



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

## Διπλωματική Εργασία

**Σχεδίαση αλγορίθμου κατανομής  
πόρων/εργασιών για σμήνος drone.**

του

**Κουτσιώτα Χρήστου 1177**

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: **Λούτα Μαλαματή**

**Αναπληρώτρια Καθηγήτρια**

Κοζάνη, Μάρτιος 2024





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

Thesis

# Design of resource/task allocation algorithm for drone swarm.

**Koutsiotas Christos 1177**

**SUPERVISOR: Louta Malamati**

**Associate Professor**

Kozani, March 2024





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

### **ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ**

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

Copyright (C) Ονοματεπώνυμο Φοιτητή & Επιβλέποντα, Έτος, Πόλη

Copyright (C) Κουτσιώτας Χρήστος, Λούτα Μαλαματή, 2024, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: \_\_\_\_\_



## Περίληψη

Με το πέρασμα των χρόνων υπήρξε μεγάλη ανάπτυξη στις επιστήμες και στην τεχνολογία. Ανάπτυξη και μάλιστα σε μεγάλο βαθμό γνώρισαν και τα drones και η χρήση τους. Από μια απλή εργασία όπως η φωτογράφιση και η βιντεοσκόπηση ενός χώρου ή ενός γεγονότος τώρα μπορούν να χρησιμοποιούνται και για ακόμα πιο απαιτητικές εργασίες, όπως πρόληψη ασθενειών σε αγροτικές περιοχές, για στρατιωτικές χρήσεις και άλλων ειδών εργασίες. Μερικές φορές είναι επαρκής η χρήση ενός μόνο drone για την ολοκλήρωση μιας εργασίας. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης τεχνολογικής ανάπτυξης που υπάρχει στον κόσμο, αλλά και η ανάγκη για πιο γρήγορα αποτελέσματα είναι αναγκαία η χρήση πολλών drones που λειτουργούν ως ένα ενιαίο σύνολο για την επίτευξη πιο απαιτητικών εργασιών. Η χρήση ενός σμήνους drone δεν είναι τόσο εύκολη υπόθεση όμως. Είναι πιθανό να υπάρχουν drones στο σύστημα τα οποία έχουν διαφορές μεταξύ τους σε θέματα υλικού και θέματα πόρων. Για αυτό λοιπόν είναι σημαντικό να υπάρξει ένας αλγόριθμος κατανομής των πόρων και των εργασιών που ανατίθενται στο σμήνος, ώστε να γίνεται η εργασία σωστά, όσο το δυνατόν πιο σύντομα και χωρίς να γίνεται άσκοπη κατανάλωση των πόρων του σμήνους. Ήδη υπάρχουν συγκεκριμένοι αλγόριθμοι για αυτό το θέμα που προσπαθούν και εκμεταλλεύονται καταλλήλως τα στοιχεία ενός σμήνους drone για να επιτευχθεί το κατάλληλο αποτέλεσμα. Ακόμα και τώρα όμως αυτοί οι αλγόριθμοι έχουν και κάποιους περιορισμούς και αφήνουν ανοιχτούς κινδύνους για το σμήνος και είναι πιθανό σε ορισμένες περιπτώσεις να μην γίνεται πάντα σωστά η κατανομή. Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την δημιουργία ενός νέου αλγορίθμου κατανομής, ο οποίος προσπαθεί με βάση τα drones που βρίσκονται στο σμήνος και την λίστα των εργασιών που υπάρχει να γίνεται κατανομή των εργασιών με το βέλτιστο τρόπο, έτσι ώστε και να επιτυγχάνεται η εργασία αλλά και να μην εξαντλείται η ενέργεια του σμήνους. Για την δημιουργία ενός νέου αλγορίθμου, αντλούμε αρχικά πληροφορίες για την λειτουργία των ήδη υπαρχόντων αλγορίθμων κατανομής και στη συνέχεια προχωράμε στην ανάπτυξη του μέσω της γλώσσας προγραμματισμού python και GAMS. Για τον συγκεκριμένο αλγόριθμο γίνεται επιπλέον χρήση μεθόδων που υπάρχουν στις βάσεις δεδομένων. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου ανάθεσης εργασιών με βάση συγκεκριμένους περιορισμούς και στόχο την ελαχιστοποίηση ενέργειας.

### Λέξεις κλειδιά

Drone, Σμήνος, αλγόριθμος κατανομής, Πόροι, Εργασία, Προγραμματισμός, Βάσεις Δεδομένων, Gams.

## **Abstract**

Over the years there has been great development in Science and Technology. Development and in fact to a very large extent also has been great for drones and their uses. From a simple task such as photographing a place or a single event and even videotaping it, now they can even be used for more demanding task. Such demanding tasks may be the disease prevention of a rural area, military uses and many more. Sometimes it is sufficient for a task to be completed the use of a single drone. However, due to this great technological development that exists, but also the need for faster results is to use more drones and work as a single unit, in order to achieve more demanding tasks. Using a swarm of drone though is not that easy. It is possible that the drones in the swarm have differences in hardware and their resources. This is the reason why an algorithm for the tasks and resources allocation is important so that the tasks they are left for the swarm to be completed, can be done correctly, without unnecessary energy consumption of the resources of the swarm as well. There are already such specific algorithms that try to use properly the elements of the swarm, in order to achieve the appropriate result. Even now though, these algorithms have their limitations, sometimes they leave the swarm open in risks and sometimes the allocation isn't done with the best possible way. This diploma thesis analyzes the creation of a new allocation algorithm, which tries based on the drones in the swarm and the list of the existing tasks, to make the task assignment in the best possible way, so that the task is completed and also not limit the energy of the swarm. To create a new algorithm, we first extract information about the operation of the already existing allocation algorithms. Then, we proceed to the construction of it through programming. Programming an algorithm requires knowledge of at least one programming language. Here we use the programming language Python and GAMS. For this particular algorithm, we also use methods from the databases. The purpose of this thesis is to develop a task assignment model based on specific constraints and aiming to minimize energy.

## **Key Words**

Drone, Swarm, Allocation Algorithm, Resources, Task, Programming, Databases, GAMS





## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	13
1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	13
1.2 Κατανομή εργασιών/πόρων σε σμήνος drone. ....	13
Κεφάλαιο 2. Κατανομή εργασιών .....	15
2.1 Αλγόριθμοι κατανομής εργασιών .....	15
2.1.1 Κεντροκοποιημένοι αλγόριθμοι (Centralized).....	16
2.1.2 Βιο-εμπνευσμένοι αλγόριθμοι (bio-inspired) .....	22
2.1.3 Κατανεμημένοι αλγόριθμοι (Distributed).....	30
2.1.4 Αλγόριθμοι βασισμένοι στην πολλαπλή σύντηξη (Multi-Fusion Based) .....	33
2.2 Σχετικές εργασίες και αποτελέσματα.....	36
Κεφάλαιο 3: Προγραμματιστικό μέρος.....	39
3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	39
3.2 Ανάλυση και αποτελέσματα του κώδικα .....	40
3.2.1 Υλοποίηση πρώτου σεναρίου .....	40
3.2.2 Υλοποίηση δεύτερου σεναρίου.....	46
3.3.3 Υλοποίηση τρίτου σεναρίου .....	46
Κεφάλαιο 4:Επίλογος .....	51
4.1 Συμπεράσματα .....	51
4.2 Πιθανή μελλοντική επέκταση .....	51
Κεφάλαιο 5: Βιβλιογραφίες – Πηγές.....	52

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Αλγόριθμοι και κατηγορίες των αλγορίθμων κατανομής εργασίας[1].....	15
Εικόνα 2: Χρήση κωδικοποίησης διπλών χρωμοσωμάτων. Το πρώτο χρωμόσωμα δείχνει τους στόχους και το δεύτερο το σημείο που αλλάζει το drone για την αναγνώριση [29].....	27
Εικόνα 3: Επιτυχής εισαγωγή δεδομένων στους πίνακες του localhost.....	44
Εικόνα 4: Εμφάνιση των πινάκων και των περιορισμών που ισχύουν. ....	45
Εικόνα 5: Τα αποτελέσματα της ανάθεσης και υπολογισμός της συνολικής ενέργειας που θα καταναλωθεί. ....	45
Εικόνα 6: Εμφάνιση των αποτελεσμάτων του τρίτου σεναρίου. ....	50

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση Κεντρικοποιημένων Αλγορίθμων Κατανομής .....	19
Πίνακας 2: Σύγκριση των Βιο-Εμπνευσμένων αλγορίθμων κατανομής. ....	28
Πίνακας 3: Σύγκριση των Κατανεμημένων Αλγορίθμων Κατανομών Εργασιών. ....	33
Πίνακας 4: Σύγκριση των αλγορίθμων κατανομής εργασιών πολλαπλής σύντηξης. ....	35
Πίνακας 5: Σύγκριση δυναμικής κατανομής με τον αλγόριθμο Βελτιστοποίησης Αποικίας μυρμηγκιών [5].....	36
Πίνακας 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων του OGA-DEMMO με τους RS και ACO [29].....	37
Πίνακας 7: Σύγκριση των ρυθμών σύγκλισης ανθεκτικής Κατανομής, FETA και RFETA[23]. ....	38
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά των drones στο πρώτο σενάριο .....	43
Πίνακας 9: Ενεργειακός Πίνακας $E(i, j)$ του μοντέλου.....	43
Πίνακας 10: Πίνακας ανάθεσης πρώτου σεναρίου.....	44
Πίνακας 11: Πίνακας ανάθεσης για το δεύτερο σενάριο. ....	46
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά των drones για το τρίτο σενάριο. ....	48
Πίνακας 13: Ενεργειακός πίνακας $E(i, j)$ του τρίτου σεναρίου.....	49
Πίνακας 14: Πίνακας ανάθεσης του τρίτου σεναρίου.....	49

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΕΡΜΗΝΕΙΑ
ABMC-TA	Auction-based Multiple Constraints Task Assignment
ACO	Ant Colony Optimization
BAS-GA	Beetle Antennae Search with Genetic Algorithm
CMTAP	Cooperative Multiple Task Assignment Problem
CMTAP-GA	Cooperative Multiple Task Assignment Problem with Genetic Algorithm
CMTAPSVTW	Cooperative Multiple Task Assignment Problem with Stochastic Velocities and Time Windows
CBBA	Consensus-based Bundle Algorithm
CTA	Cooperative Task Assignment
CTAI	Coordinated Target Assignment and Intercept
DP-CTA	Dynamic Programming-based Cooperative Task Assignment
DTA	Dynamic Task Assignment

EAT- PSO	Earliest available time with Partial Swarm Optimization
EDATA	Energy and Delay Aware Task Assignment
EETA	Energy Efficient Task Assignment
EMU-MEC	Energy-Efficient Multi-UAV Assisted Multi- Access Edge Computing
FEUTA	Filter-Embedded UAV Task Assignment
FETA	Fairness Enforced verifying, Training and predicting Algorithm
FTA	Fast Assignment Assignment
GAMS	General Algebraic Modeling System
HA-TA	Health Aware Task Assignment
ILP	Integer Linear Programming
MGA-CTA	Modified GA-based Cooperative Task Assignment
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MTWDTSP	Multiple Time-Window-based Dubins Traveling Salesmen Problem
MTWPS	Modified Two-Part Wolf Pack Search
OGA-DEMMO	Opposition-based Genetic Algorithm Using Double-Chromosomes Encoding and Multiple Mutation Operators
OPA	Orchard Picking Algorithms
PHM-based MTA	Prognostics and Health Monitoring (PHM)-based Multi-UAV Task Assignment
RDTA	Robust Decentralized Task Assignment
RFETA	Robust Filter Embedded Task Assignment
RS	Random Search
SMAA-2	Stochastic Multi-Criteria Acceptability Analysis

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των drones βοηθάει σε έναν πολύ μεγάλο βαθμό τον τομέα της επιστήμης των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνίας και σε άλλους κλάδους. Μέσω αυτών υποστηρίζονται εργασίες όπως η τοπογραφία, η διαχείριση κινδύνου καταστροφών, η τηλεπισκόπηση, η παρακολούθηση της οδικής κυκλοφορίας, εργασίες όπου ο άνθρωπος από μόνος του δεν θα μπορούσε να ολοκληρώσει. Ένα drone ή αλλιώς μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Unmanned Aerial Vehicle-UAV) μπορεί να αναπτυχθεί εύκολα και γρήγορα, έχει υψηλή ευελιξία στις κινήσεις του, έχει μεγάλη εμβέλεια και έχει ικανότητα αυτοοργάνωσης σε περιβάλλον όπου ενδεχομένως να υπάρχει κίνδυνος. Υπάρχουν drones σε διάφορα μεγέθη και προδιαγραφές. Τα μικρότερα drones προτιμώνται για τον σχηματισμό σμήνους. Τα δίκτυα μεταξύ των drone δείχνουν υποσχόμενα όμως έχουν ακόμα κάποια ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν για να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά σε διάφορες εφαρμογές που υποστηρίζουν. Τέτοια ζητήματα κατά την ανάπτυξη τους είναι η κατανάλωση της ενέργειας, η αποφυγή συγκρούσεων, η φασματική απόδοση η δρομολόγηση τους και η σωστή ανάθεση των πόρων τους. Πρέπει να επιτευχθεί το βέλτιστο επίπεδο συνεργασίας στο δίκτυο για την δημιουργία αλγορίθμων ανάθεσης εργασιών, ώστε να μπορούν τα drones να μοιράζονται σωστά πληροφορίες, να υπάρχει σωστή οργάνωση σε κατάλληλο χρόνο και να κατανέμονται με σωστό τρόπο οι εργασίες. Η κατάλληλη συνεργασία των drones σε ένα δίκτυο είναι ένα περίπλοκο ζήτημα και αρκετά δύσκολη όμως να εφαρμοστεί. Για αυτό είναι σημαντικός ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης που να λαμβάνει υπόψιν την προτεραιότητα και των συγχρονισμό των εργασιών, τις κατάλληλες τροχιές και άλλους περιορισμούς που μπορεί να υπάρχουν λόγω του περιβάλλοντος που βρίσκονται. Οι αποτελεσματικοί αλγόριθμοι κατανομής εργασιών λαμβάνουν υπόψη τις αβεβαιότητες στο δυναμικό περιβάλλον. Η επικοινωνία σε ένα δίκτυο drone έχει πολλά θέματα προς επίλυση, ωστόσο αυτό είναι που ωθεί τους ερευνητές να μελετήσουν τέτοια θέματα που ακόμα δεν έχουν λυθεί.

### 1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει σαν στόχο την δημιουργία ενός αλγορίθμου όπου να κατανέμονται κατάλληλα οι εργασίες σε ένα σμήνος drone για την ομαλή λειτουργία τους και την σωστή αντιμετώπιση του ζητήματος που έχουν να επιλύσουν, βρίσκοντας την βέλτιστη λύση όσον αφορά τους πιθανούς περιορισμούς αλλά και την βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας του σμήνους.

### 1.2 Κατανομή εργασιών/πόρων σε σμήνος drone.

Η κατανομή εργασιών σε ένα σμήνος έχει γίνει ένα πολύ μεγάλο ζήτημα τα τελευταία χρόνια. Είναι πλέον πολύ διαδεδομένη η χρήση συστημάτων σχεδιασμού αποστολών που βασίζονται σε πολλά drones. Η ανάθεση εργασιών είναι μια συνδυαστική διαδικασία βελτιστοποίησης μέσω της

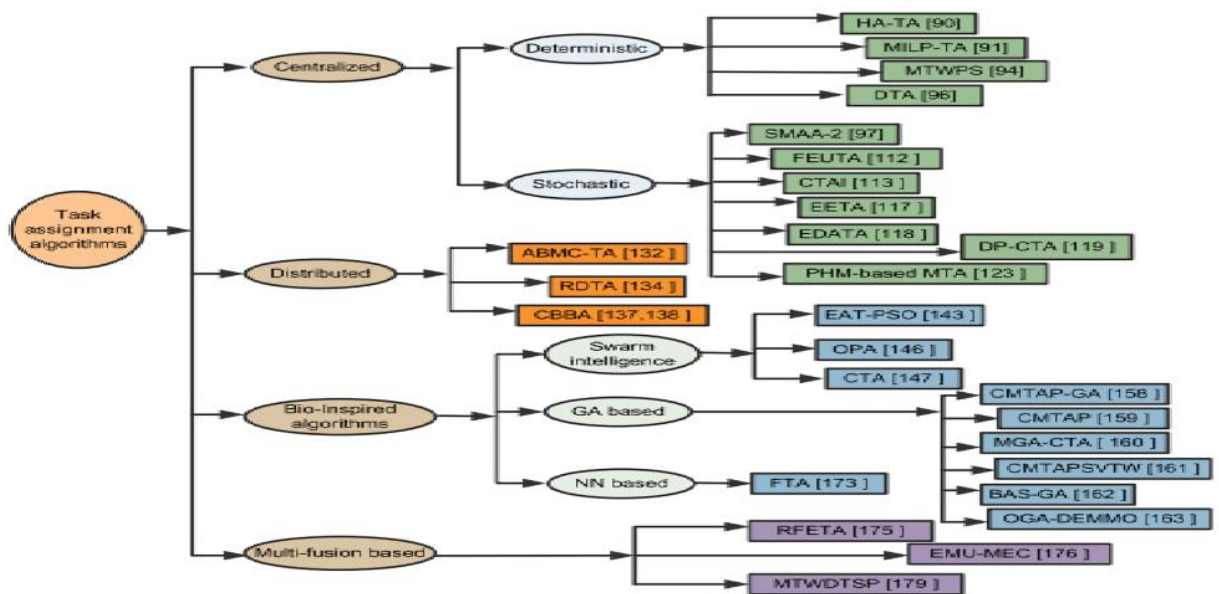
οποίας ένα ή ένα σμήνος drones εκχωρείται για την ολοκλήρωση πολλών εργασιών. Η ανάθεση αυτών των εργασιών χωρίζεται σε κατηγορίες, πιο συγκεκριμένα σε αλγόριθμους στοχαστικούς, ντετερμινιστικούς εξελικτικούς, κατανεμημένους και πολλαπλής σύντηξης. Για παράδειγμα ένας ντετερμινιστικός αλγόριθμος θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση πιο μικρών και απλών ζητημάτων, λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας που έχει. Εργασίες που βασίζονται στην ευρετική αναζήτηση μπορούν να επιλυθούν χωρίς όμως να σημαίνει πως θα υπάρχει και η κατάλληλη αποτελεσματικότητα στο σύστημα. Είναι πολύ σημαντικό να δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης, ώστε να λαμβάνεται υπόψιν μια προτεραιότητα στις εργασίες, τις πιο αξιόλογες τροχίες του συστήματος αλλά και πολλούς άλλους περιορισμούς που μπορεί να υπάρχουν στο πραγματικό περιβάλλον. Γενικά σε ένα σμήνος drone ενδέχεται αυτά να υπάρχουν μέλη με διαφορετικά χαρακτηριστικά το ένα με το άλλο, ωστόσο μπορούν να ολοκληρώσουν μια αποστολή που αποτελείται από αρκετές εργασίες, αν γίνει αυτή η συνεργασία μεταξύ τους με τον κατάλληλο τρόπο. Παλιότερα, γινόταν χρήση μόνο ενός μεγάλου drone για την εκπλήρωση μιας αποστολής. Με το πέρασμα του χρόνου όμως άρχισαν να αναπτύσσονται συστήματα μικρών drone για την επίλυση πιο σύνθετων θεμάτων σε λιγότερο χρόνο και πιο αποτελεσματικά, αυξάνοντας έτσι τόσο την εμβέλεια όσο και την καλύτερη αποδοτικότητα τους. Για τη σωστή λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος πρέπει να μοιράζονται κατάλληλα οι πληροφορίες στο σύστημα ώστε να υπάρχει μια λογική στην σειρά ενεργειών που θα ακολουθήσει.

