



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

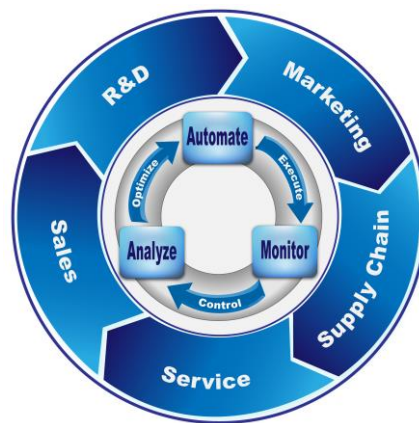
Αποτίμηση Αλγορίθμων Ελέγχου Ρομποτικού Σμήνους

Valuation Intelligent Algorithms of Swarm Robotics

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ ΖΗΣΙΜΟΥ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:

Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών



ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Πειραιάς, Ιούνιος 2018



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών» του τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ


Η κάτωθι υπογεγραμμένηΖΗΣΙΜΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ....., τουΙΩΑΝΝΗ....., με αριθμό μητρώου52..... φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Η Δηλούσα



ΖΗΣΙΜΟΥ Κ.

Ημερομηνία

31/05/2018



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

«Στο Στάθη, στον Ντίνο και στη Δώρα, στην οικογένειά μου,
για την απεριόριστη υπομονή τους και την αμέριστη κατανόησή τους !»

Περίληψη

Αν παρατηρήσουμε την φύση θα δούμε πόσο καλά είναι οργανωμένη και πόσο άμεσα μπορεί να εφαρμόσει κάποιους ρυθμιστικούς παράγοντες για να επαναφέρει την ισορροπία όταν αυτό χρειαστεί. Παρατηρώντας την βλέπουμε ότι οι «αποφάσεις» της δεν είναι τυχαίες, αλλά δρουν κάτω από ορισμένους κανόνες και παίρνονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Μάλιστα σε άριστα οργανωμένες κοινωνίες όπως των μυρμηγκιών, των πουλιών, των ψαριών κ.α. η αντιμετώπιση και η επίλυση βιολογικών προβλημάτων είναι τυποποιημένη. Δηλαδή η φύση έχει γράψει τους δικούς της αλγόριθμους. Στην καθημερινότητά μας παρατηρούμε ότι παρόμοιοι αλγόριθμοι μας βοηθούν να λάβουμε αποφάσεις για λιγότερο ή περισσότερο σημαντικά προβλήματα.

Η φύση μας διδάσκει. Εφαρμόζοντας τη γνώση που παίρνουμε από την ίδια τη φύση, μπορούμε να αντιμετωπίσουμε έγκαιρα κρίσιμες καταστάσεις που έχουν να κάνουν με τη διάσωση του περιβάλλοντος (σεισμοί, φωτιές, κ.α.) ακόμα και με τη διάσωση ανθρώπινων ζωών.

Συνδυάζοντας την ευφυΐα της φύσης με την τεχνολογία και την πληροφορική δημιουργήθηκε η Ρομποτική σμήνους (Swarm Robotics). Είναι τα λεγόμενα έξυπνα - συνεργατικά Ρομπότ (Collaborative Robots) τα οποία σχεδιάστηκαν για να συνεργάζονται μεταξύ τους.

Στην παρούσα διατριβή θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των γενετικών αλγορίθμων, Βελτιστοποίηση Σμήνους (PSO – Particle Swarm Optimization), Αλγόριθμος Αποικίας Μυρμηγκιών (ACO – Ant Colony Optimization), Βελτιστοποίηση Σμήνους Μελισσών (BSO – Bee Swarm Optimization). Στη συνέχεια θα γίνει μία εκτίμηση των παραμέτρων του PSO εφαρμόζοντάς τον σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη UAV (Swarm Robotics) όταν αυτά θα κλιθούν να αντιμετωπίσουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως αυτής της πυρκαγιάς σε ένα δάσος. Τέλος θα αναλυθούν και θα αξιολογηθούν οι αλγόριθμοι που βοηθούν στην πρόβλεψη και στην επιτήρηση μιας πυρκαγιάς.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η μελέτη ολοκληρώνεται με την καταγραφή των συμπερασμάτων που αναμένεται να έχει η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος.

Λέξεις κλειδιά: βελτιστοποίηση, ρομποτικό σμήνος, διάσωση, νοημοσύνη σμήνους, μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Abstract

If we observe nature we will see how well organized it is and how directly it can apply some regulatory factors to restore balance when needed. Observing it, we see that its decisions are not accidental but act under certain rules and taken under certain circumstances. Indeed, in well-organised societies such as ants, fish, birds, etc. dealing and solving biological problems is standardized. Specifically, nature has written its own algorithms. In our everyday life we observe that such algorithms help us make decisions about more or less important issues.

Nature teaches us. Applying the knowledge we get from nature, we can deal with early critical situations that have to do with saving the environment (earthquakes, fire, etc.) even humans beings.

By combining the intelligent of nature with technology and computer science, Swarm Robotics was created. The so – called smart - Collaborative robots which were designed to cooperate with each other.

In this dissertation, the characteristics of genetic algorithms, the Particle Swarm Optimization - PSO, Ant Colony Optimization - ACO and the Bee Swarm Optimization - BSO will be presented. An assessment of PSO parameters will then be made by applying it to unmanned UAV aircrafts when they have to deal with emergency situations, as that of a forest fire.

Finally, we will analyze and evaluate the algorithms that help to predict and monitor a fire.

The study is completed by recording the conclusions that are expected in use of this specific system.

Key Words: *optimization, Swarm Robotics, rescue, swarm intelligence, Unmanned Aerial Vehicle*

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διατριβής μου, θα ήθελα να απευθύνω ένα βαθύ και ολόψυχο ευχαριστώ σε όσους στάθηκαν δίπλα μου σ' αυτή την επίπονη προσπάθεια και με βοήθησαν να τη φέρω σε πέρας.

Από την αρχή της περιπέτειας αυτής, μεγάλος συμπαραστάτης υπήρξε ο Καθηγητής μου κ. Χρήστος Δρόσος, μέσα από την καθοδήγηση, τις συμβουλές και την ηθική του παρότρυνση. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα και για τη στήριξη που μου πρόσφερε σε ορισμένες δύσκολες στιγμές, που αναπόφευκτα παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια ενός μεταπτυχιακού, καθώς και για την αμέριστη υλικοτεχνική υποστήριξη, χωρίς την οποία δε θα είχαν προκύψει τα αποτελέσματα της διατριβής αυτής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω από καρδιάς όλους τους φίλους και τις φίλες που με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου και έδειχναν κατανόηση κάθε φορά που ο όγκος της δουλειάς με ανάγκαζε να επιλέγω τη «σιωπή ασυρμάτου».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μαθητές μου και τους συναδέλφους μου για τα ενθαρρυντικά τους λόγια, προκειμένου να επιτύχω τον στόχο μου.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο, βαθύ και θερμό ευχαριστώ οφείλω στους δικούς μου ανθρώπους, στον σύζυγό μου Στάθη και στα παιδιά μου Ντίνο και Δώρα που χωρίς την αγάπη και τη συμπαράστασή τους, η εκπόνηση και η ολοκλήρωση της διατριβής μου δε θα ήταν ποτέ δυνατή.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	4
Abstract	6
Ευχαριστίες	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
1. Εισαγωγή	12
2. Νοημοσύνη σμήνους	12
2.1 Αυτοοργάνωση.....	14
2.2 Εισαγωγή στη Βελτιστοποίηση.....	15
2.2.1 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης - Κριτήρια.....	15
2.2.2 Βελτιστοποίηση με Σμήνους Σωματιδίων	17
2.3 Νοημοσύνη Σμήνους - Μυρμήγκια	18
2.4 Νοημοσύνη Σμήνους Συστημάτων	20
3. Αλγόριθμοι νοημοσύνης σμήνους	25
3.1 Αλγόριθμος Αποικίας Μυρμηγκιών - ACO.....	26
3.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων - PSO.....	34
3.3 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους μελισσών - BSO.....	39
3.4 Εφαρμογές Αλγορίθμων Νοημοσύνης Σμήνους.....	43
4. Ρομποτικό Σμήνους - Swarm Robotics	45
5. Μη Επανδρωμένα αεροσκάφη UAV (Unmanned Aircraft Vehicles)	46
5.1 Ιστορική Αναδρομή	47
5.2 Κατηγοριοποίηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV)	50
5.3 Το Νομικό Πλαίσιο	52
5.4 Εφαρμογή των μη επανδρωμένων Αεροσκαφών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.....	55
5.4.1 Άμεση Χαρτογράφηση.....	55
5.4.2 Έρευνα και διάσωση με UAV.....	56
5.4.3 Διαρροή επικίνδυνων υλικών.....	57
5.4.4 Θαλάσσιες Διασώσεις	58

5.4.5 Δασικές πυρκαγιές	58
6. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη στην υπηρεσία της κατάσβεσης πυρκαγιάς	59
6.1 Αποτύπωση – χαρτογράφηση	59
6.2 Κατηγορίες μη επανδρωμένων αεροσκαφών πυρκαγιάς	60
6.3 Μέθοδος τοπολογικών ραντεβού	63
6.3.1. Αλγόριθμος ελέγχου σμήνους μη επανδρωμένων αεροσκαφών.....	64
6.4 Εξοπλισμός - Δεδομένα – Συστήματα UAVs πυρόσβεσης	74
6.5 Προσομοίωση παρακολούθησης Φωτιάς με σμήνος UAV	75
6.5.1 Παραδοχές.....	75
6.5.2 Χρόνος απόκρισης / Λανθάνων Χρόνος.....	76
6.5.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης πυρκαγιάς	80
6.5.4 Αλγόριθμος παρακολούθησης Φωτιάς με μη επανδρωμένα αεροσκάφη ..	82
7. Συμπεράσματα	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Πρόταση Μεταπτυχιακής διατριβής	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Paper “Valuation Intelligent Algorithms of Swarm Robotics”	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1:** Σμήνος (σελ. 12)
- Εικόνα 2:** Νοημοσύνη Σμήνους (σελ. 19)
- Εικόνα 3:** Δυνατότητες της νοημοσύνης σμήνους (σελ. 22)
- Εικόνα 4:** Εξισορρόπηση φορτίου αποικίας – AntZ (σελ. 22)
- Εικόνα 5:** Σχηματισμός συστάδων πτώσεων για να καθαριστούν οι φωλιές των μυρμηγκιών (σελ. 22)
- Εικόνα 6:** Βελτιστοποίηση οπτικών δικτύων (σελ. 23)
- Εικόνα 7:** Ο αλγόριθμος δρομολόγησης AntHocNet για τα MANET (Κινητά ad hoc δίκτυα) Αλγόριθμος Ant Colony Optimization (σελ. 23)
- Εικόνα 8:** Πλεονεκτήματα της Νοημοσύνη Σμήνους (σελ. 24)
- Εικόνα 9:** Αλγόριθμος Ant Colony Optimization (σελ. 27)
- Εικόνα 10:** Σμήνος πουλιών (σελ. 34)
- Εικόνα 11:** Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους μελισσών (BSO) (σελ. 40)
- Εικόνα 12:** Ρομποτικό Σμήνος (σελ. 45)
- Εικόνα 13:** Επίθεση με χρήση μπαλονιών (σελ. 47)
- Εικόνα 14:** Μη επανδρωμένο αεροσκάφος - Bug Kettering (Α΄ Παγκόσμιος πόλεμος) (σελ. 48)
- Εικόνα 15:** Μη επανδρωμένο αεροσκάφος - Radioplain OQ-2 (Β΄ Παγκόσμιος πόλεμος) (σελ. 49)
- Εικόνα 16:** Σχεδιασμός εναέριων ζωνών πτήσης μικρών μη επανδρωμένων αεροσκαφών (σελ. 52)
- Εικόνα 17:** Η νομοθεσία συγκεντρωτικά (σελ. 54)
- Εικόνα 18:** Χαρτογράφηση με μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Φιλιππίνες) (σελ. 56)
- Εικόνα 19:** Με επανδρωμένο αεροσκάφος Blimp (σελ. 60)
- Εικόνα 20:** Μη επανδρωμένο αεροσκάφος Predator (σελ. 61)
- Εικόνα 21:** Μη επανδρωμένο αεροσκάφος Skywalker (σελ. 61)
- Εικόνα 22:** Helicopter UAVs (σελ. 62)
- Εικόνα 23:** Quadrotor UAVs (σελ. 62)
- Εικόνα 24:** Μη επανδρωμένα αεροσκάφη VSTOL (σελ. 62)

- Εικόνα 25:** Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου «τροπολογικών ραντεβού» (σελ. 63)
- Εικόνα 26:** Χρόνος απόκρισης με θόρυβο (σελ. 74)
- Εικόνα 27:** Μέθοδος uplink / downlink (σελ. 75)
- Εικόνα 28:** Προφίλ λανθάνουσας κατάστασης ενός μόνο μη επανδρωμένου αεροσκάφους (σελ. 78)
- Εικόνα 29:** Προφίλ λανθάνουσας κατάστασης δύο μη επανδρωμένων αεροσκαφών (σελ. 79)
- Εικόνα 30:** Τυπική απεικόνιση της εξέλιξης λανθάνουσας περιόδου ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους (σελ. 81)
- Εικόνα 31:** Προσομοίωση πυρκαγιάς με μοντέλο EMBYR (σελ. 85)

1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια της σύγχρονης και συνεχούς ανάπτυξης της τεχνολογίας, παρατηρείται έντονα πλέον η ανάγκη για την ανάπτυξη ευφών συστημάτων. Η εκθετική πρόοδος του κλάδου της Τεχνητής Νοημοσύνης θα φέρει μια επανάσταση στην εποχή της πληροφορίας που κάνει τα άλλοτε επιστημονικά σενάρια φαντασίας, πραγματικότητα. Μια νέα γενιά “έξυπνων” ρομπότ έχει ήδη αρχίσει να κάνει αισθητή την παρουσία της στον βιομηχανικό κλάδο και προβλέπεται σύντομα τα ρομπότ να γίνουν μέρος της καθημερινής μας ζωής.

2. Νοημοσύνη σμήνους

Για τον άνθρωπο πάντα αποτελούσε αντικείμενο θαυμασμού η ζωή των εντόμων που ζουν οργανωμένα σε αποικίες (μέλισσες, μυρμήγκια, κ.τ.λ.). Κάθε έντομο στην αποικία, όπου ανήκει, εμφανίζεται να έχει τη δική του καθημερινότητα, όμως όλα μαζί παρουσιάζουν μια αξιοζήλευτη οργάνωση που για να λειτουργήσει δε χρειάζεται καμία εποπτεία.



Εικόνα 2: Σμήνος

Οι ερευνητές μελετώντας αυτή τη συμπεριφορά των εντόμων της αποικίας οδηγηθήκαν στο συμπέρασμα πως αυτή η αυτοοργάνωση προκύπτει από την αλληλεπίδραση που έχουν τα άτομα της αποικίας μεταξύ τους. Παρόλο που κάθε μία από αυτές τις αλληλεπιδράσεις, μεμονωμένα, μπορεί να είναι απλή, αν συνδυαστούν όλες μαζί μπορούν να δώσουν λύση σε δύσκολα προβλήματα, όπως ο υπολογισμός της βέλτιστης διαδρομής προς την τροφή ανάμεσα σε αναρίθμητες διαδρομές. Η συλλογική αυτή συμπεριφορά που επιδεικνύουν τα έντομα που ζουν σε αποικίες ονομάστηκε «νοημοσύνη σμήνους» (swarm intelligence). [1]

Φυσικό παράδειγμα νοημοσύνης σμήνους αποτελούν και τα σμήνη πουλιών που παρόλο που απαρτίζονται από πολλές αυτόνομες οντότητες λειτουργούν σαν μία οντότητα και κινούνται σαν ένα σώμα με κοινό προσανατολισμό. Παρατηρώντας ένα σμήνος πουλιών προσέχει κανείς ότι κινούνται σαν ομάδα με κοινή κατεύθυνση και κοινό προσανατολισμό. Το σύστημα αυτό δημιουργείται από τη συνολική συμπεριφορά κάθε μέλους – πουλιού του σμήνους. Ένα πουλί παρατηρεί γύρω του το περιβάλλον του και επιδεικνύοντας μια θαυμαστή ευφυΐα συνυπολογίζει τα δεδομένα που έχει, σε σχέση με τα άλλα πουλιά, και παίρνει τις δικές του αποφάσεις χωρίς να παίρνει διαταγές από κανέναν. Τρεις αρχές αναφέρονται στο νόμο του Couzin: (α) αν ένα πουλί απομακρυνθεί από τα άλλα τότε αντιλαμβάνεται ότι πρέπει να επιταχύνει, αν όμως πλησιάζει πολύ σε κάποιο άλλο τότε καταλαβαίνει ότι θα συγκρουστεί οπότε και ελαττώνει την ταχύτητα του με τρόπο που να διατηρείται η συνοχή του σμήνους, (β) αποφεύγει κάθε εμπόδιο που συναντά κι αν διαχωριστεί από το σμήνος βρίσκει τρόπο να ξανασμίξει μ' αυτό και (γ) όλα τα πουλιά πρέπει να έχουν μια κοινή κατεύθυνση και να ακολουθούν μια συγκεκριμένη πορεία. Η αρχή της «συλλογικής συμπεριφοράς» του σμήνους των πουλιών είναι ότι κάθε μέλος (πουλιά) αυτόνομα και ανεξάρτητα προσπαθεί να διατηρεί μια ελάχιστη απόσταση από καθένα από τα υπόλοιπα μέλη του σμήνους. [2]

Ο Craig W. Reynolds διατύπωσε το 1987 τρεις βασικούς κανόνες για τη δημιουργία σχηματισμού σμήνους: [3]

- ✓ Η «ένωση» του σμήνους διατηρείται από μία δύναμη συνάθροισης.

- ✓ Για να έχει το σμήνος ίδια ταχύτητα, τα μέλη του θα πρέπει να ελέγχουν τη δική τους ταχύτητα ως προς τους γείτονες.
- ✓ Υπάρχει μία δύναμη διαχωρισμού, όπου τα μέλη του σμήνους είναι ενδεχόμενο να υποστούν και εμποδίζει το ένα μέλος να πετάει πολύ κοντά με το άλλο.

2.1 Αυτοοργάνωση

Ο όρος αυτοοργάνωση (self-organization) περιγράφει εν γένει τη συλλογική συμπεριφορά δομικών στοιχείων σαν αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Η αυτοοργάνωση έχει δυο βασικές ιδιότητες: τις ομαδικές αποφάσεις και το ότι δεν υπάρχει ιεραρχία. Χαρακτηριστικό της αυτοοργάνωσης είναι η έλλειψη κεντρικού ελέγχου πάνω στα μέλη. Αντίθετα ο έλεγχος της δομής είναι κατανεμημένος σε όλο το σύστημα. Όλα τα μέλη παρόλο που αλληλεπιδρούν μόνο τοπικά μεταξύ τους συνεισφέρουν εξίσου στην αυτοοργάνωση του συστήματος. [4]

Οι κανόνες που καθορίζουν τη συμπεριφορά των μελών ενός αυτοοργανωμένου συστήματος βασίζονται σε πληροφορίες που παίρνουν τα μέλη του από τα γειτονικά τους. Με βάση αυτή τη διαπίστωση βγαίνει το συμπέρασμα πως ένα αυτοοργανωμένο σύστημα οργανώνεται από μία εσωτερική ιδιότητα τού συστήματος και δεν είναι αποτέλεσμα εξωτερικών παρεμβάσεων. Οι μηχανισμοί που διαμορφώνουν αυτή την εσωτερική ιδιότητα είναι:

Θετική ανάδραση: Το σύστημα δουλεύει με έναν συγκεκριμένο τρόπο. Αν όμως στην πορεία υπάρξουν λειτουργίες πιο αποδοτικές, τότε το σύστημα έχει τη δυνατότητα να τις προτιμήσει από μια άλλη.

Αρνητική ανάδραση: Αν το σύστημα υιοθετήσει τη θετική ανάδραση την εξισορροπεί χωρίς να φτάνει στα άκρα. Απλά διατηρεί τις ισορροπίες.

Αβεβαιότητα-Διαταραχές: Το σύστημα ανακαλύπτει νέες λύσεις για την αυτοβελτίωσή του. Μερικές φορές υπάρχουν και μεμονομένες συσμεριφορές σε μέλη του συστήματος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην εύρεση νέων λύσεων που ήταν άγνωστες στο παρελθόν.

Στίγμα έργου: Είναι ο μηχανισμός επικοινωνίας και μεταφοράς πληροφορίας μεταξύ των αυτόνομων μελών. Η επικοινωνία αυτόνομων μελών δε γίνεται με άμεσο τρόπο αλλά με έμμεσο. Πιο συγκεκριμένα, η επικοινωνία γίνεται μέσω των μεταβολών που προκαλεί καθένα από τα αυτόνομα μέλη στο άμεσο περιβάλλον του. Όταν ένα μέλος αλλάξει τη δράση του, η αλλαγή αυτή θα γίνει αντιληπτή από το γειτονικό του και θα αντιδράσει ανάλογα με τις συνθήκες και τον τρόπο που τις αντιλαμβάνεται. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δε γνωρίζει τις ενέργειες του μέλους που προκάλεσε αυτή την αλλαγή. Αυτός είναι ένας τρόπος επικοινωνίας που έχει περιορισμένο εύρος πληροφορίας που μπορεί να μεταδοθεί και μεγάλη ανοχή σε σφάλματα. [5]

2.2 Εισαγωγή στη Βελτιστοποίηση

Για να επιλυθεί ένα πρόβλημα θα πρέπει να παρθούν κάποιες αποφάσεις και στη συνέχεια να αξιολογηθούν με βάση τα αποτελέσματα της κάθε απόφασης. Γενικά ως προβλήματα βελτιστοποίησης θεωρούνται αυτά όπου αναζητούν το ολικό ελάχιστο ή το ολικό μέγιστο μιας κατάστασης (συνάρτησης). Οι δύο αυτές περιπτώσεις είναι ισοδύναμες καθώς ένα μέγιστο μιας συνάρτησης, αν αλλάξουμε το πρόσημο της, αμέσως αποτελεί το ελάχιστο της και αντίστροφα. Έτσι ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης μετατρέπεται σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης. Σε πολλά προβλήματα βελτιστοποίησης τίθενται επιπλέον οι περιορισμοί και συνθήκες (κριτήρια) τα οποία πρέπει να ικανοποιηθούν. Κύριο ρόλο στην επίλυση του προβλήματος παίζει η μορφή της συνάρτησης που οδηγεί σε αυτή (π.χ. ασυνεχείς συναρτήσεις δεν μπορούν να βελτιστοποιήσουν εύκολα).

2.2.1 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης - Κριτήρια

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι για να κατηγοριοποιηθούν οι μέθοδοι βελτιστοποίησης. Ένα τρόπος είναι με το αν χρησιμοποιούν παραγώγους, αν χρησιμοποιούν πληθυσμούς, αν είναι αλγοριθμικές και αν έχουν εγγυημένη σύγκλιση και ακρίβεια. [6]

Οι D. Beasley, D. Bull, και R. Martin Beasley Martin, κατηγοριοποίησαν τις μεθόδους βελτιστοποίησης ως εξής:

- *Μέθοδοι βασισμένες στον Λογισμό.* Οι μέθοδοι αυτές στηρίζονται κατά κύριο λόγο στη χρήση παραγώγων. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι εξαρτώνται από τις αρχικές συνθήκες και στην εμβέλεια.
- *Μέθοδοι τυχαίας αναζήτησης.* Με τις μεθόδους αυτές παράγονται τυχαία σημεία τα οποία αποτιμώνται και στη συνέχεια αποφασίζεται αν είναι αποδεκτά ή όχι.
- *Μέθοδοι επαναλαμβανόμενης αναζήτησης.* Αυτές οι μέθοδοι είναι συνδυασμός των μεθόδων hill-climbing και των μεθόδων τυχαίας αναζήτησης. Έτσι, όταν η hill-climbing φτάσει σε ένα τοπικό ελάχιστο, ενεργοποιείται η μέθοδος της τυχαίας αναζήτησης, η οποία δίνει ένα νέο αρχικό σημείο στον αλγόριθμο. Από αυτό το σημείο ξεκινάει ένα νέο hill-climbing.
- *Μέθοδοι προσομοιωμένες απόκτησης.* Αποτελούν τροποποίηση των μεθόδων hill-climbing. Ανήκουν στους στοχαστικούς αλγορίθμους και έχουν πολλές εφαρμογές. Κάθε βήμα μελετά μια λύση και δεν αξιοποιεί πλήρως τις πληροφορίες από τα προηγούμενα βήματα.
- *Δυναμικός Προγραμματισμός.* Αποτελεί ισχυρή και πολύ εξειδικευμένη μεθοδολογία. Επιλύει παρόμοια προβλήματα, των οποίων οι λύσεις συσχετίζονται λογικά.
- *Ευρετικές μέθοδοι (heuristic methods).* Οι μέθοδοι αυτοί οδηγούνται στη λύση στηριζόμενοι στην αλληλουχία διαδοχικών προσεγγιστικών λύσεων του προβλήματος. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται δεν είναι τα καλύτερα δυνατά αλλά είναι αρκετά ικανοποιητικά και σχετικά γρήγορα. Στο σύνολό τους είναι μη αλγοριθμικές.[7]

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για την εύρεση της βέλτιστης λύσης ενός προβλήματος είναι και η ικανοποίηση των κριτηρίων που διέπουν το πρόβλημα. Τα κυριότερα είναι: [8]

- (α) Ο χρόνος περάτωσης τελευταίας διεργασίας
- (β) Ο συνολικός χρόνος ροής
- (γ) Ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης
- (δ) Η μέγιστη καθυστέρηση ολοκλήρωσης
- (ε) Συνδυασμός των παραπάνω κριτηρίων

2.2.2 Βελτιστοποίηση με σμήνος σωματιδίων

Οι αρμονικές κινήσεις των μελών ενός σμήνους (συγχρονισμένη κίνηση, εντυπωσιακοί σχηματισμοί χωρίς συγκρούσεις) προκάλεσαν το ενδιαφέρον διαφόρων μελετητών. Οι έρευνες προσομοίωσης που έγιναν, είχαν στόχο τα μέλη του σμήνους να διατηρήσουν μια βέλτιστη απόσταση από τα γειτονικά τους.

Η ανάπτυξη της μεθόδου βελτιστοποίησης με σμήνος σωματιδίων ξεκίνησε με την εξής:

«η κοινωνική ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των μελών ενός πληθυσμού δίνει ένα εξελικτικό πλεονέκτημα στον πληθυσμό».

Αυτό ήταν το αρχικό σκεπτικό για την ανάπτυξη της μεθόδου βελτιστοποίησης με σμήνος σωματιδίων .

Οι Eberhart και Kennedy ανέπτυξαν έναν εξομοιωτή κοινωνικής συμπεριφοράς ώστε να προσομοιώσουν την κίνηση του σμήνους των σωματιδίων. Στη συνέχεια προστέθηκαν και άλλα χαρακτηριστικά της κίνησης όπως η επιτάχυνση από απόσταση και ο συντονισμός ταχυτήτων μεταξύ των γειτονικών μελών του σμήνους, έτσι ώστε να μελετηθεί η κίνηση του σμήνους προς συγκεκριμένες θέσεις / τοπεθεσίες.

