

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών  
Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας**

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**



**Νέας γενιάς συστήματα δημόσιας ασφαλείας με την χρήση  
αυτόνομων οχημάτων**

**Χαράλαμπος Μουττάς**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Παναγιώτα Τσίντζα**

**Νοέμβριος 2019**

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών  
Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας**

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Νέας γενιάς συστήματα δημόσιας ασφαλείας με την χρήση  
αυτόνομων οχημάτων**

**Χαράλαμπος Μουττάς**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Παναγιώτα Τσίντζα**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στα Συστήματα Ασύρματων Επικοινωνιών από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

**Νοέμβριος 2019**



## Περίληψη

Ο στόχος της μεταπτυχιακής διατριβής, είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη μιας εφαρμογής η οποία θα χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ύπαρξης ενός καταστροφικού φαινομένου και θα εξασφαλίζει την αποστολή μηνύματος προειδοποίησης σε χρήστες έξυπνων συσκευών. Οι κυριότεροι άξονες της διατριβής είναι η σχεδίαση της εφαρμογής αυτής, η εκτέλεση προσομοιώσεων για την εξαγωγή συμπερασμάτων καθώς και η χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων με σκοπό να ξεπεραστούν τυχόν φυσικά εμπόδια που υπάρχουν ή δημιουργούνται, μετά από μια καταστροφή.

Για την υλοποίηση της χρησιμοποιήθηκε το android studio, όπου αναπτύχθηκε η εφαρμογή στην οποία απεικονίζεται το περιβάλλον καταστροφής. Παράλληλα εξετάζεται ένας αλγόριθμος για την απόφαση λήψης θέσης και συχνότητας μέσα στο περιβάλλον αυτό από τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι συσκευές αυτές είναι Stem κόμβοι οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν από μόνες τους αποφάσεις για την εκπλήρωση ενός αντικειμενικού σκοπού. Τα αποτελέσματα και οι προσομοιώσεις είναι ενδιαφέρον και ξεπερνούν όλα τα πιθανά προβλήματα με τα οποία έρχεται αντιμέτωπη η εφαρμογή αυτή.

## **Summary**

The goal of the master's thesis is to design and develop an application that will be used in cases of a catastrophic event and will provide a warning message to smart device users. The main axis of the thesis is the design of this application, the implementation of simulations to draw conclusions as well as the use of unmanned vehicles in order to overcome any natural barriers that exist or arise after a disaster.

Its implementation was used by the android studio, where an application was developed that depicts the disaster environment. At the same time, an algorithm for deciding the position and frequency in this environment by unmanned aircraft is examined. These devices are Stem nodes that have the ability to make their own decisions to accomplish an objective. The results and simulations are interesting and outweigh any potential problems encountered with this application.

## **Ευχαριστίες**

Θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέπων καθηγήτρια της οποίας η συμβολή στην διεκπεραίωση της διατριβής αυτής ήταν πολύ σημαντική.

# Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Απεικόνιση καταστροφικών φαινομένων παγκόσμια.....	7
---	---

# Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Υποδομή Long Term Evolution.....	14
Σχήμα 2. Δίκτυο Αυτόνομων Οχημάτων.....	29
Σχήμα 3. Η αρχιτεκτονική ενός STEM Node.....	33
Σχήμα 4. Η αρχιτεκτονική STEM δικτύου.....	35
Σχήμα 5. Πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων.....	37
Σχήμα 6. Repairing Mesh Network in a post-disaster σενάριο.....	41
Σχήμα 7. Δυνάμεις σε δίκτυο.....	43
Σχήμα 8. Δομή Stem Drone με Battery Life-time Module.....	48
Σχήμα 9. Activity 1.....	50
Σχήμα 10. Τμήμα κώδικα 1 – Μήνυμα Ενημέρωσης.....	50
Σχήμα 11. Τμήμα κώδικα 2 – Μήνυμα ενημέρωσης.....	51
Σχήμα 12. Τμήμα κώδικα 3 – Μήνυμα ενημέρωσης.....	51
Σχήμα 13. Activity 2.....	52
Σχήμα 14. Τμήμα κώδικα 4 – Μήνυμα ενημέρωσης.....	52
Σχήμα 15. Τμήμα κώδικα 5 – Μέθοδος Hashmap.....	56
Σχήμα 16. Τμήμα κώδικα 6 - Τοποθέτηση αποτελεσμάτων κατά φθίνουσα.....	56
Σχήμα 17. Τμήμα κώδικα 7 – Μήνυμα ενημέρωσης.....	57
Σχήμα 18. Μοντέλο Plane Earth Loss.....	59
Σχήμα 19. Τμήμα κώδικα 8 – Δεδομένα.....	59
Σχήμα 20. Απεικόνιση Πλαισίου.....	60
Σχήμα 21. Τμήμα κώδικα 9 – Αλγόριθμος.....	61



<b>Σχήμα 22.</b> Τμήμα κώδικα 10 – Αλγόριθμος.....	61
<b>Σχήμα 23.</b> Activity 2 – Results.....	63

# Κατάλογος Ακρωνύμων

## Ακρώνυμο

## Περιγραφή

TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TEDS	TETRA Enhanced Data Services
IoT	Internet of Things
4G	4 Generation
LTE	Long Term Evolution
IP	Internet Protocol
QoS	Quality of Service
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
HSS	Home Subscriber Server
UAV	Unnamed Aerial Vehicle
LoS	Line of Sight
OSI	Open System Interconnection model
ΚΣΔΚ	Κέντρο Συντονισμού και Διαχείρισης Κρίσεων
FHOP	Frequency Hopping
MHz-KHz-GHz	Mega – Kilo – Giga Hertz

UHF – VHF – HF	Ultra –Very – High Frequency
CDL	Command Data Link
VDL	Video Data Link
Mbps	Mega bits per second
NATO	North Atlantic Treaty Organization
GPS	Global Positioning System
WiMAX	Worldwide interoperability for Microwave Access
FANET	Flying Ad-hoc Network
AODV	Ad-hoc on demand Distance Vector
RREQ	Route Request
DDTN	Delay and Disruption Tolerant Network
STEM	Science Technology Engineering and Mathematics
SDR	Software Defined Radio
CR	Cognitive Radio
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
TCP/IP	Transmission Control Protocol and IP
Wi-Fi	Wireless Fidelity
RU	Repairing Unit

# Περιεχόμενα

<b>1.</b>	<b>Εισαγωγή - Δίκτυα Δημόσιας Ασφάλεια.....</b>	<b>1</b>
1.1	Αναγκαιότητα ανάπτυξης εφαρμογής.....	1
1.2	Εισαγωγή στο Επιχειρησιακό Πλαίσιο.....	5
1.2.1	Επιχειρησιακό περιβάλλον για την αποστολή μηνύματος προειδοποίησης.....	9
1.2.1	Επιχειρησιακό περιβάλλον μετά την παρουσία φαινομένου.....	11
1.3	Τεχνολογίες Ασύρματων Δικτύων.....	12
1.4	Ιδιαιτερότητες Σεναρίου Έκτακτης Ανάγκης.....	16
<b>2</b>	<b>Μη επανδρωμένα Οχήματα.....</b>	<b>17</b>
2.1	Ιστορική Αναδρομή Μη Επανδρωμένων Οχημάτων.....	17
2.2	Αυτόνομο Δίκτυο Οχημάτων.....	26
2.3	Δικτύωση Αυτόνομων Οχημάτων.....	28
<b>3</b>	<b>Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός .....</b>	<b>30</b>
3.1	Αναφορά στα αυτό-οργανωτικά συστήματα STEM.....	30
3.2	Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός.....	32
3.3	Πρωτόκολλα Επικοινωνίας.....	35
<b>4</b>	<b>Ανάλυση Προβλημάτων.....</b>	<b>40</b>
4.1	Συνδεσιμότητα.....	40
4.2	Σύγκλιση.....	45
4.3	Ενέργεια.....	46
<b>5</b>	<b>Μοντελοποίηση.....</b>	<b>49</b>
5.1	Διεπαφή Χρήστη.....	49
5.2	Android Studio.....	53
5.3	Java.....	54
5.4	Αλγόριθμος Εφαρμογής.....	57
<b>6</b>	<b>Επίλογος - Συμπεράσματα.....</b>	<b>64</b>
6.1	Συμπεράσματα.....	64
6.1.1	Πλεονεκτήματα.....	65

6.1.2	Μειονεκτήματα.....	66
6.2	Επίλογος.....	66
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>67</b>

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή - Δίκτυα Δημόσιας Ασφάλειας

Κύριος στόχος της μεταπτυχιακής διατριβής είναι η δημιουργία εφαρμογής η οποία θα αξιοποιείται κυρίως για την αποστολή μηνύματος σε περιοχές που έχουν πληγεί από ένα καταστροφικό φαινόμενο. Στο παρόν, εισαγωγικό, κεφάλαιο στόχος είναι η παρουσίαση της ανάγκης ανάπτυξης μιας τέτοιας εφαρμογής, ο καθορισμός του επιχειρησιακού περιβάλλοντος, των πιθανών γεγονότων καθώς και των περιπτώσεων στις οποίες θα αξιοποιείται η εφαρμογή. Στην συνέχεια της διατριβής θα αναφερθούν οι τεχνολογίες των ασύρματων δικτύων που θα αναπτυχθούν για την υλοποίηση της. Εν κατακλείδι θα παρουσιαστεί μια περίληψη των ιδιαιτεροτήτων του εκάστοτε σεναρίου έκτακτης ανάγκης με τα οποία πιθανώς, η εφαρμογή, να έρχεται αντιμέτωπη.

### 1.1 Αναγκαιότητα ανάπτυξης της εφαρμογής

Βιβλιογραφικά εντοπίζεται μια μεγάλη γκάμα προϋπάρχουσας τεχνολογίας κυρίως με έμφαση στην αξιοποίηση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ως μέρη ενός συστήματος μιας έξυπνης πόλης ή ως μέρη ενός δικτύου δημόσιας ασφάλειας. Η μελέτη και η ανάπτυξη αυτή στηρίζεται στις ικανότητες που παρέχει η χρήση των αεροσκαφών αυτών, στον τομέα της συλλογής πληροφοριών - sensing καθώς και του acting σε ένα δίκτυο δημόσιας ασφάλειας.

Η αναγκαιότητα ανάπτυξης τέτοιων τεχνολογιών ασφάλειας πόλεων και όχι μόνο άγεται στο γεγονός ότι, όπως αναφέρεται σε μελέτη [1], από τα Ηνωμένα Έθνη, μέχρι το 2050 το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού θα κατοικεί σε τεράστιες πόλεις. Λόγω της πληθυσμιακής αύξησης και της ανάγκης απεξάρτησης από την παραδοσιακή ενσύρματη καλωδίωση, υπάρχει η πιθανότητα το μεγαλύτερο ποσοστό των δικτύων να επιτυγχάνεται με την ασύρματη ζεύξη. Έτσι οποιαδήποτε δίκτυα δημόσιας ασφάλειας ή αισθητήρες μιας έξυπνης πόλης, θα στηρίζονται σε κινητούς επικοινωνιακούς κόμβους όπως είναι τα drone.

Κατόπιν τούτου στην βιβλιογραφία και συγκεκριμένα στο [1] γίνεται αναφορά για αξιοποίηση των drone ως MSP, δηλαδή Mobile Sensing Platforms, όπου τα οχήματα συλλέγουν δεδομένα για ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Η αξιοποίηση τους βασίζεται, κυρίως, στο γεγονός ότι παρέχουν δυνατότητες αυξημένης κινητικότητας και μεταφοράς δεδομένων live όπως επίσης, μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις από μόνες τους αναλόγως των δεδομένων που λαμβάνουν.

Παράλληλα, προτείνεται όπως αξιοποιηθούν σε επικίνδυνες αποστολές όπου απαγορεύεται και είναι επικίνδυνη η ανθρώπινη ύπαρξη. Συγκεκριμένα, δίνεται το παράδειγμα στο [1] για την χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων ως αισθητήρες διαρροής υγραερίου σε εργοστάσια, όπου ο εντοπισμός της με γυμνό μάτι είναι αδύνατη. Πέραν των ανωτέρω, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εντοπισμό ραδιενέργειας, καθώς και να αξιοποιηθούν στις περιπτώσεις ύπαρξης πυρκαγιάς. Παράλληλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε καθημερινές λειτουργίες όπως είναι η διαχείριση κίνησης αυτοκινήτων στις πόλεις, για περιπολίες σε σύνορα καθώς και για παράδοση πακέτων.

Πέραν της αξιοποίησης τους ως αισθητήρες για τις διάφορες περιπτώσεις που έχουν αναπτυχθεί, τα drone μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως κόμβοι επικοινωνίας. Συγκεκριμένα στο [1] παρουσιάζονται ως πάροχοι κινητής τηλεφωνίας GSM, και σε ευρύτερο επίπεδο αξιοποίησης των επικοινωνιών VHF/UHF με βάση την οπτική επαφή - line of sight.

Σε ένα ευρύτερο επίπεδο και σαν μια ολοκληρωμένη πρόταση στο [1] προτείνεται όπως αξιοποιηθούν για τα αρχικά στάδια πριν την πρόκληση ενός καταστροφικού φαινομένου σαν αισθητήρες συλλογής δεδομένων, στην συνέχεια κατά την διάρκεια της παρουσίας του φαινομένου ως μέτρο συλλογής πληροφοριών για αξιολόγηση του επιπέδου καταστροφής,

ενώ μετά την καταστροφή ως κόμβοι επικοινωνιών για τους διάφορους φορείς του κράτους που θα επέμβουν για την παροχή Α' βοηθειών.

Συγκεκριμένα μεγάλο βάρος δίνεται στον ρόλο που μπορούν να επιτελέσουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ως παρατηρητές για το επίπεδο καταστροφής, αφού μπορούν να συλλέξουν πληροφορίες μέσω live streaming video για το μέγεθος της καταστροφής και να το παρέχουν στο κέντρο συλλογής πληροφοριών.

Συγκριτικά με τα προαναφερθέντα και συγκεκριμένα στην βιβλιογραφία που έχει παρουσιαστεί μέχρι στιγμής, η οποία μελετά τις μεθόδους χρήσης των drone η αναγκαιότητα της ανάπτυξης της εφαρμογής και ειδικότερα της μεταπτυχιακής διατριβής στηρίζεται στα παρακάτω γεγονότα.

Στην συγκεκριμένη διατριβή, παρουσιάζεται μια ικανοποιητική μεθοδολογία δικτύωσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών με άμεσο στόχο την αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργούν αρχικά η ευκολία στην κίνηση τους και ακολούθως οι απότομες αλλαγές πορείας που μπορούν να εκτελέσουν. Τα drone χαρακτηρίζονται με 6 degree of freedom movements ως αποτέλεσμα στο επίπεδο 1 του πρωτοκόλλου TCP/IP physical layer, να δημιουργούνται τεράστια εμπόδια για την δικτύωση τους. Σύμφωνα με την μελέτη της βιβλιογραφίας δεν έχει παρατεθεί μέχρι στιγμής μια ικανοποιητική μεθοδολογία αντιμετώπισης των προαναφερθέντων προβλημάτων.

Επιπρόσθετα από τα όσα έχουν μελετηθεί στην βιβλιογραφία μέχρι σήμερα δεν έχει παρουσιαστεί μια ικανοποιητική μεθοδολογία ανάπτυξης εφαρμογής με την οποία, ο διαχειριστής δικτύου μπορεί να τοποθετήσει τα δεδομένα για το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα αξιοποιήσει την εφαρμογή και απευθείας τα εξαχθέντα δεδομένα να του δώσουν τις θέσεις των drone που πρέπει να καταλάβουν ούτως ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δικτύωση των χρηστών. Παράλληλα στην διατριβή παρατίθεται ο τρόπος ο οποίος μέσω του αλγορίθμου ο οποίος τρέχει στην εφαρμογή επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή δικτύωση σε δυναμικά περιβάλλοντα.

Συγκεκριμένα στο [1] αναφέρεται ότι η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών πριν την παρουσία καταστροφικού φαινομένου, περιορίζεται στην συλλογή πληροφοριών ως αισθητήρες και για την μεταφορά εικόνας. Στην μεθοδολογία που παρατίθεται στην



διατριβή, γίνεται λόγος για αξιοποίηση των drone ως κόμβοι αποστολής μηνυμάτων πριν αλλά και μετά την καταστροφή για την πρόληψη και την έγκαιρη ενημέρωση των χρηστών έξυπνων συσκευών ούτως ώστε να μειωθούν οι απώλειες ανθρώπινων ζωών στο ελάχιστο.

