



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Ρομποτική Σμήνους στην Έξυπνη Γεωργία”
“Swarm Robotics in Smart Agriculture”

ΜΠΑΡΜΠΙΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

A.M. : 80697701

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Αθήνα, 2022

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί ταχύτητα εμφανίζοντας πολύ θετικά αποτελέσματα στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Πιο συγκεκριμένα ο κλάδος της ρομποτικής έχει τεράστια ανάπτυξη με πολυάριθμες και πολύπλευρες εφαρμογές σε όλες τις τεχνολογικές εγκαταστάσεις στη βιομηχανία, στη γεωργία αλλά και σε διάφορους άλλους επιστημονικούς τομείς . Στον τομέα της γεωργίας η ρομποτική έχει ξεκινήσει σχετικά πρόσφατα να κάνει την εμφάνισή της. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής, κυρίως μέσω βιβλιογραφικής έρευνας, είναι να παρουσιαστεί για γενική περιγραφή της ρομποτικής και μια πιο αναλυτική περιγραφή της ρομποτικής σμήνους. Επιπροσθέτως, θα περιγραφεί η εξέλιξη της γεωργίας ακριβείας και θα παρουσιαστούν μελέτες εφαρμογών ρομποτικής σμήνους στη γεωργία.

Λέξεις κλειδιά

Ρομποτική , ρομποτική σμήνους , γεωργία ακριβείας, έξυπνη γεωργία , UAV , Μη επανδρωμένα αεροσκάφη , καλλιέργεια , αγρότης

Abstart

In recent years, technology has developed rapidly showing very positive results in everyday life. More specifically, the robotics industry has a huge growth with numerous and multifaceted applications in all technological installations in industry, agriculture and various other scientific fields. In the field of agriculture, robotics has only recently begun to make its appearance. The purpose of this dissertation, mainly through bibliographic research, is to present for a general description of robotics and a more detailed description of the robotic swarm. In addition, the evolution of precision agriculture will be described and studies of robotic swarm applications in agriculture will be presented.

Keywords

Robotics, swarm robotics, precision farming, smart farming, UAV, Non-Human Aircrafts, farming, farmer

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος Αυτοματισμοί Παραγωγής & Υπηρεσιών. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κ. Χρήστο Δρόσο για την πολύτιμη βοήθεια και άριστη καθοδήγηση του, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και την σύντροφο μου Ηρώ που καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου ήταν στο πλευρό μου και με στήριζαν με κάθε δυνατό τρόπο.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΓΚΑΝΕΤΣΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ	
ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ	
ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μπαρμπάκης Δημήτριος, με αριθμό μητρώου 80697701 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών “Αυτοματισμός Παραγωγής & Υπηρεσιών” του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.»

Ο Δηλών



Μπαρμπάκης Δημήτριος

Περιεχόμενα

Πρόλογος	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	6
1. Ρομποτική	6
1.1 Εισαγωγή στη ρομποτική	6
1.2 Ιστορική αναδρομή ρομποτικής	7
1.3 Εξέλιξη της βιομηχανικής ρομποτικής	8
1.4 Τα χαρακτηριστικά της ρομποτικής	9
1.5 Τύποι ρομπότ	9
1.6 Εφαρμογές ρομποτικής	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	12
2. Ρομποτική Σμήνους	12
2.1 Εισαγωγή	12
2.2 Κίνητρο και Έμπνευση Κοινωνικών Εντόμων	12
2.3 Νοημοσύνη του σμήνους	13
2.4 Κριτήρια συστήματος ρομποτικού σμήνους	14
2.5 Ταξινόμηση ρομποτικών σμήνους	15
2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πολυ-ρομποτικών συστημάτων	16
2.6.1 Πλεονεκτήματα	16
2.6.2 Μειονεκτήματα	16
2.7 Βασικές Συμπεριφορές στη Ρομποτική Σμήνους	17
2.7.1 Ταξινόμηση	17
2.7.2 Χωρική Οργάνωση	18
2.7.3 Πλοήγηση	19
2.7.4 Λήψη αποφάσης	19
2.7.5 Διάφορες συμπεριφορές	19
2.8 Περιγραφή Επιπρόσθετων Συμπεριφορών Σμήνους	20
2.8.1 Συλλογικός Εντοπισμός	20
2.8.2 Συλλογική Αντίληψη	21
2.8.3 Συγχρονισμός	21

2.8.4 Αυτοθεραπεία.....	22
2.8.5 Αυτοαναπαραγωγή.....	23
2.9 Παραδείγματα Πειραματικών Έργων στα Ρομποτική Σμήνη	24
2.9.1 Συσσωμάτωση	24
2.9.2 Διασπορά	24
2.9.3 Σχηματισμός Μοτίβου	25
2.9.4 Συλλογική Κίνηση.....	25
2.9.5 Κατανομή εργασιών.....	26
2.9.6 Αναζήτηση Πηγών.....	26
2.9.7 Συλλογική Μεταφορά Αντικειμένων	26
2.9.8 Συλλογική Χαρτογράφηση	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	28
3. Ερευνητικές Πλατφόρμες και Βιομηχανικά Έργα Ρομποτικής Σμήνους	28
3.1 Εισαγωγή.....	28
3.2. Ερευνητικές Πλατφόρμες εφαρμογών σμήνους	28
3.2.1 Πλατφόρμες σε Γήινο περιβάλλον	29
3.2.2 Πλατφόρμες σε Εναέριο περιβάλλον	31
3.2.3 Πλατφόρμες σε Υδάτινο περιβάλλον	31
3.2.4 Διαστημικές πλατφόρμες	32
3.3 Βιομηχανικά Έργα και Προϊόντα.....	32
3.3.1 Γήινες - Μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους	32
3.3.2. Εναέριες	34
3.3.3. Υδάτινες	35
3.3.4 Επίγεια / Εναέρια / Υδροβία.....	36
3.3.5 Διαστημικά έργα.....	36
3.4 Προσομοιωτές	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	38
4. Έξυπνη Γεωργία	38
4.1 Εισαγωγή.....	38
4.2. Ιστορική αναδρομή.....	39
4.3 Η Έξυπνη Γεωργία	40
4.4 Το IoT στην έξυπνη γεωργία	42

4.5 Ο Κύκλος Έξυπνης Γεωργίας που βασίζεται στο IoT.....	43
4.6 Τα οφέλη της έξυπνης γεωργίας	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	45
5. Ρομποτική Σμήνους στην Έξυπνη Γεωργία	45
5.1 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV).....	45
5.1.1 Εισαγωγή.....	45
5.1.2. Εφαρμογές συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) στη γεωργία	46
5.1.3. Τύποι UAV	47
5.1.4. Σύγκριση διαφόρων UAV.....	51
5.1.5 UAV στην καλλιέργεια φυτών/καλλιεργειών	52
5.2 Περιοχές εφαρμογής UAV	53
5.2.1. Ανάλυση εδάφους και πεδίου	53
5.2.2 Φύτευση.....	53
5.2.3 Καλλιέργεια και ψεκασμοί	54
5.2.4 Παρακολούθηση καλλιέργειας.....	55
5.2.5 Άρδευση	55
5.2.6 Αξιολόγηση υγείας.....	56
5.3 UAV στην κτηνοτροφία.....	57
5.3.1 Απογραφείς Κτηνοτροφίας	57
5.3.2 Υγεία των ζώων	58
5.3.3 Παρακολούθηση και αναγνώριση	59
5.3.4 Εναέρια συγκέντρωση	60
5.3.5 Γεω-περίφραξη και εικονική περίμετρος	60
5.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα-προκλήσεις των UAV	62
5.4.1 Πλεονεκτήματα	62
5.4.2 Μειονεκτήματα και προκλήσεις	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	66
6.Υλοποιημένες Εφαρμογές Ρομποτικής Σμήνους στην Έξυπνη Γεωργία.....	66
6.1 Ρομποτικό σύστημα σμήνους Xaver.....	66
6.1.1 Στοχευμένη σπορά με τεχνολογία σμήνους.....	66
6.1.2 Βασικά μέρη λειτουργίας	67
6.2 Πείραμα Swarm robotics for Agricultural Applications (SAGA).....	68

6.2.1 Εφαρμογή SAGA.....	69
6.2.2 Περιγραφή υλικού εφαρμογής SAGA.....	70
6.3 Έξυπνη καλλιέργεια με ακριβή εφαρμογή φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων	71
6.4 Σμήνος ηλεκτρικών ρομποτικών τρακτέρ της John Deere	72
6.5 Ρομποτική για την αντιμετώπιση των ανθεκτικών ζιζανίων σε καλλιέργειες της Αυστραλίας.	73
6.6 SwarmFarm - Πλατφόρμα ρομποτικών οχημάτων για ψεκασμό, βοτάνισμα και αραίωση.....	74
6.7 Σύστημα αυτόματης ρομποτικής καλλιέργειας.....	76
6.8 Ρομπότ έρευνας ανίχνευσης εδάφους βασισμένα σε ηλεκτρονική μύτη	77
Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα.....	78
Βιβλιογραφία	79

Πρόλογος

Η εργασία αυτή έχει σαν σκοπό την γενική περιγραφή της έννοιας της ρομποτικής και μια αναλυτική περιγραφή της ρομποτικής σμήνους. Επίσης περιγράφεται η έννοια και η εξέλιξη της γεωργίας ακριβείας και θα παρουσιαστούν μερικές μελέτες εφαρμογών ρομποτικής σμήνους στη γεωργία . Η διάρθρωση της εργασίας γίνεται σε έξι κεφάλαια ως εξής :

- Στο **πρώτο** κεφάλαιο γίνεται μια γενική αναφορά στη ρομποτική.
- Στο **δεύτερο** κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση του τομέα της ρομποτικής σμήνους.
- Στο **τρίτο** κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε ερευνητικές πλατφόρμες και βιομηχανικά έργα σχετικά με την ρομποτική σμήνους.
- Το **τέταρτο** κεφάλαιο αναφέρεται στον τομέα της έξυπνης γεωργίας και την εξέλιξή της.
- Στο **πέμπτο** κεφάλαιο γίνεται μια πιο συγκεκριμένη παρουσίαση της ρομποτικής σμήνους στον τομέα της έξυπνης γεωργίας.
- Στο **έκτο** κεφάλαιο παρουσιάζονται μερικές υλοποιημένες εφαρμογές ρομποτικής σμήνους στην γεωργία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1. Ρομποτική

1.1 Εισαγωγή στη ρομποτική

Η ρομποτική είναι ένας διεπιστημονικός τομέας της επιστήμης και της μηχανικής που περιλαμβάνει στοιχεία από τη μηχανολογία, την ηλεκτρολογία και την επιστήμη των υπολογιστών. Η ρομποτική είναι ένας τομέας αφιερωμένος στο να ασχολείται με τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τον τρόπο λειτουργίας, τις χρήσεις και τις εφαρμογές των ρομπότ και των συστημάτων χειρισμού τους, της ανάδρασης των αισθητήρων και των πληροφοριών που επεξεργάζονται. Επίσης ένας άλλος ορισμός περιγράφει την ρομποτική ως τη διασταύρωση της επιστήμης, της μηχανικής και της τεχνολογίας που παράγει μηχανές, που ονομάζονται ρομπότ, που υποκαθιστούν ή αναπαράγουν ανθρώπινες ενέργειες. Επειδή γενικότερα η τεχνολογία προχωρά, το ίδιο ισχύει και για την ακτίνα αυτού που θεωρείται ρομποτική. Το 2005, το 90% όλων των ρομπότ μπορούσαν να βρεθούν να συναρμολογούν αυτοκίνητα σε εργοστάσια αυτοκινήτων.[1] Αυτά τα ρομπότ αποτελούνται κυρίως από μηχανικούς βραχίονες που έχουν ως αποστολή τη συγκόλληση ή το βίδωμα σε ορισμένα μέρη ενός αυτοκινήτου.

Σήμερα, βλέπουμε έναν εξελιγμένο και διευρυμένο ορισμό της ρομποτικής που περιλαμβάνει την ανάπτυξη, τη δημιουργία και τη χρήση ρομπότ που εξερευνούν τις πιο σκληρές συνθήκες της Γης [2], βοηθητικά ρομπότ για την επιβολή του νόμου[3] και ακόμη και ρομπότ που βοηθούν σχεδόν σε κάθε πτυχή της υγειονομικής περίθαλψης [4]. Στο εγγύς μέλλον, χάρη στην πρόοδο των τεχνολογιών της τεχνητής νοημοσύνης και του λογισμικού, τα ρομπότ θα συνεχίσουν να γίνονται πιο έξυπνα, πιο ευέλικτα και πιο ενεργειακά αποδοτικά.[5,6,7]. Θα συνεχίσουν επίσης να είναι το κύριο σημείο εστίασης στα έξυπνα εργοστάσια, όπου θα ανταποκριθούν σε πιο δύσκολες προκλήσεις και θα βοηθήσουν στην εξασφάλιση παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού. Από τα βάθη των ωκεανών μέχρι χιλιάδες μίλια στο διάστημα, θα βρεθούν ρομπότ να εκτελούν εργασίες που οι άνθρωποι δεν μπορούσαν να ονειρευτούν να επιτύχουν μόνοι τους.[8]

1.2 Ιστορική αναδρομή ρομποτικής

Η ιδέα των αυτόνομων μηχανών απασχολούσε την ανθρωπότητα από τα αρχαία χρόνια, με το πρώτο ρομπότ που καταγράφηκε να κάνει την εμφάνιση του στην ελληνική μυθολογία με το όνομα Τάλως. Κατασκευάστηκε από το θεό Ήφαιστο, ως δώρο στον βασιλιά Μίνωα με σκοπό τη φύλαξη της Κρήτης και τη διασφάλιση της τήρησης των νόμων. Η ορολογία «ρομπότ» προέρχεται από την τσέχικη λέξη *robota* που σημαίνει «καταναγκαστική εργασία». Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά, πριν από 100 χρόνια, σε ένα θεατρικό έργο του συγγραφέα της ίδιας εθνικότητας, Karel Capek. Αυτό το έργο με τίτλο «RUR (Rossum's Universal Robots)» πρωτοπαρουσιάστηκε το 1921 και γνώρισε μεγάλη επιτυχία σε όλο τον κόσμο, αφήνοντας χωρίς να το γνωρίζει μια λέξη που θα γινόταν διαχρονική. Για να μιλήσουμε για την προέλευση της ρομποτικής, πρέπει να αναφέρουμε τον Αριστοτέλη και τις ιδέες του για τα «αυτοματοποιημένα εργαλεία», τον Henry Ford, τον Leonardo Da Vinci και τον μηχανικό Isaac Asimov. Κατά τον μεσαίωνα ο Άραβας μηχανικός Ισμαήλ Αλ Τζαζάρι (1336-1206) στο βιβλίο του “Το βιβλίο της γνώσης περί έξυπνων μηχανικών συσκευών”, περιλαμβάνει διαγράμματα και σχέδια για αρκετούς μηχανισμούς, συμπεριλαμβανομένου ενός ελέφαντα που κινείται και σημαίνει την ώρα. Παρακάτω αναφέρουμε τα γεγονότα - ορόσημα που έχουν φέρει πραγματική πρόοδο προς την αυτοματοποίηση και την αυτόνομη κινητή ρομποτική, ήδη από τα μέσα του 20ου αιώνα. Η αυτόνομη κινητή ρομποτική θεωρείται αυτή που είναι ικανή να λαμβάνει αποφάσεις σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα χωρίς την ανάγκη επίβλεψης από χειριστή. Μερικά σχετικά ιστορικά στοιχεία είναι τα παρακάτω:

- Δεκαετία του '50, Αγγλία. Το ELSIE (Electro-Light-Sensitive Internal-External) είναι το πρώτο κινητό ρομπότ στην ιστορία. Οι τεχνικές του δυνατότητες ήταν ακόμη πολύ περιορισμένες. Ήταν πραγματικά ένα φωτοευαίσθητο ηλεκτρομηχανικό ρομπότ με εσωτερική και εξωτερική σταθερότητα.
- Δεκαετία του '60, Ινστιτούτο Έρευνας Στάνφορντ. SHAKY: ρομπότ που ενσωματώνει ήδη αισθητήρες αφής και κάμερα όρασης. Μπορούσε να κινηθεί στο έδαφος χάρη σε δύο υπολογιστές που συνδέονταν με ραδιόφωνο.
- Δεκαετία 70, MARS-ROVER: πλατφόρμα που ενσωματώνει μηχανικό βραχίονα, αισθητήρες εγγύτητας, συσκευή τηλεμετρίας λέιζερ και στερεοφωνικές κάμερες. Αναπτύχθηκε από τη NASA για να εξερευνήσει εχθρικό ή άγνωστο έδαφος.

- Δεκαετία του '80, SRI's CART: πλατφόρμα που μοντελοποίησε εμπόδια χάρη στις καρτεσιανές συντεταγμένες στις κορυφές της. [9]

1.3 Εξέλιξη της βιομηχανικής ρομποτικής

Τα βιομηχανικά ρομπότ δεν έχουν συνήθως ανθρωποειδές σχήμα, αν και είναι ικανά να αναπαράγουν ανθρώπινες κινήσεις και συμπεριφορές αλλά με τη δύναμη, την ακρίβεια και την ταχύτητα μιας μηχανής. Τα πρώτα βιομηχανικά ρομπότ αναπτύχθηκαν από τον George Devol, Αμερικανό εφευρέτη και ιδρυτή της πρώτης εταιρείας ρομποτικής στην ιστορία της Unimation.

Το 1954, αυτό που θεωρείται το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ: ένας υδραυλικός βραχίονας που ονομάζεται Unimate, που χρησιμοποιείται για την ανύψωση βαρέων φορτίων, ο οποίος πουλήθηκε στη General Motors. Τα επόμενα χρόνια αναπτύχθηκαν αρκετές εκδόσεις του ίδιου μοντέλου της εταιρείας Unimation που εισήχθησαν, σιγά σιγά, σε ορισμένα εργοστάσια κυρίως στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Ήταν στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και στη δεκαετία του 1970 όταν εμφανίστηκαν πολύ πιο προηγμένοι ρομποτικοί βραχίονες στους οποίους χρησιμοποιήθηκαν ήδη κάμερες ή αισθητήρες. Το ρομπότ Shakey, που σχεδιάστηκε το 1966 από το Ινστιτούτο Έρευνας Στάνφορντ, ξεχωρίζει ως σημαντικό ορόσημο για την κινητή ρομποτική. Το Shakey ήταν το πρώτο κινητό ρομπότ στον κόσμο, χάρη στο λογισμικό και το υλικό που του επέτρεψε να αντιλαμβάνεται και να κατανοεί το περιβάλλον, αν και με περιορισμένο τρόπο.

Παράλληλα εμφανίστηκαν και τα πρώτα κινητά βιομηχανικά ρομπότ. Το 1954, η Barrett Electronics Corporation κυκλοφόρησε το πρώτο ηλεκτρικό όχημα που δεν χρειαζόταν άνθρωπο για οδηγό, αυτό που γνωρίζουμε ως το πρώτο AGV (Autonomous Guided Vehicle). Τα AGV απέκτησαν πιο σύνθετες συμπεριφορές στη δεκαετία του '80 καθώς προχωρούσε η τεχνολογία και ήδη στη δεκαετία του '90 βρήκαμε AGV με πολύ πιο ακριβείς αισθητήρες και λέιζερ. Ένα AGV δεν είναι ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ. Αν και τα πρώτα βιομηχανικά ρομπότ δημιουργήθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες, τις δεκαετίες του 1980 και του 1990 αναπτύχθηκαν ήδη σε ορισμένες ευρωπαϊκές και ασιατικές χώρες, κυρίως στην Ιαπωνία και τη Σουηδία. Θυμάστε πιθανώς τον Deep Blue της IBM που κέρδισε τον παγκόσμιο πρωταθλητή Garry Kasparov σε μια παρτίδα σκάκι.

Στις μέρες μας, η ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης ή άλλων τεχνολογιών είναι τόσο ισχυρές που το παιχνίδι εναντίον του Κασπάροφ ακούγεται ξεπερασμένο. Οι εφαρμογές που φέρνει η

τεχνητή νοημοσύνη στη ρομποτική, και συνεπώς στον βιομηχανικό τομέα, είναι απείρως πιο πολύτιμες και πιο κερδοφόρες από τη νίκη σε παιχνίδια σκακιού. [9]

1.4 Τα χαρακτηριστικά της ρομποτικής

Υπάρχουν πολλά είδη ρομπότ που χρησιμοποιούνται με διάφορους τρόπους σε ποικίλα περιβάλλοντα. Όμως όλα έχουν τρία κοινά χαρακτηριστικά στον τομέα της κατασκευής τους.

- Αποτελούνται από κάποιο είδος μηχανικής κατασκευής. Η μηχανική πτυχή ενός ρομπότ το βοηθά να ολοκληρώσει εργασίες στο περιβάλλον για το οποίο έχει σχεδιαστεί. Για παράδειγμα, οι τροχοί του Mars 2020 Rover είναι μεμονωμένα μηχανοκίνητοι και κατασκευασμένοι από σωλήνες τιτανίου που το βοηθούν να πιάσει σταθερά το σκληρό έδαφος του κόκκινου πλανήτη.
- Τα ρομπότ χρειάζονται ηλεκτρικά εξαρτήματα που ελέγχουν και τροφοδοτούν τα μηχανήματα. Ουσιαστικά, ένα ηλεκτρικό ρεύμα, όπως μια μπαταρία, χρειάζεται για να τροφοδοτήσει τη μεγάλη πλειοψηφία των ρομπότ.
- Έχουν ένα είδος κώδικα προγραμματισμού και ένα πρόγραμμα που καθορίζει το πότε ή τον τρόπο που ένα ρομπότ θα κάνει μια εργασία. Ο προγραμματισμός διακρίνεται σε τρία είδη: απομακρυσμένος χειρισμός, χειρισμός τεχνητής νοημοσύνης και υβριδικός. Στον αυτοματοποιημένο χειρισμό το ρομπότ θα πραγματοποιήσει κίνηση, όταν πάρει από τον άνθρωπο – χειριστή την απαραίτητη οδηγία, και ταιριάζει πιο πολύ στον τομέα του αυτοματισμού. Στην τεχνητή νοημοσύνη τα ρομπότ αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και παίρνουν αποφάσεις σύμφωνα με τον προγραμματισμό που ήδη υπάρχει. Στα υβριδικά γίνεται χρήση απομακρυσμένου χειρισμού και τεχνητής νοημοσύνης παράλληλα.[8]

1.5 Τύποι ρομπότ

Τα μηχανικά bot διατίθενται σε όλα τα σχήματα και μεγέθη για να εκτελούν αποτελεσματικά την εργασία για την οποία έχουν σχεδιαστεί. Όλα τα ρομπότ διαφέρουν ως προς το σχεδιασμό, τη λειτουργικότητα και τον βαθμό αυτονομίας. Από το «RoboBee» μήκους 0,2 χιλιοστών έως το ρομποτικό πλοίο «Vindskip» μήκους 200 μέτρων, τα ρομπότ αναδύονται για να εκτελούν εργασίες που οι άνθρωποι απλά δεν μπορούν. Γενικά, υπάρχουν πέντε τύποι ρομπότ:

- Προγραμματισμένα Ρομπότ

Τα προγραμματισμένα ρομπότ λειτουργούν σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον όπου κάνουν απλές, μονότονες εργασίες. Ένα παράδειγμα ενός προγραμματισμένου ρομπότ θα ήταν ένας μηχανικός βραχίονας σε μια γραμμή συναρμολόγησης αυτοκινήτου. Ο βραχίονας εκτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία για παράδειγμα να συγκολλήσει μια πόρτα, να εισαγάγει ένα συγκεκριμένο μέρος στον κινητήρα κ.λπ. και η δουλειά του είναι να εκτελεί αυτή την εργασία περισσότερο, ταχύτερα και πιο αποτελεσματικά από έναν άνθρωπο.

- Ανθρωποειδή ρομπότ

Τα ανθρωποειδή ρομπότ είναι ρομπότ που μοιάζουν και μιμούνται την ανθρώπινη συμπεριφορά. Αυτά τα ρομπότ συνήθως εκτελούν ανθρώπινες δραστηριότητες και μερικές φορές είναι σχεδιασμένα να μοιάζουν με εμάς, ακόμη και με ανθρώπινα πρόσωπα και εκφράσεις. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα ανθρωποειδών ρομπότ είναι η Sophia της Hanson Robotics και ο Atlas της Boston Dynamics .

- Αυτόνομα Ρομπότ

Τα αυτόνομα ρομπότ λειτουργούν ανεξάρτητα από τους ανθρώπινους χειριστές. Αυτά τα ρομπότ σχεδιάζονται συνήθως για να εκτελούν εργασίες σε ανοιχτά περιβάλλοντα που δεν απαιτούν ανθρώπινη επίβλεψη. Είναι αρκετά μοναδικά επειδή χρησιμοποιούν αισθητήρες για να αντιληφθούν τον κόσμο γύρω τους και στη συνέχεια χρησιμοποιούν δομές λήψης αποφάσεων για να κάνουν το βέλτιστο επόμενο βήμα με βάση τα δεδομένα και την αποστολή τους. Ένα παράδειγμα αυτόνομου ρομπότ είναι οι ηλεκτρικές σκούπες ρομπότ, οι οποίες χρησιμοποιούν αισθητήρες για να κινούνται ελεύθερα σε ένα σπίτι. Άλλα παραδείγματα αυτόνομων ρομπότ είναι τα ρομπότ για το κλάδεμα γκαζόν, ρομπότ Ιατρικής βοήθειας.

- Τηλεχειριζόμενα ρομπότ

Τα τηλεχειριζόμενα ρομπότ είναι ημι-αυτόνομα ρομπότ που χρησιμοποιούν ένα ασύρματο δίκτυο για να επιτρέψουν τον ανθρώπινο έλεγχο από ασφαλή απόσταση. Αυτά τα ρομπότ συνήθως λειτουργούν σε ακραίες γεωγραφικές συνθήκες, καιρικές συνθήκες, συνθήκες κ.λπ. Παραδείγματα τηλεχειριζόμενων ρομπότ είναι τα ελεγχόμενα από τον άνθρωπο υποβρύχια που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση διαρροών υποβρύχιων σωλήνων κατά τη διάρκεια της

πετρελαιοκηλίδας της BP ή τα drones που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ναρκών ξηράς σε ένα πεδίο μάχης.[10,8]

- Προσθετικά Ρομπότ ανθρώπινης αύξησης

Τα προσθετικά ρομπότ ενισχύουν τις τρέχουσες ανθρώπινες ικανότητες ή σε άλλες περιπτώσεις αντικαθιστούν τις δυνατότητες που μπορεί να έχει χάσει ένας άνθρωπος. Ο τομέας της ρομποτικής για την ανθρώπινη αύξηση είναι ένας τομέας όπου η επιστημονική φαντασία θα μπορούσε να γίνει πραγματικότητα πολύ σύντομα, με ρομπότ που έχουν την ικανότητα να επαναπροσδιορίσουν τον ορισμό της ανθρωπότητας κάνοντας τους ανθρώπους γρηγορότερους και ισχυρότερους. Μερικά παραδείγματα προσθετικών ρομπότ είναι ρομποτικά προσθετικά άκρα ή εξωσκελετές που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση μεγάλων βαρών.[8]

1.6 Εφαρμογές ρομποτικής

Η αυξημένη έρευνα και κατασκευή νέων ρομπότ για τη διεκπεραίωση προβλημάτων οδηγεί στη δημιουργία ολοένα και πιο εξειδικευμένων ρομποτικών συστημάτων τόσο από πλευράς μηχανικής κατασκευής και ηλεκτρικών συνάψεων όσο και από πλευράς προγραμματισμού. Για παράδειγμα, αρκετά ρομπότ σχεδιάζονται για τη συναρμολόγηση κομματιών σε βιομηχανίες, αναλαμβάνοντας ολόκληρους κύκλους συναρμολόγησης ενός προϊόντος. Τα ρομπότ αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα για άλλες εφαρμογές. Κατατάσσονται ως ρομπότ συναρμολογήσεων. Δημιουργούνται δηλαδή συγκεκριμένοι κλάδοι τα ρομπότ των οποίων έχουν κοινά γνωρίσματα. Μερικές ενδεικτικές εφαρμογές των ρομπότ είναι μεταξύ άλλων:

- για στρατιωτική χρήση
- στη βιομηχανία
- στην ιατρική
- για οικιακή χρήση
- ρομπότ που δρουν συλλογικά (τα λεγόμενα cobots)
- αυτόνομα drones
- ρομπότ σε σμήνη [8]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2⁰

2. Ρομποτική Σμήνους

2.1 Εισαγωγή

Η φύση αποτελούσε ανέκαθεν έμπνευση για τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Μέσω διαμοιρασμού εργασιών ή δημιουργίας σχηματισμών, έντομα όπως οι μέλισσες ή τα μυρμήγκια μπορούν να μεταφέρουν αντικείμενα πιο βαριά από το βάρος τους και να πραγματοποιούν εργασίες που τα μέλη των αποικιών τους δεν θα μπορούσαν ατομικά καθώς και να εξαλείψουν τα προβλήματα που θα εμπόδιζαν τη κίνηση τους. Η νοημοσύνη του σμήνους αυτών των εντόμων έχει εισαχθεί τα τελευταία χρόνια στην επιστήμη της ρομποτικής δημιουργώντας ένα καινούργιο και υποσχόμενο επιστημονικό θέμα. Η ρομποτική σμήνους είναι ένας τομέας της ρομποτικής στον οποίο μεγάλος αριθμός ρομπότ συντονίζεται με κατανεμημένο και αποκεντρωμένο τρόπο. Μεγάλος αριθμός απλών ρομπότ μπορεί να εκτελέσει σύνθετες εργασίες με πιο αποτελεσματικό τρόπο από ένα μόνο ρομπότ, δίνοντας στιβαρότητα και ευελιξία στην ομάδα. Βασίζεται στη χρήση τοπικών κανόνων και απλών ρομπότ σε σύγκριση με την πολυπλοκότητα της εργασίας που πρέπει να επιτευχθεί και εμπνέεται από κοινωνικά έντομα που μπορούν να εκτελέσουν εργασίες που είναι πέρα από τις δυνατότητες των ατόμων.

2.2 Κίνητρο και Έμπνευση Κοινωνικών Εντόμων

Οι συλλογικές συμπεριφορές των κοινωνικών εντόμων, όπως ο χορός της μέλισσας, το χτίσιμο της σφηκοφωλιάς, η κατασκευή του τύμβου των τερμιτών ή η παρακολούθηση των ιχνών των μυρμηγκιών, θεωρούνταν για πολύ καιρό παράξενες και μυστηριώδεις πτυχές της βιολογίας. Οι ερευνητές έχουν αποδείξει τις τελευταίες δεκαετίες ότι τα άτομα δεν χρειάζονται καμία αναπαράσταση ή εξελιγμένη γνώση για να παράγουν τέτοιες σύνθετες συμπεριφορές [11]. Στα κοινωνικά έντομα, τα άτομα δεν ενημερώνονται για την παγκόσμια κατάσταση της αποικίας και δεν υπάρχει κανένας ηγέτης που να καθοδηγεί όλα τα άλλα άτομα προκειμένου να επιτύχουν τους στόχους τους. Η γνώση του σμήνους κατανέμεται σε όλους τους πράκτορες, όπου ένα άτομο δεν είναι σε θέση να ολοκληρώσει το έργο του χωρίς το υπόλοιπο σμήνος.

