



ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ
Τμήμα Στρατιωτικών Επιστημών

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2022-23

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ –
MASTER OF SCIENCE IN OPERATIONAL
RESEARCH AND DECISION MAKING

(ΠΔ 59 /2021/ΦΕΚ 145Α'/17.08.2021)



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Κατανομή και ανάπτυξη σμηνών για συνεργατική επιτήρηση από μικρο-εναέρια οχήματα»

Διατριβή που υπεβλήθη
για τη μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Του:

Ευάγγελου Βουρβούλια
(ΑΜ: 2021018104)

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

Η Μεταπτυχιακή Διατριβή του Ευάγγελου Βουρβούλια εγκρίνεται:

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ (Επιβλέπων)

Νικόλαος Ιω. Δάρας



Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Νικόλαος Ματσατσίνης

Αναπλ.Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Νικόλαος Παπαδάκης



ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Κατανομή και ανάπτυξη σμηνών για συνεργατική επιτήρηση από μικρο-εναέρια οχήματα» πραγματοποιείται στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Επιχειρησιακή Ανάλυση και Λήψη Αποφάσεων».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συντέλεσαν στο να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία. Μέσα από την καρδιά μου θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κύριο Νικόλαο Ιω. Δάρα, καθώς χωρίς τη βοήθειά του , τον προσωπικό του χρόνο καθώς και τα καλά του λόγια δε θα μπορούσε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

Ευχαριστώ τους συμμαθητές – συμφοιτητές μου που καθόλη τη διάρκεια της κοινής μας φοίτησης αποτέλεσαν το αποκούμπι μου σε πολλές περιπτώσεις. Η βοήθειά τους , τόσο πρακτική όσο και ψυχολογική ήταν ανεκτίμητη. Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου καθώς στάθηκαν σημαντικοί αρωγοί στην προσπάθειά μου .

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10-11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
Ιστορική αναδρομή και Θεωρητικό μέρος	
§1. Εισαγωγή Κεφαλαίου	12
§2. Ιστορική Αναδρομή	12-18
§3. Ορισμοί	19-23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
Συνεργατική Επιτήρηση	
§1. Εισαγωγή Κεφαλαίου	24
§2. Θεωρητικό σενάριο και αντικειμενικοί περιορισμοί	24-36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
Εφαρμογές της ανάπτυξης αεροχημάτων	
§1. Εισαγωγή	37
§2. Παραδείγματα εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες	37-50
ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία εξετάζεται η αποστολή της συνεργατικής επιτήρησης προεπιλεγμένων περιοχών ενδιαφέροντος (AoI) σε υπαίθρια περιβάλλοντα από ομάδες στενά συνεργαζόμενων Micro Aerial Vehicles (MAV). Στην αποστολή συνεργατικής επιτήρησης, εύρεση κατανομών των MAV στο περιβάλλον για την κατάλληλη κάλυψη των AoI και εύρεση εφικτών τροχιών για την επίτευξη

Οι θέσεις επιτήρησης που λαμβάνονται από την αρχική αποθήκη είναι κρίσιμα καθήκοντα που πρέπει να εκπληρωθούν. Επιπλέον, οι περιορισμοί κίνησης των χρησιμοποιούμενων MAV, οι περιορισμοί περιβάλλοντος (π.χ. ζώνες χωρίς πτήση) και οι περιορισμοί που επιβάλλονται από τον εντοπισμό των μελών των ομάδων πρέπει να ικανοποιούνται στη διαδικασία σχεδιασμού. Διατυπώνουμε το έργο της συνεργατικής επιτήρησης ως ένα ενιαίο πρόβλημα βελτιστοποίησης υψηλών διαστάσεων για να μπορούμε να ενσωματώσουμε όλες αυτές τις απαιτήσεις.

Λόγω πολλών περιορισμών που πρέπει να ικανοποιηθούν, προτείνουμε να λύσουμε το πρόβλημα χρησιμοποιώντας μια τεχνική βελτιστοποίησης που βασίζεται στην εξέλιξη.

Μια σημαντική πτυχή της προτεινόμενης μεθόδου είναι ότι τα συνεργαζόμενα MAV είναι εντοπισμένα σχετικά μεταξύ τους, αντί να χρησιμοποιούν ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού. Αυτό αυξάνει την ευρωστία του συστήματος και τη δυνατότητα ανάπτυξής του σε σενάρια, στα οποία απαιτούνται συμπαγή σχήματα της ομάδας MAV με μικρές σχετικές αποστάσεις.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συνεχώς μεταβαλλόμενο πεδίο επιχειρήσεων η άνοδος της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροχημάτων είναι εντυπωσιακή. Η τεχνολογία αυτή είναι όλο και σημαντικότερη καθώς προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την κλασσική παρατήρηση.

Τα αρχικά αεροχήματα που είχαν αναπτυχθεί ήταν μεγάλου μεγέθους , ακριβά και δύσχρηστα. Η πρόοδος παρόλα αυτά της τεχνολογίας έχει οδηγήσει όχι μόνο στη δημιουργία μικρών και εύχρηστων UAV αλλά και σμήνων τέτοιων οχημάτων, τα οποία εφόσον οπλιστούν με κάμερες υψηλής ευκρίνειας μπορούν να προσφέρουν επίγνωση του πεδίου επιχειρήσεων οδηγώντας έτσι στη λήψη καλύτερων αποφάσεων .

Η εργασία αυτή έχει ως βασικό σκοπό να τονίσει τη σπουδαιότητα χρησιμοποίησης μη επανδρωμένων αεροχημάτων (UAV) αλλά και μικρο αεροχημάτων (MAV) στον τομέα της επιτήρησης. Ουσιαστικά τα οχήματα αυτά αποτελούν μηχανές που μπορούν να ελεγχθούν από μεγάλες αποστάσεις μέσω προγραμμάτων και να παρέχουν πληθώρα πληροφοριών στον χειριστή.

Η πραγματοποίηση τέτοιων αποστολών επιτυγχάνεται κυρίως με τη βοήθεια αισθητήρων όπως GPS , οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο MAV με σκοπό να δίνουν στίγμα για τη θέση τους στο χειριστή , μειώνοντας έτσι την πιθανότητα ατυχήματος ή σύγκρουσης. Συχνά όμως είναι δύσκολο να γνωρίζουμε εκ των προτέρων τις συντεταγμένες που θέλουμε το αερόχημα μας να ακολουθήσει . Επιπρόσθετα διάφορες ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν την ακρίβεια των αισθητήρων.

Μία σκέψη λοιπόν για την επίλυση αυτού του ζητήματος είναι η δημιουργία ενός σμήνους από αεροχήματα. Με αυτό τον τρόπο το ένα αερόχημα θα μπορεί να μεταφέρει πληροφορίες στο άλλο , δημιουργώντας έτσι μία «αλυσίδα» πληροφοριών. Στην παρούσα εργασία θα αναλύσουμε τις έννοιες των μικρο αεροχημάτων , της

συνεργατικής επιτήρησης καθώς και τα οφέλη αυτής σε σχέση με την απλή επιτήρηση από ένα αεροχέιμα.

Το έργο της συνεργατικής επιτήρησης σε μία περιοχή ενδιαφέροντος (Area of Interest , AoI), μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο από ένα αεροχέιμα όσο και από ένα σμήνος αεροχημάτων. Η ανάπτυξη ενός σμήνους από αεροχέιματα χρειάζεται μεγάλο συντονισμό από το χειριστή . Σε αυτές τις περιπτώσεις προγράμματα εντοπισμού θέσης όπως το GPS δε μπορούν να δώσουν με ακρίβεια πληροφορίες στο χειριστή . Για το λόγο αυτό τα μέλη του σμήνους πρέπει να πετούν σε σχετικά κοντινή απόσταση ώστε να μεταδίδονται πληροφορίες μέχρι και τον χειριστή.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε βασικούς ορισμούς γύρω από τα αεροχέιματα και την επιτήρηση με σκοπό να γίνει κατανοητή η ανάγκη της συνεργατικής επιτήρησης στο σύγχρονο πεδίο επιχειρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ιστορική αναδρομή και Θεωρητικό μέρος

§1. Εισαγωγή κεφαλαίου

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία μικρή ιστορική αναδρομή στην ιστορία των αεροχημάτων και θα αναφερθούμε σε μερικούς βασικούς ορισμούς γύρω τόσο από το κομμάτι της επιτήρησης αλλά και των μη επανδρωμένων αεροχημάτων με σκοπό να γίνει ευκολότερα κατανοητή η σημαντικότητα της δημιουργίας ενός σμήνους μικρο αεροχημάτων για την επιτήρηση.

§2. Ιστορική αναδρομή

Η ανθρώπινη επιθυμία για πτήση είναι συνδεδεμένη με την ιστορία μας. Από το μύθο του Δαίδαλου και Ίκαρου μέχρι και τα αδέρφια Ράιτ, ο άνθρωπος πάντα προσπαθούσε να φτάσει όσο ψηλότερα μπορούσε από τη Γη. Παρά τη μεγάλη ανθρώπινη ιστορία όμως, το όνειρο αυτό έγινε πραγματικότητα τους τελευταίους αιώνες.

Παράλληλα η ιδέα για μία μηχανή να είναι ικανή να πετάξει, χωρίς ανθρώπινο προσωπικό επί αυτής, ήταν το φυσικό επακόλουθο. Η σκέψη αυτή ήταν απόλυτα λογική, καθώς έτσι διατηρούνται τα ίδια πλεονεκτήματα με τις πτήσεις με προσωπικό, μηδενίζοντας όμως την πιθανότητα ανθρώπινης απώλειας σε περίπτωση ατυχήματος. Επιπρόσθετα, το κόστος κατασκευής και συντήρησης ενός τέτοιου αεροσκάφους είναι

πολύ μικρότερο από ένα αντίστοιχο αεροσκάφος με πλήρωνα, κάνοντας έτσι προσιτή την ιδέα και από την επιχειρηματική πλευρά.

Πάνω σε αυτή τη σκέψη δημιουργήθηκαν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Unmanned Aerial Vehicles). Πρόκειται για αεροσκάφη πολύ μικρότερων διαστάσεων, τα οποία όπως και πολλές ακόμα τεχνολογικές εξελίξεις της καθημερινότητάς μας, οφείλουν την ανάπτυξη τους σε στρατιωτικές συγκρούσεις.

Η χρήση των πρώτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών παρατηρείται στον πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου λόγω των τεράστιων απωλειών των πιλότων καθώς και τη δυσκολία αντικατάστασής τους, οι Αμερικάνοι και συγκεκριμένα ο Elmer Sperry, δημιούργησαν ένα σύστημα «αυτόματου πιλότου» όπου έδινε τη δυνατότητα επιλογής του δρομολογίου από πριν. Παρά τις αρχικές αποτυχίες, το 1917 δημιουργήθηκε το πρώτο επιτυχημένο «μη επανδρωμένο όχημα». Πρόκειται για τη συνεργασία των αδερφών Ράιτ με το Sperry, όπου δημιουργήθηκε ένα όχημα που μετά από μία προκαθορισμένη διάρκεια πτήσης, έσβηνε τη μηχανή και έπληττε το στόχο. Πρόκειται για το Kettering Bug, όπως ονομάστηκε, τον πρώτο πρόγονο των σύγχρονων ΜεΑ.



Σύγχρονο ομοίωμα και εικόνα από τις πρώτες πτήσεις του Kettering Bug

Μετά τον πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, η τεχνολογία των μη επανδρωμένων έδειξε τεράστια εξέλιξη. Οι Βρετανοί δημιούργησαν το πρώτο αερόχημα με τη δυνατότητα να επιστρέφει στη βάση του μετά την ολοκλήρωση της αποστολής του, το λεγόμενο Queen Bee. Ήταν το πρώτο όχημα που έλαβε και την ονομασία drone, μιας και δεν υπήρχε προσωπικό επί του οχήματος και η διαδικασία της πτήσης πραγματοποιούνταν από πριν.

Το πρώτο όμως πραγματικά τηλεκατευθυνόμενο αερόχημα είναι αυτό που δημιουργήθηκε από τους Αμερικάνους κατά τη διάρκεια του δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, το Radio Plane. Πρόκειται για ένα κανονικά αεροπλάνο εξοπλισμένο με μία συσκευή όπου ο χειριστής μπορεί να ελέγξει την πτήση του οχήματος σε πραγματικό χρόνο, γεγονός πρωτόκουστο μέχρι και τότε.

Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η έρευνα στον τομέα των ΜΕΑ συνέχισε με ραγδαίο ρυθμό. Οι στρατιωτικοί ηγέτες ήθελαν πλέον να αναπτύξουν μη επανδρωμένα οχήματα που να κινούνται σε υπερηχητικές ταχύτητες. Η πρόοδος αυτή γιγαντώθηκε στα χρόνια του Ψυχρού Πολέμου, όπου οι αποστολές αναγνώρισης έγιναν ζωτικής σημασίας.

Τη δεκαετία του 1960, οι Ηνωμένες Πολιτείες, αναγνωρίζοντας την ανάγκη για πληροφορίες, δημιούργησαν το επονομαζόμενο «Lightning Bug», το πρώτο αερόχημα το οποίο μπορούσε να εκτοξευθεί τόσο από το έδαφος όσο και από αεροπλανοφόρο με τη βοήθεια ενός καταπέλτη. Παράλληλα το μικρό του μέγεθος παρείχε τη δυνατότητα να σε αεροπλάνο να το μεταφέρουν μέχρι ένα σημείο και να εκτοξευθεί από το σημείο αυτό, προσθέτοντας έτσι πολλά χιλιόμετρα στο βεληνεκές του.

