



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

# ΜΕΛΕΤΗ ΣΜΗΝΟΥΣ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

ΤΟΥ

**ΣΑΛΕΠΤΣΗ ΜΑΡΙΟΥ**

**Επιβλέπουσα:**

Μαλαματή Λούτα

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

ΚΟΖΑΝΗ/ΙΟΥΛΙΟΣ/2023

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ



HELLENIC DEMOCRACY  
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA  
SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL  
& COMPUTER ENGINEERING

# **DRONE SWARMS IN PRECISION AGRICULTURE**

THESIS

---

**SALEPTSIS MARIOS**

**SUPERVISOR:** Malamati Louta

Associate Professor

KOZANI/JULY/2023

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Μελέτη σμήνους μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων στην γεωργία ακριβείας” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κα. Λούτας Μαλαματής αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Σαλεπτοσής Μάριος, Λούτα Μαλαματή, 2023, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: Σαλεπτοσής Μάριος

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

# Περίληψη

---

Η υιοθέτηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΜΕΑ) έχει αποκτήσει σημαντική δυναμική στη γεωργία ακριβείας λόγω της ικανότητάς τους να παρέχουν αποτελεσματικές και οικονομικά αποδοτικές λύσεις για την παρακολούθηση και τη διαχείριση των καλλιεργειών. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των σμηνών μη επανδρωμένων αεροσκαφών στη γεωργία ακριβείας, εστιάζοντας στις εφαρμογές, τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις τους. Επίσης, εστιάζει στην ανάπτυξη ενός προσομοιωτή σμήνους ΜΕΑ με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python, στοχεύοντας συγκεκριμένα στον εντοπισμό ενός στατικού στόχου με τη χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO). Η εργασία ξεκινά με μια εμπειριστατωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση, εξετάζοντας την υπάρχουσα έρευνα και τις εξελίξεις στον τομέα της γεωργίας ακριβείας και των σμηνών ΜΕΑ. Η ανασκόπηση αναδεικνύει την τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογίας, εντοπίζει τα ερευνητικά κενά και θέτει τα θεμέλια για την εμπειρική έρευνα σε διάφορες προκλήσεις που αφορά την συγκεκριμένη τεχνολογία. Ο προσομοιωτής ενσωματώνει τη δυναμική των μεμονωμένων μη επανδρωμένων αεροσκαφών και τα ενεργειακά χαρακτηριστικά τους. Ο αλγόριθμος PSO ενσωματώνεται για να μπορέσει το σμήνος να εντοπίσει αποτελεσματικά έναν στατικό στόχο μέσα σε ένα περιβάλλον. Για να επικυρωθεί η αποτελεσματικότητα του προσομοιωτή, διεξάγεται μια σειρά πειραμάτων. Το πείραμα περιλαμβάνει την προσομοίωση διαφόρων μεγεθών σμήνους και τον υπολογισμό του χρόνου προσέγγισης του στόχου και της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του σμήνους. Επιπλέον, η εργασία συζητά τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς του προσομοιωτή που αναπτύχθηκε.

## Λέξεις Κλειδιά

ΜΕΑ, Σμήνος, Γεωργία ακριβείας, Ευφυία σμήνους, PSO, Προσομοιωτής

# Abstract

---

The adoption of unmanned aerial vehicles (UAVs) has gained significant momentum in precision agriculture due to their ability to provide efficient and cost-effective solutions for crop monitoring and management. This thesis aims to explore the potential of drone swarms in precision agriculture, focusing on their applications, advantages, and challenges. Also, it focuses on the development of a drone swarm simulator using Python programming language, specifically targeting the localization of a static target using Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. The thesis begins with an in-depth literature review, examining the existing research and developments in the field of precision agriculture and drone swarms. The review highlights the current state of the art, identifies research gaps, and sets the foundation for the empirical investigation on various technology-specific challenges. The simulator incorporates the dynamics of individual drones, and energy characteristics. The PSO algorithm is integrated to enable the swarm to efficiently locate a static target within a given environment. To validate the simulator's effectiveness, a series of experiments are conducted. The experiment involves simulating various swarm sizes and calculating the time and the total energy consumption of the swarm. Additionally, the thesis discusses the advantages and limitations of the developed simulator. The simulator provides a practical tool for researchers and practitioners to explore and evaluate swarm behaviors and algorithms in a controlled virtual environment. The research contributes to advancing the knowledge and application of swarm robotics, facilitating the development of efficient and intelligent swarm-based systems for various real-world scenarios.

## Keywords

UAV, Swarm, Precision agriculture, Swarm intelligence, PSO, Simulator



# Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Μαλαματή Λούτα για την άρτια συνεργασία καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε όλο το διάστημα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Καραμπελιά Ιωάννα για τις πολύτιμες συμβουλές της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την συνεχή υποστήριξη και τις συμβουλές που μου παρείχαν καθ' όλο το διάστημα των σπουδών μου.

**Σαλεπτός Μάριος**

ΚΟΖΑΝΗ/ΙΟΥΛΙΟΣ/2023

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

# Περιεχόμενα

---

Περίληψη	7
Abstract	8
Ευχαριστίες	9
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος Εικόνων	15
Κατάλογος Πινάκων	16
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	17
Κεφάλαιο 2: Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη	20
<b>2.1 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ</b>	<b>20</b>
2.1.1 Σταθερού φτερού	21
2.1.2 Σταθερού φτερού - Υβριδικό	22
2.1.3 Μονού Δρομέα	24
2.1.4 Πολλαπλών Δρομέων	25
2.1.5 Σύνοψη Ενότητας	28
<b>2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ</b>	<b>31</b>
2.2.1 Έρευνα και Διάσωση	32
2.2.2 Τηλεπισκόπηση	32
2.2.3 Επιθεώρηση Κατασκευής και Υποδομών	33
2.2.4 Μεταφορά Αγαθών	35
2.2.5 Επιθεώρηση Κυκλοφορίας σε Πραγματικό Χρόνο	37
2.2.6 Παρακολούθηση	38
2.2.7 Παροχή Ασύρματου Δικτύου	39
2.2.8 Γεωργία Ακριβείας	39
<b>2.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ</b>	<b>47</b>
2.3.1 DJI	48
2.3.2 Parrot	49
2.3.3 INSITU	50

2.3.4 JOUAV	51
2.3.5 SKYDIO	52
2.3.6 XAG	52
<b>2.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΕΣ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ</b>	<b>53</b>
2.4.1 Gazebo	54
2.4.2 AirSim	55
2.4.3 Zephyr	55
2.4.4 DJI Flight Simulator	56
2.4.5 Σύνοψη Ενότητας	56
<b>Κεφάλαιο 3: Σμήνη Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών</b>	<b>60</b>
<b>3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ</b>	<b>60</b>
<b>3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΜΗΝΟΥΣ</b>	<b>62</b>
<b>3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΜΗΝΟΥΣ (TAXONOMY)</b>	<b>63</b>
3.3.1 Συνολική Οργάνωση (Collective Organization)	65
3.3.2 Χωροταξικές Σχέσεις (Spatial Relations)	65
3.3.3 Χρονικές Σχέσεις (Temporal relations)	65
3.3.4 Ομοιογένεια (Similarity)	66
3.3.5 Διαχωρισμός Εργασιών (Task Separation)	66
3.3.6 Τρόπος Ελέγχου (Mission control)	67
3.3.7 Χειρισμός Σμήνους (Swarm Operation)	67
3.3.8 Σχεδιασμός Πτήσης (Path Planning)	67
<b>3.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΜΗΝΟΥΣ</b>	<b>68</b>
3.4.1 Κεντρική Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας	69
3.4.2 Αποκεντρωμένη Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας	70
3.4.3 Σύνοψη Ενότητας	72
<b>3.5 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ</b>	<b>75</b>
3.5.1 Πρωτόκολλο ZigBee	75
3.5.2 Πρωτόκολλα Ασυρμάτων Δικτύων Χαμηλής Ισχύος	76
3.5.3 Πρωτόκολλο MAVLink	78
3.5.4 Πρωτόκολλο Wireless Fidelity (WiFi)	79

3.5.5 Κυψελοειδή Δίκτυα (Cellular Networks)	80
3.5.6 Σύνοψη Ενότητας	81
<b>3.6 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ (ROUTING PROTOCOLS)</b>	<b>84</b>
3.6.1 Στατικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Static Routing Protocols)	84
3.6.2 Προληπτικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Proactive Routing Protocols)	85
3.6.3 Αντιδραστικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης(Reactive Routing Protocols)	87
3.6.4 Υβριδικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Hybrid Routing Protocols)	88
3.6.5 Γεωγραφικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης(Geographic Routing Protocols)	89
3.6.6 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Ευφυΐας Σμήνους (Swarm Intelligence Routing Protocols)	90
3.6.7 Σύνοψη Ενότητας	93
<b>3.7 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΕ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ (DYNAMIC PROGRAMMING PATH PLANNING)</b>	<b>96</b>
<b>3.8 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ (PATH PLANNING BASED ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE)</b>	<b>96</b>
3.8.1 Γενετικός Αλγόριθμος (Genetic Algorithm)(GA)	96
3.8.2 Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization) (PSO)	97
3.8.3 Βελτιστοποίηση Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization) (ACO)	98
3.8.4 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) (ANN)	100
3.8.5 Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic) (FL)	100
3.8.6 Σύνοψη Ενότητας	101
<b>3.9 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ</b>	<b>105</b>
3.9.1 Κατηγοριοποίηση με Βάση τον Χρόνο (Time Classification)	105
3.9.2 Κατηγοριοποίηση με Βάση τον Χώρο (Space Classification)	105
3.9.2 Σύνοψη Ενότητας	106
Κεφάλαιο 4: Υλοποίηση Προσομοιωτή	107
<b>4.1 ΕΡΓΑΛΕΙΑ</b>	<b>107</b>
4.1.1 Python 3.10	107
4.1.2 Βιβλιοθήκες της Python	108
4.1.3 Visual Studio Code	109
4.1.4 Υλικό	111

4.2 ΚΩΔΙΚΑΣ	112
4.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	117
4.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	123
4.4.1 1 <sup>ο</sup> Σενάριο	123
4.4.2 2 <sup>ο</sup> Σενάριο	125
4.4.3 3 <sup>ο</sup> Σενάριο	127
4.1.4 4 <sup>ο</sup> Σενάριο	129
4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	131
4.5.1 Αποτελέσματα Χρόνου Προσέγγισης	131
4.5.2 Αποτελέσματα Ενεργειακής Κατανάλωσης	132
Κεφάλαιο 5: Επίλογος	134
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	134
5.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	136
Παραρτήματα	138
Βιβλιογραφία	146
Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια	152
Απόδοση Ξενόγλωσσων Όρων	155

# Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Κατηγοριοποίηση ΜΕΑ με βάση την δομική τους κατασκευή .....	20
Εικόνα 2:Μη επανδρωμένο αεροσκάφος σταθερού φτερού – Πηγή [3] .....	22
Εικόνα 3:Μη επανδρωμένο αεροσκάφος υβριδικού τύπου – Πηγή [5].....	23
Εικόνα 4:Μη επανδρωμένο αεροσκάφος μονού δρομέα – Πηγή [7] .....	24
Εικόνα 5: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη πολλαπλών δρομέων – Πάνω αριστερά τρικόπτερο[8] - Κάτω αριστερά τετρακόπτερο [9] – Πάνω δεξιά εξακόπτερο[10] - Κάτω αριστερά οκτακόπτερο [11].....	27
Εικόνα 6. Εφαρμογές μη επανδρωμένων αεροσκαφών .....	31
Εικόνα 7. Οργανόγραμμα για την τηλεπισκόπηση .....	33
Εικόνα 8 Μη επανδρωμένο αεροσκάφος για την μεταφορά ιατρικού υλικού - Πηγή [29].....	36
Εικόνα 9. Μη επανδρωμένο αεροσκάφος της αστυνομίας - Πηγή [31] .....	38
Εικόνα 10. Φωτογραφία από μέτρηση του δείκτη fIPAR (δείκτης της αναχαιτισμένης φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας) σε ένα χωράφι μέσω μη επανδρωμένου αεροσκάφους – Πηγή [34] .....	41
Εικόνα 11. Παράδειγμα χρήσης ΜΕΑ με ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες – Πηγή [38].....	44
Εικόνα 12 Μη επανδρωμένο αεροσκάφος κατά την διάρκεια ψεκασμού - Πηγή[39] .....	45
Εικόνα 13. Ταξινόμηση σμήνων ΜΕΑ[70] .....	64
Εικόνα 14. Κεντρική αρχιτεκτονική επικοινωνίας .....	69
Εικόνα 15. Σχεδιάγραμμα αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής επικοινωνίας ΜΕΑ "Μονού Σμήνους" .....	70
Εικόνα 16. Σχεδιάγραμμα αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής επικοινωνίας ΜΕΑ "Πολλαπλά Σμήνη" .....	71
Εικόνα 17. Σχεδιάγραμμα αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής επικοινωνίας ΜΕΑ "Πολλαπλά Επίπεδα Σμήνων" .....	72
Εικόνα 18. Διάγραμμα ροής GA - Πηγή[110] .....	97
Εικόνα 19. Διάγραμμα ροής PSO - Πηγή[113] .....	98
Εικόνα 20. Διάγραμμα ροής αλγόριθμου ACO - Πηγή[116] .....	99
Εικόνα 21. Οργανόγραμμα για την κατηγοριοποίηση των αλγορίθμων .....	106
Εικόνα 22. Ψευδοκώδικας PSO αλγόριθμου - Πηγή[131] .....	121
Εικόνα 23. Διάγραμμα ροής κώδικα.....	122
Εικόνα 24. 1 <sup>ο</sup> στάδιο του 1 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	124
Εικόνα 25. 2 <sup>ο</sup> στάδιο του 1 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	124
Εικόνα 26. 3 <sup>ο</sup> στάδιο του 1 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	125
Εικόνα 27. 1 <sup>ο</sup> στάδιο του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	126
Εικόνα 28. 2 <sup>ο</sup> στάδιο του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	126
Εικόνα 29. 3 <sup>ο</sup> στάδιο του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	127
Εικόνα 30. 1 <sup>ο</sup> στάδιο του 3 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	128
Εικόνα 31. 2 <sup>ο</sup> στάδιο του 3 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	128
Εικόνα 32. 3 <sup>ο</sup> στάδιο του 3 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	129
Εικόνα 33. 1 <sup>ο</sup> στάδιο του 4 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	130
Εικόνα 34. 2 <sup>ο</sup> στάδιο του 4 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	130
Εικόνα 35. 3 <sup>ο</sup> στάδιο του 4 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	131
Εικόνα 36. Γράφημα σύγκρισης χρόνου προσέγγισης στόχου .....	132
Εικόνα 37. Γράφημα σύγκρισης ενεργειακής κατανάλωσης σμήνους.....	133

# Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση ΜΕΑ με βάση την κατασκευή τους και αναφορά στα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και στις εφαρμογές.....	29
Πίνακας 2. Ανάλυση προσομοιωτών .....	57
Πίνακας 3. Πλεονεκτήματα και προκλήσεις σμήνων .....	61
Πίνακας 4. Συγκριτικός πίνακας αρχιτεκτονικών επικοινωνίας.....	73
Πίνακας 5. Σύγκριση πρωτοκόλλων επικοινωνίας .....	82
Πίνακας 6. Σύγκριση πρωτοκόλλων δρομολόγησης ευφυίας σμήνους.....	92
Πίνακας 7. Σύγκριση πρωτόκολλων δρομολόγησης - Πηγή[71].....	94
Πίνακας 8. Συγκριτικός πίνακας αλγορίθμων υπολογιστικής νοημοσύνης.....	103
Πίνακας 9. Σύγκριση σεναρίων με βάση τον χρόνο προσέγγισης στόχου .....	132
Πίνακας 10. Σύγκριση σεναρίων με βάση την συνολική ενεργειακή κατανάλωση του σμήνους...	133



# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

---

Τα τελευταία χρόνια, η ενσωμάτωση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (ΜΕΑ) (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs), κοινώς γνωστών ως drones, έχει φέρει επανάσταση σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας ακριβείας. Η ικανότητα των ΜΕΑ να συλλέγουν δεδομένα υψηλής ανάλυσης, να παρακολουθούν την υγεία των καλλιεργειών και να βελτιστοποιούν την κατανομή των πόρων έχει επιφέρει σημαντικές εξελίξεις στις γεωργικές πρακτικές. Επιπλέον, η έννοια των σμήνων ΜΕΑ, όπου πολλά ΜΕΑ συνεργάζονται και λειτουργούν συλλογικά, έχει συγκεντρώσει σημαντική προσοχή λόγω της δυνατότητάς της να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα και την επεκτασιμότητα στις γεωργικές εργασίες. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην παροχή μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης του σμήνους ΜΕΑ στη γεωργία ακριβείας, περιλαμβάνοντας μια βιβλιογραφική ανασκόπηση και ανάλυση διαφόρων κρίσιμων θεμάτων στον τομέα αυτό.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση και η ανάλυση στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, ερευνώντας βασικές πτυχές του σμήνους ΜΕΑ στη γεωργία ακριβείας. Πρώτον, διερευνά τις ποικίλες χρήσεις των ΜΕΑ και της τεχνολογίας σμήνους, όχι μόνο στη γεωργία ακριβείας αλλά και σε άλλους τομείς. Με την εξέταση του υπάρχοντος ερευνητικού υλικού, η παρούσα διπλωματική αποσκοπεί στην επισήμανση των πιθανών εφαρμογών και των πλεονεκτημάτων της χρήσης σμήνων ΜΕΑ στις γεωργικές εργασίες.

Προκειμένου να κατανοηθούν βαθύτερα οι μηχανικές δυνατότητες και οι περιορισμοί των ΜΕΑ, η διπλωματική πραγματοποιεί σχολαστική ανάλυση διαφόρων τύπων ΜΕΑ. Αυτή η μηχανική ανασκόπηση περιλαμβάνει ΜΕΑ σταθερού φτερού, υβριδικά μοντέλα, ΜΕΑ με έναν δρομέα και ΜΕΑ πολλαπλών δρομέων. Με την εξέταση των ξεχωριστών χαρακτηριστικών και λειτουργιών κάθε τύπου ΜΕΑ, θα αποκτηθούν πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την καταλληλότητά τους για γεωργικές εφαρμογές ακριβείας.

Εκτός από την ανάλυση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, η εργασία εμβαθύνει επίσης στη σφαίρα των κατασκευαστών ΜΕΑ. Αναγνωρίζοντας τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν οι κατασκευαστές στη διαμόρφωση του κλάδου των ΜΕΑ, η μελέτη αυτή εξετάζει τη συμβολή

σημαντικών φορέων και τον αντίκτυπό τους στην ανάπτυξη και την υιοθέτηση της τεχνολογίας των ΜΕΑ στη γεωργία ακριβείας και όχι μόνο.

Μια άλλη κρίσιμη πτυχή που διερευνάται στην παρούσα εργασία είναι η επισκόπηση των προσομοιωτών για ΜΕΑ. Οι προσομοιωτές διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διευκόλυνση των δοκιμών, της εκπαίδευσης και της ανάπτυξης συστημάτων σμήνους ΜΕΑ. Αξιολογώντας τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά αυτών των προσομοιωτών, η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στον εντοπισμό των εργαλείων που μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των εφαρμογών σμήνους ΜΕΑ στη γεωργία ακριβείας.

Επιπλέον, επιχειρείται μια ολοκληρωμένη εξέταση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που σχετίζονται με τη χρήση των σμηνών ΜΕΑ στη γεωργία ακριβείας. Η ανάλυση αυτή εξετάζει παράγοντες όπως η αυξημένη επιχειρησιακή αποδοτικότητα, η βελτιωμένη ακρίβεια των δεδομένων, η επεκτασιμότητα, τα ζητήματα κόστους, οι κανονιστικοί περιορισμοί και οι πιθανοί κίνδυνοι για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια. Με τη στάθμιση των πλεονεκτημάτων και των προκλήσεων, η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην παροχή μιας ισορροπημένης προοπτικής σχετικά με την εφαρμογή της τεχνολογίας σμήνους ΜΕΑ στον γεωργικό τομέα.

Για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης κατανόησης των συστημάτων σμηνών ΜΕΑ, η παρούσα έρευνα διερευνά την ταξινόμηση των σμηνών. Με την κατηγοριοποίηση των σμηνών με βάση τα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά τους, θα αποκτηθούν γνώσεις σχετικά με την οργάνωση, τον συντονισμό και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, ενισχύοντας περαιτέρω την κατανόηση των πιθανών εφαρμογών τους στη γεωργία ακριβείας.

Η επικοινωνία διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στο συντονισμό και τη συνεργασία των σμηνών ΜΕΑ. Ως εκ τούτου, η παρούσα διπλωματική διερευνά την αρχιτεκτονική επικοινωνίας, τα πρωτόκολλα και τους μηχανισμούς δρομολόγησης εντός των συστημάτων σμήνους. Με την εξέταση των υφιστάμενων πλαισίων, η μελέτη αυτή αποσκοπεί στον εντοπισμό αποτελεσματικών στρατηγικών επικοινωνίας που επιτρέπουν την απρόσκοπτη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ΜΕΑ σε ένα σμήνος.

Επιπλέον, η παρούσα διπλωματική εμβαθύνει στους αλγορίθμους σχεδιασμού διαδρομής, εστιάζοντας τόσο σε προσεγγίσεις δυναμικού προγραμματισμού όσο και σε προσεγγίσεις αλγορίθμων νοημοσύνης σμήνους. Αυτοί οι αλγόριθμοι διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση των διαδρομών πτήσης των σμηνών ΜΕΑ, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η αποφυγή εμποδίων, η ενεργειακή απόδοση και οι στόχοι της αποστολής. Συγκρίνοντας και αναλύοντας διαφορετικούς αλγορίθμους, η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην παροχή πληροφοριών για την επιλογή των καταλληλότερων στρατηγικών σχεδιασμού διαδρομής για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας.

Στο πρακτικό μέρος της έρευνας, αναπτύσσεται ένας κώδικας βασισμένος στην Python για την προσομοίωση της προσέγγισης ενός σμήνους ΜΕΑ σε έναν στόχο. Η προσομοίωση αυτή περιλαμβάνει τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας για τα μεμονωμένα ΜΕΑ, τη χαρτογράφηση σε πραγματικό χρόνο και την οπτικοποίηση της τροχιάς. Η χρήση ενός απλοποιημένου αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) για την προσέγγιση του στόχου αναδεικνύει τη σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων νοημοσύνης σμήνους σε πρακτικά σενάρια γεωργίας ακριβείας.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική αποσκοπεί στην παροχή μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης του σμήνους ΜΕΑ στη γεωργία ακριβείας. Με την εξέταση της βιβλιογραφίας και τη διενέργεια λεπτομερών αναλύσεων διαφόρων πτυχών, συμπεριλαμβανομένων των τύπων των ΜΕΑ, των κατασκευαστών, των προσομοιωτών, της επικοινωνίας, του σχεδιασμού διαδρομής και των πρακτικών προσομοιώσεων, η παρούσα έρευνα συμβάλλει στον αυξανόμενο όγκο γνώσεων σε αυτόν τον τομέα. Τα ευρήματα θα διευκολύνουν τη βαθύτερη κατανόηση των πιθανών οφελών, των προκλήσεων και των προβληματισμών που σχετίζονται με την εφαρμογή συστημάτων σμήνους ΜΕΑ στη γεωργία ακριβείας, ανοίγοντας έτσι το δρόμο για περαιτέρω εξελίξεις και εφαρμογές στον τομέα αυτό.

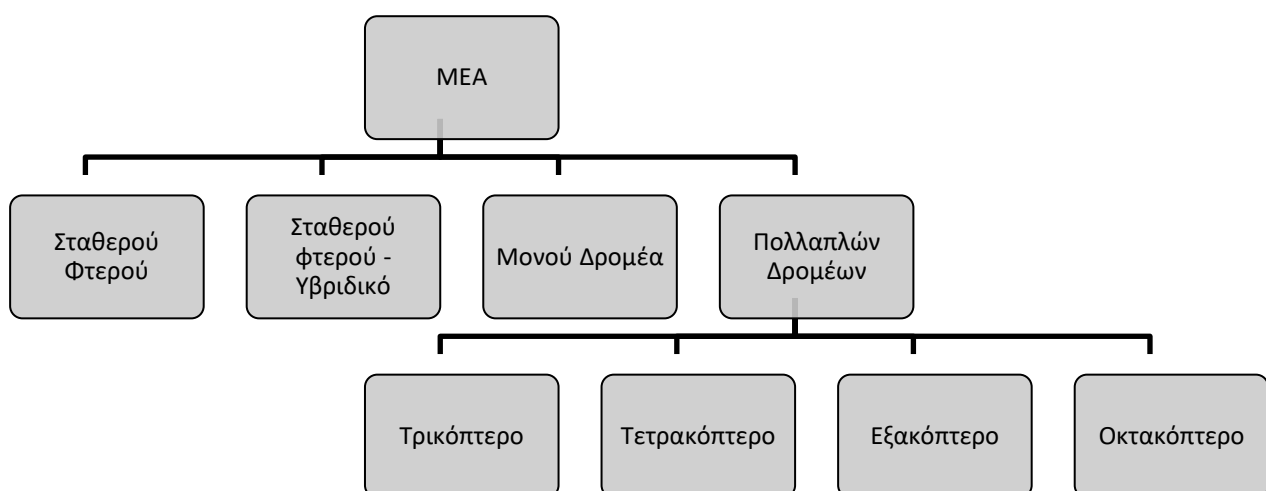
# Κεφάλαιο 2: Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη

Τα Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη ή αλλιώς ΜΕΑ, είναι ιπτάμενα οχήματα τα οποία δεν διαθέτουν πιλότο ή ανθρώπινο χειριστή εντός του οχήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να κινείται είτε αυτόματα με αισθητήρες και το απαραίτητο λογισμικό είτε να βρίσκεται υπό χειρισμό εξ αποστάσεως.

## 2.1 Μηχανική Κατηγοριοποίηση των Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται εκτεταμένα οι κατηγορίες των ΜΕΑ σχετικά με την μηχανική και κατασκευαστική δομή τους. Τα ΜΕΑ κατηγοριοποιούνται με βάση την κατασκευαστική δομή, το μέγεθος, το εύρος δράσης και τον εξοπλισμό.

Μία από τις βασικές κατηγορίες των ΜΕΑ είναι με βάση της κατασκευαστικής δομής και του τρόπου λειτουργίας. Η εξής κατηγορία, διαχωρίζεται στις παρακάτω υποκατηγορίες, σταθερού φτερού, σταθερού φτερού - υβριδικό, μονού δρομέα, πολλαπλών δρομέων. Η τελευταία κατηγορία χωρίζεται και σε υποκατηγορίες ανάλογα με τον αριθμό των δρομέων που έχει όπως τα τρικόπτερα, τετρακόπτερα, εξακόπτερα, οκτακόπτερα, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1. Επίσης, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 1 για την περιληπτική περιγραφή και σύγκριση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε κατηγορίας.



Εικόνα 1. Κατηγοριοποίηση ΜΕΑ με βάση την δομική τους κατασκευή

### 2.1.1 Σταθερού φτερού

Η κατηγορία του σταθερού φτερού στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (ΜΕΑ) είναι μία από τις 4 βασικές κατηγορίες και έχει διάφορες χρήσεις. Αυτή η κατηγορία χρησιμοποιείται κυρίως για επίβλεψη χώρων μεγάλης έκτασης, έλεγχο σε δομές όπως γραμμές μεταφοράς ενέργειας ή σωληνώσεων, όμως συναντάται και σε εφαρμογές όπως γεωργία ακριβείας ή στρατιωτικές αποστολές.

Τα θετικά της κατηγορίας του σταθερού φτερού είναι ότι λόγω της αεροδυναμικής του αεροσκάφους και ότι αρκείται σε μικρή κατανάλωση ενέργειας για να παραμείνει στον αέρα, έχει σαν αποτέλεσμα την μεγάλη διάρκεια πτήσης, δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλης ταχύτητας και κάλυψη εκτεταμένης γεωγραφικά περιοχής. Επίσης, σε αυτό το είδος υπάρχει η δυνατότητα πτήσης σε μεγάλη υψομετρική απόσταση από το έδαφος και έχει αντοχή στην μεταφορά βαρύ φορτίου. [1]

Τα αρνητικά των αεροσκαφών σταθερού φτερού παρατηρούνται κυρίως στην ευκινησία του αεροσκάφους καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα να πραγματοποιούνται απότομες αλλαγές κατεύθυνσης και ταχύτητας. Επιπλέον, απαιτείται μεγάλη έκταση χώρου για την διαδικασία της προσγείωσης και απογείωσης καθώς δεν διαθέτει σύστημα κάθετης απογείωσης. Επίσης, η μηχανική κατασκευή αυτών των αεροσκαφών απαιτεί εξαιρετική τεχνική κατάρτιση του οδηγού καθώς είναι αρκετά δύσκολος ο χειρισμός του. Τέλος, υπάρχει αυξημένο κόστος για την κατασκευή αλλά και απαιτείται και ειδικευμένος χειριστής για τον έλεγχο του.[1]

Όπως παρατηρείται και στο άρθρο του BBC [2] εταιρείες κολοσσοί όπως η Google χρησιμοποιεί ΜΕΑ σταθερού φτερού με σκοπό να εγκαταστήσει μία υπηρεσία μεταφοράς πακέτων. Στην Εικόνα 2 παρατηρείται ένα ΜΕΑ σταθερού φτερού.



Εικόνα 2: Μη επανδρωμένο αεροσκάφος σταθερού φτερού – Πηγή [3]

### 2.1.2 Σταθερού φτερού - Υβριδικό

Η κατηγορία του «σταθερού φτερού – υβριδικό» είναι μία αναβάθμιση της προηγούμενης κατηγορίας, καθώς συνδυάζονται τα θετικά στοιχεία του σταθερού φτερού με την ευκινησία και την απλότητα κατά την προσγείωση και απογείωση ενός αεροσκάφους με έλικες. Μηχανικά παρατηρείται ότι έχει την δομή της κατηγορίας του «σταθερού φτερού» άλλα προστίθεται το σύστημα του έλικα.

Γενικώς, η συγκεκριμένη κατηγορία έχει αρκετές χρήσεις και εφαρμογές αφού συνδυάζει τα πλεονεκτήματα από 2 κατηγορίες ΜΕΑ, όμως μέχρι στιγμής η πιο συνηθισμένη χρήση είναι αυτήν των υπηρεσιών μεταφοράς προϊόντων και παράδοση πακέτων.

Τα θετικά σε αυτήν την κατηγορία είναι παρόμοια με την παραπάνω κατηγορία, δηλαδή έχουμε δυνατότητα πτήσεων μεγάλης διάρκειας, αυξημένη ταχύτητα, κάλυψη εκτεταμένης περιοχής, όμως υπάρχει βελτίωση στην ευκινησία, της αλλαγής κατεύθυνσης και στους 3 άξονες, και ένα αρκετά σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα κάθετης προσγείωσης και απογείωσης.

Καθώς αυτήν η κατηγορία είναι ένας συνδυασμός σταθερού φτερού και ελίκων, αυτός ο συνδυασμός αυξάνει τα πλεονεκτήματα και το κάνει πιο ελκυστικό για χρήση, όμως παρατηρούνται και κάποια μειονεκτήματα. Το μειονέκτημα είναι ότι βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και θεωρείται μία μη ολοκληρωμένη τεχνολογία η οποία συνεχώς εξελίσσεται και αναπτύσσεται, όποτε δεν υπάρχουν πολλές εμπορικές εφαρμογές αυτού του είδους και δεν

είναι εύκολη η απόκτηση τέτοιων αεροσκαφών. Επίσης, υπάρχει αυξημένο κόστος αγοράς και κοστοβόρα διαδικασία συντήρησης.

Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το FIXAR 007, το οποίο παρουσιάστηκε στην Geo Week 2023, ένα εντελώς αυτόνομο ΜΕΑ σταθερού φτερού. Το συγκεκριμένο μοντέλο, εκτός από το σταθερό φτερό, διαθέτει την τεχνολογία κάθετης προσγείωσης και προσγείωσης (Vertical Take Off Landing - VTOL), μέσω του έλικα που έχει προστεθεί για να απλουστεύσει την διαδικασία απογείωσης και προσγείωσης. Αυτό το καθιστά ως ένα υβριδικό ΜΕΑ. [4] Στην Εικόνα 3 παρατηρείται ένα ΜΕΑ υβριδικού τύπου.



*Εικόνα 3: Μη επανδρωμένο αεροσκάφος υβριδικού τύπου – Πηγή [5]*

### 2.1.3 Μονού Δρομέα

Το είδος ΜΕΑ του μονού δρομέα έχει παρόμοια δομή ενός συμβατικού ελικοπτερου, με την διαφορά ότι αυτό αποτελείται από 2 μέρη, το αεροσκάφος και το σύστημα ελέγχου στο έδαφος, όπως και παρατηρείται στην Εικόνα 4.

Οι εφαρμογές των ΜΕΑ μονού δρομέα περιορίζονται στην μεταφορά φορτίων, επίβλεψη και έλεγχο διάφορων περιοχών και τοπογραφικών μελετών μέσω της τεχνολογίας Light Detection and Ranging (LIDAR.) [1], [6]

Τα πλεονεκτήματα των ΜΕΑ μονού δρομέα είναι η δυνατότητα κάθετης προσγείωσης και απογείωσης, η ευελιξία στην κίνηση κατά την πτήση, μεγάλη απόδοση πτήσης λόγω αεροδυναμικής κατασκευής, δυνατότητα μετακίνησης φορτίων και η δυνατή αντοχή της κατασκευής.

Οι προκλήσεις αυτής της κατηγορίας είναι αρκετές, καθώς είναι ιδιαίτερα ακριβή και με περίπλοκη κατασκευή, η οποία καθιστά την συντήρηση εξαιρετικά χρονοβόρα και κοστοβόρα. Η κατασκευή με μονό δρομέα δίνει μία αστάθεια στην πτήση και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την προσγείωση καθώς με ένα μικρό λάθος είναι εφικτό να υπάρξει ατύχημα. Επίσης, ο μεγάλος έλικας είναι εν δυνάμει επικίνδυνος για ανθρώπινες ζωές σε περίπτωση βλάβης ή μη ελέγχου του αεροσκάφους. [6]



Εικόνα 4: Μη επανδρωμένο αεροσκάφος μονού δρομέα – Πηγή [7]



## 2.1.4 Πολλαπλών Δρομέων

Η κατηγορία των «πολλαπλών δρομέων» είναι η πιο οικονομική, ελαφριά, και υπάρχει μεγάλη διάθεση προς αγορά ακόμα και για προσωπικούς ή εμπορικούς λόγους. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους και της ελαφριάς κατασκευής τους, χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές καταγραφής, φωτογραφίας και οπτικού ελέγχου.

Τα πλεονεκτήματα είναι ότι λόγω της κατασκευής τους παρέχεται μεγαλύτερη ευελιξία, εύκολος χειρισμός και ευκινησία. Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω στοιχεία υπάρχει σαν αποτέλεσμα η δυνατότητα ελιγμών και πτήσεων σε αποστάσεις κοντά σε εμπόδια. Επιπλέον, λόγω της κατασκευής του, θεωρείται πιο οικονομικό συγκριτικά με τα υπόλοιπα.

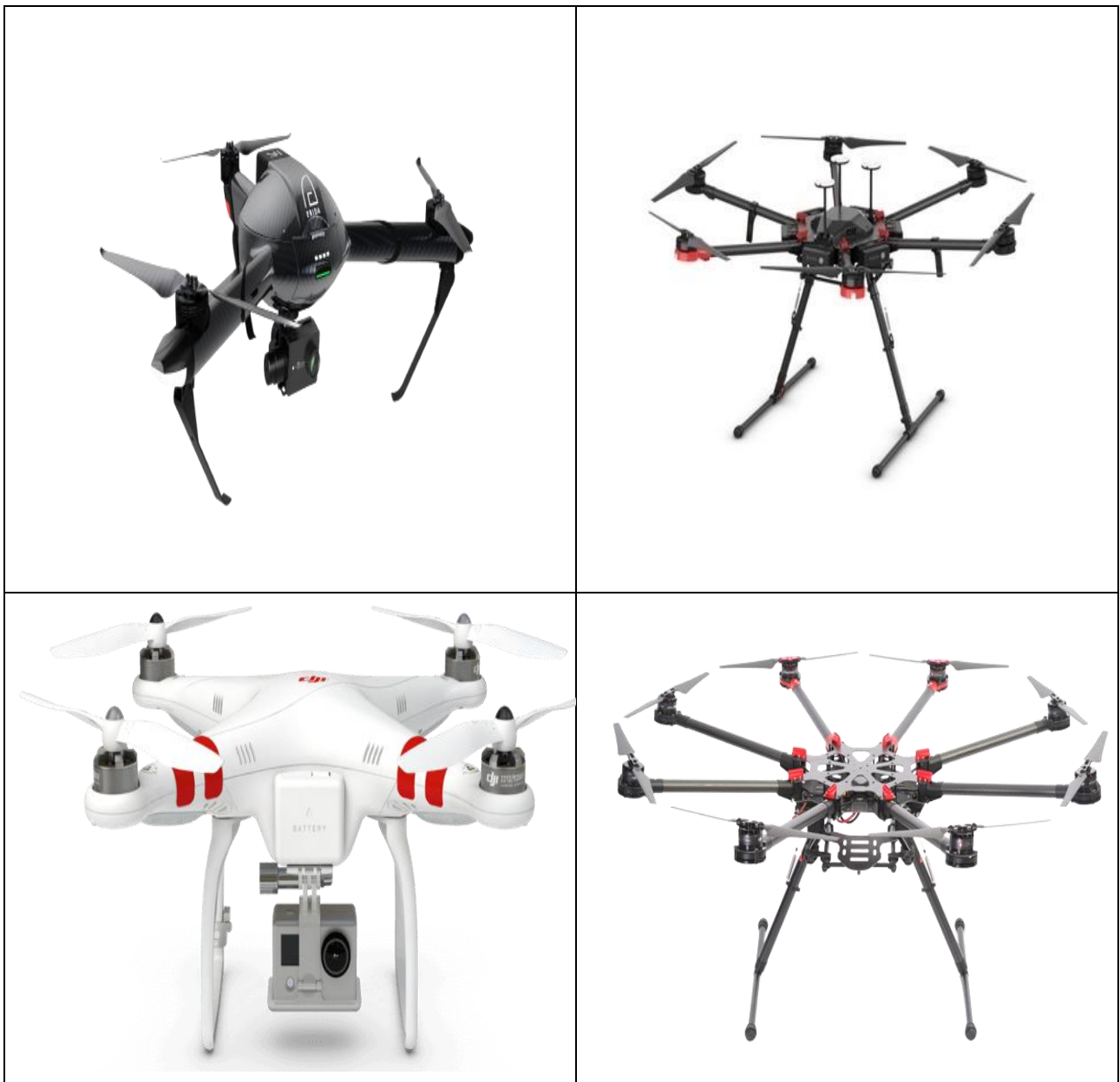
Τα μειονεκτήματα είναι ότι λόγω της κατασκευής δεν έχουν την ικανότητα να παραμένουν στον αέρα χωρίς την υποστήριξη του συστήματος πτήσης, με αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλή κατανάλωση. Καθώς η τροφοδοσία γίνεται μέσω ηλεκτρικής ενέργειας, και η κίνηση των ελίκων μέσω ηλεκτροκινητήρα, έχουν μικρές διάρκειας πτήσεις, περίπου 30 λεπτών. Επίσης, λόγω της περιορισμένης διάρκειας πτήσης και ταχύτητας δεν ενδείκνυται για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

Τέλος, η κατηγορία χωρίζεται σε υποκατηγορίες ανάλογα με των αριθμών των ελίκων που απαρτίζεται το αεροσκάφος. Οι κατηγορίες που αναφέρονται είναι το τρικόπτερο, τετρακόπτερο, εξακόπτερο, οκτακόπτερο και παρουσιάζονται οπτικά στην Εικόνα 5.[1]

- **Τρικόπτερο:** Η κατηγορία με τους 3 δρομείς, είναι αρκετά συνηθισμένη αφού βοηθάει στην ισορροπία και στην κίνηση του αεροσκάφους. Ο δεξιά δρομέας, κινείται με την φορά του ρολογιού ενώ οι άλλοι 2 αντίθετα.
- **Τετρακόπτερο:** Η κατηγορία με τους 4 δρομείς, είναι από τις πιο κλασικές, αφού είναι συνηθισμένη ακόμα και στα ΜΕΑ εμπορικής χρήσης, καθώς προσφέρουν σταθερότητα και ευκινησία κατά την πτήση. Οι 2 δρομείς κινούνται με την φορά του ρολογιού ενώ οι άλλοι 2 απέναντι κινούνται αντίθετα με την φορά του ρολογιού.
- **Εξακόπτερο:** Τα εξακόπτερα, έχουν 6 κινητήρες και 6 δρομείς, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ευστάθεια, μεγαλύτερη ευκινησία και ευελιξία κατά την πτήση, δυνατότητα να μεταφέρει μεγαλύτερο φορτίο αλλά από τα πιο σημαντικά είναι ότι δίνει την δυνατότητα να συνεχίσει την αποστολή ακόμα και με βλάβη στον έναν δρομέα, οπότε είναι λειτουργικό και με 5 δρομείς. Τα μειονεκτήματα είναι ότι αυξάνεται το μέγεθος καθώς αυξάνονται και τα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως επίσης και το κόστος.

- **Οκτακόπτερο:** Τα οκτακόπτερα, είναι ΜΕΑ τα οποία αποτελούνται από 8 δρομείς και 8 κινητήρες. Ως ΜΕΑ με μεγαλύτερη κατασκευή παρατηρούνται παραπάνω δυνατότητες συγκριτικά με τις προηγούμενες κατηγορίες όσον αφορά την ταχύτητα, το ύψος πτήσης, την σταθερότητα και την δύναμη ανύψωσης φορτίου. Επίσης, λόγω της μεγάλης σταθερότητας είναι ιδανικό για καθαρές και σταθερές φωτογραφίες ή καταγραφή οπτικοακουστικού υλικού. Επιπλέον, λόγω της σταθερότητας και των χαρακτηριστικών του, είναι αξιόπιστο και για πτήσεις με μη ιδανικές καιρικές συνθήκες, δηλαδή με αέρα ή βροχή.

Το αρνητικό σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι λόγω του μεγέθους και των πολλών κινητήρων, μειώνεται αρκετά ο χρόνος πτήσης καθώς απαιτεί αρκετή ενέργεια. Επίσης, ανεβαίνει και το κόστος του εξοπλισμού.



Εικόνα 5: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη πολλαπλών δρομέων – Πάνω αριστερά τρικόπτερο[8] - Κάτω αριστερά τετρακόπτερο [9] – Πάνω δεξιά εξακόπτερο[10] - Κάτω αριστερά οκτακόπτερο [11]

### 2.1.5 Σύνοψη Ενότητας

Στο παραπάνω κεφάλαιο συζητήθηκαν και αναλύθηκαν οι κατηγορίες των ΜΕΑ με βάση την μηχανική τους δομή. Όπως παρατηρήθηκε στην βιβλιογραφική ανασκόπηση υπάρχουν αρκετές κατηγορίες σχετικά με την ταξινόμηση των ΜΕΑ με βάση την μηχανική τους δομή. Στον Πίνακα 1, παρατηρούνται οι εφαρμογές για κάθε μία από τις κατηγορίες, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα. Με βάση τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν παραπάνω και την ανάλυση του Πίνακα 1, βγαίνει το συμπέρασμα ότι η κατηγορία σταθερού φτερού επιτρέπει κάλυψη μεγαλύτερης έκτασης με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλες διαδρομές σε ανοιχτό χώρο χωρίς εμπόδια. Αντιθέτως, τα ΜΕΑ με τεχνολογία δρομέων, χρησιμοποιούνται για πιο ευέλικτες διαδρομές εντός μικρού πεδίου και με εμπόδια.

Στην γεωργία ακριβείας μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι παραπάνω κατηγορίες, ανάλογα με την χρήση που απαιτείται. Σε μεγάλες εκτάσεις προτιμάτε η τεχνολογία σταθερού φτερού, αντίθετα σε μικρότερα χωράφια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η τεχνολογία με πολλαπλούς δρομείς.