Τα κοινωνικά έντομα είναι σε θέση να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να επικοινωνούν για παράδειγμα για τη θέση μιας πηγής τροφής, μιας ευνοϊκής ζώνης αναζήτησης τροφής ή την

παρουσία κινδύνου για τους συντρόφους τους. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των ατόμων βασίζεται στην έννοια της εντοπιότητας, όπου δεν υπάρχει γνώση για τη συνολική κατάσταση. [12,13] Τα έντομα τροποποιούν τις συμπεριφορές τους λόγω των προηγούμενων αλλαγών που έκαναν οι σύντροφοί τους στο περιβάλλον. Αυτό μπορεί να φανεί στην κατασκευή φωλιάς των τερμιτών, όπου οι αλλαγές στη συμπεριφορά των εργαζομένων καθορίζονται από τη δομή της φωλιάς [14].

Η οργάνωση προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων και μεταξύ των ατόμων και του περιβάλλοντος. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις διαδίδονται σε όλη την αποικία και επομένως η αποικία μπορεί να λύσει εργασίες που δεν θα μπορούσαν να επιλυθούν από ένα μόνο άτομο. Αυτές οι συλλογικές συμπεριφορές ορίζονται ως αυτοοργανωτικές συμπεριφορές. Οι θεωρίες αυτο-οργάνωσης, δανεισμένες από τους τομείς της φυσικής και της χημείας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσουν πώς τα κοινωνικά έντομα παρουσιάζουν περίπλοκη συλλογική συμπεριφορά που προκύπτει από αλληλεπιδράσεις ατόμων που συμπεριφέρονται απλά [14].

Η αυτοοργάνωση βασίζεται στον συνδυασμό των ακόλουθων τεσσάρων βασικών κανόνων: θετική ανατροφοδότηση, αρνητική ανατροφοδότηση, τυχαιότητα και πολλαπλές αλληλεπιδράσεις [14].

Ο Şahin [15] απαριθμεί ορισμένες ιδιότητες που φαίνονται στα κοινωνικά έντομα ως επιθυμητές σε πολυ-ρομποτικά συστήματα: Στιβαρότητα, το σμήνος ρομπότ πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργεί ακόμα και αν κάποια από τα άτομα αποτυγχάνουν ή υπάρχουν διαταραχές στο περιβάλλον. Ευελιξία, το σμήνος πρέπει να μπορεί να δημιουργεί διαφορετικές λύσεις για διαφορετικές εργασίες και να μπορεί να αλλάζει κάθε ρόλο ρομπότ ανάλογα με τις ανάγκες της στιγμής. Επεκτασιμότητα, το σμήνος ρομπότ θα πρέπει να μπορεί να εργάζεται σε διαφορετικά μεγέθη ομάδων, από λίγα άτομα έως χιλιάδες από αυτά.

2.3 Νοημοσύνη του σμήνους

Τα ρομποτικά σμήνη αποτελούνται από απλές σε λειτουργίες οντότητες οι οποίες συνεργάζονται με τέτοιο τρόπο που δημιουργούν μια οντότητα για την επίτευξη ενός κοινού στόχου. Η κάθε οντότητα λειτουργεί αυτόνομα και προκύπτει μια συλλογική συμπεριφορά-αποτέλεσμα. Με τον τρόπο αυτό το σμήνος είναι ικανό να επιτύχει στόχους εκτός των δυνατοτήτων των μεμονωμένων οντοτήτων του, πιο αποδοτικά από ένα υψηλών δυνατοτήτων ρομπότ, ακόμα και

αν κάποιο μέλος υποστεί βλάβη ή δυσλειτουργεί. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός τα μέλη-οντότητες του ρομποτικού σμήνους πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους. Η επικοινωνία αυτή γίνεται είτε τοπικά μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας, ήτοι από ένα κεντρικό σύστημα επικοινωνίας, είτε άμεσα με το κάθε μέλος να είναι σε θέση να αντιληφθεί μια μεταβολή των άλλων μελών στο περιβάλλον .

Η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των μελών του σμήνους και η αξιοποίηση τους ονομάζεται νοημοσύνη του σμήνους και είναι απαραίτητη για την επίτευξη του κοινού στόχου. Το σμήνος εμφανίζει μια ευφυΐα υψηλότερη από τα μέλη του μεμονωμένα.[16]

2.4 Κριτήρια συστήματος ρομποτικού σμήνους

Για την καλύτερη κατανόηση τι έννοιας της ρομποτικής σμήνους υπάρχει ένα σύνολο κριτηρίων προκειμένου να μπορούμε να την διαφοροποιήσουμε από άλλους τύπους συστημάτων πολλαπλών ρομπότ [17]. Πιο συγκεκριμένα το κατά πόσο ένα σύστημα θεωρείται ρομποτικό σμήνος εξαρτάται από τα παρακάτω κριτήρια:

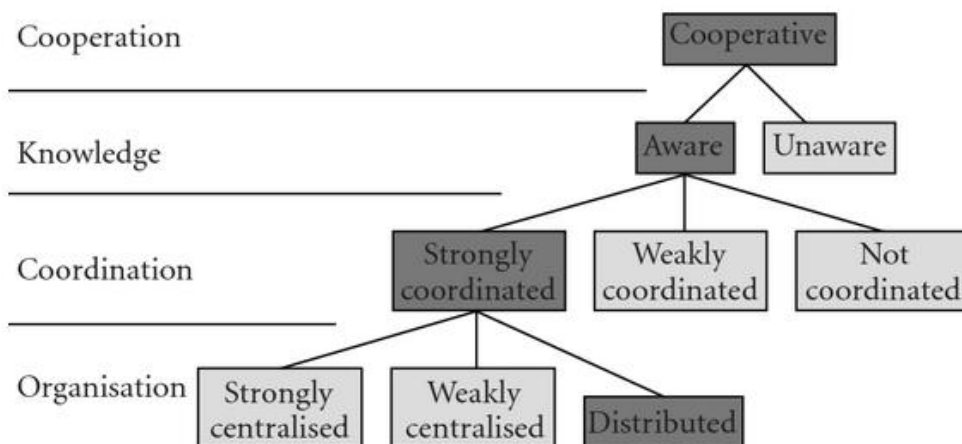
- **Αυτονομία** - Τα μέλη του σμήνους πρέπει να είναι αυτόνομα ρομπότ και να μπορούν να αλληλεπιδράσουν το περιβάλλον στο οποίο δρουν.
- **Μεγάλος αριθμός** - Ένας μεγάλος αριθμός από ρομπότ είναι αναγκαίος προκειμένου να αναπτυχθεί η συνέργεια του σμήνους (νοημοσύνη σμήνους). Ο αριθμός αυτός είναι δύσκολο να ορισθεί και να δικαιολογηθεί.
- **Περιορισμένες δυνατότητες** - Τα μέλη του σμήνους πρέπει να είναι σχετικά απλά ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να πετύχουν το στόχο ατομικά.
- **Επεκτασιμότητα και ανθεκτικότητα** - Η προσθήκη μιας νέας μονάδας στο σύστημα πρέπει να βελτιώνει την επίδοση του ενώ η καταστροφή ή αφαίρεση μιας μονάδας να μην οδηγεί σε αδυναμία επίτευξης του στόχου.
- **Κατανεμημένος συντονισμός** - Τα ρομπότ σμήνους πρέπει να έχουν μόνο τοπικές και περιορισμένες δυνατότητες επικοινωνίας και αισθητήρων. Ο συντονισμός μεταξύ των ρομπότ είναι κατανεμημένος. Η χρήση καθολικού διαύλου επικοινωνίας για τον συντονισμό επηρεάζει την αυτονομία των μελών.

Να σημειωθεί ότι τα παραπάνω κριτήρια καθορίζουν τον βαθμό στον οποίο το σύστημα θεωρείται ρομποτικό σμήνος και όχι αν είναι τέτοιο ή όχι . (Jevtic and Andina, 2007).

2.5 Ταξινόμηση ρομποτικών σμήνους

Έχουμε μια ταξινόμηση δομημένη στα παρακάτω επίπεδα:

- **Συνεργασία** , η οποία περιλαμβάνει μια κατάσταση στην οποία πολλά ρομπότ εκτελούν μια κοινή εργασία.
- **Γνώση** , η οποία διακρίνει εάν τα ρομπότ γνωρίζουν την ύπαρξη άλλων ρομπότ (Aware) ή όχι (Unaware).
- **Συντονισμός** , για να διαφοροποιηθεί ο βαθμός στον οποίο τα ρομπότ λαμβάνουν υπόψη τις ενέργειες που εκτελούνται από άλλα ρομπότ. Διακρίνονται σε: Ισχυρά, Συντονισμένα , Ασθενώς Συντονισμένα ή Μη Συντονισμένα .
- **Οργάνωση** , όπου γίνεται διάκριση μεταξύ των κεντρικών συστημάτων, όπου υπάρχει ένα ρομπότ που είναι υπεύθυνο για την οργάνωση της εργασίας άλλων ρομπότ, και των κατανεμημένων συστημάτων, όπου τα ρομπότ είναι αυτόνομα στις αποφάσεις τους, δηλαδή δεν υπάρχουν ηγέτες. Σύμφωνα με αυτήν την ταξινόμηση, τα ρομποτικά σμήνη διακρίνονται σε : Συνεργατικά , Ενημερωμένα , Ισχυρά Συντονισμένα (ή Ασθενώς Συντονισμένα) και Κατανεμημένα . (L. Iocchi, D. Nardi και M. Salerno) Μια σχηματική ταξινόμηση φαίνεται στην εικόνα 2.1 , όπου για κάθε επίπεδο ο αντίστοιχος τύπος συστήματος σημειώνεται με σκούρο γκρι για ένα ρομποτικό σύστημα σμήνους.



Εικόνα 2.1 Ταξινόμηση ρομποτικών σμήνους

(Πηγή: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/608164/fig1/>)

Σε άλλη ταξινόμηση γίνεται διάκριση μεταξύ κεντρικών και αποκεντρωμένων αρχιτεκτονικών. Επίσης γίνεται ένας προσδιορισμός μεταξύ ομοιογενών και ετερογενών ατόμων. [18]

Χρησιμοποιώντας αυτήν την ταξινόμηση, τα συστήματα σμήνους διακρίνονται σε: αποκεντρωμένα, κατανεμημένα και ομοιογενή.

2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πολυ-ρομποτικών συστημάτων

Υπάρχει μια λίστα του Ronald Arkin με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πολυ-ρομποτικών συστημάτων σε σύγκριση με τα συστήματα ενός ρομπότ.

2.6.1 Πλεονεκτήματα

- **Βελτιωμένη απόδοση:** όταν οι εργασίες μπορούν να αποσυντεθούν τότε οι ομάδες μπορούν να εκτελούν τις εργασίες πιο αποτελεσματικά.
- **Ενεργοποίηση εργασιών:** οι ομάδες ρομπότ μπορούν να κάνουν συγκεκριμένες εργασίες που είναι αδύνατες για ένα μόνο ρομπότ.
- **Κατανεμημένη ανίχνευση:** το εύρος ανίχνευσης μιας ομάδας ρομπότ είναι μεγαλύτερο από το εύρος ενός μεμονωμένου ρομπότ.
- **Κατανεμημένη δράση:** μια ομάδα ρομπότ μπορεί να έχει δράση σε διαφορετικά μέρη ταυτόχρονα.
- **Ανοχή σφαλμάτων:** η αποτυχία ενός μεμονωμένου ρομπότ μέσα σε μια ομάδα δεν σημαίνει ότι η συγκεκριμένη εργασία δεν μπορεί να ολοκληρωθεί, χάρη στην υπόλοιπη ρομποτική ομάδα. [19]

2.6.2 Μειονεκτήματα

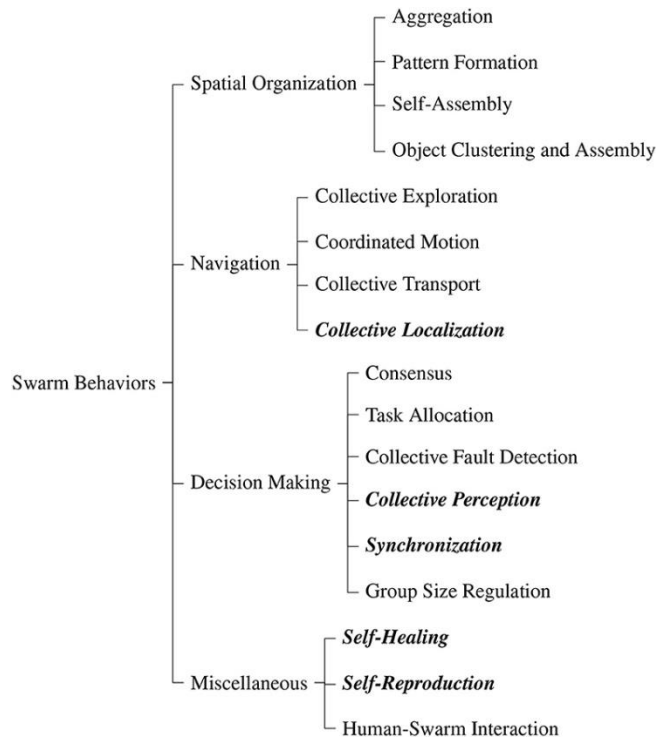
- **Παρεμβολή:** τα ρομπότ σε μια ομάδα μπορούν να παρεμβαίνουν μεταξύ τους, λόγω για παράδειγμα συγκρούσεων.
- **Αβεβαιότητα:** σχετικά με τις προθέσεις άλλων ρομπότ ο συντονισμός απαιτεί να γνωρίζουμε τι κάνουν τα άλλα ρομπότ. Όταν αυτό δεν είναι ξεκάθαρο, τα ρομπότ μπορούν να ανταγωνίζονται αντί να συνεργάζονται.
- **Συνολικό κόστος συστήματος:** το γεγονός της χρήσης περισσότερων του ενός ρομπότ μπορεί να κάνει το οικονομικό κόστος μεγαλύτερο. Αυτό συνήθως δεν ισχύει για τα ρομποτικά συστήματα σμήνους, τα οποία σκοπεύουν να χρησιμοποιήσουν πολλά φθηνά και απλά ρομπότ των οποίων το συνολικό κόστος είναι χαμηλότερο από το κόστος ενός πιο περίπλοκου μεμονωμένου ρομπότ. [19]

2.7 Βασικές Συμπεριφορές στη Ρομποτική Σμήνους

Στους περισσότερους αλγόριθμους σμήνους, τα άτομα αποδίδουν σύμφωνα με τους τοπικούς κανόνες και η συνολική συμπεριφορά προκύπτει οργανικά από την αλληλεπίδραση των ατόμων του σμήνους. Στον τομέα της ρομποτικής σμήνους, τα μεμονωμένα ρομπότ παρουσιάζουν μια συμπεριφορά που βασίζεται σε ένα σύνολο τοπικών κανόνων που μπορεί να κυμαίνεται από μια απλή αντιδραστική αντιστοίχιση μεταξύ των εισόδων αισθητήρων και των εξόδων ενεργοποιητή έως την επεξεργασία τοπικών αλγορίθμων. Συνήθως, αυτές οι τοπικές συμπεριφορές ενσωματώνουν αλληλεπιδράσεις με τον φυσικό κόσμο, συμπεριλαμβανομένου του περιβάλλοντος και άλλων ρομπότ [20]. Κάθε αλληλεπίδραση συνίσταται στην ανάγνωση και ερμηνεία των αισθητηριακών δεδομένων, στην επεξεργασία αυτών των δεδομένων και στην ανάλογη οδήγηση των ενεργοποιητών. Μια τέτοια ακολουθία αλληλεπιδράσεων ορίζεται ως βασική συμπεριφορά που εκτελείται επανειλημμένα, είτε επ' αόριστον είτε μέχρι να επιτευχθεί μια επιθυμητή κατάσταση.

2.7.1 Ταξινόμηση

Στην εικόνα 1 δίνεται η ταξινόμηση των συμπεριφορών σμήνους σύμφωνα με την ταξινόμηση του M.Brambilla [21] προσθέτοντας και άλλες κατηγορίες. Στη συνέχεια, δίνεται πρώτα μια επισκόπηση της ταξινόμησης και στη συνέχεια μια περιγραφή των πρόσθετων κατηγοριών συμπεριφοράς.



Εικόνα 2.2 Ταξινόμηση συμπεριφορών ρομποτικών σμήνους
(Πηγή: https://www.frontiersin.org/files/Articles/512421/frobt-07-00036-HTML-r1/image_m/frobt-07-00036-g001.jpg)

2.7.2 Χωρική Οργάνωση

Αυτές οι συμπεριφορές επιτρέπουν την κίνηση των ρομπότ σε ένα σμήνος στο περιβάλλον ώστε να οργανωθούν χωρικά τα ίδια ή τα αντικείμενα.

- Η **συγκέντρωση (Aggregation)** δίνει κίνηση στα μεμονωμένα ρομπότ ώστε να συγκεντρωθούν χωρικά σε μια συγκεκριμένη περιοχή στο χώρο. Έτσι επιτρέπεται στα άτομα του σμήνους να πλησιάσουν χωρικά μεταξύ τους και να έχουν αλληλεπίδραση.
- Ο **σχηματισμός προτύπων (Pattern Formation)** κάνει τακτοποίηση του ρομποτικού σμήνους σε ένα συγκεκριμένο σχήμα. Υπάρχει και η ειδική περίπτωση του σχηματισμού αλυσίδας όπου τα ρομπότ σχηματίζουν μια γραμμή, για να δημιουργήσουν επικοινωνία πολλαπλού άλματος μεταξύ δύο σημείων.
- Η **αυτοσυναρμολόγηση (Self-Assembly)** συνδέει τα ρομπότ σε δομές. Μπορούν να συνδεθούν είτε φυσικά είτε εικονικά μέσω συνδέσμων επικοινωνίας. Ειδική περίπτωση είναι η μορφογένεση όπου το σμήνος εξελίσσεται σε ένα προκαθορισμένο σχήμα.
- Η **ομαδοποίηση και η συναρμολόγηση αντικειμένων (Object Clustering and Assembly)** δίνει τη δυνατότητα στο σμήνος ρομπότ να χειρίζεται χωρικά καταναμημένα αντικείμενα. Η ομαδοποίηση και η συναρμολόγηση αντικειμένων είναι απαραίτητη στις κατασκευαστικές διαδικασίες. [22]

2.7.3 Πλοήγηση

Οι συγκεκριμένες συμπεριφορές επιτρέπουν τη συντονισμένη κίνηση ενός σμήνους ρομπότ στο περιβάλλον.

- Η **συλλογική εξερεύνηση (Collective Exploration)** πλοηγεί το σμήνος ρομπότ συνεργατικά μέσα στο περιβάλλον για να το εξερευνήσει. Μπορεί να έχει χρήσεις στην επισκόπηση κατάστασης, στην αναζήτηση αντικείμενου, στην παρακολούθηση περιβάλλοντος ή στη δημιουργία ενός δικτύου επικοινωνίας.
- Η **συντονισμένη κίνηση (Coordinated Motion)** κινεί το σμήνος των ρομπότ σε σχηματισμό. Ο σχηματισμός μπορεί να έχει καθορισμένο σχήμα, π.χ. μια γραμμή, ή να είναι αυθαίρετο.
- Η **συλλογική μεταφορά (Collective Transport)** επιτρέπει τη συλλογική μετακίνηση αντικειμένων από τα ρομπότ σμήνους που είναι πολύ βαριά ή πολύ μεγάλα για μεμονωμένα ρομπότ.
- Ο **συλλογικός εντοπισμός (Collective Localization)** επιτρέπει στα ρομποτικά σμήνους να βρουν τη θέση και τον προσανατολισμό μεταξύ τους μέσω της δημιουργίας ενός τοπικού συστήματος συντεταγμένων στο σμήνος. [22]

2.7.4 Λήψη απόφασης

Αυτές οι συμπεριφορές επιτρέπουν στα ρομπότ σμήνους να κάνουν μια κοινή επιλογή για ένα δεδομένο ζήτημα.

- Η **συναίνεση (Consensus)** επιτρέπει στα μεμονωμένα ρομπότ στο σμήνος να συμφωνήσουν ή να συγκλίνουν προς μια κοινή επιλογή από πολλές διαθέσιμες.
- Η **κατανομή εργασιών (Task Allocation)** αναθέτει τις εργασίες στα μεμονωμένα ρομπότ του σμήνους. Στόχος είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης ολόκληρου του συστήματος σμήνους. Εάν τα ρομπότ έχουν ετερογενείς δυνατότητες, οι εργασίες μπορούν να κατανεμηθούν ανάλογα για να αυξηθεί περαιτέρω η απόδοση του συστήματος.
- Η **συλλογική ανίχνευση σφαλμάτων (Collective Fault Detection)** στο σμήνος των ρομπότ καθορίζει τις τυχόν αδυναμίες μεμονωμένων ρομπότ. Επιτρέπει τον προσδιορισμό ρομπότ που αποκλίνουν από την επιθυμητή συμπεριφορά του σμήνους.
- Η **συλλογική αντίληψη (Collective Perception)** συνδυάζει τα δεδομένα που ανιχνεύονται τοπικά από τα ρομπότ στο σμήνος σε μια μεγάλη εικόνα. Επιτρέπει στο σμήνος να λαμβάνει συλλογικές αποφάσεις με ενημερωμένο τρόπο.
- Ο **συγχρονισμός (Synchronization)** ευθυγραμμίζει τη συχνότητα και τη φάση των ταλαντωτών των ρομπότ στο σμήνος. Έτσι, τα ρομπότ έχουν μια κοινή κατανόηση του χρόνου που τους επιτρέπει να εκτελούν συγχρονισμένες ενέργειες .
- Η **ρύθμιση μεγέθους ομάδας (Group Size Regulation)** επιτρέπει στα ρομπότ στο σμήνος να σχηματίζουν ομάδες του επιθυμητού μεγέθους. Εάν το μέγεθος του σμήνους υπερβαίνει το επιθυμητό μέγεθος ομάδας, χωρίζεται σε πολλές ομάδες. [22]

2.7.5 Διάφορες συμπεριφορές

Υπάρχουν και μερικές συμπεριφορές ρομπότ σμήνους που δεν ταιριάζουν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. Μερικές από αυτές είναι οι παρακάτω :

- Η **αυτοθεραπεία (Self-Healing)** επιτρέπει στο σμήνος να ανακάμψει από σφάλματα που προκαλούνται από ελλείψεις μεμονωμένων ρομπότ. Στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αντίκτυπος της αστοχίας του ρομπότ στο υπόλοιπο σμήνος για να αυξηθεί η αξιοπιστία, η ευρωστία και η απόδοσή του.

- Η **αυτοαναπαραγωγή (Self-Reproduction)** επιτρέπει σε ένα σμήνος ρομπότ είτε να δημιουργήσει νέα ρομπότ είτε να αναπαράγει το μοτίβο που δημιουργήθηκε από πολλά άτομα. Ο στόχος είναι να αυξηθεί η αυτονομία του σμήνους μηδενίζοντας την ανάγκη ενός ανθρώπινου μηχανικού να δημιουργήσει νέα ρομπότ.

- Η **αλληλεπίδραση ανθρώπου-σμήνους (Human-Swarm Interaction)** επιτρέπει στους ανθρώπους να ελέγχουν τα ρομπότ στο σμήνος ή να λαμβάνουν πληροφορίες από αυτά. Η αλληλεπίδραση μπορεί να συμβεί εξ αποστάσεως, π.χ. μέσω τερματικού υπολογιστή ή εγγύς σε κοινόχρηστο περιβάλλον, π.χ. μέσω οπτικών ή ακουστικών ενδείξεων. [22]

2.8 Περιγραφή Επιπρόσθετων Συμπεριφορών Σμήνους

Υπάρχουν μερικές επιπρόσθετες κατηγορίες συμπεριφορών σμήνους πέρα από την προηγούμενη ταξινόμηση. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν οι εξής κατηγορίες: Συλλογικός εντοπισμός, συλλογική αντίληψη, συγχρονισμός, αυτοίαση και αυτοαναπαραγωγή.

2.8.1 Συλλογικός Εντοπισμός

Ο συλλογικός εντοπισμός επιτρέπει στα ρομπότ σμήνους να βρουν τη θέση και τον προσανατολισμό τους μεταξύ τους μέσω της δημιουργίας ενός τοπικού συστήματος συντεταγμένων σε όλο το σμήνος.

Πηγές έμπνευσης : Δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη αναφερόμενη σχετική έμπνευση.

Προσεγγίσεις : Πρώτον η δημιουργία χάρτη περιβάλλοντος και εντοπισμός σε σχέση με αυτό η οποία ονομάζεται ταυτόχρονος εντοπισμός και χαρτογράφηση. Μπορεί να χρησιμοποιεί και να συγχωνεύει διαφορετικές πηγές πληροφοριών, όπως αισθητήρες εμβέλειας ή οπτικούς αισθητήρες. Δεύτερον, χρησιμοποιώντας σταθερά ορόσημα με γνωστές θέσεις και εντοπισμό σε σχέση με αυτά. Τα ρομπότ μπορούν να κινούνται εναλλάξ στο περιβάλλον, διατηρώντας παράλληλα ακριβείς πληροφορίες εντοπισμού. Εάν οι αρχικές θέσεις των ρομπότ είναι γνωστές, τότε είναι επίσης δυνατός ο απόλυτος εντοπισμός.

Εφαρμογές: Υπάρχει ένας αλγόριθμος χαρτογράφησης όπου πολλά ρομπότ μπορούν να εντοπίζονται σε έναν παγκόσμιο συγχωνευμένο χάρτη. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος απαιτεί ότι οι κατά προσέγγιση αρχικές θέσεις των ρομπότ είναι γνωστές σε όλα τα άλλα ρομπότ. Χρησιμοποιεί μια προσέγγιση μεγιστοποίησης σταδιακής προσδοκίας που επιτρέπει στα ρομπότ να εντοπίζονται σε χάρτες που δημιουργούνται από άλλα ρομπότ. Τα πειράματα αποδεικνύουν ότι τα ρομπότ μπορούν να τοπικοποιηθούν με ισχυρό τρόπο σε πραγματικό χρόνο σε περιβάλλοντα μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιώντας υπολογιστές χαμηλού επιπέδου. [23]

2.8.2 Συλλογική Αντίληψη

Συνδυάζει τα δεδομένα που ανιχνεύονται τοπικά από τα ρομπότ στο σμήνος σε μια μεγάλη εικόνα και επιτρέπει στο σμήνος να λαμβάνει συλλογικές αποφάσεις με ενημερωμένο τρόπο.

Πηγές έμπνευσης : Πολλά κοινωνικά έντομα μπορούν να αποκτήσουν μια συνολική εικόνα χρησιμοποιώντας μόνο τοπικές πληροφορίες όπως για παράδειγμα οι μέλισσες που αξιολογούν την τρέχουσα παγκόσμια εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας αξιολογώντας απλές ενδείξεις, όπως οι καθυστερήσεις στην ουρά [24] και τα μυρμήγκια που χρησιμοποιούν μονοπάτια φερομόνης για να βρουν τα συντομότερα μονοπάτια σε μεγάλα περιβάλλοντα [25]

Προσεγγίσεις : Κύρια προσέγγιση είναι η ταξινόμηση του αντικειμένου σε ένα σύνολο προκαθορισμένων μοντέλων. Η κινητικότητα των ρομπότ χρησιμοποιείται συχνά για τη βελτίωση της αντίληψης των μεμονωμένων ρομπότ. Τα ρομπότ χρησιμοποιούν ρητή επικοινωνία για να διαδώσουν τα ευρήματά τους και να επιτύχουν συναίνεση. Ο τρόπος με τον οποίο τα ρομπότ ανταλλάσσουν τις πληροφορίες είναι βασικός. Πρέπει να προσθέσουν πληροφορίες σχετικά με τα συμφραζόμενα που επιτρέπουν στα άλλα ρομπότ να ερμηνεύουν σωστά τα δεδομένα. Επιπλέον, οι πληροφορίες μπορούν απλά να προωθηθούν και έτσι να διαδοθούν στο σμήνος ή να τροποποιηθούν.[27]

Εφαρμογές: Εφαρμόζεται μια στρατηγική όπου οι παράγοντες αίσθησης συλλέγουν, αναλύουν και κατηγοριοποιούν δεδομένα, τα εμπλουτίζουν με πληροφορίες συμφραζομένων και τα προωθούν σε παράγοντες σύνθεσης. Οι τελευταίοι μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν τις διαφορετικές πτυχές που παρατηρούνται από τους αισθητήρες για να αντιληφθούν γεγονότα χρησιμοποιώντας μια μέθοδο ιδιοχώρου. Χρησιμοποιώντας πειράματα προσομοίωσης, αποδύκνεται ότι τα γεγονότα μπορούν να ανιχνευθούν αξιόπιστα χρησιμοποιώντας μόνο τις πρώτες ιδιοτιμές. [28]

2.8.3 Συγχρονισμός

Ο συγχρονισμός ευθυγραμμίζει τη συχνότητα και τη φάση των ταλαντωτών των ρομπότ στο σμήνος. Έτσι, τα ρομπότ έχουν μια κοινή κατανόηση του χρόνου που τους επιτρέπει να εκτελούν ενέργειες συγχρονισμένα.

Πηγές έμπνευσης : Κατά τη διάρκεια της ερωτοτροπίας, τα αρσενικά ορισμένων ζωικών ειδών συγχρονίζουν τη συμπεριφορά τους. Σε ορισμένα είδη πυγολαμπίδας, η διαφορά φάσης μεταξύ της περιόδου αναλαμπής που αναβοσβήνει αρσενικό και θηλυκό είναι σημαντική για το ζευγάρι [29]. Ως εκ τούτου, οι πυγολαμπίδες συγχρονίζονται επηρεάζοντας τη φάση που

αναβοσβήνουν. Παρομοίως, τα τσιμπούρια συγχρονίζονται ή εναλλάσσονται χρησιμοποιώντας τα τσιριπίσματα αλλάζοντας τις περιόδους τσιτσιρίσματος τους ως απόκριση σε άλλα κελαηδίσματα [30,31]

Προσεγγίσεις : Οι ταλαντωτές συγχρονίζονται στην ίδια συχνότητα και με ευθυγράμμιση στις φάσεις των ρομπότ σμήνους. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις, είτε οι ταλαντωτές επηρεάζουν συνεχώς ο ένας τον άλλον για να προσαρμόσουν τη φάση και τη συχνότητα, είτε συνδέονται με παλμούς που σημαίνει ότι εκπέμπουν τακτικά ένα σήμα που αντιστοιχεί στην τρέχουσα φάση τους.

Εφαρμογές : Συγχρονισμένοι ταλαντωτές ως σύστημα επικοινωνίας και πλοήγησης. Σε ένα συγχρονισμένο σύστημα, τα ρομπότ σε μια περιοχή - στόχο αυξάνουν τη συχνότητά τους και έτσι παράγουν κύματα φάσης στο σμήνος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα ρομπότ για να πραγματοποιήσουν πλοήγηση στο μέτωπο κύματος, δηλαδή να ταξιδέψουν προς υψηλότερες συχνότητες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτό το σύστημα επικοινωνίας είναι ανθεκτικό σε αλλαγές στην ισχύ του σήματος, στη διάρκεια της περιόδου σηματοδότησης και στα εμπόδια επικοινωνίας. Ο συγχρονισμός ταλαντωτή συζευγμένου με παλμούς είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για σμήνη ρομπότ, καθώς έχει χαμηλές απαιτήσεις υλικού όσον αφορά το εύρος επικοινωνίας και την ισχύ επεξεργασίας. [32]

2.8.4 Αυτοθεραπεία

Η αυτοθεραπεία επιτρέπει στο σμήνος να επανέλθει μετά από σφάλματα που προκαλούνται από ελλείψεις μεμονωμένων ρομπότ. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αντίκτυπος της αποτυχίας του ρομπότ στο υπόλοιπο σμήνος για να αυξηθεί η αξιοπιστία, η ευρωστία και η απόδοσή του.