## Κεφάλαιο 2. Κατανομή εργασιών

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενέστερη μελέτη για την κατανομή εργασιών και τις μεθόδους με τις οποίες μπορεί αυτή να επιτευχθεί καταλλήλως. Η τεχνολογία για την κατασκευή και την ανάπτυξη των drones αυξάνεται συνεχώς για να επιτύχουν σε όλο και πιο απαιτητικές αποστολές χωρίς να είναι απαραίτητη η ανθρώπινη παρέμβαση σε μεγάλο βαθμό. Ένα σμήνος από drones για να ολοκληρώσει μια περίπλοκη αποστολή τους κρίνεται αναγκαία η κατανομή εργασιών, η οποία απαιτεί υψηλό βαθμό συνεργασίας μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει γιατί θα χρειαστεί να γίνει διαμοιρασμός πληροφοριών και αργότερα να γίνει ανάθεση εργασιών σε drones με τον κατάλληλο χρονικό περιορισμό και την κατάλληλη προτεραιότητα. Ωστόσο, αυτός ο βαθμός συνεργασίας και διαμοιρασμού πληροφοριών κάνει συνήθως αυτό το πρόβλημα μιας αυτόνομης ανάθεσης εργασιών ιδιαίτερο περίπλοκο έτσι κρίσιμα ζητήματα και προκλήσεις.

### 2.1 Αλγόριθμοι κατανομής εργασιών

Μια κατανομή εργασιών σε drones εφαρμόζεται για την διεκπεραίωση συγκεκριμένου αριθμού εργασιών με επιτυχία. Για την σωστή κατανομή τους εφαρμόζονται κάποιοι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι, ώστε να λειτουργήσει το σύστημα σε βέλτιστο βαθμό. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να κατανεμηθούν σε τέσσερις κατηγορίες. Υπάρχουν λοιπόν για αυτό το ζήτημα οι κεντροκοποιημένοι αλγόριθμοι (Centralized), οι βιο-εμπνευσμένοι αλγόριθμοι (Bio-inspired), οι κατανεμημένοι αλγόριθμοι (Distributed) και οι αλγόριθμοι που βασίζονται στην πολλαπλή σύντηξη (Multi-Fusion). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι ήδη υπάρχοντες αλγόριθμοι που υπάρχουν για θέματα κατανομής καθώς και σε ποια κατηγορία αλγορίθμων μπορούν να καταταχθούν.



Εικόνα 1: Αλγόριθμοι και κατηγορίες των αλγορίθμων κατανομής εργασίας[1].

### 2.1.1 Κεντροποιημένοι αλγόριθμοι (Centralized)

Διακρίνονται σε 2 κατηγορίες. Τους κεντροποιημένους ντετερμινιστικούς αλγορίθμους και τους κεντροποιημένους στοχαστικούς αλγορίθμους. Αυτοί οι αλγόριθμοι λειτουργούν με την ύπαρξη ενός κεντρικού διαχειριστή, ο οποίος συλλέγει πληροφορίες από όλα τα drones του συστήματος, φροντίζει να κάνει την καλύτερη δυνατή στρατηγική για την εκτέλεση της αποστολής και στην συνέχεια διαμοιράζει τις πληροφορίες στο σύστημα. Ο κεντρικός διαχειριστής μπορεί να είναι είτε ένας επίγειος σταθμός που λαμβάνει πληροφορίες από τα drone είτε ένα συγκεκριμένο drone του συστήματος. Στους κεντροποιημένους αλγόριθμους [2][3] ο διαμοιρασμός πληροφοριών είναι πολύ απλός, καθώς κάθε drone του συστήματος επικοινωνεί άμεσα με τον κεντρικό σχεδιαστή. Ένας στοχαστικός αλγόριθμος βασίζεται στην τύχη σε κάθε βήμα του και δεν είναι σίγουρο ότι με ίδιες αρχικές συνθήκες ότι θα βγάλει το ίδιο αποτέλεσμα όταν τρέξει πολλές φορές. Αντίθετα ο ντετερμινιστικός αλγόριθμος όσες φορές τρέξει με το ίδιο αρχικό σημείο και ίδιες συνθήκες τερματισμού θα βρίσκει πάντα την ίδια λύση. Ντετερμινιστικοί κεντροποιημένοι αλγόριθμοι είναι οι αλγόριθμοι κατανομής εργασιών με επίγνωση της υγείας (Health-Aware Task Assignment HA-TA), η δυναμική κατανομή εργασιών (Dynamic Task Assignment DTA), η στοχαστική πολυκριτηριακή ανάλυση αποδοχής (Stochastic Multi-Criteria Acceptability Analysis SMAA-2), Ανάθεση εργασιών drone με ενσωματωμένο φίλτρο (Filter-Embedded UAV Task Assignment FEUTA), η Ενεργειακά αποδοτική ανάθεση εργασιών (Energy Efficient Task Assignment EETA), ανάθεση με επίγνωση της ενέργειας και καθυστέρησης του μηχανισμού ανάθεσης (Energy and Delay Aware Task Assignment EDATA), η συνεργατική ανάθεση με βάση τον δυναμικό προγραμματισμό (Dynamic Programming-based Cooperative Task Assignment (DP-CTA), ανάθεση εργασιών πολλαπλών drone βασισμένη σε τεχνικές πρόγνωσης και παρακολούθησης της υγείας (Prognostics and Health Monitoring (PHM)-based Multi-UAV Task Assignment PHM-based MTA), η συντονισμένη ανάθεση και αναχαίτηση στόχου (Coordinated Target Assignment and Intercept CTAI), ο τροποποιημένος αλγόριθμος αναζήτησης δύο μερών αγέλης λύκων (Modified Two-Part Wolf Pack Search MTWPS) και ο γραμμικός προγραμματισμός μεικτών ακεραίων (Mixed-Integer Linear Programming MILP-TA). Στην συνέχεια της υποενότητας γίνεται ανάπτυξη αυτών των αλγορίθμων και σύγκριση μεταξύ τους.

- Αλγόριθμος κατανομής εργασιών με επίγνωση της υγείας (Health-Aware Task Assignment HA-TA [4] ) : Ντετερμινιστικός Κεντροποιημένος αλγόριθμος. Η ανάθεση εργασιών γίνεται μέσω ενός διαχειριστή , ο οποίος διαχειρίζεται την λίστα με την εργασίες που απομένουν και τις κατανέμει στα drone ανάλογα με τις ικανότητες των drones του συστήματος. Μετά την ανάθεση εργασιών, ένας διαχειριστής τροχιών σχεδιάζει τις πιθανές τροχιές που θα έχουν τα drones. Για την διαχείριση της υγείας του συστήματος γίνεται χρήση ενός μηχανισμού απόκρισης του μοντέλου που χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο, ο οποίος γνωρίζει τα χαρακτηριστικά υγείας κάθε μέλους του σμήνους και κάνει την κατανομή με βάση την υγεία των drones. Ο τομέας διαχείρισης υγείας ενός drone λαμβάνει υπόψιν την απόδοση των αισθητήρων του καθώς και τον έλεγχο αστοχιών του ενεργοποιητή.
- Δυναμική κατανομή εργασιών (Dynamic Task Assignment DTA [5] ) : Ντετερμινιστικός Κεντροποιημένος αλγόριθμος. Η χρήση αυτής της μεθόδου μπορεί να επιτύχει τον στόχο που έχει με ελάχιστο κόστος και σε μικρό χρονικό διάστημα. Με τον συγκεκριμένο αλγόριθμο



σαν βασικός στόχος είναι η εξάλειψη εχθρικών πρακτόρων. Για κάθε πιθανή ενέργεια για επίθεση σε εχθρικό πράκτορα, γίνεται χρήση ενός συγκεκριμένου αριθμού πρακτόρων, οι οποίοι λαμβάνουν έναν συγκεκριμένο αριθμό που πρέπει να κάνουν αναγνώριση. Γνωρίζουν την θέση του εχθρικού πράκτορα χωρίς αυτοί να ξέρουν το μέγεθος του drone που και την θέση του. Λόγω του περιορισμού σε ενέργεια των drones όμως πρέπει να γίνεται οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για την κατανομή εργασιών στο σύνολο.

- Στοχαστική πολυκριτηριακή ανάλυση αποδοχής (Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis SMAA-2 [6] ) : Στοχαστικός κεντρικοποιημένος αλγόριθμος. Εκτελούνται επιθετικές εργασίες από ένα σύνολο από drones που πηγαίνουν σε στόχους σε ένα άγνωστο περιβάλλον. Κάθε αβεβαιότητα θα αναλυθεί, ώστε να βρεθεί μια ικανοποιητική λύση. Οι τιμές των κριτηρίων στην διαδικασία ανάθεσης είναι τυχαίες λόγω των μη βέβαιων πληροφοριών και τα βάρη επίσης δεν είναι εντελώς γνωστά.
- Ανάθεση εργασιών drone με ενσωματωμένο φίλτρο (Filter-Embedded UAV Task Assignment FEUTA [7] ) : Στοχαστικός κεντρικοποιημένος αλγόριθμος. Αυτή η τεχνική ελαχιστοποιεί τα αποτελέσματα του θορύβου που μπορεί να προκληθεί. Συγκεκριμένα ο βαθμός των αλλαγών κατά την διαδικασία της ανάθεσης περιορίζεται και συνεχώς εκτελούνται επανατοποθετήσεις στον βαθμό ενημερωμένης γνώσης, με σκοπό την άμεση αλληλεπίδραση με διακυμάνσεις του περιβάλλοντος. Η FEUTA χρησιμοποιεί μια λειτουργία εισαγωγής φίλτρου βασιζόμενη σε τροποποιημένους συντελεστές βάρους, οι οποίοι εξαρτώνται άμεσα από τις αλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον. Το φίλτρο μπορεί να καταγράψει διαφορετικές συχνότητες θορύβου και μπορεί να απορρίψει την επίδραση του για να μην δημιουργηθεί κάποια επίπτωση στις πληροφορίες. Γίνεται με την χρήση δυαδικού φίλτρου.
- Ενεργειακά αποδοτική ανάθεση εργασιών (Energy Efficient Task Assignment EETA [8] ) : Στοχαστικός κεντρικοποιημένος αλγόριθμος. Το θετικό αυτής της μεθόδου είναι ότι φροντίζει να μην γίνεται τόσο μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Η EETA φροντίζει για την ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας μέσω βελτιστοποίησης της τροχιάς και πιο κατάλληλης ανάθεσης εργασιών και πόρων στο σμήνος.
- Ανάθεση με επίγνωση της ενέργειας και καθυστέρησης του μηχανισμού ανάθεσης (Energy and Delay Aware Task Assignment EDATA [9] ) : Στοχαστικός κεντρικοποιημένος αλγόριθμος. Η πτήση των drones γίνεται με τη χρήση ενός κεντρικού εντοπιστή, ο οποίος περιέχει τα επίπεδα ενέργειας των drone του σμήνους, τις θέσεις τους, τις λειτουργίες πτήσεις του και όλες τις γενικές πληροφορίες τους. Το drone για την εργασία επιλέγεται με βάση την καθυστέρηση, ώστε να μειωθεί ο χρόνος λειτουργίας του drone, με βάση την ενέργεια του για να μειωθεί η κατανάλωση της ενέργειας του και υπάρχει και η επιλογή δίκαιης ανταλλαγής, ώστε να βρεθεί μια σωστή λύση μεταξύ δύο στόχων ενέργειας και χρόνου.
- Συνεργατική ανάθεση με βάση τον δυναμικό προγραμματισμό (Dynamic Programming-based Cooperative Task Assignment (DP-CTA [10] ) : Στοχαστικός κεντρικοποιημένος αλγόριθμος. Εκφράζει την συνεργασία των drones όταν βρίσκονται σε ένα αντίπαλο περιβάλλον. Αυτή η τεχνική στηρίζεται στην ανάθεση στόχων όπλων, όπου τα όπλα εκχωρούνται σε στόχους για τη βελτιστοποίηση των στόχων της αποστολής. Για δίκτυα μεγάλης κλίμακας έχουν δημιουργηθεί δύο μέθοδοι προσέγγισης. Η πρώτη είναι υπεύθυνη για την γρήγορη δημιουργία συνεργατικής λύσης και η δεύτερη για την δημιουργία της καλύτερης λύσης στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.

- Ανάθεση εργασιών πολλαπλών drone βασισμένη σε τεχνικές πρόγνωσης και παρακολούθησης της υγείας (Prognostics and Health Monitoring (PHM)-based Multi-UAV Task Assignment PHM-based MTA [11] ) : Στοχαστικός κεντρικοποιημένος αλγόριθμος. Ο βασικός στόχος της πρόγνωσης και παρακολούθησης υγείας είναι να μπορεί να εκτιμήσει την κατάσταση υγείας του συστήματος και των μερών του συστήματος. Πριν γίνει η ανάθεση, γίνονται μετρήσεις για να είναι γνωστή η κατάσταση υγείας των drone του συστήματος και των βλαβών που ενδέχεται να πάθει κάποιο drone ή κάποιος μέρος από ένα drone στο σύστημα. Το ωφέλιμο επίπεδο ζωής που υπολογίζεται ότι υπάρχει υποστηρίζει τις αποφάσεις για την ανάθεση εργασιών στο σύστημα. Αυτό προσδιορίζεται από την ανάλυση δέντρου σφαλμάτων, μια τεχνική που αναλύει τις αστοχίες και μπορεί να εντοπίσει εγκαίρως κάποια ανεπιθύμητη κατάσταση που μπορεί να δημιουργηθεί.
- Συντονισμένη ανάθεση και αναχαίτηση στόχου (Coordinated Target Assignment and Intercept CTAI [12] ) : Στοχαστικός κεντρικοποιημένος αλγόριθμος. Ένας διαχειριστής επικοινωνίας κάνει πιο εύκολη την επικοινωνία στα διαφορετικά drones του συστήματος, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον συγχρονισμό. Κάθε drone δημιουργεί έναν ξεχωριστό διαχειριστή στόχων, έναν σχεδιαστή διαδρομών και διαχειριστή αναχαίτισης, Ο σχεδιαστής διαδρομής χρησιμοποιείται και από τον διαχειριστή στόχου και τον διαχειριστή αναχαίτισης. Το αποτέλεσμα ενός σχεδιαστή διαδρομής είναι η δημιουργία ενός συνόλου σημείων διαδρομής και η δημιουργία εντολής για την ταχύτητα που θα έχει κάθε drone σε κάθε σημείο. Ο διαχειριστής στόχων είναι η δημιουργία αντιστοίχισης κάθε drone με ένα στόχο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην ξεφεύγει το κόστος του συστήματος και αυξάνεται ο αριθμός των στόχων που θα εξοντωθούν. Ο διαχειριστής αναχαίτισης εφόσον έχουν σχηματιστεί οι τροχιές που θα ακολουθήσει κάθε drone είναι η ταχύτητα και το σύνολο των σημείων που θα έχει κάθε όχημα του σμήνους.
- Τροποποιημένος αλγόριθμος αναζήτησης δύο μερών αγέλης λύκων (Modified Two-Part Wolf Pack Search MTWPS [13] [14] ) : Ντετερμινιστικός Κεντρικοποιημένος αλγόριθμος. Γίνεται ανάθεση εργασιών με χρήση γραφημάτων και μεθόδους βελτιστοποίησης. Με αυτήν την ανάθεση αντιμετωπίζονται διάφορα προβλήματα στην επικοινωνία του συστήματος που μπορεί να προκύψουν και δυσλειτουργίες των drones. Στην συγκεκριμένη ανάθεση, υπάρχει ένα συγκεκριμένο σύνολο από drones που συμβολίζεται με  $N_u$ . Αυτά τα drones λοιπόν είναι υπεύθυνα για την διεκπεραίωση των εργασιών που τους ανατίθεται, για την κατανομή αυτών των εργασιών και την επαλήθευση των εργασιών σε στόχους. Τα drones πετάνε σε διαφορετικά ύψη το ένα από το άλλο, ώστε να αποφευχθεί τυχόν σύγκρουση που μπορεί να δημιουργηθεί. Το πρόβλημα αυτό μοντελοποιείται ως εξής:

$$\min_{\{X_{i,j}^k\}} \sum_{i=1}^{Nv+3Nt} \sum_{j=1}^{Nv+3Nt} \sum_{k=1}^{Nv} P_{k, \text{mod}((j-Nv), 3)} (L_{i,j}^k + f_{i,j}^k(\{X_{i,j}^k\})) X_{i,j}^k \quad (1)$$

Με  $N_v$  συμβολίζεται ο αριθμός των Drones και  $N_t$  είναι ο αριθμός των στόχων, ενώ η μεταβλητή  $X_{ij}^k$  συμβολίζει μια μεταβλητή απόφασης με εύρος από 0 μέχρι το 1 και δείχνει ότι το drone υπ' αριθμόν  $k$  θα ολοκληρώσει την πορεία του ξεκινώντας από το σημείο  $i$  μέχρι το σημείο  $j$  με σκοπό να ολοκληρωθεί η αποστολή ( $l = k, \text{mod}(j - N_v), 3$ ). Η μεταβλητή  $L_{ij}^k$

συμβολίζει το μήκος της κοντινότερης διαδρομής και η μεταβλητή  $f_{ij}^k$  τον χρόνο αναμονής του drone όταν πετάει από το σημείο  $i$  στο σημείο  $j$ . Με την σχέση

$$\sum_{i=1}^{Nv+3Nt} \sum_{j=1}^{Nv+3Nt} P_{k, \text{mod}((j-Nv)), 3} (L_{i,j}^k + f_{i,j}^k (\{X_{i,j}^k\})) X_{i,j}^k < L_{Lim}^k \text{ για κάθε } k \quad (2)$$

συμβολίζεται το όριο που υπάρχει στην απόσταση που υπάρχει στην πτήση των drones και με  $L_{Lim}$  τον μέγιστο αριθμό εργασιών που μπορεί να έχει το κ-στο drone, ενώ η σχέση

$$\sum_{i=1}^{Nv+3Nt} \sum_{j=1}^{Nv+3Nt} X_{i,j}^k < N_{Lim}^k \text{ για κάθε } k \quad (3)$$

για κάθε  $k$  δείχνει την απόσταση που πετάνε μεταξύ τους και τον μέγιστο αριθμό εργασιών που συμβολίζεται με  $N_{Lim}^k$ . Τέλος με τις δύο σχέσεις

$$\sum_{j=1}^{Nv+3Nt} \sum_{\kappa=1}^{Nv} X_{i,j}^k = 1 \text{ για κάθε } i \quad (4) \quad \text{και}$$

$$\sum_{i=1}^{Nv+3Nt} \sum_{\kappa=1}^{Nv} X_{i,j}^k = 1 \quad \text{για} \quad \text{κάθε} \quad k \quad (5)$$

θα εξασφαλίσουν ότι το drone θα περάσει από την κάθε πόλη μόνο μια φορά.