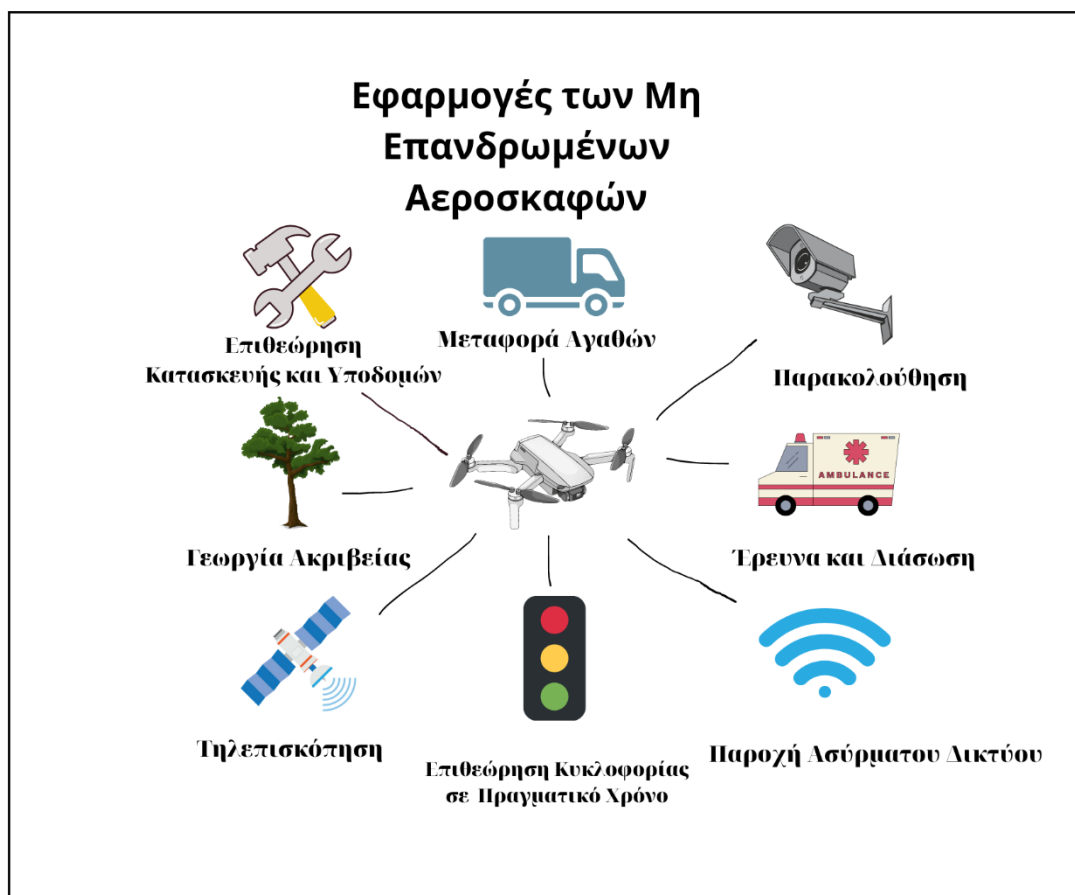
Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση ΜΕΑ με βάση την κατασκευή τους και αναφορά στα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και στις εφαρμογές

Μη επανδρωμένα αεροσκάφη	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμογές
Σταθερού φτερού	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλη διάρκεια πτήσης</li> <li>• Μεγάλο εύρος κάλυψης περιοχής</li> <li>• Μεγάλη ταχύτητα</li> <li>• Πτήση σε μεγάλη υψομετρική απόσταση από το έδαφος</li> <li>• Μεγάλη αντοχή φορτίου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χρειάζεται παραπάνω χώρο για απογείωση - προσγείωση</li> <li>• Δεν υπάρχει δυνατότητα κάθετης απογείωσης - προσγείωσης</li> <li>• Χρειάζεται εξειδικευμένη εκπαίδευση του πιλότου</li> <li>• Μεγάλο κόστος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Γεωγραφική εξερεύνηση</li> <li>• Έλεγχος και καταγραφή των γραμμών μεταφοράς ενέργειας, σωληνώσεων ή δασικών περιοχών</li> <li>• Γεωργία ακριβείας</li> </ul>
Σταθερού φτερού - υβριδικό	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλη διάρκεια πτήσης</li> <li>• Δυνατότητα κάθετης - απογείωσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δύσκολος χειρισμός κατά την χρήση hovering</li> <li>• Η τεχνολογία βρίσκεται ακόμα υπό ανάπτυξη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χρήση για μεταφορά αντικειμένων (συνήθως από μεταφορικές εταιρείες για αποστολές πακέτων)</li> </ul>
Μονού δρομέα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δυνατότητα κάθετης προσγείωσης - απογείωσης και ευελιξία</li> <li>• Μεγάλη διάρκεια πτήσης</li> <li>• Δυνατότητα μετακίνησης βαρύ φορτίου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έλλειψη σταθερότητας - επικίνδυνο κατά την χρήση</li> <li>• Χρειάζεται εκπαίδευση ο χειριστής</li> <li>• Μεγάλο κόστος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεταφορά φορτίων</li> <li>• Lidar laser scan</li> <li>• Επίβλεψη και έλεγχος</li> </ul>

<p>Πολλαπλών δρομέων</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλύτερος έλεγχος κατά την πτήση</li> <li>• Ευέλικτο και με την δυνατότητα για απότομες αλλαγές κατεύθυνσης</li> <li>• Δυνατότητα πτήσης κοντά σε κτίρια και κατασκευές</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένοι πόροι κατά την πτήση - μικρότερες χρονικά πτήσεις</li> <li>• Κατανάλωση μεγάλου ποσού ενέργειας για να παραμείνει στον αέρα</li> <li>• Κατά βάση χρήση ηλεκτρικού κινητήρα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οπτικές παρακολουθήσεις - έλεγχοι</li> <li>• Καταγραφή μέσω κάμερας</li> <li>• Χρήση θερμικής κάμερας για εντοπισμό</li> </ul>
--------------------------	---	--	---

## 2.2 Εφαρμογές και Χρήσεις των Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αν και αναπτύχθηκαν και κατασκευάστηκαν κατά τον 2ο παγκόσμιο πόλεμο για στρατιωτικούς σκοπούς, πλέον οι εφαρμογές τους έχουν επεκταθεί και σε άλλους τομείς[12]. Παρατηρούνται σε στρατιωτικές επιχειρήσεις, σε δημόσιες υπηρεσίες, σε εμπορικές εταιρείες μέχρι και σε ιδιώτες για ψυχαγωγική χρήση. Βέβαια, ανάλογα με την χρήση και τον σκοπό, υπάρχουν διαφορετικής κλίμακας και με διαφορετικό εξοπλισμό ΜΕΑ[13]. Στις επόμενες υποενότητες, αναλύονται κάποιες από αυτές τις εφαρμογές και κυρίως η γεωργία ακριβείας. Στην Εικόνα 6 παρατηρούνται οι εφαρμογές που θα αναλυθούν στις επόμενες ενότητες.



Εικόνα 6. Εφαρμογές μη επανδρωμένων αεροσκαφών

### 2.2.1 Έρευνα και Διάσωση

Υπάρχουν ειδικά κατασκευασμένα ΜΕΑ για την αρωγή σε αποστολές με γνώμονα την διατήρηση της δημόσιας ασφάλειας και είναι διαθέσιμα για άμεση ανταπόκριση σε έκτακτες αποστολές με σκοπό την συλλογή πληροφοριών από την τοποθεσία του συμβάντος. Επίσης, είναι εφικτός ο συγχρονισμός με τις μονάδες των σωμάτων ασφαλείας με αποτέλεσμα την άμεση ανταπόκριση και μείωση του ρίσκου απώλειας ανθρώπινης ζωής.

Η χρήση τους υιοθετείται με γρήγορους ρυθμούς από πυροσβέστες, μονάδες επιβολής της τάξης, από υπηρεσίες διάσωσης και πολιτικής προστασίας. [14]

Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι η χρήση ΜΕΑ της DJI από το πυροσβεστικό σώμα της Φλόριντας με σκοπό τον περιορισμό της διαρροής άνυδρης αμμωνίας. Με την χρήση ενός ΜΕΑ οι πυροσβέστες είχαν άμεση εικόνα, χωρίς να αναγκαστούν να πραγματοποιήσουν αυτοψία και να διακινδυνέψουν, με αποτέλεσμα τον εντοπισμό της διαρροής, διακοπή της παροχής και την απορρύπανση της περιοχής. [15]

Επίσης, αξιοσημείωτο να αναφερθεί είναι η διάθεση ΜΕΑ για την βοήθεια στην αποστολή διάσωσης των θυμάτων του φονικού σεισμού στην Τουρκία. Πιο συγκεκριμένα η αμερικάνικη εταιρεία ειδικεύεται στην ανάπτυξη υπηρεσιών με σκοπό την δημόσια ασφάλεια [16], διέθεσε ΜΕΑ όπου μεταφέρθηκαν στην Αντιόχεια της Τουρκίας με σκοπό την αρωγή των προσπαθειών των διασωστικών συνεργείων και στην βοήθεια της αντιμετώπισης της κρίσης. [17]

### 2.2.2 Τηλεπισκόπηση

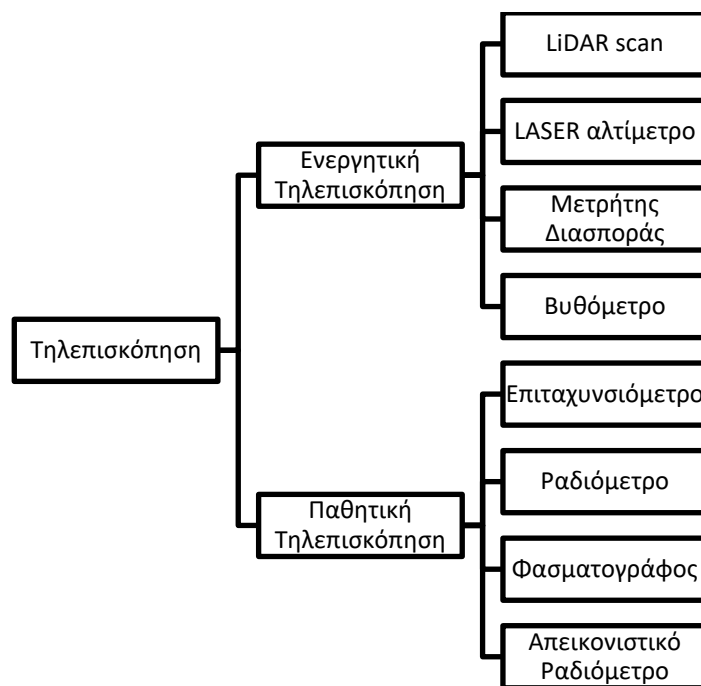
Η τηλεπισκόπηση θεωρείται η συλλογή πληροφοριών από απόσταση μέσω αισθητήρων και εξαρτημάτων που συνήθως εξοπλίζονται επάνω σε συστήματα όπως για παράδειγμα τα ΜΕΑ.[18] Η τηλεπισκόπηση χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες, την ενεργητική και την παθητική, όπως και παρατηρείται πιο αναλυτικά στην Εικόνα 7.[6]

- **Ενεργητική τηλεπισκόπηση:** Στην ενεργητική τηλεπισκόπηση, χρησιμοποιούνται αισθητήρες που παρέχουν την ενέργεια που απαιτείται για την συλλογή δεδομένων. Ο αισθητήρας ορίζει την περιοχή που θέλει να συλλέξει πληροφορίες, μεταδίδει ακτινοβολία και αυτήν αντανακλάει και επιστρέφει στον αισθητήρα δίνοντας τα δεδομένα. Σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο [6] το πιο διαδεδομένο ηλεκτρομαγνητικό εύρος λειτουργίας ανήκει στο μικροκυματικό μέρος. Ενεργητικοί αισθητήρες που είναι ευρέως διαδεδομένοι και χρησιμοποιούνται συχνά είναι ο LiDAR



ανιχνευτής, όπου βασίζεται στην τεχνική ανίχνευση φωτός και εμβέλειας, υψομετρητής λέιζερ (laser altimeter, ραδιοεντοπιστής (RADAR)).[6]

- **Παθητική τηλεπισκόπηση:** Στην παθητική τηλεπισκόπηση, οι περισσότεροι αισθητήρες λειτουργούν στο ορατό, υπέρυθρο, θερμικό υπέρυθρο και μικροκυματικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τέτοιοι αισθητήρες είναι το επιταχυνσιόμετρο, ο φασματογράφος, το ραδιόμετρο. [6]



Εικόνα 7. Οργανόγραμμα για την τηλεπισκόπηση

### 2.2.3 Επιθεώρηση Κατασκευής και Υποδομών

Στις μέρες μας, είναι αρκετά σύνηθες η χρήση ΜΕΑ με σκοπό την επίβλεψη και τον έλεγχο κατασκευών και υποδομών. Χρησιμοποιείται είτε κατά την διάρκεια κατασκευής ώστε να μπορούν οι μηχανικοί να ελέγχουν γρήγορα μεγάλα κομμάτια του έργου, αλλά και να ελέγχουν δύσβατες ή επικίνδυνες περιοχές με ασφάλεια, είτε για την επίβλεψη και συντήρηση ενός υπάρχοντος έργου.

Τα ΜΕΑ χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που η πρόσβαση στο σημείο δεν είναι εύκολη, λόγω απόστασης, ύψους ή γεωγραφικής μορφολογίας. Σαν παράδειγμα, έχουμε ανεμογεννήτριες, σε ηπειρωτικό ή θαλάσσιο σημείο, πύργοι κινητής τηλεφωνίας, γραμμές μεταφοράς ενέργειας, γραμμές σωληνώσεων.

Με αυτόν τον τρόπο, υπάρχουν υψηλής ευκρίνειας εικόνες από το σημείο και υπάρχει η δυνατότητα αξιολόγησης της κατάστασης των υποδομών. Επίσης, με επιπρόσθετο εξοπλισμό,

όπως είναι οι θερμικές κάμερες (thermal cameras), αξιοποιούνται τα ΜΕΑ για τον εντοπισμό βλαβών, όπως διαρροές, ελαττώματα σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις και σε θερμικούς ελέγχους σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις όπως φωτοβολταϊκά πάρκα.

- **Ορυκτοί Πόροι:** Η χρήση των ΜΕΑ στην βιομηχανία των ορυκτών πόρων και η ψηφιοποίηση των επιθεωρήσεων, έχει σαν σκοπό την μείωση του ρίσκου και την προστασία των εργατών από επικίνδυνες για την υγεία τοποθεσίες, την αυτοψία και τον έλεγχο σημείων χωρίς την ανάγκη διακοπής των εργασιών και, τέλος, την συλλογή αξιόπιστων και σημαντικών δεδομένων για τον εντοπισμό λαθών και αποφυγής ατυχημάτων. [19]

Η χρήση τους εντοπίζεται σε υπηρεσίες διαχείρισης παραγωγής διυλιστηρίων, όπου επιθεωρήσεις ρουτίνας λαμβάνουν χώρα με ΜΕΑ και η παρακολούθηση της ασφάλειας βελτιώνουν την αποδοτικότητα χωρίς να διακόπτουν τις εργασίες ή να θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του προσωπικού.[20]

Επίσης, παρατηρείται σε υπηρεσίες διαχείρισης ακεραιότητας αγωγών, όπου τα ΜΕΑ βοηθούν στην παρακολούθηση και διαχείριση μεγάλων αγωγών που βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, εντοπίζοντας γρήγορα διαρροές ή ανωμαλίες.[21]

Ακόμη μία εφαρμογή που προσφέρεται είναι η υπηρεσία εξερεύνησης και διαχείρισης κατασκευών. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη συλλέγουν δεδομένα γρήγορα και με ακρίβεια για τη διενέργεια επιτόπιων ερευνών σε περιοχές εξερεύνησης και την ενημέρωση των κατασκευαστικών έργων από το σχεδιασμό έως την εκτέλεση.[22]

Όπως παρατηρείται και στο άρθρο [18], οι μεγαλύτερες εταιρείες ενέργειας στην Αργεντινή έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια για επιθεωρήσεις και ελέγχους μέσω ΜΕΑ. Τα τελευταία τέσσερα χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί επιθεωρήσεις για διυλιστήρια πετρελαίου και φυσικού αερίου με ΜΕΑ εξοπλισμένα με θερμική κάμερα. Η επιτυχία των ΜΕΑ στην πετρελαϊκή βιομηχανία έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο που πραγματοποιούνται μερικές διαδικασίες. Οι επιθεωρήσεις πλέον διεξάγονται με μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας, αυξάνοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια.

- **Ηλεκτρισμός:** Τα ΜΕΑ της DJI έχουν εφαρμογή και στην διαχείριση ηλεκτρικών δικτύων και εγκαταστάσεων μέσω παρακολούθησης και συλλογής δεδομένων κατά την κατασκευή ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, αλλά και κατά την διάρκεια λειτουργίας τους με συχνές επιθεωρήσεις για την επίβλεψη τους. Ο σκοπός της χρήσης ΜΕΑ για τις

παραπάνω υπηρεσίες είναι η αύξηση της αποδοτικότητας κατά την διάρκεια των ελέγχων, η μείωση κόστους και η προστασία του ανθρώπινου δυναμικού. [23]

Μία σύνθητες εφαρμογή των ΜΕΑ επάνω σε κατασκευαστικό κομμάτι είναι ο προγραμματισμός και σχεδιασμός ενός έργου, όπου συλλέγοντας δεδομένα μέσω των ΜΕΑ γίνεται η βελτιστοποίηση για την κατασκευή γραμμών μεταφοράς ή άλλων ενεργειακών έργων.[24]

Επιπλέον, μία πιθανή εφαρμογή ΜΕΑ είναι η βοήθεια στην κατασκευή ενός έργου είτε μέσω επίβλεψης των εργασιών αλλά και έχοντας πρακτικό κομμάτι, στην μεταφορά υλικών ή εγκατάσταση καλωδίων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών ΜΕΑ όπου είναι κατασκευασμένα για την μεταφορά φορτίων. [25]

Συναντάμε, επίσης, ΜΕΑ όπου έχοντας τον κατάλληλο εξοπλισμό, όπως θερμικές κάμερες και αισθητήρες, ελέγχουν σταθμούς παραγωγής ενέργειας και μεταφοράς για πιθανές διαρροές και βλάβες.[26]

Μία αξιόλογη περίπτωση εφαρμογής ΜΕΑ της DJI επάνω σε ηλεκτρικές γραμμές είναι η [27] όπου η εταιρεία Alpiq EnerTrans χρησιμοποίησε ΜΕΑ για την αυτοψία 65 πυλώνων του ελβετικού δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και παρατήρησε αύξηση της αποδοτικότητας κατά 50% και εξασφάλισε την προστασία των εργαζομένων της.

## 2.2.4 Μεταφορά Αγαθών

Η μεταφορά αγαθών μέσω ΜΕΑ είναι ένας καινοτόμος τρόπος να μεταφέρονται υλικά γρήγορα, με λιγότερους πόρους και με μικρότερη εξάρτηση από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Με βάση την βιβλιογραφία χωρίζεται σε 4 υποκατηγορίες, ανάλογα με την χρήση της σε μεταφορές αγαθών.

- **Μεταφορά ιατρικού περιεχομένου:** Σε αυτήν την εφαρμογή, είναι εφικτό να μεταφέρονται ιατρικά υλικά όπως φάρμακα ή ιατρικά αναλώσιμα για την γρήγορη χορήγηση τους. Στην Εικόνα 8 παρατηρείται ένα ΜΕΑ σε ιατρική αποστολή. Επίσης, ενδείκνυται για την μεταφορά δειγμάτων αίματος ή ανθρώπινων οργάνων για μετάγγιση ή μεταμόσχευση αντίστοιχα, μία διαδικασία η οποία το ποσοστό επιτυχίας της βασίζεται κυρίως στην ταχύτητα και στην γρήγορη μεταφορά. Τέλος, σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνεται η χρήση των ΜΕΑ για παρακολούθηση και ως μέσο για

την μεταφορά οδηγίων από ειδικούς για την αντιμετώπιση μίας έκτακτης ανάγκης εξ' αποστάσεως. [28]

- **Μεταφορά τροφίμων:** Με την χρήση των ΜΕΑ στην μεταφορά τροφίμων δύναται η προμήθεια σε απομακρυσμένες περιοχές με τα απαραίτητα αγαθά, γρήγορα και με μικρό κόστος. Η τροφοδότηση περιοχών όπως τα νησιά ή οι ορεινές περιοχές είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί χρόνια την ερευνητική κοινότητα, και κοινωνία κατ'επέκταση, καθώς δεν είναι λίγες οι φορές όπου υπάρχουν ελλείψεις έως και βασικών αγαθών.
- **Μεταφορά εμπορικών παραγγελιών:** Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ραγδαία αύξηση των ηλεκτρονικών παραγγελιών, με αποτέλεσμα την αδυναμία παράδοσης των παραγγελιών. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, μεγάλες εμπορικές εταιρείες να προσπαθούν να βρουν έναν πιο αποδοτικό τρόπο για τις μεταφορές πακέτων και παραγγελιών. Εταιρείες όπως Amazon, Google, DHL έχουν ξεκινήσει πιλοτικά την χρήση ΜΕΑ για την μεταφορά, καθώς είναι ένα αξιόπιστος τρόπος να μεταφέρουν γρήγορα και με λίγους πόρους, μεγάλο όγκο παραγγελιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αύξησης της ζήτησης σε παραγγελίες ήταν η περίοδος των μέτρων απαγόρευσης κυκλοφορίας λόγω της έκρηξης της πανδημίας του SARS-CoV-2 το 2020.
- **Μεταφορά επίσημων εγγράφων:** Η μεταφορά επίσημων σημαντικών εγγράφων μπορεί να γίνεται μεταξύ υπηρεσιών με την χρήση των ΜΕΑ, χωρίς να απασχολείται ανθρώπινο δυναμικό.



*Εικόνα 8 Μη επανδρωμένο αεροσκάφος για την μεταφορά ιατρικού υλικού - Πηγή [29]*

## 2.2.5 Επίβλεψη Κυκλοφορίας σε Πραγματικό Χρόνο

Η επίβλεψη της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, [6], [19], [30] οι χρήσεις του μπορούν να είναι:

- **Επίβλεψη κυκλοφοριακής συμφόρησης:** Με τα ΜΕΑ είναι εφικτή η επίβλεψη και η παρακολούθηση των αυτοκινητόδρομων, με σκοπό την καταγραφή σε περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης και άμεση μετάδοση οπτικού υλικού προσβάσιμο σε όλους σε πραγματικό χρόνο.
- **Έρευνα για κενή περιοχή στάθμευσης:** Σε διάφορες αστικές περιοχές ή σε μεγάλες περιοχές στάθμευσης, έχοντας στην διάθεση μας ΜΕΑ, δύναται να εντοπίζονται γρήγορα και εύκολα ελεύθερες θέσεις στάθμευσης.
- **Έρευνα για κυκλοφοριακές παραβάσεις:** Η επίβλεψη αστικών δρόμων και αυτοκινητόδρομων για την πρόληψη και καταστολή τροχαίων παρεμβάσεων απαιτεί εξοπλισμό και ανθρώπινο δυναμικό, κάτι που συνεπάγεται σε αυξημένη κατανάλωση πόρων. Με την χρήση ΜΕΑ περιορίζεται η κατανάλωση πόρων και αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της καταπολέμησης των τροχαίων παραβάσεων.
- **Εύρεση βέλτιστης διαδρομής:** Καταγράφοντας στοιχεία της κυκλοφορίας και εντοπίζοντας την κυκλοφοριακή συμφόρηση, παρέχεται στους οδηγούς η βέλτιστη διαδρομή αποφεύγοντας σημεία υψηλής πυκνότητας ή επικίνδυνες διαδρομές.
- **Συλλογή στατιστικών στοιχείων:** Με την χρήση ΜΕΑ για την επίβλεψη της κυκλοφορίας συλλέγονται στοιχεία, όπως κατεύθυνση και μέση ταχύτητα οχημάτων.
- **Καθοδήγηση οχημάτων έκτακτης ανάγκης:** Έχοντας εικόνα και δεδομένα σχετικά με την κυκλοφοριακή συμφόρηση, το είδος του δρόμου, τα όρια ταχύτητας και το σημείο προορισμού, το οποίο μπορεί να μην είναι σταθερό σε μία καταδίωξη, ενημερώνονται σε άμεσο χρόνο για την βέλτιστη επιλογή διαδρομής τα οχήματα έκτακτης ανάγκης.
- **Ανταπόκριση σε περιστατικά:** Σε περιπτώσεις άμεσης ανάγκης τα ΜΕΑ μπορούν να εντοπίσουν άμεσα καταστάσεις άμεσης ανάγκης, να αποφύγουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση και να βρεθούν γρήγορα παρέχοντας πρώτες βοήθειες και καταγραφή του περιστατικού.
- **Εύρεση καταζητούμενων οχημάτων:** Είτε χειροκίνητα, παρακολουθώντας την κίνηση μέσω εξοπλισμού καταγραφής εικόνας του ΜΕΑ, είτε με κάποιο αλγόριθμο για

να περιορίσει τους πιθανούς στόχους, μπορεί να εντοπίσει γρήγορα μέσα σε εκατοντάδες οχήματα, ύποπτα οχήματα.

- **Έλεγχος πρόσβασης σε απαγορευμένες περιοχές:** Σε περιοχές απόρρητες ή απαγορευμένες, είναι εφικτό να εντοπίζονται οχήματα που προσπαθούν να εισέλθουν χωρίς τα απαραίτητα διαπιστευτήρια. Συνήθως οχήματα που έχουν πρόσβαση, έχουν ένα εκπομπέα ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και αναγνωρίζεται από τα ΜΕΑ.

## 2.2.6 Παρακολούθηση

Σε αυτήν την κατηγορία με βάση το [6], [13], [19], [30] παρατηρείται ότι χρησιμοποιούνται ΜΕΑ με σκοπό την φύλαξη και παρακολούθηση περιοχών. Πλέον είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται ΜΕΑ στα σύνορα των χωρών με σκοπό τον έλεγχο και την αναχαίτηση των μεταναστευτικών εισροών.

Επίσης, χρησιμοποιούνται και για την φύλαξη ιδιωτικών περιοχών και κτιρίων, καθώς και από τα σώματα ασφαλείας για επιτήρηση δημόσιου χώρου, αστυνομικές αποστολές και παρακολουθήσεις.

Βέβαια, η χρήση τους δεν είναι εκτεταμένη καθώς το νομικό πλαίσιο δεν επιτρέπει την αλόγιστη χρήση λόγω της προστασία των προσωπικών δεδομένων. Η Εικόνα 9 εικονίζει ένα ΜΕΑ της αστυνομίας.



Εικόνα 9. Μη επανδρωμένο αεροσκάφος της αστυνομίας - Πηγή [31]

### **2.2.7 Παροχή Ασύρματου Δικτύου**

Τα ΜΕΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ασύρματης κάλυψης σε διάφορες περιπτώσεις [6], [13], [15], [19]. Εντοπίζεται η χρήση ΜΕΑ για την κάλυψη του δικτύου έπειτα από καταστροφή κάποιου πύργου τηλεπικοινωνιών λόγω βλάβης, φυσικής καταστροφής ή επίθεσης. Επίσης, σε περιπτώσεις αυξημένης συγκέντρωσης ανθρώπων σε μία περιοχή όπως σε εκδηλώσεις, αγώνες, συγκεντρώσεις, παρατηρούμε αδυναμία κάλυψης της αυξημένης ζήτησης από τις υποδομές του δικτύου, με αποτέλεσμα να είναι εφικτό να ενισχύονται τοποθετώντας ΜΕΑ στην περιοχή με τον κατάλληλο εξοπλισμό. Τέλος, υπάρχουν και οι περιπτώσεις που υπάρχει τελείως απουσία δικτύου σε απομακρυσμένες και δύσβατες περιοχές, οπότε με την χρήση ΜΕΑ παρέχεται άμεσα κάλυψη της περιοχής από το δίκτυο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

### **2.2.8 Γεωργία Ακριβείας**

Τα τελευταία έτη δημιουργήθηκαν αρκετές προκλήσεις σχετικά με την γεωργία και την αγροτική παραγωγή. Κύριοι λόγοι των προβλημάτων στο κομμάτι της γεωργίας θεωρούνται η έλλειψη εργατικού δυναμικού ως απόρροια της αστικοποίησης της κοινωνίας, η ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η απότομη αλλαγή στις διατροφικές συνήθειες του δυτικού πολιτισμού, διάφοροι εξωγενείς παράγοντες, και τέλος, η κλιματική αλλαγή που έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τις αγροτικές παραγωγές.[32]

Κατά συνέπεια των παραπάνω προκλήσεων, δημιουργείται η κρίση της παγκόσμιας πείνας, με αποτέλεσμα αρκετοί πολίτες να μην μπορούν να εξασφαλίσουν βασικά προϊόντα για την επιβίωση τους. [33]

Ένας τρόπος αύξησης της αγροτικής παραγωγής και της απόδοσης των καλλιεργειών είναι η ενσωμάτωση τεχνολογικών μέσων στην γεωργία. Ένας σύγχρονος τρόπος είναι η χρήση των ΜΕΑ για διάφορες λειτουργίες επάνω στο κομμάτι της διαχείρισης, επίβλεψης και συντήρησης των καλλιεργειών. Με την γεωργία ακριβείας, συνδυάζονται οι γνώσεις επάνω στην επιστήμη της γεωπονίας με δεδομένα ακριβείας που συλλέγονται από τις καλλιέργειες με την χρήση μηχανημάτων και αισθητήρων. Όμως, επειδή δεν είναι εφικτή η διάθεση επανδρωμένων αεροσκαφών ή η συλλογή δεδομένων από δορυφόρους, εφαρμόστηκε η τεχνολογία των Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΜΕΑ) για την επιτήρηση και την παρέμβαση τους σε καλλιέργειες.

Τα ΜΕΑ είναι αποδοτικά σε καλλιέργειες καθώς με πτήσεις σε χαμηλό υψόμετρο, εξασφαλίζουν, με μειωμένους οικονομικούς πόρους, δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, εικόνες υψηλής ευκρίνειας, υπηρεσίες διαχείριση σοδιάς και την δυνατότητα να παρέμβουν και να ψεκάσουν εντομοαπωθητικά, λιπάσματα ή βιταμίνες για την σοδιά.

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία οι χρήσεις της γεωργίας ακριβείας είναι:

- **Χαρτογράφηση:** Με την χρήση των ΜΕΑ πραγματοποιείται χαρτογράφηση της καλλιέργειας και της έκτασης του χωραφιού. Αποκτώντας χάρτες υψηλής ευκρίνειας από ΜΕΑ αντλούνται χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της καλλιέργειας και του εδάφους.[34]

Για παράδειγμα, διακρίνεται το παράδειγμα της μέτρησης του δείκτη fIPAR (fraction of intercepted photosynthetically active radiation) ή αλλιώς στα ελληνικά ο δείκτης της αναχαιτισμένης φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας. [35]

Η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία αναφέρεται στο τμήμα του ηλιακού φωτός που τα φυτά μπορούν να χρησιμοποιήσουν για τη φωτοσύνθεση.

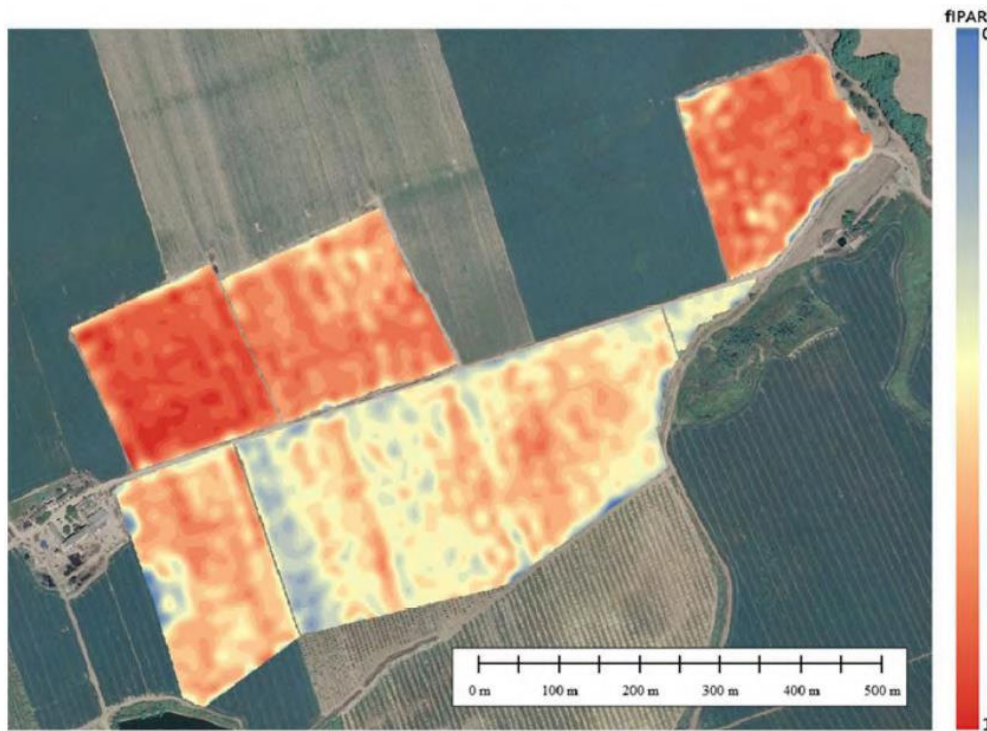
Με τη μέτρηση του fIPAR, οι γεωργικοί ερευνητές και οι αγρότες μπορούν να αξιολογήσουν πόσο αποτελεσματικά ένα φυτικό κάλυμμα συλλαμβάνει και χρησιμοποιεί το διαθέσιμο ηλιακό φως για φωτοσύνθεση. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα του φυτού να μετατρέπει την ενέργεια του φωτός σε χημική ενέργεια, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των φυτών, την ανάπτυξη και τελικά την απόδοση των καλλιεργειών. Η Εικόνα 10 είναι ένα παράδειγμα για την μέτρηση του fIPAR ο οποίος υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση.

$$fIPAR = 1 - e^{(-k*LAI)} \quad (1)$$

K = Συντελεστής εξασθένησης του φωτός

LAI = Δείκτης επιφάνειας φύλλων





Εικόνα 10. Φωτογραφία από μέτρηση του δείκτη fPAR (δείκτης της αναχαιτισμένης φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας) σε ένα χωράφι μέσω μη επανδρωμένου αεροσκάφους – Πηγή [34]

- Παρακολούθηση παραγωγής μέσω δεικτών βλάστησης:** Παρατηρείται ότι είναι εφικτό να υπολογιστεί με αρκετή ακρίβεια η αναμενόμενη απόδοση της σοδιάς, ώστε να υπολογίζεται με μία σχετική ακρίβεια το πλάνο, όσον αφορά την συγκομιδή, την αποθήκευση και την πώληση των παραγόμενων αγαθών. Με τα παραπάνω δεδομένα υπολογίζονται τα οικονομικά στοιχεία μίας αγροτικής επιχείρησης.

Ένα παράδειγμα είναι στην επιστημονική εργασία [36] όπου πολυφασματικές κάμερες έχουν εξοπλίσει ένα τετρακόπτερο και απαθανατίζει μία φωτογραφία ανά δευτερόλεπτο, όπου την αποθηκεύει και μέσω πρωτοκόλλου MAVLink μεταφέρεται στον επίγειο σταθμό ελέγχου. Η κάθε εικόνα έχει 5 ορατές ζώνες με διαφορεικά μήκη κύματος. Είναι η μπλε ζώνη με μήκος κύματος 440 έως 510nm, η πράσινη ζώνη με μήκος κύματος 520 έως 590nm, η κόκκινη με εύρος 630 έως 685nm, η έντονα κόκκινη με εύρος 690 έως 730nm, και τέλος η υπέρυθρη ζώνη με μήκος κύματος 760 έως 850nm. [36]

Έπειτα, αναλύονται τα δεδομένα με τον τύπο του δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI)

$$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})} \quad (2)$$

$R_{RED}$  = Η αντανάκλαση της κόκκινης ζώνης.

$R_{NIR}$  = Η αντανάκλαση της υπέρυθρης ζώνης.

[36]

- **Χαρτογράφηση εδάφους:** Είναι αρκετά σημαντικό να υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα του εδάφους από τα βασικά στοιχεία όπως, φώσφορος, κάλιο, χαλκός, σίδηρος, μαγνήσιο, ασβέστιο, θείο, μαγγάνιο, μόλυβδος, ψευδάργυρος, άζωτο και χλώριο, ώστε να γνωρίζουμε την γονιμότητα του χωραφιού.
- **Πλάνο άρδευσης:** Για την κατασκευή ενός πλάνου άρδευσης, απαιτούνται πληροφορίες όπως η διαθεσιμότητα του ποτιστικού νερού, η ανάγκη της καλλιέργειας για πότισμα, η αναμενόμενη βροχόπτωση και η αποδοτικότητα του συστήματος άρδευσης. Οπότε, αντλώντας μετρήσεις σχετικά με την υγρασία του εδάφους, την θερμοκρασία και την εξατμισοδιαπνοή είναι εφικτός ο υπολογισμός τους. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή συνήθως χρησιμοποιούνται πολυφασματικές και θερμικές κάμερες και αισθητήρες θερμότητας με σκοπό τον εντοπισμό περιοχών με έλλειψη νερού. [34]

Η εικόνα 11 είναι από μία μελέτη όπου χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες για την συλλογή δεδομένων σχετικά με την διαχείριση υδάτινων πόρων.[37]

Οι δείκτες που μετρήθηκαν για να αντληθούν τα συμπεράσματα και τα αποτελέσματα στην παρακάτω εικόνα είναι το Leaf Area Index (LAI) - Δείκτης επιφάνειας φύλλων και το δείκτης Normalized Green Red Difference Index (NGRDI) - Κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς πράσινου-κόκκινου.

Ο LAI είναι ένας δείκτης που ποσοτικοποιεί την ποσότητα της φυλλικής επιφάνειας ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους σε ένα φυτικό θόλο ή σε μια φυτοκάλυψη. Αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την κατανόηση της δομής και της λειτουργίας της βλάστησης.

Ο LAI παρέχει πληροφορίες σχετικά με την πυκνότητα και την έκταση του φυλλώματος σε μια φυτοκοινότητα. Χρησιμοποιείται συνήθως σε οικολογικές και γεωργικές μελέτες για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της βλάστησης, όπως η κάλυψη του θόλου, η παρεμβολή του φωτός, η φωτοσυνθετική ικανότητα και η παραγωγικότητα.

Ο LAI προσδιορίζεται συνήθως με τη μέτρηση της συνολικής φυλλικής επιφάνειας ανά μονάδα εδαφικής επιφάνειας.

$$LAI = \frac{(K * \text{Canopy Extinction Coefficient})}{\text{Leaf Angle Distribution}} \quad (3)$$

$K$  = Συντελεστής εκτόνωσης φωτός

*Canopy Extinction Coefficient* = Συντελεστής εξάλειψης θόλου

*Leaf Angle Distribution* = Κατανομή γωνίας φύλλων

Ο κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς πράσινου-κόκκινου (NGRDI - Normalized green-red difference index) είναι ένας δείκτης βλάστησης που χρησιμοποιείται συνήθως στην τηλεπισκόπηση και την ανάλυση εικόνας για την αξιολόγηση της υγείας και της ζωτικότητας της βλάστησης. Ποσοτικοποιεί τη διαφορά μεταξύ της πράσινης και της κόκκινης ζώνης μιας πολυφασματικής ή υπερφασματικής εικόνας και την κανονικοποιεί για να παρέχει μια τυποποιημένη μέτρηση.

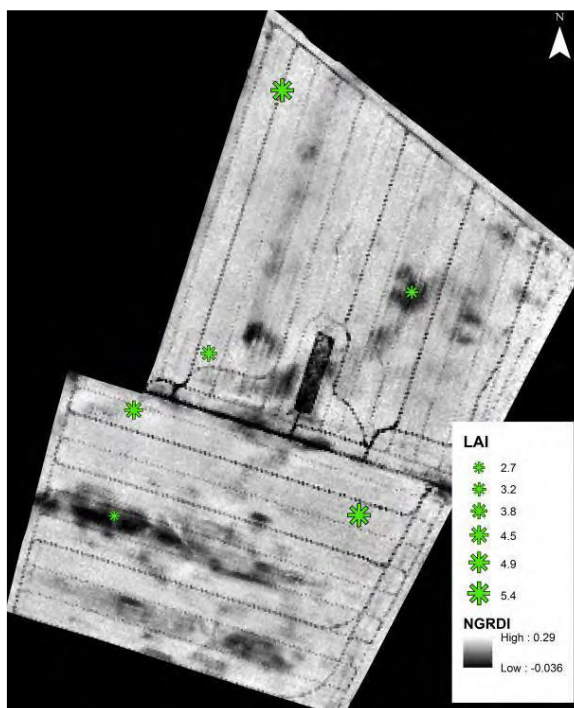
Ο τύπος για το NGRDI είναι :

$$NGRDI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (4)$$

Green: Οι τιμές ανακλαστικότητας ή ακτινοβολίας στην πράσινη ζώνη της εικόνας.

NIR: Οι τιμές ανακλαστικότητας ή ακτινοβολίας στην κόκκινη ζώνη της εικόνας.

Οι τιμές του NGRDI κυμαίνονται συνήθως από -1 έως +1. Υψηλότερες θετικές τιμές υποδηλώνουν υγιέστερη και πιο ζωηρή βλάστηση, ενώ χαμηλότερες ή αρνητικές τιμές μπορεί να υποδηλώνουν καταπονημένη ή λιγότερο υγιή βλάστηση. Οι παραπάνω δείκτες εντοπίζονται και στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11. Παράδειγμα χρήσης ΜΕΑ με ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες – Πηγή [38]

- **Εντοπισμός ασθενειών:** Κατά την διάρκεια της ανάπτυξης της σοδιάς είναι πιθανό να υπάρξει κάποια ασθένεια είτε λόγω εδάφους είτε λόγω παράσιτων. Γνωρίζοντας από νωρίς το πρόβλημα μέσω επίβλεψης της καλλιέργειας με κάμερες και χρήση αλγορίθμου επεξεργασίας εικόνας, είναι εφικτό να αντιμετωπιστεί άμεσα. Επίσης, με τον κατάλληλο εξοπλισμό, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν τα ΜΕΑ ως εργαλεία για την ψεκασμό της καλλιέργειας με παρασιτοκτόνα.

Σύμφωνα με την επιστημονική εργασία[38] η γρήγορη αντιμετώπιση των ασθενειών στην καλλιέργεια, εντοπίζοντας των μέσω κάμερας και πολυφασματικών αισθητήρων, θα εξοικονομήσει αρκετούς οικονομικούς πόρους, καθώς τα ποσά από τις ετήσιες απώλειες καλλιεργειών από έντομα και παράσιτα είναι γιγάντιες.

- **Τηλεπισκόπηση παραγωγής:** Στην τηλεπισκόπηση αποκτούνται σημαντικά δεδομένα σχετικά με τα επίπεδα νερού και θρεπτικά συστατικά της παραγωγής μέσω διάφορων τρόπων, όπως ο αισθητήρας LIDAR, και υπάρχει η δυνατότητα να χωριστεί η καλλιέργεια σε μικρότερες εκτάσεις, με σκοπό τον καλύτερο έλεγχο.
- **Ψεκασμός παρασιτοκτόνων:** Σύμφωνα με την ανάλυση βιβλιογραφίας που έγινε στην επιστημονική εργασία [34], η χρήση ΜΕΑ για τον ψεκασμό ουσιών στις καλλιέργειες έχει αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα. Αρχικά, αυξάνεται η απόδοση της διαδικασίας και μειώνεται η σπατάλη του υλικού. Επίσης, μειώνοντας την ρίψη

αλόγιστου παρασιτοκτόνου παρατηρούνται λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά και εξασφαλίζεται η ασφάλεια των ανθρώπων. Η χρήση ΜΕΑ αντί για ανθρώπινο δυναμικό σε τέτοιου είδους εργασίας εξασφαλίζουν και την υγεία του εργατικού δυναμικού, καθώς αυτές οι ουσίες είναι αρκετά τοξικές.

Η διαδικασία είναι η τοποθέτηση του συστήματος ψεκασμού στο χαμηλό μέρος του ΜΕΑ, δηλαδή ο φυσητήρας μαζί με το δοχείο αποθήκευσης και παράλληλα συνδέεται και το σύστημα ελέγχου. Το σύστημα ελέγχου επικοινωνεί με μία αντλία πίεσης όπου ανάλογα τις εντολές του χειριστή, ελέγχεται η ποσότητα και η ταχύτητα ψεκασμού. [36] Στην Εικόνα 12 παρατηρείται η διαδικασία ψεκασμού ενός χωραφιού από ΜΕΑ.



*Εικόνα 12 Μη επανδρωμένο αεροσκάφος κατά την διάρκεια ψεκασμού - Πηγή[39]*

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, παρατηρούνται κάποιες προκλήσεις και κάποια προβλήματα κατά την εφαρμογή διαφόρων τεχνικών που υπάγονται στην κατηγορία της γεωργίας ακριβείας.

Αρχικά, για να είναι αξιόπιστες οι μετρήσεις και να είναι εφικτό να βασιστεί κάποιος στα δεδομένα που συλλέγονται πρέπει να είναι αξιόπιστα τα μηχανήματα και οι αισθητήρες με άριστη ποιότητα κατασκευής και λειτουργίας. Αυτό που παρατηρείται συχνά είναι η χρήση μη αξιόπιστων μηχανημάτων με αποτέλεσμα τα αποτελέσματα να είναι αναξιόπιστα.

Επίσης, τα περισσότερα εξαρτήματα είναι κοστοβόρα καθώς παρατηρείται αυξημένο κόστος σε εξοπλισμό όπως οι θερμικές κάμερες, που είναι απαραίτητες για την γεωργία ακριβείας.

Όσον αφορά τον εξοπλισμό των θερμικών καμερών πρέπει να επισημανθεί ότι ακόμα και οι πιο εξελιγμένες θερμικές κάμερες είναι αδύνατο να μείνουν ανεπηρέαστες από τους εξωγενείς παράγοντες όπως η υγρασία, η απόσταση του ΜΕΑ από το έδαφος αλλά και από την πυκνότητα του αέρα. Βέβαια, ένα ακόμα σημαντικό θέμα που παρατηρήθηκε είναι η ανακρίβεια των αποτελεσμάτων στις περιπτώσεις που η σοδειά είναι σε πρώιμα στάδια, όπως επίσης ότι η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζει τα δεδομένα που συλλέγονται.

Η επόμενη πρόκληση που βρέθηκε και σημειώθηκε είναι στα δομικά στοιχεία των ΜΕΑ και την δυνατότητα πτήσης τους. Θεωρείται δύσκολο έως σχεδόν αδύνατο η πτήση ενός σμήνους από ΜΕΑ με ακραίες καιρικές συνθήκες όπως βροχή, δυνατοί άνεμοι, χιονόπτωση, όπως επίσης αρκετά μοντέλα ΜΕΑ δεν έχουν την δυνατότητα μεταφοράς μεγάλου φορτίου μαζί τους, με αποτέλεσμα να μην είναι ικανά να υποστηρίξουν τον απαραίτητο εξοπλισμό. Επίσης, σε αυτό το κομμάτι μεγάλο ρόλο έχει και ο τρόπος λειτουργίας κάθε ΜΕΑ καθώς ανάλογα με το καύσιμο, την κατανάλωση και την ταχύτητα πτήσης έχει περιορισμένο χρόνο λειτουργίας.

Τέλος, παρατηρήθηκαν πιο ανθρωποκεντρικές προκλήσεις, καθώς οι αγρότες έχουν επιφυλάξεις για την χρήση σύγχρονου τεχνολογικού υλικού και για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην απουσία γνώσης για τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα αυτό, το οποίο δημιουργεί με την σειρά του φόβο και απροθυμία. Αξίζει επιπλέον να αναφερθεί ότι το περιορισμένο νομοθετικό πλαίσιο σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο σχετικά με την χρήση ΜΕΑ συμβάλλει στην αδυναμία νόμιμης χρήσης σε πολλές περιοχές.