Για να γίνει κατανοητή η σημασία των αεροχημάτων αυτών, αναφέρεται ότι μόνο κατά τη διάρκεια του Πολέμου του Βιετνάμ πραγματοποιήθηκαν πάνω από 3.500 αποστολές αναγνώρισης. Τα αεροχήματα αυτά εντόπιζαν τα σήματα που εξέπεμπαν οι βιετναμέζικοι αντιαεροπορικοί πύραυλοι και αφού μετέδιδαν τις πληροφορίες στο χειριστή, αυτός με τη σειρά του τις μετέφερε στους πιλότους των αμερικάνικων αεροσκαφών, σώζοντας έτσι εκατοντάδες αν όχι χιλιάδες ζωές.

Το τέλος του Πολέμου του Βιετνάμ συνέπεσε με μία ταχεία ηλεκτρονική ανάπτυξη, που σε συνδυασμό με την έρευνα για την βελτίωση των αεροσκαφών, οδήγησε και στη βελτίωση των αεροχημάτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση του κόστους των επεξεργαστών (CPU) καθώς και στην ανάπτυξη νέων λογισμικών προγραμμάτων, τα οποία έκανα ευκολότερο το χειρισμό των αεροχημάτων.

Η χρήση των νέων αυτών αεροχημάτων έγινε σε μεγάλο βαθμό στον πόλεμο μεταξύ του Ισραήλ, μίας χώρας που είχε επενδύσει σε μεγάλο βαθμό στα αεροχήματα, και του υπόλοιπου Αραβικού Κόσμου. Καθώς προετοιμαζόταν για την επερχόμενη πολεμική σύρραξη, το Ισραήλ επένδυσε τεράστια ποσά στην ανάπτυξη των αεροχημάτων, καθώς η Ηγεσία θεώρησε τη συλλογή πληροφοριών ως το σημείο που θα μπορούσε να επηρεάσει τη σύρραξη προς το μέρος τους.

Η συλλογή πληροφοριών από τα στρατεύματα των αντιπάλων τους, καθώς και των συστημάτων επικοινωνιών τους, πρόσφερε σημαντικά στρατηγικά πλεονεκτήματα στις Ισραηλινές Ένοπλες Δυνάμεις. Αυτό όμως που έγειρε την πλάστιγγα προς το μέρος των Ισραηλινών ήταν οι πληροφορίες που πρόσφεραν από τις ενέργειες των δικών τους στρατευμάτων. Ο έλεγχος και ο συντονισμός των βολών πυροβολικού, ο συντονισμός ώστε τα ισραελινά αεροσκάφη να χτυπήσουν τα αραβικά κατά την απογείωσή τους καθώς και ο συντονισμός των συστημάτων επικοινωνιών των ισραηλινών στρατευμάτων με τη χρήση αναμεταδοτών, έδωσε το στρατηγικό πλεονέκτημα στους Ισραηλινούς.

Μέσω αυτής της πολεμικής σύρραξης, καθώς και του στρατηγικού πλεονεκτήματος που έδωσαν τα αεροχήματα στους Ισραηλινούς, έγινε φανερό σε όλους η ανάγκη να επενδύσουν στην ανάπτυξη των αεροχημάτων. Για το λόγο αυτό οι ΗΠΑ προμηθεύτηκαν ένα μεγάλο αριθμό του νέου μικρού αεροχήματος των Ισραηλινών, το Pioneer, καθώς οι Ειδικές Δυνάμεις των ΗΠΑ χρειάζονταν ένα νέο φθινό και δύσκολα ανιχνεύσιμο όχημα.



Ισραηλινό UAV Pionner (1985)

Το Pioneer παρείχε τη δυνατότητα μεταφορά φορτίου 35 κιλών, σε αποστάσεις μέχρι και 185 χλμ καθώς επίσης και τη δημιουργία δρομολογίων. Οι επερχόμενες συρράξεις οδήγησαν τις ΗΠΑ να επενδύσουν τεράστια ποσά στην ανάπτυξη της δικής του βιομηχανίας αεροχημάτων. Για αυτό το λόγο όταν το 1991 ξεκίνησε η επιχείρηση “Desert Shield” στο Ιράκ, οι συμμαχικές δυνάμεις κατάφεραν να εξασφαλίσουν μία καθοριστική νίκη με τη χρήση των νέων αυτών αεροχημάτων.

Από τη σύρραξη αυτή κει έπειτα τα αεροχήματα αποτελούν σημαντικό κομμάτι των επιχειρήσεων, καθώς στο σύγχρονο πεδίο μάχης οι πληροφορίες είναι το σημαντικότερο «όπλο». Κατά την προαναφερθείσα επιχείρηση περισσότερο από 15% των αεροσκαφών που χρησιμοποίησαν οι ΗΠΑ ήταν αεροχήματα. Η χρήση τους επεκτάθηκε και στα στρατεύματα στην ξηρά, καθώς το μέγεθος και το κόστος ολοένα και μειωνόταν.

Τα νέα αυτά αεροχήματα πραγματοποιούσαν απογειώσεις και προσγειώσεις από τα χέρια του χειριστή και λειτουργούσαν με μπαταρίες, μειώνοντας αισθητά έτσι το μέγεθος. Με τις νέες αυτές τεχνολογικές εξελίξεις ότι πλέον τα αεροχήματα μπορούσαν

να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα θέτρα επιχειρήσεων χωρίς πρακτικά κάποιο σοβαρό κόστος.

Οδηγούμενοι έτσι στον 21^ο αιώνα, με την εξέλιξη των αεροχημάτων επήλθε και η εξέλιξη των ραντάρ ανίχνευσης αυτών. Για το λόγο αυτό η δυνατότητα τα αεροχήματα να περνούν απαρατήρητα γίνεται όλο και πιο σημαντική. Η σημασία των πληροφοριών έχει γίνει πλέον αντιληπτή, τόσο που πλέον μιλάμε για πόλεμο πληροφοριών στο πεδίο της μάχης. Ο αριθμός των αεροχημάτων για το λόγο αυτό συνεχώς αυξάνεται, στοχεύοντας έτσι στην παροχή συνεχών πληροφοριών στο χειριστή.

Στο σύγχρονο ασύμμετρο πεδίο επιχειρήσεων, τα μίνι αεροχήματα παίζουν πλέον σημαντικό ρόλο. Δύναται να χρησιμοποιηθούν από όλους και να παρέχουν κρίσιμες επιχειρησιακές πληροφορίες ακόμα και σε μικρές ομάδες αναγνωρίσεων. Είναι αθόρυβα και ο χειρισμός γίνεται συνήθως με ένα μικρό χειριστήριο, προσφέροντας έτσι φορητότητα.

Ένα από τα χαρακτηριστικότερα τέτοια μίνι αεροχήματα αποτελεί το Black Hornet Nano, οποίο χρησιμοποιείται τόσο από τις ΗΠΑ όσο και από Ευρωπαϊκούς Στρατούς.



Black Hornet Nano στην παλάμη ενός χειριστή

Η φορητότητα των νέων αυτών μίνι αεροχημάτων σε συνδυασμό ότι ο χειριστής μπορεί να εκπαιδευτεί σε λιγότερο από μία ώρα, επιτρέποντας έτσι στον οποιοδήποτε να γίνει χειριστής, τα καθιστά εξαιρετικά επιχειρησιακά εργαλεία.

Έχοντας αναφερθεί στη εξέλιξη των αεροχημάτων, από τις πρώτες πτήσεις μέχρι και τα μίνι αεροχήματα στο επόμενο μέρος θα ασχοληθούμε με μερικούς ορισμούς γύρω από τα αεροχήματα καθώς και με τον τρόπο λειτουργίας αυτών, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος χρησιμοποίησης τους στη συνεργατική επιτήρηση.

§3. Ορισμοί

Ένα μη επανδρωμένο αερόχημα (UAV) είναι στην ουσία ένα αεροσκάφος το οποίο κινείται χωρίς ανθρώπινο προσωπικό επί του ίδιου το σκάφους. . Η πτήση τους μπορεί να λειτουργεί με διάφορους βαθμούς αυτονομίας : είτε υπό τηλεχειρισμό από ανθρώπινο χειριστή είτε αυτόνομα από ενσωματωμένους υπολογιστές που αναφέρονται ως αυτόματος πιλότος (ICAO,2016).

Όσον αφορά τη χρήση τους , τα μη επανδρωμένα αεροχήματα αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για αποστολές οι οποίες κρίνονταν επικίνδυνες για ανθρώπινο πλήρωμα. Πολλά μη επανδρωμένα αεροχήματα πραγματοποιούν αυτοματοποιημένες αποστολές, αποστολές οι οποίες είναι προγραμματισμένες από πριν από το χειριστή, εξακολουθούν όπως γίνεται όμως κατανοητό να βασίζονται στον ανθρώπινο παράγοντα.

Ο όρος drones είναι πολύ γενικός καθώς μπορεί να αφορά έξυπνα ή αυτόνομα οχήματα διαφόρων τύπων . Όταν αναφερόμαστε σε ιπτάμενα drones τότε είναι ασφαλές να τα κατηγοριοποιούμε στις παρακάτω κατηγορίες: 1) drones περιστροφικών φτερών , 2) drones σταθερών φτερών, 3) drones υβριδικού τύπου .

Τα drones τα οποία έχουν την δυνατότητα να απογειώνονται κάθετα και μπορούν να αιωρούνται στο ίδιο σημείο σε ένα υψηλό ρυθμό , είναι τα drones περιστροφικών φτερών. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα τετρακόπτερα οχήματα που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες καθημερινές χρήσεις. Τα drones τα οποία έχουν την δυνατότητα να πετούν επιθετικά κουβαλώντας μεγάλου βάρους φορτία μέσω αιώρησης είναι τα drones σταθερών φτερών. Σε αντίθεση με τα drones περιστροφικών φτερών αυτά απογειώνονται οριζόντια. Τέλος τα drones τα οποία έχουν και σταθερά και περιστρεφόμενα φτερά είναι τα drones υβριδικού τύπου, έχοντας τη δυνατότητα να απογειώνονται και με τους δύο προαναφερθέντες τρόπους.

Στο γράφημα στο οποίο ακολουθεί φαίνονται κάποιες ακόμα βασικές διαφορές ανάμεσα στις κατηγορίες των drones στα οποία έχουμε ήδη αναφερθεί.

Factors	Based on Wing Type			Based on Altitude	
	Fixed-Wing Type	Rotary-Wing Type	Hybrid-Wing Type	Low Altitude Below 400 ft	High Altitude Above 400 ft
Hovering	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Small Size	No	Yes	Yes	Yes	No
Transport goods	Yes	Low weight	Yes	Yes	No
Battery time (in hour)	>1 h	1 h	>1 h	>1 h	>1 h
Maneuver speed	High Speed	Low speed	High speed	High Speed	High Speed
Flexible deployment of communication	No	No	No	Yes	No
Cost effective	Expensive	Cheap	Expensive	Cheap	Cheap
Endurance	High	Low	Medium	Low	High

Ταξινόμηση drones

Όσον αφορά τώρα τις μεθόδους επικοινωνίας μεταξύ του χειριστή και των drones , τότε μιλάμε για πρωτόκολλα επικοινωνίας, τύποι δικτύων αλλά και το ίδιο το μοντέλο του drone. Ανάλογα με την αποστολή που καλείται να εκτελέσει ο χειριστής μπορεί να επιλέξει και διαφορετικό τρόπο επικοινωνίας με το αερόχημα. Ο τρόπος επικοινωνίας του χειριστή με το αερόχημα μπορεί να γίνει αντιληπτός και μέσω του επόμενου σχήματος:

Technique	Channel Width	Band	Bit Rate	Range	Latency	Mobility Support
Wi-Fi	20 MHz	2.4 GHz to 5.2 GHz	6-54 Mbps	100 m	10 ms	Low
GPS	2 MHz	1176 to 1576 MHz	50 bps	-	10 ms	Higher
UMTS	5 MHz	700 to 2600 MHz	2 Mbps	10 Km	20-70 ms	High
5G	2.16 GHz	57 to 64 GHz	Up to 4 Gbps	50 m	-	Ultra-High
LTE	20 MHz	700 to 2690 MHz	Up to 300 Mbps	30 Km	10 ms	Very High
LTE-A	Up to 100 MHz	450 MHz to 4.99 GHz	Up to 1 Gbps		-	Very High

Κατηγοριοποίηση βάση καναλιών επικοινωνίας

Παρά τα πλεονεκτήματα τα οποία μπορεί να προκύψουν από τη χρήση ενός σμήνους UAV, το απαιτητικό περιβάλλον χρησιμοποίησης τους, μπορεί να δημιουργήσει διάφορες προκλήσεις. Αναπάντεχα γεγονότα όπως η αλλαγή του καιρού, αντίπαλες ενέργειες ακόμα και συγκρούσεις με άλλα μέλη του σμήνους λόγω λάθους χειρισμού είναι μόνο μερικές από τις δυσχέρειες που μπορεί να προκύψουν από τη χρησιμοποίηση ενός σμήνους UAV.

Για το σκοπό αυτό είναι πολύ σημαντική η δημιουργία ενός σμήνους UAV τα οποία οφείλουν να είναι ανθεκτικά, καθώς σε οποιαδήποτε συνθήκη και αν χρησιμοποιηθούν, θα αντιμετωπίσουν, όπως αναφέραμε και παραπάνω, δυσχέρειες. Ανάλογα τη χρησιμοποίηση τους, κάθε μέλος του σμήνους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξεχωριστά ή να υπάρξει ένας συνολικός χειρισμός του σμήνους.