- Γραμμικός προγραμματισμός μεικτών ακεραίων (Mixed-Integer Linear Programming MILP-TA [15] ) : Ντετερμινιστικός Κεντρικοποιημένος αλγόριθμος .Με τη μέθοδο αυτή προστίθεται χρόνος στις διαδρομές των drone για την υλοποίηση πιο απαιτητικών εργασιών. Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί με τον συγκεκριμένο τρόπο: Έστω ότι υπάρχουν  $w$  αριθμός drone στο σύστημα,  $n$  στόχοι και  $m$  εργασίες ανά στόχο. Ο αριθμός των μεταβλητών απόφασης στο σύστημα βρίσκεται από την σχέση  $n(n-1)wm + nwm + 2nw + mn + 2w + 1$ , εκ των οποίων οι  $3+nm+1$  είναι μεταβλητές συνεχούς χρόνου και οι υπόλοιπες είναι μεταβλητές δυαδικής απόφασης. Στην περίπτωση αυτή όμως αυξάνεται με εκθετικό βαθμό όμως. Συγκεκριμένα σε ένα τέτοιο πρόβλημα υπάρχουν  $12(n-1)nw + 9nw + 2nwm + 2nm + 3w$  περιορισμοί, όπου οι  $mn + w$  είναι περιορισμοί ισότητας. Οι υπόλοιποι είναι περιορισμοί ανισότητας, όπου τα  $7nw + 2w$  είναι ανεξάρτητοι χρονικά περιορισμοί ανισότητας, ενώ οι  $12(n-1)nw + 2nw + 2nwm + mn$  είναι χρονικά εξαρτημένοι περιορισμοί ανισότητας.

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας όπου βρίσκονται όλοι οι ήδη υπάρχοντες κεντρικοποιημένοι αλγόριθμοι και φαίνονται όλα τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα στη χρήση τους.

**Πίνακας 1: Σύγκριση Κεντρικοποιημένων Αλγορίθμων Κατανομής**

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Αλγόριθμος κατανομής εργασιών με επίγνωση της υγείας (HA-TA)	Ντετερμινιστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Βελτίωση των δυνατοτήτων μέσω ευαισθητοποίησης του συστήματος.</li> <li>• Αποτελεσματικότερη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποτυχία σε κάποιο στάδιο θα επιφέρει αβεβαιότητα σε ολόκληρη</li> </ul>

		απόδοση στην προσομοίωση των πειραμάτων.	και στα υπόλοιπα στάδια της διαδικασίας.
Δυναμική κατανομή εργασιών (DTA)	Ντετερμινιστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρονικά αποδοτικότερη μέθοδος.</li> <li>Επίτευξη στόχου με ελάχιστο κόστος.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αδιαφορία για τις αβεβαιότητες του περιβάλλοντος. Άγνοια για την θέση και το μέγεθος τυχόν εχθρικών drones.</li> </ul>
Στοχαστική πολυκριτηριακή ανάλυση αποδοχής (SMAA-2)	Στοχαστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ανάλυση κάθε αβεβαιότητας.</li> <li>Βρίσκεται λύση και σε δύσκολες καταστάσεις.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Η κίνηση του στόχου φέρνει μη σαφή εντοπισμό.</li> </ul>
Ανάθεση εργασιών drone με ενσωματωμένο φίλτρο (Filter-Embedded UAV Task Assignment FEUTA)	Στοχαστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις του θορύβου στο σύστημα λόγω υψηλής συχνότητας.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Άγνοια απειλών και αβεβαιότητες καθιστώντας το αναξιόπιστο στο πραγματικό περιβάλλον.</li> </ul>
Ανάθεση με επίγνωση της ενέργειας και καθυστέρησης του μηχανισμού ανάθεσης (Energy and Delay Aware Task Assignment EDATA)	Στοχαστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας, τη σωστή χρήση του συστήματος και του χρόνου λειτουργίας.</li> <li>Λαμβάνονται υπόψιν στις πτήσεις και στις επιδόσεις των drones οι επιπτώσεις του περιβάλλοντος.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Σφάλματα εντοπισμού GPS.</li> <li>Απώλεια σήματος.</li> <li>Η εφαρμογή του δίκαιης ανταλλαγής των drones αυξάνει τον χρόνο εκτέλεσης, πράγματα που επηρεάζει την απόδοση του συστήματος.</li> </ul>
Συνεργατική ανάθεση με βάση τον δυναμικό προγραμματισμό (Dynamic Programming-based Cooperative Task)	Στοχαστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δημιουργία συνεργατικής και αποτελεσματικής λύσης.</li> <li>Παροχή βελτιώσεων στον σχεδιασμό αεροπορικών επιχειρήσεων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Άγνοια αβεβαιότητες του πραγματικού περιβάλλοντος.</li> <li>Με την αύξηση των στόχων αυξάνεται και ο</li> </ul>

Assignment (DP-CTA)			χρόνος υπολογισμού.
Ανάθεση εργασιών πολλαπλών drone βασισμένη σε τεχνικές πρόγνωσης και παρακολούθησης της υγείας (Prognostics and Health Monitoring (PHM)-based Multi-UAV Task Assignment PHM-based MTA)	Στοχαστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εφαρμογή μεθόδου ωφέλιμου επιπέδου ζωής για την ολοκλήρωση της ανάθεσης εργασιών, λαμβάνοντας υπόψιν και την πιθανότητα αποτυχίας.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Είναι πιθανό να μην γνωρίζουμε εξαρχής την πιθανότητα αποτυχίας.</li> <li>Αγνοούνται οι απειλές του πραγματικού περιβάλλοντος.</li> </ul>
Συντονισμένη ανάθεση και αναχαίτηση στόχου (Coordinated Target Assignment and Intercept CTAI)	Στοχαστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ο κίνδυνος μειώνεται με την αύξηση απόστασης των drones και των απειλών.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Λόγω διαταραχών αυξάνεται το σφάλμα παρακολούθησης.</li> <li>Λόγω λήψης στατικών απειλών μόνο δεν γίνεται λήψη των καλύτερων αποτελεσμάτων.</li> </ul>
Τροποποιημένος αλγόριθμος αναζήτησης δύο μερών αγέλης λύκων (Modified Two-Part Wolf Pack Search MTWPS)	Ντετερμινιστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αντιμετώπιση ζητημάτων επικοινωνίας.</li> <li>Υπολογίζεται εύκολα ο χρόνος προσομοίωσης για δίκτυα drone μεγάλης κλίμακας.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ο χρόνος αναμονής ενός drone εξαρτάται από την απόδοση των άλλων. Περίπλοκος χρόνος αναμονής για δίκτυα μεγάλης κλίμακας.</li> </ul>
Γραμμικός προγραμματισμός μεικτών ακεραίων (Mixed-Integer Linear Programming MILP-TA)	Ντετερμινιστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δίνει την καλύτερη λύση για σύνολο από drones με συνδυαστικές εργασίες με περιορισμούς χρόνου και σειρά στις εργασίες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μη πρακτικές λύσεις.</li> <li>Αναξιόπιστη χρήση σε πραγματικό χρόνο.</li> </ul>

Ενεργειακά αποδοτική ανάθεση εργασιών (Energy Efficient Task Assignment EETA)	Στοχαστικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μειωμένη κατανάλωσης ενέργειας.</li> <li>• Καλύτερη κοινή χρήση πόρων χωρίς μεγάλη καθυστέρηση.</li> <li>• Μείωση υπολογιστικής ισχύς του drone.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Γίνεται χρήση ενός drone, πράγμα που αυξάνει την πιθανότητα να αποτύχει η αποστολή.</li> </ul>
---	-------------	--	---

### 2.1.2 Βιο-εμπνευσμένοι αλγόριθμοι (bio-inspired)

Οι βιο-εμπνευσμένοι αλγόριθμοι [16] χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια για την διεκπεραίωση προβλημάτων σε δίκτυα drones όπως θέματα με την συσταδιοποίηση (clustering) του δικτύου. Γενικά είναι αλγόριθμοι ιδιαίτερα απλοί και αποτελεσματικοί για την λύση θεμάτων βελτιστοποίησης του συστήματος. Η λειτουργία τους βασίζεται στα φυσικά φαινόμενα και σε πολλές έννοιες της Βιολογίας. Για την κατανομή εργασιών σε ένα σμήνος drones διακρίνονται ιδιαίτερα τρεις τύποι βιο-εμπνευσμένων αλγορίθμων. Αυτοί οι τύποι αλγορίθμων είναι οι αλγόριθμοι κατανομής που βασίζονται στην νοημοσύνη του σμήνους ή την βελτιστοποίηση του σμήνους (Swarm Intelligence), οι αλγόριθμοι βασισμένοι σε γενετικούς αλγορίθμους (Genetic Algorithms) και σε αλγορίθμους βασισμένους σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks).

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίηση σμήνους ή νοημοσύνης σμήνους είναι μια μέθοδος της Τεχνικής Νοημοσύνης. Σε αυτήν την μέθοδο γίνεται μελέτη σμηνών στον χώρο της Βιολογίας όπως οι φωλιές που χτίζουν τα ζώα ή η αναζήτηση τροφής και εξετάζεται η συμπεριφορά τους ως σύνολο. Είναι μια μέθοδος αρκετά διαδεδομένη και χρησιμοποιείται αρκετά στον τομέα των δικτύων επικοινωνιών και όχι μόνο. Η εκτέλεση αυτής της μεθόδου για ένα σύστημα drone αποτελείται από δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο, το οποίο ονομάζεται εξερεύνηση, τα drones συλλέγουν πληροφορίες από το περιβάλλον και τα μοιράζονται μέσω διαύλων επικοινωνίας με τα υπόλοιπα μέλη του σμήνους, ώστε να βρουν την καλύτερη τροχιά για να φτάσουν στον στόχο τους στο δεύτερο στάδιο της αναζήτησης. Ο πιο γνωστός αλγόριθμος αυτού του τύπου είναι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικιών μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization ACO [17]). Παρακάτω γίνεται ανάλυση μερικών αλγορίθμων που ανήκουν στην κατηγορία των αλγορίθμων νοημοσύνης σμήνους.

- Συνεργατική Ανάθεση Καθηκόντων (Cooperative Task Assignment CTA [18]) : Διαδεδομένη μέθοδος στην επίλυση θεμάτων και ανάπτυξη συστημάτων drone. Γίνεται ουσιαστικά ένας συνδυασμός αλγορίθμων για να γίνει επιτυχημένα η κατανομή. Για την δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου απαιτείται ο σχεδιασμός της καλύτερης διαδρομής αρχικά. Για κάτι τέτοιο θα μπορούσε να γίνει χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης αποικιών μυρμηγκιών. Αυτός ο αλγόριθμος μελετάει την συμπεριφορά των μυρμηγκιών στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, μελετάει πως τα μυρμηγκία βγαίνουν από τις φωλιές τους για την αναζήτηση τροφής. Βγαίνουν λοιπόν σε τυχαίες κατευθύνσεις αφήνοντας πίσω τους μια

ουσία που λέγεται φερορμόνη για να είναι γνωστή η διαδρομή που κάνουν και στο υπόλοιπο σύνολο. Εφόσον λοιπόν κάποιο μυρμηγκί βρίσκει τροφή, τότε μέσω της φερορμόνης που αφήνουν οδηγούν και το υπόλοιπο σύνολο σε ότι έχουν βρει. Ωστόσο, μετά πρέπει να γίνει χρήση και άλλου αλγορίθμου για να πραγματοποιηθεί η κατανομή εργασιών στο σύστημα. Αυτό μπορεί να γίνει για παράδειγμα μέσω του Ουγγρικού αλγορίθμου (Hungarian algorithm [19]), μέσω του οποίου ένα drone του συστήματος θα αντιστοιχιστεί με μία συγκεκριμένη εργασία, ώστε να ολοκληρωθεί η συνολική εργασία με το λιγότερο κόστος για το σύστημα. Ο ουγγρικός αλγόριθμος έχει πολυπλοκότητα  $O(n^3)$  και μέσω αυτού μπορεί να γίνει η βέλτιστη αντιστοίχιση drone με εργασία. Αυτοί οι δύο χρησιμοποιούνται μαζί για τον σχηματισμό ενός σμήνους. Γίνεται για παράδειγμα η αντιστοίχιση του κόστους για κάθε drone για την ολοκλήρωση μιας εργασίας και μέσω αυτής της σύγκρισης μπορεί να οδηγηθεί το drone στην ολοκλήρωση της εργασίας όπου θα γίνει με το λιγότερο δυνατό κόστος για το σύστημα.

- Κατανομή με τον αλγόριθμο εύρεσης καλύτερων δυνατών διαθέσιμων χρόνων με βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (Earliest available time with Partial Swarm Optimization EAT- PSO [20]) : Ο βασικός στόχος αυτής της μεθόδου είναι η μείωση της χρονικής διάρκειας της εργασίας από την έναρξη μέχρι την ολοκλήρωσή της. Ο αλγόριθμος εύρεσης δυνατών διαθέσιμων χρόνων εστιάζει στην κατασκευή ενός προγράμματος εντός χρονικών πλαισίων από μια σειρά εργασιών που μπορεί να έχουν ανατεθεί στο σύστημα. Πέρα όμως από την χρονική διάρκεια των εργασιών, αυτό καθιστά και καλύτερη χρήση πόρων του συστήματος αλλά και μικρότερη κατανάλωση της μπαταρίας. Σε αυτό το θέμα βοηθάει ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων, ο οποίος λειτουργεί ως εξής: Δέχεται ως είσοδο το αρχικό σμήνος και έξοδος του είναι το κατάλληλο πρόγραμμα εργασιών των drones. Γίνεται αρχικοποίηση των χαρακτηριστικών του συστήματος των drones (Χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα των drones, η υγεία τους, η καλύτερη λύση κάθε drone και η καλύτερη λύση του συνόλου). Για να βρεθεί το καλύτερο πρόγραμμα για την κατανομή γίνεται συνεχώς αλλαγή των μεταβλητών μέχρι να επιτευχθεί η συνθήκη για το καταλληλότερο πρόγραμμα.
- Κατανομή με αλγορίθμους συλλογής οπωρώνων (Orchard Picking Algorithms OPA [21]) : Όπως φαίνεται από το όνομα του αλγορίθμου, η λειτουργία του βασίζεται στην συλλογή φρούτων από μεγάλες εκτάσεις δένδρων που αποφέρουν καρπούς. Κάθε καρποφόρο δένδρο θα παράγει κάποιους καρπούς, άλλα θα έχουν περισσότερα και άλλα λιγότερα. Οι καρποί αυτοί ενδέχεται να έχουν διαφορά και στο μέγεθος τους. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα λοιπόν ο χρόνος για να μαζευτούν όλοι οι καρποί θα εξαρτηθεί από την ταχύτητα με την οποία πηγαίνει ο αγρότης για να μαζέψει τους καρπούς, τον αριθμό των αγροτών και των συσκευασιών που φέρνει καθώς και τον αριθμό των καρποφόρων δένδρων που έχει να επισκεφτεί, την συνολική απόσταση που έχει ο αγρότης να διανύσει κ.α.

Η επόμενη κατηγορία κατανομής εργασιών που βασίζεται σε βίο-εμπνευσμένους είναι η κατανομή με βάση Γενετικούς Αλγορίθμους [22]. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι αλγόριθμοι ευριστικής αναζήτησης. Η μεθοδολογία τους μοιάζει αρκετά με την διαδικασία της εξέλιξης της

Βιολογίας. Η εξέλιξη των ειδών αρχίζει τυχαία από έναν πληθυσμό και συνεχίζεται από τη μία γενιά στην άλλη. Σε κάθε διαδικασία εξέλιξης ελέγχεται αν είναι κατάλληλα τα άτομα αυτής της γενιάς που εξελίσσεται και σχηματίζεται ένας νέος πληθυσμός. Με την εξέλιξη τους ενδέχεται να έχουν υπάρξει τροποποιήσεις στα άτομα του πληθυσμού με στόχο την ποιοτική βελτίωση των ατόμων του καινούριου πληθυσμού. Αυτό επαναλαμβάνεται διαρκώς, δηλαδή γίνεται χρήση του προηγούμενου πληθυσμού για τον σχηματισμό του επόμενου. Η διαδικασία της εξέλιξης συνεχίζεται μέχρι να γίνει βέλτιστο το επίπεδο υγείας και ποιότητας του πληθυσμού. Κατανομή εργασίας που βασίζεται σε γενετικούς αλγορίθμους γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

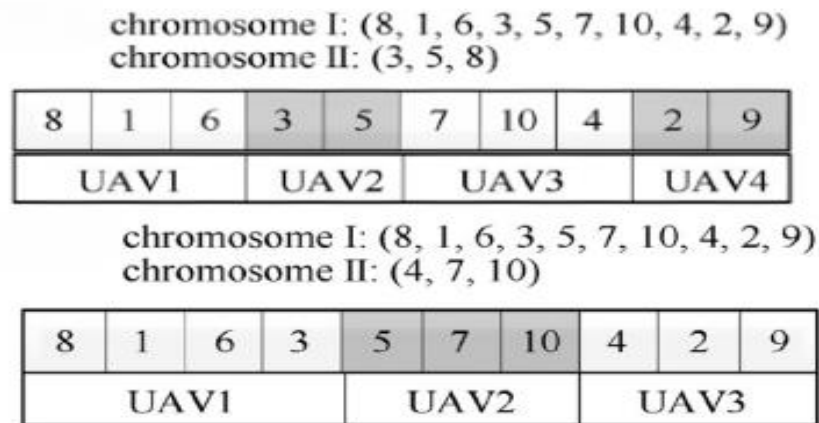
- Συνεργατική ανάθεση πολλών εργασιών με Γενετικό Αλγόριθμο (Cooperative Multiple Task Assignment Problem with Genetic Algorithm CMTAP-GA [23]) : Μέθοδος που εφαρμόζεται συνήθως σε σμήνος που αποτελείται από drones με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Στόχος της ανάθεσης αυτής είναι μια γρήγορη λύση και μετά κάποιο χρονικό διάστημα να συγκλίνει κοντά στην βέλτιστη λύση. Για να οδηγηθεί σε μια σωστή λύση, στον συγκεκριμένο αλγόριθμο ανάθεσης λαμβάνονται υπόψιν οι χρονικοί περιορισμοί για την ολοκλήρωση της εργασίας, οι τροχιές που πρέπει να ακολουθήσουν τα drones του συστήματος και η ύπαρξη μιας σειράς σε κάθε βήμα του αλγορίθμου. Στην ανάθεση πολλών εργασιών με γενετικό αλγόριθμο έχει προηγηθεί η αναζήτηση του περιβάλλοντος και είναι γνωστοί οι στόχοι του συστήματος, ο αριθμός των drones που κάνουν κάποια εργασία στον εκάστοτε στόχο και ο αριθμός των εργασιών που γίνονται. Για την έναρξη και κατά συνέπεια ολοκλήρωση της εργασίας πρέπει να γίνει σωστή αναγνώριση του στόχου από μια σχετική απόσταση. Αφού γίνει ταξινόμηση των στόχων από το drone, ακολούθως το drone κάνει επίθεση με τα κατάλληλα όπλα και γίνεται εκτίμηση και επαλήθευση της ζημιάς. Αν έχει επιτευχθεί το ζητούμενο με την ανάθεση τότε η κατανομή έχει ολοκληρωθεί καταλλήλως. Αν όχι, τότε γίνεται επανεκτίμηση του αλγορίθμου και των παραμέτρων που έχει.
- Συνεργατική ανάθεση εργασιών με βάση τροποποιημένους Γενετικούς Αλγόριθμους (Modified GA-based Cooperative Task Assignment MGA-CTA [24]) : Στους συγκεκριμένους αλγορίθμους γίνεται κωδικοποίηση χρωμοσωμάτων με βάση του τύπο της εργασίας που θα εκτελεστεί για να γίνονται πιο αντιληπτές οι απαιτήσεις των εργασιών καθώς και χαρακτηριστικά των drones. Οι πληροφορίες που βρίσκονται μαζί με το χρωμόσωμα που τροποποιείται πρέπει και αυτές να αποθηκεύονται και να ενημερωθούν. Μέσω της αναπαράστασης καθρέφτη ενός drone του συστήματος μπορεί να γίνει αντιμετώπιση της ανάθεσης με περιορισμένους πόρους. Αυτή η διαδικασία συλλέγει δεδομένα από ένα σύνολο drone και τα αποθηκεύει για να γίνει επεξεργασία διάφορων τύπων γονιδίων.
- Το πρόβλημα συνεργατικής ανάθεσης πολλαπλών εργασιών (Cooperative Multiple Task Assignment Problem CMTAP [25]) : Ανάθεση drone σε συνεργασία για πολλές εργασίες. Εκτελείται ανάθεση εργασιών με βάση το κόστος του μήκος διαδρομής κάθε drone. Αυτό το κόστος βέβαια έχει άμεση σχέση και με τις εργασίες που έχουν ανατεθεί στο drone. Οι πράκτορες του συστήματος φροντίζουν να γίνεται σωστή χρήση των αλληλοεξαρτήσεων του συστήματος και για αυτό συντονίζουν και σε πραγματικό χρόνο τις κινήσεις που θα γίνουν.



