήρες και ιστορικών δεδομένων, βοηθώντας στην πρόγνωση πιθανών αστοχιών. Τα EPM αντίστοιχα χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση και ανάλυση της διάδοσης σφαλμάτων μέσα στο σύστημα, επιτρέποντας την έγκαιρη ανίχνευση και διόρθωση ανωμαλιών πριν αυτές επηρεάσουν την ασφάλεια του UAV. Τέλος, τεχνικές AI όπως τα Decision Support Systems (DSS) παρέχουν πλατφόρμες υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε δεδομένα και αναλύσεις από BN και EPM, βοηθώντας τους χειριστές και τους μηχανικούς να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις για την πρόληψη αστοχιών και τη βελτιστοποίηση της συντήρησης.

## 5.12 Προσδιορισμός συντεταγμένων των στόχων

Ο καθορισμός ακριβών συντεταγμένων στόχων είναι μια κρίσιμη ικανότητα για τα ISTAR UAV όσον αφορά τον ακριβή εντοπισμό και προσδιορισμό πιθανών απειλών ή σημείων ενδιαφέροντος.

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας του προσδιορισμού των συντεταγμένων στόχου. Ο προσδιορισμός των ακριβών συντεταγμένων των στόχων μπορεί να περιλαμβάνει τεχνολογίες AI που αναπτύσσονται τόσο στο ίδιο το UAV όσο και στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους (GCS), ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις αποστολής και τις δυνατότητες της πλατφόρμας UAV.

Σε ορισμένα UAV, ιδιαίτερα εκείνα που είναι εξοπλισμένα με προηγμένα συστήματα αισθητήρων όπως GPS, κάμερες, LiDAR ή ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (SAR), αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης για εντοπισμό στόχου και προσδιορισμό συντεταγμένων μπορούν να αναπτυχθούν απευθείας στο UAV. Εναλλακτικά, σε σενάρια όπου απαιτείται κεντρική επίβλεψη ή επεξεργασία υψηλότερου επιπέδου, οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης προσδιορισμού συντεταγμένων στόχου μπορούν να εφαρμοστούν στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους.

## **Τεχνολογίες AI**

### *Γεωχωρική ανάλυση*

Οι τεχνικές γεωχωρικής ανάλυσης με τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπουν στα UAS να επεξεργάζονται δεδομένα αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων εικόνων, πληροφοριών LiDAR και GPS, για να προσδιορίζουν με ακρίβεια τις συντεταγμένες των στόχων στο έδαφος. Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας, όπως ο Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network), οι τεχνικές εξαγωγής χαρακτηριστικών (Feature Extraction, FE) και οι γεωμετρικοί υπολογισμοί χρησιμοποιούνται για τον τριγωνισμό θέσεων στόχων, την εκτίμηση αποστάσεων και τον υπολογισμό ακριβών συντεταγμένων σε σχέση με γνωστά σημεία αναφοράς ή γεωγραφικά χαρακτηριστικά.

### *Συνδυασμός Pixel και Συστήματος Αδρανειακής Πλοήγησης (INS)*

Οι τεχνολογίες AI αξιοποιούν προηγμένους αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνας για να αναλύσουν τα pixel των εικόνων που τραβήχτηκαν από UAV παράλληλα με δεδομένα INS (Inertial Navigation System) για την εξαγωγή ακριβών συντεταγμένων των ανιχνευόμενων αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η αναγνώριση αντικειμένων (Object Recognition, OR), η εξαγωγή χαρακτηριστικών (Feature Extraction, FE) και η γεωμετρική ανάλυση (Geometric Analysis, GA), αυτά τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης ερμηνεύουν τα οπτικά δεδομένα και τα συσχετίζουν με πληροφορίες θέσης από το σύστημα πλοήγησης του UAV, επιτρέποντας τον ακριβή προσδιορισμό των ακριβών συντεταγμένων των αναγνωρισμένων αντικειμένων στις εικόνες που τραβήχτηκαν.

### *Συγχώνευση αισθητήρων και πολυτροπική ολοκλήρωση*

Οι τεχνολογίες AI διευκολύνουν τη συγχώνευση αισθητήρων και την πολυτροπική ολοκλήρωση για συνδυασμό πληροφοριών από πολλαπλούς αισθητήρες, συμπεριλαμβανομένων οπτικών, υπέρυθρων

και δεδομένων ραντάρ, για τη βελτίωση της ακρίβειας του προσδιορισμού των συντεταγμένων στόχου. Οι αλγόριθμοι συγχώνευσης, όπως τα Kalman Filter, το Bayesian Inference και Particle Filters και τα μοντέλα συγχώνευσης που βασίζονται σε βαθιά μάθηση (CNN, RNN, LSTM), επιτρέπουν στα UAS να ενσωματώνουν χωρικές πληροφορίες από διάφορες μορφές αισθητήρων, μειώνοντας τα σφάλματα και τις αβεβαιότητες στον εντοπισμό του στόχου.

#### *Αντιστοίχιση και καταχώριση χαρακτηριστικών*

Οι τεχνικές αντιστοίχισης και καταγραφής χαρακτηριστικών βάσει AI επιτρέπουν στα UAV να ευθυγραμμίζουν και να επικαλύπτουν εικόνες από διαφορετικές πηγές, όπως αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες και ψηφιακούς χάρτες, για να προσδιορίζουν με ακρίβεια τις συντεταγμένες στόχων. Οι αλγόριθμοι καταχώρισης (Feature - Based Registration Algorithms, FBRA) που βασίζονται σε χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων των Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) και Speeded Up Robust Features (SURF), επιτρέπουν στα UAS να αναγνωρίζουν αντίστοιχα χαρακτηριστικά σε διαφορετικές εικόνες, να υπολογίζουν γεωμετρικούς μετασχηματισμούς και να υπολογίζουν ακριβείς θέσεις στόχου σε σχέση με το πλαίσιο αναφοράς.

#### *Επεξεργασία νέφους σημείων LiDAR (Point Cloud Processing)*

Η επεξεργασία νέφους σημείων LiDAR με τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει στα UAV να δημιουργούν τρισδιάστατες (3D) αναπαραστάσεις του εδάφους και των αντικειμένων στην επιχειρησιακή περιοχή, διευκολύνοντας τον ακριβή εντοπισμό του στόχου σε πολύπλοκα περιβάλλοντα. Η τμηματοποίηση νέφους σημείων (Point Cloud Segmentation, PCS), η εξαγωγή χαρακτηριστικών (Feature Extraction, FE) και οι τεχνικές γεωμετρικής μοντελοποίησης (Geometric Modeling Techniques, GMT) επιτρέπουν στα UAS να εντοπίζουν και να προσδιορίζουν στόχους με υψηλή ακρίβεια, αξιοποιώντας τις πλούσιες χωρικές πληροφορίες που παρέχονται από τους αισθητήρες LiDAR.

#### *Σημασιολογική Κατανόηση Σκηνής*

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν τη σημασιολογική κατανόηση σκηνής για την ερμηνεία των εναέριων εικόνων και την εξαγωγή συμπερασμάτων του χωρικού πλαισίου των στόχων στο περιβάλλον τους. Οι αλγόριθμοι σημασιολογικής κατάτμησης (Semantic Segmentation Algorithms, SSA), όπως οι αλγόριθμοι DeepLab (DLA), οι αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης (όπως Fully Convolutional Networks, FCNs) και οι τεχνικές συλλογιστικής (Reasoning Techniques, RST) επιτρέπουν στα UAV να ταξινομούν αντικείμενα, να συνάγουν τις συσχετίσεις τους και να εκτιμούν τις χωρικές τους συντεταγμένες με βάση τα συμφοραζόμενα, ενισχύοντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία του εντοπισμού στόχου σε διαφορετικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

### 5.13 Κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity)

Η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της κυβερνοασφάλειας των συστημάτων και δικτύων. Οι λύσεις κυβερνοασφάλειας που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να ανιχνεύουν και να ανταποκρίνονται σε απειλές στον κυβερνοχώρο σε πραγματικό χρόνο, προστατεύοντας κρίσιμα περιουσιακά στοιχεία και διασφαλίζοντας την ακεραιότητα και τη διαθεσιμότητα των αποστολών ISR και TA. Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης στον κυβερνοχώρο εφαρμόζονται συνήθως τόσο στο UAV όσο και στο Σταθμό Ελέγχου Εδάφους για να διασφαλιστεί η ολοκληρωμένη προστασία ολόκληρου του μη επανδρωμένου εναέριου συστήματος.

Στο ίδιο το UAV, αναπτύσσονται τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης για την προστασία των συστημάτων, των δεδομένων και των επικοινωνιών επί του σκάφους από απειλές στον κυβερνοχώρο. Η ενσωματωμένη τεχνητή νοημοσύνη στον κυβερνοχώρο βοηθά στον εντοπισμό και τον μετριασμό των κυβερνοεπιθέσεων που στοχεύουν τα συστήματα ελέγχου πτήσης, τα συστήματα πλοήγησης, τις συνδέσεις δεδομένων και τα ωφέλιμα φορτία αισθητήρων του UAV, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα, τη διαθεσιμότητα και την εμπιστευτικότητα των κρίσιμων λειτουργιών και πληροφοριών κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Ομοίως, στον Σταθμό Ελέγχου εδάφους, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης για την προστασία της υποδομής, των δικτύων και των δεδομένων GCS από απειλές στον κυβερνοχώρο. Αυτές οι τεχνολογίες μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα τείχους προστασίας, συστήματα πρόληψης εισβολών, εργαλεία ανάλυσης κίνησης δικτύου, πλατφόρμες διαχείρισης πληροφοριών ασφαλείας και συμβάντων (SIEM) και ροές πληροφοριών απειλών.

