



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τμ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Π.Μ.Σ. «ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΤΙΤΛΟΣ:

*ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΜΗΝΩΝ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ-
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΑΥΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ*

ΤΙΤΛΟΣ ΑΓΓΛΙΚΑ:

*COOPERATIVE DRONE SWARM FUNCTION- COMMUNICATION LINKS
BETWEEN THEM AND WITH GROUND CONTROL STATIONS*

Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:

ΠΡΩΙΜΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:

ΔΡ. ΚΟΥΚΟΣ ΙΩΝΝΗΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΑΡΤΙΟΣ 2024**



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τμ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Π.Μ.Σ. «ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Ιωάννης Κούκος

Διευθυντής ΠΜΣ
Δρ. Παπουτσιδάκης Μιχαήλ

Δρ. Αβραάμ Χατζόπουλος

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κωνσταντίνος Πρωιμάκης του Ζαχαρία, με αριθμό μητρώου 8096622 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μη Επανδρωμένα Αυτόνομα και Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο δηλών



Ημερομηνία

10/03/2024

ΠΡΩΙΜΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

**Συνεργατική λειτουργία σμηνών μη επανδρωμένων αεροσκαφών-
τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μεταξύ αυτών και με τους Σταθμούς Ελέγχου στο
έδαφος**

ΠΡΩΙΜΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο Καθηγητικό Σώμα για την
μερική
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του
Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μη Επανδρωμένα Αυτόνομα και
Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης
και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής**

Περίληψη

Τα μη επανδρωμένα συστήματα αποτελούν, ένα αναπτυσσόμενο πεδίο που ενσωματώνεται ολοένα και περισσότερο στην καθημερινότητά μας. Στη διπλωματική εργασία που ακολουθεί, θα εξερευνήσουμε τον τρόπο με τον οποίο τα μη επανδρωμένα συστήματα συνεργάζονται μεταξύ τους και πώς αλληλοεπιδρούν με άλλους φορείς. Θα διερευνήσουμε επίσης τους τρόπους επικοινωνίας τους, τόσο μεταξύ τους όσο και με άλλα μέσα, και θα αναδείξουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν αμφότερες αυτές τις πτυχές. Με αυτόν τον τρόπο, η εργασία αυτή επιδιώκει να παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα του ρόλου και της σημασίας των μη επανδρωμένων συστημάτων στη σύγχρονη κοινωνία και στις ένοπλες δυνάμεις.

Ειδικότερα, θα ορίσουμε τι είναι σμήνος, καταλήγοντας στα σμήνη μη επανδρωμένων συστημάτων, αναφερόμενοι στην τεχνητή νοημοσύνη όπως και τη νοημοσύνη του σμήνους. Στο δεύτερο κεφάλαιο, θα εξετάσουμε τους αισθητήρες και τα μέσα που απαιτούνται για την υλοποίηση των αποστολών τους από τα μη επανδρωμένα συστήματα. Στο τρίτο κεφάλαιο, θα δώσουμε έμφαση στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και στα τακτικά ψηφιακά δίκτυα, αναδεικνύοντας τη σημασία της επικοινωνίας για τη λειτουργία των μη επανδρωμένων συστημάτων. Έπειτα στο τέταρτο κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε μερικούς από τους αλγορίθμους που εφαρμόζονται στα σμήνη μη επανδρωμένων συστημάτων, επισημαίνοντας το πόσο σύνθετο κομμάτι είναι η δημιουργία και η ομαλή λειτουργία ενός μηχανικού σμήνους. Τέλος, στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, θα επικεντρωθούμε στην εφαρμογή των μη επανδρωμένων συστημάτων στο πεδίο της μάχης και στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να ενσωματωθούν και να χρησιμοποιηθούν από τις ένοπλες δυνάμεις της χώρας μας, καθώς και στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν σε αυτό το πεδίο.

Abstract

Unmanned systems represent a growing field that is increasingly integrated into our daily lives. In the following thesis, we will explore how unmanned systems collaborate with each other and interact with other entities. We will also investigate their modes of communication, both among themselves and with other mediums, and highlight the factors influencing both these aspects. In doing so, this work aims to provide a comprehensive understanding of the role and significance of unmanned systems in modern society and armed forces.

Specifically, we will define what constitutes a swarm, culminating in unmanned aerial vehicle swarms, referring to artificial intelligence as well as swarm intelligence. In the second chapter, we will examine the sensors and resources required for their missions by unmanned systems. The third chapter will focus on the telecommunications field and digital networks, emphasizing the importance of communication for the operation of unmanned systems. Subsequently, in the fourth chapter, we will present some of the algorithms applied to unmanned aerial vehicle swarms, highlighting how complex a task it is to create and smoothly operate a mechanical swarm. Finally, in the fifth and last chapter, we will focus on the application of unmanned systems in the battlefield and how they can be integrated and utilized by our country's armed forces, as well as the challenges they face in this field.

Ευχαριστίες

Για το πόνημά μου αυτό, αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Ιωάννη Κούκο που μου με κατεύθυνε σημαντικά κατά τη συγγραφή της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, τον οποίο εκτιμώ ιδιαίτερα πρωτίστως ως άνθρωπο αλλά και ως ακαδημαϊκό με αγάπη για τους φοιτητές του και για αυτό που κάνει.

Θερμά ευχαριστώ και τους-τις καθηγήτριες-καθηγητές του Π.Μ.Σ. «Μη Επανδρωμένα, Αυτόνομα και Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, που μας άνοιξαν νέα γνωστικά πεδία και μας διεύρυναν τα όσα ήδη γνωρίζαμε.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου, για την βοήθεια και την υποστήριξή τους, κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	10
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 ΣΜΗΝΟΣ.....	11
1.2 ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΜΗΝΟΥΣ.....	11
1.3 ΣΜΗΝΟΣ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ.....	12
1.4 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	14
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: UNMANNED AERIAL SYSTEM	16
2.1 ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΛΑΦΟΥΣ.....	16
2.2 ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ&ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗ.....	17
2.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	18
2.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LIDAR.....	18
2.3.2 GPS (ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ)	19
2.3.3 INS (INERTIAL NAVIGATION SYSTEM)	20
2.3.4 RADAR.....	21
2.3.5 ΚΕΡΑΙΕΣ.....	22
2.3.6 ΠΟΜΠΟΣ IFF.....	23
2.3.7 ΚΑΜΕΡΕΣ.....	24
2.3.8 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΠΟΛΕΜΟΥ.....	24
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΔΙΚΤΥΑ, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, TACTICAL DATA LINKS ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	25
3.1 UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM TRAFFIC MANAGEMENT (UTM).27	
3.2 TACTICAL DATA LINK.....	28
3.2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	28
3.2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ&ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	29
3.2.3 ΜΗΝΥΜΑΤΑ&ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	29
3.2.4 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΑΚΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	31
3.2.5 MULTININK.....	33
3.3 SWARM COMMUNICATIONS PROTOCOL.....	34
3.3.1 MAVLINK (MICRO AIR VEHICLE LINK)	34
3.3.2 DDS (DATA DISTRIBUTION SERVICE)	35
3.3.3 FTP (FILE TRANSFER PROTOCOL)	36
3.3.4 SSH (SECURE SHELL)	37
3.4 ΔΙΚΤΥΑ	38
3.4.1 STAR NETWORKS.....	38
3.4.2 MESH NETWORKS.....	40
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: Η ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΤΟΥ ΣΜΗΝΟΥΣ ΣΤΑ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ.....	42
4.1 ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.....	42
4.2 DECISION MAKING.....	43
4.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ.....	44
4.3.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	45
4.3.1.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ Α*.....	46

4.3.2	ΒΙΟ-ΜΙΜΗΤΙΚΟΙ (BIOINSPIRED) ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ.....	48
4.3.2.1	ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)	49
4.3.2.2	BAT ALGORITHM (BA)	51
4.3.2.3	PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO).....	53
4.4	ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.....	54
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ.....	56
5.1	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	56
5.2	ΤΑ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΣΕ ΠΕΔΙΑ ΜΑΧΗΣ.....	57
5.2.1	ΝΑΓΚΟΡΝΟ-ΚΑΡΑΜΠΙΑΧ.....	57
5.2.2	ΡΩΣΙΑ-ΟΥΚΡΑΝΙΑ.....	59
5.3	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΜΗΝΩΝ UAV.....	61
5.3.1	ΕΚΤΑΚΤΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ.....	61
5.3.2	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΠΟΛΕΜΟΣ.....	63
5.3.3	SEAD (SUPPRESSION ENEMY AIR DEFENCE)	66
5.3.4	ΕΝΑΕΡΙΑ ΜΑΧΗ.....	68
5.3.5	ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ.....	69
5.3.6	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΩΝ ΜΑΧΗΣ (BATTLE DAMAGE ASSESSMENT)	71
5.3.7	ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΙ ΣΚΟΠΟΙ.....	72
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 1: σμήνος μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Πηγή: <https://www.newsbeast.gr/weird/arthro/10267835/o-logos-pou-ta-poulia-petoun-se-schima-v>
- Εικόνα 2: ground control station MQ-1 Predator, Πηγή: <https://theaviationist.com/2012/10/15/six-mq-9-reaper-four-mq-1-predator-drones-flying-simultaneously-set-new-world-record/>
- Εικόνα 2.1: Τεχνολογία Lidar σε αυτοκίνητο, Πηγή: <https://www.nextdeal.gr/epikairota/aytokinito/132694/lidar-i-tehnologia-poy-prostateyei-kai-ofelei-simantika-ton>
- Εικόνα 3: μοντέλο OSI Πηγή: <https://www.imperva.com/learn/application-security/osi-model/>
- Εικόνα 3.2: multilink διασύνδεση Πηγή: <https://euro-sd.com/2022/02/articles/exclusive/25266/the-combat-cloud-air-c2-and-warfighting-in-a-multi-domain-battlespace/>
- Εικόνα 3.3: Απεικόνιση διατάξεων (α) STAR, (β) MESH και (γ) MULTI-STAR. Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/a-Star-configuration-b-flat-mesh-network-c-multi-star-configuration_fig1_321343956
- Εικόνα 4: παράδειγμα εφαρμογής αλγόριθμος A*, Πηγή: <https://www.geeksforgeeks.org/a-search-algorithm/>
- Εικόνα 4.1: κατηγοριοποίηση βιο-μιμητικών αλγορίθμων, Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Classification-of-Bio-Inspired-Optimization-Algorithm_fig2_262349373
- Εικόνα 4.2 Διάγραμμα κατηγοριών αλγορίθμων νοημοσύνης σμήνους. Πηγή: <https://www.mdpi.com/2313-7673/8/2/235#>
- Εικόνα 4.3: αναπαράσταση αλγορίθμου Ant Colony Optimization Πηγή: https://plos.figshare.com/articles/figure/Ant_Colony_Optimization_Algorithm_processes_/1418788
- Εικόνα 4.4: συνδυαστική λειτουργία BAT και PSO αλγορίθμων, Πηγή: SWARM INTELLIGENCE Principles, Advances, and Applications, σελ.27
- Εικόνα 5: TB2 drone strikes in Nagorno-Karabakh, 2020 (Ministry of Defense of Azerbaijan), Πηγή: <https://www.aerotime.aero/articles/26011-nagorno-karabakh-downed-helicopters-and-turkish-drones>
- Εικόνα 5.1: στόχοι ουκρανικών drones
- Εικόνα 5.2: IAI HARPY drone εκτοξεύεται από επίγειο φορέα, Πηγή: <https://www.iai.co.il/p/harpy>

Κατάλογος Συντομογραφιών

- UAV: Unmanned Aerial Vehicle
- UAS: Unmanned aerial system
- Lidar: Light Detection and Ranging
- GPS: global positioning system
- INS: Inertial Navigation System
- RADAR: radio detecting and ranging
- MTI: moving target indication
- SAR: Synthetic Aperture Radar
- VHF: very high frequency
- UHF: ultra-high frequency
- IFF: Identification Friend or Foe
- ATM: Air Traffic Management
- OSI: Open Systems Interconnection
- TDL: tactical data link
- LOS: Line of Sight
- TDMA: time division multiple access
- MAVLINK: micro air vehicle link
- DDS: data distribution service
- FTP: file transfer protocol
- SSH: secure shell
- UGV: unmanned ground vehicle
- UDP: User Datagram Protocol
- TCP: Transmission Control Protocol
- ACK: acknowledgment
- NAK: negative-acknowledgement
- SCP: Secure Copy Protocol

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΜΗΝΟΣ

Ο όρος "σμήνος" αναφέρεται σε μια ομάδα ατόμων ή αντικειμένων που κινούνται ή λειτουργούν μαζί, συνήθως με κοινό σκοπό ή σε κοινό πεδίο δράσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει ένα σμήνος εντόμων, πουλιών, ένα σμήνος αεροσκαφών, ή ακόμη και μια ομάδα ανθρώπων που συνεργάζονται σε ένα κοινό έργο. Αυτά τα αυτοδιοργανώμενα συστήματα, αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, όπως και με το περιβάλλον γύρω τους. Φυσικά παραδείγματα σμηνών περιλαμβάνουν, μια φωλιά μελισσών, τις αποικίες μυρμηγκιών, τις συμπεριφορές του σμήνους πουλιών, τη βακτηριακή ανάπτυξη ή ένα κοπάδι των ψαριών .

Εμφανή παραδείγματα απόδειξης της αξίας του σμήνους αποτελούν τα έντομα. Τα οποία μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ τους και με το περιβάλλον, λύνουν αποτελεσματικά πολύπλοκα προβλήματα, όπως η εύρεση της συντομότερης διαδρομής για συλλογή τροφής και η οργάνωση των φωλιών τους. Για παράδειγμα τα μυρμήγκια ως μονάδες, δεν φαντάζουν ικανά όχι μόνο για την υλοποίηση έργου αλλά και για την επιβίωση τους. Ωστόσο ως ομάδα καταφέρνουν να κατασκευάζουν τεράστιες φωλιές, σε σχέση με το μέγεθός τους. Καταφέρνουν λοιπόν να δημιουργήσουν υπόγειες φωλιές που υποστηρίζουν τη συνύπαρξη μεγάλου αριθμού ατόμων, με πληθώρα διαφορετικών χώρων και χρήσεων.

Από την άλλη, ένα ακόμα παράδειγμα σμήνους, είναι εκείνα των πουλιών, που κινούνται σαν ένα σώμα παρά του ότι αποτελούνται από πολλές ανεξάρτητες οντότητες. Είναι γνωστό πως τα σμήνη των πτηνών πετούν σε σχηματισμό "V" ειδικά όταν πρόκειται για μακρινά ταξίδια. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό έχει να κάνει με τους νόμους της φυσικής, καθώς με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται ενέργεια. Ο τρόπος με τον οποίο ο αέρας περνά από τα φτερά των πουλιών δημιουργεί μια μικρή αεροδυναμική ανυψωτική δύναμη πίσω από το καθένα, διευκολύνοντας τις πτητικές επιδόσεις. Γι' αυτό κάθε πουλί πετά ελαφρώς ψηλότερα από αυτό που προηγείται και μάλιστα χτυπούν με πιο αργό ρυθμό τις φτερούγες τους, εκμεταλλευόμενα την αιώρησή τους. Σε περίπτωση που ένα πουλί απομακρυνθεί από τον σχηματισμό, θα υποστεί μεγαλύτερη αντίσταση από τον αέρα. Μάλιστα, αν και ο χώρος ανάμεσα στα δύο σκέλη του V αποτελεί πλεονεκτική θέση, το σμήνος δεν ανέχεται τα πουλιά που θα προσπαθήσουν να εισχωρήσουν εκεί.

1.2 ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΜΗΝΟΥΣ

Ο τρόπος λοιπόν λειτουργίας των σμηνών μη επανδρωμένων, μιμείται και αντλεί περιεχόμενο σε πολύ μεγάλο ποσοστό, από αντίστοιχα σμήνη που συναντάμε στο φυσικό περιβάλλον. Οι επιστήμονες προσδιορίζουν την λεγόμενη «νοημοσύνη του σμήνους» (Swarm Intelligence - SI), δηλαδή την συλλογική συμπεριφορά αποκεντρωμένων, αυτοοργανωμένων συστημάτων, φυσικών ή τεχνητών. Η όλη ιδέα βρίσκει εφαρμογές στον τομέα και της τεχνητής νοημοσύνης.

Τα συστήματα νοημοσύνης σμήνους κατά κανόνα αποτελούνται από έναν πληθυσμό απλών παραγόντων-μελών που αλληλοεπιδρούν τοπικά ο ένας με τον άλλον και με το περιβάλλον τους. Οι παράγοντες αυτοί, ακολουθούν πολύ απλούς κανόνες. Μολονότι δεν υπάρχει καμία συγκεντρωτική δομή ελέγχου να υπαγορεύει πως θα πρέπει να συμπεριφέρονται τα μέλη του σμήνους μεμονωμένα, οι τοπικές και έως ένα βαθμό τυχαίες - αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, οδηγούν στην εμφάνιση μιας ευφυούς, παγκόσμιας συμπεριφοράς, άγνωστη στους μεμονωμένους παράγοντες.

Επιπλέον μας ενδιαφέρει πως αλληλοεπιδρούν εντός του σμήνους τα μεμονωμένα άτομα, αλλά και συνολικά πως όλα μαζί μπορούν να λύσουν δύσκολα προβλήματα. Οι εξειδικευμένοι μηχανικοί και προγραμματιστές, επιχειρούν να αντιγράψουν ποικίλα χαρακτηριστικά των έμβιων οντοτήτων που υπάρχουν στη φύση, για να τα εφαρμόσουν σε μηχανικά συστήματα, ώστε να λειτουργούν αυτόνομα. Διότι τα μυρμήγκια και οι μέλισσες κατέχουν εκ γενετής αυτά τα πολύ σημαντικά γνωρίσματα, που στα μη επανδρωμένα αποτυπώνονται ως κώδικας και αλγόριθμος λειτουργίας, που σε αντίστοιχο επίπεδο στη φύση προσδιορίζεται με το DNA. Συνάμα με την μορφοποίηση και τεχνικά χαρακτηριστικά, ή τους αισθητήρες που θα φέρουν, τα μηχανικά συστήματα μιμούνται την ικανότητα να οργανώνονται ως σμήνη με περίπλοκο τρόπο και να επιδεικνύουν σύνθετες και αυτορρυθμιζόμενες συμπεριφορές, που δεν είναι εγγεγραμμένες αντίστοιχα στα γονίδιά τους αλλά είναι μια αναδυόμενη ιδιότητα που βασίζεται σε επίκτητες συμπεριφορές που εντυπώνονται κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

Τα σμήνη έχουν διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, αξιόλογα προς μελέτη και ερμηνεία. Αρχικά η επικοινωνία και η συνεργασία μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας διάφορα μέσα, όπως χημικές ουσίες (π.χ. φερομόνες), κινήσεις και ήχους. Αυτή η συνεργασία, τους επιτρέπει να λειτουργούν ως ένα συνεκτικό σύνολο. Έπειτα, η οργάνωση τους, καθώς είναι ικανά να αυτοοργανώνονται, προσαρμόζοντας τη συμπεριφορά τους σε αλλαγές στο περιβάλλον τους. Η ικανότητα αυτή τους επιτρέπει να ανταποκρίνονται σε προκλήσεις και να εξασφαλίζουν την επιβίωσή τους. Στη συνέχεια ο τρόπος με τον οποίο αξιοποιούν τις αισθήσεις και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους, που τους βοηθούν να αντλούν πληροφορίες από το περιβάλλον τους. Αυτά περιλαμβάνουν αισθητήρια όργανα για τον εντοπισμό τροφής, εχθρών, και την ανίχνευση άλλων μελών του σμήνους. Τέλος οφείλουμε να παρατηρήσουμε και να αξιολογήσουμε, την κίνηση τους στο χώρο. Συγκεκριμένα οι κινήσεις τους είναι εξαιρετικά επιδέξιες. Μπορούν να σχηματίσουν πολύπλοκα σχήματα και να προσαρμόζονται σε αλλαγές του περιβάλλοντος με απίστευτη ευκινησία. Παράλληλα είναι ικανά να αντιλαμβάνονται εμπόδια και να αναπροσαρμόζουν την κίνησή τους για να τα αποφύγουν, δείχνοντας υψηλό επίπεδο ευφυΐας.

1.3 ΣΜΗΝΟΣ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΝΕΝΩΝ

Ένας σμήνος UAV (Unmanned Aerial Vehicle) αναφέρεται σε σύνολο από πολλά UAV που λειτουργούν συντονισμένα ως μια ομάδα. Αυτά τα σμήνη drone, δύναται να είναι είτε όμοιου τύπου, είτε διαφορετικού. Τα μέλη του σμήνους μη επανδρωμένων, είναι εξοπλισμένα με πληθώρα αισθητήρων, ανάλογα πάντα με τον

σκοπό που υπηρετούν και τις αποστολές που πραγματοποιούν. Τα σμήνη UAV έχουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς, όπως η στρατιωτική ανάγκη για αεροπορική επιτήρηση και αναγνώριση, στη γεωργία για την παρακολούθηση της καλλιέργειας, σε περιβαλλοντική επιτήρηση, στην έρευνα και διάσωση, στην παρακολούθηση του κυκλοφοριακού ροής, μεταξύ άλλων. Η τεχνολογία των σμηνών UAV συνεχίζει να εξελίσσεται και να αναπτύσσεται για να ανταποκριθεί σε αυξανόμενες ανάγκες και εφαρμογές.

Τα μη επανδρωμένα για να λειτουργήσουν, για να παρακολουθούμε την κατάστασή τους και για να υλοποιήσουν την αποστολή τους, θα πρέπει να φέρουν πλήθος αισθητήρων. Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούν τον πυρήνα της λειτουργίας των μη επανδρωμένων. Εξασφαλίζουν τη συλλογή δεδομένων και τη μεταφορά τους στον χειριστή ή το κεντρικό σύστημα. Παρόμοια και στα σμήνη μη επανδρωμένων, όπου οι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες για το περιβάλλον και τις συνθήκες που επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων και τη συντονισμένη κίνηση του σμήνους.

Στη συνέχεια χρειαζόμαστε και ένα σύστημα επικοινωνίας (data link), που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες, του μη επανδρωμένου οχήματος προς τον χειριστή ή το κεντρικό σύστημα. Οι επικοινωνίες μπορεί να γίνονται μέσω δορυφορικών συνδέσεων, ραδιοκυμάτων, ή άλλων τεχνολογιών. Η αξιοπιστία και η ασφάλεια του data link είναι αντίστοιχα κρίσιμες για την αποτελεσματική λειτουργία των οχημάτων, με την χρήση κρυπτογραφίας και προηγμένων πρωτοκόλλων να είναι σημαντική και απαραίτητη, για την προστασία των δεδομένων από ανεπιθύμητη υποκλοπή και παρεμβολή. Η εφαρμογή του συστήματος επικοινωνίας (data link), σε σμήνη μη επανδρωμένων οχημάτων, προσφέρει αυξημένη επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των οχημάτων του σμήνους. Οι συστοιχίες οχημάτων με ενσωματωμένα data links, επιτρέπουν τη μεταξύ τους επικοινωνία για συντονισμένες και ευέλικτες λειτουργίες. Ενδεικτικά παρατηρούμε τον συντονισμό κίνησης, την κοινή ανίχνευση και εξερεύνηση, την διανομή εργασιών, την αυτόνομη απόκριση σε αλλαγές καταστάσεων, την ασφαλή επικοινωνία και την ανακατανομή καθηκόντων.



Εικόνα 1: σμήνος μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Οι αλγόριθμοι σε μη επανδρωμένα οχήματα, σχεδιάζονται για να επιτυγχάνουν συγκεκριμένους στόχους, όπως η ασφαλής πλοήγηση, η ακρίβεια στον εντοπισμό και το κλείδωμα ενός στόχου, η εξοικονόμηση ενέργειας και άλλα, ανάλογα με τον τύπο και τον σκοπό τους. Οι αλγόριθμοι για σμήνη μη επανδρωμένων οχημάτων, επιτρέπουν στα οχήματα αυτά να λειτουργούν συντονισμένα ως ένα σύνολο, συχνά γνωστό και ως "σμήνος", προκειμένου να επιτευχθούν συγκεκριμένοι στόχοι. Οι αλγόριθμοι σμηνών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλά πεδία, όπως η εξερεύνηση μιας περιοχής, η παρακολούθηση, η ανίχνευση, η ανακάλυψη, και άλλες εφαρμογές.

Οι αισθητήρες και οι αλγόριθμοι, συνεργάζονται στενά σε μη επανδρωμένα οχήματα, προσφέροντας τη δυνατότητα επίτευξης αυτόνομης λειτουργίας. Οι αισθητήρες παρέχουν τα δεδομένα, και οι αλγόριθμοι τα επεξεργάζονται για να λάβουν αποφάσεις. Η συνεργασία αυτών των δύο εξασφαλίζει όχι μόνο τη συνεχή και ακριβή αντίληψη του περιβάλλοντος, αλλά και τη δυνατότητα του να προσαρμόζεται σε αλλαγές και να αντιμετωπίζει ποικίλες καταστάσεις.

Αντίστοιχα, η συνδυασμένη χρήση data link και προηγμένων αλγορίθμων, αποτελεί κρίσιμη πτυχή στη λειτουργία και την απόδοση των μη επανδρωμένων οχημάτων. Οι αλγόριθμοι, επεξεργάζονται τα δεδομένα που λαμβάνονται μέσω του data link για να λάβουν αποφάσεις και να καθορίσουν τη συμπεριφορά του μη επανδρωμένου. Τα δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν πληροφορίες περιβάλλοντος, εντοπισμού θέσης, ταχύτητα, κατεύθυνση και ύψος, εικόνες, και άλλα στοιχεία, τα οποία επεξεργάζονται οι αλγόριθμοι για να επιτύχουν τους στόχους του οχήματος. Συνολικά, η ορθή συνεργασία μεταξύ data link και προηγμένων αλγορίθμων είναι κρίσιμη για την αυτόνομη λειτουργία των μη επανδρωμένων, επιτρέποντάς τους να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει πληροφοριών που μεταφέρονται μέσω της ζεύξης data link.

1.4 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Ως τηλεπικοινωνίες ορίζουμε μεταφορά πληροφορίας από μία θέση σε μια άλλη και που πραγματοποιούνται μέσω ηλεκτρικών και ηλεκτρομαγνητικών σημάτων. Οι επικοινωνίες, είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα στις επιχειρήσεις, διότι αποτελούν αναπόσπαστο μέρος όλων σχεδόν των στρατιωτικών συστημάτων. Ακόμα και καθαρά μη-επικοινωνιακά συστήματα - όπως τα ραντάρ και οι ηλεκτροπτικοί αισθητήρες - σχεδόν πάντα στηρίζονται σε επικοινωνιακές ζεύξεις (data links) για τη μετάδοση δεδομένων προς διάφορα κέντρα επεξεργασίας, ή για τη λήψη σημάτων ελέγχου από κάποιον χειριστή ο οποίος συνήθως βρίσκεται σε αρκετή απόσταση από τον αισθητήρα. Στα συστήματα κατευθυνομένων βλημάτων, οι επικοινωνίες αποτελούν σημείο κλειδί, καθώς χωρίς αυτές, ο φορέας ελέγχου δεν είναι δυνατόν να μεταδώσει σήματα εντολών και καθοδήγησης προς το βλήμα και αυτό με την σειρά του, δεν είναι δυνατόν να μεταδώσει προς το σταθμό ελέγχου πληροφορίες για την θέση του και πιθανόν για τους στόχους στους οποίους κατευθύνεται.

Οι στρατιωτικές επικοινωνίες, ανάλογα με το περιβάλλον και το είδος των επιχειρήσεων που υποστηρίζουν, θα πρέπει να διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά

προδιαγραφών. Αρχικά, είναι ζωτικό οι διαθέσιμες πληροφορίες να φθάνουν στον προορισμό τους σε (σχεδόν) πραγματικό χρόνο. Οι καθυστερήσεις, σπανίως μπορούν να γίνουν αποδεκτές σε τακτικό ή στρατηγικό επίπεδο. Για να έχει ένα μήνυμα σημασία, θα πρέπει οι πληροφορίες που μεταφέρονται να είναι ακριβής με όσο το δυνατόν λιγότερα σφάλματα. Για τον λόγο αυτό, είναι αναγκαίες οι τεχνικές ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών. Έπειτα, για να έχουν αξία και χρησιμότητα οι πληροφορίες όταν ληφθούν από τον αποδέκτη, θα πρέπει να είναι πλήρεις έτσι ώστε το νόημα τους να μην έχει αλλοιωθεί.

Η ανάγκη για προστασία του απορρήτου των πληροφοριών, σε στρατιωτικές και πολιτικές χρήσεις, στην σημερινή εποχή είναι μεγαλύτερη από ποτέ. Η ασφάλεια, ανάλογα με τον χρήστη, μπορεί να έχει διαφορετικά επίπεδα υλοποίησης. Ένα τέτοιο επίπεδο έχει ως στόχο την προστασία των πληροφοριών αυτών καθ' αυτών με τεχνικές όπως η κρυπτογράφηση. Ένα άλλο επίπεδο περιλαμβάνει μέτρα που λαμβάνονται για την εξασφάλιση συγκεκριμένων μεταδόσεων με σκοπό να αποφευχθεί η ανίχνευση από τον εχθρό. Αποφεύγοντας την ανίχνευση, μπορούν να αντιμετωπιστούν και άλλες ηλεκτρονικές απειλές όπως η παραπλάνηση και η υποβάθμιση των επικοινωνιών. Τεχνικές όπως η διασπορά φάσματος (Spread Spectrum), είναι ενδεχόμενα μέτρα προστασίας, με τη δική τους συνεισφορά στην ανάγκη για συγκάλυψη και προστασία των μεταδόσεων.

Συνάμα τα συστήματα επικοινωνιών, συχνά απαιτείται να έχουν την ικανότητα να λειτουργούν σε έντονα εχθρικό περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό, τα συστήματα που προβλέπεται να επιχειρήσουν σε τέτοιες συνθήκες θα πρέπει να είναι ανθεκτικά εναντίον κινδύνων από ακτινοβολία, εναντίον φυσικών παρεμβολών, εναντίον ΗΜ παλμών (Electromagnetic Pulses, EMP) και φυσικά να διαθέτουν αντιπαραεμβολικές (anti-jamming) δυνατότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: UNMANNED AERIAL SYSTEM

Σε καθημερινές συζητήσεις χρησιμοποιείται ο όρος «drone» προκειμένου να περιγράψουμε μια ιπτάμενη μη επανδρωμένη συσκευή. Ως πιο επίσημη ορολογία για ένα ιπτάμενο μη επανδρωμένο όχημα ή συσκευή, είναι “UAV (unmanned aerial vehicle). Έπειτα ως UAS, (unmanned aerial system) ορίζουμε το σύνολο των υποσυστημάτων και συσκευών που απαιτούνται για την λειτουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος. Γενικά, το όλο σύστημα περιλαμβάνει το μη επανδρωμένο όχημα, το σύστημα-σταθμό ελέγχου εδάφους, τον χειριστή του αεροχήματος, τις συσκευές επικοινωνίας, διάφορους αισθητήρες ανάλογα με την αποστολή (κάμερες, οπλισμό κτλ). Ο σταθμός εδάφους ενός στρατιωτικού σμήνους μη επανδρωμένων αεροσκαφών συνήθως έχει δύο χειριστές (δύναται και περισσότεροι), όπου ο ένας ασχολείται με τα ζητήματα που αφορούν την πτήση και την πλοήγηση του συστήματος. Ο άλλος χειριστής διαχειρίζεται τους αισθητήρες και τα οπλικά του συστήματα. Βέβαια είναι σαφώς αξιοσημείωτο, πως υπάρχουν και άλλες θέσεις εργασίας, άρρηκτα συνδεδεμένες με το όλο σύστημα, προσφέροντας την απαραίτητη υλικοτεχνική υποστήριξη.

2.1 ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΛΑΦΟΥΣ

Ο σταθμός ελέγχου εδάφους είναι ο κεντρικός άξονας του όλου συστήματος, με το μη επανδρωμένο να ελέγχεται μέσω του σταθμού. Αυτός ο σταθμός σε πιο μικρά μη επανδρωμένα μπορεί να είναι στο μέγεθος ενός τηλεχειριστηρίου, ή σε ορισμένες πιο προηγμένες περιπτώσεις, να είναι σε μέγεθος φορητού υπολογιστή. Μεγαλύτερα στρατιωτικά UAVs, όπως το αμερικάνικο MQ-1 Predator, στεγάζονται σε μια κλειστή καμπίνα . Ο πιλότος του οχήματος και ο χειριστής αισθητήρων, κάθονται μπροστά σε μια σειρά οθονών που εμφανίζουν την εικόνα που βλέπει μέσω των καμερών του, αλλά και τα δεδομένα που λαμβάνει από τους αισθητήρες του. Ο έλεγχος γίνεται μέσω ενός συμβατικού joystick και μοχλοειδούς λαβής.