Όλες οι εργασίες γίνονται από το σύνολο των drones σε κάθε στόχο. Η εργασία κάθε drone θα εκτελεστεί μετά από σωστή ταξινόμηση του εκάστοτε στόχου.

- Το πρόβλημα συνεργατικής ανάθεσης πολλαπλών εργασιών με στοχαστικές ταχύτητες και χρονικά παράθυρα (Cooperative Multiple Task Assignment Problem with Stochastic Velocities and Time Windows CMTAPSVTW [26]) : Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται ένας βελτιωμένος γενετικός αλγόριθμος για μια ικανή λύση σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον. Οι γενετικοί αλγόριθμοι βρίσκουν μια λύση αλλά μπορεί αυτή να μην είναι η καλύτερη. Στο πρόβλημα συνεργατικής ανάθεσης πολλαπλών εργασιών με στοχαστικές ταχύτητες και χρονικά παράθυρα η κίνηση κάθε drone του σμήνους βασίζεται στον μοντέλου αυτοκινήτου του Dubin (Dubin's car model [27]). Αυτό το μοντέλο ουσιαστικά δέχεται ως εισόδους τις αρχικές και τελικές συντεταγμένες ενός απλού αυτοκινήτου, την αρχική και τελική ταχύτητα που έχει, την ελάχιστη ακτίνα στροφής του οχήματος και την ακτίνα του κυκλικού εμποδίου. Αν εφαρμοστεί πετυχημένα το μοντέλο αυτό, σαν αποτέλεσμα θα δώσει το μήκος της μικρότερης διαδρομής, στην περίπτωση μας την ελάχιστη διαδρομή που θέλει το drone για να φτάσει στον στόχο του. Για να τηρηθούν οι περιορισμοί λοιπόν στην προτεραιότητα των εργασιών του συστήματος θα πρέπει να δημιουργηθούν επιπλέον δύο πτήσεις για ελιγμούς, να αποφεύγουν τυχόν εμπόδια που μπορούν να βρεθούν στην πορεία τους, ώστε να μπορούν να δημιουργηθούν και να συντονίζονται πραγματικές διαδρομές για τα drone.
- Κατανομή με γενετικό αλγόριθμο βασισμένο στην αναζήτηση κεραιών σκαθαριών (Beetle Antennae Search with GA BAS-GA [28]) : Ο αλγόριθμος αναζήτησης κεραιών σκαθαριών που όπως δείχνει και το όνομα του μελετάει την συμπεριφορά των σκαθαριών στην διαδικασία αναζήτησης τροφής στο περιβάλλον. Με τον αλγόριθμο αυτόν βρίσκουμε μια λύση με πιο λίγους υπολογισμούς. Μέσω αυτού του αλγορίθμου γίνεται αντιστοιχία ενός drone με τον στόχο του. Αρχικά κατασκευάζεται ένα τυχαίο μονοπάτι και μέσω του αλγορίθμου αναζήτησης κεραιών σκαθαριών γίνεται αναζήτηση της βέλτιστης διαδρομής και η δημιουργία της καινούριας τροχιάς. Σε αυτή τη διαδρομή λαμβάνονται υπόψιν μεταβλητές όπως το μήκος που θα διανύσει το drone μέχρι να φτάσει στον στόχο, το κόστος, η αποφυγή των εμποδίων αλλά και άλλοι παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν κίνδυνο, όπως είναι δύσκολες καιρικές συνθήκες (βροχή, χαλάζι), η κατανάλωση της ενέργειας ή ακόμα και η ανθρώπινη παρουσία. Αν η εφαρμογή του αλγορίθμου ήταν πετυχημένη τότε σταματάει η σχεδίαση μονοπατιών. Αν όχι, ο αλγόριθμος ξεκινάει ξανά και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι να βρεθεί η καλύτερη τροχιά.
- Ανάθεση εργασιών με χρήση Γενετικού αλγορίθμου που βασίζεται στην αντίθεση με χρήση κωδικοποίησης διπλών χρωμοσωμάτων και τελεστές πολλαπλών μεταλλάξεων (Opposition-based GA Using Double-Chromosomes Encoding and Multiple Mutation Operators (OGA-DEMMO [29]) : Οι στόχοι των drones εδώ ταξινομούνται με τον συγκεκριμένο τρόπο: Υπάρχουν οι σημειακοί στόχοι, δηλαδή στόχοι που έχουν μικρό μέγεθος και μπορούν να καλυφθούν πλήρως από τον αισθητήρα του drone, όταν αυτό πετάει από πάνω του. Τέτοιοι στόχοι θεωρούνται τα κτίρια που βρίσκονται στο έδαφος καθώς και άλλα οχήματα. Ένα άλλο είδος στόχου θεωρούνται οι γραμμικοί στόχοι, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερο μήκος αναγνώρισης από αυτό του drone όμως έχουν μικρότερο πλάτος. Τέτοιοι στόχοι είναι συνήθως μεγάλες ευθείες όπως τα ποτάμια, οι σιδηρόδρομοι κ.α. Συνήθως οι γραμμικοί

στόχοι έχουν δύο εισόδους στην αρχή και στο τέρμα τους που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για να γίνει σωστή αναγνώριση του στόχου. Τέλος υπάρχουν και οι στόχοι περιοχής (Area Targets) με ακαθόριστο σχήμα έχουν μεγαλύτερο μήκος και πλάτος από αυτό που μπορεί να καλύψει ένα drone. Για να γίνει η αναγνώριση το drone πρέπει να διασχίσει το σχήμα αυτό ώστε να καλύψει εν τέλει την περιοχή αυτήν. Τέτοιοι στόχοι είναι λίμνες ή ολόκληρες πόλεις. Γενικά οι στόχοι κατανομονται με βάση το γεωμετρικό του σχήμα και το μέγεθος τους. Για την επίλυση τέτοιων ζητημάτων υλοποιήθηκε αυτός ο αλγόριθμος, ο οποίος έχει στόχο την καλύτερη ανάθεση εργασιών στο σμήνος, με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και βελτίωση της ικανότητας εξερεύνησης των drones. Η υλοποίηση του αλγορίθμου έχει εφτά βήματα. Στο πρώτο βήμα της αρχικοποίησης δημιουργείται τυχαία ένας πληθυσμός που αποτελείται από  $N_p$  άτομα, λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς κάθε drone καθώς και των πόρων τους και στο δεύτερο βήμα της αντίθεσης γίνεται η δημιουργία ενός αντίθετου πληθυσμού για να σχηματιστεί η πρώτη γενιά με τα μισά καλύτερα άτομα σε φυσική κατάσταση από τον αρχικό πληθυσμό και τα μισά από τον αντίθετο. Τρίτο βήμα αποτελεί η επιλογή όπου επιλέγονται σε γονικό πληθυσμό άτομα με τον αλγόριθμο επιλογής ρουλέτας (roulette wheel method) όπου ουσιαστικά τα άτομα χωρίζονται σε κομμάτια μιας ρουλέτας και επιλέγονται κάποια από αυτά. Συνήθως επιλέγονται τα άτομα με την καλύτερη υγεία. Η διαδικασία της επιλογής σταματάει όταν ο γονικός πληθυσμός θα φτάσει σε μέγεθος των πληθυσμό που σχημάτισαν ο αρχικός και ο αντίθετος πληθυσμός. Στο επόμενο βήμα της διασταύρωσης, δύο άτομα του γονικού πληθυσμού που έχει πλέον σχηματιστεί συνδυάζονται για την δημιουργία ενός καινούριου ατόμου. Το καινούριο αυτό άτομα θα κληρονομήσει πολλά θετικά από τα γονικά του και είναι πιθανόν να είναι καλύτερο από αυτά. Μετά ακολουθεί το βήμα της μετάλλαξης, τα γονίδια των ατόμων ίσως δέχονται κάποιες αλλαγές για την δημιουργία νέων απογόνων. Δημιουργούνται βέβαια και αντίθετα άτομα απογόνων όπως έγινε στα πρώτα δύο βήματα και όπως στην αρχή επιλέγονται τα μισά των απογόνων και τα μισά των αντίθετων με καλύτερη υγεία για τον σχηματισμό του νέου πληθυσμού. Αν ο πληθυσμός που σχηματίστηκε από τους απογόνους έχει πετύχει και εκπληρώνει τα πιθανά κριτήρια που θέλουμε τότε ο αλγόριθμος σταματά να εκτελείται, σε διαφορετική περίπτωση γίνεται καινούρια απόπειρα μέχρι να βρεθεί η κατάλληλη λύση. Όσον αφορά τον αλγόριθμο κωδικοποίησης διπλών χρωμοσωμάτων αυτός χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των στόχων από τα drones. Το πρώτο χρωμόσωμα δείχνει τους στόχους και το drone με τους οποίους θα αντιστοιχιστούν για αναγνώριση. Το δεύτερο δείχνει τον αριθμό του στόχου στον οποίο θα γίνει η αλλαγή του drone και θα ανατεθούν στο επόμενο drone οι επερχόμενοι στόχοι.



Εικόνα 2: Χρήση κωδικοποίησης διπλών χρωμοσωμάτων. Το πρώτο χρωμόσωμα δείχνει τους στόχους και το δεύτερο το σημείο που αλλάζει το drone για την αναγνώριση [29].

Η τελευταία κατηγορία βιο-εμπνευσμένων αλγορίθμων για κατανομή εργασιών είναι οι αλγόριθμοι νευρωνικών δικτύων (Neural Networks [30]). Τα νευρωνικά δίκτυα ή Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι μια πιο απλή απεικόνιση ενός βιολογικού νευρωνικού δικτύου. Είναι μαθησιακά μοντέλα, δηλαδή εκπαιδεύονται με βάση τα δεδομένα που παίρνουν και αποτελούνται από τρία είδη επιπέδων. Το πρώτο είναι το επίπεδο εισόδου, όπου εκεί βρίσκονται τα δεδομένα που δέχεται το δίκτυο. Το δεύτερο είδος περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα κρυφά επίπεδα και βρίσκονται ανάμεσα στα επίπεδα εισόδου και εξόδου. Η εφαρμογή τους δεν φαίνεται έξω από το δίκτυο. Δέχονται ως είσοδο τα δεδομένα που υπάρχουν στο πρώτο επίπεδο με ένα βάρος, ένα νούμερο που δείχνει ποιο δεδομένο έχει περισσότερη σημασία από το άλλο. Το τελευταίο είδος επιπέδου είναι το επίπεδο εξόδου, όπου εμφανίζεται το αποτέλεσμα με βάση όλα τα δεδομένα που έχει το δίκτυο αλλά και την επεξεργασία που αυτά έχουν υποστεί. Τα περισσότερα νευρωνικά δίκτυα είναι πλήρως συνδεδεμένα, δηλαδή όλοι οι είσοδοι στο επίπεδο εισόδου συνδέονται με όλα τα κρυφά επίπεδα και τα κρυφά επίπεδα συνδέονται με όλες τις εξόδους. Ωστόσο υπάρχουν και δίκτυα που δεν είναι πλήρως συνδεδεμένα, όπου όλα τα προηγούμενα επίπεδα δεν συνδέονται με τα αμέσως επόμενα τους. Ένας αλγόριθμος νευρωνικού δικτύου για κατανομή εργασιών είναι ο αλγόριθμος γρήγορης ανάθεσης εργασιών (Fast Task Assignment FTA [31]). Σε ένα σύνολο  $T$  τοποθετούνται μέσα κατά προτεραιότητα όλες οι εκκρεμείς εργασίες και λαμβάνονται υπόψιν και οι πιθανώς δύσκολες συνθήκες του περιβάλλοντος σε ένα άλλο σύνολο όπως ισχυρή βροχόπτωση ή ισχυροί άνεμοι, που μπορούν να δυσκολέψουν την πορεία των drones. Το drone για να ολοκληρώσει μια εργασία μπορεί να πραγματοποιήσει επίθεση, ή άμυνα ή να ενοχλήσει με ηλεκτρονικό τρόπο τον εχθρό από το να αντιληφθεί τις κινήσεις του drone προς αυτόν. Με την βοήθεια τον αλγόριθμο μάθησης Q (Q-learning algorithm), έναν αλγόριθμο ενισχυτικής μάθησης που επιτρέπει στα drones του συστήματος να μαθαίνουν πράγματα όσο εξερευνούν το περιβάλλον, γίνεται κατάλληλα η κατανομή εργασιών στο σύστημα, αφού επιλέγονται τα drones που καταναλώνουν πόρους εντός ορίων για κάθε εργασία και είναι μικρότερη η κατανάλωση από το όριο (Threshold) που έχει θέσει ο χρήστης.

**Πίνακας 2: Σύγκριση των Βιο-Εμπνευσμένων αλγορίθμων κατανομής.**

<b>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ</b>	<b>ΕΙΔΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ</b>	<b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>
Συνεργατική Ανάθεση Καθηκόντων (Cooperative Task Assignment CTA)	Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους ή νοημοσύνης σμήνους.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αποτελεσματική κατανομή υπό πολλούς περιορισμούς και συνθήκες των drones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μη πρακτική λύση καθώς δεν λαμβάνονται υπόψιν οι περιορισμοί του περιβάλλοντος.</li> </ul>
Κατανομή με τον αλγόριθμο εύρεσης καλύτερων δυνατών διαθέσιμων χρόνων με βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (Earliest available time with Partial Swarm Optimization EAT- PSO)	Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους ή νοημοσύνης σμήνους.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μικρή χρονική διάρκεια για την ολοκλήρωση της εργασίας.</li> <li>Μικρός υπολογιστικός χρόνος για να βρεθεί μια κατάλληλη λύση.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ένα drone μπορεί να καταλάβει μια συγκεκριμένη θέση αγνοώντας άλλα οχήματα ή άλλα γεγονότα που μπορεί να συμβαίνουν εκεί.</li> </ul>
Κατανομή με αλγορίθμους συλλογής σπωρώνων (Orchard Picking Algorithms OPA)	Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους ή νοημοσύνης σμήνους.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μικρός χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου.</li> <li>Γρήγορη εύρεση κατάλληλης λύσης.</li> <li>Αποφυγή λειτουργιών με υψηλό κόστος.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δεν λαμβάνονται υπόψιν πιθανοί κίνδυνοι του περιβάλλοντος που μπορεί να εμφανιστούν.</li> </ul>
Συνεργατική ανάθεση πολλών εργασιών με Γενετικό Αλγόριθμο (Cooperative Multiple Task Assignment Problem with GA CMTAP-GA)	Γενετικός Αλγόριθμος	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εύρεση πρακτικών λύσεων που υλοποιούνται και σε πραγματικό χρόνο.</li> <li>Λαμβάνονται υπόψιν περιορισμοί,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μείωση απόδοσης σε δύσκολους χώρους για αναγνώριση.</li> </ul>

		όπως η τροχιά που πρέπει να ακολουθηθεί, χρονικοί περιορισμοί.	
Συνεργατική ανάθεση εργασιών με βάση τροποποιημένους Γενετικούς Αλγόριθμους (Modified GA-based Cooperative Task Assignment MGA-CTA)	Γενετικός Αλγόριθμος	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Γνωρίζει την διαφορετικότητα των drones του συστήματος και του περιβάλλοντος. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Χρήση αναπαράστασης καθρέφτης για τους περιορισμένους πόρους.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λαμβάνονται υπόψιν μόνο οι στατικοί στόχοι.</li> <li>• Λαμβάνεται υπόψιν μόνο ένα είδος όπλου.</li> </ul>
Το πρόβλημα συνεργατικής ανάθεσης πολλαπλών εργασιών (Cooperative Multiple Task Assignment Problem CMTAP)	Γενετικός Αλγόριθμος	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επίλυση θεμάτων με μικρή υπολογιστική πολυπλοκότητα.</li> <li>• Λαμβάνονται υπόψιν περιορισμοί χρόνου και στις εργασίες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν λαμβάνονται υπόψιν στις πτήσεις απειλές του περιβάλλοντος.</li> <li>• Αγνοείται η διαφορετικότητα των drones και των εργασιών.</li> </ul>
Το πρόβλημα συνεργατικής ανάθεσης πολλαπλών εργασιών με στοχαστικές ταχύτητες και χρονικά παράθυρα (Cooperative Multiple Task Assignment Problem with Stochastic Velocities and Time Windows CMTAPSVTW)	Γενετικός Αλγόριθμος	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αναλογίζονται οι περιορισμοί στις κινήσεις του συστήματος για κάθε drone, στους χρόνους για την ολοκλήρωση των εργασιών και στους πόρους του συστήματος.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Στην εκτέλεση του δεν υπολογίζονται εμπόδια στο έδαφος ,κακοκαιρία.</li> </ul>
Κατανομή με γενετικό αλγόριθμο βασισμένο στην	Γενετικός Αλγόριθμος	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλύτερη τοπική αναζήτηση.</li> <li>• Εκπλήρωση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν εξετάζονται οι κινήσεις των drones και επηρεάζεται η απόδοση του</li> </ul>

αναζήτηση κεραιών σκαθαριών (Beetle Antennae Search with GA BAS-GA)		<p>μικρών και μεγάλων εργασιών.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Απαιτείται λιγότερος χρόνος για να επιτευχθεί η κατάσταση σύγκλισης στο σύστημα.</li> </ul>	<p>συστήματος από τις απειλές του περιβάλλοντος.</p>
Ανάθεση εργασιών με χρήση Γενετικού αλγορίθμου που βασίζεται στην αντίθεση με χρήση κωδικοποίησης διπλών χρωμοσωμάτων και τελεστές πολλαπλών μεταλλάξεων (Opposition-based GA Using Double-Chromosomes Encoding and Multiple Mutation Operators (OGA-DEMMO))	Γενετικός Αλγόριθμος	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μειωμένος χρόνος εκτέλεσης.</li> <li>• Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας του συστήματος.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν εξετάζονται περιορισμοί στην αναγνώριση.</li> </ul>
Αλγόριθμος γρήγορης ανάθεσης εργασιών (Fast Task Assignment FTA)	Αλγόριθμος Νευρωνικού Δικτύου	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ιδιαίτερα γρήγορη και αποτελεσματική μέθοδος.</li> <li>• Μπορεί να ολοκληρώσει διάφορα είδη εργασιών.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υπολογίζει μόνο τους στόχους που είναι ακίνητοι.</li> </ul>

### 2.1.3 Κατανεμημένοι αλγόριθμοι (Distributed)

Η λειτουργία των κατανεμημένων αλγορίθμων [32] είναι η ακριβώς αντίθετη από αυτήν των κεντροποιημένων. Όπως αναλύθηκε προηγουμένως στους κεντροποιημένους αλγορίθμους χρειάζεται ένας κεντρικός σχεδιαστής συλλέγει πληροφορίες από όλα τα drones του συστήματος και στη συνέχεια ανάλογα και με τα χαρακτηριστικά τους μοιράζει τις εργασίες και τους πόρους στο

εκάστοτε drone. Στους κατανεμημένους αλγορίθμους λοιπόν δεν υπάρχει ένας τέτοιος σχεδιαστής. Κάθε drone αποθηκεύει τοπικά για τον εαυτό του τα δεδομένα και τις εργασίες που του έχουν ανατεθεί χωρίς να γνωρίζει τις πληροφορίες που έχουν τα υπόλοιπα ούτε τις κινήσεις και τα χαρακτηριστικά των υπολοίπων και αρχίζουν ταυτόχρονα την εκτέλεση των εργασιών τους. Σε σχέση με τους κεντροποιημένους αλγορίθμους οι κατανεμημένοι υπερτερούν στο ότι έχουν χαμηλότερο κόστος και στην πιο έγκαιρη ανταπόκριση σε αλλαγές που μπορούν να προκύψουν. Για κατανομή εργασιών σε ένα σμήνος drone υπάρχουν τρεις κατανεμημένοι αλγόριθμοι. Αυτοί είναι ο αλγόριθμος ανάθεσης εργασιών πολλαπλών περιορισμών με βάση τους αλγορίθμους δημοπρασίας δημοπρασία, Αλγόριθμος ισχυρής αποκεντρωμένης κατανομής εργασίας και ο αλγόριθμος κατανομής που βασίζεται στην συναίνεση.