Αυτή η προσομοίωση κίνησης με κάποιες επιπλέον παραμέτρους έγινε η πρώτη έκδοση της βελτιστοποίησης με σμήνος σωματιδίων για προβλήματα αριθμητικής βελτιστοποίησης. [9] [10]

Η Βελτιστοποίηση με σμήνος σωματιδίων παρουσιάζει πολλά κοινά με τους αλγορίθμους που μιμούνται τις φυσικές διαδικασίες της επιλογής, της αναπαραγωγής, της μετάλλαξης και της διασταύρωσης (Εξελικτικοί Αλγόριθμοι) [11]. Η διαφορά τους είναι στην προσαρμοσμένη ταχύτητα, στον χώρο αναζήτησης

του κάθε μέλους του σμήνους και στο ότι κάθε μέλος του σμήνους έχει μια μνήμη όπου διατηρεί την καλύτερη θέση που επισκέφτηκε. Υπάρχει ροή πληροφορίας μεταξύ των μελών του σμήνους σχετικά με την καλύτερη θέση που είχε το καθένα. Με αυτό τον τρόπο η επιτάχυνση της κίνησης ενός μέλους του σμήνους βασίζεται στην γνώση της καλύτερης θέσης που είχε αλλά και στη γνώση της θέσης που είχαν τα υπόλοιπα μέλη (γείτονές του). Οι Eberhart και Kennedy λόγω της έννοια της «επιτάχυνσης», που χρησιμοποιείται στη φυσική, ονόμασαν τα μέλη του σμήνους σωματίδια. Με αυτό τον τρόπο η μέθοδος ονομάστηκε «Βελτιστοποίηση με Σμήνος Σωματιδίων» (Particle Swarm Optimization). [9]

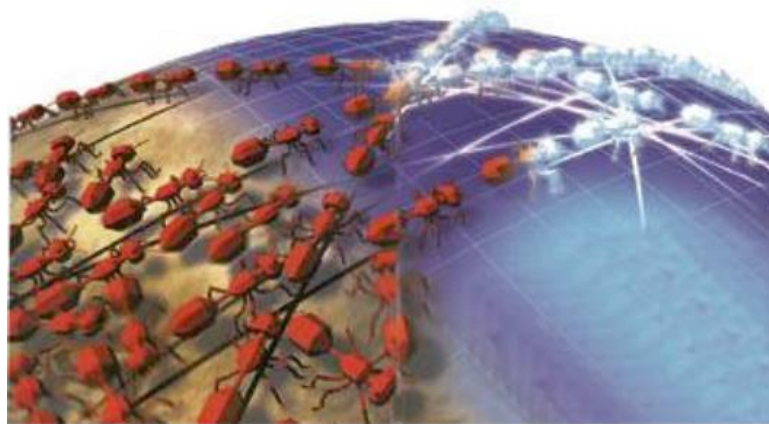
O Millonas όρισε πέντε βασικές αρχές της Νοημοσύνης Σμήνους που θα πρέπει να ακολουθεί η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων. [12]

1. *Γεινίαση*: Το σμήνος να μπορεί να πραγματοποιεί απλούς χρονικούς και χωρικούς υπολογισμούς.
2. *Ποιότητα*: Το σμήνος να αντιδρά σε πιο αποδοτικούς (για το ίδιο) παράγοντες του περιβάλλοντος.
3. *Ποικιλία αντιδράσεων*: Το σμήνος πρέπει να έχει μεγάλο φάσμα αντιδράσεων.
4. *Ευστάθεια*: Το σμήνος δεν πρέπει να αλλάζει τη συμπεριφορά του με την επίδραση ενός θορύβου, δηλαδή με μια αμελητέα αλλαγή στο περιβάλλον.
5. *Προσαρμοστικότητα*: Το σμήνος πρέπει να προσαρμόζεται. Δηλαδή να αλλάζει τη συμπεριφορά του όταν η ενέργεια του αυτή δεν προκαλεί μεγάλες αλλαγές.

2.3 Νοημοσύνη Σμήνους - Μυρμήγκια

Μια από τις αρχικές μελέτες της νοημοσύνης σμήνους ασχολήθηκε, κυρίως με την αναζήτηση της τροφής από τα μυρμήγκια. Ειδικότερα, κατάφερε να αποδείξει πως οι γραμμές τους που πολύ συχνά βλέπουμε στο περιβάλλον, τη φύση ή στην κουζίνα μας είναι αποτέλεσμα της έκκρισης από τα ίδια μιας χημικής ουσίας που προσελκύει τα άλλα μυρμήγκια, της φερομόνης. Η μελέτη, επιπλέον υπογράμμισε πως αυτή η διαδικασία της έκκρισης φερομόνης για την υλοποίηση ενός

μονοπατιού, που μπορούν και τα υπόλοιπα έντομα να βρουν και να ακολουθήσουν, είναι μια ενδιαφέρουσα στρατηγική για την ανακάλυψη της πιο σύντομης διαδρομής ανάμεσα στη φωλιά και στην τροφή. [1]



Εικόνα 2: Νοημοσύνη Σμήγους

Στα πειράματα που έγιναν σχετικά με το θέμα τοποθετήθηκε ανάμεσα στη φωλιά και την τροφή των μυρμηγκιών μια γέφυρα με δύο κλάδους, από τους οποίους ο ένας ήταν διπλάσιος σε μήκος από τον άλλο. Μέσα σε λίγα λεπτά η αποικία, συνήθως, διάλεγε τον πιο σύντομο δρόμο. Τα πρώτα μυρμηγκία που γύρισαν στη φωλιά από το μέρος που ήταν τοποθετημένη η τροφή ήταν αυτά που είχαν ακολουθήσει το σύντομο δρόμο τόσο όταν πήγαιναν, όσο και όταν επέστρεφαν. Μιας και αυτή η διαδρομή ήταν η πρώτη που είχε διπλό ίχνος φερομόνης, τα άλλα

μυρμήγκια την προτιμούσαν, και έτσι να ενισχυθεί κι άλλο και να αποτελεί την οδό πρόσβασης προς την τροφή.

Όταν, όμως, η πιο σύντομη διαδρομή εμφανιζόταν στα μυρμήγκια μετά από τη μακρινή, τότε αυτά δεν την ακολουθούσαν, αφού η δεύτερη είχε ήδη «σημαδευτεί» με το ίχνος φερομόνης. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο οι επιστήμονες μπορούν να ξεπεράσουν υλοποιώντας ένα μοντέλο προσομοίωσης φωλιάς - μυρμηγκιών - τροφής εισάγοντας την έννοια της εξάτμισης της φερομόνης. Όταν η εικονική χημική ουσία έχει την τάση να εξατμίζεται γρήγορα, τότε τα πιο μακρινά μονοπάτια δε διατηρούν για πολύ αυτό το ίχνος φερομόνης. Τα εικονικά μυρμήγκια μπορούν, με αυτό τον τρόπο, να επιλέγουν τον πιο σύντομο δρόμο, ακόμα κι αν αυτός εμφανιστεί λίγο πιο αργά από τον πιο μακρινό. Αυτή η ικανότητα είναι πολύ σημαντική, γιατί «εμποδίζει» το σύστημα στο να συγκλίνει σε ενδιάμεσες λύσεις, μόνο και μόνο επειδή δεν έτυχε να εξετάσει τις καλύτερες πιο νωρίς. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η φερομόνη των μυρμηγκιών στη φύση αποικοδομείται μεν, αλλά με πολύ αργό ρυθμό.

Πραγματοποιώντας σε προσομοίωση (στον υπολογιστή) την τεχνική της εξάτμισης της φερομόνης, οι ερευνητές εμφάνισαν σε μια αποικία από εικονικά μυρμήγκια τις ίδιες πηγές τροφής, όμως σε διαφορετική απόσταση από τη φωλιά τους. Στην αρχή, τα εικονικά μυρμήγκια διερεύνησαν τον περιβάλλοντα χώρο με τυχαίο τρόπο. Στη συνέχεια δημιούργησαν μονοπάτια που συνέδεαν όλες τις πηγές τροφής με τη φωλιά. Αμέσως μετά διατήρησαν μόνο τα μονοπάτια προς τις πιο κοντινές πηγές τροφής, με αποτέλεσμα τη σταδιακή εξάντληση αυτών των πηγών. Όταν η τροφή εξαντλήθηκε, τα εικονικά μυρμήγκια άρχισαν να αξιοποιούν πιο απομακρυσμένες πηγές. [1] [13]

2.4 Νοημοσύνη Σμήνους Συστημάτων

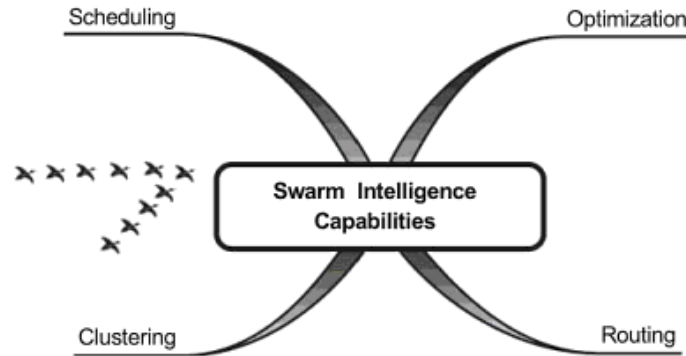
Η νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence) είναι ένα αναδυόμενο πεδίο βιολογικά εμπνευσμένης τεχνητής νοημοσύνης που βασίζεται στα μοντέλα συμπεριφοράς των κοινωνικών εντόμων όπως τα μυρμήγκια, οι μέλισσες, οι σφήκες, οι τερμίτες κλπ. [16]

Με άλλα λόγια είναι η συλλογική συμπεριφορά αυτοοργανωμένων φυσικών ή τεχνητών συστημάτων. Ο όρος εισήχθη από τους G. Beni και J. Wang το 1989. [14] Η νοημοσύνη σμήνους είναι ένα χαρακτηριστικό των συστημάτων που παρουσιάζουν συλλογικά μία ευφυή συμπεριφορά. Ένα σύστημα μελετά το περιβάλλον, το ανιχνεύει και εκτελεί κάθε ενέργεια ανάλογα με τα δεδομένα που παίρνει από αυτό. Κάθε μέλος του συστήματος λειτουργεί αυτόνομα και τελικά προκύπτει μια συνολική συλλογική συμπεριφορά. Το ευφυή σύστημα δεν παίρνει οδηγίες από κανέναν, αλλά αυτενεργεί εφαρμόζοντας απλούς κανόνες οι οποίοι οδηγούν στη συλλογική συμπεριφορά και στην ευφυΐα.

Τα συστήματα νοημοσύνης σμήνους αποτελούνται από έναν πληθυσμό απλών, αυτόνομων μελών που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους σε τοπικό επίπεδο. Τα συστήματα είναι εμπνευσμένα από τη φύση και ειδικότερα από τα βιολογικά συστήματα. Τα μέλη ακολουθούν απλούς κανόνες, και παρόλο που δεν υπάρχει εποπτικός έλεγχος που να υπαγορεύει πως πρέπει να συμπεριφέρονται, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μελών οδηγούν σε μία καθολική, ευφυή συμπεριφορά που είναι άγνωστη στα αυτόνομα μέλη. Φυσικά παραδείγματα της νοημοσύνης σμήνους περιλαμβάνουν τις αποικίες μυρμηγκιών, τα σμήνη πουλιών, τη βακτηριδιακή ανάπτυξη, τις αγέλες ή τα κοπάδια ζώων και τα κοπάδια ψαριών.

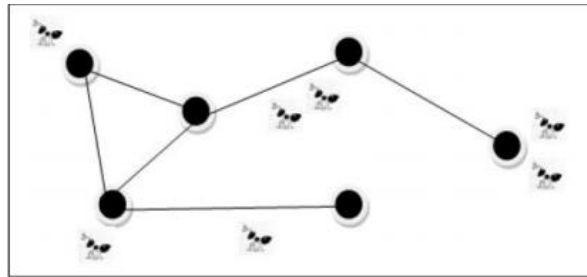
Η εφαρμογή των αρχών του σμήνους στα ρομπότ ονομάζεται ρομποτική σμήνους, ενώ ο όρος "νοημοσύνη σμήνους" αναφέρεται στο σύνολο των αλγορίθμων. Η πρόβλεψη σμήνους έχει χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο των προβλημάτων πρόγνωσης. [14] [15]

Δυνατότητες [16]:



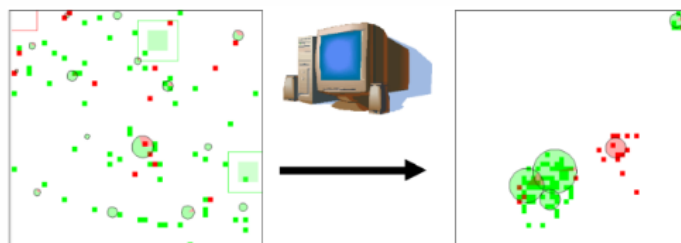
Εικόνα 3: Δυνατότητες της νοημοσύνης σμήνους

Προγραμματισμός (Scheduling): Δίνεται έμφαση στη σχετική θέση της εργασίας και όχι στον άμεσο προκάτοχο ή στον άμεσο διάδοχο, στον προγραμματισμό και στον αθροιστικό παγκόσμιο κανόνα αξιολόγησης των φερομονών.



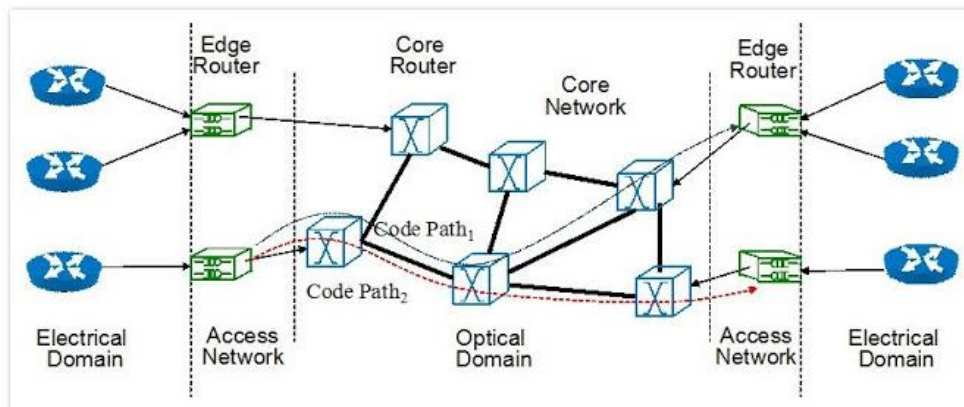
Εικόνα 4: Εξισορρόπηση φορτίου αποικίας – AntZ

Ομαδοποίηση (Clustering): Ένα σύμπλεγμα είναι μια συλλογή παραγόντων που είναι παρόμοιες και είναι ανόμοιες με τους παράγοντες άλλων ομάδων.



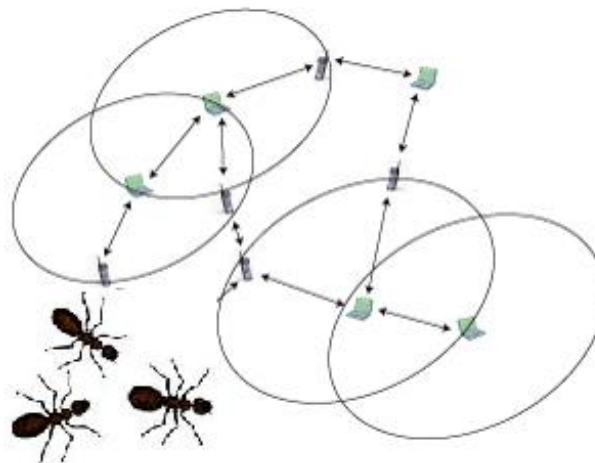
Εικόνα 5: Σχηματισμός συστάδων πτώσεων για να καθαριστούν οι φωλιές των μυρμηγκιών

Βελτιστοποίηση (Optimization): Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι το πρόβλημα της εξεύρεσης της λύσης Best Solution / Minimal Cost από όλες τις εφικτές λύσεις.



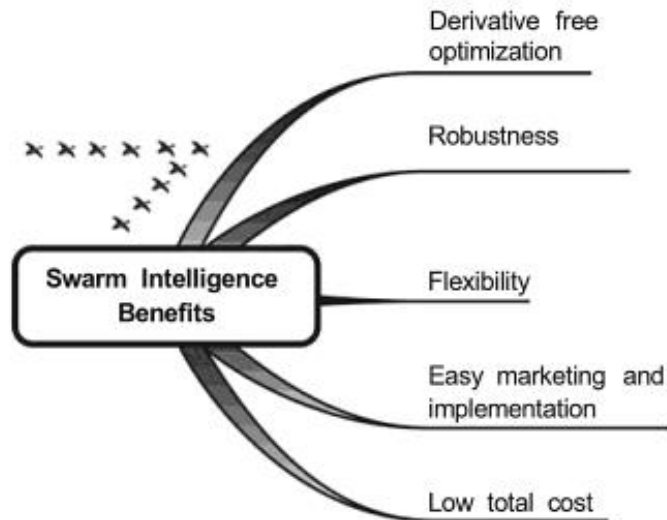
Εικόνα 6: Βελτιστοποίηση οπτικών δικτύων

Δρομολόγηση (Routing): Βασίζεται στην αρχή ότι τα μπροστινά μυρμήγκια δίνουν χρήσιμες πληροφορίες που συγκεντρώνουν στο ταξίδι τους από την φωλιά στην τροφή στα μυρμήγκια που ακολουθούν. [16]



Εικόνα 7: Ο αλγόριθμος δρομολόγησης AntHocNet για τα MANET (κινητά ad hoc δίκτυα)

Πλεονεκτήματα [16] :



Εικόνα 8: Πλεονεκτήματα της Νοημοσύνη Σμήνους

Ευελιξία (Flexibility): Η αποικία ανταποκρίνεται στις εσωτερικές διαταραχές και τις εξωτερικές προκλήσεις.

Σταθερότητα (Robust): Οι εργασίες ολοκληρώνονται ακόμη και αν κάποιοι πράκτορες αποτύχουν.

Διαβάθμιση (Scalable): Μπορεί να κλιμακωθεί από λίγους πράκτορες σε εκατομμύρια

Αποκέντρωση (Decentralized): Δεν υπάρχει κεντρικός έλεγχος στην αποικία.

Αυτοοργάνωση (Self-organized): Οι λύσεις είναι αναδυόμενες και όχι προκαθορισμένες.

Προσαρμογή (Adaptation): Το σύστημα σμήνους προσαρμόζεται και σε προκαθορισμένα ερεθίσματα αλλά και σε νέα ερεθίσματα.

Ταχύτητα (Speed): Οι αλλαγές στο δίκτυο μπορούν να διαδοθούν πολύ γρήγορα.

Σχέση Επιπέδων (Modularity): Οι πράκτορες ενεργούν ανεξάρτητα από τα άλλα επίπεδα δικτύου.

Παραλληλισμός (Parallelism): Οι πράξεις των πρακτόρων είναι εκ φύσεως παράλληλες.

Μειονεκτήματα [16]:

Συμπεριφοράς: Δύσκολη η πρόβλεψη της συμπεριφοράς από τους μεμονωμένους κανόνες.

Γνώσης: Ο τρόπος λειτουργίας μιας αποικίας δεν μπορεί να γίνει πλήρως κατανοητός με τη γνώση της λειτουργίας ενός μόνο παράγοντα.

Εναισθησίας: Ακόμα και μια μικρή αλλαγή στους απλούς κανόνες οδηγεί σε διαφορετική συμπεριφορά σε όλη την ομάδα.

Δράσης: Η συμπεριφορά του παράγοντα μοιάζει με θόρυβο, καθώς κάθε απόφασή του είναι καθαρά υποκειμενική.

3. Αλγόριθμοι νοημοσύνης σμήνους

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης (Swarm-based optimization algorithms - SOAs), είναι βασισμένοι στα σμήνη της φύσης. Αντιγράφοντας τις φυσικές μεθόδους, οδηγούνται στην αναζήτηση της βέλτιστης λύσης. Οι SOAs χρησιμοποιούν για κάθε επανάληψη ένα πλήθος από λύσεις και όχι μία «μεμονωμένη» λύση. Επεξεργάζονται ταυτόχρονα, σε μια επανάληψη, ένα πλήθος λύσεων, και έτσι οδηγούν στη δημιουργία ενός καινούριου πλήθους λύσεων. Αν ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης συγκλίνει σε ένα μόνο βέλτιστο, τότε τα μέλη του πλήθους θα συγκλίνουν και αυτά προς αυτή τη βέλτιστη λύση. Αν όμως υπάρχουν περισσότερα του ενός βέλτιστα, τότε ένας αλγόριθμος SO μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τα εγκλωβίσει στο τελικό πλήθος του. [17]

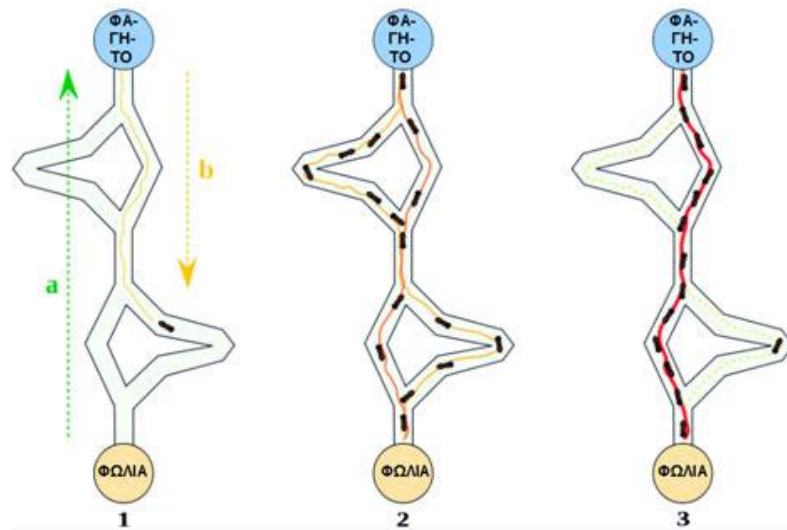
Στους SO αλγορίθμους ανήκουν: οι Εξελικτικοί, οι Γενετικοί και οι Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (PSO, ACO, ABC). [18]

Οι μέθοδοι που βασίζονται σε σμήνη, αποτελούν ένα βασικό τρόπο σχεδίασης ώστε να μπορούν να παραχθούν πολλές παραλλαγές της λύσης που αναζητείται. Κάποιες μέθοδοι αναζήτησης χρησιμοποιούν ένα κριτήριο ακόρεστης επιθυμίας, για να αποφασίσουν ποια λύση, από αυτές που παράγονται, να κρατήσουν. Ένα τέτοιο κριτήριο θα μπορούσε, για παράδειγμα, να είναι η αποδοχή μιας καινούργιας λύσης, ο οποία μόνο θα αυξάνει/μειώνει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.[19]

3.1 Αλγόριθμος Αποικίας Μυρμηγκιών - ACO

Ο Marco Dorigo, επινόησε αυτόν τον αλγόριθμο προσπαθώντας να λύσει το πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή (Travelling Salesman Problem – TSP). Σκοπός του ήταν να βρει την ελάχιστη διαδρομή που θα πραγματοποιούσε ένας πωλητής προκειμένου να επισκεφθεί όλες τις πόλεις από μία φορά.

Ο αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimisation – ACO) προέρχεται από τη μελέτη της συμπεριφοράς των αποικιών των μυρμηγκιών. Ο αλγόριθμος αυτός, προσομοιώνοντας τον τρόπο λειτουργίας των αποικιών των μυρμηγκιών, στοχεύει στην επίλυση του προβλήματος της εξασφάλισης της τροφής τους. Η μετάβαση των «τεχνητών» μυρμηγκιών από τη μια πόλη στην άλλη, με κάποια πιθανότητα, είναι η κάθε λύση για το πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή. Όταν το «τεχνητό» μυρμήγκι επιστρέψει στην αρχική πόλη το «ταξίδι» ολοκληρώνεται. Η βαθμολόγηση της λύσης που έχει επιτευχθεί είναι με βάση (α) το συνολικό μήκος της διαδρομής και (β) ο ποσότητα της φερομόνης, κάθε φορά που θα περνά από τη συγκεκριμένη διαδρομή προστίθεται η ανάλογη φερομόνη στο μονοπάτι που ακολούθησε. Μέχρι να επιτευχθεί ο ζητούμενος αριθμός επαναλήψεων κάθε άτομο της αποικίας θα επαναλάβει την προηγούμενη διαδικασία. Στην αρχή τα μυρμήγκια μοιράζονται τυχαία στις πόλεις. Θα πρέπει το καθένα να ξεκινά από μια διαφορετική πόλη. Το μυρμήγκι καταγράφει την πόλη αυτή ως αφετηρία για να την αποκλείσει από τις επόμενες επιλογές του. Η ποσότητα φερομόνης εκφράζει την «εμπειρία» της υπόλοιπης αποικίας. [20]



Εικόνα 9: Αλγόριθμος Ant Colony Optimization

Με την ολοκλήρωση του ταξιδιού όλων των μυρμηγκιών προστίθεται φερομόνη σε κάθε μονοπάτι ανάλογα με την επίδοση του κάθε μυρμηγκιού. Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν λάβουμε ο παράγοντας που είναι σχετικός με την εξάτμιση της φερομόνης έτσι γίνεται η αποφυγή της ενίσχυσης των αρχικών τυχαίων διακυμάνσεων.

Η Δομή του Αλγόριθμου Ant Colony Optimization

- Βήμα 1:** Ορίζουμε τον αριθμό των μυρμηγκιών ίδιο με τον αριθμό των πόλεων. Δίνουμε αρχική τιμή στη φερομόνη σε όλα τα μονοπάτια που συνδέουν τις πόλεις μεταξύ τους. Υπολογίζουμε όλες τις αποστάσεις των πόλεων. Κάνουμε τυχαία επιλογή της πόλης-αφετηρίας της διαδρομής του κάθε μυρμηγκιού και την τοποθετούμε στην λίστα της μνήμης του.
- Βήμα 2:** Για κάθε μυρμήγκι, επιλέγουμε την επόμενη πόλη που θα επισκεφτεί με βάση τον τυχαίο αναλογικό κανόνα μετάβασης. Αυτό γίνεται μέχρι να ολοκληρώσει τη διαδρομή του, αφού έχει περάσει από κάθε πόλη μια μόνο φορά και τελικά να επιστρέψει στην πόλη-αφετηρία.
- Βήμα 3ο:** Καταγράφουμε την καλύτερη διαδρομή που βρέθηκε.
- Βήμα 4ο:** Ανανεώνουμε τη φερομόνη στα μονοπάτια που επισκέφτηκαν τα μυρμήγκια.