## 2.3 Κατασκευαστές Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Ως ένα συνεχώς ανελλισσόμενος κλάδος αρκετές εταιρείες έχουν εισχωρήσει στην βιομηχανία της γεωργίας ακριβείας. Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι ότι η DJI, η οποία κατατάσσεται σε μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες ανάπτυξης ΜΕΑ, έχει επικεντρωθεί σε αυτό το κομμάτι. Η DJI έχει αφιερώσει αρκετούς πόρους για την ανάπτυξη του τμήματος της γεωργίας ακριβείας. Αυτό παρατηρείται από την ανάπτυξη μοντέλων ΜΕΑ ειδικά κατασκευασμένων για την συντήρηση καλλιεργειών και καταγραφής της ανάπτυξης τους. Η DJI παρέχει λύσεις για να εξοικονομήσουν χρόνο από τους αγρότες αγροτικούς συνεταιρισμούς και να αυξήσουν την αποδοτικότητα των καλλιεργειών τους. [40]

Οι λύσεις που προσφέρει η DJI χωρίζονται ανάλογα με την καλλιέργεια. Υπάρχει η καλλιέργεια σιτηρών, όπως το ρύζι, το σιτάρι, το καλαμπόκι. Επίσης, υπάρχει και για πιο εμπορικές καλλιέργειες όπως είναι το βαμβάκι, εσπεριδοειδή, δέντρα κλπ. [40]

Η DJI χωρίζει τα ΜΕΑ σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την εφαρμογή επάνω στις καλλιέργειες. Η πρώτη κατηγορία είναι για την προστασία της καλλιέργειας, όπου το ΜΕΑ έχει ειδική κατασκευή για την αντοχή σε μεταφορά φορτίων, έχει σαν εξοπλισμό ακροφύσιο για τον ψεκασμό της καλλιέργειας, αλλά και αισθητήρες και φωτογραφικούς φακούς για την καταγραφή και επίβλεψη της έκτασης. Ένα από τα πιο εξελιγμένα μοντέλα της DJI σε αυτήν την κατηγορία είναι το Agras T40.[41]

Στην δεύτερη κατηγορία, ένα γνωστό μοντέλο είναι το MAVIC 3M όπου έχει εξοπλισμό κάμερες ακριβείας, αισθητήρες όπως πυρανόμετρο για την καταγραφή της ηλιοφάνειας και είναι κατασκευασμένο για να προσφέρει σταθερότητα για την καθαρή καταγραφή της καλλιέργειας. [42]Περισσότερα παραδείγματα από κατασκευαστές ΜΕΑ θα αναλυθούν σε επόμενες ενότητες.

Όπως παρατηρείται και στα παραπάνω παραδείγματα, η χρήση ΜΕΑ επάνω στην γεωργία ακριβείας είναι ένα συχνό φαινόμενο πλέον. Όμως αυτό που δεν έχει καταφέρει να εφαρμοστεί ευρέως σε εμπορική χρήση είναι η χρήση σμήνους ΜΕΑ στην γεωργία ακριβείας. Για αυτό τον λόγο η παρακάτω διπλωματική αναλύει τρόπους και παραδείγματα για την εφαρμογή των σμήνων στην ΓΑ. Σ' αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν οι πιο γνωστοί κατασκευαστές ΜΕΑ και θα αναφερθούν κάποια μοντέλα τους καθώς και καινοτομίες που χρησιμοποιούν στις εφαρμογές που προτείνουν.

### 2.3.1 DJI

Μία από τις πιο γνωστές εταιρείες πώλησης ΜΕΑ είναι η DJI η οποία διαθέτει αρκετές σειρές από ΜΕΑ ανάλογα με την χρήση τους.[43] Αρχικά, χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με το προφίλ του εν δυνάμει αγοραστή, αυτήν του απλού καταναλωτή με σκοπό χρήσης των ΜΕΑ για ψυχαγωγία και προσωπική χρήση [44], αυτήν του επαγγελματία που έχει σαν σκοπό την χρήση για επαγγελματικούς λόγους, όπως για παράδειγμα φωτογράφος [45], και τέλος, είναι κατηγορία που έχει σαν αγοραστικό κοινό μεγάλες εταιρείες για βιομηχανική ή αγροτική χρήση.

Στην τρίτη κατηγορία παρατηρούνται τα πιο εξελιγμένα και με μεγάλο κόστος ΜΕΑ, τα οποία έχουν αρκετές δυνατότητες και εφαρμογές.[46]

Μερικά από τα πιο διαδιδόμενα μοντέλα που προσφέρει η DJI σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της είναι:

- AGRAS T40
- AGRAS T30
- AGRAS T10
- MAVIC 3M
- DJI TERRA

Τα παραπάνω μοντέλα ΜΕΑ ανήκουν αποκλειστικά στον τομέα της γεωργίας ακριβείας της DJI, η οποία επίσης παρέχει εξατομικευμένο λογισμικό για την οπτικοποίηση και εύκολη διαχείριση και ανάλυση των συλλεγμένων δεδομένων. [40]

Επιπλέον, η DJI δεν στοχεύει μόνο στην διάθεση ΜΕΑ για την γεωργία ακριβείας, καθώς παρέχει και ΜΕΑ για διάφορες επαγγελματικές χρήσεις. Τα υπόλοιπα μοντέλα που διαθέτει είναι: [46]

- DJI Mavic 3 Enterprise Series
- DJI Mavic 3M
- Matrice 30 Series
- Mavic 2 Enterprise Advanced
- Matrice 300 RTK
- Phantom 4 RTK

Επίσης, η DJI προσφέρει στους ιδιοκτήτες των ΜΕΑ της, μία ειδική εφαρμογή για την εύκολη διαχείριση του στόλου από ΜΕΑ και την εύκολη καταγραφή και οπτικοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται από τα ΜΕΑ. Η εφαρμογή ονομάζεται DJI SmartFarm και διατίθεται ελεύθερα.



Πιο συγκεκριμένα η εφαρμογή έχει σχεδιαστεί για να βοηθήσει τους αγρότες να διαχειρίζονται τις καλλιέργειές τους και να βελτιστοποιούν τις αποδόσεις τους χρησιμοποιώντας τα ΜΕΑ της DJI και άλλα γεωργικά εργαλεία.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της εφαρμογής DJI SmartFarm είναι η ικανότητά της να παρέχει λεπτομερή και ακριβή δεδομένα σχετικά με την υγεία και την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με το πότε να ποτίσουν, να λιπάνουν ή να συγκομίσουν τις καλλιέργειές τους, γεγονός που μπορεί τελικά να οδηγήσει σε υψηλότερες αποδόσεις και πιο κερδοφόρες συγκομιδές.

Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό της εφαρμογής DJI SmartFarm είναι η φιλική προς το χρήστη διεπαφή της, η οποία διευκολύνει τους αγρότες να έχουν πρόσβαση και να αναλύουν τα δεδομένα. Η εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων κινητών και των tablet, γεγονός που καθιστά βολικό για τους αγρότες να παρακολουθούν τις καλλιέργειές τους από οπουδήποτε. [47]

### 2.3.2 Parrot

Η εταιρεία Parrot είναι μία από τις πιο γνωστές εταιρείες παραγωγής ΜΕΑ το τελευταίο διάστημα και πρωταγωνιστεί στον τομέα της. [48] Η γαλλική εταιρεία ξεκίνησε ως μία επιχείρηση παραγωγής εξαρτημάτων και λογισμικού επάνω στην αναγνώριση φωνής και επεξεργασίας σημάτων με βάση τα ενσωματωμένα συστήματα, όμως το 2010 παρουσίασε το πρώτο ΜΕΑ και έπειτα ασχολείται ενεργά με την παραγωγή και ανάπτυξη τους. Συγκεκριμένα, το 2012 εξαγόρασε το 57% της SenseFly, μίας αρκετά γνωστής ελβετικής εταιρείας που βρίσκεται στον χώρο των ΜΕΑ. [49]

Με βάση την επίσημη ιστοσελίδα της Parrot [50] παρατηρείται η ανάπτυξη 2 συγκεκριμένων μοντέλων ΜΕΑ, το AMAFI USA και το AMAFI AI.

- **AMAFI USA:** Το AMAFI USA είναι ένα ΜΕΑ που έχει σχεδιαστεί για τον αμερικάνικο στρατό και έχει κατασκευαστεί στην Αμερική. Διαθέτει κάμερα με δυνατότητα εστίασης μέχρι και 32 φορές με αποτέλεσμα τον εντοπισμό στόχων σε απόσταση έως και 2 χιλιομέτρων, όπως επίσης, διαθέτει θερμική κάμερα για τον εντοπισμό θερμών σημείων (hotspot) έως και 40 μέτρα μακριά. Επιπλέον, έχει προστασία κατά της σκόνης και της βροχής (IP53) και οι συνθήκες λειτουργίας του είναι ανάμεσα από τους -35 βαθμούς έως και τους +49 βαθμούς κελσίου.[51]

- **AMAFI AI:** Το AMAFI AI είναι το δεύτερο MEA της Parrot και οι χρήσεις του είναι κυρίως σε αυτοψίες και ελέγχους κτιρίων, γραμμών μεταφοράς, εργοταξίων, όπως και επίσης στην τοπογραφία και την χαρτογράφηση περιοχών. Κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου είναι η συνδεσιμότητα με δίκτυο 4ης γενιάς (4G) με αποτέλεσμα τον χειρισμό του χωρίς γεωγραφικού περιορισμούς, η εξαιρετική κάμερα που διαθέτει των 48 Mega Pixel, και τέλος η δυνατότητα της αυτόματης φωτογραμμετρίας. [52]

Η Parrot έχει καταφέρει να συνεργαστεί με φορείς και οργανώσεις μεγάλης κλίμακας και δυναμικής τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Μερικές από αυτές τις συνεργασίες που ξεχωρίζουν είναι η προμήθεια του Αμερικάνικου Στρατού, του Ομοσπονδιακού Γραφείου Ερευνών (FBI), όπως και άλλων ομοσπονδιακών αμερικάνικων σωμάτων. Επιπλέον, πρόσφατα έχουν συμφωνηθεί συμβόλαια με τον Γαλλικό Στρατό για την προμήθεια 400 MEA, το Ισπανικό Αεροναυτικό Σώμα και την Αμερικάνικη Ακτοφυλακή. [53]

### 2.3.3 INSITU

Η INSITU είναι μία αμερικάνικη εταιρεία που ειδικεύεται επάνω στην έρευνα, ανάπτυξη και παραγωγή MEA. Η εταιρεία είναι θυγατρική και ανήκει εξολοκλήρου στην γνωστή αμερικάνικη εταιρεία παραγωγής αεροσκαφών, Boeing. Η INSITU ειδικεύεται κυρίως στην ανάπτυξη MEA με στρατιωτικό σκοπό και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το αγοραστικό κοινό της να είναι αμυντικές βιομηχανίες και κυβερνήσεις χωρών, δηλαδή δεν απευθύνεται στο εμπορικό κοινό. [54]

Τα μοντέλα που διαθέτει η INSITU είναι τα:

- Integrator
- Integrator Extended Range
- ScanEagle
- ScanEagle3
- RQ-21A Blackjack

Το καθένα από αυτά τα μοντέλα διαθέτει διαφορετικές προδιαγραφές και αισθητήρες που τα καθιστούν ειδικά για διάφορες εφαρμογές και χρήσεις κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς.[54]

### 2.3.4 JOUAV

Η JOUAV είναι μία κινεζική εταιρεία που ασχολείται με την έρευνα, ανάπτυξη, παραγωγή και πώληση ΜΕΑ. Ιδρύθηκε το 2010 και έχει καταφέρει κάποια αξιοσημείωτα επιτεύγματα όπως περισσότερες από 1500 πωλήσεις σε 28 διαφορετικές χώρες και 300.000 ώρες πτήσεων των ΜΕΑ που έχουν παραχθεί από την JOUAV. [55]

Ως εταιρεία δεν περιορίζεται μόνο στην κατασκευή ΜΕΑ αλλά έχει αναπτύξει λογισμικά και αισθητήρες για την καλύτερη απόδοση των ΜΕΑ της. Επίσης, παρατηρείται ότι δεν περιορίζεται στην παραγωγή ΜΕΑ για απλές χρήσεις, αντιθέτως καλύπτει σχεδόν όλες τις εφαρμογές που μπορεί να αναλάβει ένα ΜΕΑ.

Στην επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας [55] παρατηρούνται οι παρακάτω εφαρμογές:

- Κατασκευή και Υποδομές
- Τοπογραφία και Χαρτογράφηση
- Ασφάλεια και Παρακολούθηση
- Ορυκτοί Πόροι
- Έλεγχος Γραμμών Μεταφοράς
- Δίκτυο 5<sup>ης</sup> Γενιάς
- Έρευνα και Διάσωση
- Έξυπνη Πόλη
- Περιβάλλον
- Διαχείριση Κυκλοφορίας
- Διαχείριση Υδάτινων Πόρων

Όπως επίσης η εταιρεία διαθέτει τα παρακάτω μοντέλα ΜΕΑ:

- CW-007
- CW-15
- CW-25
- CW-25H
- CW-25E
- CW-40
- CW-100
- PH-25

Επιπλέον, διαθέτει 2 χειριστήρια, το TC-200 Handheld GCS, GCS 303 και 2 λογισμικά, το FligtSurv και το EagleMap. [55]

### 2.3.5 SKYDIO

Η SKYDIO είναι μία ιδιωτική εταιρεία που εδρεύει στην Καλιφόρνια της Αμερικής και ιδρύθηκε το 2014. Ασχολείται κατά κύριο λόγο με την ανάπτυξη και παραγωγή ΜΕΑ και λογισμικού για τον χειρισμό τους. [56]

Η πολιτική της εταιρείας δεν περιορίζεται μόνο στο απλό εμπορικό κοινό, αφού τον Φεβρουάριο του 2022, κέρδισε έναν διαγωνισμό και κατάφερε να εξασφαλίσει συμβόλαιο προμήθειας του αμερικάνικου στρατού με το SkydioX2, συμβόλαιο αξίας σχεδόν 100 εκατομμυρίων δολαρίων. [57]

Αξιοσημείωτο κατόρθωμα της εταιρείας είναι η παραγωγή του μοντέλου Skydio2, αφού σε μία συνεργασία με την NVIDIA, μίας γνωστής εταιρείας παραγωγής πλακετών και ενσωματωμένων συστημάτων, κατάφερε να δημιουργήσει ένα πλήρως αυτόνομο ΜΕΑ. [58]

Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας παρατηρούνται τα παρακάτω μοντέλα ΜΕΑ:

- Skydio2+
- SkydioX2

### 2.3.6 XAG

Η XAG είναι μία αγροτική τεχνολογική εταιρεία που ιδρύθηκε το 2007 στην Κίνα και έχει σαν στόχο την ανάπτυξη ΜΕΑ και έξυπνων συστημάτων για την γεωργία ακριβείας. [59]

Επενδύοντας στην έρευνα και ανάπτυξη, η συγκεκριμένη εταιρεία έχει εργαστήρια και ερευνητικές εγκαταστάσεις σε 42 διαφορετικές χώρες, και έχει συμφωνήσει μνημόνια συνεργασίας με βιομηχανικές εταιρείες-κολοσσούς και πανεπιστήμια. [59]

Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα, οι κατηγορίες των ΜΕΑ είναι:

- **Γεωργικά ΜΕΑ:** Σε αυτήν την κατηγορία υπάρχουν τα XAG P100, XAG V40, XAG P40, XAG X-PLANET, P-SERIES PLANT PROTECTION, XAG P30.
- **ΜΕΑ Τηλεπισκόπησης:** Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχουν τα XAG M500, XAG M2000.

Κάποια αξιομνημόνευτα κατορθώματα της εταιρείας είναι η συνεργασία της με την Huawei, όπου υπήρξε συνεργασία επάνω στην έρευνα σε θέματα όπως τεχνητή νοημοσύνη, υπολογιστική νέφους (cloud), και δίκτυα 5<sup>ης</sup> Γενιάς (5G) στην γεωργία ακριβείας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην δημιουργία ενός έξυπνου συστήματος γεωργίας με βάση το δίκτυο 5<sup>ης</sup> Γενιάς για την άμεση επικοινωνία των ΜΕΑ αλλά και την εύκολη μετάδοση πληροφοριών στον τελικό χρήστη. [60]

Επιπλέον, δεν μπορεί να περάσει απαρατήρητη η συνεργασία της XAG με την Airbus, όπου είναι η 2<sup>η</sup> μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής αεροσκαφών παγκοσμίως, για την δημιουργία ΜΕΑ για την μεταφορά φορτίων.[61]

## 2.4 Προσομοιωτές Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Οι προσομοιωτές των ΜΕΑ χρησιμοποιούνται κυρίως για να προσομοιώνουν φυσικές καταστάσεις του περιβάλλοντος, με βάση περίπλοκα μαθηματικά μοντέλα. Η αιτία πίσω από την δημιουργία και χρήση προσομοιωτών είναι η εξοικονόμηση πόρων, εξίσου κόστους και χρόνου για την αναπαράσταση μίας πραγματικής πτήσης χωρίς την ανάγκη κατανάλωσης φυσικών πόρων, όπως καύσιμο όπως επίσης ενισχύοντας την ασφάλεια καθώς δεν θα υπάρχουν απώλειες, είτε ανθρώπινες είτε υλικές σε περίπτωση ατυχήματος ή βλάβης. [62]

Οι κύριοι λόγοι για την χρήση προσομοιώσεων είναι για την εύκολη και χαμηλού κόστους εκπαίδευσης πιλότων και χειριστών, η αξιολόγηση νέων τεχνολογιών και συστημάτων, και η έρευνα και ανάπτυξη επάνω στο αντικείμενο. [62]

Σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο [62] τα κύρια κριτήρια για την αξιολόγηση ενός προσομοιωτή πτήσεων είναι τα εξής:

- **Σύστημα:** Σημαντικό ρόλο κατέχει η ακρίβεια του συστήματος όσον αφορά τους νόμους της φυσικής και κατά πόσο ρεαλιστικό είναι το περιβάλλον σχετικά με το μαθηματικό μοντέλο που τρέχει ως βασικός πυλώνας.
- **Γραφικά:** Σε έναν αξιόλογο προσομοιωτή, η απεικόνιση είναι σε τρισδιάστατη μορφή και τα γραφικά όπως χρώματα, σκιές, σχήματα, σύμβολα και αντικείμενα πρέπει να είναι όσο πιο αληθοφανή και να προσφέρουν ρεαλιστικότητα στον χρήστη.
- **Σύστημα ελέγχου:** Ο δημιουργός του προσομοιωτή συνίσταται να έχει αναπτύξει ένα προσεγμένο και ακριβές σύστημα ελέγχου ώστε να ανταποκρίνεται άμεσα στις εντολές του χειριστή, με σκοπό να γίνει πιο αληθοφανής και να μην υπάρχουν καθυστερήσεις στον χρόνο ανταπόκρισης του συστήματος.

- **Μοντέλα και μάρκες ΜΕΑ:** Σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση και την επιλογή του κατάλληλου προσομοιωτή είναι το μέγεθος της βιβλιοθήκης με τα διαθέσιμα ΜΕΑ για χρήση στο σύστημα. Χρειάζεται να υπάρχει μεγάλη ποσότητα διαφορετικών μοντέλων ΜΕΑ, όπως και να υπάρχει πλουραλισμός στην ποιότητα, ανάλογα με τις κατηγορίες των ΜΕΑ. Η κατηγοριοποίηση των ΜΕΑ γίνεται είτε με την μηχανική δομή, είτε με το καύσιμο λειτουργίας είτε με τους αισθητήρες που χρησιμοποιεί. Επίσης, είναι ιδανικό να περιέχει μοντέλα για διάφορες εφαρμογές όπως γεωργία ακριβείας, στρατιωτικές αποστολές, χαρτογράφηση κτλ.

### 2.4.1 Gazebo

Μια ομάδα βιβλιοθηκών λογισμικού ανοικτού κώδικα, γνωστή ως Gazebo, δημιουργήθηκε για να διευκολύνει την ανάπτυξη εφαρμογών υψηλής απόδοσης. Οι κύριοι χρήστες του Gazebo είναι εκπαιδευτικοί, σχεδιαστές ρομπότ και προγραμματιστές. Ωστόσο, το Gazebo έχει σχεδιαστεί για να εξυπηρετεί ένα ευρύ φάσμα σεναρίων και εφαρμογών. Οι ελάχιστες απαιτήσεις κάθε βιβλιοθήκης στο Gazebo καθιστούν δυνατή τη χρήση τους για μια ποικιλία εργασιών, από την επίλυση μαθηματικών μετασχηματισμών έως την κωδικοποίηση βίντεο, την προσομοίωση και τη διαχείριση διαδικασιών. Επίσης, χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση πτήσεων ΜΕΑ και τον προγραμματισμό τους. [63]

Το Gazebo ως ένας διεθνώς αναγνωρισμένος προσομοιωτής έχει επιλεγεί στο παρελθόν από μεγάλες εταιρείες για διάφορους διαγωνισμούς προσομοίωσης. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι ο Διαστημικός Ρομποτικός Διαγωνισμός της NASA (NASA Space Robotics Challenge – SRC) όπου τις χρονιές 2016-2017 επέλεξε το Gazebo ως τον προσομοιωτή που θα συναγωνιστούν οι συμμετέχοντες. [64]

Επιπλέον, γνωστή είναι η χρήση του Gazebo στον διαγωνισμό της TOYOTA, γνωστό και ως Prius Challenge, όπου οι διαγωνιζόμενοι θα έπρεπε να πραγματοποιήσουν μία προσομοίωση με σκοπό την μέγιστη εξοικονόμηση καυσίμου και απόδοση σε συγκεκριμένο χρόνο για μία διαδρομή του αυτοκινήτου TOYOTA Prius.[65]

## 2.4.2 AirSim

Το AirSim αναπτύχθηκε από την Microsoft ως ένας προσομοιωτής για ιπτάμενα αντικείμενα, αυτοκίνητα, ρομπότ. Είναι μία πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που έχει σαν σκοπό την ανάπτυξη και έρευνα επάνω στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Χρησιμοποιείται κυρίως για την αυτονομία των οχημάτων προγραμματίζοντας με αλγορίθμους βασισμένους στην βαθιά μάθηση, υπολογιστική νοημοσύνη, και ενισχυμένη μάθηση. Διαθέτει διάφορα οχήματα και συγκεκριμένα έχει διάφορα μοντέλα MEA, όμως δίνεται η δυνατότητα επιλογής MEA τύπου τετρακόπτερου, και προσφέρει την δυνατότητα σύνδεσης με την τεχνολογία MAVLink που αναλύεται εκτενώς παρακάτω και χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των MEA και του του κεντρικού σταθμού ελέγχου. [66]

## 2.4.3 Zephyr

Το Zephyr είναι ένας προσομοιωτής που αναπτύχθηκε αρχικά για την εκπαίδευση πιλότων ή ερασιτεχνών χειριστών, όμως πλέον χρησιμοποιείται και από μεγάλες εταιρείες για την δοκιμή MEA. Ο συγκεκριμένος προσομοιωτής έχει καταφέρει να αποτυπώσει τις πραγματικές συνθήκες του περιβάλλοντος, όσον αφορά τους νόμους της φυσικής. Επιπλέον, δίνει την δυνατότητα επιλογής των καιρικών συνθηκών ώστε να υπάρχει μια ποικιλία σχετικά με την δυσκολία των πτήσεων.[67]

Επιπλέον, διαθέτει διάφορα σενάρια εκπαίδευσης, φιλικό και διαδραστικό περιβάλλον για τους χρήστες και έναν αξιόλογο κατάλογο από μοντέλα MEA. [67]

Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα του [67] περιέχει τα παρακάτω MEA:

- DJI Phantom 3
- DJI Inspire 1
- 3DR Solo
- Autel XSTAR
- Parrot Bepop 2
- DJ Mavic PRO
- Syma X5C

#### 2.4.4 DJI Flight Simulator

Όντας μία εταιρεία που κατασκευάζει δικά της ΜΕΑ και έχει δικό της τμήμα ανάπτυξης και έρευνας, η DJI έχει δημιουργήσει έναν προσομοιωτή όπου διαθέτει αρκετά μοντέλα ΜΕΑ για να βοηθήσει στην εκπαίδευση του χειριστή. Έχει την δυνατότητα να τροποποιούνται διάφορες σύνθετες ρυθμίσεις και διαθέτει ρεαλιστικά σενάρια πτήσεων.[68]

#### 2.4.5 Σύνοψη Ενότητας

Σε αυτήν την ενότητα αναλύθηκαν διεξοδικά μερικοί από του δημοφιλέστερους προσομοιωτές πτήσης ΜΕΑ που υπάρχουν στο διαδίκτυο. Με βάση τα από πάνω στοιχεία θα προταθεί στο πρακτικό μέρος της παρούσας διπλωματικής η δημιουργία ενός προσομοιωτή, όπου θα εφαρμοστεί αλγόριθμος ευφυίας σμήνους για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής ενός σμήνους.

Παρακάτω εντοπίζεται ο πίνακας 2 με την περιγραφή, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε λογισμικού.

Σε αυτόν τον πίνακα συγκρίνονται ο τύπος του λογισμικού, αν είναι ανοιχτού κώδικα ή λογισμικού επί πληρωμή όπου δεν επιτρέπονται αλλαγές, το κατά πόσο είναι ρεαλιστικό το περιβάλλον από θέμα οπτικοποίησης αλλά και από θέμα ακριβείας των φυσικών μοντέλων που χρησιμοποιεί. Επίσης, συγκρίνονται τα μοντέλα ΜΕΑ του εμπορίου όπου διατίθενται προς χρήση από κάθε προσομοιωτή, όπως επίσης και η κατανάλωση των υπολογιστικών πόρων που απαιτείται αλλά και την δυσκολία χρήσης τους από θέμα εκμάθησης του λογισμικού. Τέλος, καταγράφονται οι γλώσσες προγραμματισμού που υποστηρίζει, τα plug-ins που απαιτούνται για την ορθή χρήση, όπως και τους αισθητήρες και τους αλγόριθμους που περιέχονται.



Πίνακας 2. Ανάλυση προσομοιωτών

Προσομοιωτές	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Gazebo	Το Gazebo είναι ένα περιβάλλον προσομοίωσης τρισδιάστατων ρομπότ ανοικτού κώδικα που χρησιμοποιείται συνήθως για προσομοιώσεις MEA. Παρέχει μια πλατφόρμα προσομοίωσης βασισμένη στη φυσική.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ανοιχτού κώδικα και ευρέως αποδεκτό από την κοινότητα της ρομποτικής</li> <li>• Ρεαλιστική προσομοίωση φυσικής και δυνατότητες μοντελοποίησης αισθητήρων</li> <li>• Υποστηρίζει διάφορους αισθητήρες, αλγόριθμους ελέγχου και γλώσσες προγραμματισμού</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δυσκολία εκμάθησης για αρχάριους – Δύσκολο περιβάλλον</li> <li>• Απαιτεί πρόσθετα plugins και διαμόρφωση για προσομοιώσεις ειδικά για MEA όπως το QGroundControl</li> <li>• Απαιτεί σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους για πολύπλοκες προσομοιώσεις όπως και αποκλειστική κάρτα γραφικών (dedicated GPU)</li> </ul>
AirSim	Το Airsim είναι ένας προσομοιωτής MEA ανοικτού κώδικα, διαπλατφορμικής πλατφόρμας, που αναπτύχθηκε από τη Microsoft. Προσφέρει ρεαλιστική προσομοίωση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ρεαλιστική προσομοίωση φυσικής με ακριβή μοντελοποίηση αισθητήρων</li> <li>• Υποστηρίζει πολλαπλές πλατφόρμες και γλώσσες προγραμματισμού (C++, Python)</li> <li>• Παρέχει API για την προσαρμογή και την επέκταση του προσομοιωτή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένη τεκμηρίωση και υποστήριξη από την κοινότητα σε σύγκριση με άλλους προσομοιωτές</li> <li>• Απαιτεί ισχυρό υπολογιστή για την εκτέλεση πολύπλοκων προσομοιώσεων.</li> </ul>

	φυσικής και υποστηρίζει διάφορες πλατφόρμες MEA.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δυσκολία εκμάθησης για αρχάριους – Δύσκολο περιβάλλον</li> </ul>
Zephyr	Το Zephyr είναι ένας προσομοιωτής πτήσης MEA επαγγελματικού επιπέδου, σχεδιασμένος για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ρεαλιστική δυναμική πτήσης και αεροδυναμική μοντελοποίηση.</li> <li>• Ακριβής μοντελοποίηση αισθητήρων και προσομοίωση περιβαλλοντικών επιδράσεων</li> <li>• Προσφέρει προηγμένα εργαλεία ανάλυσης και οπτικοποίησης για δεδομένα πτήσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ακριβό σε σύγκριση με άλλους προσομοιωτές, καθιστώντας το λιγότερο προσιτό για τους απλούς χρήστες.</li> <li>• Απαιτείται υπολογιστής υψηλής απόδοσης για την εκτέλεση πολύπλοκων προσομοιώσεων</li> <li>• Δυσκολία εκμάθησης για αρχάριους – Δύσκολο περιβάλλον</li> </ul>
DJI Flight Simulator	Ο προσομοιωτής πτήσης DJI είναι ένας επαγγελματικού επιπέδου προσομοιωτής MEA που έχει σχεδιαστεί ειδικά για drones της DJI.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχεδιασμένο ειδικά για drones της DJI, παρέχοντας ακριβή χαρακτηριστικά πτήσης</li> <li>• Ρεαλιστική μοντελοποίηση περιβάλλοντος με ενσωματωμένα σενάρια και ενότητες εκπαίδευσης πτήσεων</li> <li>• Υποστηρίζει Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality-VR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένη συμβατότητα με μη-DJI drones και επιλογές προσαρμογής</li> <li>• Ακριβό σε σύγκριση με άλλους προσομοιωτές, καθιστώντας το λιγότερο προσιτό για τους απλούς χρήστες</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"><li>• Προσφέρει διάφορους τρόπους εκπαίδευσης και πρακτικές για διαφορετικά επίπεδα δεξιοτήτων.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Περιορισμένη ενσωμάτωση με εργαλεία και πλαίσια τρίτων</li><li>• Δεν διαθέτει το υψηλό επίπεδο ακρίβειας προσομοίωσης</li></ul>
--	--	---	---

# Κεφάλαιο 3: Σμήνη Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

---

Σμήνος ή στόλο ονομάζουμε ένα σύνολο από μη επανδρωμένα αεροσκάφη που έχουν σαν σκοπό την επίτευξη ενός στόχου με βάση την συνεργασία μεταξύ τους [15]. Τα σμήνη στην φύση είναι το σύνολο από οντότητες που συνεργάζονται και συντονίζονται ώστε να παράγουν ένα αποτέλεσμα [69]. Ο συνδυασμός των ΜΕΑ προσφέρει έναν σημαντικό αριθμό από θετικά, όμως υπάρχουν και κάποιες προκλήσεις στην λειτουργία τους.

Η πρώτη χρήση σμήνους από ΜΕΑ ήταν για στρατιωτικούς σκοπούς, καθώς ο σκοπός ήταν να μειωθεί ο κίνδυνος ανθρώπινης απώλειας, το κόστος μίας αποστολής που θα αποτελούταν από στρατιώτες αλλά και ο χρόνος επίτευξης της αποστολής. [70]

## 3.1 Πλεονεκτήματα και Προκλήσεις

Με βάση τις επιστημονικές εργασίες [69]-[71] παρατηρήθηκαν κάποια πλεονεκτήματα που προσφέρουν κατά την διάρκεια της χρήσης σμηνών ΜΕΑ. Αρχικά, με τον συνδυασμό πολλαπλών ΜΕΑ παρατηρείται μείωση του χρόνου αποστολής καθώς μπορεί να καλυφθεί μεγαλύτερη απόσταση και μπορούν να επιτευχθούν παράλληλα πολλαπλοί στόχοι. Επίσης είναι εφικτή η ταυτόχρονη αντιμετώπιση αποστολών με τον διαχωρισμό του σμήνους. Για παράδειγμα, σε αποστολές παρακολούθησης, όπως παρατηρείται και στο άρθρο [72], εξοικονομείται χρόνος για τον έλεγχο μίας περιοχής στην περίπτωση που χρησιμοποιείται σμήνος από ΜΕΑ. Όπως επίσης ένα ακόμα πλεονέκτημα που παρατηρήθηκε είναι το κόστος, καθώς με τα σμήνη από ΜΕΑ μπορεί να υπάρξει μείωση του κόστους σε εφαρμογές όπως στο παράδειγμα [73]. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η αντοχή. Με την χρήση πολλαπλών ΜΕΑ υπάρχει μεγαλύτερη αντοχή στο σύστημα, αφού ακόμα και στην περίπτωση εμφάνισης προβλήματος σε ένα μεμονωμένο ΜΕΑ, δεν επηρεάζεται άμεσα η λειτουργία των υπολοίπων. Επιπλέον, η επεκτασιμότητα είναι ένα σημαντικό στοιχείο, καθώς πολλαπλά ΜΕΑ προσφέρουν μεγαλύτερη επεκτασιμότητα συγκριτικά με ένα μεγάλο ΜΕΑ, ιδιαίτερα για εφαρμογές όπως παρατηρείται στο επιστημονικό άρθρο [74] στην χαρτογράφηση και τηλεπισκόπηση χωραφιών. Αξιοσημείωτη είναι και η ευελιξία που προσφέρεται σε ένα σύστημα, αφού στην περίπτωση πολλαπλών ΜΕΑ σε μία αποστολή, όπου αποτελούν ένα σμήνος, παρατηρείται μεγαλύτερη ευελιξία, καθώς μπορεί να ανατεθούν διαφορετικές αρμοδιότητες και στόχους κατά την διάρκεια της αποστολής. Τέλος, παρατηρείται και το θετικό της αλληλοσυμπλήρωση, όπου στα σμήνη από ΜΕΑ, είναι εφικτή

η εφαρμογή διαφορετικών εξαρτημάτων με σκοπό την διαφορετική χρήση του κάθε ΜΕΑ και την αλληλοσυμπλήρωση στην αποστολή.

Για το κομμάτι των προκλήσεων επάνω στα σμήνη από ΜΕΑ αναλύονται οι εργασίες [13], [69]-[71] και παρατηρούνται οι παρακάτω προκλήσεις:

Αρχικά, η χρήση πολλαπλών ΜΕΑ είναι πιθανό να υπόκειται σε περιορισμούς ανάλογα την τοποθεσία και την εφαρμογή.[22] Επίσης, όσο αυξάνεται το σύνολο από ΜΕΑ, τόσο αυξάνεται και η πολυπλοκότητα σχετικά με τον έλεγχο του σμήνους. Επιπλέον, ένα μεγάλο σύνολο από ΜΕΑ αυξάνει την πολυπλοκότητα και την δυσκολία διαχείρισης του σμήνους, με αποτέλεσμα την πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος. Όπως συνέβη στο [27] με συντριβή ενός σμήνου από ΜΕΑ. Τέλος, πιο συγκεκριμένα οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα σμήνη από ΜΕΑ στην γεωργία ακριβείας είναι ότι διανύεται μία φάση μη αποδοχής από τους γεωργούς λόγω φόβου ή άγνοιας για την εφαρμογή της τεχνολογίας στα κτήματά τους, πόσο μάλλον κάτι τόσο καινοτόμο, όσο η χρήση σμήνων ΜΕΑ. Επίσης, το θέμα της ιδιωτικότητας απασχολεί αρκετά την κοινή γνώμη και κατά πόσο είναι ορθό οι πτήσεις ΜΕΑ επάνω από αγροτικές περιοχές.

Πίνακας 3. Πλεονεκτήματα και προκλήσεις σμήνων

Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις
Εξοικονόμηση χρόνου	Νομοθεσία
Κόστος	Έλεγχος πορείας
Αντοχή	Θέματα ασφαλείας
Επεκτασιμότητα	Μη αποδοχή της τεχνολογίας από την κοινή γνώμη
Ευελιξία	Ιδιωτικότητα
Αλληλοσυμπλήρωση	

## 3.2 Λειτουργία Σμήνους

Η ομαλή λειτουργία ενός σμήνους με βάση το επιστημονικό άρθρο [70] έχει δύο βασικά σκέλη. Αρχικά, είναι το σκέλος του συντονισμού, του οποίου ο στόχος είναι η αρμονική και ασφαλή συμβίωση των ΜΕΑ εντός του σμήνους. Κατά δεύτερον, είναι η συνεργασία η οποία είναι η σωστή επικοινωνία μεταξύ των ΜΕΑ με σκοπό την εκπλήρωση του κοινού στόχου της αποστολής.

Συνήθως η πτήση ενός σμήνους από ΜΕΑ χωρίζεται σε κατηγορίες. Συχνά, χωρίζεται σε τρία μέρη, αυτό της απογείωσης, της πορείας και της προσγείωσης, όμως με βάση την διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν και ταξινομήσεις με διαφορετικό τρόπο.

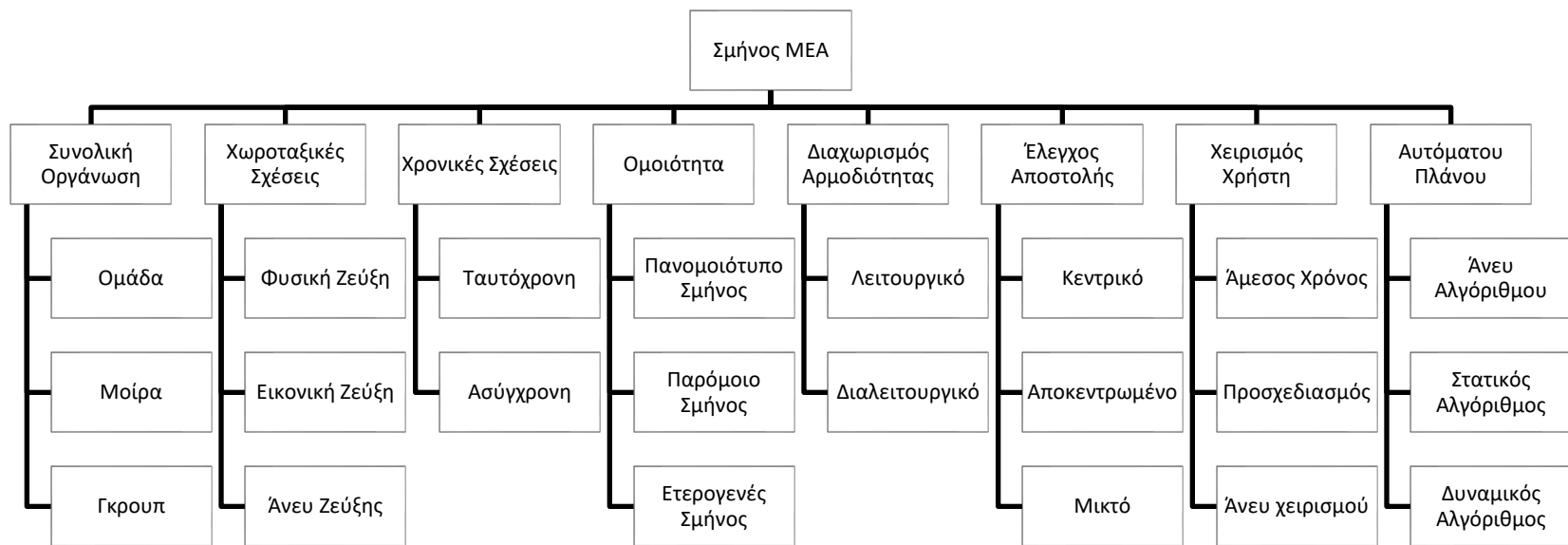
Στην πρώτη περίπτωση, τα μέρη της απογείωσης και της προσγείωσης δεν χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση, αντιθέτως η πορεία έχει 5 υποκατηγορίες. Τα πέντε μέρη της πορείας είναι η παράταξη, η ομαδοποίηση, ο σχηματισμός, η καταδίωξη, και η αποχώρηση. Μετά την παράταξη, οι φάσεις ομαδοποίηση και σχηματισμός εκτελούνται παράλληλα καθ' όλη την διάρκεια της αποστολής, εν αντιθέσει με την τις φάσεις καταδίωξη ή αποχώρηση, όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα παράλληλης εκτέλεσης καθώς είναι δύο αντίθετες φάσεις και απλά εκτελείται μία από τις δύο με βάση την κατάσταση της αποστολής. Η κάθε φάση εκτελείται από έναν διαφορετικό αλγόριθμο. [75]

Στην δεύτερη περίπτωση που συναντάται στο επιστημονικό άρθρο [70] είναι η προσέγγιση στο να υπάρχουν τρία στάδια κατά την διάρκεια της πορείας. Σε αυτό το ενδεχόμενο είναι το στάδιο της χειροκίνητης οδήγησης μέχρι το κεντρικό σημείο, η υπηρεσία εντοπισμού στόχου και τέλος, η αποστολή σήματος στο κεντρικό σταθμό όταν η στάθμη της μπαταρίας ενός ΜΕΑ βρίσκεται σε χαμηλότερα από τα επιτρεπτά όρια με σκοπό την αντικατάσταση του συγκεκριμένου ΜΕΑ. Επίσης με βάση τις παραπάνω κατηγορίες, ο συγγραφέας του επιστημονικού άρθρου [70] δίνει δύο ορολογίες σχετικά με την αποστολή και το στάδιο της αποστολής. Ο όρος «αποστολή» ορίζεται ως «μία επιχείρηση που εκτελείται από ένα σύστημα με πολλαπλά ΜΕΑ, ξεκινώντας από την απογείωση του πρώτου ΜΕΑ και τελειώνοντας με την προσγείωση του τελευταίου ΜΕΑ» [70]. Ο όρος «στάδιο αποστολής» ορίζεται ως «το μέρος της αποστολής που διακρίνεται από άλλα μέρη λόγω του στόχου του». [70]

### 3.3 Ταξινόμηση Σμήνους (Taxonomy)

Τα σμήνη από ΜΕΑ μπορούν να ταξινομηθούν με πολλούς τρόπους ανάλογα με τα κριτήρια που τίθενται. Υπάρχουν ταξινομήσεις με βάση τον αριθμό των ΜΕΑ που απαρτίζουν το σμήνος, τον τρόπο που επικοινωνούν, τον τρόπο αλληλεπίδρασης του συστήματος με τον χειριστή ή ακόμα και με τον σχηματισμό του σμήνους. [70]

Ένας τρόπος ταξινόμησης που προτείνει το επιστημονικό άρθρο [70] είναι ο αυτός που παρουσιάζεται στην Εικόνα 13. Στις επόμενες υποενότητες ακολουθεί ανάλυση της κάθε κατηγορίας.



Εικόνα 13. Ταξινόμηση σμήνων ΜΕΑ[70]



### **3.3.1 Συνολική Οργάνωση (Collective Organization)**

Σύμφωνα με τα επιστημονικά άρθρα [70], [76] και της ανάλυσης της διεθνούς βιβλιογραφίας, το συμπέρασμα που προτείνει είναι η κατηγοριοποίηση των σμήνων από ΜΕΑ ανάλογα με την συνολική οργάνωση τους να γίνεται με παρόμοιο τρόπο που τα κατατάσσει και η Αμερικάνικη Πολεμική Αεροπορία. Θα δημιουργηθούν 3 υποκατηγορίες, η ομάδα, η μοίρα, και τέλος, τα γκρουπ. Η ομάδα θα αποτελείται έως 10 ΜΕΑ, η μοίρα θα απαρτίζεται από τουλάχιστον δύο ομάδες και το γκρουπ θα αποτελείται από όλες τις μοίρες.

### **3.3.2 Χωροταξικές Σχέσεις (Spatial Relations)**

Συνεχίζοντας την ανάλυση των επιστημονικών άρθρων [70], [77], το συμπέρασμα που εξάγεται στην κατηγοριοποίηση των σμήνων από ΜΕΑ με βάση τις χωροταξικές σχέσεις είναι η ταξινόμηση της κατηγορίας σε 3 υποκατηγορίες. Ο σκοπός αυτός είναι να απαλλαγούν από τις μη χρήσιμες πληροφορίες και να μείνουν οι τρεις κύριες χωρικές αρχιτεκτονικές. Η πρώτη κατηγορία είναι η φυσική ζεύξη, η οποία συμβαίνει όταν τα ΜΕΑ συνδέονται με φυσικούς δεσμούς. Επίσης, υπάρχει η εικονική ζεύξη η οποία είναι η ζεύξη των ΜΕΑ με σκοπό να ίπτανται σε σταθερές αποστάσεις μεταξύ τους. Τέλος, η τρίτη κατηγορία είναι η άνευ ζεύξης, όπου οι σχετικές τοποθεσίες των ΜΕΑ μεταξύ τους δεν είναι καθορισμένες.

### **3.3.3 Χρονικές Σχέσεις (Temporal relations)**

Σμήνος ονομάζουμε ένα σύνολο από ΜΕΑ που λειτουργεί ως ομάδα με κοινούς στόχους και αλληλοϋποστηρίζονται κατά την διάρκεια της αποστολής, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι όλα τα ΜΕΑ ενός σμήνους πρέπει να πραγματοποιούν την πτήση την ίδια χρονική στιγμή. [70]

Το άρθρο [70] προτείνει την κατηγοριοποίηση με βάση την πτήση σε δύο κατηγορίες, την ταυτόχρονη και την ασύγχρονη. Στην ταυτόχρονη όλα τα ΜΕΑ που απαρτίζουν ένας σμήνος θα πρέπει να βρίσκονται στον αέρα και να πραγματοποιούν την πτήση όλα μαζί παράλληλα. Αντιθέτως, όταν δεν είναι όλα τα ΜΕΑ ενός σμήνους σε λειτουργία και σε πτήση, ονομάζεται ασύγχρονη πτήση.

Η πρώτη κατηγορία είναι ξεκάθαρη και δεν χρήζει περαιτέρω ανάλυση, αντίθετα η ασύγχρονη λειτουργία πτήσης περιέχει τρεις υποκατηγορίες ανάλογα την αιτία της ασύγχρονης λειτουργίας. Οι υποκατηγορίες είναι η διαδοχικές πτήσεις, η λειτουργία αναμονής και η λειτουργία κάλεσμα. Η πρώτη κατηγορία, διαδοχικές πτήσεις, ορίζεται ως η πτήση που ποτέ

δεν έχει παραπάνω από ένα ΜΕΑ στον αέρα. Η δεύτερη κατηγορία, η αναμονή, ορίζεται ως η κατηγορία πτήσης που απαιτείται εναλλαγή κάποιου ΜΕΑ με κάποιο άλλο λόγω έλλειψης μπαταρίας. Σε αυτήν την περίπτωση όταν ένα ΜΕΑ ειδοποιεί για χαμηλά επίπεδα αυτονομίας, ένα άλλο ΜΕΑ από τον επίγειο σταθμό ειδοποιείται και το αντικαθιστά. Η τρίτη και τελευταία κατηγορία, το κάλεσμα, είναι η περίπτωση που αντιμετωπίζεται ένα μη αναμενόμενο συμβάν, με αποτέλεσμα να πρέπει να ενισχυθεί το σύνολο των ΜΕΑ σου σμήνους. [70]

Η πιο διάσημη κατηγορία έπειτα από την βιβλιογραφική ανάλυση στο άρθρο [70] ορίζεται η ταυτόχρονη πτήση.