Επιπρόσθετα στην διατριβή παρουσιάζεται μια μέθοδος αλληλεπίδρασης με τους διαχειριστές του δικτύου καθώς και με τους χρήστες έξυπνων συσκευών. Συγκεκριμένα στην μεταπτυχιακή διατριβή ο διαχειριστής του δικτύου αλληλεπιδρά με το δίκτυο χρησιμοποιώντας την εφαρμογή, ενώ οι χρήστες έξυπνων συσκευών αλληλεπιδρούν αφού συνδέονται στο δίκτυο και λαμβάνουν μηνύματα ενημέρωσης. Στην αναγνωσθείσα βιβλιογραφία δεν έχει εντοπιστεί κάτι αντίστοιχο.

Επιπρόσθετα στο [1] όπου αναφέρεται μια μέθοδος αξιοποίησης των drone ως κόμβοι παροχής τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας, θεωρείται ότι αξιοποιούνται μη επανδρωμένα αεροσκάφη τα οποία έχουν την ικανότητα να αξιολογούν δεδομένα και να λαμβάνουν αποφάσεις. Στην συγκεκριμένη διατριβή αναφέρεται λεπτομερή η δομή των STEM συσκευών καθώς και η μεθοδολογία που θα ακολουθούν για να λαμβάνουν αποφάσεις οποιασδήποτε φύσης, είτε αφορά κίνηση, είτε δικτύωση.

Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτή η αναγκαιότητα μιας τέτοιας εφαρμογής. Συγκεκριμένα απαντά σε πολλά ερευνητικά ερωτήματα και κενά τα οποία υφίστανται και πρέπει να προσπελαστούν ούτως ώστε να επιτυγχάνεται μια εύκολη και άμεση δικτύωση.

Στο υπόλοιπο κείμενο της μεταπτυχιακής διατριβής θα ακολουθήσει αρχικά στα πρώτα κεφάλαια μια εκτενής ανάλυση των χαρακτηριστικών του δικτύου και των μη επανδρωμένων αεροσκαφών που θα υλοποιήσουν την δικτύωση. Παράλληλα θα παρουσιαστεί η μέθοδος που αναπτύχθηκε για την υλοποίηση της εφαρμογής. Συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο, θα αναλυθούν το επιχειρησιακό περιβάλλον μέσα στο οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί, είτε αυτό είναι πριν την παρουσία κάποιου καταστροφικού φαινομένου είτε μετά. Ακολούθως θα παρουσιαστούν οι τεχνολογίες ασύρματων δικτύων που προτείνεται να χρησιμοποιηθούν.

Επιπρόσθετα στο κεφάλαιο δύο παρουσιάζεται μια λεπτομερή καταγραφή των ιστορικών εξελίξεων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών από το 1849 έως σήμερα, με βάση τα τηλεπικοινωνιακά τους χαρακτηριστικά. Στην συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι

ιδιαιτερότητες που προσθέτουν στο δίκτυο τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, καθώς και η μέθοδος αντιμετώπισης των ιδιαιτεροτήτων αυτών.

Στο κεφάλαιο τρία, παρουσιάζεται η δομή των συσκευών Stem που θα αξιοποιηθούν, τα χαρακτηριστικά τους και τι προσδίδουν στην ανάπτυξη της εφαρμογής. Παράλληλα αναπτύσσεται το πρωτόκολλο επικοινωνίας που θα αξιοποιηθεί στην βάση του TCP/IP. Στο κεφάλαιο τέσσερα, παρουσιάζονται τα προβλήματα που δημιουργούνται στις υποδομές του δικτύου λόγω του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο αναπτύσσονται. Τα προβλήματα αυτά αφορούν την συνδεσιμότητα, την σύγκλιση και την ενέργεια για τα οποία παρουσιάζονται και οι ανάλογες λύσεις και ο αλγόριθμος της διατριβής.

Στο κεφάλαιο πέντε, παρουσιάζεται η εφαρμογή και όλοι οι άξονες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της, όπως είναι το Android Studio και το Java. Επιπρόσθετα παρατίθενται αποτελέσματα προσομοίωσης για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Στο τελευταίο κεφάλαιο 6 της μεταπτυχιακής διατριβής παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τα οποία αναπτύχθηκαν στην πορεία υλοποίησης της.

## **1.2 Εισαγωγή στο επιχειρησιακό πλαίσιο**

Στον 21<sup>ο</sup> αιώνα στον οποίο διαβιούμε σήμερα, η παρουσία ενός φαινομένου φυσικής καταστροφής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας. Κατά καιρούς, στα μέσα μαζικής επικοινωνίας γίνεται αναφορά σε πλημμύρες, υψηλές θερμοκρασίες, λιώσιμο των πάγων, σεισμούς και πυρκαγιές. Πλέον τέτοια φαινόμενα αποτελούν μέρος της καθημερινότητας μας και για αυτό η κοινωνία οφείλει να εντοπίσει τα αντίμετρα τα οποία θα περιορίσουν την ζημιά που μπορούν να επιφέρουν.

Από τις μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές που έχουν παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια είναι ο σεισμός το 2010 στην Haiti. Στο συγκεκριμένο φαινόμενο, έχασαν την ζωή τους 220,000 άνθρωποι [2]. Εάν υπήρχε η δυνατότητα εντοπισμού και παροχής Α΄ Βοηθειών στους τραυματίες, ο αριθμός αυτός ίσως να μην ήταν τόσο μεγάλος. Στην Αμερική, το 2005 το ξέσπασμα του τυφώνα Katrina είχε ως αποτέλεσμα να χάσουν την ζωή τους 1800

άνθρωποι, να καταστραφεί τεράστιος αριθμός κτιρίων και να προκληθούν ζημιές οι οποίες εκτιμάται ότι ανέρχονταν στα 75 δισεκατομμύρια δολάρια [3]. Στον αντίποδα η ανθρώπινη τεχνολογική ανάπτυξη σε συνδυασμό με τις ανωμαλίες της φύσης, είχε ως αποτέλεσμα την πυρηνική έκρηξη στην Fukushima τον Μάρτιο του 2011. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, μεγάλες ποσότητες ραδιενέργειας απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα αναγκάζοντας την εκκένωση περιοχής μεγέθους 20 τετραγωνικών χιλιομέτρων [4].

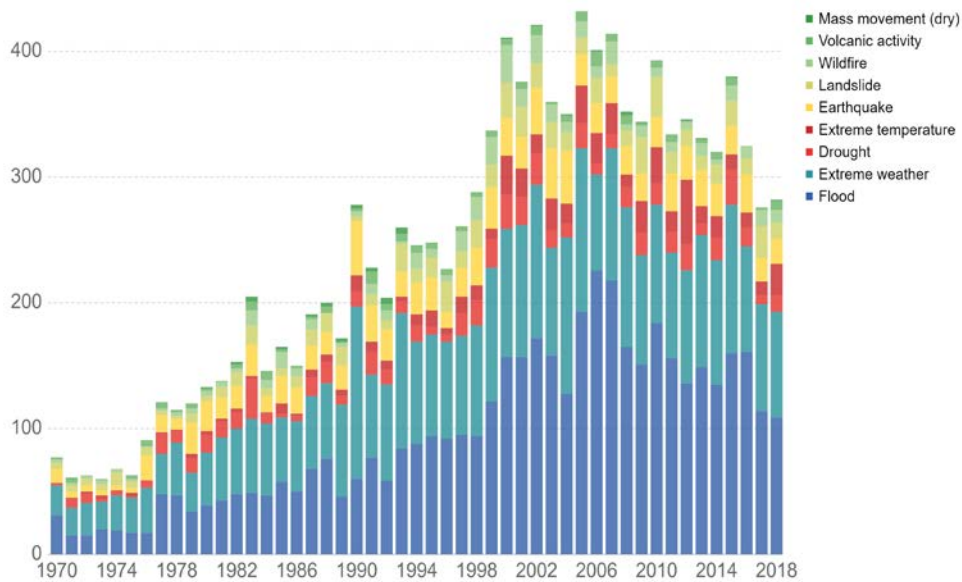
Στην καταστροφή στην Ιαπωνία απενεργοποιήθηκαν 14 χιλιάδες σταθμοί κινητής τηλεφωνίας και τέθηκαν εκτός λειτουργίας ένα εκατομμύριο χρήστες κινητών τηλεφώνων [4]. Παράλληλα, στον σεισμό στο Νεπάλ ο οποίος έφτασε τα 7,8 ρίχτερ, μια πληθώρα ομάδων διάσωσης μετέβηκε στην περιοχή για να παρέχει βοήθεια. Η έλλειψη τηλεπικοινωνιακής υποδομής στην χώρα, είχε ως αποτέλεσμα αρκετές από αυτές τις ομάδες να μην καταφέρουν να φέρουν εις πέρας την αποστολή τους, αφού η αδυναμία επικοινωνίας προκάλεσε την έλλειψη συντονισμού και μεταφοράς των βοθητών που προσφέρθηκαν.

Μερικές φορές αυτό που έχει πραγματική αξία δεν είναι το μέγεθος της βοήθειας που μπορεί να φτάσει αλλά, αν τελικά μπορεί να καταλήξει εκεί που πραγματικά υπάρχει ανάγκη. Πλέον τα ακραία καιρικά φαινόμενα αποτελούν αποδεδειγμένα μέρος της καθημερινότητας μας, για αυτό αξίζει να ασχοληθούμε ως ερευνητές για την πρόληψη και την αντιμετώπιση τους από τηλεπικοινωνιακής πλευράς.

Οι πρώτες 72 ώρες μετά το ξέσπασμα μιας καταστροφής χαρακτηρίζονται ως «Golden hours» για την ζωή των παγιδευμένων θυμάτων [4]. Για τον λόγο αυτό η εμπλοκή οποιουδήποτε τμήματος παροχής Α' Βοηθειών πρέπει να είναι άμεση. Για να υλοποιηθεί η άμεση υποστήριξη οφείλουμε πρώτα να εξασφαλίσουμε την επικοινωνιακή υποστήριξη των τμημάτων που θα εμπλακούν. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται μια δίοδος μεταφοράς δεδομένων είτε προς ένα κεντρικό τμήμα αξιολόγησης πληροφοριών είτε για την αποστολή μηνύματος στους πληγέντες.

## Global reported natural disasters by type

The annual reported number of natural disasters, categorised by type. This includes both weather and non-weather related disasters.



Source: EMDAT (2017): OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain – Brussels – Belgium  
OurWorldInData.org/natural-disasters • CC BY

### Διάγραμμα 1. Απεικόνιση καταστροφικών φαινομένων παγκόσμια [5].

Ας αναλογιστεί κανείς το μέγεθος του επικοινωνιακού χάους που δημιουργήθηκε στην Ιαπωνία μετά την καταστροφή των 14000 χιλιάδων base station [2]. Οι πληγέντες δεν είχαν μέσο επικοινωνίας με τους οικείους τους, αλλά ούτε και με τις μονάδες εγκαίρου επεμβάσεως προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο τον πανικό σε χιλιάδες κόσμο, πληγέντες και μη. Οι δημόσιες υπηρεσίες είχαν παραλύσει τηλεπικοινωνιακά και μια κατάσταση επικοινωνιακής ανεπάρκειας είχε δημιουργηθεί.

Πρωταρχικός στόχος της εφαρμογής αυτής, είναι η παροχή της ενημέρωσης που απαιτείται για την έγκαιρη απομάκρυνση χιλιάδων ανθρώπων από τις μελλοντικά πληγείσες περιοχές. Σκοπός είναι, η εφαρμογή να μην χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις πριν την πρόκληση οποιασδήποτε καταστροφής αλλά και σε περιπτώσεις μετά από οποιοδήποτε φαινόμενο όπου επείγει η άμεση ενημέρωση πληθυσμού. Η ενημέρωση αυτή μπορεί να εμπεριέχει σημαντικές πληροφορίες, όπως είναι ο χώρος που έχουν εγκατασταθεί τα κέντρα παροχής Βοηθειών, παροχής φαγητού ή καταμέτρησης πληθυσμού και πολλά άλλα.

Από την μέχρι τώρα ανάλυση της θεωρίας και συγκεκριμένα της ανάγκης ανάπτυξης μιας τέτοιας εφαρμογής, δημιουργούνται σημαντικά ερευνητικά ερωτήματα. Το πρώτο είναι ποια υποδομή καθώς και ποιο πρωτόκολλο δικτύου πρέπει να επιλεγεί ούτως ώστε να

επιτευχθεί η δικτύωση αρχικά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών καθώς και στην συνέχεια των χρηστών έξυπνων συσκευών. Παράλληλα ποιο είναι το μοντέλο υπολογισμού απωλειών το οποίο πρέπει να χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τις ανάγκες και τις ιδιομορφίες του εκάστοτε περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη ότι θα χρησιμοποιηθεί στον αλγόριθμο καθορισμού θέσης και συχνότητας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Εν τέλει ποια είναι η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση της αποστολής μηνύματος προειδοποίησης στους χρήστες της εφαρμογής.

Σήμερα, οι περισσότεροι φορείς οι οποίοι ασχολούνται με την παροχή άμεσης υποστήριξης, συνήθως, διαθέτουν τα δικά τους συστήματα επικοινωνιών. Για παράδειγμα οι δυνάμεις της αστυνομίας, πυροσβεστικής και άλλοι φορείς του κράτους διαθέτουν συστήματα επικοινωνιών που βασίζονται κυρίως σε τεχνολογίες TETRA ή TEDS [6]. Πρόκειται για μια σχετικά οικονομική λύση με κύριο μειονέκτημα την έλλειψη ενιαίου φάσματος λειτουργίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, στις περιπτώσεις που αξιοποιούνται ταυτόχρονα στις ίδιες περιοχές, να δημιουργούνται παρεμβολές και το δίκτυο να παραλύει. Όλα αυτά διευρύνουν το μέγεθος της ανάγκης νέου επικοινωνιακού συστήματος για την υποστήριξη τέτοιων φαινομένων.

Πριν επεξηγηθούν επακριβώς οι περιπτώσεις στις οποίες η εφαρμογή αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί, πρέπει να γίνει σαφές πότε και υπό ποιες συνθήκες θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η εγκατάσταση και η ανάπτυξη του δυναμικού δικτύου θα γίνεται στις περιπτώσεις όπου οι υποδομές της κινητής τηλεφωνίας έχουν καταστραφεί και οι χρήστες των έξυπνων συσκευών έχουν την ανάγκη για να συνδεθούν σε ένα δυναμικό δίκτυο. Παράλληλα η εφαρμογή μπορεί να αναπτυχθεί και στις περιοχές όπου η προσφερόμενη κάλυψη κινητής τηλεφωνίας δεν είναι ικανοποιητική. Δηλαδή η ανάπτυξη της μπορεί να εφαρμοστεί και σε απομονωμένα δάση, σε χαράδρες και όπου είναι δυνατόν να μην υπάρχει παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αλλά η ανάγκη επικοινωνίας με τους πληγέντες ή τις ομάδες διάσωσης είναι υπαρκτή.

### **1.2.1. Επιχειρησιακό περιβάλλον για την αποστολή μηνύματος προειδοποίησης**

Στις περιπτώσεις όπου η εφαρμογή θα χρησιμοποιείται προτού υπάρξει φαινόμενο καταστροφής, οι επικοινωνιακές συνθήκες είναι ιδανικές. Η υποδομή δεν έχει παρουσιάσει οποιαδήποτε βλάβη και η ανάγκη διακίνησης δεδομένων από τους χρήστες είναι στα φυσιολογικά επίπεδα, δηλαδή στα επίπεδα ζήτησης στα οποία εξυπηρετούσε μέχρι στιγμής το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Αυτό που πρέπει να αναπτυχθεί είναι η ικανότητα της πρόληψης οποιουδήποτε καταστροφικού φαινομένου. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εξασφάλιση της πρόληψης είναι η ύπαρξη μιας Smart City, ή τουλάχιστον μιας πόλης με τους κατάλληλους αισθητήρες [7]. Τα μέσα αυτά θα συλλέγουν πληροφορίες που αφορούν τον τομέα της επερχόμενης καταστροφής ούτως ώστε να επιτευχθεί η έγκαιρη ενημέρωση.