#### **Τεχνολογίες AI**

##### *Ανίχνευση απειλών και πρόληψη εισβολής*

Τα συστήματα ανίχνευσης απειλών και πρόληψης εισβολής με τεχνητή νοημοσύνη αναλύουν την κυκλοφορία δικτύου, τα δεδομένα αισθητήρων και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για τον εντοπισμό και τον μετριασμό απειλών στον κυβερνοχώρο, όπως κακόβουλο λογισμικό, εισβολές και επιθέσεις σε συστήματα παροχής υπηρεσιών. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένου του εντοπισμού ανωμαλιών (Anomaly Detection, AD), του εντοπισμού βάσει υπογραφών (Signature Detection, SD) και της ανάλυσης συμπεριφοράς (Behavior Analysis, BA), επιτρέπουν στα UAS να ανιχνεύουν ύποπτες δραστηριότητες, απόπειρες μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης και κακόβουλα

φορτία, αποτρέποντας επιθέσεις στον κυβερνοχώρο και διατηρώντας την ακεραιότητα του συστήματος.

#### *Αξιολόγηση ευπάθειας και διαχείριση επιδιορθώσεων*

Τα συστήματα αξιολόγησης ευπάθειας και διαχείρισης επιδιορθώσεων που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη σαρώνουν το λογισμικό, το υλικολογισμικό και τα στοιχεία υλικού των UAS για γνωστά τρωτά σημεία και ελαττώματα ασφαλείας, δίνοντας προτεραιότητα στις ενέργειες αποκατάστασης με βάση τους παράγοντες κινδύνου και τα επίπεδα κρισιμότητας. Αυτοματοποιημένοι σαρωτές ευπάθειας (Automated Vulnerability Scanners, AVC), μοντέλα αξιολόγησης κινδύνου που βασίζονται σε μηχανική μάθηση (Machine Learning-Based Risk Assessment Models, RAM) και προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία (Predictive Analytics) επιτρέπουν στα UAV να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν προληπτικά τις αδυναμίες ασφαλείας, μειώνοντας την πιθανότητα εκμετάλλευσης από τους αντιπάλους και ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο.

#### *Ασφαλής επικοινωνία και κρυπτογράφηση*

Οι τεχνολογίες AI διευκολύνουν την ασφαλή επικοινωνία και την κρυπτογράφηση για την προστασία των δεδομένων που μεταδίδονται μεταξύ των UAV και των σταθμών επίγειου ελέγχου από υποκλοπές και παραβιάσεις από μη εξουσιοδοτημένα μέρη. Κρυπτογραφικοί αλγόριθμοι (Cryptographic algorithms, CGA), όπως Advanced Encryption Standard (AES), συστήματα διαχείρισης κλειδιών και ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας επιτρέπουν στα UAS να κρυπτογραφούν ευαίσθητες πληροφορίες, να ελέγχουν την ταυτότητα καναλιών επικοινωνίας και να δημιουργούν ασφαλείς σήραγγες για ανταλλαγή δεδομένων, διασφαλίζοντας την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα της επικοινωνίας σε εχθρικά περιβάλλοντα.

#### *Αναλύσεις συμπεριφοράς και παρακολούθηση χρηστών*

Τα συστήματα ανάλυσης συμπεριφοράς και παρακολούθησης χρηστών που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη αναλύουν τη συμπεριφορά των χρηστών, τα πρότυπα πρόσβασης και τις αλληλεπιδράσεις του συστήματος για τον εντοπισμό ανωμαλιών και εσωτερικών απειλών στο λειτουργικό περιβάλλον των UAS. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένης της μοντελοποίησης συμπεριφοράς των χρηστών (User Behavior Modeling, UBM), της ανίχνευσης ανωμαλιών (AD) και της αναγνώρισης μοτίβων (Pattern Recognition, PR), επιτρέπουν στα UAS να εντοπίζουν ύποπτες δραστηριότητες, απόπειρες μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης και αποκλίσεις από την κανονική συμπεριφορά, επιτρέποντας την έγκαιρη απόκριση και τη λήψη μέτρων μετριασμού συμβάντων.



### *Προσαρμοστική κυβερνοάμυνα και απόκριση*

Οι μηχανισμοί προσαρμοστικής κυβερνοάμυνας και απόκρισης που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπουν στα UAV να προσαρμόζουν δυναμικά τους ελέγχους ασφαλείας, να προσαρμόζουν τις αμυντικές στρατηγικές και να ανταποκρίνονται σε αναδυόμενες απειλές στον κυβερνοχώρο σε πραγματικό χρόνο. Τα προσαρμοστικά πλαίσια ασφαλείας (Adaptive Security Frameworks, ASF), οι πλατφόρμες πληροφοριών απειλών (Threat Intelligence Platforms, TIP) και τα αυτοματοποιημένα συστήματα απόκρισης συμβάντων (Automated Incident Response Systems, AIRS) επιτρέπουν στα UAS να συσχετίζουν συμβάντα ασφαλείας, να αξιολογούν τη σοβαρότητα της απειλής και να ενορχηστρώνουν ενέργειες αποκατάστασης, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και την ανταπόκριση σε επιθέσεις στον κυβερνοχώρο σε δυναμικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

### *Μηχανική και Βαθιά Μάθηση για πληροφορίες απειλών*

Οι τεχνολογίες AI αξιοποιούν τη μηχανική και βαθιά μάθηση για τη συλλογή πληροφοριών για απειλές, την ανάλυση και την κοινή χρήση για να ενισχύσουν την επίγνωση της κατάστασης και τις δυνατότητες προληπτικής άμυνας στον κυβερνοχώρο. Οι αλγόριθμοι Machine learning, συμπεριλαμβανομένης της Natural Language Processing (NLP), της Text mining (TM) και αλγόριθμοι Deep Learning (RNN, LSTM), επιτρέπουν στα UAS να αναλύουν μεγάλους όγκους δεδομένων κυβερνοαπειλών, να εντοπίζουν αναδυόμενες απειλές και να εξάγουν αξιόλογες πληροφορίες από μη δομημένες πηγές, επιτρέποντας την έγκαιρη απόκριση απειλών και τη λήψη μέτρων μετριασμού του κινδύνου.

## **6. Στρατιωτικά ISTAR UAVs**

Τα στρατιωτικά ISTAR UAV (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, and Reconnaissance) έχουν καθιερωθεί ως αναπόσπαστο μέρος των σύγχρονων ενόπλων δυνάμεων. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναλυθούν οι διάφορες κατηγορίες των ISTAR UAV, οι προδιαγραφές τους σύμφωνα με τα πρότυπα του NATO και θα παρουσιαστούν συγκεκριμένες μελέτες περιπτώσεων ISTAR UAVs που ενσωματώνουν τεχνολογίες AI και καταδεικνύουν τη ευρεία χρήση τους σε επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

### **6.1 Κατηγορίες στρατιωτικών UAVs**

Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες UAVs, ανάλογα τον σχεδιασμό τους:

- *UAV σταθερής πτέρυγα (Fixed Wing)*: Τα UAV με σταθερά φτερά μοιάζουν με παραδοσιακά αεροπλάνα, με φτερά που παρέχουν ανύψωση καθώς κινούνται στον αέρα.
- *UAV με πολλαπλούς ρότορες (Multi Rotor)*: Τα UAV με πολλαπλούς ρότορες, γνωστά και ως τετρακόπτερα, εξακόπτερα ή οκτακόπτερα, διαθέτουν πολλαπλούς ρότορες διατεταγμένους σε κατακόρυφη διαμόρφωση.
- *UAV Μονού ρότορα ή Ελικόπτερο (Single Rotor)*: Τα μονοκινητήρια UAV που αποτελούνται συνήθως από έναν μόνο κινητήρα που οδηγεί μια έλικα για πρόωση.
- *Υβριδικά UAV σταθερής πτέρυγας VTOL (Fixed Wing Vertical Take off Landing)*: Τα υβριδικά UAV σταθερής πτέρυγας VTOL συνδυάζουν την αποτελεσματικότητα των αεροσκαφών σταθερών πτερυγών με την ικανότητα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης των UAV με πολλαπλούς ρότορες.

Εκτός από την κατηγοριοποίηση βάσει σχεδιασμού, τα UAVs ταξινομούνται επίσης βάσει του μεγέθους, την εμβέλεια, τη χωρητικότητα του ωφέλιμου φορτίου και τις εφαρμογές τους ή το είδος των επιχειρήσεων που μπορούν να αναλάβουν όταν αναφερόμαστε σε στρατιωτικά UAVs.



Επίσης, στα στρατιωτικά UAVs υφίστανται 2 βασικές κατηγορίες βάσει υψομέτρου πτήσης και αυτονομίας. Έτσι ταξινομούνται σε:

- *HALE (High Altitude Long Endurance)*: Είναι UAVs μεγάλου υψομέτρου, άνω των 60.000 ποδίων, και μεγάλης αυτονομίας που κυμαίνεται από αρκετές ώρες έως και αρκετές ημέρες. Συνήθως μεταφέρουν προηγμένους αισθητήρες και εξοπλισμό, συμπεριλαμβανομένων καμερών υψηλής ανάλυσης, συστημάτων ραντάρ και συσκευών επικοινωνίας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για επιτήρηση, αναγνώριση, συλλογή πληροφοριών και αποστολές αναμετάδοσης επικοινωνίας σε τεράστιες περιοχές. Λόγω του μεγάλου υψομέτρου και της αντοχής τους, προσφέρουν αδιάκοπες δυνατότητες επιτήρησης και μπορούν να καλύψουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές.
- *MALE (Medium Altitude Long Endurance)*: Είναι UAVs μεσαίου υψομέτρου, που κυμαίνεται από 10.000 έως 30.000 πόδια και μεγάλης αυτονομίας που τυπικά κυμαίνεται από 24 έως και 48 ώρες. Μεταφέρουν διάφορα ωφέλιμα φορτία, συμπεριλαμβανομένων καμερών παρακολούθησης, αισθητήρων υπερύθρων και εξοπλισμού πληροφοριών σημάτων. Τα MALE UAV είναι ευέλικτες πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται για ένα ευρύ φάσμα αποστολών, συμπεριλαμβανομένης της επιτήρησης, της αναγνώρισης, της περιπολίας στα σύνορα, της απόκτησης στόχων και της θαλάσσιας περιπολίας. Προσφέρουν μια ισορροπία

μεταξύ υψομέτρου, αντοχής και χωρητικότητας ωφέλιμου φορτίου, καθιστώντας τα κατάλληλα για διάφορες επιχειρησιακές απαιτήσεις.