### **3.3.4 Ομοιογένεια (Similarity)**

Συνηθισμένο φαινόμενο στην διεθνή βιβλιογραφία είναι η ταξινόμηση των σμήνων ανάλογα με την ομοιότητα των ΜΕΑ που περιέχονται εντός του σμήνους. Η ομοιογένεια χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες και αυτές ονομάζονται: πανομοιότυπα ΜΕΑ, παρόμοια ΜΕΑ και ετερογενείς ΜΕΑ.[78]

Όπως είναι κατανοητό και από τον τίτλο των υποκατηγοριών, η κατηγορία των πανομοιότυπων ΜΕΑ, σημαίνει ότι το σμήνος αποτελείται από ολόδια ΜΕΑ και με ίδια χαρακτηριστικά. Τα παρόμοια ΜΕΑ, είναι η δεύτερη κατηγορία και ορίζει τα σμήνη που έχουν ΜΕΑ με σχεδόν ίδια χαρακτηριστικά και μικρές διαφορές. Στην τρίτη κατηγορία είναι τα σμήνη που έχουν τελείως διαφορετικά ΜΕΑ στον στόλο τους. [70]

### **3.3.5 Διαχωρισμός Εργασιών (Task Separation)**

Η ταξινόμηση ενός σμήνους με βάση την διαχείριση των εργασιών και τον στόχων είναι αρκετά συνηθισμένη με βάση την διεθνή βιβλιογραφία. Ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει με δύο κατηγορίες, την λειτουργικότητα και την διαλειτουργικότητα. Η κατηγορία που ονομάζεται λειτουργικότητα ορίζεται ως η κατηγορία που τα σμήνη αναλαμβάνουν κοινό στόχο και συνεργάζονται για την επίτευξη του. Αντίθετα, η διαλειτουργικότητα ισχύει όταν τα ΜΕΑ ενός σμήνους αναλαμβάνουν εντελώς διαφορετικές εργασίες και στόχους. [70]

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, η διαλειτουργικότητα είναι σπάνιο φαινόμενο ακόμα καθώς αντιμετωπίζονται προβλήματα για την ομαλή λειτουργία του. Αντιθέτως, το πιο συνηθισμένο είναι η λειτουργία ενός σμήνους με κοινό στόχο. [70]

### **3.3.6 Τρόπος Ελέγχου (Mission control)**

Ο έλεγχος ενός σμήνους είναι από τα πιο καίρια σημεία της εύρυθμης λειτουργίας κατά την διάρκεια της πτήσης. Ανάλογα με τον τρόπο που ελέγχεται ένα σμήνος και κατά συνέπεια τα ΜΕΑ που περιέχονται σε αυτό, υπάρχει και μία κατηγοριοποίηση των σμήνων. Αρχικά, υπάρχει η κεντρικός έλεγχος του σμήνους, όπου ελέγχεται από τον κεντρικό επίγειο σταθμό ελέγχου. Ακόμα, υπάρχει ο αποκεντρωμένος έλεγχος, όπου τα ΜΕΑ με τις πληροφορίες που συλλέγουν από τους αισθητήρες και από τον σχεδιασμό διαδρομής που έχει προηγηθεί ελέγχονται και αποφασίζουν μόνα τους. Τέλος, υπάρχει και η δυνατότητα ελέγχου και με τους δύο τρόπους, δηλαδή μία ανάμειξη μεταξύ του κεντρικού και αποκεντρωμένου ελέγχου. [70]

### **3.3.7 Χειρισμός Σμήνους (Swarm Operation)**

Σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο [70] η ταξινόμηση των σμηνών ανάλογα με τον χειρισμό τους γίνεται σε 3 κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι αυτήν του χειρισμού του σμήνους σε άμεσο χρόνο από τον χειριστή. Σε αυτήν την περίπτωση καθ' όλη την διάρκεια της πτήσης το σμήνος ελέγχεται από έναν χειριστή. Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή του σχεδιασμού της διαδρομής πριν την πτήση, συνήθως μέσω αλγορίθμου, και τα ΜΕΑ απλά ακολουθούν την χαραγμένη διαδρομή. Τέλος, αν και δεν υπάρχει ρεαλιστική εφαρμογή, υπάρχει η κατηγορία όπου δεν υπάρχει κανένας χειρισμός και το σύστημα ελέγχει μόνο του τα πάντα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις ακολουθείται το παράδειγμα του σχεδιασμού διαδρομής καθώς προσφέρει αυτονομία και ασφάλεια. [70]

### **3.3.8 Σχεδιασμός Πτήσης (Path Planning)**

Όπως προαναφέρθηκε, ο σχεδιασμός διαδρομής ή πτήσης είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος λειτουργίας ενός σμήνους καθώς προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Όμως υπάρχουν τρεις τρόποι σχεδιασμού της διαδρομής.

Αρχικά, ο πιο απλός τρόπος είναι η απλή χάραξη μιας διαδρομής, χωρίς αλγόριθμο ώστε να δίνει μία δυναμικότητα στο σμήνος. Το αρνητικό σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι δεν μπορεί να αναπρογραμματίσει την διαδρομή που θα ακολουθήσει με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτό να αποφευχθούν εξωγενή έκτακτα συμβάντα. [70]

Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα σχεδιασμού διαδρομής με έναν σταθερό αλγόριθμο που θα προσφέρει μία σχετική ευελιξία και θα δώσει μία ελευθερία και επιπλέον ασφάλεια στο σμήνος κατά την διάρκεια της πτήσης. [70]

Τέλος, υπάρχει και ο δυναμικός αλγόριθμος για τον σχεδιασμό διαδρομής. Σε αυτήν την περίπτωση, ενώ υπάρχει ένας αρχικός σχεδιασμός και χάραξη μονοπατιών, ο αλγόριθμος έχει την δυνατότητα να επεξεργάζεται τα στοιχεία που συλλέγονται μέσω των αισθητήρων του σμήνους και να επαναπρογραμματίζει την διαδρομή για την αποφυγή εμποδίων, απρόβλεπτων συμβάντων ή μίας πιο βέλτιστης διαδρομής. [70]

### **3.4 Αρχιτεκτονικές Επικοινωνίας Σμήνους**

Ο έλεγχος των ΜΕΑ γίνεται είτε χειροκίνητα με απομακρυσμένο έλεγχο, από το κέντρο ελέγχου, είτε γίνεται χρήση των μικροεπεξεργαστών που τοποθετούνται στα ΜΕΑ με σκοπό την αυτόνομη πλοήγηση τους. Σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαία η εφαρμογή μιας αρχιτεκτονικής επικοινωνίας με σκοπό τον σωστό έλεγχο και την αντιμετώπιση των προκλήσεων που υπάρχουν, όπως είναι η αξιοπιστία, η συνεργασία μεταξύ των ΜΕΑ, ο σχεδιασμός διαδρομής και η ασφάλεια.[69], [71]

Με βάση των επιστημονικών εργασιών [79], [80] οι γενικές κατηγορίες της επικοινωνίας σε σμήνη ΜΕΑ είναι δυο, η επικοινωνία μεταξύ των ΜΕΑ και η επικοινωνία των ΜΕΑ με το κέντρο ελέγχου στο έδαφος.

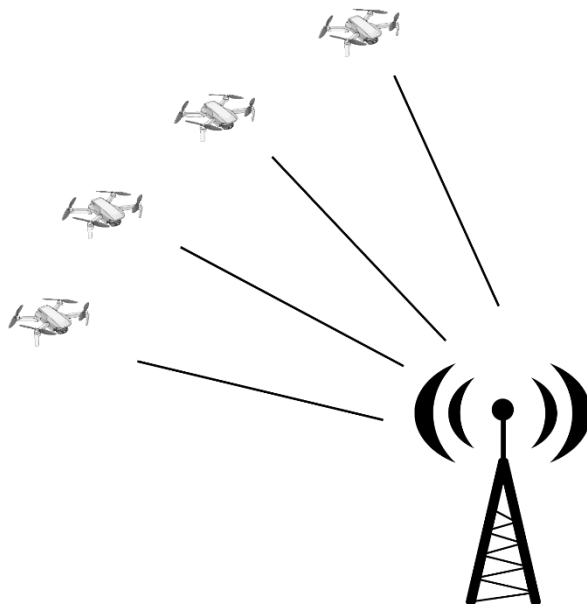
Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή όταν υπάρχει σύνδεση μεταξύ του συνόλου των ΜΕΑ σε ένα σμήνος, παρατηρείται ότι μέσω των αισθητήρων αποκτούνται πληροφορίες και μεταφέρονται μεταξύ τους. [79]

Στην δεύτερη περίπτωση, δηλαδή όταν υπάρχει άμεση επικοινωνία με ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου, οι πληροφορίες μεταφέρονται άμεσα στον επίγειο σταθμό. [81]

### 3.4.1 Κεντρική Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας

Στην κεντρική αρχιτεκτονική επικοινωνίας, υπάρχει άμεση επικοινωνία κάθε ΜΕΑ του σμήνους με το κέντρο ελέγχου, μεταφέροντας σε άμεσο χρόνο πληροφορίες αμφίδρομα, όπως και παρατηρείται στην Εικόνα 14. Αυτήν η αρχιτεκτονική δεν είναι ενδεικνυται σε σμήνη με μεγάλο πλήθος ΜΕΑ καθώς δημιουργείται πολυπλοκότητα με αποτέλεσμα την κατανάλωση υπολογιστικών πόρων και αδυναμίας ελέγχου. [82]

Ακόμη μία πρόκληση της κεντρικής επικοινωνίας είναι ότι το σμήνος εξαρτάται άμεσα από το κέντρο ελέγχου, με αποτέλεσμα σε περίπτωση μεμονωμένης βλάβης ή καταστροφής να παραλύει όλο το σμήνος. [71] Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα, όπως απώλεια ελέγχου ή απώλεια επιχειρησιακής ικανότητας του σμήνους. Για να αποφευχθούν οι μονοσημείες αποτυχίες (single-point failure), μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές, όπως η αντιγραφή των ΜΕΑ στο σμήνος ή η χρήση ανταλλακτικών και συστημάτων αντιγράφων ασφαλείας. Με τον όρο "αντιγραφή" στον τομέα των ΜΕΑ, εννοούμε τη χρήση περισσότερων από ενός ΜΕΑ με ίδια ή παρόμοια χαρακτηριστικά στο σμήνος. Κατά τη διάρκεια μιας αποστολής, τα ΜΕΑ μπορούν να συνεργαστούν για να επιτύχουν τους στόχους τους και να αποφύγουν τις μονοσημείες αποτυχίες. Εάν ένα ΜΕΑ αποτύχει ή χάσει επικοινωνία, τα υπόλοιπα μέλη του σμήνους μπορούν να συνεχίσουν την αποστολή χωρίς διακοπή. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία και την απόδοση του σμήνους.



Εικόνα 14. Κεντρική αρχιτεκτονική επικοινωνίας

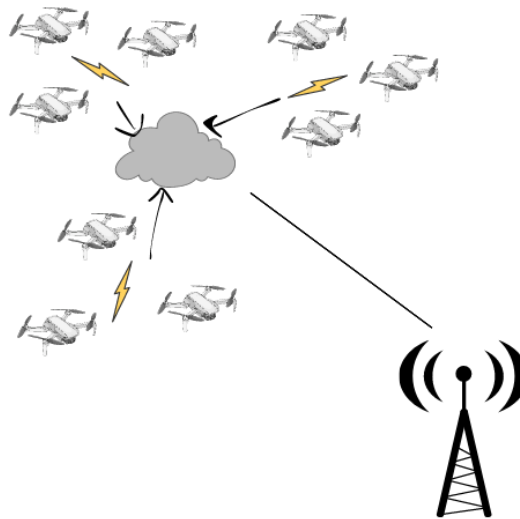
### 3.4.2 Αποκεντρωμένη Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, η χρήση της κεντρικής αρχιτεκτονικής επικοινωνίας φέρει αρκετές προκλήσεις. Στις αποστολές που απαιτούν κάλυψη μεγάλων αποστάσεων και πτήσεις ΜΕΑ σε μεγάλες ταχύτητες δημιουργείται έλλειψη ευστάθειας στο σύστημα επικοινωνίας. [71]

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων δημιουργήθηκε ένα αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου (Flying Ad-hoc Network - FANET) (FANET), το οποίο λειτουργεί και μεταφέρει πληροφορίες σε άμεσο χρόνο, χωρίς την προϋπόθεση υποδομής. [69], [83]

Με βάση τις επιστημονικές εργασίες [84], [85] το παραπάνω αποκεντρωμένο σύστημα χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες με βάση τον τρόπο δομής του.

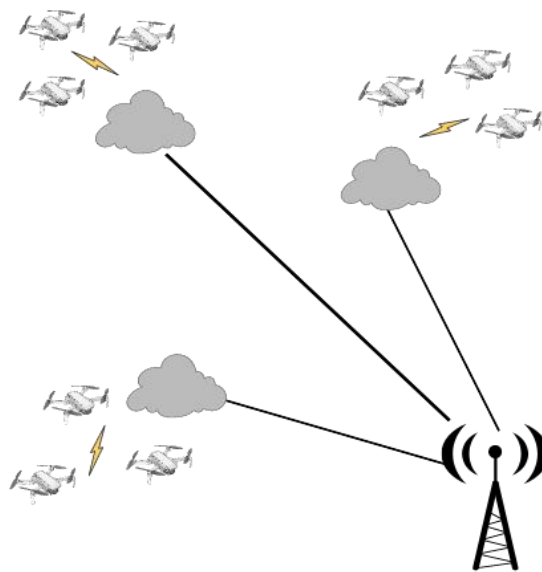
- **Μονό Σμήνος ΜΕΑ:** Σε αυτήν την κατηγορία, υφίσταται ένα σμήνος από ΜΕΑ τα οποία εν αντιθέσει με την κεντρική αρχιτεκτονική επικοινωνίας, επικοινωνούν μεταξύ τους μεταφέροντας πληροφορίες. Έπειτα, ένα από τα ΜΕΑ ορίζεται ως τερματικός κόμβος και έχει την αρμοδιότητα της μεταφοράς των δεδομένων προς το κέντρο ελέγχου. [84] Ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου της παραπάνω αρχιτεκτονικής, χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες. Υπάρχει η τοπολογία αστεριού, η τοπολογία δαχτυλιδιού και η μεικτή τοπολογία. [71] Η συγκεκριμένη τοπολογία αποτυπώνεται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15. Σχεδιάγραμμα αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής επικοινωνίας ΜΕΑ "Μονού Σμήνους"

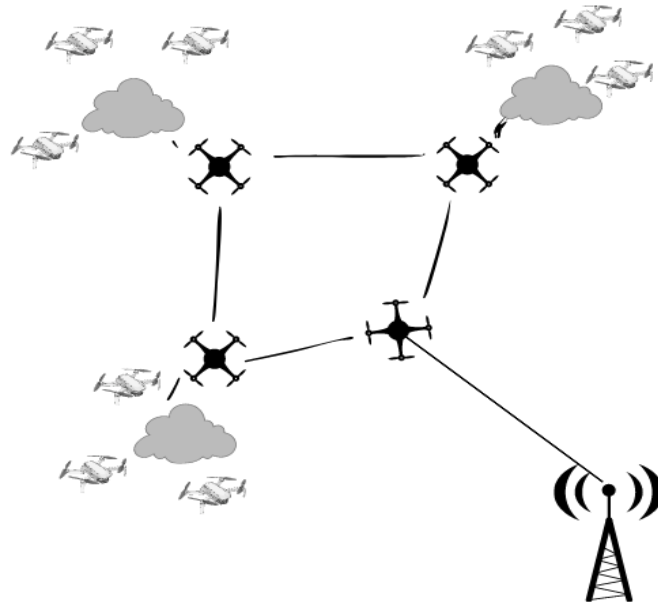
- **Πολλαπλά Σμήνη ΜΕΑ:** Στην κατηγορία των πολλαπλών σμηνών, υπάρχει η παράλληλη σύνδεση δύο ή παραπάνω συνόλων από ΜΕΑ με το κέντρο ελέγχου, όπως και αποτυπώνεται στην Εικόνα 16. Αυτήν η περίπτωση δεν θεωρείται αποκεντρωμένη αλλά ήμι-κεντρική, καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των σμηνών, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητή η μεταφορά δεδομένων μέσω του κέντρου ελέγχου. [84]

Μία πρόκληση σε αυτήν την τοπολογία είναι εξάρτηση όλου του συστήματος από το κεντρικό κέντρο ελέγχου άρα και η αδυναμία επικοινωνίας σε περίπτωση βλάβης ή καταστροφής, όπως παρατηρείται και στην κεντρική αρχιτεκτονική. [71]



Εικόνα 16. Σχεδιάγραμμα αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής επικοινωνίας ΜΕΑ "Πολλαπλά Σμήνη"

- **Πολλαπλά Επίπεδα Σμηνών ΜΕΑ:** Σε αυτήν την περίπτωση, τα επίπεδα επικοινωνίας είναι τρία. Αρχικά, υπάρχει η επικοινωνία μεταξύ των σμηνών από ΜΕΑ, η εσωτερική επικοινωνία μεταξύ των ΜΕΑ εντός του κάθε σμήνους ξεχωριστά, και τέλος, υφίσταται το επίπεδο επικοινωνίας του τερματικού κόμβου του σμήνους με το κέντρο ελέγχου. [84] Παρατηρείται η οπτικοποίηση της τοπολογίας στην Εικόνα 17. Θεωρείται μία πιο εξελιγμένη μορφή της τοπολογίας των πολλαπλών συνόλων ΜΕΑ, με δυνατότητα εφαρμογής σε πιο σύνθετα και πολύπλοκα συστήματα, τελείως αποκεντρωμένη και χωρίς εξάρτηση με το κέντρο ελέγχου.[71]



Εικόνα 17. Σχεδιάγραμμα αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής επικοινωνίας ΜΕΑ "Πολλαπλά Επίπεδα Σμήνων"

### 3.4.3 Σύνοψη Ενότητας

Όπως αναλύθηκε ενδελεχώς στις παραπάνω ενότητες του κεφαλαίου των αρχιτεκτονικών επικοινωνίας σμήνων υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη και διατίθενται αρκετές επιλογές για την αρχιτεκτονική του επικοινωνιακού συστήματος ανάλογα με την κάθε περίπτωση. Παρακάτω δημιουργήθηκε ο Πίνακας 4 που αναλύει περιληπτικά το κάθε είδος αρχιτεκτονικής μαζί με τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις.

Περιληπτικά επίσης παρακάτω παρατηρούνται τα εξής δεδομένα:

- Η κεντρική αρχιτεκτονική επικοινωνίας είναι κατάλληλη για σενάρια όπου το σμήνος από ΜΕΑ είναι μικρό και το πλάνο πτήσης είναι σχετικά απλό. Κάθε μεμονωμένο ΜΕΑ απαιτεί μια μεγάλης εμβέλειας σύνδεση επικοινωνίας με τον επίγειο σταθμό.
- Η αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική επικοινωνίας επεκτείνει την κάλυψη της επικοινωνίας μέσω ενός δικτύου πολλαπλών βημάτων. Προσφέρει ευρωστία στο δίκτυο, επεκτασιμότητα και ασφάλεια.



Πίνακας 4. Συγκριτικός πίνακας αρχιτεκτονικών επικοινωνίας

Αρχιτεκτονική	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις
Κεντρική	Κάθε ΜΕΑ αναπτύσσει μια σχέση 1 προς 1 με τον επίγειο κεντρικό σταθμό και επικοινωνεί αυτόνομα μαζί του.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απλοποιημένο σύστημα</li> <li>• Σταθερότητα</li> <li>• Απλός αλγόριθμος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χωρίς επεκτασιμότητα</li> <li>• Μικρό εύρος</li> <li>• Μεγάλες καθυστερήσεις σε περίπτωση μεγάλων αποστάσεων</li> <li>• Ενιαίο σημείο αποτυχίας</li> </ul>
Αποκεντρωμένη μονού σμήνους	Επικοινωνία των ΜΕΑ μεταξύ τους και ορισμός ενός ΜΕΑ ως πύλη για την επικοινωνία με τον επίγειο κεντρικό σταθμό.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προσφέρει επεκτασιμότητα</li> <li>• Μεγαλύτερο εύρος</li> <li>• Αντοχή συστήματος σε βλάβη ενός ΜΕΑ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολύπλοκος αλγόριθμος</li> <li>• Λιγότερη ελευθέρια των ΜΕΑ</li> </ul>
Αποκεντρωμένη πολλαπλού σμήνους	Αποκεντρωμένη επικοινωνία εσωτερικά των σμήνων μεταξύ των ΜΕΑ. Κεντρική επικοινωνία των σμήνων με τον κεντρικό σταθμό.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγαλύτερο εύρος</li> <li>• Έλεγχος περισσότερων ΜΕΑ</li> <li>• Μεγαλύτερη ελευθέρια κινήσεων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλες καθυστερήσεις</li> <li>• Αποτυχία σε περίπτωση βλάβης κεντρικού σταθμού</li> <li>• Ήμι-κεντρική αρχιτεκτονική</li> </ul>
Αποκεντρωμένη πολλαπλών επίπεδων σμήνους	Αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική, όλα τα σμήνη επικοινωνούν μεταξύ τους και όλα τα ΜΕΑ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολύπλοκος αλγόριθμος</li> </ul>

	<p>μεταξύ τους. Ορίζονται σε κάθε σμήνος συγκεκριμένο ΜΕΑ πύλη.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επιτυχία σε περίπλοκες αποστολές</li> <li>• Αλλαγές στην τοπολογία</li> <li>• Ευρωστία</li> </ul>	
--	---	--	--

## 3.5 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Σύμφωνα με την εργασία [80] τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας έχουν ως σκοπό τον έλεγχο των συσκευών και την διαχείριση των δεδομένων.

Αναλύοντας τα επίπεδα του πρωτοκόλλου επικοινωνίας παρατηρούνται 4 επίπεδα. Αρχικά υπάρχει το επίπεδο MAC, το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο δικτύου και τέλος, το επίπεδο εφαρμογής. Καθένα από τα παραπάνω επίπεδα έχει και την δικιά του χρήση και λειτουργία.

Κάποια συνηθισμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι τα ZigBee, Low Power Wide Area Network, MAVLink, όπως και επίσης τα συμβατικά πρωτόκολλα επικοινωνίας WiFi, LAN, Κυψέλες Δικτύου (5<sup>ης</sup> Γενιάς, 4<sup>ης</sup> Γενιάς). [80]

### 3.5.1 Πρωτόκολλο ZigBee

Το πρωτόκολλο ZigBee είναι ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιείται συνήθως για λόγους τηλεμετρίας μεταξύ στα ΜΕΑ. [80]

Οι φυσικές συσκευές της τοπολογίας του ZigBee χωρίζονται σε 2 κατηγορίες ανάλογα με τις δυνατότητες και τις λειτουργίες χρήσεις τους. Υπάρχει η Συσκευή Ολοκληρωτικής Χρήσης (ΣΟΧ) η οποία πραγματοποιεί όλες τις διαθέσιμες λειτουργίες του συστήματος, όπως μηχανισμός δρομολόγησης, λειτουργίες αισθητήρων και συντονισμού. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει και η Συσκευή Μειωμένης Χρήσης (ΣΜΧ), η οποία έχει περιορισμένες λειτουργίες και πρέπει να συνεργάζεται με μία ΣΟΧ. [86]

Σε αυτό το πρωτόκολλο υπάρχουν 3 διαφορετικοί τύποι κόμβων, ο Συντονιστής, ο Δρομολογητής και ο Τελικός. [86]

- **Συντονιστής:** Ο συγκεκριμένος τύπος κόμβου εκκινεί το δίκτυο, καθορίζει παραμέτρους του δικτύου όπως συχνότητα και αποθηκεύει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο. Επίσης, δημιουργεί τις ρίζες του δέντρου του δικτύου και ενώνει τα διαφορετικά δίκτυα μεταξύ τους. [86]
- **Δρομολογητής:** Ο δρομολογητής έχει τον ρόλο του μεσάζοντα μεταξύ των κόμβων και μεταφέρει πληροφορίες μεταξύ των συσκευών. [86]
- **Τελικός:** Ο τελικός κόμβος είναι ένας κόμβος με χαμηλή ανάγκη σε ενεργειακούς πόρους, συλλέγει δεδομένα από τους αισθητήρες του δικτύου και έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με τους δύο παραπάνω τύπους κόμβων. [86]

Σύμφωνα με την εργασία [86] τα θετικά της χρήσης του πρωτοκόλλου ZigBee είναι:

- Εύκολη εγκατάσταση και στήσιμο του δικτύου

- Αξιοπιστία
- Ασφάλεια
- Χαμηλός κόστος
- Χαμηλή κατανάλωση ενεργειακών πόρων
- Ενημέρωση λογισμικού εξ' αποστάσεως

Εν αντιθέσει, αντλώντας πληροφορίες από την εργασία [87] παρατηρούνται οι παρακάτω προκλήσεις:

- Περιορισμένοι ενεργειακοί πόροι
- Θόρυβος στα κανάλια
- Ποιότητα υπηρεσιών
- Ακρίβεια στην απόσταση

### 3.5.2 Πρωτόκολλα Ασύρματων Δικτύων Χαμηλής Ισχύος

Τα πρωτόκολλα Χαμηλής Ισχύος (LPWAN) είναι μια τεχνολογία ασύρματου δικτύου ευρείας περιοχής που διασυνδέει συσκευές χαμηλού εύρους ζώνης, που λειτουργούν με μπαταρίες και έχουν χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης bit σε μεγάλες αποστάσεις.

Δημιουργήθηκε για δίκτυα μηχανής-σε-μηχανή (Machine to Machine - M2M) και για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Τα δίκτυα χαμηλής ισχύος λειτουργούν με χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση από τα παραδοσιακά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και είναι επίσης σε θέση να υποστηρίξουν μεγαλύτερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών σε μεγαλύτερη περιοχή. Η τεχνολογία περιλαμβάνει πολλές υποκατηγορίες όπως Sigfox, LTE-M, NB-IoT, LoRa. Σε κάθε περίπτωση εξετάζοντας την διεθνή βιβλιογραφία παρατηρείται ότι το Sigfox, LTE-M και NB-IoT δεν εφαρμόζονται σαν πρωτόκολλα επικοινωνίας των σμηνών ΜΕΑ. Αντιθέτως, η μοναδική τεχνολογία από δίκτυα χαμηλής ισχύος που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το LoRaWAN.

**LoRaWAN (Long Range Wide Area Network):** Το δίκτυο LoRa (Long Range) είναι μία ασύρματη τεχνολογία μετάδοσης δεδομένων που έχει ως βάση την τεχνολογία Chirp Spread Spectrum, όπου κωδικοποιεί πληροφορίες σε παλμούς τύπου chirp. [88]

Είναι ιδανικό για μετάδοση μικρών σε μέγεθος πακέτων δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις και χωρίς την κατανάλωση μεγάλης ποσότητας ενεργειακών πόρων.

Το εύρος λειτουργίας του δικτύου LoRa είναι μη καταχωρημένες συχνότητες και συνήθως, ανάλογα με τις χώρες εφαρμογής, οι συχνότητες είναι 915 MHz, 868 MHz, και 433 MHz. Επίσης, σε μερικές περιπτώσεις λειτουργεί σε συχνότητα 2.4 GHz για μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. [88]

Το LoRaWAN είναι ένα ανοιχτού πηγαίου κώδικα πρωτόκολλο αναπτυγμένο από την συμμαχία LoRa (LoRa Alliance) που εφαρμόζεται επάνω στο φυσικό επίπεδο του δικτύου LoRa προσφέροντας την δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τελικών συσκευών και πυλών του δικτύου. [89]

Η αρχιτεκτονική αυτού του πρωτοκόλλου είναι τοπολογίας αστεριού, δηλαδή οι τελικές συσκευές επικοινωνούν μόνο με τις πύλες και δεν έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους. Έπειτα, οι πύλες έχουν ρυθμιστεί ώστε να προωθούν τα πακέτα πληροφοριών από τις τελικές συσκευές προς την κεντρική υποδομή. [89]

Τα βασικά θετικά που παρατηρούνται με βάση την ιστοσελίδα [88] είναι:

- **Χαμηλή Ισχύς:** Μία τελική συσκευή του δικτύου LoRa είναι ικανή να λειτουργεί παραπάνω από 10 χρόνια με μία απλή μπαταρία τύπου ρολογιού.
- **Μεγάλο Εύρος:** Σε περιοχές χωρίς εμπόδια, όπως είναι οι αγροτικές περιοχές, οι πύλες του δικτύου LoRaWAN έχουν εύρος μετάδοσης σήματος μέχρι και 10 χιλιόμετρα. Σε αστικές περιοχές μειώνεται περίπου στα 4-5 χιλιόμετρα. Επίσης το σήμα έχει την δυνατότητα να διαπερνάει εμπόδια και να μεταδίδει το σήμα μέσα σε εγκαταστάσεις
- **Ελεύθερη Συχνότητα:** Το σήμα λειτουργεί σε μη καταχωρημένες συχνότητες με αποτέλεσμα να εξοικονομούνται οικονομικοί πόροι.
- **Χαμηλό Κόστος:** Έχοντας δωρεάν λογισμικό, και φυσικές συσκευές, όπως οι τελικοί κόμβοι και οι πύλες, θεωρείται ένα από τα πιο οικονομικά συστήματα για μετάδοση δεδομένων.
- **Ασφάλεια:** Χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση τύπου AES-128, εξασφαλίζεται ασφάλεια στην μετάδοση των δεδομένων και στην επικοινωνία του δικτύου.

Αντίθετα, κάποιες προκλήσεις είναι:

- Η σχετικά μεγαλύτερη καθυστέρηση συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες
- Το περιορισμένο εύρος ζώνης
- Το δίκτυο υποδομών, καθώς δεν είναι τόσο διαδεδομένη τεχνολογία.

Όπως παρατηρείται και στο παράδειγμα [90], όπου συμβάλλει στην αποκέντρωση για τη δημιουργία ενός ισχυρού συστήματος επικοινωνίας σε ένα σμήνος μη επανδρωμένων αεροσκαφών, προτείνοντας μια προσέγγιση που χρησιμοποιεί το LoRa, το προσαρμοσμένο διανυσματικό σύστημα διανύσματος απόστασης με ακολουθία προορισμού (DSDV) και το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) για την αποκέντρωση του σμήνους μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

### 3.5.3 Πρωτόκολλο MAVLink

Το MAVLink είναι ένα ελαφρύ πρωτόκολλο ειδικό για την επικοινωνία μεταξύ MEA, έχοντας ένα διττό χαρακτήρα με τοπολογία εκδίδω-εγγράω (publish-subscribe) και σχεδιασμό σημείο-σε-σημείο (point to point). [91] Δημιουργήθηκε από τον Lorenz Meier το 2009 [92] και έχει σαν σκοπό την επίτευξη της επικοινωνίας μεταξύ των MEA. Συνήθως χρησιμοποιείται για την επαφή του επίγειου κεντρικού σταθμού ελέγχου με το σμήνος.

Στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο η μεταφορά μηνυμάτων γίνεται μέσω αρχείου XML. [91]

Κάποια θετικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται σε αυτό το πρωτόκολλο με βάση την ιστοσελίδα [91] είναι:

- Υψηλή αποδοτικότητα.
- Αξιοπιστία, καθώς χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία από το 2009
- Πολλές γλώσσες προγραμματισμού, με τις πιο διαδεδομένες να είναι C, C++, Python, Java, Rust, C#, JavaScript.
- Έχει μεγάλη επεκτασιμότητα αφού μπορεί να υποστηρίξει έως και 255 συστήματα εντός δικτύου.

Κάποιες προκλήσεις που σημειώθηκαν με βάση την διεθνή βιβλιογραφία είναι:

- Δεν παρέχεται η δυνατότητα μεγάλης εμβέλειας
- Απαιτείται συνεργασία με κάποιο άλλο ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας
- Δεν συμπεριλαμβάνει κάποιο ενσωματωμένο σύστημα ασφαλείας, με αποτέλεσμα να χρειάζεται πρόσθετη ασφάλεια για την αξιόπιστη λειτουργία του.

Επίσης, στην επιστημονική πηγή [93] προτείνεται ένα χαμηλού κόστους, ελαφρύ σύστημα drone το οποίο μπορεί να λειτουργήσει σε συνθήκες λειτουργίας χαμηλού υψομέτρου κατά τη

διάρκεια της πτήσης πάνω από το χωράφι των καλλιεργειών και λειτουργεί μέσω της τεχνολογίας MAVLink

### 3.5.4 Πρωτόκολλο Wireless Fidelity (WiFi)

Το WiFi είναι μία ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας βασισμένη στο πρότυπο IEEE 802.11 και λειτουργεί σε εύρος συχνότητας 2.4 GHz ή 5 GHz. Χρησιμοποιείται για την ασύρματη μεταφορά δεδομένων μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών μέσω ενός δικτύου.

Από τη στιγμή που γίνεται σύνδεση μεταξύ των συσκευών, είναι εφικτή η μετάδοση και παραλαβή δεδομένων ασύρματα. Προσφέρει ευκινησία και ευελιξία καθώς δεν απαιτείται φυσική υποδομή, όπως καλώδια για την σύνδεση μεταξύ των συσκευών. Ξεκίνησε με την χρήση του σε γραφεία, βιβλιοθήκες, υπηρεσίες, οικίες, αλλά πλέον έχει εξελιχθεί και παρατηρείται η χρήση του ακόμα και στην επικοινωνία για τον έλεγχο των ΜΕΑ.[94]

Για την χρήση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου απαιτείται η τοποθέτηση ενός εξαρτήματος, γνωστό και ως WiFi module, που θα επιτρέπει την αποστολή και παραλαβή δεδομένων.

Σύμφωνα με την επιστημονική πηγή [94] προτείνεται ένα αποτελεσματικό και σταθερό δίκτυο για την διαχείριση ενός σμήνους από ΜΕΑ βασισμένο σε ad hoc επικοινωνίες. Σε αυτό το παράδειγμα, υφίσταται ένα ΜΕΑ το οποίο λειτουργεί ως ο αρχηγός του σμήνους και ελέγχεται από ανθρώπινο πιλότο, ενώ τα υπόλοιπα ΜΕΑ του σμήνους είναι αυτόνομα και ακολουθούν τον αρχηγό μέσω δικτύου WiFi.

Για την συγκεκριμένη τεχνολογία έχουν παρατηρηθεί τα παρακάτω θετικά:

- Γρήγορη μεταφορά δεδομένων εξαιτίας του υψηλού εύρους ζώνης
- Μεγάλη διαθεσιμότητα καθώς είναι μία διαδεδομένη τεχνολογία και παρατηρείται μεγάλη κάλυψη ιδιαίτερα σε αστικές ζώνες
- Χαμηλή καθυστέρηση
- Οικονομικά αποδοτική τεχνολογία

Οι προκλήσεις που παρατηρήθηκαν είναι:

- Περιορισμένη εμβέλεια, συνήθως έως μερικές εκατοντάδες μέτρα
- Διακρίνονται παρεμβολές σε περιοχές με πολλά δίκτυα
- Υψηλή κατανάλωση ενέργειας

### 3.5.5 Κυψελοειδή Δίκτυα (Cellular Networks)

Τα κυψελοειδή δίκτυα χρησιμοποιούνται ευρέως για την επικοινωνία μεταξύ ΜΕΑ σε ένα σμήνος. Είναι ένας αξιόπιστος τρόπος επικοινωνίας καθώς προσφέρει υψηλές ταχύτητες και μεγάλη εύρος κάλυψης. Για την εφαρμογή του υλικού επάνω στο ΜΕΑ απαιτείται μία κάρτα τύπου SIM ή μία κάρτα ασύρματου σημείου πρόσβασης και αυτομάτως παρέχεται δίκτυο στο σύστημα. [69]

Με την ραγδαία εξέλιξη των τελευταίων ετών επάνω στο κομμάτι της ασύρματης επικοινωνίας, πλέον σε σχεδόν όλες τις χώρες πρώτου κόσμου παρατηρείται τουλάχιστον κάλυψη δικτύου 3<sup>ης</sup> γενιάς. Επίσης, είναι αρκετά διαδομένο το δίκτυο 4<sup>ης</sup> γενιάς, που προσφέρει ταχύτητες κατεβάσματος δεδομένων έως 1 Gbps αλλά και το δίκτυο 5<sup>ης</sup> γενιάς, που προσφέρει ταχύτητες έως και 10 Gbps, δεκαπλάσιες από τον προκάτοχο του.[95]

Αξίζει να σημειωθεί ένα τυπικό πακέτο επικοινωνίας μεταξύ ΜΕΑ έχει μέγεθος ανάμεσα από 17 και 263 bytes. Σε αυτά τα μεγέθη το δίκτυο 4<sup>ης</sup> γενιάς θεωρείται περισσότερο από επαρκές, όμως με δίκτυα όπως 5<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> γενιάς, ξεκλειδώνονται νέα χαρακτηριστικά επάνω στην επικοινωνία, καθώς δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων όπως βίντεο, εικόνων.[69], [95]

Τα πλεονεκτήματα χρήσης της τεχνολογίας των κυψελοειδή δικτύων είναι το μεγάλο εύρος κάλυψης, με αποτέλεσμα την επικοινωνία των ΜΕΑ από οπουδήποτε παρέχεται τουλάχιστον δίκτυο 3<sup>ης</sup> γενιάς, η αξιοπιστία και η σταθερότητα που προσφέρει, αλλά και η αυτονομία.[69]

Αντίθετα, οι προκλήσεις που παρατηρούνται είναι η εξάρτηση από το υπάρχων σύστημα των παρόχων κινητής τηλεφωνίας, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, και σχετικά υψηλό κόστος χρήσης.



### 3.5.6 Σύνοψη Ενότητας

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας έχουν καίριο ρόλο στη διευκόλυνση της αποτελεσματικής και αξιόπιστης επικοινωνίας σε σμήνη ΜΕΑ. Οι διάφορες τεχνολογίες προσφέρουν διαφορετικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται προσεκτικά υπόψη κατά το σχεδιασμό της υποδομής επικοινωνίας για ένα σμήνος μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Στις ακόλουθες παρατηρήσεις, διερευνώνται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διακεκριμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των ZigBee, LoRaWAN, Wi-Fi, κυψελοειδών δικτύων (4G LTE/5G/6G) και MAVLink. Η κατανόηση αυτών των εκτιμήσεων μπορεί να βοηθήσει στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων κατά την επιλογή των καταλληλότερων πρωτοκόλλων επικοινωνίας για εφαρμογές σμήνους ΜΕΑ.

Κατά την επιλογή ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας για εφαρμογές σμήνους ΜΕΑ, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως οι απαιτήσεις εμβέλειας, η κατανάλωση ενέργειας, η διαθέσιμη υποδομή, οι ανάγκες σε εύρος ζώνης και οι περιορισμοί καθυστέρησης. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν υβριδικές προσεγγίσεις που συνδυάζουν πολλαπλά πρωτόκολλα για τη βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος επικοινωνίας του σμήνους.

Γι' αυτό τον σκοπό δημιουργήθηκε ο Πίνακας 5:

Πίνακας 5. Σύγκριση πρωτοκόλλων επικοινωνίας

Πρωτόκολλο Επικοινωνίας	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις
ZigBee	Πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής ισχύος που λειτουργεί στη συχνότητα 2,4 GHz. Είναι κατάλληλο για επικοινωνία μικρής εμβέλειας σε ένα σμήνος ΜΕΑ.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εύκολη εγκατάσταση και στήσιμο του δικτύου</li> <li>• Αξιοπιστία</li> <li>• Ασφάλεια</li> <li>• Χαμηλός κόστος</li> <li>• Χαμηλή κατανάλωση ενεργειακών πόρων</li> <li>• Ενημέρωση λογισμικού εξ' αποστάσεως</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένοι ενεργειακοί πόροι</li> <li>• Θόρυβος στα κανάλια</li> <li>• Ποιότητα υπηρεσιών</li> <li>• Ακρίβεια στην απόσταση</li> </ul>
LoRaWAN	Πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας ειδικά σχεδιασμένο για δίκτυα χαμηλής ισχύος και ευρείας περιοχής. Επιτρέπει την επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές όπως συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων και σμήνη ΜΕΑ.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλή Ισχύς</li> <li>• Μεγάλο Εύρος</li> <li>• Ελεύθερη Συχνότητα</li> <li>• Χαμηλό Κόστος</li> <li>• Ασφάλεια</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγαλύτερη καθυστέρηση συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες</li> <li>• Περιορισμένο εύρος ζώνης</li> <li>• Περιορισμένο δίκτυο υποδομών</li> </ul>

MAVLink	<p>Πρωτόκολλο επικοινωνίας ειδικά σχεδιασμένο για μη επανδρωμένα συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των ΜΕΑ. Πρόκειται για ένα ελαφρύ πρωτόκολλο που διευκολύνει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των επίγειων σταθμών ελέγχου και των ΜΕΑ.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλή αποδοτικότητα.</li> <li>• Αξιοπιστία</li> <li>• Πολλές γλώσσες προγραμματισμού</li> <li>• Επεκτασιμότητα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μικρή εμβέλεια</li> <li>• Απαιτείται συνεργασία με κάποιο άλλο ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας</li> <li>• Έλλειψη ασφάλειας</li> </ul>
Wi-Fi	<p>Πρωτόκολλο επικοινωνίας που προσφέρει υψηλό εύρος ζώνης και σχετικά χαμηλή καθυστέρηση. Είναι κατάλληλο για σμήνη ΜΕΑ που λειτουργούν σε περιοχές με υποδομές Wi-Fi.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό εύρος Ζώνης</li> <li>• Διαθεσιμότητα</li> <li>• Χαμηλή καθυστέρηση</li> <li>• Οικονομικά αποδοτική τεχνολογία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένη εμβέλεια,</li> <li>• Παρεμβολές</li> <li>• Υψηλή κατανάλωση ενέργειας</li> </ul>
4G/5G/6G	<p>Πρωτόκολλο επικοινωνίας που παρέχει κάλυψη ευρείας περιοχής και δυνατότητες μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλο εύρος κάλυψης</li> <li>• Αξιοπιστία</li> <li>• Σταθερότητα</li> <li>• Αυτονομία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εξάρτηση από το δίκτυο</li> <li>• Υψηλή κατανάλωση ενέργειας</li> <li>• Υψηλό κόστος χρήσης</li> </ul>

## 3.6 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Routing Protocols)

Τα κινητά δίκτυα ad-hoc (Mobile Ad-hoc Networks - MANETs) είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους τομείς έρευνας και ανάπτυξης τα τελευταία έτη. Τα συγκεκριμένα δίκτυα είναι μία αναδυόμενη τεχνολογία που δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να επικοινωνούν χωρίς την ανάγκη φυσικής υποδομής και ανεξάρτητα από την γεωγραφική θέση. Συχνά, χαρακτηρίζεται και ως δίκτυο χωρίς υποδομή εξαιτίας αυτού του κύριου πλεονεκτήματος του δικτύου.[96]

Τα ad-hoc δίκτυα οχημάτων (Vehicular Ad-hoc Networks – VANETs) χαρακτηρίζεται ως «ο αδερφός» του MANET και έχουν αρκετά κοινά σημεία ως προς την τοπολογία και την λειτουργία του δικτύου. Όπως επιδεικνύει και το όνομα, είναι ένα δίκτυο μεταξύ στην επικοινωνία των οχημάτων και χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα με τον αποδέκτη του δικτύου. Αρχικά, είναι το Όχημα-Σε-Όχημα (Vehicle-To-Vehicle – V2V), όπου η επικοινωνία γίνεται μεταξύ των οχημάτων και κατά δεύτερον είναι το Όχημα-Σε-Υποδομή (Vehicle-To-Infrastructure – V2I) όπου η επικοινωνία λαμβάνει μέρος μεταξύ οχημάτων και της κεντρικής υποδομής, όπου εμφανίζεται συνήθως ως ο κεντρικός σταθμός επικοινωνίας.[97]

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, παρατηρείται ότι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης της αρχιτεκτονικής των δικτύων MANET και VANET δεν μπορούν να υποστηρίξουν άμεσα την αρχιτεκτονική του FANET, εξαιτίας μερικών χαρακτηριστικών του δικτύου, τις γρήγορες αλλαγές ποιότητας του δικτύου και τη γρήγορη κίνηση στον τρισδιάστατο χώρο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την τροποποίηση κάποιων ήδη υπάρχων αλλά και να εισαχθούν νέα πρωτόκολλα διαδρομής. [84]

Ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης συνήθως έχει 3 βασικές λειτουργίες, εύρεση διαδρομής, επιλογή της βέλτιστης διαδρομής και τέλος, διατήρηση της επιλεγμένης διαδρομής.[98]

Τα πρωτόκολλα διαδρομής που παρατηρούνται χωρίζονται ανάλογα με την αρχιτεκτονική δομή του δικτύου σε 3 κατηγορίες. Υπάρχει η κατηγορία με βάση την τοπολογία, η κατηγορία με βάση την τοποθεσία και η τοπολογία με βάση την ιεραρχία. [99]

### 3.6.1 Στατικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Static Routing Protocols)

Στα στατικά πρωτόκολλα διαδρομών υπάρχουν στατικοί και χωρίς την δυνατότητα τροποποίησης πίνακες διαδρομής, όπου φορτώνονται πριν την πτήση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι αρκετά περιορισμένο ως προς την χρήση καθώς δεν υπάρχει περιθώριο λαθών ή προσαρμοστικότητας ως προς την διαδρομή. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές

όπου η τοπολογία παραμένει σταθερή και δεν υπάρχουν αλλαγές ως προς το σχέδιο πτήσης ή στις εργασίες. [71], [99]

- **Φόρτωση και Μεταφορά Φορτίου Δρομολόγηση (LCDR)(Load Carry and Deliver Routing):** Αυτό είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στην κεντρική αρχιτεκτονική επικοινωνίας, όπου η κεντρική υποδομή μεταφέρει πακέτα δεδομένων στο ΜΕΑ και έπειτα αυτό μεταφέρει αυτά τα πακέτα στον προορισμό. [71]

Η μέθοδος αυτήν είναι αξιόπιστη, ασφαλής και με υψηλή απόδοση, παρόλα αυτά, εξαιτίας των αποστάσεων που συνήθως είναι μεγάλες, υπάρχει καθυστέρηση στην μετάδοση. [99]

- **Δεδομενο-κεντρική Δρομολόγηση(DCR)(Data Centric Routing):** Αυτό το πρωτόκολλο είναι βασισμένο στα δεδομένα και χρησιμοποιείται κυρίως για συνδέσεις ένα προς πολλά. [99]

Μία συνηθισμένη εφαρμογή είναι το “publish-subscribe”, όπου συνδέεται αυτόματα με τον παραγωγό δεδομένων (publisher) και με τον αποδέκτη των δεδομένων (subscriber). [84]

- **Πολυεπίπεδη Ιεραρχική Δρομολόγηση(MHR)(Multilevel Hierarchical Routing):** Σε αυτό το πρωτόκολλο, το δίκτυο χωρίζεται σε ομάδες (clusters) που λειτουργούν σε διαφορετικές περιοχές. Κάθε ομάδα έχει τον επικεφαλή (cluster head), όπου επικοινωνεί με την ομάδα του αλλά και με άλλους επικεφαλής από άλλες ομάδες. Επίσης, με αυτήν την δρομολόγηση είναι εφικτή η ανάθεση διαφορετικών διεργασιών στις ομάδες. [99]

Με αυτήν την δρομολόγηση λύνονται θέματα επεκτασιμότητας και ενδυναμώνει την ευστάθεια και την μεταβλητότητα του δικτύου. [71]

### **3.6.2 Προληπτικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Proactive Routing Protocols)**

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, το προληπτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης έχει την δυνατότητα να αλλάξει τους πίνακες διαδρομής του, σε αντίθεση με το στατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης. [71] Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του πρωτοκόλλου είναι ότι διαθέτει πάντα τις τελευταίες πληροφορίες σχετικά με τους πίνακες διαδρομής και είναι διαθέσιμες οποιαδήποτε στιγμή. [99] Επομένως, είναι ιδανικό πρωτόκολλο για εφαρμογές που απαιτούν αλλαγές σε άμεσο χρόνο.