Εικόνα 2: ground control station MQ-1 Predator

Όσον αφορά το κομμάτι των διασυνδέσεων και των τηλεπικοινωνιών, τα πάντα περνούν από το σταθμό εδάφους. Από τη μια η ασύρματη ζεύξη του σταθμού εδάφους, με τα απομακρυσμένα μη επανδρωμένα. Από την άλλη η διασύνδεση του σταθμού εδάφους με άλλα κέντρα ελέγχου. Διασυνδέσεις που επιτυγχάνονται με διάφορους τρόπους, είτε ασύρματα μέσω κεραιών, είτε ενσύρματα με καλώδια και οπτικές ίνες. Επιπλέον, δεν συνηθίζεται να υπάρχει διασύνδεση των μη επανδρωμένων με άλλα κλιμάκια. Συναντάμε περιπτώσεις αναμετάδοσης εικόνας σε πραγματικό χρόνο, αλλά όχι τον έλεγχο ή κατεύθυνση τους, πλην του καθορισμένου σταθμού εδάφους. Δεν βλέπουμε δηλαδή κοινό δίκτυο επικοινωνιών, μεταξύ πολλών διαφορετικών φορέων.

2.2 ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ & ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗ

Τα μη επανδρωμένα δύναται να απογειωθούν, να εκτοξευτούν ή και να αποδεσμευτούν από έναν φορέα. Η απογείωση και προσγείωση ή ανάκτηση του μη επανδρωμένου μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, με βασικότερο κριτήριο τα αεροδυναμικά του χαρακτηριστικά και τον τύπο κινητήρα ή τύπο εκτόξευσης. Ο εξοπλισμός απογείωσης, ανάκτησης και μεταφοράς μπορεί να υφίστανται είτε συνολικά, είτε μέρος του, ανάλογα με το μη επανδρωμένο.

Σε αρκετά μεγάλων διαστάσεων οχήματα συναντάμε την απογείωση, με τον αντίστοιχο κλασσικό τρόπο που πραγματοποιούν τα αεροσκάφη και προσγειώνονται με παρόμοιο τρόπο. Χαρακτηριστικό και πιο συνηθισμένο παράδειγμα, ιπτάμενα οχήματα σταθερών πτερύγων που χρειάζονται, διάδρομο από-προσγείωσης. Απαιτείται δηλαδή να αναπτυχθεί μια ελάχιστη αρχική ταχύτητα, που επιτυγχάνεται μέσω του κινητήρα του οχήματος. Βέβαια συναντάμε και οχήματα τα οποία αποδεσμεύονται από καταπέλτες, ή φορητούς εκτοξευτές (αντίστοιχους αντιαρματικών πυραύλων), και είναι μεσαίου μεγέθους. Σε αυτά τα ιπτάμενα οχήματα επίσης προσδίδεται αρχική ταχύτητα, αλλά με διαφορετικό τρόπο.

Στη συνέχεια συναντάμε, μικρότερου μεγέθους μη επανδρωμένα, τα οποία απογειώνονται και προσγειώνονται κατακόρυφα και χωρίς κάποια υποβοήθηση. Αυτό είναι το σημαντικότερο πλεονέκτημα των πολυκόπτερων μη επανδρωμένων αφού δεν απαιτούν οριζόντια κίνηση, κάποιο καταπέλτη ή διάδρομο για την απογείωση και προσγείωση τους. Ένα θετικά αξιοσημείωτο στοιχείο τους, είναι η εύκολη μεταφορά και αποθήκευση τους, όπως και σε πιο εμπορικές εφαρμογές, η συναρμολόγησή τους.

Η προσγείωση μπορεί να πραγματοποιηθεί, είτε σε μεγάλη επιφάνεια, είτε με τη χρήση δίχτυου επιβράδυνσης, είτε με το άνοιγμα ενός αλεξιπτώτου, ή απλώς με την περισυλλογή του. Τα προβλήματα είναι πιο εμφανή στα μικρά UAV, τα οποία συνήθως προσγειώνονται σε δίχτυ ασφαλείας ή σε τραχείες επιφάνειες. Περίπου το 20% των ατυχημάτων, συμβαίνουν κατά τη φάση της προσγείωσης, όπου εμπλέκονται μεγάλες δυνάμεις. Για τα μεγάλα UAV, υπάρχουν προβλήματα ασφαλείας κατά την προσγείωση, και απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό.

2.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAVs ή drones) ποικίλλουν ανάλογα με τη χρήση και τις απαιτήσεις της εκάστοτε αποστολής. Κάθε τύπος αισθητήρων παρέχει διαφορετικές δυνατότητες και εφαρμογές. Αυτοί οι αισθητήρες συχνά ενσωματώνονται για να παρέχουν ευρεία γκάμα λειτουργιών. Είναι αξιοσημείωτο, πως αποτελούν τον πυρήνα της λειτουργίας των μη επανδρωμένων, εξασφαλίζοντας τη συλλογή δεδομένων και τη μεταφορά τους στον χειριστή ή το κεντρικό σύστημα.

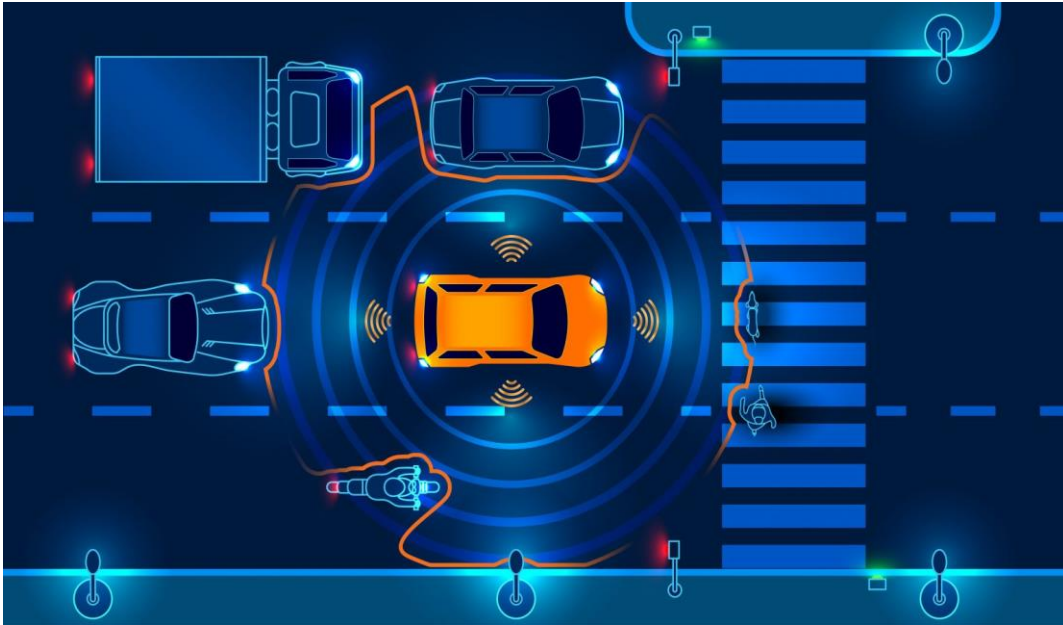
Οι διάφοροι τύποι αισθητήρων επιτρέπουν στα μη επανδρωμένα να ανιχνεύουν αποστάσεις, αντικείμενα και εμπόδια, επιτρέποντας τους ομαλούς ελιγμούς ώστε να φτάσει στον προορισμό τους. Αυτοί οι αισθητήρες, συλλέγουν τις πληροφορίες για όλα τα γύρω αντικείμενα και τις τροφοδοτούν στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας του εκάστοτε οχήματος, η οποία τα επεξεργάζεται και επιτρέπει τη σωστή απόφαση και την αντίστοιχη ενέργεια που πρέπει να αναλάβει το μηχάνημα για να σχεδιάσει την πορεία του.

Επιπροσθέτως τα μη επανδρωμένα, φέρουν αισθητήρες, μέχρι και οπλισμό που αφορούν την επιχειρησιακή αξιοποίηση τους, όχι μόνο την πλοήγηση τους. Για αυτό η συνδυαστική χρήση αυτών των αισθητήρων, επιτρέπει στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη να εκτελούν ποικίλες αποστολές, όπως επιτήρηση και αναγνώριση στόχων. Μάλιστα στα επόμενα κεφάλαια, θα δούμε πως, οι αισθητήρες είναι εξίσου σημαντικοί και στη θεματική ενότητα των επικοινωνιών, αλλά κυρίως στο κομμάτι της συνεργατικής λειτουργίας.

2.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LIDAR

Η τεχνολογία LIDAR (Light Detection and Ranging), είναι μια μέθοδος για τον προσδιορισμό αποστάσεων, όπου ακτίνα λέιζερ στοχεύει ένα αντικείμενο ή μια επιφάνεια και μετρά τον χρόνο που απαιτείται για το ανακλώμενο φως να επιστρέψει στον ανιχνευτή. Το Lidar μπορεί να λειτουργεί σε μια σταθερή κατεύθυνση (π.χ., κάθετη) ή μπορεί να σαρώνει πολλές κατευθύνσεις. Το Lidar έχει εφαρμογές σε διάφορα επίπεδα και συστήματα. Συχνά χρησιμοποιείται για τη δημιουργία χαρτών υψηλής ανάλυσης, με εφαρμογές σε ερευνητικές εργασίες, για μελετητές και επιστήμονες που ερευνούν το περιβάλλον, όπως γεωλόγοι, τοπογράφοι και σεισμολόγοι. Αυτό συμβαίνει διότι με την χρήση του LIDAR, επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση του περιβάλλοντος, δημιουργώντας ψηφιακούς και τρισδιάστατους χάρτες, όλων των ειδών.

Έπειτα, εφαρμόζεται και στη ρομποτική, όπου ουσιαστικά η τεχνολογία αυτή εκπαιδεύει ένα αυτόνομο σύστημα να αναγνωρίζει την απόσταση μεταξύ του οχήματος και άλλων αντικειμένων στο περιβάλλον. Αναβαθμίζεται με αυτόν τον τρόπο η δυνατότητα χαρτογράφησης και πλοήγησης αυτόνομων οχημάτων. Ειδικότερα το σύστημα lidar μπορεί να μετρήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια την απόσταση ενός αυτοκινήτου από τα γύρω αντικείμενα (πεζοί, ποδηλάτες και άλλα οχήματα), καθώς και την ταχύτητα τους, καθώς επίσης μπορούν και προβλέπουν τη μελλοντική τους κίνηση με λιγότερα σφάλματα πρόβλεψης.



Εικόνα 2.1: Τεχνολογία Lidar σε αυτοκίνητο

Τα αυτόνομα οχήματα, επί του παρόντος, βασίζονται είτε σε πολύ λεπτομερείς τρισδιάστατους χάρτες που αναφέρουν στο σύστημα τι να περιμένει, είτε σε ασφαλείς λωρίδες, που μπορούν να πλοηγηθούν σε πόλεις ή στον αυτοκινητόδρομο. Ωστόσο, πολλοί δρόμοι δεν είναι σχεδιασμένοι κατάλληλα με σήματα λωρίδας ή δεν έχουν χαρτογραφηθεί με 3D απεικόνιση λεπτομερώς. Το MIT αντιμετωπίζει αυτόν τον περιορισμό αναπτύσσοντας το MapLite, το οποίο συνδυάζει το GPS, χρησιμοποιώντας μόνο τους πιο βασικούς τοπογραφικούς χάρτες από το OpenStreetMap, με αισθητήρες LIDAR και IMU (αδρανειακή μονάδα μέτρησης) που παρακολουθούν τις οδικές συνθήκες.

Η συγκεκριμένη αναπτυσσόμενη τεχνολογία, μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα (όπως και άλλες), στην ανάπτυξη σιγνών μη επανδρωμένων. Διότι, επιθυμούμε τα μη επανδρωμένα, να μπορούν να χαρτογραφήσουν ένα άγνωστο περιβάλλον, να πλοηγηθούν μέσα σε αυτό, αποφεύγοντας τα όποια εμπόδια, αλλά και σαφώς να μην συγκρούονται μεταξύ τους. Στοιχεία πολύ βασικά και αλληλένδετα, με την τεχνητή νοημοσύνη και με τον αυτόνομο τρόπο λειτουργίας που επιδιώκουμε.

2.3.2 GPS (ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ)

Τα συστήματα εντοπισμού θέσης, παίζουν κρίσιμο ρόλο σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη, επιτρέποντας τον ακριβέστερο προσδιορισμό της θέσης τους σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα συστήματα είναι καίρια για τον έλεγχο, την πλοήγηση, και την εκτέλεση αποστολών. Το αμερικάνικο GPS, είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο σύστημα εντοπισμού θέσης, αλλά αναμφίβολα δεν είναι το μοναδικό. Υπάρχουν και άλλα συστήματα όπως το ρωσικό σύστημα δορυφορικής πλοήγησης GLONASS, το κινέζικο BeiDou και το ευρωπαϊκό Galileo.

Το παγκόσμιο σύστημα τοποθεσίας ή εντοπισμού θέσης (GPS), αρχικά Navstar GPS, είναι ένα παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης, που βασίζεται σε δορυφόρο, το

οποίο ανήκει, συντηρείται και προσφέρεται ελεύθερα σε οποιονδήποτε διαθέτει δέκτη GPS από την κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών. Παρέχει τις πληροφορίες της γεωγραφικής θέσης και χρόνου σε ένα δέκτη GPS, οπουδήποτε πάνω ή κοντά στη Γη, όπου υπάρχει μια ανεμπόδιστη οπτική επαφή σε τέσσερις ή περισσότερους δορυφόρους GPS. Εμπόδια όπως βουνά και κτίρια δυσχεραίνουν την λειτουργία των σχετικά αδύναμων σημάτων GPS. Το GPS παρέχει κρίσιμες δυνατότητες τοποθέτησης σε στρατιωτικούς, πολιτικούς και εμπορικούς χρήστες σε όλο τον κόσμο. Όλα τα αυτόνομα οχήματα όπως τα drones, τα αυτοκίνητα και άλλες κινητές συσκευές αξιοποιούν έναν δέκτη GPS που τα βοηθά να τοποθετηθούν και να πλοηγηθούν στις επιθυμητές τοποθεσίες. Το GPS γίνεται τυπικό χαρακτηριστικό ακόμη και για τα μη αυτόματα αυτοκίνητα που βοηθούν τους χρήστες να πλοηγούνται οπουδήποτε στον κόσμο με τη βοήθεια των δορυφορικών σημάτων.

Η τεχνολογία GPS χρησιμοποιείται κυρίως για δεδομένα τοποθεσίας, χαρτογράφηση, παρακολούθηση κινούμενων αντικειμένων, πλοήγηση και εκτιμήσεις χρονικών διαδρομών και μετρήσεις. Ωστόσο, αυτές οι πληροφορίες εξαρτώνται από τη σύνδεση με τους δορυφόρους, και αν η συσκευή GPS δεν μπορεί να συνδεθεί με τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, τα παρεχόμενα δεδομένα δεν θα είναι αρκετά για την πλήρη λειτουργία της συσκευής.

2.3.3 INS (INERTIAL NAVIGATION SYSTEM)

Το "Inertial Navigation System" (INS), ή αδρανειακό σύστημα πλοήγησης, είναι ένα προηγμένο τεχνολογικό σύστημα, που χρησιμοποιεί αισθητήρες, όπως επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια, για τον υπολογισμό και τη διατήρηση της θέσης, του προσανατολισμού και της ταχύτητας ενός οχήματος ή ενός αντικειμένου, χωρίς την ανάγκη εξωτερικής πληροφόρησης, όπως από GPS ή άλλες πηγές.

Ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς, είναι ένα σύστημα, στο οποίο ισχύουν ο πρώτος και δεύτερος νόμος του Νεύτωνα για την κίνηση των σωμάτων. Το INS λειτουργεί με την αρχή της διατήρησης της ορμής. Καθώς ένα όχημα κινείται, οι ενσωματωμένοι αισθητήρες μετρούν τις αλλαγές στην ταχύτητα και τον προσανατολισμό. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού του οχήματος.

Το INS είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, όταν άλλες πηγές πλοήγησης, όπως το GPS, δεν είναι διαθέσιμες, όπως για παράδειγμα σε υποθαλάσσια τούνελ ή εναέρια μέσα, εφαρμογές όπου τα σήματα GPS μπορεί να είναι αδύναμα ή ανύπαρκτα. Τα συστήματα αδράνειας πλοήγησης είναι αυτόνομα μετά την αρχικοποίηση, δεν εξαρτώνται από τη δορυφορική σύνδεση και μπορούν να παρέχουν πιο λεπτομερή δεδομένα από μια συσκευή GPS που χρησιμοποιείται μόνη της. Επιπλέον, μιας και είναι αυτόνομα, είναι ανθεκτικά σε διαφόρων ειδών παρεμβολές και είναι πιο δύσκολο να υποβαθμιστεί η λειτουργία τους.

Χρησιμοποιούνται σε πολλά είδη μέσων, όπως αεροσκάφη, πλοία, υποβρύχια, δορυφορικά, αυτοκίνητα, και ακόμη και σε ορισμένες εφαρμογές κινητών τηλεφώνων. Επίσης όταν πρόκειται για πολύπλοκες ή κρίσιμες δραστηριότητες, όπως οι στρατιωτικές επιχειρήσεις στο έδαφος, απαιτείται μια περαιτέρω αυτόνομη λύση πέρα από την τεχνολογία GPS.

2.3.4 RADAR

Με τον όρο ραντάρ, αποδίδουμε ένα ηλεκτρονικό σύστημα, το οποίο χρησιμεύει για την ανίχνευση και τον εντοπισμό αντικειμένων μέσω της χρήσης της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται, στην εκπομπή συγκεκριμένης μορφής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στην ανίχνευση ή και ανάλυση της λήψης αυτής, μετά την ανάκλαση της σε κάποιο αντικείμενο.

Μια στοιχειώδη μορφή ραντάρ αποτελείται από έναν πομπό (transmitter), ο οποίος παράγει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και μια κεραία εκπομπής (transmitting antenna), η οποία εκπέμπει αυτή την ενέργεια στο χώρο. Στη συνέχεια έχουμε μια κεραία λήψης (receiving antenna), η οποία λαμβάνει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, αφού αυτή έχει ανακλαστεί σε κάποιο στόχο, έναν δέκτη (receiver), ο οποίος επεξεργάζεται την λαμβανόμενη ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Τέλος απαιτείται και ένας ενδεικτής απεικόνισης (display), ο οποίος εμφανίζει τους στόχους σε μια οθόνη.

I) Ραντάρ με επεξεργασία ένδειξης κινούμενων στόχων (MTI-moving target indication radar)

Η αδυναμία διαχωρισμού ενός στόχου, από τις παρασιτικές επιστροφές του εδάφους (CLUTTER), αντιμετωπίζεται με την τεχνική απεικόνισης κινούμενων στόχων, η οποία βασίζεται στο φαινόμενο Doppler. Ο διαχωρισμός των επιστροφών από κινούμενους και ακίνητους στόχους, βασίζεται στο διαφορετικό πλάτος των δημιουργημένων μετατοπίσεων ντόπλερ. Οι στόχοι που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες επιφέρουν τη μεταβολή της απόστασης ραντάρ και στόχου, με διαφορετικούς ρυθμούς, ενώ οι ακίνητοι στόχοι επιφέρουν μηδενικές ολισθήσεις ντόπλερ.

Αναφερόμαστε λοιπόν σε παλμικό ραντάρ που ανιχνεύει κινούμενους στόχους, μέσα σε παρασιτικές επιστροφές, χρησιμοποιώντας μικρές τιμές επανάληψης παλμών (PRF-pulse repetition frequency), το οποίο δεν επιφέρει ασάφειες στον υπολογισμό της απόστασης. Ωστόσο έχει ασάφειες στο πεδίο της συχνότητας μετατόπισης ντόπλερ, το οποίο προκαλεί το φαινόμενο των τυφλών ταχυτήτων.

Η τεχνολογία MTI είναι σημαντική για συστήματα επιτήρησης, ραντάρ αεροσκαφών και άλλες εφαρμογές που απαιτούν την ανίχνευση και παρακολούθηση κινούμενων στόχων, ενώ αγνοούνται σε πρώτη φάση τα στατικά αντικείμενα.

II) Ραντάρ συνθετικής απεικόνισης (SAR- Synthetic Aperture Radar)

Είναι ένα σύστημα το οποίο, μας παρέχει απεικόνιση μιας περιοχής της επιφάνειας της γης με υψηλή αξιμουθιακή ανάλυση, η οποία προσεγγίζει την αεροφωτογραφία. Πραγματοποιείται από ασφαλή απόσταση για τον φορέα του συστήματος, κάτω από μεγάλο εύρος καιρικών συνθηκών ή φωτεινότητας. Χρησιμοποιείται για αποστολές αναγνώρισης, για γεωλογικές έρευνες και απεικόνιση της κατάστασης που επικρατεί στις θάλασσες.

Το ραντάρ αυτό, επωφελείται από την κίνηση του φορέα. Καθώς η πλατφόρμα διασχίζει μία περιοχή, η κεραία εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς. Μόλις ένας παλμός φτάσει σε ένα στόχο, τότε μέρος του παλμού ανακλάται από την επιφάνεια του στόχου, επιστρέφει στην κεραία του ραντάρ όπου και συλλέγεται. Στη συνέχεια

εκτελείται ειδική επεξεργασία των σημάτων και απεικονίζεται η επιφάνεια που σαρώθηκε σε δύο διαστάσεις. Η μια διάσταση απεικονίζει την απόσταση οπτικής επαφής (line of sight) της επιφάνειας από το ραντάρ. Η άλλη διάσταση, είναι η κάθετη στη διάσταση της απόστασης στο επίπεδο της επιφάνειας, δηλαδή κατά το αζιμούθιο.

2.3.5 ΚΕΡΑΙΕΣ

Κεραία (antenna), ορίζουμε τη συσκευή η οποία χρησιμοποιείται για την εκπομπή και την λήψη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Οι κεραίες επιτελούν δύο βασικές λειτουργίες, αφενός εκπέμπουν και λαμβάνουν αποτελεσματικά την Η/Μ ενέργεια προς και από τον περιβάλλον και αφετέρου συγκεντρώνουν από και προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις τις εκπομπές και λήψεις της Η/Μ ενέργειας σύμφωνα με τις επιθυμίες του σχεδιαστή. Δηλαδή, η κεραία συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία σε μια δέσμη επιθυμητού σχήματος ή αντίστοιχα συλλέγει την ακτινοβολία μέσα από τα όρια της δέσμης. Πολλές φορές, οι λειτουργίες της εκπομπής και της λήψης του σήματος εξυπηρετούνται από την ίδια κεραία.

Παρατηρώντας ποικίλα συστήματα μη επανδρωμένων, ο σταθμός εδάφους δεν διαθέτει απαραίτητα τις ίδιες κεραίες με το μη επανδρωμένο, με το οποίο συνεργάζεται. Για παράδειγμα συναντάμε σε σταθμούς εδάφους κεραίες στην S band συχνοτήτων. Όπου η μια είναι κατευθυντική (directional), για τον απομακρυσμένο έλεγχο του μη επανδρωμένου, μια πανκατευθυντική (omnidirectional) για κοντινές αποστάσεις, δηλαδή την απογείωση και την προσγείωση. Παράλληλα συναντάμε και εφεδρικές κεραίες πανκατευθυντικές, για την αποστολή δεδομένων (data). Από την άλλη το μη επανδρωμένο, πέρα από αντίστοιχες κεραίες, πιθανότητα θα διαθέτει κεραίες VHF/UHF, για επικοινωνία και R/T επαφή, όπως και πομπό IFF.

Η κατευθυντικότητα των κεραιών αποτελεί ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους. Ειδικότερα με τον όρο "κατευθυντική κεραία" (directional antenna) αναφερόμαστε σε μια κεραία που σχεδιάστηκε να εκπέμπει ή να λαμβάνει σήματα μεγαλύτερης έντασης ή ευαισθησίας σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Αυτού του είδους κεραίας μπορεί να χρησιμοποιείται σε ένα ασύρματο δίκτυο για να ενισχύσει το σήμα προς ή από μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση και την επικοινωνία. Μια πανκατευθυντική κεραία (omnidirectional antenna), είναι ένας τύπος κεραίας που εκπέμπει ή λαμβάνει σήματα ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις γύρω από ένα κεντρικό σημείο. Σε αντίθεση με τις κατευθυντικές κεραίες, που επικεντρώνονται στο να εκπέμπουν ή να λαμβάνουν σήματα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, οι πανκατευθυντικές κεραίες παρέχουν κάλυψη 360°. Χρησιμοποιούνται συχνά σε καταστάσεις όπου είναι απαραίτητη η επικοινωνία με συσκευές σε διάφορες κατευθύνσεις χωρίς την ανάγκη για ακριβή ευθυγράμμιση, και ενδείκνυνται για πιο κοντινές αποστάσεις.

Μιλώντας για κεραίες VHF, αναφερόμαστε σε κεραίες ραδιοφωνικών συχνοτήτων περιοχής VHF (Very High Frequency). Οι κεραίες VHF χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση και λήψη ραδιοφωνικών σημάτων σε ψηλές συχνότητες, που κυμαίνονται συνήθως από 30 MHz έως 300 MHz. Ενώ με τον όρο "κεραία UHF" αναφέρεται σε

μια κεραία που σχεδιάστηκε για να λαμβάνει ή να εκπέμπει ραδιοκύματα στην UHF (Ultra High Frequency) περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η UHF περιλαμβάνει τις συχνότητες από περίπου 300 MHz έως 3 GHz.

Οι διαφορές των δύο παραπάνω, πέρα από τις μπάντες συχνοτήτων, αφορά κυρίως την εμβέλεια. Πιο συγκεκριμένα οι UHF συχνότητες χρησιμοποιούνται σε πιο κοντινές αποστάσεις. Παρουσιάζει καλύτερη διαπέραση εμποδίων, όπως τοίχοι και κτίρια και για αυτό είναι πιο κατάλληλες για εσωτερική χρήση και χρήση σε αστικά περιβάλλοντα. Συνήθως απαιτεί λιγότερη ενέργεια για τη μετάδοση του σήματος, ενώ οι VHF απαιτούν περισσότερη ενέργεια και ενδείκνυνται για μεγαλύτερες αποστάσεις.

2.3.6 ΠΟΜΠΟΣ IFF

Ο πομπός IFF (Identification Friend or Foe) είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται σε στρατιωτικά αεροσκάφη και πλοία για να αναγνωρίζει την ταυτότητα των κοντινών στόχων. Το IFF είναι ένα πολύ κρίσιμο στοιχείο αναγνώρισης ταυτότητας, που σε περίοδο εντάσεων μας εξασφαλίζει την αποφυγή παρανοήσεων, διακρίνοντας τα φίλια από τα εχθρικά ίχνη. Επιπλέον, η λειτουργία του IFF είναι ανεξάρτητη από την ανακλαστικότητα (RCS) του κάθε στόχου και δεν περιορίζεται αντίστοιχα από τις ανακλάσεις του εδάφους (clutters).

Ο πομπός IFF λειτουργεί με το να αποστέλλει και να λαμβάνει κωδικοποιημένα σήματα, τα οποία επιτρέπουν στα άλλα συμβατικά ή ραντάρ συστήματα να αναγνωρίζουν το αεροσκάφος ή το πλοίο. Αυτό βοηθάει, στην αποφυγή των φίλιων δυνάμεων να επιτεθούν κατά λάθος σε άλλα φιλικά στοιχεία. Οι πομποί IFF είναι ενσωματωμένοι στον εξοπλισμό των σύγχρονων στρατιωτικών αεροσκαφών και πλοίων.

Μια συσκευή IFF για έναν σταθμό εδάφους μπορεί να περιλαμβάνει τον κωδικοποιητή (CODER) που κωδικοποιεί το σήμα, τον πομπό (INTERROGATOR) που εκπέμπει το σήμα, τον Δέκτη (RESPONDER) για την λήψη της απάντησης από τα αεροσκάφη, μια κατευθυντική κεραία που είναι εγκατεστημένη μαζί με τα άλλα ραντάρ του σταθμού, καθώς και συσκευές ελέγχου και απεικόνισης. Από την άλλη στο αεροσκάφος περιλαμβάνει τον πομποδέκτη (TRANSPONDER) που κωδικοποιεί το σήμα, μια ή περισσότερες πανκατευθυντικές κεραίες οι οποίες λαμβάνουν και κωδικοποιούν το σήμα προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως και μια αντίστοιχη συσκευή ελέγχου μέσα από το πιλοτήριο.

Το σύστημα IFF, διαφέρει από το πρωτεύον ραντάρ, στο γεγονός ότι δεν εκμεταλλεύεται την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που ανακλάται πάνω στο στόχο, αλλά απαιτεί συνεργασία με την αντίστοιχη συσκευή του αεροσκάφους. Αν δηλαδή ο πομποδέκτης του αεροσκάφους δεν εκπέμπει, δεν θα ληφθεί καμία απάντηση από τον δέκτη στο έδαφος, που σε αντίθεση με το πρωτεύον ραντάρ το οποίο θα μας παρέχει εικόνα.

2.3.7 ΚΑΜΕΡΕΣ

Οι κάμερες του ορατού φωτός, των εγγύς υπερύθρων και των υπερύθρων μεγάλου κύματος μπορούν να ενσωματωθούν σε μια κατάλληλη ανάρτηση, που επιτρέπει πλήρη λειτουργία σε 360°. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε στρατιωτικές εφαρμογές, καθώς επιτρέπει τη συνεχή παρατήρηση ενός επίγειου στόχου. Επιθυμούμε οι κάμερες να μπορούν να περιστρέφονται ελεύθερα, χωρίς περιορισμούς, να μην σχετίζεται δηλαδή η κίνηση του φορέα με την κίνηση της κάμερας.

Οι οπτικές κάμερες ενσωματώνονται σε μη επανδρωμένα συστήματα για να παρέχουν οπτική παρακολούθηση, εντοπισμό και καταγραφή πληροφοριών. Οι κάμερες μπορούν να είναι εξαιρετικά χρήσιμες για αναγνώριση στόχων, παρακολούθηση περιοχών, καταγραφή εικόνας και βίντεο. Τα σμήνη μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορούν να καλύπτουν μεγάλες περιοχές, να παρέχουν ευρεία κάλυψη και έχουν τη δυνατότητα να καταγράψουν δραστηριότητες σε πολλαπλές θέσεις ταυτόχρονα. Υπάρχουν πολλών ειδών κάμερες που μπορεί να βασίζονται στο οπτικό, στο υπέρυθρο και στο υπεριώδες φάσμα.

2.3.8 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΠΟΛΕΜΟΥ

Οι αισθητήρες ηλεκτρονικού πολέμου χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό, την αναγνώριση και την ανάλυση ηλεκτρονικών σημάτων που εκπέμπονται από εχθρικά συστήματα όπως ραντάρ, επικοινωνιακά δίκτυα και άλλες ηλεκτρονικές πηγές. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να αναγνωρίζουν τον τύπο και την προέλευση των εντοπισμένων ηλεκτρονικών σημάτων, βοηθώντας στον προσδιορισμό των εχθρικών συστημάτων. Στη συνέχεια παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις χαρακτηριστικές παραμέτρους των εντοπισμένων σημάτων, όπως η συχνότητα, η ισχύς και η διάρκεια.

Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες αναλαμβάνουν σημαντικό ρόλο στην παρακολούθηση του ηλεκτρονικού περιβάλλοντος σε μια περιοχή μάχης. Οι πληροφορίες που παρέχονται είναι κρίσιμες για τη λήψη αποφάσεων και την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών. Βέβαια όπως θα δούμε και παρακάτω, αυτοί οι αισθητήρες ποικίλουν ανάλογα με την δράση τους και συνεισφέρουν με ποικιλόμορφους τρόπους κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΔΙΚΤΥΑ, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, TACTICAL DATA LINKS, ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Την παρούσα χρονική και τεχνολογική περίοδο, απαιτείται ένας επίγειος σταθμός και αντίστοιχα ένας τουλάχιστον χειριστής, για να λειτουργήσει ομαλά και συντονισμένα ένα μη επανδρωμένο σύστημα. Οι τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μεταξύ των UAVs με τους σταθμούς ελέγχου στο έδαφος, είναι κρίσιμες για την αποτελεσματική λειτουργία αυτών των σιμνήων. Αυτές οι τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις, επιτρέπουν τη μεταφορά δεδομένων, εντολών και πληροφοριών μεταξύ των μελών του σμήνους και των σταθμών ελέγχου εδάφους.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημάνουμε πως οι τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μπορεί να υλοποιηθούν μέσω δορυφορικής επικοινωνίας, σταθμών εδάφους, δικτύων ασύρματης επικοινωνίας ή ακόμη και μέσω μικτών τεχνολογιών. Η ροή πληροφοριών επίγειου σταθμού με τα μη επανδρωμένα γίνεται ασύρματα και μερικές φορές με την βοήθεια ενδιάμεσων σταθμών όπως οι δορυφόροι. Οι σταθμοί εδάφους, επικοινωνούν με άλλους τρόπους και με άλλα μέσα με τα κέντρα ελέγχου. Δηλαδή δεν συνηθίζεται η απευθείας διασύνδεση ενός μεγάλου κέντρου ελέγχου, με την μονάδα μη επανδρωμένων συστημάτων.