Και στις δύο αυτές κατηγορίες, συναντάμε κυρίως UAVs μεγάλου μεγέθους. Αυτό εξηγείται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και το είδος των αποστολών που αναλαμβάνουν, που απαιτούν μεγαλύτερα συστήματα πρόωσης, αποθέματα καυσίμου και ωφέλιμα φορτία.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι 4 βασικοί τύποι UAVs βάσει σχεδιασμού, με τα θετικά και αρνητικά του καθενός από σκοπιάς αξιοποίησης για στρατιωτικούς σκοπούς, καθώς και οι επιμέρους στρατιωτικές εφαρμογές του καθενός.

<b>ΤΥΠΟΣ</b>	<b>ΘΕΤΙΚΑ</b>	<b>ΑΡΝΗΤΙΚΑ</b>	<b>ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>
<b>Fixed wing UAVs</b>  	Αποτελεσματικό για αποστολές μεγάλης αντοχής	Απαιτούνται διάδρομοι για απογείωση και προσγείωση	Επιτήρηση και αναγνώριση
	Μπορεί να καλύψει μεγάλες περιοχές με υψηλή ταχύτητα	Περιορισμένη ευελιξία	Συγκέντρωση πληροφοριών
	Εξοπλισμένο με προηγμένους αισθητήρες		Απόκτηση στόχου
<b>Multi-Rotor UAVs</b>  	Δυνατότητα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης	Περιορισμένη αντοχή και ικανότητα ωφέλιμου φορτίου	Αστική αναγνώριση
	Υψηλή ευελιξία και ευελιξία	Λιγότερο αποτελεσματικό για αποστολές μεγάλης εμβέλειας	Επιτήρηση κοντινής εμβέλειας
	Εύκολος χειρισμός σε περιβάλλοντα χωρίς GPS	Ελάχιστη σταθερότητα σε συνθήκες με αέρα	Αποστολές ταχείας απόκρισης
<b>Single-Rotor UAVs</b>	Απλοποιημένη σχεδίαση και	Περιορισμένη αυτονομία	Αναγνώριση μικρής

	κατασκευή	και χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου	εμβέλειας
	Ελαφρύ και φορητό	Λιγότερο σταθερό σε συνθήκες ανέμου	Επίγνωση πεδίου μάχης
	Ευέλικτο για διάφορες εφαρμογές	Χρειάζεται πιλότους υψηλής εξειδίκευσης	Ασφάλεια της προωθημένης βάσης λειτουργίας (FOB)
<b>Fixed-Wing Hybrid VTOL UAVs</b>  	Λειτουργεί τόσο με σταθερή πτέρυγα όσο και με στροφέιο	Πιο πολύπλοκη σχεδίαση και μηχανική	Ναυτική περιπολία
	Μεγαλύτερη αντοχή και εμβέλεια	Μεγαλύτερο κόστος ανάπτυξης και συντήρησης	Επιτήρηση συνόρων
		Χρειάζεται πιλότους υψηλής εξειδίκευσης	Αναγνώριση σε κακοτράχαλο έδαφος
			Υποστήριξη ειδικών επιχειρήσεων

Επίσης, στον κάτωθι πίνακα φαίνεται η ταξινόμηση των στρατιωτικών UAVs κατά NATO σε 3 κατηγορίες, CLASS I, II, III:

<b>Class</b>	<b>Category</b>	<b>Normal Employment</b>	<b>Normal Operating Altitude</b>	<b>Normal Mission Radius</b>
<b>CLASS I</b> (less than 150 kg)	SMALL >20 kg	Tactical Unit (employs launch system)	Up to 5K ft AGL	50 km (LOS)
	MINI 2-20 kg	Tactical Sub-unit (manual Launch)	Up to 3K ft AGL	25 km (LOS)
	MICRO <2 kg	Tactical PI, Sect, Individual	Up to 200 ft AGL	5 km (LOS)
<b>CLASS II</b> (150 kg to 600 kg)	TACTICAL	Tactical Formation	Up to 10,000 ft AGL	200 km (LOS)
<b>CLASS III</b> (more than 600 kg)	Strike / Combat	Strategic/ National	Up to 65,000 ft	Unlimited (BLOS)
	HALE	Strategic/ National	Up to 65,000 ft	Unlimited (BLOS)
	MALE	Operational/ Theatre	Up to 45,000 ft MSL	Unlimited (BLOS)

## 6.2 Προδιαγραφές NATO στρατιωτικών UAVs

Λίγο μετά την ίδρυση του NATO, αναγνωρίστηκε ότι η συντονισμένη ανάπτυξη πολιτικών, διαδικασιών και εξοπλισμού των κρατών μελών είχαν μεγάλη δυναμική για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και αποδοτικότητας του στρατού της νεοσύστατης Συμμαχίας. Ως αποτέλεσμα, ιδρύθηκε στο Λονδίνο τον Ιανουάριο του 1951 η Στρατιωτική Υπηρεσία Τυποποίησης (Military Agency of Standardization, MAS) με σκοπό την προώθηση της τυποποίησης των επιχειρησιακών και διοικητικών πρακτικών και του πολεμικού υλικού.

Πολλοί οργανισμοί συμβάλλουν στην καθιέρωση τέτοιων προτύπων, αντανακλώντας την παγκόσμια σημασία και τη συνεργατική φύση της τεχνολογίας UAV. Σε στρατιωτικό πεδίο ωστόσο, ο Οργανισμός Βορειοατλαντικού Συμφώνου (NATO) βρίσκεται στην πρώτη γραμμή, χρησιμοποιώντας διάφορες οδηγίες, τεχνικές προδιαγραφές και Συμφωνίες Τυποποίησης (STANAGs - Standardization Agreements) για να οριοθετήσει αυστηρά κριτήρια ειδικά προσαρμοσμένα στις μοναδικές απαιτήσεις των στρατιωτικών UAV μεταξύ των μελών κρατών του NATO. Τα πρότυπα αυτά του NATO, θέτουν τα τεχνικά και επιχειρησιακά κριτήρια που πρέπει να πληρούν τα ISTAR UAV για να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα, η αξιοπιστία και η ασφάλειά τους. Μέσω της σχολαστικής προσκόλλησης στις προδιαγραφές και τυποποιήσεις αυτές, τα στρατιωτικά UAV επιτυγχάνουν όχι μόνο την επιχειρησιακή αριστεία αλλά και ενισχύουν τη συνεργασία και τον συντονισμό μεταξύ των συμμαχικών δυνάμεων, υπογραμμίζοντας έτσι τον απαραίτητο ρόλο τους στις σύγχρονες στρατιωτικές προσπάθειες.

Τα πρότυπα STANAG δημοσιεύονται στα Αγγλικά και Γαλλικά από το NATO για να παρέχουν κοινές στρατιωτικές ή τεχνικές διαδικασίες για τα μέλη του NATO. Καθορίζουν διαδικασίες, λειτουργίες, όρους και προϋποθέσεις για κοινές διαδικασίες ή εξοπλισμό μεταξύ των χωρών μελών της συμμαχίας. Οι STANAG αποτελούν επίσης τη βάση για την τεχνική διαλειτουργικότητα μεταξύ μιας μεγάλης ποικιλίας επικοινωνιακών και πληροφοριακών συστημάτων (CIS - Communication and Information Systems).

Στον κάτωθι πίνακα φαίνονται τα βασικές εκδόσεις προτυποποίησης του NATO όσον αφορά τα UAV:

<b>ΕΝΤΥΠΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
<b>NATO STANAG 4856</b>	Διαλειτουργικότητα των συστημάτων ελέγχου εδάφους για τα UAV, εξασφαλίζοντας ότι διαφορετικά UAV μπορούν να ελέγχονται από κοινού
<b>NATO STANAG 4671</b>	Πιστοποίηση αξιοπλοΐας σχετικά με το σχεδιασμό και την κατασκευή τακτικών Fixed-wing UAV με μέγιστο βάρος απογείωσης μεταξύ 150 και 20.000 kg
<b>NATO STANAG 4702</b>	Πιστοποίηση αξιοπλοΐας σχετικά με το σχεδιασμό και την κατασκευή

	τακτικών Rotary Wing UAV με μέγιστο βάρος απογείωσης άνω των 150 kg
<b>NATO STANAG 4703</b>	Πιστοποίηση αξιοπλοΐας σχετικά με το σχεδιασμό και την κατασκευή ελαφρών τακτικών UAS με μέγιστο βάρος απογείωσης έως 150 kg
<b>NATO STANAG 4746</b>	Πιστοποίηση αξιοπλοΐας σχετικά με το σχεδιασμό και την κατασκευή ελαφρών τακτικών Rotary Wing UAV με μέγιστο βάρος απογείωσης έως 150 kg
<b>NATO STANAG 4738</b>	Πιστοποίηση αξιοπλοΐας σχετικά με το σχεδιασμό και την κατασκευή ελαφρών τακτικών VTOL UAV με μέγιστο βάρος απογείωσης έως 150 kg
<b>NATO STANAG 4670</b>	Ελάχιστες απαιτήσεις εκπαίδευσης χειριστών και πιλότων UAV
<b>NATO STANAG 4737</b>	Ενσωμάτωση όπλων σε UAS
<b>NATO STANAG 4817</b>	Αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου μη επανδρωμένης πλατφόρμας πολλαπλών περιοχών
<b>NATO STANAG 4660</b>	Διαλειτουργική Ζεύξη Δεδομένων Διοίκησης και Ελέγχου για UAS (IC2DL)
<b>NATO STANAG 4545</b>	Μορφοποίηση αρχείων ψηφιακών εικόνων και προϊόντων που σχετίζονται με εικόνες και την ανταλλαγή τους.
<b>NATO STANAG 7023</b>	Προτυποποίηση δεδομένων πρωτογενών εικόνων αεροπορικής αναγνώρισης
<b>NATO STANAG 7024</b>	Διεπαφή καταγραφής προϊόντων αεροπορικής αναγνώρισης από αισθητήρες
<b>NATO STANAG 7085</b>	Διαλειτουργικότητα ζεύξεων δεδομένων μεταφοράς εικόνων
<b>NATO STANAG 4575</b>	Προηγμένη διεπαφή αποθήκευσης δεδομένων επίγειων σταθμών.
<b>NATO STANAG 4607</b>	Προτυποποίηση για το περιεχόμενο δεδομένων και τη μορφή των προϊόντων συστημάτων ραντάρ δεικτών επίγειων κινούμενων στόχων

<b>NATO STANAG 4609</b>	Προτυποποίηση ψηφιακών απεικονιστών αισθητήρων / συστημάτων
<b>JSSG-2009</b>	Προδιαγραφές για τα συστήματα ελέγχου και διασύνδεσης των UAV.