Προτού αναφερθεί εκτενώς το παράδειγμα της έξυπνης πόλης, οφείλεται να καθοριστεί επακριβώς η έννοια της λέξης καταστροφή και πως αυτή υιοθετείται στην συγκεκριμένη διατριβή, ούτως ώστε να καταστεί σαφές σε ποιες περιπτώσεις θα χρησιμοποιείται. Καταστροφή είναι μια κατάσταση φυσικής ή τεχνικής προέλευσης, η οποία μπορεί να προκαλέσει τεράστια ζημιά σε εγκαταστάσεις, υποδομές αλλά και απώλειες ανθρώπινης ζωής. Παραδείγματα αυτής είναι ένας ανεμοστρόβιλος, ένα τσουνάμι, μια πυρκαγιά, ένας σεισμός καθώς και μια έντονη βροχόπτωση ή χιονοθύελλα που πιθανόν να έχουν ως αποτέλεσμα εκτεταμένες ζημιές στις εγκαταστάσεις διαβίωσης καθώς και στις δομές τηλεπικοινωνιακής παροχής.

Το πεδίο εφαρμογής για την έγκαιρη προειδοποίηση μιας επερχόμενης καταστροφής είναι όπως προαναφέρθηκε μια έξυπνη πόλη [8]. Δηλαδή, μια περιοχή στην οποία υπάρχει ένα κεντρικό σύστημα συλλογής και αξιολόγησης πληροφοριών, οι οποίες θα συλλέγονται από έξυπνες συσκευές και θα μεταφέρονται με διάφορες μεθόδους σε ένα κεντρικό φορέα. Μετά την αξιολόγηση των πληροφοριών αυτών θα γίνεται η ανάλογη λήψη αποφάσεων ούτως ώστε να επιτευχθεί η έγκαιρη ενημέρωση προσωπικού με την χρήση της εφαρμογής.

Το μοντέλο μια τέτοιας πόλης στηρίζεται στη βάση λειτουργίας του C4I - Command, Control, Communications, Computers and Intelligence όπου σε ένα κεντρικό διακομιστή συλλέγονται όλες οι πληροφορίες από τα όργανα συλλογής πληροφοριών [9]. Τα όργανα

αυτά είναι έξυπνες συσκευές – αισθητήρες IoT<sup>1</sup>. Στον κεντρικό διακομιστή υπάρχει το κέντρο συντονισμού και διεύθυνσης κρίσεων όπου αξιολογούνται όλες οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί. Οι πληροφορίες θα μεταφράζονται υπό τύπον alarms, τα οποία θα αφορούν για παράδειγμα υπέρβαση θερμοκρασίας, στάθμης νερού, ύπαρξης καπνού κ.α.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση της πρόληψης για τσουνάμι οι έξυπνες συσκευές θα τοποθετούνται στην θάλασσα σε συγκεκριμένο ύψος από την στάθμη της και στην απομακρυσμένη περίπτωση της υπερκάλυψης τους από το νερό θα αποστέλλει ένα μήνυμα κινδύνου στον διακομιστή. Αυτού του είδους αισθητήρες, μπορούν να τοποθετηθούν είτε στην παραλία είτε σε συγκεκριμένο ύψος εντός της θάλασσας. Εν τέλει το τσουνάμι είναι φαινόμενο το οποίο παρατηρείται μετά από την ύπαρξη σεισμού σε μια θαλάσσια περιοχή, δεδομένο το οποίο πρέπει να γνωστοποιείται από τις σειсмоγραφικές υπηρεσίες στο κέντρο συλλογής πληροφοριών. Στην περίπτωση της πρόληψης έναντι κάποιου σεισμού, οι ενέργειες οι οποίες μπορούν να εκτελεστούν νωρίτερα είναι ελάχιστες μιας και ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο εντελώς αναπάντεχο. Μόνο στις περιπτώσεις όπου υπάρχει έκρηξη κάποιου ηφαιστείου αναμένεται να παρουσιαστούν σεισμικές δονήσεις, δεδομένο που χαρακτηρίζει το φαινόμενο ως προβλέψιμο [5].

Στην συνέχεια, όσον αφορά τις περιπτώσεις ύπαρξης ανεμοστρόβιλου, πέραν της πρόβλεψης που μπορεί να γίνει από τις μετεωρολογικές υπηρεσίες μπορούν να τοποθετηθούν αισθητήρες εντοπισμού κεραυνών και blackout. Πρέπει να θεωρείται δεδομένη η παρουσία ανεμοστρόβιλου μετά την ύπαρξη κεραυνών ή γενικά παρουσίας ηλεκτρικής ενέργειας στην ατμόσφαιρα. Με τον τρόπο αυτό η ηλεκτρική ενέργεια αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την πρόληψη έναντι αυτού του φαινομένου. Η μέγιστη απόσταση είναι τα 30 χιλιόμετρα και μπορεί να προσφέρει το δικαίωμα σε μια 30 λεπτή προειδοποίηση των πληγισών περιοχών, δεδομένου του μεγέθους της ταχύτητας του ανεμοστρόβιλου. Όλοι αυτοί οι αισθητήρες πρέπει να συνδέονται δικτυακά, όπου θα διαβιβάσουν το μήνυμα στο Κέντρο Συντονισμού και Διεύθυνσης Κρίσεων ούτως ώστε να αξιοποιηθεί άμεσα η εφαρμογή αυτή [9].

---

<sup>1</sup> Internet of Things, πρόκειται για συσκευές που χρησιμοποιούνται καθημερινά από τον άνθρωπο και έχουν την δυνατότητα να συνδέονται δικτυακά με άλλες συσκευές.

Όσον αφορά τις πυρκαγιές η λύση που πρέπει να δοθεί, πέραν των παρατηρητηρίων δασονομίας, είναι, μέσω των αισθητήρων θερμοκρασίας ή αισθητήρων καπνού κυρίως εντός μιας δασικής περιοχής για συλλογή αντίστοιχων πληροφοριών. Οι αισθητήρες αυτοί, θα συλλέγουν δεδομένα σε δασικές περιοχές και σε περίπτωση ύπαρξης υψηλής θερμοκρασίας, καθώς και έντονης παρουσίας καπνού, θα ενημερώνουν με ένα τυποποιημένο μήνυμα το Κέντρο Διαχείρισης και Συντονισμού Κρίσεων.

Ακολούθως, για την εξακρίβωση των λαμβανόμενων μηνυμάτων και για το εάν η πληροφορία είναι σωστή, θα πραγματοποιείται επιπλέον έλεγχος και μέσω αεροφωτογραφίας δορυφόρου. Στην αντίθετη περίπτωση, αυτή των πλημμύρων, η αρχική προειδοποίηση για έντονη βροχόπτωση παρέχεται από την μετεωρολογική υπηρεσία. Επιπλέον όμως, μπορούμε και μέσω αισθητήρων στάθμης νερού και υγρασίας να συλλέξουμε πληροφορίες για το ύψος της στάθμης του νερού σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως ποτάμια, και να δράσουμε άμεσα για την έγκαιρη προειδοποίηση. Παράλληλα μπορούν να αξιολογηθούν φωτογραφίες από δορυφόρους για συγκεκριμένες περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται ως πιθανά μελλοντικά πληγείσες.

Αυτές είναι οι γενικές περιπτώσεις και το επιχειρησιακό πλαίσιο μέσα στο οποίο θα γίνεται χρήση της προτεινόμενης εφαρμογής με κύριο στόχο την προειδοποίηση. Όπως προαναφέρθηκε, για την έγκαιρη προειδοποίηση, πρέπει να υφίσταται το κέντρο συλλογής πληροφοριών, το οποίο θα λάβει την απόφαση για να αποστείλει τα drone σε περιοχές με ελλιπείς δικτυακές υποδομές.

### **1.2.2. Επιχειρησιακό περιβάλλον για την αποστολή μηνύματος μετά την παρουσία καταστροφικού φαινομένου**

Στις περιπτώσεις όπου η εφαρμογή θα χρησιμοποιηθεί μετά την παρουσία ενός φαινομένου καταστροφής, πρέπει να θεωρείται δεδομένη η απενεργοποίηση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Εάν υπάρχει πιθανότητα κάποιοι σταθμοί να είναι ακόμη λειτουργικοί, τότε θα πρέπει να αξιοποιηθούν ως μέθοδοι διασύνδεσης του δυναμικού δικτύου με το Internet [10]. Όμως, οφείλεται να λαμβάνεται υπόψη ότι, η εφαρμογή θα



ενεργοποιηθεί στις χειρότερες περιστάσεις, αυτές δηλαδή της τηλεπικοινωνιακής καταστροφής.

Το επιχειρησιακό περιβάλλον που δημιουργείται περιγράφεται ως δυναμικό, μιας και οι συνθήκες που το χαρακτηρίζουν είναι μεταβλητές. Δηλαδή, η ζήτηση υπηρεσίας δεν είναι σταθερή, καθώς κανείς δεν μπορεί να υποθέσει εκ των προτέρων το πλήθος των χρηστών που θα καλείται να υποστηρίξει η εφαρμογή (κυρίως λόγω των πιθανών μετακινήσεων πληθυσμού). Παράλληλα, οι συνθήκες διάδοσης αλλάζουν μιας και η οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη πιθανόν να μην ισχύει στο συγκεκριμένο περιβάλλον, λόγω εμποδίων και καταστροφών σε κτίρια. Επιπρόσθετα, υπάρχει η πιθανότητα, οι καιρικές συνθήκες να είναι ασταθής δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο προβλήματα στην διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά του πεδίου εφαρμογής, δημιουργούν μεγάλα εμπόδια από τηλεπικοινωνιακής πλευράς στο δίκτυο. Εάν οι καιρικές συνθήκες δεν προσφέρονται για την ανάπτυξη των drone, τότε η εφαρμογή δεν μπορεί να αξιοποιηθεί.

Παράλληλα στις περιπτώσεις περιορισμού της οπτικής επαφής, πρέπει να χρησιμοποιούνται μοντέλα υπολογισμού της λαμβανόμενης ισχύς στον δέκτη, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τον προαναφερθέν περιορισμό. Παράδειγμα αυτής της περίπτωσης είναι το Μοντέλο Απωλειών Λείας Επίπεδης Επιφάνειας. Επιπλέον εάν η ζήτηση υπηρεσίας είναι τεράστια, προτείνεται ως άμεση λύση η αξιοποίηση όσο περισσότερων μη επανδρωμένων συσκευών απαιτείται.

### **1.3 Τεχνολογίες ασύρματων δικτύων**

Σκοπός της ενότητας αυτής, δεν είναι να καθορίσει τον τρόπο μεταφοράς των συλλεγόντων δεδομένων από τις έξυπνες συσκευές στο κέντρο αξιολόγησης. Στόχος, είναι ο καθορισμός των τεχνολογιών ασύρματων δικτύων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή μηνύματος εγκαίρου προειδοποίησης, μέσω της εφαρμογής. Επιπρόσθετα, καθορίζεται και η μέθοδος με την οποία θα αποστέλλεται το μήνυμα

προειδοποίησης σε περιπτώσεις πλήρους λειτουργικότητας του δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

Η μέθοδος η οποία αξιολογείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περίπτωση pre-disaster, αφορά την αποστολή μηνυμάτων στις ευάλωτες περιοχές, όπως προαναφέρθηκε, μέσω του δικτύου της κινητής τηλεφωνίας. Για την μέθοδο αυτή πρέπει να θεωρείται δεδομένο ότι δεν έχει υποστεί καμία ζημιά η υποδομή του κυψελωτού δικτύου. Η συγκεκριμένη τεχνολογία 4G ή αλλιώς Long Term Evolution (LTE)<sup>2</sup> στηρίχθηκε στην διευθυνσιοδότηση των χρηστών με την τεχνολογία IP<sup>3</sup> [11].

Κύριος σχεδιαστικός της στόχος ήταν να αυξηθεί στο μέγιστο δυνατό η ταχύτητα στο downlink<sup>4</sup> και uplink<sup>5</sup>. Για να επιτευχθεί το ζητούμενο, έπρεπε να μειωθούν οι οποιεσδήποτε καθυστερήσεις υπήρχαν στην διάδοση από τον χρήστη έως τον σταθμό, να υπάρχει η δυνατότητα παροχής υπηρεσίας σε οποιεσδήποτε κινήσεις του χρήστη καθώς και να υφίσταται η έννοια του Qos<sup>6</sup> σε οποιαδήποτε χρήση του νέου συστήματος.

Η δομή του συστήματος διαχωρίζεται αρχικά στο Evolved Packet System<sup>7</sup> δηλαδή το σύστημα δεδομένων, που αποτελείται από το Evolved Packet Core<sup>8</sup> καθώς και το E-UTRAN<sup>9</sup>. Το EPC είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο του εξοπλισμού του χρήστη, ενώ το E-UTRAN είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των ασύρματων λειτουργιών [11].

---

<sup>2</sup> Long Term Evolution είναι τεχνολογία κινητή τηλεφωνίας (4G).

<sup>3</sup> Internet Protocol είναι η μέθοδος διευθυνσιοδότησης στο διαδίκτυο.

<sup>4</sup> Downlink είναι η ταχύτητα με την οποία λαμβάνονται τα δεδομένα από το δίκτυο.

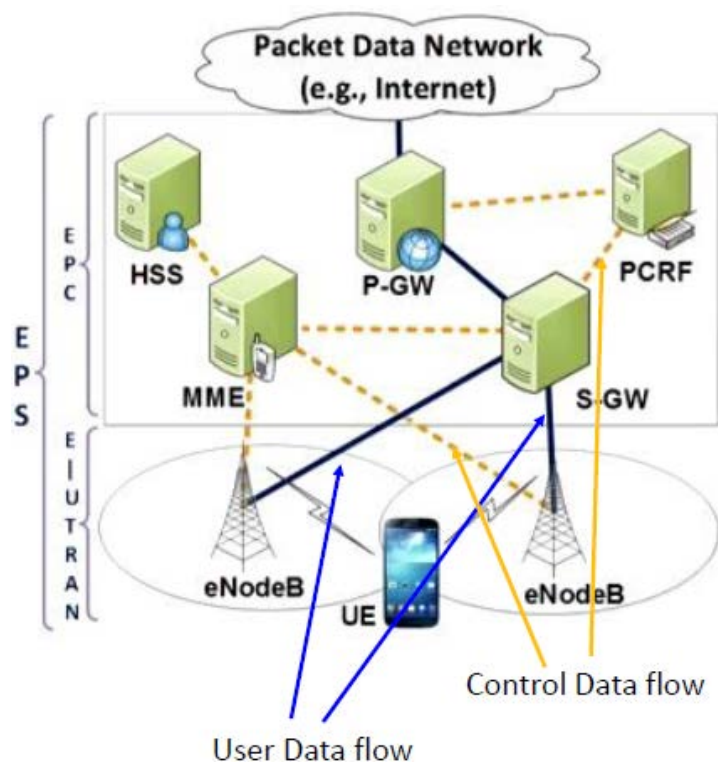
<sup>5</sup> Uplink είναι η ταχύτητα με την οποία ανεβάζονται τα δεδομένα στο δίκτυο.

<sup>6</sup> Quality of Service, είναι η υπηρεσία που παρέχεται στον εκάστοτε χρήστη μιας υπηρεσίας.

<sup>7</sup> Evolved Packet System, είναι όλα τα μέρη της υποδομής της κινητής τηλεφωνίας 4G.

<sup>8</sup> Evolved Packet Core, περιλαμβάνει όλα τα μέρη τα οποία χειρίζονται τα δεδομένα του χρήστη για την σύνδεση στο δίκτυο.

<sup>9</sup> Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, είναι οι σταθμοί παροχής κινητής τηλεφωνίας.



**Σχήμα 1.** Υποδομή Long Term Evolution. [11]

Ένα από τα τμήματα της τηλεπικοινωνιακής υποδομής LTE είναι το HSS<sup>10</sup> το οποίο, τηρεί τα στοιχεία του εκάστοτε χρήστη που έχει συνδεθεί στο δίκτυο. Παράλληλα, σε κάθε eNodeB<sup>11</sup> συνδέεται ο πελάτης και λαμβάνει υπηρεσίες. Αφού η θέση του eNodeB στο κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι γνωστή, μπορούμε με αυτόν τον τρόπο να γνωρίζουμε και την θέση του κάθε χρήστη. Εάν, σε μια μελλοντικά πληγείσα περιοχή η οποία καλύπτεται από έναν eNodeB, είναι γνωστός ο αριθμός των χρηστών που έχουν συνδεθεί σε αυτόν καθώς και η ταυτότητα τους, τότε είναι δυνατό να τους αποσταλεί μήνυμα προειδοποίησης μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας [11].