- Αλγόριθμος ισχυρής αποκεντρωμένης κατανομής εργασίας (Robust Decentralized Task Assignment RDTA [33] ) : Ο αλγόριθμος χωρίζεται σε δύο στάδια. Το πρώτο είναι το στάδιο πληροφόρησης (Information update). Τα drones του συστήματος επικοινωνούν μεταξύ τους για να σιγουρέψουν την συνεκτικότητα των πληροφοριών που έχουν συγκεντρώσει για την δημιουργία νέων σχεδίων. Λόγω θορύβου όμως μεταξύ των επικοινωνιών και αργών ρυθμών σύγκλισης σε κάποιο δυναμικό περιβάλλον δεν επιτρέπει συνήθως την επίτευξη ο επιθυμητός βαθμός συναίνεσης. Αν σε χρόνο  $t$  οι πληροφορίες του drone με δείκτη  $i$  εκφράζονται ως εξής:

$$li(t + 1) = li(t) + \sum_{j=1}^{Nv} \sigma_{ij} G_{ij} (t) (I_j(t) - I_i(t)) \quad (6)$$

Όπως είναι φανερό από την εξίσωση η πληροφορία του κάθε drone εξαρτώνται άμεσα από τον χρόνο. Το  $G(t)$  αναπαριστά το δίκτυο επικοινωνίας του συστήματος και τα  $\sigma_{ij}$  είναι θετικές σταθερές που εκφράζουν την εμπιστοσύνη του drone με δείκτη  $i$  προς το drone με δείκτη  $j$  για τις πληροφορίες που λαμβάνουν. Το  $G_{ij}$  έχει τιμή 1 αν επικοινωνούν άμεσα τα drones με δείκτη  $i$  και  $j$ , αλλιώς παίρνει τιμή 0. Χωρίς τον επιθυμητό βαθμό συναίνεσης είναι πιθανό να δημιουργούνται σχέδια με ατέλειες και ακόμα και συγκρούσεις μεταξύ των drones ή με άλλα εμπόδια του περιβάλλοντος. Αυτό το πρόβλημα προλαβαίνει το δεύτερο στάδιο του αλγορίθμου, όπου με βάση τις πληροφορίες που πλέον έχουν συλλεχθεί δημιουργούν τα πιο εφικτά σχέδια για να ακολουθήσει το σύστημα.

- Αλγόριθμος ανάθεσης εργασιών πολλαπλών περιορισμών με βάση αλγορίθμους δημοπρασίας (Auction-based Multiple Constraints Task Assignment ABMC-TA [34] [35] ) : Η κατανομή ξεκινάει με την χρήση αλγορίθμου δημοπρασίας. Όπως δείχνει και το όνομα τους, η διαδικασία βασίζεται στην μέθοδο μιας κοινής δημοπρασίας. Συγκεκριμένα, ξεκινάει με το κάθε drone να κάνει μια προσφορά για να πάρει μια καινούρια εργασία. Η ανάθεση ασφαλώς γίνεται με βάση τις τιμές που έχει δώσει το κάθε drone για να πάρει την εργασία. Η τιμή αυτή έχει άμεση σχέση με το κόστος που θα έχει όλη η διαδικασία που κάνει την προσφορά για την εργασία και την ανταμοιβή που θα λάβει από την εργασία όταν θα την ολοκληρώσει. Η σχέση αυτή ανάμεσα σε αυτές τις τρεις τιμές είναι:  $p = r - c$ , όπου με  $p$  είναι το ποσό της προσφοράς που κάνει το drone,  $r$  η ανταμοιβή της εργασίας που θα έχει το drone μετά την διεκπεραίωση της εργασίας και  $c$  το κόστος που θα υπάρχει. Για τον υπολογισμό του κόστους λαμβάνονται υπόψιν τέσσερις περιορισμοί που το επηρεάζουν. Ένας περιορισμός είναι ο περιορισμός χρόνου. Αν το χρονικό περιθώριο της εργασίας υπερβαίνει

αυτό των εργασιών που βρίσκεται στην λίστα των drones τότε σταματάει να ανανεώνεται το κόστος, ενώ θα συνεχίζεται η ανανέωση σε άλλη περίπτωση. Ο δεύτερος περιορισμός είναι περιορισμοί στους αισθητήρες. Όπως και στον χρονικό περιορισμό έτσι και στους αισθητήρες γίνεται σύγκριση με τον υπάρχον αισθητήρα του drone και τον απαιτούμενο αισθητήρα για την εργασία, δηλαδή γίνεται σύγκριση του τύπου του αισθητήρα, το πεδίο ορατότητας που έχει, τον αριθμό των ελάχιστων διακριτών εικονοστοιχείων και η ικανότητα ανάλυσης που έχει ο αισθητήρας. Το κόστος λοιπόν εδώ ανανεώνεται όσο αυτά τα τέσσερα μεγέθη δεν είναι τα απαιτούμενα για την εκπλήρωση της εργασίας. Αν είναι τα απαιτούμενα, τότε η ανανέωση του κόστους σταματά. Τρίτος περιορισμός είναι περιορισμός στο κόστος των καυσίμων. Είναι μια διαδικασία όπου η κατανομή εργασιών γίνεται με βάση να γίνει ελάχιστο το κόστος των καυσίμων. Υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση από το σημείο που αρχίζει μια εργασία το σύστημα μέχρι το σημείο της επόμενης εργασίας. Ο τελευταίος περιορισμός αφορά τους κινδύνους που μπορεί να συναντήσει ένα drone όταν αναλαμβάνει μια καινούρια εργασία. Οι κίνδυνοι που μπορεί να συναντήσει ένα drone διαφέρουν ως προς τον βαθμό επικινδυνότητας τους, δηλαδή κάποιος έχει μεγαλύτερο βαθμό από τους άλλους κινδύνους. Ο συνολικός βαθμός επικινδυνότητας που θα συναντήσει ένα drone από μια εργασία σε μια άλλη εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$dr = \sum_{k=1}^M h_k d_k \quad (7)$$

όπου το  $M$  είναι ο αριθμός των κινδύνων που θα συναντήσει μέχρι να φτάσει το drone,  $h_k$  είναι ο βαθμός επικινδυνότητας του κάθε κινδύνου που θα βρεθεί και  $d_k$  το σημείο που θα συναντηθεί το drone με τον κάθε κίνδυνο. Υπολογίζεται το κόστος για κάθε  $i$  εντός ενός επιθυμητού διαστήματος μέσω της σχέσης:

$$C_i = W_f C_f + W_d d_{ri} \quad (8)$$

όπου τα  $W_f$ ,  $W_d$  είναι βάρη για το κόστος καυσίμων και του κινδύνου. Είναι επίσης δύο καθαρά θετικές τιμές (δεν μπορεί να είναι μηδέν) και το άθροισμα τους είναι ένα. Με  $C_f$  εκφράζεται το κόστος καυσίμων και με  $d_{ri}$  ο βαθμός επικινδυνότητας. Το συνολικό κόστος λοιπόν θα είναι  $C = \min |C_i|$  (9).

Με την εύρεση του συνολικού κόστους πλέον το κάθε drone θα μπορεί να κάνει μια προσφορά για να αναλάβει αυτό μια καινούρια εργασία. Την απόφαση για το ποιο drone θα αναλάβει μια εργασία θα κριθεί από τον αλγόριθμο δημοπρασίας.

- Κατανομή με αλγόριθμους δέσμης που βασίζονται στην συναίνεση (Consensus-based Bundle Algorithm CBBA [36]) : Με αυτούς τους αλγόριθμους συγκεντρώνονται πληροφορίες που δεν είναι όμοιες μεταξύ τους. Ωστόσο και πάλι γίνεται η ανάθεση κατάλληλα και δεν δημιουργούνται συγκρούσεις στο σύστημα. Για να μην υπάρχουν συγκρούσεις δημιουργείται μια συναινετική σχέση στα drone του σμήνους με βάση την τοπική επικοινωνία που έχουν. Η ανάθεση εργασιών με βάση τους συγκεκριμένους αλγόριθμους εκφράζεται μαθηματικά με τον εξής τρόπο  $\max \sum_{i=1}^{Nu} (\sum_{j=1}^{Nt} C_{ij}(X_i, Y_i) X_{ij})$  (10).

Η μεταβλητή  $Nu$  δείχνει τον αριθμό πρακτόρων, στην συγκεκριμένη περίπτωση δείχνει τον



αριθμό των drones που υπάρχουν στο σμήνος και η μεταβλητή  $N_t$  τον αριθμό των εργασιών που υπάρχουν. Το  $X_{ij}$  θα είναι ίσο με 1 εφόσον το drone με δείκτη  $i$  έχει ανατεθεί να εκπληρώσει την εργασία με δείκτη  $j$ . Η συνάρτηση  $C_{ij}(x_i, p_i)$  είναι μια συνάρτηση βαθμολογίας και είναι μια θετική συνάρτηση ανεξάρτητα από τις τιμές που θα λάβει. Τέλος η μεταβλητή  $p_i$  είναι ένα σύνολο με τις εργασίες σε σειρά για το drone με δείκτη  $i$  και η  $x_i$  είναι ένα σύνολο που έχει για στοιχείο του με δείκτη  $j$  το στοιχείο  $X_{ij}$ .

Παρακάτω όπως και στο προηγούμενο είδος αλγορίθμων γίνεται σύγκριση των Κατανεμημένων Αλγορίθμων με χρήση πίνακα.

**Πίνακας 3: Σύγκριση των Κατανεμημένων Αλγορίθμων Κατανομών Εργασιών.**

<b>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ</b>	<b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>
Αλγόριθμος ισχυρής αποκεντρωμένης κατανομής εργασίας (Robust Decentralized Task Assignment RDTA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αυξημένη απόδοση του συνόλου.</li> <li>• Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε ασυνέπειες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αγνοούνται επιπτώσεις από το άγνωστο περιβάλλον που μπορεί να αλλάξουν την απόδοση των drones.</li> </ul>
Αλγόριθμος ανάθεσης εργασιών πολλαπλών περιορισμών με βάση αλγορίθμους δημοπρασίας (Auction-based Multiple Constraints Task Assignment ABMC-TA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λύνει με πολύ καλό τρόπο θέματα στην ανάθεση εργασιών, όπου υπάρχουν πολλοί περιορισμοί στο σύστημα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αγνοούνται δυνάμεις από το περιβάλλον που μπορεί να επηρεάσουν την πτήση των drones.</li> </ul>
Κατανομή με αλγορίθμους δέσμης που βασίζονται στην συναίνεση (Consensus-based Bundle Algorithm CBBA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λύνει λειτουργικά θέματα του σμήνους.</li> <li>• Φροντίζει να μην υπάρχουν συγκρούσεις στο σμήνος.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ίσως δεν αναγνωριστούν όλοι οι στόχοι και εξακολουθούν να υπάρχουν εξωτερικές απειλές.</li> </ul>

#### 2.1.4 Αλγόριθμοι βασισμένοι στην πολλαπλή σύντηξη (Multi-Fusion Based)

Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι ουσιαστικά αποτελούν τον συνδυασμό δύο ή και παραπάνω μεθόδων από τους παραπάνω αλγορίθμους που αναλύθηκαν. Αυτή η μέθοδος προσπαθεί να εκμεταλλευτεί το γεγονός πως τα μειονεκτήματα που πιθανόν να έχει ένα είδος αλγορίθμου μπορεί να καλυφθεί από κάποιο από τα πλεονεκτήματα του αλγορίθμου με τον οποίο συνδυάζεται. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η εύρεση μιας πιο αποτελεσματικής και καλύτερης λύσης

για την κατανομή. Τρεις τρόποι κατανομών εργασίας παρουσιάζονται με βάση αλγορίθμους πολλαπλής σύντηξης. Πρώτη είναι η Ενεργειακά αποδοτική κατανομή πολλών drone υποβοηθούμενη από υπολογιστική αιχμής πολλαπλής πρόσβασης, δεύτερη είναι η κατανομή με πολλαπλά χρονικά παράθυρα βασισμένη στο πρόβλημα πλανόδιου πωλητή του Dubin και τρίτη είναι η ανθεκτική Κατανομή εργασιών με εφαρμογή φίλτρου.

- Ενεργειακά αποδοτική κατανομή πολλών drone υποβοηθούμενη από υπολογιστική αιχμής πολλαπλής πρόσβασης (Energy-Efficient Multi-UAV Assisted Multi- Access Edge Computing EMU-MEC [37] ) : Η συνδυαστική αυτή μέθοδος δημιουργήθηκε με στόχο να περιορίσει την κατανάλωση ενέργειας του σμήνους. Φροντίζει επίσης να μην εξαντληθούν οι πόροι κάθε drone και να τηρούνται οι προθεσμίες των εργασιών που ανατίθενται. Τα drone δίνουν υπηρεσίες υπολογιστικής αιχμής σε πρώτη φάση σε κινητές συσκευές, οι οποίες έχουν λίγους πόρους και περιορισμένη ισχύ. Με αυτό τον τρόπο τα βοηθούν να εκτελέσουν από μόνα τους τοπικά υπολογιστικές εργασίες. Έτσι θα υπάρξει ελάττωση της ενέργειας και των κινητών συσκευών αλλά και των drones. Σε δεύτερη φάση δημιουργείται ένα ενιαίο πρόβλημα κατανομής υπολογιστικών πόρων, σωστής ανάθεσης εργασιών και συσχέτισης συσκευών. Αυτό το ενιαίο πρόβλημα το αναλύουμε σε μικρότερα προβλήματα για την πιο εύκολη επίλυση τους.
- Κατανομή με πολλαπλά χρονικά παράθυρα βασισμένη στο πρόβλημα πλανόδιου πωλητή του Dubin (Multiple Time-Window-based Dubins Traveling Salesmen Problem (MTWDTSP [38] [39] ) : Είναι μια εξελιγμένη μορφή του προβλήματος πλανόδιου πωλητή. Εδώ λαμβάνονται υπόψιν και χρονικά περιθώρια για την ολοκλήρωση των εργασιών. Το πρόβλημα πλανόδιου πωλητή του Dubin λαμβάνει τέσσερα πράγματα ως δεδομένα. Θεωρεί λοιπόν ότι η ταχύτητα που έχουν τα drones όταν πετάνε είναι σταθερή, ότι κάνουν πορεία για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ότι εκτελούν αναγνώριση όταν βρίσκονται σε κάποιο συγκεκριμένο ύψος από τον στόχο και φροντίζει τα drones να πετάνε σε διαφορετικό ύψος μεταξύ τους για να μην υπάρχουν συγκρούσεις στο σμήνος. Η αναγνώριση ενός επίγειου στόχου θα ολοκληρωθεί από τον αισθητήρα του drone όταν αυτό βρίσκεται ψηλά πάνω από αυτόν, εφόσον ο στόχος καλυφθεί ολόκληρος από το οπτικό πεδίο του αισθητήρα του drone. Ο χώρος που κινείται το drone αν τον γίνει χρήση καρτεσιανού συστήματος τριών αξόνων  $x$ ,  $y$  και  $z$  μπορούμε να το μετατρέψουμε σε σύστημα δύο αξόνων  $x$ ,  $z$  εκφράζεται με την εξής σχέση:  $S_{LI} = (x, z, \psi, V_{Li}, r_{min})$   $x = V_{Li} \cos \psi$  (11),  $\psi = cV_{Li}/r_{min}$  (12) και  $z = V_{Li} \sin \psi$  (13). Αναλύοντας τα μεγέθη των παραπάνω σχέσεων, το  $x$  και  $z$  είναι οι άξονες στους οποίους κινείται το drone,  $\psi$  η γωνία που σχηματίζεται κατά την πτήση του drone στο σύστημα  $xOz$ ,  $r_{min}$  η ελάχιστη κίνηση που θέλει να κάνει το drone ώστε να περάσει από ένα εμπόδιο και ταυτόχρονα να μην βγει εκτός πορείας,  $V_{Li}$  η σταθερή ταχύτητα που έχει το drone στην πορεία του και  $c$  ένας σταθερός αριθμός.
- Ανθεκτική Κατανομή εργασιών με εφαρμογή φίλτρου (Robust Filter Embedded Task Assignment RFETA [40] ) : Είναι ο συνδυασμός μιας ανθεκτικής κατανομής εργασιών και της κατανομής με εφαρμογή φίλτρου. Φροντίζει να χρησιμοποιούνται τα θετικά και των δύο μεθόδων για να υπερκαλυπτούν τα αρνητικά τους. Από την μία για την ανθεκτική κατανομή εργασιών έχει κίνδυνο στο να γίνει ανασύνθεση, καθώς υπολογίζει μόνο τα αποτελέσματα

που θα έχουν οι αβεβαιότητες στον καθολικό σχεδιασμό της αποστολής του σμήνους όχι όμως στις προηγούμενες αλλαγές που υπήρχαν. Από την άλλη, η εφαρμογή φίλτρου δεν έχει προβλήματα ανασυγκρότησης, ωστόσο δεν θεωρεί την αβεβαιότητα στο πρόβλημα άμεσα. Η συνδυαστική αυτή κατανομή βελτιώνει αισθητά τα προτερήματα που έχουν ξεχωριστά οι δύο αλγόριθμοι και έχει ως βασικό στόχο την αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων και ανθεκτικότητα του σμήνους και των εργασιών του κάνοντας το πιο ανθεκτικό σε πιθανές επιρροές του θορύβου.

Όπως σε κάθε είδος αλγορίθμου έτσι και στους αλγορίθμους πολλαπλής σύντηξης γίνεται σύγκριση των τριών μεθόδων που παρουσιάστηκαν παραπάνω με την μορφή πίνακα.