### 6.3 Μελέτες περιπτώσεων ISTAR UAVs με δυνατότητες AI

Οι μελέτες περιπτώσεων (Case Studies) που αφορούν τα στρατιωτικά ISTAR UAV με δυνατότητες AI προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις για τον ρόλο και την αποτελεσματικότητα αυτών των συστημάτων σε πραγματικές επιχειρήσεις. Οι κατηγορίες που θα παρουσιαστούν περιλαμβάνουν UAV διαφόρων μεγεθών και δυνατοτήτων, από μικρές τακτικές πλατφόρμες έως μεγάλα στρατηγικά αεροσκάφη.





Πρέπει να τονιστεί ότι πολλές τεχνολογίες που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια δεν περιλαμβάνονται στους παρακάτω πίνακες. Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι για τα στρατιωτικά UAV υφίστανται πολύ αυστηροί κανονισμοί διασφάλισης πληροφοριών, ειδικά σε ότι αφορά σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις, αφετέρου στο γεγονός ότι πολλές από αυτές τις τεχνολογίες είναι σε επίπεδο έρευνας, ανάπτυξης και δοκιμών, με συνέπεια να μην έχουν εισέτι ενσωματωθεί και εφαρμοστεί σε μαζικής παραγωγής συστήματα UAS.





#### 6.3.1 Μικρού μεγέθους UAVs

Υπάρχουν πολλά μικρά στρατιωτικά ISTAR UAVs που ενσωματώνουν τεχνολογίες AI. Αυτά τα UAV συχνά αξιοποιούν την τεχνητή νοημοσύνη για διάφορους σκοπούς, όπως η αυτόνομη πλοήγηση, η αναγνώριση στόχων, η ανίχνευση απειλών και η λήψη αποφάσεων. Μερικά παραδείγματα είναι τα εξής:

ΜΟΝΤΕΛΟ	ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΧΩΡΑ	ΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ	ΕΙΚΟΝΑ
<b>RQ-11 Raven</b>	AeroVironment	ΗΠΑ	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης</li> <li>-Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων</li> <li>-Αυτόματη παρακολούθηση στόχων</li> <li>-Ενσωματωμένες δυνατότητες μάθησης</li> </ul>	









<p><b>Matrice 300 RTK</b></p>	<p>DJI</p>	<p>ΟΥΚΡΑΝΙΑ ΡΩΣΙΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Ανίχνευση και παρακολούθηση στόχων</li> <li>-Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων</li> <li>-PinPoint (Δυνατότητα επισήμανσης αντικειμένων σε μια σκηνή με τη δημιουργία συντεταγμένων GPS)</li> <li>-Αυτόματη καταγραφή αποστολών</li> <li>-Αυτόματη σύγκριση δεδομένων από επαναλαμβανόμενες πτήσεις</li> <li>-Ενσωματωμένες δυνατότητες μάθησης</li> </ul>	
<p><b>RQ-7 Shadow</b></p>	<p>Textron Systems</p>	<p>ΗΠΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Αυτόματη αναγνώριση και παρακολούθηση στόχων</li> <li>-Επεξεργασία και ανάλυση εικόνας</li> <li>-Αυτόματη επιστροφή στη βάση</li> <li>-Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης</li> <li>-Προηγμένα συστήματα διαχείρισης αποστολών</li> </ul>	
<p><b>Skylark I-LEX</b></p>	<p>Elbit Systems</p>	<p>ΙΣΡΑΗΛ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Αυτόματη αναγνώριση και παρακολούθηση στόχων</li> <li>-Επεξεργασία και ανάλυση εικόνας</li> <li>-Αυτόματη επιστροφή στη βάση</li> <li>-Βελτιστοποίηση αποστολών</li> <li>-Προηγμένα συστήματα διαχείρισης αποστολών</li> </ul>	
<p><b>Wasp AE</b></p>	<p>AeroVironment</p>	<p>ΗΠΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων</li> <li>-Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων</li> <li>-Αυτόματη ανίχνευση εμποδίων</li> <li>-Εύρεση και διάσωση</li> <li>-Ενσωματωμένες δυνατότητες μάθησης</li> </ul>	

<p><b>MQ-1C Gray Eagle</b></p>	<p>General Atomics</p>	<p>ΗΠΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων</li> <li>-Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων</li> <li>-Αυτόματη αποστολή αναφορών</li> <li>-Αντιμετώπιση απειλών</li> <li>-Συνεχής προσαρμογή και εκπαίδευση</li> </ul>	
<p><b>BirdEye 650D</b></p>	<p>Israel Aerospace Industries (IAI)</p>	<p>ΙΣΡΑΗΛ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Επεξεργασία Εικόνας και Βίντεο</li> <li>-Ανίχνευση και παρακολούθηση στόχων</li> <li>-Αναγνώριση Παραμέτρων Περιβάλλοντος</li> <li>-Ενσωματωμένες δυνατότητες μάθησης</li> </ul>	
<p><b>Switchblade</b></p>	<p>AeroVironment</p>	<p>ΗΠΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Ανίχνευση Στόχων</li> <li>-Αυτόματη κατεύθυνση προς τον στόχο</li> <li>-Επίθεση και καταστροφή στόχων</li> <li>-Αυτόνομη επιστροφή ή προσγείωση</li> </ul>	
<p><b>CH-901</b></p>	<p>China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC)</p>	<p>ΚΙΝΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων</li> <li>-Ανάλυση δεδομένων</li> <li>-Ανίχνευση και παρακολούθηση στόχων</li> <li>-Αυτόνομη επιστροφή ή προσγείωση</li> </ul>	

### 6.3.2 Μεγαλύτερα ISTAR UAVs

Στον κάτωθι πίνακα παρουσιάζονται αντίστοιχα μεγαλύτερης κλίμακας UAV.

ΜΟΝΤΕΛΟ	ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΧΩΡΑ	ΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ	ΕΙΚΟΝΑ
<b>Northrop Grumman / HALE</b>	RQ-4 Global Hawk	ΗΠΑ	-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση -Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων -Ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων -Αυτόματος εντοπισμός απειλών και αντίδραση -Αυτόνομη προσαρμογή στις απαιτήσεις της αποστολής	
<b>MQ-9 Reaper</b>	General Atomics	ΗΠΑ	-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση -Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων -Ανάλυση δεδομένων και εξαγωγή πληροφοριών -Αυτόνομη επιστροφή ή προσγείωση	
<b>Heron TP (Eitan)</b>	Israel Aerospace Industries (IAI)	ΙΣΡΑΗΛ	-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση -Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων -Ανάλυση δεδομένων και εξαγωγή πληροφοριών -Αυτόνομη επιστροφή ή προσγείωση	
<b>Wing Loong II /MALE</b>	China Aerospace Science & Technology Corporation (CASC)	ΚΙΝΑ	-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση -Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων -Ανάλυση δεδομένων και εξαγωγή πληροφοριών -Αυτόνομη επιστροφή ή προσγείωση	
<b>MQ-1 Predator</b>	General Atomics	ΗΠΑ	-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση -Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων -Ανάλυση δεδομένων και εξαγωγή πληροφοριών -Αυτόνομη επιστροφή ή προσγείωση	

<p><b>CH-5 Rainbow</b></p>	<p>China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC)</p>	<p>KINA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Αυτόνομη πτήση και πλοήγηση</li> <li>-Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων</li> <li>-Ανάλυση δεδομένων και εξαγωγή πληροφοριών</li> <li>-Αυτόνομη επιστροφή ή προσγείωση</li> </ul>	
--------------------------------	--	-------------	--	---

## 7. Ηθικά ζητήματα και Κανονιστική Συμμόρφωση

Καθώς τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) που εκτελούν αποστολές Πληροφοριών, Επιτήρησης, Απόκτησης Στόχων και Αναγνώρισης και ενσωματώνουν τεχνολογίες AI γίνονται ολοένα και πιο διαδεδομένα, είναι επιτακτική ανάγκη να ληφθούν υπόψη οι ηθικοί παράγοντες καθώς και θέματα Κανονιστικής Συμμόρφωσης που αφορούν την ανάπτυξη και τη χρήση τους.

### 7.1 Ηθικά ζητήματα

#### *Ιδιωτικότητα και προστασία δεδομένων*

Ένα από τα σημαντικότερα ηθικά ζητήματα περιστρέφεται γύρω από το απόρρητο και την ιδιωτικότητα. Τα UAV που εκτελούν επιχειρήσεις ISTAR συλλέγουν συχνά τεράστιες ποσότητες δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων εικόνων και ευαίσθητων πληροφοριών για άτομα και κοινότητες. Η διασφάλιση ότι αυτά τα δεδομένα συλλέγονται, αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται με τρόπο που σέβεται τα δικαιώματα απορρήτου είναι πρωταρχικής σημασίας. Πρέπει να θεσπιστούν διαφανείς πολιτικές σχετικά με τη συλλογή, τη διατήρηση και τη διάδοση δεδομένων για τον μετριασμό πιθανών παραβιάσεων της ιδιωτικής ζωής.

#### *Ακρίβεια αλγορίθμων και προκαταλήψεις*

Η ακρίβεια και η πιθανή μεροληψία των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται στα ISTAR UAV αξίζουν προσεκτική εξέταση. Αυτοί οι αλγόριθμοι παίζουν συχνά κεντρικό ρόλο στην ανάλυση δεδομένων και στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η διασφάλιση ότι αυτοί οι αλγόριθμοι εκπαιδεύονται σε διαφορετικά και αντιπροσωπευτικά σύνολα δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στον μετριασμό των προκαταλήψεων και στην ενίσχυση της αξιοπιστίας και της δικαιοσύνης των αποτελεσμάτων. Οι τακτικοί έλεγχοι και αξιολογήσεις της αλγοριθμικής απόδοσης είναι απαραίτητες για τον εντοπισμό και τη διόρθωση τυχόν προκαταλήψεων ή ανακρίβειων.