Πηγές έμπνευσης : Το ανοσοποιητικό σύστημα των σπονδυλωτών δείχνει πώς τα βιολογικά συστήματα προστατεύουν πολύπλοκους οργανισμούς από ασθένειες και αποτελεί έμπνευση για το τεχνητό ανοσοποιητικό σύστημα (AIS). Σε μια επισκόπηση του τρόπου με τον οποίο σχετίζονται τα AIS και οι πληροφορίες σμήνους υπάρχουν πολλές ομοιότητες και το συμπέρασμα ότι και τα δύο συστήματα είναι συμπληρωματικά εργαλεία για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων μηχανικής [33]. Επίσης η αναγέννηση στα βιολογικά συστήματα επιτρέπει στα ζώα να αυτοθεραπεύουν το σώμα τους, π.χ., οι σαλαμάνδρες, οι αστερίες και οι σαύρες είναι σε θέση να αναγεννήσουν τα χαμένα μέλη .[34]

Προσεγγίσεις : Πρώτον, τα υγιή ρομπότ μπορούν να βοηθήσουν τα ελαττωματικά ρομπότ να αναρρώσουν αυτό απαιτεί μια ρητή ρουτίνα διαχείρισης αποτυχίας η οποία συνήθως εμπνέεται

από το ανοσοποιητικό σύστημα. Δεύτερον, το σμήνος μπορεί να προσαρμόσει τη συμπεριφορά του ενώ αγνοεί τα ρομπότ που αποτυγχάνουν. Αυτό δεν απαιτεί ειδικό χειρισμό της περίπτωσης αστοχίας και εμπνέεται από τη βιολογική αναγέννηση.

Εφαρμογές : Μοντέλο για την ανίχνευση και τη θεραπεία στοιχείων λογισμικού των ρομπότ σμήνους. Αποτελεί μέρος της εννοιολογικής αποστολής αυτόνομης νανοτεχνολογίας (ANTS) της NASA.[35]Κάθε ρομπότ εκτελεί έναν ή περισσότερους εικονικούς νευρώνες ως διεργασίες φόντου. Παρακολουθούν ορισμένες μεταβλητές του συστήματος, όπως η CPU, η μνήμη ή η χρήση δικτύου. Σε περίπτωση ανωμαλιών, παγώνει την εν λόγω διαδικασία και αναφέρει τη συμπεριφορά της σε έναν ελεγκτή υψηλότερου επιπέδου. Μπορεί να πραγματοποιήσει περαιτέρω διάγνωση, π.χ. εκχωρώντας περισσότερους νευρώνες και να δημιουργήσει μια συνταγή που βασίζεται στη βιβλιοθήκη ασθενειών στον κυβερνοχώρο . [36]

Εφαρμογή αυτο-ίασης για αστοχίες υλικού. Είναι μια λύση που είναι εμπνευσμένη από το σχηματισμό κοκκιωμάτων, μια διαδικασία περιορισμού και αποκατάστασης που βρίσκεται στο ανοσοποιητικό σύστημα. Εφαρμόζεται σε ένα σμήνος ρομπότ που συρρέουν προς ένα φάρο. Όταν ένα ρομπότ έχει αποφορτισμένη μπαταρία και χάνει την κινητικότητά του, θα αγκυροβολήσει ολόκληρο το σμήνος το οποίο στη συνέχεια θα αποτύχει να φτάσει στον φάρο. Η προτεινόμενη λύση επιτρέπει την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ υγιών και ελαττωματικών ρομπότ. Τα ελαττωματικά ρομπότ σηματοδοτούν την ανάγκη τους για βοήθεια στα άλλα ρομπότ εντός εμβέλειας. Ανάλογα με την απαιτούμενη ενέργεια και την ενέργεια που είναι διαθέσιμη στα υγιή ρομπότ, ένας ποικίλος αριθμός ρομπότ περιβάλλει τα ρομπότ που έχουν αποφορτιστεί για να μοιράζονται ενέργεια. Άλλα ρομπότ αγνοούν αυτό το σύμπλεγμα ρομπότ και το θεωρούν απλώς ως εμπόδιο, συνεχίζοντας την αποστολή τους. [37]

2.8.5 Αυτοαναπαραγωγή

Η αυτοαναπαραγωγή επιτρέπει σε ένα σμήνος ρομπότ είτε να δημιουργήσει νέα ρομπότ είτε να αναπαράγει το μοτίβο που δημιουργήθηκε από πολλά άτομα. Στην πρώτη περίπτωση, τα ρομπότ παράγουν πανομοιότυπα αντίγραφα του εαυτού τους. Ο στόχος είναι να αυξηθεί η αυτονομία του σμήνους εξαλείφοντας την ανάγκη ενός ανθρώπινου μηχανικού να δημιουργήσει νέα ρομπότ. Στη δεύτερη περίπτωση, τα ρομπότ αντιγράφουν μια δομή που αποτελείται από πολλά μεμονωμένα ρομπότ. Ο στόχος αυτής της αντιγραφής είναι η συναρμολόγηση ενός λειτουργικού ρομπότ από παθητικά στοιχεία.

Πηγές έμπνευσης : Όλοι οι βιολογικοί οργανισμοί που έχουν την ικανότητα της αναπαραγωγής.

Προσεγγίσεις : Η θεωρία των μηχανών αυτοαναπαραγωγής υπάρχει εδώ και αρκετές δεκαετίες. Η έρευνα ακολούθησε τη γενική ιδέα των συστημάτων αναπαραγωγής προτύπων, δηλαδή τη δημιουργία ενός νέου ρομπότ σύμφωνα με ένα υπάρχον μοντέλο.

Εφαρμογές: Ένα αυτόνομο, αυτοαναπαράγόμενο ρομπότ κατασκευασμένο από εξαρτήματα Lego. Συναρμολογεί ένα νέο ρομπότ από τέσσερα υποσυστήματα που συγκρατούνται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας μαγνήτες και μπλοκ περιορισμού σχήματος. Ο ελεγκτής του είναι ήδη προγραμματισμένος με το ίδιο πρόγραμμα με το πρωτότυπο. Τα πειράματα δείχνουν ότι το αρχικό ρομπότ είναι σε θέση να ανιχνεύσει τα υποσυστήματα και να τα συναρμολογήσει σε ένα πλήρως λειτουργικό αντίγραφο. [38]

2.9 Παραδείγματα Πειραματικών Έργων στα Ρομποτική Σμήνη

Παρουσιάζεται μια συλλογή από αντιπροσωπευτικά πειραματικά έργα ρομποτικής σμήνους ομαδοποιώντας τα ανάλογα με τις εργασίες ή τις συμπεριφορές που εκτελούνται από τα ρομποτικά σμήνη.

2.9.1 Συσσωμάτωση

Για την εκτέλεση εργασιών, όπως η συλλογική κίνηση, η αυτοσυναρμολόγηση και ο σχηματισμός προτύπων, τα ρομπότ πρέπει αρχικά να συλλέγουν. Αυτό το πρόβλημα συνάθροισης έχει μελετηθεί από μια ρομποτική προσέγγιση σμήνους από αρκετούς ερευνητές.

Παραδείγματα : Πειράματα με εξελικτικό αλγόριθμο σε προσομοιωμένα ρομπότ με την ονομασία S-Bot [39] ,το ρομπότ Alice εφαρμόζει ένα βιολογικό μοντέλο που βασίζεται στη συσσώρευση Garnier [40].

2.9.2 Διασπορά

Σκοπός της διασποράς είναι η κατανομή των ρομπότ στο χώρο ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη περιοχή, συνήθως χωρίς να χάνεται η συνδεσιμότητα μεταξύ τους. Το σμήνος μπορεί να λειτουργήσει, όταν διασκορπιστεί, ως κατανεμημένος αισθητήρας, αλλά και ως μέσο για εξερεύνηση.

Παραδείγματα : Αλγόριθμος πεδίου για την ανάπτυξη ρομπότ, στον οποίο τα ρομπότ απωθούνται από εμπόδια και άλλα ρομπότ. Η προσέγγιση είναι κατανεμημένη και δεν απαιτεί κεντρικό εντοπισμό, οδηγώντας σε μια επεκτάσιμη λύση. Η εργασία διεξάγεται μόνο σε προσομοίωση. Γίνεται δοκιμή σε προσομοίωση ενός κατανεμημένου αλγόριθμου για διασπορά

με βάση τα σήματα έντασης ασύρματης ανάγνωσης και μια προσέγγιση δυνητικού πεδίου. Παρόλο που τα ρομπότ δεν έχουν πληροφορίες για το ρουλεμάν σε γειτονικά ρομπότ, ο αλγόριθμος διασκορπίζει με επιτυχία τα ρομπότ.[41]

2.9.3 Σχηματισμός Μοτίβου

Ο σχηματισμός μοτίβου είναι το πρόβλημα της δημιουργίας ενός παγκόσμιου σχήματος αλλάζοντας τις θέσεις των μεμονωμένων ρομπότ.

Παραδείγματα : Σμήνος σωματιδίων σχηματίζει ένα πλέγμα με εσωτερικό και εξωτερικό καθορισμένο σχήμα. Όλοι οι κανόνες που κάνουν τα σωματίδια/ρομπότ να συσσωρεύονται στον επιθυμητό σχηματισμό είναι τοπικοί, αλλά προκύπτει ένα παγκόσμιο εξωτερικό σχήμα, χωρίς να υπάρχουν σφαιρικές πληροφορίες. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί εικονικά ελατήρια μεταξύ γειτονικών σωματιδίων, λαμβάνοντας υπόψη πόσους γείτονες έχουν.[42]

Αλγόριθμος για την τοποθέτηση ρομπότ σε διαφορετικά σχήματα και μοτίβα που ορίζονται από σιωπηρές συναρτήσεις. Τα ρομπότ χρησιμοποιούν μια κατανεμημένη προσέγγιση που βασίζεται σε τοπικές πληροφορίες για να τοποθετηθούν στο επιθυμητό περίγραμμα. Οι αλγόριθμοι δοκιμάζονται τόσο σε προσομοίωση όσο και με πραγματικά ρομπότ.[43]

2.9.4 Συλλογική Κίνηση

Η συλλογική κίνηση είναι το πρόβλημα συντονισμού μιας ομάδας ρομπότ ώστε να μετακινηθούν ως ομάδα με συνεκτικό τρόπο [44]. Μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως βασική συμπεριφορά για πιο περίπλοκες εργασίες. Μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο τύπους: σχηματισμούς και σμήνη. Στην πρώτη περίπτωση, τα ρομπότ πρέπει να διατηρούν προκαθορισμένες θέσεις και προσανατολισμούς μεταξύ τους ενώ στην δεύτερη οι σχετικές θέσεις των ρομπότ δεν επιβάλλονται αυστηρά.

Παραδείγματα :Υπάρχει επίσης το πλαίσιο μιμητικής Φυσικής (Physicomimetics Framework,PF), το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία ενός αυτο-οργανωμένου σχηματισμού χρησιμοποιώντας νόμους ελέγχου εμπνευσμένους από τη φυσική. Ο ελεγκτής είναι πλήρως αποκεντρωμένος, κάθε ρομπότ αντιλαμβάνεται τις σχετικές θέσεις των γειτόνων του και αντιδρά σε ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις, σχηματίζοντας τριγωνικά πλέγματα. Ο αλγόριθμος είναι επεκτάσιμος και λειτουργεί για δεκάδες ρομπότ.[45,46]

2.9.5 Κατανομή εργασιών

Το πρόβλημα του καταμερισμού εργασίας είναι ένα πρόβλημα που μπορεί να προκύψει σε πολυρομποτικά συστήματα και ιδιαίτερα στη ρομποτική σμήνους.

Παραδείγματα : Αλγόριθμος για τον καταμερισμό εργασίας σε σμήνη ρομπότ. Κάθε ρομπότ διατηρεί ένα ιστορικό των δραστηριοτήτων που εκτελούνται από άλλα ρομπότ με βάση την παρατήρηση και εκτελεί ανεξάρτητα έναν καταμερισμό εργασίας χρησιμοποιώντας αυτό το ιστορικό. Στη συνέχεια, μπορεί να τροποποιήσει τη δική του συμπεριφορά για να προσαρμοστεί σε αυτό το τμήμα. [47]

2.9.6 Αναζήτηση Πηγών

Η ρομποτική σμήνους είναι πολύ χρήσιμη σε εργασίες αναζήτησης, ειδικά εκείνες στις οποίες το χωρικό μοτίβο της πηγής μπορεί να είναι πολύπλοκο, όπως στην περίπτωση του ήχου ή της οσμής. Στο πρόβλημα εντοπισμού της οσμής, τα ρομπότ αναζητούν την πηγή οσμής χρησιμοποιώντας έναν κατανεμημένο αλγόριθμο.

Παράδειγμα: Αλγόριθμος για τον εντοπισμό σταθερών, αμετάβλητων στο χρόνο πηγών. Χρησιμοποιούν ελέγχους ανάδρασης με κίνητρο τη θεωρία ελαχιστοποίησης συναρτήσεων και εξερευνούν δύο καταστάσεις: μία με παγκόσμιες επικοινωνίες, στην οποία τα ρομπότ μπορούν να βρουν την παγκόσμια μέγιστη πηγή και ένα δεύτερο που περιορίζεται στην τοπική επικοινωνία, όπου βρίσκονται τα τοπικά μέγιστα. Τα πειράματα εκτελούνται σε προσομοίωση.[48]

2.9.7 Συλλογική Μεταφορά Αντικειμένων

Η ρομποτική σμήνος υπόσχεται πολλά στην επίλυση του προβλήματος της μεταφοράς αντικειμένων. Η χρήση πολλών ρομπότ μπορεί να αποτελεί πλεονέκτημα λόγω της συνεργασίας για το χειρισμό ενός αντικειμένου. Επιπλέον, ο πιθανός παραλληλισμός που αντιμετωπίζει διαφορετικά αντικείμενα από πολλά ρομπότ ταυτόχρονα μπορεί να βελτιώσει την απόδοση.

Παραδείγματα : Η συλλογική μεταφορά θηραμάτων με μυρμήγκια, όπου τα άτομα περιμένουν άλλους συντρόφους εάν το μεταφερόμενο αντικείμενο είναι πολύ βαρύ. Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε με πραγματικά ρομπότ, μια ομάδα 6 ρομπότ είναι σε θέση να ωθήσει συλλογικά ένα αντικείμενο προς έναν προορισμό με καθαρά κατανεμημένο τρόπο. [49]

Μεταφορά διαφορετικών αντικειμένων από ομάδες ρομπότ S-Bot που αυτοσυναρμολογούνται για να συνεργαστούν. Οι αλγόριθμοι συντέθηκαν χρησιμοποιώντας έναν εξελικτικό

αλγόριθμο. Τα πειραματικά αποτελέσματα στην προσομοίωση δείχνουν ότι ο αλγόριθμος κλιμακώνεται με βαρύτερα αντικείμενα χρησιμοποιώντας μεγαλύτερες ομάδες ρομπότ αλλά η απόδοση δεν κλιμακώνεται με το μέγεθος της ομάδας, καθώς η μάζα που μεταφέρεται ανά ρομπότ μειώνεται με τον αριθμό των ρομπότ. [50]

2.9.8 Συλλογική Χαρτογράφηση

Το πρόβλημα της συλλογικής χαρτογράφησης δεν έχει ακόμη μελετηθεί ευρέως από την κοινότητα των σμήνων-ρομποτικών.

Παραδείγματα: Σύνολο αλγορίθμων για την εξερεύνηση και τη χαρτογράφηση μεγάλων εσωτερικών περιοχών χρησιμοποιώντας μεγάλες ποσότητες ρομπότ. Χρησιμοποιούνται σε πείραμα έως και 80 ρομπότ απλωμένα σε μια περιοχή. Η χαρτογράφηση πραγματοποιείται από δύο ομάδες των δύο ρομπότ που τελικά ανταλλάσσουν και συγχωνεύουν τους χάρτες τους, επομένως δεν μπορεί να θεωρηθεί ως χαρτογράφηση σμήνος. [51]

Μέθοδος για κατανεμημένη χαρτογράφηση χρησιμοποιώντας ένα σμήνος ρομπότ. Κάθε ρομπότ μπορεί να αναλάβει δύο ρόλους: κίνηση ή ορόσημο που ανταλλάσσονται με την κίνηση του σμήνους. Επιπλέον, τα ρομπότ έχουν κάποια εμπιστοσύνη στην εκτιμώμενη θέση εντοπισμού τους. Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες, τις εκτιμήσεις εντοπισμού άλλων ρομπότ και τις μετρήσεις αισθητήρων δημιουργούν έναν συλλογικό χάρτη. [52]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3⁰

3. Ερευνητικές Πλατφόρμες και Βιομηχανικά Έργα Ρομποτικής Σμήνους

3.1 Εισαγωγή

Παρόλο το γεγονός ότι η ρομποτική σμήνους είναι ένα σχετικά νέο πεδίο έρευνας σε αυτή το κεφάλαιο γίνεται μια συλλογή εφαρμογών και πλατφόρμων έρευνας για ρομποτικά προϊόντα σμήνους. Οι ερευνητές ρομποτικής σμήνους έχουν σχεδιάσει και αναπτύξει μια σειρά από πλατφόρμες για τη δοκιμή και την ανάλυση αλγορίθμων σμήνους. Στις δημοσιεύσεις τους οι συγγραφείς δήλωναν πάντα την προσπάθειά τους να οραματιστούν μελλοντικές βιομηχανικές εφαρμογές μέσα από την απλότητα των πλατφορμών ρομποτικής έρευνας σμήνους.

Προέκυψαν δύο κατηγορίες : οι πλατφόρμες έρευνας ρομποτικής σμήνους και τα βιομηχανικά έργα και προϊόντα. Τα βιομηχανικά έργα και τα προϊόντα παρατίθενται κυρίως για να χρησιμεύσουν ως παραδείγματα εφαρμογών σε περιβάλλοντα πραγματικού κόσμου.[53] . Οι πλατφόρμες έρευνας επιτρέπουν στους ερευνητές να επαληθεύουν, να επιδεικνύουν και να πειραματίζονται με αλγόριθμους σμήνους σε εργαστηριακά περιβάλλοντα.

Τόσο οι ερευνητικές πλατφόρμες όσο και τα βιομηχανικά έργα και τα προϊόντα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται σε: επίγειο, εναέριο, υδάτινο ή διαστήματος. Αναφέρεται στη συνέχεια ο τύπος της εφαρμογής, το όνομα του έργου ή του προϊόντος, ο τύπος του ρομπότ, ο αριθμός των ρομπότ στο σμήνος και οι βασικές συμπεριφορές σμήνους.

Ο τύπος ρομπότ αντιστοιχεί σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες: μη επανδρωμένο όχημα εδάφους (UGV), μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV), μη επανδρωμένο όχημα επιφανείας (USV), μη επανδρωμένο υποβρύχιο όχημα (UUV) ή γενικά ως UxV.

3.2. Ερευνητικές Πλατφόρμες εφαρμογών σμήνους

Σε αυτή την παράγραφο γίνεται αναφορά σε ερευνητικές πλατφόρμες που αναπτύσσονται για εκπαιδευτικούς και επιστημονικούς σκοπούς. Οι συγκεκριμένες πλατφόρμες επιτρέπουν τη διερεύνηση της εφαρμογής αλγορίθμων σμήνους σε ρομπότ. Να σημειωθεί ότι υπάρχουν και

άλλες εξελιγμένες πλατφόρμες ρομποτικής έρευνας που δεν περιλαμβάνονται, καθώς δεν έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τη χρήση τους σε εφαρμογές σμήνους.

3.2.1 Πλατφόρμες σε Γήινο περιβάλλον

Kilobots: είναι ίσως το πιο γνωστό ρομπότ σμήνους που αναπτύχθηκε για έρευνα και εκπαίδευση.[54] Τα Kilobots είναι πολύ μικρά με διάμετρο 33 mm, η κίνηση τους βασίζεται σε κινητήρες δόνησης και η επικοινωνία τους υλοποιείται χρησιμοποιώντας υπέρυθρο φως που αντανακλάται από το έδαφος. Έγιναν πολύ διάσημα για την ικανότητα αυτοσυναρμολόγησης τους και για την ικανότητα να σχηματίζουν διαφορετικά σχήματα με ένα σμήνος 1.024 Kilobots.[55] Το Kilobot είναι διαθέσιμο μέσω ανοιχτού κώδικα ή εμπορικά στην K-Team^[56].

Jasmine: είναι μια άλλη ευρέως χρησιμοποιούμενη ρομποτική πλατφόρμα σμήνους. Η συγκεκριμένη ανοιχτού κώδικα πλατφόρμα κατασκευάστηκε κυρίως για μεγάλης κλίμακας ρομποτικά πειράματα σμήνους εξοπλισμένα με μια σειρά αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων αφής, εγγύτητας, απόστασης και χρώματος.[57]

Alice: Μέσω αυτής της ρομποτικής πλατφόρμας σμήνους επιδιώχθηκε η πρόθεση για μεγάλης κλίμακας σμήνη με πολλούς πρόσθετους αισθητήρες, συμπεριλαμβανομένης μιας γραμμικής κάμερας που θα μπορούν να επεκτείνουν τις βασικές τους δυνατότητες. [58]

AMiR , **Colias** και **Mona** : Πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα , εμπορικά διαθέσιμα και αποτελούν μια σειρά ερευνητικών πλατφορμών που βασίζονται η μία στην άλλη [59]

R- One : Σχεδιασμένη για χρήση ως ρομποτική πλατφόρμα σμήνους. Παρόλο που χρησιμοποιεί ένα σύστημα παρακολούθησης κάμερας για εντοπισμό της αλήθειας εδάφους και λογισμικό διακομιστή για τη σύνδεση όλων των τμημάτων μεταξύ τους, μπορούν να πραγματοποιηθούν αρκετά πειράματα «κοντά» στη νοημοσύνη του σμήνους. [60]

Elisa-3: Ρομποτική πλατφόρμα σμήνους, ανοιχτού κώδικα και εμπορικά⁹ διαθέσιμη, χρησιμοποιεί επίσης έναν μικροελεγκτή Arduino με μεγάλο αριθμό αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων οκτώ αισθητήρων εγγύτητας υπέρυθρων, επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων και τεσσάρων αισθητήρων γείωσης. Το ρομπότ μπορεί να επαναφορτιστεί αυτόνομα χρησιμοποιώντας έναν σταθμό φόρτισης. Τα ρομπότ στο σμήνος επικοινωνούν χρησιμοποιώντας IR ή ραδιόφωνο.

Khepera IV : Σχεδιασμένο για εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους εργαστηρίου. Έχει πυρήνα Linux, έγχρωμη κάμερα, WLAN, Bluetooth, USB Host, επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο,

μικρόφωνο, megάφωνο, τρία LED RGB και βελτιωμένη οδομετρία που το καθιστούν μια συμπαγή και πλήρη πλατφόρμα έρευνας για σμήνη σε διαφορετικά σενάρια. Το Khepera IV διατίθεται στο εμπόριο στην K-Team [56,61]

GRITsbot : είναι ο ανοιχτός κώδικας ρομποτικής πλατφόρμας σμήνους που χρησιμοποιείται στο **Robotarium** στο Georgia Tech της Ατλάντα. Το Robotarium παρέχει απομακρυσμένη πρόσβαση σε μια μεγάλη ομάδα ρομπότ. Οι μελετητές μπορούν να ανεβάσουν κώδικα για την εκτέλεση πειραμάτων από απόσταση για τη συλλογή δεδομένων. Χαρακτηριστικά όπως η αυτόματη εγγραφή ρομπότ σε διακομιστή, η αυτόνομη φόρτιση, η ασύρματη μεταφόρτωση κωδικών στα ρομπότ και η αυτόματη βαθμονόμηση αισθητήρα καθιστούν το Robotarium ελκυστικό για πειράματα απομακρυσμένης έρευνας. Όλες αυτές οι πλατφόρμες χρησιμοποιούν τροχούς για την κίνησή τους και ένα σύνολο διαφορετικών αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων απόστασης και φωτός. [62]

E-puck : έχουν σχεδιαστεί ως εκπαιδευτικά και ερευνητικά ρομπότ για να διευκολύνουν τον προγραμματισμό και τον έλεγχο της συμπεριφοράς των ρομπότ. Χρησιμοποιεί διάφορους αισθητήρες, π.χ. αισθητήρες εγγύτητας υπέρυθρων, κάμερα CMOS και μικρόφωνο. Το e-puck είναι διαθέσιμο ανοιχτού κώδικα ή εμπορικά στην GCtronic . [63]

Xpuck : είναι μια επέκταση του e-puck όσον αφορά τη συνολική ακατέργαστη επεξεργαστική ισχύ (όπως χρησιμοποιείται στις σύγχρονες κινητές συσκευές συστήματος-on-chip) δύο teraflops. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερος ατομικός υπολογισμός ρομπότ, π.χ. επεξεργασία εικόνας χρησιμοποιώντας την παρακολούθηση ArUco Marker [64]

Thymio II : στοχεύει στην κατανόηση προγραμματισμού και ρομποτικών εννοιών χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα αισθητήρων, όπως θερμοκρασία, υπέρυθρη απόσταση, επιταχυνσιόμετρο και μικρόφωνο. Ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει στο Blockly χρησιμοποιώντας οπτικό προγραμματισμό ή προγραμματισμό που βασίζεται σε κείμενο. Το Thymio II είναι διαθέσιμο τόσο ανοιχτού κώδικα όσο και εμπορικά στο Thymio. [65]

Droplet : Είναι ένα σφαιρικό ρομπότ που μπορεί να οργανωθεί σε πολύπλοκα σχήματα με τους γείτονές του χρησιμοποιώντας κίνηση δόνησης. Φορτίζει και επικοινωνεί μέσω ηλεκτρικού δαπέδου που είναι εξοπλισμένο με εναλλασσόμενες λωρίδες θετικού φορτίου και γείωσης. Είναι διαθέσιμο ως έργο ανοιχτού κώδικα [66]

Swarm - bots : μπορούν να διαμορφωθούν σε διαφορετικά γεωμετρικά τρισδιάστατα σχήματα. Κατασκευάζονται από έναν αριθμό απλούστερων ρομπότ που μοιάζουν με έντομα, τα

οποία είναι κατασκευασμένα από σχετικά φθηνά εξαρτήματα. Ένα σμήνος από αυτά τα ρομπότ είναι ικανό να αυτοσυναρμολογείται και να αυτο-οργανώνεται για να προσαρμοστεί στο περιβάλλον του. Με αυτήν την ικανότητα συναρμολόγησης το σμήνος είναι σε θέση να μεταφέρει αντικείμενα που θα ήταν πολύ βαριά για τα μεμονωμένα ρομπότ [67]

Termes [68] συνεργάζονται χωρίς επικοινωνία ή εντοπισμό GPS για να δημιουργήσουν μεγάλες δομές χρησιμοποιώντας αρθρωτά μπλοκ. Η υποκείμενη ιδέα είναι η στιγμέρεια και είναι εμπνευσμένη από τον τρόπο που οι τερμίτες χτίζουν τις φωλιές τους στη φύση. Τα ρομπότ Termes είναι ρομπότ αναρρίχησης που φέρουν μπλοκ και μπορούν να δημιουργήσουν αυτές τις δομές σε μη δομημένα περιβάλλοντα.

PolyBots [69] είναι ρομπότ που μπορούν να διαμορφωθούν μόνα τους. Έχουν διάφορους τύπους δυνατοτήτων κίνησης , είναι εναλλάξιμα που επιτρέπουν το σχηματισμό πολλών σχημάτων. Αυτά τα ρομπότ βρίσκουν την εφαρμογή τους εάν το περιβάλλον είναι άγνωστο ή εάν τα ρομπότ πρέπει να εκτελέσουν πολλαπλές εργασίες.

Άλλα αρθρωτά ρομπότ που επιτρέπουν την αυτοδιαμόρφωση με παρόμοιες ρομποτικές τεχνολογίες περιλαμβάνουν το **M-Tran** [70], **M-Tran II και**[71], **Atron**[71], **Conro** [72].

3.2.2 Πλατφόρμες σε Εναέριο περιβάλλον

MAV (Micro Air Vehicles) : Τα MAV είναι εξοπλισμένα με τρία γυροσκόπια ταχύτητας, τρία επιταχυνσιόμετρα, έναν αισθητήρα υπερήχων και τέσσερις αισθητήρες υπερύθρων [73].

Distributed Flight Array : είναι πλατφόρμα UAV που αποτελεί μια μονάδα μεγαλύτερης συστοιχίας και έχει μόνο έναν ρότορα. Οι μονάδες αυτοσυναρμολογούνται σε ένα σύστημα πολλαπλών ρότορων όπου όλα τα οχήματα πρέπει να συνεργάζονται για συντονισμένη πτήση. Για να διευκολυνθεί αυτό, ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους και προσαρμόζουν τις τοπικές παραμέτρους [74].

Crazyflies : Σμήνος UAV διαθέσιμο τόσο σε ανοιχτό κώδικα όσο και εμπορικά .Χρησιμοποιούν πολλαπλούς αισθητήρες, π.χ. επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, μαγνητόμετρο και έναν αισθητήρα πίεσης υψηλής ακρίβειας Το χαμηλό τους βάρος των 27 g επιτρέπει πειράματα με μειωμένο κίνδυνο για τον άνθρωπο. Ο εντοπισμός του Crazyflie βασίζεται σε εξωτερικά συστήματα παρακολούθησης, όπως το OptiTrack [75].

3.2.3 Πλατφόρμες σε Υδάτινο περιβάλλον

CoCoRo (Collective Cognitive Robotics) : Είναι σμήνος 41 ετερογενών UUV. Υπάρχουν τρεις τύποι οχημάτων: Ένας σταθμός βάσης USV, ένας UUV εξερεύνησης και UUV για τη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ των εξερευνητών και του σταθμού βάσης. Η επικοινωνία πραγματοποιείται με σόναρ και ηλεκτρικά πεδία. Οι κύριες εφαρμογές που προβλέπονται είναι η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η μέτρηση της ρύπανσης των υδάτων και οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη [76]

UUV Monsun : Χρησιμοποιεί δύο τύπους επικοινωνίας: ένα ακουστικό υποβρύχιο μόντεμ για ανταλλαγή πληροφοριών και μια κάμερα για την αναγνώριση και παρακολούθηση άλλων μελών του σμήνους [77]

Coratam: (Control of Aquatic Drones for Maritime Tasks) είναι ένα έργο που αναπτύσσει σμήνη USV. Οι προβλεπόμενες εφαρμογές είναι η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, ο εντοπισμός της θαλάσσιας ζωής και η περιπολία στα θαλάσσια σύνορα. Οι πλατφόρμες είναι διαθέσιμες μέσω ανοιχτού κώδικα³¹ και μπορεί να εκτελέσει αλγόριθμους σμήνους που δημιουργούνται με χρήση εξελικτικού υπολογισμού [78]

3.2.4 Διαστημικές πλατφόρμες

Swarmies : Για την εξερεύνηση του διαστήματος, η NASA έχει αναπτύξει αυτή την εφαρμογή για τη συλλογή δειγμάτων υλικού, όπως νερό, πάγο ή χρήσιμα ορυκτά στον Άρη. Αυτή η εφαρμογή αναφέρεται ως επιτόπια χρήση πόρων (ISRU). Ο στόχος είναι να αυξηθεί η εξερεύνηση του Άρη χρησιμοποιώντας ένα σμήνος .