Από την άλλη πλευρά όμως, το παραπάνω πρωτόκολλο, εξαιτίας της συνεχόμενης αποστολής μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων δεν ενδείκνυται για σμήνη στα οποία οι κόμβοι κινούνται γρήγορα ή για σμήνη μεγάλης έκτασης. Επιπλέον, λόγω της αναίτιας αποστολής μηνυμάτων επηρεάζεται η απόδοση του συστήματος. [71], [84], [99]

- **Βελτιστοποιημένη Δρομολόγηση Κατάστασης Σύνδεσης (OLSR)(Optimized Link State Routing):** Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα σε ad-hoc δίκτυα. [99] Σε αυτήν την δρομολόγηση, όλες οι διαδρομές είναι αποθηκευμένες σε πίνακες που είναι εύκολα προσπελάσιμες χωρίς να δημιουργούνται καθυστερήσεις. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης στοχεύει στην δημιουργία σύνδεσης μεταξύ των ΜΕΑ σε ένα σμήνος στο υπάρχον δίκτυο επικοινωνίας. Το OLSR χρησιμοποιεί μοναδικά πακέτα όπου μπορούν να περιέχουν 3 διαφορετικού τύπου μηνύματα ανάλογα τον σκοπό του μηνύματος. [84] Τα μηνύματα είναι το HELLO, όπου μεταδίδεται με σκοπό την ανίχνευση συνδέσεων και την εύρεση συνδεσιμότητας με την γειτονική περιοχή, το TOPOLOGY CONTROL, το οποίο διατηρεί πληροφορίες για τις συνδέσεις, και τέλος το MULTIPLE INTERFACE DECLARATION, βελτιώνει την ταχύτητα στην δήλωση πολλαπλών επαφών σε έναν κόμβο. [84]
- **Διάνυσμα Απόστασης με Αλληλουχία Προορισμού(DSDV)(Destination Sequenced Distance Vector):** Το DSDV είναι μία βελτιωμένη έκδοση του αλγορίθμου του Bellman-Ford, [99] καθιστώντας το πιο κατάλληλο για τα δίκτυα των ΜΕΑ. Το παραπάνω πρωτόκολλο, διακρίνει πάντα τα υπόλοιπα ΜΕΑ που είναι στο δίκτυο. Τα πλεονεκτήματα είναι ότι με την χρήση αριθμητικής ακολουθίας εξαλείφεται η δημιουργία βρόχων κατά την μετάδοση δεδομένων και προσφέρει απλότητα στο δίκτυο. [84] Παρόλα αυτά, η περιοδική ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης του δικτύου, με αποτέλεσμα την συμφόρηση του δικτύου αναίτια. [84] Για τους παραπάνω λόγους και ότι έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει μόνο μία διαδρομή και όχι πολλαπλές, δεν ενδείκνυται για δυναμικά δίκτυα όπου η τοπολογία αλλάζει συχνά. [84]
- **Καλύτερη προσέγγιση στην κινητή ad-hoc δικτύωση (Better Approach to Mobile Ad-hoc Networking)(BATMAN):** Το πρωτόκολλο “BATMAN” είναι ένα νέο πρωτόκολλο προληπτικής δρομολόγησης για ad-hoc δίκτυα. [71]

Η μέθοδος BATMAN είναι χρήσιμη για την ανεύρεση του καλύτερου επόμενου άλματος για κάθε προορισμό. Η δρομολόγηση BATMAN είναι εξαιρετικά γρήγορη, επειδή δεν υπολογίζει την πλήρη διαδρομή και παρουσιάζει καλές επιδόσεις όσον αφορά τα δεδομένα, τον ρυθμό δεδομένων και την απώλεια πακέτων. Το μέγεθος των πακέτων είναι πολύ μικρό, επειδή μπορεί να περιέχει μόνο περιορισμένη ποσότητα δεδομένων. [99]

### 3.6.3 Αντιδραστικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης(Reactive Routing Protocols)

Το αντιδραστικό πρωτόκολλο δρομολόγησης ξεκινάει την διαδικασία της έρευνας για την δρομολόγηση μόνο όταν χρειάζεται να σταλεί ένα μήνυμα, με αποτέλεσμα η μνήμη των πληροφοριών να είναι μικρότερη. Ωστόσο, υπάρχουν καθυστερήσεις στην μετάδοση των πληροφοριών, καθώς χρειάζεται να υπολογιστεί η διαδρομή κάθε φορά πριν την μετάδοση. [71]

- **Δυναμική Πηγή Δρομολόγησης (DSR)(Dynamic Source Routing):** Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης έχει το θετικό ότι είναι ανεξάρτητο από την υποδομή του δικτύου, έχει την δυνατότητα να ρυθμίζεται και να οργανώνεται μόνο του.[99] Επίσης, κάθε πακέτο δεδομένων περιέχει μία λίστα από όλους τους κόμβους, με αποτέλεσμα όλοι οι κόμβοι που αλληλοεπιδρούν με το πακέτο, αποθηκεύουν τις πληροφορίες σαν εφεδρεία. [71]
- **Διάνυσμα απόστασης ad-hoc κατ' απαίτηση (ADDV) (Ad hoc On-Demand Distance Vector):** Το παραπάνω πρωτόκολλο δρομολόγησης σύμφωνα με την επιστημονική εργασία [84] είναι ένας συνδυασμός της Δυναμικής Πηγής Δρομολόγησης και του πρωτοκόλλου Διάνυσμα Απόστασης με Αλληλουχία Προορισμού. Συνδυάζει τις περιοδικές ενημερώσεις από το DSR αλλά και την hop-2-hop δρομολόγηση από το DSDV. Οπότε, δεν υπάρχει ανάγκη διατήρησης των πληροφοριών ολόκληρης της δρομολόγησης, αλλά μόνο πληροφορίες σχετικά με τον προορισμό των πακέτων δεδομένων. [99]

### 3.6.4 Υβριδικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Hybrid Routing Protocols)

Τα υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης συνδυάζουν τις δύο παραπάνω κατηγορίες, δηλαδή τα προληπτικά και τα αντιδραστικά πρωτόκολλα με σκοπό την βελτίωση τους, παίρνοντας τα θετικά στοιχεία από αυτές τις κατηγορίες για να ξεπεράσουν τα προβλήματα που δημιουργούνται. [84]

Σε αυτήν την περίπτωση είναι εφικτό να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως μείωση των μη απαραίτητων πακέτων δεδομένων που αποστέλλονται αλλά και να μειωθεί ο χρόνος ανακάλυψης νέων διαδρομών. Ωστόσο, η υψηλή δυναμική που προσφέρουν αυτά τα πρωτόκολλα καθιστά δύσκολη την συγκράτηση και διατήρηση πληροφοριών. [71]

- **Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ζώνης (ZRP)(Zone Routing Protocol):** Σύμφωνα με την εργασία [100] αυτό το πρωτόκολλο δρομολόγησης λειτουργεί ανάλογα με την περίπτωση είτε σαν προληπτικό πρωτόκολλο είτε σαν αντιδραστικό.

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί ζώνες με σκοπό να ταξινομήσει τα ΜΕΑ. Κάθε ΜΕΑ έχει και ανήκει σε μία ξεχωριστή ζώνη, η οποία έχει ένα συγκεκριμένο εύρος και καθορίζεται από τις διαστάσεις ενός υποθετικού κύκλου που ορίζει την συγκεκριμένη ζώνη. Άρα εξαρτάται άμεσα από την ακτίνα του κύκλου της. Κάθε ΜΕΑ έχει κάποια άλλα ΜΕΑ όπου επειδή οι ακτίνες των ζωνών τους συναντιούνται ονομάζονται γειτονικοί κόμβοι. Το σύστημα των ζωνών είναι κατάλληλο για την χρήση σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα και με διαφορετικούς συνδυασμούς κίνησης. [84]

Ανάλογα με το εάν ο προορισμός ενός πακέτου βρίσκεται στην ίδια ζώνη με τον αποστολέα ή όχι, καθορίζεται και ποιο είδος πρωτοκόλλου θα χρησιμοποιηθεί. Αυτός ο συνδυασμός αποφέρει την μείωση του μεγάλου εύρους ζώνης που δεσμεύεται στο προληπτικό πρωτόκολλο, αλλά επίσης, μειώνει την υπερφόρτωση του δικτύου για τον καθορισμό διαδρομής που συμβαίνει στο αντιδραστικό πρωτόκολλο. [100]

Περληπτικά, στην περίπτωση που ο αποστολέας και ο αποδέκτης βρίσκονται στην ίδια ζώνη χρησιμοποιείται το προληπτικό πρωτόκολλο με τον ήδη αποθηκευμένο πίνακα δρομολόγησης και παρατηρείται η άμεση παράδοση του.

Σε αντίθετη περίπτωση, εφαρμόζεται το αντιδραστικό πρωτόκολλο και ελέγχεται σταδιακά κάθε ζώνη για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά του πακέτου.

- **Αλγόριθμος Προσωρινής Δρομολόγησης(TORA)(Temporary Ordered Routing Algorithm):** Ο αλγόριθμος προσωρινής δρομολόγησης έχει χαρακτηριστεί ως ένα πρωτόκολλο κατά παραγγελία, όπου έχει κατασκευαστεί για να είναι αποδοτικό στην



αλλαγές τοπολογίας και να μπορεί να αντιμετωπίζει τους διαχωρισμούς του δικτύου. [101]

Είναι ένας διανεμημένος αλγόριθμος δρομολόγησης για κινητά ασύρματα δίκτυα μεγάλης κλίμακας και με δυναμικό περιβάλλον. [102]

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν εφαρμόζει την λύση της συντομότερης διαδρομής, αντιθέτως κατασκευάζει και διατηρεί ένα κατευθυνόμενο ακρυλικό γράφημα βασισμένο στο σημείο προορισμού. Κάθε κόμβος έχει και διαφορετικό ύψος, με αποτέλεσμα η πληροφορία να ρέει σαν ρευστό προς τα κάτω μέχρι τον προορισμό. Με αυτήν την τακτική αποφεύγονται βρόχοι καθώς η πληροφορία δεν μπορεί να ρέει σε αντίθετη κατεύθυνση. [101]

Στην περίπτωση δρομολόγησης ΜΕΑ, κάθε ΜΕΑ έχει διαφορετική τιμή ύψους με αποτέλεσμα να μετακινείται η πληροφορία από το ΜΕΑ με την μεγαλύτερη τιμή ύψους προς σε αυτήν με την μικρότερη. [84]

### 3.6.5 Γεωγραφικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Geographic Routing Protocols)

Τα πρωτόκολλα γεωγραφικής δρομολόγησης βασίζονται στην γεωγραφική τοποθεσία όπου ανακτάται για κάθε ΜΕΑ από εξαρτήματα εντοπισμού όπως είναι τα GPS. [99] Συγκεκριμένα το ΜΕΑ αποστολέας γνωρίζει την ακριβή θέση του ΜΕΑ αποδέκτης, με αποτέλεσμα να μην είναι απαραίτητη η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής, εξοικονομώντας πόρους και χρόνο από το δίκτυο. [84]

Το παρών πρωτόκολλο χρησιμοποιείται συνήθως σε υψηλής δυναμικότητας δίκτυα, όπως ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για ΜΕΑ. Εξαιτίας της μεγάλης κινητικότητας των κόμβων σε ένα τέτοιο δίκτυο, εντοπίζονται δυσκολίες σχετικά με την διατήρηση πινάκων δρομολόγησης. Επιπλέον, η συνεχόμενη αποστολή πακέτων όπου χρησιμοποιείται συχνά για τον εντοπισμό της διαδρομής στα κλασσικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, αυξάνουν την κατανάλωση πόρων του δικτύου και προκαλούν την συμφόρηση του. [71]

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία [103] παρατηρούνται τα δύο παρακάτω παραδείγματα:

- **Άπληστη Περιμετρική Δρομολόγηση χωρίς Κατάσταση (Greedy Perimeter Stateless Routing)(GPSR):** Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιήθηκε αρχικά για κινητά (ad hoc) δίκτυα κατά απαίτηση. Όμως αναλύοντας την διεθνή βιβλιογραφία είναι ένα αξιοσημείωτο πρωτόκολλο για να εφαρμοστεί και σε σμήνη από ΜΕΑ. Με βάση μία σύγκριση που έγινε στο άρθρο [71], το συμπέρασμα ήταν ότι η απόδοση του

ήταν καλύτερη μεταξύ άλλων πρωτοκόλλων όπως αντιδραστικά ή προληπτικά. Τέλος, ενώ οι επιδόσεις ήταν καλές για ένα πυκνό σμήνος από ΜΕΑ, υπάρχει το περιθώριο βελτίωσης. [71]

Επιπλέον, στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν μερικές παραλλαγές του συγκεκριμένου πρωτόκολλου, όπως η Γεωγραφική Δρομολόγηση Καταμερισμού Φορτίου. Η Γεωγραφική Δρομολόγηση Καταμερισμού Φορτίου (Geographic Load Share Routing - GLSR) είναι μία επέκταση της Άπληστης Περιμετρικής Δρομολόγησης χωρίς Κατάσταση, όπου καθιστά την διαδρομή πιο αξιόπιστη, μέσω της επιλογής του καταλληλότερου επόμενου σημείου μεταξύ του κόμβου πηγής και του κόμβου προορισμού. [71]

### 3.6.6 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Ευφυίας Σμήνους (Swarm Intelligence Routing Protocols)

Το πρώτο πρωτόκολλο ευφυίας σμήνους δημιουργήθηκε την δεκαετία του 90' και ήταν ειδικά σχεδιασμένο για ενσύρματα δίκτυα. [104]

Είναι ένα σύστημα που έχει την δυνατότητα να αυτό-διοργανώνεται και είναι πολυπαραγοντικό (multi-agent). Επίσης, είναι εμπνευσμένο από την λειτουργία ενός σμήνους, οπότε αντιγράφει συμπεριφορές που συναντιούνται στην φύση όπως αποικίες μυρμηγκιών, μελισσών, ή και ψαριών. [71]

Οι κοινωνίες από τα έντομα, πτηνά, ψάρια και λοιπά ζώα που βρίσκονται σε αποικίες στην φύση δεν διαθέτουν οργανωτική δομή αλλά εξαιτίας συγκεκριμένων κανόνων συμπεριφοράς και χαρακτηριστικών όπως ευελιξία και ανθεκτικότητα καταλήγουν στο να συνεργάζονται επιτυχώς. [104]

Η αυτό-διοργάνωση του σμήνους βασίζεται στην επικοινωνιακή κριτική, αρνητική κριτική, στις πολλαπλές αλληλεπιδράσεις, σε έναν μηχανισμό έμμεσου συντονισμού (stigmergy), και στην τυχειότητα. Αυτά τα πέντε στοιχεία σύμφωνα με την εργασία [104] είναι ο λόγος συντονισμού ενός σμήνους.

Σύμφωνα με την εργασία [104], τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ευφυίας σμήνους χωρίζονται σε 4 κατηγορίες.

- **Δεδομενοκεντρικό πρωτόκολλο δρομολόγησης σμήνους (DCRP)(Swarm-based data centric routing protocols):** Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν πρωτόκολλα όπως το πρωτόκολλο Κατευθυνόμενης Διάχυσης με Ενεργειακή Επίγνωση βάσει της

Φερομόνης (Pheromone-based Energy Aware Directed Diffusion) και το Περιεκτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης (Comprehensive Routing Protocol), με αξιοσημείωτο στοιχείο ότι και τα δύο βασίζονται στην βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization). Επίσης, αυτό το πρωτόκολλο δεν βασίζεται σε ένα καθολικό μοναδικό αναγνωριστικό αλλά αντιθέτως σε μηχανισμούς βασισμένους σε χαρακτηριστικά και ιδιότητες. [104]

- **Πρωτόκολλα δρομολόγησης σμήνους βασισμένα στην επίγνωση τοποθεσίας (LARP) (Swarm-based location aware routing protocols):** Εδώ παρατηρείται ότι χρησιμοποιείται η ευφύια της θέσης του κόμβου για να αναπτυχθεί μία ενεργειακά αποδοτική δρομολόγηση. Ένα τέτοιο πρωτόκολλο είναι η Δρομολόγηση μυρμηγκιών με γνώμονα τον αισθητήρα και το κόστος ( Sensor driven and Cost aware ant routing). [104]
- **Ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης σμήνους (HRP) (Swarm-based hierarchical routing protocols):** Στην συγκεκριμένη κατηγορία πρωτοκόλλων, παρατηρείται ότι το δίκτυο τεμαχίζεται σε μικρότερες ομάδες και η μία από αυτές έχει την λειτουργία του επικεφαλής κόμβου. Σύμφωνα με την εργασία [104] υπάρχουν πολλά ιεραρχικά πρωτόκολλα σμήνους, όπως τα
- **Πρωτόκολλα δρομολόγησης βασισμένα στην ροή δικτύου και στην ποιότητα των υπηρεσιών (Based network flow and QoS aware routing protocols) (Quality of Services):** Στην τελευταία κατηγορία παρατηρούνται πρωτόκολλα τα οποία η διαδικασία δρομολόγησης γίνεται με βάση διάφορα στοιχεία της ποιότητας των υπηρεσιών όπως η καθυστέρηση ή και με βάση το πρόβλημα ροής του δικτύου. [104]

Σύμφωνα με την εργασία [71] στα σμήνη ΜΕΑ στην κατηγορία των πρωτοκόλλων δρομολόγησης ευφυούς σμήνους δημιουργούνται μερικά προβλήματα όπως είναι το εύρος επικοινωνίας, η επεκτασιμότητα, η ασφάλεια, και η διαρροή πληροφοριών. Για να λυθούν τα παραπάνω προβλήματα προτείνονται πρωτόκολλα όπως ο Βελτιωμένος Αλγόριθμος Τεχνητού Σμήνους Ψαριών Improved Artificial Fish-Swarm Algorithm (IAFSA), Δίκτυο Ad hoc με Βάση τον Αλγόριθμο Αποικίας Μελισσών Bee colony algorithm-based Ad hoc network (BeeAdhoc), και Βελτιστοποίηση με Βάση την Αποικία Μυρμηγκιών Δρομολόγησης με επίγνωση του Πολυμορφισμού Ant colony optimization-based Polymorphism-Aware Routing (APAR). Στον Πίνακα 6 παρατηρείται μία μικρή περιγραφή, όπως και τα πλεονεκτήματα κάθε πρωτοκόλλου δρομολόγησης ευφύιας σμήνους.

Πίνακας 6. Σύγκριση πρωτοκόλλων δρομολόγησης ευφυΐας σμήνους

Τύπος	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα
Swarm-based data centric routing protocols	Χρησιμοποιούν τεχνικές νοημοσύνης σμήνους για τη βελτιστοποίηση λειτουργιών επικεντρωμένων στα δεδομένα, όπως η συγκέντρωση δεδομένων, η δρομολόγηση και η διάδοση.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αποτελεσματική διάδοση και συγκέντρωση δεδομένων.</li> </ul>
Swarm-based location aware routing protocols	Αξιοποιούν τις πληροφορίες θέσης για να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις δρομολόγησης με βάση την εγγύτητα ή άλλες μετρικές που βασίζονται στην τοποθεσία.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρησιμοποιεί γεωγραφικές θέσεις για έξυπνες αποφάσεις δρομολόγησης</li> <li>Βελτιωμένη αποδοτικότητα δρομολόγησης και μειωμένη επιβάρυνση επικοινωνίας.</li> </ul>
Swarm-based hierarchical routing protocols	Διαχωρίζουν το δίκτυο σε πολλαπλά επίπεδα ή συστάδες για να διευκολύνουν την αποτελεσματική δρομολόγηση και τη διαχείριση των πόρων.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Επιτρέπει την επεκτασιμότητα, την ανοχή σφαλμάτων και την εξισορρόπηση φορτίου.</li> <li>Αποτελεσματική διαχείριση πόρων σε ιεραρχικά επίπεδα ή clusters.</li> </ul>
Based network flow and QoS aware routing protocols	Λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση, η αξιοπιστία και η ασφάλεια κατά τη λήψη αποφάσεων δρομολόγησης.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Βελτιστοποιεί τη χρήση των πόρων, ικανοποιώντας παράλληλα τις απαιτήσεις QoS.</li> <li>Δυναμική προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου και στις ανάγκες QoS.</li> </ul>

### 3.6.7 Σύνοψη Ενότητας

Συνοψίζοντας τα παραπάνω δεδομένα παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας. Με αυτόν το συγκριτικό πίνακα δύναται να εξαχθούν κάποια αποτελέσματα σχετικά με την χρήση κάθε είδους πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

Πιο αναλυτικά:

- Τα πρωτόκολλα στατικής δρομολόγησης δεν είναι κατάλληλα για δίκτυα δυναμικής τοπολογίας όπως το δίκτυο Ad hoc σμήνους ΜΕΑ, λόγω των σταθερών πινάκων δρομολόγησης και μικρής επεκτασιμότητας.
- Τα προληπτικά πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν μεγάλη επιβάρυνση για τη διατήρηση των πινάκων ενημερωμένων. Επιπλέον, η αργή αντίδρασή τους στις αλλαγές τοπολογίας οδηγεί σε καθυστερήσεις.
- Σχετικά με τα αντιδραστικά πρωτόκολλα δρομολόγησης το κύριο μειονέκτημα είναι η υψηλή καθυστέρηση στην εύρεση δρομολόγησης. Η δρομολόγηση πηγής δεν κλιμακώνεται καλά, για μεγάλα δίκτυα τα υπολογιστικά έξοδα (overhead costs) μπορεί να αυξηθούν λόγω του μεγάλου μεγέθους των επικεφαλίδων.
- Τα υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης συνδυάζουν τα προληπτικά και τα αντιδραστικά πρωτόκολλα για να ξεπεράσουν τους περιορισμούς. Ωστόσο, στα δίκτυα ΜΕΑ οι δυναμικοί κόμβοι και οι συμπεριφορές των συνδέσεων καθιστούν δύσκολη την απόκτηση και τη διατήρηση πληροφοριών.
- Τα γεωγραφικά/θέσης πρωτόκολλα δρομολόγησης προσθέτουν το γεωγραφικό χαρακτηριστικό θέσης στους κόμβους ΜΕΑ. Αυτό το καθιστά εξαιρετικό για την αντιμετώπιση της υψηλής κινητικότητας των κόμβων και της συχνής αλλαγής της τοπολογίας στα δίκτυα ΜΕΑ.
- Όσον αφορά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης με βάση την ευφυΐα σμήνους, δημιουργήθηκε ο πίνακας 6 που αναλύει τις 4 υποκατηγορίες με τα θετικά της κάθε κατηγορίας.
- Στον πίνακα 7 παρατηρείται η σύγκριση όλων των παραπάνω πρωτοκόλλων δρομολόγησης.

Πίνακας 7. Σύγκριση πρωτόκολλων δρομολόγησης - Πηγή[71]

Πρωτόκολλο Δρομολόγησης	Είδος πρωτοκόλλου	Δυναμική Τοπολογία	Επεκτασιμότητα	Καθυστέρηση Παράδοσης Πακέτων	Overhead cost	Κύκλοι δρομολόγησης	Απώλεια πακέτων	Αδυναμία σύνδεσης	Υψηλό Εύρος Ζώνης	Υπηρεσίες Εντοπισμού
LCAD	Στατικό	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x
DCR	Στατικό	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x
MLHR	Στατικό	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
OLSR	Προληπτικό	x	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	x
DSDV	Προληπτικό	x	✓	x	x	✓	✓	x	✓	x
BATMAN	Προληπτικό	x	✓	x	x	✓	✓	x	✓	x
DSR	Αντιδραστικό	✓	x	x	✓	x	x	✓	✓	x
AODV	Αντιδραστικό	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	x
ZRP	Υβριδικό	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x
TORA	Υβριδικό	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x
GPSR	Γεωγραφικό	✓	✓	x	x	x	✓	x	x	✓

GLSR	Γεωγραφικό	✓	✓	x	x	x	✓	x	x	✓
IAFSA	Ευφυΐας	✓	✓	x	x	x	✓	x	x	✓
BeeAdhoc	Ευφυΐας	✓	✓	x	x	x	✓	x	x	✓
APAR	Ευφυΐας	✓	✓	x	x	x	✓	x	x	✓

### **3.7 Σχεδίαση Διαδρομής Με Δυναμικό Προγραμματισμό (Dynamic Programming Path Planning)**

Ο δυναμικός προγραμματισμός (dynamic programming) σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, χρησιμοποιείται συχνά ως μέθοδος εύρεσης πλάνου διαδρομής για τα ΜΕΑ. Ο σκοπός του είναι η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής, δηλαδή να μειωθεί η πιθανότητα σύγκρουσης και να ευρεθεί η βέλτιστη σε χρόνο και σε κατανάλωση διαδρομή. [105]

Σύμφωνα με την εργασία [106], είναι μια τεχνική προγραμματισμού η οποία αναλαμβάνει να λύσει ένα αλγοριθμικό πρόβλημα, τεμαχίζοντας το βασικό πρόβλημα σε υποπροβλήματα και έπειτα αναλύοντας τα, για την εύρεση της βέλτιστης γενικής λύσης του προβλήματος.

Πρώτος το εισήγαγε ο Bellman το 1962 [107] , όπου ανέπτυξε μία φόρμουλα με σκοπό την αντιμετώπιση του προβλήματος του μικροπωλητή (Travelling Salesman), με χρήση του δυναμικού προγραμματισμού.

Επίσης, το 2018 ο Paul Bouman [103] προσεγγίζει το ίδιο πρόβλημα με τον μικροπωλητή και τον δυναμικό προγραμματισμό, με την διαφορά ότι σχεδιάζει την διαδρομή της πτήσης ενός ΜΕΑ.

### **3.8 Σχεδίαση Διαδρομής Με Βάση Την Υπολογιστική Νοημοσύνη (Path Planning based on Computational Intelligence)**

Με βάση εκτεταμένες έρευνες και επιστημονικές αναφορές η υπολογιστική νοημοσύνη είναι ένα σύνολο τεχνικών για την αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων, βασισμένο σε μεθοδολογίες που εντοπίζονται στην φύση. Χρησιμοποιείται κυρίως σε προβλήματα όπου οι συμβατικές μέθοδοι και τα συμβατικά μαθηματικά μοντέλα δεν είναι ικανά για την λύση των προβλημάτων. [105]

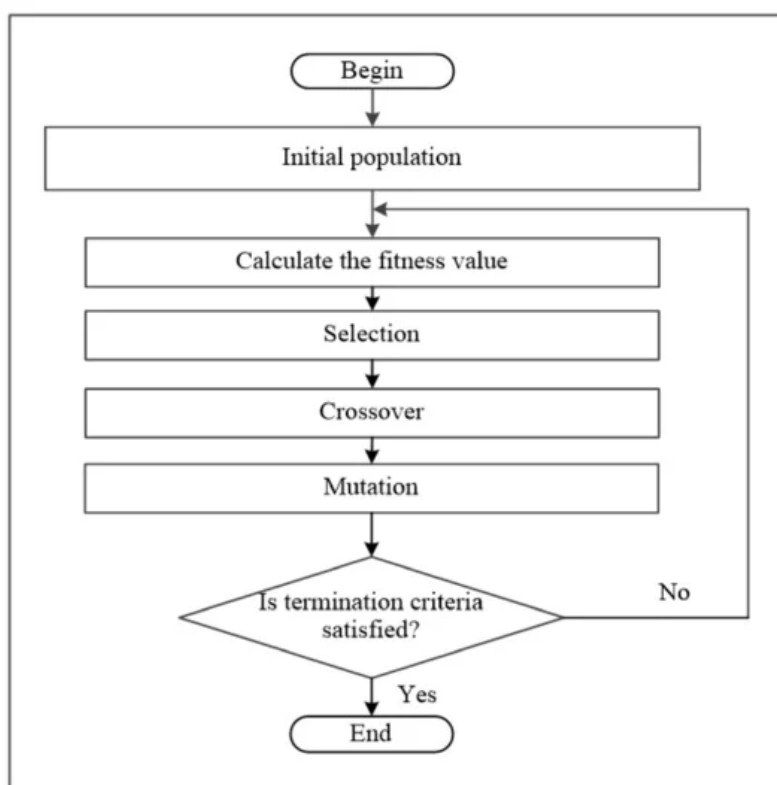
#### **3.8.1 Γενετικός Αλγόριθμος (Genetic Algorithm)(GA)**

Ο γενετικός αλγόριθμος (GA) είναι ένας τρόπος βελτιστοποίησης βασισμένο στην φυσική εξέλιξη και επιλογή, από την θεωρία του Δαρβίνου [108]. Ο GA είναι ένα σύνολο πιθανόν λύσεων σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Η εφαρμογή του GA στο σχεδιασμό διαδρομής γίνεται μέσω επιλογής, διασταύρωσης ή μετάλλαξης των πιθανών λύσεων του αλγόριθμου σε κάθε γενιά με σκοπό στην επιλογή της βέλτιστης διαδρομής, φτάνοντας στην τελευταία γενιά των λύσεων. [105]



Η διαδικασία του GA χωρίζεται σε 3 μηχανισμούς, οι οποίοι είναι η επιλογή, η διασταύρωση και η μετάλλαξη. Η επιλογή γίνεται όταν ο αλγόριθμος επιλέγει τις κατάλληλες υποψήφιας λύσεις και μεταφέρονται στο σύνολο των λύσεων της επόμενης γενιάς. Η τεχνική της διασταύρωσης συνδυάζει 2 υποψήφιας λύσεις και μεταφέρονται ως μία στην επόμενη γενιά. Τέλος, η τεχνική της μετάλλαξης μεταλλάζει μία υποψήφιας λύση .[109]

Επίσης, ο GA εξαιτίας των μεταλλάξεων και της ανταλλαγής λύσεων από γενιά σε γενιά σπάνια φτάνει σε τοπική βελτιστοποίηση (local optima) αλλά συνήθως καταλήγει σε συνολική βελτιστοποίηση (global optima) [105]



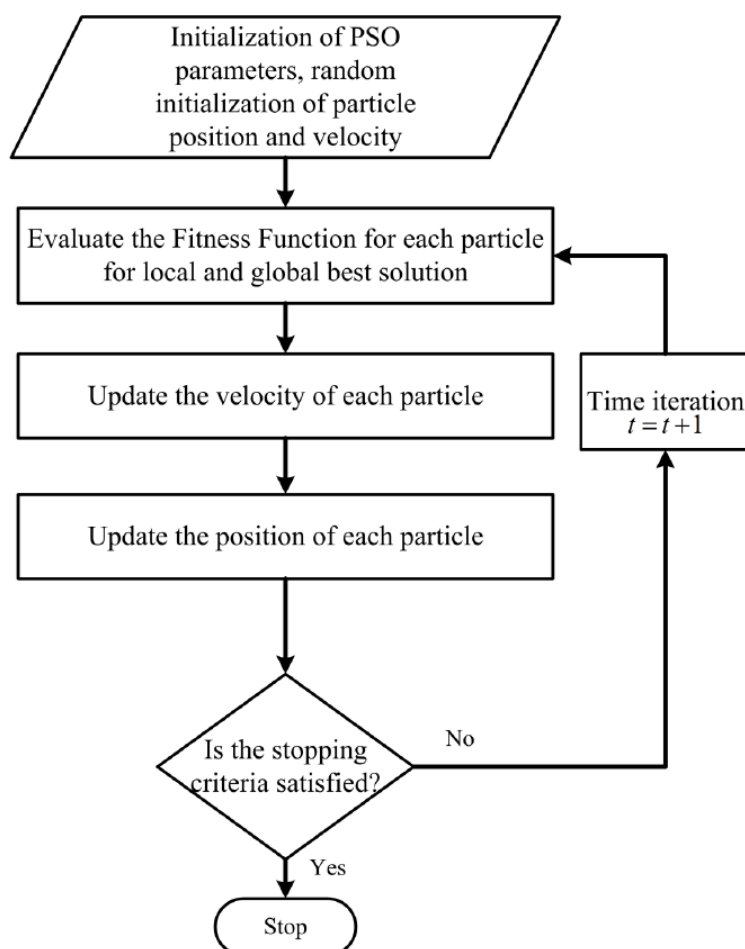
Εικόνα 18. Διάγραμμα ροής GA - Πηγή[110]

### 3.8.2 Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization) (PSO)

Η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (PSO) προτάθηκε από τον Κένεντι το 1995 και έχει βασιστεί σε κοινωνικές συμπεριφορές ζώων όπως πτηνών ή ψαριών, για παράδειγμα κατά την μετανάστευση [111]. Στην PSO τα σωματίδια μετακινούνται στον χώρο ερευνώντας την βέλτιστη λύση στο πρόβλημα μοιράζοντας μεταξύ τους την θέση, την κατεύθυνση και την ταχύτητα τους . [105] Στην PSO για την εύρεση της βέλτιστης λύσης, σε κάθε επανάληψη τα σωματίδια μετακινούνται στην προηγούμενη καλύτερη θέση, με αποτέλεσμα, συνολικά το

ΜΕΛΕΤΗ ΣΜΗΝΟΥΣ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ  
ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

σμήνος των σωματιδίων να μετακινείται προς την βέλτιστη θέση. [112] Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής, το οποίο επεξηγεί την διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης λύσης.[113] Το αρνητικό σε αυτήν την τεχνική είναι ότι είναι πιθανόν να παγιδευτεί σε μία τοπική βελτιστοποίηση και να μην ευρεθεί η συνολική βέλτιστη λύση. [114] Για την αποφυγή του παραπάνω προβλήματος υπάρχει η δυνατότητα συνεργασίας του PSO μαζί με γενετικό αλγόριθμο(GA). [105]



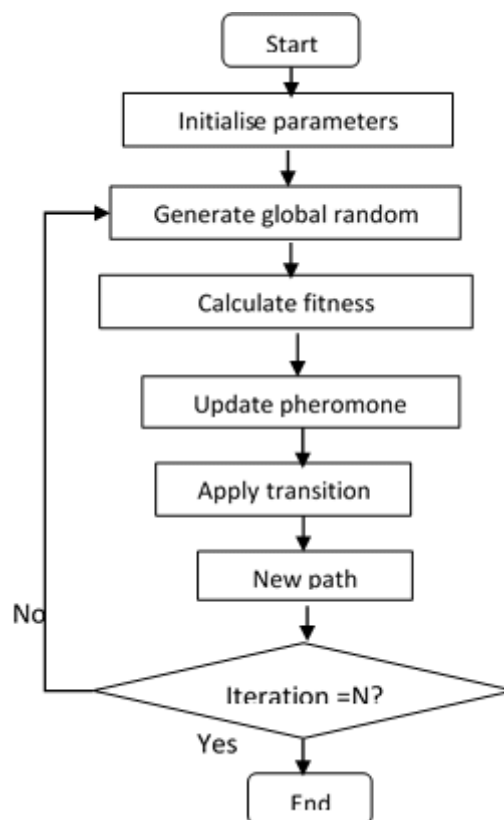
Εικόνα 19. Διάγραμμα ροής PSO - Πηγή[113]

### 3.8.3 Βελτιστοποίηση Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization) (ACO)

Η βελτιστοποίηση βασισμένη στις αποικίες μυρμηγκιών (ACO) εμπνεύστηκε από την παρατήρηση της κοινωνικής συμπεριφοράς των μυρμηγκιών. Τα μυρμήγκια κατά την διαδρομή τους αφήνουν φερομόνες για να μοιραστούν με τα υπόλοιπα μέλη της αποικίας τους, την βέλτιστη διαδρομή για την εύρεση φαγητού. [115] Το σκεπτικό πίσω από το ACO είναι ότι τα μέλη της αποικίας αφήνουν φερομόνες στον δρόμο τους, ως τρόπος έμμεσης

επικοινωνίας. Η διαδρομή ενισχύεται κάθε φορά που παραπάνω μέλη την χρησιμοποιούν, με σκοπό να μοιραστούν με την υπόλοιπη αποικία την σωστή διαδρομή.

Σε αυτήν την περίπτωση η τεχνική της ACO ξεκινάει με την αρχικοποίηση κάποιων βασικών παραμέτρων όπως αριθμό των μελών της αποικίας και παρατάσσει τυχαία τα μέλη στην περιοχή. Έπειτα υπολογίζει την κατάσταση όλων των μελών, στην περίπτωση μας των ΜΕΑ, και ανάλογα με την θέση, την κατεύθυνση και την ταχύτητα ανανεώνει την φερομόνη που αφήνει στο μονοπάτι του. Σε περίπτωση που είναι η βέλτιστη διαδρομή ενημερώνει την υπόλοιπη αποικία και ένα νέο μονοπάτι δημιουργείται, όπου θεωρείται το βέλτιστο για την εύρεση της λύσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 20. Σε περίπτωση που δεν είναι το καλύτερο μονοπάτι είτε είναι απλά τοπικό βέλτιστο, επαναλαμβάνεται από την αρχή αυτήν η διαδικασία. Το αρνητικό με την τεχνική ACO είναι η επιρρέπεια στο να πέσει σε τοπική βέλτιστη λύση και να χάσει την γενική βέλτιστη λύση, όπως και οι αργές ταχύτητες υπολογισμού, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση PSO. [105] Στα θετικά, υπάρχει η ευρωστία και η δυνατότητα να ερευνηθεί η ιδανική λύση, και ο εύκολος συνδυασμός της με άλλους ευρετικούς αλγόριθμους. [105] Παρακάτω παραθέτετε μία εικόνα με το διάγραμμα ροής του ACO:



Εικόνα 20. Διάγραμμα ροής αλγόριθμου ACO - Πηγή[116]

### **3.8.4 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) (ANN)**

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN) εμπνεύστηκαν από τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα και την λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου, διευκολύνοντας την αναγνώριση μοτίβων και λύση προβλημάτων από υπολογιστικά συστήματα. [105], [117]

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από ένα επίπεδο κόμβων, που με την σειρά του περιλαμβάνει 2 επίπεδα, αυτό της εισόδου και της εξόδου και κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από δύο τιμές, το βάρος και το όριο. Η λειτουργία των ANN εξαρτάται από αυτές τις τιμές, καθώς η τιμή εξόδου ενός κόμβου χρειάζεται να είναι μεγαλύτερη από αυτήν του ορίου, ώστε να ενεργοποιηθεί και τα δεδομένα να μετακινηθούν στο επόμενο επίπεδο. Σε διαφορετική περίπτωση δεν διαβιβάζονται δεδομένα στο επόμενο επίπεδο του δικτύου. [117]

Στον σχεδιασμό διαδρομής έχουμε δύο βασικούς τρόπους εφαρμογής των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Αρχικά, υπάρχει η μέθοδος της άμεσης βελτιστοποίησης τροχιάς που χρησιμοποιεί προσεγγιστικά νευρωνικά δίκτυα για την δυναμική και τις αντικειμενικές συναρτήσεις. [118] Κατά την δεύτερη μέθοδο της βελτιστοποίησης τροχιάς των νευρωνικών δικτύων, οι υπολογιστικές απαιτήσεις μειώνονται και παρέχεται γρήγορος υπολογιστικός αναλυτικός υπολογισμός. [119]

Ο μηχανισμός των ANN μειώνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα και διαθέτει γρήγορες υπολογιστικές δυνατότητες. Επίσης είναι εφικτή η συνεργασία με άλλους αλγόριθμους για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του. [105]

### **3.8.5 Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic) (FL)**

Η ασαφής λογική (FL) αντιμετωπίζει αβέβαια προβλήματα στα οποία δεν υπάρχει η γνώση για το απολύτως σωστό ή απολύτως λανθασμένο, καθώς μιμείται την λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Για να αντιμετωπιστούν τέτοιου είδους προβλήματα, υιοθετείται μία λογική με πολλές τιμές όπου η αλήθεια βρίσκεται ανάμεσα από το απόλυτα αληθές έως και στο απόλυτα ψευδές. [105]

Η FL δεν χρησιμοποιείται εκτεταμένα στον σχεδιασμό διαδρομής αυτούσια, αντιθέτως συναντιέται συχνά σε συνδυασμό με άλλους αλγόριθμους. Στο επιστημονικό άρθρο [120] εντοπίζεται ο συνδυασμός του γενετικού αλγόριθμου μαζί με την ασαφή λογική για την δημιουργία ενός σχεδίου διαδρομής με σκοπό την αποφυγή εμποδίων μίας δίτροχης

αυτοματοποιημένης συσκευής (robot) σε εσωτερικό χώρο. Επίσης στην επιστημονική εργασία [121] τεκμηριώνεται ο συνδυασμός της ασαφής λογικής με την βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών με σκοπό την βέλτιστη διαδρομή ενός ΜΕΑ, βασισμένο στα κριτήρια της απόστασης, χρόνου, κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπής ρύπων. Τέλος, στο [122] περιγράφεται η ανάπτυξη ενός ελεγκτή με βάση την ασαφή λογική και την προσομοιωμένη ανόπτηση για αυτόνομο σχεδιασμό διαδρομής.

### 3.8.6 Σύνοψη Ενότητας

Σε αυτήν την ενότητα αναλύονται μερικοί από τους πιο διαδεδομένους αλγόριθμους και τεχνικές υπολογιστικής νοημοσύνης για την σχεδίαση διαδρομής ενός σμήνους από ΜΕΑ. Παρακάτω έχει δημιουργηθεί ο Πίνακας 8 όπου αναφέρει το είδος της τεχνικής, από τις τεχνικές, εξελικτικής βελτιστοποίησης, ευφυίας σμήνους, μηχανικής μάθησης και μαθηματικό μοντέλο και όπως επίσης αναφέρονται και τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις της κάθε τεχνικής.

Στον γενετικό αλγόριθμο, που είναι μία τεχνική εξελικτικής βελτιστοποίησης παρατηρείται η αποτελεσματικότητα για συνολική βελτιστοποίηση, όπως και η σταθερότητα απέναντι σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Από την άλλη πλευρά, η μεγάλη κατανάλωση υπολογιστικών πόρων μαζί με την αδυναμία εύρεση βέλτιστης λύσης σε κάποιες περιπτώσεις, σημειώνονται στα μειονεκτήματα του.

Στον αλγόριθμο αποικίας μυρμηγκιών, ο οποίος είναι ένας αλγόριθμος ευφυίας σμήνους, παρατηρούνται η αποτελεσματικότητα για διακριτά προβλήματα βελτιστοποίησης, όπως και η αντοχή προς τις θορυβώδεις συνθήκες. Αντιθέτως, στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται η μεγάλη κατανάλωση υπολογιστικών πόρων, μαζί με την εξάρτηση από τους αρχικούς παραμέτρους στον αλγόριθμο.

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων ανήκει και αυτός στην κατηγορία της ευφυίας σμήνους και παρατηρούνται κάποια πλεονεκτήματα όπως ότι είναι απλό στην εφαρμογή του, επιτυγχάνει γρήγορη σύγκλιση στην βελτιστοποίηση και είναι κατάλληλο για συνεχή προβλήματα βελτιστοποίησης. Με τα μειονεκτήματα να είναι η σύγκλιση σε μη βέλτιστες λύσεις (local optima), περιορισμένη εφαρμογή για διακριτά προβλήματα βελτιστοποίησης.

Στην κατηγορία της μηχανικής μάθησης ανήκει η τεχνική τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, η οποία είναι κατάλληλη για επίλυση σύνθετων, μη γραμμικών προβλημάτων, όπως και για τον

χειρισμό μεγάλου όγκου δεδομένων. Εκεί που υστερεί είναι αυξημένη κατανάλωση υπολογιστικών πόρων και ότι είναι επιρρεπής σε υπερπροσαρμογή (overfitting).

Τέλος, η ασαφής λογική ανήκει στην κατηγορία των μαθηματικών μοντέλων και είναι κατάλληλη στον χειρισμό προβλημάτων αβεβαιότητας και ανακρίβειας, όπως και για την εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Τα αδύναμα σημεία είναι βασίζεται στην ποιότητα των δεδομένων εισόδου, με αποτέλεσμα να χρειάζεται μεγάλο όγκο δεδομένων για να είναι αξιόπιστη, και η ανάγκη ειδικών γνώσεων.

Για την ανάπτυξη του προσομοιωτή στο παρακάτω κεφάλαιο, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η τεχνική PSO, καθώς επιτρέπει τον αποτελεσματικό συντονισμό και τη συνεργασία μεταξύ των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στο σμήνος. Επίσης, επιτρέπει στο σμήνος να ανταποκρίνεται δυναμικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και να κάνει τις απαραίτητες προσαρμογές, όπως η προσαρμογή των διαδρομών πτήσης ή η ανακατανομή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε διαφορετικές περιοχές. Επιπλέον, στη γεωργία ακριβείας, μπορεί να χρειαστεί να καλυφθούν αποτελεσματικά και ταυτόχρονα μεγάλες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης. Το PSO μπορεί να χειριστεί το συντονισμό και τη βελτιστοποίηση μεγάλου αριθμού μη επανδρωμένων αεροσκαφών, εξασφαλίζοντας αποτελεσματική κάλυψη. Τέλος, έχει εύκολη εφαρμογή καθώς δεν απαιτεί πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα ή εκτεταμένους υπολογιστικούς πόρους. Αυτό την καθιστά κατάλληλη για εφαρμογές του πραγματικού κόσμου, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας ακριβείας.

Αξιοποιώντας αυτές τις δυνατότητες, ο PSO μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της παρακολούθησης των καλλιεργειών, της εκτίμησης της απόδοσης και της διαχείρισης των πόρων στη γεωργία ακριβείας, οδηγώντας σε βελτιωμένη παραγωγικότητα και βιωσιμότητα.