### *Αυτονομία και έλεγχος*

Το επίπεδο αυτονομίας που παρέχεται στα UAV εγείρει ηθικά ερωτήματα σχετικά με τη λογοδοσία και την υπευθυνότητα. Τα αυτόνομα UAV εξοπλισμένα με τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν ανεξάρτητες αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης στόχων και της εμπλοκής. Η θέσπιση σαφών γραμμών ελέγχου και η διασφάλιση της ανθρώπινης επίβλεψης και ελέγχου είναι ουσιαστικής σημασίας για την πρόληψη πιθανής κακής χρήσης ή ακούσιων συνεπειών. Θα πρέπει να αναπτυχθούν δεοντολογικά πλαίσια και κατευθυντήριες γραμμές που να διέπουν την ανάπτυξη και τη λειτουργία των αυτόνομων UAV, δίνοντας έμφαση στις αρχές της διαφάνειας, της λογοδοσίας και της ανθρώπινης εποπτείας.

### *Πολιτική Ασφάλεια και Προστασία*

Η διασφάλιση της ασφάλειας και της προστασίας των πολιτών σε περιοχές όπου αναπτύσσονται ISTAR UAV αποτελεί θεμελιώδη ηθική επιταγή. Θα πρέπει να εφαρμοστούν μέτρα για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου βλάβης σε αμάχους και μη στρατιωτικές υποδομές. Η αυστηρή τήρηση του διεθνούς ανθρωπιστικού δικαίου, συμπεριλαμβανομένων των αρχών της διάκρισης, της αναλογικότητας και της προφύλαξης, είναι ουσιαστικής σημασίας για τον μετριασμό της πιθανότητας απωλειών αμάχων και παράπλευρων ζημιών.

### *Δίλημμα διπλής χρήσης*

Η φύση διπλής χρήσης των UAV ISTAR εγείρει ηθικά διλήμματα σχετικά με τις δυνατότητές τους τόσο για στρατιωτικές όσο και για πολιτικές εφαρμογές. Ενώ αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν σημαντικά οφέλη όσον αφορά την ενίσχυση της επίγνωσης της κατάστασης και της ασφάλειας, έχουν επίσης τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν για σκοπούς επιτήρησης και ελέγχου. Η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ των νόμιμων αμυντικών αναγκών και της διασφάλισης των ατομικών δικαιωμάτων και ελευθεριών είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση αυτού του ηθικού διλήμματος.

## 7.2 Κανονιστική Συμμόρφωση

### **Διεθνείς Συνθήκες και Κανονισμοί**

Η χρήση στρατιωτικών UAV με τεχνολογίες AI διέπεται από ένα πλέγμα διεθνών συνθηκών και κανονισμών που στοχεύουν στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με το διεθνές δίκαιο και τα ανθρώπινα δικαιώματα.

- *Η Συνθήκη για την Απαγόρευση των Βιολογικών Όπλων (BWC) και η Συνθήκη για την Απαγόρευση των Χημικών Όπλων (CWC):* Αν και δεν σχετίζονται άμεσα με UAV και AI, παρέχουν ένα πλαίσιο για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο διεθνείς συμφωνίες μπορούν να ρυθμίσουν στρατιωτικές τεχνολογίες.
- *Η Σύμβαση της Γενεύης:* Ρυθμίζει τη συμπεριφορά κατά τη διάρκεια των ένοπλων συγκρούσεων, περιλαμβάνοντας τη διάκριση μεταξύ μαχητών και αμάχων και την προστασία των τελευταίων.
- *Οδηγίες της Ομάδας των Ηνωμένων Εθνών για τα Αυτόνομα Όπλα:* Αν και βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο, αυτές οι οδηγίες προσπαθούν να θέσουν τα βασικά πλαίσια για τη χρήση αυτόνομων όπλων, συμπεριλαμβανομένων των UAV.

## **Εθνική Νομοθεσία**

Η νομοθεσία κάθε χώρας παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της ανάπτυξης και της χρήσης στρατιωτικών UAV και AI.

- *ΗΠΑ:* Το Υπουργείο Άμυνας (DoD) έχει εκδώσει οδηγίες για την ανάπτυξη και τη χρήση αυτόνομων συστημάτων, όπως το DoD Directive 3000.09, που θέτει αρχές και όρια για τη χρήση αυτόνομων και ημι-αυτόνομων όπλων.
- *Ευρωπαϊκή Ένωση:* Η ΕΕ εργάζεται προς τη θέσπιση κανονιστικών πλαισίων που να περιλαμβάνουν την ηθική και την ασφάλεια των AI συστημάτων μέσω της στρατηγικής για την τεχνητή νοημοσύνη και του Κανονισμού για την Προστασία των Δεδομένων (GDPR), που επηρεάζει την επεξεργασία δεδομένων από UAV.
- *Ρωσία και Κίνα:* Αυτές οι χώρες επενδύουν έντονα στην ανάπτυξη AI για στρατιωτική χρήση, αν και οι κανονισμοί τους είναι λιγότερο διαφανείς, δημιουργώντας ανάγκη για διεθνή διαβούλευση και κανονιστική εναρμόνιση.

## **Δεοντολογικές Επιτροπές και Διαφάνεια**

Η δημιουργία δεοντολογικών επιτροπών μπορεί να συμβάλει στην επίβλεψη της ανάπτυξης και χρήσης των UAV με AI, εξασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με ηθικές αρχές και κανονισμούς.

- *Δεοντολογικές Επιτροπές:* Αυτές οι επιτροπές θα πρέπει να περιλαμβάνουν εμπειρογνώμονες από διάφορους τομείς, όπως νομικούς, ηθικολόγους, στρατιωτικούς και ειδικούς στο AI. Ο ρόλος τους θα είναι να αξιολογούν τις επιπτώσεις των νέων τεχνολογιών και να προτείνουν ρυθμιστικά πλαίσια.

- *Διαφάνεια και Λογοδοσία:* Οι στρατιωτικοί οργανισμοί θα πρέπει να είναι διαφανείς σχετικά με τις τεχνολογίες που αναπτύσσουν και χρησιμοποιούν. Αυτό περιλαμβάνει την δημοσιοποίηση πληροφοριών σχετικά με τα κριτήρια για την ανάπτυξη και χρήση UAV, καθώς και τη δημιουργία μηχανισμών λογοδοσίας σε περιπτώσεις παραβιάσεων.

### **Ανάγκη για Διεθνή Συνεργασία**

Η παγκόσμια φύση των στρατιωτικών επιχειρήσεων και της ανάπτυξης τεχνολογίας AI απαιτεί διεθνή συνεργασία για την εναρμόνιση των κανονισμών και την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών.

- *Διεθνείς Οργανισμοί:* Ο ρόλος των διεθνών οργανισμών, όπως τα Ηνωμένα Έθνη, το NATO και η Διεθνής Επιτροπή του Ερυθρού Σταυρού, είναι κρίσιμος για την ανάπτυξη και εφαρμογή διεθνών κανονιστικών πλαισίων.
- *Διμερείς και Πολυμερείς Συμφωνίες:* Χώρες μπορούν να συνάψουν συμφωνίες για την ανταλλαγή πληροφοριών και τη συνεργασία στην ανάπτυξη και την εφαρμογή κανονισμών για τα στρατιωτικά UAV και τις τεχνολογίες AI.

## **8. Μελλοντικές Τάσεις και Κατευθύνσεις**

### **8.1 Μελλοντικές τάσεις βασικών εξαρτημάτων**

Στον κάτωθι πίνακα αναφέρονται οι μελλοντικές τάσεις των βασικών εξαρτημάτων ενός UAV, που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3.

<b>ΣΥΣΤΗΜΑ</b>	<b>ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ</b>
<b>Αεροσκάφος</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ανάπτυξη προηγμένων υλικών και τεχνικών κατασκευής (carbon fiber και διάφορα πρόσθετα)</li><li>• Ενσωμάτωση αρθρωτών και επαναδιαμορφώσιμων σχεδίων ατράκτου</li><li>• Ενσωμάτωση προηγμένων αεροδυναμικών χαρακτηριστικών και συστημάτων ελέγχου πτήσης (βιομιμητικά από τη φύση σχέδια)</li><li>• Εξερεύνηση αντισυμβατικών και καινοτόμων ιδεών πλαισίων αεροσκαφών (μικρότερα φτερά, stealth)</li></ul>
<b>Σύστημα πρόωσης</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Πιο αποδοτικοί ηλεκτροκινητήρες</li><li>• Διανεμημένοι μικροί ηλεκτροκινητήρες κατά μήκος της ατράκτου</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κυψέλες καυσίμου</li> <li>• Βιοκαύσιμα</li> <li>• Ανάπτυξη ελαφρύτερων και πιο ανθεκτικών εξαρτημάτων πρόωσης</li> <li>• Ηλιακή ενέργεια</li> <li>• Κινητήρες υδρογόνου</li> </ul>
<b>Avionics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αυτόνομη πλοήγηση: χρήση προηγμένων αλγορίθμων AI για έλεγχο πτήσης, επίγνωση της κατάστασης και λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.</li> <li>• Εξέλιξη της νοημοσύνης και των αλγορίθμων συνεργασίας του σμήνους (swarm)</li> </ul>
<b>Σύστημα επικοινωνιών και data link</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χρήση 5G</li> <li>• Χρήση δορυφορικής επικοινωνίας και δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και εντοπισμού θέσης</li> <li>• Εφαρμογή τεχνικών δικτύωσης πλέγματος για να καταστεί δυνατή η επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών UAV και επίγειων σταθμών</li> <li>• Ανάπτυξη ισχυρών συστημάτων επικοινωνίας ικανών να υποστηρίξουν επιχειρήσεις μεγάλης εμβέλειας και αποστολές BVLOS (Beyond Vision Line of Sight )</li> <li>• Έρευνα σε αλγόριθμους αυτόνομης επικοινωνίας και δικτύωσης για αυτοοργάνωση σμήνων UAV και συνεργατικών αποστολών.</li> <li>• Υιοθέτηση αλγορίθμων κρυπτογράφησης και ασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας</li> <li>• Ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών κυβερνοασφάλειας κατά της παρεμβολής και κατά της πλαστογράφησης</li> </ul>
<b>Payload</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μικρότεροι και ελαφρύτεροι αισθητήρες</li> <li>• Χρήση προηγμένων hyperspectral και ακουστικών αισθητήρων</li> <li>• Χρήση καμερών υψηλής ανάλυσης</li> <li>• Ενσωμάτωση προηγμένων αλγορίθμων AI για εντοπισμό αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, παρακολούθηση και ταξινόμηση, συντήρηση και εντοπισμό ανωμαλιών</li> </ul>
<b>Ηλεκτρικό Σύστημα Ισχύος</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πιο αποδοτικοί ηλεκτροκινητήρες</li> <li>• Προηγμένες μπαταρίες</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κυψέλες καυσίμου</li> <li>• Τροφοδότηση από ηλιακή ενέργεια</li> <li>• Μικροί ηλεκτροκινητήρες καταναμημένοι κατά μήκος της ατράκτου</li> </ul>
<b>Συστήματα ασφαλείας</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών αίσθησης και αποφυγής (SAA)</li> <li>• Εφαρμογή προηγμένων αλγορίθμων για ανάλυση δεδομένων αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο</li> <li>• Εφαρμογή προηγμένων αλγορίθμων για προληπτική συντήρηση και Health Monitoring</li> <li>• Ενίσχυση της ανθεκτικότητας και της αυτονομίας στις καιρικές συνθήκες:</li> <li>• Ανάπτυξη αλγορίθμων σχεδιασμού πτήσης και λήψης αποφάσεων με επίγνωση των καιρικών συνθηκών για την αποφυγή δυσμενών καιρικών συνθηκών και ασφαλή λειτουργία σε αντίξοες καιρικές συνθήκες, όπως ισχυροί άνεμοι ή χαμηλή ορατότητα.</li> </ul>