**Πίνακας 4: Σύγκριση των αλγορίθμων κατανομής εργασιών πολλαπλής σύντηξης.**

<b>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ</b>	<b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>
Ενεργειακά αποδοτική κατανομή πολλών drone υποβοηθούμενη από υπολογιστική αιχμής πολλαπλής πρόσβασης (Energy-Efficient Multi-UAV Assisted Multi- Access Edge Computing EMU-MEC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας του σμήνους.</li> <li>• Μείωση ενέργειας των αισθητήρων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Είναι πιθανό να γίνει εξαγωγή συμπερασμάτων και άλλων κινητών συσκευών ή άλλων drone εκτός του σμήνους.</li> </ul>
Κατανομή με πολλαπλά χρονικά παράθυρα βασισμένη στο πρόβλημα πλανόδιου πωλητή του Dubin (Multiple Time-Window-based Dubins Traveling Salesmen Problem (MTWDTSP))	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλύτερο χρονοδιάγραμμα για την εκτέλεση των εργασιών.</li> <li>• Αύξηση της ταχύτητας σύγκλισης.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αν αυξάνεται το πλήθος των drones και των εργασιών τότε αυξάνεται η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Είναι πιθανό να μην εκτελεστούν όλες οι εργασίες.</li> </ul>
Ανθεκτική Κατανομή εργασιών με εφαρμογή φίλτρου (Robust Filter Embedded Task Assignment RFETA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μετριάζει τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει ο θόρυβος.</li> <li>• Μείωση της ανασύνθεσης.</li> <li>• Ανθεκτικά αποτελέσματα σε αβέβαιο περιβάλλον.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Όταν αυτή η μέθοδος προγραμματίζεται και δέχεται πολλά στοιχεία, μειώνεται η απόδοση της.</li> </ul>

## 2.2 Σχετικές εργασίες και αποτελέσματα

Σε αυτήν την ενότητα θα αναφερθούν εργασίες για τους αλγόριθμους της ενότητας 2.1 που έχουν ήδη γίνει και θα παρουσιαστούν αποτελέσματα που είχαν οι αλγόριθμοι κατανομής. Στην πηγή [5] αναλύθηκε το πρόβλημα δυναμικής κατανομής εργασιών με έναν συνδυασμό που αποτελείται από επτά στοιχεία με την μορφή  $\{V, Sg, T, O, Mt, R, C\}$ . Συγκεκριμένα με  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_N\}$  εκφράζεται το σύνολο των Drones και με  $1, 2, \dots, N$  ο αριθμός των drones. Το  $Sg = \{S_{g1}, S_{g2}, \dots, S_{gN}\}$  είναι το σύνολο των υπο-ομάδων στο σμήνος και  $1, 2, \dots, N$  είναι ο αριθμός των υπο-ομάδων. Έπειτα με  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_{N_t}\}$  συμβολίζεται το σύνολο των στόχων και  $N_t$  είναι ο αριθμός των στόχων και  $O = \{O_1, O_2, \dots, O_{N_{OBS}}\}$  είναι το σύνολο των εμποδίων και  $N_{OBS}$  είναι ο αριθμός των εμποδίων. Το  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_{type}\}$  είναι το είδος εργασίας για κάθε στόχο και με  $N_{type}$  είναι ο πλήθος των ειδών των εργασιών. Στην περίπτωση αναγνώρισης και επίθεσης υπάρχουν δύο είδη εργασιών στο σύνολο  $M$  που είναι η παρακολούθηση και η επίθεση. Το  $R$  είναι το σύνολο μέγιστων τιμών εργασίας για την περίπτωση αναγνώρισης και επίθεσης και με  $C$  εκφράζεται το σύνολο των περιορισμών που μπορεί να έχουν τα Drones, όπως περιορισμό στο χρονικό παράθυρο ολοκλήρωσης μιας εργασίας ή περιορισμό χωρητικότητας της μπαταρίας του Drone. Η απόδοση της δυναμικής ανάθεσης εργασιών επηρεάζεται άμεσα από τον αριθμό των υπο-ομάδων που μπορεί να υπάρχουν στο σμήνος, τον αριθμό των drones σε κάθε υπο-ομάδα και τον αριθμό των στόχων. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει το αποτέλεσμα της δυναμικής κατανομής εργασιών και τον συγκρίνει με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών.

**Πίνακας 5: Σύγκριση δυναμικής κατανομής με τον αλγόριθμο Βελτιστοποίησης Αποικίας μυρμηγκιών [5].**

Αριθμός drone στο σμήνος.	Αριθμός Στόχων.	Χρόνος επίλυσης Δυναμικής Κατανομής (σε δευτερόλεπτα).	Χρόνος επίλυσης με αλγόριθμο Βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (σε δευτερόλεπτα). 50 επαναλήψεις.
50	10	1.66	41.5
100	10	1.70	59.8
150	10	1.85	74.9
150	15	2.03	88.2
150	20	3.50	124.1
200	10	1.93	96.2

Ο παραπάνω πίνακας μας δείχνει την μεγάλη διαφορά που υπάρχει σε χρόνο επίλυσης του προβλήματος με τα ίδια δεδομένα ανάμεσα στην δυναμική κατανομή και στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών.

Στην πηγή [28] εκτελείται η ανάθεση εργασιών με χρήση Γενετικού αλγορίθμου που βασίζεται στην αντίθεση με χρήση κωδικοποίησης διπλών χρωμοσωμάτων και τελεστές πολλαπλών μεταλλάξεων (OGA-DEMMO). Ο πίνακας παρακάτω δείχνει τα αποτελέσματα από 100 εκτελέσεις της OGA-DEMMO και συγκρίνει τα αποτελέσματα της με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών καθώς με τον αλγόριθμο τυχαίας αναζήτησης (Random Search RS). Τα αποτελέσματα που βγαίνουν είναι οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των βελτιστοποιημένων τιμών σε 100 εκτελέσεις, η μέση αντικειμενική τιμή και οι φορές που οδηγούνται οι αλγόριθμοι στην βέλτιστη λύση. Επίσης η στήλη NFE (Number of Function Evaluations) είναι οι φορές που ελέγχεται η συνάρτηση καταλληλότητας στην διαδικασία βελτιστοποίησης.

**Πίνακας 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων του OGA-DEMMO με τους RS και ACO [29].**

NFE	OGA-DEMMO	RS	ACO
80	412.73	412.73	412.73
	413.07	413.45	414.81
	429.66	429.66	426.80
	98	95	85
1600	526.15	526.15	526.15
	530.72	533.29	533.24
	548.31	550.24	545.67
	37	15	18
4800	526.22	526.22	526.60
	547.83	569.45	565.25
	593.50	604.85	607.53
	23	1	0

Με βάση τον πίνακα 6 λοιπόν είναι φανερό πως ο OGA-DEMMO συνεχίζει να βρίσκει βέλτιστες λύσεις ακόμα και σε προβλήματα μεγαλύτερη κλίμακας σε αντίθεση με τους άλλους δύο αλγόριθμους, οι οποίοι αρχικά βρίσκουν και αυτοί λύσεις, ωστόσο στην συνέχεια φαίνεται να δυσκολεύονται και εν τέλει να μην βρίσκουν καν κάποια λύση.

Στην πηγή [23] αναλύεται η Ανθεκτική Κατανομή εργασιών με εφαρμογή φίλτρου (Robust Filter Embedded Task Assignment RFETA). Όπως είδαμε στην ενότητα 2.1 είναι ένας συνδυασμός της Κατανομής εργασιών με εφαρμογή φίλτρου και της ανθεκτικής κατανομής. Εδώ γίνεται σύγκριση

του ρυθμού σύγκλισης του RFETA με την ανθεκτική κατανομή και τον αλγόριθμο FETA [41] ( Fairness Enforced verifying, Training and predicting Algorithm), ο οποίος είναι ένας αλγόριθμος που μπορεί να αξιολογεί εμπειρικά τα δεδομένα του πραγματικού περιβάλλοντος, ώστε να υπάρχει ασφάλεια κατά τον χρόνο πρόβλεψης αλλά μπορεί επίσης να εκπαιδεύσει μοντέλα με υψηλό βαθμό ατομικής δικαιοσύνης, δηλαδή υπάρχει δίκαιη μεταχείριση για κάθε άτομο του μοντέλου. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα αποτελέσματα σχετικά με τον ρυθμό σύγκλισης των αλγορίθμων.

**Πίνακας 7: Σύγκριση των ρυθμών σύγκλισης ανθεκτικής Κατανομής, FETA και RFETA[23].**

	Ανθεκτική Κατανομή	FETA	RFETA
Μέσος όρος σε χρόνο για την ολοκλήρωση της αποστολής..	18.41	14.12	14.15
Πρότυπο ολοκλήρωσης χρόνου της αποστολής.	15.40	8.72	8.36
Χρόνος για να φτάσει στο 90% της τελικής τιμής.	40	25	20

Από τον πίνακα 7 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η κατανομή RFETA είναι πιο γρήγορη από τον FETA και την ανθεκτική κατανομή, φτάνει πιο γρήγορα στην τελική λύση, έχει δηλαδή ταχύτερη σύγκλιση από τις άλλες δύο μεθόδους και παρέχει αξιόπιστη λύση.

## Κεφάλαιο 3: Προγραμματιστικό μέρος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται η υλοποίηση του θέματος της διπλωματικής εργασίας στο πρακτικό μέρος. Συγκεκριμένα υλοποιείται ένα σμήνος από drones με τις παραμέτρους του, το οποίο θα επικοινωνεί άμεσα με τον χρήστη για την διεκπεραίωση ορισμένων εργασιών. Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά του προβλήματος και των drones, θα γίνεται επιλογή του drone που είναι πιο κατάλληλο για την ολοκλήρωση της εργασίας με βάση ορισμένων περιορισμών με στόχο την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Αυτή η διαδικασία γίνεται με τη χρήση ενός μοντέλου ILP (Integer Linear Programming).

### 3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Για την ολοκλήρωση του πρακτικού μέρους της εργασίας χρειάζονται απλά κάποιες γνώσεις προγραμματισμού. Πρέπει να υπάρχει η γνώση της γενικής ιδέας πως δημιουργείται και πως αναπτύσσεται ένα μοντέλο. Επίσης καλό είναι να υπάρχει γνώση μιας συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού για την ανάπτυξη του προγράμματος και ένα συγκεκριμένο εργαλείο για την ανάπτυξη του προγράμματος. Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού Python [42]. Η python είναι μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Έχει πολλές βιβλιοθήκες και πολλές έτοιμες εντολές, ώστε το πρόγραμμα να έχει λιγότερες γραμμές σε σχέση με άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό παιχνιδιών, δικτύων, βάσεων δεδομένων και για πολλές άλλες εφαρμογές. Για την υλοποίηση του προγράμματος της συγκεκριμένης εργασίας χρησιμοποιούμε το εργαλείο Visual Studio Code, ένα εργαλείο όπου μπορεί να γραφτεί και να εκτελεστεί ένας κώδικας από την γλώσσα προγραμματισμού Python, εφόσον έχει μαζί την κατάλληλη επέκταση μαζί. Επίσης η επεξεργασία των παραμέτρων, της κατανάλωσης ενέργειας των drones για κάθε εργασία καθώς και της διαδικασίας κατανομής γίνεται μέσω ενός μοντέλου γραμμένου στην γλώσσα GAMS [43] (General Algebraic Modeling System), που χρησιμοποιείται για την συγγραφή προβλημάτων σε μαθηματική μορφή. Επίσης μπορεί να τρέξει το μοντέλο αξιοποιώντας διάφορους αλγορίθμους. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα κατανομής θα αξιοποιηθεί ο αλγόριθμος ILP [44] ώστε να αντιστοιχιστούν κατάλληλα τα drones με τις εργασίες που πρέπει να ολοκληρωθούν, τηρώντας όλους τους περιορισμούς. Τέλος για τον προσδιορισμό των περιορισμών του μοντέλου GAMS θα πρέπει να είναι γνωστές οι παρακάτω εξισώσεις:

$$\min z = \sum_i \sum_j E_{ij} X_{ij} \quad (14)$$

$$\sum_i X_{ij} = 1 \text{ για κάθε } j \in [1, M] \quad (15)$$

$$\sum_i \sum_k C_{ij} X_{ij} \leq \sum_i \sum_k y_{ik} X_{ij} \text{ για κάθε } j \in [1, M] \quad (16)$$

$$\sum_j X_{ij} E_{ij} \leq E^{max} \text{ για κάθε } i \quad (17)$$

Η εξίσωση (15) εξασφαλίζει ότι κάθε αίτημα θα ολοκληρωθεί και θα ανατεθεί σε ακριβώς ένα drone. Η εξίσωση (16) δείχνει ότι το drone που θα του ανατεθεί μια εργασία έχει την απαιτούμενη κάμερα για την ολοκλήρωση της εργασίας. Η εξίσωση (17) εξασφαλίζει ότι η ενέργεια που θα καταναλωθεί από ένα drone για την ολοκλήρωση μιας εργασίας δεν θα υπερβεί την μέγιστη μπαταρία τους, δηλαδή τα drones δεν θα βρεθούν σε θέση να αναλάβουν μια εργασία να καταναλώσουν παραπάνω ενέργεια από όση διαθέτουν. Τέλος η εξίσωση (14) αφού έχει λάβει όλους τους υπόλοιπους περιορισμούς, φροντίζει να γίνει η ανάθεση με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας για κάθε drone του σμήνους.

### 3.2 Ανάλυση και αποτελέσματα του κώδικα

Ο κώδικας ξεκινάει αρχικά με την δημιουργία των πινάκων και των τιμών που αυτοί θα έχουν. Οι πίνακες αυτοί θα καταχωρηθούν στην βάση mysql. Όπως φαίνεται και στην αρχή του κώδικα η βάση αυτή λέγεται mysql στην συγκεκριμένη περίπτωση. Δημιουργείται λοιπόν στην βάση του localhost ένας πίνακας Drones με πέντε χαρακτηριστικά εφόσον δεν έχει ήδη δημιουργηθεί (το DroneId που είναι πρωτεύον κλειδί του πίνακα, οι δύο κάμερες RGB και πολυφασματική, το επίπεδο μπαταρίας του και η μέγιστη μπαταρία του) και του εισάγονται κάποιες τιμές για κάθε μεταβλητή του. Η εισαγωγή των τιμών ακολουθείται από ένα μήνυμα ότι η εισαγωγή έγινε με επιτυχία, αλλιώς αν υπάρχουν υπάρχει αντίστοιχο μήνυμα ότι οι τιμές έχουν ήδη εισαχθεί και δεν ξαναγίνεται.

Η ίδια διαδικασία ακολουθεί για τους άλλους δύο πίνακες που απαιτούνται. Οι πίνακες αυτοί είναι ο πίνακας Tasks (TaskId πρωτεύον κλειδί, task\_name το όνομα της εργασίας και το DroneId που είναι ξένο κλειδί του πίνακα Drones) και ο πίνακας EnergyConsumption (consumptioncode το πρωτεύον κλειδί, DroneId και TaskId είναι ξένα κλειδιά των πινάκων Drones και Tasks αντίστοιχα και το consumption είναι η κατανάλωση ενέργειας που θέλει ένα Drone για την ολοκλήρωση κάθε εργασίας). Στον πίνακα Tasks υπάρχει μία ιδιαιτερότητα στην μεταβλητή Task\_name. Μέσω ενός Check η μεταβλητή αυτή δέχεται δύο τιμές μόνο. Οι τιμές αυτές είναι η Plant Disease Detection και η δεύτερη είναι Precautionary Flight. Αν ο χρήστης θελήσει να βάλει κάτι άλλο το πρόγραμμα θα εμφανίσει σφάλμα και δεν θα γίνει η εισαγωγή των τιμών που επέλεξε. Για τον πίνακα Energy Consumption θα εισάγει τις καταναλώσεις ενέργειας για κάθε ένα από τα τέσσερα Drones που έχουμε εισάγει ώστε να ολοκληρώσουν κάθε μία από τις τρεις εργασίες του πίνακα Tasks. Στην συνέχεια μέσω ενός query εμφανίζουμε την κατανάλωση ενέργειας που θα είχε κάθε drone αν αναλάμβανε κάθε εργασία. Αυτά τα στοιχεία τα αποθηκεύουμε τελικά σε έναν πίνακα, ώστε να τα εισάγουμε δυναμικά στο μοντέλο GAMS για την εκτέλεση της διαδικασίας.

#### 3.2.1 Υλοποίηση πρώτου σεναρίου



Το πρώτο σενάριο που υλοποιήθηκε αφορά την κατανομή τριών εργασιών σε τέσσερα tasks. Ο πίνακας που θα δημιουργηθεί θα είναι διαστάσεων 4X3, δηλαδή τεσσάρων γραμμών που αντιπροσωπεύει κάθε Drone και τριών στηλών για κάθε εργασία. Η τιμή που θα υπάρχει για κάθε ζεύγος είναι η κατανάλωση ενέργειας. Ξεκινώντας λοιπόν αρχικά θα γίνει εμφάνιση των δεδομένων αυτών και μέσω της Python είναι δυνατόν ανά τρεις γραμμές να δημιουργηθούν τέσσερις πίνακες που θα έχουν την ενέργεια που καταναλώνει κάθε Drone ξεχωριστά σε όλες τις εργασίες. Στον πρώτο από τους τέσσερις πίνακες που θα δημιουργηθούν θα εισάγουμε και τον αριθμό των στηλών του τελικού πίνακα. Στους τρεις υπόλοιπους θα αποθηκεύονται τα στοιχεία των υπολοίπων Drones για τις τρεις εργασίες που υπάρχουν.

Ουσιαστικά αυτή η διαδικασία θα ακολουθήσει τρεις φορές. Ωστόσο θα υπάρχουν κάποιες μικρές διαφορές. Για παράδειγμα πλέον στην εκτέλεση του επόμενου query θα υπάρχει δίπλα από το LIMIT 3 και το OFFSET 3. Με αυτόν τον τρόπο θα εκτελείται το query μετά από την τρίτη γραμμή. Για τα υπόλοιπα δύο θα υπάρχει το OFFSET 6 και OFFSET 9 αντίστοιχα. Κάθε query εκτελείται δηλαδή ανά τρεις γραμμές, για να αποθηκεύσει τις τιμές για κάθε drone. Επίσης στους τρεις πίνακες που θα δημιουργηθούν πλέον δεν αποθηκεύεται ο αριθμός των TaskId, που είναι ο αριθμός των στηλών. Θα αποθηκευτεί μόνο ο αριθμός του Drone και η κατανάλωση ενέργειας του για κάθε εργασία.

Αφού εκτελεστούν τα επόμενα δύο queries με την διαφορά του OFFSET θα δημιουργηθούν τέσσερις πίνακες. Στον πρώτο βρίσκονται οι αριθμοί των στηλών που είναι τα TaskId, το πρώτο από τα τέσσερα Drone και η κατανάλωση ενέργειας του για κάθε εργασία. Στους υπόλοιπους τρεις αποθηκεύεται μια γραμμή μόνο δηλαδή κάθε Drone που έμεινε και η κατανάλωση ενέργειας του για κάθε εργασία. Στην python επιτρέπεται η πρόσθεση πινάκων οπότε γίνεται πρόσθεση των τεσσάρων πινάκων σε μια καινούρια μεταβλητή table\_sum. Αυτός ο πίνακας για να αξιοποιηθεί στο μοντέλο GAMS θα γίνει μέσω της βιβλιοθήκης tabulate ένας πίνακας 4X3 μέσω της εντολής E\_data\_gamsformed = tabulate(table\_sum, tablefmt = "plain". Αυτός ο πίνακας θα αποτελέσει τον πίνακα με τις καταναλώσεις ενέργειας που θα εισαχθεί δυναμικά στο μοντέλο GAMS για την εκτέλεση της διαδικασίας. Επόμενη διαδικασία είναι η ανάκτηση της μέγιστης μπαταρίας κάθε Drone μέσω query στον πίνακα Drones. Αυτό θα χρησιμεύσει σαν περιορισμός ώστε αν η τιμή κατανάλωσης ενέργειας για ένα drone να ολοκληρώσει μια εργασία είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη μπαταρία του, τότε το drone δεν θα είναι σε θέση να αναλάβει την εργασία. Το μοντέλο θα αναγνωρίσει τις μπαταρίες κάθε drone ως έναν πίνακα μιας γραμμής, ο οποίος θα ξεκινάει και θα τελειώνει με το σύμβολο /, κάθε ζεύγος θα είναι το DroneId και με κενό η τιμή μέγιστης μπαταρίας τους και κάθε ζεύγος θα χωρίζεται με ένα κόμμα. Κάθε πίνακας και κάθε παράμετρος μπαίνει δυναμικά στο μοντέλο.