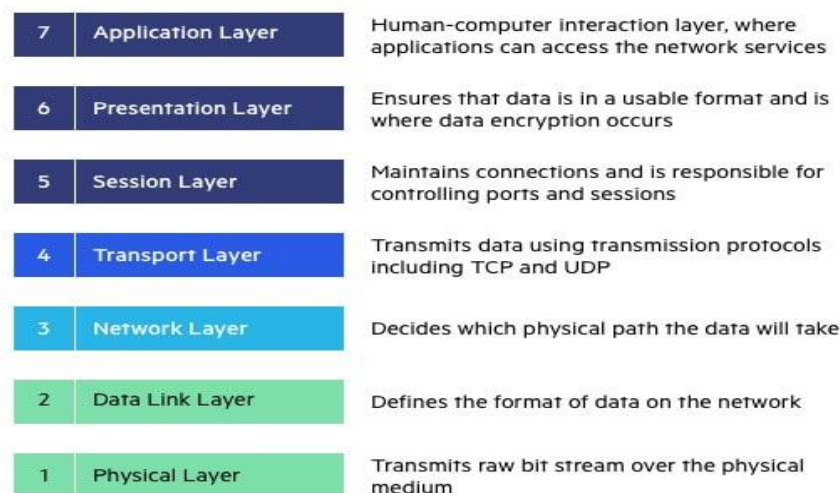
Η επιλογή του τρόπου επικοινωνίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η απόσταση μεταξύ των αεροσκαφών, ο τύπος της αποστολής, και οι απαιτήσεις επικοινωνίας. Η επικοινωνία μεταξύ μη επανδρωμένων αεροσκαφών που λειτουργούν ως σμήνος απαιτεί προηγμένες τεχνολογίες και πρωτόκολλα. Η εφαρμογή συστημάτων σμήνους μπορεί να προσφέρει πλεονεκτήματα όπως αύξηση της αποτελεσματικότητας, ευελιξία σε διάφορες αποστολές, και αυξημένη αξιοπιστία.

Αρχικά, έχουμε τα συστήματα διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας (Air Traffic Management - ATM) που αναφέρονται σε εξειδικευμένα συστήματα και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο, τη διαχείριση και την ασφαλή λειτουργία των εναέριων οχημάτων σε έναν δεδομένο εναέριο χώρο. Αυτά τα συστήματα είναι σημαντικά για την αποτελεσματική διαχείριση του εναέριου χώρου, την πρόληψη συγκρούσεων και την εξασφάλιση της ασφαλούς κυκλοφορίας εναέριων οχημάτων. Τα συστήματα διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας περιλαμβάνουν διάφορα υποσυστήματα και υπηρεσίες που συνεργάζονται για τη διασφάλιση της ασφαλούς κυκλοφορίας των εναέριων οχημάτων.

Στη συνέχεια η σύνδεση ή αλλιώς ζεύξη δεδομένων και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, είναι σχετικές έννοιες στον τομέα των δικτύων και των επικοινωνιών δεδομένων, και μερικές φορές αλληλοκαλύπτονται, αλλά εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς και λειτουργούν σε διάφορα επίπεδα του μοντέλου OSI (Open Systems Interconnection). Το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (data link layer) είναι το δεύτερο επίπεδο του μοντέλου OSI και είναι υπεύθυνο για την αξιόπιστη και απαλλαγμένη από σφάλμα, μεταφορά δεδομένων μεταξύ φυσικά συνδεδεμένων κόμβων. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας αναφέρονται σε ένα σύνολο

κανόνων και συμβάσεων, που καθορίζουν πώς, τα δεδομένα ανταλλάσσονται μεταξύ συσκευών σε ένα δίκτυο. Τα πρωτόκολλα καθορίζουν τη μορφή, την ακολουθία και τις διαδικασίες χειρισμού σφαλμάτων για την επικοινωνία δεδομένων. Για παράδειγμα, το Ethernet είναι ένα πρωτόκολλο στρώματος σύνδεσης δεδομένων που καθορίζει πώς τα πλαίσια δεδομένων μεταδίδονται μέσω ενός φυσικού μέσου, ενώ το TCP/IP είναι ένα σύνολο πρωτοκόλλων επικοινωνίας που περιλαμβάνει προδιαγραφές για το δίκτυο (network layer) και το επίπεδο μεταφοράς (transport layer) του μοντέλου OSI.

Τα τακτικά ψηφιακά δίκτυα και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι και οι δύο ουσιώδεις συνιστώσες των συστημάτων στρατιωτικής επικοινωνίας, αλλά εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς και λειτουργούν σε διάφορα πλαίσια. Τα τακτικά ψηφιακά δίκτυα χρησιμοποιούνται κυρίως σε στρατιωτικά περιβάλλοντα για την ανταλλαγή τακτικών πληροφοριών, όπως η διάδοση της επιχειρησιακής εικόνας, πληροφορίες αισθητήρων και άλλα κρίσιμα δεδομένα μεταξύ πλατφορμών, όπως αεροσκαφών, πλοίων, εδάφους και κέντρων ελέγχου. Τα TDL σχεδιάζονται για να υποστηρίζουν πραγματική χρονική, ασφαλή και αξιόπιστη επικοινωνία, σε δυναμικά και συχνά προβληματικά στρατιωτικά περιβάλλοντα. Είναι κρίσιμοι για την επίτευξη επίγνωσης του περιβάλλοντος, τον συντονισμό στρατιωτικών δραστηριοτήτων και την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας σε κοινές επιχειρήσεις.



Εικόνα 3: μοντέλο OSI

Από την άλλη, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, σε ευρύτερο πλαίσιο, αναφέρονται σε σύνολα κανόνων και συμβάσεων, που διέπουν τον τρόπο ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ συσκευών σε ένα δίκτυο ή σύστημα. Αυτός ο όρος δεν είναι αποκλειστικός για στρατιωτικές εφαρμογές και μπορεί να καλύπτει μια ευρεία γκάμα περιπτώσεων επικοινωνίας. Καθορίζουν λοιπόν τη μορφή, την ακολουθία και τις διαδικασίες χειρισμού σφαλμάτων για την επικοινωνία δεδομένων. Βεβαιώνουν ότι οι συσκευές μπορούν να κατανοήσουν αλλήλους και να επικοινωνούν αποτελεσματικά ακολουθώντας ένα τυποποιημένο σύνολο κανόνων.

Συνοψίζοντας, τα τακτικά ψηφιακά συστήματα ζεύξης δεδομένων είναι, εξειδικευμένα συστήματα επικοινωνίας που σχεδιάζονται για στρατιωτικές λειτουργίες, επικεντρώνοντας στην ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, από την άλλη, είναι πιο γενικά και καθορίζουν κανόνες για την ανταλλαγή δεδομένων σε διάφορα πλαίσια, συμπεριλαμβανομένων και των στρατιωτικών εφαρμογών. Τα τακτικά δίκτυα συχνά χρησιμοποιούν ειδικά πρωτόκολλα επικοινωνίας που προσαρμόζονται στις μοναδικές απαιτήσεις των στρατιωτικών λειτουργιών. Συνεπώς στο παρόν κεφάλαιο, θα αναφερθούν και αναλυθούν τα τακτικά ψηφιακά δίκτυα στρατιωτικού τύπου και από ανοιχτές πηγές τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που συναντάμε στα μη επανδρωμένα, τόσο ως αποκλειστικές μονάδες, τόσο και ως σμήνη.

Στο τελευταίο κομμάτι του κεφαλαίου θα συζητηθεί η τοπολογία δικτύου, δηλαδή η φυσική διάταξη και συνδεσμολογία των συσκευών σε ένα δίκτυο. Στην περίπτωση των μη επανδρωμένων συστημάτων, η τοπολογία δικτύου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον σκοπό και τις απαιτήσεις του εφαρμογής. Ανάλογα με τη χρήση, μπορεί να υπάρχουν διάφορες τοπολογίες που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του συστήματος. Η επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η απόσταση μεταξύ των συσκευών, η ανάγκη για ανθεκτικότητα, η δυνατότητα επέκτασης, και οι απαιτήσεις ασφαλείας.

3.1 UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM TRAFFIC MANAGEMENT (UTM)

Το Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) είναι ένα σύστημα που αναπτύσσεται και βρίσκεται υπό ανάπτυξη, που αφορά τη διαχείριση της κυκλοφορίας μεταξύ μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV). Το UTM έχει σχεδιαστεί για να εξασφαλίζει την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε χώρους όπου υπάρχει μεγάλη πυκνότητα κυκλοφορίας. Θα διαχειρίζεται την κυκλοφορία των μη επανδρωμένων σε εναέριους χώρους όπου οι υπηρεσίες ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας δεν παρέχονται. Επιπλέον, θα επιτρέπει στα διάφορα μη επανδρωμένα αεροσκάφη να επικοινωνούν και να συνεργάζονται μεταξύ τους, προκειμένου να αποφεύγονται συγκρούσεις και να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία τους σε πολυσύχναστους εναέριους χώρους.

Με το UTM, θα υπάρχει μια συνεργατική αλληλεπίδραση μεταξύ των χειριστών των drones και της FAA (US Federal Aviation Administration) για την ασφαλή αξιοποίηση του εναέριου χώρου σε πραγματικό χρόνο. Η FAA θα παρέχει περιορισμούς σε πραγματικό χρόνο στους χειριστές των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την ασφαλή διαχείριση των μέσων τους. Ο κύριος τρόπος επικοινωνίας και συντονισμού μεταξύ της FAA, των χειριστών των drones και άλλων εμπλεκόμενων θα πραγματοποιείται μέσω δικτύου αυτοματοποιημένων συστημάτων, και όχι μέσω φωνητικών επαφών μεταξύ πιλότων και ελεγκτών κυκλοφορίας.

Το UTM περιλαμβάνει διάφορα πρωτόκολλα για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των UAV και του εδάφους, καθώς και μεταξύ των διαφόρων UAV που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Αυτές οι πληροφορίες περιλαμβάνουν την τοποθεσία, το

ύψος, την ταχύτητα και άλλες παραμέτρους που είναι σημαντικές για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των UAV.

3.2 TACTICAL DATA LINK

Η Ζεύξη Δεδομένων (data link) είναι ο διάυλος με τον οποίο το UAV επικοινωνεί με τον σταθμό εδάφους και τον χειριστή, καθώς ο τελευταίος στέλνει εντολές στο UAV για τον έλεγχο της αποστολής του, αξιολογεί τις μεταβαλλόμενες απειλές, την πλοήγηση, την ανταπόκριση σχετικά με το έδαφος και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της αποστολής, καθώς και έλεγχο συλλογής πληροφοριών και σε στρατιωτικές εφαρμογές, παράδοση επιχειρησιακού φορτίου.

Τα Τακτικά ψηφιακά δίκτυα δεδομένων (Tactical Data Links-TDL), αποτελούν θεμελιώδες σημείο του Δικτυοκεντρικού πολέμου, δηλαδή της ικανότητας συλλογής πληροφοριών και δεδομένων, από διαφορετικές πηγές και μάλιστα σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Ανταλλάσσονται πληθώρα κρίσιμων πληροφοριών όπως οι καταστάσεις και οι ετοιμότητες των φίλιων μέσων, η θέση των εχθρικών μέσων, καθώς και συντίθεται μέσω αυτών η κοινή επιχειρησιακή εικόνα. Η ακριβής και έγκαιρη ανταλλαγή πληροφοριών μέσω των ψηφιακών δικτύων, συντελούν στην ταχύτερη και ορθολογική λήψη αποφάσεων στο πεδίο των επιχειρήσεων.

Συνάμα οι προκλήσεις που παρουσιάζονται στον σχεδιαστή UAS είναι πολλές, ειδικά όταν πρόκειται για μεγιστοποίηση της ισχύος σήματος data link με ταυτόχρονη διατήρηση της ασφάλειας των δεδομένων που μεταδίδονται και προστασία από πιθανά αντίμετρα και απειλές, ενδεικτικά, την παρεμβολή δεδομένων (Data Jamming) ή την εξαπάτηση σήματος.

Η εφαρμογή των data link σε σμήνη μη επανδρωμένων οχημάτων, προσφέρει αυξημένη επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των οχημάτων του σμήνους. Οι συστοιχίες οχημάτων με ενσωματωμένα data links, επιτρέπουν τη μεταξύ τους επικοινωνία για συντονισμένες και ευέλικτες λειτουργίες. Χαρακτηριστικά, όσον αφορά την κίνηση του σμήνους μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους για να συντονίζουν τις κινήσεις τους, δηλαδή να συντονίζει την πορεία, την ταχύτητα και άλλων παραμέτρων κίνησης. Έπειτα τα μέλη του σμήνους μπορούν να συνεννοηθούν για την αποτελεσματική διανομή εργασιών. Αυτό μπορεί να συμπεριλαμβάνει τον συντονισμό σε εργασίες και την ανακατανομή καθηκόντων όπως η ανίχνευση στόχων, ή η παρακολούθηση μιας περιοχής ενδιαφέροντος. Τέλος οι τεχνολογίες data link πρέπει να παρέχουν ασφάλεια στην επικοινωνία, έναντι σε επιθέσεις και παρεμβολές, ώστε τα οχήματα να ανταλλάσσουν διαρκώς πληροφορίες είτε με τους σταθμούς εδάφους, είτε μεταξύ τους για την ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων.

3.2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Τα ψηφιακά δεδομένα δύναται, να μεταδοθούν μέσα από τηλεφωνικές γραμμές υψηλής ταχύτητας, είτε μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (σε συχνότητες τάξεως UHF και HF), είτε μέσω δορυφορικών ζεύξεων (SATCOM), κάνοντας χρήση

ορισμένων διαμορφώσεων λειτουργίας. Στην μονόδρομη (simplex) οι πληροφορίες μεταδίδονται, ανάμεσα σε δύο μονάδες, μόνο κατά μια κατεύθυνση κάθε φορά. Στην αμφίδρομη ζεύξη (duplex) τα μέλη του δικτύου έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν και να λαμβάνουν δεδομένα ταυτόχρονα. Πιο σπάνια συναντάμε την ημιαμφίδρομη ζεύξη (half-duplex), όπου οι συμμετέχοντες στο δίκτυο μπορούν να εκπέμπουν και να λαμβάνουν δεδομένα, αλλά όχι ταυτόχρονα.

3.2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ&ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Η "Line of Sight" (LOS) αναφέρεται, στην αόρατη ευθεία γραμμή που υπάρχει μεταξύ δύο σημείων σε έναν χώρο, χωρίς εμπόδια που θα μπορούσαν να εμποδίσουν την οπτική επαφή μεταξύ τους. Αυτή η οπτική γραμμή είναι σημαντική σε πολλές εφαρμογές, όπως σε ασύρματα δίκτυα, συστήματα επικοινωνίας, και ασύρματες τεχνολογίες γενικά.

Σε περιβάλλοντα με απεριόριστη Line of Sight, τα σήματα μπορούν να μεταδίδονται απευθείας μεταξύ δύο σημείων χωρίς εμπόδια. Αυτό είναι σημαντικό για ασύρματες επικοινωνίες, όπου η ύπαρξη εμποδίων, όπως κτίρια, δέντρα ή γεωγραφικά υψώματα, μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του σήματος και την απόδοση του δικτύου.

Σε ασύρματα δίκτυα, η ανάλυση της Line of Sight είναι σημαντική κατά τον σχεδιασμό της τοποθεσίας κεραιών, σημείων πρόσβασης και άλλων εξοπλισμών, προκειμένου να διασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή επίδοση και σταθερότητα στη μετάδοση των σημάτων. Μάλιστα πρέπει να επισημάνουμε πως μας ενδιαφέρει περισσότερο ο «οπτικός ορίζοντας» από την απόσταση ή την εμβέλεια.

Όταν ο τύπος της διασύνδεσης χρησιμοποιεί την HF μπάντα συχνοτήτων, τότε μπορεί να καλύψει περιοχές πέραν του ορίζοντα (beyond line of sight), στοιχείο ζωτικό για τις Ναυτικές δυνάμεις. Η χρήση UHF μπάντας συχνοτήτων, μπορεί να καλύψει περιοχές μέχρι τον ορίζοντα (Line of Sight), ικανοποιώντας αεροπορικές επιχειρήσεις, ειδικότερα όταν χρησιμοποιούνται αερομεταφερόμενα συστήματα, που όμως αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τις ναυτικές δυνάμεις.

3.2.3 ΜΗΝΥΜΑΤΑ & ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Οι ψηφιακές ζεύξεις δεδομένων έχουν τη δυνατότητα να διοχετεύσουν ένα πολύ μεγάλο πλήθος μεμονωμένων και τυποποιημένων πακέτων δεδομένων, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες και υποκατηγορίες. Ενδεικτικά στο τακτικό κομμάτι των επιχειρήσεων, τα δεδομένα που εκπέμπονται δύναται να αφορούν την συνδυασμένη και διευκρινισμένη εικόνα, την διαχείριση της αποστολής, ή την διοίκηση και τον έλεγχο των συστημάτων.

Τα υπολογιστικά συστήματα που συμμετέχουν σε ένα σύστημα ζεύξης τακτικών δεδομένων, χρειάζεται να καθορίσουν μια σειρά τυποποιημένων μηνυμάτων και το πρωτόκολλο της μεταξύ τους επικοινωνίας. Έτσι ώστε οι πληροφορίες να μεταφράζονται γρήγορα, ορθά και με ασφάλεια. Η μορφή των μηνυμάτων έχει καθοριστεί εκ των προτέρων και αυτοί οι τύποι αντιστοιχούν ξεχωριστά στο καθένα

από τα είδη ζεύξης δεδομένων. Για αυτό λοιπόν όταν επικοινωνούν συστήματα που υποστηρίζονται από διαφορετικά είδη ζεύξης δεδομένων, συναντάμε προβλήματα στην ανταλλαγή τους και στην μεταξύ τους επικοινωνία. Συνεπώς δεν μας επαρκεί απλά να δημιουργήσουμε ένα σύστημα ζεύξης δεδομένων για ένα σμήνος μη επανδρωμένων. Θα είναι αναγκαίο, αυτές οι ζεύξεις να είναι συμβατές με τις υπόλοιπες προϋπάρχουσες, για να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Οι πληροφορίες που θέλουμε να στείλουμε, γίνονται ψηφιακές και παίρνουν τη μορφή των μηνυμάτων του δικτύου, μεταφέρονται στον υπολογιστή του εκάστοτε συστήματος και μέσω του μέσου μετάδοσης, διαβιβάζονται σε άλλα τερματικά. Ο χρόνος μεταφοράς είναι συγκεκριμένος για κάθε δίκτυο και καθορίζεται από το μέγεθος του μηνύματος, την απόσταση αλλά και από τις δυνατότητες που έχει ο φορέας αποστολής του. Για παράδειγμα, ο φορέας μπορεί να είναι τηλεφωνικές γραμμές ή ραδιοσυχνότητα, με το εύρος ζώνης του να είναι πολύ συγκεκριμένο. Έτσι λοιπόν, αν προσπαθήσουμε να στείλουμε έναν όγκο πληροφοριών μεγαλύτερο από την χωρητικότητα του συστήματος, τότε θα πρέπει να ξέρουμε ότι κάποιες από αυτές θα καθυστερήσουν να φθάσουν στον προορισμό τους.

Παράλληλα, αντιλαμβανόμαστε πως είναι μεγάλη η πρόκληση δημιουργίας ενός αξιόπιστου ασύρματου δικτύου επικοινωνίας για τα επανδρωμένα αεροσκάφη, καθώς και ποικίλα προβλήματα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε. Τα μη επανδρωμένα πρέπει να επικοινωνούν με τους σταθμούς ελέγχου εδάφους, με την μετάδοση και την αναδιανομή των πληροφοριών να γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, σε σύγκριση με άλλα ασύρματα δίκτυα, η τοπολογία των δικτύων των UAVs αλλάζει συνεχώς, με βασικό προβληματισμό το πόσοι κόμβοι επικοινωνίας είναι συνδεδεμένοι κάθε φορά (μοναδικό UAV ή σμήνος). Επιπλέον, μας προβληματίζει και η διαχείριση των δεδομένων, που ανταλλάσσει ο επίγειος σταθμός με μη επανδρωμένα που αλλάζουν συνεχώς θέση.

Τα παραπάνω απαιτούν την στελέχωση της θέσης ενός διαχειριστή συστήματος (data link manager), ο οποίος ανάλογα με τις επιχειρησιακές απαιτήσεις και τα διαθέσιμα μέσα, θα φροντίζει την αδιάλειπτη ανταλλαγή πληροφοριών. Ειδικότερα, αξιοποιώντας το κέντρο ελέγχου και διαμοιρασμού των πληροφοριών να προβλέπει τις πιθανές θέσεις του κόμβου στο UAV αλλά και την διαθεσιμότητα των αντίστοιχων (data links) μέσων μεταφοράς δεδομένων (επίγειες κεραίες, δορυφόροι, αεροσκάφη αναμεταδότες), για την σύζευξη σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον ο εξειδικευμένος διαχειριστής του συστήματος καλείται να αντιμετωπίζει και άλλα ζητήματα. Πιο συγκεκριμένα φαινόμενα όπως το data looping, το αποτέλεσμα που προκύπτει όταν μια πλατφόρμα λαμβάνει τις ίδιες πληροφορίες από δύο διαφορετικές πηγές. Επίσης θα εξασφαλίζει ότι, δεν θα λαμβάνει τις δικές του εκπεμπόμενες πληροφορίες από διαφορετική πηγή. Ή σε ένα περιβάλλον multilink, να υλοποιεί το λεγόμενο data forwarding. Να πραγματοποιεί δηλαδή τις κατάλληλες ενέργειες, ώστε τις πληροφορίες που λαμβάνονται από ένα τακτικό δίκτυο, να τις εκπέμπει με τη κατάλληλη διαμόρφωση ανά πρωτόκολλο επικοινωνίας σε άλλο δίκτυο.

3.2.4 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΑΚΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Για να επιτευχθεί η διασύνδεση των επιχειρησιακών συστημάτων, απαιτείται η διάθεση του κατάλληλου υλικού (hardware) που διακρίνεται σε ηλεκτρομηχανολογικό και τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό, συσκευές κρυπτογράφησης, αλλά και η ύπαρξη κατάλληλου λογισμικού (SOFTWARE), για την εκμετάλλευση και διαχείριση πληροφοριών. Οι πληροφορίες που θα διακινηθούν μέσω του ψηφιακού δικτύου κρυπτογραφούνται και στη συνέχεια κωδικοποιούνται με τη βοήθεια των τερματικών, ανάλογα πάντα με το τακτικό δίκτυο που χρησιμοποιείται.

Όσον αφορά την διασύνδεση μόνο δύο τερματικών σταθμών, συνηθίζεται η Point to Point διασύνδεση (Σημείο σε Σημείο). Αυτός ο τρόπος διασύνδεσης χρησιμοποιείται για την απευθείας διασύνδεση δύο τερματικών σταθμών δεδομένων. Ωστόσο το μέσο για την υλοποίηση της διασύνδεσης είναι ανεξάρτητο από τον τερματικό σταθμό, δύναται δηλαδή να υλοποιηθεί και με ασύρματα μέσα.

Παράλληλα για τη διασύνδεση των Μονάδων, χρησιμοποιούνται κατάλληλες τερματικές συσκευές, όπου ανεξάρτητα του μέσου μετάδοσης οι Μονάδες που θα συνδεθούν, θα πρέπει να χρησιμοποιούν συμβατά συστήματα επικοινωνιών. Σε πιο παλιά και απλοϊκά δίκτυα, η ανταλλαγή των δεδομένων επιτυγχάνεται συνήθως με την ενσύρματη διασύνδεση των Μονάδων (Point-to-Point) μέσω Modem και απλών τηλεφωνικών γραμμών. Η μετάδοση των πληροφοριών είναι συνήθως αμφίδρομη σε ταχύτητες 1200 bps (σύγχρονη επικοινωνία), ενώ σε ορισμένα συστήματα παρέχεται η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων σε υψηλότερες ταχύτητες, με την χρήση οπτικών ινών για παράδειγμα. Πέρα της ενσύρματης επικοινωνίας δύναται να υλοποιηθεί και ασύρματη ζεύξη με την χρήση multi channel radios σε LOS καθώς και troposcatter τεχνικές για εκπομπή πέρα από τον ορίζοντα ή Sat Comms.

Για παράδειγμα, ο χειριστής του μη επανδρωμένου, μέσω του σταθμού εδάφους, μπορεί να επικοινωνεί μέσω ραδιοφωνικής ζεύξης και να έχει τον έλεγχο του UAV, όσον αφορά την πλοήγηση και την επιχειρησιακή του εκμετάλλευση (uplink). Μια κατερχόμενη ζεύξη (downlink) χρησιμοποιείται για την αναμετάδοση δεδομένων των αισθητήρων και ηλεκτρονικών δεδομένων από το UAV στον σταθμό εδάφους και στον χειριστή του UAS.

Ωστόσο όταν θέλουμε την συμμετοχή στο δίκτυο περισσότερων από δύο μονάδων-τερματικών, χρειαζόμαστε ένα διαφορετικά δομημένο δίκτυο. Μια δικτυακή σύζευξη (Radio Network) και ένα δίκτυο με πιο σύνθετα χαρακτηριστικά ώστε να καλύπτονται όλες οι ανάγκες. Ένας τέτοιος μηχανισμός Roll Call Mode. Σε αυτό το ψηφιακό δίκτυο, ορίζεται ένας σταθμός ως ο ελέγχων σταθμός του δικτύου (Net Control Station). Στη συνέχεια ενεργοποιεί τη διαδικασία roll call εκπέμποντας ένα μήνυμα interrogation σε συγκεκριμένο κάθε φορά συμμετέχοντα στο δίκτυο σταθμό. Ο σταθμός που ερωτάται ανταποκρίνεται εκπέμποντας τις διαθέσιμες πληροφορίες του στο δίκτυο. Ο ελέγχων σταθμός (NCS) ρωτάει στη συνέχεια τον επόμενο σταθμό του δικτύου, σύμφωνα με μια προκαθορισμένη σειρά. Ο κάθε συμμετέχων στο δίκτυο σταθμός ερωτάται και απαντάει με τη σειρά του ενώ όλοι οι υπόλοιποι

σταθμοί βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής και λαμβάνουν τις εκπεμπόμενες πληροφορίες (DATA).

Για τη διασύνδεση των Μονάδων σε ένα δίκτυο όπως το παραπάνω, χρησιμοποιούνται κατάλληλες τερματικές συσκευές που επικοινωνούν ασύρματα στις μάντες High Frequency HF (2-30 MHz) ή/και UHF (225-400 MHz). Βέβαια, ορισμένα τερματικά διαθέτουν τη δυνατότητα εκπομπής και λήψης μηνυμάτων και μέσω δορυφορικών διασυνδέσεων. Οι πληροφορίες πριν από την εκπομπή τους κρυπτογραφούνται με τη χρήση κατάλληλων κρυπτοσυσκευών και εκπέμπονται σε ταχύτητες της τάξεως των 1800 bps.

Στη συνέχεια, υπάρχουν και άλλα τακτικά ψηφιακά δίκτυα, που η αρχιτεκτονική τους βασίζεται στην αρχή Time Division Multiple Access (TDMA). Πρόκειται για ένα σύστημα «ακρόασης» (broadcast) στο οποίο ανατίθεται σε κάθε πλατφόρμα που συμμετέχει στο δίκτυο συγκεκριμένη/ες μονάδες χρόνου (time slots) στις οποίες μπορεί να εκπέμψει, ενώ ανάλογα, λαμβάνει δεδομένα σε time slots που τους έχουν ανατεθεί ανάλογα με το ρόλο τους. Είναι σχεδιασμένο για την ανταλλαγή σταθερών και προκαθορισμένων μηνυμάτων όπως και την υλοποίηση δικτύων φωνής (σχεδιασμένο για την ανταλλαγή σταθερών και προκαθορισμένων μηνυμάτων και την υλοποίηση δικτύων φωνής (VOICE).

Οι μονάδες που συμμετέχουν στο δίκτυο, οφείλουν να συγχρονιστούν για να ανταλλάξουν πληροφορίες, αφού πρέπει να ξέρουν την ακριβή ανάθεση των «χρονικών σχισμών» όλων των συμμετεχόντων, ώστε να είναι σε θέση να γνωρίζουν πότε θα εκπέμψουν. Τα τερματικά λαμβάνουν δεδομένα μόνο από χρήστες που είναι συγχρονισμένοι στο ίδιο δίκτυο, και μάλιστα βρίσκονται σε οπτική επαφή με αυτό.

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, ότι είναι πλήρως δικτυακά, αφού παρέχουν τη δυνατότητα της παράλληλης επικοινωνίας και ταυτόχρονης ενημέρωσης των συμμετεχόντων στο δίκτυο, και μη κομβικά, δηλαδή δεν απαιτείται η ύπαρξη ελέγχων σταθμού, όλοι εκπέμπουν τις πληροφορίες τους στον χρόνο που τους αντιστοιχεί. Ενώ μπορούν να λαμβάνουν συνεχώς δεδομένα, χάρη στη πολύ μεγάλη χωρητικότητα του συστήματος. Έπειτα είναι ιδιαίτερα ασφαλή διότι, διασφαλίζεται η προστασία και το απόρρητο των πληροφοριών με την αυτόματη κρυπτογράφηση και την προηγμένη επεξεργασία των σημάτων (Advanced signal Processing). Συνάμα είναι ανθεκτικά σε περιβάλλον ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, επειδή χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα αρκετές συχνότητες, με πολύ υψηλό ρυθμό αναπήδησης (hopping rate).

Τέτοια δίκτυα διαθέτουν πολυσύνθετα τερματικά, που είναι μεγάλης χωρητικότητας, σύστημα διανομής ψηφιακών πληροφοριών, σχεδιασμένα να υλοποιούν το δίκτυο, παρέχοντας ολοκληρωμένες επικοινωνίες, πλοήγηση και δυνατότητες διευκρίνισης. Υλοποιούν ασφαλή, ευέλικτη και ανθεκτική στις παρεμβολές ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, μεταξύ των διασκορπισμένων και κινητών μονάδων. Τέτοιες τερματικές συσκευές συνδυάζουν χαρακτηριστικά που έχουν σχεδιαστεί για να ξεπεραστούν πολλοί από τους κοινούς περιορισμούς των υπάρχοντων συστημάτων παρέχοντας αυξημένη χωρητικότητα και

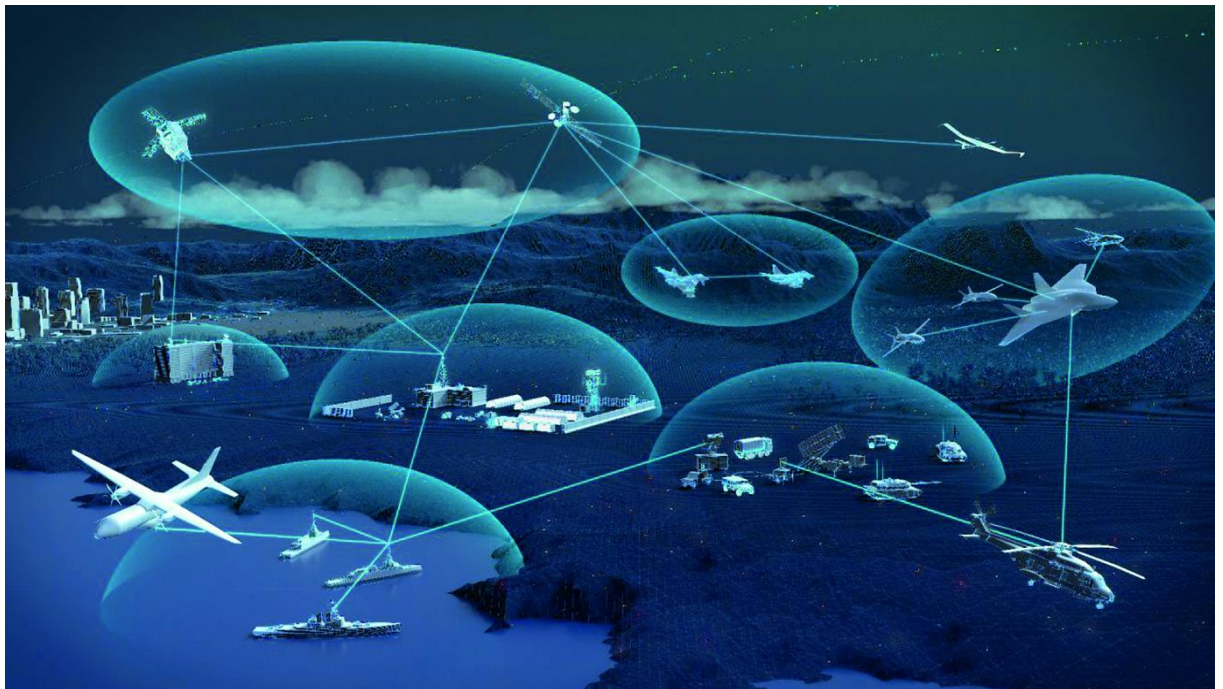
κάλυψη του συστήματος, βελτίωση της συνδεσιμότητας, της επιβιωσιμότητας, της ανθεκτικότητας στις παρεμβολές και μειωμένο κίνδυνο της απώλειας ή αχρήστευσης των δεδομένων του δικτύου.