## 8.2 Μελλοντικές προοπτικές ενσωμάτωσης AI σε ISTAR UAVs

Η τεχνολογία των ISTAR UAV σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες AI έχει ήδη επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο πεδίο των επιχειρήσεων. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, οι μελλοντικές κατευθύνσεις αυτών των συστημάτων προβλέπεται να ενισχύσουν ακόμα περισσότερο τις επιχειρησιακές δυνατότητες, αυξάνοντας την αποδοτικότητα, την αυτονομία και την ασφάλεια των στρατιωτικών επιχειρήσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις βασικοί άξονες οι οποίοι αναμένεται στο μέλλον να προσδώσουν μεγάλη ώθηση στις επιχειρησιακές ικανότητες των UAV.

### *Artificial Intelligence of Things (AIoT)*

Το AIoT είναι ο συνδυασμός AI και IoT (το Internet of Things) δημιουργώντας ένα ισχυρό δίκτυο έξυπνων συσκευών που μπορούν να αλληλεπιδρούν και να λαμβάνουν αποφάσεις αυτόνομα. Το AI βασιζόταν πάντα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων για την ανάπτυξη αποτελεσματικών αλγορίθμων. Το IoT θα μπορούσε να τροφοδοτήσει ζωντανά δεδομένα στην τεχνητή νοημοσύνη για τη δημιουργία πιο περίπλοκων αλγορίθμων και να εφαρμόσει στην «αιτία» στα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Το AI θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή των δεδομένων IoT σε χρήσιμες πληροφορίες για βελτιωμένες διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Στις επιχειρήσεις ISTAR, το AIoT μπορεί να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, ενισχύοντας την ακρίβεια, την ταχύτητα και την

αποδοτικότητα της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων. Μέσω της ενσωμάτωσης προηγμένων αισθητήρων και συστημάτων AI, τα UAV μπορούν να επικοινωνούν και να συντονίζονται με άλλες στρατιωτικές πλατφόρμες σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας την ικανότητα ανίχνευσης και αναγνώρισης στόχων. Επιπλέον, η δυνατότητα των AIoT συστημάτων να επεξεργάζονται τεράστιους όγκους δεδομένων τοπικά και να προσαρμόζονται σε δυναμικές συνθήκες πεδίου μάχης, ενισχύει την ανθεκτικότητα και την επιχειρησιακή ευελιξία. Έτσι, το AIoT υπόσχεται να μετασχηματίσει τις επιχειρήσεις ISTAR, παρέχοντας πιο ολοκληρωμένες και έγκαιρες πληροφορίες, ενώ παράλληλα μειώνει το ανθρώπινο κόστος και τις καθυστερήσεις στη λήψη αποφάσεων.

### *C4ISR 5ης γενιάς*

Το C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) είναι ένα κρίσιμο συστατικό των σύγχρονων στρατιωτικών επιχειρήσεων. Καθώς η τεχνολογία προχωρά, η ιδέα του C4ISR εξελίσσεται για να ανταποκριθεί στις προκλήσεις ενός ολοένα πιο περίπλοκου και διασυνδεδεμένου πεδίου μάχης. Το C4ISR 5ης γενιάς σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης (AI), υπόσχεται να αναβαθμίσει τις επιχειρήσεις ISTAR σε πρωτοφανή επίπεδα απόδοσης και αποτελεσματικότητας. Η 5η γενιά του C4ISR περιλαμβάνει βελτιωμένες δυνατότητες δικτύωσης, ενισχυμένη συνδεσιμότητα και ολοκληρωμένες πλατφόρμες δεδομένων, οι οποίες ενσωματώνονται άψογα με προηγμένους αλγορίθμους AI. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν τη συλλογή, την ανάλυση και την αξιοποίηση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο με υψηλή ακρίβεια. Τα συστήματα AI μπορούν να επεξεργάζονται τεράστιους όγκους δεδομένων ταχύτατα, εντοπίζοντας τάσεις, ανωμαλίες και πιθανές απειλές με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις παραδοσιακές μεθόδους. Επιπλέον, το C4ISR 5ης γενιάς αξιοποιεί την AI για τη βελτιστοποίηση της διοίκησης και του ελέγχου (Command and Control), επιτρέποντας την αυτόνομη λήψη αποφάσεων και τη δυναμική προσαρμογή των επιχειρησιακών σχεδίων. Η ενσωμάτωση της AI επιτρέπει επίσης τον συντονισμό πολυάριθμων UAV και άλλων πλατφορμών σε ένα ενιαίο, συνεκτικό δίκτυο, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα των αποστολών ISTAR. Συνολικά, το C4ISR 5ης γενιάς σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες AI αναμένεται να ενισχύσει δραματικά τις στρατιωτικές επιχειρήσεις, παρέχοντας ανώτερη επίγνωση της κατάστασης και βελτιστοποιημένη ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο.

### *Πρωτόκολλα ανίχνευσης αντικειμένων με επίγνωση απορρήτου*

Στο εξελισσόμενο τοπίο της Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) και Target Acquisition (TA) Unmanned Aerial Vehicles (UAV) με δυνατότητα AI, το μελλοντικό πεδίο των πρωτοκόλλων ανίχνευσης αντικειμένων με επίγνωση της έννοιας της ιδιωτικότητας προαναγγέλλει μια μεταμορφωτική εποχή στη διαφύλαξη των ατομικών δικαιωμάτων απορρήτου μεγιστοποίηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας. Αυτά τα πρωτόκολλα, εμπλουτισμένα με τεχνολογίες

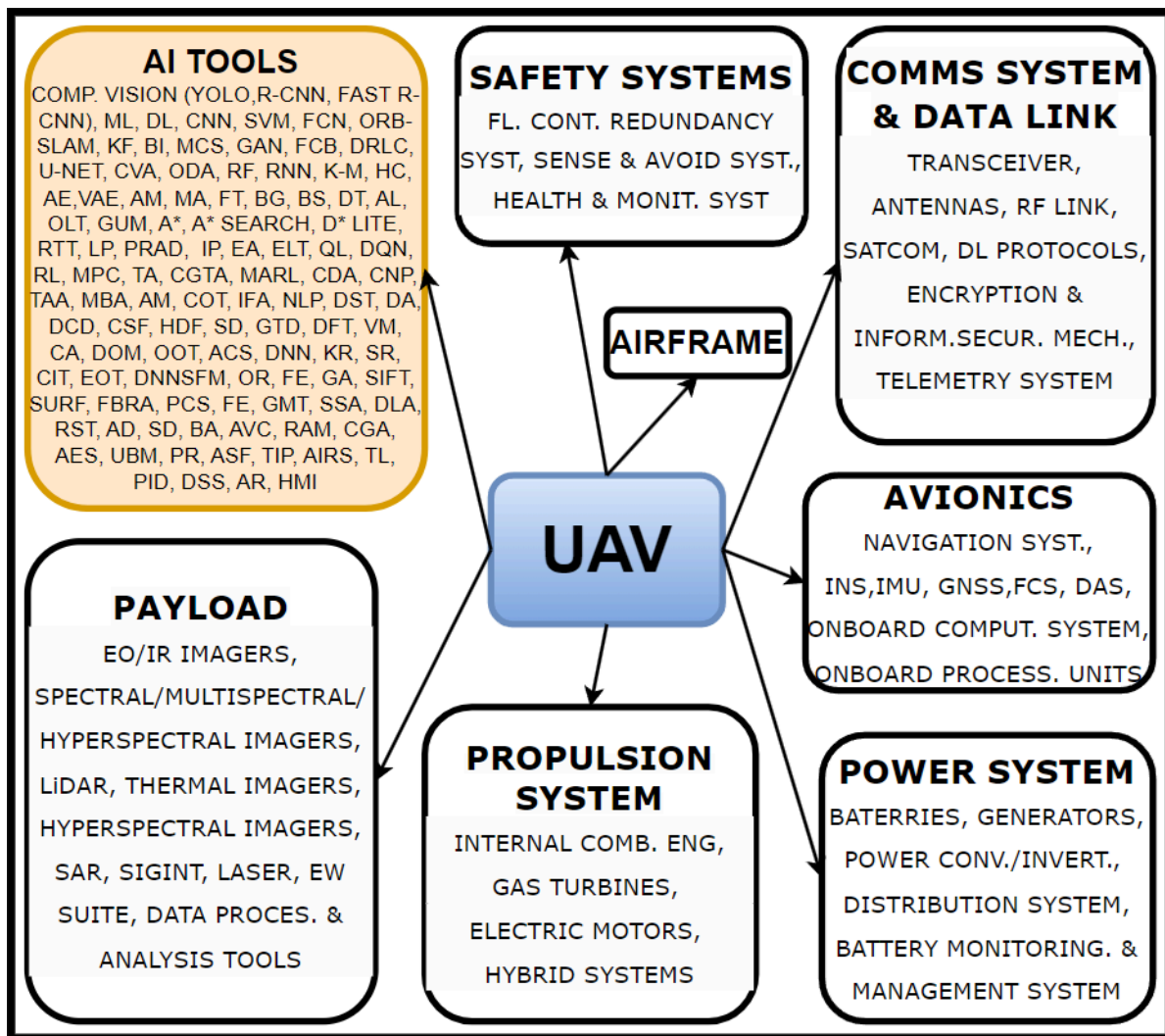
τεχνητής νοημοσύνης αιχμής, επιτρέπουν στα UAV να ανιχνεύουν και να αναγνωρίζουν αντικείμενα ενδιαφέροντος, ενώ ταυτόχρονα ανωνυμοποιούν ή συσκοτίζουν πληροφορίες προσωπικής ταυτοποίησης, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς απορρήτου και τα ηθικά θέματα. Με την ενσωμάτωση της επίγνωσης της ιδιωτικής ζωής σε αλγόριθμους ανίχνευσης αντικειμένων, τα UAS μπορούν να επιτύχουν μια λεπτή ισορροπία μεταξύ της συλλογής δεδομένων για τους στόχους της αποστολής και της διατήρησης του απορρήτου των ατόμων. Αυτή η πρόοδος όχι μόνο ενισχύει την εμπιστοσύνη του κοινού, αλλά επεκτείνει επίσης τη δυνατότητα εφαρμογής των UAV σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της επιβολής του νόμου, του πολεοδομικού σχεδιασμού και της αντιμετώπισης καταστροφών, τοποθετώντας τα ως απαραίτητα εργαλεία για το κοινωνικό όφελος στην ψηφιακή εποχή.