Από την άλλη πλευρά, για τις περιπτώσεις post-disaster, είναι αναγκαία η δημιουργία ενός δυναμικού δικτύου στο οποίο θα συμμετέχουν όλοι οι χρήστες έξυπνων συσκευών. Το δίκτυο αυτό στηρίζεται σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη, τα οποία θα ίπτανται πάνω από την πληγείσα περιοχή. Αναλυτική περιγραφή του δικτύου θα γίνει στο κεφάλαιο τρία της παρούσας διατριβής.

<sup>10</sup> Home Subscriber Server, όπου τηρεί αντίγραφο με το προφίλ του χρήστη.

<sup>11</sup> eNodeB είναι ένας σταθμός βάσης ο οποίος παρέχει υπηρεσίες κρυπτασφάλισης καθώς και διευθυνσιοδότησης.

Τα UAV παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα ειδικά από πλευράς τηλεπικοινωνιών, κυρίως λόγω της γρήγορης ανάπτυξης τους, ενώ παράλληλα παρέχουν εύκολη μετακίνηση καθώς και σταθερότητα στην πτήση τους. Ένα drone μπορεί να μεταφερθεί γρήγορα σε μια σημαντική θέση, να αναπτύξει αυτόματα τα μέσα του και να διατηρεί την θέση του για αρκετές ώρες. Παράλληλα, λόγω της εναέριας θέσης που λαμβάνει, παρέχουν LoS<sup>12</sup> με όλους τους δέκτες που βρίσκονται στον τομέα που καλύπτουν. Είναι δεδομένο ότι η οπτική επαφή είναι μια από τις σημαντικότερες συνιστώσες στις ασύρματες επικοινωνίες και κυρίως στην συγκεκριμένη περίπτωση.

Ακόμη ένα πλεονέκτημα είναι ότι δεν τίθενται σε κίνδυνο οι χειριστές του, μιας και μπορεί να ίπταται σε μεγάλες αποστάσεις ή να εκτελεί προγραμματισμένες πτήσεις. Όλα αυτά και κυρίως εκείνα που αφορούν της τηλεπικοινωνίες αποδεικνύουν την σημαντική αξία των drone για την ανάπτυξη ενός δυναμικού δικτύου σε ένα περιβάλλον καταστροφής.

Όμως, αξίζει να σημειωθεί ότι, στην αναφορά που έγινε για την γρήγορη μετακίνηση, ανάπτυξη και λειτουργία των drones σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, αρκετές φορές μπορούν να χαρακτηρισθούν και ως μειονεκτήματα. Δηλαδή, ένα drone μπορεί να αποτελεί μέρος μιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής, όμως, η ευκολία στην κίνηση του να αποτελεί αρνητικό παράγοντα λόγω των γρήγορων εναλλαγών που δημιουργούνται στην τοπολογία του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι, σε κάθε μετακίνηση του drone θα πρέπει να τροποποιούνται ανάλογα και τα αντίστοιχα τα routing tables<sup>13</sup> [4].

Παράλληλα, κάθε φορά που το drone θα μετακινείται με την ευκολία που το χαρακτηρίζει, η περιοχή κάλυψης του θα αλλάζει με αποτέλεσμα οι χρήστες που βρίσκονται εντός αυτής, ίσως να χάνουν την συνδεσιμότητα τους. Ανάλογα, σε κάθε κίνηση του drone έχουμε ταυτόχρονη αύξηση του bit error rate<sup>14</sup>, μιας και επηρεάζονται άμεσα τα χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου OSI<sup>15</sup> [4]. Όλα αυτά τα προβλήματα αναφέρονται και αντιμετωπίζονται στο κεφάλαιο 3.

---

<sup>12</sup> Line of Sight, όπου στην ζεύξη μεταξύ πομπού και δέκτη υπάρχει οπτική επαφή.

<sup>13</sup> Routing Tables, όπου τηρούνται τα στοιχεία όλων των διευθύνσεων των στοιχείων που αποτελούν το δίκτυο καθώς και η διαδρομή προς αυτούς.

<sup>14</sup> Bit error rate, όπου περιγράφει την πιθανότητα ο φωρατής να κάνει λάθος κατά την αποκωδικοποίηση των λαμβανόμενων σημάτων στον δέκτη.

<sup>15</sup> Open System Interconnection Model, όπου είναι το μοντέλο που χρησιμοποιείται για σχεδίαση και περιγραφή δικτυακών πρωτοκόλλων.

## 1.4 Ιδιαιτερότητες σεναρίου έκτακτης ανάγκης

Στο εκάστοτε σενάριο, υπάρχουν ιδιαιτερότητες που δυσχεραίνουν την ανάπτυξη και χρήση του αυτόνομου οχήματος. Αρχικά στην περίπτωση της πυρκαγιάς, λόγω της ύπαρξης υψηλών θερμοκρασιών αλλά και καπνού, είναι πιθανόν το drone να μην έχει την δυνατότητα να πλησιάσει σε οποιαδήποτε ευάλωτη ή χαρακτηρισμένη ως επικίνδυνη περιοχή. Παράλληλα, ο χειριστής του δεν θα μπορεί να το κατευθύνει σε όλες τις περιοχές λόγω της επικινδυνότητας της κατάστασης.

Στην περίπτωση του ανεμοστρόβιλου πρέπει να θεωρείται αδύνατη η πτήση ενός drone, καθώς είναι ευάλωτο στους δυνατούς ανέμους λόγω της μικρής του μάζας. Σε συνέχεια των προαναφερθέντων στην περίπτωση όπου υπάρχουν κεραυνοί και ηλεκτρική παρουσία στην ατμόσφαιρα, ένα drone αποτελεί καλό αγωγό ηλεκτρικής ενέργειας, απαγορεύοντας με αυτόν τον τρόπο την οποιαδήποτε χρήση του. Στις περιπτώσεις βροχόπτωσης ένα μη επανδρωμένο αεροπλάνο, αδυνατεί να εκτελέσει οποιαδήποτε πτήση.

Από τα προαναφερθέντα γίνεται αντιληπτό ότι, οι ιδιαιτερότητες του εκάστοτε σεναρίου απαιτούν, την έγκαιρη ενημέρωση του ΚΣΔΚ προκειμένου να αποσταλεί μήνυμα προειδοποίησης πολύ πιο πριν το ξέσπασμα του φαινομένου. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του ανεμοστρόβιλου όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω, υπάρχει η δυνατότητα προειδοποίησης έως και 30 λεπτά νωρίτερα, δημιουργώντας την ανάγκη της άμεσης επέμβασης του αυτόνομου οχήματος στις πληγείσες περιοχές εντός αυτού του χρονικού περιθωρίου. Παράλληλα, για τις περιπτώσεις της πυρκαγιάς, το ΚΣΔΚ μπορεί να αξιολογεί την κατεύθυνση του αέρα και να προειδοποιεί τις περιοχές που πιθανόν να πληγούν, μέσω μιας έγκαιρης πτήσης του drone και αποστολής μηνύματος στους αποδέκτες που βρίσκονται εντός των περιοχών αυτών.

Είναι ξεκάθαρο ότι, στην κάθε περίπτωση ξεχωριστά, το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα ενεργήσει το αυτόνομο όχημα διαφέρει, δημιουργώντας διαφορετικά δεδομένα άρα και διαφορετικές απαιτήσεις. Αυτό που πρέπει να χαρακτηρίζει την εφαρμογή είναι, η προσαρμοστικότητα σε αυτά τα περιβάλλοντα, η οποία θα αποσκοπεί στην διατήρηση της ακεραιότητας των drone, καθώς και στην επιτυχία της αποστολής μηνύματος στους κατοίκους μιας πληγείσας περιοχής.

# Κεφάλαιο 2

## Μη επανδρωμένα οχήματα

Στο παρών κεφάλαιο θα παρουσιαστεί μια εκτενής ιστορική αναδρομή των drone και των UAV από την πρώτη χρονικά στιγμή που παρουσιάστηκαν μέχρι και σήμερα. Δίνετε έμφαση κυρίως στην τηλεπικοινωνιακή πλευρά της ανάπτυξης που παρουσιάστηκε. Παράλληλα θα παρουσιαστεί το αυτόνομο δίκτυο οχημάτων καθώς και η δικτύωση αυτόνομων οχημάτων.

### 2.1 Ιστορική Αναδρομή μη επανδρωμένων οχημάτων

Η ιστορία των μη επανδρωμένων οχημάτων ξεκινά από το 1849, όταν οι Αυστριακές δυνάμεις προσπάθησαν να βομβαρδίσουν με μια καινοτόμα μέθοδο για τα δεδομένα της τότε εποχής, την πόλη της Βενετίας [12]. Οι βόμβες αυτές, μεταφέρονταν σε τεράστια μπαλόνια και ως στόχο είχαν να καταστρέψουν την πολιορκηθείσα πόλη. Αρχικά, στα πρώτα στάδια ανάπτυξης μη επανδρωμένων οχημάτων, δεν υπάρχει κάποια μέθοδος επικοινωνίας με το όχημα άρα από πλευράς επικοινωνιών δεν παρουσιάζεται οποιαδήποτε ανάπτυξη. Στην ουσία η κάθε βόμβα – μπαλόνι, αναλαμβάνει μια αποστολή “αυτοκτονίας”, όπου από την στιγμή που φεύγει από τα χέρια του επιτιθέμενου χάνει την οποιαδήποτε επαφή με αυτόν.

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η ανάπτυξη των μη επανδρωμένων οχημάτων συνεχίστηκε με την χρήση τους ως κινητός στόχος, για εκπαιδευτικές δραστηριότητες στρατιωτικών

τμημάτων. Στο χρονικό διάστημα αυτό, από πλευράς τηλεπικοινωνιών δεν υπάρχει καμία ανάπτυξη λόγω της μη ύπαρξης ανάγκης επικοινωνίας με τον κινητό στόχο.

Κατά την διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου, δεν παρατηρείται ανάπτυξη από πλευράς επικοινωνιών στα αερο-οχήματα, λόγω των αποστολών που αναλαμβάνουν. Οι αποστολές αυτές αφορούσαν κυρίως, μεταφορά βομβών για πρόκληση καταστροφής. Η πτήση τους ήταν προκαθορισμένη και στηριζόταν κυρίως στις καιρικές συνθήκες. Δεν υπάρχει ακόμη η έννοια του τηλεχειρισμού [13].

Παράλληλα, το 1917 αναπτύσσεται για πρώτη φορά το Kettering Bug, το οποίο στηρίζεται σε μια μέθοδο εκ μακρώθεν χειρισμού του αεροπλάνου. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, οι πιλότοι χρησιμοποιούσαν το γυροσκόπιο και τους αισθητήρες πίεσης, για να επιτυγχάνουν την σταθερότητα του αεροσκάφους σε ένα συγκεκριμένο ύψος [14]. Παράλληλα, για να υπολογίσουν την απόσταση που διένυε, λάμβαναν υπόψη τους τον ρυθμό με τον οποίο γυρνούσαν οι έλικες.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε στα drone προσβολής. Στην ουσία, πρόκειται για μια μέθοδο προγραμματισμού της πτήσης πριν από την έναρξη της. Η βάση της οποίας στηριζόταν, στον υπολογισμό της κατεύθυνσης που θα ακολουθήσει το drone καθώς και της απόστασης που χρειαζόταν για να φτάσει στον στόχο. Και σε αυτήν την περίπτωση, δεν υπάρχει επικοινωνία κατά την διάρκεια της πτήσης. Μετά από δοκιμές η χρήση τους χαρακτηρίστηκε ως αδύνατη.

Σε συνέχεια της ιστορικής αναδρομής, περίπου το 1920, παρουσιάζεται για πρώτη φορά η μέθοδος τηλεχειρισμού και καθοδήγησης της πτήσης ενός αεροπλάνου, χωρίς την ύπαρξη πιλότου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, μέσω τηλεχειριστηρίων - joysticks επιτυγχάνεται η κατευθυνόμενη πλοήγηση του αεροσκάφους από μεγάλη απόσταση [14]. Η μέθοδος αυτή υλοποιείται μέσω ενός πομπού, ο οποίος αποστέλλει ηλεκτρομαγνητικά κύματα χειρισμού των τηλεχειριστηρίων - joysticks, όπου ένας δέκτης στο αεροσκάφος τηλεχειρισμού τα λαμβάνει και εκτελεί τις κινήσεις-εντολές. Οι εντολές αυτές, αφορούσαν το πάτημα κουμπιών ή τον χειρισμό του τιμονιού.

Η μέθοδος αυτή, παρουσίαζε αρκετά μειονεκτήματα και για να είχε επιτυχή αποστολή, προϋπέθετε ο χειριστής του αεροσκάφους, που θα το τηλεχειρίζεται, να βρίσκεται μερικά

μίλια μακριά σε ένα δεύτερο αεροπλάνο. Με αυτόν τον τρόπο, οι εντολές δίνονται χωρίς να έχει την εικόνα του τι συμβαίνει πραγματικά στο drone. Τα αποτελέσματα της παραπάνω τεχνικής δεν ήταν ικανοποιητικά, με αποτέλεσμα να οδηγήσουν στην αποτυχία του προγράμματος.

Κατά την διάρκεια της μεταπολεμικής περιόδου, παρουσιάστηκε η ανάγκη δημιουργίας ενός συστήματος ελέγχου πτήσεων και γενικότερα του εναέριου χώρου. Στο συγκεκριμένο σύστημα, αναπτύσσονται ασύρματες επικοινωνίες για την διαχείριση και καθοδήγηση των αεροπλάνων στον εναέριο χώρο. Σε μεταγενέστερο στάδιο, θα αναπτυχθεί για να συμπεριλάβει και τα drones.

Στα χρόνια που ακολουθούν, οι μεγάλες δυνάμεις της εποχής υποστηρίζουν οικονομικά διάφορα εξοπλιστικά προγράμματα για την δημιουργία UAV, τα οποία θα ελέγχονταν ασύρματα, όμως όλα οδηγούσαν στην αποτυχία. Στα συγκεκριμένα προγράμματα, είχαν επιτύχει να χειρίζονται από απόσταση 6 μιλίων UAV κατά την διαδικασία απογείωσης, πτήσης και προσγείωσης. Μάλιστα, έχουμε για πρώτη φορά, την χρησιμοποίηση της έννοιας drone, από τον Fahrey το 1936 ο οποίος με την λέξη αυτή, προσπάθησε να περιγράψει τους εναέριους στόχους που χρησιμοποιούνται στις διάφορες εκπαιδεύσεις **[12]**.

Το 1940, η Radio Corporation of America - RCA καθορίζει δύο νέες σταθερές για την δημιουργία ενός επιτυχημένου drone, το ραντάρ αλτίμετρο και την τηλεόραση **[12]**. Το πρώτο, χρησιμοποιήθηκε για να περιορίσει την πιθανότητα πτώσης ενός αεροπλάνου και το δεύτερο, για να διευκολύνει τον χειρισμό του αεροπλάνου από μακριά, παρέχοντας την ικανότητα στον πιλότο του drone να έχει εικόνα για τον χειρισμό του αεροσκάφους του.

Το 1941, έχουμε την πρώτη επιτυχημένη πρόσκρουση drone σε στόχο μέσω τηλεχειρισμού από απόσταση 30 μιλίων. Το πρόγραμμα στο οποίο στηρίχθηκε η μεθοδολογία αυτή, ονομάστηκε Block 1 και ακολουθούσε τις βασικές αρχές του εικονοσκοπίου. Η εικόνα μπορούσε να φτάσει μέχρι τα 40 frames το δευτερόλεπτο, να έχει 350 οριζόντιες γραμμές καθώς και 14000Hz οριζόντια. Η συχνότητα μετάδοσης ήταν στα 78,90,101 και 114MHz. Χρησιμοποιείται μετάδοση διπλής πλευρικής ζώνης, με ισχύ εκπομπής τα 15 watt. Δεν υπάρχει καμία κρυπτογράφηση και καμία μεθοδολογία πολυπλεξίας όπως FHOP – αναπήδηση συχνότητας κτλ **[12]**.



Το 1944, σχεδιάζεται από τις Αμερικανικές Δυνάμεις Αεροπορίας η επιχείρηση Αφροδίτη σύμφωνα με την οποία, πεπαλαιωμένα βομβαρδιστικά B-17 θα χρησιμοποιούνταν ως drone προσβολής για να πλήξουν στόχους των Γερμανών [14]. Τα αεροπλάνα θα ήταν φορτωμένα με 18 τόνους εκρηκτικά, θα χειρίζονταν εξ' αποστάσεως μέσω ασυρμάτου και θα μετέφεραν κάμερες τηλεόρασης, για μεταφορά εικόνας. Οι κάμερες, θα μετέδιδαν εικόνα μέσω ανοιχτής συχνότητας τηλεόρασης του πεδίου της μάχης καθώς και των οργάνων του αεροπλάνου.