Όσον αφορά την πρώτη περίπτωση, η ανάπτυξη και ο χειρισμός κάθε ξεχωριστού μέλους του σμήνους μπορεί να αποδειχθεί ως μία πρόκληση, και αυτό γίνεται ακόμα πιο περίπλοκο όσο αυξάνεται ο αριθμός των μελών του σμήνους. Μία παύση στη λειτουργία του σμήνους δε σημαίνει βέβαια την απώλεια κάποιου μέλους από το σμήνος αλλά κυρίως την απώλεια ενός σημαντικού μέλους του σμήνους, όπως για παράδειγμα το UAV το οποίο φέρει το οπτικό φορτίο.

Για το λόγο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό η διατήρηση της ανθεκτικότητας ενός σμήνους. Η διατήρηση της ανθεκτικότητας ενός σμήνους UAV βασίζεται αρχικά στην επικοινωνία. Σημαντικές ενέργειες όπως η μεταφορά δεδομένων και ο έλεγχος του σμήνους από το χειριστή πραγματοποιούνται μέσω της επικοινωνίας.

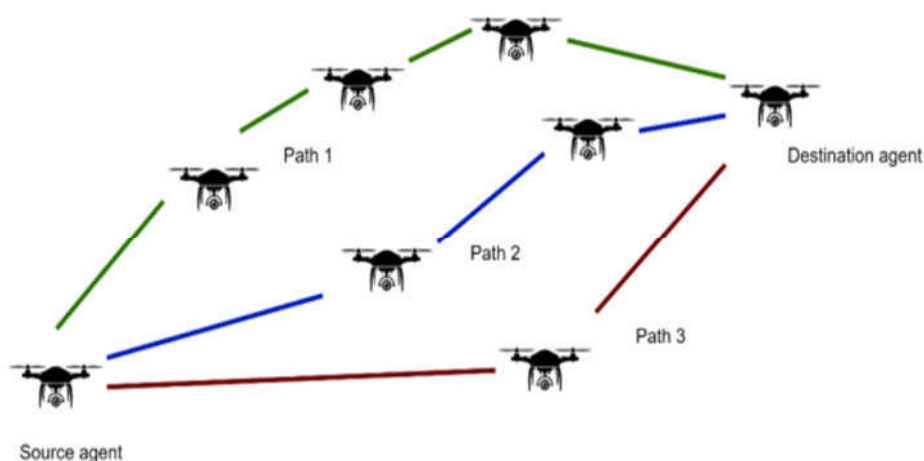
Μία έλλειψη στην επικοινωνία μπορεί να προκύψει τόσο από το χειριστή με το σμήνος όσο και μεταξύ των μελών του σμήνους. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε μέσω της αναδιάταξης τους σμήνους, επαναφέροντας με αυτό τον τρόπο τα μέλη του σμήνους που έχουν αποσυνδεθεί, είτε με εξωτερική παρέμβαση όπως για παράδειγμα με τη χρήση εξωτερικών σταθερών ή κινητών αναμεταδοτών σήματος.

Η συνεχής προσπάθεια βέβαια για επανασύνδεση ή διατήρηση της σύνδεσης δημιουργεί προβλήματα είτε διαχείρισης της ενέργειας του σμήνους είτε των καυσίμων

των μελών του σμήνους, μειώνοντας έτσι και τη συνολική διάρκεια πτήσης του σμήνους.

Μία λύση για το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να είναι η χρησιμοποίηση ενός μέλους του σμήνους ως master με σκοπό τη διατήρηση της σύνδεσης μέσω αυτού ολόκληρου του σμήνους. Βέβαια στην περίπτωση αυτή δημιουργείται το πρόβλημα της απώλειας ολόκληρου του σμήνους μέσω της απώλειας του master UAV.

Μία ακόμη λύση που μπορεί να προταθεί είναι αυτή της μεταφοράς σήματος μεταξύ διαφορετικών διαδρομών και αλμάτων προς το τελικό UAV. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται διαφορετικά paths για τη μετάδοση πληροφοριών.



Μεταφορά δεδομένων μέσω αλμάτων και διαφορετικών διαδρομών

Καταλαβαίνει κανείς μέσω αυτής της μικρής ανάλυσης μερικές από τις δυσκολίες που υφίστανται στη δημιουργία ενός σμήνους UAV. Για το λόγο αυτό πρέπει να υπάρχει μία δικτυακή κάλυψη στην περιοχή όπου θα δράσει το σμήνος UAV προκειμένου να εκτελεστεί απρόσκοπτα η αποστολή του.

Η κάλυψη αυτή συνήθως χαρακτηρίζεται από την τοπολογία του δικτύου που εφαρμόζεται καθώς και από τους πόρους που διατίθενται για τη δημιουργία του δικτύου. Ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την κάλυψη αυτή είναι και η δύναμη με την οποία διαδίδεται το σήμα. Η δημιουργία ενός επιπλέον επιπέδου

ελέγχου, όπου ελέγχεται η ενέργεια που χρησιμοποιείται από κάθε μέλος του σμήνους, ανάλογα αν αυτός μεταδίδει δεδομένα ή απλά αιωρείται, μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερο έλεγχο του σμήνους καθώς επίσης και σε μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης.

Η διατήρηση της σύνδεσης του σμήνους με το χειριστή καθώς επίσης και η δικτυακή κάλυψη της περιοχής που δρα ένα σμήνος UAV, οδηγεί στην αποτελεσματικότερη επιλογή διαδρομής που θα ακολουθήσει ένα σμήνος UAV για την εκτέλεση της αποστολής του.

Η αποτελεσματική σχεδίαση της διαδρομής που θα ακολουθήσει το σμήνος UAV αποτελεί σημαντικότερο κομμάτι στη σχεδίαση της αποστολής. Παρότι η σχεδίαση της διαδρομής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τον τύπο των UAV ή την ίδια την αποστολή, το σημαντικότερο μέλημα για το χειριστή θα πρέπει να είναι η πιθανή αντιμετώπιση προβλημάτων κατά την εκτέλεση της αποστολής. Αυτό μπορεί να διευκολυνθεί μέσω της χρήσης αλγόριθμων και προσομοιώσεων, παρέχοντας στο χειριστή εργαλεία προκειμένου να προστατέψει το σμήνος, λαμβάνοντας παράλληλα πληροφορίες για την εκτέλεση της αποστολής.

Με την παρουσίαση λοιπόν κάποιων ορισμών περί της λειτουργίας των αεροχημάτων, μπορούμε στο επόμενο κεφάλαιο να ξεκινήσουμε την ανάλυση του τρόπου κατανομής και ανάπτυξης σμηνών με σκοπό την συνεργατική επιτήρηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Συνεργατική Επιτήρηση

§1. Εισαγωγή Κεφαλαίου

Το έργο της συνεργατικής επιτήρησης από ένα σμήνος από μη επανδρωμένα αεροχήματα χρησιμοποιείται για την επιτήρηση μίας περιοχής ενδιαφέροντος. Ο χειριστής μπορεί να συναντήσει διάφορα εμπόδια , όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

§2. Θεωρητικό σενάριο και αντικειμενικοί περιορισμοί

Τα μίνι επανδρωμένα αεροχήματα έχουν την προοπτική να χρησιμοποιηθούν για πολλαπλές χρήσεις. Όπως έχει ήδη αναλυθεί, σε ένα σύγχρονο πεδίο μάχης μπορούν να προσφέρουν πολλαπλά οφέλη, από πληροφορίες για τον εχθρό έως και να φτάσουν να χρησιμοποιηθούν τα ίδια ως πυρομαχικά εκτελώντας αποστολές τύπου «καμικάζι».

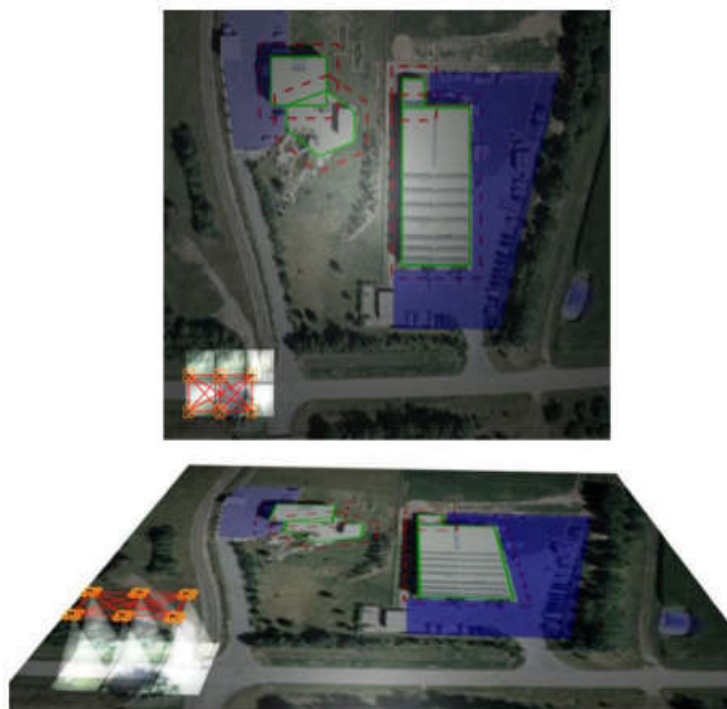
Σε κάθε περίπτωση τα αεροχήματα οφείλουν σε τέτοιου είδους αποστολές να έχουν τη δυνατότητα να καταναείμουν αποστολές . Για παράδειγμα όταν ένα μέλος του σμήνους εντοπίσει μία σημαντική πληροφορία, θα πρέπει να μπορεί να μεταφέρει τις πληροφορίες με σκοπό μέσω των υπόλοιπων μελών να φτάσουν στο χειριστή.

Η κατανομή αποστολών σε διαφορετικά μέλη του σμήνους δεν είναι μία εύκολη αποστολή. Η πολυπλοκότητα αυτή μπορεί να αυξηθεί αν λάβουμε υπόψιν παράγοντες όπως την εμβέλεια των επικοινωνιών, προβλήματα στην πτήση του σμήνους λόγω της περιοχής αλλά και το γεγονός ότι η κατανομή της αποστολής γίνεται ενώ το σμήνος βρίσκεται ακόμα σε κίνηση.

Για τις δυσκολίες αυτές, παρότι φαίνονται ίσως ανυπέρβλητες, υπάρχουν αρκετοί τρόποι ώστε να αντιμετωπιστούν. Για παράδειγμα θα μπορούσε να εξεταστεί η χρήση ενός κεντρικού αεροχήματος ως τον «αρχηγό» του σμήνους, το οποίο θα χρησιμοποιείται με σκοπό να διαβιβάζει τις διαταγές του χειριστή στα υπόλοιπα μέλη του σμήνους. Η χρήση όμως ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα εάν το κεντρικό αερόχημα καταστεί εκτός λειτουργίας.

Εάν λάβουμε υπόψη και περιορισμούς που ήδη αναφέρθηκαν, όπως φυσικά εμπόδια και περιορισμούς στην επικοινωνία, τότε γίνεται κατανοητό ότι χρειάζεται μία διαφορετική αντιμετώπιση στο πρόβλημα της συνεργατικής επιτήρησης.

Στη συνέχεια θα ερευνήσουμε ένα σενάριο που παρουσίασε για πρώτη φορά ο Saska (2016), όπου ένα σμήνος αεροχημάτων χρησιμοποιείται για την επιτήρηση μίας περιοχής ενδιαφέροντος. Μέσω αυτού του σεναρίου παρουσιάζεται μία διαφορετική προσέγγιση στο ζήτημα της συνεργατικής επιτήρησης.



Αρχική θέση του σμήνους αεροχημάτων (Saska, 2016)

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η αρχική θέση του σμήνους στο προτεινόμενο σενάριο του Saska. Η επιτήρηση της περιοχής ενδιαφέροντος γίνεται από ένα σμήνος αεροχημάτων τα οποία προσφέρουν αλληλοκαλυπτόμενα πεδία παρατήρησης.

Αυτό γίνεται με σκοπό να παρέχει στο χειριστή μία πολύπλευρη πληροφόρηση της περιοχής ενδιαφέροντος, παρέχοντας έτσι στο χειριστή πληροφορίες οι οποίες δε θα μπορούσαν να αποκτηθούν με άλλο τρόπο. Για παράδειγμα, σε μία κατοικημένη περιοχή ένα αερόχημα μπορεί να παρέχει σημαντικές πληροφορίες εάν λειτουργήσει σε ικανοποιητικό ύψος, παρόλα αυτά λόγω των κτισμάτων και άλλων εμποδίων, δεν παρέχει το σύνολο των επιθυμητών πληροφοριών.

Παράλληλα η μέθοδος της συνεργατικής επιτήρησης μίας περιοχής ενδιαφέροντος αυξάνει τη συνολική ανθεκτικότητα της αποστολής, καθώς σε αντίθεση με την προαναφερθείσα τακτική της χρήσης ενός αεροχήματος ως «αρχηγού», όπου η καταστροφή αυτού προκαλεί σοβαρά προβλήματα στην αποστολή, η καταστροφή ενός μέλους του σμήνους δε δημιουργεί τόσο σημαντικά προβλήματα καθώς συνεχίζει να υπάρχει η δυνατότητα μετάδοσης πληροφοριών.

Η ανάπτυξη ενός τέτοιου σμήνους αεροχημάτων απαιτεί στενό έλεγχο της ακριβούς τοποθεσίας του κάθε μέλους του σμήνους καθώς κινούνται σε μικρές αποστάσεις και ακόμη και μικρές αποκλίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε ατυχήματα. Παράλληλα τα σύγχρονα συστήματα εντοπισμού θέσεων δε διαθέτουν την ακρίβεια που απαιτείται σε αστικούς ιστούς, τις περιοχές δηλαδή που επιθυμούμε να επιτηρήσουμε.