Πίνακας 8. Συγκριτικός πίνακας αλγορίθμων υπολογιστικής νοημοσύνης

Αλγόριθμος	Είδος	Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις
Γενετικός Αλγόριθμος (GA)	Εξελικτική βελτιστοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποτελεσματική για συνολική βελτιστοποίηση</li> <li>• Σταθερή έναντι θορυβωδών περιβαλλόντων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κατανάλωση υπολογιστικών πόρων</li> <li>• Αδυναμία εύρεσης βέλτιστης λύσης</li> </ul>
Αποικίας Μυρμηγκιών (ACO)	Ευφυΐα σμήνους	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποτελεσματική για διακριτά προβλήματα βελτιστοποίησης</li> <li>• Ανθεκτική έναντι θορυβωδών συνθηκών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κατανάλωση υπολογιστικών πόρων</li> <li>• Εξάρτηση από την επιλογή των παραμέτρων</li> </ul>
Σμήνος Σωματιδίων (PSO)	Ευφυΐα σμήνους	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απλό στην εφαρμογή</li> <li>• Γρήγορη σύγκλιση στην βελτιστοποίηση</li> <li>• Καλό για συνεχή προβλήματα βελτιστοποίησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σύγκλιση σε μη βέλτιστες λύσεις</li> <li>• Περιορισμένη εφαρμογή για διακριτά προβλήματα βελτιστοποίησης</li> </ul>
Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN)	Μηχανική Μάθηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επίλυση σύνθετων, μη γραμμικών προβλημάτων</li> <li>• Χειρισμός μεγάλου όγκου δεδομένων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επιρρεπής σε υπερπροσαρμογή (overfitting)</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κατανάλωση υπολογιστικών πόρων</li> </ul>
Ασαφής Λογική (FL)	Μαθηματικό μοντέλο	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χειρισμός προβλημάτων αβεβαιότητας και ανακρίβειας</li> <li>• Εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Βασίζεται στην ποιότητα των δεδομένων εισόδου</li> <li>• Ανάγκη ειδικών γνώσεων</li> </ul>



## 3.9 Κατηγοριοποίηση Αλγορίθμων Υπολογιστικής Νοημοσύνης

Με βάση την διεθνή βιβλιογραφία οι δύο βασικές κατηγορίες κατηγοριοποίησης είναι με βάση τον χρόνο και με βάση τον χώρο. [105]

Η κατηγορία με βάση τον χρόνο διαθέτει 2 υποκατηγορίες με βάση την συνδεσιμότητα του αλγορίθμου στο δίκτυο, οπότε υπάρχει η κατηγορία Εντός Σύνδεσης και η κατηγορία Εκτός Σύνδεσης.

Η κατηγορία με βάση τον χώρο διαθέτει 2 υποκατηγορίες με βάση την διάσταση υπολογισμού του σχεδιασμού διαδρομής. Αυτές οι υποκατηγορίες είναι η Δισδιάστατη και η Τρισδιάστατη.

### 3.9.1 Κατηγοριοποίηση με Βάση τον Χρόνο (Time Classification)

Όπως προαναφέρθηκε, η κατηγοριοποίηση με βάση τον χρόνο έχει να κάνει με την κατάσταση σύνδεσης του σχεδιασμού διαδρομής σε εντός και εκτός σύνδεσης. [105]

Στην κατάσταση Εντός Σύνδεσης, δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού διαδρομής σε πραγματικό χρόνο, όπου εντοπίζοντας αλλαγές στο περιβάλλον και αντιδρώντας σε αυτές για την βέλτιστη διαδρομή και αποφυγή ατυχημάτων. [105]

Αντίθετα, στην κατάσταση Εκτός Σύνδεσης, οι πληροφορίες σχετικά με την διαδρομή δίνονται εκ των προτέρων και ακολουθούνται χωρίς την δυνατότητα παρέμβασης ή αλλαγής στο πλάνο. [105]

- **Κατάσταση Εντός Σύνδεσης(online):** Ο σχεδιασμός διαδρομής εντός σύνδεσης είναι ένας δυναμικός προγραμματισμός όπου έχει σαν αποτέλεσμα την εφαρμογή ευφυούς πτήσης. Το βασικό προνόμιο του συγκεκριμένου σχεδιασμού διαδρομής είναι η ικανότητα να αντιμετωπίζει μη αναμενόμενα εμπόδια και να μειώνεται η πιθανότητα αποτυχίας της πτήσης από εξωγενείς παράγοντες. Είναι ένας αποδοτικός ακριβής και εύελικτος τρόπος. [105]
- **Κατάσταση Εκτός Σύνδεσης(offline):** Στον σχεδιασμό διαδρομής εκτός σύνδεσης είναι ένα συνηθισμένο πρόβλημα όπου συλλέγονται πληροφορίες και μεταβλητές χρήσιμες για την διαδρομή όπως εμπόδια, ταχύτητα, επιτάχυνση, κατανάλωση καυσίμων με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής. [105]

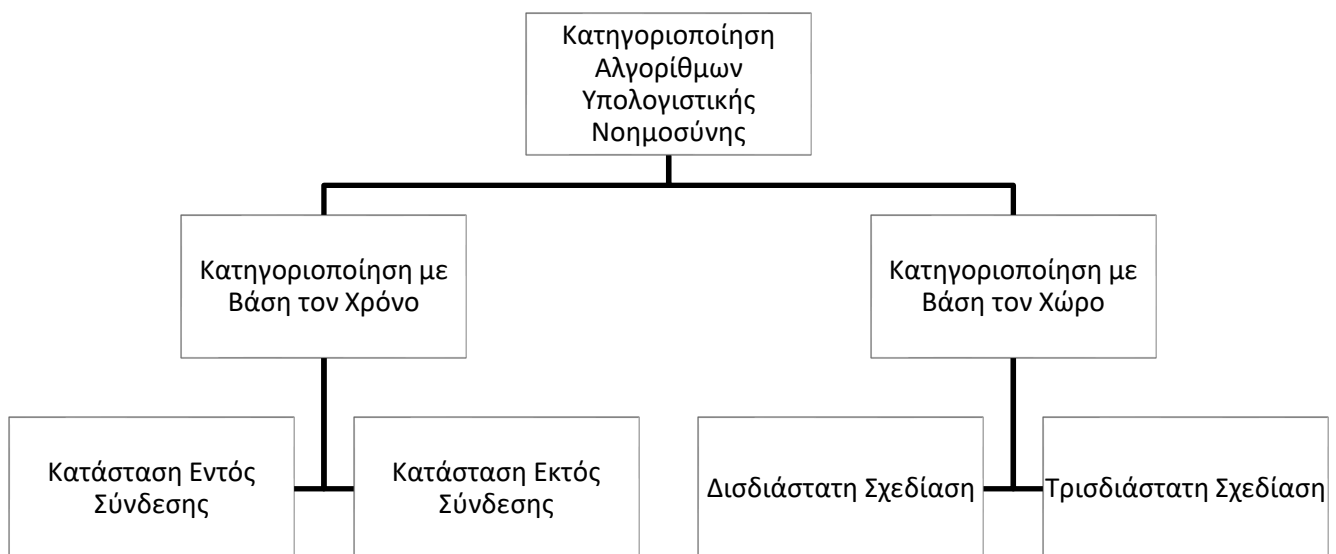
### 3.9.2 Κατηγοριοποίηση με Βάση τον Χώρο (Space Classification)

Οι 2 κατηγορίες με βάση τον χώρο είναι η δισδιάστατη (2D) και η τρισδιάστατη (3D). Ο σχεδιασμός διαδρομής σε δισδιάστατο χώρο μπορεί να σχεδιάσει την διαδρομή μόνο σε δύο διαστάσεις, ενώ αντίθετα σε τρισδιάστατο χώρο είναι εφικτός ο σχεδιασμός σε τρεις διαστάσεις. [105]

- **Δισδιάστατη Σχεδίαση:** Οι κλασικοί μέθοδοι σχεδίασης διαδρομής γίνονται σε δισδιάστατο χώρο, οπότε η μεταβλητή του ύψους θεωρείται σταθερή και δεν αποτελεί μέρος της λύσης του προβλήματος υπολογισμού. [105]
- **Τρισδιάστατη Σχεδίαση:** Στην τρισδιάστατη σχεδίαση λαμβάνεται υπόψιν και το ύψος πτήσης του ΜΕΑ, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πιο σύνθετα προβλήματα κατά την σχεδίαση της διαδρομής. Όμως, με αυτόν τον τρόπο προσφέρεται μεγαλύτερη ευελιξία και παραπάνω δυνατότητες στην διαδρομή, κάτι που απαιτείται για πιο σύνθετες χρήσεις. Για να λυθούν οι παραπάνω προκλήσεις πλέον χρησιμοποιούνται τεχνικές μηχανικές μάθησης και βαθιάς μάθησης για τον επιτυχή σχεδιασμό της διαδρομής με σκοπό την ασφαλή πτήση και αποφυγή εμποδίων. [105]

### 3.9.2 Σύνοψη Ενότητας

Στην παραπάνω ενότητα κατηγοριοποιούνται οι αλγόριθμοι υπολογιστικής νοημοσύνης με βάση 2 κριτήρια. Ανάλογα με το αν ο σχεδιασμός διαδρομής γίνεται σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή το σμήνος είναι εντός σύνδεσης κατά την διάρκεια της πτήσης, και με το αν είναι εκτός σύνδεσης, δηλαδή το σμήνος από πριν έχει μία σταθερή διαδρομή. Επίσης, η διαδρομή μπορεί να έχει σχεδιαστεί σε δισδιάστατο χώρο, κάτι που είναι πιο εύκολο και απαιτεί λιγότερη πολυπλοκότητα και αντίθετα, σε τρισδιάστατο χώρο όπου διαθέτει μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά αυξάνει την πολυπλοκότητα της πτήσης. Στην Εικόνα 21 έχει σχεδιαστεί ένα οργανόγραμμα για την κατηγοριοποίηση τους.



Εικόνα 21. Οργανόγραμμα για την κατηγοριοποίηση των αλγορίθμων

# Κεφάλαιο 4: Υλοποίηση Προσομοιωτή

---

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η επιλογή και η λειτουργία των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για το πρακτικό κομμάτι της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα γίνει η παρουσίαση του προσομοιωτή που αναπτύχθηκε, όπως θα γίνει και η εκτεταμένη ανάλυση του κώδικα που αναπτύχθηκε και του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε.

## 4.1 Εργαλεία

Για την δημιουργία του προσομοιωτή χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία Python 3, Visual Studio Code και κάποιες βιβλιοθήκες αναπτυγμένες σε Python. Παρακάτω αναλύονται εκτεταμένως.

### 4.1.1 Python 3.10

Η Python είναι μια υψηλού επιπέδου, διερμηνευόμενη γλώσσα προγραμματισμού που δίνει έμφαση στην αναγνωσιμότητα και την απλότητα του κώδικα.[123]

Δημιουργήθηκε από τον Guido van Rossum και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1991.[124]

Η σχεδιαστική φιλοσοφία της Python δίνει έμφαση στον σαφή και ευανάγνωστο κώδικα, καθιστώντας τον εύκολο στην κατανόηση και τη συγγραφή, γεγονός που έχει συμβάλει στη δημοτικότητά της μεταξύ των προγραμματιστών.

Ακολουθούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες της Python:

- **Αναγνωσιμότητα:** Η Python δίνει έμφαση σε μια καθαρή και ευανάγνωστη σύνταξη, χρησιμοποιώντας εσοχές και κενά διαστήματα για να οριοθετεί τα μπλοκ κώδικα, αντί για αγκύλες ή λέξεις-κλειδιά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κώδικας να είναι πιο φυσικός και ευκολότερα κατανοητός.
- **Ερμηνεία και διαδραστικότητα:** Η Python είναι μια διερμηνευόμενη γλώσσα, που σημαίνει ότι ο κώδικας εκτελείται γραμμή προς γραμμή χωρίς την ανάγκη ρητής μεταγλώττισης. Υποστηρίζει επίσης διαδραστική λειτουργία, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να πειραματιστούν και να εκτελέσουν κώδικα διαδραστικά χρησιμοποιώντας τον διερμηνέα της Python ή τρίτα προγράμματα.
- **Πολυπαραδειγματική:** Η Python υποστηρίζει πολλαπλά παραδείγματα προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων του διαδικαστικού, του αντικειμενοστραφούς και του λειτουργικού προγραμματισμού. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους προγραμματιστές να επιλέγουν την πιο κατάλληλη προσέγγιση για τα έργα τους.

- **Μεγάλη τυπική βιβλιοθήκη:** Η Python συνοδεύεται από μια ολοκληρωμένη τυποποιημένη βιβλιοθήκη που παρέχει ενότητες για ένα ευρύ φάσμα εργασιών, όπως είσοδος/έξοδος αρχείων, δικτύωση, χειρισμός συμβολοσειρών, σειριοποίηση δεδομένων και πολλά άλλα. Αυτή η εκτεταμένη βιβλιοθήκη μειώνει την ανάγκη για εξωτερικές εξαρτήσεις σε πολλές περιπτώσεις.
- **Βιβλιοθήκες τρίτων κατασκευαστών:** Η Python διαθέτει ένα ζωντανό και εκτεταμένο οικοσύστημα βιβλιοθηκών και πλαισίων τρίτων κατασκευαστών. Αυτές οι βιβλιοθήκες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως η ανάπτυξη ιστοσελίδων, η επιστημονική πληροφορική, η μηχανική μάθηση, η ανάλυση δεδομένων και πολλά άλλα. Στις δημοφιλείς βιβλιοθήκες περιλαμβάνονται οι NumPy, Pandas, Django, Flask, TensorFlow και PyTorch.
- **Συμβατότητα σε πολλαπλές πλατφόρμες:** Η Python είναι διαθέσιμη σε διάφορες πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των Windows, macOS και Linux, καθιστώντας την εξαιρετικά φορητή. Ο κώδικας Python που έχει γραφτεί σε μια πλατφόρμα μπορεί γενικά να εκτελεστεί σε άλλες πλατφόρμες με ελάχιστες τροποποιήσεις.
- **Δυναμική τυποποίηση:** Η Python έχει δυναμική τυποποίηση, που σημαίνει ότι οι τύποι των μεταβλητών προκύπτουν κατά την εκτέλεση και δεν απαιτούνται δηλώσεις τύπου. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία και ταχύτερη ανάπτυξη, αλλά απαιτεί επίσης προσεκτική προσοχή στο χειρισμό των τύπων των μεταβλητών.

Η Python έχει αποκτήσει σημαντική δημοτικότητα και έχει γίνει μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Η απλότητα, η ευελιξία και το τεράστιο οικοσύστημα βιβλιοθηκών και πλαισίων έχουν συμβάλει στην υιοθέτησή της σε διάφορους τομείς, όπως η ανάπτυξη ιστοσελίδων, η ανάλυση δεδομένων, η επιστημονική πληροφορική, η τεχνητή νοημοσύνη και άλλα.

#### 4.1.2 Βιβλιοθήκες της Python

Για τον παρακάτω κώδικα, οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι “math”, “matplotlib” και “NumPy” .

- **Math:** Η μαθηματική βιβλιοθήκη math είναι μια ενσωματωμένη ενότητα στην Python που παρέχει διάφορες μαθηματικές συναρτήσεις και σταθερές. Επιτρέπει να εκτελούνται μαθηματικές πράξεις και υπολογισμούς στα προγράμματά σε Python.[125]
- **Matplotlib:** Η Matplotlib είναι μια δημοφιλής βιβλιοθήκη γραφικών παραστάσεων για την Python. Παρέχει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών για τη δημιουργία υψηλής ποιότητας,

προσαρμόσιμων γραφικών παραστάσεων, διαγραμμάτων και οπτικοποιήσεων. Με τη Matplotlib, είναι εφικτή η δημιουργία γραμμικών διαγραμμάτων, διαγραμμάτων διασποράς, ραβδογραμμάτων, ιστογραμμάτων, κυκλικών διαγραμμάτων και πολλά άλλα.

Η Matplotlib είναι εξαιρετικά ευέλικτη και επιτρέπει την προσαρμογή των γραφημάτων, συμπεριλαμβανομένων των τίτλων, των ετικετών, των χρωμάτων, των δεικτών, των αξόνων και των λεζάντων. Υποστηρίζει διάφορες μορφές εξόδου, όπως διαδραστικές οθόνες, αρχεία εικόνας (PNG, JPG κ.λπ.) και διανυσματικά γραφικά (PDF, SVG).[126]

- **NumPy:** Η NumPy είναι μια ισχυρή βιβλιοθήκη για αριθμητικούς υπολογισμούς στην Python. Παρέχει ένα αντικείμενο πολυδιάστατων πινάκων, μαζί με μια συλλογή συναρτήσεων για αποδοτικές μαθηματικές πράξεις σε πίνακες. Η NumPy χρησιμοποιείται ευρέως στους επιστημονικούς υπολογισμούς, την ανάλυση δεδομένων και τη μηχανική μάθηση. Το κύριο συστατικό του NumPy είναι το αντικείμενο ndarray (n-διάστατος πίνακας), το οποίο επιτρέπει την εκτέλεση πράξεων σε μεγάλους πίνακες δεδομένων αποτελεσματικά. Το NumPy παρέχει ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών συναρτήσεων για χειρισμό συστοιχιών, γραμμική άλγεβρα, μετασχηματισμούς Fourier, παραγωγή τυχαίων αριθμών και πολλά άλλα.[127]

Τέλος, η NumPy παρέχει μια ισχυρή βάση για αριθμητικούς υπολογισμούς και χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με άλλες βιβλιοθήκες όπως η Matplotlib και η Pandas για ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων.

### 4.1.3 Visual Studio Code

Το Visual Studio Code (VS Code) είναι ένας δωρεάν και ανοικτού κώδικα (open source) επεξεργαστής πηγαίου κώδικα που αναπτύχθηκε από τη Microsoft. Χρησιμοποιείται ευρέως από προγραμματιστές για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένης της Python.[128]

Κάποια ορισμένα χαρακτηριστικά που διαθέτει το Visual Studio Code είναι:

- **Συμβατότητα πολλαπλών πλατφορμών:** Το Visual Studio Code είναι διαθέσιμο για Windows, macOS και Linux, καθιστώντας το μια ευέλικτη επιλογή για προγραμματιστές που εργάζονται σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα.

- **Ελαφρύ και γρήγορο:** Το Visual Studio Code είναι γνωστό για την ελαφριά και γρήγορη απόδοσή του. Έχει μινιμαλιστικό σχεδιασμό και ξεκινάει γρήγορα, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να ξεκινήσουν την κωδικοποίηση χωρίς σημαντικές καθυστερήσεις.
- **Επεκτασιμότητα:** Το Visual Studio Code παρέχει εκτεταμένη υποστήριξη για επεκτάσεις, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να προσαρμόζουν και να επεκτείνουν τη λειτουργικότητά του. Η αγορά προσφέρει ένα ευρύ φάσμα επεκτάσεων για διάφορες γλώσσες, πλαίσια και εργαλεία, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόσουν την εμπειρία κωδικοποίησης στις συγκεκριμένες ανάγκες τους.
- **Υποστήριξη γλωσσών:** Το Visual Studio Code προσφέρει εξαιρετική υποστήριξη για πολλές γλώσσες προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένης της Python. Παρέχει χαρακτηριστικά όπως υπογράμμιση σύνταξης, συμπλήρωση κώδικα, linting, αποσφαλμάτωση και πολλά άλλα, ειδικά για κάθε γλώσσα.
- **Ενσωματωμένο τερματικό:** Το Visual Studio Code διαθέτει ενσωματωμένο τερματικό, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να εκτελούν εντολές, να εκτελούν σενάρια και να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον γραμμής εντολών χωρίς να εγκαταλείπουν τον επεξεργαστή.
- **Ενσωμάτωση Git:** Το Visual Studio Code διαθέτει ενσωματωμένη υποστήριξη για τον έλεγχο εκδόσεων Git. Παρέχει λειτουργίες όπως η προβολή διαφορών, η σταδιοποίηση αλλαγών, η δέσμευση κώδικα και η διαχείριση κλάδων, καθιστώντας την εργασία με αποθετήρια Git βολική για τους προγραμματιστές.
- **Αποσφαλμάτωση:** Το Visual Studio Code προσφέρει μια ισχυρή εμπειρία αποσφαλμάτωσης με υποστήριξη για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένης της Python. Επιτρέπει στους προγραμματιστές να θέτουν σημεία διακοπής, να περνούν βήμα μέσα από τον κώδικα, να επιθεωρούν μεταβλητές και να αναλύουν τη στοίβα κλήσεων, διευκολύνοντας την αποτελεσματική αποσφαλμάτωση.
- **IntelliSense:** Το IntelliSense είναι μια λειτουργία συμπλήρωσης κώδικα στο Visual Studio Code που παρέχει έξυπνες προτάσεις καθώς πληκτρολογείτε. Βοηθά στην εξοικονόμηση χρόνου προσφέροντας προτάσεις με επίγνωση του πλαισίου και μειώνοντας τις πιθανότητες συντακτικών λαθών.

- **Αυτοματοποίηση εργασιών:** Visual Studio Code υποστηρίζει την αυτοματοποίηση εργασιών μέσω της ενσωματωμένης λειτουργίας εργασιών. Επιτρέπει στους προγραμματιστές να ορίζουν και να εκτελούν προσαρμοσμένες εργασίες, όπως η δημιουργία, η δοκιμή και η ανάπτυξη εφαρμογών, απευθείας από τον επεξεργαστή.
- **Συνεργασία:** Το Visual Studio Code προσφέρει Live Share, μια λειτουργία που επιτρέπει τη συνεργασία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ πολλών προγραμματιστών. Με το Live Share, οι προγραμματιστές μπορούν να μοιράζονται τη συνεδρία κωδικοποίησης με άλλους, επιτρέποντάς τους να εργάζονται μαζί στην ίδια βάση κώδικα ταυτόχρονα.

#### 4.1.4 Υλικό

Για την ανάπτυξη του προσομοιωτή, την συγγραφή κώδικα και την εκτέλεση των προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκε το παρακάτω υπολογιστικό σύστημα.

- **Όνομα προϊόντος:** HP Pavilion Laptop 15-eh1097nr
- **Μικροεπεξεργαστής:** AMD Ryzen™ 7 5700U – 1.8 GHz (μέχρι 4.3 GHz με μέγιστο χρονισμό, 8 MB L3 cache, 8 πυρήνες, 16 νήματα)
- **Ομάδα ολοκληρωμένων κυκλωμάτων:** AMD Integrated SoC
- **Κύρια μνήμη:** 16 GB DDR4-3200 MHz RAM (2 x 8 GB)
- **Κάρτα γραφικών:** Ενσωματωμένη AMD Radeon™ Graphics Integrated
- **Σκληρός δίσκος:** 512 GB PCIe® NVMe™ M.2 SSD
- **Λειτουργικό Σύστημα:** Windows 11

## 4.2 Κώδικας

Αρχικά εισάγονται οι απαραίτητες βιβλιοθήκες που αναφέρθηκαν ανωτέρως και θα χρησιμοποιηθούν για την ορθή εκτέλεση του προγράμματος.

```
import math
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

Έπειτα θέτονται οι αρχικοί παράμετροι της προσομοίωσης. Αυτοί είναι οι:

- Αριθμός ΜΕΑ
- Χρόνος προσομοίωσης
- Μέγιστη ταχύτητα
- Όρια χάρτη
- Σταθερά βαρύτητας
- Ρυθμό lift-to-drag
- Πυκνότητα αέρα
- Μάζα ΜΕΑ
- Απόδοση μεταφοράς ενέργειας
- Επιφάνεια προπελών
- Αριθμός ροτόρων
- Σταθερά αλγορίθμου PSO σχετικά με την καλύτερη τοπική θέση
- Σταθερά αλγορίθμου PSO σχετικά με την καλύτερη παγκόσμια θέση
- Σταθερά αλγορίθμου PSO σχετικά με την ταχύτητα σύγκλισης

```
# Set the simulation parameters
num_uavs = 10
sim_time = 100
max_speed = 10.0
boundary = 50.0
#energy constraints
gravity = 9.98
lift_to_drag_rate = 2
air_density = 4.2
mass = 4
power_transfer_efficiency = 0.8
propeller_area = 2
num_rotors = 4
# c1 represents the cognitive component of the PSO algorithm.
c1 = 1.0
# c2 represents the social component of the PSO algorithm.
c2 = 1.0
# speed/position
w = 0.5
```



Αρχικοποιούνται οι τιμές της θέσης και της ταχύτητας όλων των ΜΕΑ, τυχαία στον χώρο.

```
# Initialize the UAV positions and velocities
uav_positions = np.random.uniform(low=-boundary, high=boundary, size=(num_uavs,
2))
uav_velocities = np.zeros((num_uavs, 2))
```

Αρχικοποιούνται οι τιμές της καλύτερης θέσης και του καλύτερου σκορ του ΜΕΑ.

```
# Initialize the best positions and scores for each UAV
uav_best_positions = uav_positions.copy()
uav_best_scores = np.inf * np.ones(num_uavs)
```

Αρχικοποιείται ο στόχος στον χώρο και συγκεκριμένα στο σημείο [0,0].

```
# Initialize the target position
target_pos = np.zeros(2)
```

Συνάρτηση που υπολογίζει τα σκορ κάθε ΜΕΑ με βάση την απόσταση τους από τον στόχο.

```
def calculate_scores(positions):
    """Calculate the scores for each UAV based on the distance to the target."""
    return np.linalg.norm(positions - target_pos, axis=1)
```

Συνάρτηση που υπολογίζει τις αποστάσεις μεταξύ των ΜΕΑ και βρίσκει το κοντινότερο γείτονα σε κάθε ΜΕΑ.

```
def find_nearest_neighbors(positions):
    """Find the nearest neighbors of each UAV."""
    distances = np.linalg.norm(positions[:, np.newaxis, :] - positions, axis=2)
    np.fill_diagonal(distances, np.inf)
    nearest_neighbors = np.argmin(distances, axis=1)
    return nearest_neighbors
```

Συνάρτηση που υπολογίζει την θέση του σμήνους συνολικά, και αναγνωρίζει το σμήνος σαν ένα σημείο μάζας. Σε αυτήν την περίπτωση δεν χρησιμοποιείται αλλά μπορεί να εφαρμοστεί για μελλοντική ανάπτυξη του κώδικα.

```
def find_centroids(positions):
    """Find the centroid of all the UAVs."""
    return np.mean(positions, axis=0)
```

Σε αυτό το σημείο ξεκινά η εφαρμογή του PSO και η εύρεση στόχου μέσω του συγκεκριμένου αλγορίθμου. Αυτήν η συνάρτηση έχει σαν μεταβλητές τα παρακάτω στοιχεία:

- Θέσεις των ΜΕΑ
- Ταχύτητες των ΜΕΑ

- Καλύτερες θέσεις των ΜΕΑ
- Καλύτερα σκορ των ΜΕΑ
- Ρυθμός ενέργειας των ΜΕΑ (Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης)
- Ρυθμός ενέργειας μετάδοσης δεδομένων των ΜΕΑ (Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης)

```
def update_uavs(uav_positions, uav_velocities, uav_best_positions,
uav_best_scores, drone_energy_rate, transmission_energy_rate):
    global w, c1, c2
```

Υπολογισμός της κατεύθυνσης προς τον στόχο με σκοπό την περικύκλωση του.

```
# Calculate the headings towards the target position
headings = target_pos - uav_positions
norms = np.linalg.norm(headings, axis=1)
nonzero_norms = norms > 0
headings[nonzero_norms] /= norms[nonzero_norms, np.newaxis]
```

```
uav_best_scores = [float('inf')] * num_uavs
```

Ενημέρωση της ταχύτητας και της θέσης κάθε ΜΕΑ μέσω αλγορίθμου PSO.

```
# Update the velocities and positions of the UAVs using PSO
for i in range(num_uavs):
    r1 = np.random.uniform()
    r2 = np.random.uniform()
    uav_velocities[i] = w * uav_velocities[i] + c1 * r1 *
(uav_best_positions[i] - uav_positions[i]) + c2 * r2 * headings[i]
    if np.linalg.norm(uav_velocities[i]) > max_speed:
        uav_velocities[i] /= np.linalg.norm(uav_velocities[i])
        uav_velocities[i] *= max_speed
    uav_positions[i] += uav_velocities[i]
```

Συνθήκη με σκοπό να μένουν τα ΜΕΑ εντός ορίων και εντός μέγιστης ταχύτητας.

```
# Wrap the positions around if they go out of bounds
if uav_positions[i][0] < -boundary:
    uav_positions[i][0] += 2 * boundary
elif uav_positions[i][0] > boundary:
    uav_positions[i][0] -= 2 * boundary
if uav_positions[i][1] < -boundary:
    uav_positions[i][1] += 2 * boundary
elif uav_positions[i][1] > boundary:
    uav_positions[i][1] -= 2 * boundary
```

Συνθήκη με σκοπό την ενημέρωση των ΜΕΑ σχετικά με την καλύτερη θέση και σκορ κάθε ΜΕΑ. Τα κριτήρια λαμβάνονται οι προσωρινές θέσεις και ταχύτητες αλλά και η ενεργειακή κατανάλωση με σκοπό την ενεργειακή βελτιστοποίηση της προσομοίωσης.

```

# Update the best positions and scores for each UAV
drone_energy_rate = np.random.normal(0.5, 0.1, num_uavs)
transmission_energy_rate = np.random.normal(0.2, 0.05, num_uavs)
score = calculate_energy(uav_positions[i], uav_velocities[i],
target_pos, drone_energy_rate, transmission_energy_rate)
    if np.all(score < uav_best_scores[i]):
        uav_best_positions[i] = uav_positions[i]
        uav_best_scores[i] = score.tolist()

return uav_positions, uav_velocities, uav_best_positions, uav_best_scores

```

Συνάρτηση για την ενημέρωση του χρήστη όταν όλα τα ΜΕΑ φτάσουν στον στόχο.

```

# Check if all UAVs have reached the target (0,0)
    if t > start_time:
        if np.all(np.round(uav_best_positions[:, 0], decimals=0) == 0) and
np.all(np.round(uav_best_positions[:, 1], decimals=0) == 0):
            # All UAVs have reached the target, calculate the time taken
            time_taken = t - start_time
            print(f"All UAVs have reached the target in {time_taken} time
steps.")
                break
    return uav_positions, uav_velocities, uav_best_positions, uav_best_scores

```

Συνάρτηση υπολογισμού ενεργειακής κατανάλωσης των ΜΕΑ με σκοπό τη χρήση της για τον υπολογισμό της κατανάλωσης αλλά και την ενεργειακή βελτιστοποίηση της προσομοίωσης. Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης χρησιμοποιείται το πρότυπο D'Andrea, όπου επεξηγείται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

```

def calculate_energy(position, velocity, distances, drone_energy_rate,
transmission_energy_rate):
    dist_to_target = euclidean_distance(position, distances)
    if np.linalg.norm(velocity) == 0:
        time_to_target = 9999 # Η οποιαδήποτε άλλη τιμή που υποδηλώνει αδυναμία
φτάσματος στον στόχο
    else:
        time_to_target = dist_to_target / np.linalg.norm(velocity)

    # Energy consumed by UAV motion - D'Andrea
    motion_energy = drone_energy_rate + ((mass * np.linalg.norm(velocity)) /
(power_transfer_efficiency * lift_to_drag_rate))

    # Energy consumed by transmission
    transmission_energy = transmission_energy_rate * dist_to_target

    # Energy consumed by UAV hovering - Dorling

```

```
#hovering_energy = (gravity * mass) / math.sqrt(2 * num_rotors * air_density * propeller_area)
```

```
total_energy = motion_energy + transmission_energy  
return total_energy
```

Συνάρτηση για τον υπολογισμό της ευκλείδειας απόστασης όπως αναφέρθηκε και πάνω.

```
def euclidean_distance(point1, point2):  
    """Calculate the Euclidean distance between two points in a 2D space."""  
    x1, y1 = point1  
    x2, y2 = point2  
    distance = math.sqrt((x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2)  
    return distance
```

Αρχή της προσομοίωσης.

```
# Run the simulation  
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(ncols=2, figsize=(12, 6))
```

Δημιουργία πίνακα με σκοπό της αποθήκευσης της ενεργειακής κατανάλωσης κάθε ΜΕΑ

```
# create an empty dictionary to store the energy consumption for each UAV  
energy_dict = {}  
drone_energy_rate = np.random.normal(loc=100, scale=10, size=num_uavs)  
transmission_energy_rate = np.random.normal(loc=20, scale=5, size=num_uavs)  
for i in range(num_uavs):  
    energy_dict[f"UAV {i+1}"] = calculate_energy(uav_positions[i],  
uav_velocities[i], target_pos, drone_energy_rate[i],  
transmission_energy_rate[i])
```

Δημιουργία γραφήματος με μπάρες με σκοπό την ένδειξη των ενεργειακών καταναλώσεων κάθε ΜΕΑ ξεχωριστά.

```
# plot the bar chart  
bar_plot = ax2.bar(range(num_uavs), energy_dict.values())  
ax2.set_xticks(range(num_uavs))  
ax2.set_xticklabels(energy_dict.keys())  
ax2.set_xlabel("UAV", fontsize=2)  
ax2.set_ylabel("Energy consumption")  
ax2.set_title("Energy consumption per UAV")
```

Ανανέωση των ταχυτήτων και θέσεων στο χάρτη των ΜΕΑ.

```
for t in range(sim_time):  
    # Update the UAV positions and velocities  
    drone_energy_rate = np.random.normal(loc=1, scale=0.1, size=num_uavs)  
    transmission_energy_rate = np.random.normal(loc=1, scale=0.1, size=num_uavs)  
    update_uavs(uav_positions, uav_velocities, uav_best_positions,  
uav_best_scores, drone_energy_rate, transmission_energy_rate)
```

Ανανέωση της ενεργειακής κατανάλωσης κάθε ΜΕΑ στο γράφημα.

```
# Update the energy consumption dictionary and the bar chart
```

```
for i in range(num_uavs):
    energy_dict[f"UAV {i+1}"] = calculate_energy(uav_positions[i],
uav_velocities[i], target_pos, drone_energy_rate[i],
```

---

```
transmission_energy_rate[i])
    total_energy += energy_dict[f"UAV {i+1}"]
    bar_plot[i].set_height(energy_dict[f"UAV {i+1}"])
plt.ylim(0, 150)
```

Δημιουργία του γραφήματος που φιλοξενεί το περιβάλλον προσομοίωσης που δείχνει την πορεία των ΜΕΑ, όπως και τον στόχο.

```
# Plot the UAVs and the target position
ax1.clear()
for i, pos in enumerate(uav_positions):
    ax1.scatter(pos[0], pos[1], color='blue')
    ax1.text(pos[0]+0.1, pos[1]+0.1, f"UAV {i+1}", fontsize=10)
ax1.scatter(target_pos[0], target_pos[1], color='red')
ax1.text(target_pos[0]+0.1, target_pos[1]+0.1, "Target", fontsize=10)
ax1.set_xlim(-boundary, boundary)
ax1.set_ylim(-boundary, boundary)
ax1.set_aspect('equal', 'box')
ax1.set_xlabel("X")
ax1.set_ylabel("Y")
ax1.set_title(f"Simulation Time: {t}")
```

```
plt.pause(0.01)
```

```
# Update the bar chart
fig.canvas.draw()
```

```
# Print the total energy consumption
print("Total energy consumption:", total_energy)
```

```
plt.show()
```

## 4.3 Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης με βάση τον πληθυσμό, εμπνευσμένος από την κοινωνική συμπεριφορά των σμηνών των πουλιών ή των ψαριών. Στον PSO, ένας πληθυσμός σωματιδίων (στην προκειμένη περίπτωση, ΜΕΑ) εξερευνά το χώρο αναζήτησης για να βρει μια βέλτιστη λύση.[112]

Ακολουθεί μια υψηλού επιπέδου εξήγηση του αλγορίθμου PSO που υλοποιείται στον παρεχόμενο κώδικα:

- **Αρχικοποίηση:**

Ορίζονται οι παράμετροι προσομοίωσης, όπως ο αριθμός των ΜΕΑ (`num_uavs`), ο χρόνος προσομοίωσης (`sim_time`), η μέγιστη ταχύτητα (`max_speed`), το όριο του χώρου αναζήτησης (`boundary`) και οι συντελεστές `c1`, `c2` και `w`.

Για την παράμετρο `c1` (προσωπική αντίληψη), συνήθως δοκιμάζονται τιμές μεταξύ 1.0 και 2.0. Μια τιμή 1.0 δίνει περισσότερη έμφαση στην προσωπική αντίληψη του κάθε ΜΕΑ, ενώ μια τιμή 2.0 του δίνει περισσότερη σημασία.

Για την παράμετρο `c2` (κοινωνική αντίληψη), συνήθως δοκιμάζονται τιμές μεταξύ 1.0 και 2.0, όπως και για την `c1`. Η τιμή επηρεάζει τη σημασία που δίνεται στην κοινωνική αντίληψη, δηλαδή στην επίδραση των άλλων ΜΕΑ στην κίνηση του κάθε ΜΕΑ.

Η παράμετρος `w` (`inertia weight`) ελέγχει τον βαθμό στον οποίο η τρέχουσα ταχύτητα επηρεάζει τη νέα ταχύτητα. Συνήθως δοκιμάζονται τιμές μεταξύ 0.4 και 0.9. Μια χαμηλή τιμή (π.χ. 0.4) προσδίδει μεγάλη σημασία στην τρέχουσα ταχύτητα, ενώ μια υψηλή τιμή (π.χ. 0.9) μειώνει την επίδραση της τρέχουσας ταχύτητας.

Οι αρχικές θέσεις και ταχύτητες των ΜΕΑ αρχικοποιούνται τυχαία εντός του χώρου αναζήτησης.

Οι καλύτερες θέσεις (`uav_best_positions`) και οι βαθμολογίες (`uav_best_scores`) για κάθε ΜΕΑ τίθενται στις αρχικές τους θέσεις και στις άπειρες τιμές τους, αντίστοιχα.

Η θέση στόχου ορίζεται στην αρχική θέση (0, 0).

- **Ενημέρωση PSO:**

Η ενημέρωση PSO πραγματοποιείται στη συνάρτηση `update_uavs`, η οποία λαμβάνει ως είσοδο τις θέσεις, τις ταχύτητες, τις καλύτερες θέσεις, τις καλύτερες βαθμολογίες και τα ποσοστά ενέργειας των ΜΕΑ.

Η συνάρτηση υπολογίζει πρώτα τις κατευθύνσεις προς τη θέση-στόχο για κάθε ΜΕΑ.

Για κάθε ΜΕΑ:

Δημιουργούνται τυχαίες τιμές (`r1` και `r2`).

Η ταχύτητα του ΜΕΑ ενημερώνεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση ενημέρωσης ταχύτητας PSO, η οποία συνδυάζει την προηγούμενη ταχύτητα, τη γνωστική συνιστώσα (με βάση την προσωπική καλύτερη θέση) και την κοινωνική συνιστώσα (με βάση την παγκόσμια καλύτερη θέση).

Εάν το μέγεθος της ταχύτητας υπερβαίνει τη μέγιστη ταχύτητα (`max_speed`), κανονικοποιείται ώστε να έχει τη μέγιστη ταχύτητα.

Η θέση του ΜΕΑ ενημερώνεται προσθέτοντας την ταχύτητα στην τρέχουσα θέση.

Εάν το ΜΕΑ υπερβεί το όριο, η θέση του επαναφέρεται στην αντίθετη πλευρά του ορίου.

Τα ποσοστά ενέργειας για τα ΜΕΑ ενημερώνονται τυχαία.

Η βαθμολογία κατανάλωσης ενέργειας για την τρέχουσα θέση και ταχύτητα του ΜΕΑ υπολογίζεται με τη συνάρτηση `calculate_energy`.

Εάν η τρέχουσα βαθμολογία είναι καλύτερη από την προηγούμενη καλύτερη βαθμολογία για το ΜΕΑ, ενημερώνεται η καλύτερη θέση και η βαθμολογία.

- **Υπολογισμός και οπτικοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας:**

Η συνάρτηση `calculate_energy` υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας για κάθε ΜΕΑ με βάση τη θέση, την ταχύτητα, τη θέση-στόχο και τα ποσοστά ενέργειας.

Η συνάρτηση `euclidean_distance` υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο σημείων.

Η προσομοίωση εκτελείται για ορισμένο αριθμό χρονικών βημάτων (`sim_time`).

Σε κάθε χρονικό βήμα:

Η κατανάλωση ενέργειας για κάθε ΜΕΑ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα ενημερωμένα ποσοστά ενέργειας.

Ενημερώνεται το ραβδόγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας για κάθε UAV.

Οι θέσεις των ΜΕΑ και η θέση του στόχου απεικονίζονται στο διάγραμμα διασποράς.

Το διάγραμμα διασποράς ενημερώνεται για να απεικονίσει την κίνηση των ΜΕΑ προς το στόχο.

Η προσομοίωση διακόπτεται για σύντομο χρονικό διάστημα για την παρατήρηση των αλλαγών.

Έπειτα από έρευνα στην διεθνή βιβλιογραφία παρατηρήθηκε ένα κενό στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων ενεργειακών μοντέλων για πτήσης ΜΕΑ. Υπάρχουν μερικά ενεργειακά μοντέλα τα οποία είναι πιο στοχευμένα όμως δεν θεωρούνται μεγάλης ακρίβειας, καθώς είτε αντιμετωπίζουν μόνο ένα φάσμα της ενεργειακής κατανάλωσης ή και λαμβάνουν κάποιες παραδοχές.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το πρότυπο D' Andrea. [129]

Το πρότυπο D' Andrea βασίζεται κυρίως στην αναλογία ανύψωσης έλξης (lift-to-drag ratio) [130]. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι μία απλή τεχνική για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης με κριτήρια την μάζα του ΜΕΑ, την ταχύτητα κίνησης, τον ρυθμό ανύψωση – έλξης, την αποδοτικότητα μεταφοράς ενέργειας από την μπαταρία στο σύστημα κίνησης. Το μοντέλο D' Andrea σχεδιάστηκε με σκοπό να μετράει την ενεργειακή κατανάλωση σε J/s και η εξίσωση του δίνεται παρακάτω:

$$P = \frac{\sum_{k=1}^3 m_k V}{370 r \eta} + P_{avio}$$

όπου

$m_k$  = η μάζα των τριών εξαρτημάτων των ΜΕΑ, μάζα σκάφους ( $k=1$ ), μάζα μπαταρίας ( $k=2$ ) και μάζα φορτίου ( $k=3$ ).

$V$  = ταχύτητα ΜΕΑ.

$r$  = αναλογία ανύψωσης έλξης.

$\eta$  = αποδοτικότητα μεταφοράς ενέργειας.

$P_{avio}$  = ισχύς των ηλεκτρονικών συστημάτων του ΜΕΑ.

Το 370 είναι το σταθερό νούμερο έπειτα από την μετατροπή της μονάδα μέτρησης της ταχύτητας από m/s σε km/h ( $370 = 3600/9.8$ ). Στην περίπτωση μας δεν το υπολογίζουμε.[130]

- **Τερματισμός:**

Μετά τον καθορισμένο χρόνο προσομοίωσης, η προσομοίωση τερματίζεται, εμφανίζεται η τελική απεικόνιση και εκτυπώνεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας. Συνοπτικά, ο αλγόριθμος PSO σε αυτόν τον κώδικα ενημερώνει επαναληπτικά τις θέσεις και τις ταχύτητες των ΜΕΑ με βάση τις καλύτερες θέσεις τους και τη θέση του στόχου. Ο αλγόριθμος στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας των ΜΕΑ προσαρμόζοντας τις κινήσεις τους στο χώρο αναζήτησης. Η οπτικοποίηση παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη σύγκλιση των ΜΕΑ προς το στόχο και την κατανάλωση ενέργειας κάθε ΜΕΑ με την πάροδο του χρόνου.

Στην Εικόνα 22 παρατηρείται ένα κομμάτι ψευδοκώδικα που επεξηγεί το τρόπο λειτουργίας του PSO και στην Εικόνα 23 ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής του κώδικα.



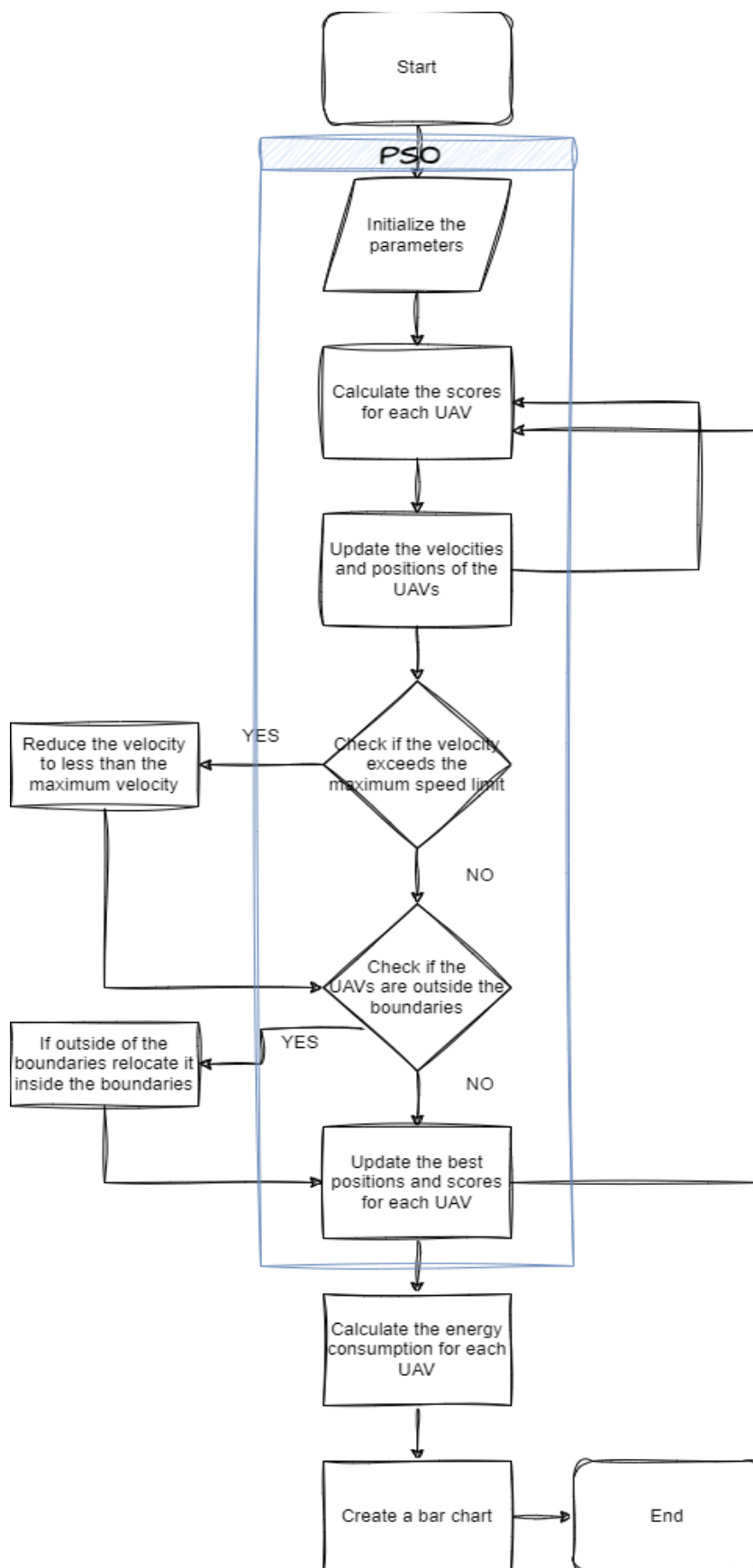
```