Βήμα 5ο: Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία ξεκινώντας από το βήμα 2 έως ότου ολοκληρωθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων ή επιτευχθεί ένα κριτήριο σύγκλισης. [21] [22]

Ο κώδικας του Ant Colony Optimisation - ACO σε Matlab

```
feromoneA=zeros(20,20);
feromoneB=zeros(20,20);
PathCost1=zeros(20,20);
PathCost2=zeros(20,20);
start=zeros(1,20);
tabulist1=zeros(1,20);
tabulist2=zeros(1,20);
Result1=zeros(1,20);
Result2=zeros(1,20);
BestCost1=0;
BestCost2=0;
previous2=0; %proigoumeni bestcost2 timi
finalResult2=zeros(1,20);
previous1=0;
finalResult1=zeros(1,20);
r0=0.0001;
IntBestCost1=zeros(1,100);
IntBestCost2=zeros(1,100);
metritis=zeros(21,21,11);
metritis2=zeros(4851,20);
dd=1;
for a=0:20
    for b=0:20
        for p=0:0.1:1

%while ((p<0)|| (p>=1))
% p=input('la8os timi! dose mia nea timi gia ti parametro p:');
%end

                for i=1:20
                    for j=1:20
```

```
feromoneA(i,j)=r0; %arxikopoiisi feromonis se mia
                    poli megali timi
feromoneB(i,j)=r0;
PathCost1(i,j)=abs(i-j); %ypologismos kostous gia
                    oles tis diadromes gia
                    z2(apoliti timi)
PathCost2(i,j)=(i-j)^2; %ypologismos kostous gia
                    oles tis diadromes gia z1

end
end
for interation=1:100
    for k=1:20
        tabulist1(1,1)=k; %topo8etisi tis polis
                        afetirias stin tabu list gia z2
        tabulist2(1,1)=k; %topouetisi tis polis
                        afetirias stin tabu list gia z1
        i1=k; %h poli stin opoia vriskete to
                myrmigi gia z2
        i2=k; % h poli stin opoia vriskete to
                myrmigi gia z1

        temp1=0;
        max1=0;
        next1=1;
        temp2=0;
        max2=0;
        next2=1;
        Cost1=0;
        Cost2=0;
        temp=0;
        flag1=false;
        flag2=false;

        for d=2:20
            max1=0;
            max2=0;
            for u=1:20
                flag1=false;
```

```
flag2=false;
for h=1:d-1
    if tabulist1(1,h)==u,
        flag1=true;
    end
    if tabulist2(1,h)==u,
        flag2=true;
    end
end
if flag1==false,

temp1=((feromoneA(i1,u))^a)*((PathCost1(i1,u))^b); %επιλογή επόμενης
                                                polis για z2

    if temp1>max1,
        max1=temp1;
        next1=u;
    end
end
if flag2==false

temp2=((feromoneB(i1,u))^a)*(PathCost2(i1,u))^b); %επιλογή της
                                                επόμενης polis για z1

    if temp2>max2,
        max2=temp2;
        next2=u;
    end
end
end %end for u
    tabulist1(1,d)=next1;
    tabulist2(1,d)=next2;
    Cost1=Cost1+PathCost1(i1,next1);
    Cost2=Cost2+PathCost2(i2,next2);
    i1=next1;
    i2=next2;
end %end for d
w=0;
s=0;
```

```
g=0;
m=0;
for r=1:20
    w=tabulist1(1,r);
    g=tabulist2(1,r);
    if r<20,
        s=tabulist1(1,r+1);
        m=tabulist2(1,r+1);
    else
        s=tabulist1(1,1);
        m=tabulist2(1,1);
    end
    if (s==0 )
        s=1;
    end
    if (w==0 )
        w=1;
    end
    if (g==0 )
        g=1;
    end
    if (m==0 )
        m=1;
    end
end

feromoneA(w,s)=feromoneA(w,s)+(p*feromoneA(w,s)+Cost1);
    feromoneA(s,w)=feromoneA(w,s);
feromoneB(g,m)=feromoneB(g,m)+(p*feromoneB(g,m)+Cost2);
    feromoneB(m,g)=feromoneB(g,m);
end
if ((k==1)&&(iteration==1)),
    BestCost1=Cost1;
    previous1=Cost1;
    for t=1:20
        Result1(1,t)=tabulist1(1,t);
    end
else
```



```
        if Cost1>BestCost1,
            BestCost1=Cost1;
            for t=1:20
                Result1(1,t)=tabulist1(1,t);
            end
        end
    end
    if ((k==1)&&(interation==1)),
        BestCost2=Cost2;
        previous2=Cost2;
        for t=1:20
            Result2(1,t)=tabulist2(1,t);
        end
    else
        if Cost2>BestCost2,
            BestCost2=Cost2;
            for t=1:20
                Result2(1,t)=tabulist2(1,t);
            end
        end
    end %end for k
end

IntBestCost1(1,interation)=BestCost1;
IntBestCost2(1,interation)=BestCost2;
if previous1<BestCost1
    for t=1:20
        finalResult1(1,t)=Result1(1,t);
    end
    previous1=BestCost1;
end
if previous2<BestCost2
    for t=1:20
        finalResult2(1,t)=Result2(1,t);
    end
    previous2=BestCost2;
end
end %end for interation
```

```
templmax=0;
maxBestCost1=IntBestCost1(1,1);
maxBestCost2=IntBestCost2(1,1);
for y=2:100
    if IntBestCost1(1,y)>maxBestCost1
        maxBestCost1=IntBestCost1(1,y);
    end
    if IntBestCost2(1,y)>maxBestCost2
        maxBestCost2=IntBestCost2(1,y);
    end
end
disp(a)
disp(b)
disp(p)
disp('the result for z1 is:')
disp(finalResult2)
disp('the cost for z1 is:')
disp(maxBestCost2)

d=a+1;
e=b+1;
f=int64(p*10+1);
metritis(d,e,f)=maxBestCost2;
metritis2(dd,1:20)=finalResult2;
dd=dd+1;

end

end

end
csvwrite('ASz1bestCosts2.txt', metritis)
csvwrite('ASz1Combinations2.txt', metritis2);

t=[1:100];
figure;
hold on;
plot(t,maxBestCost2,'x-.b','LineWidth',2)
hold off;
title('Best costs for every iteration for z1 in comparison with
```

```
interactions)', 'FontWeight', 'bold')
xlabel('Parameter t', 'FontSize', 9, 'color', [.502, .000, .000])
ylabel('Best Cost for z1', 'FontSize', 9, 'color', [.502, .000, .000])
figure;
hold on;
plot(t, maxBestCost1, 'x-.k', 'LineWidth', 2)
hold off;
title('Best costs for every interation for z2 in comparison with
interactions)', 'FontWeight', 'bold')
xlabel('Parameter t', 'FontSize', 9, 'color', [.502, .000, .000])
ylabel('Best Cost for z2', 'FontSize', 9, 'color', [.502, .000, .000])
```

από την Ιστοσελίδα www.mathworks.com [23]

3.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων - PSO

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO) μοντελοποιεί τον τρόπο με τον οποίο ένα σμήνος πουλιών ή ψαριών αναζητά τροφή. Τα άτομα του σμήνους μπορούν να λειτουργήσουν και μεμονωμένα αλλά κυρίως μπορούν να λειτουργήσουν και συνδυαστικά ώστε το κάθε μέλος να χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που έχει αποκομίσει ένα άλλο μέλος και με αυτό τον τρόπο να μπορέσουν να βρουν τροφή με τον καλύτερο τρόπο. Το ίδιο ακριβώς προσομοιώνει και ο αλγόριθμος Particle Swarm Optimization.



Εικόνα 10: Σμήνος πουλιών

Κάθε μεμονωμένο μέλος της ομάδας οδηγείται προς τη βέλτιστη λύση λαμβάνοντας υπόψη τα έξης:

- 1) έναν μέσο όρο των προηγούμενων καλύτερων λύσεων του ίδιου και

2) έναν μέσο όρο των προηγούμενων καλύτερων λύσεων των υπόλοιπων μελών.

Αρχικά δημιουργείται τυχαία ένα αρχικό σύνολο N υποψήφιων λύσεων δημιουργώντας έτσι ένα σμήνος από λύσεις. Για κάθε μέλος επιλέγεται τυχαία μία ταχύτητα. Με αυτό τον τρόπο και με την βοήθεια μιας κατάλληλα επιλεγμένης συνάρτησης κόστους, ένα μέλος του σμήνους μπορεί και ταξιδεύει αναζητώντας καλύτερες θέσεις επίλυσης έτσι ώστε να παρουσιάζει καλύτερη απόδοση. Όταν βρεθεί η καλύτερη αυτή θέση γνωστοποιείται και στα υπόλοιπα μέλη του σμήνους. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα διάνυσμα πορείας. Με την αρχικοποίηση του PSO, ο αλγόριθμος επαναλαμβάνει την διαδικασία της ανανέωσης των αρχικών θέσεων και ταχυτήτων. Με τις συνεχείς επαναλήψεις ελέγχεται αν η νέα θέση του μέλους είναι καλύτερη λύση από την προηγούμενη βέλτιστη θέση και χαρακτηρίζεται ως η μεμονωμένη βέλτιστη θέση.

Η ολικά καλύτερη θέση, υπολογίζεται αφού η επαναληπτική διαδικασία εκτελεστεί για κάθε μέλος και εκτιμηθεί η απόδοσή τους με βάση την επιλεγόμενη συνάρτηση κόστους. Αν κατά την επανάληψη οι υποψήφιες λύσεις δεν είναι αποδεκτές μέσα στο χώρο, η θέση του διορθώνεται με χειροκίνητη παρέμβαση. [24]
[25]

Ο κώδικας του Particle Swarm Optimisation - PSO σε Matlab

```
Codes in MATLAB for Particle Swarm Optimization
swarm optimization (PSO) codes in MATLAB suitable for solving
constrained optimization problem
-----
-----start
function f=ofun(x)
% objective function (minimization)
of=10*(x(1)-1)^2+20*(x(2)-2)^2+30*(x(3)-3)^2;
% constraints (all constraints must be converted into <=0 type)
% if there is no constraints then comments all c0 lines below
c0=[];
c0(1)=x(1)+x(2)+x(3)-5; % <=0 type constraints
c0(2)=x(1)^2+2*x(2)-x(3); % <=0 type constraints
% defining penalty for each constraint
```

```
for i=1:length(c0)
if c0(i)>0
c(i)=1;
else
c(i)=0;
end
end

penalty=10000; % penalty on each constraint violation
f=of+penalty*sum(c); % fitness function
-----
-----end

Save the following main program codes in MATLAB script file (*.m) as
run_pso.m (any name can be used) and
run.
-----
-----start

tic
clc
clear all
close all
rng default
LB=[0 0 0]; %lower bounds of variables
UB=[10 10 10]; %upper bounds of variables
% pso parameters values
m=3; % number of variables
n=100; % population size
wmax=0.9; % inertia weight
wmin=0.4; % inertia weight
c1=2; % acceleration factor
c2=2; % acceleration factor
% pso main program-----
--start
maxite=1000; % set maximum number of iterationResearchGate, March
2016
2
maxrun=10; % set maximum number of runs need to be
for run=1:maxrun
```

```
run
% pso initialization-----
start
for i=1:n
for j=1:m
x0(i,j)=round(LB(j)+rand()*(UB(j)-LB(j)));
end
end
x=x0; % initial population
v=0.1*x0; % initial velocity
for i=1:n
f0(i,1)=ofun(x0(i,:));
end
[fmin0,index0]=min(f0);
pbest=x0; % initial pbest
gbest=x0(index0,:); % initial gbest
% pso initialization-----
end
% pso algorithm-----
start
ite=1;
tolerance=1;
while ite<=maxite && tolerance>10^-12
w=wmax-(wmax-wmin)*ite/maxite; % update inertial weight
% pso velocity updates
for i=1:n
for j=1:m
v(i,j)=w*v(i,j)+c1*rand()*(pbest(i,j)-x(i,j))...
+c2*rand()*(gbest(1,j)-x(i,j));
end
end
% pso position update
for i=1:n
for j=1:m
x(i,j)=x(i,j)+v(i,j);
end
end
```

```
% handling boundary violations
for i=1:n
for j=1:m
if x(i,j)<LB(j)
x(i,j)=LB(j);
elseif x(i,j)>UB(j)
x(i,j)=UB(j);
end
end
end

% evaluating fitness
for i=1:n
f(i,1)=ofun(x(i,:));
end

% updating pbest and fitness
for i=1:n
if f(i,1)<f0(i,1)
pbest(i,:)=x(i,:);
f0(i,1)=f(i,1);
end
end

[fmin,index]=min(f0); % finding out the best particle
ffmin(ite,run)=fmin; % storing best fitness
ffite(run)=ite; % storing iteration count

% updating gbest and best fitness
if fmin<fmin0
gbest=pbest(index,:);
fmin0=fmin;
end

% calculating tolerance
if ite>100;
tolerance=abs(ffmin(ite-100,run)-fmin0);
end

% displaying iterative results
if ite==1
disp(sprintf('Iteration Best particle Objective fun'));
```

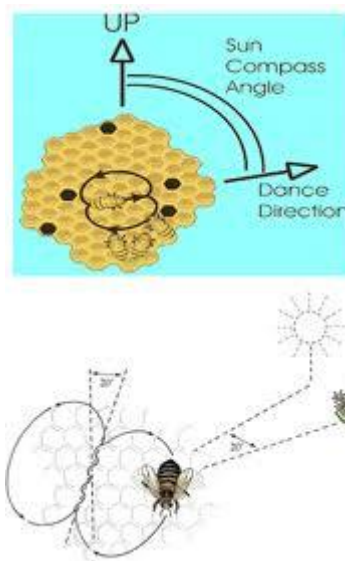
```
end
disp(sprintf('%8g %8g %8.4f', ite, index, fmin0));
ite=ite+1;
end
% pso algorithm-----
end
gbest;
fvalue=10*(gbest(1)-1)^2+20*(gbest(2)-2)^2+30*(gbest(3)-3)^2;
fff(run)=fvalue;
rgbest(run,:)=gbest;
disp(sprintf('-----'));
end
% pso main program-----
----end
disp(sprintf('\n'));
disp(sprintf('*****
***'));
disp(sprintf('Final Results-----'));
[bestfun,bestrun]=min(fff)
best_variables=rgbest(bestrun,:)
disp(sprintf('*****
***'));
toc
% PSO convergence characteristic
plot(ffmin(1:ffite(bestrun),bestrun),'-k');
xlabel('Iteration');
ylabel('Fitness function value');
title('PSO convergence characteristic')
```

από την Ιστοσελίδα www.mathworks.com [23]

3.3 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους μελισσών - BSO

Το 1946, ο Karl Von Frisch, [26] αποκωδικοποιώντας τον τρόπο επικοινωνίας των μελισσών, είδε πως οι μέλισσες επικοινωνούν κατά την επιστροφή τους στην κυψέλη, μέσω του χορού, για την απόσταση την κατεύθυνση και την ποσότητα μίας πηγής τροφής. Παρατήρησε πως οι μέλισσες της ίδιας αποικίας επισκέπτονται περισσότερες από δέκα πιθανές περιοχές εκμετάλλευσης, αλλά εστιάζονται μόνο

στις περιοχές που είναι πλουσιότερες και με ευκολότερη πρόσβαση. Το 1991, οι Seely, Camazine και Sneyd έδειξαν ότι όταν δίνεται σε μία αποικία μελισσών η επιλογή μεταξύ δύο αντίθετα τοποθετημένων πηγών τροφής με πολύ άνιση συγκέντρωση ζάχαρης, αυτή συγκεντρώνει τη προσοχή της στη πλουσιότερη πηγή. Στο φαινόμενο αυτό, το σμήνος ακολουθεί τη μέλισσα με τον πιο έντονο χορό, που υποδεικνύει και την περιοχή με την πλουσιότερη πηγή τροφής.



Εικόνα 11: Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους μελισσών (BSO)

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους μελισσών (Bee Swarm Optimization – BSO) είναι εμπνευσμένος από τη συμπεριφορά των μελισσών ψάχνοντας τροφή.

[27] [28]

Ο κώδικας του Bee Swarm Optimization - BSO σε Matlab

```

clc;
clear;
close all;
%% Problem Definition
CostFunction=@(x) Sphere(x);           % Cost Function
nVar=5;                                 % Number of Decision Variables

VarSize=[1 nVar];                       % Variables Matrix Size

VarMin=-10;                              % Variables Lower Bound
VarMax= 10;                              % Variables Upper Bound

```

```
%% ABC Settings

MaxIt=200;

nPopulation=100;

nOnlookerBees=nPopulation;

L=round(0.6*nVar*nPopulation);

a=1; % Acceleration Coefficient Upper Bound

%% Initialization

% Empty Bee Structure
empty_bee.Position=[];
empty_bee.Cost=[];

% Initialize Population Array
pop= repmat(empty_bee,nPopulation,1);

% Initialize Best Solution Ever Found
BestSol.Cost=inf;

% Create Initial Population
for i=1:nPopulation
    pop(i).Position=unifrnd(VarMin,VarMax,VarSize);
    pop(i).Cost=CostFunction(pop(i).Position);
    if pop(i).Cost<=BestSol.Cost
        BestSol=pop(i);
    end
end

% Abandonment Counter
C=zeros(nPopulation,1);

% Array to Hold Best Cost Values
BestCost=zeros(MaxIt,1);

%% ABC Main Loop

for it=1:MaxIt

    % Recruited Bees
    for i=1:nPopulation

        % Choose k randomly, not equal to i
        K=[1:i-1 i+1:nPopulation];
        k=K(randi([1 numel(K)]));

        % Define Acceleration Coeff.
        phi=a*unifrnd(-1,+1,VarSize);
```

```
% New Bee Position
newbee.Position=pop(i).Position+phi.*(pop(i).Position-
pop(k).Position);

% Evaluation
newbee.Cost=CostFunction(newbee.Position);

% Comparision
if newbee.Cost<=pop(i).Cost
    pop(i)=newbee;
else
    C(i)=C(i)+1;
end

end

% Calculate Fitness Values and Selection Probabilities
F=zeros(nPopulation,1);
MeanCost = mean([pop.Cost]);
for i=1:nPopulation
    F(i) = exp(-pop(i).Cost/MeanCost); % Convert Cost to Fitness
end
P=F/sum(F);

% Onlooker Bees
for m=1:nOnlookerBees

    % Select Source Site
    i=RouletteWheelSelection(P);

    % Choose k randomly, not equal to i
    K=[1:i-1 i+1:nPopulation];
    k=K(randi([1 numel(K)]));

    % Define Acceleration Coeff.
    phi=a*unifrnd(-1,+1,VarSize);

    % New Bee Position
    newbee.Position=pop(i).Position+phi.*(pop(i).Position-
pop(k).Position);

    % Evaluation
    newbee.Cost=CostFunction(newbee.Position);

    % Comparision
    if newbee.Cost<=pop(i).Cost
        pop(i)=newbee;
    else
        C(i)=C(i)+1;
    end

end

end
```

```
% Scout Bees
for i=1:nPopulation
    if C(i)>=L
        pop(i).Position=unifrnd(VarMin,VarMax,VarSize);
        pop(i).Cost=CostFunction(pop(i).Position);
        C(i)=0;
    end
end

% Update Best Solution Ever Found
for i=1:nPopulation
    if pop(i).Cost<=BestSol.Cost
        BestSol=pop(i);
    end
end

% Store Best Cost Ever Found
BestCost(it)=BestSol.Cost;

% Display Iteration Information
disp(['Iteration ' num2str(it) ': Best Cost = '
num2str(BestCost(it))]);

end

%% Results

figure;
%plot(BestCost,'LineWidth',2);
semilogy(BestCost,'LineWidth',2);
xlabel('Iteration');
ylabel('Best Cost');
grid on;
```

από την Ιστοσελίδα www.mathworks.com [23]

3.4 Εφαρμογές Αλγορίθμων Νοημοσύνης Σμήνους

Τα τελευταία χρόνια, αυξάνονται, διαρκώς οι προσπάθειες εφαρμογής της νοημοσύνης σμήνους σε μια ποικιλία προβλημάτων. Συγκεκριμένα η αναζήτηση τροφής από τα μυρμήγκια έχει οδηγήσει σε μια νέα μέθοδο αναδρομολόγησης της κυκλοφορίας στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Η συνεργατική αλληλεπίδραση των μυρμηγκιών, που προσπαθούν να μεταφέρουν ένα μεγάλο κομμάτι τροφής, μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικούς αλγορίθμους για τη χρήση σε ρομπότ. [1]

Οι κυριότερες εφαρμογές του αλγορίθμου ACO, που αφορούν στην εύρεση μεθόδων αποτελεσματικής δρομολόγησης, γίνονται σε ασύρματα δίκτυα, χωρίς συγκεντρωτική δομή (MANET), τα οποία εξάλλου αποτελούν και την κυριότερη πλατφόρμα για τις εφαρμογές του κινητού υπολογισμού.

Κάθε φορά που συνδυάζονται ο ACO με το πρωτόκολλο AODV, δημιουργείται ένας υβριδικός αλγόριθμος, ο οποίος χρησιμοποιεί πράκτορες που διατρέχουν τυχαία το δίκτυο και κρατούν πληροφορίες για τους κόμβους που επισκέφθηκαν τελευταία, ενημερώνοντας κατάλληλα τους πίνακες δρομολόγησης. Αρκετοί ακόμα αλγόριθμοι έχουν προταθεί για τη δρομολόγηση σε δίκτυα MANET. [29]

Ο καταμερισμός εργασίας στη κοινότητα των μελισσών, ίσως βοηθήσει σε πιο αποτελεσματικές διαδικασίες για τις βιομηχανίες με αλυσίδα συναρμολόγησης. [30]

Ο αλγόριθμος PSO έχει βρει εκτεταμένες εφαρμογές σε προβλήματα βελτιστοποίησης και αυτοοργάνωσης, που αφορά τα δίκτυα MANET. Ακόμα έχει βρει εφαρμογή και στην ενεργειακή διαχείριση των κόμβων ενός δικτύου MANET με τη δημιουργία clusters για εξοικονόμηση ενέργειας, όσον αφορά τη συλλογή δεδομένων από τους αισθητήρες. [31]

Τα ρομπότ σμήνους (Swarm Robots) είναι ένας καινούργιος τομέας, όπου βρίσκουν εφαρμογή οι αλγόριθμοι «Νοημοσύνης Σμήνους». Η χρήση των «Swarm Robots» για τη πραγματοποίηση πολλών εργασιών παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Αυτά είναι: η απλότητα στην κατασκευή ρομποτικών μονάδων, το ότι υπάρχει μικρή πιθανότητα λάθους (υψηλή πιστότητα) και οικονομικοί λόγοι (έχουν μικρό κόστος). Συνάμα ένα σμήνος ρομπότ μπορεί να φέρει εις πέρας πολύπλοκες εργασίες, που είναι δύσκολες, ακόμη και για τα παραδοσιακά ρομποτικά συστήματα. Με την βοήθεια του αλγορίθμου της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) έχει δημιουργηθεί μοντέλο για την ανακάλυψη και την αποφυγή εμποδίων. Άλλα μοντέλα swarm robots έχουν επίσης προταθεί για την ανοχή σε σφάλματα (fault tolerance) και την συνεργατική αναζήτηση. [32][33]

Τέλος, η εφαρμογή του αλγορίθμου της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) σε σμήνη μη επανδρωμένων εναέριων - UAV (Unmanned Aerial Vehicles) και μη επανδρωμένων υποβρύχιων οχημάτων UUV (Unmanned Underwater

Vehicles), κυρίως, για εξυπηρέτηση στρατιωτικών σκοπών. Σαν παράδειγμα να αναφερθεί πως έχουν δημιουργηθεί μη επανδρωμένα υποβρύχια τα οποία μπορούν να φέρουν συμβατικές ή πυρηνικές κεφαλές, που τους επιτρέπει να πλήττουν διάφορους στόχους, από σμήνη αεροσκαφών μέχρι παραθαλάσσιες υποδομές και οχυρωματικά έργα. [34]

Το «περιβάλλον» των εφαρμογών της «νοημοσύνης σμήνους» είναι πολύ μεγάλο. Οι εφαρμογές που μπορεί να έχει είναι πολύ σημαντικές και αφορούν πολλούς τομείς αναφοράς. Οι επιστήμονες, βέβαια, δεν ξέρουν όλες τις λεπτομέρειες των αλληλεπιδράσεων μέσα στα σμήνη των εντόμων και χωρίς αυτές τις πληροφορίες δεν είναι σε θέση να κατασκευάσουν ένα ολοκληρωμένο λογισμικό που να τις προσομοιώνει. Επιπλέον, η νοημοσύνη σμήνους στερείται και μιας γενικής θεώρησης των πραγμάτων και για αυτό το λόγο δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε προβλήματα που απαιτούν σύνθετη συλλογιστική. [1]

4. Ρομποτικό Σμήνος - Swarm Robotics

Η ρομποτική σμήνους καταλαμβάνει μια νέα θέση στον τομέα της ρομποτικής. Ο όρος «σμήνος» βασίζεται στην ιδιότητα των συστημάτων που εμφανίζουν συλλογική ευφυή συμπεριφορά δηλαδή μία «οντότητα». Η επιθυμητή συμπεριφορά της «οντότητας» προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν μεταξύ των απλών ρομπότ καθώς και των αλληλενεργειών των ρομπότ αυτών με το περιβάλλον τους. Με αυτό τον τρόπο τα μικρότερα και απλούστερα αυτά ρομπότ κατά κύριο λόγο συντονίζουν το μεγαλύτερο σύστημα - σμήνος - οντότητα. [35]



Εικόνα 12: Ρομποτικό Σμήνος

Οι κυριότερες δυνατότητες των συστημάτων του ζωικού βασιλείου (κοπάδια ψαριών, σμήνη πουλιών κ.α.) που επιδιώκεται να εφαρμοστούν σε ρομποτικά σμήνη είναι:

- ⇒ Η δυνατότητα του ρομποτικού σμήνους να δρα ανεξάρτητα από «θόρυβο» που δέχεται από το περιβάλλον και από τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν στα μέλη του σμήνους.
- ⇒ Η δυνατότητα του ρομποτικού σμήνους να πραγματοποιεί αλληλένδετες κινήσεις για την ολοκλήρωση των διεργασιών του.

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι εφαρμογές της ρομποτικής σμήνους τείνουν συνεχώς να αυξάνονται όσο μελετώνται ακόμα οι δυνατότητές της. Από την αξιοποίηση της σε μεγάλο εύρος εργασιών που αφορούν κατασκευές, εξερευνήσεις, παρακολούθησεις, μέχρι και λεπτές επεμβάσεις στο ίδιο το ανθρώπινο σώμα. Η χρήση της ρομποτικής σμήνους είναι ίσως η λύση για εφαρμογές που έχουν να κάνουν με καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως είναι για επιχειρήσεις, αποστολές διάσωσης και διαχείρισης καταστροφών. Τα ρομπότ σμήνους διαθέτουν μεγάλο αριθμό αισθητήρων και είναι αρκετά ευκίνητα οπότε μπορούν ταχύτερα και ευκολότερα, να εντοπίζουν άτομα ή και να έχουν πρόσβαση σε απροσπέλαστες, για τον άνθρωπο, περιοχές που βρίσκονται σε κίνδυνο.

Η ρομποτική σμήνους αποτελεί έναν καινοτόμο τομέα που διαθέτει πολλές ακόμα δυνατότητες και μελετώνται συνεχώς νέοι τρόποι χρήσης τους και μπορεί στο μέλλον να βρεθούν πολλοί ακόμη τρόποι αξιοποίησης και βελτιστοποίησής της.

5. Μη Επανδρωμένα αεροσκάφη UAV (Unmanned Aircraft Vehicles)

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα είναι αεροσκάφη τα οποία είναι σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν αυτόνομα, δηλαδή χωρίς την φυσική παρουσία χειριστών. Η αυτόνομη καθοδήγηση του σκάφους προϋποθέτει τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού το οποίο ελέγχει το σχέδιο πτήσης, συνεργασία με τους «onboard» αισθητήρες και το GPS. [36]

Αν και αποτελεί ένα διαδεδομένο τεχνολογικό επίτευγμα του παρόντος, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν μακρά πολεμική εφαρμογή, αφού οι επιχειρησιακές

δυνατότητές τους για πολεμικούς σκοπούς έχουν αναγνωριστεί εδώ και παρά πολλά χρόνια.

5.1 Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους χρονολογείται στις 22 Αυγούστου 1849 όταν οι Αυστριακοί επιτέθηκαν στην πόλη της Βενετίας με μη επανδρωμένα αερόστατα φορτωμένα με εκρηκτικά. Τα αερόστατα ξεκίνησαν από το αυστριακό πλοίο Vulcano.



Εικόνα 13: Επίθεση με χρήση μπαλονιών

Αν και μερικά από αυτά κατάφεραν και πέτυχαν να βομβαρδίσουν την πόλη της Βενετίας, εν τούτοις τα περισσότερα παρασύρθηκαν από μία ξαφνική αλλαγή του ανέμου και επέστρεψαν πίσω στις αυστριακές γραμμές [37].

Γενικά, τα αερόστατα δεν αποτέλεσαν μέχρι σήμερα μία αξιόπιστη, μία επανδρωμένη πλατφόρμα, αντίθετα τα αεροσκάφη σταθερών πτερυγίων λόγω των επιδόσεών τους όσο και της δυνατότητάς τους για εξέλιξη αποτελούν μία σταθερή λύση. Το πρώτο ουσιαστικό μη επανδρωμένο αεροσκάφος δημιουργήθηκε στον πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο και είναι γνωστό ως Ruston Proctor Aerial Target.

Χρησιμοποιούσε τις πρώιμες τεχνικές ραδιοκατεύθυνσης του A.M. Low. Η κύρια αποστολή καταδίωξη των εχθρικών Zeppelin. Λίγο αργότερα μία βελτιωμένη

έκδοση γνωστή και ως ιπτάμενη τορπίλη έκανε την εμφάνισή της έχοντας ενσωματώσει νέες τεχνολογίες όπως η χρήση γυροσκοπίου. [38]

Με την ανακάλυψη κατάλληλων φωτογραφικών μηχανών (το 1898), τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικές αποστολές αναγνώρισεων αντίπαλων στόχων και στρατευμάτων [39].

Ο Charles F. Kettering κατασκεύασε το 1917 το Bug Kettering, ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος για τον αμερικάνικο στρατό. Ιστορικά στοιχεία έχουν καταγράψει πως, μία δοκιμαστική πτήση του απέτυχε. Η ομάδα εδάφους καθώς έψαχνε την περιοχή όπου νόμιζε ότι είχε πέσει, συνάντησε μερικούς αγρότες που αναφέρθηκαν σε αεροπορικό δυστύχημα - αλλά δεν μπορούσαν να βρουν τον πιλότο [40].



Εικόνα 14: Μη επανδρωμένο αεροσκάφος - Bug Kettering
(Α΄ Παγκόσμιος πόλεμος)

Ο Reginald Denenny ήταν ο δημιουργός του μη επανδρωμένου αεροσκάφους που αποτέλεσε και την πρώτη απόπειρα μεγάλης μαζικής παραγωγής. Ο Reginald Denenny υπηρέτησε, κατά τη διάρκεια του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου, στο βρετανικό βασιλικό σώμα. Μετά τον πόλεμο (περίπου το 1930) μετανάστευσε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής όπου ασχολήθηκε ενεργά με την κατασκευή αερομοντέλων και κυρίως μη επανδρωμένων σκαφών. Λίγο αργότερα, με την ενεργό συμμετοχή ικανών

συνεργατών, η πρώτη εταιρεία μη επανδρωμένων αεροσκαφών «Reginald Denny Industries» ήταν γεγονός. Με το δόγμα ότι τα χαμηλού κόστους αεροσκάφη R/C θα είναι κατάλληλα για την εκπαίδευση στα αντιαεροπορικά, 5 χρόνια αργότερα παρουσίασε στον στρατό της Αμερικής ένα πρωτότυπο μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Στη συνέχεια το 1940 η εταιρεία συμφώνησε με τον αμερικάνικο στρατό την κατασκευή του μη επανδρωμένου αεροσκάφους το οποίο πήρε το όνομα Radioplain OQ-2. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου είχαν κατασκευαστεί περίπου 15.000 drones.