Marsbees : Πρόκειται για ένα ρομποτικό ιπτάμενο σμήνος με πτερύγια σε μέγεθος μέλισσας. Πρέπει να εξερευνησουν το περιβάλλον και να χρησιμοποιήσουν το ρόβερ του Άρη Opportunity ως βάση και σταθμό φόρτισης. [79]

3.3 Βιομηχανικά Έργα και Προϊόντα

3.3.1 Γήινες - Μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους

SwarmBot : Είναι σμήνη αγροτικών UGV (Unmanned Ground Vehicles) , λειτουργούν συνεργατικά, αλλά ακολουθούν ένα κεντρικά σχεδιασμένο πρόγραμμα. Πριν ξεκινήσει η αποστολή, ένα δεδομένο πεδίο αποσυντίθεται σε μικρότερα κελιά τα οποία στη συνέχεια κατανέμονται στα οχήματα. Τα καθήκοντα του σμήνους είναι ποικίλα, αλλά συνήθως

περιλαμβάνουν φύτευση, εφαρμογή λιπάσματος, εξάλειψη ζιζανίων και εντόμων, άρδευση και συγκομιδή [80]

UGV Xaver : είναι ένα UGV φύτευσης της εταιρείας Fendt που λειτουργεί με μπαταρία ελεγχόμενο μέσω cloud και συνεργάζεται με τα άλλα UGV του σμήνους όσον αφορά ένα κεντρικά σχεδιασμένο σχέδιο σποράς Η σειρά παραγωγής των ρομπότ ξεκίνησε με το έργο της EE MARS (Mobile Agricultural Robot Swarms). Οι δύο αυτές εφαρμογές αναλύονται και σε επόμενο κεφάλαιο. [81]

Guardians είναι σμήνος αυτόνομων UGV που έχει αναπτυχθεί για εφαρμογές έκτακτης ανάγκης και διάσωσης. Αυτό το σμήνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επικίνδυνες καταστάσεις όπου απελευθερώνονται τοξίνες που βλάπτουν σοβαρά τις ανθρώπινες αισθήσεις. Τα ρομπότ προειδοποιούν για τοξικές χημικές ουσίες, παρέχουν και διατηρούν συνδέσμους κινητής επικοινωνίας, συμπεραίνουν πληροφορίες εντοπισμού και βοηθούν στην αναζήτηση. Μπορούν να δημιουργήσουν έναν σχηματισμό και να πλοηγηθούν ενώ διατηρούν αυτόν τον σχηματισμό χρησιμοποιώντας τα λεγόμενα κοινωνικά δυναμικά πεδία. Όλες οι εργασίες μπορούν να επιτευχθούν χωρίς κεντρικό έλεγχο και ορισμένες από τις συμπεριφορές μπορούν να εκτελεστούν χωρίς ρητή επικοινωνία μεταξύ των ρομπότ. [82]

Ocado είναι μια αυτοματοποιημένη αποθήκη που χρησιμοποιεί ένα σμήνος ομοιογενών κυβοειδών UGV. Οι παραγγελίες παντοπωλείου συναρμολογούνται και αποστέλλονται χρησιμοποιώντας 1.100 συνεργαζόμενα ρομπότ. Τα ρομπότ συλλέγουν παραγγεληθέντα κιβώτια φαγητού από στοίβες κάτω από ένα τεράστιο μεταλλικό πλέγμα οργανωμένο σαν πλέγμα σκακιού και τα παραδίδουν σε αλεξίπτωτα, όπου άνθρωποι εργάτες συνενώνουν τις παραγγελίες των πελατών. Καθώς τα κιβώτια είναι οργανωμένα σε σωρούς, τα ρομπότ βοηθούν το ένα το άλλο για να σηκώσουν εκείνα που στέκονται στο δρόμο. Λειτουργούν κατά ριπές για την εξασφάλιση σπασίματος για τη φόρτιση. Τα ρομπότ ελέγχονται κεντρικά από έναν διακομιστή cloud. Τα δεδομένα μεταδίδονται μεταξύ των ρομπότ και του νέφους χρησιμοποιώντας τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας. Ο διακομιστής cloud χειρίζεται τον τεράστιο όγκο δεδομένων για να συντονίσει τα ρομπότ χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης. [83]

Kiva : Χρησιμοποιείται στις αποθήκες της Amazon και διαθέτει έως και 100.000 ρομπότ σε όλο τον κόσμο για να μετακινήσει πύργους ραφιών στις αποθήκες της. Τα ρομπότ χρησιμοποιούν αισθητήρες κίνησης για να αναγνωρίσουν άλλα ρομπότ ή ράφια στο δρόμο τους. Για να βρουν το δρόμο τους προς τους ανθρώπινους εργάτες που συναρμολογούν τις παραγγελίες των

πελατών, χρησιμοποιούν οπτικές ετικέτες στο έδαφος της αποθήκης για εντοπισμό και πλοήγηση χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο αλγόριθμο. Η αποστολή οργανώνεται κεντρικά και επικοινωνείται στα ρομπότ χρησιμοποιώντας WLAN. Τα ρομπότ οδηγούν αυτόματα σε σταθμό φόρτισης σε περίπτωση χαμηλής ισχύος. [85]

Swilt: Το έργο επικεντρώνεται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις στη βιομηχανία ημιαγωγών με ένα μείγμα προϊόντων υψηλής ποιότητας, όπου το σμήνος αποτελείται από παρτίδες, μηχανήματα και άλλο εξοπλισμό. Η καινοτομία στο SWILT είναι να εφαρμόζει συμπεριφορές εμπνευσμένες από τη φύση που εξάγονται από αλγόριθμους νοημοσύνης σμήνους στα άτομα του σμήνους αντί να υπολογίζονται εκ των προτέρων τα καθολικά χρονοδιαγράμματα ή οι πίνακες δρομολόγησης. Η κύρια διαφορά με τις παραδοσιακές μεθόδους, όπως η γραμμική βελτιστοποίηση, είναι ότι οι εφικτές, παγκόσμιες λύσεις προκύπτουν από την τοπική συμπεριφορά. [86]

3.3.2. Εναέριες

Οι εναέριες εφαρμογές σμήνους καλύπτονται συνήθως από UAV και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές.

Offset (OFFensive Swarm-Enabled Tactics) : Είναι στρατιωτικό έργο με αποστολή την ενίσχυση της αναγνώρισης με UAV και UGV εντός των πόλεων. Τα ρομπότ εντοπίζουν απειλές χρησιμοποιώντας περισσότερες από 100 διαφορετικές τακτικές σμήνους σε περιβάλλον βασισμένο σε παιχνίδια. Η Πολεμική Αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών (USAF) εργάζεται σε ένα σμήνος 250 UAV που είναι σε θέση να εκτελέσει μια αποστολή 6 ωρών για την αναγνώριση οκτώ οικοδομικών τετραγώνων. [87]

Perdix: Είναι στρατιωτικό drone σμήνους, που μπορεί να εκτελέσει τέσσερις διαφορετικές αποστολές, συμπεριλαμβανομένης της αιώρησης πάνω από έναν στόχο ή του σχηματισμού ενός κύκλου πλάτους 100 μέτρων στον ουρανό. Τα σμήνη τους δεν έχουν κεντρικό έλεγχο, δεν έχουν ηγέτη, προσαρμόζονται στα UAV που εισέρχονται ή εξέρχονται από την ομάδα, δεν είναι προγραμματισμένα, λαμβάνουν συλλογικές αποφάσεις και μπορούν να πετάξουν σε σχηματισμό. Τυπικές στρατιωτικές εφαρμογές περιλαμβάνουν αποστολές επιτήρησης και στοχευμένες δολοφονίες. [88]

Smavnet (Swarming Micro Air Vehicle Network) : ανήκει στον τομέα εφαρμογής έκτακτης ανάγκης και διάσωσης. Αναπτύσσεται ένα σμήνος αυτόνομων MAV για την ανάπτυξη και

διαχείριση ενός ad-hoc δικτύου WLAN. Η εφαρμογή είναι η σύνδεση και ο συντονισμός των ομάδων διάσωσης. Ένας άλλος στόχος είναι η εξερεύνηση σημείων καταστροφής, με στόχο τον εντοπισμό των θυμάτων και την κατεύθυνση των διασωστών προς αυτά.[89]

3.3.3. Υδάτινες

Platypus : είναι αυτόνομα ρομποτικά σκάφη, τα λεγόμενα USV, για τη μέτρηση και την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού. Παρέχουν πυκνούς χάρτες καθορισμένων υδάτινων σωμάτων για να δώσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της ποιότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένης της αλατότητας και της διαστρωμάτωσης οξυγόνου. Χρησιμοποιούνται διαφορετικές πλατφόρμες ανάλογα με την κλίμακα και τον τύπο του υδάτινου όγκου. Τα σκάφη εκτελούν κεντρικά προγραμματισμένη συλλογική εξερεύνηση και αλληλεπιδρούν με τον ανθρώπινο χειριστή χρησιμοποιώντας προγραμματισμό προσανατολισμένο στην ομάδα [90]

Apium Data Diver : Είναι ένα πρωτότυπο όχημα που κατασκευάστηκε για επιχειρήσεις σε σμήνη στην επιφάνεια και κάτω από το νερό. Είναι σε θέση να βουτήξει σε μέγιστο βάθος 100 m και διαθέτει πολλαπλούς αισθητήρες στο σκάφος, όπως θερμοκρασία, πίεση και GPS. Πιθανές εφαρμογές περιλαμβάνουν ωκεανογραφία, υδατοκαλλιέργεια, υδρογραφική έρευνα και άμυνα.[91]

Vertex της Hydromea : είναι σε θέση να πραγματοποιεί μετρήσεις ποιότητας νερού σε πολλές τοποθεσίες ταυτόχρονα σε βάθος 300 m και να δημιουργεί τρισδιάστατα σύνολα δεδομένων με υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση πολύ πιο γρήγορα από τις παραδοσιακές μεθόδους. Το μικρό μέγεθος των UUV επιτρέπει την εφαρμογή τους, π.χ. κάτω από πάγο, σε προστατευμένες περιοχές, υπόγεια σπήλαια νερού και δεξαμενές αποθήκευσης. Τα UUV μπορούν να εντοπιστούν στο σμήνος χρησιμοποιώντας ακουστικό τριγωνισμό. [92]

Swarms (Smart Networking Underwater Robots in Cooperation Meshes) (έχει σαν στόχο να γίνουν τα υποβρύχια και επιφανειακά οχήματα πιο προσιτά και χρήσιμα για θαλάσσιες και υπεράκτιες επιχειρήσεις. Στόχος είναι η εκτενής χρήση θαλάσσιων οχημάτων αντί για επαγγελματίες δύτες για τις τυπικά επικίνδυνες υπεράκτιες επιχειρήσεις. Το SWARMS εργάζεται κυρίως για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συνόλου εξαρτημάτων λογισμικού και υλικού για να τα ενσωματώσει στην τρέχουσα γενιά θαλάσσιων οχημάτων. Αυτό βοηθά στη βελτίωση της αυτονομίας, της συνεργασίας, της ευρωστίας, της οικονομικής απόδοσης και της αξιοπιστίας. Οι εφαρμογές των SWARM περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: πρόληψη διάβρωσης σε

υπεράκτιες εγκαταστάσεις, παρακολούθηση της χημικής ρύπανσης και παρακολούθηση λοφίων. [93]

Caracas: Το κιτ λογισμικού Caracas (Control Architecture for Robotic Agent Command and Sensing) αναπτύχθηκε αρχικά από τη NASA για το Mars, έχει προσαρμοστεί από το Γραφείο Ναυτικής Έρευνας (ONR). Επιτρέπει την αυτόνομη λειτουργία των σκαφών του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ όπου αυτά τα USV αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στο σμήνος των USV να επιλέξει τις δικές του διαδρομές, να αναχαιτίσει εχθρικά σκάφη ως σμήνος και να συνοδεύσει και να προστατεύσει τα ναυτικά μέσα. Για να υποστηρίξει τις αλλαγές στο σμήνος, το CARACAS επιτρέπει τον επανασχεδιασμό και τη διανομή νέων λιστών εργασιών. [94]

3.3.4 Επίγεια / Εναέρια / Υδρόβια

Roborder : χρησιμοποιεί ένα αυτόνομο σμήνος ετερογενών ρομπότ (UGV, UAV, USV) εξοπλισμένα με πολυτροπικούς αισθητήρες για επιτήρηση θαλάσσιων και χερσαίων συνόρων. Στόχος τους είναι να ανιχνεύσουν και να εντοπίσουν εγκληματικές δραστηριότητες σε μια τεράστια ετερογένεια απειλών.[95]

BugWright2 : επικεντρώνεται στην εξυπηρέτηση και συντήρηση μεγάλων πλοίων. Αυτό περιλαμβάνει τον καθαρισμό και την επιθεώρηση του κύτους. Συνήθως, αυτό προκαλεί υψηλό κόστος. Επομένως, ο στόχος του έργου έγκειται στην ανάπτυξη διαφορετικών συνεργαζόμενων σμηνών UxV (UGV, UAV, UUV) για λεπτομερή οπτική και ακουστική επιθεώρηση πολλαπλών ρομπότ της δομής του κύτους, ανίχνευση κηλίδων διάβρωσης και καθαρισμό της επιφάνειας όπου χρειάζεται.[96]

Sentien Robotics : αναπτύσσει UGV και UAV για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες επιτήρησης, περιβαλλοντικής παρακολούθησης, επιθεώρησης υποδομής και εθνικής ασφάλειας. Η εταιρεία αναπτύσσει επεκτάσιμο λογισμικό νοημοσύνης σμήνους, αλγόριθμους επεξεργασίας δεδομένων αισθητήρων και υλικό ρομπότ. Επιπλέον, αναπτύσσει ένα σύστημα αυτόματης εκτόξευσης και ανάκτησης πολλαπλών UAV[97]

3.3.5 Διαστημικά έργα

Swarm : Σμήνη δορυφόρων βρίσκονται αυτήν τη στιγμή σε τροχιά της Γης για εξερεύνηση του διαστήματος εκτοξεύτηκε το 2013 και αποτελείται από τρεις πανομοιότυπους δορυφόρους, ο καθένας μήκους 9 μέτρων, και τοποθετημένοι σε δύο διαφορετικές πολικές τροχιές: δύο δίπλα-δίπλα σε υψόμετρο 450 km και ένας τρίτος σε υψόμετρο 530 km. Το πρωταρχικό τους καθήκον είναι να μελετήσουν το μαγνητικό πεδίο της Γης.[98]

Cluster II : Εκτοξεύτηκε το 2000 και αποτελείται από τέσσερα πανομοιότυπα, κυλινδρικά διαστημόπλοια που πετούν σε τετραεδρικό σχηματισμό. Το καθήκον τους είναι να μελετήσουν την επίδραση της δραστηριότητας του Ήλιου στο διαστημικό περιβάλλον της Γης. Αυτή είναι η πρώτη φορά που μια αποστολή είναι σε θέση να παρέχει τρισδιάστατα δεδομένα σχετικά με την επίδραση του ηλιακού ανέμου στη μαγνητόσφαιρα της Γης. [99]

3.4 Προσομοιωτές

Player/Stage/Gazebo : είναι ένας ρομποτικός προσομοιωτής ανοιχτού κώδικα με πολλαπλές ρομποτικές δυνατότητες και ένα ευρύ σύνολο διαθέσιμων ρομπότ και αισθητήρων έτοιμο προς χρήση. Λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο για 1000 ρομπότ που εκτελούν ένα απλό πρόγραμμα. Αποτελεί καλή λύση για πειράματα ρομποτικών σμηνών. [100]

Webbots : είναι ένας ρεαλιστικός, εμπορικός προσομοιωτής φορητών συσκευών που επιτρέπει την προσομοίωση πολλών ρομπότ, με ήδη κατασκευασμένα μοντέλα πραγματικών ρομπότ. Είναι 3D, προσομοιώνει τη φυσική και τις συγκρούσεις. Η απόδοσή του όταν εργάζεται με περισσότερα από 100 ρομπότ μειώνεται πολύ γρήγορα, δυσκολεύοντας τις προσομοιώσεις με μεγάλο αριθμό ρομπότ. [101]

Microsoft Robotics Studio : είναι ένας προσομοιωτής που αναπτύχθηκε από την Microsoft Corporation. Επιτρέπει πολυ-ρομποτική προσομοίωση. Απαιτεί μια πλατφόρμα Windows για να εκτελεστεί. [102]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. Έξυπνη Γεωργία

4.1 Εισαγωγή

Η αύξηση της πληθυσμιακής αύξησης συνοδεύεται από αύξηση της ζήτησης για παραγωγή τροφίμων . Ο FAO (Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας του ΟΗΕ) ανέφερε ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να φθάσει τα 9,73 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050 , με άλλα λόγια περίπου 2 δισεκατομμύρια περισσότερα στόματα για να ταΐσουν από ό,τι το 2020, και η αύξηση θα συνεχιστεί μέχρι να φτάσει τα 11,2 δισεκατομμύρια έως το 2100 (FAO, 2017). Αυτή η αύξηση, σύμφωνα με τον FAO πρέπει να επιτευχθεί μέσω της αύξησης της γεωργικής παραγωγής κατά 70%. Η κατάσταση αποτελεί σοβαρή πρόκληση για τα κράτη μέλη του ΟΗΕ όσον αφορά την ατζέντα του 2030 , τα οποία στοχεύουν στον τερματισμό της παγκόσμιας πείνας διασφαλίζοντας την πρόσβαση όλων, ιδιαίτερα των φτωχών και ευάλωτων, συμπεριλαμβανομένων των βρεφών, σε υγιή, θρεπτικά και επαρκή τροφή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Και όλα αυτά χωρίς να ξεχνάμε ότι η βιομηχανία τροφίμων ευθύνεται σήμερα για το 30% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και το 22% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η πρόκληση, επομένως, δεν είναι απλώς η παραγωγή περισσότερων τροφίμων, αλλά η βιωσιμότητα.

Πολλές προκλήσεις εμποδίζουν τη γεωργική παραγωγή, η οποία οδηγεί σε μείωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών, όπως η αλατότητα του εδάφους σε ξηρές συνθήκες. Επιπλέον, το κλίμα επηρεάζει επίσης την ποσότητα και την ποιότητα των καλλιεργειών και μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της ευαισθησίας του εδάφους και στην ερημοποίηση . Ως εκ τούτου, η εστίαση στην έρευνα πόρων γης για χρήση στη γεωργική ανάπτυξη σε άνυδρες περιοχές είναι απαραίτητη.[103,104]. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, ο αγροτικός τομέας είναι ένας από τους σημαντικότερους πυλώνες του εθνικού εισοδήματος. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή νέων τεχνολογιών για τη βελτίωση του αγροτικού τομέα είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την υποστήριξη της εθνικής οικονομίας σε αυτές τις χώρες. [105,106] Η γεωργική παραγωγή περιλαμβάνει την παραγωγή τροφίμων για τον άνθρωπο και τα ζώα, επιπλέον των πρώτων υλών που χρειάζονται για τη βιομηχανική διαδικασία.

4.2. Ιστορική αναδρομή

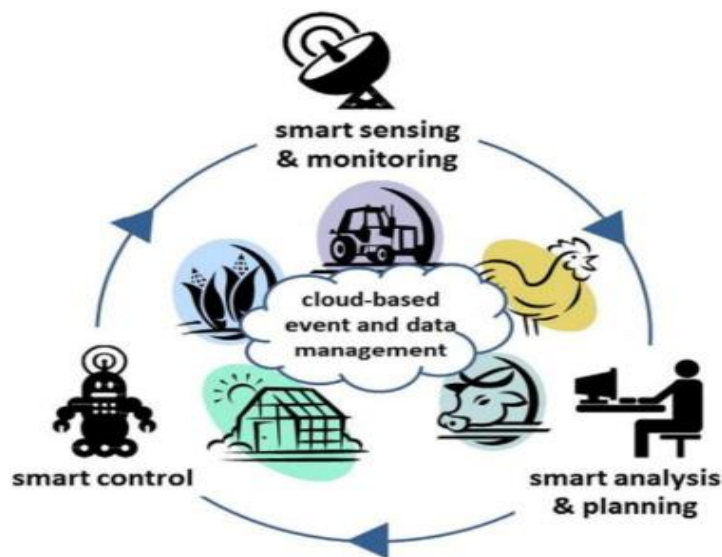
Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, υπάρχουν αρκετές επαναστάσεις αγροτικής ανάπτυξης. Η πρώτη γεωργική επανάσταση ήταν από τους αρχαίους πολιτισμούς της Αιγύπτου και της Ελλάδας που είχε αντανακλήσει ενδιαφέρον για τους αρχαίους ανθρώπους για την ανάπτυξη γεωργικών μεθόδων, όπου οι πάπυροι υποδεικνύουν την ανάπτυξη συστημάτων άρδευσης από περισσότερο από το 6000 π.Χ. Αιγύπτιοι και Έλληνες ανέπτυξαν πολλά γεωργικά μηχανήματα και εξοπλισμό, για παράδειγμα, τύμπανο, αντλίες.[107] Η δεύτερη αγροτική επανάσταση εκδηλώθηκε κατά τον 17ο αιώνα που ακολούθησε το τέλος της φεουδαρχίας στην ήπειρο της Ευρώπης.

Επιπλέον, η τρίτη αγροτική επανάσταση (Πράσινη Επανάσταση) είχε ενεργοποιηθεί κατά την περίοδο 1930-1960 του περασμένου αιώνα, όπου μια επέκταση χρησιμοποιεί ορυκτά λιπάσματα για την αύξηση της αγροτικής παραγωγής, καθώς και αυξημένη χρήση φυτοφαρμάκων παράλληλα με την ανάπτυξη διαφόρων γεωργικών μηχανημάτων. Η τέταρτη αγροτική επανάσταση συνέβη κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών, η οποία υπήρξε σημαντική ανάπτυξη στην τεχνολογία των επικοινωνιών της πληροφορίας (ΤΠΕ) και στην τεχνητή νοημοσύνη. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν διευκολύνει τον έλεγχο του εξοπλισμού και των συσκευών εξ αποστάσεως, όπου τα ρομπότ έχουν χρησιμοποιηθεί σε γεωργικές εργασίες, όπως η συγκομιδή και το βοτάνισμα, καθώς και τα drones έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για τη λίπανση των καλλιεργειών και την παρακολούθηση των σταδίων ανάπτυξης των καλλιεργειών.

Η έξυπνη γεωργία είναι μια τεχνολογία που βασίζεται στην εφαρμογή της χρήσης τεχνητής νοημοσύνης και IoT στην κυβερνοφυσική διαχείριση αγροκτημάτων (Bacco et al., 2019). Η έξυπνη γεωργία αντιμετωπίζει πολλά ζητήματα που σχετίζονται με την παραγωγή καλλιεργειών, καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση των αλλαγών των κλιματικών παραγόντων, των χαρακτηριστικών του εδάφους, της υγρασίας του εδάφους κ.λπ. και drones, καθώς αυτή η τεχνολογία επιτρέπει τη σύνδεση συσκευών μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο για αυτόματη λειτουργία (AlMetwally et al., 2020). Η κύρια ιδέα της γεωργίας ακριβείας είναι η βελτίωση των πρακτικών χωρικής διαχείρισης για την αύξηση της φυτικής παραγωγής αφενός και την αποφυγή της κακής χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων αφετέρου.(Amato et al., 2015 Effat & El-zeiny, 2017).

4.3 Η Έξυπνη Γεωργία

Είναι μια έννοια που αποτελεί ένα ολοκληρωμένο παραγωγικό σύστημα και αναφέρεται στη διαχείριση αγροκτημάτων με χρήση σύγχρονων τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών για την αύξηση της ποσότητας και της ποιότητας των προϊόντων με παράλληλη βελτιστοποίηση της απαιτούμενης ανθρώπινης εργασίας. Επίσης περιλαμβάνει καινοτομίες έξυπνων μεθόδων για την επίτευξη πολυλειτουργικών όσον αφορά τη διαχείριση της εκμετάλλευσης που υποστηρίζεται εξ' αποστάσεως από εναλλακτικές κατάλληλες λύσεις διαχείρισης αγροκτημάτων σε πραγματικό χρόνο. . Το Σχήμα 1 μας δείχνει ότι τα ρομπότ θα μπορούσαν να εκπληρώσουν ουσιαστικούς ρόλους στον έλεγχο της γεωργικής διαδικασίας και να προβλέπουν αυτόματη ανάλυση και σχεδιασμό, έτσι ώστε ο ηλεκτρονικός κυβερνοφυσικός κύκλος να γίνει ημιαυτόνομος.[111] Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), τόνισε τη σημασία της τεχνολογίας των δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), των γεωργικών ρομπότ και των κόμβων αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων που θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε μελλοντικές στρατηγικές ευρωπαϊκής έξυπνης γεωργίας που υπογράφηκε τον Απρίλιο του 2019 από 24 χώρες της ΕΕ. [112] Παράλληλα με την επέκταση των διαφόρων μεθόδων ανίχνευσης για τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων, ο όγκος των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στη γεωργική διαχείριση έχει γίνει πολύ μεγάλος. Έτσι, αυτό οδηγεί σε μείωση της ικανότητας του δικτύου 4G να συνδέει όλα τα στοιχεία του έξυπνου δικτύου σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Πρόσφατα, μετά τη λειτουργία του εξαιρετικά γρήγορου δικτύου 5G, η διαδικασία μεταφοράς και επεξεργασίας δεδομένων έχει γίνει εύκολη.[113]



Εικόνα 4.1. Έξυπνος κύκλος γεωργίας
(Πηγή : [Smart farming for improving agricultural management - ScienceDirect](#))

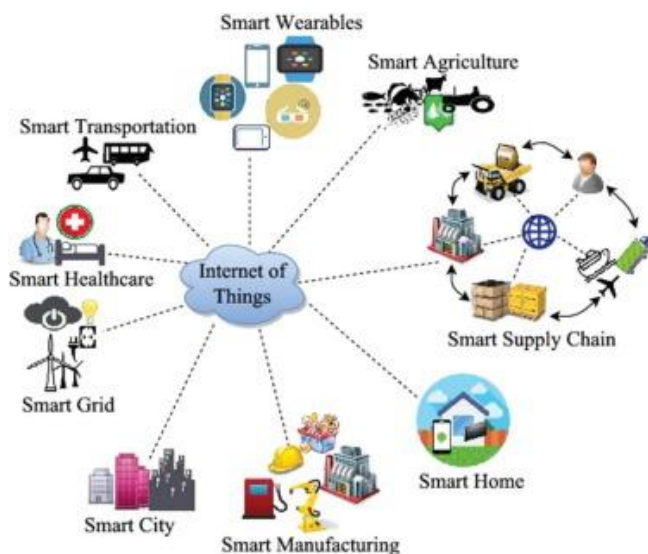
Μεταξύ των τεχνολογιών που είναι διαθέσιμες για τους σημερινούς αγρότες είναι:

- **Αισθητήρες** : έδαφος, νερό, φως, υγρασία, διαχείριση θερμοκρασίας
- **Λογισμικό** : εξειδικευμένες λύσεις λογισμικού που στοχεύουν συγκεκριμένους τύπους αγροκτημάτων ή αγνωστικιστικές πλατφόρμες IoT εφαρμογών.
- **Συνδεσιμότητα** : κυτταρική , Lora , κλπ .
- **Τοποθεσία** : GPS, Δορυφορική, κλπ .
- **Ρομποτική** : Αυτόνομη τρακτέρ, εγκαταστάσεις επεξεργασίας, κλπ .
- **Data Analytics** : αυτόνομες λύσεις αναλύσεων, δεδομένα για μεταγενέστερες λύσεις, κλπ .

Οπλισμένοι με τέτοια εργαλεία, οι αγρότες μπορούν να παρακολουθούν τις συνθήκες του χωραφιού χωρίς καν να πηγαίνουν στο χωράφι και να λαμβάνουν στρατηγικές αποφάσεις για ολόκληρο το αγρόκτημα ή για ένα μόνο φυτό. Η κινητήρια δύναμη της έξυπνης γεωργίας είναι το IoT, με τη σύνδεση έξυπνων μηχανών και αισθητήρων που είναι ενσωματωμένοι σε αγροκτήματα θα καταστήσει τις γεωργικές διαδικασίες βασισμένες στα δεδομένα και με δυνατότητα δεδομένων.

4.4 Το IoT στην έξυπνη γεωργία

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι μια έξυπνη και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που προσφέρει αντισυμβατικές και πρακτικές λύσεις σε πολλούς τομείς. Η εικόνα 4.2 απεικονίζει ορισμένα παραδείγματα, όπως έξυπνες πόλεις, έξυπνα σπίτια, έλεγχος κυκλοφορίας, υγειονομική περίθαλψη, έξυπνη γεωργία κ.λπ. Στον γεωργικό τομέα, η τεχνολογία IoT έχει σημειώσει σημαντική ανάπτυξη στη γεωργική διαχείριση και επιτρέπει για παράδειγμα τη σύνδεση όλων των γεωργικών συσκευών και εξοπλισμού για τη λήψη της κατάλληλης απόφασης για την άρδευση και την προμήθεια λιπασμάτων.[114] Τα έξυπνα συστήματα ενισχύουν την αποτελεσματικότητα της ακρίβειας των συσκευών που παρακολουθούν την ανάπτυξη των φυτών και ακόμη και την εκτροφή ζώων. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων από διαφορετικές συσκευές ανίχνευσης. Επιπλέον, οι υπηρεσίες cloud είναι επίσης απαραίτητες για να ενσωματωθούν με το IoT για την ανάλυση και την επεξεργασία των απομακρυσμένων δεδομένων που διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων για την εφαρμογή των καλύτερων αποφάσεων.[115] Η έξυπνη διαχείριση αγροκτημάτων απαιτεί τη χρήση ΤΠΕ, αισθητήρων εδάφους και συστημάτων ελέγχου που είναι εγκατεστημένα σε ρομπότ, αυτόνομα οχήματα και άλλες αυτοματοποιημένες συσκευές. Η επιτυχία των έξυπνων συστημάτων εξαρτάται από το Internet υψηλής ταχύτητας, τις προηγμένες κινητές συσκευές και τους δορυφόρους που πρέπει να παρέχουν εικόνες και θέση. [116]



Εικόνα 4.2: Εφαρμογή του IoT σε διαφορετικούς τομείς

Πηγή : ([Smart farming for improving agricultural management - ScienceDirect](#))

4.5 Ο Κύκλος Έξυπνης Γεωργίας που βασίζεται στο IoT

Ο πυρήνας του IoT είναι τα δεδομένα που μπορείτε να αντλήσετε από πράγματα ("T") και να μεταδώσετε μέσω του Διαδικτύου ("I"). Για τη βελτιστοποίηση της γεωργικής διαδικασίας, οι συσκευές IoT που είναι εγκατεστημένες σε ένα αγρόκτημα θα πρέπει να συλλέγουν και να επεξεργάζονται δεδομένα σε έναν επαναλαμβανόμενο κύκλο που επιτρέπει στους αγρότες να αντιδρούν γρήγορα σε αναδυόμενα ζητήματα και αλλαγές στις συνθήκες περιβάλλοντος.