For each particle
  Initialize particle
END
Do
  For each particle
    Calculate fitness value
    If the fitness value is better than the best fitness value (pBest) in history
      set current value as the new pBest
    End
  End

  Choose the particle with the best fitness value of all the particles as the gBest
  For each particle
    Calculate particle velocity according equation (2)
    Update particle position according equation (1)
  End
End
While maximum iterations or minimum error criteria is not attained

```

Εικόνα 22. Ψευδοκώδικας PSO αλγόριθμου - Πηγή[131]



Εικόνα 23. Διάγραμμα ροής κώδικα

## 4.4 Προσομοίωση

Για την προσομοίωση λαμβάνονται διαφορετικά σενάρια ως προς τον αριθμό των ΜΕΑ τα οποία προσομοιώνονται κάθε φορά. Τα σενάρια είναι τα παρακάτω:

- Σενάριο 1<sup>ο</sup> : 2 ΜΕΑ
- Σενάριο 2<sup>ο</sup> : 5 ΜΕΑ
- Σενάριο 3<sup>ο</sup> : 10 ΜΕΑ
- Σενάριο 4<sup>ο</sup> : 20 ΜΕΑ

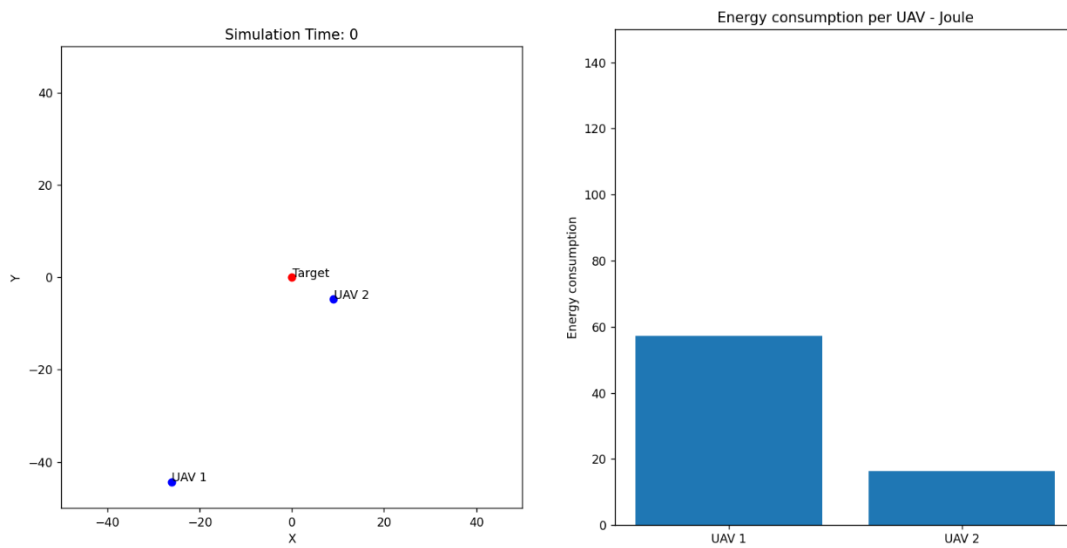
### 4.4.1 1<sup>ο</sup> Σενάριο

Στην πρώτη προσομοίωση έχουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

- num\_uavs = 2
- sim\_time = 100
- max\_speed = 10.0
- boundary = 50.0
- lift\_to\_drag\_rate = 2
- mass = 4
- power\_transfer\_efficiency = 0.8
- c1 = 1.0
- c2 = 1.0
- w = 0.5

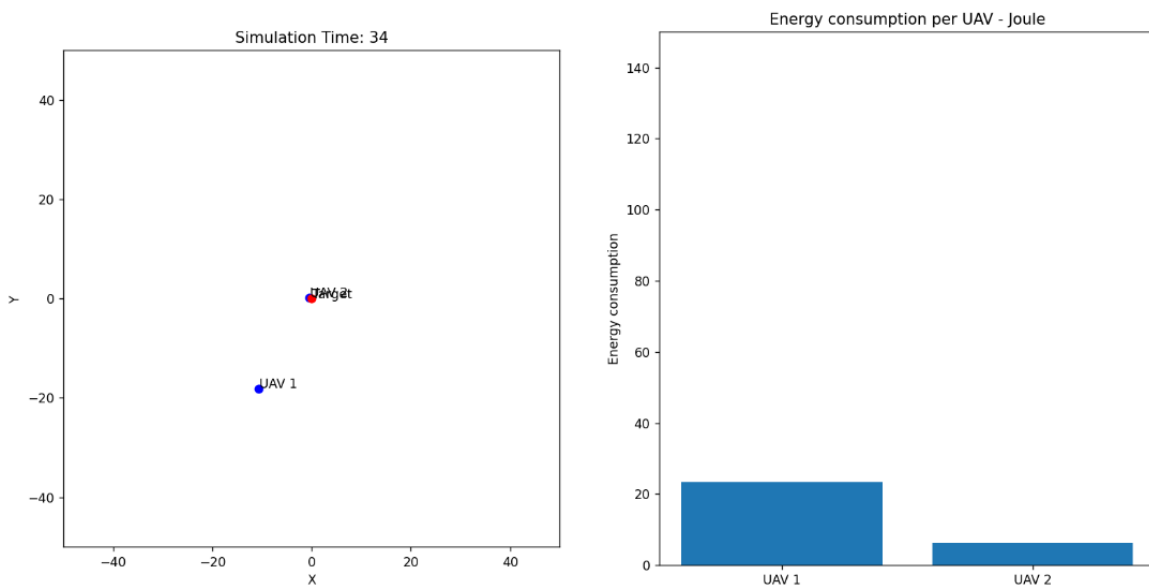
Οι παρακάτω φωτογραφίες είναι η προσομοίωση κατά διαστήματα.

Αρχική κατάσταση (Εικόνα 24), όπως παρατηρείται τα ΜΕΑ βγαίνουν σε τυχαίες θέσεις και με τυχαίες ταχύτητες.



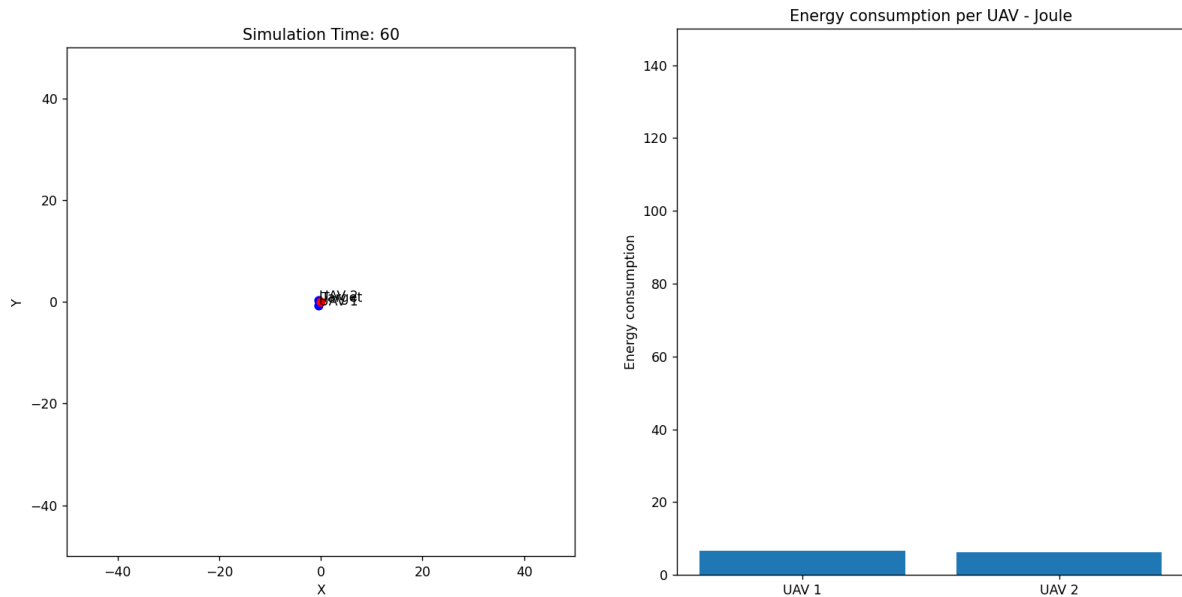
Εικόνα 24. 1<sup>ο</sup> στάδιο του 1<sup>ου</sup> σεναρίου

Επόμενο στάδιο (Εικόνα 25), τα ΜΕΑ έχουν αρχίσει να συντονίζονται ώστε να προσεγγίσουν τον στόχο.



Εικόνα 25. 2<sup>ο</sup> στάδιο του 1<sup>ου</sup> σεναρίου

Επόμενο στάδιο (Εικόνα 26), τα ΜΕΑ έχουν φτάσει στον στόχο και περιφέρονται γύρω του.



Εικόνα 26. 3<sup>ο</sup> στάδιο του 1<sup>ου</sup> σεναρίου

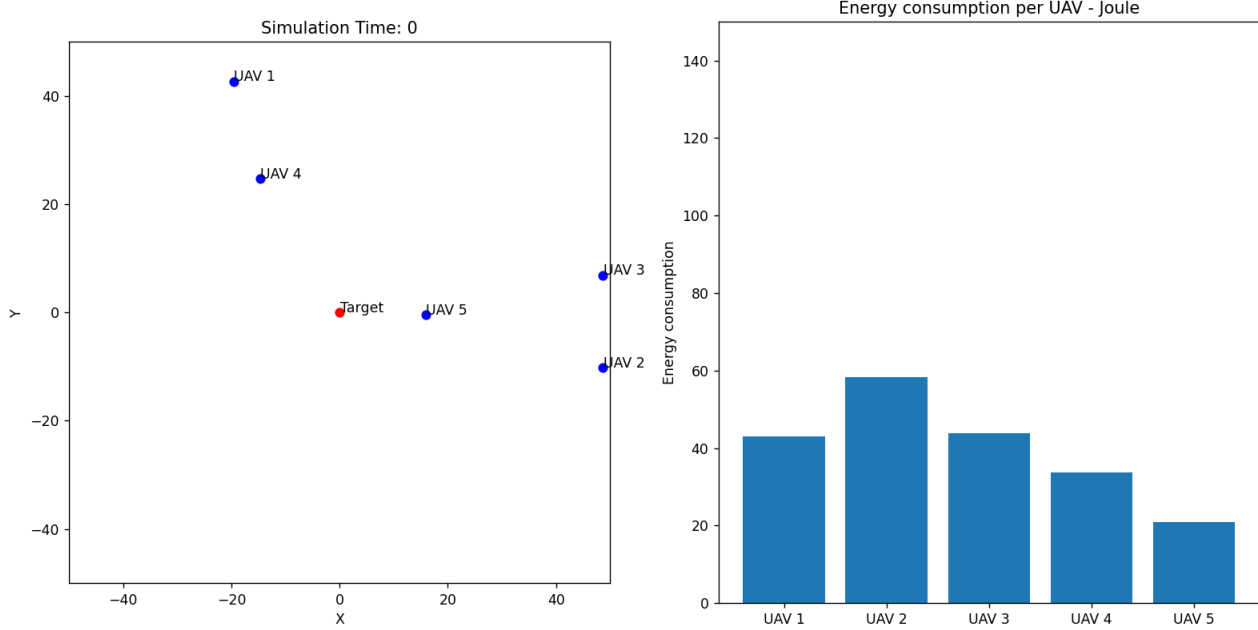
#### 4.4.2 2<sup>ο</sup> Σενάριο

Στην πρώτη προσομοίωση έχουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

- num\_uavs = 5
- sim\_time = 100
- max\_speed = 10.0
- boundary = 50.0
- lift\_to\_drag\_rate = 2
- mass = 4
- power\_transfer\_efficiency = 0.8
- c1 = 1.0
- c2 = 1.0
- w = 0.5

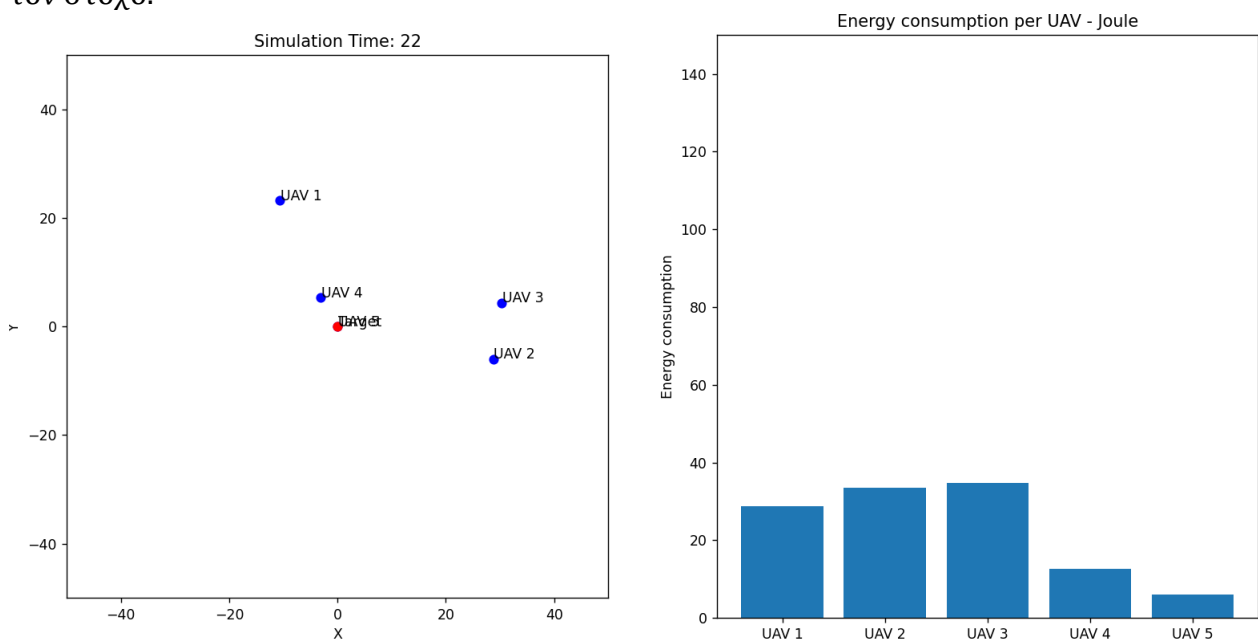
Οι παρακάτω φωτογραφίες είναι η προσομοίωση κατά διαστήματα.

Αρχική κατάσταση (Εικόνα 27), όπως παρατηρείται τα ΜΕΑ βγαίνουν σε τυχαίες θέσεις και με τυχαίες ταχύτητες.



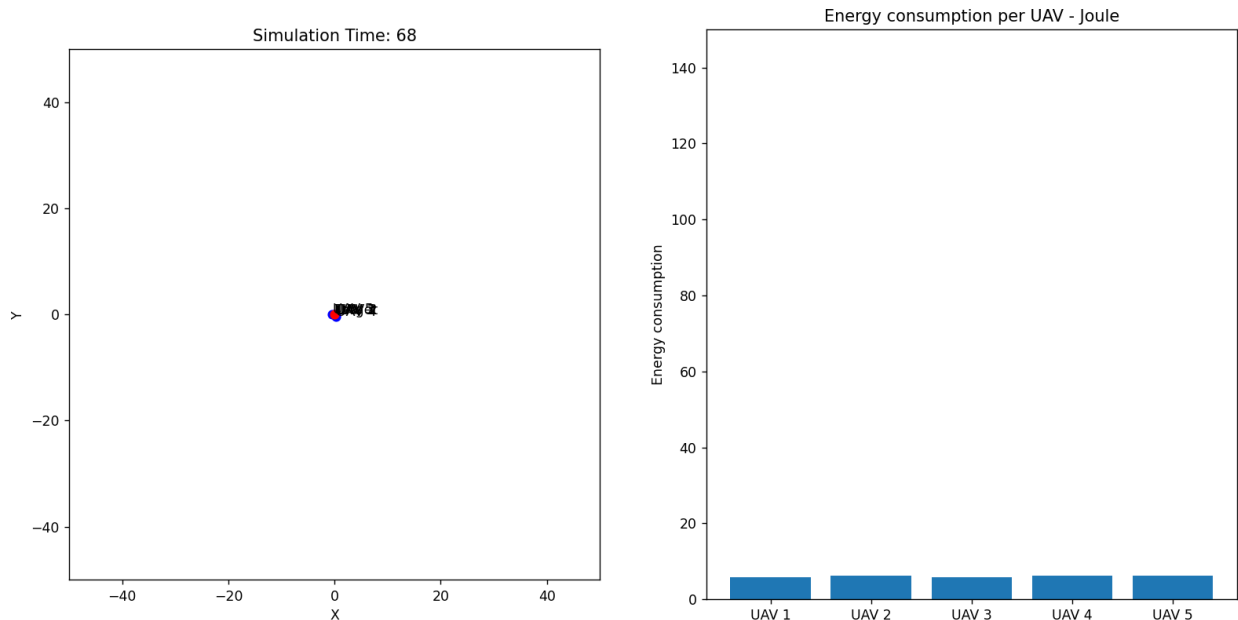
Εικόνα 27. 1<sup>ο</sup> στάδιο του 2<sup>ου</sup> σεναρίου

Επόμενο στάδιο (Εικόνα 28), τα ΜΕΑ έχουν αρχίσει να συντονίζονται ώστε να προσεγγίσουν τον στόχο.



Εικόνα 28. 2<sup>ο</sup> στάδιο του 2<sup>ου</sup> σεναρίου

Επόμενο στάδιο (Εικόνα 29), τα ΜΕΑ έχουν αρχίσει να μπαίνουν σε τροχιά γύρω από τον στόχο.



Εικόνα 29. 3<sup>ο</sup> στάδιο του 2<sup>ου</sup> σεναρίου

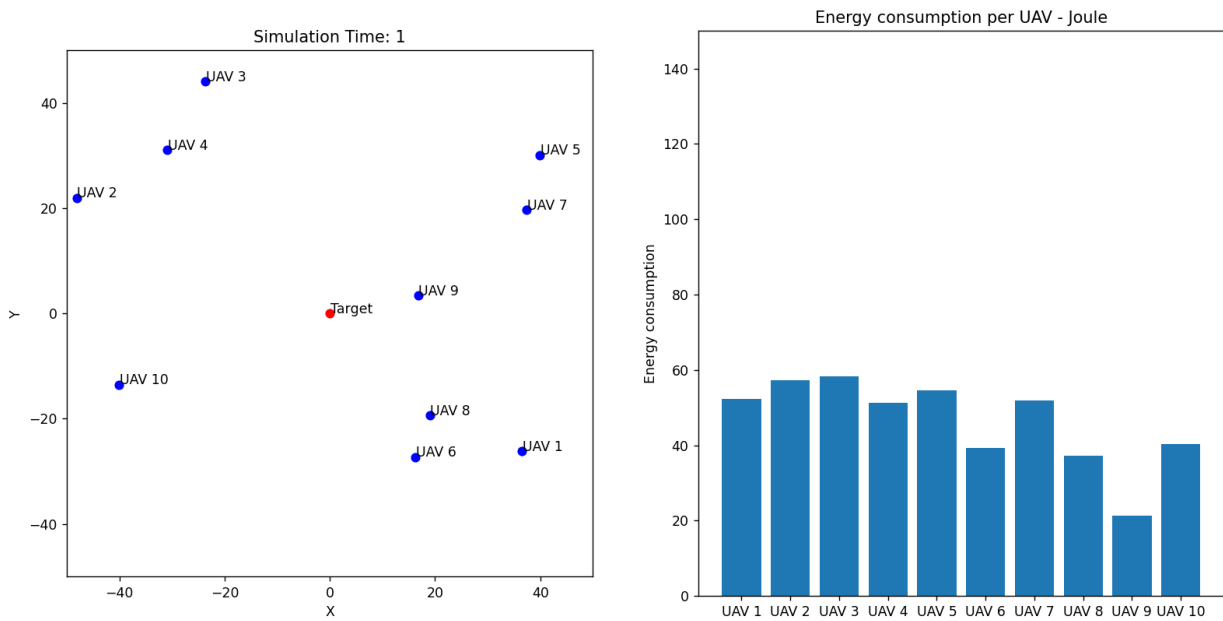
#### 4.4.3 3<sup>ο</sup> Σενάριο

Στην πρώτη προσομοίωση έχουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

- num\_uavs = 10
- sim\_time = 100
- max\_speed = 10.0
- boundary = 50.0
- lift\_to\_drag\_rate = 2
- mass = 4
- power\_transfer\_efficiency = 0.8
- c1 = 1.0
- c2 = 1.0
- w = 0.5

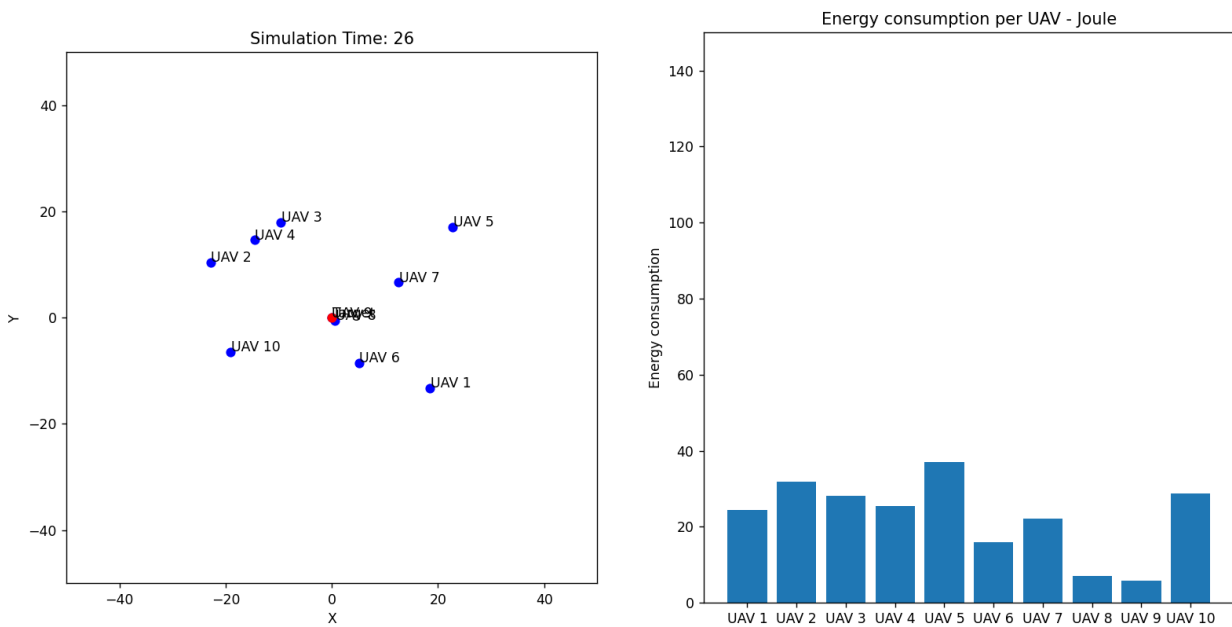
Οι παρακάτω φωτογραφίες είναι η προσομοίωση κατά διαστήματα.

Αρχική κατάσταση (Εικόνα 30), όπως παρατηρείται τα ΜΕΑ βγαίνουν σε τυχαίες θέσεις και με τυχαίες ταχύτητες.



Εικόνα 30. 1<sup>ο</sup> στάδιο του 3<sup>ου</sup> σεναρίου

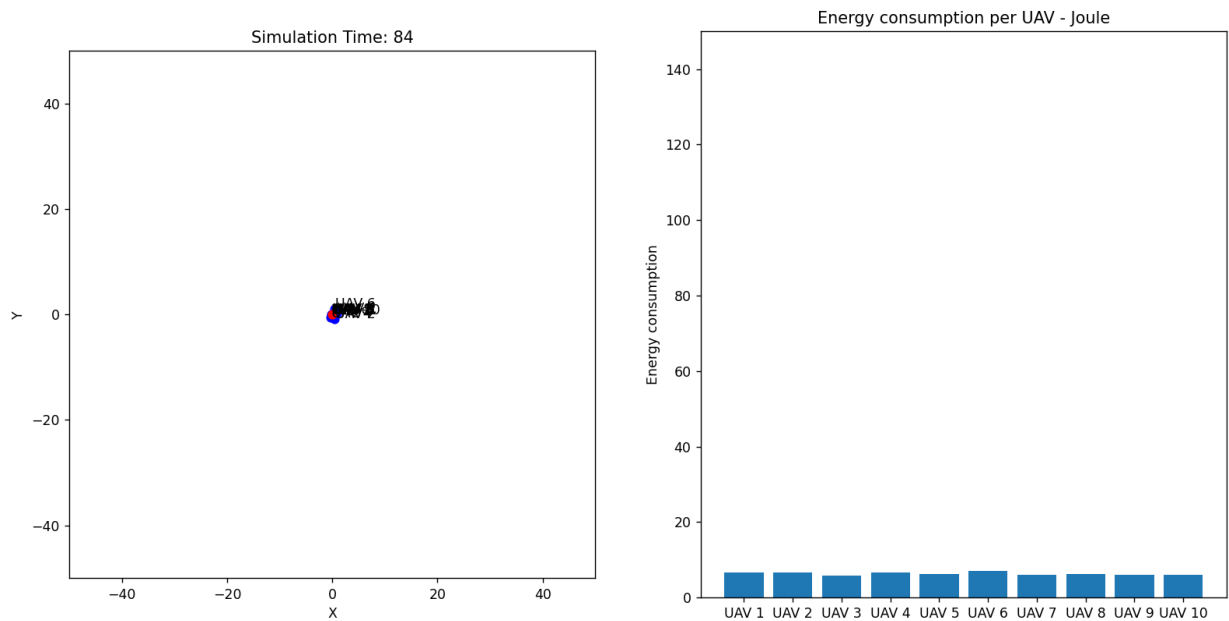
Επόμενο στάδιο (Εικόνα 31), τα ΜΕΑ έχουν αρχίσει να συντονίζονται ώστε να προσεγγίσουν τον στόχο.



Εικόνα 31. 2<sup>ο</sup> στάδιο του 3<sup>ου</sup> σεναρίου



Επόμενο στάδιο (Εικόνα 32), τα ΜΕΑ έχουν αρχίσει να μπαίνουν σε τροχιά γύρω από τον στόχο.



Εικόνα 32. 3<sup>ο</sup> στάδιο του 3<sup>ου</sup> σεναρίου

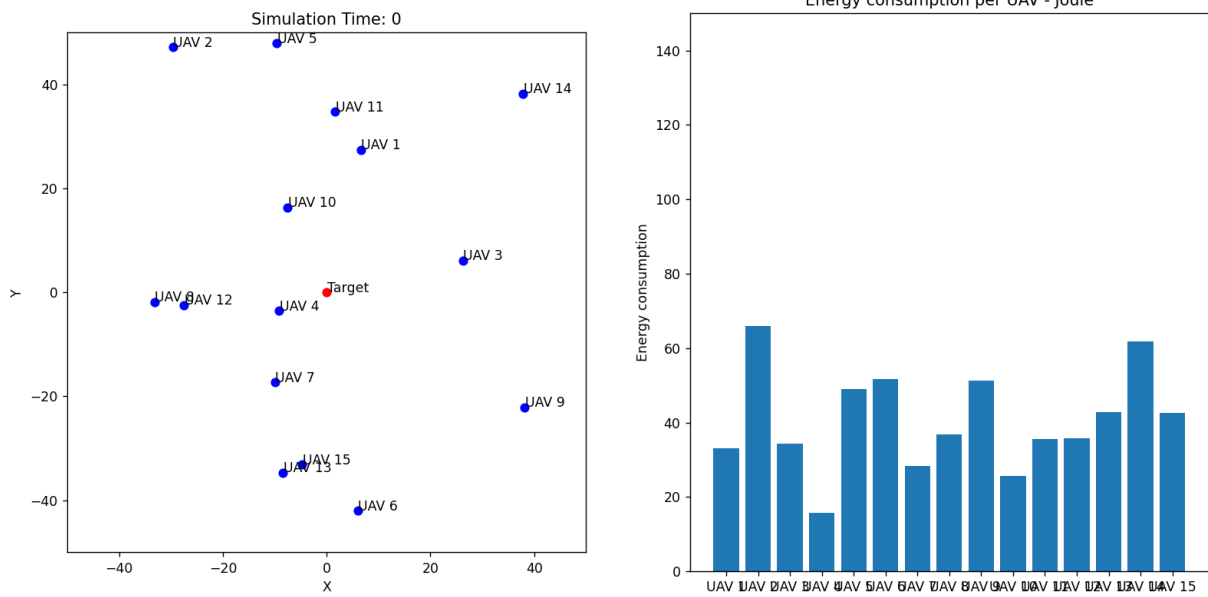
#### 4.1.4 4<sup>ο</sup> Σενάριο

Στην πρώτη προσομοίωση έχουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

- num\_uavs = 20
- sim\_time = 100
- max\_speed = 10.0
- boundary = 50.0
- lift\_to\_drag\_rate = 2
- mass = 4
- power\_transfer\_efficiency = 0.8
- c1 = 1.0
- c2 = 1.0
- w = 0.5

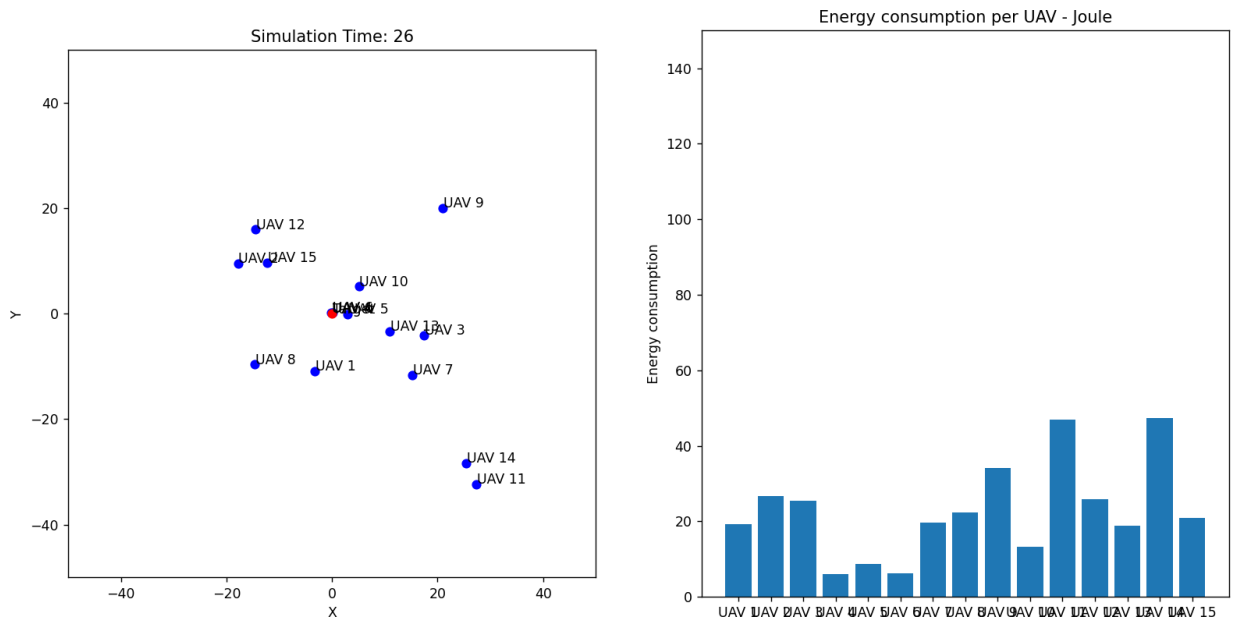
Οι παρακάτω φωτογραφίες είναι η προσομοίωση κατά διαστήματα.

Αρχική κατάσταση (Εικόνα 33), όπως παρατηρείται τα ΜΕΑ βγαίνουν σε τυχαίες θέσεις και με τυχαίες ταχύτητες.



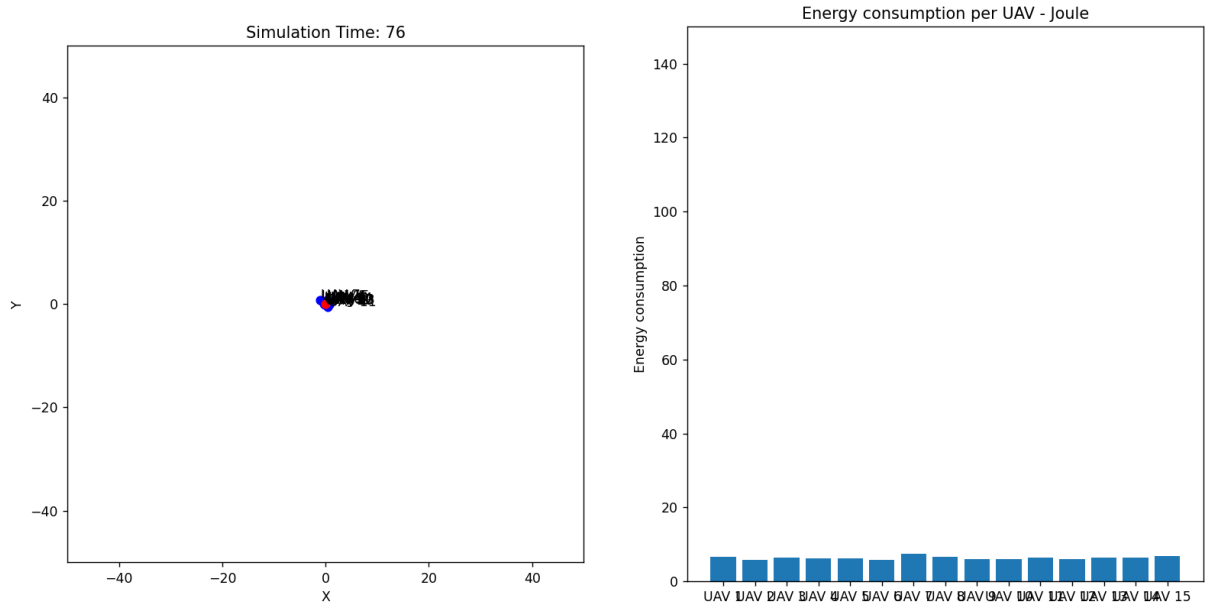
Εικόνα 33. 1<sup>ο</sup> στάδιο του 4<sup>ου</sup> σεναρίου

Επόμενο στάδιο (Εικόνα 34), τα ΜΕΑ έχουν αρχίσει να συντονίζονται ώστε να προσεγγίσουν τον στόχο.



Εικόνα 34. 2<sup>ο</sup> στάδιο του 4<sup>ου</sup> σεναρίου

Επόμενο στάδιο (Εικόνα 35), τα ΜΕΑ έχουν προσεγγίσει τον στόχο.



Εικόνα 35. 3<sup>ο</sup> στάδιο του 4<sup>ου</sup> σεναρίου

## 4.5 Αποτελέσματα

Έπειτα από την εκτέλεση πολλαπλών προσομοιώσεων, για την ακρίβεια όπως περιγράφεται και παραπάνω, πραγματοποιήθηκαν 4 διαφορετικά σεναρία, ανάλογα με τον αριθμό των ΜΕΑ που απάρτιζαν το σμήνος.

Επίσης, για κάθε σενάριο πραγματοποιήθηκαν 5 φορές οι προσομοιώσεις για την μεγαλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

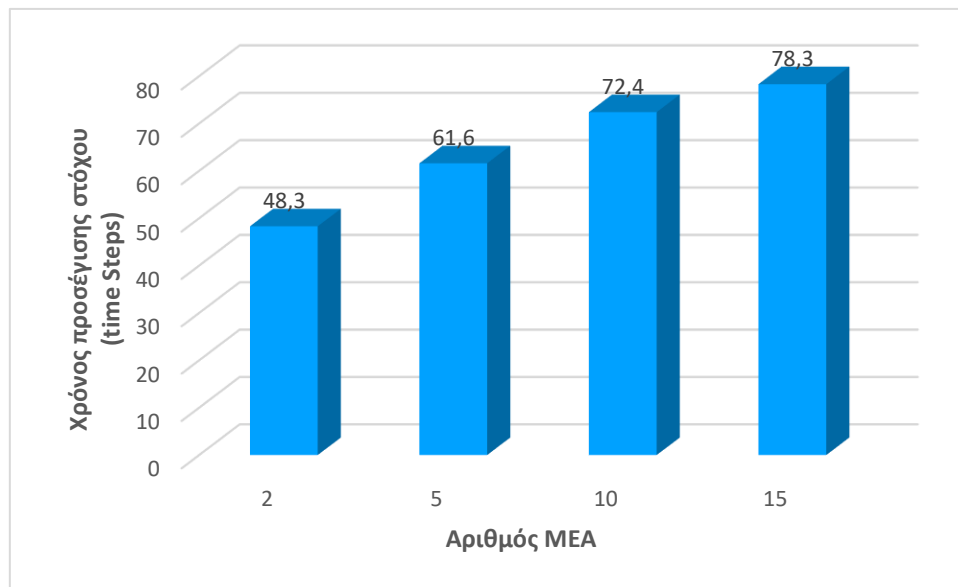
Σε κάθε προσομοίωση μετρήθηκαν οι χρόνοι προσέγγισης του στόχου και η συνολική ενεργειακή κατανάλωση του σμήνους.

### 4.5.1 Αποτελέσματα Χρόνου Προσέγγισης

Για την προσέγγιση του στόχου, όπως αναφέρεται και στα προηγούμενα κεφάλαια, χρησιμοποιείται μία απλοποιημένη έκδοση του αλγορίθμου PSO και λήφθηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα, όπου και αποτυπώνονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Σύγκριση σεναρίων με βάση τον χρόνο προσέγγισης στόχου

Αριθμός ΜΕΑ	Χρόνος Προσέγγισης Στόχου (Time step)
2	48,3
5	61,6
10	72,4
15	78,3



Εικόνα 36. Γράφημα σύγκρισης χρόνου προσέγγισης στόχου

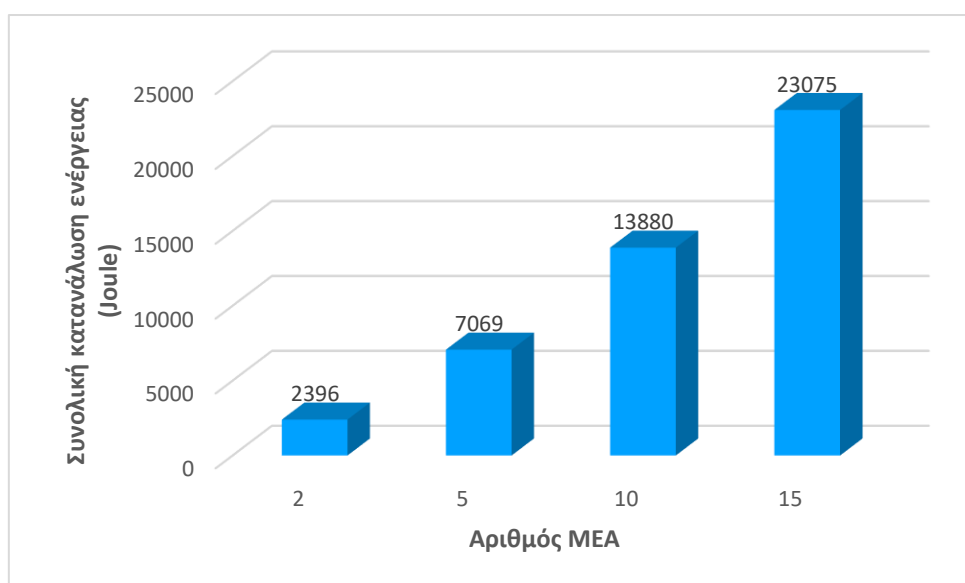
Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα και την οπτικοποίηση τους στην Εικόνα 36, παρατηρείται η αύξηση του απαραίτητου χρόνου προσέγγισης στόχου, με την αύξηση των αριθμού των ΜΕΑ σε ένα σμήνος. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία της βέλτιστης συνεργασίας και επικοινωνίας των ΜΕΑ και την αύξηση των υπολογιστικών πόρων που απαιτούνται για την προσομοίωση.

#### 4.5.2 Αποτελέσματα Ενεργειακής Κατανάλωσης

Για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις και τα ενεργειακά μοντέλα που αναφέρονται και παραπάνω στην ενότητα 4.3. Επιπλέον, εκτελέστηκαν 5 προσομοιώσεις για κάθε σενάριο για έναν μεγαλύτερο όγκο αποτελεσμάτων και υπολογίστηκε ο μέσος όρος για μεγαλύτερη αξιοπιστία. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10. Σύγκριση σεναρίων με βάση την συνολική ενεργειακή κατανάλωση του σμήνους

Αριθμός ΜΕΑ	Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας (Joule)
2	2396
5	7069
10	13880
15	23075



Εικόνα 37. Γράφημα σύγκρισης ενεργειακής κατανάλωσης σμήνους

Παρατηρείται ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, η ενεργειακή κατανάλωση αυξάνεται μαζί με την αύξηση του αριθμού των ΜΕΑ, καθώς πέρα από τον περισσότερο χρόνο εκτέλεσης μέχρι την προσέγγιση του στόχου, υπάρχουν και περισσότερες μονάδες ΜΕΑ. Η εικόνα 37 περιέχει το γράφημα των αποτελεσμάτων.

# Κεφάλαιο 5: Επίλογος

---

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναθεωρείται ολόκληρη η διπλωματική εργασία στοχεύοντας στην διευκρίνηση των στόχων της και των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από την παραπάνω μελέτη. Επίσης, δημιουργείται μία ενότητα με προτάσεις για τις μελλοντικές επεκτάσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν για την περαιτέρω ανάπτυξη και διεύρυνση της εργασίας και του πρακτικού μέρους, αυτού του προσομοιωτή.

## 5.1 Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσίασε μια ολοκληρωμένη ανάλυση της εφαρμογής των σμηνών μη επανδρωμένων αεροσκαφών στη γεωργία ακριβείας, περιλαμβάνοντας μια διεξοδική ανασκόπηση και εξέταση της σχετικής βιβλιογραφίας και των θεμάτων. Η έρευνα περιελάμβανε ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένων των πολλαπλών εφαρμογών των μη επανδρωμένων αεροσκαφών και της τεχνολογίας σμηνών, των μηχανικών εκτιμήσεων σχετικά με τους διάφορους τύπους μη επανδρωμένων αεροσκαφών, της συμβολής των κατασκευαστών στον τομέα, των εργαλείων προσομοίωσης για την ανάπτυξη μη επανδρωμένων αεροσκαφών, καθώς και των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της χρήσης σμηνών. Επιπλέον, η μελέτη εμβάθυνε σε βασικές πτυχές όπως η αρχιτεκτονική επικοινωνίας, τα πρωτόκολλα, οι μηχανισμοί δρομολόγησης, οι αλγόριθμοι σχεδιασμού διαδρομής και τα πλαίσια ταξινόμησης με βάση τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά.

Η μελέτη ξεκίνησε με την αποσαφήνιση των ποικίλων χρήσεων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών και της τεχνολογίας σμηνών, δίνοντας έμφαση στην αποτελεσματικότητά τους στη γεωργία ακριβείας, στην επιτήρηση και σε άλλους τομείς. Στη συνέχεια, μια σχολαστική αξιολόγηση των τύπων μη επανδρωμένων αεροσκαφών, που περιλαμβάνει ΜΕΑ με σταθερό φτερό, υβριδικά, με μονό δρομέα και με πολλαπλούς δρομείς, παρείχε πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις μηχανικές τους δυνατότητες και τους εγγενείς περιορισμούς τους.

Επιπλέον, στις επόμενες ενότητες έγινε αναφορά στους κατασκευαστές μη επανδρωμένων αεροσκαφών, παραδειγματίζοντας τα πιο διαδεδομένα μοντέλα τους αλλά και τις καινοτομίες με των οποίων προωθήθηκε σημαντικά η πρόοδος στην τεχνολογία των μη επανδρωμένων

αεροσκαφών. Επιπλέον, η αξιολόγηση των προσομοιωτών drone υπογράμμισε τον ζωτικό τους ρόλο στη διευκόλυνση της εκπαίδευσης, των δοκιμών και της ανάπτυξης συστημάτων σμήνους από ΜΕΑ.

Η εξέταση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που συνδέονται με τη χρήση σμηνών μη επανδρωμένων αεροσκαφών στη γεωργία ακριβείας αποτέλεσε κρίσιμο σημείο της μελέτης. Ενώ αναγνωρίστηκαν τα πιθανά οφέλη της αυξημένης επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας, της βελτιωμένης ακρίβειας των δεδομένων και της επεκτασιμότητας, εξετάστηκαν επίσης ανησυχίες όπως το κόστος, τα ρυθμιστικά πλαίσια και οι πιθανοί κίνδυνοι για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια.

Για τη δημιουργία αποτελεσματικής επικοινωνίας εντός των σμηνών μη επανδρωμένων αεροσκαφών, η μελέτη διερεύνησε σχολαστικά αρχιτεκτονικές επικοινωνίας, πρωτόκολλα και μηχανισμούς δρομολόγησης. Αυτή η ενδελεχής ανάλυση έθεσε τα θεμέλια για τη δημιουργία ισχυρών και αξιόπιστων δικτύων επικοινωνίας μεταξύ των μελών του σμήνους.

Επιπλέον, η διπλωματική εργασία εμβάθυνε στον κρίσιμο τομέα των αλγορίθμων σχεδιασμού διαδρομών, περιλαμβάνοντας τόσο τον δυναμικό προγραμματισμό όσο και τις αλγοριθμικές προσεγγίσεις της νοημοσύνης σμήνους. Με την κατηγοριοποίηση του σχεδιασμού διαδρομής με βάση τις χωρικές διαστάσεις (2D-3D) και τις χρονικές εκτιμήσεις (online - offline), η μελέτη ανέδειξε τη σημασία της επιλογής κατάλληλων αλγορίθμων προσαρμοσμένων σε συγκεκριμένα σενάρια.

Στο πρακτικό σκέλος της έρευνας, αναπτύχθηκε ένας κώδικας βασισμένος στην Python για την προσομοίωση της προσέγγισης ενός σμήνους μη επανδρωμένων αεροσκαφών προς έναν στόχο. Αυτή η υλοποίηση όχι μόνο διευκόλυνε τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας για μεμονωμένα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, αλλά επέτρεψε επίσης τη προσομοίωση της πτήσης των ΜΕΑ σε πραγματικό χρόνο και την οπτικοποίηση της τροχιάς. Για την προσομοίωση πραγματοποιήθηκε η χρήση ενός απλουστευμένου αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) για την προσέγγιση του στόχου ανέδειξε τη σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων νοημοσύνης σμήνους σε πρακτικές εφαρμογές.

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία παρείχε μια ολοκληρωμένη και σε βάθος διερεύνηση της αξιοποίησης του σμήνους μη επανδρωμένων αεροσκαφών στη γεωργία ακριβείας. Εξετάζοντας διεξοδικά διάφορες πτυχές, συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών, των σχεδιαστικών σκέψεων, των μηχανισμών επικοινωνίας και των αλγορίθμων σχεδιασμού διαδρομής, η έρευνα απέδωσε πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τα πιθανά οφέλη, τις προκλήσεις και τις εκτιμήσεις που περιβάλλουν αυτή την αναδυόμενη τεχνολογία. Τα ευρήματα συμβάλλουν σημαντικά στο υπάρχον σώμα γνώσεων στον τομέα, ανοίγοντας το δρόμο για περαιτέρω εξελίξεις και εφαρμογές των συστημάτων σμήνους μη επανδρωμένων αεροσκαφών στη γεωργία ακριβείας και σε συναφείς τομείς.

## 5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Ο παρατιθέμενος κώδικας είναι μια απλοποιημένη εφαρμογή του αλγορίθμου PSO για τη βελτιστοποίηση της κίνησης των ΜΕΑ προς μια θέση-στόχο, λαμβάνοντας υπόψη την κατανάλωση ενέργειας.

Αν και αποτυπώνει τις βασικές έννοιες του PSO, δεν αντιπροσωπεύει μια ρεαλιστική προσομοίωση ενός αλγορίθμου PSO από όλες τις απόψεις. Ακολουθούν ορισμένα σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη και δύναται να βελτιωθούν μελλοντικά με:

- **Ρεαλιστικό ενεργειακό μοντέλο:** Δύναται η ανάπτυξη ακριβέστερου μοντέλου κατανάλωσης ενέργειας με βάση τη συγκεκριμένη πλατφόρμα ΜΕΑ και τα χαρακτηριστικά της. Λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η δυναμική τους πτήσης, το ωφέλιμο φορτίο, τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας για τους διάφορους τρόπους πτήσης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Χρησιμοποιώντας πραγματικές μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας ή εμπειρικά δεδομένα για τη βαθμονόμηση του μοντέλου.
- **Επικοινωνία και συνεργασία:** Εισαγωγή μηχανισμών επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ ΜΕΑ. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τη θέση του στόχου, τις καλύτερες θέσεις και τις ταχύτητες. Εφαρμογή μεθόδων για την αλληλεπίδραση του σμήνους, όπως η ενημέρωση των ταχυτήτων με βάση τις πληροφορίες από γειτονικά ΜΕΑ, και η επιλογή ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας.
- **Ρεαλιστικοί περιορισμοί:** Δύναται η ενσωμάτωση περιορισμών που είναι σχετικοί με τη συγκεκριμένη εφαρμογή ΜΕΑ. Για παράδειγμα, μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι αποφυγής εμποδίων, περιορισμούς ύψους, ανίχνευση και αποφυγή συγκρούσεων, περιορισμούς αισθητήρων και περιορισμούς εμβέλειας επικοινωνίας. Εν



κατακλείδι, δύναται να εφαρμοστούν μηχανισμοί που διασφαλίζουν ότι τα ΜΕΑ λειτουργούν εντός των καθορισμένων περιορισμών.

- **Αντικειμενική συνάρτηση:** Ορισμός μιας ρεαλιστικής συνάρτησης καταλληλότητας που αποτυπώνει τους στόχους και τους περιορισμούς της χρήσης του σμήνους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πολλαπλούς στόχους, όπως η ελαχιστοποίηση του χρόνου αποστολής, η μεγιστοποίηση της κάλυψης, η εξέταση της ενεργειακής απόδοσης και η αποφυγή εμποδίων.
- **Προσομοίωση αισθητήρων:** Εφαρμογή αισθητήρων επί των ΜΕΑ. Αυτό περιλαμβάνει αισθητήρες για την εκτίμηση θέσης, την ανίχνευση εμποδίων ή την παρακολούθηση στόχων. Η προσομοίωση μετρήσεων αισθητήρων και η ενσωμάτωσή τους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων μπορεί να προσθέσει ρεαλισμό στην προσομοίωση.
- **Οπτικοποίηση και ανάλυση:** Βελτίωση στις δυνατότητες οπτικοποίησης και ανάλυσης της προσομοίωσης. Άμεση μετάδοση των συλλεγμένων στοιχείων σε πλατφόρμες αποθήκευσης και οπτικοποίησης δεδομένων.
- **Συνεργατική συμπεριφορά ΜΕΑ:** Ανάπτυξη αλγορίθμου για δημιουργία πτήσης με κοινή αφετηρία, συνεργασία και κοινό στόχο. Εφαρμογή συνεργατικής συμπεριφοράς του σμήνους.
- **Μηχανισμός αποφυγής εμποδίων:** Εφαρμογή αλγορίθμου αποφυγής εμποδίων, όπου μέσω σχεδίασης απαραίτητων μηχανισμών θα υπάρχει η δυνατότητα εντοπισμού μη προβλέψιμων εμποδίων κατά τον σχεδιασμό πτήσης και αποφυγή τους με δυναμικό σχεδιασμό πτήσης.
- **Κατανομή εργασιών (Task allocation):** Εφαρμογή αλγορίθμων για κατανομή εργασιών εντός του σμήνους ΜΕΑ. Οι αλγόριθμοι κατανομής εργασιών σε σμήνη UAV έχουν σχεδιαστεί για να αναθέτουν αποτελεσματικά μεμονωμένες εργασίες στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη εντός του σμήνους. Αυτοί οι αλγόριθμοι λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως οι απαιτήσεις των εργασιών, οι δυνατότητες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, οι περιορισμοί επικοινωνίας και οι στόχοι της αποστολής.

Με την ενσωμάτωση αυτών των πτυχών στον κώδικα, μπορεί να δημιουργηθεί μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση του αλγορίθμου PSO για τη βελτιστοποίηση της κίνησης ΜΕΑ σε συγκεκριμένα σενάρια εφαρμογής.

# Παραρτήματα

---