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται εύκολα με τη χρήση των καμερών ως μέσο αποφυγής εμποδίων, μιας και μέσω του χειρισμού και της εμπειρίας του χειριστή, καθώς επίσης και της γνώσης της τοποθεσίας των μελών του σμήνους, ακόμα και αν χαθεί το σήμα της τοποθεσίας, ο χειριστής μπορεί να καθοδηγήσει το σμήνος.

Ο χειριστής παρόλα αυτά αντιμετωπίζει το σμήνος των αεροχημάτων ως ένα σύνολο, και όχι ως ξεχωριστά αεροχήματα καθώς αυτό διευκολύνει τόσο το χειρισμό

όσο και τις υπολογιστικές απαιτήσεις που χρειάζονται για το σχεδιασμό μίας αποστολής. Στη προτεινόμενη μέθοδο κατανομής και ανάπτυξης του σμήνους, αφού εισάγουμε τους περιορισμούς που γνωρίζουμε για την επιτηρούμενη περιοχή, σχεδιάζεται η συνολική πορεία του σμήνους, μέρος της οποίας ακολουθεί το κάθε επιμέρους μέλος του σμήνους.

Η κύρια ιδέα δηλαδή της μεθόδου που προτείνεται, είναι να πραγματοποιήσουμε σε έναν αριθμό αεροχημάτων μία σειρά από αυτοματοποιημένους ελέγχους, με σκοπό να παρατηρήσουμε πως θα αντιδρούσαν σε υποθετικά σενάρια πτήσης. Κατά την ανάπτυξη του σμήνους στις περιοχές ενδιαφέροντος θα πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

α) οι περιορισμοί των μοντέλων των αεροχημάτων πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν από το χειριστή β) περιορισμοί ορατότητας σε σημεία του αστικού ιστού όπου μέλη του σμήνους δε θα μπορούν να ελεγχθούν ούτε μέσω οπτικού χειρισμού καθώς επίσης και γ) περιορισμοί στην επικοινωνία του σμήνους με το χειριστή καθώς παρεμβολές από τον εχθρό μπορεί να καταστήσουν σημαντικό μέρος του σμήνους ως μη ικανό για την εκτέλεση της αποστολής.

Ένας άλλος περιορισμός που αντιμετωπίζεται με το προτεινόμενο τρόπο κατανομής και ανάπτυξης των σμηνών είναι η περίπτωση όπου οι δυνατότητες των μοντέλων των αεροχημάτων του σμήνους δεν είναι ικανές ώστε να καλυφθεί στο έπακρο η επιτήρηση της περιοχής ενδιαφέροντος. Ο χειριστής εξασφαλίζει ότι κάθε μέλος του σμήνους πετάει σε τέτοιο υψόμετρο ώστε να μεγιστοποιηθεί η πληροφορία που προσφέρει.

Αυτό που βοηθά το χειριστή στην ανάπτυξη του σμήνους είναι το σύστημα εντοπισμού που βρίσκεται στα αεροχήματα του σμήνους. Το σύστημα αυτό βοηθάει οπτικά το χειριστή σε πραγματικές συνθήκες στο να εντοπίσει τα υπόλοιπα μέλη του σμήνους. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η σταθερότητα στην πτήση των αεροχημάτων ως σμήνος στη διαδρομή που έχει προκαθοριστεί.

Συγκεκριμένα αυτό επιτυγχάνεται με τον εντοπισμό ενός λευκού/μαύρου μοτίβου, το οποίο γίνεται αντιληπτό από το χειριστή μέσω των οπτικών μέσων. Οι απαιτήσεις του γρήγορου εντοπισμού , πράγμα αναγκαίο ώστε να χρησιμοποιηθεί η ανατροφοδότηση της πληροφορίας για τον έλεγχο του σμήνους, είναι σχετικά μικρές. Τα μοτίβα αυτά χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό καθώς ο εντοπισμός τους είναι εύκολος και ταχύς.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η τεχνική του συνεχούς ελέγχου της οπτικής ζώνης για τον εντοπισμό των συγκεκριμένων μοτίβων, αξιοποιώντας τις πληροφορίες που έχουν δοθεί στο σμήνος κατά το σχεδιασμό της πτήσης. Η διαδικασία του ελέγχου μπορεί να ξεκινήσει στο σημείο που θα επιλέξει ο χειριστής, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια αλλά και υπολογιστική ισχύ.

Το γεγονός αυτό συνεισφέρει και στην επίλυση ενός άλλου προβλήματος που αναφέρθηκε προηγουμένως : το πρόβλημα του πως θα βρεθεί και θα χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο σμήνος ώστε να παρατηρηθεί το σύνολο της περιοχής ενδιαφέροντος αλλά και να σχεδιαστούν πορείες τις οποίες μπορούν τα αεροχήματα να ακολουθήσουν.

Μέσω λοιπόν της βελτιστοποίησης της διττής αυτής διαδικασίας , μεγιστοποιείται η περιοχή που επιτηρείται μαζί με τον επαρκή έλεγχο των μελών του σμήνους. Κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης, όταν βρεθεί ένας τρόπος κατανομής και ανάπτυξης του σμήνους που πληροί της προϋποθέσεις που έχουμε θέσει και προσφέρει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτόν που έχουμε επιλέξει, ενημερώνεται ο χειριστής με σκοπό να αλλάξει τον τρόπο προσέγγισής του.

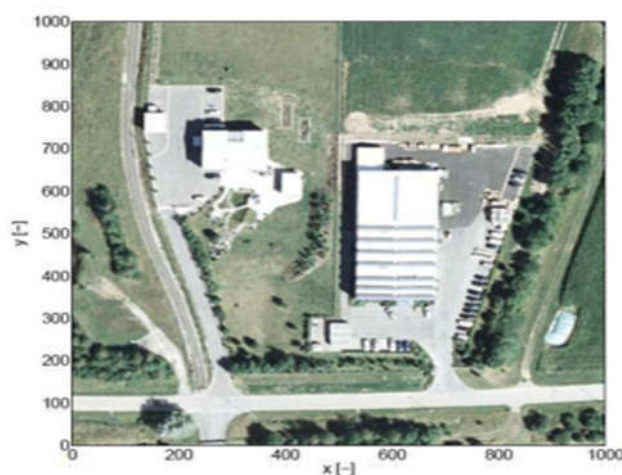
Για τη διαδικασία αυτή καθαυτή της βελτιστοποίησης της κατανομής θα πρέπει αρχικά να οριστεί η συνάρτηση κόστους του προβλήματος βελτιστοποίησης. Η συνάρτηση η οποία προτείνει ο Saska (2016) είναι η παρακάτω:

$$CF(X) = \sum_{x=1}^a \sum_{y=1}^b \max \left(0, A_{x,y} - \sum_{i \in O(x,y)} \frac{S_{opt}}{S_i} A_{max} \right)$$

Συνάρτηση βελτιστοποίησης (Saska, 2016)

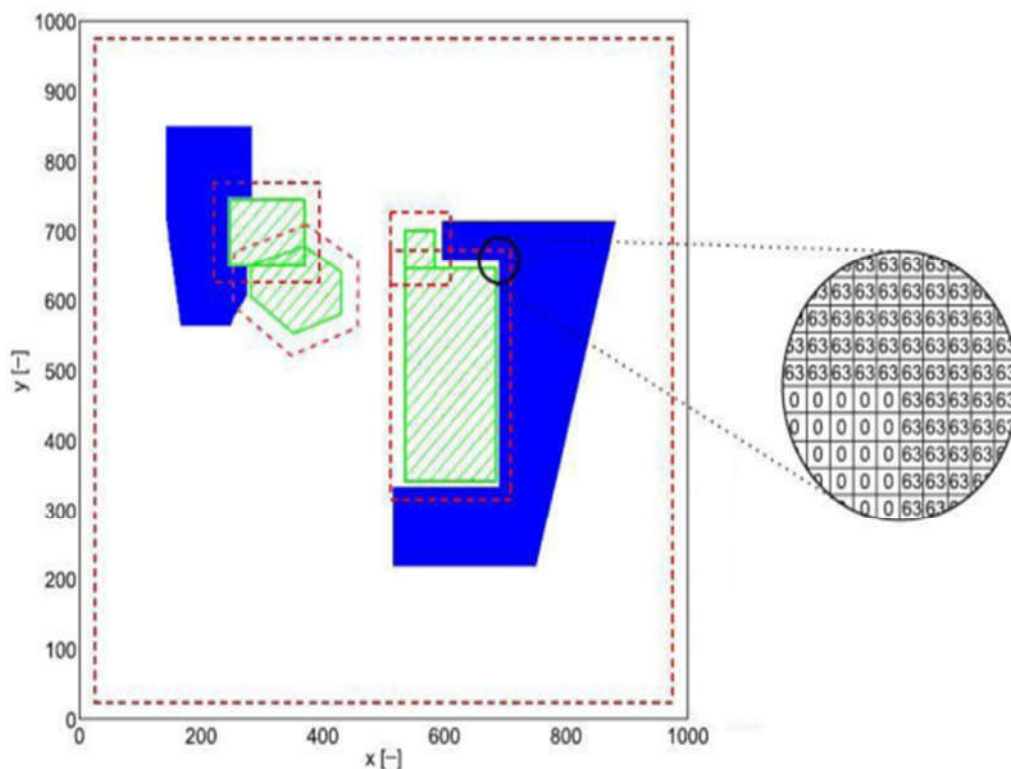
Στη συνάρτηση αυτή περιγράφεται το μέγεθος και η ποιότητα των περιοχών ενδιαφέροντος που επιτηρούνται από ένα σμήνος αεροχημάτων X . Οι τιμές που λαμβάνονται είναι μεταξύ 0 και A_{max} , με τα σημεία τα οποία κρίνει ο χειριστής ότι είναι κρίσιμα προς παρατήρηση λαμβάνουν την τιμή A_{max} , ενώ τα σημεία τα οποία δε δύναται να παρατηρηθούν από το σμήνος παίρνουν την τιμή 0.

Θεωρούμε στο παράδειγμα αυτό ότι τα αεροχήματα που πετούν στο βέλτιστο ύψος παρέχουν ικανοποιητικές πληροφορίες στο χειριστή. Με την αλλαγή του υψομέτρου αυτού δεν προσφέρονται περισσότερες πληροφορίες, αντιθέτως υπάρχει μείωση των πληροφοριών με την αύξηση της επιτηρούμενης περιοχής S_i . Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να ληφθούν είτε από ένα αερόχημα το οποίο πετάει στο βέλτιστο ύψος (αφού έτσι λαμβάνει την τιμή A_{max}) είτε από ένα σμήνος αεροχημάτων όπου το σύνολο των πληροφοριών προκύπτει από τον υπολογισμό της συνάρτησης βελτιστοποίησης.



Βιομηχανική περιοχή προς επιτήρηση

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται μία βιομηχανική περιοχή η οποία έχει επιλεχθεί προς επιτήρηση. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που αναφέραμε για τη συνάρτηση βελτιστοποίησης, η παραπάνω περιοχή μεταφράζεται ως εξής στον άξονα x-y:



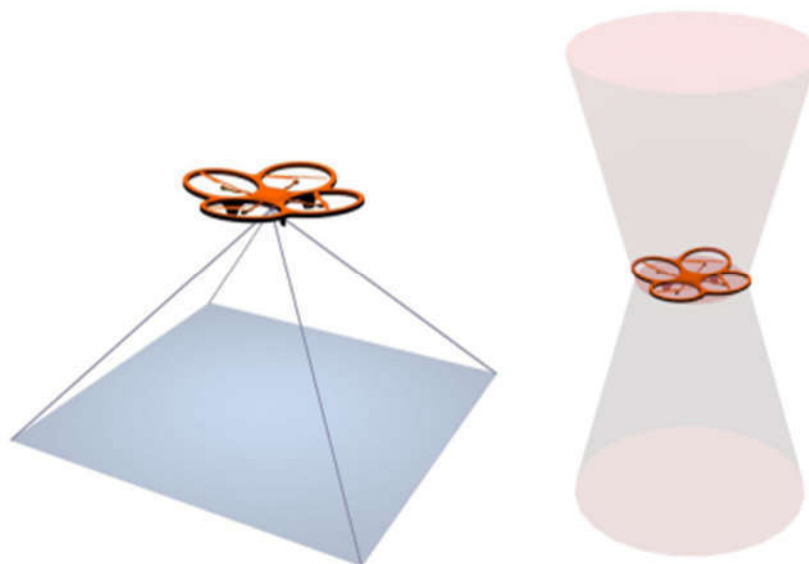
Χάρτης της βιομηχανικής περιοχής με απεικονισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος

Στο σχήμα φαίνεται ότι οι περιοχές ενδιαφέροντος λαμβάνουν τη μέγιστη τιμή της συνάρτησης, ήτοι 63, ενώ τα εμπόδια λαμβάνουν μηδενική τιμή καθώς δεν προσφέρουν καμία πληροφορία στο χειριστή. Με αυτό τον τρόπο το σμήνος δίνει προτεραιότητα στην παρατήρηση περιοχών που έχουν μεγαλύτερη αξία.

Έχοντας αναφερθεί στην επιλογή των περιοχών με τη μεγαλύτερη αξία πληροφορίας, πρόβλημα της κατανομής των αεροχημάτων στη συνάρτηση βελτιστοποίησης παραμένει. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιείται η μέθοδος PSO, μία υπολογιστική μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση ενός προβλήματος.