Η έξυπνη γεωργία ακολουθεί έναν κύκλο όπως αυτός που περιγράφουμε παρακάτω:

- **Παρατήρηση :** Οι αισθητήρες καταγράφουν δεδομένα από τις καλλιέργειες, τα ζώα, το έδαφος ή την ατμόσφαιρα.
- **Διαγνωστικά :** Οι τιμές των αισθητήρων τροφοδοτούνται σε μια πλατφόρμα IoT που φιλοξενείται σε cloud με προκαθορισμένους κανόνες και μοντέλα απόφασης που διαπιστώνουν την κατάσταση του εξεταζόμενου αντικειμένου και προσδιορίζουν τυχόν ελλείψεις ή ανάγκες.
- **Αποφάσεις :** Αν προκύψουν προβλήματα ο χρήστης της πλατφόρμας IoT καθορίζει εάν είναι απαραίτητη η συγκεκριμένη θεραπεία για την τοποθεσία και ποια θα είναι αυτή.
- **Δράση :** Μετά την αξιολόγηση και τη δράση του τελικού χρήστη, ο κύκλος επαναλαμβάνεται από την αρχή.

4.6 Τα οφέλη της έξυπνης γεωργίας

Η τεχνολογία έξυπνης γεωργίας που βασίζεται στις τεχνολογίες Internet of Things (IoT) έχει πολλά πλεονεκτήματα που σχετίζονται με όλες τις γεωργικές διαδικασίες και πρακτικές σε πραγματικό χρόνο, όπως η άρδευση και η φυτοπροστασία, η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, ο έλεγχος της διαδικασίας λίπανσης και η πρόβλεψη ασθενειών κ.λπ.[117]

Η εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογιών έχει θετικό αντίκτυπο στη γεωργία και την κτηνοτροφία. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της έξυπνης γεωργίας είναι τα παρακάτω :

- **Αυξημένη και βελτιωμένη παραγωγή:** η βελτιστοποίηση όλων των διαδικασιών που σχετίζονται με τη γεωργία και την κτηνοτροφία αυξάνει τα ποσοστά παραγωγής.

- **Έλεγχος και εξοικονόμηση νερού:** οι μετεωρολογικές προβλέψεις και οι αισθητήρες που μετρούν την υγρασία του εδάφους κάνουν το πότισμα μόνο όταν είναι απαραίτητο και για το σωστό χρονικό διάστημα.
- **Καλύτερη ποιότητα:** η ανάλυση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος σε σχέση με τις εφαρμοζόμενες στρατηγικές καθιστά δυνατές προσαρμογές για να αυξηθεί η μεταγενέστερη ποιότητα παραγωγής μέσω της ακριβούς αξιολόγησης του εδάφους και των καλλιεργειών.
- **Μειωμένο κόστος:** η αυτοματοποίηση της σποράς, των επεξεργασιών και της συγκομιδής στην περίπτωση της γεωργίας μειώνει τη χρήση των πόρων.
- **Ανίχνευση παρασίτων και υγεία των ζώων:** η έγκαιρη ανίχνευση προσβολών σε καλλιέργειες ή ασθενειών στα ζώα σημαίνει ότι ο αντίκτυπός τους στην παραγωγή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί και να βελτιωθεί η καλή διαβίωση των ζώων.
- **Καλύτερη βιωσιμότητα:** η εξοικονόμηση πόρων όπως το νερό άρδευσης και το μέγιστο όφελος από τη γη μειώνουν τις επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- **Απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος των αγροτών:** η εξ αποστάσεως παρακολούθηση δίνει τεράστια βοήθεια στους αγρότες δίνοντας τους μεγάλη ποσότητα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την καλλιέργειά τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5⁰

5. Ρομποτική Σμήνους στην Έξυπνη Γεωργία

Η ρομποτική σμήνους αναμένεται να παίξει κύριο ρόλο στον αγροτικό τομέα και τα συστήματα πολλαπλών ρομπότ αναμένεται να προσφέρουν λύσεις για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ανάπτυξης ενός γεωργικού συστήματος.

5.1 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV)

5.1.1 Εισαγωγή

Ένα Μη Επανδρωμένο Εναέριο όχημα (UAV) είναι ένας τύπος αεροσκάφους που λειτουργεί χωρίς να υπάρχει άνθρωπος ως πιλότος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι UAV που χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς. Αρχικά, η τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε από τον στρατό για την πρακτική αντιαεροπορικών στόχων, τη συλλογή πληροφοριών και την επιτήρηση ορισμένων εχθρικών εδαφών. Η τεχνολογία, ωστόσο, έχει αναπτυχθεί πέρα από τον αρχικό της σκοπό και τα τελευταία χρόνια έχει κερδίσει εξέχουσα θέση σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης προσπάθειας. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία επέτρεψαν την αυξημένη προσαρμογή των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων για διάφορους σκοπούς. Χωρίς εποχούμενο πιλότο, τα UAV ελέγχονται είτε εξ αποστάσεως από έναν πιλότο σε επίγειο σταθμό είτε αυτόνομα, κατευθύνονται από ένα προ-προγραμματισμένο σχέδιο πτήσης.[118]

Υπάρχει τεράστιο ενδιαφέρον για τις εφαρμογές UAV στη Γεωργία. Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Συστημάτων Μη Επανδρωμένων Οχημάτων (AUVSI), το 80% της εμπορικής αγοράς UAV αναμένεται να καταληφθεί στο μέλλον από γεωργικά UAV[119]. Ο λόγος για τον οποίο τα γεωργικά UAV είναι δημοφιλή είναι επειδή αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο για την υπέρβαση ορισμένων από τις προκλήσεις της σύγχρονης γεωργίας. Συγκεκριμένα, ένα καινοτόμο αγροτικό σύστημα UAV είναι πολύ χρήσιμο για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας της γεωργικής παραγωγικότητας, η οποία έχει γίνει δύσκολο να διατηρηθεί λόγω της κλιματικής αλλαγής και να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση για γεωργικά προϊόντα καθώς αυξάνεται ο παγκόσμιος πληθυσμός. Μια τέτοια εφαρμογή είναι η ακριβής και τεκμηριωμένη πρόβλεψη των αγροτικής παραγωγής προϊόντων χρησιμοποιώντας χωρικά δεδομένα που συλλέγονται από τα UAV. Τα UAV επιτρέπουν επίσης στους αγρότες να παρατηρούν τα

χωράφια τους από τον ουρανό. Αυτή η θέα μπορεί να αποκαλύψει στο αγρόκτημα προβλήματα που σχετίζονται με την άρδευση, τις παραλλαγές του εδάφους, τις προσβολές από μύκητες και τα παράσιτα. Επίσης πληροφορίες σχετικά με την πρόσβαση στο νερό, την αλλαγή του κλίματος, τον άνεμο, την ποιότητα του εδάφους, την παρουσία ζιζανίων και εντόμων, τις μεταβλητές περιόδους ανάπτυξης και άλλα μπορούν να παρακολουθούνται με UAV. Από την σκοπιά του ζωικού κεφαλαίου, τα UAV χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση μετρήσεων κεφαλής, την παρακολούθηση ζώων και επίσης τη μελέτη διατροφικών συνηθειών και προτύπων που σχετίζονται με την υγεία. Αξιοποιώντας τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν, οι αγρότες μπορούν να παρέχουν γρήγορες και αποτελεσματικές λύσεις σε προβλήματα και ζητήματα που έχουν εντοπιστεί, να λάβουν καλύτερες αποφάσεις διαχείρισης, να βελτιώσουν την παραγωγικότητα των αγροκτημάτων και τελικά να δημιουργήσουν υψηλότερα κέρδη.

5.1.2. Εφαρμογές συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) στη γεωργία

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) τόσο στη γεωργία καλλιεργειών όσο και στη κτηνοτροφική παραγωγή. Οι εφαρμογές UAV στη διαχείριση καλλιεργειών μπορούν να χωριστούν σε εφαρμογές εδάφους και νερού, εφαρμογές ανάδυσης φυτών και εφαρμογές ανάπτυξης φυτών. Οι εφαρμογές εδάφους και νερού περιλαμβάνουν υψομετρικά μοντέλα εδάφους, τόσο για τη διαχείριση των επιφανειακών υδάτων όσο και για τη φυτική παραγωγή. Η διακύμανση των υψομέτρων μεταξύ των χωραφιών είναι χρήσιμη για την επιλογή ποικιλιών καλλιεργειών και ποσοστών φύτευσης. Τα μοντέλα ανύψωσης μπορούν να αναπτυχθούν είτε χρησιμοποιώντας τεχνικές φωτογραμμετρίας από κανονικές εικόνες UAV είτε από αισθητήρες LiDAR. Οι θερμικές εικόνες και οι βλαστικοί δείκτες που παρασκευάζονται από πολυφασματικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση του στρες υγρασίας στις καλλιέργειες αγρού και για την παροχή χωρικών χαρτών για άρδευση με μεταβλητό ρυθμό. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές διαχείρισης καλλιεργειών αγρού, που ξεκινούν από την εμφάνιση της καλλιέργειας και συνεχίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης για μέτρηση φυτών μετά την ανάδυση. Ο αριθμός των φυτών είναι σημαντικός για τους καλλιεργητές τόσο για τον προσδιορισμό της πιθανής ανάγκης αναφύτευσης εάν η βλάστηση ήταν πολύ χαμηλή για να παραχθεί κανονική απόδοση όσο και για τη διαχειριστική απόφαση σχετικά με τις εποχικές εφαρμογές λιπασμάτων και τον έλεγχο των παρασίτων. Οι εικόνες τηλεπισκόπησης UAV είναι επίσης χρήσιμες για την παρακολούθηση και

την αξιολόγηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και για τον εντοπισμό προβλημάτων στα χωράφια. Οι υψηλής ανάλυσης εικόνες (RGB) και οι πολυφασματικές εικόνες (UAS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τον εντοπισμό περιοχών συμπίεσης του εδάφους, αλατότητας, υπερβολικής υγρασίας και ζητημάτων που σχετίζονται με δυσλειτουργίες του εξοπλισμού φύτευσης. Οι επιμέρους περιοχές αναγνώρισης προσβολής ζιζανίων μπορούν να χαρτογραφηθούν με εικόνες UAV και να χρησιμοποιηθούν για την προετοιμασία χαρτών εφαρμογής ζιζανιοκτόνων μεταβλητής θέσης. Οι εικόνες RGB UAV είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την απογραφή του αριθμού των κατοικίδιων ζώων που βόσκουν σε λιβάδια. Οι εικόνες RGB και υπέρυθρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ποσοτικοποίηση της φυτικής βιομάζας στο λιβάδι και για την αξιολόγηση της ποιότητας της βιομάζας. Οι θερμικές εικόνες μπορούν ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση ζώων με αυξημένες θερμοκρασίες σώματος. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία του σώματος των θηλυκών ζώων αυξάνεται τόσο κατά τη διάρκεια των κύκλων του οίστρου όσο και πριν από τη γέννηση των μικρών.[121]

5.1.3. Τύποι UAV

Τα UAV μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη χρήση τους, με μερικά να χρησιμοποιούνται για φωτογραφία, εναέρια χαρτογράφηση, επιτήρηση, κινηματογράφηση κ.λπ. Μια πιο πλήρης ταξινόμηση με βάση τα σύνολα χαρακτηριστικών τους παρουσιάζει μια επισκόπηση των διαφορετικών τύπων UAV που εφαρμόζονται στη γεωργία και τα κατηγοριοποιεί σε τρεις κύριες ομάδες : σταθερής πτέρυγας, κατακόρυφης απογείωσης - προσγείωσης (Vertical Take Off and Landing ,VTOL) και πτηνών/έντομων. Ο τύπος VTOL έχει τη μεγάλη ευελιξία και την ικανότητα αιώρησης και αναγνωρίζεται ως το καταλληλότερο για γεωργική εφαρμογή. [122].

Γενικότερα υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι UAV, οι οποίοι είναι [123]:

- **UAV με πολλαπλούς ρότορες**
- **UAV σταθερής πτέρυγας**
- **Ελικόπτερο ενός ρότορα**
- **Υβριδικά UAV σταθερών πτερύγων πολλαπλού ρότορα**

UAV με πολλαπλούς ρότορες

Αυτοί είναι ο πιο κοινός τύπος UAV, που φαίνεται από τη μεγάλη δημοτικότητά τους μεταξύ των επαγγελματιών και των χομπίστων. Βρίσκουν εφαρμογές στη φωτογραφία, εναέρια βιντεοπαρακολούθηση, ψυχαγωγικά αθλήματα και παιχνίδια κ.λπ. Είναι το πιο εύκολο στην κατασκευή και επίσης το φθηνότερο είδος UAV. Τα UAV πολλαπλών ρότορων ταξινομούνται περαιτέρω με βάση τον αριθμό των ρότορων στην πλατφόρμα. Υπάρχουν εκείνοι με τρεις ρότορες που ονομάζονται τρικόπτερο, με τέσσερις ρότορες που ονομάζονται τετρακόπτερο, με έξι ρότορες που ονομάζονται εξακόπτερο και εκείνοι με οκτώ ρότορες που ονομάζονται οκτοκόπτερο. Η πτήση ενός UAV με πολλαπλούς ρότορες δεν απαιτεί εξαιρετική ικανότητα σε αντίθεση με τους άλλους τύπους UAV. Τα UAV με πολλαπλούς ρότορες αν και φθηνά και εύκολα στην κατασκευή έχουν μερικά μειονεκτήματα που περιλαμβάνουν: περιορισμένο χρόνο πτήσης, αντοχή και ταχύτητα. Μπορούν να διατηρήσουν μόνο έναν μέσο χρόνο πτήσης μεταξύ 20 και 30 λεπτών. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειάς τους δαπανάται πολεμώντας τη βαρύτητα και τον άνεμο για να παραμείνει σταθερό στον αέρα. Η εικόνα 5.1 δείχνει ένα οκτοκόπτερο που χρησιμοποιείται για ψεκασμό ακριβείας υγρών φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων.



Εικόνα 5.1 UAV πολλαπλών ρότορα
(Πηγή : Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Agriculture | IntechOpen)

UAV σταθερής πτέρυγας

Αυτοί οι τύποι UAV έχουν φτερά παρόμοια με τα κανονικά αεροσκάφη. Σε αντίθεση με τα UAV Multi-Rotor, δεν ασκούν πολλή ενέργεια για να παραμείνουν επιπλέον στον αέρα, επομένως μπορούν να πετούν περισσότερο. με μέσους χρόνους πτήσης πάνω από μία ώρα. Ο μεγαλύτερος χρόνος πτήσης τα καθιστά ιδανικά για μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, δεν μπορούν να αιωρούνται σε σημείο και επομένως δεν είναι κατάλληλα για αεροφωτογράφιση. Επιπλέον, είναι πιο ακριβά και απαιτούν εξαιρετική πτητική ικανότητα για να λειτουργήσουν



Εικόνα 5.2. UAV σταθερής πτέρυγας

(Πηγή : Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Agriculture | IntechOpen)

UAV ενός ρότορα

Τα UAV ενός ρότορα ονομάζονται επίσης μονοκόπτερα και μοιάζουν πολύ με ελικόπτερα σε σχεδιασμό και δομή. Αν και ονομάζονται UAV με έναν ρότορα, στην πραγματικότητα έχουν δύο ρότορες - έναν μεγάλο στην κορυφή και έναν μικρότερο στην ουρά. Ο μεγαλύτερος ρότορας είναι για ανύψωση ενώ ο μικρότερος για έλεγχο. Έχουν σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο πτήσης από το αντίστοιχο με πολλαπλούς ρότορες, καθώς συχνά τροφοδοτούνται από κινητήρες αερίου. Αυτά τα UAV είναι επίσης εξαιρετικά ευέλικτα και πολύ πιο αποτελεσματικά από τους τύπους πολλαπλών ρότορα. Παρόμοια με το multi-rotor, μπορούν επίσης να αιωρούνται, επομένως είναι χρήσιμα για αεροφωτογράφιση και ψεκασμό ακριβείας. Παρά αυτά τα ευεργετικά χαρακτηριστικά, συνοδεύονται από υψηλότερους λειτουργικούς κινδύνους, καθώς τα πτερύγια του ρότορα μεγάλου μεγέθους αποτελούν συνήθως έναν κίνδυνο που είναι ως επί το

πλείστον θανατηφόρος. Απαιτούν επίσης ειδική πτητική εκπαίδευση. Η εικόνα 5.3 δείχνει ένα δείγμα UAV μονού ρότορα.



Εικόνα 5.3 UAV μονού ρότορα
(Πηγή : Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Agriculture | IntechOpen)

Υβριδικά UAV σταθερών πτερόγων με πολλαπλούς ρότορες

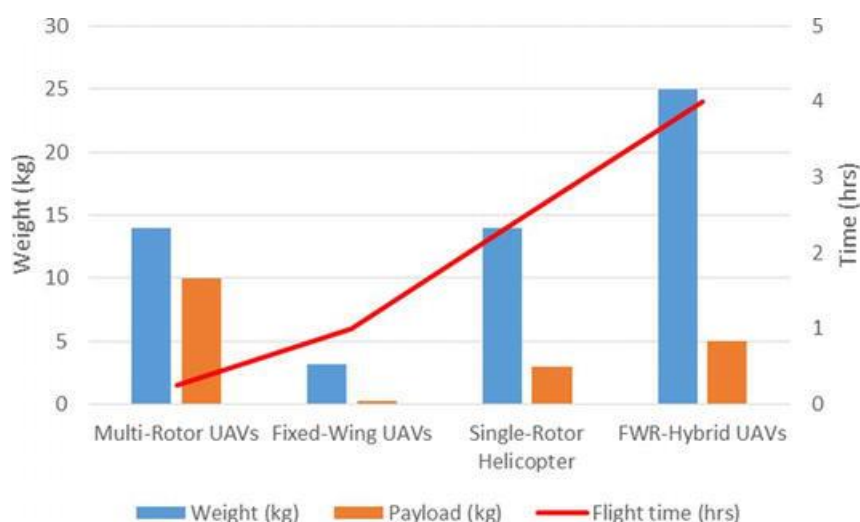
Αυτοί οι τύποι UAV συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των UAV σταθερής πτέρυγας και των UAV με πολλαπλούς ρότορες, με τον υβριδισμό να δίνει σε αυτά τα UAV το καλύτερο σύνολο χαρακτηριστικών και των δύο. Είναι σε θέση να εκτελούν κατακόρυφη απογείωση και προσγείωση (VTOL) καθώς και να αιωρούνται στη θέση τους όπως ο πολλαπλός ρότορας και ο μονός ρότορας. Παρόμοια με τα UAV με σταθερό φτερό και ένα στροφέιο, αυτά επωφελούνται επίσης από τη μεγάλη διάρκεια πτήσης, αλλά μπορούν να παραμείνουν στην πτήση για πολύ περισσότερο. Η εικόνα 5.4 δείχνει μια εικόνα ενός τέτοιου UAV που είναι αρκετά ευέλικτο ώστε να χρησιμοποιείται για λήψη εικόνων, επιτήρηση καθώς και ψεκασμό ακριβείας.



Εικόνα 5.4 Υβριδικό UAV με σταθερά φτερά και πολλαπλούς ρότορες
(Πηγή : Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Agriculture | IntechOpen)

5.1.4. Σύγκριση διαφόρων UAV

Ο πίνακας 5.1 δείχνει μια σύγκριση των τεσσάρων διαφορετικών τύπων UAV με βάση το μέσο βάρος τους, το μέγεθος ωφέλιμου φορτίου και τον χρόνο πτήσης. Από την άλλη πλευρά, ο πίνακας 5.2 συνοψίζει τις προδιαγραφές κατά την πτήση. Για κάθε κατηγορία επιλέχθηκε ένα μοντέλο UAV. Οι τιμές που εμφανίζονται ελήφθησαν από την αντίστοιχη τεκμηρίωση κατασκευαστή ή/και το εγχειρίδιο χειριστή κάθε προϊόντος.



Πίνακας 5.1 Σύγκριση βάρους UAV και ωφέλιμο φορτίο έναντι χρόνου πτήσης.
(Πηγή : Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Agriculture | IntechOpen)

Στον πίνακα 5.2, φαίνεται ξεκάθαρα το πλεονέκτημα του υβριδικού, καθώς είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερο ύψος πτήσης, μεγαλύτερο εύρος ελέγχου, αυξημένη ταχύτητα και μεγαλύτερο χρόνο πτήσης σε σύγκριση με τους άλλους τύπους UAV.

Τύπος UAV	Υψόμετρο (km)	Μέσος όρος εμβέλειας ελέγχου (km)	Μέσος όρος ταχύτητα αέρα (m/s)
UAV πολλαπλού ρότορα	2	3 - 5	7
UAV σταθερής πτέρυγας	0,125	2	18.8
UAV μονού ρότορα	3	30	15.2
Υβριδικά UAV με σταθερά φτερά με πολλαπλούς ρότορες	4	500–1000	30

Πίνακας 5.2 Σύγκριση UAV βάσει χαρακτηριστικών.

(Πηγή : [Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles \(UAV\) in Agriculture IntechOpen](#))

5.1.5 UAV στην καλλιέργεια φυτών/καλλιεργειών

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT), η τεχνολογία UAV θα δώσει στη βιομηχανία της γεωργίας μια αναμόρφωση υψηλής τεχνολογίας, με σχεδιασμό και στρατηγική που βασίζεται στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η PwC αποτίμησε 32,4 δισεκατομμύρια δολάρια στην αγορά λύσεων γεωργίας που τροφοδοτούνται από UAV [11]. Η εφαρμογή της τεχνολογίας UAV στη γεωργία έχει γίνει ολοένα και πιο απαραίτητη με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την επακόλουθη πίεση στη γεωργική κατανάλωση. Ο συνεχώς αυξανόμενος διεθνής πληθυσμός δεν συνδυάζεται αναλογικά με την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Ως εκ τούτου, υπάρχει μια αυξανόμενη ανησυχία για τη βιωσιμότητα των τροφίμων. Σε μια προσπάθεια να αντιμετωπίσουν αυτήν την πρόκληση, οι αγρότες σε όλο τον κόσμο χρειάστηκε να προσαρμόσουν σύγχρονες και αυτοματοποιημένες λύσεις προκειμένου να συμβαδίσουν με τις γεωργικές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού που βρίσκεται σε συνεχή ροή. Τα UAV είναι μια τέτοια τεχνολογία που θα μπορούσε να βοηθήσει στη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών.

5.2 Περιοχές εφαρμογής UAV

5.2.1. Ανάλυση εδάφους και πεδίου

Η χρήση UAV για την προμήθεια πληροφοριών εδάφους είναι χρήσιμη στην πρόιμη έναρξη ενός κύκλου καλλιέργειας. Τα δεδομένα που συλλέγονται βοηθούν στην πρόιμη ανάλυση του εδάφους και είναι επίσης χρήσιμα στον σχεδιασμό των προτύπων φύτευσης σπόρων. Αυτά τα δεδομένα μπορούν επίσης να βοηθήσουν τον αγρότη να κάνει σχέδια άρδευσης καθώς και να προσδιορίσει την ποσότητα του λιπάσματος που χρειάζεται στο έδαφος ή στο χωράφι μετά τη φύτευση. Χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση βάσει δεδομένων, οι αγρότες μπορούν να βελτιώσουν τη συνολική ποσότητα απόδοσης των γεωργικών προϊόντων, ενώ εξοικονομούν σημαντικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα. Όλα αυτά καθίστανται δυνατά μέσω της ανάλυσης απομακρυσμένων εικόνων που τραβήχτηκαν με UAV. Οι εικόνες UAV έχουν επίσης τεράστιες δυνατότητες στο σχεδιασμό θεραπειών καταπολέμησης ζιζανίων για συγκεκριμένες τοποθεσίες. Με τις εικόνες υψηλής ανάλυσης, οι αγρότες μπορούν γρήγορα και με ακρίβεια να εντοπίζουν τα ζιζάνια σχεδόν αμέσως που ξεφυτρώνουν και να εφαρμόζουν ελάχιστο φυτοφάρμακο για να τα περιορίσουν.

5.2.2 Φύτευση

Η φύτευση καλλιεργειών είναι μια δαπανηρή και επίπονη προσπάθεια που παραδοσιακά απαιτεί πολύ ανθρώπινο δυναμικό. Τα UAV έχουν απλοποιήσει τη φύτευση καλλιεργειών για τους αγρότες, με την ικανότητά τους να καλύπτουν μεγάλα στρέμματα γης σε σύντομο χρονικό διάστημα με μέγιστη ακρίβεια και ακρίβεια. Η σημερινή τεχνολογία εκτροφής UAV υψηλής τεχνολογίας προσφέρει τεχνικές φύτευσης που λειτουργούν με UAV που μειώνουν το κόστος φύτευσης έως και 85%. Η μείωση του κόστους φύτευσης είναι αποτέλεσμα της ικανότητας του UAV να εκτελεί πολλαπλές εργασίες ταυτόχρονα. Τα UAV έχουν γίνει ολοένα και πιο δημοφιλή τα τελευταία χρόνια σε εφαρμογές γεωργικής έρευνας. Έχει βρεθεί ότι έχουν δυνατότητες λήψης εικόνων με υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση στη Γεωργία. Για παράδειγμα αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδο για την ποσοτικοποίηση της απόστασης μεταξύ των φυτών αραβοσίτου σε κλίμακα χωραφιού χρησιμοποιώντας ένα UAV. Η απόσταση μεταξύ των ριζών και των φυτών είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό της τελικής απόδοσης σε κόκκους σε μπάτσους σειράς. Ένας αλγόριθμος εικόνας βασισμένος σε UAV αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό των αποστάσεων των φυτών αραβοσίτου. Η γνώση του ακριβούς αριθμού φυτών ανά τετραγωνικό μέτρο είναι απαραίτητη και συμβάλλει στη βελτίωση των αποδόσεων συνάγοντας την εφαρμογή

λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων ώστε να ανταποκρίνεται στη ζήτηση των φυτών. Ο προσδιορισμός του πληθυσμού των φυτών είναι απαραίτητος για πολλές άλλες διαδικασίες, όπως η ισορροπία εδάφους με φυτό, η ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και η αποδοτικότητα χρήσης πόρων. Η μελέτη έδειξε τη δυνατότητα ποσοτικού προσδιορισμού της απόστασης μεταξύ των φυτών αραβοσίτου και παρείχε μια καινοτόμο προσέγγιση για την ποσοτικοποίηση της μεταβλητότητας από φυτό σε φυτό και κατ' επέκταση εκτιμήσεις απόδοσης καλλιεργειών. [125]

5.2.3 Καλλιέργεια και ψεκασμοί

Ο ψεκασμός των καλλιεργειών είναι συνήθως ένα δύσκολο και επαχθές έργο για τους αγρότες και τις εταιρείες γεωργικής παραγωγής. Περιλαμβάνει την πλήρη κάλυψη εξαιρετικά μεγάλων εκτάσεων γης για να εξασφαλιστεί η σωστή ανάπτυξη των καλλιεργειών. Τα γεωργικά UAV έχουν απλοποιήσει τον ψεκασμό των καλλιεργειών για τους αγρότες, καθώς μπορούν να καλύψουν μεγάλη έκταση γης μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες, τα UAV μπορούν να προσαρμόσουν αυτόματα το ύψος τους όταν ψεκάζουν σε ανώμαλα πεδία. Αυτό βελτιώνει την ακρίβεια του ψεκασμού και εξοικονομεί πόρους. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης UAV για ψεκασμό καλλιεργειών περιλαμβάνουν: εξοικονόμηση χρόνου και κόστους για τον αγρότη, αποτελεσματικό ψεκασμό καθώς είναι προσβάσιμα τόσο τα φυτά όσο και το έδαφος κάτω και η προστασία των αγροτών από την παρατεταμένη έκθεση σε δυνητικά επιβλαβείς χημικές ουσίες που μέχρι στιγμής σχετίζονται με το χειροκίνητο ψεκασμό. Τα γεωργικά UAV χρησιμοποιούν τοπογραφικές τεχνικές σάρωσης τελευταίας τεχνολογίας για τη διανομή της βέλτιστης ποσότητας υγρού που απαιτείται για τη σωστή ανάπτυξη των καλλιεργειών. Αυτό εξασφαλίζει ομοιόμορφη κάλυψη με περιορισμένη σπατάλη. Σε σχετική μελέτη, διερευνήθηκε η επίδραση της ταχύτητας πτήσης UAV στα σταγονίδια του ψεκασμού και η δοκιμή μεταβλητού ψεκασμού πραγματοποιήθηκε από πλατφόρμα προσομοίωσης UAV, με αερομεταφερόμενο σύστημα ψεκασμού σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Από τη μελέτη εξήχθησαν διάφορα συμπεράσματα μεταξύ των οποίων ήταν ότι η πυκνότητα εναπόθεσης μειώνεται με την ταχύτητα πτήσης και η διάμετρος των σταγονιδίων μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας πτήσης με αποτέλεσμα τη χειρότερη ομοιομορφία των ψεκαζόμενων σταγονιδίων. [126] Ο επιτόπιος ψεκασμός είναι παρόμοιος με τον ψεκασμό των καλλιεργειών αλλά στοχεύει τα ζιζάνια. Με τη χρήση καμερών υψηλής ανάλυσης, το UAV μπορεί να αναγνωρίσει τα ζιζάνια και να ψεκάσει με ακρίβεια έναν πίδακα ζιζανιοκτόνου. Ο

επιτόπιος ψεκασμός μπορεί να εξοικονομήσει έως και 90% σε χημικά ζιζανιοκτόνα. Έχουν γίνει πολυάριθμες ερευνητικές εργασίες για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας των UAV για σπρέι ψεκασμού. Μερικοί παράγοντες που εξετάστηκαν ήταν η εξισορρόπηση του ύψους και της ταχύτητας των UAV με το ύψος και την ακρίβεια ψεκασμού, καθώς και τα μεγέθη των σταγονιδίων, η πίεση ψεκασμού και οι πιθανές επιπτώσεις της κατεύθυνσης ροής αέρα της προπέλας των UAV. [127,128,129]

5.2.4 Παρακολούθηση καλλιέργειας

Ένας συνδυασμός μεγάλων αγροκτημάτων και χαμηλής απόδοσης στο σύστημα παρακολούθησης των καλλιεργειών είναι μερικές από τις μεγαλύτερες γεωργικές προκλήσεις. Η πρόκληση της παρακολούθησης επιδεινώνεται περαιτέρω από τις απρόβλεπτες καιρικές συνθήκες, οι οποίες αυξάνουν τον κίνδυνο και το κόστος συντήρησης πεδίου. Ένα γεωργικό UAV βοηθά τον αγρότη να ξεπεράσει ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις. Τα UAV με κάμερες θερμικής απεικόνισης επιτρέπουν στον αγρότη να παρακολουθεί το αγρόκτημά του. Ο αγρότης μπορεί να ελέγξει την κατάσταση των καλλιεργειών στο αγρόκτημα, καθώς και τις περιοχές που χρειάζονται επείγουσα προσοχή. Το αποτέλεσμα είναι βελτιωμένη απόδοση και μεγαλύτερο κέρδος. Σε μελέτη που έγινε προέκυψε η δυνατότητα δημιουργίας προϊόντων ποσοτικής χαρτογράφησης, όπως χάρτες άγχους καλλιεργειών από εικόνες UAV και τόνισε την αξία του απομακρυσμένου αισθητήρα UAV όταν εφαρμόζεται στη γεωργία ακριβείας. Η μελέτη εφάρμοσε ένα UAV ενός ρότορα (μονόπτερο), εξοπλισμένο με πολλαπλές φασματικές κάμερες, και στη συνέχεια ανέπτυξε ένα πλαίσιο για την επεξεργασία των εικόνων UAV και τη δημιουργία μωσαϊκών εικόνων που μπορούν να ευθυγραμμιστούν με χάρτες για ενσωμάτωση GIS σε μεταγενέστερο στάδιο. [130]

5.2.5 Άρδευση

Τα γεωργικά UAV εξοπλισμένα με κάμερες θερμικής απεικόνισης έχουν την ικανότητα να παρέχουν τεράστιες πληροφορίες για συγκεκριμένες προβληματικές περιοχές στο αγρόκτημα. Χρησιμοποιώντας τις θερμικές κάμερες, οι αγρότες είναι σε θέση να προσδιορίσουν περιοχές με χαμηλή υγρασία του εδάφους, να εντοπίσουν τις καλλιέργειες που είναι αφυδατωμένες, να εντοπίσουν περιοχές που έχουν κατακλυσθεί από το νερό και γενικά να έχουν μια αίσθηση της συνολικής κατάστασης υγείας των καλλιεργειών στο χωράφι. Τέτοια ακριβής

και συγκεκριμένη παρακολούθηση είτε δεν ήταν δυνατή με την παραδοσιακή γεωργία, είτε ήταν αναποτελεσματική είτε ήταν εξαιρετικά δαπανηρή, καθώς έπρεπε να προσληφθούν συμβάσεις με εμπειρογνώμονες για να εκτελέσουν το έργο και να προσφέρουν κατάλληλες λύσεις. Τα UAV δίνουν τώρα στους αγρότες τη δυνατότητα να το κάνουν μόνοι τους. Για παράδειγμα πραγματοποιήθηκε μια μελέτη σχετικά με τη μεταβλητότητα της κατάστασης του νερού του αμπελώνα με θερμικές και πολυφασματικές εικόνες χρησιμοποιώντας ένα UAV. Έγινε αξιολόγηση της μεταβλητότητας της κατάστασης του νερού ενός αμπελώνα με βροχή και βγήκε το συμπέρασμα ότι ένα UAV μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κατάστασης του νερού της αμπέλου και για τη χαρτογράφηση της μεταβλητότητας εντός του αμπελώνα που θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για πρακτικές άρδευσης. [131].