Εικόνα 15: Μη επανδρωμένο αεροσκάφος - Radioplain OQ-2
(Β' Παγκόσμιος πόλεμος)

Μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ήταν αρχικά για παρακολούθηση στόχων. Όμως λόγω της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας, στη δεκαετία του '50, χρησιμοποιήθηκαν αρκετά σε αποστολές αναγνώρισης. Η επιτυχία των αποστολών τους ήταν τεράστια, κυρίως κατά την διάρκεια του ψυχρού πολέμου. Γεγονός που δεν πέρασε απαρατήρητο από την επιστημονική κοινότητα, η οποία ξεκίνησε την ανάπτυξη εφαρμογών για ερευνητικούς σκοπούς. [41]

Η NASA τη δεκαετία του 1990 ανέπτυξε το πρόγραμμα ERAST (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology). Ο πρωταρχικός στόχος της ERAST είναι να αναπτύξει και να μεταφέρει προηγμένη τεχνολογία σε μια αναδυόμενη αμερικανική βιομηχανία μη επανδρωμένων αεροσκαφών και να διεξάγει πτήσεις

αυτών των τεχνολογιών σε ελεγχόμενο περιβάλλον για να επικυρώσει την ικανότητα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών να πετάξουν επιχειρησιακές αποστολές επιστήμης. Μια παράλληλη προσπάθεια της ERAST είναι η ανάπτυξη, η μικρογραφία και η ενσωμάτωση ειδικών αισθητήρων και εξοπλισμού απεικόνισης για UAV. Οι στόχοι του προγράμματος είναι η δημιουργία αεροσκαφών συμβατών με το περιβάλλον με επαναστατικές δυνατότητες για πρωτοφανή επίπεδα απόδοσης και ασφάλειας. Οι στόχοι της ERAST ευθυγραμμίζονται επίσης με τους στόχους της NASA για την επέκταση της επιστημονικής γνώσης του γήινου συστήματος χρησιμοποιώντας μοναδικές δυνατότητες της NASA από το πλεονέκτημα του χώρου, των αεροσκαφών και των επιτόπιων πλατφορμών [42].

5.2 Κατηγοριοποίηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV)

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV) μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Οι δύο πιο βασικές κατηγορίες είναι με σταθερές πτέρυγες, όπως τα αεροπλάνα και με έλικες όπως τα ελικόπτερα. Για τον προσδιορισμό του αριθμού των κινητήρων ή ελίκων χρησιμοποιείται ο όρος Multicopter ή Multirotor και διαχωρίζονται σε Quadcopter (με 4 έλικες), Hexacopter, Octacopter κλπ.[43]

Σύμφωνα με το νέο νόμο τα drones χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες [44]:

Ανοιχτή κατηγορία	Απαιτείται: <ul style="list-style-type: none">- ο χειριστής να έχει απευθείας οπτική επαφή με το drone- το μη επανδρωμένο να είναι μέχρι 25 κιλά- η πτήση να διεξάγεται σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων από το χειριστή- το μεγαλύτερο επιτρεπόμενο ύψος της πτήσης να είναι μέχρι τα 400 πόδια
Ειδική κατηγορία	Απαιτείται: <ul style="list-style-type: none">- άδεια πτητικής λειτουργίας, η οποία χορηγείται εφόσον ο ενδιαφερόμενος προσκομίσει σχέδιο αξιολόγησης κινδύνων ασφαλείας, εγχειρίδιο πτητικής λειτουργίας και

	<p>ασφαλιστήριο συμβόλαιο.</p> <ul style="list-style-type: none"> - εγγραφή σε ειδικό μητρώο - εξασφάλιση ειδικής άδειας μέσω της πληρωμής παραβόλου. - ασφαλιστήριο συμβόλαιο
Πιστοποιημένη κατηγορία	<p>Απαιτείται:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ο χειριστής αυτής της κατηγορίας θα πρέπει να διαθέτει ειδική εκπαίδευση - η νηολόγηση του αεροσκάφους σε ειδικό μητρώο - έκδοση πιστοποιητικού αξιολογίας.

Με βάση το μέγεθος, τη διάρκεια πτήσης και το υψόμετρο οι κατηγορίες αυτές οι εξής [45]:

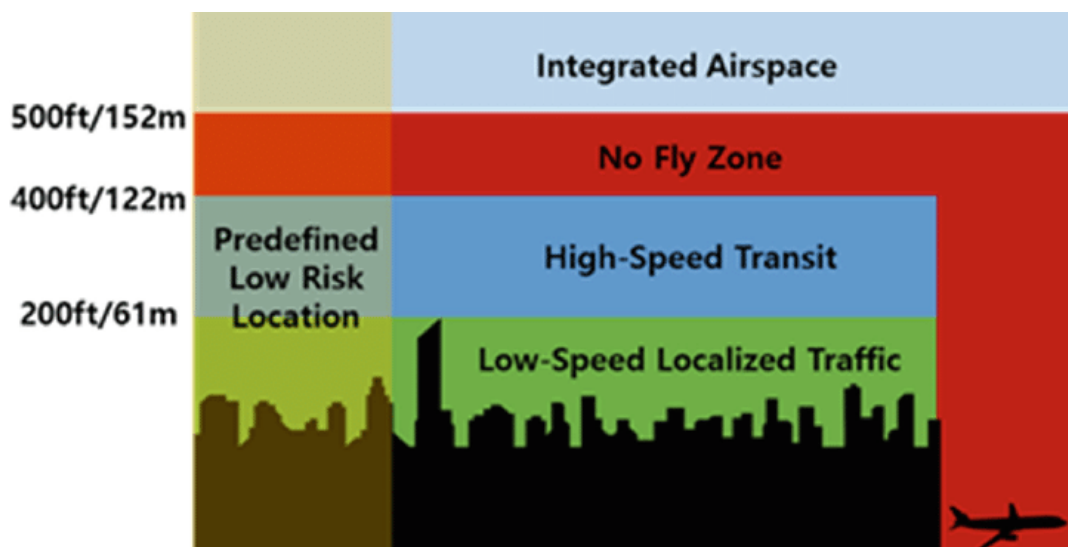
LASE Low Altitude, Short Endurance	Είναι για χαμηλού υψομέτρου και μικρής διάρκειας πτήσεις. Δεν χρησιμοποιούν αεροδιάδρομο απογείωσης / προσγείωσης. Το άνοιγμα των φτερών τους είναι μικρότερο από 3 μέτρα ενώ το βάρος τους κυμαίνεται από 2 έως 5 κιλά.
LALE Low Altitude, Long Endurance	Είναι για χαμηλού υψομέτρου και μεγάλης διάρκειας πτήσεις. Μπορούν να μεταφέρουν φορτία αρκετών κιλών και να πετούν σε υψόμετρα μερικών χιλιάδων μέτρων.
MALE Medium Altitude, Long Endurance	Είναι για μέτριου υψομέτρου και μεγάλης διάρκειας πτήσεις. Είναι αρκετά μεγαλύτερα από τα LALE και μπορούν να πετούν σε υψόμετρα κάτω των 9000μ.
HALE High Altitude, Long Endurance	Είναι για μεγάλου υψομέτρου και μεγάλης διάρκειας πτήσεις. Είναι τα μεγαλύτερα και τα πολυπλοκότερα μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Μπορούν να πετούν σε μεγάλα υψόμετρα (έως 20000μ.) και η διάρκεια πτήσης τους να φτάνει έως τις 30 ώρες.

5.3 Το Νομικό Πλαίσιο

Στις μέρες μας οι χρήστες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών έχουν πολλαπλασιαστεί (λόγω της προσιτής, πλέον, τιμής) και έχει παρατηρηθεί αύξηση της εναέριας κυκλοφορίας. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη να υπάρξουν κανόνες και περιορισμοί που αφορούν τις πτήσεις τους ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ατυχημάτων.

Παρόλο που πολλοί άνθρωποι μπορεί να μην αισθάνονται ακόμα την ανάγκη ενός συστήματος της εναέριας διαχείρισης για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ο εκθετικά αυξανόμενος αριθμός τους, επομένως απαιτεί σύστημα Universal Transverse Mercator (UTM) στο άμεσο μέλλον. Ως εκ τούτου, η κυβέρνηση και οι επιχειρήσεις ετοιμάζουν πολιτικές που σχετίζονται σε διαχειριστική διαχείριση των UAV. Η NASA και η Federal Aviation Administration (FAA) των Η.Π.Α παρουσίασε μια ιδέα για τη διαχείριση των αεροπορικών μεταφορών σε χαμηλό υψόμετρο. Τα ιδιωτικά UAVs μπορούν να πετάξουν πάνω από τα κτίρια και κάτω από τις λειτουργίες του πληρώματος αεροσκαφών σε προαστιακό και των αστικών περιοχών σε συγκριμένες ζώνες. [46] [47].

Με βάση την ιδέα της NASA, η Amazon προτείνει ένα σύστημα διαχείρισης. Χώρισε τον εναέριο χώρο σε ζώνες και απεικονίζονται στην εικόνα 16.



Εικόνα 16: Σχεδιασμός εναέριων ζωνών πτήσης μικρών μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Ρυθμίσιτες αρχές της διαχείρισης των πτήσεων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι για στις Η.Π.Α, η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (FAA) και στην Ευρώπη ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA). Οι υπηρεσίες αυτές ακολουθούν κοινό σχέδιο και ακολουθούν κοινούς κανόνες για να μπορούν να ρυθμίζουν με ασφάλεια την κίνηση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στον αμερικανικό και ευρωπαϊκό εναέριο χώρο. Έχουν δημιουργήσει συστήματα παρακολούθησης – επιτήρησης της κίνησης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, διασφαλίζοντας ότι ακολουθείται το νομικό πλαίσιο. [48] [49] Οι χειριστές έχουν πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων για να καταθέσουν σχέδια πτήσης (Η εφαρμογή Drone Aware - GR είναι ένα πληροφοριακό σύστημα πραγματικού χρόνου της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας για τις πτήσεις Συστημάτων μη-Επανδρωμένων Αεροσκαφών στην Ελλάδα).[50]



Στην Ελλάδα η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας με τον σχετικό κανονισμό, καθορίζει τους όρους των πτήσεων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στο FIR Αθηνών (ΥΑ Δ/ΥΠΑ/21860/1422/30-9-2016, ΦΕΚ 3152/Β). Σε αυτή την υπουργική

απόφαση αναγράφονται και οι κυρώσεις για τις περιπτώσεις που δεν τηρούνται οι προαναφερόμενοι όροι. Μια από τις βασικές προϋποθέσεις είναι η υποχρεωτική ασφάλιση για ζημιές έναντι τρίτων. [51]

HELLAS DRONES

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΠΤΗΣΩΝ DRONES - ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΑΠΛΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΗΤΑ

1) Οι κύριες **ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ** που υπάρχουν και αφορούν είτε ψυχαγωγική είτε επαγγελματική χρήση είναι :

A0 drones μέχρι 1 kg. / A1 drones από 1 kg. έως 4kg / A2 drones από 4 kg. έως 25kg. (Το βάρος αφορά συνολική μάζα κατά την απογείωση - Υπάρχει και ειδική κατηγορία άνω των 25kg και αφορά αποκλειστικά επαγγελματική χρήση) .

2) Οποιοδήποτε drone έχει εμβέλεια τηλεχειρισμού άνω των 50 μέτρων είναι υποχρεωτικό να εγγραφεί στο ειδικό ηλεκτρονικό μητρώο της ΥΠΑ. (Θα πρέπει να συνδεθείτε στο site της ΥΠΑ www.ypa.gr, να πατήσετε πάνω δεξιά που γράφει ΣΜΗΕΑ και να ακολουθήσετε τις οδηγίες. Με τους κωδικούς σας από το taxinet θα συνδεθείτε και θα το δηλώσετε) .

3) Ενημερώνεστε πάντα πριν από κάθε πτήση για την περιοχή που θέλετε να πετάξετε, για τους περιορισμούς και τις προειδοποιήσεις των Αρχών από την επίσημη εφαρμογή της ΥΠΑ **Drone Aware - GR (DAGR)** dagr.hcaa.gr , χρησιμοποιώντας το manual που υπάρχει για να κατανοήσετε και να είστε σε θέση να «διαβάσετε» την εφαρμογή.

4) Αποφύγετε εφαρμογές, ιστοσελίδες κ.α. τρίτων εκτός της ΥΠΑ (DAGR-dagr.hcaa.gr) που αφορούν τις παραπάνω περιοχές για την Ελλάδα, καθώς δεν είναι οι επίσημες που ισχύουν στον Ελλαδικό χώρο.

5) **ΑΔΕΙΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗ** δεν χρειάζεται για τις κατηγορίες A0 και A1 όταν αυτές αφορούν ψυχαγωγική χρήση, ενώ απαραίτητη είναι για την κατηγορία A2 ασχέτως αν πρόκειται για ψυχαγωγική χρήση.

6) **ΑΔΕΙΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗ** είναι απαραίτητη για όλες τις κατηγορίες που αφορούν επαγγελματική χρήση . Δηλαδή για τις κατηγορίες A0, A1,A2.

7) **ΑΔΕΙΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗ** μπορεί κάποιος να αποκτήσει μετά από επιτυχημένες εξετάσεις, θεωρητικές και πρακτικές σε σχολές αναγνωρισμένες από την ΥΠΑ αρκεί να είναι άνω των 18 ετών (προς το παρόν δεν λειτουργεί κάποια σχολή στην Ελλάδα, οπότε η μη κατοχή άδειας χειριστού δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για πτήση drone).

8) **Ειδικό πτυχίο γλωσσισμάθειας Αγγλικών** χρειάζεται **ΜΟΝΟ** για τις επαγγελματικές κατηγορίες και αφορά drones άνω των 25 kg.

9) **Οι περιορισμοί (no fly zones) ισχύουν για ΟΛΟΥΣ** όσους εκτελούν πτήση drone, είτε για ψυχαγωγική ή επαγγελματική χρήση ακόμα και για πτήση με εμβέλεια μικρότερη των 50 μέτρων από το σημείο απογείωσης.

10) **ΣΧΕΔΙΟ ΠΤΗΣΗΣ** δεν απαιτείται για πτήση σε ακτίνα μικρότερη των 50 μέτρων από τον χειριστή ανεξαρτήτου χρήσης. (εκτός και αν υπάρχει περιορισμός no fly zone οπότε και απαγορεύεται γενικά η πτήση και μονο κατόπιν άδειας από την ΥΠΑ μπορείτε να πετάξετε).

11) **ΣΧΕΔΙΟ ΠΤΗΣΗΣ** είναι υποχρεωτικό να κατατεθεί όταν πρόκειται να υπάρξει πτήση σε ακτίνα μεγαλύτερη των 50 μέτρων από τον χειριστή, ανεξαρτήτου αν πρόκειται για ψυχαγωγική ή επαγγελματική χρήση μέσα από την ηλεκτρονική εφαρμογή της ΥΠΑ (σχέδιο πτήσης μπορείτε να υποβάλλεται στην εφαρμογή dagr.hcaa.gr αφού πρώτα φυσικά δηλώσετε - καταχωρήσετε το drone σας, σύμφωνα με την διαδικασία που αναφέρουμε παραπάνω)

Na βλέπετε πάντα τις περιοχές περιορισμού (no fly zones) καθώς έτσι γλυτώνετε χρόνο και κόπο αφού ξέρετε εκ των προτέρων εάν θα εγκριθεί ένα σχέδιο πτήσης η όχι ή θα χρειαστεί ειδική άδεια σε περίπτωση πτήσης εντός no fly zone.

17) Απαγορεύεται η πτήση σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 120 μέτρων (400 ποδών) από το σημείο απογείωσης-ανάγλυφο του εδάφους και 500 μέτρων σε απόσταση από τον χειριστή. (Μπορεί να δοθεί άδεια για υπέρβαση των ορίων μετά από σχετικό αίτημα στην ΥΠΑ)

20) Απαγορεύεται η πτήση πάνω από συγκεντρώσεις προσώπων για όλες τις κατηγορίες που αφορούν ψυχαγωγική χρήση. Επιτρέπεται για όλες τις κατηγορίες επαγγελματικής χρήσης κατόπιν ειδικής άδειας από την ΥΠΑ ενώ απαιτείται μηχανισμός ασφαλείας (αλεξίπτωτο κτλ).

12) Πετάμε ΜΟΝΟ κατά την διάρκεια της αεροπορικής ημέρας (ανατολή - 30 λεπτά, δύση +30 λεπτά) και ΠΑΝΤΑ σε καλές καιρικές συνθήκες που να επιτρέπουν την ασφαλή χρήση του drone προκειμένου να μην θέσουμε σε κίνδυνο εμάς , τον συνάνθρωπο μας αλλά και το ίδιο το drone.

13) Πάντα πριν από κάθε πτήση φροντίζουμε να έχουμε γεμάτες τις μπαταρίες του drone και του τηλεχειρισμού καθώς και να κάνουμε σχολαστικό έλεγχο του , πάντα βάση εγχειρίδιου κατασκευαστή.

14) Διατηρούμε ΠΑΝΤΑ άμεση οπτική επαφή με το drone προκειμένου να μπορούμε να ανταποκριθούμε με απαιτούμενους χειρισμούς για διαχωρισμό και αποφυγή συγκρούσεων.

15) Η ασφάλιση έναντι τρίτων είναι υποχρεωτική για τις επαγγελματικές κατηγορίες A0,A1,A2 καθώς και για τις ειδικές κατηγορίες άνω των 25 kg. Η ασφάλιση δεν είναι υποχρεωτική για τις κατηγορίες A0 και A1 όταν αυτές αφορούν ψυχαγωγική , ενώ είναι υποχρεωτική για την A2 για ψυχαγωγική χρήση.

18) Για επαγγελματική χρήση (εμπορική εκμετάλλευση ΣμηΕΑ) απαιτείται εμπορική άδεια και καταβολή παραβόλων στην ΥΠΑ (τα ποσά τα έχουμε ανακοινώσει στην ιστοσελίδα μας hellasdrones.com).

19) Απαγορεύεται η πτήση σε απόσταση μικρότερη των 8 χλμ. από αεροδρόμια καθώς και πλησίον ειδικών περιοχών (στρατοπέδα, φυλακές κτλ) . Συμβουλευτείτε πάντα πριν από κάθε πτήση την εφαρμογή της ΥΠΑ Drone Aware -GR για τους περιορισμούς-limitations δηλαδή no fly zones και τις προειδοποιήσεις (warnings)

21) ΝΑ ΘΥΜΑΣΤΕ ΠΑΝΤΑ να πετάτε κατά τέτοιο τρόπο που να μην δημιουργεί κινδύνους για τους συνανθρώπους σας, άλλα οχήματα, ελικόπτερα, αεροσκάφη ή περιουσίες τρίτων.

22) Είναι παράνομο προφασίζόμενοι ψυχαγωγική χρήση να πετάτε επί χρηματική αμοιβή εάν δεν είστε δηλωμένοι σαν επαγγελματίες και κατά συνέπεια να έχετε και άδεια χειριστού. Μη συμμόρφωση επισύρει πρόστιμα. Όποιος θέλει να πετάει επί αμοιβής πρέπει να δηλωθεί επαγγελματίας (εφορία κτλ) , να αποκτήσει άδεια χειριστού και να πληρώσει τα αντίστοιχα παράβολα στην ΥΠΑ . ΣΕΒΑΣΜΟΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΕΣ που ζούνε από αυτό.

24) ΝΑ ΕΧΕΤΕ ΠΤΗΤΙΚΗ ΠΑΙΔΕΙΑ -Μην θέτετε σε κίνδυνο τους γύρω σας και το ίδιο το drone !! Σεβαστείτε τα προσωπικά δεδομένα και μην βιντεοσκοπέτε ή φωτογραφίζετε πρόσωπα χωρίς να το γνωρίζουν, είναι ποινικό αδίκημα.

ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ Η ΑΝΑΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΣΤΗ ΤΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΜΕ ΚΑΘΕ ΜΕΣΟ ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΡΡΟΗ ΑΔΕΙΑ ΤΗΣ ΕΦΗΜΕΡΙΔΑΣ HELLAS DRONES news - Το παρόν δεν αποτελεί επίσημο έγγραφο της ΥΠΑ και ενώ πόσα στήθη μπορεί να αλληθίξει ή να εμπιστευτεί με νέα στοιχεία

Οι κανόνες για ασφαλείς πτήσεις drones συντάχθηκαν από την εφημερίδα μας, με γνώμονα την Ελληνική νομοθεσία που ισχύει από 1-1-2017. Έκδοση 2 - 24 Μαΐου, 2017

Εικόνα 17: Η νομοθεσία συγκεντρωτικά

5.4 Εφαρμογή των μη επανδρωμένων Αεροσκαφών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αποδεικνύονται πολυδύναμα εργαλεία σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Η ταχεία χαρτογράφηση και αποτίμηση των ζημιών οδηγεί τις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης να ανταποκριθούν ταχύτερα. Καταστροφές όπως πυρκαγιές, διαρροές επικίνδυνων υλικών, πυρηνικά ατυχήματα κ.α. αντιμετωπίζονται πολύ πιο αποτελεσματικά και κυρίως χωρίς να ρισκινδυνεύουν ανθρώπινες ζωές. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, δημιουργώντας ένα εναέριο δίκτυο πληροφορίας μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα ακόμα και στην περίπτωση που οι τηλεπικοινωνίες έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά.

5.4.1 Άμεση Χαρτογράφηση

Οι δυσπρόσιτες περιοχές είναι σχεδόν αδύνατον να χαρτογραφηθούν σωστά χωρίς εναέρια υποβοήθηση. Στην πραγματικότητα τα κοινά αεροσκάφη δε μπορούν να πλησιάσουν την πληγείσα περιοχή σε πολύ κοντινή απόσταση με αποτελέσματα η πληροφόρηση να μην είναι εντελώς αντικειμενική. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη λόγω ευελιξίας και μεγέθους μπορούν να αποτυπώσουν γρηγορότερα τον πληγέντα χώρο και να δημιουργήσουν χάρτες υψηλής ανάλυσης. Μάλιστα η καινούργια χαρτογράφηση (μετά την καταστροφή) στις περισσότερες περιπτώσεις διαφέρει σε σχέση με αυτή της περιόδου πριν την καταστροφή. Η αξιολόγηση του μεγέθους της καταστροφής γίνεται ταχύτατα καθώς η χαρτογράφηση γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Έτσι η απόκριση για τον περιορισμό της ζημιάς είναι άμεση. Με την χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορεί να γίνει γρηγορότερα η εύρεση βέλτιστης διαδρομής πρόσβασης για παροχή βοήθειας και εύρεση ασφαλέστερης περιοχής για την υποστήριξη των πληγέντων. Στην συνέχεια η χαρτογράφηση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση του χρόνου και του κόστους για την αποκατάσταση της περιοχής.

Ένα παράδειγμα της επιτυχίας της άμεσης χαρτογράφησης με μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι η χρήση τους τον Νοέμβριο του 2013 στις Φιλιππίνες. Ο Τυφώνας με την ονομασία «Γιολάντα» έπληξε την περιοχή αφήνοντας πίσω 6.300 νεκρούς και

εκατομμύρια άστεγους. Η εταιρεία Danoffice διέθεσε μη επανδρωμένα αεροσκάφη τα οποία χαρτογράφησαν άμεσα την πληγείσα περιοχή και έτσι προσδιορίστηκαν ταχύτατα οι ελεύθεροι δρόμοι για την παροχή βοήθειας. [52] [53]



Εικόνα 18: Χαρτογράφηση με μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Φιλιππίνες)

5.4.2 Έρευνα και διάσωση με UAV

Η ταχεία χαρτογράφηση της πληγείσας περιοχής καθώς και το εναέριο δίκτυο που αναπτύσσουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μεταξύ τους, είναι πολύ σημαντική όχι μόνο για την εκτίμηση των ζημιών αλλά ακόμη περισσότερο για να ενισχύσει τη διεργασία της ανταλλαγής πληροφοριών ανάμεσα στις ομάδες διάσωσης. Οι ομάδες διάσωσης με αυτό τον τρόπο μπορούν να δράσουν άμεσα. Αν ο χρόνος απόκρισης της ομάδας είναι μέσα στα πρώτα 30 λεπτά το ποσοστό επιβίωσης φτάνει το 90% . [54]

Σε περίπτωση τεράστιας καταστροφής (σεισμός, τυφώνας κ.α.) η αυτονομία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι καθοριστική. Ο εντοπισμός των θυμάτων που είναι κάτω από γκρεμισμένα κτίρια γίνεται ταχύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί η χρησιμότητα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών

για την ασφάλεια των σωστικών συνεργείων. Οι διασώστες δουλεύουν κάτω από πολύ επικίνδυνες συνθήκες προκειμένου να απεγκλωβίσουν θύματα. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη εξοπλισμένα με τα κατάλληλα εργαλεία (αισθητήρες, θερμικές κάμερες κ.α.) μπορούν και εντοπίζουν την θέση των θυμάτων χωρίς να υπάρχει άμεση επαφή με κάποια ασταθή δομή. [53]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο σεισμός του 2013 στην Κίνα στην περιφέρεια Λουσχάν. Ο σεισμός αυτός μεγέθους επτά βαθμών της κλίμακας ρίχτερ άφησε πίσω του 126 νεκρούς και αρκετούς τραυματίες. Λόγω του δυσπρόσιτου της περιοχής τα σωστικά συνεργεία δεν μπορούσαν να επέμβουν άμεσα. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιήθηκαν, εξοπλισμένα με ειδικούς αλγορίθμους ανίχνευσης θυμάτων και μετάδοσης εικόνας σε πραγματικό χρόνο καθοδηγούσαν τις σωστικές επιχειρήσεις μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης στο μισό. Με αυτό τον τρόπο σώθηκαν δεκάδες ζωές. [55]

5.4.3 Διαρροή επικίνδυνων υλικών

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ίσως είναι η μόνη επιλογή σε περίπτωση διαρροής επικίνδυνων υλικών. Μία τέτοιου είδους καταστροφή ο άνθρωπος δεν μπορεί να την αντιμετωπίσει ερχόμενος σε άμεση επαφή. Σε περίπτωση μάλιστα που η καταστροφή δεν μπορεί να περιοριστεί μόνο στα όρια των εγκαταστάσεων (πυρηνική καταστροφή) αλλά εξαπλώνεται, τότε κινδυνεύει και το περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής και μάλιστα σε εκατοντάδες (ίσως και χιλιάδες) μέτρα γύρω από την βιομηχανική εγκατάσταση. Η ακτινοβολία που απελευθερώνεται στο περιβάλλον από ένα πυρηνικό ατύχημα, η αυτανάφλεξη χημικών ουσιών, οι πιθανές εκρήξεις και οι ασταθείς δομές δημιουργούν ένα πολύ επικίνδυνο περιβάλλον για τα σωστικά συνεργεία. Επιπλέον σε αυτού του είδους τα ατυχήματα τα σωστικά συνεργεία, αν και φορούν εξοπλισμό ατομικής προστασίας, ο χρόνος έκθεσης τους στην τοποθεσία της διαρροής και γύρω από αυτή είναι περιορισμένος, καθώς εγκυμονούν κίνδυνοι για την σωματική τους υγεία και την ίδια τους την ζωή.

Στο πυρηνικό ατύχημα του Τσερνομπίλ τον Απρίλιο του 1986 είχαν χρησιμοποιηθεί επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι αεροπόροι που είχαν βοηθήσει στον

περιορισμό της ζημιάς έχασαν την ζωή τους μετά από λίγο καιρό, καθώς εκτέθηκαν στην ραδιενεργή ακτινοβολία. Στο πυρηνικό ατύχημα στην παραγωγική μονάδα ενέργειας της Φουκουσίμα τον Μάρτιο του 2011 στην Ιαπωνία, χρησιμοποιήθηκαν μη επανδρωμένα αεροσκάφη για την αποτύπωση του μεγέθους του προβλήματος, έτσι χαρτογραφήθηκε και αξιολογήθηκε η κατάσταση χωρίς να μπου σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. [56]

Σε περίπτωση βιολογικού κινδύνου και της επιβολής καραντίνας σε μία περιοχή, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι αυτά τα οποία θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην μεταφορά φαρμάκων και κατάλληλου εξοπλισμού χωρίς να χρειαστεί να εκτεθούν υγιή άτομα (μη μολυσμένα) σε κίνδυνο. [53]

5.4.4 Θαλάσσιες Διασώσεις

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν βοήθεια σε ανθρώπους που κινδυνεύουν στη θάλασσα, καθώς μπορούν να τους προσεγγίσουν σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, μέχρι να έρθει κάποιος ναυαγοσώστης.