Κατά την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιεί ένα πληθυσμό, όπως το σμήνος των αεροχημάτων στο παράδειγμα μας, με σκοπό να οδηγήσει το σμήνος προς τη βέλτιστη λύση. Η μέθοδος PSO εκμεταλλεύεται τη νοημοσύνη του σμήνους όπου κάθε μέλος αποφεύγει να συγκρουστεί με κάποιο άλλο, μειώνοντας έτσι την υπολογιστική δύναμη που θα χρειαστεί.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, το υπολογιστικό πρόγραμμα κωδικοποιεί της θέσεις των αεροχημάτων χρησιμοποιώντας τους δύο περιορισμούς που διαφαίνονται στο παρακάτω σχήμα, οι οποίοι έχουν να κάνουν με την περιοχή που επιτηρεί το κάθε αερόχημα καθώς και με μία κυλινδρική περιοχή γύρω από το αερόχημα η οποία έχει σκοπό την αποφυγή συγκρούσεων.



Απεικόνιση των περιορισμών που εφαρμόζονται στη μέθοδο PSO (Saska, 2016)

Η απλή αυτή περιγραφή των συντεταγμένων των αεροχημάτων στην μέθοδο βελτιστοποίησης περιλαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες για την αποφυγή οποιαδήποτε σύγκρουσης μεταξύ των μελών του σμήνους.

Σαν επόμενο βήμα εφαρμόζεται ένας απλός αλγόριθμος βελτιστοποίησης της πορείας που θα ακολουθήσει κάθε μέλος του σμήνους. Εδώ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό του εν λόγω αλγόριθμου, αν υφίσταται η δυνατότητα το μέλος του σμήνους να κινηθεί από τη αρχική θέση στην προτεινόμενη.

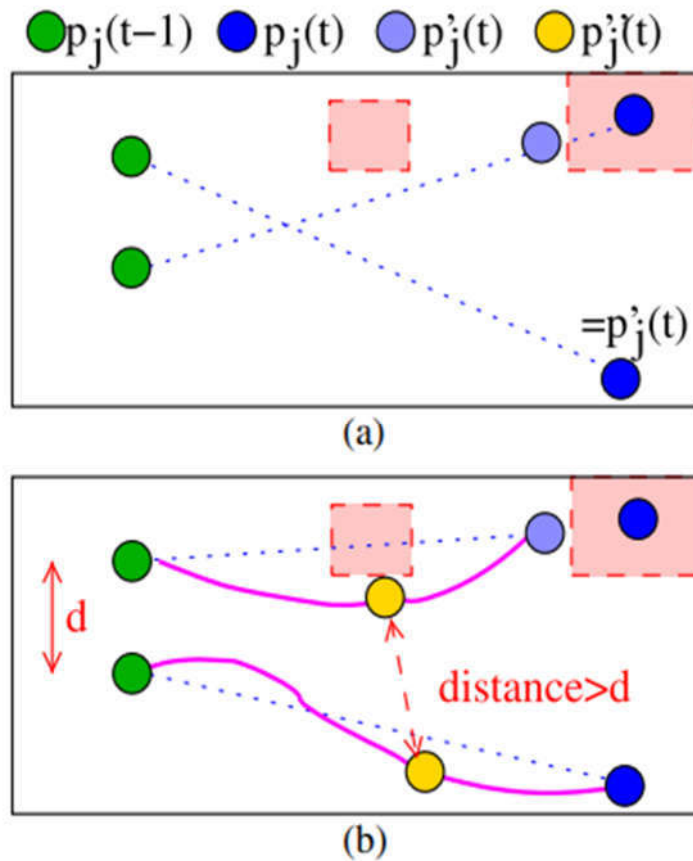
Η εξίσωση που χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης για να υπολογίσει την πορεία του κάθε μέλους του σμήνους είναι η παρακάτω:

$$p_j(t) = p_j(t - 1) + u_j(t)$$

όπου $p_j(t)$ η τελική θέση του αεροχήματος, $p_j(t - 1)$ η προηγούμενη θέση του αεροχήματος και $u_j(t)$ η ταχύτητα του αεροχήματος. Με την εξίσωση αυτή υπολογίζουμε την πορεία κάθε αεροχήματος σε κάθε χρονική στιγμή.

Κατά το υπολογισμό αυτό θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ως περιορισμό την πιθανότητα η πορεία κάποιου από τα αεροχήματα να συμπίσει με την πορεία κάποιου άλλου μέλους του σμήνους.

Το γεγονός αυτό μπορεί να αποφευχθεί εάν ελεγχθούν οι πιθανές πορείες των μελών του σμήνους πριν από την εφαρμογή τους όπως διαφαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



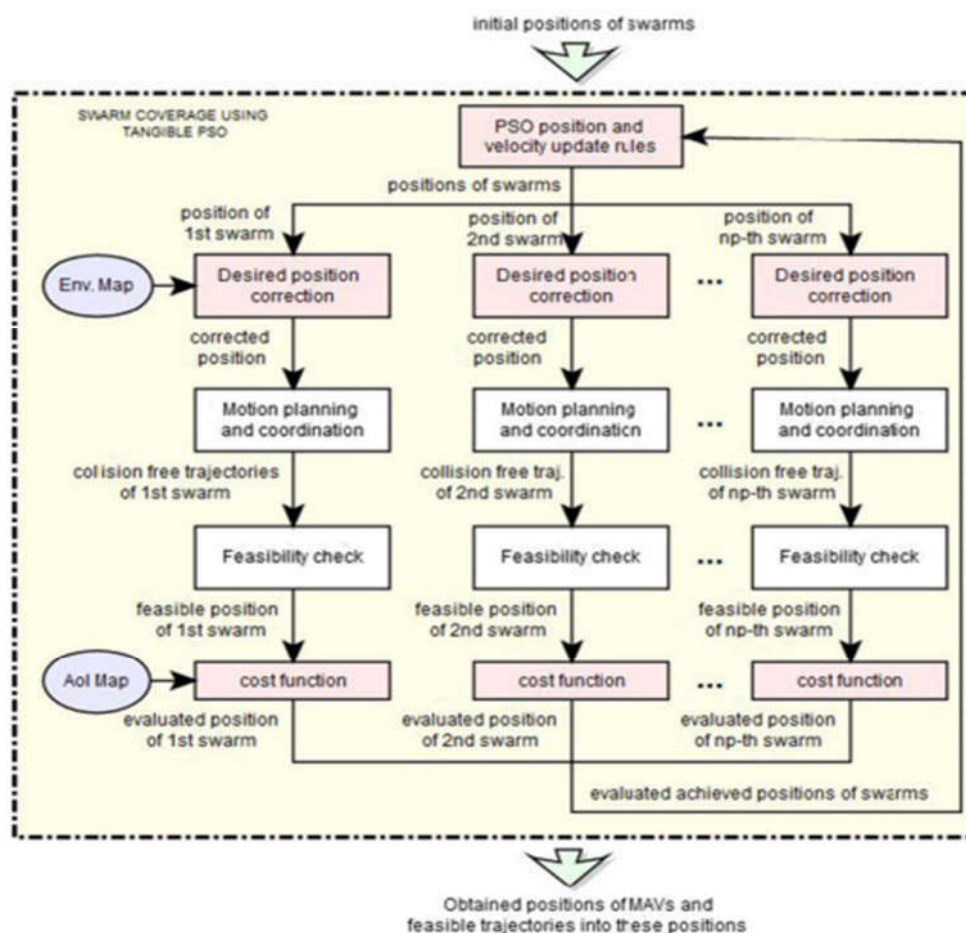
Μεταβολή της πορείας δύο μελών του σμήνους προς αποφυγή σύγκρουσης

Στο πρώτο σχήμα απεικονίζονται δύο πιθανές πορείες των αεροχημάτων που προκύπτουν από τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Όπως γίνεται κατανοητό εάν τα μέλη του σμήνους ακολουθήσουν τις προτεινόμενες πορείες θα υπάρξει σύγκρουση. Για το λόγο αυτό γίνεται εναλλαγή του τελικού προορισμού για κάθε αερόχημα με αποτέλεσμα να αποφευχθεί η σύγκρουση αλλά και να εκτελεστεί η αποστολή.

Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου αποδείχθηκε και πειραματικά από τον Saska (2016), όπου σε 200 εφαρμογές της παραπάνω μεθόδου βελτιστοποίησης, στις οποίες προκύπτουν περισσότερες από 500.000 πιθανές πορείες για τα μέλη των σμηνών, αποφεύχθηκαν πάνω από 96% πιθανών συγκρούσεων.

Στην προσομοίωση ελέγχεται επίσης και η πιθανότητα να μη μπορούν τα αεροχήματα να ακολουθήσουν μία πιθανή πορεία λόγω περιορισμών κίνησης.

Η μέθοδος αυτή που περιγράφεται αναλυτικά και στο επόμενο γράφημα, εξασφαλίζει τη βέλτιστη κατανομή του σμήνους, όπου σε συνδυασμό με την επιλογή της βέλτιστης πορείας σε συσχέτιση με την αποστολή από το χειριστή, εξασφαλίζουν την καλύτερη δυνατή προετοιμασία.



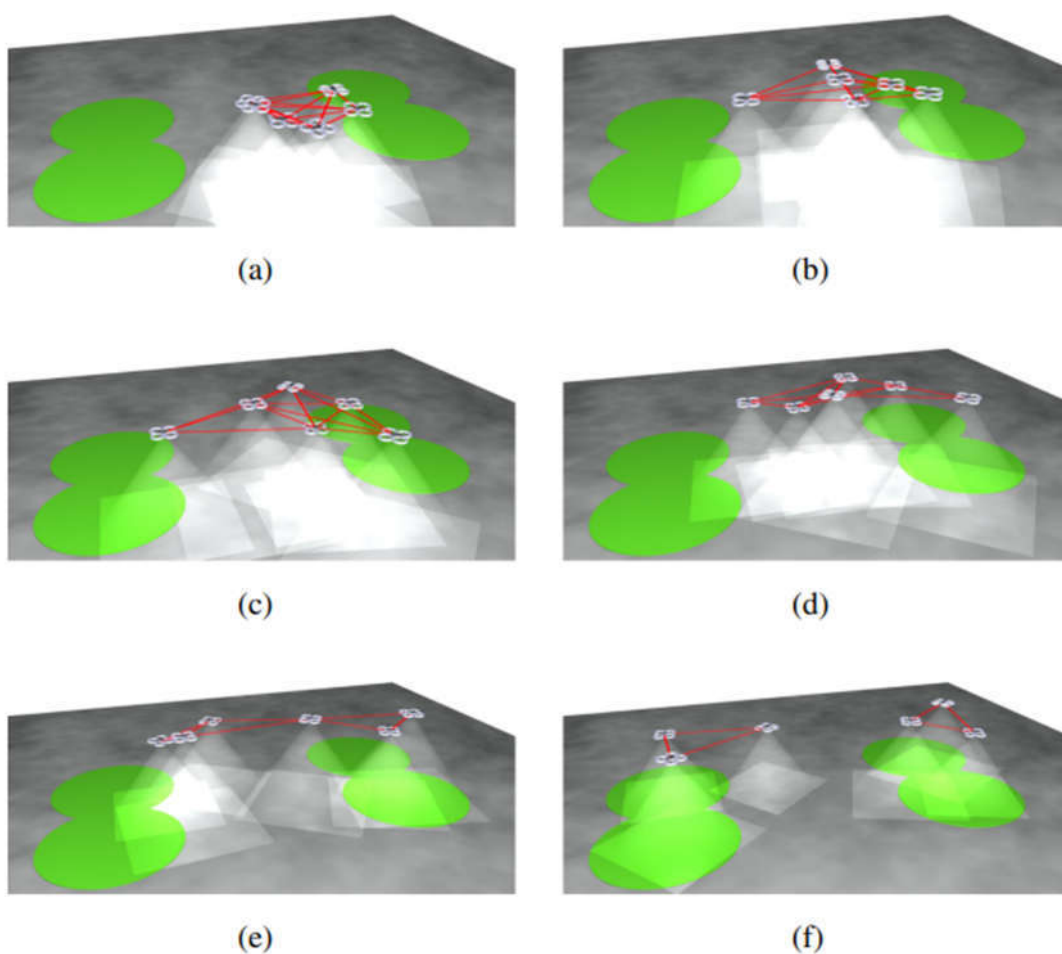
Σχεδιασμός του αλγόριθμου βελτιστοποίησης (Saska, 2016)

Γίνεται κατανοητή η πολυπλοκότητα που υπάρχει στην προετοιμασία για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής που θα ακολουθήσουν τα αεροχήματα του σμήνους. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η διαδικασία της προσομοίωσης πραγματοποιείται στο στάδιο της σχεδίασης με σκοπό την επιλογή της καταλληλότερης διαδρομής. Σε πραγματικές συνθήκες όμως επειδή μπορεί να προκύψουν διάφορες δυσχέρειες, ο

παραπάνω τρόπος σκέψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη αναπροσαρμογή της κατανομής του σμήνους.

Έχοντας αναφερθεί στο πλαίσιο λειτουργίας του αλγόριθμου βελτιστοποίησης καθώς και στον τρόπο σκέψης πίσω από αυτόν, θα αναφερθούμε στη συνέχεια σε μία εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου από τους Saska et al με ένα σμήνος 6 αεροχημάτων

Στην πρώτη προσομοίωση που πραγματοποίησαν οι Saska et al χρησιμοποίησαν στοιχεία για ένα σμήνος 6 αεροχημάτων σε μία περιοχή χωρίς εμπόδια όπως διαφαίνεται και στο επόμενο σχήμα:



Κάθε αερόχημα συνδέεται με τα υπόλοιπα μέλη του σμήνους με σκοπό τη μεταφορά δεδομένων είτε συνολικά είτε μέσω ενός κεντρικού αεροχήματος. Οι

περιοχές ενδιαφέροντος είναι οι πράσινοι κύκλοι τους οποίους τα μέλη του σμήνους επιχειρούν να επιτηρήσουν.