5.2.6 Αξιολόγηση υγείας

Η αξιολόγηση της υγείας του αγροκτήματος είναι ζωτικής σημασίας για τον εντοπισμό μυκητιακών και βακτηριακών ασθενειών στο αγρόκτημα. Σαρώνοντας μια καλλιέργεια χρησιμοποιώντας τόσο ορατό όσο και κοντινό υπέρυθρο φως, οι συσκευές που φέρουν UAV μπορούν να ανιχνεύσουν διακυμάνσεις χρονικής και χωρικής ανάκλασης και να τις συσχετίσουν με την υγεία του αγροκτήματος για πρώιμες παρεμβάσεις, κάτι που τελικά σώζει ολόκληρο το αγρόκτημα. Αυτές οι δύο δυνατότητες αυξάνουν την ικανότητα ενός φυτού να ξεπερνά τις ασθένειες. Και σε περίπτωση αποτυχίας της καλλιέργειας, ο αγρότης θα μπορεί να τεκμηριώνει τις ζημιές πιο αποτελεσματικά για τις ασφαλιστικές απαιτήσεις. Τα UAV προσφέρουν νέες και σύγχρονες μεθόδους ακριβούς παρακολούθησης και εκτίμησης των ζημιών από παράσιτα που πρέπει να διερευνηθούν. Μελέτη διερεύνησε τον συνδυασμό UAV, τεχνικών απομακρυσμένης αισθητήριας και μηχανικής μάθησης ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την αντιμετώπιση του προβλήματος των γεωργικών παρασίτων σε γεωργικές εκτάσεις. Η πλατφόρμα UAV αναπτύχθηκε πάνω από μια καλλιέργεια σόργου στο Νοτιοανατολικό Κουίνσλαντ της Αυστραλίας, για τη συλλογή εικόνων RGB υψηλής ανάλυσης ορισμένων περιοχών που υπέστησαν σοβαρές ζημιές από το λευκό παράσιτο. Ένας αγωγός επεξεργασίας εικόνας εφαρμόστηκε πριν από την ανάλυση εικόνας. Η μελέτη δείχνει πώς η απομακρυσμένη ευαισθησία και η μηχανική μάθηση που βασίζεται σε UAV θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη επιτήρησης βιοασφάλειας και διαχείρισης παρασίτων. [132] Μια άλλη μελέτη ερεύνησε τη χρήση του UAV στην αξιολόγηση της υγείας των καλλιεργειών και περιέγραψε τα οφέλη από την ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης UAV έναντι των παραδοσιακών

μεθόδων. Αναπτύχθηκε μια μέθοδο που μπορεί να παρακολουθεί γρήγορα τα παράσιτα των καλλιεργειών, με βάση την τηλεπισκόπηση UAV, η οποία χρησιμοποιήθηκε για επιθεώρηση παρασίτων σε γεωργική ζώνη .[133]

5.3 UAV στην κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία είναι η πράξη εκτροφής ζώων για τροφή και για άλλες χρήσεις όπως φάρμακα, δέρμα, γούνα και λιπάσματα. Τα Συστήματα Ζωικής Παραγωγής (LPS) ομαδοποιούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, και συγκεκριμένα: κτηνοτροφική παραγωγή με φυτικές, εδαφικές και αγροοικολογικές. [134,135] Όσον αφορά την κτηνοτροφία, τα αιγοπρόβατα είναι τα πιο εκτρεφόμενα ζώα και ακολουθούν τα βοοειδή. Ο Πίνακας 5.3 δείχνει μια αριθμητική κατανομή της παγκόσμιας κτηνοτροφικής παραγωγής .

Ζωικό είδος ή παραγωγή	Αριθμός/ποσότητα
Ζώο	
Αιγοπρόβατα	1777
Βοοειδή και βουβάλια	1526
Ζωικά προϊόντα	
Γάλα	594,4
Χοιρινό	95,2
Κρέας πουλερικών	73,7
Βοδινό κρέας	60,7
Αυγά	58,9
Αρνίσιο κρέας	11,9

Πίνακας 5.3 Αριθμητική κατανομή της παγκόσμιας κτηνοτροφικής παραγωγής
(Πηγή : Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Agriculture | IntechOpen)

Η κτηνοτροφία όπως και άλλες πτυχές της γεωργίας μπορεί να είναι μονότονη και επίπονη. Ωστόσο, οι άνθρωποι δεν είναι κατάλληλοι για μια τέτοια εργασία για παρατεταμένη χρονική περίοδο. Επομένως, οι μηχανές μπορούν να βρουν πρακτικά εφαρμογές σε αυτόν τον κλάδο της Γεωργίας, καθώς έχουν σχεδιαστεί για να εκτελούν επαναλαμβανόμενες εργασίες, ταχύτερα και πιθανώς πιο αποτελεσματικά ό,τι οι άνθρωποι. Τα UAV επομένως δεν αποτελούν εξαίρεση και έχουν βρει πρακτικές εφαρμογές στην κτηνοτροφία. Οι εφαρμογές των UAV στην κτηνοτροφία είναι οι εξής:

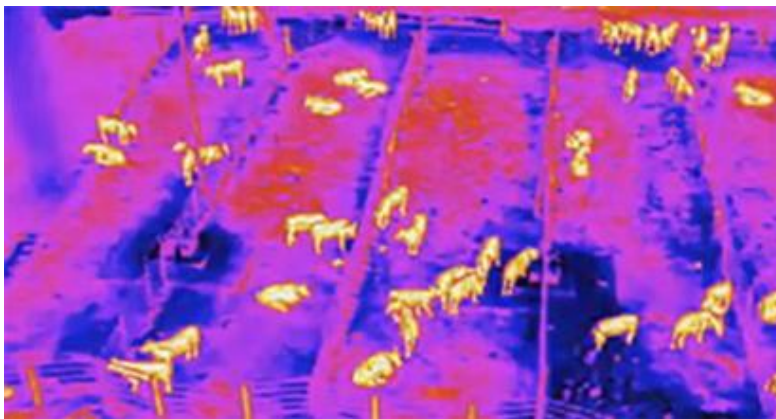
5.3.1 Απογραφείς Κτηνοτροφίας

Σύμφωνα με την Εθνική Υπηρεσία Ανάπτυξης της Νότιας Αφρικής, υπήρχαν πάνω από 13 εκατομμύρια μονάδες βοοειδών, 30 εκατομμύρια πρόβατα και 6,6 εκατομμύρια κατσίκες και 1,6

εκατομμύρια χοίροι που εκτρέφονταν σε κάθε επαρχία ετησίως μέχρι το 2003. Τα στοιχεία είναι ακόμη σημαντικά υψηλότερα στις ευρωπαϊκές χώρες σύμφωνα με τη Eurostat. Αυτοί οι αριθμοί είναι τεράστιοι, επομένως η παρακολούθηση και ο ημερήσιος αριθμός κεφαλών αυτού του μεγάλου αριθμού ζώων μπορεί να είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Τα UAV μπορούν επομένως να βρουν εφαρμογή εδώ και να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση μετρήσεων ζώων σε αυτές τις μεγάλες περιοχές βόσκησης [136,137,138]. Η καταμέτρηση των ζώων μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση αναγνώρισης εικόνας [136] είτε με τη χρήση καμερών υπέρυθρης ανίχνευσης θερμότητας [139]. Για την επεξεργασία εικόνας, το Συνελκτικό Νευρωνικό Δίκτυο (CNN) έχει αναδειχθεί τον τελευταίο καιρό ως το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο [140]. Σε μεγάλες περιοχές βόσκησης, τα UAV μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση και την καταμέτρηση του αριθμού των ζώων που υπάρχουν. Στα περισσότερα από αυτά τα έργα, τα UAV πετούν σε όλο το χωράφι και μετρούν τον αριθμό των ζώων που υπάρχουν.

5.3.2 Υγεία των ζώων

Σε εξέλιξη βρίσκεται ερευνητική εργασία στο Πανεπιστήμιο A&M του Τέξας, για τη διερεύνηση της χρήσης καμερών υπέρυθρων που είναι τοποθετημένες σε UAV για την παρακολούθηση της υγείας των ζώων. Η έρευνα βασίζεται στην υπόθεση ότι τα ζώα με πυρετό τείνουν να έχουν αυξημένη θερμοκρασία. Αυτό μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί από τα UAV και μπορεί να χορηγηθεί κατάλληλη φαρμακευτική αγωγή [141]. Η εικόνα 5.5 δείχνει ένα δείγμα χάρτη θερμότητας ενός κοπαδιού βοοειδών που αιχμαλωτίστηκε από ένα UAV.



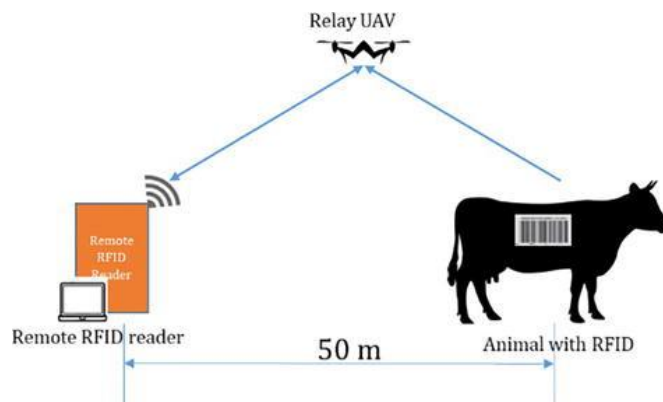
Εικόνα 5.5 Θερμικός χάρτης του κοπαδιού βοοειδών
(Πηγή : [Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles \(UAV\) in Agriculture | IntechOpen](#))

5.3.3 Παρακολούθηση και αναγνώριση

Σε μεμονωμένα επίπεδα, τα ζώα μπορούν να επισημανθούν με Radio Frequency Identification (RFID) ή παρόμοιους αισθητήρες και στη συνέχεια να παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας UAV. Έτσι οι αγρότες μπορούν να παρακολουθούν αποτελεσματικά τις κινήσεις και τη διατροφική συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου ζώου [142]. Αυτό έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση ζώων υπό εξαφάνιση, που εκτρέφονται σε αιχμαλωσία και απελευθερώνονται στη φύση. Παρόμοια με τις δύο αυτές εφαρμογές, η αναγνώριση μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας UAV εξοπλισμένα με απλές κάμερες ή κάμερες υπερύθρων (που ανιχνεύουν εκπομπές θερμότητας από το ζώο) ή συσκευές ανάγνωσης RFID. Μια σημαντική πρόκληση για την εφαρμογή του RFID είναι ότι οι παθητικές ετικέτες RFID έχουν πολύ μικρή εμβέλεια, επομένως μπορεί να είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν. Οι πιθανές λύσεις μπορεί να είναι:

- Ζωγραφίζοντας κωδικούς QR σε βοοειδή, τους οποίους οι κάμερες τοποθέτησαν στο drone, για να σαρώσουν και για να αναγνωρίσουν το ζώο.
- Η χρήση ενός drone αναμετάδοσης, όπως το RFLy που ερευνάται στο MIT [143] που θα λειτουργεί ως ρελέ μεταξύ των ετικετών RFID και του αναγνώστη. Χρησιμοποιώντας RFLy, οι συγγραφείς κατέγραψαν επέκταση εύρους έως και 50 μέτρων για παθητικές ετικέτες RFID.

Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να δανειστούν και να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση και παρακολούθηση των ζώων στη γεωργία. Η εικόνα 5.6 δείχνει μια πιθανή περίπτωση χρήσης UAV και ετικετών RFID για την αναγνώριση ζώων.



Εικόνα 5.6 Αναγνώριση ζώων με χρήση UAV αναμετάδοσης.

(Πηγή : [Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles \(UAV\) in Agriculture | IntechOpen](#))

5.3.4 Εναέρια συγκέντρωση

Η συγκέντρωση είναι η διαδικασία χρήσης αεροσκαφών για τον εντοπισμό και τη συλλογή ζώων σε μια μεγάλη έκταση γης. Σκύλοι και άνθρωποι με άλογα ή μοτοσικλέτες χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για να κατευθύνουν τα ζώα σε συγκεκριμένα μονοπάτια. Για μεγαλύτερη έκταση γης, χρησιμοποιούνται ελικόπτερα μικρού μεγέθους. Αυτά τα ελικόπτερα οδηγούνται συχνά από ένα άτομο. Οι δυσκολίες με τη χρήση των ελικοπτέρων είναι η ανάγκη για εκτεταμένη εκπαίδευση, το κόστος των αδειών και των πιστοποιήσεων, το κόστος των καυσίμων και κυρίως το υψηλό επίπεδο έκθεσης σε κίνδυνο και τα θύματα που συνδέονται με αυτό. Τα UAV παρέχουν πλεονεκτήματα για εναέρια συγκέντρωση, καθώς είναι ακίνδυνα, φθηνότερα για πτήση και απαιτούν μικρότερη περίοδο εκπαίδευσης, πετυχαίνοντας παρόμοια αποτελέσματα. Τα UAV έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία για τη συγκέντρωση προβάτων και βοοειδών [144]. Επίσης τα εναέρια UAV έχουν σειρήνες για να εκτρέφουν πρόβατα, ελάφια και βοοειδή. Τα UAV μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την καθοδήγηση των ζώων σε χώρους ταΐσματος, ποτού και αρμέγματος. [145]. Η εικόνα 5.7 δείχνει μια περίπτωση χρήσης UAV για συγκέντρωση προβάτων.



Εικόνα 5.7 Εναέρια συγκέντρωση με χρήση UAV

(Πηγή : [Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles \(UAV\) in Agriculture | IntechOpen](#))

5.3.5 Γεω-περίφραξη και εικονική περίμετρος

Γεω-φράχτη, εικονική περίμετρος ή γεωζώνη σημαίνει απλώς τη δημιουργία ενός εικονικού φραγμού ή περιμέτρου γύρω από μια γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος [146,147]. Έχει επίσης οριστεί ως ένα περίβλημα ή ένα όριο χωρίς τη χρήση φυσικών φραγμών. Μπορεί να επιτευχθεί

χρησιμοποιώντας για παράδειγμα έναν συνδυασμό αισθητήρων θέσης RFID, LoRaWAN και GPS. Οι αισθητήρες λαμβάνουν τη θέση του θέματος που ενδιαφέρει σε σχέση με έναν χάρτη. Η γεωλογική περιφραξη έχει επίσης μεγάλη εφαρμογή στη γεωργία, πιο συγκεκριμένα στην κτηνοτροφία ελευθέρως βοσκής. Οι αισθητήρες τοποθετούνται σε περιλαίμια βοοειδών, κατσίκιών κ.λπ. και αυτοί στέλνουν δεδομένα τοποθεσίας στον αγρότη. Υπάρχουν δύο κύριες μορφές εφαρμογής της γεωλογικής περιφραξης στη γεωργία: στην πρώτη, οι αισθητήρες απλώς ειδοποιούν τον ιδιοκτήτη της φάρμας όταν τα ζώα έχουν βοσκήσει έξω από μια προκαθορισμένη περίμετρο [148]. Σε αυτό το σύστημα, ο αγρότης πρέπει να πάει ενεργά να συγκεντρώσει τα ζώα πίσω στην περίμετρο. Στη δεύτερη προσέγγιση, τα ζώα δέχονται ανεπαίσθητα ερεθίσματα όταν αναρωτιούνται έξω από την περίμετρο. Τέτοιες προσομοιώσεις μπορεί να περιλαμβάνουν ήχους υψηλής συχνότητας ή κραδασμούς χαμηλής τάσης - αυτή η προσέγγιση εξαρτάται από τη συνειρμική μάθηση [149]. Η εικόνα 5.8 εμφανίζει μια απεικόνιση ενός γεωγραφικού (εικονικού) φράχτη, με το κόκκινο όριο να δείχνει την περιοχή βοσκής και τον μπλε κύκλο να δείχνει ένα ζώο που βόσκει έξω από το όριο.



Εικόνα 5.8 Έικονικός φράχτης γύρω από μια περιοχή βοσκής
(Πηγή : [Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles \(UAV\) in Agriculture | IntechOpen](#))

Επίσης τα UAV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να οδηγήσουν τα ζώα πίσω στην εμβέλεια όταν περιφέρονται έξω από τη βοσκή περιμέτρους. Έτσι, τα UAV μπορούν να παρέχουν έναν φθηνό και αποτελεσματικό τρόπο επαναφοράς των ζώων και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν ένας αριθμός ζώων αδέσποτα έξω από διαφορετικά άκρα της περιμέτρου. [150]

5.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα-προκλήσεις των UAV

5.4.1 Πλεονεκτήματα

- Περιορισμένοι περιορισμοί: Δεδομένου ότι μεταφέρονται από τον αέρα, δεν εμποδίζονται από φυσικούς περιορισμούς όπως το έδαφος, ανώμαλα μονοπάτια και εμπόδια γιατί πετάνε πάνω από όλα αυτά.
- Συντομότερη διαδρομή ταξιδιού: Είναι γνωστό ότι η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων είναι μια ευθεία διαδρομή. Τα UAV είναι τα καλύτερα κατάλληλα για αυτό, καθώς μπορούν να πετάξουν απευθείας σε ευθείες διαδρομές το οποίο δεν συμβαίνει πάντα με τα χερσαία οχήματα.
- Νυχτερινή πτήση : Στην περίπτωση αυτόνομων UAV, τα UAV μπορούν να προγραμματιστούν να πετούν στο βαθύ σκοτάδι ή σε στιγμές με σχεδόν μηδενική ορατότητα όταν θα ήταν δύσκολο για τους ανθρώπους να τα ελέγξουν χειροκίνητα.
- Εξοικονόμηση χρόνου και εργασίας: Δραστηριότητες όπως η καταμέτρηση ατόμων, η παρακολούθηση και η συγκέντρωση απαιτούν συχνά τη χρήση περισσότερων χεριών για να γίνουν και είναι μεγάλης εντάσεως εργασίας όσο και χρονοβόρα. Με τη χρήση UAV, ο αριθμός των επιπλέον εργατών που απαιτούνται μειώνεται σημαντικά, ενώ ταυτόχρονα εξοικονομείται χρόνος. Ομοίως στη γεωργία, τα UAV μπορούν να ψεκάσουν τις καλλιέργειες περίπου 40-60 φορές πιο γρήγορα από ό,τι οι άνθρωποι.
- Κόστος: Πέρα από την εξοικονόμηση χρόνου, η μείωση των εργαζομένων μεταφράζεται άμεσα σε εξοικονόμηση κόστους. Ωστόσο, τα ικανά UAV δεν είναι φθηνά και υπάρχει επίσης το πρόσθετο κόστος που προκύπτει με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας για την επαναφόρτιση των μπαταριών. Όμως η εξοικονόμηση κόστους και τα πλεονεκτήματα των UAV εξακολουθούν να υπερτερούν σημαντικά των χειρωνακτικών και εργατικών διεργασιών της παραδοσιακής γεωργίας.
- Αεροφωτογραφία και απεικόνιση: Με τη χρήση UAV, οι αγρότες μπορούν να αποκτήσουν γρήγορα αεροφωτογραφίες ολόκληρης της φάρμας τους ή επιλεγμένων περιοχών ενδιαφέροντος. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για τον προσδιορισμό του πότε

αρχίζουν να φυτρώνουν τα φρούτα ή τότε τα παράσιτα και τα ζιζάνια πνίγουν τις καλλιέργειες.

5.4.2 Μειονεκτήματα και προκλήσεις

- **Κόστος:** Η τεχνολογία θεωρείται ακριβή ως αποτέλεσμα της τεχνικής φύσης των UAV. Επίσης η ανάπτυξη, η ενσωμάτωση και η εκπαίδευση μπορεί να είναι πολύ ακριβές [151]. Το ιδανικό UAV για εφαρμογές στη γεωργία είναι αυτό που έχει καλή ισορροπία αντοχής, μεγάλου χρόνου πτήσης, σταθερότητας και προαιρετικής δυνατότητας αυτόνομης πτήσης. Μια τέτοια συσκευή θα κόστιζε πολύ περισσότερο από ό,τι ένας μέσος αγρότης θα μπορούσε να αντέξει οικονομικά. Ειδικότερα για αγρότες στις αναπτυσσόμενες χώρες. Για όσους βρίσκονται σε πολύ ανεπτυγμένες χώρες, μπορεί επίσης να υπάρχει η πρόκληση να δικαιολογήσουν πώς η αγορά τέτοιων ακριβών συσκευών μπορεί να μεταφραστεί άμεσα σε μετρήσιμο κέρδος. Για το σκοπό αυτό, οι αγρότες εξακολουθούν να εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από χειροκίνητους τρόπους διεξαγωγής των γεωργικών τους λειτουργιών.
- **Θέματα αδειοδότησης και ρύθμισης:** Οι κανονισμοί είναι είτε ανύπαρκτοι είτε μια χαλαρή προσαρμογή των αεροπορικών νόμων, που δεν ταιριάζουν απόλυτα με τα UAV. Συνεπώς, υπάρχει η ανάγκη κατάρτισης νομοθεσίας για τη ρύθμιση των νέων δυνατοτήτων και των τομέων εφαρμογής των UAV. Χώρες όπως οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία και η Ισπανία [136] πρωτοστατούν προς αυτή την κατεύθυνση, συντάσσοντας κατευθυντήριες γραμμές για τη χρήση UAV και περιοχές στις οποίες μπορούν να πετάξουν. Άλλες χώρες του κόσμου, ωστόσο, είναι ακόμα αρκετά πίσω.
- **Επιχειρηματική υιοθέτηση:** Από επιχειρηματική σκοπιά, μπορεί να μην είναι εύκολο να δικαιολογηθεί η προσαρμογή των UAV στη γεωργία. Αν και κάποιος θα μπορούσε να υποστηρίξει ότι μπορεί να υπάρξει εξοικονόμηση κόστους μακροπρόθεσμα, μπορούν να προβληθούν αντεπιχειρήματα σχετικά με το πραγματικό κόστος απόκτησης των UAV, την ασφάλιση / αντικατάσταση των κατεστραμμένων UAV, την αγορά καμερών υψηλής ανάλυσης για εικόνες καθώς και το συνοδευτικό λογισμικό λύσεις και άλλα λειτουργικά κόστη. Όταν προστεθούν όλα αυτά, καθιστά δύσκολη την πώληση σε αγρότες και ιδιοκτήτες επιχειρήσεων γεωργίας.

- Δεοντολογία και απόρρητο: Ορισμένοι πιστεύουν ότι η χρήση UAV για παρακολούθηση και επιτήρηση θα οδηγούσε σε παραβίαση του απορρήτου τους. Η έλλειψη τυπικών επιχειρησιακών και τεχνολογικών διαδικασιών που απαιτούνται για την ασφαλή απόδοση των UAV είναι μια μεγάλη πρόκληση. Θα μπορούσε να υπάρξει εμπλοκή και παραβίαση GPS λόγω των τρωτών σημείων στη διοίκηση και τον έλεγχο των λειτουργιών UAV.
- Περιορισμένος χρόνος πτήσης: Ο χρόνος πτήσης UAV εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χωρητικότητα της μπαταρίας. Στα περισσότερα UAV, ιδιαίτερα στους πολλαπλούς ρότορες, οι μπαταρίες μπορούν συχνά να διατηρούν μόνο χρόνο πτήσης μεταξύ 10 και 30 λεπτών και μπορεί να είναι μικρότεροι όταν πετούν σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Για δραστηριότητες όπως ο ψεκασμός καλλιεργειών, τα UAV είναι αποτελεσματικά μόνο σε λόφους, μικρές περιοχές και σε περιοχές όπου ο άλλος εξοπλισμός δεν μπορεί εύκολα να φτάσει, για μεγαλύτερη απόσταση/εμβέλεια είναι λιγότερο αποτελεσματικοί και ακόμη πιο δαπανηροί από τον μεγαλύτερο επίγειο εξοπλισμό ψεκασμού καλλιεργειών. Ενώ τα UAV είναι τα πιο οικονομικά αποδοτικά για μικρές περιοχές, επί του παρόντος δεν είναι ανταγωνιστικά έναντι των αεροπλάνων και των δορυφόρων για μεγαλύτερες περιοχές.
- Περιορισμένο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου: Λόγω του μικρού μεγέθους των περισσότερων UAV, δεν μπορούν να μεταφέρουν πολλά ταυτόχρονα. Αυτό λοιπόν περιορίζει τις εφαρμογές τους στη βασική αεροφωτογράφιση και παρατήρηση. Αν και υπάρχουν UAV μεγάλου μεγέθους, αυτά εξακολουθούν να είναι περιορισμένα όσον αφορά τον χρόνο πτήσης, ο οποίος μειώνεται ακόμη περισσότερο όταν είναι πλήρως φορτωμένα.
- Αυτονομία UAV: Οι δυνατότητες των UAV στη γεωργία είναι πολλές ωστόσο, τα περισσότερα χρησιμοποιούνται σήμερα χειροκίνητα από ανθρώπους. Αυτό περιορίζει τις εφαρμογές τους σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας όταν υπάρχει καθαρή ορατότητα. Οι εξελίξεις στην υπολογιστική νοημοσύνη ειδικά στους τομείς της πλοήγησης, της αυτόματης ανίχνευσης και της ενεργοποίησης αποφυγής εμποδίων μπορούν να επιταχύνουν περαιτέρω την αποδοχή και τη χρήση των UAV στην κτηνοτροφία.
- Επεξεργασία Δεδομένων: Η χρήση των UAV ως εργαλείων συλλογής δεδομένων είναι ακόμα πολύ περιορισμένη. Υπάρχει η ανάγκη να αναπτυχθούν αποτελεσματικές τεχνικές

για την απόκτηση δεδομένων, τη συλλογή δεδομένων και το σημαντικότερο για τη μετατροπή αυτών των δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες.

- Εκπαίδευση των αγροτών: Η εκπαίδευση των αγροτών αποτελεί μια σημαντική διαδικασία για τη βελτίωση της γεωργίας. Όταν έχεις την τεχνολογία και να έχεις τη δυνατότητα να συλλέγεις δισεκατομμύρια δεδομένα για ανάλυση, δεν ωφελεί, εάν δεν μπορούν να ενσωματωθούν σωστά και να εφαρμοστούν στις γεωργικές επιχειρηματικές διαδικασίες ώστε να έρθει η αναγκαία βελτίωση. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο με την ενδυνάμωση των ίδιων των αγροτών – είτε μέσω επίσημης εκπαίδευσης στην τάξη είτε μέσω άτυπων πρακτικών επιδείξεων.
- Ασφάλεια: Υπάρχουν ανησυχίες για την ασφάλεια με τη χρήση UAV στη γεωργία. Για παράδειγμα η αδυναμία των UAV να αναγνωρίσουν και να αποφύγουν άλλα αερομεταφερόμενα αεροσκάφη και αντικείμενα στον ίδιο εναέριο χώρο. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε συγκρούσεις.
- Διαθεσιμότητα: Υπάρχει επίσης το πρόβλημα της κατασκευής και της ικανοποίησης των απαιτήσεων για UAV από τους αγρότες. Αυτό είναι σε μεγάλο βαθμό αναμενόμενο δεδομένου ότι η βιομηχανία εξακολουθεί να διερευνά και να δοκιμάζει περιπτώσεις γεωργικής χρήσης. Η κατασκευή γίνεται σε μικρή κλίμακα και το πάγιο κόστος παραμένει υψηλό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6⁰

6.Υλοποιημένες Εφαρμογές Ρομποτικής Σμήνους στην Έξυπνη Γεωργία

6.1 Ρομποτικό σύστημα σμήνους Xaver

Οι ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού μας για τρόφιμα, ενέργεια και πόρους αυξάνονται καθώς ο αριθμός των ανθρώπων στον πλανήτη μας αυξάνεται συνεχώς. Για να ανταποκριθεί σε αυτήν την πρόκληση, η γερμανική εταιρεία Fendt πραγματοποίησε με επιτυχία το ερευνητικό έργο MARS (Mobile Agricultural Robot Swarms). Έτσι σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Εφαρμοσμένων Επιστημών του ULM και την ερευνητική χρηματοδότηση της ΕΕ, η AGCO και η Fendt αποφάσισαν να αναπτύξουν ένα ρομποτικό έργο με το εμπορικό σήμα Fendt . Ολόκληρο το σύστημα, συμπεριλαμβανομένων των μικρών ρομπότ που λειτουργούν σε σμήνη και ενός συστήματος ελέγχου συστήματος που βασίζεται σε cloud, θα λειτουργεί πλέον με το όνομα «XAVER».Με μια ακριβή καταγραφή κάθε μεμονωμένου φυτού, οι εργασίες σε έναν ολόκληρο κύκλο καλλιέργειας (όργωση, φύτευση, φυτοφάρμακα, λιπάσματα, συγκομιδή) μπορούν να εκτελεστούν με πολύ ακριβή τρόπο. Ταυτόχρονα, τα μικρά ρομπότ χρειάζονται μια χαμηλή ποσότητα ενέργειας για να κινηθούν στο πεδίο. Αυτό μειώνει τόσο την ποσότητα των εισροών όσο και το κόστος λειτουργίας. Επιπλέον, τα ελαφριά και στιβαρά ρομπότ είναι πολύ αθόρυβα και αποτελεσματικά στο να κάνουν τη δουλειά τους, λόγω της χαμηλής συντήρησης και της ηλεκτρικής τους κίνησης.Επίσης τα σμήνη ρομπότ που λειτουργούν με μπαταρία δεν προκαλούν εκπομπές και ρύπανση.