Αυτά τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη διαθέτουν δύο ειδικούς μηχανισμούς οι οποίοι μόλις έρθουν σε επαφή με την θάλασσα μετατρέπονται, άμεσα, σε σωσίβια. Επίσης είναι εφοδιασμένα και με δύο αδιάβροχες υψηλής ευκρίνειας κάμερες και αναμένεται να χρησιμοποιηθούν και για την επόπτευση των ακτών. Το σώμα ναυαγοσωστών του Λος Άντζελες έχει ήδη συμπεριλάβει στην επόπτευση των ακτών του μη επανδρωμένα αεροσκάφη. [57]

5.4.5 Δασικές πυρκαγιές

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι πολύτιμα εργαλεία στην αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών. Η ανίχνευση, ο εντοπισμός, η παρατήρηση και η παρακολούθηση γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Η κατεύθυνση της φωτιάς, η επιτήρηση της, ο έλεγχος για αναζωπυρώσεις καθώς και η περίμετρό της ελέγχονται συνεχώς. Οι ζημιές στο περιβάλλον από τις δασικές πυρκαγιές είναι τεράστιες τόσο σε έμβια όσο και σε άβια ύλη. Η πρόληψη και η έγκαιρη ανίχνευση είναι ζωτικής σημασίας.

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση πυρκαγιάς εξαρτάται από την άμεση ενημέρωση σχετικά με την εξέλιξη της. Πληροφορίες σχετικά με το σχήμα και η θέση του μετώπου της πυρκαγιάς, τον ρυθμό εξάπλωσής της είναι καθοριστικές και μειώνουν το χρόνο κατάσβεσης. Τεχνικές όπως οπτικές και υπέρυθρες κάμερες εδάφους, πυροφυλάκια παρακολούθησης κ.α. σε πολλές περιπτώσεις αποδεικνύονται μη επαρκείς (για παράδειγμα την νύχτα). Οι πυροσβέστες τις περισσότερες φορές μπαίνουν σε μία περιοχή χωρίς να γνωρίζουν την εξέλιξη της πυρκαγιάς με αποτέλεσμα αφενός να μην γίνεται σωστά η καταστολή της πυρκαγιάς αφετέρου να έχουμε και απώλειες ζώων. Δεν είναι και λίγες οι περιπτώσεις εγκλωβισμού ανθρώπων μέσα στον πυρήνα της πυρκαγιάς.

Τα επανδρωμένα αεροσκάφη βοηθούν κυρίως στην κατάσβεση και στην οπτική παρακολούθηση. Οι πληροφορίες που μπορεί να δώσουν ίσως να είναι εσφαλμένες λόγω του περιορισμού του οπτικού τους πεδίου. Ο οργανωμένος συντονισμός που απαιτείται ανάμεσα στις ομάδες πυρόσβεσης δεν μπορεί να είναι πλήρης καθώς οι αποφάσεις παίρνονται βάσει εμπειριών και είναι καθαρά υποκειμενικές. [58]

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να περιπολούν μία περιοχή, να μεταδίδουν εικόνες σε πραγματικό χρόνο και με διάφορα αισθητήρια να μπορούν να την ανιχνεύσουν πιο γρήγορα, έτσι μειώνεται ο καθοριστικός χρόνος για άμεση απόκριση. Τα τελευταία χρόνια καταβάλλονται προσπάθειες για την υποστήριξη της πυροπροστασίας με τη χρήση της τεχνολογίας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη. [53]

6. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη στην υπηρεσία της κατάσβεσης πυρκαγιάς

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη όπως είδαμε σε προηγούμενη ενότητα βοηθούν στην έγκαιρη διάγνωση και στην επιθεώρηση του μετώπου της πυρκαγιάς. Η διάρκεια πτήσης τους, η αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων συνεργασίας και η ακρίβεια των αισθητήρων κάνουν το έργο τους πιο αποδοτικό.

6.1 Αποτύπωση – χαρτογράφηση

Η μέθοδος της εναέριας αποτύπωσης προσφέρει ολική πληροφορία χώρου. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV) συλλέγουν γρήγορα και με ακρίβεια εικόνες και

στη συνέχεια επεξεργάζονται με κατάλληλα λογισμικά (DJI ground station 4.011, IMAGINE UAV), όπου και καθορίζεται τόσο η περιοχή που πρέπει να καλύψουν οι εικόνες όσο και το ύψος της λήψη αυτών και δίνουν την ολική αποτύπωση μιας περιοχής. Επιτρέπουν την λήψη δεδομένων σε μικρό χρονικό διάστημα και με μικρό κόστος. [59] Η εξ αποστάσεως παρακολούθηση καθιστά εύκολη την προσέγγιση δύσβατων περιοχών. Η google παρέχει υπηρεσίες αεροφωτογράφισης κάνοντας χρήση μη επανδρωμένων quadrotors.[60]

6.2 Κατηγορίες μη επανδρωμένων αεροσκαφών πυρκαγιάς

Blimp UAVs

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη **Blimp** έχουν τον πιο απλό «δυναμικό έλεγχο». Αυτά τα αεροσκάφη έχουν χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές για την επιθεώρηση μεγάλων περιοχών και ως κόμβοι επικοινωνίας μεταξύ άλλων μη επανδρωμένων αεροσκαφών ή του σταθμού εδάφους. [61]



Εικόνα 19: Με επανδρωμένο αεροσκάφος Blimp

Fixed-Wing UAVs

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη Fixed-Wing αποτελούν τον πλέον κλασικό τύπο, αεροπλάνων που έχουν σταθερά πτερύγια. Συμπεριφέρονται όπως τα επανδρωμένα αεροπλάνα. Υπάρχουν αμέτρητα σχέδια με βάση την απλότητα, την ευστάθεια, τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά για την εκτέλεση ελιγμών και τη μεγάλη διάρκεια πτήσης. Δύο από τα σημαντικότερα είναι:

Το *Predator* έχει βρει εφαρμογή σε ένα πλατύ σύνολο πολιτικών εφαρμογών. Χρησιμοποιούνται κυρίως για επιθεώρηση και αναγνώριση στόχων σε μεγάλες περιοχές, για μεγάλη διάρκεια πτήσης και για μεταφορά υψηλού ωφέλιμου φορτίου. [61]



Εικόνα 20: Μη επανδρωμένο αεροσκάφος Predator

Το Skywalker είναι ιδιαίτερα μικρό, ελαφρύ, χαμηλού κόστους σύστημα. Αποτελεί ιδανική πλατφόρμα για μια πρωταρχική έρευνα σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη τύπου Fixed-Wing καθώς παρουσιάζει ιδιαίτερα ομαλά πτητικά χαρακτηριστικά και σχετικά ικανοποιητικό ωφέλιμο φορτίο. [61]



Εικόνα 21: Μη επανδρωμένο αεροσκάφος Skywalker

Rotorcraft UAVs

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη Rotorcraft έχουν την ικανότητα να εκτελούν στάσιμη αιώρηση και κάθετη απογείωση/προσγείωση. Είναι επίσης ιδανικά για ένα μεγάλο σύνολο αποστολών και ιδιαίτερα για αποστολές αναγνώρισης. Τα Rotorcraft UAVs αποτελούν από τα πλέον πολύπλοκα συστήματα. Συγκεκριμένα όλα τα

Rotorcraft UAVs ανήκουν στην κατηγορία των Underactuated συστημάτων και για αυτό δεν είναι ευσταθή. Είναι όμως ανθεκτικά στις διαταραχές του περιβάλλοντος και παρουσιάζουν διαφορετικά αεροδυναμικά χαρακτηριστικά. [62]

Είδη rotorcraft UAVs:

1. Helicopter UAVs, συστήματα που παρομοιάζουν τα κλασικά ελικόπτερα.
2. Quadrotor UAVs, εκτελούν όλες τις κινήσεις τους στα πλαίσια του διαφορετικού αριθμού στροφών μεταξύ τεσσάρων συμμετρικά τοποθετημένων κινητήρων.



Εικόνα 22: Helicopter UAVs



Εικόνα 23: Quadrotor UAVs

VSTOL UAVs

Τα συστήματα αυτά αποτελούν μια νέα προσέγγιση στο χώρο των μη επανδρωμένων συστημάτων. Κατάγονται από συγκεκριμένες σχεδιάσεις του Β' Παγκόσμιου Πολέμου για επανδρωμένα συστήματα, ενώ το αεροσκάφος που τα έκανε ιδιαίτερα γνωστά είναι το Boeing V-22 Osprey.



Εικόνα 24: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη VSTOL

Η συμπεριφορά πτήσης τους είναι όπως των ελικοπτέρων αλλά και των αεροπλάνων σταθερών πτερυγίων χάρη, στον ιδιαίτερο σερβομηχανισμό τους που περιστρέφει τους ρότορες. Με αυτό τον τρόπο εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα και των δύο αυτών κατηγοριών. Στα χαρακτηριστικά τους συγκαταλέγονται η ταχύτητα, η μεγάλη διάρκεια πτήσης, η στάσιμη αιώρηση, οι απότομοι ελιγμοί και φυσικά η κάθετη απογείωση και προσγείωση. [61]

6.3 Μέθοδος τοπολογικών ραντεβού

Μία προσομοίωση συνεργασίας μη επανδρωμένων αεροσκαφών έγινε με τη βοήθεια μιας ομάδας quadrotors για την επιθεώρηση της περιμέτρου μιας δασικής πυρκαγιάς. Αναπτύσσεται αλγόριθμος όπου η περίμετρος της πυρκαγιάς έχει ακαθόριστη μορφή, κλειστής (ίσως και μη – κυρτής) καμπύλης και μπορεί να εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Η περίμετρος της πυρκαγιάς θα επιθεωρηθεί από ένα σμήνος τεσσάρων quadrotors, με μη αποκεντρωμένο τρόπο. Για να γίνει αυτό θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος spatial rendezvous (τοπολογικά ραντεβού). Με αυτή τη μέθοδο τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη συναντώνται ανά δύο και κάνουν ανταλλαγή πληροφοριών για την περίμετρο της πυρκαγιάς. Έτσι δημιουργείται μία ενιαία βάση πληροφοριών χωρίς να χρειάζεται κάποιο κεντρικό σύστημα παρακολούθησης.[63]



Εικόνα 25: Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου «τοπολογικών ραντεβού»

6.3.1. Αλγόριθμος ελέγχου σμήνους μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Το παρακάτω πρόγραμμα γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού matlab είναι μία προσομοίωση των Quadrotor UAV. Το πρόγραμμα διαβάζει τις εισόδους από τον ελεγκτή του Quadrotor και τις χρησιμοποιεί για να ελέγχει το σύστημα έτσι ώστε να έχει την επιθυμητή θέση. Συγκρίνοντας τιμές όπως υπέρβαση (Overshoot), άνοδος (Rise) χρόνο (time) και σφάλμα (SS error) βρίσκει τον μέσο όρο και δίνονται ως μεταβλητές στο πρόγραμμα.

Προσομοίωση των Quadrotor UAV - BSO σε Matlab

```
% Quadrotor simulation
% % Quadrotor: AscTec Pelican quadrotor UAV
% The program here reads the gains of the PD controller of the
quadrotor
% and use them to control the quadrotor for the desired position.
The step % responses start at different instants. Comparison values
(Overshoot, Rise
% time and SS error) are provided for all variables. The program
also reads and
% draws the fitness average and best value given by a search
algorithm (discard
% it if no such thing is used)

clc
clear all
close all

global Jtp Ixx Iyy Izz b d l m g Kpz Kdz Kpp Kdp Kpt Kdt Kpps Kdps
ZdF PhidF ThetadF PsidF ztime phitime thetatime psitime Zinit
Phiinit Thetainit Psiinit Uone Utwo Uthree Ufour Ez Ep Et Eps

% Read the gain values
GainsK = importdata('Gains.mat');
Kpz = GainsK(1,1); % Height P controller
Kdz = GainsK(1,2); % Height D controller
Kpp = GainsK(1,3); % Roll P controller
Kdp = GainsK(1,4); % Roll D controller
Kpt = GainsK(1,5); % Pitch P controller
Kdt = GainsK(1,6); % Pitch D controller
Kpps = GainsK(1,7); % Yaw P controller
Kdps = GainsK(1,8); % Yaw D controller

%
% % % Best Gains of the controllers
%
% Kpp = 30
% Kdp = 5
%
% Kpt = 30
% Kdt = 5
%
```

```

% Kpps = 30
% Kdps = 5
%
% Kpz = 40
% Kdz = 12
% % save gains data
% Gains = [Kpz Kdz Kpp Kdp Kpt Kdt Kpps Kdps];
% save('Gains.mat','Gains') % Write the optimal gains in a .mat file

% Quadrotor constants
Ixx = 8.1*10^(-3); % Quadrotor moment of inertia around X axis
Iyy = 8.1*10^(-3); % Quadrotor moment of inertia around Y axis
Izz = 14.2*10^(-3); % Quadrotor moment of inertia around Z axis
Jtp = 104*10^(-6); % Total rotational moment of inertia around the
propeller axis
b = 54.2*10^(5-6); % Thrust factor
d = 1.1*10^(-6); % Drag factor
l = 0.24; % Distance to the center of the Quadrotor
m = 1; % Mass of the Quadrotor in Kg
g = 9.81; % Gravitational acceleration

stepsize = 0.01;
t = 0.000000000000000:stepsize:5.000000000000000; % simulation time
% Initial conditions for the Quadrotor
x0 = [];
for i = 1:12,
    x0 = [x0;0]; % Initial position is the origin O(0,0,0),
linear and angular velocities/accelerations = 0
end

% Initial values
Zinit = 0;
Phiinit = pi/3;
Thetainit = pi/2;
Psiinit = -pi/5;

x0(1) = 3; % Xinit
x0(3) = 4; % Yinit
x0(5) = Zinit; % Zinit

x0(7) = Phiinit; % Phiinit
x0(9) = Thetainit; % Thetainit
x0(11) = Psiinit; % Psiinit

% Desired values
% Zd = 10*cos(t);
ZdF = 10;
PhidF = pi;
ThetadF = -pi/2;
PsidF = 2*pi;

% Solving the differential equation
options = odeset('OutputFcn','odeplot');
[t,x] = ode23s(@quad_control_read_fn, t, x0,options); % this

```

```
function is faster to find the solution
% ODE15s, ODE23s, and ODE23tb.

% Desired values
Zd = 10;
Phid = pi;
Thetad = -pi/2;
Psid = 2*pi;

% To overcome the error problem:
% Warning: Failure at t=9.999897e-001. Unable to meet integration
tolerances without
% reducing the step size below the smallest value allowed
(1.776357e-015) at time t.
% We reduce the step size:
% options=odeset('RelTol',1e-10);
% [x,y]=ode45(@fn,[0,1],1,options);

% Plot the path of the Quadrotor in 3-D
figure(1)
plot3(x(:,2),x(:,4),x(:,6))
title('Quadrotor Path in 3-D');
grid
% Plot the motion in x, y and z axes
figure(2)
hold on
plot(t,x(:,1),'bx')
plot(t,x(:,3),'g^')
plot(t,x(:,5),'r.')
hold off
title('Motion in x,y and z axes');
legend('Motion in x-axis','Motion in y-axis','Motion in z-axis');
grid

% Plot the motion in Z-axis
figure(3)
% plot(t,Zd,'b-',t,x(:,5),'r--')
hold on
plot(t,Zd,'r-.')
plot(t,x(:,5),'r--','LineWidth',2)
% legend('Desired motion in Z-axis','Actual motion in z-axis');
hold off
title('Height response');
xlabel('seconds');
ylabel('meters');
grid

% Plot angles' response
figure(4)
hold on
plot(t,Phid,'r',t,x(:,7),'r-.','LineWidth',2)
plot(t,Thetad,'g',t,x(:,9),'g--','LineWidth',2)
plot(t,Psid,'b',t,x(:,11),'b--','LineWidth',2)
```

```
hold off
legend('Roll angle in Red','Pitch angle in Green','Yaw angle in
Blue');
grid
title('Angle response');
xlabel('seconds');
ylabel('Radians');

% calculate the errors
Z = x(:,5);
Phi = x(:,7);
Theta = x(:,9);
Psi = x(:,11);

Ez = Zd - Z; % find the error in height
Ep = Phid - Phi; % find the error in height
Et = Thetad - Theta; % find the error in height
Eps = Psid - Psi; % find the error in height

% Plot the errors
figure(5)
[p q] = size(Ez);
t3 = 0:0.01:5; % For exp.3
hold on
plot(t3,Ez,'r')
plot(t3,Ep,'g')
plot(t3,Et,'b')
plot(t3,Eps,'k')
hold off
title('Error vectors');
legend('Z error','Phi error','Theta error','Psi error');
grid
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% Variables used to decide the effectiveness of the gains
[a b] = size(Ez);
% Calculate the overshoot
ZOvershoot = 50;
ROvershoot = 50;
POvershoot = 50;
YOvershoot = 50;
% Height
if (min(Ez) < 0)
    ZOvershoot = abs(min(Ez))*10; % Height overshoot
end
if (min(Ez) > 0)
    ZOvershoot = 0; % Height overshoot
end
% Roll
if (min(Ep) < 0)
    ROvershoot = abs(min(Ep))*10; % Roll overshoot
end
if (min(Ep) > 0)
    ROvershoot = 0; % Height overshoot
```

```
end
% Pitch
if (min(Et) > 0)
    POvershoot = abs(min(-Et))*10; % Pitch overshoot
end
if (min(Et) < 0)
    POvershoot = 0; % Height overshoot
end
% Yaw
if (min(Eps) < 0)
    YOvershoot = abs(min(Eps))*10; % Yaw overshoot
end
if (min(Eps) > 0)
    YOvershoot = 0; % Height overshoot
end

Overshoot = [ZOvershoot ROvershoot POvershoot YOvershoot]

% Calculate the steady-state error
Zess = Ez(a);
Ress = Ep(a);
Pess = Et(a);
Yess = Eps(a);

SSError = [Zess Ress Pess Yess]

% Calculate the rise time
Ztr = 10;
Phitr = 10;
Thetatr = 10;
Psitr = 10;
for i = 1:a
    Ez(i) = Zd - Z(i); % find the error in height
    if abs(Ez(i)) < 0.05
        Ztr = i*stepsize;
        break;
    end
end

for i = 1:a
    Ep(i) = Phid - Phi(i); % find the error in height
    if abs(Ep(i)) < 0.05
        Phitr = i*stepsize;
        break;
    end
end

for i = 1:a
    Et(i) = Thetad - Theta(i); % find the error in height
    if abs(Et(i)) < 0.05
        Thetatr = i*stepsize;
        break;
    end
end
```

```
    end
end

for i = 1:a
    Eps(i) = Psid - Psi(i); % find the error in height
    if abs(Eps(i)) < 0.05
        Psitr = i*stepsize;
        break;
    end
end

Ztr = Ztr - ztime;
Phitr = Phitr - phitime;
Thetatr = Thetatr - thetatime;
Psitr = Psitr - psitime;

Rise_time = [Ztr Phitr Thetatr Psitr]

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % %
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % %

% Calculate the controls in order to draw them
U1 = m*(g + Kpz*Ez + Kdz*( -
x(:,6)))./(cos(x(:,9)).*cos(x(:,7)))); % Total Thrust on the body
along z-axis
U2 = (Kpp*Ep + Kdp*( - x(:,8))); % Roll input
U3 = (Kpt*Et + Kdt*( - x(:,10))); % Pitch input
U4 = (Kpps*Eps + Kdps*( - x(:,12))); % Yawing moment

U1 = real(U1);
U2 = real(U2);
U3 = real(U3);
U4 = real(U4);

% Bounding the controls
[p q] = size(U2);
for n = 1:p
    % Bounding U1
    if U1(n) > 15.7
        U1(n) = 15.7;
    end

    if U1(n) < 0
        U1(n) = 0;
    end

    % Bounding U2
    if U2(n) > 1
        U2(n) = 1;
    end

    if U2(n) < -1
        U2(n) = -1;
    end
end
end
```

```
end

% Bounding U3
if U3(n) > 1
    U3(n) = 1;
end

if U3(n) < -1
    U3(n) = -1;
end

% Bounding U4
if U4(n) > 1
    U4(n) = 1;
end

if U4(n) < -1
    U4(n) = -1;
end

end

% Plot the control vector
figure(6)
t2 = 0:0.01:5; % For exp.3
hold on
plot(t2,U1,'r')
plot(t2,U2,'g')
plot(t2,U3,'b')
plot(t2,U4,'k')
hold off
title('Control vectors');
legend('U1 Control','U2 Control','U3 Control','U4 Control');
grid

% The function used with the program: Quadrotor control

function xdot = quad_control_fn(t,x)

global Jtp Ixx Iyy Izz b d l m g Kpz Kdz Kpp Kdp Kpt Kdt Kpps Kdps
ZdF PhidF ThetadF PsidF ztime phitime thetatime psitime Zinit
Phiinit Thetainit Psiinit Uone Utwo Uthree Ufour Ez Ep Et Eps

% The desired values
% Changes in Z start at t = 3, changes in Phi start at t = 1,
changes in
% Theta start at the origin, and changes in Psi start at t= 2
% If you want that all start at the origin simply remove the
conditions

% time for change start of each variable
```

```

ztime = 3;
phitime = 1;
thetotime = 0.2;
psitime = 2;
%%% HEIGHT %%%
if t < ztime
    Zd = Zinit;
end

if t >= ztime
    Zd = ZdF;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Phi %%%
if t < phitime
    Phid = Phiinit;
end

if t >= phitime
    Phid = PhidF;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Theta %%%
if t < thetotime
    Thetad = Thetainit;
end

if t >= thetotime
    Thetad = ThetadF;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Psi %%%
if t < psitime
    Psid = Psiinit;
end

if t >= psitime
    Psid = PsidF;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

PsidF = 2*pi;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

thetaddot = 0;
phiddot = 0;
psiddot = 0;
Zddot = 0;
% Zd = 10;

% Bounding the angles within the -2*pi / 2*pi range
if (x(7) > 2*pi || x(7) < - 2*pi)
    x(7) = rem(x(7), 2*pi);
end

```



```

if (x(9) > 2*pi || x(9) < - 2*pi)
    x(9) = rem(x(9), 2*pi);
end

if (x(11) > 2*pi || x(11) < - 2*pi)
    x(11) = rem(x(11), 2*pi);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%PD-Z-Control%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Evaluate the Controls
U = []; % The control vector
U(1) = m*(g + Kpz*(Zd - x(5)) + Kdz*( -
x(6)))/(cos(x(9))*cos(x(7))); % Total Thrust on the body along z-
axis
U(2) = (Kpp*(Phid - x(7)) + Kdp*( - x(8))); % Roll input
U(3) = (Kpt*(Thetad - x(9)) + Kdt*( - x(10))); % Pitch input
U(4) = (Kpps*(Psid - x(11)) + Kdps*( - x(12))); % Yawing
moment

U = real(U);
U = [U(1);U(2);U(3);U(4)]; % The control vector

% % Bounding the controls
% if U(1) > 15.7
%     U(1) = 15.7;
% end
%
% if U(1) < 0
%     U(1) = 0;
% end
%
% for j = 2:4
%     if U(j) > 1
%         U(j) = 1;
%     end
%
%     if U(j) < -1
%         U(j) = -1;
%     end
% end

% Calculation of angular velocities
omegasqr(1) = (1/4*b)*U(1) + (1/2*b*1)*U(3) - (1/4*d)*U(4);
omegasqr(2) = (1/4*b)*U(1) - (1/2*b*1)*U(2) + (1/4*d)*U(4);
omegasqr(3) = (1/4*b)*U(1) - (1/2*b*1)*U(3) - (1/4*d)*U(4);
omegasqr(4) = (1/4*b)*U(1) + (1/2*b*1)*U(2) + (1/4*d)*U(4);
omegasqr = real(omegasqr);

omega(1) = sqrt(omegasqr(1));
omega(2) = sqrt(omegasqr(2));

```

```

omega(3) = sqrt(omegasqr(3));
omega(4) = sqrt(omegasqr(4));
    % Bounding the angular velocities
for j = 1:4
    if omega(j) > 523
        omega(j) = 523;
    end

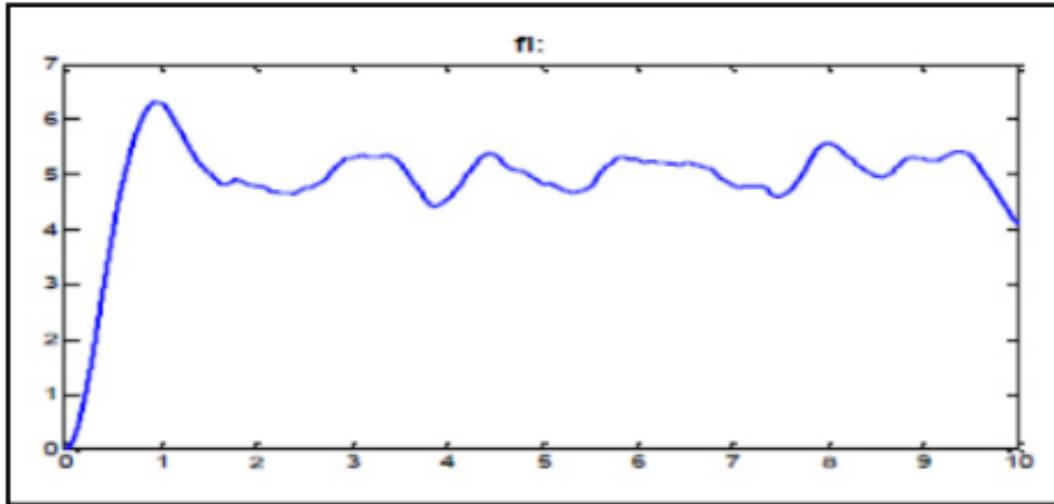
    if omega(j) < 125
        omega(j) = 125;
    end
end
omegasqr(1) = (omegasqr(1))^2;
omegasqr(2) = (omegasqr(2))^2;
omegasqr(3) = (omegasqr(3))^2;
omegasqr(4) = (omegasqr(4))^2;
% Bounding the angular velocities
% for j = 1:4
%     if omegasqr(j) > 523
%         omegasqr(j) = 523;
%     end
%
%     if omegasqr(j) < 125
%         omegasqr(j) = 125;
%     end
% end
% Disturbance
Omega = d*(- sqrt(omegasqr(1)) + sqrt(omegasqr(2)) -
sqrt(omegasqr(3)) + sqrt(omegasqr(4)));

% Evaluation of the State space wrt H-frame
xdot(1) = x(2); % Xdot
xdot(2) = (sin(x(11))*sin(x(7)) +
cos(x(11))*sin(x(9))*cos(x(7)))*(U(1)/m); % Xdotdot
xdot(3) = x(4); % Ydot
xdot(4) = (-cos(x(11))*sin(x(7)) +
sin(x(11))*sin(x(9))*cos(x(7)))*(U(1)/m); % Ydotdot
xdot(5) = x(6); % Zdot
xdot(6) = - g + (cos(x(9))*cos(x(7)))*(U(1)/m); % Zdotdot
xdot(7) = x(8); % phidot
xdot(8) = ((Iyy - Izz)/Ixx)*x(10)*x(12) - (Jtp/Ixx)*x(10)*Omega
+ (U(2)/Ixx); % pdot = phidotdot
xdot(9) = x(10); % thetadot
xdot(10) = ((Izz - Ixx)/Iyy)*x(8)*x(12) + (Jtp/Iyy)*x(8)*Omega +
(U(3)/Iyy); % qdot = thetadotdot
xdot(11) = x(12); % thetadot
xdot(12) = ((Ixx - Iyy)/Izz)*x(8)*x(10) + (U(4)/Izz); % rdot =
psidotdot

xdot = xdot';

```

από την Ιστοσελίδα www.mathworks.com [23]



Εικόνα 26: Χρόνος απόκρισης με θόρυβο

Παρατηρούμε ότι ο ελεγκτής PID ελέγχει αρκετά σταθερά το quadrotor σε μία σταθερή διαδρομή. Σε περίπτωση θορύβου ο έλεγχος με PID δεν είναι κατάλληλος, γιατί το σύστημα δεν έχει καλή απόκριση του συστήματος.