Στο πείραμα αυτό γίνεται κατανοητή η ανάπτυξη του σμήνους με σκοπό την επιτήρηση εχθρικής περιοχής, με δεδομένο ότι δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο στην περιοχή ενδιαφέροντος. Σε πραγματικές συνθήκες, όπως έχει γίνει ήδη αντιληπτό, θα υπάρχουν παρεμβολές και εμπόδια. Για το λόγο αυτό σε συνέχεια των προσομοιώσεων που πραγματοποίησαν οι Saska et al, εφάρμοσαν το μοντέλο τους σε πραγματικές συνθήκες.

Στις συνθήκες αυτές οι ερευνητές επιδίωξαν να επιβεβαιώσουν εάν τα αεροχήματα ενός σμήνους δύναται να εκτελέσουν την αποστολή και να διατηρήσουν τη συνδεσιμότητά τους. Με το πείραμα αυτό οι ερευνητές δημιούργησαν τις συνθήκες ώστε τα αεροχήματα του σμήνους να αναπτυχθούν με τον τρόπο που θα επιτηρούσαν μια πραγματική περιοχή ενδιαφέροντος.

Από τη στιγμή που η περιοχή ενδιαφέροντος είναι γνωστή στο χειριστή, ξεκινάει η διαδικασία σχεδιασμού της κατανομής και ανάπτυξης του σμήνους αεροχημάτων. Η διαδικασία αυτή αποτελεί, όπως έχει ήδη αναλυθεί στην παρούσα εργασία, σημαντικό κομμάτι της αποστολής.

Στη συνέχεια το προτεινόμενο πλάνο και πιθανές αλλαγές σε αυτό, αποστέλλονται στα αεροχήματα, τα οποία διατηρούνται σε τέτοια θέση ώστε να διατηρούν τη συνδεσιμότητά τους. Παρά το γεγονός ότι τα αεροχήματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μικρών προδιαγραφών, περιορίζοντας έτσι τις αποστάσεις που μπορούσαν να κινηθούν, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης παράγει ασφαλή και ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την κατανομή του σμήνους.

Έχοντας αναφέρει την εφαρμογή του αλγόριθμού βελτιστοποίησης σε πειραματικές συνθήκες, στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε μερικές πραγματικές εφαρμογές της κατανομής και ανάπτυξης σμηνών αεροχημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εφαρμογές της ανάπτυξης αεροχημάτων

§1. Εισαγωγή

Έχοντας περιγράψει τη διαδικασία κατανομής και ανάπτυξης σμηνών αεροχημάτων, στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε σε μερικά παραδείγματα χρήσης της τεχνικής αυτής σε πραγματικές συνθήκες.

§2. Παραδείγματα εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες

Τα αεροχήματα αναγνωρίστηκαν ως ζωτικός παράγοντας μέσω διαφόρων αποδεδειγμένων περιστάσεων σε πρόσφατες συγκρούσεις, όπως η Ρωσική Εισβολή στην Ουκρανία και ο Πόλεμος Αρμενίας-Αζερμπαϊτζάν. Αυτή τη στιγμή, η πλειονότητα των έτοιμων για μάχη αεροχημάτων ελέγχονται απομακρυσμένα. Αν και υπάρχει κάποιο επίπεδο αυτοματισμού στα αεροχήματα, είναι ακόμα απαραίτητοι οι χειριστές.

Ζούμε σε μια εποχή όπου τα αναπτυσσόμενα αεροχήματα χρησιμοποιούνται για παραδόσεις και αποστολές έρευνας και διάσωσης. Το περιβάλλον όμως στο στρατιωτικό πεδίο είναι πιο πολύπλοκο από αυτό στον πολιτικό τομέα.. Λόγω όμως της μοναδικότητας και της ασφάλειας της στρατιωτικής δραστηριότητας, υπάρχει έλλειψη δεδομένων που σχετίζονται με τις στρατιωτικές επιχειρήσεις.

Όπως παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία, παρά την έλλειψη δεδομένων, η χρήση σμηνών αεροχημάτων για την επιτήρηση πεδίων αυξάνεται ολοένα και περισσότερο.

Σε σενάριο στο οποίο εφαρμόσθηκε η ανάπτυξη σμηνών με σκοπό τη συνεργατική επιτήρηση των Lee et al, χρησιμοποιήθηκε παρόμοια τεχνική με τον αλγόριθμο

βελτιστοποίησης που αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, προσθέτοντας τη δυνατότητα στα αεροχήματα να ανιχνεύουν εχθρικά τεθωρακισμένα οχήματα.

Ένα σμήνος αεροχημάτων χρησιμοποιείται για την ανίχνευση εχθρικών τεθωρακισμένων οχημάτων με σκοπό τη μεταβίβαση πληροφοριών στον χειριστή. Στην περιοχή θεωρείται ότι υπάρχουν εμπόδια αλλά και η πιθανότητα να καταριφθεί μέλος του σμήνους, προσομοιώνοντας όσο το δυνατόν πραγματικές συνθήκες.

Μέσω της χρήσης υπολογιστικού λογισμικού, σε συνδυασμό με τη χρησιμοποίηση φωτογραφιών από τεθωρακισμένα οχήματα με σκοπό τη δημιουργία βάσης δεδομένων στα αεροχήματα ώστε να μπορούν να τα ανιχνεύσουν σε πραγματικές συνθήκες, το λογισμικό δημιουργεί περισσότερες από 400 φωτογραφίες τις οποίες τα αεροχήματα συγκρίνουν με την «εικόνα» που λαμβάνουν σε πραγματικό χρόνο. Παρακάτω φαίνονται μερικές από τις φωτογραφίες που χρησιμοποίησαν οι Lee et al για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων.

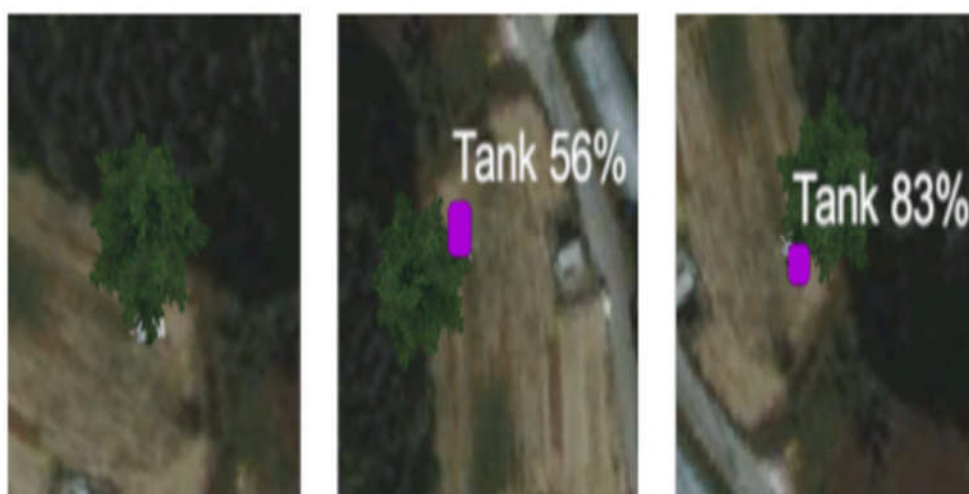


Δείγμα φωτογραφιών (Lee et al, 2024)

Γίνεται κατανοητό ότι χρησιμοποιήθηκαν πραγματικές φωτογραφίες ενισχυμένες με 3D στοιχεία προκειμένου να δημιουργηθεί μεγαλύτερη ευχέρεια στα αεροχήματα του σμήνους να ξεχωρίσουν τα πραγματικά τεθωρακισμένα οχήματα.

Η χρησιμοποίηση ενός σμήνους από αεροχήματα επιλύει και ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα σύμφωνα με τους ερευνητές. Σε πραγματικές συνθήκες τα εχθρικά τεθωρακισμένα οχήματα θα είναι καλυμμένα προσπαθώντας να μεταβάλλουν

το σχήμα τους για να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα να εντοπιστούν. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι πληροφορίες που μεταφέρονται στο χειριστή μπορεί να μην είναι αρκετές ώστε να λάβει την απόφαση της εμπλοκής. Στο ζήτημα αυτό τα πολλαπλά μέλη του σμήνους βοηθούν με την παροχή επιπλέον σημείων παρατήρησης, αυξάνοντας έτσι και το επίπεδο έμπιστης παροχής πληροφοριών.



Το επίπεδο έμπιστης πρόβλεψης αυξάνεται με την παροχή περισσότερων πληροφοριών

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, το σύνολο των πληροφοριών που προσφέρει το σμήνος των αεροχημάτων στο χειριστή αυξάνει την πιθανότητα αναγνώρισης σε πολύ μεγάλο βαθμό, ειδικά αν αναλογιστούμε ότι με ένα μόνο αερόχημα το εχθρικό τεθωρακισμένο δε θα γινόταν αντιληπτό.

Τα σμήνη αεροχημάτων χρησιμοποιούνται όμως και σε άλλους τομείς εκτός από το στρατιωτικό. Οι αεροπορικές επιδείξεις με drone θεωρούνται ένα από τα πιο επιτυχημένες εφαρμογές ψυχαγωγίας των σμηνών UAV. Το 2016, η Intel έκανε το πρώτο παγκόσμιο ρεκόρ Γκίνες για τα περισσότερα UAVs που βρίσκονται ταυτόχρονα στον αέρα με έναν σχηματισμό 100 μη επανδρωμένων αεροσκαφών εξοπλισμένων με LEDs, ακολουθούμενο από ένα άλλο ρεκόρ 500 μη επανδρωμένων αεροσκαφών το ίδιο

έτος 2. Το τελευταίο ρεκόρ της μεγαλύτερης επίδειξης μη επανδρωμένων αεροσκαφών πραγματοποιήθηκε από την Intel το 2018 με 2018 drones .Σε τέτοιες παραστάσεις, κάθε αερόχημα είναι συνήθως ένα απλό τετρακόπτερο εξοπλισμένο με ένα ενσωματωμένο ελεγκτή πτήσης, αισθητήρα GPS για τον εντοπισμό θέσης και μια μονάδα επικοινωνίας.

Ο επίγειος σταθμός χρησιμοποιείται για τον προυπολογισμό των απαιτούμενων επιμέρους αποστολών (τροχιές χωρίς συγκρούσεις σε ανοικτό τρισδιάστατο χώρο) όλων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών κατά τη διάρκεια της επίδειξης. Στη συνέχεια, κάθε αποστολή μεταφορτώνεται στον αντίστοιχο μη επανδρωμένο αεροσκάφος, το οποίο εκτελείται από το ενσωματωμένο ελεγκτή πτήσης.

Ο επίγειος σταθμός επίσης συνεχώς παρακολουθεί την κατάσταση του σμήνους κατά τη διάρκεια της παράστασης και παρέχει ελέγχους για τυχόν απαιτούμενες ενέργειες έκτακτης ανάγκης. Κατά την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης πολλαπλών σταδίων σε ένα καταναεμημένο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε βέλτιστη λύση όπως έχει αποδειχθεί και στην παρούσα εργασία.

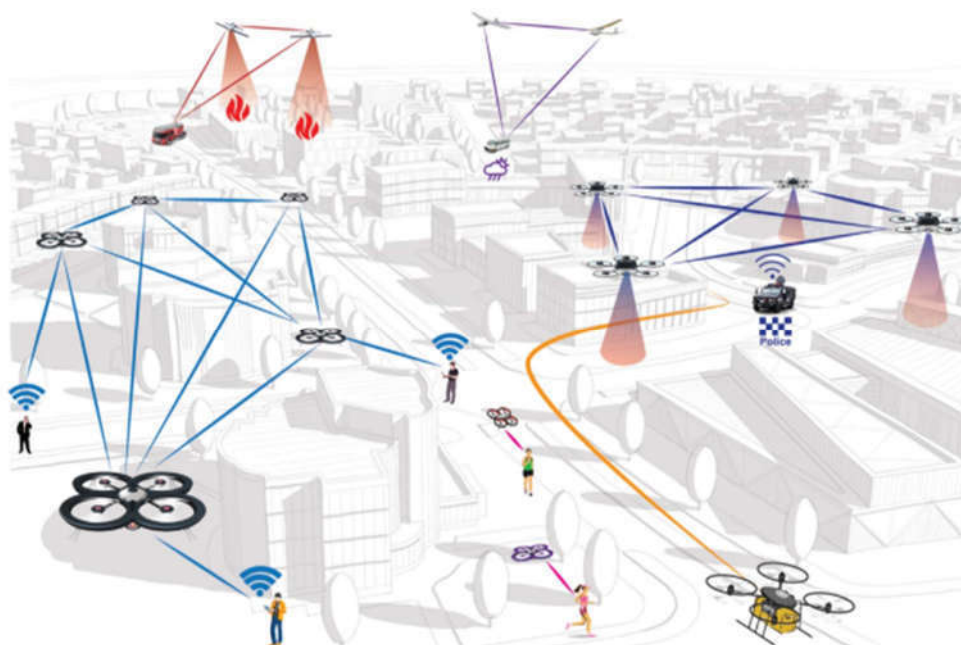
Όσον αφορά τον τομέα της ασφάλειας, αποτελεί πλέον θέμα χρόνου να αναπτυχθούν σμήνη από μη επανδρωμένα αεροσκάφη με σκοπό τη βιομηχανική και εμπορική ασφάλεια σε όλο τον κόσμο. Λόγω των ταχέων εξελίξεων στον τομέα των drone και της τεχνητής νοημοσύνης καθώς και την αισθητή μείωση της τιμής, αρκετές εταιρίες όπως η Amazon, επενδύουν σε σμήνη από αεροχήματα για την εναέρια επιτήρηση παρακολούθησης των αποθηκών τους.