```
import math

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

import time

# Set the simulation parameters

num_uavs = 15

sim_time = 85

max_speed = 10.0

boundary = 50.0

#energy constraints

#gravity = 9.98

lift_to_drag_rate = 2

#air_density = 1200

mass = 4

power_transfer_efficiency = 0.8

#propeller_area = 2

#num_rotors = 4

# c1 represents the cognitive component of the PSO algorithm.

c1 = 1.0

# c2 represents the social component of the PSO algorithm.

c2 = 1.0

# speed/position

w = 0.5
```

```

# Initialize the UAV positions and velocities
uav_positions = np.random.uniform(low=-boundary, high=boundary, size=(num_uavs, 2))
uav_positions = np.round(uav_positions, decimals=1)
uav_velocities = np.zeros((num_uavs, 2))

# Initialize the best positions and scores for each UAV
uav_best_positions = uav_positions.copy()
uav_best_scores = np.inf * np.ones(num_uavs)

# Initialize the target position
target_pos = np.zeros(2)

def calculate_scores(positions):
    """Calculate the scores for each UAV based on the distance to the target."""
    return np.linalg.norm(positions - target_pos, axis=1)

def find_nearest_neighbors(positions):
    """Find the nearest neighbors of each UAV."""
    distances = np.linalg.norm(positions[:, np.newaxis, :] - positions, axis=2)
    np.fill_diagonal(distances, np.inf)
    nearest_neighbors = np.argmin(distances, axis=1)
    return nearest_neighbors

def find_centroids(positions):
    """Find the centroid of all the UAVs."""

```

```

return np.mean(positions, axis=0)

def update_uavs(uav_positions, uav_velocities, uav_best_positions, uav_best_scores,
drone_energy_rate, transmission_energy_rate):

    global w, c1, c2

    # Calculate the headings towards the target position

    headings = target_pos - uav_positions
    norms = np.linalg.norm(headings, axis=1)
    nonzero_norms = norms > 0
    headings[nonzero_norms] /= norms[nonzero_norms, np.newaxis]
    uav_best_scores = [float('inf')] * num_uavs

    # Update the velocities and positions of the UAVs using PSO
    for i in range(num_uavs):
        r1 = np.random.uniform()
        r2 = np.random.uniform()

        uav_velocities[i] = w * uav_velocities[i] + c1 * r1 * (uav_best_positions[i] - uav_positions[i])
+ c2 * r2 * headings[i]

        if np.linalg.norm(uav_velocities[i]) > max_speed:
            uav_velocities[i] /= np.linalg.norm(uav_velocities[i])
            uav_velocities[i] *= max_speed
        uav_positions[i] += uav_velocities[i]

    # Wrap the positions around if they go out of bounds

```

```

if uav_positions[i][0] < -boundary:
    uav_positions[i][0] += 2 * boundary
elif uav_positions[i][0] > boundary:
    uav_positions[i][0] -= 2 * boundary
if uav_positions[i][1] < -boundary:
    uav_positions[i][1] += 2 * boundary
elif uav_positions[i][1] > boundary:
    uav_positions[i][1] -= 2 * boundary

# Update the best positions and scores for each UAV
drone_energy_rate = np.random.normal(0.5, 0.1, num_uavs)
transmission_energy_rate = np.random.normal(0.2, 0.05, num_uavs)
score = calculate_energy(uav_positions[i], uav_velocities[i], target_pos, drone_energy_rate,
transmission_energy_rate)
if np.less(score, uav_best_scores[i]).all():
    uav_best_positions[i] = uav_positions[i]
    uav_best_scores[i] = score

print(uav_best_positions)

# Check if all UAVs have reached the target (0,0)
if t > start_time:
    if np.all(np.round(uav_best_positions[:, 0], decimals=0) == 0) and
np.all(np.round(uav_best_positions[:, 1], decimals=0) == 0):
        # All UAVs have reached the target, calculate the time taken
        time_taken = t - start_time
        print(f"All UAVs have reached the target in {time_taken} time steps.")

```

```

        break

    return uav_positions, uav_velocities, uav_best_positions, uav_best_scores

def calculate_energy(position, velocity, distances, drone_energy_rate,
                    transmission_energy_rate):

    dist_to_target = euclidean_distance(position, distances)

    if np.linalg.norm(velocity) == 0:

        time_to_target = 9999 # Η οποιαδήποτε άλλη τιμή που υποδηλώνει αδυναμία φτάσματος
        στον στόχο

    else:

        time_to_target = dist_to_target / np.linalg.norm(velocity)

    # Energy consumed by UAV motion - D'Andrea

    motion_energy = drone_energy_rate + (mass * np.linalg.norm(velocity)) /
    (power_transfer_efficiency * lift_to_drag_rate)

    # Energy consumed by transmission

    transmission_energy = transmission_energy_rate * dist_to_target

    # Energy consumed by UAV hovering - Dorling

    #hovering_energy = (gravity * mass) / math.sqrt(2 * num_rotors * air_density *
    propeller_area)

    total_energy = motion_energy + transmission_energy

    return total_energy

def euclidean_distance(point1, point2):

```

```

"""Calculate the Euclidean distance between two points in a 2D space."""
x1, y1 = point1
x2, y2 = point2
distance = math.sqrt((x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2)
return distance

# Run the simulation
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(ncols=2, figsize=(12, 6))

# create an empty dictionary to store the energy consumption for each UAV
energy_dict = {}
drone_energy_rate = np.random.normal(loc=100, scale=10, size=num_uavs)
transmission_energy_rate = np.random.normal(loc=20, scale=5, size=num_uavs)
for i in range(num_uavs):
    energy_dict[f"UAV {i+1}"] = calculate_energy(uav_positions[i], uav_velocities[i], target_pos,
drone_energy_rate[i], transmission_energy_rate[i])

# plot the bar chart
bar_plot = ax2.bar(range(num_uavs), energy_dict.values())
ax2.set_xticks(range(num_uavs))
ax2.set_xticklabels(energy_dict.keys())
ax2.set_xlabel("UAV", fontsize=2)
ax2.set_ylabel("Energy consumption")
ax2.set_title("Energy consumption per UAV - Joule")

# Initialize the start time
start_time = 0

```

```

total_energy = 0

for t in range(sim_time):

    # Update the UAV positions and velocities

    drone_energy_rate = np.random.normal(loc=1, scale=0.1, size=num_uavs)

    transmission_energy_rate = np.random.normal(loc=1, scale=0.1, size=num_uavs)

    update_uavs(uav_positions, uav_velocities, uav_best_positions, uav_best_scores,
drone_energy_rate, transmission_energy_rate)

    # Update the energy consumption dictionary and the bar chart

    for i in range(num_uavs):

        energy_dict[f"UAV {i+1}"] = calculate_energy(uav_positions[i], uav_velocities[i],
target_pos, drone_energy_rate[i], transmission_energy_rate[i])

        total_energy += energy_dict[f"UAV {i+1}"]

        bar_plot[i].set_height(energy_dict[f"UAV {i+1}"])

plt.ylim(0, 150)

# Plot the UAVs and the target position

ax1.clear()

for i, pos in enumerate(uav_positions):

    ax1.scatter(pos[0], pos[1], color='blue')

    ax1.text(pos[0]+0.1, pos[1]+0.1, f"UAV {i+1}", fontsize=10)

ax1.scatter(target_pos[0], target_pos[1], color='red')

ax1.text(target_pos[0]+0.1, target_pos[1]+0.1, "Target", fontsize=10)

ax1.set_xlim(-boundary, boundary)

ax1.set_ylim(-boundary, boundary)

```



```
ax1.set_aspect('equal', 'box')
ax1.set_xlabel("X")
ax1.set_ylabel("Y")
ax1.set_title(f"Simulation Time: {t}")

plt.pause(0.01)

# Update the bar chart
fig.canvas.draw()

# Print the total energy consumption
print("Total energy consumption:", total_energy)

plt.show()
```

# Βιβλιογραφία

---

- [1] P. Velusamy, S. Rajendran, R. K. Mahendran, S. Naseer, M. Shafiq, and J.-G. Choi, “Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Precision Agriculture: Applications and Challenges,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 1, p. 217, Dec. 2021, doi: 10.3390/en15010217.
- [2] “[https://www.bbc.com/news/technology-64891005.](https://www.bbc.com/news/technology-64891005)”
- [3] “[https://geo-matching.com/uas-for-mapping-and-3d-modelling/eclipse-2-0-professional-survey-portable-fixed-wing-drone.](https://geo-matching.com/uas-for-mapping-and-3d-modelling/eclipse-2-0-professional-survey-portable-fixed-wing-drone)”
- [4] “[https://www.commercialuavnews.com/surveying/a-look-at-the-fixar-007-a-fully-autonomous-fixed-wing-drone.](https://www.commercialuavnews.com/surveying/a-look-at-the-fixar-007-a-fully-autonomous-fixed-wing-drone)”
- [5] “[https://www.yangdaonline.com/yangda-fw-250-fixed-wing-vtol-plane/.](https://www.yangdaonline.com/yangda-fw-250-fixed-wing-vtol-plane/)”
- [6] H. Shakhathreh *et al.*, “Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 48572–48634, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
- [7] “[https://www.prodrone.com/release-en/2874/.](https://www.prodrone.com/release-en/2874/)”
- [8] “[https://www.businesswire.com/news/home/20160830005497/en/YI-Technology-to-Debut-World%E2%80%99s-Fastest-Tri-Copter-Drone-at-InterDrone-2016.](https://www.businesswire.com/news/home/20160830005497/en/YI-Technology-to-Debut-World%E2%80%99s-Fastest-Tri-Copter-Drone-at-InterDrone-2016)”
- [9] “[https://www.dji.com/gr/phantom.](https://www.dji.com/gr/phantom)”
- [10] “[https://www.dji.com/gr/matrice600-pro.](https://www.dji.com/gr/matrice600-pro)”
- [11] “[https://www.dji.com/newsroom/news/dji-released-its-new-spreading-wings-s1000-octocopter-platform.](https://www.dji.com/newsroom/news/dji-released-its-new-spreading-wings-s1000-octocopter-platform)”
- [12] J. Keane and S. Carr, “A Brief History of Early Unmanned Aircraft,” *Johns Hopkins APL Tech Dig*, vol. 32, pp. 558–571, Mar. 2013.
- [13] M. Abdelkader, S. Güler, H. Jaleel, and J. S. Shamma, “Aerial Swarms: Recent Applications and Challenges,” *Current Robotics Reports*, vol. 2, no. 3, pp. 309–320, Sep. 2021, doi: 10.1007/s43154-021-00063-4.
- [14] M. Silvagni, A. Tonoli, E. Zenerino, and M. Chiaberge, “Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events,” *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 8, no. 1, pp. 18–33, Jan. 2017, doi: 10.1080/19475705.2016.1238852.
- [15] A. Tahir, J. Böling, M.-H. Haghbayan, H. T. Toivonen, and J. Plosila, “Swarms of Unmanned Aerial Vehicles — A Survey,” *J Ind Inf Integr*, vol. 16, p. 100106, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jii.2019.100106.
- [16] “[https://brincdrones.com.](https://brincdrones.com)”
- [17] “[https://www.cbsnews.com/seattle/news/seattle-company-deploys-tactical-drones-to-help-search-and-rescue-missions-in-turkey/.](https://www.cbsnews.com/seattle/news/seattle-company-deploys-tactical-drones-to-help-search-and-rescue-missions-in-turkey/)”
- [18] “[https://oceanservice.noaa.gov/facts/remotesensing.html.](https://oceanservice.noaa.gov/facts/remotesensing.html)”
- [19] N. Mohamed, J. Al-Jaroodi, I. Jawhar, A. Idries, and F. Mohammed, “Unmanned aerial vehicles applications in future smart cities,” *Technol Forecast Soc Change*, vol. 153, p. 119293, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.techfore.2018.05.004.
- [20] N. Anwar, F. Najam, and M. Amir Izhar, “Construction Monitoring and Reporting using Drones and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs),” Mar. 2018.
- [21] I. H. C.T. *et al.*, “The First Government Sanctioned Delivery of Medical Supplies by Remotely Controlled Unmanned Aerial System (UAS),” 2016.
- [22] “[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/TXT/?uri=CELEX:32018R1139.](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/TXT/?uri=CELEX:32018R1139)”
- [23] “[https://enterprise.dji.com/electricity?site=enterprise&from=nav.](https://enterprise.dji.com/electricity?site=enterprise&from=nav)”
- [24] “[https://enterprise.dji.com/electricity/construction-planning-and-design.](https://enterprise.dji.com/electricity/construction-planning-and-design)”
- [25] “[https://enterprise.dji.com/electricity/construction-management.](https://enterprise.dji.com/electricity/construction-management)”

- [26] “<https://enterprise.dji.com/electricity/power-grid-management>.”
- [27] “<https://enterprise-insights.dji.com/user-stories/eliminate-grid-downtime-with-drone-inspection>.”
- [28] B. Hiebert, E. Nouvet, V. Jeyabalan, and L. Donelle, “The Application of Drones in Healthcare and Health-Related Services in North America: A Scoping Review,” *Drones*, vol. 4, no. 3, p. 30, Jul. 2020, doi: 10.3390/drones4030030.
- [29] “<https://www.dronesinhealthcare.com/>.”
- [30] S. A. H. Mohsan, M. A. Khan, F. Noor, I. Ullah, and M. H. Alsharif, “Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review,” *Drones*, vol. 6, no. 6, p. 147, Jun. 2022, doi: 10.3390/drones6060147.
- [31] “<https://jlawgroup.com/can-police-use-drones-surveillance/>.”
- [32] P. Daponte *et al.*, “A review on the use of drones for precision agriculture,” *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 275, no. 1, p. 012022, May 2019, doi: 10.1088/1755-1315/275/1/012022.
- [33] “<https://www.wfp.org/emergencies/global-food-crisis>.”
- [34] J. Kim, S. Kim, C. Ju, and H. Il Son, “Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 105100–105115, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932119.
- [35] M. L. Guillen-Climent, P. J. Zarco-Tejada, J. A. J. Berni, P. R. J. North, and F. J. Villalobos, “Mapping radiation interception in row-structured orchards using 3D simulation and high-resolution airborne imagery acquired from a UAV,” *Precis Agric*, vol. 13, no. 4, pp. 473–500, Aug. 2012, doi: 10.1007/s11119-012-9263-8.
- [36] U. R. Mogili and B. B. V. L. Deepak, “Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture,” *Procedia Comput Sci*, vol. 133, pp. 502–509, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.07.063.
- [37] H. Chao *et al.*, “Band-reconfigurable Multi-UAV-based Cooperative Remote Sensing for Real-time Water Management and Distributed Irrigation Control,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 41, no. 2, pp. 11744–11749, 2008, doi: 10.3182/20080706-5-KR-1001.01989.
- [38] J. Kim, S. Kim, C. Ju, and H. Il Son, “Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 105100–105115, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932119.
- [39] “<http://www.industrial-drone.com/nla610-agriculture-drone-with-10l-sprayer-system-6463392.html>.”
- [40] “<https://ag.dji.com/>.”
- [41] “<https://www.dji.com/gr/t40?site=ag&from=nav>.”
- [42] “<https://ag.dji.com/mavic-3-m?site=ag&from=nav>.”
- [43] “<https://www.dji.com/gr>.”
- [44] “<https://www.dji.com/gr/products/consumer?site=brandsite&from=footer>.”
- [45] “<https://www.dji.com/gr/products/professional?site=brandsite&from=footer>.”
- [46] “<https://enterprise.dji.com/>.”
- [47] “<https://www.dji.com/gr/ag-platform?site=ag&from=nav>.”
- [48] “<https://www.parrot.com/us/about-parrot>.”
- [49] “[https://en.wikipedia.org/wiki/Parrot\\_SA](https://en.wikipedia.org/wiki/Parrot_SA).”
- [50] “<https://www.parrot.com/us/>.”
- [51] “<https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2022-02/ANAFI-USA-update-productsheet-030222.pdf>.”
- [52] “[https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2022-10/ANAFIAi\\_productsheet\\_20221011.pdf](https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2022-10/ANAFIAi_productsheet_20221011.pdf).”

- [53] “<https://www.parrot.com/us/newsroom>.”
- [54] “<https://www.insitu.com/products>.”
- [55] “<https://www.jouav.com/>.”
- [56] “<https://www.skydio.com>.”
- [57] “<https://dronelife.com/2022/02/09/skydio-wins-us-army-srr-program-production-agreement/>.”
- [58] “<https://developer.nvidia.com/blog/skydio-2-jetson-tx2-drone/>.”
- [59] “<https://www.xa.com/en/about>.”
- [60] “<https://www.prnewswire.com/news-releases/xag-and-huawei-cooperate-on-5g-powered-smart-agriculture-300909034.html>.”
- [61] “<https://technode.com/2019/11/27/xag-unveils-delivery-drone-developed-with-airbus/>.”
- [62] A. Mairaj, A. I. Baba, and A. Y. Javaid, “Application specific drone simulators: Recent advances and challenges,” *Simul Model Pract Theory*, vol. 94, pp. 100–117, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.simpat.2019.01.004.
- [63] “<https://gazebosim.org/>.”
- [64] “[https://classic.gazebosim.org/blog/src\\_results](https://classic.gazebosim.org/blog/src_results).”
- [65] “<https://classic.gazebosim.org/blog.html?page=3>.”
- [66] “<https://microsoft.github.io/AirSim/#>.”
- [67] “<https://zephyr-sim.com/features/8>.”
- [68] “<https://www.dji.com/gr/simulator>.”
- [69] M. Champion, P. Ranganathan, and S. Faruque, “A Review and Future Directions of UAV Swarm Communication Architectures,” in *2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*, IEEE, May 2018, pp. 0903–0908. doi: 10.1109/EIT.2018.8500274.
- [70] G. Skorobogatov, C. Barrado, and E. Salamí, “Multiple UAV Systems: A Survey,” *Unmanned Systems*, vol. 08, no. 02, pp. 149–169, Apr. 2020, doi: 10.1142/S2301385020500090.
- [71] X. Chen, J. Tang, and S. Lao, “Review of Unmanned Aerial Vehicle Swarm Communication Architectures and Routing Protocols,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 10, p. 3661, May 2020, doi: 10.3390/app10103661.
- [72] “<https://www.thedefensepost.com/2022/09/13/uk-army-drone-swarm->.”
- [73] “<https://www.aboutamazon.com/news/transportation/amazon-prime-air-prepares-for-drone-deliveries>.”
- [74] D. Albani, D. Nardi, and V. Trianni, “Field coverage and weed mapping by UAV swarms,” in *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, IEEE, Sep. 2017, pp. 4319–4325. doi: 10.1109/IROS.2017.8206296.
- [75] M. R. Brust, G. Danoy, P. Bouvry, D. Gashi, H. Pathak, and M. P. Goncalves, “Defending Against Intrusion of Malicious UAVs with Networked UAV Defense Swarms,” in *2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, IEEE, Oct. 2017, pp. 103–111. doi: 10.1109/LCN.Workshops.2017.71.
- [76] S.-J. Chung, A. A. Paranjape, P. Dames, S. Shen, and V. Kumar, “A Survey on Aerial Swarm Robotics,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 34, no. 4, pp. 837–855, Aug. 2018, doi: 10.1109/TRO.2018.2857475.
- [77] I. Maza, A. Ollero, E. Casado, and D. Scarlatti, “Classification of Multi-UAV Architectures,” in *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2015, pp. 953–975. doi: 10.1007/978-90-481-9707-1\_119.

- [78] G. Dudek, Michael R. M. Jenkin, E. Milios, and D. Wilkes, “A taxonomy for multi-agent robotics,” *Auton Robots*, vol. 3, no. 4, 1996, doi: 10.1007/BF00240651.
- [79] I. Jawhar, N. Mohamed, J. Al-Jaroodi, D. P. Agrawal, and S. Zhang, “Communication and networking of UAV-based systems: Classification and associated architectures,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 84, pp. 93–108, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.jnca.2017.02.008.
- [80] S. Aggarwal and N. Kumar, “Path planning techniques for unmanned aerial vehicles: A review, solutions, and challenges,” *Comput Commun*, vol. 149, pp. 270–299, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2019.10.014.
- [81] T. Indriyanto, A. R. Rizki, M. L. Hariyadin, M. F. Akbar, and A. A. A. Syafi, “Centralized swarming UAV using ROS for collaborative missions,” 2020, p. 030012. doi: 10.1063/5.0002616.
- [82] “<https://encyclopedia.pub/entry/990>.”
- [83] W. Chen, J. Liu, H. Guo, and N. Kato, “Toward Robust and Intelligent Drone Swarm: Challenges and Future Directions,” *IEEE Netw*, vol. 34, no. 4, pp. 278–283, Jul. 2020, doi: 10.1109/MNET.001.1900521.
- [84] M. A. Khan, A. Safi, I. M. Qureshi, and I. U. Khan, “Flying ad-hoc networks (FANETs): A review of communication architectures, and routing protocols,” in *2017 First International Conference on Latest trends in Electrical Engineering and Computing Technologies (INTELLECT)*, IEEE, Nov. 2017, pp. 1–9. doi: 10.1109/INTELLECT.2017.8277614.
- [85] İ. Bekmezci, O. K. Sahingoz, and Ş. Temel, “Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey,” *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 3, pp. 1254–1270, May 2013, doi: 10.1016/j.adhoc.2012.12.004.
- [86] C. M. Ramya, M. Shanmugaraj, and R. Prabakaran, “Study on ZigBee technology,” in *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, IEEE, Apr. 2011, pp. 297–301. doi: 10.1109/ICECTECH.2011.5942102.
- [87] H. A. H. Alobaidy, J. S. Mandeep, R. Nordin, and N. F. Abdullah, “A Review on ZigBee Based WSNs: Concepts, Infrastructure, Applications, and Challenges,” *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, pp. 189–198, 2020, doi: 10.18178/ijeetc.9.3.189-198.
- [88] “<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>.”
- [89] J. Haxhibeqiri, E. De Poorter, I. Moerman, and J. Hoebeke, “A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application,” *Sensors*, vol. 18, no. 11, p. 3995, Nov. 2018, doi: 10.3390/s18113995.
- [90] Q. Zirak, D. Shashev, and S. Shidlovskiy, “Swarm of Drones Using LoRa Flying Ad-Hoc Network,” in *2021 International Conference on Information Technology (ICIT)*, IEEE, Jul. 2021, pp. 400–405. doi: 10.1109/ICIT52682.2021.9491655.
- [91] “<https://mavlink.io/en/>.”
- [92] “<https://github.com/mavlink/mavlink/commit/a087528b8146ddad17e9f39c1dd0c1353e5991d5>.”
- [93] U. R. Mogili and BBVL. Deepak, “An Intelligent Drone for Agriculture Applications with the Aid of the MAVlink Protocol,” 2020, pp. 195–205. doi: 10.1007/978-981-15-2696-1\_19.
- [94] O. Shrit, S. Martin, K. Alagha, and G. Pujolle, “A new approach to realize drone swarm using ad-hoc network,” in *2017 16th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net)*, IEEE, Jun. 2017, pp. 1–5. doi: 10.1109/MedHocNet.2017.8001645.

- [95] F. Boccardi, R. W. Heath, A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, “Five disruptive technology directions for 5G,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, Feb. 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6736746.
- [96] B. U. Islam, R. F. Olanrewaju, F. Anwar, A. R. Najeeb, and M. Yaacob, “A Survey on MANETs: Architecture, Evolution, Applications, Security Issues and Solutions,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 12, no. 2, p. 832, Nov. 2018, doi: 10.11591/ijeecs.v12.i2.pp832-842.
- [97] M. R. Ghori, K. Z. Zamli, N. Quosthoni, M. Hisyam, and M. Montaser, “Vehicular ad-hoc network (VANET): Review,” in *2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD)*, IEEE, May 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICIRD.2018.8376311.
- [98] S. S. Manvi, M. S. Kakkasageri, and C. V. Mahapurush, “Performance Analysis of AODV, DSR, and Swarm Intelligence Routing Protocols In Vehicular Ad Hoc Network Environment,” in *2009 International Conference on Future Computer and Communication*, IEEE, Apr. 2009, pp. 21–25. doi: 10.1109/ICFCC.2009.122.
- [99] M. Y. Arafat and S. Moh, “Routing Protocols for Unmanned Aerial Vehicle Networks: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 99694–99720, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2930813.
- [100] N. Beijar, “Zone Routing Protocol (ZRP).”
- [101] S. Kulkarni and Gr. Rao, “Mobility and Energy-Based Performance Analysis of Temporally Ordered Routing Algorithm for Ad Hoc Wireless Network,” *IETE Technical Review*, vol. 25, no. 4, p. 222, 2008, doi: 10.4103/0256-4602.42815.
- [102] V. D. Park and M. S. Corson, “A performance comparison of the temporally-ordered routing algorithm and ideal link-state routing,” in *Proceedings Third IEEE Symposium on Computers and Communications. ISCC'98. (Cat. No.98EX166)*, IEEE Comput. Soc, pp. 592–598. doi: 10.1109/ISCC.1998.702600.
- [103] P. Bouman, N. Agatz, and M. Schmidt, “Dynamic programming approaches for the traveling salesman problem with drone,” *Networks*, vol. 72, no. 4, pp. 528–542, Dec. 2018, doi: 10.1002/net.21864.
- [104] B. Velusamy and S. C. Pushpan, “A Review on Swarm Intelligence Based Routing Approaches,” *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 9, no. 3, pp. 182–195, May 2019, [Online]. Available: <https://ojs.imeti.org/index.php/IJETI/article/view/3348>
- [105] Y. Zhao, Z. Zheng, and Y. Liu, “Survey on computational-intelligence-based UAV path planning,” *Knowl Based Syst*, vol. 158, pp. 54–64, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.knosys.2018.05.033.
- [106] “[https://www.spiceworks.com/tech/devops/articles/what-is-dynamic-programming/.](https://www.spiceworks.com/tech/devops/articles/what-is-dynamic-programming/)”
- [107] R. Bellman, “Dynamic Programming Treatment of the Travelling Salesman Problem,” *Journal of the ACM*, vol. 9, no. 1, pp. 61–63, Jan. 1962, doi: 10.1145/321105.321111.
- [108] Jianping Tu and S. X. Yang, “Genetic algorithm based path planning for a mobile robot,” in *2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.03CH37422)*, IEEE, pp. 1221–1226. doi: 10.1109/ROBOT.2003.1241759.
- [109] “[https://www.mathworks.com/help/gads/what-is-the-genetic-algorithm.html.](https://www.mathworks.com/help/gads/what-is-the-genetic-algorithm.html)”
- [110] M. A. Albadr, S. Tiun, M. Ayob, and F. AL-Dhief, “Genetic Algorithm Based on Natural Selection Theory for Optimization Problems,” *Symmetry (Basel)*, vol. 12, no. 11, p. 1758, Oct. 2020, doi: 10.3390/sym12111758.
- [111] J. Kennedy and R. Eberhart, “Particle swarm optimization,” in *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, IEEE, pp. 1942–1948. doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.

- [112] Y. Zhang, S. Wang, and G. Ji, “A Comprehensive Survey on Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications,” *Math Probl Eng*, vol. 2015, pp. 1–38, 2015, doi: 10.1155/2015/931256.
- [113] R. Umar, “Hybrid Cooperative Energy Detection Techniques in Cognitive Radio Networks,” 2014.
- [114] F. Yang, P. Wang, Y. Zhang, L. Zheng, and J. Lu, “Survey of swarm intelligence optimization algorithms,” in *2017 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS)*, IEEE, Oct. 2017, pp. 544–549. doi: 10.1109/ICUS.2017.8278405.
- [115] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle, “Ant colony optimization,” *IEEE Comput Intell Mag*, vol. 1, no. 4, pp. 28–39, Nov. 2006, doi: 10.1109/MCI.2006.329691.
- [116] C. Okonta, A. Kemp, R. Edokpia, C. Monyei, and E. Okelue, *A heuristic based ant colony optimization algorithm for energy efficient smart homes*. 2016.
- [117] “<https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks>.”
- [118] J. F. Horn, E. M. Schmidt, B. R. Geiger, and M. P. DeAngelo, “Neural Network-Based Trajectory Optimization for Unmanned Aerial Vehicles,” *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 35, no. 2, pp. 548–562, Mar. 2012, doi: 10.2514/1.53889.
- [119] J. Horn, B. Geiger, and E. Schmidt, “Use of Neural Network Approximation in Multiple-Unmanned Aerial Vehicle Trajectory Optimization,” in *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Aug. 2009. doi: 10.2514/6.2009-6103.
- [120] A. Bakdi, A. Hentout, H. Boutami, A. Maoudj, O. Hachour, and B. Bouzouia, “Optimal path planning and execution for mobile robots using genetic algorithm and adaptive fuzzy-logic control,” *Rob Auton Syst*, vol. 89, pp. 95–109, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.robot.2016.12.008.
- [121] Q. Song, Q. Zhao, S. Wang, Q. Liu, and X. Chen, “Dynamic Path Planning for Unmanned Vehicles Based on Fuzzy Logic and Improved Ant Colony Optimization,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 62107–62115, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2984695.
- [122] H. Martínez-Alfaro and S. Gómez-García, “Mobile robot path planning and tracking using simulated annealing and fuzzy logic control,” *Expert Syst Appl*, vol. 15, no. 3–4, pp. 421–429, Oct. 1998, doi: 10.1016/S0957-4174(98)00055-4.
- [123] “<https://www.python.org/>.”
- [124] “[https://en.wikipedia.org/wiki/Python\\_\(programming\\_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)).”
- [125] “<https://docs.python.org/3/library/math.html>.”
- [126] “<https://matplotlib.org/>.”
- [127] “<https://numpy.org/>.”
- [128] “<https://code.visualstudio.com/>.”
- [129] C. Muli, S. Park, and M. Liu, “A Comparative Study on Energy Consumption Models for Drones,” 2022, pp. 199–210. doi: 10.1007/978-3-031-20936-9\_16.
- [130] J. Zhang, J. F. Campbell, D. C. Sweeney II, and A. C. Hupman, “Energy consumption models for delivery drones: A comparison and assessment,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 90, p. 102668, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.trd.2020.102668.
- [131] A. A. Hudaib and A. K. AL Hwaitat, “Movement Particle Swarm Optimization Algorithm,” *Mod Appl Sci*, vol. 12, no. 1, p. 148, Dec. 2017, doi: 10.5539/mas.v12n1p148.

## Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

2D	2 Dimensional
3D	3 Dimensional
3G	3 <sup>rd</sup> generation
4G	4 <sup>th</sup> generation
5G	5 <sup>th</sup> generation
6G	6 <sup>th</sup> generation
ADDV	Ad hoc On-Demand Distance Vector
ACO	Ant Colony Optimization
API	Application Programming Interface
ANN	Artificial Neural Networks
BATMAN	Better Approach to Mobile Ad-hoc Networking
DCR	Data Centric Routing
DCRP	Swarm-based data centric routing protocols
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
FBI	Federal Bureau of Investigation
FANET	Flying Ad-hoc Network
fIPAR	Fraction of Intercepted Photosynthetically Active Radiation
FL	Fuzzy Logic
GA	Genetic Algorithm
GLSR	Geographic Load Share Routing
GPS	Global Positioning System



GPU	Graphics Processing Unit
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
HRP	Swarm-based hierarchical routing protocols
IoT	Internet of Things
JPG	Joint Photographic Experts Group
LARP	Swarm-based location aware routing protocols
LCDR	Load Carry and Deliver Routing
LAI	Leaf Area Index
LiDAR	Light Detection and Ranging
LoRaWAN	Long Range Wireless Area Network
LoRa	Long Range
LTE-M	Long-Term Evolution for Machines
LPWAN	Low Power Wide Area Network
M2M	Machine to Machine
MAC	Media Access Control
MAVLink	Micro Air Vehicle Link
MLHR	Multilevel Hierarchical Routing
MANET	Mobile Ad-hoc Network
NB-IoT	Narrowband Internet of Things
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NGRDI	Normalized Green Red Difference Index
OLSR	Optimized Link State Routing
PSO	Particle Swarm Optimization
PDF	Portable Document Format

PNG	Portable Network Graphics
QoS	Quality of Service
RFID	Radio Frequency Identification
Sigfox	"Société d'Ingénierie des Systèmes de Télécommunications Sans Fil et d'Objets Connectés"
SRC	Space Robotics Challenge
SVG	Scalable Vector Graphics
TORA	Temporary Ordered Routing Algorithm
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
V2I	Vehicle-To-Infrastructure
V2V	Vehicle-To-Vehicle
VANET	Vehicular Ad-hoc Networks
VTOL	Vertical Take Off Landing
VR	Virtual Reality
WiFi	Wireless Fidelity
XML	eXtensible Markup Language
ZRP	Zone Routing Protocol
ΜΕΑ	Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη
ΣΜΧ	Συσκευή Μειωμένης Χρήσης
ΣΟΧ	Συσκευή Ολοκληρωτικής Χρήσης

# Απόδοση Ξενόγλωσσων Όρων

3 <sup>rd</sup> Generation Mobile Network	Κινητό Δίκτυο 3 <sup>ης</sup> Γενιάς
4 <sup>th</sup> Generation Mobile Network	Κινητό Δίκτυο 4 <sup>ης</sup> Γενιάς
5 <sup>th</sup> Generation Mobile Network	Κινητό Δίκτυο 5 <sup>ης</sup> Γενιάς
6 <sup>th</sup> Generation Mobile Network	Κινητό Δίκτυο 6 <sup>ης</sup> Γενιάς
Ad Hoc	Κατά Περίπτωση
Ad Hoc On-Demand Distance Vector	Διάνυσμα Απόστασης Ad-Hoc Κατ' Απαίτηση
Ant Colony Optimization	Βελτιστοποίηση Αποικίας Μυρμηγκιών
Ant Colony Optimization	Βελτιστοποίηση Βασισμένη Στις Αποικίες Μυρμηγκιών
Ant Colony Optimization-Based Polymorphism-Aware Routing	Βελτιστοποίηση Με Βάση Την Αποικία Μυρμηγκιών Δρομολόγησης Με Επίγνωση Του Πολυμορφισμού
Artificial Neural Networks	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα
Based Network Flow And Quality Of Service Aware Routing Protocols	Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Βασισμένα Στην Ροή Δικτύου Και Στην Ποιότητα Των Υπηρεσιών
Bee Colony Algorithm-Based Ad Hoc Network	Δίκτυο Ad Hoc Με Βάση Τον Αλγόριθμο Αποικίας Μελισσών
Better Approach To Mobile Ad-Hoc Networking	Καλύτερη Προσέγγιση Στην Κινητή Ad-Hoc Δικτύωση
Cellular Networks	Κυψελοειδή Δίκτυα
Cluster Head	Επικεφαλή
Clusters	Ομάδες
Collective Organization	Συνολική Οργάνωση
Comprehensive Routing Protocol	Περιεκτικό Πρωτόκολλο Δρομολόγησης
Computational Intelligence	Υπολογιστική Νοημοσύνη
Data Centric Routing	Δεδομενο-Κεντρική Δρομολόγηση
Dedicated Gpu	Αποκλειστική Κάρτα Γραφικών
Destination Sequenced Distance Vector	Διάνυσμα Απόστασης Με Αλληλουχία Προορισμού

Destination Sequenced Distance Vector	Διάνυσμα Απόστασης Με Αλληλουχία Προορισμού
Dynamic Programming	Δυναμικός Προγραμματισμός
Dynamic Source Routing	Δυναμική Πηγή Δρομολόγησης
Flying Ad Hoc Networks	Ιπτάμενα Δίκτυα Κατά Περίπτωση
Fraction Of Intercepted Photosynthetically Active Radiation	Δείκτης Της Αναχαιτισμένης Φωτοσυνθετικά Ενεργού Ακτινοβολίας
Fuzzy Logic	Ασαφής Λογική
Genetic Algorithm	Γενετικός Αλγόριθμος
Geographic Routing Protocols	Γεωγραφικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης
Global Optima	Συνολική Βελτιστοποίηση
Greedy Perimeter Stateless Routing	Άπληστη Περιμετρική Δρομολόγηση Χωρίς Κατάσταση
Hybrid Routing Protocols	Υβριδικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης
Improved Artificial Fish-Swarm Algorithm	Βελτιωμένος Αλγόριθμος Τεχνητού Σμήνους Ψαριών
Inertia Weight	Βάρος Αδράνειας
Laser Altimeter	Υψομετρητής Λείζερ
Leaf Area Index	Δείκτης Επιφάνειας Φύλλων
Lift to Drag Rate	Δείκτης Ανύψωσης Έλξης
Light Detection And Ranging	Ανιχνευτής Φωτός Και Εμβέλειας
Linting	Επισήμανση Προβλήματος
Load Carry And Deliver Routing	Φόρτωση Και Μεταφορά Φορτίου Δρομολόγηση
Local Area Network	Δίκτυο Τοπικής Περιοχής
Local Optima	Τοπική Βελτιστοποίηση
Low Power Wide Area Network	Δίκτυο Ευρείας Περιοχής Χαμηλής Ισχύος
Mission Control	Τρόπος Ελέγχου
Mobile Ad Hoc Network	Κινητό Δίκτυο Κατά Περίπτωση
Multi-Agent	Πολυπαραγοντικό
Multilevel Hierarchical Routing	Πολυεπίπεδη Ιεραρχική Δρομολόγηση

N-Dimension Array	N-Διάστατος Πίνακας
Node	Κόμβος
Normalized Difference Vegetation Index	Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς
Normalized Green Red Difference Index	Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Πράσινου-Κόκκινου
Offline	Κατάσταση Εκτός Σύνδεσης
Online	Κατάσταση Εντός Σύνδεσης
Open Source	Ανοικτού Κώδικα
Optimized Link State Routing	Βελτιστοποιημένη Δρομολόγηση Κατάστασης Σύνδεσης
Optimized Link State Routing	Βελτιστοποιημένη Δρομολόγηση Κατάστασης Σύνδεσης
Overfitting	Υπερπροσαρμογή
Overhead Cost	Κόστος Υπολογισμού
Particle Swarm Optimization	Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων
Path Planning	Σχεδίαση Διαδρομής
Pheromone-Based Energy Aware Directed Diffusion	Πρωτόκολλο Κατευθυνόμενης Διάχυσης Με Ενεργειακή Επίγνωση Βάσει Της Φερομόνης
Precision Agriculture	Γεωργία Ακριβείας
Proactive Routing Protocols	Προληπτικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης
Radio Frequency Identification	Εκπομπέας Ταυτοποίησης Μέσω Ραδιοσυχνοτήτων
Reactive Routing Protocols	Αντιδραστικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης
Routing Protocols	Πρωτόκολλα Δρομολόγησης
Sensor Driven And Cost Aware Ant Routing	Δρομολόγηση Μυρμηγκιών Με Γνώμονα Τον Αισθητήρα Και Το Κόστος
Similarity	Ομοιογένεια
Space Classification	Κατηγοριοποίηση Με Βάση Τον Χώρο
Spatial Relations	Χωροταξικές Σχέσεις
Static Routing Protocols	Στατικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης
Stigmergy	Μηχανισμός Έμμεσου Συντονισμού

Subscriber Identity Module	Κάρτα Ταυτότητας Συνδρομητή
Swarm Intelligence Routing Protocols	Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Ευφυίας Σμήνους
Swarm Operation	Χειρισμός Σμήνους
Swarm Taxonomy	Ταξινόμηση Σμήνους
Swarm-Based Data Centric Routing Protocols	Δεδομενοκεντρικό Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Σμήνους
Swarm-Based Hierarchical Routing Protocols	Ιεραρχικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Σμήνους
Swarm-Based Location Aware Routing Protocols	Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Σμήνους Βασισμένα Στην Επίγνωση Τοποθεσίας
Task Separation	Διαχωρισμός Εργασιών
Temporal Relations	Χρονικές Σχέσεις
Temporary Ordered Routing Algorithm	Αλγόριθμος Προσωρινής Δρομολόγησης
Thermal Camera	Θερμική Κάμερα
Three Dimensions	Τρισδιάστατη
Time Classification	Κατηγοριοποίηση Με Βάση Τον Χρόνο
Travelling Salesman	Προβλήματος Του Μικροπωλητή
Two Dimensions	Δισδιάστατη
Unmanned Aerial Vehicles	Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα
Vehicle-To-Infrastructure	Όχημα-Σε-Υποδομή
Vehicle-To-Vehicle	Όχημα-Σε-Όχημα
Vehicular Ad-Hoc Networks	Δίκτυα Κατά Περίπτωση Οχημάτων
Vertical Take Off Landing	Τεχνολογία Κάθετης Προσγείωσης Και Προσγείωσης
Wifi Module	Μονάδα Wifi
Wireless Fidelity	Δίκτυο Ασύρματης Πιστότητας
Zone Routing Protocol	Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ζώνης