6.4 Εξοπλισμός - Δεδομένα – Συστήματα UAVs πυρόσβεσης

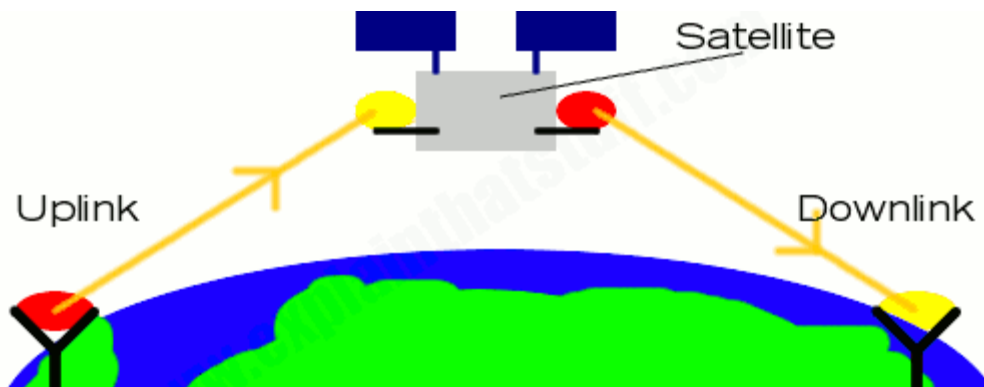
Η εξαγωγή των πληροφοριών που θα βοηθήσουν στην αντιμετώπιση της πυρκαγιάς γίνεται σε συνεργασία της ομάδας εδάφους και της ανάλυσης των δεδομένων που προέρχονται από δορυφόρους μη επανδρωμένα αεροσκάφη ή άλλα μέσα.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη πυρόσβεσης είναι εξοπλισμένα με:

- ✓ Διάφορα αισθητήρια (γυροσκόπιο, βαρόμετρο, επιταχυνσόμετρο μαγνητόμετρο)
- ✓ Κάμερες, GPS
- ✓ Αλγόριθμους για την παρακολούθηση της φωτιάς, την ανίχνευση της και την αντιμετώπισή της
- ✓ Συστήματα GNC

- ✓ Συστήματα εντοπισμού, εγκατάστασης, και ελέγχου για τα σμήνη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ώστε να καλυφθεί όσο το δυνατόν καλύτερα η περιοχή της πυρκαγιάς

Με τη βοήθεια δορυφόρων η ομάδα εδάφους στέλνει και λαμβάνει εικόνες με την μέθοδο uplink / downlink. [64]



Εικόνα 27: Μέθοδος uplink / downlink

Η χρησιμοποίηση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε δασικές πυρκαγιές έχει αναλυθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες στο Fire Project.[65]

6.5 Προσομοίωση παρακολούθησης Φωτιάς με σμήνος UAV

6.5.1 Παραδοχές

Για να γίνει η προσομοίωση της παρακολούθησης της περιμέτρου της φωτιάς, πρέπει να γίνουν κάποιες απαραίτητες υποθέσεις:

- Θεωρείται ότι κάθε UAV μπορεί να συλλέξει ή να λάβει επαρκείς πληροφορίες ώστε να είναι σε θέση να σχεδιάσει και να ρυθμίσει τη διαδρομή πτήσης του αυτόνομα. Έτσι μπορεί να προσαρμόζει τη διαδρομή πτήσης του σύμφωνα με την περίμετρο της φωτιάς. Για να γίνει αυτό θα πρέπει κάθε μη επανδρωμένο αεροσκάφος να είναι εξοπλισμένο με δέκτη IR ικανό να καταγράψει εικόνες κάτω από τη διαδρομή του και μία κάμερα

υπέρυθρων για να ανιχνεύει τις περιοχές του εδάφους με τις υψηλότερες θερμοκρασίες.

- Κάθε μη επανδρωμένο αεροσκάφος θεωρείται ότι έχει περιορισμένη εμβέλεια επικοινωνίας. Αν βρίσκεται εκτός αυτού του εύρους δεν μπορεί να μεταφορτώσει δεδομένα στο σταθμό βάσης. Για να μπορεί να επικοινωνήσει και με άλλα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, θα πρέπει να συνυπάρχουν εντός συγκεκριμένου εύρους.
- Κάθε μη επανδρωμένο αεροσκάφος θεωρείται ότι έχει περιορισμένο καύσιμο. Επομένως θα πρέπει να επιστρέφει συχνά στο σταθμό βάσης για να ανεφοδιασμού. [66]

6.5.2 Χρόνος απόκρισης / Λανθάνων Χρόνος

Η γρήγορη καταστολή της πυρκαγιάς βασίζεται στην άμεση ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων με την υπάρχουσα κατάσταση. Είναι αυτό που ονομάζεται ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο (real time). Στην πραγματικότητα η πληροφόρηση του σταθμού βάσης από ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο αλλά υπάρχει μία καθυστέρηση. Είναι το γεγονός που αποκαλείται ως χρόνος απόκρισης / λανθάνων χρόνος. Ο χρόνος δηλαδή που μεσολαβεί από την στιγμή που ξεκινάει να δουλεύει ένα σύστημα που δέχεται ένα εξωτερικό ερέθισμα μέχρι τη στιγμή που το ερέθισμα γίνεται αντιληπτό από το περιβάλλον του εκάστοτε συστήματος και ουσιαστικά ξεκινάει η λειτουργία του.

Ο χρόνος απόκρισης του συγκεκριμένου συστήματος οριοθετείται από την στιγμή που ένα UAV ξεκινά την πτήση του από τον σταθμό βάσης και αφού καλύψει όλη την περίμετρο της πυρκαγιάς επανέλθει στη βάση του. Ο χρόνος απόκρισης μεταξύ της συλλογής των εικόνων και της μετάδοσής τους στο σταθμό βάσης, μπορεί να χρησιμεύσει ως μέτρο της ποιότητας του αλγόριθμου παρακολούθησης της πυρκαγιάς.

Με την εξέλιξη του χρόνου οι πληροφορίες στο σταθμό βάσης καθίστανται πιο λανθάνουσες μέχρις ότου φτάσει ένα νέο UAV για να μεταδώσει τις τελευταίες

πληροφορίες που έχει συγκεντρώσει. Έστω x το σημείο ενημέρωσης του σταθμού και $G(x, t)$ είναι η συνάρτηση που αναπαριστά την χρονική απόκριση του συστήματος. Για μια συγκεκριμένη θέση x κατά μήκος της περιμέτρου της φωτιάς, η παράμετρος $G(x, t)$ απλά θα αυξάνεται με το χρόνο, μέχρι να αντικατασταθεί από τα δεδομένα που λαμβάνονται από άλλο UAV.

Αυτή η συγκεκριμένη προσπάθεια προσομοίωσης χρησιμοποιεί μια στρατηγική συνεργασίας που ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση που σχετίζεται με τις μετρήσεις περιμέτρου φωτιάς που παρέχονται στον σταθμό βάσης. Αυτό επιτυγχάνεται με ελαχιστοποίηση του χρόνου πτήσης μεταξύ των σημείων της περιμέτρου της φωτιάς και του σταθμού βάσης και μεγιστοποίηση της συχνότητας των ενημερώσεων μέτρησης που παρέχονται στο σταθμό βάσης.

Τεχνική ελαχιστοποίησης χρόνου απόκρισης / λανθάνουσας κατάστασης είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική παρακολούθηση της πυρκαγιάς, ανεξάρτητα από το αν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη λειτουργούν σαν ομάδα. Όταν ένα UAV μεταδίδει τις πληροφορίες του στο σταθμό βάσης, ένα συνοδευτικό προφίλ λανθάνουσας κατάστασης συνοδεύει τα δεδομένα. Ο χρόνος ανάμεσα στις ενημερώσεις $Y(x, t)$ συνδέεται με τον χρόνο απόκρισης $G(x, t)$ με τον τύπο:

$$Y(x, t) = [G(x) - (t - t_{update})]$$

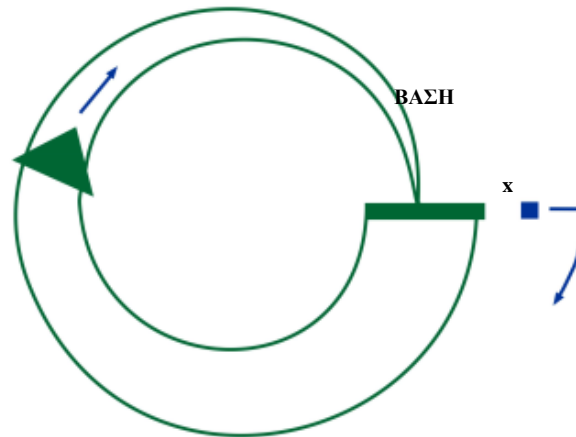
ενώ την στιγμή που ένα UAV ενημερώνει τη βάση έχουμε:

$$Y(x, t) = G(x, t)$$

Η βέλτιστη λύση της μείωσης του χρόνου απόκρισης είναι όταν αυτός ελαχιστοποιείται. Τότε σύστημα παρακολούθησης (Σταθμού βάσης – UAV) θεωρείται πλήρως ενημερωμένο.

Οι μελέτες που διεξήχθησαν στο πλαίσιο του προγράμματος παρακολούθησης δείχνουν ότι ο κύριος στόχος για την ενημέρωση των δεδομένων είναι ο σχεδιασμός

της συνεργαζόμενης παρακολούθησης η οποία είναι σε θέση να μειώσει τον χρόνο απόκρισης για κάθε x και να ενημερώνει τον σταθμό βάσης όσο πιο συχνά γίνεται.



Εικόνα 28: Προφίλ λανθάνουσας κατάστασης ενός μόνο μη επανδρωμένου αεροσκάφους

Η εικόνα 28 δείχνει τη καθυστέρηση που σχετίζεται με την περίμετρο της φωτιάς όταν ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος, που κινείται δεξιόστροφα, επιστρέφει στον σταθμό βάσης μετά από τη διάνυση όλης της περιμέτρου. Το εύρος ανάμεσα στις δύο κυκλικές γραμμές (πάχος διαδρομής) υποδεικνύει την καθυστέρηση της ενημέρωσης του σταθμού βάσης σε εκείνο το σημείο. Η βέλτιστη λανθάνουσα κατάσταση συνδέεται με τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στην αρχή της πτήσης κοντά στον σταθμό βάσης. Δεδομένου ότι η κατάσταση της φωτιάς μεταδίδεται μόνο αφού το μη επανδρωμένο αεροσκάφος διασχίσει ολόκληρη την περίμετρο φωτιάς και ότι ταξιδεύει με σταθερή ταχύτητα, το προφίλ λανθάνουσας κατάστασης (χρόνος απόκρισης) είναι μια γραμμική συνάρτηση της απόστασης που διανύθηκε $m(x)$, η οποία ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$m(x) = P - xv$$

όπου:

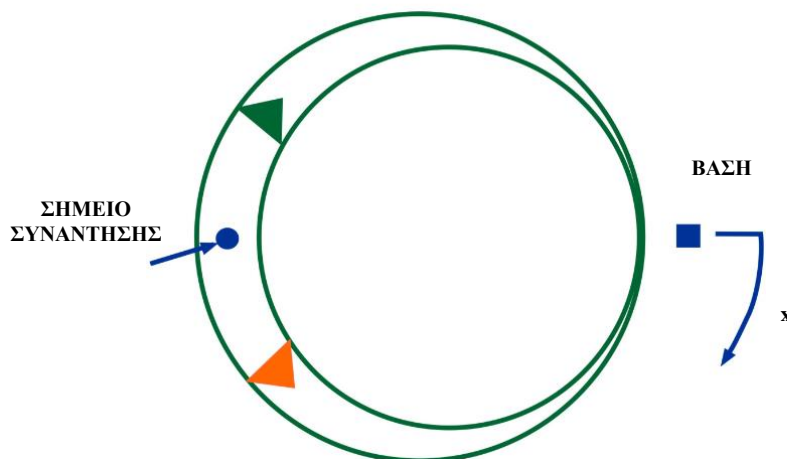
P : είναι η περίμετρος της πυρκαγιάς

v : είναι η ταχύτητα του UAV

Ο σταθμός βάσης λαμβάνει ενημερώσεις μόνο τόσο γρήγορα όσο ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος μπορεί να διασχίσει ολόκληρη την περίμετρο φωτιάς. Επομένως, η συνολική λανθάνουσα κατάσταση που συνδέεται με μία διαδρομή μπορεί να δοθεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\int OP m(x)d(x) = 0.5 P2v$$

Το προφίλ λανθάνουσας κατάστασης για ένα ζεύγος μη επανδρωμένων αεροσκαφών που διανύει μια κυκλική στατική φωτιά σε αντίθετες κατευθύνσεις, φαίνεται στην Εικόνα 29.



Εικόνα 29: Προφίλ λανθάνουσας κατάστασης δύο μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Για καλύτερη κατανόηση της συνολικής καθυστέρησης, το ένα UAV ξεκινά για να ερευνησει το άνω μισό της περιμέτρου, ενώ ένα δεύτερο UAV ερευνά το κάτω μισό της περιμέτρου. Εάν τα UAVs απομακρυνθούν ταυτόχρονα από τον σταθμό βάσης και πετούν με την ίδια ταχύτητα, ο ρυθμός ενημέρωσης (χρόνος απόκρισης) θα είναι ίδιος με την περίπτωση του ενός UAV (υποθέτοντας πως και τα δύο UAVs επιστρέφουν ταυτόχρονα στον ίδιο σταθμό βάσης), αλλά η καθυστέρηση που σχετίζεται με τις πληροφορίες και στις δύο πλευρές του σταθμού βάσης θα είναι

συμμετρική και μειωμένη. Σε αυτή την περίπτωση, το προφίλ λανθάνουσας κατάστασης μπορεί να εκφραστεί με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$P(x)=xv \text{ for } 0 < x < P2$$

$$m(x) = p - xv$$

και η συνολική λανθάνουσα κατάσταση θα υπολογίζεται από τον τύπο :

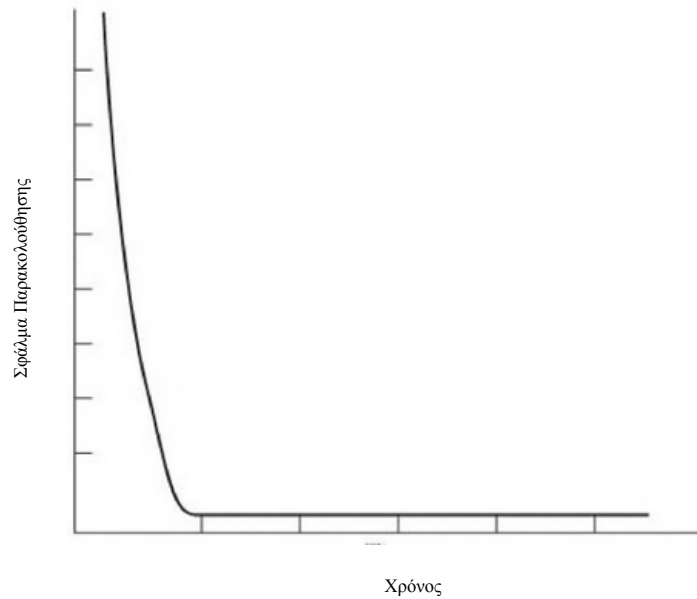
$$\int_0^P m(x)dx = 0.25 P^2v$$

που είναι η μισή σε σχέση με αυτή που έχουμε όταν χρησιμοποιούμε ένα UAV.

Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός με τον οποίο πραγματοποιείται η ενημέρωση της βάσης θα αυξηθεί γραμμικά αν αυξηθεί ο αριθμός των ζευγών των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Αυτό οδηγεί στη μείωση της λανθάνουσας κατάστασης. Για μεγαλύτερη βελτίωση λανθάνουσας κατάστασης, τα UAV θα πρέπει να κατανέμονται εξίσου γύρω από την περίμετρο φωτιάς. [66]

6.5.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης πυρκαγιάς

Εξοπλισμός του κάθε μη επανδρωμένου αεροσκάφους είναι μια υπέρυθρη κάμερα, κλίση αναρτήρα και ένας αυτόματος πιλότος. Για τον περιμετρικό εντοπισμό της φωτιάς χρησιμοποιείται κάμερα με χρήση υπερύθρων όπου γίνεται σάρωση μέσω της υπέρυθρης εικόνας και επισημαίνεται κάθε εικονοστοιχείο, BERN ή NOT BERN. Με τη χρήση ενός γραμμικού ταξινομητή ταξινομούμε σε BERN και NOTBERN. Σε αυτή τη συγκεκριμένη προσομοίωση, το μοντέλο πυρκαγιάς EMBYR χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός α μοντέλου της φωτιάς σε κάθε βήμα του χρόνου. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης ενός μοναδικού UAV που διανύει την περίμετρο της πυρκαγιάς φαίνονται στην εικόνα 30. Είναι δηλαδή το σφάλμα εντοπισμού πυρκαγιάς για ένα μόνο μη επανδρωμένο αεροσκάφος.



Εικόνα 30: Τυπική απεικόνιση της εξέλιξης λανθάνουσας περιόδου ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους

Στη συνέχεια γίνεται σχεδιασμός της γραμμικής τμηματοποίησης στις παγκόσμιες συντεταγμένες του UAV. Ελέγχονται τα προσβάσιμα σημεία N δευτερολέπτων στο άμεσο μέλλον και παραμετροποιείται όλο το σύνολο, ως συνάρτηση της γωνίας περιστροφής. Δίνεται εντολή για γωνία περιστροφής σε απόσταση προς την άκαυτη πλευρά και περίμετρο της φωτιάς. Τοποθετούνται οι γωνίες κλίσης του αντίζυγου της κάμερας με τέτοιο τρόπο ώστε ο γραμμικός ταξινομητής να διαιρεί την εικόνα σε δύο ίσα μέρη.

Η παρακολούθηση της περιμέτρου της φωτιάς με αυτό τον τρόπο είναι ιδανική διότι μπορεί πραγματοποιηθεί και όταν η φωτιά περάσει από άκαυτα σημεία όπως ποτάμια, πετρώδες έδαφος κ.α. Επιπλέον, η φωτιά εξαπλώνεται πιο γρήγορα σε ανηφορικό έδαφος παρά σε κατηφορικό. Εάν το οπτικό πεδίο (FOV) της κάμερας IR είναι μεγαλύτερο από τα κενά (λίμνες, δρόμοι κ.α.) στην περίμετρο φωτιάς, ο αλγόριθμος θα λειτουργήσει με ακρίβεια επειδή ο γραμμικός ταξινομητής θα παρέχει την καλύτερη γραμμική προσαρμογή στα δεδομένα προσομοίωσης, τα οποία θα ταιριάζουν σε μια γραμμή μέσω των μη συνεχών περιοχών στην περίμετρο φωτιάς. Η γραμμική ταξινόμηση λειαίνει αποτελεσματικά τα μη συνεχόμενα όρια. Η απόσταση διασφαλίζει ότι τα UAV δεν πετούν απευθείας πάνω από τη φωτιά, αλλά

πετούν σε μια ασφαλή απόσταση για αυτά κάνοντας ελιγμούς. Τέλος η συνεχής αποτελεσματικότητα της γραμμικής ταξινόμησης εξασφαλίζεται με τον μηχανισμό του αντιζυγίου. [66]

6.5.4 Αλγόριθμος παρακολούθησης Φωτιάς με μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Πραγματοποιήθηκαν μελέτες σε δύο ή τρεις αλγόριθμους ικανούς να παρέχουν ελάχιστη λανθάνουσα κατάσταση για τα συστήματα παρακολούθησης της πυρκαγιάς με ελάχιστο σφάλμα. Για την αξιολόγηση των αλγορίθμων αποτελεσματικότητας και καταλληλότητας επιλέχθηκε ένα σύστημα διανομής πυρόσβεσης. Για σταθερό μήκος περιμέτρου και σταθερό αριθμό μη επανδρωμένων αεροσκαφών, η διαμόρφωση ελάχιστης λανθάνουσας κατάστασης εμφανίζεται όταν τα ζεύγη των αεροσκαφών απλώνονται ομοιόμορφα κατά μήκος της περιμέτρου της φωτιάς και προς τις δύο κατευθύνσεις (δηλαδή, για κάθε ζεύγος μη επανδρωμένων αεροσκαφών, το ένα κατευθύνεται δεξιόστροφα και το άλλο αριστερόστροφα). Αυτά τα ζεύγη μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα συναντηθούν και θα μεταδώσουν τις συγκεντρωμένες πληροφορίες και στη συνέχεια κάθε αεροσκάφος θα στραφεί προς την κατεύθυνσή κατεύθυνση για να συναντήσει το γείτονά του προς την άλλη κατεύθυνση. Προκειμένου να διευκολυνθεί ο ανεφοδιασμός τους, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να ανταλλάσσουν ρόλους σε ένα ραντεβού, έτσι ώστε τα μέλη της ομάδας που έχουν λιγότερα καύσιμα να είναι πλησιέστερα στον σταθμό βάσης. [66]

Κατανεμημένος Αλγόριθμος

Ο κύριος στόχος του κατανεμημένου αλγορίθμου είναι να επιτύχει την ελάχιστη λανθάνουσα κατάσταση με ελάχιστες υπολογιστικές προσπάθειες. Αυτός ο αλγόριθμος πρέπει να αντιστρέφει οποιοδήποτε μέγεθος περιμέτρου πυρκαγιάς και πρέπει να αναπροσαρμόζεται, όταν το μήκος της περιμέτρου ή ο αριθμός των ζευγών των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) ποικίλλει. Θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε οι αλλαγές στις παραμέτρους του συστήματος να διαδοθούν σε όλη την ομάδα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών όσο το δυνατόν ταχύτερα. Αυτό θα επιτρέψει

στον σχεδιαστή του αλγορίθμου να αντιμετωπίσει την εισαγωγή και τη διαγραφή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στην ομάδα. Επιπλέον, αυτός ο αλγόριθμος θα επιτρέψει την επέκταση και συστολή της περιμέτρου της φωτιάς. Η βασική απαίτηση είναι κάθε UAV να λάβει τα κατάλληλα μέτρα που θα επιτρέψουν στα γειτονικά ζεύγη UAV να μοιραστούν την περίμετρο μεταξύ τους, βελτιώνοντας την καθυστέρηση. Όταν συναντώνται δύο UAV, το κάθε ένα έχει ξεκάθαρη γνώση του μήκους που μόλις ταξίδεψε από την προηγούμενη θέση ραντεβού. Επίσης το άθροισμα αυτών των μηκών μπορεί να χωριστεί εξίσου μεταξύ των UAV, έτσι ώστε το UAV, που έχει ταξιδέψει στη μικρότερη απόσταση, να χαλαρώσει στο μέσο του τμήματος αυτού και να περιμένει το γειτονικό του μέχρι την επόμενη φορά που θα πρέπει να συναντηθούν τα δύο UAVs. [66]

Αλγόριθμος εξισορρόπησης φορτίου

Ο αλγόριθμος εξισορρόπησης φορτίου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εξισορρόπηση των φορτίων απόστασης διαδρομής κατά μήκος της περιμέτρου της φωτιάς. Μέσω της μέτρησης της απόκλισης στην απόσταση του τμήματος L_i και της νέας απόστασης προς το τελικό σημείο, το UAV1 μπορεί να ενημερώσει την απόσταση καταστροφής για να εξουδετερώσει το αρνητικό αποτέλεσμα της ανάπτυξης στην περιοχή αυτή. Επίσης η προσθήκη UAV στην περίμετρο είναι ισοδύναμη με τη σύζευξη των περιμετρικών τμημάτων το οποίο οδηγεί σε μεταβαλλόμενα τελικά σημεία. Τα τελικά σημεία που μοιράζονται ένα ζευγάρι UAV είναι οι εξωτερικοί γείτονες αυτών των UAV. Αναπτύσσοντας την προσομοίωση του Monte Carlo παρατηρείται πως η αντιστοίχιση ζεύγους φορτίων θα οδηγήσει τελείως σε ομαδική σύγκλιση. Με την εξισορρόπηση του μήκους που μοιράζεται κάθε ζεύγος UAV, η ομάδα ως σύνολο θα εξαπλωθεί ομοιόμορφα γύρω από την περίμετρο πυρκαγιάς προκειμένου να επιτευχθεί η ελάχιστη διαμόρφωση λανθάνουσας κατάστασης. Εάν ο αλγόριθμος μπορεί να αποδειχθεί ότι συγκλίνει για τεχνητές αρχικές συνθήκες με έναν αυθαίρετο αριθμό μελών της ομάδας, τότε η εισαγωγή / διαγραφή μπορεί να αναλυθεί λαμβάνοντας υπόψη το τροποποιημένο σύστημα (μετά τις διαδικασίες εισαγωγής και διαγραφής) με τις αρχικές συνθήκες

που δίδονται από την κατάσταση του πρωτοτύπου συστήματος κατά την εισαγωγή / διαγραφή. Κάθε UAV πρέπει να εφαρμόσει τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Διατήρηση μιας ισοροπημένης εκτίμησης της απόστασης από το τελευταίο ραντεβού σε κάθε κατεύθυνση.
- Κάθε UAV μοιράζεται ένα τμήμα με τον γείτονά του δεξιόστροφα και τον αριστερό του γείτονα.
- Σε ένα σημείο ραντεβού, το UAV που έχει ταξιδέψει τη μικρότερη απόσταση από την τελευταία του θέση ραντεβού συμφωνεί να καθυστερήσει στο μέσο του κοινού τμήματος την επόμενη φορά που παρακολουθεί την περίμετρο προς την κατεύθυνση αυτή (είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα)

Εάν το τελικό σημείο του τμήματος αλλάζει εξαιτίας της αύξησης της περιμετρικής πυρκαγιάς ή των γειτονικών ενεργειών, τότε η απόσταση συνάντησης πρέπει να αυξηθεί με την αλλαγή της απόστασης του τελικού σημείου. Αυτή η διαδικασία διατηρεί το σημείο καθυστέρησης στην ίδια θέση σε σχέση με το μήκος του τμήματος όπως μεταδόθηκε κατά τη διάρκεια του ραντεβού.

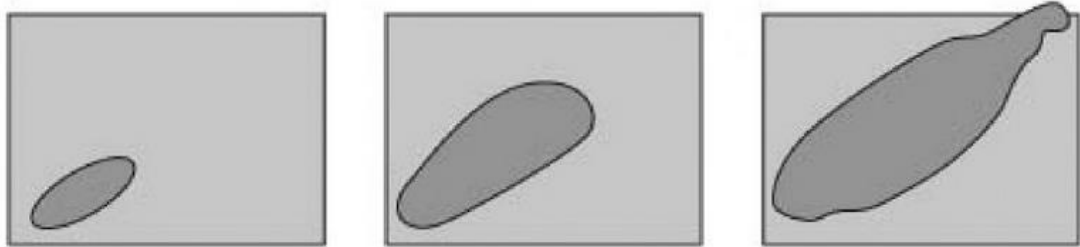
Χρησιμοποιώντας την προσομοίωσης Monte Carlo αποδεικνύεται ότι ο αλγόριθμος εξισορρόπησης φορτίου συνδιαλέγεται στη διαμόρφωση ελάχιστης καθυστέρησης για αυθαίρετες αρχικές συνθήκες. [66]

Μοντέλο Fire EMBYR χρησιμοποιώντας το συνεργατικό αλγόριθμο ελέγχου:

Επιπλέον, μοντέλο παρακολούθησης φωτιάς και μοντέλο περιμετρικής παρακολούθησης είναι διαθέσιμα για την εκτίμηση των τάσεων στην παρακολούθηση φωτιάς και την παρακολούθηση περιμέτρου. Οι εμπειρογνώμονες παρακολούθησης πυρκαγιάς έχουν αναπτύξει το μοντέλο EMBYR για την αποτελεσματική πρόβλεψη του συνεπαιριστικού ελέγχου περιμετρικής παρακολούθησης και προσομοιώσεων πυρκαγιάς. Το μοντέλο EMBYR ουσιαστικά διαιρεί την περιοχή ενδιαφέροντος σε ένα πλέγμα «κελιών», όπου το καθένα έχει συγκεκριμένες ιδιότητες (τύπος φυλλώματος, υγρασία) που επηρεάζουν την εξάπλωση της φωτιάς.

Σε ένα δεδομένο χρονικό βήμα, η φωτιά θα εξαπλωθεί από ένα καμένο κελί, σε μη καμένα κελιά σύμφωνα με ένα ανεξάρτητο στοχαστικό γεγονός, το οποίο είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων αντίστοιχων κελιών.