Τέλος αξίζει να αναφέρουμε και την broadcast μέθοδο, που συναντάμε σε περιπτώσεις όπως η ραδιοφωνία. Δηλαδή ένα μόνο σύστημα συμμετέχει στη διασύνδεση, εκπέμποντας πληροφορίες, με όλα τα υπόλοιπα συστήματα μόνο να λαμβάνουν.

3.2.5 MULTILINK

Επισημαίνεται ότι κανένα τακτικό ψηφιακό δίκτυο δε δύναται από μόνο του να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις όλων των επιχειρησιακών συστημάτων. Επιπλέον κανένα τακτικό δίκτυο δεν είναι ικανό να λειτουργεί σε όλα τα είδη των πεδίων των επιχειρήσεων. Κατά συνέπεια η χρήση διαφορετικών μορφών μηνυμάτων και μέσων επικοινωνίας διαφορετικών δικτύων, οδηγεί στην επίλυση προβλημάτων διαλειτουργικότητας. Θα πρέπει λοιπόν να υπάρχουν τα κατάλληλα μέσα, να «μεταφράζουν» από τη «γλώσσα» του ενός τακτικού ψηφιακού δικτύου στην αντίστοιχη «γλώσσα», χωρίς περιορισμούς και χωρίς να χάνονται πληροφορίες

Η χρήση περισσότερων του ενός τακτικού ψηφιακού δικτύου, εισάγει τον όρο του multilink περιβάλλοντος. Η ανάγκη υλοποίησης αυτού του περιβάλλοντος εισάγει τις έννοιες της αναμετάδοσης και της προώθησης δεδομένων μεταξύ δικτύων. Τόσο η αναμετάδοση, όσο και η προώθηση δεδομένων είναι τεχνικές που αποσκοπούν στη μεταφορά πληροφοριών, στο πλαίσιο του εφικτού πάντα, μεταξύ των δικτύων. Με απλά λόγια η έννοια του multilink περιβάλλοντος, μας ωφελεί στο να ανταλλάσσουν κρίσιμες πληροφορίες όλοι με όλους σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 3.2: multilink διασύνδεση

3.3 SWARM COMMUNICATIONS PROTOCOL

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας σμήνων, αναφέρονται στους τρόπους με τους οποίους τα μέλη ενός σμήνους, όπως ρομπότ, αισθητήρες ή άλλες συσκευές, επικοινωνούν μεταξύ τους για να συντονιστούν και να εκτελέσουν κοινές εργασίες. Τα συστήματα σμήνων συνήθως χρησιμοποιούν αυτά τα πρωτόκολλα για να επιτύχουν στόχους όπως η οργάνωση, η διανομή εργασιών και η επιβιωσιμότητα, σε ένα σύνθετο περιβάλλον.

Υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας σμήνων, και εξελίσσονται διαρκώς για να ανταποκριθούν σε διάφορες ανάγκες και προκλήσεις. Με ορισμένα από τα παρακάτω πρωτόκολλα να συμβάλλουν στη δημιουργία ενός συνεργατικού σμήνους που μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά διάφορες καταστάσεις και προκλήσεις. Κάποια από τα κοινά πρωτόκολλα περιλαμβάνουν:

1. **Πρωτόκολλα Δρομολόγησης:** Καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα μέλη του σμήνους ενημερώνονται για τη θέση τους και πώς επικοινωνούν με άλλα μέλη.
2. **Πρωτόκολλα Ελέγχου Σμήνους:** Χρησιμοποιούνται για τον συντονισμό των ενεργειών των μελών του σμήνους, όπως η κατανομή εργασίας ή ο συγχρονισμός κινήσεων.
3. **Πρωτόκολλα Ανίχνευσης και Αποφυγής Συγκρούσεων:** Βοηθούν στο να αποφεύγονται συγκρούσεις μεταξύ των μελών του σμήνους και συντονίζουν τις κινήσεις τους.
4. **Πρωτόκολλα Αναγνώρισης και Κατηγοριοποίησης:** Χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση άλλων μελών του σμήνους και την ταξινόμησή τους σε διάφορες κατηγορίες.
5. **Πρωτόκολλα Ανταλλαγής Πληροφοριών:** Καθορίζουν πώς τα μέλη μοιράζονται δεδομένα και πληροφορίες μεταξύ τους.

3.3.1 MAVLINK (MICRO AIR VEHICLE LINK)

Το MAVLink είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, που χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της ρομποτικής και της αεροναυπηγικής, ειδικότερα για την επικοινωνία μεταξύ μικρών αεροπορικών οχημάτων (UAVs) και των συσκευών τους, όπως υποστηρικτικά συστήματα και αισθητήρες. Καθορίζει έναν εκτεταμένο σύνολο μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ αναπτυσσόμενων συστημάτων και εδαφικών σταθμών. Αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται σε κύρια συστήματα αυτονομίας, κυρίως τα ArduPilot και PX4, και παρέχει ισχυρές δυνατότητες όχι μόνο για την παρακολούθηση και έλεγχο αποστολών αναπτυσσόμενων συστημάτων, αλλά και για την ενσωμάτωσή τους στο Διαδίκτυο.

Το πρωτόκολλο MAVLink, καθορίζει το μηχανισμό στη δομή των μηνυμάτων και πώς, με ποια προτεραιότητα, μεταδίδονται σε επίπεδο εφαρμογής. Αυτά τα μηνύματα, προωθούνται στα κατώτερα επίπεδα (transport layer, physical layer) για

να μεταδοθούν στο δίκτυο. Το πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου MAVLink είναι ότι υποστηρίζει διάφορα είδη φορέων μεταφοράς και μέσα, χάρη στην «ελαφριά» του δομή. Μπορεί να μεταδοθεί μέσω WiFi, Ethernet (δηλαδή, Δικτύων TCP/IP) ή σειριακών καναλιών χαμηλού εύρους ζώνης τηλεμετρίας που λειτουργούν σε συχνότητες υπο-GHz, δηλαδή 433 MHz, 868 MHz ή 915 MHz. Οι συχνότητες υπο-GHz μας επιτρέπουν να επιτύχουμε μεγάλες αποστάσεις επικοινωνίας για τον απομακρυσμένο έλεγχο του αναπτυσσόμενου συστήματος. Το μέγιστο ποσοστό δεδομένων μπορεί να φτάσει έως 250 kbps, και η μέγιστη εμβέλεια αναμένεται συνήθως να είναι 500 μέτρα, αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον και το επίπεδο θορύβου και τη διαμόρφωση της κεραίας.

Το MAVLink υποστηρίζει συνήθως, τόσο συνδέσεις UDP (User Datagram Protocol), όσο και TCP (Transmission Control Protocol), στο επίπεδο μεταφοράς μεταξύ του εδάφους και του drone, ανάλογα με το επίπεδο αξιοπιστίας και ασφάλειας δεδομένων που απαιτείται από την εφαρμογή. Φυσικά είναι γνωστό ότι το UDP, είναι ένα πρωτόκολλο δεδομένων που δεν απαιτεί την απευθείας διασύνδεση μεταξύ των διακομιστών και δεν έχει μηχανισμό για τη διασφάλιση της αξιόπιστης μετάδοσης των μηνυμάτων. Ωστόσο είναι μια εναλλακτική λύση, που θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν για την μετάδοση ζωντανής εικόνας και μηνυμάτων ανθεκτικά σε απώλειες. Από την άλλη πλευρά, το TCP είναι ένα πιο αξιόπιστο πρωτόκολλο χάρη στο μηχανισμό αναγνώρισης, αλλά ενδέχεται να υπόκειται σε συμφόρηση και διαχείριση της σύνδεσης. Η επιλογή του πρωτοκόλλου μεταφοράς αφήνεται στον χρήστη ανάλογα με τις απαιτήσεις που χρειάζεται για την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ του μη επανδρωμένου συστήματος και του ελέγχων σταθμού εδάφους.

Παρόλο που το MAVLink παραμένει ένα αξιόπιστο και δημοφιλές πρωτόκολλο στον χώρο των αυτόνομων συστημάτων και των drones, έχει ορισμένα μειονεκτήματα που χρειάζεται να επισημάνουμε. Αρχικά η ασφάλεια της διασύνδεσης, μιας και το MAVLink δεν προσφέρει ενσωματωμένα μέτρα ασφαλείας. Με την χρήση του UDP για τη μεταφορά μηνυμάτων σημαίνει ότι δεν υπάρχει εγγύηση παράδοσης ή μηχανισμός επιβεβαίωσης, οπότε υπάρχει πιθανότητα απώλειας μηνυμάτων σε περιβάλλοντα με υψηλό θόρυβο. Όπως και το TCP, αν και πιο αξιόπιστο, μπορεί να υπόκειται σε συμφόρηση δικτύου, ειδικά σε συνθήκες υψηλού φόρτου κυκλοφορίας. Έπειτα η μέγιστη εμβέλεια και ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων μπορεί να είναι περιορισμένη, ειδικά σε ασύρματα δίκτυα με χαμηλό εύρος ζώνης. Η εμβέλεια όμως, όπως και η ταχύτητα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον και την κατασκευή της κεραίας.

3.3.2 DDS (DATA DISTRIBUTION SERVICE)

Το DDS (Data Distribution Service) είναι ένα πρωτόκολλο ανοικτού προτύπου που σχεδιάστηκε για τη διανομή δεδομένων σε δίκτυα πολλαπλών συσκευών. Αναπτύχθηκε από το Object Management Group (OMG) και χρησιμοποιείται ευρέως σε ποικίλες εφαρμογές. Προσφέρει ένα μηχανισμό για την αποτελεσματική και αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη και αξιόπιστη

επικοινωνία, όπως είναι ο έλεγχος μη επανδρωμένων αεροσκαφών, συστήματα ελέγχου παραγωγής, ιατρικές συσκευές, και άλλες.

Η χρήση του DDS σε εφαρμογές μη επανδρωμένων αεροσκαφών, μπορεί να επιτρέψει τη γρήγορη και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διάφορων υποσυστημάτων που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα συστήματα, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση και την ακρίβεια των εφαρμογών. Ειδικότερα το DDS (Data Distribution Service) αντιμετωπίζει την πρόκληση της επεκτασιμότητας. Οι παραδοσιακές αρχιτεκτονικές διασύνδεσης point-to-point, που βασίζονται σε διακομιστές, δεν μπορούν να υποστηρίξουν τη γρήγορη ενσωμάτωση νέων πλατφορμών που εισέρχονται και εξέρχονται από τον εναέριο χώρο χωρίς προειδοποίηση.

Επίσης το DDS παρέχει το δυναμικό δίαυλο δεδομένων που απαιτείται για τα κέντρα ελέγχου UAV. Οι σταθμοί ελέγχου εδάφους παρέχουν εντολές και έλεγχο σε ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UAV). Επιζητούμε ο σταθμός ελέγχου να μπορεί να διαχειριστεί περισσότερα από έναν τύπο UAV. Παράλληλα οι σταθμοί ελέγχου απαιτούν τα υψηλότερα επίπεδα απόδοσης, επεκτασιμότητας, αξιοπιστίας και ασφάλειας. Μια αρθρωτή αρχιτεκτονική ανοικτών συστημάτων για την ελαχιστοποίηση της ενσωμάτωσης και την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης. Γρήγορη αναδιαμόρφωση για να ικανοποιηθούν εξελισσόμενες απαιτήσεις αποστολής. Για αυτούς τους λόγους, το DDS είναι το πρότυπο συνδεσιμότητας για συστήματα κρίσιμα στην επίτευξη της αποστολής.

3.3.3 FTP (FILE TRANSFER PROTOCOL)

Το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Αρχείων (FTP - File Transfer Protocol), είναι ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων και δεδομένων που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά αρχείων από έναν διακομιστή σε έναν άλλο, μέσω ενός δικτύου που βασίζεται σε πρωτόκολλο TCP, όπως το Διαδίκτυο. Σε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας όπως το MAVLink, το FTP υλοποιεί τη μεταφορά αρχείων. Υποστηρίζει κοινές λειτουργίες FTP, όπως η ανάγνωση, η περικοπή, η εγγραφή, η διαγραφή και η δημιουργία αρχείων, καθώς και οι ενέργειες λίστας και διαγραφής καταλόγων.

Το πρωτόκολλο ακολουθεί ένα μοντέλο πελάτη (client) - εξυπηρετητή (server), όπου όταν οι εντολές αποστέλλονται από το σταθμό ελέγχου (πελάτη), το Drone (εξυπηρετητής) απαντά είτε με ένα ACK (acknowledgment) αποδεχόμενο τις πληροφορίες που έχουν ζητηθεί, είτε με ένα NAK (negative-acknowledgement) ένα σήμα που στέλνεται για να απορρίψει ένα προηγουμένως ληφθέν μήνυμα ή για να υποδείξει κάποιο είδος σφάλματος. Τα αναγνωριστικά και τα αρνητικά αναγνωριστικά ACK&NAK ενημερώνουν έναν αποστολέα για την κατάσταση του παραλήπτη, ώστε να προσαρμόσει ανάλογα την ίδια του την κατάσταση. Ο σταθμός εδάφους ορίζει ένα χρονικό όριο (timeout) μετά από τις περισσότερες εντολές και μπορεί να ξαναστείλει την εντολή αν απαιτηθεί. Το drone με τη σειρά του, πρέπει να ξαναστείλει την απάντησή του αν λάβει ένα αίτημα με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης του FTP, σε σύγχρονες επιχειρήσεις και ατομικούς χρήστες, είναι η ικανότητά του να διενεργεί μεταφορές αρχείων μεγάλου μεγέθους. Ενώ πολλές μέθοδοι είναι κατάλληλες για τη μεταφορά σχετικά μικρών αρχείων, όπως ένα έγγραφο Word, το FTP ξεχωρίζει όταν πρόκειται για τη μετάδοση εκατοντάδων Gigabyte ταυτόχρονα, εξασφαλίζοντας μια ομαλή και αποτελεσματική διαδικασία μεταφοράς. Η δυνατότητα να μεταδίδονται μεγάλα, σε όγκο δεδομένων, αρχεία ενισχύει σημαντικά την επιχειρησιακή συνεισφορά ενός μη επανδρωμένου οχήματος. Με το FTP, μπορεί να επιλεγούν και να σταλθούν πολλά αρχεία ταυτόχρονα. Αντίθετα, άλλες μέθοδοι μπορεί να απαιτούν να αποστέλλονται τα αρχεία ένα-ένα, καταναλώνοντας περισσότερο χρόνο και πιθανώς περιορίζοντας την παραγωγικότητα.

3.3.4 SSH (SECURE SHELL)

Το πρωτόκολλο SSH (Secure Shell), είναι ένας τρόπος για ασφαλή απομακρυσμένη σύνδεση από έναν υπολογιστή σε έναν άλλο. Παρέχει πολλές εναλλακτικές επιλογές για την ασφάλεια και την ακεραιότητα των επικοινωνιών με ισχυρή κρυπτογράφηση. Αποτελεί μια ασφαλή εναλλακτική λύση σε μη προστατευμένα πρωτόκολλα σύνδεσης (όπως το telnet, rlogin) και μη ασφαλείς μεθόδους μεταφοράς αρχείων (όπως το FTP). Επιπλέον σε μεγαλύτερα συστήματα χρησιμοποιείται αυτή η κρυπτογραφία για την προστασία της επικοινωνίας κατά τη μετάδοση εντολών, δεδομένων και άλλων επικοινωνιακών διαδικασιών.

Το SSH μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες μεθοδολογίες. Στον απλούστερο τρόπο, και τα δύο άκρα μιας επικοινωνίας χρησιμοποιούν αυτόματα δημιουργημένα ζεύγη κλειδιών για να κρυπτογραφήσουν μια δικτυακή σύνδεση, και στη συνέχεια χρησιμοποιούν έναν κωδικό για να πιστοποιήσουν τον εκάστοτε χρήστη.

Η χρήση πρωτοκόλλων όπως το SSH βοηθά στη διασφάλιση ασφαλούς επικοινωνίας μεταξύ των μη επανδρωμένων οχημάτων και των ανθρώπινων χρηστών ή των ελεγκτικών συστημάτων. Η SSH προσφέρει κρυπτογραφημένη σύνδεση, επιτρέποντας την ασφαλή διαχείριση και επικοινωνία με τα μη επανδρωμένα οχήματα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αποστολή εντολών, τη λήψη δεδομένων αισθητήρων, και γενικά τον έλεγχο των λειτουργιών τους μέσω ασφαλούς απομακρυσμένης σύνδεσης.

Το SCP (Secure Copy Protocol) είναι ένα υπό-πρωτόκολλο του SSH που χρησιμοποιείται για την ασφαλή μεταφορά αρχείων μεταξύ δύο συσκευών. Χρησιμοποιεί το SSH για την εγκαθίδρυση ασφαλούς σύνδεσης και μεταφέρει τα αρχεία με ασφαλή τρόπο. Κατά τη χρήση του SCP, η επικοινωνία μεταξύ του client και του server πραγματοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου SSH. Κατά τη μεταφορά αρχείων, το SCP χρησιμοποιεί την κρυπτογραφία του SSH για να προστατεύσει τα δεδομένα από ανεπιθύμητη παρεμβολή.

Το SCP (Secure Copy Protocol), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ασφαλή μεταφορά αρχείων μεταξύ σμήνους μη επανδρωμένων αεροσκαφών, αλλά και με τα συστήματα που τα διαχειρίζονται. Συνήθως, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη,

χρησιμοποιούν συνδέσεις SSH για ασφαλή διαχείριση και ελέγχου των συστημάτων τους. Εάν, για παράδειγμα, ένα σμήνος αεροσκαφών χρειάζεται να μεταφέρει δεδομένα, όπως εικόνες ή πληροφορίες από αισθητήρες, μπορεί να χρησιμοποιήσει το SCP με ενσωματωμένη κρυπτογράφηση για την ασφαλή μεταφορά αυτών των δεδομένων, μέσω του πρωτοκόλλου SSH. Η χρήση του SCP σε συνδυασμό με τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη επιτρέπει στα μέλη της ομάδας λειτουργίας να ανταλλάσσουν δεδομένα, εντολές ή άλλες πληροφορίες ασφαλώς και απομακρυσμένα, προστατεύοντας παράλληλα την ασφάλεια των επικοινωνιών τους.

3.4 ΔΙΚΤΥΑ

Όταν αναφερόμαστε σε ένα σμήνος μη επανδρωμένων οχημάτων ή συσκευών, η τοπολογία του δικτύου συχνά σχεδιάζεται για να υποστηρίξει τη συνεργασία και τον συντονισμό των μελών του σμήνους. Το σμήνος μπορεί να αποτελείται από αυτόνομα ρομπότ, UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), UGVs (Unmanned Ground Vehicles), αισθητήρες, και άλλες μη επανδρωμένες συσκευές. Η επιλογή της τοπολογίας εξαρτάται στην περίπτωση χρήσης, τις απαιτήσεις για αξιοπιστία, ευελιξία, και διαχειρισσιμότητα του σμήνους. Κατά τη σχεδίαση της τοπολογίας, λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η εμβέλεια επικοινωνίας, η ανθεκτικότητα σε αποτυχίες και η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας.

Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις δικτύων όπως MANET (Mobile Ad Hoc Networks) και VANET Vehicular (Ad Hoc Networks) ενδέχεται να μην αντικατοπτρίζουν πλήρως τα μοναδικά χαρακτηριστικά των δικτύων UAV. Τα δίκτυα UAV μπορεί να εμφανίζουν χαρακτηριστικά που κυμαίνονται από αργές έως γρήγορες αλλαγές, διακοπτόμενους σύνδεση και ρευστή τοπολογία. Ενώ τα ad hoc mesh networks (ασύρματα δίκτυα πλέγματος) θεωρούνται κατάλληλα για τα UAV, η αρχιτεκτονική των πολλαπλών UAV δικτύων παραμένει ένας ελάχιστα μελετημένος τομέας.

Αντίστοιχα τα μη επανδρωμένα οχήματα θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις και να διαθέτουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ώστε να μπορούν να συμμετέχουν ενεργά σε ένα τέτοιο δίκτυο. Αρχικά το πιο βασικό κομμάτι είναι η δυνατότητα σύνδεσης των UAV μεταξύ τους αλλά και με το κύριο μέρος του συστήματος (επίγειοι σταθμοί, δορυφόροι και ιπτάμενες πλατφόρμες). Ένα άλλο ιδιαίτερο γνώρισμα που πρέπει να καθορίζεται είναι ο αριθμός των UAVs στο δίκτυο, διότι κάποια πρωτόκολλα αποδίδουν μόνο σε μικρό αριθμό εμπλεκόμενων κόμβων. Έπειτα τα πρωτόκολλα που θα χρησιμοποιηθούν σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων απαιτούν μεγάλη χωρητικότητα φυσικής μνήμης, άρα και τα μη επανδρωμένα θα πρέπει να έχουν μεγάλη μνήμη για να καλύπτουν αυτές τις ανάγκες. Σαφώς υπάρχουν και άλλα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά όπως η επεξεργαστική ισχύς που έχει κάθε μη επανδρωμένο και η ασφάλεια της μετάδοσης των δεδομένων.

3.4.1 STAR NETWORKS

Ένα δίκτυο Star είναι μια τοπολογία τοπικού δικτύου (LAN), στην οποία όλοι οι κόμβοι - προσωπικοί υπολογιστές (H/Y), σταθμοί εργασίας ή άλλες συσκευές,

συνδέονται απευθείας σε έναν κοινό κεντρικό υπολογιστή που συχνά αναφέρεται ως κεντρικό κόμβο, που ονομάζεται επίσης hub ή switch. Η τοπολογία STAR είναι δημοφιλής λόγω της ευκολίας εγκατάστασης και διαχείρισης διαφόρων ζητημάτων. Σε αυτή τη διάταξη, αν κάποια συσκευή αντιμετωπίσει πρόβλημα, δεν επηρεάζει τις υπόλοιπες, καθώς η επικοινωνία δεν εξαρτάται από τις άλλες συσκευές. Αυτό καθιστά την τοπολογία STAR αξιόπιστη και εύκολη στη συντήρηση.

Παράλληλα χωρίς να επηρεάζεται το υπόλοιπο δίκτυο, οι νέοι κόμβοι μπορούν να προστεθούν εύκολα στην τοπολογία και μπορούμε επίσης να αφαιρέσουμε εύκολα τα στοιχεία που περιλαμβάνει. Έτσι, είναι βολικό να προστίθενται περισσότεροι υπολογιστές ή κόμβοι στο δίκτυο. Είναι επίσης ευκολότερο να αντικατασταθεί μια βλαπτική μονάδα για τη διατήρηση των επιπέδων παραγωγικότητας. Έπειτα είναι αρκετά ασφαλές, επειδή οποιαδήποτε παρέμβαση θα επηρεάσει μόνο έναν κόμβο. Απενεργοποιώντας τον κεντρικό πυρήνα, μπορούμε ταυτόχρονα να απενεργοποιήσουμε όλες τις συσκευές. Καθώς η κεντρική συσκευή δεν είναι εύκολα προσβάσιμη για όλους, είναι ένα ασφαλές δίκτυο για επιχειρήσεις οποιουδήποτε μεγέθους που μπορούν να το χρησιμοποιήσουν για την υποστήριξη των αναγκών τους. Στα μελανά σημεία αυτής της τοπολογίας, επισημαίνεται το υψηλό κόστος και αντίστοιχα η δαπανηρή και τακτική συντήρηση που απαιτεί το σύστημα.

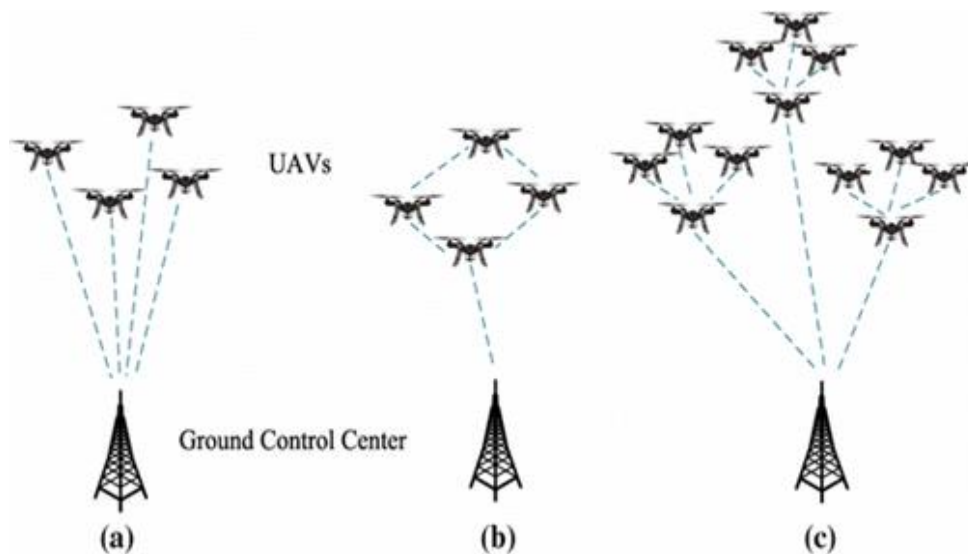
Η τοπολογία διάταξης STAR, μπορεί να είναι κατάλληλη για μη επανδρωμένα οχήματα σε ορισμένες περιπτώσεις. Συνήθως, αυτά τα οχήματα χρησιμοποιούν ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως το Wi-Fi ή το RF (Radio Frequency) για να επικοινωνούν με τον χειριστή ή μεταξύ τους. Ένα κεντρικό σημείο (hub ή switch), ένας επίγειος σταθμός ελέγχου, είναι συνδεδεμένος με τα μη επανδρωμένα, μέσω ασύρματης σύνδεσης. Αυτό το κεντρικό σημείο μπορεί να διαχειρίζεται την επικοινωνία και να συντονίζει την συνεργατική λειτουργία όλων των οχημάτων. Η τοπολογία STAR είναι αξιόπιστη και εύκολη στη συντήρηση, κάτι που μπορεί να είναι σημαντικό για την συνεχή και ομαλή λειτουργία εφαρμογών μη επανδρωμένων συστημάτων.

Η τοπολογία διάταξης MULTI-STAR είναι μια εξέλιξη της τοπολογίας STAR, όπου συνδυάζονται πολλοί κόμβοι STAR σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση, ένας κεντρικός κόμβος (hub ή switch) στηρίζει πολλούς υποκόμβους STAR. Κάθε υποκόμβος STAR μπορεί να συνδέεται με δικό του κεντρικό κόμβο και αυτοί οι υποκόμβοι μπορούν επίσης να είναι κεντρικοί κόμβοι για άλλες συσκευές. Αυτή η δομή δίνει τη δυνατότητα για πιο σύνθετες διασυνδέσεις και λειτουργίες μέσα σε ένα ευρύτερο δίκτυο. Η τοπολογία MULTI-STAR μπορεί να είναι χρήσιμη σε μεγάλα δίκτυα όπου απαιτείται οργάνωση και διαχείριση του δικτύου σε διάφορα επίπεδα. Αυτή η διάταξη επιτρέπει την επέκταση του δικτύου με προσθήκη νέων υποκόμβων STAR σε διάφορα επίπεδα.

Η τοπολογία διάταξης MULTI-STAR μπορεί να είναι κατάλληλη για σμήνη μη επανδρωμένων οχημάτων, δημιουργώντας μια ευέλικτη και ιεραρχημένη δομή για τον έλεγχο και την επικοινωνία. Σε αυτήν τη διάταξη, υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος (hub ή switch) που λειτουργεί ως βάση ελέγχου, συνδεδεμένος με πολλά

μικρότερα MEO που αποτελούν τα μέλη του σμήνους. Αυτός ο κεντρικός κόμβος μπορεί να διαχειρίζεται τον συντονισμό και την επικοινωνία μεταξύ των μελών του σμήνους, ενώ οι μικρότεροι κόμβοι μπορεί να ελέγχουν την κίνηση και τις λειτουργίες των μεμονωμένων οχημάτων.

Αυτή η δομή επιτρέπει τη συνεργασία και τον συντονισμό μεταξύ των μη επανδρωμένων οχημάτων εντός του σμήνους. Επίσης, επιτρέπει εύκολη επέκταση του σμήνους με την προσθήκη νέων μελών. Σε περιοχές όπου απαιτείται συνεργασία και συντονισμός μεταξύ πολλών μέσων, η τοπολογία MULTI-STAR μπορεί να παρέχει αποτελεσματική λύση.



Εικόνα 3.3: Απεικόνιση διατάξεων (α) STAR, (β) MESH και (γ) MULTI-STAR

3.4.2 MESH NETWORKS

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος, γνωστά και ως mesh networks, αντιπροσωπεύουν έναν ευέλικτο τρόπο ασύρματης επικοινωνίας όπου οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα πλέγμα. Αυτό το είδος δικτύου είναι χρήσιμο για διάφορες εφαρμογές, όπως οι ασύρματες επικοινωνίες σε περιοχές με φυσικές δυσκολίες, όπως η καλωδίωση των μέσων ή σε καταστάσεις όπου είναι απαραίτητο ένα μεγαλύτερο εύρος εμβέλειας, που δεν μπορεί να επιτευχθεί με άλλους τρόπους. Στα ασύρματα δίκτυα πλέγματος, κάθε συσκευή μπορεί να λειτουργεί όχι μόνο ως πηγή και προορισμός των δεδομένων, αλλά και ως ενδιάμεσος κόμβος για την προώθηση των δεδομένων προς άλλες συσκευές στο δίκτυο. Αυτό δημιουργεί ένα ευπροσάρμοστο και ευέλικτο σύστημα, καθώς οι συσκευές μπορούν να προσαρμόζονται αυτόματα στις αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου.

Γενικά μέσα σε αυτό το δίκτυο-πλέγμα, κάθε κόμβος μπορεί να επικοινωνεί με κάθε άλλον κόμβο. Ορισμένες δομές mesh ενδέχεται να χρησιμοποιούν έναν κεντρικό κόμβο ελέγχου, ενώ άλλες είναι πλήρως αποκεντρωμένες. Η αποκεντρωμένη ασύρματη δικτύωση mesh είναι ιδανική για τακτικές και στρατιωτικές επικοινωνίες, καθώς επιτρέπει την ανακατεύθυνση των δεδομένων σε

περίπτωση καταστροφής ή αποσύνδεσης κόμβων, επιτρέποντας πιο ανθεκτικές λειτουργίες. Τα δίκτυα mesh μπορεί να περιλαμβάνουν μια συνδυασμένη χρήση στατικών και κινητών κόμβων και ενδέχεται να χρησιμοποιούνται για τη συμπλήρωση των δορυφορικών επικοινωνιών (SATCOM) ή των συνδέσεων μικροκυμάτων.

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος έχουν ευρεία εφαρμογή και στον τομέα των στρατιωτικών επικοινωνιών λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Αρχικά χάρη στην ευελιξία τους επιτρέπουν στις στρατιωτικές μονάδες να δημιουργήσουν γρήγορα και αυτόνομα δίκτυα επικοινωνίας χωρίς την ανάγκη για επιπλέον υλικό ή υποδομές. Η τοπολογία πλέγματος επιτρέπει στα στρατιωτικά δίκτυα να διατηρούν συνεχή επικοινωνία, ακόμη και σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν εμπόδια ή έχουν υποστεί ζημιά. Αυτή η ανθεκτικότητα σε βλάβες και ατυχήματα, οφείλεται στο γεγονός πως οι συσκευές μπορούν να επαναδιαμορφώνονται αυτόματα για να διατηρήσουν τη σύνδεση, ακόμα και όταν υπάρχει απώλεια μερικών.