Οι εικόνες αυτές, θα έφταναν στο μητρικό αεροσκάφος, το οποίο θα ακολουθούσε το drone σε συγκεκριμένη απόσταση για να μπορεί να το τηλεκατευθύνει. Για διάφορους λόγους, είτε μηχανικούς είτε λόγω αρχικού σχεδιασμού κανένα από τα αεροπλάνα δεν κατάφερε να κτυπήσει στόχο και να φέρει εις πέρας την αποστολή του. Το σχέδιο και η επιχείρηση Αφροδίτη λόγω αποτυχίας είχαν εγκαταλειφτεί [14].

Σε συνέχεια της ιστορικής εξέλιξης των UAV, κατά την διάρκεια του πολέμου στον Ειρηνικό η Αμερική χρησιμοποίησε έξι F6F-5K Hell cat drones για να πλήξει στόχους αξίας [12]. Είναι γεγονός ότι, τα drones κατευθύνονταν στον στόχο από το αμερικανικό πλοίο USS Boxer. Το προαναφερθέν δεδομένο, έρχεται για πρώτη φορά στην επιφάνεια για να αποδείξει ότι, πλέον δεν υπάρχει η ανάγκη το drone να ακολουθείται από το μητρικό αεροσκάφος για να μπορεί να κατευθυνθεί στον στόχο του.

Ακολούθως μετά το 1950, στον φόβο της ραγδαίας πολεμικής ανάπτυξης της Ρώσικης ναυτικής δύναμης, το Αμερικανικό ναυτικό έφερε στο προσκήνιο για πρώτη φορά το πρόγραμμα QH-50 [15]. Πρόκειται για ένα μικρό ελικόπτερο το οποίο, μπορεί να εκτελεί πτήσεις χωρίς την ύπαρξη πιλότου στο πιλοτήριο. Το συγκεκριμένο μη επανδρωμένο ελικόπτερο, μπορούσε να μεταφέρει торπίλες ή βόμβες.

Αξιοσημείωτο γεγονός ήταν ότι, κατευθυνόταν στον στόχο από το κατάστρωμα ενός πλοίου. Η μέθοδος επικοινωνίας με το κατάστρωμα, όπου γινόταν ο έλεγχος και η εκτίμηση των πληροφοριών που συλλέγονταν εξελισσόταν μέσω της χρήσης του DECK [15]. Το DECK ήταν ένας συνδυασμός μηχανημάτων ο οποίος αποτελείται, από το χειριστήριο του ελικοπτερου, την κεραία λήψης και αποστολής δεδομένων, τον διαμορφωτή δεδομένων καθώς και τα όργανα πτήσης.

Από την άλλη στο QH-50 υπήρχαν, η κεραία Antenna AKT-20 η οποία λειτουργούσε παράλληλα για λήψη και αποστολή δεδομένων, ο διαμορφωτής και ο αποδιαμορφωτής δεδομένων. Η κεραία λάμβανε δεδομένα από το DECK, ο αποδιαμορφωτής τα μετάφραζε σε εντολές για να εκτελούνται και να κατευθύνουν το ελικόπτερο. Ο πιλότος ο οποίος βρισκόταν στο DECK λάμβανε συνεχώς πληροφορίες για την θέση και το ύψος του ελικοπτερού. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονταν μέσω της τεχνικής της τηλεμετρίας από την Antenna AKT-20. Το σύστημα που χρησιμοποιούταν για τον εντοπισμό της θέσης του, ήταν το Loran-C [15].

Γύρω στο 1960, είχαν φτιαχτεί περίπου 800 QH-50 ελικόπτερα για να αναλάβουν αποστολές καταστροφής, διάσωσης ή και μεταφοράς. Τα συγκεκριμένα drone, συμμετείχαν στον πόλεμο του Βιετνάμ, ενώ το 1970 πάρθηκε η απόφαση για να σταματήσει η επιχορήγηση του προγράμματος και τα παραπάνω drone να χρησιμοποιούνται ως στόχοι για εκπαιδευτικούς σκοπούς [15].

Αργότερα το 1964, οι ανάγκες κατασκοπίας με λήψη φωτογραφίας από τις εχθρικές εγκαταστάσεις, για τον εντοπισμό της εχθρικής θέσης καθώς και της ισχύς των στρατευμάτων του εχθρού, έφερε στην επιφάνεια το UAV AQM-34 [12]. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις ακτές της Κίνας το 1964, ενώ μπορούσε να φωτογραφίσει εικόνες υψηλής ευκρίνειας. Οι αποστολές που μπορούσε να εκτελέσει αφορούσαν κυρίως, αναγνωρίσεις με τις μεθόδους αρχικά της λήψης φωτογραφίας ή βίντεο, της συλλογής ηλεκτρονικών πληροφοριών καθώς και της παρακολούθησης ραδιοεπικοινωνιών. Για να εκτελέσει την αποστολή του, μεταφερόταν από αεροπλάνα DC-130 και μπορούσε να αφηθεί από σχετικά μεγάλο ύψος για να ξεκινήσει την πτήση του.

Στο συγκεκριμένο αεροπλάνο DC-130, για τον χειρισμό και την πτήση του UAV υπήρχαν δύο υπεύθυνοι ελέγχου εκτόξευσης-απογείωσης, ένας υπεύθυνος ελέγχου πτήσης καθώς και ένας τεχνικός πτήσης. Διέθετε αυτόνομο σύστημα πλοήγησης και οι μονάδες τηλεχειρισμού ήταν είτε στον αέρα είτε εγκατεστημένες σε όχημα Van στην γη. Για την πλοήγηση του UAV χρησιμοποιούνταν συχνότητες UHF - Ultra High Frequency. Ο τηλεχειρισμός μπορούσε να φτάσει την απόσταση των 300 μιλίων. Η εικόνα που μετέφερε στα κέντρα αξιολόγησης πληροφοριών, βασιζόταν στο σύστημα κάμερας Hycor A-1 [12].

Από το 1966 και μετά, τα drone αυτά χρησιμοποιούσαν τεχνικές έξυπνης τηλεπικοινωνίας όπου συλλέγονταν και αξιολογούνταν πληροφορίες για τον εχθρό. Αργότερα τα Drone AQM-34, μπορούσαν να εκτελούν αποστολές αντικατασκοπείας όπου με πομπούς διοχέτευσης παρεμβολών 'τύφλωναν' τα εχθρικά ραντάρ, ούτως ώστε να παραλύει η εχθρική αντιαεροπορική άμυνα. Με την πάροδο του χρόνου και την περαιτέρω τεχνολογική εξέλιξη, στα drone τοποθετήθηκαν καλύτερες κάμερες υψηλότερης ευκρίνειας καθώς και καλύτερα συστήματα πλοήγησης - GPS.

Παράλληλα γύρω στο 1970, τοποθετούνται για πρώτη φορά ασύρματοι υποκλοπής, για να υποκλέπτουν όλες τις εχθρικές επικοινωνίες για συχνότητες High Frequency - HF καθώς και Very High Frequency - VHF. Οι υποκλοπές αυτές έφταναν μέχρι και 570 ναυτικά μίλια και μπορούσαν να μεταφερθούν απευθείας σε άλλο αεροπλάνο συλλογής πληροφοριών [12].

Οι επιχειρησιακές απαιτήσεις στην δεκαετία του 1970 έως 1980, ανάγκασαν το Ισραήλ να αναπτύξει με βάση το drone Lighting Bug, ένα σύγχρονο για τα δεδομένα της εποχής UAV, το BQM-34A [16]. Το συγκεκριμένο αεροσκάφος διέθετε την ικανότητα να προσβάλλει στόχους αέρος - εδάφους. Το πρόγραμμα για την ανάπτυξη του επιχορηγήθηκε από τις ΗΠΑ, για να χρησιμοποιηθεί αρχικά το 1973 στον πόλεμο των Ισραηλινών ενάντια στους Αιγύπτιους και ακολούθως το 1982 ενάντια στους Σύριους.

Η μέθοδος υλοποίησης της ασύρματης ζεύξης, μεταξύ του BQM-34A και του κέντρου ελέγχου επιτυγχάνεται μέσω της κεραίας του αεροσκάφους, η οποία είχε την δυνατότητα να αποθηκεύει τα κωδικοποιημένα μηνύματα και κατά την διάρκεια της αποδιαμόρφωσης, να μεταφράζει τα λαμβανόμενα σήματα σε εντολές που αφορούσαν την πτήση. Η συγκεκριμένη κεραία είχε οριζόντια πόλωση, με κέρδος 27dBi, το downlink ήταν 9.2 - 9.5 GHz ενώ το uplink ήταν 9.9 - 10.1 GHz. Το πρόγραμμα μέχρι το 1980 ακολουθούσε μια επιτυχημένη πορεία, αφού μέχρι τότε είχαν κατασκευαστεί 780 drone. Το 1987 το πρόγραμμα εγκαταλείφτηκε λόγω του μεγάλου κόστους συνέχισης του [16].

Στα χρόνια που ακολουθούν, περίπου το 1980 η Israeli Aircraft Industries θα κατασκευάσει το πρώτο της UAV, το Pioneer. Το συγκεκριμένο αεροσκάφος εκτελούσε αποστολές αναγνώρισης, επιτήρησης και εντοπισμού όπλων με ειδίκευση στις αμφίβιες ενέργειες. Μπορούσε να απογειωθεί από καταπέλτες σε πλοία ή από αεροδιαδρόμους. Από

πλευράς τηλεπικοινωνιών, χρησιμοποιούσε κεραιές για να αποστέλλει εικόνα από ζωντανή μετάδοση βίντεο, χρησιμοποιώντας την μπάντα συχνοτήτων C από 4,430 MHz έως 4,940MHz. Η μεταφορά δεδομένων στηριζόταν στην οπτική επαφή – line of sight μεταξύ πομπού και δέκτη, ενώ το βίντεο που μετέφερε ήταν αναλογικό. Η κάμερα που χρησιμοποιούσε ήταν ηλεκτροοπτική και υπέρυθη [17].

Οι ασύρματες επικοινωνίες των UAV της τότε περιόδου, στηρίζονταν σε ένα βασικό μοντέλο το οποίο προέβλεπε τα παρακάτω. Αρχικά, δημιουργούνταν δύο ζεύξεις μεταξύ πομπού και δέκτη. Η πρώτη ζεύξη Command Data Link – CDL, αφορούσε τον έλεγχο και χειρισμό του UAV για την μεταφορά και εκτέλεση των εντολών από το κέντρο πλοήγησης. Η δεύτερη ζεύξη αφορούσε το Video Data Link – VDL, για την μεταφορά της αναλογικής εικόνας, η οποία μαγνητοσκοπείται από την κάμερα του αεροσκάφους και μεταφέρεται μέσω μιας ομοιοκατευθυντικής κεραιάς στο τερματικό χειρισμού εξ' αποστάσεως. Η ζεύξη CDL χρησιμοποιούσε είτε ομοιοκατευθυντική είτε κατευθυντική κεραιά, για να στείλει τα δεδομένα τηλεχειρισμού στο κέντρο πλοήγησης [17].

Η ποιότητα της λαμβανόμενης εικόνας στον δέκτη, επηρεάζεται από το γεγονός ότι, είναι αναλογικού τύπου με περιορισμένη ανάλυση. Παράλληλα, η ποιότητα της εικόνας ενδέχεται να επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες οι οποίες, περιόριζαν την ποιότητα της ζεύξης και την μεταφορά δεδομένων. Το UAV Pioneer, συμμετείχε στον Περσικό πόλεμο του Κόλπου και χρησιμοποιήθηκε σε περισσότερες από 300 επιχειρήσεις αναγνώρισης και επιτήρησης. Το 2007 το πρόγραμμα Pioneer εγκαταλείφτηκε λόγω της παλαιάς τεχνολογίας που χρησιμοποιούσε [17].

Ακολούθως, το 1989 στο προσκήνιο των τεχνολογικών εξελίξεων παρουσιάζεται το RQ5-A Hunter. Η πρώτη δοκιμαστική πτήση εκτελέστηκε το 1996 και χρησιμοποιήθηκε κυρίως από το NATO για την κρίση στα Βαλκάνια. Οι αποστολές που μπορούσε να εκτελέσει, αφορούσαν κυρίως αναγνώρισης στόχων και επιτήρησης του πεδίου της μάχης. Αργότερα, με την εξέλιξη του πρώτου μοντέλου μπορούσε να εκτελέσει αποστολές όπως, μεταφορά ζωντανού βίντεο από κάμερα τηλεόρασης, τηλεπικοινωνιακές παρεμβολές, παρεμβολές ραντάρ καθώς και υποκλοπές στις ασύρματες εκπομπές σε συχνότητες VHF - UHF. Ταυτόχρονα, μπορούσε να εκτελεί αποστολές αναμεταδότη επικοινωνίας μεταξύ δύο αεροπλάνων για συχνότητες επιπέδου C-Band μέσω οπτικής επαφής [18].

Ο χειρισμός του αεροσκάφους διεξάγεται από το επίγειο κέντρο πλοήγησης, στο οποίο από πλευράς τηλεπικοινωνιών υπάρχουν δύο κανάλια επικοινωνίας, ένα για το Uplink και ένα κανάλι επικοινωνίας για το downlink. Για την επικοινωνία μεταξύ τους, χρησιμοποιείται συγκεκριμένη κωδικοποίηση πλαισίων, καθώς υπάρχει και η δυνατότητα εξάπλωσης φάσματος στο uplink για τον περιορισμό των παρεμβολών [18].

Στο άμεσο μέλλον παρουσιάζεται το πιο διαδεδομένο drone της σύγχρονης ιστορίας, το MQ-1 Predator. Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 1990 και το συγκεκριμένο αεροσκάφος διατέθηκε στο στρατό το 1995. Συμμετείχε σε πολλές επιχειρήσεις στο Αφγανιστάν, στον πόλεμο του Ιράκ, στον πόλεμο της Λιβύης το 2011 καθώς και στον πόλεμο στην Συρία το 2014. Με την πάροδο του χρόνου, τροποποιήθηκε ούτως ώστε να προσαρμοστεί στις νέες σύγχρονες τεχνολογικές απαιτήσεις, καθώς και για να παρέχει την δυνατότητα μεταφοράς και πυροδότησης Hellfire πυραύλων. Το Predator, είναι το πρώτο UAV στο οποίο γίνεται χρήση και συνδυασμός των δορυφορικών επικοινωνιών [13].

Για τις ασύρματες επικοινωνίες του UAV, χρησιμοποιούνται συχνότητες C-band με απαραίτητη προϋπόθεση την ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ σταθμού χειρισμού και αεροσκάφους. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων, αυξάνεται σημαντικά στα 4.5Mbps για αναλογικό σήμα. Για την απογείωση του UAV είναι υπεύθυνο, το Launch and Recovery Element - LRE μέσω επικοινωνίας η οποία βασίζεται στην οπτική επαφή και χρησιμοποιεί συχνότητες UHF.

Με το πέρας της διαδικασίας απογείωσης, το LRE ενεργοποιεί την δορυφορική ζεύξη επικοινωνίας. Η συχνότητα που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο, την εκτέλεση εντολών και την μεταφορά εικόνας, είναι στην μπάντα Ku και μπορεί να μεταφέρει δεδομένα στην ταχύτητα των 1.544 Mbps. Επίσης, η μέγιστη απόσταση στην οποία μπορεί να φτάσει η ασύρματη ζεύξη είναι τα 1500 ναυτικά μίλια. Το επίγειο κέντρο διεύθυνσης και ελέγχου, είναι συνδεδεμένο με οπτική ίνα με μια δορυφορική κεραία για να λαμβάνει και να στέλλει τα δεδομένα από τον δορυφόρο, ο οποίος είναι συνδεδεμένος ασύρματα με το UAV. Η εντολή για να φτάσει από το κέντρο στο UAV χρειάζεται 2 δευτερόλεπτα.