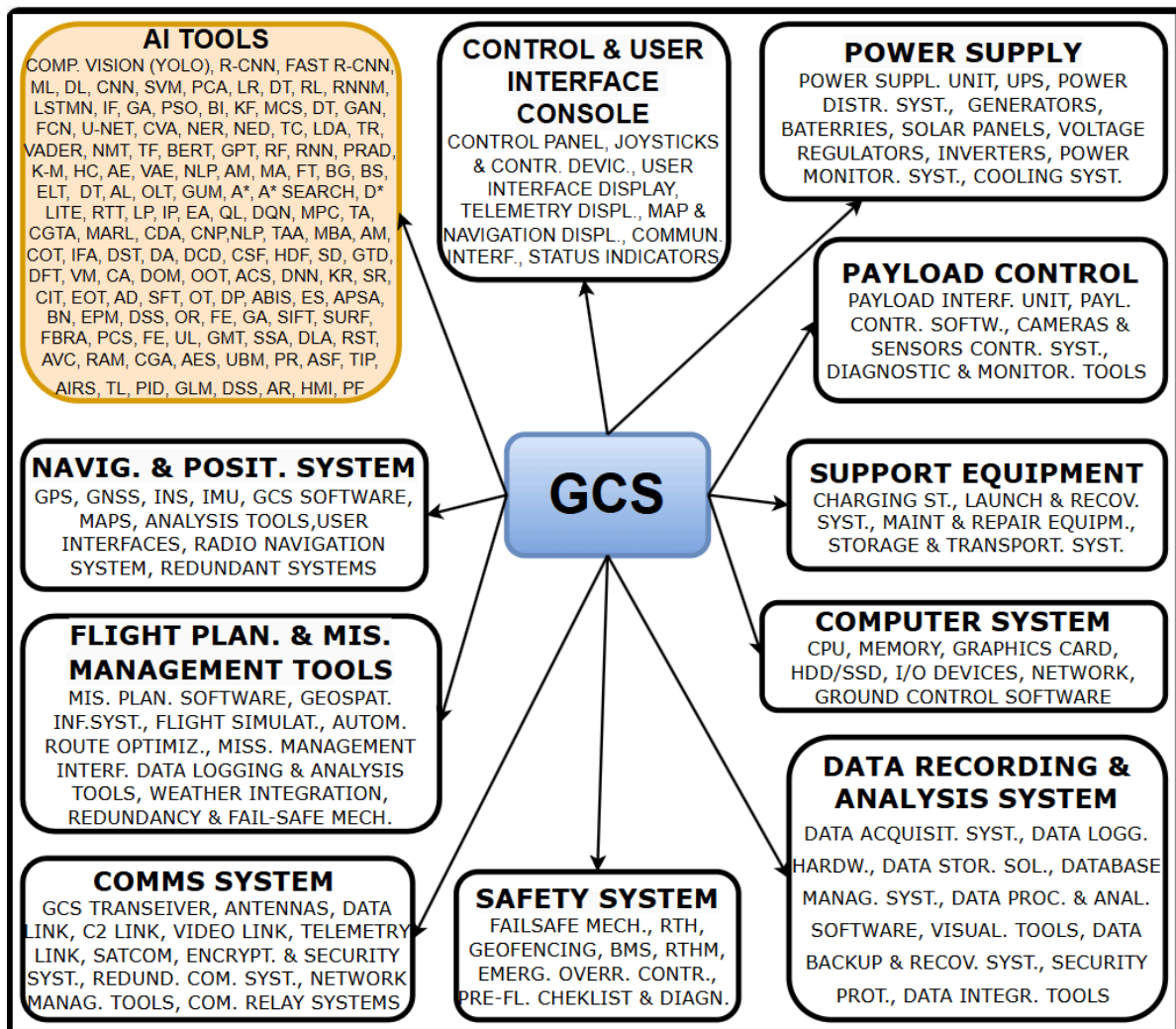
## 9. Αντί επιλόγου: Ολοκληρωμένα συστήματα UAV, GCS και AI

Στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας και προκειμένου να προσφέρω μια συνολική και οπτικοποιημένη άποψη των εξελιγμένων τεχνολογιών που συζητήθηκαν, παρουσιάζονται δύο σχεδιαγράμματα. Το πρώτο σχεδιάγραμμα αφορά το UAV επόμενης γενιάς, ενώ το δεύτερο εστιάζει στον Σταθμό Ελέγχου Εδάφους (GCS). Κάθε σχεδιάγραμμα αποτυπώνει αναλυτικά τα βασικά συστήματα και υποσυστήματα, καθώς και τις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης που ενσωματώνονται σε αυτά, όπως ακριβώς παρουσιάστηκαν στα αντίστοιχα κεφάλαια. Τα σχεδιαγράμματα αυτά αποσκοπούν στο να παρέχουν μια σαφή και εμπειριστατωμένη εικόνα της λειτουργικής δομής και των τεχνολογικών καινοτομιών που συνθέτουν το ολοκληρωμένο ISTAR UAS.

Στις τεχνολογίες AI που αναγράφονται σε ξεχωριστό πλαίσιο ως εργαλεία AI (AI Tools), περιλαμβάνονται τόσο τα καθαυτά εργαλεία, όσο και τεχνικές που ενσωματώνουν τεχνολογίες AI (AI-Powered Techniques), όπως αλγόριθμοι, μέθοδοι ή προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν ή εμπλουτίζονται περαιτέρω με τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης για να εκτελέσουν κάποιες εργασίες που απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη.

Με αυτόν τον τρόπο, οι πληροφορίες που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της εργασίας αποκτούν μια πιο απτή και κατανοητή μορφή, καθιστώντας ευκολότερη την κατανόηση των σύγχρονων δυνατοτήτων και της πολυπλοκότητας των συστημάτων ISTAR UAS, ενώ τα σχεδιαγράμματα που ακολουθούν μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο συμπυγμένης και οπτικοποιημένης παρουσίασης αμφότερων συστημάτων UAV και GCS.





Κλείνοντας αυτή τη διπλωματική εργασία, αναδείχθηκαν οι τεράστιες δυνατότητες που προσφέρει η τεχνητή νοημοσύνη στις τεχνολογίες ISTAR UAS, παρέχοντας εξελιγμένες λύσεις επιτήρησης, αναγνώρισης, συλλογής πληροφοριών και απόκτησης στόχων. Η ανάλυση των συστημάτων και υποσυστημάτων, σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση αλγορίθμων AI, αποδεικνύει τη σημαντική συμβολή τους στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ακρίβειας των επιχειρησιακών λειτουργιών. Τα συμπεράσματα της εργασίας υπογραμμίζουν επίσης την ανάγκη για συνεχή έρευνα και ανάπτυξη, καθώς και την υιοθέτηση ηθικών και κανονιστικών πλαισίων που θα διασφαλίσουν την υπεύθυνη χρήση αυτών των τεχνολογιών.

Κοιτώντας προς το μέλλον, η τεχνητή νοημοσύνη αναμένεται να διαδραματίσει ακόμα πιο καθοριστικό ρόλο στις τεχνολογίες ISTAR UAV, προσφέροντας ακόμα πιο εξελιγμένες δυνατότητες αυτονομίας, συνεργατική λειτουργία και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων. Η συνεχής πρόοδος στην AI θα επιτρέψει την ανάπτυξη πιο προηγμένων συστημάτων που θα μπορούν να ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο σε δυναμικά περιβάλλοντα, ενισχύοντας την ικανότητα λήψης αποφάσεων και