Τα μη επανδρωμένα συστήματα συχνά, χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα πλέγματος, για την επίτευξη αξιόπιστης επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων μονάδων και σταθμών ελέγχου. Σε αυτό τον τύπο δικτύου τα μη επανδρωμένα οχήματα πρακτικά λειτουργούν ως κόμβοι. Σε σμήνη μη επανδρωμένων οχημάτων, τα μέλη του σμήνους επικοινωνούν αποτελεσματικά μεταξύ τους, διαμορφώνοντας μια συνεργατική και συντονισμένη συμπεριφορά. Αυτό μπορεί να είναι κρίσιμο για τον συντονισμό σε πολύπλοκες αποστολές. Συνάμα τα μέλη του σμήνους μπορούν να αλλάξουν δυναμικά την τοπολογία του δικτύου τους ανάλογα με τις ανάγκες της αποστολής, εξασφαλίζοντας έτσι ευελιξία και αυτονομία, με την ροή πληροφοριών να παραμένει αδιάλειπτη και σε πραγματικό χρόνο. Συνολικά τα UAVs μπορούν να συνεργάζονται ως μέρος ενός δικτύου πλέγματος για να επιτύχουν συλλογικά στρατηγικούς στόχους, όπως η επίβλεψη, η ανίχνευση, η αναγνώριση και η επικοινωνία σε περιοχές που μπορεί να είναι δύσκολα προσβάσιμες για άλλα μέσα.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και προκλήσεις όπως η διαχείριση του φάσματος στις ασύρματες συχνότητες, η ασφάλεια και η περιβαλλοντική επίδραση λόγω της αύξησης των ασύρματων συσκευών. Όμως σε αντίθεση με τις διατάξεις STAR, τα δίκτυα σε διάταξη MESH, είναι περισσότερο ευέλικτα ως προς τον μεγάλο αριθμό διασυνδέσεων μεταξύ κόμβων και πολλαπλών διαδρομών μετάδοσης πληροφορίας. Τα μη επανδρωμένα, ως κόμβοι μπορεί να κινηθούν ελεύθερα δίχως τον περιορισμό της διατήρησης συγκεκριμένης θέσης με επίγειο σταθμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: Η ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΤΟΥ ΣΜΗΝΟΥΣ ΣΤΑ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ

4.1 ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η συνεργατική λειτουργία ρομπότ αναφέρεται στην ικανότητα ρομπότ να συνεργάζονται και να αλληλοεπιδρούν με ανθρώπους ή μεταξύ τους για την εκτέλεση εργασιών. Η έρευνα στην συνδυαστική-συνεργατική λειτουργία πολλαπλών ρομπότ, κερδίζει όλο και περισσότερη προσοχή, καθώς το περιβάλλον εργασίας των ρομπότ επεκτείνεται, η πολυπλοκότητα των εργασιών αυξάνεται και η περιοχή εφαρμογής διευρύνεται. Το κάθε σύνθετο σύστημα θα πρέπει να συντονίζει αποτελεσματικά, γρήγορα και ακριβώς αρκετά ρομπότ για να συνεργαστούν και να εκτελέσουν πολλαπλές εργασίες ταυτόχρονα. Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει όχι μόνο τον σχεδιασμό διαδρομής, αλλά και την επικοινωνία μεταξύ κάθε ρομπότ και τον συντονισμένο έλεγχο, με βάση το γεγονός ότι τα μέλη ανταλλάσσουν μηνύματα.

Η συνεργατική λειτουργία πολλαπλών ρομπότ μπορεί να παρέχει σημαντικά οφέλη, όπως μείωση του χρόνου εκτέλεσης των εργασιών, βελτιστοποίηση της ενέργειας και αύξηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγικότητας. Ωστόσο, αυτό προϋποθέτει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ρομπότ, καθώς και τη συγχρονισμένη συνεργασία τους για την αποτελεσματική και ασφαλή εκτέλεση των εργασιών. Για παράδειγμα για να επιτευχθεί ο αποτελεσματικός σχεδιασμός διαδρομής, οι ρομποτικοί αλγόριθμοι πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την κατάσταση των άλλων ρομπότ και τις αντίστοιχες πληροφορίες, ώστε να αποφεύγουν συγκρούσεις, να συντονίζουν τις δραστηριότητές τους και να ανταποκρίνονται σε αλλαγές στο περιβάλλον.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και της έρευνας στον τομέα αυτό αναμένεται να οδηγήσει σε ακόμη περισσότερες βελτιώσεις και καινοτομίες, έχοντας ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της ευελιξίας, της αποτελεσματικότητας και της αυτονομίας των ρομποτικών συστημάτων. Με την μελλοντική έρευνα να επικεντρώνεται στην επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών ρομπότ, όπως σε βιομηχανικές γραμμές παραγωγής ή σε ερευνητικές αποστολές, έτσι ώστε τα ρομπότ να μπορούν να κινούνται και να δραστηριοποιούνται σε ένα δυναμικό περιβάλλον, χωρίς να επηρεάζουν το ένα το άλλο.

Επιπλέον, η συνεργατική λειτουργία των ρομπότ ανοίγει νέους ορίζοντες για την αυτόνομη εκτέλεση εργασιών, αλληλοεπιδρώντας σε ένα δυναμικό περιβάλλον με σύνθετους παράγοντες, αξιοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη. Η λειτουργία των ρομπότ συνδυάζεται συχνά με τεχνητή νοημοσύνη για τη βελτίωση της απόδοσης και της ευελιξίας των ρομπότ σε διάφορες εργασιακές και κοινωνικές συνθήκες. Η τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει στα ρομπότ να λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένες σε δεδομένα, να μαθαίνουν από την εμπειρία τους και να προσαρμόζονται σε νέες καταστάσεις. Με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης, τα ρομπότ μπορούν να αναγνωρίζουν πρότυπα, να προβλέπουν συμπεριφορές και να προσαρμόζονται ανάλογα. Αυτό τους επιτρέπει να συνεργάζονται αποτελεσματικά με άλλα ρομπότ ή ακόμα και με ανθρώπους σε διάφορες καταστάσεις, όπως σε βιομηχανικά

περιβάλλοντα, σε ιατρικές εφαρμογές, σε αυτόνομα οχήματα και σε άλλες εφαρμογές ρομποτικής.

Τα μη επανδρωμένα οχήματα (ή UAVs - Unmanned Aerial Vehicles) είναι ένας τομέας όπου η τεχνητή νοημοσύνη έχει έντονη εφαρμογή. Η τεχνητή νοημοσύνη βελτιώνει την αυτονομία, την ακρίβεια και την απόδοση των UAVs σε διάφορες εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση και η επιτήρηση, η χαρτογράφηση, και οι στρατιωτικές εφαρμογές. Η τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει στα UAVs να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση τα δεδομένα που συλλέγουν από αισθητήρες, όπως κάμερες και αισθητήρες, για την περαιτέρω δράση τους σε αυτόνομο επίπεδο.

Επίσης, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη αλγορίθμων πλοήγησης και ελέγχου που επιτρέπουν στα UAVs να αποφεύγουν εμπόδια, να εντοπίζουν τον στόχο τους και να προγραμματίζουν αποστολές με βάση πολύπλοκες παραμέτρους όπως οι καιρικές συνθήκες και οι περιορισμοί του περιβάλλοντος. Όλα αυτά συνεισφέρουν στην αύξηση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας των μη επανδρωμένων οχημάτων, με τους φορείς που συνεργάζονται.

4.2 DECISION MAKING

Η έννοια του decision making σε ένα σμήνος, είναι για εμάς ένα ενδιάμεσο βήμα για την μετάβαση στην νοημοσύνη του σμήνους, στην τεχνητή νοημοσύνη και στο πως αποτυπώνεται μέσω ενός αλγορίθμου σε μια πλατφόρμα. Οι αλγόριθμοι που μοντελοποιούν τη λήψη αποφάσεων σε σμήνη, συχνά εμπνέονται από αυτά τα φυσικά συστήματα. Η αυτονομία ερμηνεύεται ως η λήψη ανεξάρτητων αποφάσεων και, συνεπώς, τη δυνατότητα συμπεριφοράς που αναδεικνύει ευφυΐα και ορθολογική σκέψη. Το μεμονωμένο ρομπότ οπωσδήποτε πρέπει να είναι αυτόνομο, ωστόσο, και το σμήνος ως σύνολο θα πρέπει να λειτουργεί αυτόνομα. Όμως μια μεμονωμένη πλατφόρμα δεν μπορεί να λαμβάνει ανεξάρτητες και ανεξήγητες αποφάσεις, αντίθετες με τον τρόπο λειτουργίας του σμήνους. Στη ρομποτική σμήνους, έχουμε πολλαπλά ρομπότ που συνεργάζονται, συνεπώς, πρέπει να λαμβάνουν αποφάσεις συλλογικά. Η συλλογική λήψη αποφάσεων ή η συνεργατική λήψη αποφάσεων απαιτείται όταν σε μια ομάδα, τα μέλη τους πρέπει επιλέξουν ανάμεσα σε εναλλακτικές επιλογές.

Η λήψη αποφάσεων μπορεί να βασιστεί στη βεβαιότητα, πως είναι γνωστές όλες οι τρέχουσες συνθήκες που μπορεί να την επηρεάσουν. Τα περιβάλλοντα στα οποία συνήθως λειτουργούν τα ρομπότ, ειδικά τα σμήνη μη επανδρωμένων οχημάτων σε ένα θέατρο επιχειρήσεων, δεν είναι τόσο απλά. Σε αυτή την περίπτωση υποθέτουμε ότι το ρομπότ πρέπει να αποφασίσει υπό αβεβαιότητα, η οποία είναι η πραγματική τέχνη της λήψης αποφάσεων. Η λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα σημαίνει ότι η τρέχουσα κατάσταση και/ή το αποτέλεσμα των ενεργειών της πλατφόρμας δεν είναι πλήρως γνωστά ή προβλέψιμα. Για να έχει την δυνατότητα να ενεργήσει ορθολογικά, το ρομπότ πρέπει να γνωρίζει τις προτιμήσεις μεταξύ διαφορετικών εφικτών αποτελεσμάτων των ενεργειών του. Προτιμήσεις που είναι προσαρμοσμένες στα θέλω και τις επιθυμίες αυτών που τα χειρίζονται. Υποθέτοντας ότι το ρομπότ είναι σε θέση να εκτιμήσει το αποτέλεσμα των ενεργειών του, βασισμένο σε

περιορισμένες πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος. Κάθε αποτέλεσμα έχει μια συγκεκριμένη χρησιμότητα ως προς τον αντίκτυπο της, και μια λογική απόφαση είναι μια βέλτιστη απόφαση υπό ένα σύνολο περιορισμών όπως η αβεβαιότητα.

Η λήψη αποφάσεων σε ένα σμήνος στο ζωικό βασίλειο είναι απαιτητική διαδικασία. Χαρακτηριστικό τους όμως, είναι η επιθυμία για ευημερία του σμήνους, αν και πρακτικά δεν υπάρχει η δημοκρατία όπως την ορίζουμε εμείς. Αντιθέτως υπάρχει αυστηρή δομή, όπου οι πιο ισχυροί, έμπειροι και καταρτισμένοι έχουν τον κύριο λόγο. Στη συλλογική λήψη αποφάσεων σε φυσικά σμήνη κυριαρχεί η τοπική επικοινωνία και τα μέλη αλληλοεπιδρούν μόνο με τους άμεσους γείτονές τους ή μέσω του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, δεν μπορεί να υλοποιηθεί καμία διαδικασία ψηφοφορίας που θα ήταν παρόμοια με την ψηφοφορία σε μια ομάδα ανθρώπων. Αντίθετα, η διαδικασία είναι ασύγχρονη, επειδή αρκετά χωρικά διαχωρισμένα μέλη πρέπει να ξεκινήσουν να βρίσκουν μια απόφαση ταυτόχρονα.

Σε αυτό το σημείο μας δημιουργούνται καίρια ερωτήματα για την ομαλή και συνεργατική λειτουργία εντός του σμήνους μη επανδρωμένων οχημάτων. Θα είναι εντελώς αυτόνομα αυτά τα σμήνη ή θα υπάρχει πάντα εξωτερικός έλεγχος; Σε περίπτωση μιας ενδιάμεσης λύσης, ποιες θα είναι οι αυτόνομες λειτουργίες που θα υλοποιούνται ανεξάρτητα από τα σμήνη, και ποιες λειτουργίες θα απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση; Για παράδειγμα η απόφαση για το πως θα πετάξει το σμήνος δεν χρίζει κάποιας ιδιαίτερης παρέμβασης, ενώ η απόφαση για την εξαπόλυση όπλων, είναι επιτακτικό να λαμβάνεται από τον άνθρωπο. Στη συνέχεια ποια θα είναι η δομή του σμήνους, θα υπάρχει ιεραρχία; Διότι όπως αναφέραμε παραπάνω, τα μέλη ενός σμήνους δεν θα πρέπει ούτε να είναι ούτε ίσα, ούτε ίδια, όσον αφορά την ιεραρχία και τις δυνατότητες τους, είναι αναγκαία η ποικιλομορφία. Σε περιπτώσεις που το σμήνος θα λειτουργεί εντελώς αυτόνομα, θα πρέπει να υπάρχει κάποιο ηγετικό στέλεχος, για την λήψη μιας καθοριστικής απόφασης.

4.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Η πρόκληση για την αποτελεσματική λειτουργία ενός σμήνους drone περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός προ-προγραμματισμένου μοντέλου συνεργασίας μεταξύ των μονάδων που απαρτίζουν το σμήνος. Αυτό προϋποθέτει τη σωστή ανάπτυξη πρωτοκόλλων επικοινωνίας, επιτρέποντας την ανταλλαγή πληροφοριών, τη διαχείριση συγκρούσεων μεταξύ των drones και την κοινή λήψη αποφάσεων. Αυτό περιλαμβάνει την απόφαση για το ποια drones θα αναλάβουν συγκεκριμένες αποστολές, όπως μεταφορά δεδομένων μάχης, και ποια θα υλοποιήσουν αυτοκτονικές επιθέσεις, λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα κατάσταση της μάχης, όπως η ανίχνευση βλάβης ή απειλής.

Για να υλοποιηθεί αυτή η πολύπλοκη διαδικασία, οι ερευνητές χρειάζεται να αναπτύξουν αλγόριθμους κατανομής εργασιών μεταξύ των drones. Αυτοί οι αλγόριθμοι επιτρέπουν στο σμήνος να αναθέτει συγκεκριμένες εργασίες σε συγκεκριμένα drones ανάλογα με τις απαιτήσεις της επιχείρησης. Μάλιστα σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημάνουμε πως είναι αρκετά διαφορετικό κομμάτι τα

τακτικά ψηφιακά δίκτυα (data links), σε σχέση με το πως θα ενεργήσουν τα μη επανδρωμένα οχήματα στο πεδίο δράσης.

Παράλληλα η εφαρμογή των αρχών του σμήνους στα ρομπότ ονομάζεται ρομποτική σμήνους, ενώ ο όρος "νοημοσύνη σμήνους" αναφέρεται στο σύνολο των αλγορίθμων. Ο όρος "Νοημοσύνη Σμήνους" (ΝΣ) στην Επιστήμη των Υπολογιστών περιγράφει αλγόριθμους και μεθόδους επίλυσης προβλημάτων που εμπνέονται από τη συλλογική συμπεριφορά και την εκδηλούμενη νοημοσύνη σε πληθυσμούς. Ο όρος αυτός προήλθε από τεχνολογικές εφαρμογές που χαρακτήριζαν τη συμπεριφορά ομαδοποιημένων ρομπότ, τα οποία, υπακούοντας σε απλούς κανόνες, εμφάνιζαν συλλογική συμπεριφορά με τον χρόνο.

Οι παρακάτω λοιπόν αλγόριθμοι, σε συνδυασμό με την προηγμένη τεχνολογία αισθητήρων και την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, επιτρέπουν στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη να λειτουργούν ως ένα συνεργατικό σύνολο για την αποτελεσματική και ασφαλή εκτέλεση αποστολών.

4.3.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η ανάπτυξη μεθόδων πλοήγησης και δράσης ρομποτικών συστημάτων δεν είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί με την εφαρμογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου και τεχνικής. Αντίθετα απαιτείται η ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων που αναλαμβάνουν να αντιμετωπίσουν ξεχωριστά τα επιμέρους προβλήματα που προκύπτουν. Ταυτόχρονα όμως είναι αναγκαίο, αυτές οι μέθοδοι να συνεργάζονται μεταξύ τους, μιας και οι αποφάσεις της μίας μεθόδου καθορίζουν τις δράσεις της άλλης, αντιμετωπίζοντας έτσι το συνολικό πρόβλημα και κατ' επέκταση την πλοήγηση του ρομποτικού συστήματος.

Για να κατανοήσουμε πόσο βάθος και περιεχόμενο έχουν όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι, μόνο για το κομμάτι της πλοήγησης, το ρομπότ θα πρέπει να απαντήσει σε μια σειρά από ερωτήματα, για να μπορέσει να πλοηγηθεί επιτυχώς σε ένα τυχαίο και άγνωστο περιβάλλον. Σε αυτό το κομμάτι του κλάδου έχουμε αλγόριθμους αποφυγής συγκρούσεων (Collision Avoidance Algorithms) και αλγόριθμους ελέγχου τροχιάς (Trajectory Control Algorithms)

Τα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν είναι τα εξής: Τι πληροφορίες χρειάζεται το όχημα; Που βρίσκεται στο χώρο; Ποια κατεύθυνση θα ακολουθήσει; Πως θα υλοποιήσει την τροχιά του;

Κάθε μία από τις παραπάνω ερωτήσεις αποτελεί ένα ξεχωριστό πεδίο έρευνας και μελέτης στα ρομποτικά συστήματα. Έτσι για να είναι δυνατή η απάντησή τους, πρέπει να προβούμε στην περιγραφή συγκεκριμένων τεχνικών που πρέπει να ακολουθηθούν για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αναλυτικά, με βάση τα παραπάνω ερωτήματα έχουμε:

- Χαρτογράφηση (mapping): Ουσιαστικά, με τη τεχνική αυτή δημιουργείται ένας χάρτης στον οποίο κωδικοποιείται και αποθηκεύεται όλη η απαραίτητη

πληροφορία που απαιτείται για την αναπαράστασή του περιβάλλοντα χώρου (εμπόδια, όρια κίνησης κλπ) του ρομποτικού συστήματος.

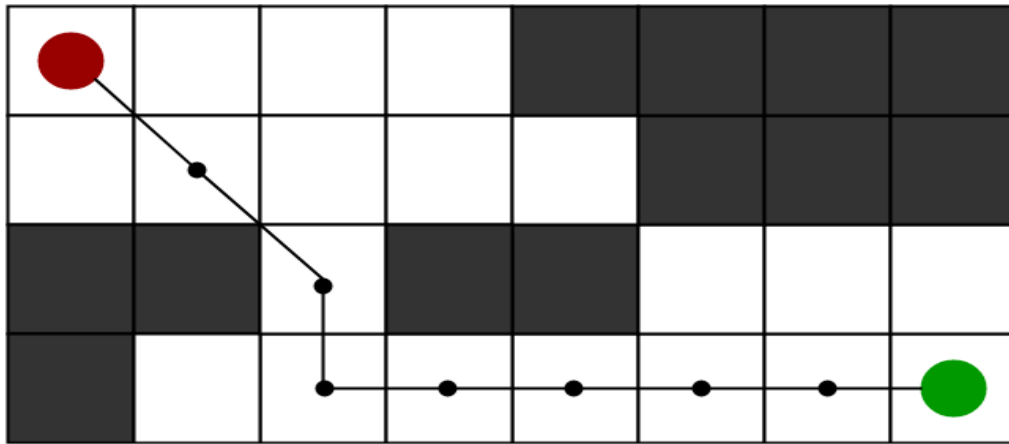
- Εντοπισμός (localization): Το ρομπότ πρέπει να εφοδιαστεί με τους απαραίτητους αλγόριθμους, αλλά και αισθητήρια όργανα ώστε να μπορεί ανά πάσα χρονική στιγμή να προσδιορίζει την τρέχουσα θέση του μέσα στο χάρτη.
- Σχεδιασμός διαδρομής (path planning): Γνωρίζοντας τη θέση του ρομπότ μέσα στο χάρτη και με τη βοήθεια του κατάλληλου αλγορίθμου, πρέπει να επιλέξει από ένα σύνολο (ασφαλών, άνευ εμποδίων) δυνατών διαδρομών τη συντομότερη, με γνώμονα τα κριτήρια που επιβάλλει ο εν λόγω αλγόριθμος.
- Έλεγχος κίνησης (motion control): Έχοντας αποφασίσει για τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το ρομπότ, θα πρέπει με τη βοήθεια της κατάλληλης μεθόδου, να αποφασίσει για τις τιμές των παραμέτρων των ελεγχόμενων βαθμών ελευθερίας του ρομποτικού συστήματος, καθοδηγώντας το ανά πάσα χρονική στιγμή προς τον επιθυμητό στόχο κατά μήκος της σχεδιασμένης διαδρομής.

4.3.1.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ A*

Οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε γράφους (γράφος ή ένα γράφημα είναι μια αφηρημένη αναπαράσταση ενός συνόλου στοιχείων, όπου μερικά ζεύγη στοιχείων συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς) είναι αλγόριθμοι που λειτουργούν πάνω σε δομές δεδομένων που αποτελούνται από κόμβους και ακμές, γνωστές ως γράφοι. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι χρήσιμοι για προβλήματα που αφορούν σχέσεις και δομές που μπορούν να αναπαρασταθούν ως γράφοι.

Το πλήρες περιβάλλον, είναι γνωστό και διακριτοποιείται σε μορφή πλέγματος όπου οι κόμβοι (ή κελιά) έχουν συγκεκριμένη διάσταση (ανάλυση). Σε αυτό το μοντελοποιημένο περιβάλλον τα σημεία αναφέρονται ως κόμβοι, και οι γραμμές που συνδέουν τα ζεύγη των κόμβων λέγονται ακμές. Δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην έννοια του βάρους, που εκφράζει τις διάφορες τιμές που εκχωρείται στις ακμές και δύναται να αντιπροσωπεύει το κόστος ή τη σημασία της διέλευσης αυτής της ακμής. Μπορεί να εκφράζει οποιαδήποτε τιμή για συγκεκριμένο τομέα όπως απόσταση, χρόνο, κόστος ή ομοιότητα. Παράλληλα δύναται να λάβει και αρνητικές τιμές

Ο αλγόριθμος αναζήτησης A* (A-star), που συνήθως χρησιμοποιείται για στατικό παγκόσμιο σχεδιασμό (static global planning), είναι ένας αποδοτικός αλγόριθμος αναζήτησης για την εύρεση των συντομότερων μονοπατιών και είναι επίσης ένας τυπικός ευρετικός αλγόριθμος (typical heuristic algorithm). Είναι ένας πλήρης αλγόριθμος και εγγυάται ότι πάντα θα βρει το βέλτιστο αποτέλεσμα. Ο τρόπος που εφαρμόζεται ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, αναπαρίσταται ως εξής: η κόκκινη τελεία αναπαριστά το σημείο εκκίνησης, το μαύρο κουτί αναπαριστά το εμπόδιο, η πράσινη κουκίδα αναπαριστά το τελικό σημείο και η μαύρη γραμμή αναπαριστά τη διαδρομή. Ο αλγόριθμος A* χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό διαδρομής από το αρχικό σημείο προς το τελικό σημείο σε ένα περιβάλλον με εμπόδια.



Εικόνα 4: παράδειγμα εφαρμογής αλγόριθμος A*

Ο αλγόριθμος A* είναι δημοφιλής αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ δύο σημείων σε έναν Γράφο. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που μπορεί να περιορίζουν τη χρήση του, ειδικά όταν πρόκειται για τον σχεδιασμό διαδρομής σε πραγματικά περιβάλλοντα. Ένα από τα προβλήματα είναι η υψηλή πολυπλοκότητα όταν ο χώρος (state space) είναι μεγάλος, μάλιστα πολυπλοκότητα του είναι εκθετική και αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Σε πραγματικά περιβάλλοντα με πολλά εμπόδια, η μοντελοποίηση του περιβάλλοντος σε Γράφο μπορεί να είναι χρονοβόρα και να απαιτεί πολλές προσπάθειες.

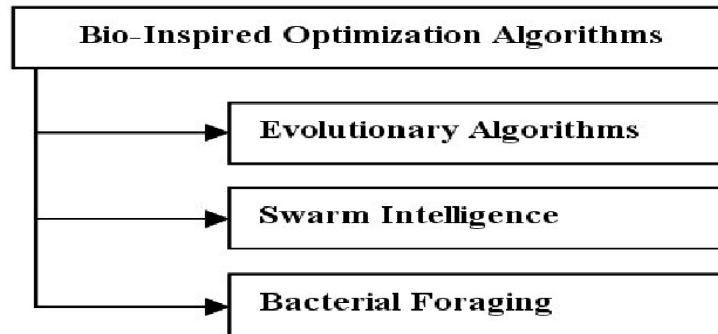
Για αυτό, προτάθηκε ο αλγόριθμος T*, που συνδυάζει τον αλγόριθμο αναζήτησης A* με τον αλγόριθμο σχεδιασμού διαδρομής με γραμμική λογική χρόνου (linear time logic), και χρησιμοποιεί τη διαδικασία αναζήτησης του αλγορίθμου A* για την παραγωγή της βέλτιστης διαδρομής που ικανοποιεί την λογική χρόνου. Τα τελικά πειραματικά αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι ο αλγόριθμος T* μειώνει τον αριθμό των κόμβων και τον χρόνο παραγωγής της διαδρομής σε σύγκριση με τους υπάρχοντες αλγορίθμους κατά την επίλυση προβλημάτων σχεδιασμού διαδρομής χρονικής λογικής σε δισδιάστατους και τρισδιάστατους χώρους σε ένα μεγάλο περιβάλλον εργασίας.

Όσον αφορά μη επανδρωμένα συστήματα, για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των σφαλμάτων χαρτογράφησης θέσης συστημάτων παγκόσμιας εξάπλωσης (GNSS), προτάθηκε ένας βελτιωμένος αλγόριθμος σχεδιασμού διαδρομής βασισμένος στον συνδυασμό διανομής σφάλματος με τον αλγόριθμο A*. Η αποτελεσματικότητα βελτιστοποιημένων εκδόσεων του αλγορίθμου A* ελέγχθηκε σε διάφορα υψόμετρα χρησιμοποιώντας ένα εναέριο μη επανδρωμένο σε πραγματικό αστικό περιβάλλον. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι, οι αναθεωρημένοι αλγόριθμοι A* προσφέρουν πιο ασφαλείς διαδρομές βάσει της πρόβλεψης σφάλματος θέσης με χαμηλό κόστος.

Ο αλγόριθμος A* (A-star) και αντίστοιχοι αλγόριθμοι επιθυμούμε να εφαρμόζονται πάνω σε μη επανδρωμένα οχήματα. Σε περίοδο κρίσης και πολέμου είναι πολύ πιθανό δορυφόροι και συστήματα όπως το GPS, να μην μπορούν να υποστηρίξουν μη επανδρωμένες πλατφόρμες. Οπότε κρίνεται ως αναγκαίο να

μπορούν να κατευθυνθούν προς μια περιοχή, εντελώς αυτόνομα για να φτάσουν στην περιοχή ενδιαφέροντος. Σε παρόμοια λογική αξιοποιώντας αισθητήρες όπως το LIDAR και οι οπτικές κάμερες, ενισχύουμε την αποδοτικότητα αυτών των αλγορίθμων, παρέχοντας τους τα αναγκαία δεδομένα ώστε να «τρέξουν» με τον βέλτιστο τρόπο.

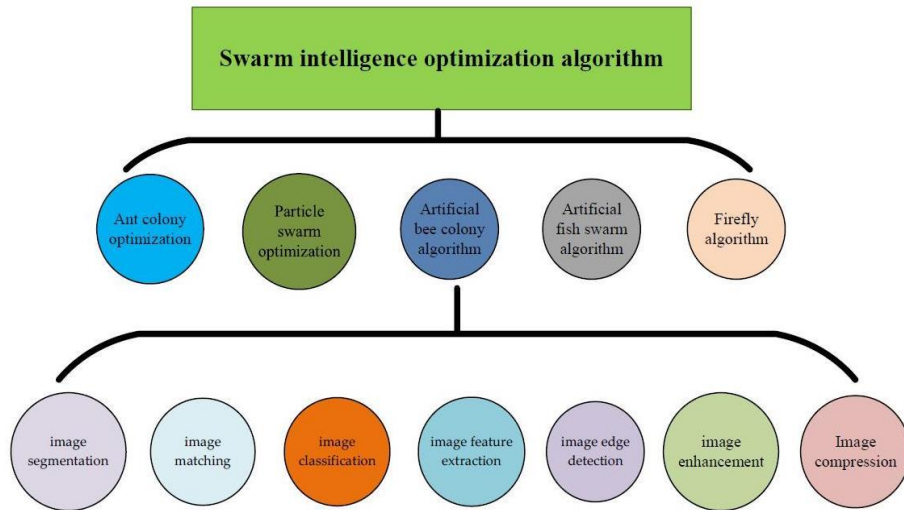
4.3.2 BIO-MIMΗΤΙΚΟΙ (BIOINSPIRED) ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ



Εικόνα 4.1: κατηγοριοποίηση βιο-μιμητικών αλγορίθμων

Οι αλγόριθμοι που βασίζονται και αντλούν περιεχόμενο από τη φύση, ονομάζονται βιομημητικοί. Οι αλγόριθμοι αυτοί μιμούνται βιολογικές διεργασίες, με σκοπό την λύση ενός προβλήματος. Αυτοί οι αλγόριθμοι μιμούνται τον τρόπο ζωής αυτών των οργανισμών για να παρέχουν λύσεις σε υπολογιστικά προβλήματα. Για παράδειγμα, οι διάφορες κοινωνίες οργανισμών συνεργάζονται μεταξύ τους για την ολοκλήρωση κοινών σκοπών, όπως είναι η συλλογή της τροφής ή η κατασκευή της φωλιάς τους. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που να μπορεί να βρει το βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά με όσο το δυνατόν περισσότερο επιθυμητό τρόπο.

Σε αυτή την ευρύτερη κατηγορία, περιλαμβάνονται διάφορες υποκατηγορίες όπως οι bacterial foraging αλγόριθμοι. Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι είναι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης που εμπνέονται από τη συμπεριφορά της αναζήτησης τροφής των βακτηρίων. Οι αλγόριθμοι βασισμένοι στην ευφυία του σμήνους (swarm intelligence), εμπνέονται από τη συλλογική συμπεριφορά κοινωνικών οργανισμών, όπως μυρμηγκία, μέλισσες ή πουλιά, για να επιλύσουν πολύπλοκα προβλήματα. Τα νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks): είναι αλγόριθμοι-δίκτυα εμπνευσμένα από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, μοντελοποιούν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το νευρικό σύστημα.



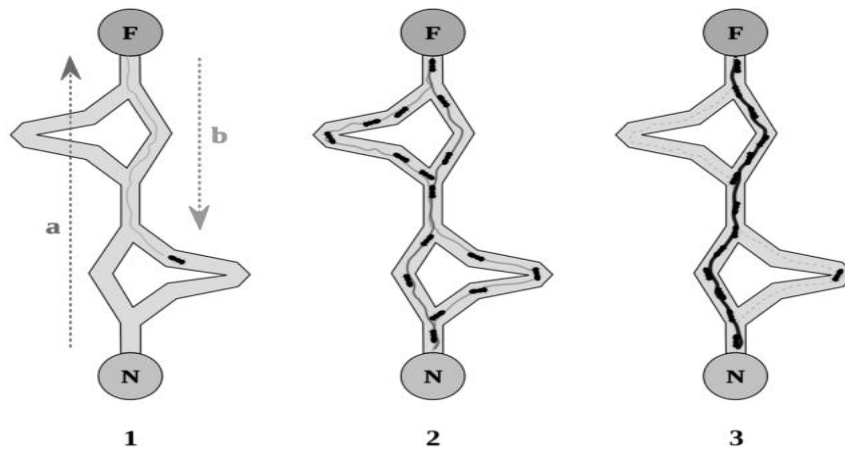
Εικόνα 4.2 Διάγραμμα κατηγοριών αλγορίθμων νοημοσύνης σμήνους.

4.3.2.1 ANT COLONY OPTIMIZATION

Ένας από τους πρώτους αλγόριθμους νοημοσύνης σμήνους που παρουσιάστηκε ήταν η «Βελτιστοποίηση με Αποικία Μυρμηγκιών» (BAM) (Ant Colony Optimization), όπου τα μυρμήγκια αναζητούν τροφή επιλέγοντας την συντομότερη διαδρομή μεταξύ της πηγής τροφής και της βάσης τους. Ο αλγόριθμος της αποικίας των μυρμηγκιών είναι ένας αλγόριθμος με μηχανισμό θετικής ανατροφοδότησης που προτάθηκε από τον Ιταλό επιστήμονα Dorigo το 1992, στον οποίο τα μυρμήγκια επηρεάζονται από τον φερομονοστρωμένο δρόμο και από την αναζήτηση του επόμενου κόμβου.

Κάθε μυρμήγκι, λαμβάνεται ως σημείο αναφοράς κατά μήκος της διαδρομής του και αισθάνεται τις παρεμβολές που παράγονται από άλλα μυρμήγκια όταν αυτά αναζητούν τροφή. Αυτή είναι η βασική έννοια πίσω από τον αλγόριθμο της αποικίας των μυρμηγκιών. Τα μυρμήγκια μπορούν να επικοινωνούν και να προβαίνουν σε αποφάσεις με βάση τα δεδομένα που αποκομίζουν μέσω των σημάτων που λαμβάνουν μεταξύ τους, η οποία συχνά αναφέρεται ως φερομόνη. Η αποικία μετακινείται σε έναν δρόμο όπου υπάρχουν περισσότερες φερομόνες από άλλους δρόμους και απελευθερώνει περισσότερες καθώς κινείται, αυξάνοντας τη συγκέντρωση της και προσελκύοντας περισσότερα μυρμήγκια στον δρόμο, προκαλώντας έναν θετικό κύκλο ανατροφοδότησης. Η συγκέντρωση της φερομόνης στον σύντομο δρόμο αυξάνεται σταθερά με τον χρόνο, οδηγώντας σε αύξηση του αριθμού των μυρμηγκιών που τον επιλέγουν, ενώ η συγκέντρωση της φερομόνης σε άλλους δρόμους μειώνεται σταδιακά μέχρι να εξαφανιστεί. Ολόκληρη η αποικία εστιάζει τελικά στην καλύτερη διαδρομή. Η ενέργεια των μυρμηγκιών κατά την αναζήτηση τροφής είναι παρόμοια με αυτήν του σχεδιασμού διαδρομής των ρομποτικών συστημάτων. Τα μυρμήγκια θα επιλέξουν την πιο γρήγορη διαδρομή

προς την τροφή αν υπάρχει επαρκής αριθμός μυρμηγκιών στη φωλιά για να ξεπεράσουν τα εμπόδια.