Ακολούθως, σε συνέχεια των τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα των UAV, το 1998 παρουσιάζεται το μοντέλο Global Hawk. Το συγκεκριμένο UAV συμμετέχει μέχρι σήμερα σε επιχειρήσεις επιτήρησης για συλλογή και μεταφορά δεδομένων. Όπως και το μοντέλο

Predator, έτσι και το Global Hawk χρησιμοποιεί για την μεταφορά δεδομένων δορυφορικές επικοινωνίες μέσω της οπτικής επαφής. Τα δεδομένα που αφορούν την διεύθυνση και τον έλεγχο, καθώς και τα συλλεγόμενα δεδομένα από τους αισθητήρες μεταφέρονται στην Ku-band μέσω δορυφόρου [13].

Παράλληλα, υπάρχει και η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων στην μπάντα X μέσω της ζεύξης Common Data Link - CDL, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως από τον στρατό και χαρακτηρίζεται ως πλήρως αμφίδρομη, ως σημειακή ζεύξη δεδομένων - point to point data link καθώς και ως ανθεκτική στις παρεμβολές. Επιπρόσθετα, οι συχνότητες τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιήσει μπορούν να φτάσουν και στο επίπεδο των UHF, με περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων στα 19.2kbps [13].

Το μέλλον των UAV από το 2006 μέχρι και σήμερα, παρουσιάζει μια ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη, είτε λόγω απαιτήσεων του σύγχρονου επιχειρησιακού περιβάλλοντος είτε λόγω απαιτήσεων στις ανάγκες του καθημερινού βίου των ανθρώπων. Από το 2006, έχουν κάνει την εμφάνιση τους στο εμπόριο τα πρώτα drone για πολιτική χρήση, είτε αυτή είναι για λήψη εικόνας ή βίντεο είτε για ψυχαγωγία. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούν, είναι σταθερές και ανοιχτές για χρήση χωρίς να συσχετίζονται με τις στρατιωτικές [19].

Παράλληλα, ο στρατός προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων μέσω της χρήσης ακτινών λέιζερ, για να πετύχει την μεταφορά μεγάλης ποιότητας εικόνας και δεδομένων που συλλέγονται από τους έξυπνους αισθητήρες. Επίσης το μέγεθος των drone αλλάζει και μειώνεται στο ελάχιστο με πρώτο παράδειγμα το RQ-11 Raven και σε συνέχεια τα micro air vehicle - MAV [19].

Αρχικά το RQ-11 Raven, χρησιμοποιείται για μικρές αποστάσεις περίπου των έξι χιλιομέτρων και με διάρκεια πτήσης 90 λεπτών. Έχει ως στόχο, να παρέχει υπηρεσίες ζωντανής εικόνας καθώς και να χρησιμοποιείται ως αναμεταδότης ασύρματων επικοινωνιών. Στηρίζεται στην θεωρία της οπτικής επαφής, λόγω των πολύ μικρών αποστάσεων στις οποίες πετά. Μπορεί να κατευθυνθεί είτε από το κέντρο ελέγχου, είτε να πετά με αυτόνομο σύστημα πτήσης. Η μέθοδος μεταφοράς των δεδομένων είναι, μέσω μιας ψηφιακής ζεύξης δεδομένων για επικοινωνία με το επίγειο κέντρο ελέγχου. Στην οποία υπήρχε κενό υποκλοπής το οποίο πρόσφατα καλύφθηκε με διάφορες τεχνικές κρυπτασφάλισης. Χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα και αποτελεί το ιδανικό UAV για

επιχειρήσεις καταδρομών. Η μέθοδος απογείωσης του, είναι η εκτόξευση από χέρι από το εκπαιδευμένο προσωπικό.

Από την άλλη πλευρά, τα micro air vehicles είναι μικρά drones τα οποία έχουν μέγεθος πέντε εκατοστόμετρα και εκτελούν πτήσεις είτε τηλεχειριζόμενα είτε αυτόνομα. Κατασκευάζονται για ιδιωτική χρήση και μπορούν να φέρουν κάμερες για βιντεοσκόπηση. Η κατασκευή τους, προνοεί το ιδιαίτερο μέλλον που αναμένεται για τα drones όπως είναι για παράδειγμα η ανακοίνωση της εταιρείας Amazon τον Δεκέμβρη του 2016 [20]. Στην συγκεκριμένη διαφήμιση, αναφέρεται ότι το μέλλον του delivery, θα στηρίζεται στις μεταφορές μέσω drone τα οποία θα κινούνται με βάση το GPS και θα παραδίδουν το πακέτο στην διεύθυνση αποστολής του, με βάση τις συντεταγμένες.

Το μέλλον των drone – UAV προμηνύεται σημαντικό και ιδιαίτερα εξελίξιμο, παρόλο που οι κυριότεροι τομείς στους οποίους επικεντρώνεται αφορούν κυρίως τις στρατιωτικές εφαρμογές και τις καθημερινές διευκολύνσεις ή χόμπι. Παρ' όλα αυτά, θα γίνει μια προσπάθεια αξιοποίησης της εξέλιξης αυτής στις εφαρμογές για την διαχείριση μιας καταστροφής.

## **2.2 Αυτόνομο δίκτυο οχημάτων**

Μετά την παρουσία ενός καταστροφικού φαινομένου, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα παρουσίας ζημιάς στις τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Για τον λόγο αυτό, οι οποιεσδήποτε μελλοντικές βλέψεις και σχεδιασμοί για την τηλεπικοινωνιακή υποστήριξη των τμημάτων παροχής βοήθειας ή αποστολής μηνύματος στους πληγέντες, οφείλουν να ξεφύγουν και να ξεπεράσουν το φάσμα των τεχνολογιών 4G-LTE ή WiMAX. Πρέπει να σχεδιαστεί ένα νέο δίκτυο και μια νέα υποδομή ανεξάρτητη από τις υφιστάμενες τηλεπικοινωνιακές υποδομές, η οποία θα εξασφαλίζει τις ανάγκες μιας τέτοιας επικοινωνίας είτε αυτή είναι απλή μετάδοση φωνής ή δεδομένων είτε εικόνας και βίντεο.

Η στροφή της τεχνολογικής ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια, περικλείεται γύρω από τα drones λόγω της γρήγορης ανάπτυξης που παρέχουν σε ένα ασταθές περιβάλλον. Τον Μάιο του 2018 η εταιρεία AT&T παρουσίασε μια έρευνα το Flying COW – Cell on Wings, όπου σε

περιπτώσεις καταστροφής της υποδομής της κινητής τηλεφωνίας ένα drone αναπτύσσεται άμεσα και παρέχει τις αντίστοιχες υπηρεσίες. Από την ιστορική αναδρομή και την εξέλιξη των drone - UAV γίνεται αντιληπτό ότι, από το 2010 και μετά η στροφή προς την συγκεκριμένη τεχνολογική πλευρά έχει κάνει τεράστια βήματα κυρίως από πλευράς των στρατιωτικών εφαρμογών [21].

Πλέον, έχουν παρουσιαστεί νέες τεχνολογικές ορολογίες που αφορούν συγκεκριμένα το δίκτυο που αναπτύσσεται στον αέρα από μια συστοιχία drone, το FANET - Flying Ad-hoc Network [4]. Η διαφοροποίηση από τις ήδη υπάρχουσες ορολογίες, οφείλεται στις ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου δικτύου οι οποίες αφορούν κυρίως τις πολύπλοκες κινήσεις που μπορούν να εκτελέσουν τα drone, τις εναλλαγές στο δίκτυο που μπορούν να προκαλέσουν οι κινήσεις αυτές καθώς και τους περιορισμούς λόγω της μικρής ισχύς στην ενέργεια τους. Όμως η παρουσία περισσότερων από ενός drone στην εκπλήρωση μιας αποστολής, έχει δώσει το δικαίωμα να αυξηθεί η αξιοπιστία καθώς και η συνεργασία για την επιτυχή εκπλήρωση της, με αποτέλεσμα να αυξάνονται και τα ποσοστά επιτυχίας της.

Τα δίκτυα που αναπτύχθηκαν για να καλύψουν τις ανάγκες των drone διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Mobility-aware communication protocol τα όποια ασχολούνται με τις αλληλεπιδράσεις στην τοπολογία του δικτύου μετά από κινήσεις των drone,
- Communication-aware mobility control system όπου είναι τα συστήματα που ελέγχουν την κίνηση των drone με βάση τους περιορισμούς του δικτύου [4].

Το πρώτο είδος δικτύων που αναφέρεται, αναπτύχθηκε κυρίως για να αντιμετωπίσει τις δυναμικές αλλαγές που πιθανόν να παρατηρηθούν σε μια τοπολογία δικτύου, αποτελούμενη από drones. Θεωρείται δεδομένο ότι, ένα σμήνος από drone έχει αναπτυχθεί ούτως ώστε να φέρει εις πέρας μια αποστολή. Κατά την διάρκεια της πτήσης τους, τα drone αυτά, είναι δικτυωμένα μεταξύ τους και μεταφέρουν πληροφορίες το ένα στο άλλο δημιουργώντας μια τοπολογία δικτύου.

Το κάθε drone, έχει αποκτήσει ένα ρόλο στο δίκτυο και οποιαδήποτε αλλαγή ή μετακίνηση του, επιφέρει αλυσιδωτές μετατροπές. Για τον λόγο αυτό, έπρεπε να αναπτυχθούν πρωτόκολλα τα οποία θα αντιμετώπιζαν αυτές τις συχνές αλλαγές και θα διατηρούσαν ένα



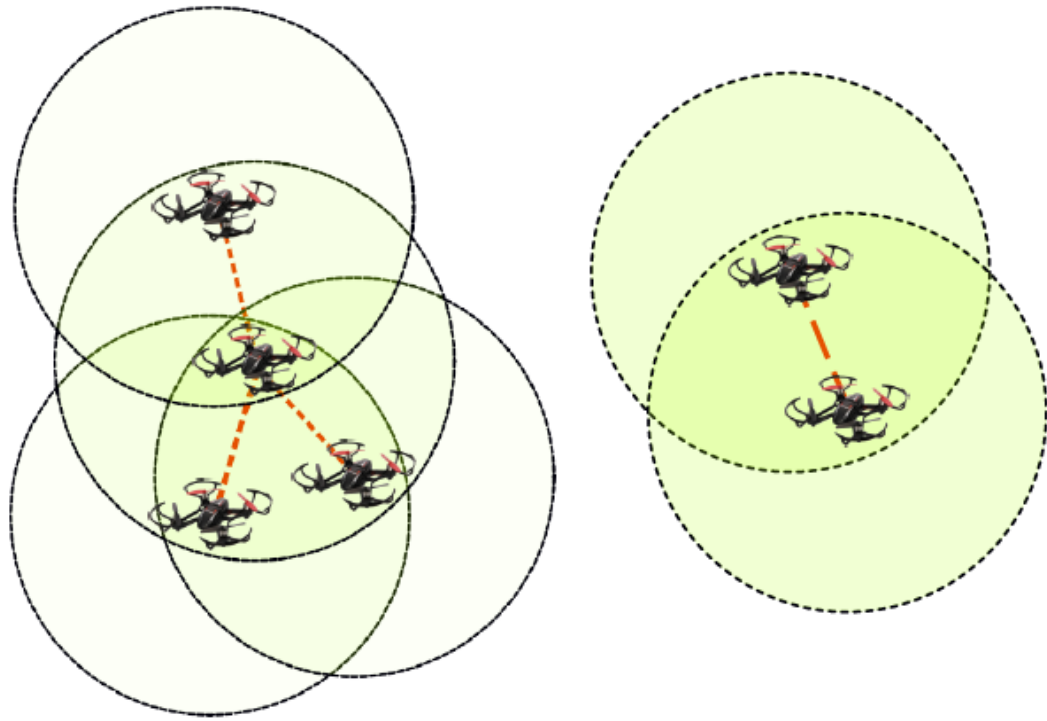
σταθερό κατάλογο διαδικτυακών διευθύνσεων, για την αποστολή μηνυμάτων. Τέτοιου είδους πρωτόκολλο, είναι το AODV - Ad-hoc On demand Distance Vector, το οποίο χρησιμοποιεί μηνύματα ελέγχου ούτως ώστε να δημιουργήσει ένα μονοπάτι από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Τα μηνύματα ελέγχου ονομάζονται Route Request – RREQ και αποστέλλονται από το drone με στόχο την δημιουργία ενός routing table [22].

Επιπρόσθετα, αυτό που πρέπει να εξασφαλίζουν οι ασύρματες επικοινωνίες, είναι η ποιότητα στην παρεχόμενη υπηρεσία, η οποία αφορά την ποιότητα της ζεύξης σε αναλογία με την ζήτηση. Εάν δηλαδή, η ανάγκη μεταφοράς μέσω του δικτύου των drone αφορά βίντεο, πρέπει να διατηρείται σε συγκεκριμένο επίπεδο το εύρος της ζεύξης μεταφοράς δεδομένων. Για την εξασφάλιση της ποιότητας σε όλες τις δικτυακές ασύρματες συνδέσεις, το κάθε drone μπορεί να αποστέλλει μηνύματα ελέγχου της ποιότητας και αφού τα αξιολογήσει, να αποφασίζει ποια θα χρησιμοποιεί με γνώμονα την εξυπηρέτηση του Qos.

## 2.3 Δικτύωση αυτόνομων οχημάτων

Τα Communication-aware mobility control system είναι τα συστήματα ελέγχου, που ως στόχο έχουν να διατηρήσουν την σύνδεση στο δίκτυο για ένα κινητό drone έτσι ώστε, να υλοποιηθεί μια αποστολή [4]. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, κάθε drone παρουσιάζεται ως ένας κύκλος δικτυακής κάλυψης όπως στην εικόνα που ακολουθεί. Ο λόγος για τον οποίο καθορίζεται αυτή η ακτίνα είναι, για την εξακρίβωση του χώρου κάλυψης, μέσα στον οποίο το drone μπορεί να δικτυωθεί. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται γνωστή η επιβολή των ορίων στην κίνηση του drone, ούτως ώστε να μην χάνεται η επαφή με το δίκτυο και να επιτυγχάνεται δικτύωση αυτόνομων οχημάτων.

Για τις περιπτώσεις όπου μια ζεύξη παρουσιάσει μια διακοπή είτε λόγω ενός φυσικού φαινομένου ή εμποδίου είτε λόγω αποστολής του drone, πρέπει να χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα επικοινωνίας που θα εξασφαλίζουν και θα είναι ανθεκτικά σε οποιαδήποτε διακοπή δικτύου. Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται Delay and Disruption Tolerant Networks – DDTN, όπου σε περιπτώσεις που παρατηρούνται διακοπές στην ζεύξη δικτύου εξασφαλίζουν από πριν τα χαμένα πακέτα και στην πρώτη επαναφορά του δικτύου αποστέλλονται ξανά [22].



**Σχήμα 2.** Δίκτυο Αυτόνομων Οχημάτων. [4]

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2, η ακτίνα κάθε drone παρουσιάζει το μέγεθος της εμβέλειας όπου μπορεί να συνδεθεί σε ένα δίκτυο αυτόνομων οχημάτων. Μέσα στο δίκτυο αυτό, μεταφέρονται πληροφορίες που αφορούν την υποδομή και την αποστολή που έχει το σμήνος των drone.

# Κεφάλαιο 3

## Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα πραγματοποιηθεί μια περιγραφή της δομής των συστημάτων STEM κυρίως ως μέρος μιας τοπολογίας δικτύου, περιγραφή του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού τους καθώς και των πρωτόκολλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούν.

### 3.1 Αναφορά στα αυτό-οργανωτικά συστήματα STEM

Τα αυτό-οργανωτικά συστήματα STEM αποτελούν μια κορύφωση της τεχνολογικής εξέλιξης στις μέρες μας. Πρόκειται για συσκευές οι οποίες έχουν την ικανότητα, να αξιολογούν δεδομένα και να λαμβάνουν από μόνες τους αποφάσεις για την επίτευξη ενός ατομικού ή ομαδικού αντικειμενικού σκοπού. Στην προκειμένη περίπτωση, οι STEM κόμβοι έχουν την δυνατότητα να συμμετέχουν στην υλοποίηση ενός δικτύου με μια πληθώρα ρόλων και αποφάσεων τα οποία λαμβάνονται με στόχο την διατήρηση της ποιότητας στις ζεύξεις του δικτύου. Έχουν την ικανότητα να αυτό-ρυθμιστούν σε διάφορα επίπεδα του πρωτοκόλλου, στην βάση του hardware που τα αποτελεί, να αλλάξουν διάφορους ρόλους αλλά και να αναπτυχθούν κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους, σύμφωνα με διάφορες ανανεώσεις που λαμβάνουν σε ένα κοινό δίκτυο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η *μετάλλαξη*, η *συνεργασία* και η *εξέλιξη* [4]. Αρχικά η μετάλλαξη αναφέρεται στην ικανότητα τους, να καθορίζουν αυτόνομα την διαμόρφωση

τους και να αλλάζουν διάφορους ρόλους με βάση τις ανάγκες του δικτύου στο οποίο συμμετέχουν. Ακολούθως, η συνεργασία αναφέρεται στο γεγονός ότι, παρουσιάζουν την ικανότητα να ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες και να αποφασίζουν από κοινού ποιους ρόλους θα εκτελέσουν, ούτως ώστε να εξασφαλίζουν την διαχείριση πόρων, να περιορίσουν τις παρεμβολές και να παρέχουν ένα ευρείας κάλυψης δίκτυο σε μια περιοχή. Εν τέλει, η εξέλιξη τους άγεται στο γεγονός ότι, έχουν την δυνατότητα να αναβαθμίζουν το δικό τους σύστημα, τα δικά τους χαρακτηριστικά και προγραμματισμό.