Εκτελώντας το μοντέλο EMBYR πολλές φορές και κατά μέσο όρο το αποτέλεσμα, μπορεί κανείς να επιτύχει τις ρεαλιστικές προσομοιώσεις πυρκαγιάς, όπως αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 31. Σε αυτή την εικόνα απεικονίζεται η προσομοίωση πυρκαγιάς υπό συνθήκες υψηλού ανέμου με κλίση ανύψωσης. Παρατηρείται ότι η φωτιά εξαπλώνεται προς την κατεύθυνση του ανέμου. [66]



Εικόνα 31: Προσομοίωση πυρκαγιάς με μοντέλο EMBYR

7. Συμπεράσματα

Αποδεχόμενοι το γεγονός ότι οι αλγόριθμοι κυριαρχούν στην καθημερινότητά μας και ακολουθώντας τα βήματα της φύσης, έγινε εφικτή η ανάπτυξη μιμητικών εφαρμογών (PSO, ACO, κ.α.) σε δραστηριότητες που αφορούν την καθημερινή μας ζωή. Επίσης είναι γεγονός ότι η τεχνολογία της απομακρυσμένης διαχείρισης των διαφόρων μηχανικών εφαρμογών είναι πλέον αναπτυγμένη και εξελίσσεται εκθετικά. Σε συνδυασμό των παραπάνω, οι αλγόριθμοι ελέγχου ρομποτικού σμήνους αποτελούν χρήσιμα εργαλεία στην πετυχημένη «σύζευξη» αυτών των δύο με στόχο την εξερεύνηση και την εύρεση της βέλτιστης λύσης για την άμεση αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Τα ελαφριά και υψηλής ενεργειακής απόδοσης ενσωματωμένα υπολογιστικά συστήματα έχουν δώσει τη δυνατότητα της διαμόρφωσης ενός ανατροφοδοτούμενου ελέγχου, μέσω των αισθητηρίων, πάνω στο ίδιο το αεροσκάφος. Έχοντας όμως, ένα πραγματικό σμήνος μη επανδρωμένων αεροσκαφών τα βήματα του αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων μειονεκτούν σε σχέση με τα βήματα που

πραγματοποιούνται σε περιβάλλον εξομοίωσης. Τα μηχανικά μέρη ενός αεροσκάφους δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν όλους τους πιθανούς ελιγμούς όπως τα μικροσκοπικά σώματα αμελητέας μάζας που έχουμε σε περιβάλλον εξομοίωσης. Ο μηχανισμός και η κινητικότητα των μηχανικών μερών είναι μία πρόκληση για τις μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες.

Ωστόσο τα βήματα του αλγόριθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων μπορούν να εφαρμοστούν στον αρχικό (εφόσον γνωρίζουμε τις αρχικές θέσεις) και στον τελικό σχηματισμό των αεροσκαφών. Η ικανότητα αυτού του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, να διαχειρίζεται μεγάλο αριθμό μη επανδρωμένων αεροσκαφών, καθώς και η βέλτιστη εφαρμογή του, έστω και στις αρχικές συνθήκες, μπορεί να είναι καθοριστική σε περιπτώσεις διάσωσης, εξερεύνησης κ.α. Η χρήση του αλγόριθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων στον τελικό σχηματισμό των αεροσκαφών μπορεί να φέρει και επιπλέον τρόπους για εξοικονόμηση ενέργειας και αυτονομίας. Η αυτονομία των αεροσκαφών είναι αυτή η οποία θα καθορίσει την απόδοση τους κυρίως σε περιπτώσεις άμεσης επέμβασης (υψηλής επικινδυνότητας) και μη εφικτού ανεφοδιασμού. Ο συγκεκριμένος τομέας χρειάζεται περισσότερη έρευνα.

Όσον αφορά την πυροπροστασία των δασών προτείνεται ένα πρόγραμμα συνεργασίας, το οποίο θα χρησιμοποιεί έναν άρτιο (ζυγό) αριθμό μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την ελαχιστοποίηση της λανθάνουσας ενημέρωσης και της συχνότητας των απαιτήσεων ενημέρωσης.

Τέλος θα πρέπει να τονίσουμε η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών θέτουν εκτός από νομικά ζητήματα και ηθικά σε σχέση με την προστασία της ιδιωτικής ζωής τα οποία θα πρέπει να αντιμετωπιστούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://www.rizospastis.gr/story.do?id=561549>, άρθρο: «Νοημοσύνη Σμήνους», 3/12/2000, Πηγή: Scientific American
- [2] https://el.wikipedia.org/wiki/Νοημοσύνη_σμήνους, προσπέλαση 25/4/2018

- [3] Craig W. Reynolds, «Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model». Proceedings of the 14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'87), ACM. doi:10.1145/37401.37406, 1987.
- [4] https://el.wikipedia.org/wiki/Αυτο-οργάνωση_προσπέλαση_20/5/2018
- [5] «Entropy and Self-Organization in Multi-Agent Systems», H. Van Dyke Parunak, Sven Brueckner, άρθρο, Πηγή: <https://dl.acm.org/citation.cfm>, 2001.
- [6] A. Torn, A. Zilinskas, «*Global Optimization*», Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1989.
- [7] D. Beasley, D. Bull, and R. Martin. “*An overview of genetic algorithms: Part I, fundamentals*”. University Computing, 15(2):58–69, 1993.
- [8] <http://infocenter.sybase.com/help/index.jsp?topic=/com.sybase.infocenter.dc00967.1550/html/MigrationGuide/MigrationGuide5.htm>
- [9] Κωνσταντίνος Ε. Παρσοπουλος, «Αλγόριθμοι Υπολογιστικής Νοημοσύνης για Αριθμητική Βελτιστοποίηση», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών Σχολή Θετικών Επιστημών Τμήμα Μαθηματικών Πάτρα, (σελ. 18 - 19), 2004.
- [10] J. Kennedy, R. C. Eberhart. Particle swarm optimization. In Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, volume IV, pages 1942–1948, Piscataway, NJ, 1995. IEEE Service Center.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_algorithm(προσπέλαση 01/05/2018)
- [12] M. M. Millonas. Swarms, phase transitions, and collective intelligence. In M. Palaniswami, Y. Attikiouzel, R. Marks, D. Fogel, T. Fukuda, editors, Computational Intelligence: A Dynamic System Perspective, (pages 137–151). IEEE Press, Piscataway, NJ, 1994.
- [13] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colorni, “*Ant system: optimization by a colony of cooperating agents,*” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics) (Volume: 26, Issue: 1, Feb 1996)
- [14] Gerardo Beni, Jing Wang, “*Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems*”, Springer Berlin Heidelberg, 1993.

- [15] https://el.wikipedia.org/wiki/Νοημοσύνη_σμήνους, Προσπέλαση 01/05/2018
- [16] <http://www.techferry.com/articles/swarm-intelligence.html>
- [17] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-74377-4_18
- [18] Bonabeau E , Dorigo M, Theraulaz G. “*Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*”, New York : Oxford University Press, 1999
- [19] Πικουλη Θεοδώρα, «Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού εργασιών με στοχαστικό χρόνο άφιξης ή εξυπηρέτησης», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τομέας: Επιχειρησιακή Έρευνα, Κρήτη (σελ. 24 - 25), 2016.
- [20] Marco Dorigo, Thomas Stutzle, “*Ant Colony Optimization*”, Massachusetts Institute of Technology, 2004
- [21] Jason Brownlee. “*Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*”, 2012
- [22] <https://www.slideshare.net/adrianwilke/ant-colony-optimization-routing>
- [23] <https://www.mathworks.com/>
- [24] http://www.teicm.gr/arximidis/pdf/tsitsos/pe4_Report_4.pdf
- [25] Maurice Clerc, “*Particle Swarm Optimization*”, ISTE, 2004.
- [26] <https://www.scribd.com/doc/136287972/Karl-von-Frisch-The-Dancing-Bees-pdf>
- [27] Baris Yuce , Michael S. Packianather , Ernesto Mastrocinque , Duc Truong Pham and Alfredo Lambiase. “*Honey Bees Inspired Optimization Method: The Bees Algorithm, Insects*”, 4(4), 646-662 72, 2013
- [28] <http://www bees-algorithm.org/>
- [29] Marwaha S., Tham C. K., Srinivasan D. Mobile agents based routing protocol for mobile ad hoc networks. In Proc. of IEEE Globecom, 2002
- [30] <https://oreinomeli.wordpress.com/tag/%CE%BC%CF%85%CF%81%CE%BC%CE%AE%CE%B3%CE%BA%CE%B9%CE%B1/>
- [31] https://el.wikipedia.org/wiki/MANET_2, προσπέλαση 10/05/2018
- [32] Wenzhong Guo, Jie Li and Guolong Chen, “A PSO-Optimized Real-Time Fault-Tolerant Task Allocation Algorithm in Wireless Sensor Networks” IEEE

- Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B, vol. 26, pp. 58-100, 2004
- [33] Y. Wen, H. Xue, J. D. Yang, "A heuristic-based hybrid genetic-variable neighborhood search algorithm for task scheduling in heterogeneous multiprocessor system", *Inf. Sci.*, vol. 181, no. 3, pp. 567-581, 2011
- [34] <http://www.iefimerida.gr/news/412033/tromos-sti-dysi-yponvryhio-drone-toy-roytin-mporei-na-prokalesei-radienergo-tsoynami-100>
- [35] M. Yogeswaran and S. G. Ponnambalam. "Swarm Robotics: An Extensive Research Review, Advanced Knowledge Application in Practice". In: ed. by Igor Fuerstner. InTech, Chap. 14, pp. 259–261, 2010
- [36] Clarke, R. "Understanding the drone epidemic. Computer law and security, review" 30, 230-246, 2014
- [37] Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology
http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html#Beginnings
- [38] <https://hellasdrones.com/>
- [39] Hannavy, J., Ed. Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography; Routledge, Taylor & Francis Group, Volume 1, pp. 14–15, 2007
- [40] <https://owlcation.com/humanities/World-War-1-History-The-Kettering-Bug-Worlds-First-Flying-Bomb>
- [41] <https://www.revolvy.com/main/index.php?s=Radioplane%20OQ-2>
- [42] <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-020-DFRC.html>
- [43] https://el.wikipedia.org/wiki/Μη_επανδρωμένο_αεροσκάφος
- [44] ΕΦΗΜΕΡΙΔΑΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ 30 Σεπτεμβρίου 2016, Τεύχος Β, Αρ. Φύλλου 3152
- [45] SAE ARP 4761, SAE ARP 4761_Guidelines And Methods For Conducting The Safety Assessment Process On Civil Airborne Systems And Equipment. s.l.:SAE., 1996
- [46] Kopardekar, P., Rios, J., Prevot, T., Johnson, M., Jung, J., Robinson, J.: "Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations". In: AIAA Aviation Forum, June 2016

- [47] NASA: UTM: air traffic management for low-altitude drones, 2015
- [48] Clarke, R., “*Understanding the drone epidemic. Computer law and security, review 30*”, 230-246, 2014
- [49] Rao, B., Gopi, A., Maione, R. “*The social impact of commercial drones. Technology in Society*”, 45, 83-90 14, 2016
- [50] <https://dagr.hcaa.gr/>
- [51] Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, Κανονισμός πτήσεων των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), 2016
- [52] <https://irevolutions.org/2014/06/25/humanitarians-in-the-sky/>
- [53] <http://www.dronequest.gr/2018/01/>, άρθρο, «Η Εφαρμογή των drones στη διαχείριση καταστροφών», Δρ. Ασπασία Καραμάνου, Ξένια Γεωργιάδου, 10/1/2018
- [54] <https://irevolutions.org/2016/02/17/aerial-robotics-search-and-rescue/>
- [55] i, D. Song, H. Shang, N. Wang, C. Hua, C. Wu, X. Qi, and J. Han, “*Search and rescue rotary-wing uav and its application to the lushan ms 7.0 earthquake, Journal of Field Robotics*”, vol. 33, no. 3, pp. 290-321, 2016
- [56] <http://www.ekriti.gr/ διεθνή-αφιερώματα/26-απριλίου-1986-η-καταστροφή-του-τσερνομπίλ>
- [57] <https://hellasdrones.com>
- [58] Viegas, D., “*Forest fire propagation*”. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 356, 2907-2928, 1998
- [59] Μαρία Α. Σιφναίου, «Ψηφιακή επεξεργασία UAV (Drone) εικόνων με το λογισμικό Imagine UAV (Erdas Imagine 2015)», Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Πολυτεχνιακή Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, Θεσσαλονίκη (σελ. 96 - 98), 2016
- [60] <https://www.theverge.com/2016/12/1/13805078/apple-maps-drones-google-maps-features>
- [61] <http://www.sar-robots.upatras.gr>
- [62] https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-832-underactuated-robotics-spring-009/readings/MIT6_832s09_read_ch01.pdf

- [63] Alexis K., Nikolakopoulos G., Tzes A., Dritsas L. “*Coordination of Helicopter UAVs for Aerial Forest-Fire Surveillance*”, vol 39, pp 169 – 193, Springer, Dordrecht, 2009
- [64] Aníbal Ollero, Iván Maza, “*Multiple Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicles*”, Springer verlag Berlin Heidelberg, 2007
- [65] Emmons, 14.W., The ingestion of flames and fire gases into a hole in an aircraft cabin for arbitrary tilt angles and wind speeds, Home Fire Project Technical Report, 52, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, USA 1982.
- [66] Ph.D A. R. Jha, Theory, “*Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles*”, Taylor and Francis Group, 2016



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Παράρτημα Α:

Πρόταση Μεταπτυχιακής Διατριβής

1. Όνομα Φοιτητή: Ζησίμου Κωνσταντία
2. Όνομα Επιβλέποντα Καθηγητή: Δρόσος Χρήστος
3. Τίτλος Διατριβής:

Αποτίμηση Αλγορίθμων Ελέγχου Ρομποτικού Σμήνους

TITLE:

Valuation Intelligent Algorithms of Swarm Robotics

4. Περίληψη Διατριβής:

Στα πλαίσια της σύγχρονης και συνεχούς ανάπτυξης της τεχνολογίας, παρατηρείται έντονα πλέον η ανάγκη για την ανάπτυξη ευφυών συστημάτων. Η εκθετική πρόοδος του κλάδου της Τεχνητής Νοημοσύνης θα φέρει μια επανάσταση στην εποχή της πληροφορίας που κάνει τα άλλοτε επιστημονικά σενάρια φαντασίας, πραγματικότητα. Μια νέα γενιά “έξυπνων” ρομπότ έχει ήδη αρχίσει να κάνει αισθητή την παρουσία της στο βιομηχανικό κλάδο και προβλέπεται σύντομα τα ρομπότ να γίνουν μέρος της καθημερινής μας ζωής. Η γνώση που παίρνουμε από τις αυτοοργανωμένες συμπεριφορές των σμηνών στη φύση, μπου να μοντελοποιηθούν και να εφαρμοστούν σε ρομπότ δημιουργώντας ένα ρομποτικό σμήνος.

Στην διατριβή θα παρουσιαστεί μια μελέτη των αλγορίθμων ελέγχου για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και τη λειτουργία τους. Θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των γενετικών αλγορίθμων, PSO – Particle Swarm Optimization, ACO - Ant Colony Optimization, BSO και Bee Swarm Optimization, Στη συνέχεια θα γίνει μία εκτίμηση των παραμέτρων του PSO εφαρμόζοντάς τον σε σμήνος από μη επανδρωμένα αεροσκάφη UVA (Swarm Robotics) όταν αυτά θα πρέπει να αντιμετωπίσουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως αυτής της πυρκαγιάς σε ένα δάσος. Στόχος της είναι να υπάρξουν συμπεράσματα για το βέλτιστο τρόπο εφαρμογής αυτών των αλγορίθμων. Το αντικείμενο της μελέτης, το οποίο εμπίπτει με το Π.Μ.Σ., δεδομένου ότι πραγματεύεται σύγχρονες εφαρμογές τεχνολογιών αυτοματισμού, θα προσπαθήσει να καλύψει αναπάντητα ερωτήματα προκειμένου να δούμε πόσο αποδοτικοί είναι οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης σε ένα ρομποτικό σμήνος από με επανδρωμένα αεροσκάφη.

Ως πιθανό αποτελέσματα της χρήσης των παραπάνω μεθόδων αναμένεται να προκύψει η επίτευξη του βέλτιστου και αποδοτικότερου ελέγχου του συστήματος, κυρίως η ελαχιστοποίηση του χρόνου οργάνωσης του ρομποτικού σμήνους, όταν αυτό αντιμετωπίζει κρίσιμες καταστάσεις.

Υπολογίζεται ότι η μελέτη θα ολοκληρωθεί εντός τεσσάρων μηνών δεδομένου ότι η συλλογή βιβλιογραφίας από το διαδίκτυο συνοδευτεί από επιτόπου επισκέψεις σε διάφορες βιβλιοθήκες. Κατά τον τελευταίο μήνα θα πραγματοποιηθεί η συγγραφή της διατριβής και οι διορθώσεις αυτής σε συνεργασία με τον επιβλέποντα καθηγητή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **A. Torn and A. Zilinskas.** ~ Global Optimization. **Springer–Verlag, Berlin, 1989.**
2. D. Beasley, D. Bull, and R. Martin. An overview of genetic algorithms: Part I, fundamentals. University Computing, 1993.
3. **R. C. Eberhart, P. Simpson, and R. Dobbins.** Computational Intelligence PC Tools. **Academic Press, 1996.**
4. J. Kennedy and R. C. Eberhart. Swarm Intelligence. Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
5. **J. Kennedy and R. C. Eberhart. Particle swarm optimization.** In Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, **volume IV, Piscataway, NJ, 1995. IEEE Service Center.**
6. Ph.D A. R. Jha, Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles, Taylor and Francis Group, 2016.
7. Baris Yuce , Michael S. Packianather , Ernesto Mastrocinque , Duc Truong Pham and Alfredo Lambiase (2013). Honey Bees Inspired Optimization Method: The Bees Algorithm, Insects
8. Bonabeau E , Dorigo M, Theraulaz G. (1999). Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems, New York : Oxford University Press
9. <https://www.slideshare.net/adrianwilke/ant-colony-optimization-routing>
10. Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology
11. http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html#Beginnings
12. <https://www.mathworks.com/>

5. Σχέδιο Βαθμολόγησης (με ενδεικτική ποσόστωση)

• Εισαγωγή	5%
• Βιβλιογραφική Έρευνα	30%
• Περιγραφή Συστήματος	15%
• Ανάπτυξη Συστήματος	15%
• Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	15%
• Συμπεράσματα	10%
• Αυτοαξιολόγηση	5%
• Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	5%

6. Επιτροπή Έγκρισης & Βαθμολόγησης

Δρ.Δ.Τσελές
Καθηγητής
Διευθυντής Π.Μ.Σ

Δρ.Κ.Αλαφοδήμος
Καθηγητής
Πρόεδρος Τμ.Μηχ.
Αυτοματισμού

Δρ. Χρήστος Δρόσος
Επιβλέπων-Εισηγητής

Valuation Intelligent Algorithms of Swarm Robotics

ZISIMOU KONSTANTIA

Department of Industrial Design and Production

University of West Attica

P. Ralli & Thivon 250, Athens, 12244

ntina_z@sch.gr

Abstract: In the context of the modern and continuous development of technology, the need for the development of intelligent systems is strongly observed. A new generation of "smart" robots has already begun to make its presence felt in the industry, and soon the robots are expected to become part of our everyday life. The knowledge we receive from the self-organized behavior of swarms in nature, can be modeled and applied to a robot, creating a robotic swarm. In this paper, a study on the control algorithms of the unmanned aircrafts will be presented. We will see how their application on unmanned aircrafts can encounter emergencies, like a fire in a forest. Its aim is to draw conclusions for the optimal way of applying these algorithms to critical situations.

Key-Words: Swarm Robotics, optimization, swarm intelligence, Unmanned Aerial Vehicle, rescue, research, monitoring, fire

1 Introduction

If we observe nature we will see how well organized it is and how directly it can apply some regulatory factors to restore balance when needed. Observing it, we see that its decisions are not accidental but act under certain rules and taken under certain circumstances. Indeed, in well-organized societies such as ants, fish, birds, etc. dealing and solving biological problems is standardized. Specifically, nature has written its own algorithms. In our everyday life we observe that such algorithms help us make decisions about more or less important issues.

Nature teaches us. Applying the knowledge we get from nature, we can deal with early critical situations that have to do with saving the environment (earthquakes, fire, etc.) even humans beings.

By combining the intelligence of nature with technology and computer science, Swarm Robotics was created. The so – called smart - Collaborative robots which were designed to cooperate with each other.

In this paper, the characteristics of Optimization algorithms (PSO, ACO BSO) will be presented. An assessment of Optimization algorithms will then be made by applying it to unmanned UAV aircrafts when they have to deal with emergency situations, as that of a forest fire.

Finally, we will analyze and evaluate the algorithms that help to predict and monitor a fire.

The study is completed by recording the conclusions that are expected in use of this specific system.

2 Self-organization

Self-organization is a result of the mechanical dynamics, which lead to the appearance of structures in a system and are due to the interactions between the structural elements of the system. The rules that determine the behavior of the members are based on information gathered from their neighborhood. It is an intrinsic quality of the system and not an external interference at its will, behavior [1].

The mechanisms that lead to such behavior generally are:

1. *Positive feedback:* The ability of the system to prefer one solution from another
2. *Negative feedback:* Balancing the positive feedback which helps the system stabilize the collective structure that is developing.
3. *Random Fluctuations:* It allows the system to discover new solutions and improve its demeanor.
4. *Stigmergy:* It is the mechanism of communication and transfer of information between the autonomous agents.

[2] [3]

3 Introduction to Optimization

The optimization problems are considered to be those that are looking for the total minimum or total maximum of a situation (function). These two cases are equivalent, as if we change the sign of a maximum of a function, it immediately constitutes its minimum and vice versa. Thus, a maximization problem converts into a minimization problem. Additional restrictions and conditions (criteria) are set in many optimization problems, which must be satisfied.

3.1 Optimization Methods – Criteria

Following the categorization of Beasley, Bull and Martin, the optimizations methods could be classified as.

Calculus based Methods: These methods are primarily based on the use of derivatives. Their main disadvantage is that they depend on the initial conditions and the locality of range.

Random Search Methods: These methods produce random points that are valued and then decide whether they are acceptable or not.

Iterated Search Methods: These methods are a combination of the methods hill-climbing and Random Search. Thus, when hill-climbing reaches a local minimum, Random Search Method is activated, which provides a new starting point to the algorithm.

Simulated Annealing Methods: Every step studies a solution and does not deploy the information from previous steps.

Dynamic Programming: It solves similar problems, whose solutions are logically related.

Heuristic Methods: These methods are led towards a solution, based on the successive sequence of approximate solutions of the problem. The results obtained are not perfect, but they are quite satisfactory and relatively quickly. Their total is non-algorithmic [4].

A significant feature of finding the best optimal solution to a problem, is meeting the criteria that constitutes the problem. The main ones are:

- (a) Last process completion time
- (b) Total flow time
- (c) Total completion time
- (d) Maximum completion delay
- (e) A combination of the criteria above [5]

3.2 Optimization with Swarm Particles

The harmonious movements of the members of a swarm (synchronized movement, extraordinary formations without collisions) have caused the interest of various scholars. Simulation researches goal is the members of the swarm to preserve an optimized distance from their adjacents.

The development of the swarm particle optimization method began with the following theory [6]:

«Social information exchange between
members of a population provides
to the population an evolutionary advantage»

Eberhart and Kennedy developed a social behavior simulator to simulate the movement of the swarm particles. More movement features were added in the process, like acceleration from a distance and velocity synchronization between adjacent members of the swarm in order for the swarm movement to be studied towards specific locations. This movement simulation with some additional parameters became the first version of the optimization with swarm particles for arithmetic optimization problems [7] [8].

Millionas designated five basic Swarm Intelligence principles which Particle Swarm Optimization must follow.

1. *Proximity* : The swarm's ability to fulfill simple time and space calculations.
2. *Quality* : The swarm's ability to react to qualitative factors of the environment.
3. *Diverse Response* : The swarm must have a wide range of reactions.
4. *Stability* : The swarm must not change its behavior due to the effect of a noise, to wit a negligible change in the environment.
5. *Adaptability* : The swarm must adapt. It needs to change its behavior when its action does not cause vast alterations, to wit the cost is not prohibitive. [9]

4 Swarm Intelligence of Systems

Swarm Intelligence is an emerging field of biologically inspired artificial intelligence, which is based on the behavioral patterns of social insects, such as ants, bees, wasps and termites etc. [10]. In other words, is the collective behavior of self-organized systems, natural or artificial. The term was employed by Gerardo Beni and Jing Wang in 1989 [11].

Swarm Intelligence is a system feature that displays intelligent behavior collectively. A system represents an entity that tracks the environment in order to transact an action that was chosen. Each

entity operates autonomously and results in a general collective behavior. They do not take instructions, they make decisions, and phenomena appear within mere order (bird flocking, fish schooling etc.) which are led through collective behavior and intelligence. The application of the principles of the swarm on robots, is called Swarm Robotics, while the term "Swarm Intelligence" it is referred to the sum of the algorithms [11] [12].

Capabilities:

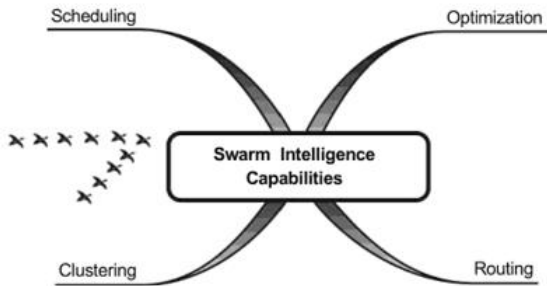


Fig. 1: Swarm Intelligence Capabilities

Scheduling: Relative work condition is being emphasized instead of the direct predecessor or the intimate successor, to the programming and to the universal cumulative rule of pheromone evaluation.

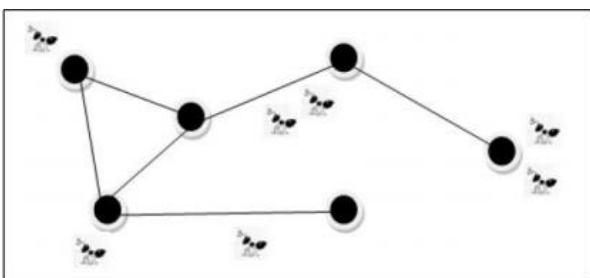


Fig. 8: Balancing colony load – AntZ

Clustering: A cluster is a collection of factors that are similar and dissimilar to those of other groups.

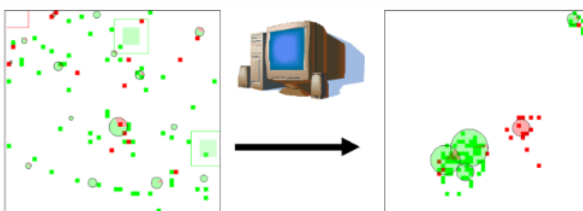


Fig. 2: Formation of block strings in order to clean the nests of the ants

Optimization: An optimization problem is the problem of finding the Best Solution / Minimal Cost from all possible solutions.

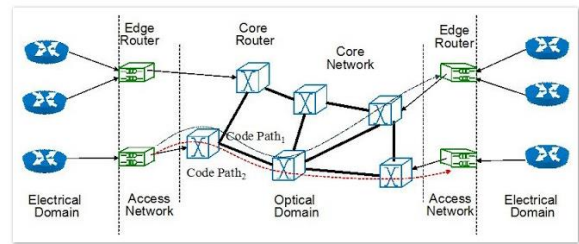


Fig. 3: Optimization of Optical domains

Routing: It is based on the principle that the front ants provide useful information that gather on their journey from their nest to the food on the following ants. [10]

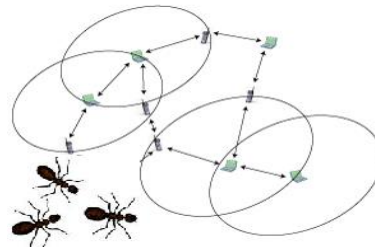


Fig 4: AntHocNet routing algorithm for MANET (Mobile Ad hoc NETWORK)

Advantages:

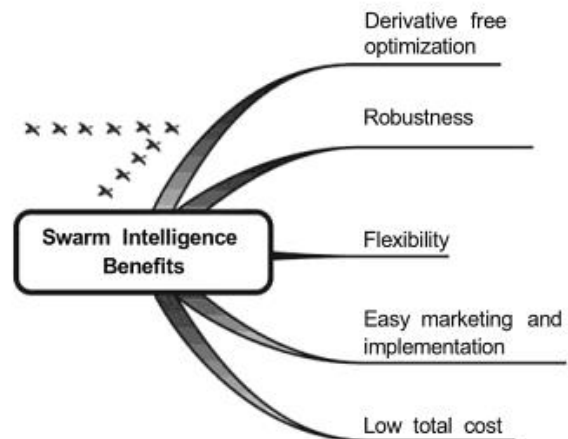


Fig 5: Swarm Intelligence Benefits

Flexibility: The colony responds to internal disorders and external provocation

Robust: The tasks are completed even if some agents fail.