Εικόνα 4.3: αναπαράσταση αλγορίθμου Ant Colony Optimization

Για το σχεδιασμό μιας ακριβούς τρισδιάστατης διαδρομής χρησιμοποιήθηκε ένας βελτιωμένος αλγόριθμος ευφυίας σμήνους. Το πρόβλημα του σχεδιασμού διαδρομής ήταν στον τρόπο προσέγγισης σε μια αποστολή που αποτελούνταν από πολλούς στόχους, έτσι υπήρχαν πολλοί περιορισμοί. Επιπλέον, εισήχθη μια ακριβής τεχνική αναζήτησης ευφυίας σμήνους βασισμένη στη βελτιστοποίηση της αποικίας μυρμηγκιών για την εύρεση της καλύτερης τρισδιάστατης πορείας πτήσης του μη επανδρωμένου. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί τις βέλτιστες λύσεις μέσω αναζήτησης τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση υποστηρίζεται από τρία σετ ψηφιακών εδαφών (τρεις, τέσσερις και οκτώ απειλές) και λαμβάνει πραγματικά δεδομένα για προσομοιωμένες αποστολές αντιμετώπισης καταστροφών. Επίσης παρουσιάζεται μια μέθοδος βασισμένη στην αναζήτηση όπως στην αποικία μυρμηγκιών για τον προσδιορισμό της ελάχιστης χρονικής διαδρομής αναζήτησης για ένα σμήνος drone (minimum time search-ant colony optimization MTS-ACO). Σχεδιάστηκε μια σύντομη χρονικά συνάρτηση αναζήτησης που επιτρέπει στον αλγόριθμο μια βελτιστοποίηση από την αποικία μυρμηγκιών να δημιουργήσει υψηλής ποιότητας λύσεις. Ο αλγόριθμος της αποικίας μυρμηγκιών μπορεί να βρει την βέλτιστη διαδρομή σε ένα γνωστό στατικό περιβάλλον μεγάλης κλίμακας και είναι επίσης κατάλληλος για προβλήματα πολλαπλών στόχων. Ωστόσο, συχνά δημιουργούνται μικροπροβλήματα με αποτέλεσμα την αργή λειτουργία του αλγορίθμου. Ωστόσο, η ταχύτητα λειτουργίας μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω μελλοντικά.

Ο αλγόριθμος δοκιμάστηκε σε πολλά προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης με εξαιρετικά αποτελέσματα και μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί και εφαρμοστεί στα πλαίσια του πραγματικού κόσμου, όπως η οργάνωση δρομολογίων αεροσκαφών και η δρομολόγηση τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων. Ωστόσο, στις εφαρμογές υπάρχει ένα κενό στα προβλήματα αριθμητικής βελτιστοποίησης και αυτός είναι ο λόγος που δεν επεκτείνονται στα προβλήματα αυτά. Το κενό αυτό έρχεται να

καλύψει η μέθοδος βελτιστοποίησης με σμήνος σωματιδίων, η οποία αποτέλεσε την πρώτη μέθοδο νοημοσύνη σμήνους για τέτοιου είδους προβλήματα.

Ο αλγόριθμος των μυρμηγκιών μας δίνει ιδέες και περιεχόμενο στο πως θα μπορούσαν να πλοηγηθούν τα επίγεια μη επανδρωμένα στο χώρο. Όπως και στο πως εξερευνούν και σχεδιάζουν μια διαδρομή, εντελώς αυτόνομα από μηδενική βάση. Η φερομόνη, η ουσία χάρη στην οποία επικοινωνούν τα μυρμήγκια, μας κεντρίζει το ενδιαφέρον, για το πως μπορούν τα μη επανδρωμένα να επικοινωνούν αλλά και να συσχετιστούν μεταξύ τους, αξιοποιώντας το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Να υπάρχει ένα αποτύπωμα των μη επανδρωμένων στο χώρο, ιδιαίτερα σημαντικό σε ένα βεβαρημένο επιχειρησιακό περιβάλλον, με πολλά μέσα και πολλές αποστολές που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα.

4.3.2.2 BAT ALGORITHM (BA)

Οι νυχτερίδες είναι τα μοναδικά θηλαστικά με φτερά και διαθέτουν προηγμένη ικανότητα ηχοτοποθέτησης, καθώς δεν διαθέτουν όραση. Χρησιμοποιούν έναν τύπο υπερήχων, που ονομάζεται ηχοτοποθέτηση, για τον εντοπισμό του θηράματος τους, την αποφυγή εμποδίων, μοντελοποιούν δηλαδή το περιβάλλον μέσω του ήχου, ανεξάρτητα από το βαθύ σκοτάδι. Αυτές οι νυχτερίδες εκπέμπουν έναν πολύ δυνατό ήχο και ακούν την ηχώ που επιστρέφει από τα περιβάλλοντα αντικείμενα, και κατευθύνονται ανάλογα. Τα σήματά τους ποικίλλουν σε ιδιότητες και μπορούν να συσχετιστούν με τις στρατηγικές κυνηγιού τους, ανάλογα με το είδος. Το εύρος ζώνης τους ποικίλλει ανάλογα με το είδος. Κατά την κυνηγητική δραστηριότητα, ο ρυθμός εκπομπής των παλμών μπορεί να επιταχυνθεί σε περίπου 200 παλμούς ανά δευτερόλεπτο όταν πετούν κοντά στο θήραμά τους. Αυτά τα σύντομα ηχητικά κύματα υποδηλώνουν την εκπληκτική ικανότητα επεξεργασίας σήματος των νυχτερίδων. Η ένταση του ήχου ποικίλλει επίσης, από τον πιο δυνατό όταν αναζητούν θήραμα μέχρι έναν πιο ήσυχο βαθμό όταν κατευθύνονται προς το θήραμα.

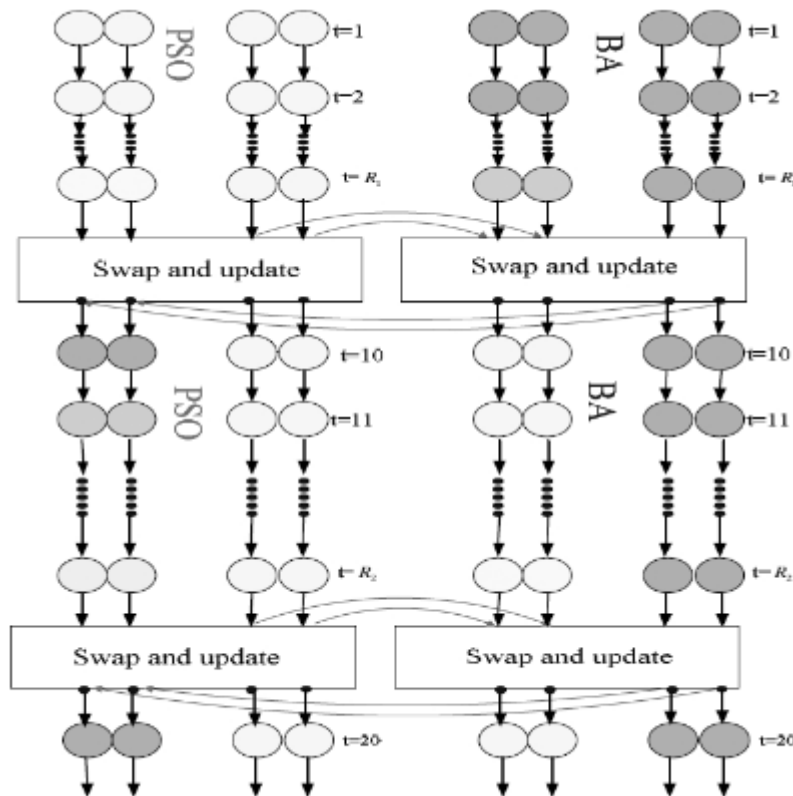
Οι νυχτερίδες, αξιοποιώντας τον ήχο και την ηχώ μπορούν να αποφύγουν εμπόδια, τόσο μικρά όσο λεπτές ανθρώπινες τρίχες. Χρησιμοποιούν τη χρονική καθυστέρηση από την εκπομπή και την ανίχνευση της ηχώ, η διαφορά χρόνου μεταξύ των δύο, στα αυτιά τους και τις διακυμάνσεις στην ένταση των ηχητικών επιστροφών, για να δημιουργήσουν ένα τρισδιάστατο σενάριο του περιβάλλοντος. Μπορούν να ανιχνεύσουν την απόσταση και τον προσανατολισμό του στόχου, τον τύπο του θηράματος, ακόμη και την ελάχιστη ταχύτητα του, όπως μικρά έντομα. Πράγματι, μελέτες υποδηλώνουν ότι οι νυχτερίδες φαίνεται να είναι σε θέση να διακρίνουν στόχους με βάση τις διακυμάνσεις του φαινομένου Doppler που προκαλούνται από την κίνηση των πτερυγίων των εντόμων.

Η συχνότητα ενός ηχητικού παλμού που εκπέμπεται από μία νυχτερίδα βρίσκεται συνήθως στην περιοχή μεταξύ 25kHz και 100kHz, ενώ μερικά είδη μπορούν να εκπέμπουν συχνότητες μέχρι και 150 kHz. Οι παλμοί ποικίλλουν, εξαρτώνται από το είδος και σχετίζονται με τη στρατηγική που χρησιμοποιεί μια νυχτερίδα καθώς κυνηγά τη λεία της. Οι περισσότερες οικογένειες νυχτερίδων χρησιμοποιούν

σύντομους ήχους διαμορφωμένης συχνότητας (frequency-modulated – FM) με τους σύντομους παλμούς να διαρκούν 8 με 10 ms αλλά υπάρχουν και νυχτερίδες με παλμούς που ξεπερνούν σε διάρκεια τα 10 ms.

Όπως είναι φυσιολογικό, ο τυπικός αλγόριθμος στην απλή και γενική του μορφή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση πολλών προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Για αυτό υπάρχουν ποικίλες αναβαθμισμένες εκδόσεις, ώστε να καλύπτουν τις διάφορες ανάγκες. Για παράδειγμα ο αλγόριθμος νυχτερίδας πολλαπλού στόχου (MOBA). Ο κύριος στόχος του αλγορίθμου είναι να αξιολογήσει τους πιθανούς στόχους με βάση διάφορα κριτήρια, όπως η απόσταση, η κατάσταση του στόχου, η ισχύς του και η θέση του στον χάρτη. Έπειτα, αξιολογείται ο πιο κατάλληλος στόχος για επίθεση ή υποστήριξη και λαμβάνεται η απόφαση για την ενέργεια που πρέπει να πραγματοποιηθεί.

Στη συνέχεια, σχεδιάστηκε ένα υβριδικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων με τον αλγόριθμο νυχτερίδας (υβριδικό PSO-BA) βασισμένο στον αρχικό PSO και τον αλγόριθμο νυχτερίδας. Κάθε αλγόριθμος εξελίσσεται ανεξάρτητα, δηλαδή το PSO έχει τα δικά του άτομα και η καλύτερη λύση αντικαθιστά τις χειρότερες τεχνητές νυχτερίδες του BA. Αντίθετα, οι καλύτερες τεχνητές νυχτερίδες του BA αντικαθιστούν τα φτωχότερα άτομα του PSO μετά από μερικές σταθερές επαναλήψεις.



Εικόνα 4.4: συνδυαστική λειτουργία BAT και PSO αλγορίθμων

Ο αλγόριθμος της νυχτερίδας μας ενδιαφέρει με τον τρόπο που θα μπορούσε να εφαρμοστεί τόσο στα μη επανδρωμένα οχήματα, όσο και στα σμήνη τους. Η χρήση γενικά των ηχητικών παλμών για την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του περιβάλλοντος, μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση ενός ραντάρ συνθετικής απεικόνισης (SAR). Αντίστοιχα για την κατάδειξη στόχων και αξιοποιώντας το φαινόμενο Doppler, δύναται να εκμεταλλευτούμε ένα ραντάρ με επεξεργασία ένδειξης κινούμενων στόχων (MTI).

4.3.2.3 PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO) προτάθηκε από τους Kennedy και Eberhard και αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους αλγόριθμους που βασίζονται στη Νοημοσύνη του σμήνους. Αυτός ο αλγόριθμος μοντελοποιεί την κοινωνική συμπεριφορά ομάδων, όπως το πέταγμα των πουλιών σε μορφή σμήνους και η ομαδική κίνηση των ψαριών.

Η αρχική ιδέα ήταν να προσομοιωθεί γραφικά η κίνηση ενός σμήνους πουλιών. Σκοπός ήταν αρχικά να αναλυθούν οι κανόνες που οδηγούν τα πουλιά να κινούνται ως ένα σμήνος και να εξεταστεί η φύση των ξαφνικών αλλαγών κατεύθυνσης χωρίς να διαταράσσεται η δομή του σμήνους. Ο PSO αλγόριθμος επωφελείται από τη φυσική κίνηση των ατόμων ενός πληθυσμού στο σμήνος και διαθέτει έναν ευέλικτο και ισορροπημένο μηχανισμό που προσαρμόζεται στις ικανότητες εξερεύνησης των ατόμων. Οι αλλαγές ενός ατόμου επηρεάζονται από την εμπειρία και τις γνώσεις των γειτονικών του, κάτι που καθιστά τον PSO έναν συνεργατικό αλγόριθμο.

Η τεχνική βελτιστοποίησης PSO λοιπόν, είναι ευέλικτη καθώς βασίζεται στην έννοια του πληθυσμού. Αντί να εστιάζει σε ένα μόνο σωματίδιο, λαμβάνει υπόψη και μετακινεί ένα σύνολο σωματιδίων (σμήνος) στον χώρο αναζήτησης κατά τη διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης λύσης. Κάθε σωματίδιο χαρακτηρίζεται από θέση και ταχύτητα, ενώ ο αλγόριθμος επιδιώκει να παράγει το βέλτιστο αποτέλεσμα και να μετακινήσει ολόκληρο το σμήνος προς τη νέα κατεύθυνση. Η αλλαγή θέσης κάθε σωματιδίου επηρεάζεται από την καλύτερη θέση του ίδιου και του σμήνους, αλλά επιτρέπει και τυχαίες κινήσεις.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα του σε σύγκριση με τους γενετικούς αλγόριθμους, είναι ότι ο PSO διαθέτει μνήμη, καθώς η γνώση που αποκτάται από προηγούμενες επιτυχημένες λύσεις μεταφέρεται στις επόμενες γενιές, προσφέροντας σταθερότητα στη διαδικασία βελτιστοποίησης. Επιπλέον, παρατηρείται μια αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ των σωματιδίων του σμήνους, καθώς τα μέλη της ομάδας συνεργάζονται αρμονικά για την εύρεση βέλτιστων λύσεων.

Ο αλγόριθμος PSO ξεκινά με την αρχικοποίηση ενός πληθυσμού πιθανών λύσεων που ονομάζονται σωματίδια. Κάθε σωματίδιο αντιπροσωπεύει μια υποψήφια λύση στο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Τα σωματίδια κατανέμονται τυχαία εντός του χώρου αναζήτησης. Έπειτα κάθε σωματίδιο προσαρμόζει τη θέση του στο χώρο αναζήτησης με βάση την τρέχουσα θέση του, την προηγούμενη καλύτερη θέση του (previous best position-pBest) - τη θέση όπου έχει επιτευχθεί η καλύτερη τιμή της συνάρτησης κόστους μέχρι στιγμής, και την παγκόσμια καλύτερη θέση (global best position-gBest) - τη θέση με την καλύτερη τιμή της συνάρτησης κόστους μεταξύ όλων των σωματιδίων. Μετά την ενημέρωση των ταχυτήτων, τα σωματίδια

μετακινούνται σε νέες θέσεις στον χώρο αναζήτησης σύμφωνα με τις ταχύτητές τους. Η συνάρτηση κόστους αξιολογείται για τη νέα θέση κάθε σωματιδίου. Κάθε σωματίδιο ενημερώνει το pBest του αν η νέα του θέση οδηγεί σε καλύτερη τιμή της συνάρτησης κόστους από το προηγούμενο του pBest. Η παγκόσμια καλύτερη θέση (gBest) ενημερώνεται αν κάποιο σωματίδιο βρει μια καλύτερη λύση από το τρέχον gBest. Η PSO επαναλαμβάνει αυτά τα βήματα για ένα προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων ή μέχρι να πληρούνται ένα κριτήριο τερματισμού, όπως η εύρεση μιας ικανοποιητικής λύσης.

Η συνδυαστική χρήση της Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (PSO) με μη επανδρωμένα συστήματα είναι ένα διαρκώς αναπτυσσόμενο πεδίο έρευνας και εφαρμογών, κυρίως σε πεδία όπως η ρομποτική, η αυτονομία, η επιτήρηση και ο έλεγχος, και η ασφάλεια. Η συνδυασμένη χρήση με σμήνη μη επανδρωμένων συστημάτων ανοίγει νέες δυνατότητες για την αυτόνομη λειτουργία και την αποδοτικότερη χρήση τέτοιων συστημάτων σε διάφορες εφαρμογές. Μπορεί να εφαρμοστεί για τη βελτιστοποίηση των πορειών, των διαδρομών, του σχεδιασμού της πορείας, και της επιλογής των αισθητήρων σε ένα σμήνος τέτοιων συστημάτων. Μέσω της PSO, τα μη επανδρωμένα συστήματα μπορούν να επιτυγχάνουν βέλτιστη κάλυψη του πεδίου ενδιαφέροντος, να αντιμετωπίζουν δυνητικά εμπόδια, να βελτιώνουν την ενεργειακή τους απόδοση, να αντιμετωπίζουν περιορισμούς όπως τον περιορισμένο χρόνο πτήσης ή τον περιορισμένο εύρος δράσης και να προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα. Με αυτόν τον τρόπο, η συνδυασμένη χρήση της PSO με σμήνη μη επανδρωμένων συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αποτελεσματικότητα, βελτιωμένη διαχείριση πόρων και αυτόνομη λειτουργία των συστημάτων σε διάφορες εφαρμογές.

4.4 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Η έρευνα στον τομέα συνεργατικής λειτουργίας πολλαπλών ρομπότ, κερδίζει όλο και περισσότερη προσοχή, καθώς το περιβάλλον εργασίας των ρομπότ επεκτείνεται, η πολυπλοκότητα των εργασιών αυξάνεται και η περιοχή εφαρμογής διευρύνεται. Το κάθε σύνθετο σύστημα θα πρέπει να συντονίζει αποτελεσματικά, γρήγορα και ακριβώς αρκετά ρομπότ για να συνεργαστούν και να εκτελέσουν πολλαπλές εργασίες ταυτόχρονα. Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει όχι μόνο τον σχεδιασμό διαδρομής, αλλά και την επικοινωνία μεταξύ κάθε ρομπότ και τον συντονισμένο έλεγχο, με βάση το γεγονός ότι τα μέλη ανταλλάσσουν μηνύματα. Αυτή η πολυπλοκότητα λοιπόν και ένα δυναμικό περιβάλλον που συνεχώς μεταβάλλεται, δυσχεραίνει το έργο των ρομπότ και για αυτό οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται θα πρέπει να έχουν προνοήσει και συμπεριλάβει όλα τα πιθανά σενάρια.

Η συνεργατική δράση πολλαπλών ρομπότ μπορεί να παρέχει σημαντικά οφέλη, όπως μείωση του χρόνου εκτέλεσης των εργασιών, βελτιστοποίηση της ενέργειας και αύξηση της αποτελεσματικότητας και της παραγωγικότητας. Ωστόσο, αυτό προϋποθέτει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των μέσων σε πραγματικό χρόνο. Για να επιτευχθεί ο αποτελεσματικός συνεργατικός σχεδιασμός διαδρομής, οι αλγόριθμοι πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την κατάσταση των άλλων ρομπότ και τις αντίστοιχες πληροφορίες, ώστε να αποφεύγουν συγκρούσεις, να συντονίζουν τις δραστηριότητές τους και να ανταποκρίνονται σε συνεχείς αλλαγές μέσα σε ένα

δυναμικό περιβάλλον. Σε αυτό το σημείο διακρίνουμε πως και πάλι οι επικοινωνίες μεταξύ των φορέων έχουν καθοριστικό ρόλο.

Παρόλο που μια ποικιλία αλγορίθμων χρησιμοποιούνται ήδη σε μη επανδρωμένα οχήματα, σαφώς και υπάρχουν σημαντικά μειονεκτήματα. Η προσαρμοστικότητά τους σε πολύπλοκα περιβάλλοντα είναι ανεπαρκής και η ικανότητά τους να μοντελοποιούν και να επεξεργάζονται ένα περιβάλλον είναι περιορισμένη σε ένα συγκεκριμένο βαθμό. Έτσι σε ιδιαίτερα περίπλοκα περιβάλλοντα, τα οποία είναι δύσκολα να προσαρμοστούν και να επεξεργαστούν, η συνολική λειτουργία τους είναι λιγότερο αποδοτική και ακριβής. Ορισμένοι πιο κλασικοί αλγόριθμοι έχουν προβλήματα, όπως ατελείωτους κύκλους και επαναλαμβανόμενες αναζητήσεις κατά τη διάρκεια που «τρέχουν». Αυτό οδηγεί σε χαμηλή απόδοση του αλγορίθμου και επηρεάζει την πρακτική του εφαρμογή.

Οι περισσότεροι από τους τρέχοντες αλγορίθμους βασίζονται στη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους και στην παρουσίαση καλών αποτελεσμάτων. Ωστόσο, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί αλγόριθμοι, αντί για τις ατομικές βελτιώσεις του κάθε αλγορίθμου. Δηλαδή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο συνδυασμός αλγορίθμων με την δημιουργία υβριδίου. Παράλληλα μας ενδιαφέρει ο κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης και κατά πόσο θα συνδράμει στην αυτόνομη και ανεξάρτητη λειτουργία των ρομπότ μελλοντικά.

Ένα ακόμα κομμάτι που συντελεί στην βελτίωση της απόδοσης των αλγορίθμων είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας των αισθητήρων που παρέχει περισσότερες πηγές πληροφοριών για την δράση των μη επανδρωμένων. Οι αισθητήρες αντλούν διάφορες πληροφορίες και δεδομένα τόσο από το περιβάλλον όσο και από το ίδιο το σύστημα και μετατρέπουν αυτά τα δεδομένα σε ηλεκτρικά σήματα. Στη συνέχεια οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται είτε για να αναλύσουν τα δεδομένα που παρέχουν οι αισθητήρες, είτε για να τα εκμεταλλευτούν ώστε να εξάγουν σημαντικές πληροφορίες και να λάβουν αποφάσεις βάσει αυτών των πληροφοριών. Επειδή όμως και η ανάπτυξη των αλγορίθμων φτάνει σε σημείο κορεσμού, είναι εξίσου σημαντική η βελτιστοποίηση των αισθητήρων και της ποιότητας των δεδομένων που παρέχουν. Η μελλοντική έρευνα λοιπόν, θα δώσει μεγαλύτερη προσοχή στο πώς να συγχωνεύονται πληροφορίες από πολλαπλούς αισθητήρες επαληθεύοντας την επίδρασή τους στις πρακτικές εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ

Οι αναλυτές άμυνας βλέπουν τα οφέλη των σμηνών κυρίως στη δυνατότητά τους να υπερκαλύψουν τις δυνατότητες του εχθρού, ποσοτικά, δηλαδή με τον μεγάλο αριθμό τους. Συνάμα τα σμήνη δύναται να επιχειρούν ως συντονισμένα, διανεμημένα και αυτόνομα συστήματα.

Μέχρι στιγμής ωστόσο θα πρέπει να επισημάνουμε πως έχει πραγματοποιηθεί εκτεταμένη χρήση μη επανδρωμένων συστημάτων στο πεδίο της μάχης. Παρόλο που είναι ένας κλάδος που αναπτύσσεται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, τα μη επανδρωμένα έχουν συμμετοχή σε πολλές επιχειρήσεις (Ρωσία-Ιράκ-Συρία-Αρμενία-Ουκρανία-Γάζα-Αφγανιστάν). Όμως δεν μπορούμε, ακόμα, να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα. Βέβαια υπάρχουν ορισμένες εμπόλεμες καταστάσεις, (πόλεμος στην Ουκρανία και στην Αρμενία) όπου η χρήση αυτών των συστημάτων, μας δείχνει μια προδιάθεση για το πως θα αξιοποιούνται μελλοντικά.

Οι στρατιωτικές δυνάμεις, πρέπει να επισημάνουμε πως επιθυμούν το επιχειρησιακό πλεονέκτημα ήδη από τον καιρό ειρήνης, πριν ακόμα επέλθει μια κατάσταση κρίσης και έντασης. Επιζητούμε δηλαδή και το πλεονέκτημα και το προβάδισμα έναντι των εξωτερικών απειλών. Η προσέγγιση αυτή είναι συνήθως γνωστή ως στρατηγική άμυνας και ασφαλείας. Αυτή η προσέγγιση στοχεύει στο να εξασφαλίζει ένα επιχειρησιακό πλεονέκτημα ακόμα και κατά τη διάρκεια της ειρήνης, προετοιμάζοντας τις ένοπλες δυνάμεις για τυχόν μελλοντικές απειλές. Ακόμα ένας στόχος είναι η ανάπτυξη καλά εκπαιδευμένων στρατιωτικών δυνάμεων, η απόκτηση και αναβάθμιση του κατάλληλου οπλοστασίου, καθώς και η συνεργασία με άλλες χώρες για την αντιμετώπιση κοινών απειλών. Τέλος, περιλαμβάνει την ανάπτυξη των αναγκαίων υποδομών και την εφαρμογή αποτελεσματικών στρατηγικών που ενισχύουν την ικανότητα αντίδρασης σε πιθανές απειλές.

Συνολικά, η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στο να εξασφαλίσει όχι μόνο την άμυνα κατά εχθρών, αλλά και τον έλεγχο της κατάστασης ακόμα και κατά τη διάρκεια ειρήνης, προστατεύοντας έτσι τα εθνικά συμφέροντα. Διότι τα υπάρχοντα μέσα, αλλιώς αξιοποιούνται σε περίοδο ειρήνης και αλλιώς σε περίοδο εχθροπραξιών. Κάποια από αυτά πιθανόν να μην είναι και χρήσιμα μια ορισμένη χρονική στιγμή. Για παράδειγμα το κομμάτι της αναγνώρισης ουσιαστικά προηγείται όλων των υπολοίπων, με την μεγαλύτερη δράση του να λαμβάνει χώρα σε ειρηνική περίοδο. Το κομμάτι της καταστολής της εχθρικής αεράμυνας είναι από τα πρώτα και πιθανόν από τα βασικότερα που θα εκτελεστούν όταν βρεθούμε στο μεταίχμιο ειρήνης και κρίσης.

5.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Για να καθορίσουμε τον τρόπο λειτουργίας και τηλεπικοινωνίας των σμηνών μη επανδρωμένων, θα πρέπει πρώτα απ' όλα να καθορίσουμε την αποστολή που θα πραγματοποιήσουν και όλες τις παραμέτρους της. Τέτοια σμήνη, αποτελούμενα από δεκάδες, εκατοντάδες ή χιλιάδες ενδεχομένως πολύ μικρές μονάδες, θα μπορούσαν να βρουν εφαρμογές στην καταπολέμηση της εγκληματικότητας, την διαχείριση

κυκλοφορίας οχημάτων, την εναέρια παρατήρηση εκδήλωσης φυσικών καταστροφών (πυρκαγιές-πλημμύρες), την ασφάλεια των ευαίσθητων εγκαταστάσεων (λιμάνια, αεροδρόμια) και παρόμοιες επιχειρήσεις. Στο στρατιωτικό κομμάτι όμως, η κατάσταση είναι πιο περίπλοκη, με πληθώρα ζητημάτων να πρέπει να επιλυθούν και χρήζουν αναφοράς.

Ειδικότερα, αμφισβητώντας διάφορα άρθρα και δημοσιεύσεις, είναι πρακτικά αδύνατο αυτή την εποχή, πιλότος μαχητικού αεροσκάφους να χειρίζεται μη επανδρωμένα, όταν θα βρίσκεται στον αέρα και θα πετάει το ίδιο του το αεροσκάφος. Ας αναλογιστούμε ως αντίστοιχο παράδειγμα να οδηγούμε το αυτοκίνητο μας, και παράλληλα να πρέπει να κατευθύνουμε, απομακρυσμένα, άλλα οχήματα στον ίδιο χώρο. Λαμβάνοντας πάντα υπόψιν τις εξεζητημένες απαιτήσεις που είναι αναγκαίες για τον έλεγχο μιας πολύπλοκης μηχανής, όπως το μαχητικό αεροσκάφος.

Στη συνέχεια, αντιλαμβανόμαστε πως και τα μαχητικά αεροσκάφη ως μέσα, αλλά και οι πιλότοι, έχουν σημαντική αξία, δεν ορίζονται όμως ως «high value». Στις ένοπλες δυνάμεις ως στόχοι ζωτικής και ύψιστης σημασίας ορίζεται η Βουλή για παράδειγμα, τα διυλιστήρια, ή ένα ιπτάμενο ραντάρ. Δηλαδή, στην παρούσα φάση, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, δεν έχουν επιχειρησιακή βλέψη στο άμεσο μέλλον να πετάνε σε κλειστούς σχηματισμούς με μαχητικά αεροσκάφη και σαφώς ούτε να κατευθύνονται από αυτά. Συνεπώς τα μη επανδρωμένα και ακολούθως τα σμήνη μη επανδρωμένων, αρχικά θα επιχειρούν αυτόνομα και σε ανεξάρτητες επιχειρήσεις. Αρκετά αργότερα, και αφού λάβουμε καλύτερη εικόνα από την επιχειρησιακή συνεισφορά των μη επανδρωμένων, θα κατασταλάξουν οι ένοπλες δυνάμεις το πως θα εντάξουν, αλλά και το πως θα αντικαταστήσουν τα υπάρχοντα μέσα.

Ο κύριος προβληματισμός σε όλο αυτό το κομμάτι έχει να κάνει σαφέστατα με την τεχνητή νοημοσύνη. Βλέπουμε πως ανεξαρτήτως χώρας και μέσου, δεν έχει οριστεί με σαφήνεια, ούτε εξουσιοδοτηθεί η χρήση αυτόνομου όπλου που βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη. Αυτό βέβαια έχει να κάνει και με τους τεχνολογικούς περιορισμούς της δεδομένης τεχνολογικής στιγμής, αλλά και με τους ηθικούς, νομικούς, ανθρωπιστικούς προβληματισμούς περί αυτού. Όλα τα παραπάνω επηρεάζουν ολόκληρο τον σχεδιασμό ενός σμήνους μη επανδρωμένων, πόσο μάλλον και το δίκτυο επικοινωνιών του

5.2 ΤΑ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΣΕ ΠΕΔΙΑ ΜΑΧΗΣ

5.2.1 ΝΑΓΚΟΡΝΟ-ΚΑΡΑΜΠΑΧ

Το Ναγκόρνο-Καραμπάχ, είναι ένα νεοσύστατο κράτος που ιδρύθηκε στα χρόνια της κατάρρευσης της Σοβιετικής Ένωσης, κάνοντας χρήση σχετικού δικαιώματος που παρείχε το Σοβιετικό Σύνταγμα και κηρύσσοντας την ανεξαρτησία του από το Αζερμπαϊτζάν με δημοψήφισμα. Ωστόσο δεν είναι διεθνώς αναγνωρισμένο και τυπικά υπάγεται στο Αζερμπαϊτζάν παρά το γεγονός ότι η πλειονότητα των κατοίκων του είναι Αρμένιοι.

Η σημερινή σύγκρουση Αρμενίας και Αζερμπαϊτζάν για το Ναγκόρνο-Καραμπάχ, έχει τις ρίζες της στη σοβιετική έμπνευση περί Υπερκαυκασίας (1918). Επρόκειτο για τη δημιουργία μίας Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας (της Υπερκαυκασίας), η οποία όμως διαλύθηκε αμέσως στις ξεχωριστές Δημοκρατίες της Αρμενίας, του Αζερμπαϊτζάν και της Γεωργίας. Δηλαδή υπάρχει ιστορική διαμάχη σε αυτά τα εδάφη, και εν τέλει σε ποια από τις δύο χώρες θα ανήκουν.

Το τελευταίο θερμό επεισόδιο, έλαβε χώρα, το 2020 όπου τον Ιούλιο του ίδιου έτους παρατηρήθηκαν οι πρώτες ένοπλες συγκρούσεις μεταξύ της Αρμενίας και του Αζερμπαϊτζάν, και συνεχίστηκαν για τους επόμενους μήνες. Η Τουρκία σε αυτή τη διαμάχη φαίνεται πως υποστήριζε ξεκάθαρα την πλευρά του Αζερμπαϊτζάν. Μάλιστα υποστηρίζεται -και κατηγορείται- από τους Αρμένιους πως παρείχε άμεση στρατιωτική υποστήριξη. Ειδικότερα επισημαίνουν πως Τούρκοι στρατιωτικοί ειδικοί πολεμούν στο πλευρό του Αζερμπαϊτζάν, το οποίο, όπως προσθέτει, χρησιμοποιεί επίσης Τουρκικά όπλα, συμπεριλαμβανομένων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drone) και μαχητικών αεροσκαφών.