Επόμενος περιορισμός που πρέπει να ληφθεί υπόψιν και θα διαμορφωθεί κατάλληλα είναι ο περιορισμός κάμερας για κάθε εργασία. Η λογική είναι ότι εφόσον το όνομα της εργασίας είναι Plant Disease Detection τότε το drone για να την εκτελέσει θα πρέπει να διαθέτει μια RGB κάμερα. Με ανάλογο τρόπο, αν το όνομα της εργασίας είναι Precautionary Flight τότε το drone πρέπει να διαθέτει μια Multispectral camera (Πολυφασματική). Πρώτα λοιπόν θα δημιουργείται με ένα query από τον πίνακα Tasks ένας πίνακας περιορισμών όπου θα απαριθμούνται σαν γραμμές τα TaskId, σαν στήλες με αριθμούς 1, 2 οι δύο κάμερες που απαιτούνται και σαν τιμές θα υπάρχουν μόνο το 0 και το 1, δηλαδή 0 αν δεν απαιτείται μία κάμερα και 1 αν απαιτείται.

Μετά από την απαίτηση κάμερας των εργασιών είναι σημαντικό να βρεθεί αν το κάθε drone διαθέτει την απαιτούμενη κάμερα. Επομένως θα δημιουργηθεί ένας νέος πίνακας όπου θα δείχνει αν κάποιο drone διαθέτει την πρώτη κάμερα ή την δεύτερη ή ακόμα και τις δύο. Για να γίνει αποδεκτό από το μοντέλο GAMS η διαθεσιμότητα της κάμερας στα Drones θα πρέπει να γραφτεί με την εξής μορφή:  $y(i, k) \text{ord}(i) = \{\text{drone\_id}\} \text{ and } \text{ord}(k) = 1) = 1$ , όπου  $y(i, k)$  είναι ο πίνακας στο μοντέλο GAMS,  $i$  ο αριθμός του εκάστοτε droneId,  $k$  η τιμή της κάμερας (1 ή 2) και  $\text{ord}(k)$  η τιμή για το ποια κάμερα από τις δύο εξετάζεται. Αν η τελική τιμή είναι 1 τότε το drone διαθέτει την κάμερα, ενώ αν είναι μηδέν τότε δεν την διαθέτει. Για την δεύτερη κάμερα απλά αλλάζει η τιμή του  $\text{ord}(k)$  και γίνεται 2.

Μετά μέσω δύο queries θα βρεθούν τα id των drones και των εργασιών από τους πίνακες Drones και Tasks και θα καταχωρηθούν σε δύο πίνακες, όπου η κάθε τιμή θα χωρίζεται με κόμμα. Ο αριθμός των Drones και των εργασιών μαζί με τον αριθμό των καμερών θα αποτελούν τα αρχικά δεδομένα (Sets) του μοντέλου. Πριν τον κώδικα του μοντέλου δημιουργείται ένα περιβάλλον GAMS όπου θα ληφθούν υπόψιν τα παραπάνω δεδομένα, παράμετροι και περιορισμοί για να ξεκινήσει αυτόματα η διαδικασία της κατανομής. Επίσης με την εντολή `debug_level = DebugLevel.KeepFiles` δίνεται ουσιαστικά η ιχνηλάτηση πιθανών σφαλμάτων και λαθών στο μοντέλο GAMS.

Επειτα από όλα αυτά, ακολουθεί ο κώδικας που αποτελεί το μοντέλο GAMS. Σαν αρχικά δεδομένα υπάρχουν ο αριθμός των Id των Drones, των εργασιών που έχουν εισαχθεί δυναμικά στο μοντέλο και οι δύο κάμερες. Στην συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες περιορισμών, για την κατανάλωση των drones στην εκάστοτε εργασία, για την μέγιστη ενέργεια και χωρητικότητα μπαταρίας των Drones, την απαίτηση κάμερας σε κάθε εργασία και την διαθεσιμότητα κάμερα σε κάθε drone. Επίσης δημιουργούνται οι περιορισμοί να γίνεται ανάθεση drone σε εργασία μόνο εφόσον διαθέτει την κατάλληλη κάμερα, να γίνεται ανάθεση εργασίας το πολύ σε ένα drone και όχι σε παραπάνω και να τηρούνται οι ενεργειακοί περιορισμοί, να μην γίνεται η ανάθεση άμα ξεπερνάει η κατανάλωση ενέργειας την μέγιστη τιμή μπαταρίας του drone. Πέρα από τους πίνακες κατανάλωσης ενέργειας, μέγιστης χωρητικότητας της μπαταρίας για κάθε drone αλλά και τους πίνακες περιορισμού και διαθεσιμότητας καμερών για τις εργασίες και τα drones, το μοντέλο περιλαμβάνει και άλλες εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξής:

Τέλος το μοντέλο αξιοποιώντας όλες τις παραπάνω γραμμές κώδικα που έχουν προηγηθεί τα μοντελοποιεί σε ένα πρόβλημα το οποίο επιλύεται με τον αλγόριθμο ILP για την βέλτιστη αντιστοίχιση βάσει των περιορισμών και την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας του σμήνους (minimizing). Τέλος του κώδικα εμφανίζονται τα αποτελέσματα του κώδικα και η βέλτιστη ανάθεση.

Να σημειωθεί επίσης για την εκτέλεση του κώδικα και κυρίως για την αποθήκευση και αξιοποίηση των πινάκων στην βάση του localhost είναι σημαντικό να υπάρχει κατεβασμένο το πρόγραμμα XAAMP όπου χρειαζόμαστε τα δύο πρώτα του στοιχεία ενεργοποιημένα, τον server Apache, ο οποίος είναι ένας server του διαδικτύου για να εμφανιστεί το περιεχόμενο της βάσης του localhost με την βοήθεια ενός browser και το mysql για την αποθήκευση και επεξεργασία των πινάκων στην βάση του. Εκτελώντας τον κώδικα θα εισαχθούν οι τιμές σε πίνακες στον localhost και θα γίνει η ανάθεση για να επιτευχθεί το κατάλληλο αποτέλεσμα. Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν το αποτέλεσμα της εκτέλεσης του κώδικα.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις τιμές που έχουν εισαχθεί για κάθε drone, κάθε εργασία καθώς και πόση κατανάλωση ενέργειας θα έχει κάθε drone για την ολοκλήρωση κάθε εργασίας.

**Πίνακας 8:Χαρακτηριστικά των drones στο πρώτο σενάριο**

DroneId	RGBCamera	MultispectralCamera	MaxBattery
1	OXI	NAI	81
2	OXI	NAI	95
3	NAI	NAI	76
4	NAI	OXI	100

Οι εργασίες στο πρώτο σενάριο είναι τρεις. Η εργασία 1 και 3 έχουν σαν task\_name Plant Disease Detection και η δεύτερη Precautionary Flight. Αυτό σημαίνει ότι οι εργασίες με id 1 και 3 απαιτούν RGB camera για να ολοκληρωθούν και η δεύτερη απαιτεί Multispectral Camera. Ο επόμενος πίνακας είναι ο ενεργειακός πίνακας  $E(i, j)$  του μοντέλου, ο οποίος δείχνει την κατανάλωση ενέργειας που θα έχει κάθε drone σε περίπτωση κάθε εργασίας.

**Πίνακας 9:Ενεργειακός Πίνακας  $E(i, j)$  του μοντέλου.**

DroneIds	TaskId	Κατανάλωση ενέργειας
1	1	17
	2	7
	3	9
2	1	6
	2	6
	3	10
3	1	80
	2	44
	3	67
4	1	55
	2	34

	3	11
--	---	----

Με βάση λοιπόν τους πίνακες 8 και 9 λοιπόν, λαμβάνοντας τις απαιτήσεις κάμερας για κάθε task, την διαθεσιμότητα κάμερας κάθε drone αλλά και την κατανάλωση ενέργειας που θα υπάρχει σε κάθε περίπτωση στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η τελική ανάθεση του πρώτου σεναρίου.

**Πίνακας 10: Πίνακας ανάθεσης πρώτου σεναρίου**

DroneId	TaskId που ανατίθεται	Ενέργεια που καταναλώνεται
1	-----	-----
2	2	6
3	3	67
4	1	55

Ο πίνακας 10 δείχνει λοιπόν ότι στο πρώτο drone με droneid 1 δεν ανατίθεται καμία εργασία, στο drone με droneid 2 ανατίθεται η εργασία με taskid 2 και έχει κατανάλωση ενέργειας 6, στο drone με droneid 3 ανατίθεται η εργασία με taskid 1 και κατανάλωση 67 και στο drone με droneid 4 ανατίθεται η εργασία με taskid 1 και έχει κατανάλωση ενέργειας 55. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας του σμήνους είναι το άθροισμα κατανάλωσης ενέργειας που υπάρχει στην κάθε περίπτωση δηλαδή 128 στο πρώτο σενάριο. Οι επόμενες τρεις εικόνες δείχνουν το αποτέλεσμα που υπάρχει στο πρώτο σενάριο με την εκτέλεση του κώδικα.

```
D:\Users\user\Desktop\pythonfiles\DiplomaThesis>python DiplomaThesis_Code.py
Inserted Drone with DroneId 1 successfully.
Inserted Drone with DroneId 2 successfully.
Inserted Drone with DroneId 3 successfully.
Inserted Drone with DroneId 4 successfully.
Inserted Task with TaskId 1 successfully.
Inserted Task with TaskId 2 successfully.
Inserted Task with TaskId 3 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 15 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 16 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 17 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 25 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 26 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 27 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 35 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 36 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 37 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 45 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 46 successfully.
Inserted EnergyConsumption with consumptioncode 47 successfully.
```

Εικόνα 3: Επιτυχής εισαγωγή δεδομένων στους πίνακες του localhost

Αρχικά γίνεται η ανάθεση των τιμών στους πίνακες που δημιουργούνται στην βάση mysql του localhost. Μετά από την εισαγωγή των δεδομένων τυπώνονται τα αποτελέσματα των queries και της ανάθεσης.

```
1 1 17
1 1 2 7
1 3 3 9
1 1 1 56
1 3 3 10
1 1 1 80
1 2 2 44
1 3 3 67
1 1 1 55
1 4 3 11
Modified table without decimals:
(1, 1, 17)
(1, 2, 7)
(1, 3, 9)
Modified table without decimals:
(2, 1, 6)
(2, 2, 10)
(2, 3, 6)
Modified table without decimals:
(3, 1, 80)
(3, 2, 44)
(3, 3, 67)
Modified table without decimals:
(4, 1, 55)
(4, 2, 34)
(4, 3, 11)
1 1 2 3
1 17 7 3
1 3 9 6
1 56 10 10
1 80 44 11
1 55 34 11
1 1 2 3 95, 3 76, 4 100 /;
1 1 1 0
1 1 1 0
1 1 1 0
1 1 1 0
Objective Value (Total Energy Consumption): 128.0
Assignment Matrix:
```

Εικόνα 4: Εμφάνιση των πινάκων και των περιορισμών που ισχύουν.

Τέλος φαίνονται και τα αποτελέσματα της ανάθεσης και υπολογίζεται η κατανάλωση ενέργειας σε αυτήν την περίπτωση.

```
Objective Value (Total Energy Consumption): 128.0
Assignment Matrix:
1: 1 = 0.0
1: 2 = 0.0
1: 3 = 0.0
2: 1 = 0.0
2: 2 = 1.0
2: 3 = 0.0
3: 1 = 0.0
3: 2 = 0.0
3: 3 = 1.0
4: 1 = 1.0
4: 2 = 0.0
4: 3 = 0.0
```

Εικόνα 5: Τα αποτελέσματα της ανάθεσης και υπολογισμός της συνολικής ενέργειας που θα καταναλωθεί.

Η εικόνα 5 δείχνει το αποτέλεσμα και είναι το ίδιο με αυτό του πίνακα 10. Υπολογίστηκε και η συνολική κατανάλωση ενέργειας του σμήνους που είναι 128.

### 3.2.2 Υλοποίηση δευτέρου σεναρίου

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζεται η υλοποίηση του δευτέρου σεναρίου. Ο αριθμός των drones, και των tasks δεν αλλάζει, ούτε ο πίνακας κατανάλωσης ενέργειας αλλάζει. Αυτό που είναι διαφορετικό εδώ είναι τα χαρακτηριστικά κάθε drone καθώς και τα ονόματα των tasks. Τώρα τα tasks με id 1 και 2 έχουν task\_name Precautionary Flight, δηλαδή απαιτούν χρήση Multispectral Camera και το τρίτο task έχει όνομα Plant Disease Detection, που χρειάζεται κάμερα RGB. Στα drones δεν αλλάζουν οι μέγιστες μπαταρίες αλλάζουν όμως οι κάμερες. Τα drones με droneId 1 και 2 έχουν μόνο Multispectral Camera και τα drones με droneId έχουν μόνο RGB camera. Ο πίνακας ενέργειας παραμένει ίδιος με τον πίνακα 9 οπότε με βάση τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν ο παρακάτω πίνακας ανάθεσης θα είναι ο εξής:

**Πίνακας 11: Πίνακας ανάθεσης για το δεύτερο σενάριο.**

DroneId	TaskId που ανατίθεται	Κατανάλωση Ενέργειας
1	2	7
2	1	6
3	-----	-----
4	3	11

Ο πίνακας 11 δείχνει ότι το Drone με Id 1 αναλαμβάνει την εργασία με id 2 και έχει κατανάλωση ενέργειας 7, το Drone με Id 2 αναλαμβάνει την εργασία με id 1 και έχει κατανάλωση ενέργειας 6, το drone με id 3 δεν αναλαμβάνει καμία εργασία και το Drone με Id 4 αναλαμβάνει την εργασία με id 3 και έχει κατανάλωση ενέργειας 11. Στο δεύτερο σενάριο η συνολική κατανάλωση ενέργειας είναι 24, που είναι πολύ μικρότερη από αυτήν του πρώτου σεναρίου και αυτό συμβαίνει γιατί τα drones που έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας έχουν πλέον την απαιτούμενη κάμερα για την ολοκλήρωση των εργασιών που τις απαιτούν.

### 3.3.3 Υλοποίηση τρίτου σεναρίου

Η εκτέλεση των προηγούμενων σεναρίων έγινε για τέσσερα Drones και τρεις εργασίες. Σε αυτό το σενάριο αλλάζει ο αριθμός των drones, τα χαρακτηριστικά τους, ο αριθμός των tasks και τα χαρακτηριστικά τους καθώς και ο πίνακας κατανάλωσης ενέργειας. Ο κώδικας θα διαφοροποιηθεί ελάχιστα αναλόγως τον αριθμό των Drones και των εργασιών. Παρακάτω γίνεται μια μορφοποίηση του κώδικα έτσι ώστε να εκτελείται για πέντε Drones και δύο εργασίες να απομένουν. Ξεκινώντας ο κώδικας έχει την ίδια διαδικασία, δηλαδή δημιουργία τριών πινάκων στην βάση mysql με όνομα Drones, Tasks και EnergyConsumption. Επίσης με τον ίδιο τρόπο γίνεται ανάθεση τιμών στους

πίνακες και υπάρχει ο ίδιος έλεγχος στο `task_name` ώστε να παίρνει μόνο δύο ονόματα εργασιών που είναι `Plant Disease Detection` και `Precautionary Flight`. Για οτιδήποτε άλλο εισάγει ο χρήστης δεν θα γίνει αποδεκτή η ανάθεση τιμών. Για τον πίνακα `EnergyConsumption` γίνεται εισαγωγή της κατανάλωσης ενέργειας που θα έχει κάθε Drone για την ολοκλήρωση της κάθε εργασίας. Εφόσον υπάρχουν πλέον 5 drones και 2 Tasks, ο πίνακας `EnergyConsumption` θα έχει δέκα εισαγωγές.

Επόμενη ενέργεια είναι μέσω ενός query στον πίνακα `Drones` και με τη χρήση `Join` στους άλλους δύο πίνακες να αποθηκευτούν οι τιμές των `DroneId`, `TaskId` και του `consumption` κάθε drone για κάθε task σε μια μεταβλητή και μετά όπως και στην προηγούμενη περίπτωση θα πάρουμε τις τιμές ανά δύο γραμμές και θα εισαχθούν σε πέντε πίνακες, ώστε στο τέλος να σχηματιστεί ως άθροισμα πέντε πινάκων ένας νέος πίνακας, ο οποίος θα εκφράζει στο μοντέλο GAMS την ενέργεια που απαιτείται από κάθε drone να ολοκληρώσει το κάθε task. Και στον δεύτερο κώδικα θα πρέπει να συμπεριληφθεί στον πρώτο πίνακα η εισαγωγή των στηλών του ενιαίου τελικού πίνακα. Οι στήλες θα είναι δύο πλέον και είναι τα `Id` των δύο εργασιών.

Η διαδικασία που ακολουθεί πλέον για τον σχηματισμό του τελικού πίνακα ενέργειας για το μοντέλο GAMS είναι πλέον παρόμοια με την περίπτωση των τεσσάρων drones και τριών εργασιών που μελετήθηκε παραπάνω. Δημιουργούνται δηλαδή άλλοι τέσσερις πίνακες που έχουν ως τιμές τους μόνο μία γραμμή από το query που άντλησε τις τιμές των `DroneId`, `TaskId` και `consumption` από τον πίνακα `Drones` οι οποίοι έχουν σαν τιμές την κατανάλωση που έχουν τα υπόλοιπα τέσσερα drones για κάθε εργασία. Να σημειωθεί πως στους υπόλοιπους τέσσερις πίνακες δεν αποθηκεύεται ξανά ο αριθμός των στηλών. Συγκεκριμένα δεν θα υπάρχει μια γραμμή της μορφής `table_data = [ [" "] + str(i) for I in range(1, len(formatted_elements[0]))]` στους υπόλοιπους τέσσερις πίνακες. Επίσης τα επόμενα queries θα έχουν στο τέλος `LIMIT 2` και το `OFFSET` τους θα αλλάζει ανά 2, άρα θα είναι 2, 4, 6 και 8 ανά query.

Μετά τις καταναλώσεις ενέργειας δημιουργείται ένας πίνακας μίας γραμμής που εκφράζει ανά ζεύγος το `DroneId` και την μέγιστη μπαταρία του κάθε drone. Ο πίνακας θα είναι σε μορφή `MaxBattery_data = ' 1 77, 2 86, 3 90, 4 84, 5 82 /;'` για να γίνει αποδεκτός από το μοντέλο. Για να παραβιαστεί αυτός ο περιορισμός πρέπει κάποιο `consumption` σε κάποιο task για ένα drone να ξεπερνάει την μέγιστη μπαταρία του. Αν γίνει αυτό, τότε το drone δεν είναι σε θέση να εκτελέσει αυτήν την εργασία. Πρέπει δηλαδή να ισχύει `MaxBattery > consumption` σε κάθε task για να μην υπάρχει πρόβλημα με το drone στην ανάθεση της κάθε εργασίας.