Τα σμήνη αεροχημάτων παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους (σταθερές κάμερες CCTV και ανθρώπινες περιπολίες), όπως η επέκταση των επιτηρούμενων περιοχών, καθώς και η μείωση των κινδύνων σε προσωπικό που συνδέεται με τις ανθρώπινες περιπολίες.

Τα σμήνη μη επανδρωμένων αεροσκαφών , σε αντίθεση με τα απλά αεροχήματα, έχουν περαιτέρω πλεονεκτήματα καθώς μπορούν να καλύψουν πολύ μεγαλύτερες περιοχές σε συντομότερους χρόνους. Με τη δυνατότητα να διαθέτουν νοημοσύνη(ΑΙ) , τα αεροχήματα όχι μόνο είναι σε θέση να συλλέγουν πληροφορίες για αντικείμενα που

ανιχνεύονται και αναγνωρίζονται αυτόματα όπως κίνδυνοι στην περιουσία των ιδιοκτητών , αλλά είναι και σε θέση, ως σμήνος, να αυτοσυντονίζονται τα καθήκοντά τους και να συνεργάζονται προκειμένου να επιτελέσουν καθήκοντα επιτήρησης, όπως η βέλτιστη κάλυψη περιοχής , προστασία συνοδείας σε μια ομάδα επίγειων οχημάτων , επιτήρηση κρίσιμων περιοχών.

Εκτός από τη περιπτώσεις που ήδη χρησιμοποιούνται σμήνη αεροχημάτων , υπάρχει ενδιαφέρον από πολλούς ερευνητές για το πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα σμήνη στο μέλλον. Οι Elbanhawi et al (2017) ερεύνησαν παρουσίασαν μερικές από τις πιθανές χρήσεις , όπως στο παρακάτω σχήμα:



Χρήσεις σμηνών αεροχημάτων (Elbanhawi et al, 2017)

Οι πλήρως αυτόνομες λειτουργίες αποτελούν σημαντικό ορόσημο στην τεχνολογική ωριμότητα των MAV. Αυτό το ορόσημο αμφισβητείται, πρώτον, από την έλλειψη συναίνεσης σχετικά με τον ορισμό της αυτονομίας, τη χρήση της ορολογίας και την ποσοτικοποίηση της.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται ευρέως για στρατιωτική αναγνώριση και επιτήρηση. Μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές και να παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τις κινήσεις του εχθρού, την τοποθεσία των στρατιωτικών βάσεων και άλλες κρίσιμες πληροφορίες. Η χρήση πολλαπλών αεροχημάτων επιτρέπει την συλλογή δεδομένων από πολλές γωνίες και ύψη, καθιστώντας δυνατή την ολοκληρωμένη ανάλυση του πεδίου μάχης.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να διανεμηθούν σε ευρεία περιοχή για τη συλλογή πληροφοριών χωρίς την ανάγκη για ένα κεντρικό σημείο παρακολούθησης. Αυτό το χαρακτηριστικό τα καθιστά ιδανικά για αποστολές σε επικίνδυνες ή δυσπρόσιτες περιοχές, όπου η χρήση επανδρωμένων οχημάτων μπορεί να είναι επικίνδυνη ή ανέφικτη.

Εκτός από την αναγνώριση, τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιθετικές ενέργειες. Μπορούν να φέρουν ελαφρύ οπλισμό και να επιτεθούν σε εχθρικούς στόχους με μεγάλη ακρίβεια. Η χρήση πολλαπλών αεροχημάτων που δρουν συντονισμένα αυξάνει την αποτελεσματικότητα της επίθεσης και μειώνει την πιθανότητα αποτυχίας.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτρονικό πόλεμο, διαταράσσοντας τα συστήματα επικοινωνίας του εχθρού και προκαλώντας σύγχυση στις επιχειρήσεις του. Με τη χρήση εξοπλισμού παρεμβολής, τα αεροχήματα μπορούν να διαταράξουν τις ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται για τη συντονισμένη δράση του εχθρού, μειώνοντας την ικανότητά του να οργανώνει τις δυνάμεις του.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία στρατιωτικών εγκαταστάσεων. Μπορούν να περιπολούν συνεχώς γύρω από τις εγκαταστάσεις, ανιχνεύοντας τυχόν απειλές και παρέχοντας άμεση απόκριση σε ενδεχόμενες επιθέσεις. Η δυνατότητα συνεχούς επιτήρησης και η ταχεία ανταπόκριση καθιστούν τα σμήνη πολύτιμα για την προστασία κρίσιμων υποδομών.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται ευρέως για την επιτήρηση και την ασφάλεια σε αστικές και αγροτικές περιοχές. Μπορούν να παρακολουθούν μεγάλες εκτάσεις γης, καταγράφοντας οποιαδήποτε ύποπτη δραστηριότητα και ενημερώνοντας τις αρχές σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται για την προστασία σημαντικών εγκαταστάσεων, όπως εργοστάσια, αποθήκες και άλλες βιομηχανικές ζώνες.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση της κυκλοφορίας στις μεγάλες πόλεις. Με τη συνεχή παρακολούθηση των δρόμων, μπορούν να εντοπίζουν σημεία συμφόρησης και να ενημερώνουν τους οδηγούς για εναλλακτικές διαδρομές. Επίσης, μπορούν να συνδράμουν στην ταχεία απόκριση σε τροχαία ατυχήματα, παρέχοντας πληροφορίες στις αρχές για την καλύτερη διαχείριση της κατάστασης.

Σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, τα σμήνη από αεροχήματα είναι ανεκτίμητα εργαλεία για τις ομάδες έρευνας και διάσωσης. Μπορούν να ανιχνεύουν επιζώντες σε δυσπρόσιτες περιοχές, να αξιολογούν τις ζημιές και να παρέχουν άμεσες πληροφορίες στους διασώστες. Η χρήση τους αυξάνει την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα των επιχειρήσεων διάσωσης, σώζοντας ζωές.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται επίσης για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος. Μπορούν να συλλέγουν δεδομένα για την ποιότητα του αέρα, των υδάτων και του εδάφους, βοηθώντας τις αρχές να εντοπίζουν και να διαχειρίζονται περιβαλλοντικά προβλήματα. Επίσης, μπορούν να παρακολουθούν την κατάσταση των δασών, να ανιχνεύουν πυρκαγιές και να συνδράμουν στην πρόληψη φυσικών καταστροφών.

Μία από τις πλέον αναπτυσσόμενες εφαρμογές των σμηνών από αεροχήματα είναι η παράδοση αγαθών. Εταιρείες όπως η Amazon και η Google χρησιμοποιούν σμήνη για την ταχεία και ασφαλή παράδοση δεμάτων στους πελάτες τους. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας μειώνει τον χρόνο παράδοσης και το κόστος, ενώ παράλληλα βελτιώνει την εμπειρία του πελάτη.

Στη συνέχεια κρίνεται σκόπιμο να γίνει μία γενική αναφορά σε χρήσεις των σμηνών αεροχημάτων σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους, προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η πολλαπλή χρησιμότητά τους.

Στη γεωργία, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των καλλιεργειών, την ανίχνευση προβλημάτων και την εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με ακρίβεια. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας βελτιώνει την αποδοτικότητα της παραγωγής, μειώνει το κόστος και προστατεύει το περιβάλλον από την υπερβολική χρήση χημικών.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση και την τοπογραφία, παρέχοντας ακριβείς και λεπτομερείς χάρτες μεγάλων περιοχών σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτή η τεχνολογία είναι πολύτιμη για την κατασκευή έργων υποδομής, την ανάπτυξη πόλεων και την επιστημονική έρευνα.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση υποδομών όπως γέφυρες, κτίρια και δίκτυα μεταφοράς ενέργειας. Η χρήση αεροχημάτων για την επιθεώρηση επιτρέπει την ανίχνευση προβλημάτων σε δυσπρόσιτες περιοχές και μειώνει την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση σε επικίνδυνες καταστάσεις.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται επίσης στην ψυχαγωγία και στις εκδηλώσεις. Χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση θεαματικών αεροπορικών επιδείξεων, φωτεινών σόου και άλλων καλλιτεχνικών εκδηλώσεων. Η χρήση αεροχημάτων σε αυτές τις περιπτώσεις δημιουργεί εντυπωσιακά και πρωτότυπα θεάματα που εντυπωσιάζουν το κοινό.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με το κλίμα και τις περιβαλλοντικές αλλαγές. Μπορούν να παρακολουθούν την ατμόσφαιρα, να μετρήσουν τη θερμοκρασία, την υγρασία, και άλλους κλιματικούς παράγοντες, βοηθώντας τους επιστήμονες να κατανοήσουν καλύτερα τις κλιματικές αλλαγές και να αναπτύξουν στρατηγικές για την αντιμετώπισή τους.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της βιοποικιλότητας και της οικολογίας. Μπορούν να παρακολουθούν τη συμπεριφορά των ζώων, να καταγράφουν τις αλλαγές στη βλάστηση και να ανιχνεύουν περιβαλλοντικές απειλές, όπως η αποψίλωση των δασών και η ρύπανση των υδάτων. Η χρήση τους βοηθά τους επιστήμονες να διατηρήσουν και να προστατεύσουν τα οικοσυστήματα.

Στην γεωλογία, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την εξερεύνηση και την ανάλυση γεωλογικών σχηματισμών. Μπορούν να χαρτογραφήσουν περιοχές που είναι δύσκολα προσβάσιμες, να ανιχνεύσουν μεταλλεύματα και να παρακολουθούν τις γεωλογικές αλλαγές σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας επιταχύνει τη γεωλογική έρευνα και βελτιώνει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται επίσης στη θαλάσσια έρευνα. Μπορούν να παρακολουθούν τις θαλάσσιες εκτάσεις, να ανιχνεύουν αλλαγές στα θαλάσσια οικοσυστήματα και να συλλέγουν δεδομένα για την ποιότητα των υδάτων. Η χρήση τους βοηθά τους επιστήμονες να κατανοήσουν καλύτερα τα θαλάσσια περιβάλλοντα και να αναπτύξουν στρατηγικές για την προστασία τους.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παράδοση ιατρικών εφοδίων σε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές. Μπορούν να μεταφέρουν φάρμακα, εμβόλια, αίμα και άλλες κρίσιμες προμήθειες σε περιοχές που έχουν πληγεί από καταστροφές ή σε περιοχές με ανεπαρκή ιατρική υποδομή. Αυτή η χρήση βοηθά στη βελτίωση της πρόσβασης στην υγειονομική περίθαλψη και στη μείωση του χρόνου απόκρισης σε έκτακτες καταστάσεις.

Σε επείγουσες ιατρικές καταστάσεις, τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να παρέχουν γρήγορη και αξιόπιστη μεταφορά ιατρικών προμηθειών και εξοπλισμού. Μπορούν να παραδίδουν απινιδωτές, αναπνευστικές συσκευές και άλλα απαραίτητα ιατρικά εργαλεία σε περιοχές όπου η ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να καθυστερήσει λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης ή φυσικών εμποδίων.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη στήριξη της τηλεϊατρικής και της διάγνωσης. Μπορούν να συλλέγουν δείγματα από ασθενείς και να τα μεταφέρουν σε κεντρικά εργαστήρια για ανάλυση. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά φορητών διαγνωστικών συσκευών σε απομακρυσμένες περιοχές, επιτρέποντας στους γιατρούς να πραγματοποιούν εξετάσεις και να παρέχουν ιατρικές συμβουλές εξ αποστάσεως.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να συμβάλλουν στην παρακολούθηση της δημόσιας υγείας. Μπορούν να συλλέγουν δεδομένα για την εξάπλωση των ασθενειών, να παρακολουθούν τις συνθήκες υγιεινής σε διάφορες περιοχές και να παρέχουν πληροφορίες για την αποτελεσματικότητα των μέτρων δημόσιας υγείας. Η χρήση τους βοηθά τις αρχές να λάβουν γρήγορα και ενημερωμένα μέτρα για την προστασία της δημόσιας υγείας.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση κατασκευών, όπως γέφυρες, κτίρια και δρόμοι. Μπορούν να εντοπίζουν δομικά προβλήματα και να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για την κατάσταση των υποδομών, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση και συντήρηση. Η χρήση τους μειώνει τον κίνδυνο για τους εργαζομένους και αυξάνει την αποτελεσματικότητα των επιθεωρήσεων.

Στην κατασκευή έργων, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της προόδου των εργασιών. Μπορούν να παρέχουν αεροφωτογραφίες και βίντεο σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας τους διαχειριστές έργων να παρακολουθούν την εξέλιξη και να εντοπίζουν τυχόν καθυστερήσεις ή προβλήματα. Η χρήση τους βελτιώνει την επικοινωνία και τη συντονισμένη δράση μεταξύ των ομάδων έργου.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση και την τοπογραφία σε κατασκευαστικά έργα. Μπορούν να δημιουργήσουν ακριβείς τρισδιάστατους χάρτες του εδάφους και να παρέχουν δεδομένα για την ανάλυση του

εδάφους και τη σχεδίαση των κατασκευών. Η χρήση τους επιταχύνει τη διαδικασία σχεδιασμού και βελτιώνει την ακρίβεια των μετρήσεων.