Το Αζέρικο Υπουργείο Άμυνας, κοινοποίησε τα παραπάνω βίντεο στον ιστότοπο Youtube, όπου φαίνονται επιθέσεις από αέρος σε στρατηγικούς στόχους εδάφους. Οι παραπάνω επιθέσεις που έγιναν, μοιάζει να προέρχονται από το τουρκικό drone TB2 Bayraktar UCAV. Τον Ιούνιο υπήρχαν αναφορές για επικείμενη συμφωνία ανάμεσα στην Τουρκία και το Αζερμπαϊτζάν για αγορά drones τύπου TB2 Bayraktar, ωστόσο η συνέχεια δεν έγινε γνωστή.

Τα ραντάρ των πιο σύγχρονων Αρμενικών μέσων αεράμυνας, που διαθέτουν τα συστήματα εδάφους-αέρος S-300PT και 9K37M Buk-M1, είναι σχεδιασμένα να αποκαλύπτουν γρήγορα κινούμενους στόχους, αξιοποιώντας την τεχνολογία ΜΤΙ, απορρίπτοντας όμως τους μικρούς και αργούς στόχους, όπως ισχύει για αρκετά UAV. Φυσικά, δεν είχαν δυνατότητα συγκέντρωσης και σύνθεσης της εικόνας διαφορετικών ραντάρ (plot-fusion), κάτι πολύ βασικό για την αποκάλυψη στόχων μικρής αντανάκλαστικής επιφάνειας και μικρής ταχύτητας. Συνεπώς τα μη επανδρωμένα των Αζέρων, βρήκαν τρόπους και χώρο για δράση, υλοποιώντας σημαντικότερα πλήγματα στην πλευρά των Αρμενίων.



Εικόνα 5.: TB2 drone strikes in Nagorno-Karabakh, 2020 (Ministry of Defense of Azerbaijan)

Παρόλο που η σύγκρουση στο Ναγκόρνο-Καραμπάχ είναι αρκετά πρόσφατη, τα αποτελέσματα της ενσωμάτωσης των drones στις επιχειρήσεις επί του εδάφους είναι εμφανή και επιδραστικά. Από την υποστήριξη στο πυροβολικό μέχρι την ανίχνευση επιθέσεων, τα drones αναδείχθηκαν ως ανεκτίμητα εργαλεία, σε ένα σύγχρονο θέατρο επιχειρήσεων. Τα αντιαεροπορικά συστήματα των Αρμενίων, με ορισμένα ρωσικής προέλευσης και σχεδιασμένα για μαχητικά αεροσκάφη, δυσκολεύτηκαν να αναχαιτίσουν τα μη επανδρωμένα των Αζέρων. Προκαλώντας σημαντικές απώλειες στα Αρμένικα αμυντικά συστήματα, υπογραμμίζει τη σημασία της ολοκληρωμένης χρήσης των drones σε στρατηγικό επίπεδο. Επίσης οι ειδικές δυνάμεις και το πυροβολικό του Αζερικού στρατού αποτελούν μόνο μέρος της ευρύτερης εικόνας, της επιτυχίας που προσφέρουν τα drones στο πεδίο της στρατιωτικής τακτικής. Έγινε σαφές λοιπόν ότι η επιτυχημένη εφαρμογή των drones σε συνδυασμένες επιχειρήσεις οφείλεται στην ικανότητα διάθεσης αυτών των πόρων και εκμετάλλευσης των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν αυτά τα συστήματα.

5.2.2 ΡΩΣΙΑ-ΟΥΚΡΑΝΙΑ

Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία, γνωστή και ως "ειδική στρατιωτική επιχείρηση" από την πλευρά της Ρωσίας, αποτελεί μια εμπόλεμη σύγκρουση μεταξύ των δύο χωρών, επισημαίνοντας την κορύφωση της επίμονης Ρωσοουκρανικής διαμάχης που διαρκεί από το 2014. Η έναρξή της σημειώθηκε στις 24 Φεβρουαρίου 2022, όταν ο Πρόεδρος της Ρωσικής Ομοσπονδίας, Βλαντίμιρ Πούτιν, έδωσε εντολή για την εισβολή ρωσικών στρατευμάτων στο ουκρανικό έδαφος.

Τα γεγονότα και σε αυτήν την περίπτωση είναι πολύ πρόσφατα, και οι πληροφορίες που προέρχονται από το συγκεκριμένο πεδίο μάχης, σχετικά ασαφείς και όχι πλήρως αξιόπιστες. Αναμφίβολα όμως τα μη επανδρωμένα συστήματα έχουν τεράστια συμμετοχή σε αυτόν τον πόλεμο. Φαίνεται πως οι ρωσικές δυνάμεις έχουν

χρησιμοποιήσει τα αυτόνομα αεροσκάφη κυρίως για αναγνωριστικούς σκοπούς, ενώ η Ουκρανία έχει δώσει πολύ μεγαλύτερη έμφαση σε αυτά τα συστήματα, αφού αποτελούν το κύριο της εργαλείο για να αντισταθμίσει τη στρατιωτική υπεροχή του αντιπάλου της. Λέγεται πως τα drone που απαρτίζουν το ρωσικό στόλο είναι τα Granat 1, Granat 2, Eleron-3, Zala, Orlan-10, Takhion και Zastava, ενώ η Ουκρανία βασίζεται κυρίως στα DJI Mavic, Bayraktar TB2, Switchblade και Phoenix Ghost.

Στο κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας, αναφέρεται πως η Ουκρανία έχει μεγαλύτερη εξωτερική υποστήριξη, καθώς προμηθεύεται από ΗΠΑ, Ηνωμένο Βασίλειο, Τουρκία, Νορβηγία. Ο στόλος των μη επανδρωμένων αεροσκαφών της Ρωσίας ήταν σχεδόν εξ ολοκλήρου γηγενής στην αρχή του πολέμου, ενώ μόλις τελευταία, στράφηκαν προς το Ιράν για να συμπληρωθεί, το μειούμενο στρατιωτικό του απόθεμα.

Η σύγκρουση αυτή έχει αποδείξει τα πλεονεκτήματα των drones στο πεδίο της μάχης, τα οποία έχουν γίνει πιο αιχμηρά, πιο εύκολα στη χρήση και διαθέσιμα σχεδόν σε όλους. Οι Ρώσοι φαίνεται να εκμεταλλεύονται στρατηγικά τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών πλήττοντας εκτός των άλλων την ουκρανική πρωτεύουσα Κίεβο, καθώς και τα ουκρανικά λιμάνια του Δούναβη που είναι υπεύθυνα για τις εξαγωγές σιτηρών και τον εφοδιασμό του Ουκρανικού κράτους. Καταβάλλουν κάθε δυνατή προσπάθεια να εξουθενώσει οικονομικά την Ουκρανία, ταυτόχρονα όμως αφαιρώντας την εμπορική επικοινωνία με τους ξένους εταίρους του. Για αυτό και επιλέγουν στρατηγικούς στόχους όπως λιμάνια, διυλιστήρια και αποθήκες.



Εικόνα 5.1: στόχοι ουκρανικών drones

Από την άλλη πλευρά, οι Ουκρανοί αρχικά επιζητούσαν την εξισορρόπηση και την μείωση του στρατιωτικού χάσματος με την χρήση των μη επανδρωμένων. Αργότερα όμως με τον πλήρη εξοπλισμό τους, οι Ουκρανοί κατόρθωσαν να αντεπιτίθεται στο ρωσικό έδαφος χωρίς να καθίσταται έρμαιο των ρωσικών χτυπημάτων στο έδαφος τους. Στρατιωτικές βάσεις, αεροδρόμια και αποθήκες καυσίμων έχουν εξελιχθεί σε στόχους για τα ουκρανικά drones. Με αυτόν τον τρόπο, ελπίζουν σε μια σταδιακή αποδυνάμωση των στρατιωτικών αντοχών του Κρεμλίνου. Με πάγια πολιτική πεποίθηση, η πολεμική αβεβαιότητα και η αποσταθεροποίηση που βιώνει το Ουκρανικό κράτος να αρχίσει να μεταδίδεται σιγά-σιγά και στο εσωτερικό του αντιπάλου.

5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΜΗΝΩΝ UAV

5.3.1 ΕΚΤΑΚΤΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Ως έκτακτες ανάγκες θα ορίσουμε τις φυσικές καταστροφές, τις διασωστικές επιχειρήσεις, την αναζήτηση και διάσωση προσώπων, τις πυρκαγιές και άλλες επείγουσες καταστάσεις. Σε τέτοιες καταστάσεις, σημαντικό είναι να υπάρχουν καλά οργανωμένες δομές και διαδικασίες για την άμεση αντίδραση, την παροχή ιατρικής βοήθειας, την καταστολή κινδύνων, καθώς και την αποκατάσταση της καταστροφής μετά το πέρας του κρίσιμου σταδίου. Παράλληλα είναι σημαντικό να υπάρχει εκπαιδευμένο προσωπικό και εξοπλισμός για τη διαχείριση τέτοιων καταστάσεων, όπως και να υπάρχει επίγνωση και προετοιμασία στην κοινότητα για το πώς να αντιδράσει σε έκτακτες καταστάσεις. Όμως να μην αμελούμε ότι η κρίση προηγείται χρονικά της καταστροφής, επομένως μέσω της πρόληψης και της διαχείρισης της κρίσης, είναι δυνατόν να αποφευχθεί μια επικείμενη καταστροφή.

Οι κρατικοί φορείς θα πρέπει να είναι όσον το δυνατόν πιο έτοιμοι, για την αντιμετώπιση κάθε κατάστασης. Ορισμένες καταστάσεις όπως κάποιες πυρκαγιές, μαζικές μετακινήσεις παράνομων μεταναστευτικών πληθυσμών, διασυνοριακές επιθέσεις κατά υποδομών και κρίσιμων συστημάτων, αποτελούν και τεχνικές ανορθόδοξου πολέμου. Οι έκτακτες καταστάσεις μπορούν να ενταχθούν στο πλαίσιο του ανορθόδοξου πολέμου, καθώς αυτές οι τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προκαλέσουν αναστάτωση, αναταραχή και να εκθέσουν μια χώρα σε εσωτερικές και εξωτερικές απειλές.

Η χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων σε αποστολές πολιτικής προστασίας για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών έχει γίνει όλο και πιο δημοφιλής λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Η εφαρμογή τους σε ποικιλόμορφες αποστολές υπόσχεται πολλά και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επιτυχή έκβασή τους. Με το μειωμένο κόστος απόκτησης και χρήσης τέτοιων συστημάτων, καθώς και με τις σημαντικές δυνατότητες που προσφέρει η εξέλιξη της τεχνολογίας, οι φορείς πολιτικής προστασίας και οι οργανισμοί παροχής ανθρωπιστικής βοήθειας έχουν ενσωματώσει μη επανδρωμένα σε πολλές από τις επιχειρήσεις τους. Σε οποιαδήποτε συνθήκη, αποστέλλοντας ένα σμήνος μη επανδρωμένων σε μια περιοχή ενδιαφέροντος, εξοπλισμένο με ποικίλες κάμερες, θα έχουμε εικόνα και πληροφορίες για την κατάσταση σε πραγματικό χρόνο. Γεγονός καίριο, σε μια δύσκολη και μη

προσβάσιμη περιοχή, είτε υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Έτσι οι αρμόδιοι φορείς, αποκτούν ποιοτικότερη εικόνα για την κατάσταση που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Ανεξάρτητα από το αν βρισκόμαστε σε ειρηνική φάση ή περίοδο εχθροπραξιών οι επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης είναι ζωτικής σημασίας. Ο σκοπός των εν λόγω επιχειρήσεων είναι η διάσωση όλων των ανθρώπων που βρίσκονται σε κίνδυνο και ειδικότερα για τα στελέχη των ενόπλων δυνάμεων όπου το ανθρώπινο δυναμικό, συλλογιζόμενοι το κόστος εκπαίδευσης και την αξία της ζωής, είναι δυσαναπλήρωτο. Παράλληλα στην επιτυχημένη διεξαγωγή αυτών των επιχειρήσεων, τονίζεται το ηθικό των στελεχών, όπου θα γνωρίζουν ότι θα διασωθούν υπό οποιαδήποτε συνθήκη και σε οποιοδήποτε έδαφος. Επίσης διατηρείται η αποτελεσματικότητα των ενόπλων δυνάμεων, αφού δεν χάνεται προσωπικό και κάποιες φορές υλικό. Συνάμα, στερούν από τον αντίπαλο πολύτιμες για αυτόν πληροφορίες, με την αποτροπή αιχμαλωσίας των στελεχών, ενώ αντλούνται από τους διασωθέντες πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την τακτική κατάσταση.

Σε ένα πιο απλό μοντέλο έκτακτης ανάγκης, αρχικά θα αποστέλλονταν ένα σμήνος μη επανδρωμένων, εξοπλισμένο με τις κατάλληλες κάμερες για την αναγνώριση της κατάστασης. Τα συγκεκριμένα οχήματα μπορούν να διαμείνουν για πολλαπλάσιες ώρες στην περιοχή ενδιαφέροντος, σε σύγκριση με τα ελικόπτερα. Επίσης μια πιθανή απώλεια τους είναι ανεκτή σε σχέση με την απώλεια ενός ελικοπτέρου. Από εκεί και πέρα παραμένουν στην περιοχή τροφοδοτώντας συνεχώς και σε πραγματικό χρόνο τα ανώτερα κλιμάκια για την τρέχουσα κατάσταση, συντελώντας στο ληφθεί η ωφέλεστερη επιχειρησιακή απόφαση. Στη συνέχεια αναλόγως, υπάρχει και αντιμετώπιση του προβλήματος. Ένα παράδειγμα είναι να αφήσουν προμήθειες ή επιχειρησιακά υλικά σε πρόσωπα ενδιαφέροντος, όπως εφόδια και πυρομαχικά σε στρατιώτες. Σε περίπτωση διάσωσης όποιας μορφής, δεν συνίστανται να υλοποιούνται εξ ολοκλήρου από μη επανδρωμένα. Τα ελικόπτερα που υλοποιούν τις διασώσεις πάντα μεταφέρουν πλήρως εκπαιδευμένο προσωπικό και για την διάσωση, αλλά και για την παροχή ιατρικής περίθαλψης.

Σε περιπτώσεις πιο σύνθετες όπως η διάσωση προσωπικού σε εχθρικό έδαφος σε περίοδο έντασης, υπάρχει παρόμοια προσέγγιση αλλά είναι μια ιδιαίτερα περίπλοκη αποστολή. Σε τέτοιες περιπτώσεις μας ενδιαφέρει η ταχύτητα, η ακρίβεια και η διακριτικότητα. Σίγουρα πρέπει να εντοπιστεί γρήγορα το προσωπικό. Όμως έχουμε να κάνουμε και με εχθρικές δυνάμεις κάθε τύπου στην περιοχή, όπου χρειαζόμαστε πληθώρα μέσων, από μαχητικά αεροσκάφη, επιθετικά ελικόπτερα, ειδικές δυνάμεις. Η συμμετοχή των μη επανδρωμένων θα είναι σημαντική και καιρία αλλά θα απαιτηθούν πολλές συνεκπαιδεύσεις και δοκιμές για να βρεθεί ο ακριβής τρόπος αξιοποίησής τους.

Κατά την ειρηνική περίοδο ωστόσο, υπάρχουν και άλλες ειδικές περιστάσεις που είναι αναγκαία η χρήση μη επανδρωμένων συστημάτων. Όσον αφορά τη διάσωση πολιτών, οι ομάδες διάσωσης διευκολύνονται στο να κατευθύνονται ταχύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια προς τα σημεία ενδιαφέροντος, για να εντοπίσουν τον πληθυσμό που χρίζει βοήθειας. Κατά την προσπάθειά τους να προσεγγίσουν

δύσκολες και απρόσιτες περιοχές για τον εντοπισμό και απεγκλωβισμό των θυμάτων, οι ομάδες διάσωσης ενδέχεται να αντιμετωπίσουν επικίνδυνα ή φυσικά φαινόμενα, όπως κτίρια υπό κατάρρευση και κατολισθήσεις. Η εφαρμογή των μη επανδρωμένων συμβάλλει σημαντικά και στην προστασία των μελών των σωστικών ομάδων, διασφαλίζοντας ότι μπορούν να αντιμετωπίσουν τα επακόλουθα φαινόμενα, το αβέβαιο περιβάλλον, τις επικίνδυνες συνθήκες και την αυξημένη πιθανότητα πρόκλησης περαιτέρω ατυχημάτων ή τραυματισμών. Συνάμα αυξάνονται σημαντικά οι πιθανότητες να επιτύχουν τον σκοπό τους και να διασώσουν τον πληθυσμό που βρίσκεται σε κίνδυνο.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια επέκταση του ρόλου των μη επανδρωμένων συστημάτων στην υποστήριξη των επιχειρήσεων πολιτικής προστασίας και διαχείρισης καταστροφών, υπό το πρίσμα της μεταφοράς υλικών μέσων. Ένα σμήνος μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορούν να μεταφέρουν απαραίτητο εξοπλισμό, όπως σωσίβια και κιτ πρώτων βοηθειών, παρέχοντάς τον άμεσα στα άτομα που τον χρειάζονται. Επιπλέον, η δυνατότητα μεταφοράς φαρμακευτικού υλικού σε απομακρυσμένες ή επηρεασμένες από καταστροφές περιοχές αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα. Με αυτόν τον τρόπο οι παθόντες λαμβάνουν εφόδια, μέχρι να εξομαλυνθεί η κατάσταση και να υπάρξει πρόσβαση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Στην περίπτωση της πυρασφάλειας, παρέχεται η δυνατότητα τόσο στο να ανιχνεύσουν, να εντοπίσουν και να παρατηρήσουν την πυρκαγιά, όπως και να παρακολουθήσουν τις αναζωπυρώσεις, την περίμετρο και την κατεύθυνση της σε αληθινό χρόνο. Αυτές λοιπόν οι πλατφόρμες πρέπει να διαθέτουν οπτικές κάμερες, συστήματα υπέρυθρης ακτινοβολίας και ανιχνευτές θερμότητας. Το πυροσβεστικό σώμα επιζητά συχνές και ποιοτικές ενημερώσεις σχετικά με τη δυναμική εξέλιξη της πυρκαγιάς ώστε να την καταπολεμήσει με το βέλτιστο τρόπο. Με αυτόν τον τρόπο επίγεια και εναέρια μέσα δεν ενεργούν στα «τυφλά», αλλά στα κρισιμότερα σημεία, έχοντας εικόνα τι θα αντιμετωπίσουν. Γιατί δυστυχώς το πυροσβεστικό προσωπικό συχνά εισέρχεται σε περιοχές, με μικρή γνώση για το πώς κινείται και πού είναι η πυρκαγιά, εκθέτοντας τη ζωή τους σε κίνδυνο.

5.3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΠΟΛΕΜΟΣ

Αναφερόμενοι στην παρούσα εργασία στις τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις των μη επανδρωμένων οχημάτων, αλλά και την συνεργατική λειτουργία τους με άλλα μέσα, δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί το κομμάτι του ηλεκτρονικού πολέμου. Γενικότερα υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορούν να επηρεάσουν τις επικοινωνίες των οχημάτων, μέθοδοι για να προστατευτούν τα μέσα από αυτές τις δράσεις, αλλά και διαδικασίες για επιχειρησιακή εκμετάλλευση εναντίον εχθρών.

Ως ηλεκτρονικό πόλεμο ορίζουμε, από τη μία το σύνολο των ενεργειών που αποσκοπούν στην παρεμπόδιση και στον υποβιβασμό της αποτελεσματικής χρήσης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από τον αντίπαλο και από την άλλη την εξασφάλιση της αποτελεσματικής χρήσης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από τις φίλιες δυνάμεις. Είναι επομένως σημαντικό να συνειδητοποιήσουν οι χρήστες των στρατιωτικών οπλικών συστημάτων την αξία και τα τρωτά σημεία των

επικοινωνιακών ζεύξεων καθώς και τα μέτρα προστασίας για την θωράκιση αυτών των σημείων.

Electronic Support Measures (ESM)

Τα Electronic Support Measures (ESM) ή Μέτρα Υποστήριξης Ηλεκτρονικού Πολέμου (ΜΥΗΠ), είναι οι ενέργειες που σχετίζονται με την έρευνα, υποκλοπή και αναγνώριση της εκπεμπόμενης ΗΜ ενέργειας καθώς και τον εντοπισμό των πηγών τους με σκοπό την αντίληψη της τακτικής κατάστασης και την άμεση αναγνώριση της απειλής. Αποτελούν πηγή πληροφοριών, αναγκαία για την άμεση λήψη αποφάσεων που αφορούν στην εφαρμογή ECM, EPM ή άλλων τακτικών ενεργειών.

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν τα γνωστά Radar Warning Receivers (RWR) και τα Missile Approach Warning Systems (MAWS), αισθητήρες που δύναται να τοποθετηθούν και σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Το κύριο χαρακτηριστικό των ESM είναι ότι όλες οι ενέργειες και τα συστήματα είναι καθαρά παθητικά.

Το RWR, δηλαδή ο Δέκτης Προειδοποίησης Radar (Radar Warning Receiver) είναι ένας δέκτης και περιλαμβάνεται στο σύστημα αυτοπροστασίας του εκάστοτε μέσου. Πρόκειται λοιπόν για δέκτη που έχει δυνατότητα ανάλυσης σημάτων RADAR που λαμβάνει με σκοπό την έγκαιρη προειδοποίηση του φορέα για την παρακολούθηση ή τον εγκλωβισμό του από ένα εχθρικό Radar, με σκοπό την αντιμετώπιση της απειλής και την προστασία του φορέα. Ουσιαστικά το φίλιο αεροσκάφος, όταν έχει ενδείξεις στο RWR, αντιλαμβάνεται ότι κάποιος εχθρός το στοχοποιεί, και έπειτα προβαίνει σε ενέργειες για να προστατευτεί. Βέβαια αξίζει να επισημάνουμε πως αυτός ο δέκτης τοποθετείται και σε άλλους φορείς, όπως έκαναν οι Αμερικάνοι στα υποβρύχια τους, στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο.

Στην κατηγορία Μέτρων Υποστήριξης Ηλεκτρονικού Πολέμου περιλαμβάνεται και η ανίχνευση εκπομπών επικοινωνιών του αντιπάλου, όπου απαιτείται η χρησιμοποίηση ενός δέκτη ή ενός συνδυασμού δεκτών. Ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής, οι δέκτες ESM διαχωρίζονται σε διάφορους τύπους. Για παράδειγμα ο δέκτης Πολλαπλών Καναλιών (Channelized) που χαρακτηρίζεται από υψηλή ευαισθησία, δυνατότητα μέτρησης συχνότητας και χαρακτηριστικών διαμόρφωσης και επεξεργάζεται περισσότερα του ενός σημάτων που λαμβάνει κάθε στιγμή.

Μετά την ανίχνευση του σήματος ενός πομπού, ο δέκτης ή το σύστημα δεκτών ESM προσπαθούν με κατάλληλη επεξεργασία να εντοπίσουν τη θέση του. Ο εντοπισμός της θέσης των πομπών του αντιπάλου είναι ιδιαίτερα σημαντική και απαραίτητη διαδικασία προκειμένου να αναπαρασταθεί η Ηλεκτρονική Διάταξη Μάχης (Electronic Order of Battle) του αντιπάλου. Στο σύγχρονο πεδίο της μάχης, ακόμα και όταν η ακρόαση των επικοινωνιών του αντιπάλου σε πραγματικό χρόνο δεν είναι εφικτή (λόγω εφαρμογής τεχνικών COMSEC) αρκεί η γνώση της EOB σε πραγματικό χρόνο (μέσω της συνεχούς ανανέωσής της) ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα αναφορικά με τις κινήσεις-προθέσεις του αντιπάλου.

Electronic Counter Measures (ECM)

Τα Electronic Counter Measures (ECM) ή Ηλεκτρονικά Αντίμετρα (HAM) περιλαμβάνουν ενέργειες που λαμβάνονται για την αποτροπή ή τον υποβιβασμό της εχθρικής αποτελεσματικής χρήσης του ΗΜ φάσματος μέσα από τη χρήση ΗΜ ενέργειας. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν όλοι οι γνωστοί παρεμβολείς (Radar και Επικοινωνιών) καθώς και τα αναλώσιμα (Chaff και Flares), αισθητήρες και μέσα που επίσης μπορούν να τοποθετηθούν σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Όλα τα μέσα αυτής της κατηγορίας είναι ενεργητικά.

Τα Flares (Θερμοβολίδες), ας πούμε πως μοιάζουν με φωτοβολίδες και χρησιμοποιούνται για προστασία του μέσου, εναντίον των IR βλημάτων. Βλημάτων δηλαδή που λειτουργούν στο υπέρυθρο φάσμα, αναζητώντας το θερμικό αποτύπωμα του αεροσκάφους. Οι θερμοβολίδες εκπέμπουν αντίστοιχα μεγάλη θερμότητα, θέλοντας να ξεγελάσουν το βλήμα ώστε να στοχεύσουν τις ίδιες και να απομπλέξουν τα αεροσκάφη.

Τα Chaff (Αερόφυλλα) είναι δίπολα κατασκευασμένα από ελαφριά διηλεκτρικά υλικά (π.χ. αλουμίνιο) πολύ μικρού πλάτους και μήκους $\lambda/2$, όπου « λ » είναι το μήκος κύματος του ραντάρ που καλούνται να παραπλανήσουν. Εκτοξεύονται από τον φορέα τους σε «πακέτα», καθένα από τα οποία περιέχει μεγάλο αριθμό δίπολων (της τάξεως 10^6). Τα Chaff (μαζί με τα Flares) πολλές φορές αναφέρονται και ως «Μηχανικά Αντίμετρα», δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται μόνο μία φορά. Αποτελούν μία εύχρηστη και φθηνή λύση αντιμετώπισης απειλών ραντάρ παλαιότερης τεχνολογίας, όμως η αποτελεσματικότητά τους σε σύγχρονα παλμικά ντόπλερ είναι πολύ μειωμένη. Τα αερόφυλλα μετά την εκτόξευσή τους, δημιουργούν ένα «νέφος» μεγάλης ανακλαστικής επιφάνειας (RCS) στο εχθρικό Radar, η οποία αυξάνει σταδιακά μετά την άφεση από τον φορέα, διαρκεί για μικρό χρονικό διάστημα και εν συνεχεία εξαφανίζεται.

Επιπλέον στην κατηγορία των ηλεκτρονικών αντιμέτρων περιλαμβάνεται και το κομμάτι των παρεμβολών. Ως παρεμβολή ορίζουμε την εισαγωγή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στο επικοινωνιακό σύστημα του αντιπάλου, με σκοπό την αδυναμία εκμετάλλευσης της μεταφερόμενης πληροφορίας.

Στα περισσότερα συστημάτων επικοινωνιών, η επικοινωνία μεταξύ των δύο (ή περισσότερων) κόμβων είναι συνήθως αμφίδρομη (δηλαδή ο κάθε κόμβος λειτουργεί ως πομπός και ως δέκτης). Όταν όμως σχεδιάζουμε επιχειρήσεις ECM, λόγω περιορισμού διαθέσιμων πόρων των συστημάτων παρεμβολής, αλλά και των μέσων που χρησιμοποιεί η εχθρική δύναμη για προστασία, επιλέγεται προσεκτικά ποιος κόμβος επικοινωνιών θα γίνει ο στόχος. Αυτός συνήθως είναι είτε ο κόμβος που θα πρέπει να δράσει ανάλογα με τις εντολές που του δίνονται (π.χ. επιθετικά Α/Φ, μονάδες καταδρομών κλπ.) ή κάποιος κεντρικός όπου συλλέγονται όλες οι πληροφορίες για να ληφθούν αποφάσεις σε τακτικό επίπεδο.

Οι πιο συμβατικές τεχνικές παρεμβολής επικοινωνιών αντιμετωπίζουν αντίστοιχα συστήματα επικοινωνιών με ελάχιστες δυνατότητες προστασίας. Από τη μία η τεχνική Παρεμβολής Παραπλάνησης/Σύγχυσης (Decertion-Spoofing). Στο κανάλι επικοινωνίας του αντιπάλου εισάγονται εσκεμμένα φωνητικά μηνύματα που μπορεί να είναι παραπλανητικές διαταγές, μουσική, κλπ. με σκοπό την σύγχυση των αντιπάλων. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει ο παρεμβολέας να εκπέμψει σήματα με πανομοιότυπα χαρακτηριστικά ως προς το σήμα του αντιπάλου (ίδια συχνότητα, διαμόρφωση κλπ.).

Από την άλλη συναντάμε την τεχνική Παρεμβολή Θορύβου. Στο κανάλι επικοινωνίας του αντιπάλου εισάγονται σήματα θορύβου υψηλής ισχύος που καθιστούν αδύνατη την λήψη. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει ο παρεμβολέας να εκπέμψει ισχυρά σήματα θορύβου στην χρησιμοποιούμενη συχνότητα του αντιπάλου.

Ανάλογα με το αν ο αντίπαλος χρησιμοποιεί μία ή περισσότερες συχνότητες καθορίζεται και το εύρος ζώνης συχνοτήτων του εκπεμπόμενου θορύβου. Όσο πιο στενό (Spot) είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων του εκπεμπόμενου θορύβου τόσο μεγαλύτερες τιμές παίρνει η ισχύς κορυφής του σήματος παρεμβολής, δεδομένου ότι η ενέργεια που μπορεί να αποδώσει ένας παρεμβολέας είναι συγκεκριμένη. Έτσι εάν χρησιμοποιηθεί τεχνική παρεμβολής ευρείας ζώνης (Barrage) θα έχουμε μικρότερη ισχύ κορυφής.

Electronic Protective Measures (EPM)

Τα Electronic Protective Measures (EPM) ή Ηλεκτρονικά Μέτρα Προστασίας (ΗΜΕΠ) περιλαμβάνουν ενέργειες που λαμβάνονται για την εξασφάλιση της φίλιας αποτελεσματικής χρήσης του ΗΜ φάσματος παρά την εχθρική χρήση της ΗΜ ενέργειας. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν παθητικά και ενεργητικά μέτρα. Ο έλεγχος και περιορισμός εκπομπών αποτελεί παράδειγμα παθητικού EPM, ενώ η τεχνολογία Διασποράς Φάσματος (Spread Spectrum) αποτελεί ενεργητικό EPM.

5.3.3 SEAD (SUPPRESSION ENEMY AIR DEFENCE)

Στο πλαίσιο του ηλεκτρονικού πολέμου, οι ενέργειες που αποσκοπούν στην διακοπή της εχθρικής ζεύξης επικοινωνιών είναι ικανές για να καταστήσουν ένα εχθρικό οπλικό σύστημα μη επιχειρησιακό. Όπως επισημάναμε, η καταστολή της εχθρικής αεράμυνας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον ηλεκτρονικό πόλεμο, διότι για την διεξαγωγή της τα μέσα που συμμετέχουν σε αυτές τις αποστολές χρησιμοποιούν άμεσα ή έμμεσα το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Επιπλέον θα είναι από τις πρώτες αποστολές που επιδιώξουμε να υλοποιήσουμε, όταν από την ειρήνη μεταβούμε σε καθεστώς έντασης και πολέμου.

Οι επιχειρήσεις καταστολής της εχθρικής αεράμυνας, είναι σύνθετες και περίπλοκες, διότι για τη διεξαγωγή τους απαιτούν αναλόγως της τακτικής κατάστασης τη συμμετοχή πολλών και διαφορετικών μέσων, που μπορεί να ανήκουν και στα τρία σώματα των ενόπλων δυνάμεων. Για την επιτυχή έκβαση των

αποστολών απαιτείται λεπτομερή σχεδίαση, γνώση των αδυναμιών της εχθρικής αεράμυνας και σωστό συντονισμό μεταξύ φίλιων επιθετικών δυνάμεων και μέσω ηλεκτρονικού πολέμου. Σκοπός των εν λόγω επιχειρήσεων είναι να εξουδετερώσουν, να καταστρέψουν ή προσωρινά να υποβαθμίσουν τα συστήματα της εχθρικής αεράμυνας, με τακτικές αποδιοργάνωσης ή καταστροφής αυτών. Ειδικότερα επιδιώκεται η καταστροφή, ή ο εξαναγκασμός παύσης λειτουργίας των ραντάρ και συστημάτων αεράμυνας του εχθρού που συνδέεται άμεσα με την επίτευξη αεροπορικής υπεροχής σε συγκεκριμένη ή ευρύτερη εχθρική περιοχή, συνάμα με την ελαχιστοποίηση των απωλειών των φίλιων δυνάμεων. Επίσης στόχος μπορεί να αποτελέσουν και τα σύγχρονα κέντρα ελέγχου της αντίπαλης αεράμυνας μέσω καταστροφής κύριων και εφεδρικών κόμβων επικοινωνίας.