Scalable: It can be escalated from a few agents to millions.

Decentralization: There is no central control in the colony.

Self-organization: The solutions are emerging and not predetermined.

Adaptation: The system of the swarm adapts to predetermined stimuli and also new stimuli.

Speed: The changes in the domain can spread very quickly.

Modularity: The agents act independently from the other domain levels.

Parallelism: The actions of the agents are inherently parallel. [10]

Disadvantages:

Behavior: It is difficult to predict behavior by the individual rules.

Knowledge: The mode of operation of a colony can't be fully understood by knowing the function of only a single agent.

Sensitivity: Even a slight change in the simple rules leads to different behavior across the entire team.

Action: The behavior of an agent resembles noise, since each decision is clearly subjective. [10]

4.1 Swarm Intelligence Algorithms

Swarm-based optimization algorithms - SOAs, are led into seeking the perfect solution by mimicking the functions of the swarms in nature (bees, bird flocking). Their logic is based on a decentralized system, in which there is no central control. There is a hierarchical structure which is used to assign tasks and therefore there is no direct control over the members of the population, but indirect, acting instinctively. This helps to create efficient and dynamic structures, which help the system cope with the various challenges [13].

Some of the most basic SOAs are given below:

Ant Colony Optimization - ACO

The Ant Colony Optimization – ACO comes from studying the behavior of the ant colonies. This algorithm simulates how ant colonies work but it also aims to solve the problem of food insurance [14].

Particle Swarm Optimization - PSO

The Particle Swarm Optimization models how a flock of birds or fish schooling look for food. Each member of the swarm has the ability to operate individually, but can also operate together to make each member use the information obtained by another member, and by this, to be able to find food the best way possible. The PSO algorithm is trying to do the exact same thing. Each member of the team is led towards the optimal solution by taking into account the following:

1) an average of its own previous solutions.

2) an average of the previous optimal solutions from the rest of the members. [15][16]

Bee Colony Optimization Algorithm – ABC

The optimization algorithm BSO is inspired by the collective behavior of bees as a swarm. In 1946, Karl Von Frisch [17] observed that bees of the same colony visit more than ten possible areas of exploitation, but they focus only on the richer and more accessible areas. In 1991, Seely, Camazine and Sneyd showed that when a choice between two oppositely food sources with a very uneven sugar conservation is given to the colony, it brings their attention to the richest one. In this phenomenon, the swarm follows the bee with the most intensive dance, which indicates the area with the richest food source [18] [19].

5 Swarm Robotics

Swarm robotics occupies a new position in the robotics field. The term "swarm" is based on the attribute of systems displaying a collectively intelligent behavior. Inspired by the concept that the desired behavior of an entity arises from interactions that act between simple robots, as well as the interactions of these robots with their environment. So, these smaller and simpler robots mainly coordinate the biggest swarm – system [20].



Fig. 6: Robotic Swarm

The main properties of animal kingdom systems (fish schooling, bird flocking etc.) that are intended to be applied on robotic swarms are:

- ⇒ The ability of the robotic swarm to act independently from « noise » that accepts from the environment and from other problems that may arise to the members of the swarm.
- ⇒ The ability of the robotic swarm to carry out interlinked moves to complete its processes.

It is remarkable that robotic swarm applications tend to constantly grow as they are being studied,

even their capabilities. From its exploitation, to a wide range of tasks involving constructions and subtle interventions in the human body itself with the use of nano-robotics. In fact, one of the very promising applications that is already being manifested, is the use of swarm robotics in businesses, rescue and disaster management missions. Swarm robots have a large number of sensors and are quite flexible, so they can trace members or even have access to endangered areas faster and easier.

6 Unmanned Aircraft Vehicles (UAV)

Unarmed aircraft vehicles are aircrafts designed to operate without a human pilot aboard, the term includes UAVs and drones. The autonomous flight requires the use of specialized software which will run the flight plan and guide the aircraft with onboard sensors and GPS [21].

6.1 UAV Classification

Unarmed aircraft vehicles (UAV) can be variously classified. The two most basic categories are fixed wing, like airplanes, and with propellers, like helicopters. To define the number of motors or propellers we use the term Multicopter or Multirotor and are distinguished to Quadcopter (4 propellers), Hexacopter, Octacopter etc.[22]

According to the newest legislation, drones are divided into three categories: Open category, Special category, certificate category [23].

Based on size, flight duration and altitude the categories are the following [24]:

LASE Low Altitude, Short Endurance	They do not require take off/landing runway. They weigh 2 to 5 kilos. Their wingspan is shorter than 3 meters.
LALE Low Altitude, Long Endurance	They can carry heavy cargo and fly up to several thousand meter altitudes.
MALE Medium Altitude, Long Endurance	They are much bigger than LALE and can fly at altitudes below 9000m.
HALE High Altitude, Long Endurance	They are one of the largest and most complicated drones. They can fly at altitudes up to 20000m. while their flight duration reaches a maximum of 30 hours.

6.2 The Legal Framework

Nowadays the users of unmanned aircraft vehicles have multiplied (due to reasonable prices) and it has been noticed an increase of air traffic. So, the need for regulations and flight restrictions was designed in order to avoid dangerous incidents, especially in rural areas and areas close to airports.

NASA and the Federal Aviation Administration (FAA) presented a concept about low altitude air transport management. Based on the NASA idea, Amazon designated a range on airspace to suggest a management system. Figure 1 shows the design of the airspace for small UAV functions by Amazon [25] [26].

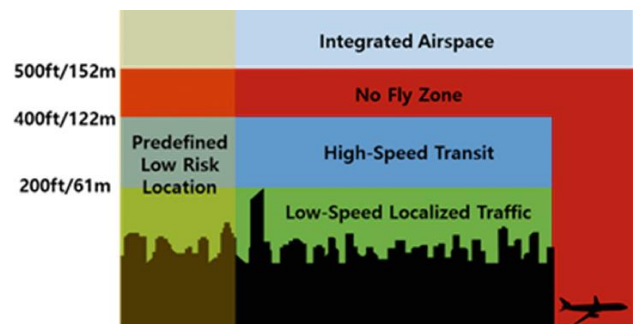


Fig. 7: Small UAV airspace flight zones design

The Federal Aviation Administration (FAA) is the regulatory authority of UAVs flight management of the U.S.A., and the European Aviation Safety Agency (EASA) is the European equivalent. These departments have drawn up a design of mutual regulations, prototypes and guiding principles, which regulate UAVs traffic in american and european space. There are individual monitoring and management systems of the UAVs movement, ensuring that the operators comply to the established regulations. The operators have access to databases where they can observe, deposit and evaluate flight designs. Ground based radar, GPS και meteorological stations provide all the information. Automatic systems design paths for the autonomous drones, which are equipped with sensors in order to avoid collisions [27] [28].

The Civil Aviation Department in Greece designate the terms of UAVs flights according to the regulation, at the Athens FIR (YA Δ/ΥΠΙΑ/21860/1422/30-9-2016, ΦΕΚ 3152/Β). Sanctions are listed in this Ministerial Decision also in case of noncompliance with the terms mentioned above. One of the basic preconditions is compulsory insurance for damages to third parties [29].

6.3 UAVs adjustment in emergency situations

UAVs are proved to be multipurposed tools in emergency situations. Rapid mapping and valuation of the damages is led to research and rescue operations to respond faster. Damages like fires, leakage of hazardous materials, nuclear incidents, etc., are dealt effectively and without risk for human lives. UAVs can transfer data even in situations when telecommunication is completely damaged, by generating an air information network.

6.3.1 Direct Mapping

Inaccessible areas are almost impossible to be mapped properly without air assistance. Basically common aircrafts cannot approach the affected area in a very close distance resulting in a not entirely objective flow of information. UAVs due to their flexibility and size can capture the affected area faster and develop high quality maps. In that case the new mapping (after the destruction) in most situations differs compared to the period before the destruction. The evaluation process of the magnitude of the destruction happens fast while mapping occurs in real time. So the response to restrict the damage is immediate. Finding the optimal access route for assistance and the location of the safest area for affected support can be achieved faster with the use of UAVs. Subsequently mapping can be used for time and cost evaluation for area restoration.

A successful example of direct mapping with the use of UAVs supervised in Philippines in November of 2013. The so called "Yolanda" hurricane hit the area leaving 6,300 dead and millions of homeless people. Danoffice company disposed UAVs that immediately mapped the affected area and so free pathways were identified for assistance rapidly [30] [31].



Fig.8: Mapping with UAVs (Philippines)

6.3.2 Research and rescue with UAVs

Rapid mapping of the affected area as well as air network development between UAVs is not only significant for damage evaluation but mostly to reinforce the exchange of information process between the rescue teams. This way the rescue teams act immediately. If the response time of the team is within the first 30 minutes, then survival percentage reaches 90% [32].

In case of an enormous destruction (earthquake, hurricane etc.) UAV autonomy is decisive. Locating the victims that are under precipitated buildings happens faster and with greater accuracy. The utility of the UAVs should be highlighted here for the safety of the rescue crews. The rescuers work under extremely dangerous circumstances in order to free the victims from the ruins. The UAVs, equipped with the proper tools (Sensors, thermal cameras etc.) are able to locate the position of the victims without direct contact with an unstable construction [31].

A particular example is the 2013 earthquake in Lushan, China. This earthquake was measured 7 on the Richter scale which caused the death of 126 and left many injured behind. The inaccessibility of the area obstructed the rescue teams from interfering immediately. The UAVs that were used, equipped with special victim detection algorithm and real time image transmission, conducted the rescue crews by decreasing the response time by half. This way, dozens of lives were saved [33].

6.3.3 Leakage of hazardous material

UAVs might be the only choice in case of a leakage of hazardous materials. A man cannot encounter a destruction of this scale in direct contact. In such case, when the destruction cannot be limited only to plant boundaries (nuclear disaster) but also spreads, then the wider environment is at stake at a range of hundreds (maybe thousands) of meters around the industrial plants. The radiation that is released in the environment from a nuclear accident, the self-ignition of chemicals, the possible explosions and the unstable constructions institutes a very dangerous situation for the rescue crews. Furthermore, in these kind of accidents, rescue crews' exposure time at the leakage location is limited, even though they bear personal protection equipment, due to severe danger for their physical health and even for their lives.

Manned aircrafts were used in the nuclear accident in Chernobyl in April of 1986. The aviators that assisted on the containment of the damage lost their lives after a while, due to their exposure in radioactive radiation. During the nuclear accident in

Fukushima's manufacturing plant in March of 2011 in Japan, UAVs were employed to estimate the magnitude of the problem, and so the situation was mapped and evaluated without any risk for human lives [34].

In case of biohazard and quarantine of an area, UAVs could assist in transportation of medicines and of expedient equipment with no need for healthy (uncontaminated) individuals to be exposed at risk [31].

6.3.4 Marine Rescues

UAVs have the ability to provide assistance to people in marine risk, since they can approach them in minimum time, until a lifeguard arrives.

These UAVs also have two special mechanisms that when they get in touch with (sea) water they convert, immediately, into life vests. Additionally, they are equipped with two waterproof, high definition cameras and are expected to be used for coastal surveillance. The lifeguard corp in Los Angeles has already been included in the coastal surveillance of the UAVs [35].

6.3.5 Forest Fires

UAVs are valuable tools in dealing with forest fires. Detection, tracking, observation and apprehension occur in real time. The direction, surveillance, control of resuscitation and perimeter of the fire are constantly inspected. The environmental damages from forest fires are enormous for both living and non-living matter. Prevention and on-time detection are vitally significant.

Effective fire control depends entirely on the immediate information about its development. Information relevant to the shape and the position of a fire front and its spread rate are decisive and they decrease the extinguishing time. Techniques like optimal and infrared ground cameras, fire guardhouse monitoring etc. are in many cases proved to be inadequate (for example at night). Most of the times, firefighters enter an area without being aware of the evolution of the fire which leads to fire suppression not taking place properly, and on the other hand we end up with life losses. Many cases of people being trapped inside the core of a fire have been reported.

UAVs are mainly used for fire extinguishing and visual monitoring. The information they give might be incorrect due to their limited field of view. The organized coordination that is required between firefighting teams cannot be absolute as decisions

are made based on experience, and are entirely subjective [36].

UAVs can patrol an area, transmit images in real time and detect a fire faster with various sensors, so this reduces the determinative time of the response. In our recent years, efforts have been made to support fire protection with the use of UAV technology.

7 UAVs in the function of fire extinguishing

UAVs, as we have seen in a previous section, help in diagnosing and inspecting a fire front early. Their flight duration, algorithm collaboration effectiveness and sensor accuracy establish more efficient tasks.

7.1 Fire Monitoring Simulation with UAV swarm

In order to simulate the process of monitoring the fire perimeter, we need to make some assumptions that are necessary for its effective monitoring:

- Each UAV must be equipped with a capable IR receiver of recording images. One infrared camera is ideal for monitoring a fire as it detects the ground areas with higher temperatures. This way, the aircraft collects sufficient information to design and adjust its flight route autonomously.
- Each UAV is considered to have a limited range of communication. If it is outside of its range, it cannot transmit data at the base station. In order to communicate with other UAVs, they should coexist within a certain range.
- Each UAV is considered to have limited fuels. Therefore, it should frequently return to the base station for refueling. [37]

7.2 Response Time / Latent Time

Rapid fire suppression is based on the immediate briefing of all of those that are involved with the current situation. It is what is called real-time briefing. In fact, to inform the base station from a UAV cannot be fulfilled in real time due to some delay. It is what is called the response period, or latent time. To wit, the time that elapses from the moment when a system receives an external stimulus starts to work, until the moment when the stimulus is perceived by the environment of that particular system and actually starts operating.

The response time of this specific system is defined from the moment a UAV starts its flight from the base station, and after it covers the full perimeter of the fire, to the moment it returns to the base. This simulation employs a strategic interplay that minimizes the delay which relates with the evaluation of the perimeter of the fire that are provided to the base station. That is achieved by flight time minimization amid certain points of the fire perimeter and the base station, and by update frequency measurement maximization that is provided to the base station.

Response time amid the image assortment and their transmission to base station can be useful as a quality standard of the fire monitoring algorithm.

Let's say x is station's starting point and $G(x)$ is the function that represents the systems' time response. As time elapses, the information of the base station becomes more latent until a new UAV transmits its latest data. For a specific point x along the fire perimeter, $G(x, t)$ perimeter just increases through time until it will be replaced by another UAV's received data.

Time betwixt $Y(x, t)$ updates is related to $G(x, t)$ response time with this formula:

$$Y(x, t) = [G(x) - (t - \text{update})] \quad (1)$$

while the moment a UAV updates its base we got

$$Y(x, t) = G(x, t) \quad (2)$$

The optimal solution for response time reduction is when response time is minimized. The monitoring system (Base station - UAV) is then considered fully updated.

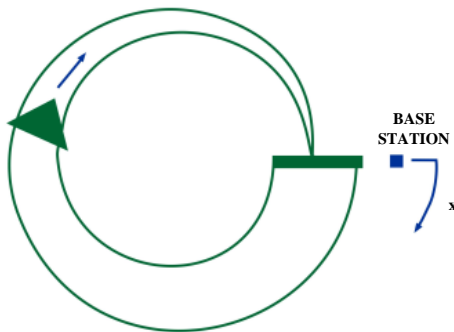


Fig. 9: Latent condition profile of a single UAV

Figure 9 shows the delay that is related to the fire perimeter when a UAV that moves clockwise and returns to the base station after a full perimeter navigation. The route's thickness indicates the delay of the update of that point's base station. The

optimal latent condition connects with the data that were gathered in the beginning of the flight.

Response time is a linear function of $m(x)$ covered distance, which is defined by the following equation:

$$m(x) = P - xv \quad (3)$$

where

P : is the fire perimeter

v : UAV's velocity (considered stable)

The base station receives updates just as fast as a UAV can cross the whole perimeter of the fire. So the total latent condition of a route is provided by the equation:

$$\int OP m(x)d(x) = 0.5 P^2v \quad (4)$$

The latency profile for a pair of unmanned aircraft traversing a cyclic static fire in opposite directions is shown in Figure 10.

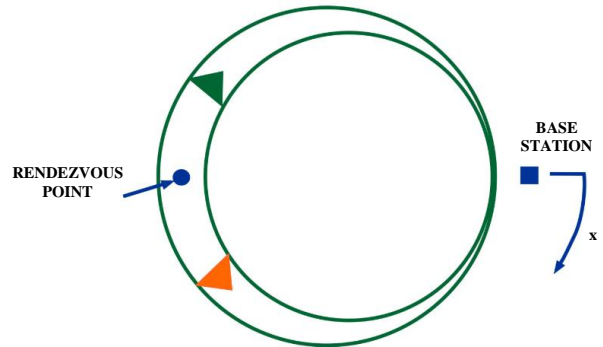


Fig. 10: Latent condition profile of two UAVs

More specifically, the first UAV moves clockwise on the fire perimeter, whilst the second one moves counter-clockwise. If the UAVs both distance themselves at the same time from the base station and fly at the same speed, the rate of update (response time) will be the same as if there was a single UAV (assuming that both UAVs return to the base station at the same time), but the delay that is related with the data on both sides of the base station will be symmetrical and reduced. Total latency will be estimated by the following formula:

$$\int OP m(x)d(x) = 0.25 P^2v \quad (5)$$

which is half according with which we have, using a UAV.

It is being observed that, the rate at which the update is carried out will increase linearly if the numbers of UAV pairs increases accordingly and therefore the actual latency will be decreased. It is

necessary the minimum latent profile to be maintained and to maximize the update frequency at the base station [37].

7.3 Simulation results according to the perimeter monitoring

Equipment of each UAV is an infrared camera, hanger inclination and an autopilot. For the circumferential detection of the fire, an infrared camera is being employed, where there is a scanning through infrared image and each pixel is indicated, BERN or NOT BERN. We classify into BERN and NOTBERN with the use of a linear classifier. In this particular simulation, EMBYR fire model is being employed for the creation of a fire model in every step of the time. In figure 11, the simulation results of a single UAV, that distances the perimeter of the fire, are displayed. To wit, it is a single's UAV fire tracking error.

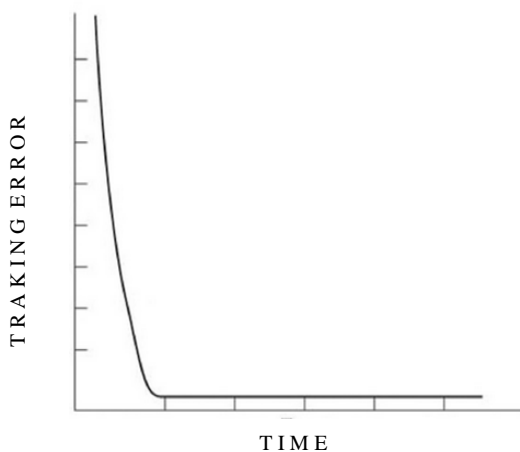


Fig.11: Standard depiction of a UAV latent period progress

Subsequently, a design of the linear segmentation in the UAVs' global co-ordinates is being employed. Accessible N second points are being monitored in the near future and the entire sum is parameterized, as a function of the angle rotation. A command is being given for an angle rotation towards the unburnt side and the fire perimeter. Inclination angles of the camera counterweight are being placed in a way that the linear classifier divides the image in two equal parts.

This approach is suitable for fire perimeter monitoring because it usually evolves in a non continuous manner. Linear classification smoothies effectively the non continuous barrier [37].

7.4 Fire monitoring algorithm with UAV swarm

Studies have been employed into two or three algorithms capable of providing minimum latency for fire monitoring systems.

For algorithm evolution, a firefighting distribution system was chosen.

Assumptions: Stable perimeter length, stable number of UAVs, formation of the minimum latency appears when UAV pairs are uniformly spreading out along the fire perimeter and towards both directions.

These UAV pairs will meet and transmit the gathered data, therefore the UAV will reverse its direction to meet its adjacent towards the opposite direction. UAVs can exchange parts in an assignation, so that the team members with the fewer fuels will be the ones closest to the base station.

Distributed Algorithm

The main goal of the distributed algorithm is minimum computational efforts and for latency to exist. This algorithm must reverse any size of the fire perimeter and must be readapted, when the length of the perimeter or the number of the UAV pairs varies. The perimeter must be shared amongst adjacent UAV pairs.

Load balancing algorithm

Load balancing algorithm assists in balancing the distance route loads along the perimeter of the fire. It is been observed that through the Monte Carlo simulation development, load pairing will lead to collective convergence. By balancing the length shared by each UAV pair, the team as a sum will uniformly spread around the perimeter of the fire, in order to achieve minimum formation of latency. By using the Monte Carlo simulation, it turns out that the load balancing algorithm converses in the minimum delay configuration for arbitrary initial conditions.

[37]

7.4.1 Fire EMBYR model using the collaborative control algorithm

Fire monitoring researchers have developed EMBYR model for effective perimetrical monitoring control prediction and fire simulation. EMBYR model essentially divides the area of interest into a «cell» grid, where each model has

specific qualities (foliage type, humidity) that affects the spread of the fire.

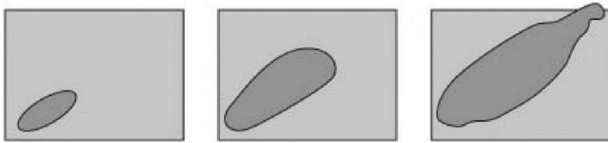


Fig. 12: Fire simulator with EMBYR model

One can achieve realistic fire simulations by implementing EMBYR model multiple times and average the result. [37]

8 Conclusion

By accepting the fact that algorithms dominate our everyday life and by following the footsteps of nature, the development of mimetic applications was made possible (PSO, ACO, etc.) in activities that concern our everyday life. It is also a fact that the remote management technology of various mechanical applications is now fully developed and is continuing to evolve exponentially. So with the above combined, robotic swarm control algorithms are useful tools in the successful «conjunction» between these two, aiming at the exploration and the procedure of finding the optimal solution to deal with emergency situations immediately.

The light and high energy efficient embodied computing systems have given us the opportunity to formulate feedback control, through sensors, on the same aircraft. Though, by having a real UAV swarm, the steps of a swarm particle optimization algorithm have disadvantages compared to the steps that are employed in a simulation environment. The mechanism and movement of the mechanical parts is a challenge for the future research efforts.

However, the steps of the swarm particle optimization algorithm can be applied in the initial (provided that we are aware of the initial positions) and the final formation of the aircrafts. The optimization algorithm's ability to manage a large number of UAVs, as well as its optimal application, even in the initial conditions, can be decisive in cases of rescue, exploration etc. The use of the swarm particle optimization algorithm in the final aircraft formation bears additional ways to save energy and autonomy. The aircrafts' autonomy defines their performance, mainly in cases of immediate intervention (high risk) and infeasible replenishment. This specific sections require further research.

A cooperation program is proposed with regard to the fire protection of the forests, which will use an even number of UAVs to minimize the possibility of latent update and the frequency of the update's requirements.

9 Acknowledgements

References:

- [1] <https://el.wikipedia.org/wiki/Αυτο-οργάνωση>, access 20/5/2018.
- [2] “Entropy and Self-Organization in Multi-Agent Systems”, H. Van Dyke Parunak Sven Brueckner, article, Source: <https://dl.acm.org/citation.cfm>
- [3] Valverde, Sergi and Richard V. Sole. Self Organized Critical Traffic in Parallel Computer Networks. Santa Fe Institute Working Paper, no. 01-11-071. Santa Fe: Santa Fe Institute, 2001.
- [4] D. Beasley, D. Bull, and R. Martin, *An overview of genetic algorithms: Part I, fundamentals*, University Computing, 15(2):58–69, 1993.
- [5] <http://infocenter.sybase.com/help/index.jsp?topic=/com.sybase.infocenter.dc00967.1550/html/MigrationGuide/MigrationGuide5.htm>
- [6] J. Kennedy and R. C. Eberhart, *Swarm Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [7] Konstantinos E. Parsopoulos, «Αλγόριθμοι Υπολογιστικής Νοημοσύνης για Αριθμητική Βελτιστοποίηση», Doctoral thesis, University of Patras Faculty of Sciences Department of Mathematics Patras, pp. 18-19, 2004.
- [8] J. Kennedy and R. C. Eberhart. *Particle swarm optimization*, In Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, volume IV, pages 1942–1948, Piscataway, NJ, 1995. IEEE Service Center.
- [9] M. M. Millonas, *Swarms, phase transitions, and collective intelligence*. In M. Palaniswami, Y. Attikiouzel, R. Marks, D. Fogel, and T. Fukuda, editors, *Computational Intelligence: A Dynamic System Perspective*, pages 137–151. IEEE Press, Piscataway, NJ, 1994.
- [10] <http://www.techferry.com/articles/swarm-intelligence.html>
- [11] Gerardo Beni, Jing Wang, *Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems*, Springer Berlin Heidelberg, 1993.
- [12] https://el.wikipedia.org/wiki/Νοημοσύνη_σμήνου, access 01/05/2018

- [13] Bonabeau E , Dorigo M, Theraulaz G. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*, New York : Oxford University Press, 1999
- [14] Marco Dorigo, Thomas Stutzle, *Ant Colony Optimization*, Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [15] http://www.teicm.gr/arximidis/pdf/tsitsos/pe4_Report_4.pdf
- [16] Maurice Clerc, *Particle Swarm Optimization*, ISTE, 2004.
- [17] <https://www.scribd.com/doc/136287972/Karl-von-Frisch-The-Dancing-Bees-pdf>
- [18] Baris Yuce , Michael S. Packianather , Ernesto Mastrocinque , Duc Truong Pham and Alfredo Lambiasi. *Honey Bees Inspired Optimization Method: The Bees Algorithm, Insects*, 4(4), 646-662 72, 2013.
- [19] <http://www bees-algorithm.org/>
- [20] M. Yogeswaran and S. G. Ponnambalam, *Swarm Robotics: An Extensive Research Review, Advanced Knowledge Application in Practice*, In: ed. by Igor Fuerstner. InTech, Chap. 14, pp. 259–261, 2010.
- [21] Clarke, R., *Understanding the drone epidemic. Computer law and security, review*, 30, 230-246, 2014.
- [22] https://el.wikipedia.org/wiki/Μη_επανδρωμένο_αεροσκάφος, access 31/4/2018
- [23] ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ 30 Σεπτεμβρίου 2016, Τεύχος Β, Αρ. Φύλλου 3152
- [24] SAE ARP 4761, SAE ARP 4761_Guidelines And Methods For Conducting The Safety Assessment Process On Civil Airborne Systems And Equipment. s.l.:SAE., 1996.
- [25] Kopardekar, P., Rios, J., Prevot, T., Johnson, M., Jung, J., Robinson, J., *Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations*, In: AIAA Aviation Forum, June 2016.
- [26] NASA: UTM: air traffic management for low-altitude drones, 2015.
- [27] Clarke, R., *Understanding the drone epidemic. Computer law and security, review* 30, 230-246, 2014.
- [28] Rao, B., Gopi, A., Maione, R. *The social impact of commercial drones. Technology in Society*, 45, 83-90 14, 2016.
- [29] Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, Κανονισμός πτήσεων των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), 2016.
- [30] <https://irevolutions.org/2014/06/25/humanitarian-ns-in-the-sky/>
- [31] <http://www.dronequest.gr/2018/01/> , article, “The implementation of drones in disaster management”, Dr. A. Karamanou, X. Georgiadou, 10/1/2018
- [32] <https://irevolutions.org/2016/02/17/aerial-robotics-search-and-rescue/>
- [33] i, D. Song, H. Shang, N. Wang, C. Hua, C. Wu, X. Qi, and J. Han, *Search and rescue rotary-wing uav and its application to the lushan ms 7.0 earthquake, Journal of Field Robotics*, vol. 33, no. 3, pp. 290-321, 2016.
- [34] <http://www.ekriti.gr/ διεθνή-αφιέρωμα/26-απριλίου-1986-η-καταστροφή-του-τσερνομπιλ>
- [35] <https://hellasdrones.com>
- [36] Viegas, D., *Forest fire propagation*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 356, 2907-2928, 1998.
- [37] Ph.D A. R. Jha., *Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles*, Taylor and Francis Group, 2016.