την αποτελεσματικότητα των αποστολών. Η πρόκληση βέβαια θα είναι να επιτευχθεί μια ισορροπημένη προσέγγιση που θα συνδυάζει την τεχνολογική καινοτομία με την ηθική υπευθυνότητα και τη συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. CoL Brendan cook, RCaF, MSM, CD “The Future of Artificial Intelligence in ISR Operations”
2. Camille Oren & Andrej Verity “Artificial Intelligence (AI) Applied to Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)”
3. Aleksandar Petrovski, Marko Radovanović “APPLICATION OF DRONES WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MILITARY PURPOSES”
4. Aleksandar Petrovski, Marko Radovanović “Application of detection reconnaissance technologies use by drones in collaboration with C4IRS for military interested, Contemporary Macedonian Defence, 21 (40) (2021)”
5. “None too clever: Military applications of AI”, Drone Wars UK
6. Kristine Kiernan, Robert Joslin, John Robbins “Standardization Roadmap for Unmanned Aircraft Systems, Version 2.0”
7. Budiyo, Agus, Higashino, Shin-Ichiro “ A Review of The Latest Innovations in UAV Technology”
8. Zhang, Bowen, et al. "Overview of propulsion systems for unmanned aerial vehicles.”
9. Osim Kumar Pal, Md Sakib Hossain Shovon, M. Firoz Mridha Ph. D., Jungpil Shin “A Comprehensive Review of AI-enabled Unmanned Aerial Vehicle: Trends, Vision , and Challenges”
10. Chunling Chen, Ziyue Zheng, Tongyu Xu, Shuang Guo, Shuai Feng, Weixiang Yao, Yubin Lan “YOLO-Based UAV Technology: A Review of the Research and Its Applications”
11. Borel-Donohue, C. Young, S.S. “Image quality and super resolution effects on object recognition using deep neural networks In Proceedings of the Conference on Artificial Intelligence and Machine Learning for Multi-Domain Operations Applications”
12. Nishawn S. Smagh “Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance Design for Great Power Competition”
13. Priyanka Gupta, Bhavya Pareek, Gaurav Singal & D. Vijay Rao “Edge device based Military Vehicle Detection and Classification from UAV”
14. Ayalew A, pooja D “A review on object detection from unmanned aerial vehicle using cnn. International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology”

15. Gupta, Priyanka; Pareek, Bhavya; Singal, Gaurav; Rao, D Vijay (2021), "Military and Civilian Vehicles Classification", Mendeley Data
16. Coluccia A, Parisi G, Fascista A "Detection and classification of multirotor drones in radar sensor networks: A review"
17. Girshick R, Donahue J, Darrell T, Malik J "Region-based convolutional networks for accurate object detection and segmentation"
18. Kyrkou C, Plastiras G, Theocharides T, Venieris S I, Bouganis C Dronet "Efficient convolutional neural network detector for real-time uav applications"
19. Singh A, Patil D, Omkar SN "Eye in the sky: Real-time drone surveillance system (DSS) for violent individuals identification using scatternet hybrid deep learning network"
20. Ministry of Defence, Joint Doctrine Publication 0-30.2 "Unmanned Aircraft Systems"
21. Yousef Alghamdi; Arslan Munir; Hung Manh La "Architecture, Classification, and Applications of Contemporary Unmanned Aerial Vehicles"
22. "Eyes of the army: US army roadmap for unmanned aircraft systems 2010-2035"
23. Dr. Maziar Arjomandi, "CLASSIFICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES"
24. L. Jian, Z. Li, X. Yang, W. Wu, A. Ahmad and G. Jeon, "Combining unmanned aerial vehicles with artificial-intelligence technology for traffic-congestion recognition: Electronic eyes in the skies to spot clogged roads"
25. D. Kinaneva, G. Hristov, J. Raychev and P. Zahariev, "Application of artificial intelligence in UAV platforms for early forest fire detection"
26. M. Hassanalain and A. Abdelkefi, "Classifications applications and design challenges of drones: A review"
27. H. Shakhathreh et al., "Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges"
28. Grigore Eduard Jeler, "MILITARY AND CIVILIAN APPLICATIONS OF UAV SYSTEMS"
29. V. HLOTOV, A. HUNINA, S. KNIAZIEV, V. KOLESNICHENKO, O. PROKHORCHUK, "ANALYSIS OF APPLICATION OF THE UAVs FOR MILITARY TASKS"
30. Kamran F, Shahzad M, Shafait F "Automated military vehicle detection from low-altitude aerial images"
31. J. Kim, S. Kim, C. Ju and H. I. Son, "Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform control and applications"
32. Huanhua Liu, Yonghao Yu, "A Military Object Detection Model of UAV Reconnaissance Image and Feature Visualization"
33. Vachtsevanos, George, et al. "From mission planning to flight control of unmanned aerial vehicles: Strategies and implementation tools."

34. Shao, Shikai, et al. "Efficient path planning for UAV formation via comprehensively improved particle swarm optimization."
35. N. Tus 'nio and W. Wro 'blewski, "The efficiency of drones usage for safety and rescue operations in an open area: A case from poland,"
36. S. Lo Piano, "Ethical principles in machine learning and artificial intelligence: cases from the field and possible ways forward,"
37. F. Huang, S. Chen, Q. Wang, Y. Chen, and D. Zhang, "Using deep learning in an embedded system for real-time target detection based on images from an unmanned aerial vehicle: Vehicle detection as a case study,"
38. Ibrahim, A. W. N.; Pang Wee Ching; Seet, G. L. G.; Lau, W. S. M.; Czajewski, W., "Moving Objects Detection and Tracking Framework for UAV-based Surveillance,"
39. Neubauer, Martin; Guenther, Georg; Fuellhas, Konrad, "Structural Design Aspects and Criteria for Military UAV"
40. Gheorghe UDEANU, Alexandra DOBRESCU, Mihaela OLTEAN , "UNMANNED AERIAL VEHICLE IN MILITARY OPERATIONS"
41. Geng, L., Zhang, YF., Wang, PF., Wang, JJ., Fuh J. Y. H., Teo, S. H. (2014). "UAV Surveillance mission planning with gimbaled sensors"
42. Lowe D. G. "Object Recognition from Local Scale-invariant Features", in International Conference on Computer Vision"
43. Panigrahi, N., Tripathy, S. "Design Criteria of a UAV for ISTAR and Remote Sensing Applications"
44. Yilmaz, A., Javed, O., & Shah, M. (2006). "Object tracking: A survey"
45. Lowe D. G. "Object Recognition from Local Scale-invariant Features"
46. Brain, M. "Flights of fancy: Products in the unmanned systems marketplace"
47. Justin Bronk "De-Centralized Command and Control in Air Operations: Implications for Air Battle Management and Mission Command"
48. Desimone, Roberto; Lee, Richard "Flexible UAV Mission Management Using Emerging Technologies"
49. Jeremy STRAUB "A Review of Spacecraft AI Control Systems"
50. Ahmad Taher Azar, Anis Koubaa "Drone Deep Reinforcement Learning: A Review"
51. Weibel, R.; Hansman, R.J. "Safety considerations for operation of different classes of UAVs in the NAS"
52. Huang, H.M. "Autonomy levels for unmanned systems (ALFUS) framework: Safety and application issues"
53. Li, B.; Wu, Y. "Path planning for UAV ground target tracking via deep reinforcement learning."



54. Imanberdiyev, N.; Fu, C.; Kayacan, E.; Chen, I.M. “Autonomous navigation of UAV by using real-time model-based reinforcement learning”
55. Tožička, J.; Szulyovszky, B.; de Chambrier, G.; Sarwal, V.; Wani, U.; Gribulis, M. Application of deep reinforcement learning to UAV fleet control”
56. Polvara, R.; Patacchiola, M.; Sharma, S.; Wan, J.; Manning, A.; Sutton, R.; Cangelosi, A. “Toward end-to-end control for UAV autonomous landing via deep reinforcement learning”
57. Tomic, T.; Schmid, K.; Lutz, P.; Domel, A.; Kassecker, M.; Mair, E.; Grixa, I.L.; Ruess, F.; Suppa, M.; Burschka, D. “Toward a fully autonomous UAV: Research platform for indoor and outdoor urban search and rescue”
58. Li, J.; Li, Y. “Dynamic analysis and PID control for a quadrotor”
59. Hasheminasab, S.M.; Zhou, T.; Habib, “A. GNSS/INS-Assisted structure from motion strategies for UAV-Based imagery over mechanized agricultural fields”
60. Poole, D.L.; Mackworth, A.K. “Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agent”
61. Dalamagkidis, K. “Definitions and terminology. In Handbook of Unmanned Aerial Vehicles”
62. Custers, B. Drones “Here, there and everywhere introduction and overview”
63. Adarsh Kumar, Ali Ismail Awad, Gaurav Sharma “Revolutionizing Modern Networks: Advances in AI, Machine Learning, and Blockchain for Quantum Satellites and UAV-based Communication”
64. Michail Gargalakos “The role of unmanned aerial vehicles in military communications: application scenarios, current trends, and beyond”
65. Javier Jordan “The future of unmanned combat aerial vehicles: An analysis using the Three Horizons framework”
66. J. Altmann, F. Sauer “Autonomous weapon systems and strategic stability”
67. M. Bieri, M. Dickow “Lethal autonomous weapons systems: Future challenges”
68. P. Scharre “Autonomous weapons and operational risk”
69. Secretary of the Air Force Public Affairs “AI copilot: Air Force achieves first military flight with artificial intelligence”
70. Vaios Lappas , Ioannis Daramouskas, Nicki Patrino-poulou, Dimitris Meimetis, Vassilis Kostopoulos “SWARMING: A DISRUPTIVE, GAME CHANGING TECHNOLOGY FOR DEFENSE APPLICATIONS”
71. Marko Radovanović, Aleksandar Petrovski, Vinko Žindaršič, Aner Behlić “The C5ISR System Integrated with Unmanned Aircraft in the Large-Scale Combat Operations”
72. Vasile PRISACARIU, Mircea BOȘCOIANU, Dănuț BĂLOS “CONSIDERATIONS ABOUT CONSTRUCTION OF UAV GROUND CONTROL STATIONS”

73. K. Mansfield, T. Eveleigh, T. H. Holzer and S. Sarkani, "Unmanned aerial vehicle smart device ground control station cyber security threat model"
74. John Wiley "Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment"
75. Atif Ali, Khurram Shehzad "Artificial Intelligence Potential Trends in Military"
76. Bangkui Fan, Yun Li, Ruiyu Zhang, Qiqi Fu "Review on the Technological Development and Application of UAV Systems"
77. István SZABADFÖLDI "ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MILITARY APPLICATION – OPPORTUNITIES AND CHALLENGES "
78. Huan Zhou; Qian Su; Wenxing Fu; Cheng Xu; Meiyun Zheng; Jingguang Yang "A Summary of the Development of Cooperative and Intelligent Technology for Multi-UAV Systems"
79. Hai T. Do, Linh H. Truong, Minh T. Nguyen "Energy-Efficient Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Surveillance Utilizing Artificial Intelligence (AI)"
80. J. Ren, X.G. Gao and J.S. Zheng, "Mission decision-making for UAV under dynamic environment"
81. J.M. Hoc, "From human-machine interaction to human-machine cooperation"