Μια τέτοιου είδους αποστολή θα μπορούσαν τα σμήνη μη επανδρωμένων να υπηρετήσουν ικανοποιητικά θα μπορούσε να είναι, για την καταστολή εχθρικής αεράμυνας. Τα συστήματα αυτά είναι και πιο πρακτικά και πιο λειτουργικά σε περιβάλλον υψηλής απειλής, καθώς διαθέτουν μικρότερο ίχνος (RCS) και κόστος αγοράς και λειτουργίας από αντίστοιχο επανδρωμένο Α/Φ. Μάλιστα σε αυτού του είδους τις αποστολές ενδεχομένως να απαιτηθεί να θυσιαστεί μεγάλος αριθμός τους, προκειμένου να προκληθεί η διάσπαση της προσοχής και η ρίψη όπλων του αντιπάλου, ώστε να μπορέσουν άλλες μονάδες να πλήξουν τους στρατηγικούς στόχους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα που μπορεί να ακολουθήσει, όπως και να αναπτύξει είναι του HARPY. Το HARPY είναι ένα αυτόνομο όπλο "fire and forget", για όλες τις καιρικές συνθήκες, το οποίο εκτοξεύεται από επίγεια πλατφόρμα, πίσω από τη ζώνη μάχης. Προγραμματίζεται πριν την εκτόξευση για να πραγματοποιήσει αυτόνομη πτήση προς μια προκαθορισμένη "Περιοχή Παραμονής" (Loitering Area), όπου κυκλοφορεί και αναζητά εκπομπές ακτινοβολίας. Το όπλο-μη επανδρωμένο όχημα HARPY ανιχνεύει, επιτίθεται και καταστρέφει εχθρικά ραντάρ, χτυπώντας τους με υψηλή ακρίβεια. Το HARPY καταστέλλει αποτελεσματικά εχθρικούς ιστούς ραντάρ των Επίγειων Μέσων Κατευθυνόμενων Βλημάτων (SAM), κυκλοφορώντας πάνω από τον εχθρικό χώρο για ώρες, για μεγάλα χρονικά διαστήματα.



Εικόνα 5.2: IAI HARPY drone εκτοξεύεται από επίγειο φορέα

Ειδικότερα, ένα σμήνος μη επανδρωμένων, που βασίζεται στην λογική του HARPY, μας επιφέρει τα εξής:

- «καθαρίζουν» αποτελεσματικά διαφόρων ειδών απειλές. Τα εχθρικά επίγεια ραντάρ, κλείνουν και δεν λειτουργούν, ώστε να αυτοπροστατευτούν. Συνεπώς υποσκελίζεται η επιχειρησιακή εικόνα του εχθρού, καθώς και η κάλυψη-αποκαλυψιμότητα σε συγκεκριμένες περιοχές.

- Τα εχθρικά μέσα επιφανείας που φέρουν κατευθυνόμενα βλήματα, αναγκάζονται να κλείσουν τα ραντάρ τους, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ανιχνεύσουν/εγκλωβίσουν εναέριους στόχους, καθηλώνοντας τα διαθέσιμα βλήματα, και αφήνοντας τον εναέριο χώρο απροστάτευτο.

Το ανωτέρω σενάριο φαντάζει ρεαλιστικό και εύκολα υλοποιήσιμο. Το συγκεκριμένο σμήνος θα πραγματοποιεί μια αυτόνομη και ανεξάρτητη αποστολή, χωρίς να επηρεάζεται τόσο άμεσα από άλλους φορείς, όπως τα μαχητικά αεροσκάφη. Μάλιστα δεν χρειάζονται απαραίτητα ένα δικό τους δίκτυο επικοινωνιών και σύζευξης, και ούτε ένα κοινό με άλλα μέσα. Στην σημερινή απλοϊκή μορφή του δεν είναι καν αναγκαίο να ελέγχονται από ορισμένους χειριστές, μέσω επιγείων σταθμών.

Συνάμα, τα μαχητικά αεροσκάφη με ρόλο την συνοδεία αναχαίτηση, και εκείνα με τον ρόλο του βομβαρδισμού, θα μπορούν να εκτελέσουν την αποστολή τους, ανησυχώντας χαρακτηριστικά σε μικρότερο βαθμό για επίγειες απειλές.

5.3.4 ΕΝΑΕΡΙΑ ΜΑΧΗ

Λαμβάνοντας υπόψιν επιχειρησιακά δεδομένα, αλλά και τον τρόπο που γίνονται οι συνεκπαιδεύσεις διεθνώς με την χώρα μας, τα μη επανδρωμένα δεν φαίνεται να μπορούν να ενταχθούν άμεσα στο κομμάτι της αερομαχίας. Η εναέρια μάχη είναι μια εξαιρετικά περίπλοκη διαδικασία και αναμφίβολα απαιτεί την φυσική παρουσία του χειριστή. Και σαφώς είναι ανόμοια και μη συγκρίσιμα μεγέθη, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη της αγοράς με τα μαχητικά αεροσκάφη τελευταίας γενιάς, όσον αφορά τις τεχνολογίες και τις δυνατότητες.

Για να μπορέσουν τα μη επανδρωμένα να ενταχθούν στην εναέρια μάχη, θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί το κομμάτι της τεχνητής νοημοσύνης, αλλά και ο εξοπλισμός τους με συστήματα και αισθητήρες αντίστοιχα με των μαχητικών αεροσκαφών. Πιο συγκεκριμένα, οι υλοποίηση εναέριων βολών είναι δυναμική διαδικασία που μεταβάλλεται συνεχώς. Παράλληλα όμως και τα μαχητικά αεροσκάφη διαθέτουν υψηλού επιπέδου συστήματα αυτοπροστασίας, με αντίμετρα που μπορούν να αντιμετωπίσουν πυραύλους αέρος-αέρος.

Επιπλέον θα πρέπει να αναφέρουμε πως ο ρόλος και η δράση της πολεμικής αεροπορίας συνδέεται άρρηκτα και άμεσα με την εξωτερική πολιτική της χώρας μας. Δηλαδή σε περίοδο ειρήνης και έντασης, ο ρόλος της αεροπορίας είναι να αποτρέπει και να προστατεύει, σύμφωνα με το αμυντικό μας δόγμα, δράσεις που τις περισσότερες φορές την αποτρέπει από το να προσβάλει ή πλήξει στόχους. Οι

παραπάνω έννοιες, είναι ιδιαίτερες, περίπλοκες, σύνθετες, και για αυτό ακόμα και σήμερα απαιτείται η φυσική παρουσία του χειριστή, μέσα στο αεροσκάφος.

Το αμυντικό στρατιωτικό δόγμα αναφέρεται στις αρχές, τις πολιτικές και τις στρατιωτικές στρατηγικές που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο μια χώρα αντιμετωπίζει τις απειλές και διαχειρίζεται την ασφάλειά της. Το αμυντικό στρατιωτικό δόγμα διαμορφώνεται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των πολιτικών, των ιστορικών εμπειριών, των γεωγραφικών συνθηκών και των στρατηγικών απειλών. Για παράδειγμα, μια μικρή χώρα, όπως η Ελλάδα με περιορισμένους πόρους μπορεί να εστιάζει σε αμυντικές στρατηγικές που βασίζονται στην αποτροπή και την αντιμετώπιση επιθέσεων από γειτονικές δυνάμεις. Το όλο αμυντικό δόγμα και η φιλοσοφία μας δεν είναι εύκολο ακόμα, να μεταβιβαστεί σε μη επανδρωμένα μέσα που λειτουργούν αυτόνομα.

Θα πρέπει λοιπόν να προοδεύσει πολύ η τεχνολογία και η τεχνητή νοημοσύνη ώστε να φτάσουμε στην αντικατάσταση των μαχητικών αεροσκαφών από μη επανδρωμένα σε αυτό το κομμάτι. Μην ξεχνάμε άλλωστε πως τα μη επανδρωμένα υπάρχουν και αναπτύσσονται για παραπάνω από μισό αιώνα, ενώ είναι ζήτημα να έχουν αξιόλογη επιχειρησιακή συνεισφορά την τελευταία δεκαετία. Παράλληλα δεν έχει αναφερθεί μέχρι στιγμής, η εκτεταμένη χρήση τους στην εναέρια μάχη ακόμα και σε ασκησιακό επίπεδο. Σε διεθνής, όλων των τύπων ασκήσεις, που συμμετέχει η χώρα μας, η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών περιορίζονται σε αποστολές αναγνώρισης.

Βέβαια θα επιθυμούσαμε ως χώρα να αρχίσουμε να εντάσσουμε τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη σε αυτή την κατηγορία αποστολής. Τα UAVs, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πέρα από την αναγνώριση εχθρικών θέσεων και για την επίδειξη επιθετικών δυνατοτήτων με τη χρήση πυραύλων ή άλλων επιθετικών μέσων. Μάλιστα μπορούμε να μελετήσουμε και να μιμηθούμε, το πως έχουν αξιοποιήσει άλλες χώρες τα μη επανδρωμένα σε παρόμοιες αποστολές.

5.3.5 ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ

Τα περισσότερα μη επανδρωμένα την παρούσα χρονική στιγμή (όπως στη χώρα μας) έχουν κύρια αποστολή την εκτέλεση πτήσεων τακτικής αναγνώρισης όψεως με μεταφορά εικόνας στο έδαφος σε πραγματικό χρόνο. Η ιπτάμενη πλατφόρμα, ως αιχμή του δόρατος του όλου συστήματος, δύναται να φέρει ηλεκτροπτικό σύστημα λήψης εικόνας και να τη μεταδίδει, σε πραγματικό χρόνο για άμεση επιχειρησιακή εκμετάλλευση. Επισημαίνεται εκ νέου πως αυτές οι αποστολές πραγματοποιούνται κατά κόρον σε περίοδο ειρήνης. Πριν ακόμα υπάρξει η οποιαδήποτε σύγκρουση, πρέπει να γνωρίζουμε τους σημαντικούς εχθρικούς στόχους, και τα τρωτά σημεία τους.

Ο κάθε σταθμός ελέγχου εδάφους αποτελεί το Κέντρο Επιχειρήσεων και Ελέγχου του κάθε συστήματος ΜΕΑ, τις επικοινωνίας εδάφους-εδάφους και εδάφους αέρος, δορυφορικές επικοινωνίες (DATA&VOICE), καθώς και τα αποθηκευτικά μέσα των δεδομένων εικόνας. Συνεπώς κατανοούμε πως το όλο σύστημα είναι ένα κλειστό σύστημα, που ελέγχεται από τον σταθμό εδάφους. Οπότε η διασύνδεση και η

ανταλλαγή πληροφοριών πραγματοποιείται μέσω του σταθμού εδάφους, και όχι απευθείας με τα μη επανδρωμένα που επιχειρούν.

Τα μη επανδρωμένα πετώντας είτε μεμονωμένα είτε σε σμήνη, σταδιακά καταργούν και αντικαθιστούν, τον αντίστοιχο ρόλο που είχαν τα επανδρωμένα κατασκοπευτικά αεροσκάφη. Το σαφές πλεονέκτημα είναι πως τα drones στοιχίζουν σαφώς λιγότερο από τα μαχητικά, εξαλείφεται ο κίνδυνος απώλειας ανθρώπινων ζωών, με τις όποιες απώλειες να είναι σε ανεκτό επίπεδο. Και ας μην αμελούμε την τεράστια αυτονομία που διαθέτουν τα μη επανδρωμένα, πετώντας για ώρες άνωθεν μιας περιοχής.

Αναγνώριση υπέρυθρου φάσματος (EO Infra-red (IR) reconnaissance) και θερμοαναγνώριση (EO Thermo IR)

Χρησιμοποιούνται θερμικοί αισθητήρες που καταγράφουν τη θερμική ακτινοβολία των σωμάτων στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δημιουργώντας εικόνες ή VIDEO. Όσο μεγαλώνει η απόσταση από το στόχο μειώνεται σημαντικά η επιτευχθείσα κλίμακα. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες δύναται να καταγραφεί και δραστηριότητα κάτω από παραλλαγή. Με τη θερμοαναγνώριση διακρίνονται τα θερμικά ίχνη αντικειμένων που μετακινήθηκαν πρόσφατα.

➤ Φασματική αναγνώριση (EO Spectral reconnaissance)

Χρησιμοποιούνται πολυφασματικοί και υπερφασματικοί αισθητήρες που καταγράφουν την ακτινοβολία των σωμάτων σε διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δημιουργώντας ξεχωριστές εικόνες από κάθε συχνότητα ταυτόχρονα, οι οποίες στη συνέχεια συγκρίνονται. Σημαντικό ότι μπορεί να αναδείξει λεπτομέρειες που είναι αόρατες σε άλλους τύπους αναγνώρισης.

➤ Αναγνώριση Radar (Radar reconnaissance)

Αφορά πληροφορίες που μπορεί να προκύψουν από την αξιοποίηση των εκπομπών ραντάρ. Από την μια υπάρχουν τα ραντάρ Doppler, που αξιοποιούνται για την παροχή πληροφοριών κινούμενων στόχων, με το πλήθος των στόχων που μπορούν να παρακολουθήσουν να περιορίζεται μόνο από το λογισμικό και την επεξεργαστική ικανότητα του συστήματος. Ειδικότερα με ραντάρ που διαθέτουν επεξεργασία ένδειξης κινούμενων στόχων (MTI), δύναται να παρακολουθήσουμε κινούμενους στόχους, διαχωρίζοντας τους από ακίνητα εμπόδια. Ταυτόχρονα δεν επηρεάζονται ανεπιθύμητες παρασιτικές επιστροφές του εδάφους (clutter), που συναντάμε στα παλμικά ραντάρ.

Από την άλλη τα συνθετικά ραντάρ (synthetic aperture radar), που χρησιμοποιούνται σε λοξή θέση με δυνατότητα στεροσκοπικής ή δύο διαστάσεων, κάλυψης τεράστιων επιφανειών αναλόγως του ύψους πτήσης, ενώ μπορεί να γίνει και real time ερμηνεία, εφόσον υφίστανται Down link. Δημιουργείται δηλαδή τρισδιάστατη απεικόνιση του εδάφους, που χρησιμοποιείται για την επιτήρηση και αναγνώριση του πεδίου μάχης. Είναι εφικτό λοιπόν, να εντοπιστούν και να στοχοποιηθούν εχθρικές δομές όπως αντιαεροπορικά συστήματα, σταθμούς διοικήσεως, μέχρι και συγκοινωνιακές υποδομές.

Γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό καθώς σε μεταγενέστερη φάση τα μαχητικά αεροσκάφη θα πραγματοποιούν πολύ χαμηλή πτήση, ακολουθώντας τη διαμόρφωση του εδάφους, χωρίς τη χρήση ραντάρ ή άλλου ενεργού συστήματος που μπορεί να προδώσει τη θέση τους στο εχθρικό σύστημα αεράμυνας όσο και ενάντια στην απειλή των αυτόματων κατευθυνόμενων βλημάτων. Στη συνέχεια εκμεταλλευόμενοι την υψηλή διακριτική ικανότητα του ραντάρ, δύναται ο εντοπισμός των ναρκών, που βρίσκονται είτε στην επιφάνεια της γης, είτε κάτω από αυτήν. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύουμε την ασφάλεια και την προστασία των φίλιων μέσων. Τέλος αξίζει να αναφέρουμε πως θα μπορούσε αυτό το ραντάρ να ανιχνεύσει υποβρύχια σε κατάδυση. Επιστημονικές μελέτες έχουν αποδείξει αυτό το ραντάρ συνθετικής απεικόνισης με την ικανότητα να υπολογίζουν με ακρίβεια την ταχύτητα των επιφανειακών ρευμάτων της θάλασσας, μπορούν να εντοπίζουν τα υποβρύχια που καταδύονται, από τις διαταραχές που προκαλούνται στην επιφάνεια της θάλασσας κατά την κίνηση τους προς τα κάτω.

Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω θα μπορούσαμε να σχηματίσουμε ένα σμήνος drone, όμοιου τύπου όπου θα φέρουν τους παραπάνω αισθητήρες. Με αυτόν τον τρόπο, οργανώνουμε και υλοποιούμε μια αποστολή, τα αεροχήματα φωτογραφίζουν την περιοχή ενδιαφέροντος από διαφορετικές θέσεις και με διαφορετικούς τρόπους. Έτσι έχουμε μια πλήρη εικόνα και πληθώρα πληροφοριών για αυτό τον στόχο. Μάλιστα οι όποιες απώλειες μπορούν να θεωρηθούν και ανεκτές, εφόσον υπάρχουν οι απαραίτητες διασυνδέσεις και η ανταλλαγή των δεδομένων, γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Στη συνέχεια λοιπόν και αξιολογώντας και άλλα δεδομένα πραγματοποιείται η σχεδίαση της αποστολής και το πως θέλουμε να πλήξουμε αυτή την περιοχή.

Σε εχθρικό έδαφος όπου όλα τα μέσα είναι ευάλωτα και έχουν περιορισμένο χρόνο παραμονής, τα σμήνη μας προσφέρουν την άνεση και την ανοχή σε πιθανές απώλειες. Διότι μεταδίδουν επιχειρησιακές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, και έχουν χαμηλό κόστος σε περίπτωση καταστροφή τους, ενώ άλλα επανδρωμένα μέσα έχουν σαφώς υψηλότερο και δυσαναπλήρωτο κόστος. Αντίστοιχα και στο δικό μας εθνικό έδαφος υπάρχουν σημεία που χρήζουν παρακολούθησης και επιτήρησης. Στο Αιγαίο για παράδειγμα, ειδικά σε περίοδο έντασης πρέπει να έχουμε κάλυψη του εναερίου χώρου σε εικοσιτετράωρη βάση. Σε μεσαία και χαμηλά ύψη μπορούν τα επίγεια ραντάρ να καλύψουν αυτές τις ανάγκες. Σε χαμηλά ύψη όμως τα σμήνη αεροσκαφών θα πρέπει να παρακολουθούν τις κινήσεις των εχθρικών πλοίων, αλλά και ευαίσθητα σημεία, όπως τα θαλάσσια σύνορα και τα περάσματα κοντά σε νησιά και βραχονησίδες. Γενικότερα στην χώρα μας λόγω μορφολογίας του εδάφους υπάρχουν πολλά ευαίσθητα σημεία, που η χρήση μη επανδρωμένων συστημάτων προσφέρει περισσότερη κάλυψη και ασφάλεια.

5.3.6 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΩΝ ΜΑΧΗΣ (BATTLE DAMAGE ASSESSMENT)

Εξίσου σημαντικό, εφόσον υλοποιηθεί η αποστολή, είναι η αποτίμηση των ζημιών μάχης. Και είναι σημαντικό διότι υπάρχουν ερωτήματα που πρέπει να γνωρίζουμε τις απαντήσεις τους. Το πρώτο είναι αν καταφέραμε να πλήξουμε τον στόχο ενδιαφέροντος και να τον εξουδετερώσουμε. Αν λοιπόν πετύχαμε τα επιθυμητά

αποτελέσματα. Ένα άλλο ερώτημα, είναι αν οι δυνάμεις και τα μέσα που διατέθηκαν, απέδωσαν σύμφωνα με τις προσδοκίες. Τέλος αν τα παραπάνω, δεν απέδωσαν σύμφωνα με τις απαιτήσεις μας, γίνεται η ανάλυση των λαθών, η επανεκτίμηση και η επανασχεδίαση.

Έπειτα μας ενδιαφέρει να αξιολογήσουμε και άλλα στοιχεία, όπως το πόσο δραστικό και αποτελεσματικό είναι το όπλο που χρησιμοποιήθηκε (ανάλογα πάντα με τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του). Ένα άλλο στοιχείο είναι η εκτίμηση επί της λειτουργικότητας ενός στόχου. Δηλαδή, αν ο στόχος έχει υποστεί καταστροφική ζημιά, ή ο χρόνος που αυτό το μέσο τίθεται εκτός λειτουργίας.

Ένα σμήνος drone, με αισθητήρες όπως αναφέραμε παραπάνω, δύναται να καταγράψει τις ζημιές και να μας παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται να αναλυθούν. Βέβαια είναι ζωτικής σημασίας η αποτίμηση, να γίνει σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Διότι ο εχθρός μπορεί να προσπαθήσει να επηρεάσει την αποτίμηση, με παραλλαγή, απόκρυψη και παραπλάνηση. Ενδεικτικά μπορεί να γίνει η περισυλλογή κατεστραμμένων υλικών.

5.3.7 ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΙ ΣΚΟΠΟΙ

Όπως και γίνεται με οποιοδήποτε μέσο που εντάσσεται στις ένοπλες δυνάμεις, πρώτα εκπαιδεύεται το προσωπικό πάνω στο ίδιο το μέσο, σε συνεργασία με την κατασκευάστρια εταιρεία. Έπειτα εντάσσεται στο εκάστοτε σώμα (στρατός, αεροπορία, ναυτικό), όπου λαμβάνουν χώρα περαιτέρω δοκιμές. Αργότερα και σταδιακά εντάσσονται σε μεγαλύτερης κλίμακας ασκήσεις, και αξιολογούνται με βάση τα επιχειρησιακά δεδομένα και το στρατιωτικό πλαίσιο. Γενικά και οι αποστολές που αναφέρθηκαν παραπάνω θα πρέπει να προσομοιαστούν σε πρώτη φάση, δοκιμάζοντας την δράση των μη επανδρωμένων, και σε μεταγενέστερη φάση να συνδράμουν ενεργά και ρεαλιστικά.

Τα μη επανδρωμένα και σμήνη αυτών θα μπορούσαν σταδιακά να ενταχθούν στο κομμάτι της εκπαίδευσης. Ειδικότερα θα μπορούσαν να πετάνε ελεγχόμενα σε καθορισμένο εναέριο χώρο, ώστε από την άλλη πλευρά οι χειριστές αεροσκαφών να μπορούν να πραγματοποιήσουν αληθινές βολές. Τα πυρά, θα υλοποιούνται με πυραύλους αέρος-αέρος από μεσαίες ή μεγάλες αποστάσεις, είτε από μικρότερες αποστάσεις μέσω πυροβόλων. Γεγονός ιδανικό για τους χειριστές μιας και είναι ότι πιο ρεαλιστικό σε μια πραγματική συνθήκη, ενώ μπορούν να εκπαιδευτούν σε ποικίλα κομμάτια που αφορούν την εναέρια μάχη.

Προχωρώντας την παραπάνω βλέψη, τα μη επανδρωμένα θα είναι σε πρωταρχική φάση, ιδανικός εκπαιδευτικός στόχος. Με αυτόν τον τρόπο όλα τα μέσα θα μπορέσουν να τεστάρουν τις δυνατότητες τους, (πλοία, αεροπλάνα, σταθμοί εδάφους), εξάγοντας ασφαλή συμπεράσματα, και όσον αφορά τις δυνατότητες ιδίου μέσου, αλλά και το κατά πόσο αυτό το μέσον, μελλοντικά θα μπορέσει να υποστηρίξει anti-drone αποστολές. Και έτσι μελλοντικά ίσως κατευθυνθούμε εξοπλιστικά σε μια τέτοια τεχνολογία, που να μπορεί να υποστηρίξει αυτό το επιχειρησιακό κομμάτι.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παραπάνω έρευνα και την ολοκλήρωση ανάλυσης του περιεχομένου που προέκυψε, μπορούν να εξαχθούν ορισμένα βασικά συμπεράσματα:

- ❖ Το πεδίο των σμηνών μη επανδρωμένων συστημάτων και δη αεροσκαφών, είναι ακόμα θολό, αν και διαρκώς αναπτυσσόμενο και πολλά υποσχόμενο. Παρόλο που τα μη επανδρωμένα αναπτύσσονται για παραπάνω από μισό αιώνα, εφαρμογή σε πεδία μάχης, παρατηρούμε περίπου την τελευταία δεκαετία. Και αυτό περισσότερο ως μεμονωμένα συστήματα, και όχι ως σμήνη. Μάλιστα δεν έχουν εξαχθεί ή κοινοποιηθεί πορίσματα από την επιχειρησιακή αξιοποίηση τους. Συνεπώς στη θεματική ενότητα της συνεργατικής λειτουργίας, η παραπάνω έρευνα, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως επισφαλής, και να τροποποιηθούν τα πορίσματα της στο μέλλον.
- ❖ Η δημιουργία και το πως θα αξιοποιηθούν τα σμήνη μη επανδρωμένων συστημάτων ποικίλει από διάφορους παράγοντες. Αρχικά το βασικότερο είναι η οικονομία και το τεχνολογικό επίπεδο της εκάστοτε χώρας-χρήστη. Το αμέσως σημαντικότερο, το πως λειτουργούν, το πως επιχειρούν και με τι σκοπό το κάνουν οι ένοπλες δυνάμεις εκείνης της χώρας. Χαρακτηριστικά αναφέραμε παραπάνω, πως η δική μας χώρα υποστηρίζει το αμυντικό δόγμα, με φιλοσοφία να αποτραπεί η ένοπλη σύγκρουση. Βασιζόμενα σε αυτή την προσέγγιση θα επιχειρούν τα μη επανδρωμένα συστήματα. Συνάμα οι εκπαιδεύσεις και οι επιχειρήσεις, γίνονται με συγκεκριμένο τρόπο, οπότε με την ένταξη τους, τα UAV, θα εναρμονιστούν στο ίδιο μήκος κύματος. Με ενδεικτικό παράδειγμα πως στο σχετικά άμεσο μέλλον τα μη επανδρωμένα ούτε θα ελέγχονται από χειριστή μαχητικού αεροσκάφους, ούτε προβλέπεται να πετάξουν σε κλειστό σχηματισμό με επανδρωμένα αεροσκάφη. Όλα αυτά λοιπόν αδιαμφισβήτητα επηρεάζουν την συνεργατική λειτουργία μη επανδρωμένων συστημάτων, με άλλα μέσα και φορείς.
- ❖ Όσον αφορά τις τηλεπικοινωνίες, προβληματιζόμαστε σε πολύ συγκεκριμένα κομμάτια. Η επικοινωνία μεταξύ των μη επανδρωμένων συστημάτων, όπως και με τον ελέγχον σταθμό τους, θα επιτευχθεί. Η επικοινωνία αυτή όμως θα πρέπει να είναι σε μια «γλώσσα» που είτε είναι κατανοητή από τους άλλους φορείς, είτε μπορεί να «μεταφραστεί». Αυτό είναι αναγκαίο να συμβεί ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως το εκάστοτε σύστημα, και να επιτευχθεί η συνεργατική λειτουργία του, σε ένα ευρύτερο πλαίσιο όπως οι ένοπλες δυνάμεις. Αυτό το ζήτημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό μιας και αν δεν επιτευχθεί η διασύνδεση και η ομαλή ένταξη του εκάστοτε οπλικού συστήματος, τότε πιθανότατα να στραφούμε σε άλλες λύσεις.
- ❖ Υλοποιώντας τις επιθυμητές διασυνδέσεις σε ένα σμήνος μη επανδρωμένων οχημάτων ή συσκευών, η τοπολογία του δικτύου πρέπει να είναι λεπτομερώς

σχεδιασμένη και επαρκώς καταρτισμένη για να υποστηρίξει τη συνεργασία και τον συντονισμό των μελών του σμήνους. Αυτά τα δίκτυα UAV μπορεί να εμφανίζουν χαρακτηριστικά που κυμαίνονται από αργές έως γρήγορες αλλαγές, διακοπόμενους σύνδεση και ρευστή τοπολογία, όπως είναι δηλαδή σε ένα πραγματικό επιχειρησιακό περιβάλλον. Συνεπώς θα πρέπει να υπερκεραστούν όλες οι αδυναμίες στην τοπολογία δικτύων με σχήματα mesh και star, που είναι πιθανότερο να χρησιμοποιηθούν, όπως το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, η αποτελεσματικότητα διαδρομής, η υπερφόρτωση του κεντρικού σταθμού λόγω του όγκου δεδομένων

- ❖ Οι αλγόριθμοι που «τρέχουν» στα ρομποτικά συστήματα συνδέονται άμεσα με τους αισθητήρες που φέρουν. Ενδεικτικά, οι αλγόριθμοι κίνησης όπως ο αλγόριθμος αναζήτησης A*, μπορεί να αξιοποιήσει κάμερες ή την τεχνολογία LIDAR, για την αποφυγή εμποδίων. Ο αλγόριθμος της νυχτερίδας σε σμήνη μη επανδρωμένων μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση ενός ραντάρ συνθετικής απεικόνισης (SAR), αντίστοιχο των ηχητικών παλμών που προβλέπει ο αλγόριθμος για την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου. Αντίστοιχα με ένα ραντάρ επεξεργασίας ένδειξης κινούμενων στόχων (MTI), καταδεικνύονται οι στόχοι. Έπειτα στο Ant Colony Optimization, η φερομόνη που χρησιμοποιούν τα μυρμήγκια θα μπορούσε να αντικατασταθεί με πομποδέκτη IFF, ώστε να αναγνωρίζουν τα φίλια μέσα, συμμαχικές πλατφόρμες.

Παράλληλα επειδή και η ανάπτυξη των αλγορίθμων φτάνει σε ορισμένο σημείο κορεσμού, η μελλοντική έρευνα δίνει έμφαση στην ανάπτυξη των αισθητήρων. Με την βελτιστοποίηση των αισθητήρων, λαμβάνουμε ποιοτικότερα δεδομένα και πληροφορίες, με τους αλγορίθμους να αποδίδουν σαφώς καλύτερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Fireworks Algorithm A Novel Swarm Intelligence Optimization Method, 1st ed. 2015- Ying Tan
- Handbook of Swarm Intelligence Concepts, Principles and Applications- Bijaya Ketan Panigrahi, Yuhui Shi, and Meng-Hiot Lim (Eds.)
- Nanocomputers and Swarm Intelligence- Jean-Baptiste Waldner
- SWARM INTELLIGENCE: Principles, Advances, and Applications- Aboul Ella Hassanien, Eid Emary
- Swarm Intelligence Volume 2: Innovation, new algorithms and methods-Edited by Ying Tan
- Swarm Intelligence Volume 3: Applications-Edited by Ying Tan
- Swarm Robotics: A Formal Approach- Heiko Hamann
- Swarm Troopers: How Small Drones Will Conquer the World by David Hambling
- Swarms and Network Intelligence in Search- Yaniv Altshuler, Alex Pentland, Alfred M. Bruckstein
- The Perfect Swarm: the science of complexity in every day life-Len Fisher

ΠΡΩΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

- <https://oreinomeli.gr/blog/%CE%BD%CE%BF%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CF%83%CF%8D%CE%BD%CE%B7-%CF%83%CE%BC%CE%AE%CE%BD%CE%BF%CF%85%CF%82/>

ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

- <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html#:~:text=Lidar%20%E2%80%94%20Light%20Detection%20and%20Ranging,Lighthouse%2C%20Dry%20Tortugas%2C%20Florida>
- <https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-lidar-and-what-it->

- <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/star-network#:~:text=A%20star%20network%20is%20a,%2Dand%2Dspoke%20network%20topology.>
- <https://www.javatpoint.com/star-topology-advantages-and-disadvantages>
- [https://www.defenseadvancement.com/suppliers/mesh-networking/#:~:text=Military%20Applications,-Mesh%20radios%20provide&text=Mobile%20mesh%20networking%20is%20particularly,reconnaissance\)%2C%20and%20disaster%20response.](https://www.defenseadvancement.com/suppliers/mesh-networking/#:~:text=Military%20Applications,-Mesh%20radios%20provide&text=Mobile%20mesh%20networking%20is%20particularly,reconnaissance)%2C%20and%20disaster%20response.)

ΤΕΤΑΡΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

- <https://defencereview.gr/smini-drone-kai-oi-epicheirisiake-distas/>
- <https://www.pestcontrol.basf.gr/el/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%B1/%CE%9C%CF%85%CF%81%CE%BC%CE%AE%CE%B3%CE%BA%CE%B9%CE%B1/>

ΠΕΜΠΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

- <https://www.eliamep.gr/publication/drones-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%BA%CE%AF%CE%B1%CF%82-%CF%80%CF%81%CE%BF%CE%BA%CE%BB%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC/>
- <http://www.mixanitouxronou.gr/nagkorno-karampach-i-amfisvitoymeni-periochi-poy-diekdikoy-n-armeria-kai-azermpaitzan-to-chroniko-tis-aionias-dienexis/>
- <https://www.kathimerini.gr/world/561095641/nagkorno-karampach-toyrkika-drones-chtypisan-armenikoys-stochoys-vinteo/>
- <https://youtu.be/mNIb55B8lBg?si=BPuTE3aEHuSiaER>
- https://youtu.be/S9IMCdI_Jlg?si=VcKieQdQUXUGq3ZK
- https://youtu.be/rcZOCfCkt_I?si=S7RAuxK-YcqYw2_M
- <https://www.ertnews.gr/dimosio-vima/arthrografia/thanatos-apo-ton-ourano-ta-drones-ston-polemo-rosias-oukranias/>

- <https://www.capital.gr/cfr-org/3769596/pos-o-polemos-ton-drone-stin-oukrania-metamorfonei-ti-sugkrousi/>
- <https://whatpoliticsmeans.com/2023/11/28/%CF%81%CF%89%CF%83%CE%AF%CE%B1-%CE%BF%CF%85%CE%BA%CF%81%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CE%B1-%CE%BF-%CF%80%CF%8C%CE%BB%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-drones/>