6.1.1 Στοχευμένη σπορά με τεχνολογία σμήνους

Τα ρομπότ του μέλλοντος από τη Fendt είναι κινητά, είναι ελεγχόμενα μέσω cloud και είναι αρκετά σε αριθμό. Ως ομάδα συνεργάζονται με αυτόνομο και αποτελεσματικό τρόπο και με υψηλή ακρίβεια έχοντας σαν βασική τους ιδέα την απλοποίηση.

Αυτό το πετυχαίνουν με λιγότερους αισθητήρες,πιο στιβαρές μονάδες ελέγχου και σαφής δομή υλικού κάνοντας το κάθε μεμονωμένο ρομπότ Xaver εξαιρετικά αξιόπιστο και παραγωγικό. Ταυτόχρονα, η χρήση μεγάλου αριθμού μικρών, πανομοιότυπων ρομπότ που

λειτουργούν σε ένα σμήνος επιτρέπει την ομαλή εκτέλεση της εργασίας, ακόμη και σε περίπτωση βλάβης μιας μεμονωμένης μονάδας.

Το μικρό τους βάρος έχει ως αποτέλεσμα υψηλό επίπεδο ασφάλειας και αμελητέα συμπίεση του εδάφους. Επίσης είναι διαθέσιμα για λειτουργία, όλο το εικοσιτετράωρο. Αυτές οι πτυχές συνδυάζονται για να κάνουν τα ρομποτικά συστήματα αγρού μια πολύ ελκυστική εναλλακτική λύση για τον αγρότη του μέλλοντος.



Εικόνα 6.1 Ρομποτικά σμήνος της Fendt

(Πηγή : <https://www.agronews.gr/tech/170905/i-fendt-mas-sustinei-to-xaver-to-prototipos-robot-gia-to-kalaboki/>)

6.1.2 Βασικά μέρη λειτουργίας

Μονάδα logistic : Η μονάδα logistic φροντίζει για τη μεταφορά, την προμήθεια σπόρων, τη φόρτιση της μπαταρίας και την πλοήγηση με υψηλή ακρίβεια των ρομπότ.

Ρομπότ : Κάθε ρομπότ έχει τη δική του ενσωματωμένη μονάδα φύτευσης και κινείται ηλεκτρικά. Η επικοινωνία με την Logistic Unit γίνεται μέσω του Cloud.

Tablet : Ο σχεδιασμός εργασιών, η ζωντανή παρακολούθηση και η διαχείριση των δεδομένων σπόρων μπορούν να γίνουν, για παράδειγμα, με ένα tablet από οποιαδήποτε τοποθεσία.

Δορυφόροι : Η δορυφορική πλοήγηση διευκολύνει την αυτόνομη λειτουργία και την ακριβή γεωγραφική τεκμηρίωση των δεδομένων φύτευσης.

Cloud : Ο αλγόριθμος OptiVisor βελτιστοποιεί (βελτιστοποιητής) και εποπτεύει (επιβλέπων) τη λειτουργία φύτευσης συνεχώς. Η παρέμβαση είναι δυνατή ανά πάσα στιγμή, ανεξάρτητα από την τοποθεσία.

Αγρότης : Ο αγρότης χρειάζεται μόνο να κάνει τον προγραμματισμό σπόρων (μέσω εφαρμογής) και να διαχειριστεί την επιμελητεία μεταφορών του στόλου ρομπότ.

Τα πλεονεκτήματα των ρομπότ Xaver για τη γεωργία

Άνεση : Αυτόνομη λειτουργία, τηλεμετρική συντήρηση, υπηρεσίες νέας αξίας.

Ασφάλεια : Μικρότερο βάρος, λιγότερη απαιτούμενη δύναμη, μικρότερη θερμοκρασία.

Παραγωγικότητα και αξιοπιστία : Χρήση πολλών μονάδων , συνεχής λειτουργία και γρήγορο service.

Μείωση κόστους επένδυσης: Απουσία χειριστή, λιγότεροι αισθητήρες και υλικά, εύκολη παραγωγή και συναρμολόγηση.

Βιωσιμότητα : Μικρότερη ζημιά στο έδαφος, λιγότερη ενέργεια και παραγόμενο CO₂ , λιγότερος θόρυβος καθόλου διαρροή λαδιού , προσαρμοσμένο με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

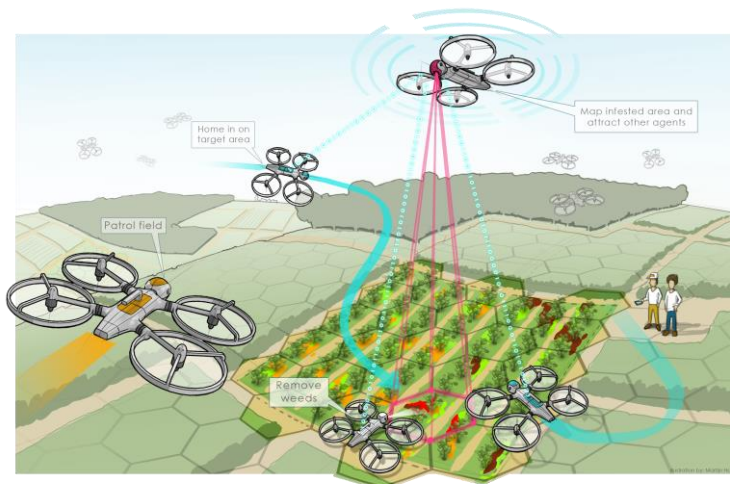
Αποδοτικότητα : Περισσότερη απόδοση , λιγότεροι σπόροι και χημικά , λιγότερο εργατικό δυναμικό. [152]

6.2 Πείραμα Swarm robotics for Agricultural Applications (SAGA)

Ο αυτοματοποιημένος έλεγχος των ζιζανίων, ανάμεσα στα διάφορα προβλήματα που υπάρχουν στη γεωργία ακριβείας, είναι μια προτεραιότητα για τη μείωση του κόστους εργασίας και λειτουργίας, μεγιστοποιώντας την απόδοση και ελαχιστοποιώντας έως και μηδενίζοντας τη χρήση χημικών. Η παρακολούθηση και η χαρτογράφηση είναι μια εργασία που μπορεί να αντιμετωπιστεί κατάλληλα με εφαρμογές ρομποτικής σμήνους. Καθώς το ζιζάνιο τείνει να αναπτύσσεται σε κομμάτια πάνω από το χωράφι μια ακριβής χαρτογράφηση μπορεί να επιτευχθεί με την κατανομή περισσότερων πόρων/χρόνου σε αυτά τα μπαλώματα, ενώ άλλες περιοχές μπορούν να παρακολουθούνται πολύ πιο ήπια. Επομένως, μια ομοιόμορφη κάλυψη δεν είναι η βέλτιστη, ενώ μια ευέλικτη και προσαρμοστική στρατηγική μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική, ειδικά αν πραγματοποιείται με παράλληλο/συντονισμένο τρόπο από ένα σμήνος ρομπότ.

Πάνω σε αυτό το στόχο εφαρμόζεται το πείραμα SAGA: Swarm robotics for Agricultural Applications. Το πείραμα στοχεύει να επιδείξει τη χρήση μιας ομάδας μικρών UAV που παρακολουθούν συλλογικά ένα χωράφι και χαρτογραφούν κατανεμημένα την παρουσία

ζιζανίων. Ένα τέτοιο αυτόνομο σύστημα παρακολούθησης/χαρτογράφησης μπορεί να μειώσει δραστικά το κόστος έγκαιρης ανίχνευσης και να υποστηρίξει έναν βέλτιστο σχεδιασμό αφαίρεσης ζιζανίων.



Εικόνα 6.2 Εφαρμογή SAGA
(Πηγή : <https://echord.eu/saga.html>)

6.2.1 Εφαρμογή SAGA

Η παρακολούθηση και η χαρτογράφηση των ζιζανίων είναι ένα δύσκολο πρόβλημα για ένα αγρόκτημα. Το παράδειγμα των ζαχαρότευτλων που προσβάλλονται από παρείσακτες πατάτες είναι χαρακτηριστικό. Οι πατάτες προέρχονται από κόνδυλους που παρέμειναν στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Την επόμενη σεζόν, όταν τα ζαχαρότευτλα καλλιεργούνται στο ίδιο χωράφι, τα δάχτυλα των πατάτων αποτελούν σημαντική απειλή επειδή μεταδίδουν ασθένειες και διευκολύνουν τους επιβλαβείς νηματώδεις του εδάφους. Οι κανονισμοί υποχρεώνουν τους αγρότες να ελέγχουν τις πατάτες που είναι πολύ δαπανηρή διαδικασία που απαιτεί μεγάλη ανθρώπινη εργασία με μεγάλο κόστος που έχει υπολογιστεί ότι μπορεί να φθάει μεταξύ 50 και 300 € ανά εκτάριο ανά καλλιεργητική περίοδο. Το πείραμα SAGA στοχεύει να αναλάβει το έργο παρακολούθησης πεδίου και να δημιουργήσει χάρτες εργασιών για μελλοντικές αυτόνομες εργασίες βοτάνισματος με ρομπότ, λέγοντάς τους σε ποιες περιοχές να εργαστούν και πώς να σχεδιάσουν τις διαδρομές τους. Έτσι θα μειωθεί δραστικά το κόστος της απομάκρυνσης των παρείσακτων πατατών, ένα έργο που είναι εκτελείται σε μεγάλο βαθμό με το χέρι.

Πιο συγκεκριμένα, η SAGA θα παρέχει σύστημα αυτόματης παρακολούθησης και χαρτογράφησης ζιζανίων μέσα από ένα σμήνος UAV ικανά να περιπολούν το χωράφι, να αναγνωρίσουν την παρουσία ζιζανίων, να αφιερώσουν πόρους στους περισσότερους

ενδιαφέρουσες περιοχές και να δημιουργήσουν συλλογικά έναν χάρτη πεδίου που υποδεικνύει περιοχές με διαφορετικό επείγοντα χαρακτήρα παρέμβασης. Όλα αυτά έχουν θα γίνουν μέσω μιας προσέγγισης ρομποτικής σμήνους, που διαθέτει αποκεντρωμένο έλεγχο και ευέλικτη και επεκτάσιμη συμπεριφορά. Η SAGA αντιπροσωπεύει μια καινοτομία στο πλαίσιο του τομέα της γεωργικής ρομποτικής. Ειδικότερα, θεωρήθηκε η μέλισσα ως πηγή έμπνευσης για τη γήρανση και τη συλλογική λήψη αποφάσεων [155, 156]. Τα UAV θα στρατολογηθούν σε παρακολούθηση στις περιοχές που περιέχουν μπαλώματα ζιζανίων, ενώ περιοχές χωρίς ζιζάνια εγκαταλείπονται γρήγορα από το σμήνος. Με αυτόν τον τρόπο, η κατανομή πόρων προσαρμόζεται στις ετερογένειες των πεδίων και η ατομική επιθεώρηση που είναι επιρρεπής σε σφάλματα θα αποζημιωθεί μέσω συλλογικής επαναδειγματοληψίας.

Το ενσωματωμένο σύστημα όρασης κάθε μεμονωμένου UAV διαθέτει για την εκτέλεση ανίχνευσης αντικειμένων εικόνες που μετράνε τον αριθμό των ζιζανίων πάνω από ένα συγκεκριμένο μέγεθος και την γενικότερη ανάπτυξή τους. Τα αποτελέσματα κάθε εικόνας πρέπει να αντιστοιχιστούν σε συντεταγμένες του πραγματικού κόσμου, χρησιμοποιώντας χρονισμούς απόλυτης και σχετικής πόζας από άλλους αισθητήρες. Οι τρέχουσες προσεγγίσεις ρομποτικής χρησιμοποιούν μη επανδρωμένα οχήματα για ανίχνευση και αφαίρεση ζιζανίων [157, 158].

6.2.2 Περιγραφή υλικού εφαρμογής SAGA

Στο SAGA, η ανάπτυξη υλικού για την ενεργοποίηση της λειτουργίας σμήνους θα ξεκινήσει από την πλατφόρμα UAV που φαίνεται στην εικόνα 6.3 . Το συγκεκριμένο drone είναι ένα τετρακόπτερο που μπορεί να πετάξει έως και 30 λεπτά σε μία φόρτιση. Τα βασικά χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν έναν τριπλό αυτόματο πιλότο, πέντε μονάδες αδρανειακής μέτρησης και συστήματα RTK και GPS. Τα δεδομένα τοποθεσίας και προσανατολισμού θα συγχρονιστούν με τις εικόνες από την κάμερα RGB και τις αντίστοιχες ανιχνεύσεις αντικειμένων. Το πρότυπο αυτό drone είναι εξοπλισμένο με πολλές πρόσθετες μονάδες υλικού εξοπλισμού καθώς και με πρωτόκολλα επικοινωνίας λογισμικού. Οι μονάδες υλικού περιλαμβάνουν ραδιοεπικοινωνία μεταξύ πολλαπλών UAV, βασισμένων στην τεχνολογία UWB, η οποία θα παρέχει ταυτόχρονα αυτοεντοπισμό και ικανότητες επικοινωνίας μεταξύ UAV. Επιπλέον, το UAV ενισχύεται με ενσωματωμένη όραση και ισχύ επεξεργασίας, ώστε να εκτελούνται οι αλγόριθμοι παρακολούθησης και κίνησης. [153]



Εικόνα 6.3 Τετρακόπτερο UAV

Πηγή : <http://lral.istc.cnr.it/saga/>

6.3 Έξυπνη καλλιέργεια με ακριβή εφαρμογή φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων

Το **Contadino** της Continental είναι ένας αρθρωτός φορέας γεωργικών εργαλείων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές εργασίες ελαφριάς χρήσης, όπως σπορά, βοτάνισμα, ψεκασμό, λίπανση και παρακολούθηση. Η Continental παρουσίασε για πρώτη φορά το Contadino στην Agritechnica 2019 στο Ανόβερο. Τα ρομπότ μπορούν να λειτουργήσουν σε λειτουργία σμήνους και το μέγεθος του σμήνους μπορεί να διαμορφωθεί με ευελιξία. Η μεταφορά στο χωράφι πραγματοποιείται με ρυμουλκούμενο, το οποίο λειτουργεί επίσης ως σταθμός φόρτισης και αναπλήρωσης σπόρων, λιπασμάτων κ.λπ. Αυτή η ιδέα σμήνους εγγυάται αποτελεσματική και ομαλή ροή εργασίας χωρίς διακοπές. Οι αποδοτικοί ηλεκτροκινητήρες και η αυτόματη επαναφόρτιση εξασφαλίζουν 24ωρη λειτουργία. Το Contadino επιτρέπει την έξυπνη καλλιέργεια με ακριβή εφαρμογή φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων .

Η εκτεταμένη εμπειρία της Continental στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης και η τεχνολογία αισθητήρων της Continental επιτρέπουν την υλοποίηση των υψηλότερων προτύπων ασφαλείας. Το ρομπότ είναι εξοπλισμένο με σαρωτή lidar, ραντάρ, RTK GPS, κάμερα και υπέρηχο. Αυτοί οι αισθητήρες εξασφαλίζουν ακριβή ανίχνευση και ταξινόμηση αντικειμένων, παρακολούθηση και ακρίβεια GNSS τριών εκατοστών. Τα εργαλεία συνδέονται με το ρομπότ μέσω ανοιχτών διεπαφών. Αυτή η σύνδεση παρέχει στο μηχάνημα ηλεκτρική ισχύ και λειτουργεί ως γραμμή δεδομένων που επιτρέπει την πρόσβαση σε δεδομένα αισθητήρων και επικοινωνία cloud. Μία από τις βασικές αρχές που ενσωματώνει το contadino είναι η βιωσιμότητα. Η εντελώς ηλεκτρική φιλοσοφία δεν εξασφαλίζει τοπικές εκπομπές ή μόλυνση του εδάφους από διαρροές. Το χαμηλό του βάρος και το μικρό του μέγεθος έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλή

κατανάλωση ενέργειας και αμελητέα συμπίεση του εδάφους. Είναι πλήρως ηλεκτρικό και αυτόνομο , ο αρθρωτός σχεδιασμός επιτρέπει ανταλλάξιμα εργαλεία και διαφορετικά πλάτη τροχιάς και τα δεδομένα των αισθητήρων παρέχουν τη βάση για ασφαλή αυτόνομη οδήγηση και γεωργικές διαδικασίες.



Εικόνα 6.4 Τα ρομποτικά **Contadino** της Continental
(Πηγή : <https://www.continental.com/en/products-and-innovation/innovation/agriculture/agricultural-robot-contadino/>)

Η διαδικασία λειτουργίας δεν απαιτεί ανθρώπινη επιτήρηση. Ο αγρότης έχει μεγαλύτερη ευελιξία στην επεξεργασία του αγρού και στην αντίδραση στις μεταβαλλόμενες συνθήκες όπως οι νέοι κανονισμοί ή οι ακραίες καιρικές συνθήκες. Μια σύνδεση cloud του στόλου επιτρέπει την παρακολούθηση μέσω κινητού τηλεφώνου και μια συνεχή επισκόπηση της διαδικασίας, ανεξάρτητα από την τοποθεσία. Η πρόσβαση στα δεδομένα και η αξιολόγηση τους θα βελτιώσει την παραγωγικότητα.[159]

6.4 Σμήνος ηλεκτρικών ρομποτικών τρακτέρ της John Deere

Αυτή η εφαρμογή της John Deere αποτελείται από δύο ηλεκτροκίνητα αυτόνομα τρακτέρ, το ηλεκτρικό τρακτέρ GridCON και το λεγόμενο Joker concept που έκανε πρεμιέρα στο εξώφυλλο του περιοδικού Future Farming τον Νοέμβριο του 2019 . Η εταιρεία John Deere πιστεύει στα ηλεκτρικά τρακτέρ και τώρα η εταιρεία αποκάλυψε το επόμενο βήμα αυτού του οράματος. Το συνδεδεμένο με καλώδιο ηλεκτρικό τρακτέρ GridCON με καλώδιο μήκους 1.000 μέτρων (μέγιστο 2,5 kV/300 kW) το οποίο ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αυτόματα. Το τρακτέρ διαθέτει ένα εξ ολοκλήρου ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης κίνησης 100 kW (136 hp)

και μια πρόσθετη μονάδα ισχύος που αποδίδει έως και 200 kW (272 hp). Το GridCON συνδέεται με έναν (ή περισσότερους) αυτόνομους συνδυασμούς εργαλείων τρακτέρ Joker μέσω ενός εναέριου καλωδίου τροφοδοσίας που παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια στην πηγή ηλεκτρικής του ισχύος 500 kW (680 hp).



Εικόνα 6.5 Ρομποτικά τρακτέρ της John Deere

<https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semiauto-steering/autonomous-vehicles/video-john-deere-shows-platooning-electric-robot-tractors-swarm/>

Με ένα τρακτέρ GridCON και 5 Jokers, δημιουργείται ένα σμήνος από όλες τις ηλεκτρικές και αυτόνομες γεωργικές μηχανές, επιτρέποντας ένα νέο είδος συστήματος γεωργικής παραγωγής μεγάλης κλίμακας. Η εξωτερική πηγή τροφοδοσίας βρίσκεται στο όριο του χωραφιού και συνδέεται μέσω ενός κλιμακούμενου καλωδίου επέκτασης στο τρακτέρ GridCON. Μέσω συστημάτων σύνδεσης εναέριων καλωδίων που εκτείνονται σε μέγιστο μήκος 35 μέτρων, η ηλεκτρική ισχύς μεταφέρεται στα Jokers. Τα Jokers μπορούν να κλιμακωθούν από περίπου 6 έως 16 τόνους βάρους οχήματος με έρμα. Ο νέος συνδυασμός, τον οποίο ο John Deere ονομάζει GridCON2, είναι μια εξέλιξη των μεμονωμένων μηχανών με γραμμή ισχύος 3.000 μέτρων, 8 kV και 1.000 kW. Με απομακρυσμένη επίβλεψη και πλήρη έλεγχο μέσω ψηφιακής διπλής διεπαφής χρήστη.[160]

6.5 Ρομποτική για την αντιμετώπιση των ανθεκτικών ζιζανίων σε καλλιέργειες της Αυστραλίας.

Ο στόχος του συγκεκριμένου έργου είναι η χρήση ρομποτικής σμήνους για την αντιμετώπιση των ανθεκτικών ζιζανίων, που είναι ένα κρίσιμο πρόβλημα για τους Αυστραλούς αγρότες. Η γεωργία μηδενικής άρσης, όπου η διαταραχή του εδάφους περιορίζεται στο ελάχιστο, θεωρείται

η βέλτιστη πρακτική καλλιέργειας στην Αυστραλία για τη μείωση της διάβρωσης του επιφανειακού εδάφους. Ωστόσο, για να αντισταθμιστεί η αφαίρεση ενός μηχανικού μέσου καταστροφής ζιζανίων, οι αγρότες χρησιμοποιούν συνήθως περισσότερα ζιζανιοκτόνα για τη διαχείριση των ζιζανίων, γεγονός που έχει οδηγήσει στην εμφάνιση ανθεκτικών ζιζανίων. Το μέγεθος του ζητήματος στην Αυστραλία είναι ότι το γεωργικό κόστος μόνο των ζιζανίων είναι περίπου 4 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως.



Εικόνα 6.6 Ρομποτική μηχανή

(Πηγή : <https://www.couriermail.com.au/news/queensland/bundaberg/meet-the-new-farm-robot-smoking-weeds/news-story/84611489ff4a282484bf4e5fa074e499>)

Μια λύση για την καταπολέμηση της αυξανόμενης αντίστασης των ζιζανίων είναι η εισαγωγή πολλαπλών ελαφρύτερων μηχανών που μπορούν να αναπτυχθούν στο χωράφι γρήγορα μετά από μια βροχόπτωση καθώς είναι λιγότερο επιρρεπείς σε βαλτώματα, προκαλούν λιγότερες ζημιές στο έδαφος και λειτουργούν ως σύστημα που είναι πιο ανθεκτικό σε μεμονωμένες βλάβες του ενός μηχανήματος. Το σύστημα έχει προσιτό κόστος, το ρομπότ χρησιμοποιεί χαμηλού κόστους κάμερες και αισθητήρες θέσης για να εκτελεί μια εργασία κάλυψης μεγάλης κλίμακας, αποφεύγοντας ταυτόχρονα εμπόδια. [161]

6.6 SwarmFarm - Πλατφόρμα ρομποτικών οχημάτων για ψεκάσμο, βοτάνισμα και αραίωση.

Το επιχειρηματικό μοντέλο SwarmFarm έχει δύο στοιχεία: την πλατφόρμα SwarmBot και το οικοσύστημα SwarmConnect. Το SwarmBot είναι η αυτόνομη πλατφόρμα οχημάτων που έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί εργασίες όπως ψεκάσμο, βοτάνισμα και αραίωση.



Εικόνα 6.7 Ρομποτικά οχήματα της SwarmBot

(Πηγή : <https://www.swarmfarm.com/>)

Το SwarmConnect είναι ένα οικοσύστημα που επιτρέπει σε τρίτους προγραμματιστές να δημιουργούν εφαρμογές για εκτέλεση στο SwarmBot. Σε σχέση με τον παραδοσιακό γεωργικό εξοπλισμό, το SwarmBot είναι ένα πιο ευκίνητο, ελαφρύ και πλήρως αυτόνομο μηχάνημα που ξεκλειδώνει νέες δυνατότητες για τους αγρότες. Αντί για ένα μεγάλο, βαρύ κομμάτι εξοπλισμού που πρέπει να χειρίζεται ένας άνθρωπος, με το SwarmFarm, ένα σμήνος από αυτόνομα οχήματα μπορεί να κάνει τις εργασίες αποτελεσματικά, με ακρίβεια, και όλο το εικοσιτετράωρο. Αυτό σημαίνει ότι πρακτικές όπως η μη χημική εξόντωση ζιζανίων και η διασπορά με μεταβλητό ρυθμό γίνονται πιο οικονομικά βιώσιμες. Η πλατφόρμα της SwarmFarm έχει επίσης σχεδιαστεί για να επιλύει μια σειρά προβλημάτων σε μια ποικιλία ρυθμίσεων. Σε σύγκριση με άλλες ρομποτικές λύσεις που εστιάζουν σε μία μόνο περίπτωση χρήσης (δηλαδή, ένα αποκλειστικό ρομπότ για συλλογή, ψεκασμό κ.λπ.), το οικοσύστημα SwarmConnect επιτρέπει σε ένα Bot να κάνει πολλές εργασίες, οδηγώντας τελικά στην καλύτερη δυνατή απόδοση για τους ιδιοκτήτες μέσω του μέγιστου αξιοποίησης μηχανής. Η ευελιξία του συστήματος σημαίνει επίσης ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένης της ευρείας γεωργίας και της κηπουρικής. Για τη SwarmFarm και τους συνεργάτες του οικοσυστήματος (δηλαδή, προγραμματιστές εφαρμογών τρίτου μέρους), αυτό ανοίγει μια μεγάλη αγορά ευκαιριών για επαναλαμβανόμενες και εξαιρετικά επεκτάσιμες ροές εσόδων που ευθυγραμμίζονται με τις ανάγκες των πελατών.[162]

6.7 Σύστημα αυτόματης ρομποτικής καλλιέργειας

Η συγκεκριμένη έρευνα αφορά ένα γεωργικό ρομποτικό σύστημα με τρακτέρ ρομποτικής σμήνους στην Ιαπωνία για χωράφια με ρύζι, σιτάρι και σόγια. Το σύστημα θα αυτοματοποιήσει πλήρως τη γεωργία από τη φύτευση έως τη συγκομιδή και μέχρι τον τελικό χρήστη των προϊόντων. Θα χρησιμοποιηθούν ρομποτικά τρακτέρ για τη φύτευση και τη σπορά των καλλιεργειών με αισθητήρες για την πλοήγησή τους. Περιλαμβάνει ρομποτικό σύστημα διαχείρισης, σύστημα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, σύστημα πλοήγησης και σύστημα ασφαλείας. Στο σύστημα ρομποτικής καλλιέργειας τα ρομποτικά τρακτέρ λαμβάνουν εντολή από τον κεντρικό έλεγχο και η αποστολή δεδομένων πληροφοριών γίνεται χρησιμοποιώντας ασύρματο LAN και επικοινωνία πακέτων.



Εικόνα 6.8 Ρομποτικά τρακτέρ

(Πηγή : https://www.researchgate.net/figure/Agricultural-robotics-team-cooperating-in-a-single-field-operation_fig1_326678055)

Τα ρομπότ τρακτέρ μπορούν να εκτελέσουν καθορισμένες εργασίες και μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα μεταξύ τους. Ο χειριστής στο κέντρο ελέγχου μπορεί να αναλύσει τα δεδομένα που αποστέλλονται από τα ρομποτικά τρακτέρ σε πραγματικό χρόνο και μπορεί αμέσως να κάνει αποστολή των απαραίτητων πληροφοριών στους αγρότες, τους λιανοπωλητές, σε συνεργάτες παραγωγού κλπ. Επίσης, ο χειριστής μπορεί να δει την κατάσταση των τρακτέρ ρομπότ σε πραγματικό χρόνο ενώ εκτελούν το έργο τους.

6.8 Ρομπότ έρευνας ανίχνευσης εδάφους βασισμένα σε ηλεκτρονική μύτη

Τα κινητά ρομπότ εδάφους και τα ιπτάμενα drone μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έρευνα της γεωργικής γης και τη συλλογή απαραίτητων πληροφοριών όπως συνθήκες περιβάλλοντος και καλλιέργειας, γονιμότητα του εδάφους, παράσιτα και ασθένειες κ.λπ.. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή υπάρχει μια ηλεκτρονική μύτη (e-nose) βασισμένη σε αισθητήρες αερίου μεταλλικού οξειδίου που είναι εγκατεστημένοι σε ένα κινητό ρομπότ για ανίχνευση οργανικών πτητικών ενώσεων που περιέχονται στην επιφάνεια του εδάφους για την εξέταση της γονιμότητας του εδάφους. Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τέτοιες πληροφορίες για τη διαχείριση της λίπανσης ή του ποτίσματος των καλλιεργειών. [163]



Εικόνα 6.9 Κινητά ρομπότ εδάφους
(Πηγή : https://www.researchgate.net/figure/Smart-soil-sensing-survey-robot-working-in-swarm_fig1_284423094)

Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα

Μέσω αυτής της διπλωματικής διαπιστώθηκε ότι η ρομποτική σμήνους στην έξυπνη γεωργία είναι μια πολύ υποσχόμενη τεχνολογία που θα παίξει σημαντικό ρόλο με πολλές εφαρμογές τα επόμενα χρόνια. Επίσης συμπεράναμε ότι είναι απαραίτητο για να μπορεί η γεωργία να τροφοδοτεί την ανθρωπότητα και στο μέλλον να εμπνευστεί από τη βιομηχανία και συγκεκριμένα και από την ρομποτική σμήνους. Επιπλέον είδαμε ότι μέχρι σήμερα οι εφαρμογές ρομποτικής σμήνους δεν χρησιμοποιούνται μαζικά και σε μεγάλο ποσοστό αλλά αναμένεται αυτό να αλλάξει τα επόμενα χρόνια και αυξηθεί η χρήση τους ραγδαία.. Είδαμε επίσης ότι η αύξηση της ποιότητας και της ποσότητας της γεωργικής παραγωγής θα γίνει απαραίτητη λόγω της συνεχόμενης αύξησης του παγκόσμιου πλυθυσμού και σε αυτό θα παίξουν κύριο ρόλο και οι εφαρμογές ρομποτικής σμήνους όπως αυτές που παραθέσαμε στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας. Σαν πρόταση για περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να είναι η μελέτη της ρομποτικής σμήνους στην γεωργία της Ελλάδας.