Κατά την κατασκευή μεγάλων έργων υποδομής, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μπορούν να συλλέγουν δεδομένα για την ποιότητα του αέρα, των υδάτων και του εδάφους, βοηθώντας τους υπεύθυνους να διασφαλίσουν ότι οι κατασκευαστικές δραστηριότητες δεν επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών στην εφοδιαστική αλυσίδα. Μπορούν να παρακολουθούν την κίνηση των οχημάτων, να εντοπίζουν εμπόδια και να παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την καλύτερη διαχείριση των μεταφορών. Η χρήση τους μειώνει τον χρόνο παράδοσης και βελτιώνει την αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επείγουσα παράδοση αγαθών. Μπορούν να μεταφέρουν προμήθειες σε περιοχές που έχουν πληγεί από φυσικές καταστροφές, όπως σεισμοί ή πλημμύρες, όπου οι συμβατικές μέθοδοι μεταφοράς μπορεί να είναι ανεπαρκείς ή αδύνατες.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τη διαχείριση αποθεμάτων σε μεγάλες αποθήκες. Μπορούν να καταγράφουν τη θέση και την ποσότητα των αποθεμάτων, να ενημερώνουν τα συστήματα διαχείρισης και να βοηθούν στη βελτιστοποίηση της αποθήκευσης. Η χρήση τους μειώνει τα λάθη και βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης αποθεμάτων.

Στη διαχείριση υποδομών μεταφορών, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση δικτύων όπως σιδηροδρομικές γραμμές, αγωγοί και οδικά δίκτυα. Μπορούν να εντοπίζουν προβλήματα, να παρακολουθούν την κατάσταση των υποδομών και να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη συντήρηση και την επιδιόρθωση των δικτύων.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση θεαματικών αεροπορικών επιδείξεων σε φεστιβάλ και εκδηλώσεις. Μπορούν να δημιουργούν συντονισμένα εναέρια σχήματα και φωτεινά σόου, εντυπωσιάζοντας το κοινό με την ακρίβεια και την ομορφιά των κινήσεών τους. Αυτή η χρήση συνδυάζει την τεχνολογία με την τέχνη, δημιουργώντας μοναδικές εμπειρίες.

Στην κινηματογραφική βιομηχανία, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για τη λήψη εντυπωσιακών εναέριων πλάνων. Μπορούν να πετούν σε σημεία που είναι δύσκολο ή αδύνατο να προσεγγιστούν από επανδρωμένα ελικόπτερα, παρέχοντας νέες οπτικές γωνίες και βελτιώνοντας την ποιότητα της κινηματογραφικής παραγωγής.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται επίσης σε διαφημιστικές εκστρατείες, δημιουργώντας πρωτότυπα και εντυπωσιακά οπτικά εφέ. Μπορούν να πετούν σε σχηματισμούς που σχηματίζουν λογότυπα και μηνύματα, προσελκύοντας την προσοχή του κοινού και δημιουργώντας αξέχαστες διαφημιστικές στιγμές.

Στις διαδραστικές τέχνες, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία εγκαταστάσεων που αλληλεπιδρούν με το κοινό. Μπορούν να αντιδρούν στις κινήσεις και τις ενέργειες των θεατών, δημιουργώντας δυναμικά και συμμετοχικά έργα τέχνης. Αυτή η χρήση εξερευνά τις δυνατότητες της τεχνολογίας για την ενίσχυση της καλλιτεχνικής έκφρασης.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση στελεχών και εργαζομένων σε διάφορους τομείς. Μπορούν να προσομοιώνουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, να διδάσκουν τεχνικές επιθεώρησης και συντήρησης υποδομών και να παρέχουν πρακτική εκπαίδευση σε διάφορες τεχνικές. Η χρήση τους βελτιώνει την ποιότητα της εκπαίδευσης και αυξάνει την ετοιμότητα των εργαζομένων.

Στα εκπαιδευτικά ιδρύματα, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της επιστημονικής έρευνας. Μπορούν να συλλέγουν δεδομένα για τις φυσικές επιστήμες, την περιβαλλοντική επιστήμη, τη γεωγραφία και άλλους τομείς, βοηθώντας τους φοιτητές και τους ερευνητές να πραγματοποιούν μελέτες και πειράματα.

Τα σμήνη από αεροχήματα εντάσσονται επίσης στα προγράμματα σπουδών για την εκπαίδευση νέων επαγγελματιών στον τομέα της ρομποτικής, της μηχανικής και της τεχνολογίας. Η πρακτική εκπαίδευση με τη χρήση αεροχημάτων επιτρέπει στους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τις αρχές της πτήσης, της αυτονομίας και της συνεργασίας μεταξύ ρομπότ.

Σε δημιουργικά εργαστήρια και σχολεία τέχνης, τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την προώθηση της καινοτομίας και της καλλιτεχνικής έκφρασης. Οι μαθητές μπορούν να πειραματιστούν με τον προγραμματισμό και τον έλεγχο των αεροχημάτων, δημιουργώντας πρωτότυπα έργα και εξερευνώντας τις δυνατότητες της τεχνολογίας για τη δημιουργία τέχνης.

Τα σμήνη από αεροχήματα χρησιμοποιούνται για την κοινωνική εποπτεία σε εκδηλώσεις και δημόσιους χώρους. Μπορούν να παρακολουθούν μεγάλες συγκεντρώσεις ανθρώπων, όπως συναυλίες, αθλητικά γεγονότα και διαδηλώσεις, παρέχοντας πληροφορίες για την ασφάλεια και την ομαλή διεξαγωγή των εκδηλώσεων.

Σε καταστάσεις κρίσης, όπως φυσικές καταστροφές και κοινωνικές αναταραχές, τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της κατάστασης και την παροχή πληροφοριών στις αρχές. Μπορούν να ανιχνεύσουν περιοχές που έχουν πληγεί, να παρακολουθούν τις κινήσεις των πληθυσμών και να συνδράμουν στη λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση της κρίσης.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή βοήθειας σε ευάλωτους πληθυσμούς. Μπορούν να παραδίδουν τρόφιμα, νερό και άλλες βασικές προμήθειες σε περιοχές που έχουν πληγεί από φυσικές καταστροφές ή συγκρούσεις. Η χρήση τους βοηθά στη βελτίωση της πρόσβασης σε βοήθεια και στη μείωση των κινδύνων για τους ανθρωπιστικούς εργαζομένους.

Τα σμήνη από αεροχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προώθηση κοινωνικών πρωτοβουλιών και εκστρατειών ενημέρωσης. Μπορούν να μεταφέρουν μηνύματα, να δημιουργούν εντυπωσιακά εικαστικά εφέ και να προσελκύουν την

προσοχή του κοινού σε θέματα όπως η κλιματική αλλαγή, η δημόσια υγεία και η κοινωνική δικαιοσύνη.

Η χρήση των σμηνών από αεροχήματα αντιμετωπίζει σημαντικές νομικές και ρυθμιστικές προκλήσεις. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή κανονισμών που ρυθμίζουν τη χρήση των αεροχημάτων είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας των πολιτών. Οι κανονισμοί πρέπει να καθορίζουν τις περιοχές όπου επιτρέπεται η πτήση, τους κανόνες για την αλληλεπίδραση με άλλα αεροσκάφη και τις προϋποθέσεις για την απόκτηση αδειών χρήσης.

Τα σμήνη από αεροχήματα αντιμετωπίζουν επίσης τεχνικές προκλήσεις, όπως η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η αξιοπιστία των συστημάτων επικοινωνίας και η ανθεκτικότητα σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών των αεροχημάτων και την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.

Η χρήση των σμηνών από αεροχήματα εγείρει επίσης ηθικά ζητήματα, όπως η ιδιωτικότητα, η ασφάλεια και η υπεύθυνη χρήση της τεχνολογίας. Οι εταιρείες και οι αρχές πρέπει να διασφαλίσουν ότι η χρήση των αεροχημάτων γίνεται με σεβασμό στα ανθρώπινα δικαιώματα και ότι λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία της ιδιωτικότητας των πολιτών.

Το κόστος ανάπτυξης και συντήρησης των σμηνών από αεροχήματα είναι ένα ακόμη εμπόδιο για την ευρεία χρήση τους. Η τεχνολογία πρέπει να γίνει πιο προσιτή και οικονομικά βιώσιμη για να επιτραπεί η ευρύτερη εφαρμογή της σε διάφορους τομείς. Οι επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη και η προώθηση συνεργασιών μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών τομέων είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης.

Η προστασία των σμηνών από αεροχήματα από κυβερνοεπιθέσεις είναι κρίσιμης σημασίας. Η παραβίαση των συστημάτων επικοινωνίας και ελέγχου των αεροχημάτων μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνες καταστάσεις και σε απώλεια δεδομένων. Η ανάπτυξη ασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας και η ενσωμάτωση τεχνολογιών

κυβερνοασφάλειας είναι απαραίτητη για την προστασία των σμηνών από κυβερνοαπειλές.

Τέλος, η αποδοχή της τεχνολογίας από την κοινωνία είναι καθοριστική για την επιτυχή ενσωμάτωση των σμηνών από αεροχήματα στην καθημερινή ζωή. Η ενημέρωση του κοινού για τα οφέλη και τις προκλήσεις της τεχνολογίας, καθώς και η συμμετοχή της κοινωνίας στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, είναι απαραίτητες για την προώθηση της αποδοχής και της συνεργασίας.

Η πλοήγηση σε ταραχώδη και ταραγμένα αστικά περιβάλλοντα με δυναμικά εμπόδια είναι ένας τρέχων περιορισμός για τα αυτόνομα αεροχήματα. Στην πραγματικότητα, η ισχυρή αποφυγή των εμποδίων δεν έχει ακόμη αποδειχθεί σε τέτοια περιβάλλοντα. Και αυτό το έργο απαιτεί βελτιώσεις στην ανίχνευση και τον προγραμματισμό της απόδοσης.

Μια καινοτόμος προσέγγιση για την ανάπτυξη σμηνών πολλαπλών αεροχημάτων στην εφαρμογή της συνεργατικής επιτήρησης παρουσιάστηκε σε αυτή την εργασία. Η προτεινόμενη μέθοδος που βασίζεται στην οπτική επί του αεροχήματος επαληθεύεται σε μια μελέτη που εγκρίθηκε από πολυάριθμες προσομοιώσεις και πειράματα υλικού που αποδεικνύουν την αξιοποίηση της ανάπτυξης του σμήνους σε διάφορα σενάρια.

Επιπλέον, η εργασία αυτή παρέχει πληροφορίες για τη διαδικασία της βελτιστοποίησης, με την κίνηση των αεροχημάτων να ικανοποιεί τους περιορισμούς κίνησης που επιβάλλονται από την ανάπτυξη σμηνών αεροχημάτων στις πραγματικές αποστολές.

Η αξιοποίηση της μεθόδου βελτιστοποίησης εμπνευσμένη από την χρήση νοημοσύνης, για τον έλεγχο των πραγματικών σμηνών των αεροχημάτων φέρνει ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Ως εκ τούτου σε μελλοντικές εργασίες κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί σε περισσότερο βάθος.

Επίλογος και Συμπεράσματα

Τα σμήνη από αεροχήματα αντιπροσωπεύουν μια τεχνολογική πρόοδο που έχει τη δυνατότητα να επαναπροσδιορίσει πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι δυνατότητές τους για αυτόνομη λειτουργία, συνεργασία, και προσαρμογή σε δυναμικά περιβάλλοντα τους καθιστούν ιδανικά εργαλεία για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τη στρατιωτική και τη γεωργική μέχρι την πολιτική και την εμπορική χρήση. Παρόλα αυτά, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν δεν πρέπει να υποτιμώνται. Η αντιμετώπιση των τεχνικών, νομικών, και ηθικών ζητημάτων θα είναι κρίσιμη για την επιτυχή ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας στην καθημερινή ζωή.

Τα σμήνη από αεροχήματα αντιπροσωπεύουν μια τεχνολογική πρόοδο που έχει τη δυνατότητα να επαναπροσδιορίσει πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι δυνατότητές τους για αυτόνομη λειτουργία, συνεργασία, και προσαρμογή σε δυναμικά περιβάλλοντα τους καθιστούν ιδανικά εργαλεία για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τη στρατιωτική και τη γεωργική μέχρι την πολιτική και την εμπορική χρήση. Παρόλα αυτά, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν δεν πρέπει να υποτιμώνται. Η αντιμετώπιση των τεχνικών, νομικών, και ηθικών ζητημάτων θα είναι κρίσιμη για την επιτυχή ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας στην καθημερινή ζωή.

Βιβλιογραφία

Elbanhawi, M., Progress in Aerospace Sciences (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.03.002>

Y. Zhou, B. Rao and W. Wang, "UAV Swarm Intelligence: Recent Advances and Future Trends," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 183856-183878, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.302886

Abdelkader, M., Güler, S., Jaleel, H. *et al.* Aerial Swarms: Recent Applications and Challenges. *Curr Robot Rep* **2**, 309–320 (2021). <https://doi.org/10.1007/s43154-021-00063-4>

Coppola M, McGuire KN, De Wagter C and de Croon GCHE (2020) A Survey on Swarming With Micro Air Vehicles: Fundamental Challenges and Constraints. *Front. Robot. AI* 7:18. doi: 10.3389/frobt.2020.00018

M. Saska *et al.*, "Autonomous deployment of swarms of micro-aerial vehicles in cooperative surveillance," *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Orlando, FL, USA, 2014, pp. 584-595, doi: 10.1109/ICUAS.2014.6842301.

Saska, M., Vonásek, V., Chudoba, J. *et al.* Swarm Distribution and Deployment for Cooperative Surveillance by Micro-Aerial Vehicles. *J Intell Robot Syst* **84**, 469–492 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10846-016-0338-z>

Ιστότοποι

https://www.researchgate.net/publication/333584348_Brief_history_of_UAV_development

<https://en.wikipedia.org/wiki/mav>