Αφού ολοκληρωθεί και ο πίνακας με τις μπαταρίες, σειρά έχει η δημιουργία των δύο πινάκων που θα αφορούν την απαίτηση και διαθεσιμότητα κάμερας. Ο πρώτος πίνακας `c (j, k)` δείχνει για κάθε εργασία ποια κάμερα απαιτείται για να μπορεί να ολοκληρωθεί. Σχηματίζεται ένας πίνακας με στήλες το 1 και 2 που εκφράζουν τις δύο πιθανές κάμερες, δηλαδή κάμερα RGB και πολυφασματική κάμερα και ως γραμμές του πίνακα μπαίνουν τα `taskId`. Εφόσον το `task_name` της κάθε εργασίας είναι `Plant Disease Detection` τότε απαιτείται η κάμερα RGB. Οπότε η τιμή της στην στήλη 1 θα πρέπει να είναι ίση με 1. Ομοίως αν το `task_name` της εργασίας είναι `Precautionary Flight` τότε

απαιτείται η πολυφασματική κάμερα, δηλαδή θα έχει τιμή 1 στην στήλη 2. Ο δεύτερος πίνακας  $y(i, k)$  δείχνει την διαθεσιμότητα κάμερας σε κάθε drone. Επίσης γράφεται με κατάλληλο τρόπο για να είναι κατανοητό από το μοντέλο. Για παράδειγμα αν το drone με Id 2 έχει την RGB κάμερα τότε θα γραφτεί  $y(i, k) \text{ (ord}(i) = 2 \text{ and ord}(k) = 1) = 1$ ; όπου  $\text{ord}(i) = 2$  σημαίνει ότι πρόκειται για το drone 2 και  $\text{ord}(k) = 1$  ότι πρόκειται για την κάμερα RGB. Μετά την παρένθεση το 1 δείχνει ότι αυτή η κάμερα RGB υπάρχει στο Drone 2. Αν δεν υπάρχει δεν θα γραφτεί όμως η ίδια σχέση με τιμή 0 μετά την παρένθεση. Όποια κάμερα υπάρχει σε κάθε drone θα γραφτεί με αυτή τη μορφή και τελικό αποτέλεσμα θα είναι το 1, εφόσον υπάρχει η συγκεκριμένη κάμερα.

Τέλος, πριν την εκτέλεση του μοντέλου θα πρέπει να μπουν τα αρχικά του δεδομένα, τα οποία είναι ο αριθμός των Drones και ο αριθμός των εργασιών μαζί με τα είδη των δύο καμερών. Και για τα drones αλλά και για τα tasks θα δημιουργηθούν δύο queries όπου θα επιλεγθούν τα αντίστοιχα id που έχουν. Μετά θα αποθηκευτούν σε μία μεταβλητή όπου κάθε id θα χωρίζεται με κόμμα. Για παράδειγμα, εφόσον τα Drones είναι πέντε σε αριθμό τότε η μεταβλητή `string_drone_ids` θα είναι ίση με 1, 2, 3, 4, 5 και ομοίως η μεταβλητή `string_task_ids` θα είναι ίση με 1, 2. Αυτά θα είναι τα  $i$  και  $j$  του μοντέλου GAMS. Το  $k$  θα είναι 1 και 2 για τις κάμερες. Εφόσον δημιουργηθούν αυτά, θα δημιουργηθεί και ο χώρος εργασίας του GAMS (GAMSWorkspace) όπου θα γραφτεί ο κώδικας του μοντέλου. Η εισαγωγή από το πρόγραμμα της `rython` στο μοντέλο GAMS γίνεται δυναμικά. Κάτω από τον κάθε πίνακα η παράμετρο γράφεται το μέγεθος που πρέπει μέσα σε άγκιστρα. Για τον πίνακα  $E(i, j)$  που εκφράζει την κατανάλωση κάθε drone σε κάθε εργασία θα γράφει από κάτω το `{E_data_gamsformed}`, το οποίο είναι ο πίνακας κατανάλωσης ενέργειας των drones για κάθε task που έχει δημιουργηθεί προηγουμένως με την `rython`. Η συνέχεια είναι η ίδια με την περίπτωση των τεσσάρων drones και τριών εργασιών, όπου ακολουθεί ο κώδικας του μοντέλου GAMS και μετά εκτελείται η διαδικασία, ώστε να βρεθεί η κατάλληλη κατανομή με βάση τους περιορισμούς και η συνολική κατανάλωση ενέργειας του σμήνους. Αρχικά λοιπόν δημιουργείται ένας πίνακας ανάλογος με τον πίνακα  $\delta$ , όπου υπάρχουν τα χαρακτηριστικά κάθε drone.

**Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά των drones για το τρίτο σενάριο.**

DroneId	RGBCamera	MultispectralCamera	MaxBattery
1	OXI	NAI	77
2	NAI	NAI	86
3	OXI	NAI	90
4	NAI	OXI	84
5	OXI	NAI	82



Οι εργασίες σε αυτό το σενάριο είναι 2 με την πρώτη έχει όνομα Plant Disease Detection, οπότε θα απαιτεί την χρήση κάμερας RGB και η δεύτερη έχει όνομα Precautionary Flight και απαιτεί την χρήση πολυφασματικής κάμερας. Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας E(i, j) για το τρίτο σενάριο.

**Πίνακας 13: Ενεργειακός πίνακας E(i, j) του τρίτου σεναρίου.**

DroneId	TaskId	Ενέργεια που καταναλώνεται
1	1	31
	2	24
2	1	21
	2	15
3	1	27
	2	51
4	1	19
	2	12
5	1	25
	2	40

Λαμβάνοντας υπόψιν τον παραπάνω ενεργειακό πίνακα, τα χαρακτηριστικά των drones αλλά και την απαίτηση κάμερας για κάθε εργασία καταλήγουμε στον παρακάτω πίνακα ανάθεσης.

**Πίνακας 14: Πίνακας ανάθεσης του τρίτου σεναρίου.**

DroneId	TaskId που ανατίθεται	Κατανάλωση ενέργειας
1	-----	-----
2	2	15
3	-----	-----

4	1	19
5	-----	-----

Από τον πίνακα 14 προκύπτει ότι τα δύο drones που τους ανατίθεται μια εργασία είναι τα drones με Id 2 και 4. Το drone με Id 2 αναλαμβάνει την εργασία με Id 2 και έχει κατανάλωση ενέργειας 15 και Το drone με Id 4 αναλαμβάνει την εργασία με Id 1 και έχει κατανάλωση ενέργειας 19. Σε αυτήν την περίπτωση η συνολική κατανάλωση ενέργειας του σμήνους θα είναι 34. Εδώ παρατηρείται ότι η κατανάλωση ενέργειας στην περίπτωση του τρίτου σεναρίου είναι μεγαλύτερη από αυτήν του δευτέρου σεναρίου, παρόλο που στο τρίτο σενάριο τα drones είναι περισσότερα και οι εργασίες λιγότερες.

Η επόμενη εικόνα δείχνει την εκτέλεση του κώδικα για τα χαρακτηριστικά του τρίτου σεναρίου και επιβεβαιώνει το αποτέλεσμα που προκύπτει στον πίνακα 14.

```

    1  2
1  31  24
2  21  15
3  27  51
4  19  12
5  25  40
    1  2
1   1  0
2   0  1
y(i, k)$ (ord(i) = 1 and ord(k) = 2) = 1;
y(i, k)$ (ord(i) = 2 and ord(k) = 1) = 1;
y(i, k)$ (ord(i) = 2 and ord(k) = 2) = 1;
y(i, k)$ (ord(i) = 3 and ord(k) = 2) = 1;
y(i, k)$ (ord(i) = 4 and ord(k) = 1) = 1;
y(i, k)$ (ord(i) = 5 and ord(k) = 2) = 1;

Objective Value (Total Energy Consumption): 34.0
Assignment Matrix:
1: 1 = 0.0
1: 2 = 0.0
2: 1 = 0.0
2: 2 = 1.0
3: 1 = 0.0
3: 2 = 0.0
4: 1 = 1.0
4: 2 = 0.0
5: 1 = 0.0
5: 2 = 0.0

```

Εικόνα 6: Εμφάνιση των αποτελεσμάτων του τρίτου σεναρίου.

## Κεφάλαιο 4:Επίλογος

### 4.1 Συμπεράσματα

Μέσω του κώδικα που δημιουργήθηκε γίνεται αυτόματα η κατάλληλη ανάθεση τεσσάρων drones σε τρεις εργασίες, λαμβάνοντας υπόψιν περιορισμούς που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας, την μέγιστη ενέργεια των drones, τις κάμερες που απαιτούνται σε κάθε εργασία και το αν θα υπάρχει η κάμερα που απαιτείται για κάθε εργασία σε κάθε drone. Επίσης υπολογίζεται η κατανάλωση ενέργειας του σμήνους στην βέλτιστη αυτή περίπτωση αθροίζοντας ξεχωριστά τις καταναλώσεις ενέργειας που απαιτείται. Καθώς είναι όλα τα δεδομένα στην βάση δεδομένων στον localhost τα αποτελέσματα θα αλλάζουν μόνο εφόσον αλλάχθούν οι τιμές που υπάρχουν στους πίνακες εφόσον έχει γίνει δυναμική εισαγωγή των απαιτούμενων μεγεθών στο μοντέλο GAMS. Επίσης συμπεραίνεται με βάση την εκτέλεση των τριών σεναρίων του κεφαλαίου 3 ότι για μικρότερη κατανάλωση ενέργειας δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο ο αριθμός των drones και των εργασιών αλλά τα χαρακτηριστικά των drones, η απαίτηση των εργασιών σε κάποια κάμερα και η κατανάλωση ενέργειας που θα έχει κάθε drone στην περίπτωση που θα αναλάβει κάθε εργασία.

### 4.2 Πιθανή μελλοντική επέκταση

Μια πιθανή προοπτική για μελλοντική εξέλιξη περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος χρήστη (UI), μέσω του οποίου θα διεκπεραιώνεται ολόκληρη η περιγραφείσα διαδικασία. Μια επιπλέον πιθανή επέκταση θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου καθοδήγησης για την απόκτηση της πραγματικής ενεργειακής κατανάλωσης ανά εργασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενεργειακή κατανάλωση ανά εργασία είναι αυθαίρετη, επομένως, ως επόμενο βήμα, απαιτείται ο υπολογισμός αυτής της ενέργειας με έναν τρόπο που θα καθορίζεται με ευφυείς μεθόδους. Μια πιθανή προσέγγιση θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη ενός προηγμένου αλγορίθμου που λαμβάνει υπόψη του ποικίλους παράγοντες, όπως η φύση της εργασίας, οι χρονικές παράμετροι και οι τεχνολογικές απαιτήσεις.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση μιας διεπαφής χρήστη θα διευκόλυνε την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ενέργειας κατά μήκος του χρόνου, παρέχοντας στους χρήστες μια ολοκληρωμένη προοπτική της κατανάλωσης τους. Τέλος, η εξελιγμένη πλοήγηση στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης θα επιτρέπει την ακριβέστερη και βελτιστοποιημένη χρήση των πόρων, προσφέροντας ένα περιβάλλον εργασίας πιο βιώσιμο και αποδοτικό.

## Κεφάλαιο 5: Βιβλιογραφίες – Πηγές

- [1] Task assignment algorithms for unmanned aerial vehicle networks: A comprehensive survey Poudel Sabitri, Moh Sangman 2022 Volume 35
- [2] G. Even, M. Medina, and D. Ron. Best of two local models: Local centralized and local distributed algorithms. CoRR, abs/1402.3796, 2014.
- [3] G. Even, M. Medina, and D. Ron. Deterministic stateless centralized local algorithms for bounded degree graphs. In Algorithms – ESA 2014 – 22th Annual European Symposium, Wroclaw, Poland, September 8-10, 2014. Proceedings, pages 394-405, 2014
- [4] B.Y.B. Bethke, M. Valenti, J.P. How, UAV Task Assignment, 2008, pp. 39–44
- [5] Distributed Grouping Cooperative Dynamic Task Assignment Method of UAV Swarm Appl. Sci. 2022, 12(6), 2865; <https://doi.org/10.3390/app12062865>
- [6] X. Hu, J. Cheng, H. Luo, Task assignment for multi-UAV under severe uncertainty by using stochastic multicriteria acceptability analysis, Math. Probl. Eng. 2015 (2015), <https://doi.org/10.1155/2015/249825>.
- [7] M. Alighanbari, L.F. Bertuccelli, J.P. How, Filter-embedded UAV task assignment algorithms for dynamic environments, in: Collect. Tech. Pap. - AIAA Guid. Navig. Control Conf., vol. 4, 2004, pp. 2560–2574.
- [8] Y.K. Tun, Y.M. Park, N.H. Tran, W. Saad, S.R. Pandey, C.S. Hong, Energy-efficient resource management in UAV-assisted mobile edge computing, IEEE Commun. Lett. 25 (2020) 249–253, <https://doi.org/10.1109/lcomm.2020.3026033>.
- [9] Energy and Delay Aware Task Assignment Mechanism for UAV-based IoT Platform August 2019IEEE Internet of Things Journal
- [10] T. Chang, D. Kong, N. Hao, K. Xu, G. Yang, Solving the dynamic weapon target assignment problem by an improved artificial bee colony algorithm with heuristic factor initialization, Appl. Soft Comput. J. 70 (2018) 845–863, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.06.014>
- [11] I.P. De Medeiros, L.R. Rodrigues, S.A. Embraer, R. Santos, PHM-based multiUAV task assignment, in: IEEE International Systems Conference Proceedings, 2014, pp. 2–9.
- [12] Coordinated Target Assignment and Intercept for Unmanned Air Vehicles IEEE Transactions on Robotics and Automation
- [13] Y. Chen, D. Yang, J. Yu, Multi-UAV task assignment with parameter and timesensitive uncertainties using modified two-part Wolf pack search algorithm, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. 54 (2018) 2853–2872, <https://doi.org/10.1109/TAES.2018.2831138>.

- [14] Task Assignment of UAV Swarm Based on Wolf Pack Algorithm Yingtong Lu, Yaofei Ma \*, Jiangyun Wang and Liang Han School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China
- [15] UAV TASK ASSIGNMENT WITH TIMING CONSTRAINTS VIA MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING Corey Schumacher, Phillip Chandler, Meir Pachter, and Lior Pachte FEBRUARY 2004
- [16] Bio-Inspired Approaches for Energy-Efficient Localization and Clustering in UAV Networks for Monitoring Wildfires in Remote Areas MUHAMMAD YEASIR ARAFAT AND SANGMAN MOH , (Member, IEEE) Department of Computer Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Republic of Korea February 2, 2021
- [17] H. Falaghi, M.R. Haghifam, ACO based algorithm for distributed generation sources allocation and sizing in distribution systems, in: 2007 IEEE Lausanne POWERTECH, Proc., 2007, pp. 555–560.
- [18] Research on Cooperative Task Assignment of UAV Formation 2017 2nd International Conference on Computer Engineering, Information Science and Internet Technology (CII 2017)
- [19] The Dynamic Hungarian Algorithm for the Assignment Problem with Changing Costs G. Ayorkor Mills-Tettey Anthony Stentz M. Bernardine Dias.
- [20] Y. Khosiawan, Y. Park, I. Moon, J.M. Nilakantan, I. Nielsen, Task scheduling system for UAV operations in indoor environment, Neural Comput. Appl. 31 (2019) 5431–5459, <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3373-9>.
- [21] W. Liu, X. Zheng, H. Garg, Multi-UAV cooperative task assignment based on orchard picking algorithm, Int. J. Comput. Intell. Syst. 14 (2021) 1461–1467, <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.210423.003>.
- [22] A review on genetic algorithm: past, present, and future Volume 80, pages 8091–8126, (2021) Sourabh Katoch, Sumit Singh Chauhan & Vijay Kumar
- [23] T. Shima, S.J. Rasmussen, A.G. Sparks, K.M. Passino, Multiple task assignments for cooperating uninhabited aerial vehicles using genetic algorithms, Comput. Oper. Res. 33 (2006) 3252–3269, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.02.039>.
- [24] Q. Deng, J. Yu, N. Wang, Cooperative task assignment of multiple heterogeneous unmanned aerial vehicles using a modified genetic algorithm with multi-type genes, Chin. J. Aeronaut. 26 (2013) 1238–1250, <https://doi.org/10.1016/j.cja.2013.07.009>.
- [25] E. Edison, T. Shima, Integrated task assignment and path optimization for cooperating uninhabited aerial vehicles using genetic algorithms, Comput. Oper. Res. 38 (2011) 340–356, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2010.06.001>.

- [26] Cooperative multiple task assignment problem with stochastic velocities and time windows for heterogeneous unmanned aerial vehicles using a genetic algorithm Jia Zhenyue, Yu Jianqiao, Ai Xiaolin, Xu Xuan, Yang Di Aerospace Science and Technology 2018 pages 112-125 Volume 76
- [27] 2D dubins path in environments with obstacle Yang Dongxiao, Li Didong, Sun, Huafei Mathematical Problems in Engineering 2013
- [28] Z. Wang, B. Wang, Y. Wei, P. Liu, L. Zhang, Cooperative multi-task assignment of multiple UAVs with improved genetic algorithm based on beetle antennae search, in: Chinese Control Conf., CCC 2020, July, 2020, pp. 1605–1610.
- [29] Multi-UAV reconnaissance task allocation for heterogeneous targets using an opposition-based genetic algorithm with double-chromosome encoding Zhu WANG, Li LIU, Teng LONG, Yonglu WEN
- [30] Neural Networks Kiang, Melody Y 2003
- [31] Fast task allocation for heterogeneous unmanned aerial vehicles through reinforcement learning Xinyi Zhao , Qun Zong, Bailing Tian, Boyuan Zhang, Ming You September 2019, Volume 92 Pages 588-594
- [32] The Distributed Computing Column by Stefan Schmid Aalborg University Selma Lagerlöfs Vej 300, DK-9220 Aalborg, Denmark
- [33] M. Alighanbari, J.P. How, Robust decentralized task assignment for cooperative UAVs, in: Collect. Tech. Pap. - AIAA Guid. Navig. Control Conf., vol. 5, 2006, pp. 3232–3247.
- [34] Q. Cheng, D. Yin, J. Yang, L. Shen, An auction-based multiple constraints task allocation algorithm for multi-UAV system, in: Proc. - 2016 Int. Conf. Cybern. Robot. Control., CRC 2016, 2017, pp. 1–5.
- [35] An Auction-Based Multiple Constraints Task Allocation Algorithm for MultiUAV System Conference Paper · August 2016
- [36] M. Alighanbari, J.P. How, Robust decentralized task assignment for cooperative UAVs, in: Collect. Tech. Pap. - AIAA Guid. Navig. Control Conf., vol. 5, 2006, pp. 3232–3247.
- [37] N.N. Ei, S.W. Kang, M. Alsenwi, Y.K. Tun, C.S. Hong, Multi-UAV-assisted MEC system: joint association and resource management framework, in: Int. Conf. Inf. Netw., 2021-January, 2021, pp. 213–218.
- [38] Multi-UAV Reconnaissance Task Assignment for Heterogeneous Targets Based on Modified Symbiotic Organisms Search Algorithm Hao-Xiang Chen, Ying Nan and Yi Yang

- [39] H.X. Chen, Y. Nan, Y. Yang, Multi-UAV reconnaissance task assignment for heterogeneous targets based on modified symbiotic organisms search algorithm, *Sensors (Switzerland)* 19 (2019), <https://doi.org/10.3390/s19030734>.
- [40] M. Alighanbari, J.P. How, A robust approach to the UAV task assignment problem, *Int. J. Robust Nonlinear Control* 18 (2008) 118–134, <https://doi.org/10.1002/rnc.1268>.
- [41] FETA: Fairness Enforced Verifying, Training, and Predicting Algorithms for Neural Networks Kiarash Mohammadi, Aishwarya Sivaraman, Golnoosh Farnadi 1 Jun 2022
- [42] Pymoo: Multi-Objective Optimization in Python Blank Julian, Deb Kalyanmoy IEEE Access 2020 pages 89497- 89509 Volume 8
- [43] GAMS - Modeling and Solving Optimization Problems Abebe Geletu Institute of Mathematics Department of Operations Research & Stochastic Ilmenau University of Technology April 28, 2008
- [44] Solving the interval linear programming problem: A new algorithm for a general case Hasan Ali Ashayerinasab, Hasan Mishmast Nehi, Mehdi Allahdadi Volume 93, 1 March 2018, Pages 39-49