Πρόκειται για συσκευές οι οποίες παρουσιάζουν μια πληθώρα πλεονεκτημάτων συγκριτικά με τα παραδοσιακά αντίστοιχα συστήματα και τα οποία μπορεί να είναι ένα Access Point, είτε ένα gateway είτε εναλλακτικά ένα Relay. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι η εξέλιξη, η διασυνδεσιμότητα, η προσαρμοστικότητα, ο κατανεμημένος έλεγχος, η ελαστικότητα καθώς και η υψηλή αξιοπιστία [4]. Αναλύοντας τα προαναφερθέντα, η εξέλιξη οφείλεται στην ικανότητα τους να επεκτείνουν τις δυνατότητες τους, χρησιμοποιώντας νέους ρόλους ή συμπεριφορές μέσα σε ένα δίκτυο η οποία επιτυγχάνεται μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ STEM κόμβων. Παράλληλα, παρέχουν χαρακτηριστικά διασυνδεσιμότητας, ξεπερνώντας δυσκολίες διασύνδεσης σε ένα δίκτυο συσκευών τα οποία αποτελούνται από ετερογενή χαρακτηριστικά.

Χαρακτηρίζονται, επίσης, από προσαρμοστικότητα η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι μπορούν, αυτόνομα, να επανακαθορίσουν την θέση τους για να εξασφαλίσουν την καλύτερη παρεχόμενη υπηρεσία καθώς και την διαχείριση της εναπομείναν ενέργειας. Επιπλέον, παρέχουν κατανεμημένο έλεγχο μιας και μπορούν να ανταλλάζουν πληροφορίες μεταξύ τους και με βάση αυτές να λαμβάνουν αποφάσεις, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ενός συστήματος κεντρικού ελέγχου στο δίκτυο. Παράλληλα, χαρακτηρίζονται από ελαστικότητα αφού μπορούν ταχέως να καλύψουν τυχόν δημιουργηθέντα κενά του δικτύου, για να εξασφαλίσουν την ολοκληρωμένη κάλυψη της περιοχής. Εν τέλει, διαθέτουν υψηλή αξιοπιστία η οποία παρέχεται από την υψηλή αντοχή σε σφάλματα και τις αξιόπιστες επικοινωνίες.

## 3.2 Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός

Η αρχιτεκτονική των αυτό-οργανωτικών συστημάτων STEM μπορεί να περιγραφεί στην βάση των ικανοτήτων που διαθέτει το συγκεκριμένο σύστημα, οι οποίες είναι επαναπρογραμματισμός πρωτοκόλλου, inter-stack επαναπρογραμματισμός, εκμάθηση, συνεργασία και ελεγχόμενη κίνηση [4].

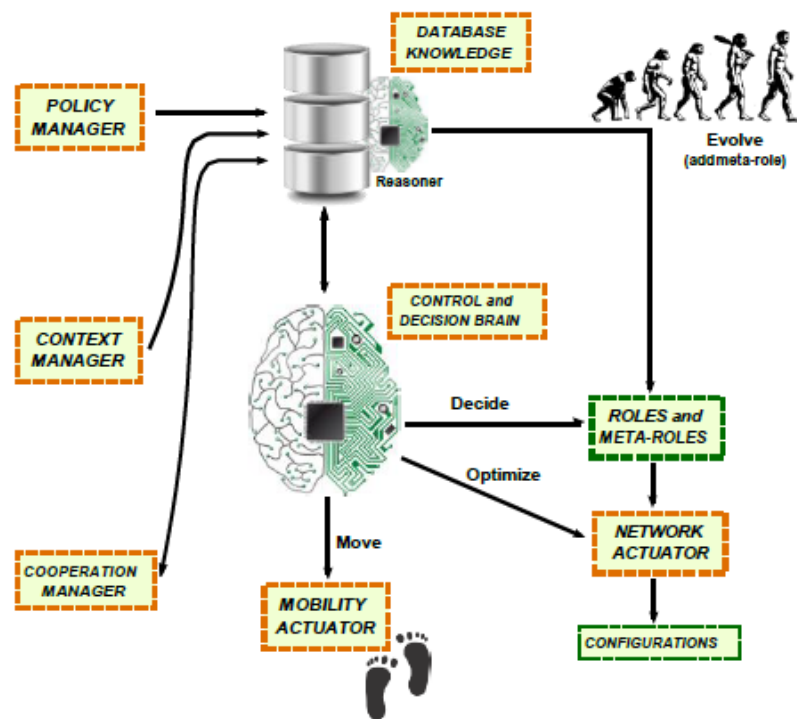
Ο επαναπρογραμματισμός πρωτοκόλλου, στηρίζεται στα hardware χαρακτηριστικά μιας STEM συσκευής και μπορεί να συμπεριλάβει τεχνικές όπως, τα γνωσιακά δίκτυα - Cognitive Radio ή το Software Defined Radios [22]. Αξίζει να σημειωθεί ότι, τα γνωσιακά δίκτυα αφορούν δίκτυα επόμενης γενιάς, τα οποία μπορούν να εξασφαλίσουν βελτιωμένη επικοινωνία και δυναμική χρήση του αδειοδοτημένου φάσματος, ενώ το SDR είναι σύστημα επικοινωνίας το οποίο στηρίζεται σε λογισμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εγκατεστημένες σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή, αντικαθιστώντας τους παραδοσιακούς ασυρμάτους και τα μέρη τους.

Αυτές οι τεχνολογίες είναι αποτέλεσμα της ικανότητας να επαναπρογραμματίζεται ο εκάστοτε STEM κόμβος, μέσω της εκμάθησης, το οποίο επιτυγχάνεται κατά βάση μέσω της επικοινωνίας και της συνεργασίας τους. Η πέμπτη ικανότητα του ελέγχου κίνησης, στηρίζεται στο χαρακτηριστικό τους να μπορούν να κινηθούν σε περισσότερες από μια κατευθύνσεις και ειδικότερα στην μεταπτυχιακή διατριβή αυτή, όπου πρόκειται για μη επανδρωμένα αεροσκάφη.

Παράλληλα, οι ικανότητες μιας τέτοιας συσκευής δεν περιορίζονται στο συγκεκριμένο φάσμα που μόλις αναλύθηκε, αλλά με βάση αυτές μπορούν να εκτελέσουν πολύ πιο εξειδικευμένα αντικείμενα. Για παράδειγμα, ένας STEM κόμβος μπορεί να αποφασίσει από μια πληθώρα ρόλων – Μ ποιον θα εκτελέσει. Ο κάθε ρόλος χαρακτηρίζεται από τις δικές του λειτουργίες και ικανότητες. Παράλληλα η επιλογή του εκάστοτε ρόλου, στηρίζεται στα χαρακτηριστικά και περιορισμούς του κόμβου, τα οποία αφορούν κεραίες, τεχνολογίες ασύρματων δικτύων κτλ.

Επιπρόσθετα, μέσα σε ένα δίκτυο, ο εκάστοτε STEM κόμβος, πέρα από το ρόλο που μπορεί να εκτελέσει, διαθέτει την επιλογή να εκτελεί meta-ρόλους δηλαδή, ένα ρόλο του οποίου τα χαρακτηριστικά και οι ικανότητες λαμβάνονται και διαδίδονται μέσω επικοινωνίας από άλλους STEM κόμβους. Για την αλλαγή και μετάβαση σε ένα meta-ρόλο, είναι υπεύθυνο το λογισμικό εξέλιξης και συνήθως αφορά μια αναβάθμιση στο πρωτόκολλο διάδοσης δεδομένων ή μια αλλαγή σε μια διεπαφή.

Υπεύθυνο για την λήψη της απόφασης αλλαγής ρόλου του STEM κόμβου σε ένα δίκτυο, είναι το Control and Decision Brain και για την λήψη μιας τέτοιας απόφασης, διαθέτει τους κατάλληλους μηχανισμούς και μια γνωστική συνιστώσα, την οποία θα αξιολογήσει προτού αποφασίσει να εκτελέσει οποιαδήποτε αλλαγή.



**Σχήμα 3.** Η αρχιτεκτονική ενός STEM Node. [4]

Στην εικόνα 3, παρουσιάζεται η δομή και τα τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας STEM κόμβος. Σε μια εκτενέστερη επεξήγηση των παραπάνω τμημάτων, αναλύεται το εκάστοτε τμήμα ξεχωριστά και ακολούθως περιγράφεται ένας συνδυασμός των εργασιών του εκάστοτε τμήματος.

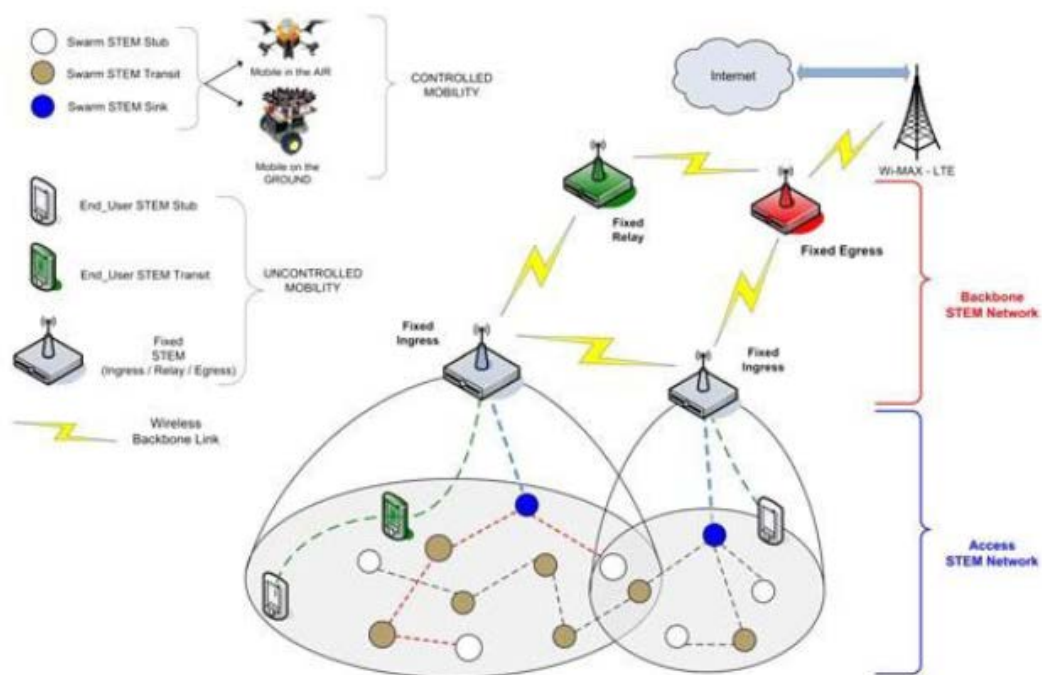
- Context Manager (CM): Αυτό το μέρος λαμβάνει πληροφορίες για το περιβάλλον και τον κόμβο από αισθητήρες. Δηλαδή, σαρώνει εάν υπάρχουν διαθέσιμες συχνότητες ή εάν υπάρχουν διαθέσιμα ασύρματα δίκτυα καθώς και την κατάσταση του Node.
- Database Knowledge (DBK): Σε αυτό το σημείο αποθηκεύονται δεδομένα που αφορούν το γενικό πλαίσιο, αλλά και τον ρόλο τον οποίο πρέπει να εκτελέσει ο κόμβος.
- Policy Manager (PM): Είναι οι απαιτήσεις και οι στόχοι που καθορίζουν την συμπεριφορά του κόμβου. Αποτελείται από ένα σύνολο πολιτικών περιορισμών.
- Control and Decision Brain (CDB): Πρόκειται για το σημαντικότερο μέρος ενός κόμβου. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο σημείο της μεταπτυχιακής διατριβής, είναι το σημείο στο οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις για την εκτέλεση συγκεκριμένου ρόλου ή meta-ρόλου, οι οποίες στηρίζονται στα δεδομένα που αποθηκεύονται στο DBK και έχουν συλλεχθεί από το CM. Η απόφαση, λαμβάνεται με βάση την ικανοποίηση των πολιτικών σταθερών ή περιορισμών τους οποίους έχει καθορίσει το PM. Παράλληλα, εάν ο κόμβος διαθέτει την ικανότητα να μετακινείται στο τμήμα αυτό λαμβάνονται οι αποφάσεις κίνησης του.
- Network Actuator: Εκτελεί τις εντολές και τον προγραμματισμό από πλευράς δικτύου που έχει αποφασίσει ο CDB.
- Mobility Actuator: Εκτελεί τις κινήσεις σε όλες τις κατευθύνσεις για τον κόμβο. Οι κινήσεις αποφασίζονται από το CDB.

Τα παραπάνω μέρη του κόμβου, συνεργάζονται για να διατηρήσουν την εκτέλεση των απαιτήσεων του κάθε ρόλου που αναλαμβάνει να ακολουθήσει η συσκευή. Για την απόφαση υιοθέτησης οποιουδήποτε ρόλου, στο CDB εκτελούνται συγκεκριμένοι αλγόριθμοι οι οποίοι αφορούν κυρίως την θέση, την ιδιότητα, τις διεπαφές και την ενέργεια του κάθε κόμβου. Παράλληλα, μέσω του τμήματος συνεργασίας, ένα σμήνος από drones μπορεί να συνεργαστεί ούτως ώστε να χρησιμοποιήσει τις κατάλληλες θέσεις, για την επίτευξη της μέγιστης προσφερόμενης κάλυψης σε μια περιοχή, καθώς και την επαύξηση της ποιότητας της υπηρεσίας. Οι κινήσεις των drone γίνονται σε όλες τις

κατευθύνσεις και χαρακτηρίζονται ως six degree-of-freedom, δηλαδή στον άξονα  $x$ ,  $\psi$  και  $\zeta$  και σε όλους τους προσανατολισμούς [4].

### 3.3 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν και στις αρχές ενός γενικότερου δικτύου από STEM κόμβους, το εκάστοτε δίκτυο διαχωρίζεται σε δύο υπό-τμήματα, το Access Stem Network - ASN και το Backbone Stem Network - BSN [4].



**Σχήμα 4.** Η αρχιτεκτονική STEM δικτύου. [4]

Οι STEM κόμβοι, που ανήκουν στο BSN, διασυνδέονται στην υπάρχουσα τεχνολογία δικτύων για να παρέχουν διέξοδο στο διαδίκτυο και για αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως το UMTS, WiMAX ή LTE. Οι ρόλοι, που μπορούν να ακολουθήσουν είναι οι Egress, Ingress ή Relay. Μια συσκευή Ingress παρέχει δίκτυο στις συσκευές του ASN, ενώ ένας Relay διασύνδεει ένα Egress κόμβο με ένα Ingress κόμβο. Παράλληλα, ένας Egress λειτουργεί ως gateway για την διέξοδο των δεδομένων προς το διαδίκτυο.



Μέσα στο τμήμα του ASN υπάρχουν οι Swarm Stem κόμβοι και οι End-User Stem κόμβοι. Η διαφορά των δύο κόμβων είναι ότι, οι Swarm έχουν την δυνατότητα να εκτελούν ελεγχόμενες κινήσεις ενώ, οι End-User είναι στατικοί. Ένας Swarm Stem Node μπορεί να αναλάβει δύο ρόλους, αρχικά, μπορεί να αναλάβει τον ρόλο του Swarm Stem Transit όπου μεταφέρει δεδομένα σε άλλους Nodes καθώς και να εκτελεί τον ρόλο του Swarm Stem Sink όπου θα διασυνδέεται με το BSN. Ο Swarm Stem Sub που παρουσιάζεται στην προβολή δεν εκτελεί κάποιο ρόλο για την λειτουργία του δικτύου, αλλά μόνο για την περαιτέρω χωρική ανάπτυξη του δικτύου.