Βιβλιογραφία

1. <https://builtin.com/robotics/automotive-cars-manufacturing-assembly>
2. [Underwater robots explore Antarctic ice shelf | Built In](#)
3. [Police Robots: What They Are & How They're Used | Built In](#)
4. [10 Medical and Surgical Robots Transforming the Healthcare Industry | Built In](#)
5. [What is Artificial Intelligence? How Does AI Work? | Built In](#)
6. [What is Software Engineering? What Does a Software Developer Do? | Built In](#)
7. [Top 5 Robot Trends 2021 - International Federation of Robotics \(ifr.org\)](#)
8. <https://builtin.com/robotics>
9. <https://robotnik.eu/history-of-robots-and-robotics/>
10. <https://builtin.com/drones-robotics/landmine-detecting-drones-could-help-save-lives>
11. G. Beni, “From swarm intelligence to swarm robotics,” in Swarm Robotics Workshop: State-of-the-Art Survey, E. Şahin and W. Spears, Eds., no. 3342, pp. 1–9, Springer, Berlin, Germany, 2005. View at: [Google Scholar](#)
12. O. Holland and C. Melhuish, “Stigmergy, self-organization, and sorting in collective robotics,” *Artificial Life*, vol. 5, no. 2, pp. 173–202, 1999. View at: [Google Scholar](#)
13. S. Franklin, “Coordination without communication,” 2010, <http://www.msci.memphis.edu/~franklin/coord.html>. View at: [Google Scholar](#)
14. E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz, *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, New York, NY, USA, 1999.
15. E. Şahin, “Swarm robotics: from sources of inspiration to domains of application,” in Swarm Robotics Workshop: State-of-the-Art Survey, E Şahin and W. Spears, Eds., *Lecture Notes in Computer Science*, no. 3342, pp. 10–20, Berlin, Germany, 2005. View at: [Google Scholar](#)
16. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2020.00036/full>
17. S. Kornienko, O. Kornienko, and P. Levi, “Minimalistic approach towards communication and perception in microrobotic swarms,” in *Proceedings of the IEEE IRS/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '05)*, pp. 2228–2234, August 2005. View at: [Google Scholar](#)
18. Y. U. Cao, A. S. Fukunaga, and A. B. Kahng, “Cooperative mobile robotics: antecedents and directions,” *Autonomous Robots*, vol. 4, no. 1, pp. 226–234, 1997. View at: [Google Scholar](#)
19. C. Ronald Arkin, *Behavior-Based Robotics*, MIT Press, Cambridge, Mass, USA, 1998
20. Floreano, D., and Mattiussi, C. (2008). *Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies*. MIT Press.
21. Brambilla, M., Ferrante, E., Birattari, M., and Dorigo, M. (2013). Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective. *Swarm Intell.* 7, 1–41. doi: 10.1007/s11721-012-0075-2 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
22. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2020.00036/full#B20>
23. Thrun, S., and Liu, Y. (2005). “Multi-robot SLAM with sparse extended information filters,” in *Springer Tracts in Advanced Robotics*, Vol. 15, eds D. Paolo and C. Raja (Berlin; Heidelberg: Springer), 254–266. doi: 10.1007/11008941_27 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
24. Ratnieks, FLW, and Anderson, C. (1999). Task partitioning in insect societies. *Insect. Soc.* 46, 95–108. doi: 10.1007/s000400050119 [CrossRef](#) [Πλήρες κείμενο](#) | [Μελετητής Google](#)

25. Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J.L., and Pasteels, J. (1989). Self-organized shortcuts in the Argentine ant. *Naturwissenschaften* 76, 597–581. doi: 10.1007/BF00462870 [CrossRef](#) [Πλήρες κείμενο](#) | [Μελετητής Google](#)
26. Ye, Y., Boies, S., Liu, J., and Yi, X. (2002). “Collective perception in massive, open, and heterogeneous multi-agent environment,” in *Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents (Bologna)*, 1175–1182. [Google Scholar](#)
27. Schranz, M., and Rinner, B. (2015). “Resource-aware state estimation in visual sensor networks with dynamic clustering,” in *Proceedings of the 4th International Conference on Sensor Networks–Volume 1: SENSORNETS (Angers: INSTICC, SciTePress)*, 15–24. [Google Scholar](#)
28. Ye, Y., Boies, S., Liu, J., and Yi, X. (2002). “Collective perception in massive, open, and heterogeneous multi-agent environment,” in *Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents (Bologna)*, 1175–1182. [Google Scholar](#)
29. Buck, J. (1988). Synchronous rhythmic flashing of fireflies. II. *Q. Rev. Biol.* 63, 265–289. doi: 10.1086/415929 [PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
30. Hartbauer, M., Kratzer, S., Steiner, K., and Römer, H. (2005). Mechanisms for synchrony and alternation in song interactions of the bushcricket *Mecopoda elongata* (Tettigoniidae: Orthoptera). *J. Compar. Physiol. A* 191, 175–188. doi: 10.1007/s00359-004-0586-4 [PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
31. Igoshin, O. A., Mogilner, A., Welch, R. D., Kaiser, D., and Oster, G. (2001). Pattern formation and traveling waves in myxobacteria: theory and modeling. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98, 14913–14918. doi: 10.1073/pnas.221579598 [PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
32. Hartbauer, M., and Römer, H. (2006). “Decentralized microrobot swarm communication via coupled oscillators,” in *Proceedings of the IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2006. BioRob 2006, Vol. 2006 (IEEE)*, 585–590. [Google Scholar](#)
33. Timmis, J., Andrews, P., and Hart, E. (2010). On artificial immune systems and swarm intelligence. *Swarm Intell.* 4, 247–273. doi: 10.1007/s11721-010-0045-5 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
34. Wallace, H. (1981). *Vertebrate Limb Regeneration*. Wiley New York. [Google Scholar](#)

35. Vassev, E., Sterritt, R., Rouff, C., and Hinchey, M. (2012). Swarm technology at NASA: building resilient systems. *IT Prof.* 14, 36–42. doi: 10.1109/MITP.2012.18 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
36. Dai, Y.-S., Hinchey, M., Madhusoodan, M., Rash, J., and Zou, X. (2006). “A prototype model for self-healing and self-reproduction in swarm robotics system,” in *Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Dependable, Autonomic and Secure Computing (Indianapolis, IN: IEEE)*, 3–10. doi: 10.1109/DASC.2006.10 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
37. Timmis, J., Ismail, A., Bjercknes, J., and Winfield, A. (2016). An immune-inspired swarm aggregation algorithm for self-healing swarm robotic systems. *Biosystems* 146, 60–76. doi: 10.1016/j.biosystems.2016.04.001 [PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
38. Suthakorn, J., Cushing, A. B., and Chirikjian, G. S. (2003). An autonomous self-replicating robotic system. *IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatr.* 1, 137–142. doi: 10.1109/AIM.2003.1225085 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
39. V. Trianni, R. Groß, T. H. Labella, E. Şahin, and M. Dorigo, “Evolving aggregation behaviors in a swarm of robots,” in *Proceedings of the 7th European Conference on Artificial Life (ECAL '03)*, W. Banzhaf, T. Christaller, P. Dittrich, J. T. Kim, and J. Ziegler, Eds., vol. 2801 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pp. 865–874, Springer, Heidelberg, Germany, 2003. View at: [Google Scholar](#)
40. S. Garnier, C. Jost, R. Jeanson et al., “Aggregation behaviour as a source of collective decision in a group of cockroach-like-robots,” *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3630, pp. 169–178, 2005. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
41. A. Howard, J. Maja Mataric, and S. Gaurav Sukhatme, “Mobile sensor network deployment using potential fields: a distributed, scalable solution to the area coverage problem,” in *Proceedings of the 6th International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS02)*, Fukuoka, Japan, June 2002. View at: [Google Scholar](#)
42. K. Fujibayashi, S. Murata, K. Sugawara, and M. Yamamura, “Self-organizing formation algorithm for active elements,” in *Proceedings of the 21st IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS '02)*, pp. 416–421, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, October 2002. View at: [Google Scholar](#)

43. L. Chaimowicz, N. Michael, and V. Kumar, “Controlling swarms of robots using interpolated implicit functions,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '05), pp. 2487–2492, April 2005. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
44. I. Navarro and F. Matía, “A survey of collective movement of mobile robots,” Tech. Rep., Universidad Polit ecnica de Madrid, 2010. View at: [Google Scholar](#)
45. W. M. Spears, D. F. Spears, and R. Heil, “A formal analysis of potential energy in a multi-agent system,” in Proceedings of the 3rd International Workshop on Formal Approaches to Agent-Based Systems (FAABS '04), pp. 131–145, April 2004. View at: [Google Scholar](#)
46. W. M. Spears, D. F. Spears, R. Heil, W. Kerr, and S. Hettiarachchi, “An overview of physicomimetics,” in Swarm Robotics Workshop: State-of-the-Art Survey, E. Şahin and W. Spears, Eds., vol. 3342, no. 3342, pp. 84–97, Springer, Berlin, Germany, 2005. View at: [Google Scholar](#)
47. C. Jones and M. J. Matarić, “Adaptive division of labor in large-scale minimalist multi-robot systems,” in Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1969–1974, Las Vegas, Nev, USA, October 2003. View at: [Google Scholar](#)
48. J. E. Hurtado, R. D. Robinett, C. R. Dohrmann, and S. Y. Goldsmith, “Decentralized control for a swarm of vehicles performing source localization,” Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol. 41, no. 1, pp. 1–18, 2004. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
49. C. R. Kube and E. Bonabeau, “Cooperative transport by ants and robots,” Robotics and Autonomous Systems, vol. 30, no. 1, pp. 85–101, 2000. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
50. R. Groß and M. Dorigo, “Towards group transport by swarms of robots,” International Journal of Bio-Inspired Computation, vol. 1, no. 1-2, pp. 1–13, 2009. View at: [Google Scholar](#)
51. A. Howard, L. E. Parker, and G. S. Sukhatme, “The SDR experience: experiments with a large-scale heterogeneous mobile robot team,” in Proceedings of the th International Symposium on Experimental Robotics, pp. 121–130, Singapore, June 2004. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
52. J. A. Rothermich, M. I. Ecemiş, and P. Gaudiano, “Distributed localization and mapping with a robotic swarm,” E. Şahin and W. Spears, Eds., vol. 3342 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 58–69, Springer, Berlin, Germany. View at: [Google Scholar](#)
53. Héder, M. (2017). From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in public sector innovation. Innov. J. 22:3. [Google Scholar](#)

54. Rubenstein, M., and Shen, W. M. (2008). “A scalable and distributed model for self-organization and self-healing,” in Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems 2, 1157–1160.
55. Wyss Institute (2017). Programmable Robot Swarms. Available online at: <https://wyss.harvard.edu/technology/programmable-robot-swarms/> (accessed November 6, 2019).
56. K-Team website: <https://www.k-team.com/>
57. Ιστότοπος Jasmine: <http://www.swarmrobot.org/>
58. Caprari, G., Balmer, P., Piguët, R., and Siegwart, R. (1998). “The autonomous micro robot “Alice”: a platform for scientific and commercial applications,” in Proceedings of the International Symposium on Micromechatronics and Human Science. Creation of New Industry (Cat. No. 98TH8388) (Nagoya: IEEE), 231–235. [Google Scholar](#)
59. Arvin, F., Watson, S., Turgut, A. E., Espinosa, J., Krajník, T., and Lennox, B. (2017). Perpetual robot swarm: long-term autonomy of mobile robots using on-the-fly inductive charging. *J. Intell. Robot. Syst.* 92, 1–18. doi: 10.1007/s10846-017-0673-8 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
60. McLurkin, J., Lynch, A. J., Rixner, S., Barr, T. W., Chou, A., Foster, K., et al. (2013). “A low-cost multi-robot system for research, teaching, and outreach,” in Distributed Autonomous Robotic Systems, eds M. Alcherio, M. Francesco, C. Nikolaus, M. Grégory, E. Magnus, H. M. Ani, P. E. Lynne, and S. Kasper (Berlin; Heidelberg: Springer), 597–609. doi: 10.1007/978-3-642-32723-0_43 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
61. Soares, J. M., Navarro, I., and Martinoli, A. (2016). “The Khepera IV mobile robot: performance evaluation, sensory data and software toolbox,” in Proceedings of the 2nd Iberian Robotics Conference (Cham: Springer International Publishing), 767–781. doi: 10.1007/978-3-319-27146-0_59 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
62. Pickem, D., Lee, M., and Egerstedt, M. (2015). “The GRITSBot in its natural habitat—a multi-robot testbed,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (Seattle, WA), 4062–4067. doi: 10.1109/ICRA.2015.7139767 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

63. Mondada, F., Bonani, M., Raemy, X., Pugh, J., Cianci, C., Klapotocz, A., et al. (2009). "The e-puck, a robot designed for education in engineering," in Proceedings of the 9th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, 59–65. [Google Scholar](#)
64. Jones, S., Studley, M., Hauert, S., and Winfield, A. F. T. (2018). A two teraflop swarm. *Front. Robot. AI* 5:11. doi: 10.3389/frobt.2018.00011 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
65. Riedo, F., Chevalier, M., Magnenat, S., and Mondada, F. (2013). "Thymio II, a robot that grows wiser with children," in Proceedings of the IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts (Tokyo), 187–193. doi: 10.1109/ARSO.2013.6705527 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
66. Klingner, J., Kanakia, A., Farrow, N., Reishus, D., and Correll, N. (2014). "A stick-slip omnidirectional powertrain for low-cost swarm robotics: mechanism, calibration, and control," in IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (Chicago, IL), 846–851. doi: 10.1109/IROS.2014.6942658 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
67. Dorigo, M., Floreano, D., Gambardella, L. M., Mondada, F., Nolfi, S., Baaboura, T., et al. (2013). Swarmanoid: a novel concept for the study of heterogeneous robotic swarms. *IEEE Robot. Autom. Mag.* 20, 60–71. doi: 10.1109/MRA.2013.2252996 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
68. Petersen, K. H., Nagpal, R., and Werfel, J. K. (2011). "Termes: an autonomous robotic system for three-dimensional collective construction," in Robotics: Science and Systems VII. doi: 10.15607/RSS.2011.VII.035 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
69. Duff, D., Yim, M., and Roufas, K. (2001). "Evolution of polybot: a modular reconfigurable robot," in Proceedings of the Harmonic Drive Intelligent Symposium (Nagano). [Google Scholar](#)
70. Murata, S., Yoshida, E., Kamimura, A., Kurokawa, H., Tomita, K., and Kokaji, S. (2002). M-TRAN: self-reconfigurable modular robotic system. *IEEE/ASME Trans. Mechatr.* 7, 431–441. doi: 10.1109/TMECH.2002.806220 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
71. Kurokawa, H., Tomita, K., Kamimura, A., Kokaji, S., Hasuo, T., and Murata, S. (2008). Distributed self-reconfiguration of M-TRAN III modular robotic system. *Int. J. Robot. Res.* 27, 373–386. doi: 10.1177/0278364907085560 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
72. Castano, A., Behar, A., and Will, P. M. (2002). The conro modules for reconfigurable robots. *IEEE/ASME Trans. Mechatr.* 7, 403–409. doi: 10.1109/TMECH.2002.806233 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

73. Roberts, J. F., Stirling, T. S., Zufferey, J., and Floreano, D. (2007). “Quadrotor using minimal sensing for autonomous indoor flight,” in Proceedings of the European Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition (Toulouse).[Google Scholar](#)
74. Oung, R., and D'Andrea, R. (2011). The distributed flight array. *Mechatronics* 21, 908–917. doi: 10.1016/j.mechatronics.2010.08.003[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
75. Preiss, J. A., Hönig, W., Sukhatme, G. S., and Ayanian, N. (2017). “Crazyswarm: a large nano-quadcopter swarm,” in Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, 3299–3304. Software available online at: <https://github.com/USC-ACTLab/crazyswarm>[Google Scholar](#)
76. Schmickl, T., Thenius, R., Moslinger, C., Timmis, J., Tyrrell, A., Read, M., et al. (2011). “CoCoRo-the self-aware underwater swarm,” in Proceedings of the 5th IEEE Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops (Ann Arbor, MI), 120–126. doi: 10.1109/SASOW.2011.11[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
77. Osterloh, C., Pionteck, T., and Maehle, E. (2012). “MONSUN II: a small and inexpensive AUV for underwater swarms,” in Proceedings of the 7th German Conference on Robotics (Munich), 1–6.[Google Scholar](#)
78. Duarte, M., Costa, V., Gomes, J., Rodrigues, T., Silva, F., Oliveira, S. M., et al. (2016). Evolution of collective behaviors for a real swarm of aquatic surface robots. *PLoS ONE* 11:e151834. doi: 10.1371/journal.pone.0151834[PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
79. Kang, C.-K. (2018). Marsbee—Swarm of Flapping Wing Flyers for Enhanced Mars Exploration. Available online at: https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2018_Phase_I_Phase_II/Marsbee_Swarm_of_Flapping_Wing_Flyers_for_Enhanced_Mars_Exploration (accessed September 5, 2019).[Google Scholar](#)
80. Ball, D., Ross, P., English, A., Patten, T., Upcroft, B., Fitch, R., et al. (2015). Robotics for Sustainable Broad-Acre Agriculture. Springer, 439–453. doi: 10.1007/978-3-319-07488-7_30[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
81. Blender, T., Buchner, T., Fernandez, B., Pichlmaier, B., and Schlegel, C. (2016). “Managing a mobile agricultural robot swarm for a seeding task,” in Proceedings of the 42nd Annual

- Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Florence), 6879–6886. doi:
10.1109/IECON.2016.7793638 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
82. Saez-Pons, J., Alboul, L., Penders, J., and Nomdedeu, L. (2010). Multi-robot team formation control in the GUARDIANS project. *Ind. Robot Int. J.* 37, 372–383. doi:
10.1108/01439911011044831 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
83. Telegraph, T. (2018). The Science Behind the Swarm of Robots Picking Your Grocery Order. Available online at: <https://www.telegraph.co.uk/technology/2018/06/04/science-behind-swarm-robots-picking-grocery-order/> (accessed August 2, 2018). [Google Scholar](#)
84. Telegraph, T. (2018). The Science Behind the Swarm of Robots Picking Your Grocery Order. Available online at: <https://www.telegraph.co.uk/technology/2018/06/04/science-behind-swarm-robots-picking-grocery-order/> (accessed August 2, 2018). [Google Scholar](#)
85. Khatmi, E., Elmenreich, W., Wogatai, K., Schranz, M., Umlauft, M., Laure, W., et al. (2019). “Swarm intelligence layer to control autonomous agents (SWILT),” in *Proceedings of the STAF 2019 1st Research Project Showcase Workshop (Eindhoven)*, 91–96. King, D., and Breedon, P. (2010). Towards cooperative robotic swarm recognition: object classification and validity. *Key Eng. Mater.* 450, 320–324. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.450.320 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
86. Khatmi, E., Elmenreich, W., Wogatai, K., Schranz, M., Umlauft, M., Laure, W., et al. (2019). “Swarm intelligence layer to control autonomous agents (SWILT),” in *Proceedings of the STAF 2019 1st Research Project Showcase Workshop (Eindhoven)*, 91–96.
87. Chung, T. H. (2017). OFFensive Swarm-Enabled Tactics (OFFSET). Available online at: https://www.darpa.mil/attachments/OFFSET_ProposersDay.pdf (accessed April 2, 2019).
88. Mizokami, K. (2017). The Pentagon's Autonomous Swarming Drones Are the Most Unsettling Thing You'll See Today. Available online at: <https://www.popularmechanics.com/military/aviation/a24675/pentagon-autonomous-swarming-drones/> (accessed April 2, 2018).
89. Hauert, S., Zufferey, J.-C., and Floreano, D. (2009). Evolved swarming without positioning information: an application in aerial communication relay. *Auton. Robots* 26, 21–32. doi: 10.1007/s10514-008-9104-9 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

90. Farinelli, A., Raeissi, M. M., Marchi, N., Brooks, N., and Scerri, P. (2017). Interacting with team oriented plans in multi-robot systems. *Auton. Agents Multi Agent Syst.* 31, 332–361. doi: 10.1007/s10458-016-9344-6 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
91. Apium Data Diver website: <http://apium.com/data-diver/>
92. Schill, F., Bahr, A., and Martinoli, A. (2016). “Vertex: a new distributed underwater robotic platform for environmental monitoring,” in *International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems* (Cham: Springer International Publishing), 1–14. [Google Scholar](#)
93. Real-Arce, D. A., Morales, T., Barrera, C., Hernández, J., and Llinás, O. (2016). “Smart and networking underwater robots in cooperation meshes: the swarms ECSEL: H2020 project,” in *Proceedings of the International Workshop on Marine Technology*, 19. [Google Scholar](#)
94. Smalley, D. (2016). *Autonomous Swarmboats: New Missions, Safe Harbors*. Available online at: <https://www.onr.navy.mil/en/Media-Center/Press-Releases/2016/Autonomous-Swarmboats> (accessed May 5, 2018).
95. [ROBORDER website: https://roborder.eu/](https://roborder.eu/)
96. BugWright2 website: <http://dream.georgiatech-metz.fr/?q=node/108>, project start: January 2020.
97. Borko, B. (2016). System for Automatic Takeoff and Landing by Interception of Small UAVs. US Patent 9,505,493. [Google Scholar](#)
98. Agency, E. S. (2004). *Swarm–The Earth's Magnetic Field and Environment Explorers Technical and Programmatic Annex*. Technical report, European Space Agency. [Google Scholar](#)
99. Escoubet, C., Fehringer, M., and Goldstein, M. (2001). Introduction–the cluster mission. *Proc. Ann. Geophys.* 19, 1197–1200. doi: 10.5194/angeo-19-1197-2001 [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)
100. <http://playerstage.sourceforge.net/>
101. <http://www.cyberbotics.com/>
102. <https://acodez.in/microsoft-robotics-developer-studio/>
103. [El Nahry and Mohamed, 2011](#) Potentiality of land and water resources in African Sahara: a case study of south Egypt *Environmental Earth Sciences*, 63 (6) (2011), pp. 1263-1275
104. [Saleh et al., 2015](#) Land resources assessment of El-Galaba basin, South Egypt for the potentiality of agriculture expansion using remote sensing and GIS techniques *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18 (1) (2015), pp. S19-S30

105. Mohamed et al., 2016 Mohamed, E.S., Ali, A.M., El Shirbeny, M.A., Abd El Razek, A.A., & Savin, I.Y., 2016. Near infrared spectroscopy techniques for soil contamination assessment in the Nile Delta. *Eurasian soil science*, 49(6), 632-639 [Google Scholar](#)
106. Nyaga et al., 2021 Precision agriculture research in sub-Saharan Africa countries: A systematic map *Precision Agriculture* (2021), pp. 1-20 [Google Scholar](#)
107. A.T. Ahmed, F. El Gohary, V.A. Tzanakakis, A.N. Angelakis Egyptian and Greek Water Cultures and Hydro-Technologies in Ancient Times *Sustainability*, 12 (22) (2020), p. 9760 [CrossRef](#)[Google Scholar](#)
108. M. Bacco, P. Barsocchi, E. Ferro, A. Gotta, M. Ruggeri The digitisation of agriculture: a survey of research activities on smart farming *Array*, 3-4 (2019), p. 100009, [10.1016/j.array.2019.100009](#) [Google Scholar](#)
109. S.A.H. AlMetwally, M.K. Hassan, M.H. Mourad Real Time Internet of Things (IoT) Based Water Quality Management System *Procedia CIRP*, 91 (2020), pp. 478-485 [View Record in Scopus](#)[Google Scholar](#)
110. F. Amato, J. Havel, A. Gad, A. El-Zeiny Remotely Sensed Soil Data Analysis Using Artificial Neural Networks: A Case Study of El-Fayoum Depression Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4 (2) (2015), pp. 677-696, [10.3390/ijgi4020677](#) [View Record in Scopus](#)[Google Scholar](#)
111. Wolfert, S., Goense, D., & Sørensen, C.A.G. , 2014. A future internet collaboration platform for safe and healthy food from farm to fork. In 2014 annual SRII global conference (pp. 266-273). *IEEE* [Google Scholar](#)
112. M. Bacco, P. Barsocchi, E. Ferro, A. Gotta, M. Ruggeri The digitisation of agriculture: a survey of research activities on smart farming *Array*, 3-4 (2019), p. 100009, [10.1016/j.array.2019.100009](#) [Google Scholar](#)
113. Tang, Y., Dananjayan, S., Hou, C., Guo, Q., Luo, S., & He, Y., 2021. A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105895 [Google Scholar](#)
114. T.U. Kumar, A. Periasamy IoT Based Smart Farming (E-FARM)'S *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Topics*, 2 (4) (2021), pp. 85-87 [Google Scholar](#)
115. M.S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, T. Umer, Y.B. Zikria Role of IoT technology in agriculture: A systematic literature review *Electronics*, 9 (2) (2020), p. 319 [Google Scholar](#)
116. [Smart farming for improving agricultural management - ScienceDirect](#)
117. Adamides et al., 2020 G. Adamides, N. Kalatzis, A. Stylianou, N. Marianos, F. Chatzipapadopoulou, M. Giannakopoulou, G. Papadavid, V. Vassiliou, D. Neocleous Smart Farming Techniques for Climate Change Adaptation in Cyprus Atmosphere, 11 (6) (2020), p. 557, [10.3390/atmos11060557](#) [Google Scholar](#)
118. [Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles \(UAV\) in Agriculture | IntechOpen](#)
119. Valavanis, K.P.; Vachtsevanos, G.J. Future of unmanned aviation. In *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*; Springer: Dordrecht, The Nederland, 2015; pp. 2993–3009. [[Google Scholar](#)]
120. Zhang, C.; Kovacs, J.M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precis. Agric.* 2012, 13, 693–712. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
121. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148037000075>

122. Vroegindeweyj BA, van Wijk SW, van Henten E. Autonomous unmanned aerial vehicles for agricultural applications. In: Proceeding. International Conference of Agricultural Engineering (AgEng). Zurich; 2014. p. 8
123. Gago J, Douthe C, Coopman R, Gallego P, Ribas-Carbo M, Flexas J, et al. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*. 2015;153:9-19
124. Mazur M, PWC. Six Ways UAVs Are Revolutionizing Agriculture. 2016. Available from: <https://www.technologyreview.com/s/601935/six-ways-UAVs-are-revolutionizing-Agriculture/> [Accessed: 09 July 2019]
125. Zhang J, Basso B, Price RF, Putman G, Shuai G. Estimating plant distance in maize using unmanned aerial vehicle (UAV). *PLoS One*. 2018;13(4):e0195223. DOI: 10.1371/journal.pone.0195223
126. Lv M, Xiao S, Tang Y, He Y. Influence of UAV flight speed on droplet deposition characteristics with the application of infrared thermal imaging. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2019;12(3):10-17
127. Yallappa D, Veerngouda M, Maski D, Palled V, Bheemanna M. Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference*. 2017. pp. 1-7. DOI: 10.1109/GHTC.2017.8239330
128. Hentschke M, Freitas E, Hennig C, Veiga C. Evaluation of altitude sensors for a crop spraying drone. *Drones* 2, 3. MDPI. 2018. p. 25. DOI: 10.3390/drones2030025
129. Xiongkui H, Bonds J, Herbst A, Langenakens J. Recent development for unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2017;10(3):18-30
130. Guo T, Kujirai T, Watanabe T. Mapping crop status from an unmanned aerial vehicle for precision agriculture applications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012;39:B1
131. Baluja J, Diago M, Balda P, Zorer R, Meggio F, Morales F, et al. Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Irrigation Science*. 2012;30:511-522. DOI: 10.1007/s00271-012-0382-9
132. Piug E, Gonzalez F, Hamilton G, Grundy P. Assessment of crop insect damage using unmanned aerial systems: A machine learning approach. In: 21st International Congress on Modelling and Simulation; Gold Coast, Australia; 29 Nov–4 Dec 2015
133. Jianwei Y, Tianjie L, Changchun L, Jiangqun Z. The application of unmanned aerial vehicle remote sensing in quickly monitoring crop pests. *Intelligent Automation and Soft Computing*. 2012;18(8):1043-1052
134. Steinfeld H, Mäki-Hokkonen J. A classification of livestock production systems. *World Animal Review*. 1995:83-94
135. Seré C, Steinfeld H, Groenewold J. *World Livestock Production Systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Publishing; 1996
136. Chamoso P, González-Briones A, Rivas A, Bueno FDM, Corchado J. The use of drones in Spain: Towards a platform for controlling UAVs in urban environments. *Sensors*. 2018;18:1416
137. Chamoso P, Raveane W, Parra V, González A. UAVs applied to the counting and monitoring of animals. *Ambient Intelligence-Software and Applications*. Cham, Switzerland: Springer; 2014. pp. 71-80

138. Vayssade J, Arquet R, Bonneau M. Automatic activity tracking of goats using drone camera. *Computers and Electronics in Agriculture*. Elsevier; 2019;162:767-772
139. Havens K, Sharp E. *Thermal Imaging Techniques to Survey and Monitor Animals in the Wild: A Methodology*. Academic Press; 2015
140. Elias AR, Golubovic N, Krintz C, Wolski R. Where's the bear?-Automating wildlife image processing using IoT and edge cloud systems. In: 2017 IEEE/ACM Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI); IEEE; 2017. pp. 247-258
141. Texas A&M AgriLife. Drones could apply thermal imaging to identify sick livestock in feedlots. 2019. Available from: <https://research.tamu.edu/2019/03/07/drones-could-apply-thermal-imaging-to-identify-sick-livestock-in-feedlots/> [Accessed: 01 June 2019]
142. Nyamuryekunge S, Cibils A, Estell R, Gonzalez A. Use of an unmanned aerial vehicle—Mounted video camera to assess feeding behavior of raramuri criollo cows. *Rangeland Ecology & Management*. 2016;2016(69):386-389
143. Ma Y, Selby N, Adib F. Drone relays for battery-free networks. In: Proceedings of the Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication; ACM; 2017. pp. 335-347
144. Man and Drone. Drone sheep heading in New Zealand [video file]. 2018. Available from: <https://youtu.be/D8mXL2JapWM>
145. DJI Ferntech. Drones on the farm [Video file]. 2018. Available from: <https://www.djistore.co.nz/agriculture>
146. Abaqus. GeoFencing and Alerts for Location Based Services. 2014. Available from: www.myGeoTracking.com. [Accessed: 21 July 2019]
147. Rahate S, Shaikh M. Geo-fencing infrastructure: Location based service. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2016;3(11):1095-1098
148. Andonovic I, Michie C, Cousin P, Janati A, Pham C, Diop M. Precision livestock farming technologies. In: 2018 Global Internet of Things Summit (GIoTS); IEEE; 2018. pp. 1-6
149. Lee C, Henshall JM, Wark TJ, Crossman CC, Reed MT, Brewer HG, et al. Associative learning by cattle to enable effective and ethical virtual fences. *Applied Animal Behaviour Science*. 2009;119:15-22
150. Lomax S, Colusso P, Clark C. Does virtual fencing work for grazing dairy cattle? *Animals*. MDPI. 2019;9(7):429. DOI: 10.3390/ani9070429
151. Mohammed F, Idries A, Mohamed N, Al-Jaroodi J, Jawhar I. UAVs for smart cities: Opportunities and challenges. In: 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS); IEEE; 2014. pp. 267-273
152. <https://www.fendt.com/int/xaver>
153. <http://laral.istc.cnr.it/saga/>
154. [saga-dars2016.pdf \(cnr.it\)](#)
155. A. Reina, R. Miletitch, M. Dorigo, and V. Trianni. A quantitative micro–macro link for collective decisions: the shortest path discovery/selection example. *Swarm Intelligence*, 9(2-3):75–102, 2015.
156. A. Reina, G. Valentini, C. Fernandez-Oto, M. Dorigo, and V. Trianni. A Design Pattern for Decentralised Decision Making. *PLoS ONE*, 10(10):e0140950–18, Oct. 2015

157. P. Lottes and et al. An effective classification system for separating sugar beets and weeds for precision farming applications. In 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pages 5157–5163. IEEE, 2016.
158. A. T. Nieuwenhuizen, L. Tang, J. W. Hofstee, J. Muller, and E. J. van Henten. Colour based detection of volunteer potatoes as weeds in sugar beet fields using machine vision. *Precision Agriculture*, 8(6):267–278, Nov. 2007.
159. <https://www.continental.com/en/products-and-innovation/innovation/agriculture/agricultural-robot-contadino/>
160. <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semiauto-steering/autonomous-vehicles/video-john-deere-shows-platooning-electric-robot-tractors-swarm/>
161. <https://www.couriermail.com.au/news/queensland/bundaberg/meet-the-new-farm-robot-smoking-weeds/news-story/84611489ff4a282484bfae5fa074e499>
162. <https://www.swarmfarm.com/applications/>
163. https://www.researchgate.net/publication/284423094_Soil_sensing_survey_robots_based_on_electronic_nose/download