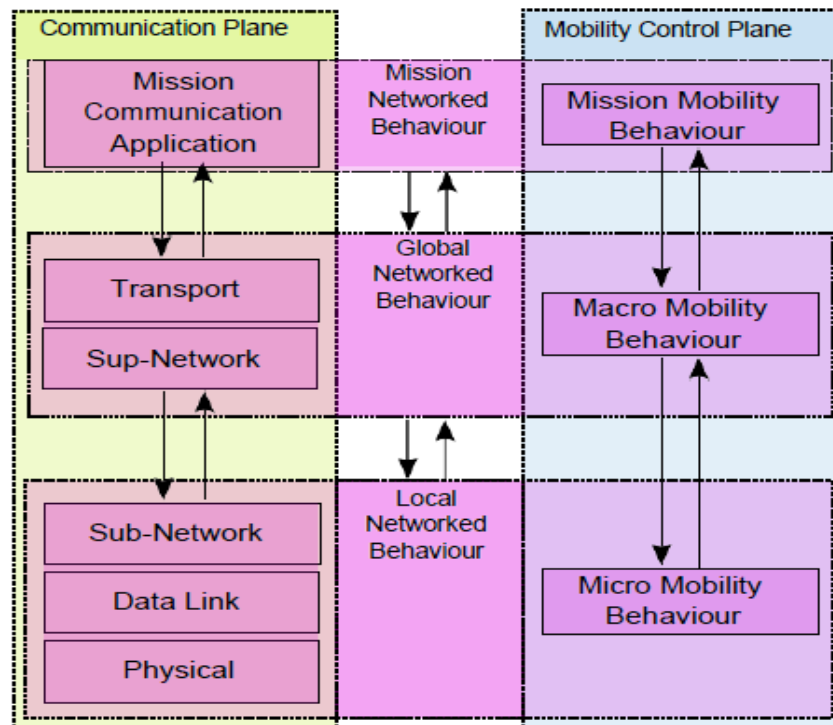
Στις περιπτώσεις όπου το Backbone δίκτυο και το δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας έχει καταστραφεί, πρέπει να εντοπιστεί μια διαφορετική δίοδος μεταφοράς των δεδομένων στο κέντρο συντονισμού και διαχείρισης κρίσεων. Η λύση που μπορεί να αξιοποιηθεί είναι μέσω δορυφορικής ζεύξης, όπου κινητή δορυφορική συσκευή θα αναπτύσσεται στην περιοχή και θα μεταφέρει τα δεδομένα μέσω δορυφόρου στο διαδίκτυο για να αποσταλούν στο ΚΣΔΚ [10].

Από την άλλη, οι στατικοί End User Stem κόμβοι μπορούν να λάβουν και αυτοί δύο ρόλους, του Transit και Sink, όπου όπως και στην περίπτωση των κινητών κόμβων, ο Transit διασύνδει τους κόμβους μεταξύ τους ενώ ο Sink ενώνει το δίκτυο με το BSN.

Πέρα από την δομή του δικτύου, υπάρχουν αρκετές ιδιαιτερότητες στα πρωτόκολλα επικοινωνιών που χρησιμοποιούν οι κόμβοι, από τις οποίες με βάση το πρωτόκολλο TCP/IP προκύπτουν τα παρακάτω:

- **Physical Layer:** Αναφέρεται στην διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα, όπου παρατηρούνται διάφορες δυσκολίες λόγω της κινητικότητας των drone προς όλες τις κατευθύνσεις.
- **Data Link:** Είναι το επίπεδο που ακολουθεί μετά το Physical επίπεδο και αποστολή του είναι, να περιορίζει τα προβλήματα που δημιουργούνται σε εκείνο το επίπεδο μέσω του σωστού προγραμματισμού.
- **Network Layer:** Όπου στόχος του είναι, ο καθορισμός της σημείου προς σημείου διαδρομής που θα ακολουθήσει ένα πακέτο, προκειμένου να μεταφερθεί από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Για την καλύτερη λειτουργία του επιπέδου, διαχωρίζεται σε δύο υπό-επίπεδα το Sub-Network και το Sup-Network [4].

- a. **Sub-Network:** Λαμβάνει αποφάσεις για την μεταφορά δεδομένων τοπικά και για αυτό τον λόγο δεν υπάρχει η ανάγκη να γνωρίζει την τοπολογία όλου του δικτύου παρά μόνο το next-hop.
- b. **Sup-Network:** Λαμβάνει πληροφορίες για την μεταφορά δεδομένων από τον αποστολέα στο παραλήπτη, σε όλο το φάσμα του δικτύου και για τον λόγο αυτό πρέπει να γνωρίζει όλο το δίκτυο.



Σχήμα 5. Πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων. [4]

- **Transport Layer:** Στο συγκεκριμένο επίπεδο διεξάγεται η υποδοχή των δεδομένων από τα υψηλότερα επίπεδα και ο διαμοιρασμός τους στα χαμηλότερα επίπεδα.
- **Application Layer:** Είναι όλες οι εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο εκάστοτε χρήστης, για να αξιοποιήσει τις λειτουργίες του πρωτοκόλλου είτε αυτές είναι ζωντανό βίντεο, είτε μεταφορά αρχείων και πολλά άλλα.

Στην εικόνα 5 ,παρουσιάζεται ένας διαχωρισμός πρωτοκόλλων σε δύο κάθετα επίπεδα στο *communication plane* καθώς και στο *mobility control plane*. Το πρώτο επίπεδο *communication protocol* που μόλις αναλύθηκε, χρησιμοποιείται όπως αναφέρεται στο

κεφάλαιο δύο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, για τις αλληλεπιδράσεις στην τοπολογία δικτύου μετά από κινήσεις των drone. Το δεύτερο επίπεδο, το Mobility control plane, αφορά τα συστήματα ελέγχου της κίνησης των drone με βάση τους περιορισμούς του δικτύου.

Από μια απλή ανάλυση του δεύτερου πρωτοκόλλου επικοινωνίας προκύπτουν τα παρακάτω:

- **Micro Mobility behaviour:** Πρόκειται για την επικοινωνία που διεξάγεται σε τοπικές κινήσεις όπου οι πληροφορίες για το αεροσκάφος βρίσκονται και αξιοποιούνται στο άμεσο περιβάλλον από την θέση του κόμβου.
- **Macro Mobility behaviour:** Οι κινήσεις δεν περιορίζονται μόνο στο τοπικό περιβάλλον. Δημιουργείται με αυτό τον τρόπο η ανάγκη γνώσης για το γύρω περιβάλλον.
- **Mission Mobility behaviour:** Είναι το μεγαλύτερο πεδίο στο οποίο μπορεί να εφαρμοστεί και αφορά την εκπλήρωση αποστολών οι οποίες αποφασίζονται στο επίπεδο application.

Εγκάρσια των δύο συστημάτων mobility control και communication plane υπάρχει μια μέθοδος αντιστοίχισης των επιπέδων του κάθε συστήματος. Αυτά τα τρία επίπεδα, μπορούν να συνενωθούν με τα αντίστοιχα στο communication plane όπως όταν κατηγοριοποιηθούν σε Local, Global και Mission Network Behaviour.

- **Local Networked Behaviour:** Σε αυτό το επίπεδο συνδυάζεται το επίπεδο Physical, Data link και Sub-Network με το αντίστοιχο micro mobility. Στόχος, είναι η χρήση πληροφοριών, οι οποίες μπορούν να αποκτηθούν τοπικά, και να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν επικοινωνία που θα αξιοποιείται σε τοπικό επίπεδο. Οι εφαρμογές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση αυτή είναι, η διατήρηση της δικτυακής σύνδεσης καθώς και ο συνεχής εντοπισμός δρομολογίων μεταφοράς δεδομένων μετά τις συνεχείς αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου.
- **Global Networked Behaviour:** Συνδέει τα επίπεδα sup-network και Transport μαζί με το macro mobility. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την περίπτωση

αφορούν κυρίως, Disruption και Delay Tolerant Network<sup>16</sup> [22], διατήρηση του επιπέδου της παρεχόμενης υπηρεσίας καθώς και Geographical Routing. Αρχικά κατά την διάρκεια της πτήσης των αεροσκαφών μπορεί να συμβεί οτιδήποτε το οποίο θα διασπάσει την δικτυακή σύνδεση π.χ. πτώση, κακοκαιρία κτλ. όπου με το Disruption and Delay Tolerant Network παρέχεται ελαστικότητα στο δίκτυο. Ακολούθως, κατά την διατήρηση της παρεχόμενης υπηρεσίας, υπάρχει η πιθανότητα να γίνονται αλλαγές στο κανάλι μεταφοράς δεδομένων ούτως ώστε να διατηρείται η απαραίτητη ποιότητα στην ζεύξη, μέσω της οποίας μπορεί να μεταφέρονται δεδομένα εικόνας και βίντεο. Εν τέλει, το Geographical Routing αφορά στην συνεχή διατήρηση δρομολογίων μεταφοράς δεδομένων από τον αποστολέα στον τελικό αποδέκτη όπου, είναι απαραίτητη η γνώση global πληροφοριών για το δίκτυο.

- **Mission Networked Behaviour:** Στην συγκεκριμένη περίπτωση, έχουν καθοριστεί οι ανάγκες της παρεχόμενης υπηρεσίας, οι δυνατότητες του συστήματος καθώς και οι παραλήπτες των δεδομένων. Οι εφαρμογές που αξιοποιούνται στο επίπεδο αυτό είναι το Data streaming, coverage και το Network restore.

---

<sup>16</sup> Disruption and Delay Tolerant Network είναι αρχιτεκτονικές δικτύου οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ευάλωτα δίκτυα όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα διακοπής την διασύνδεσης από τον πομπό στον δέκτη. Εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη μεταφορά των δεδομένων μετά την αποκατάσταση της σύνδεσης.

# Κεφάλαιο 4

## Ανάλυση Προβλημάτων

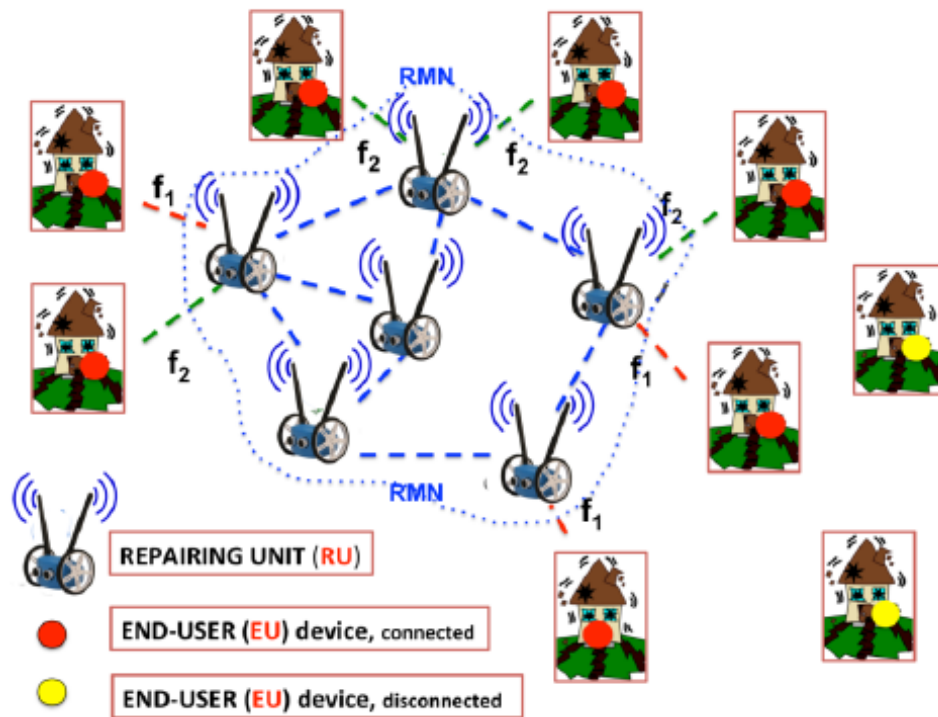
Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται όλα τα προβλήματα που αφορούν την δικτύωση και γενικά την λειτουργία των drone καθώς και ο αλγόριθμος επιλογής θέσης. Παράλληλα προτείνεται λύση για το εκάστοτε πρόβλημα.

### 4.1 Συνδεσιμότητα

Καθημερινά χρησιμοποιούνται απεριόριστα έξυπνες συσκευές, οι οποίες χρησιμοποιούν ένα φάσμα τεχνολογιών για την διασύνδεση τους σε ένα δίκτυο. Αυτές οι τεχνολογίες μπορεί να είναι WiFi, WiMAX, LTE και πολλές άλλες, δημιουργώντας ένα μεγάλο πρόβλημα στην επιλογή της μεθοδολογίας δικτύωσης που θα ακολουθηθεί στην εφαρμογή. Ο λόγος οφείλεται στο γεγονός, ότι όλες αυτές οι συσκευές πρέπει να συνδυαστούν δικτυακά σε ένα ενιαίο δίκτυο στην περίπτωση ενός σεναρίου καταστροφής.

Η λύση που προτείνεται, για την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας των έξυπνων συσκευών είναι το Cognitive Radio - CR [23]. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελείται από έξυπνα-ευφυή συστήματα, τα οποία μπορούν να αντιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και να προσαρμόζουν κατάλληλα τις δικές τους παραμέτρους λειτουργίας, ούτως ώστε να βελτιώνουν την επικοινωνία. Κύριος στόχος τους είναι, να κάνουν δυναμική χρήση του αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων σε μια περιοχή, χωρίς να δημιουργούν παρεμβολές.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, σε περίπτωση τεχνολογικής καταστροφής στις υποδομές της κινητής τεχνολογίας, η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι έτοιμη να αξιοποιήσει τυχόν διατιθέμενες συχνότητες. Με δεδομένη την καταστροφή των υποδομών της κινητής τηλεφωνίας, προτείνεται όπως αξιοποιηθούν όσες συχνότητες χρησιμοποιούνταν στην τεχνολογία 4G - LTE, αφού πλέον είναι αναξιοποίητες.



Σχήμα 6. Repairing Mesh Network in a post-disaster σενάριο. [4]

Οι end-users είναι οι χρήστες έξυπνων συσκευών, καθώς τα Repairing Units στην περίπτωση μας είναι τα drone που θα αναπτυχθούν για να παρέχουν δίκτυο στους χρήστες. Τα drone είναι συσκευές Stem όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους σε ένα Κοινό Κανάλι Επικοινωνίας - Common Control Channel - CCC. Κάθε χρήστης αποστέλλει περιοδικά μήνυμα HELLO σε συχνότητα  $f_i$ , η οποία καθορίζεται από την τεχνολογία διασύνδεσης δικτύου που χρησιμοποιεί. Δηλαδή εάν πρόκειται για Wi-Fi Bluetooth LTE κτλ. Επιπλέον, κάθε RU διαθέτει μεγάλο αριθμό ασύρματων διεπαφών για να διασυνδέεται σε πολλαπλές συχνότητες. Αυτές οι διεπαφές, βασίζονται στην τεχνολογία Software Defined Radio. Οι ρόλοι τους οποίους μπορεί να αναλάβει ένα RU είναι οι εξής:

- **Router** το οποίο δρομολογεί τα πακέτα μέσα στο δίκτυο.
- **Gateway** το οποίο διασύνδεει τους end users στο δίκτυο.
- **Scout** το οποίο εξερευνά νέες περιοχές από πλευράς τηλεπικοινωνιών.

Στόχος της νέας υποδομής, είναι να υποστηρίξει τον μέγιστο δυνατό αριθμό χρηστών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, συγκριτικά με τον αριθμό των χρηστών που ήταν διασυνδεδεμένος στην κυψέλη της κινητής τηλεφωνίας πριν το φαινόμενο καταστροφής. Το πρόβλημα που δημιουργείται σε μια τέτοια περίπτωση είναι, η απόφαση για το που πρέπει να τοποθετηθούν τα drone και σε ποια συχνότητα αυτά θα εκπέμπουν. Αυτό το πρόβλημα ονομάστηκε MCC - Maximum Multi-Channel Connectivity [4]. Για την καλύτερη αντιμετώπιση του διαχωρίστηκε σε δύο τομείς:

- **Multi-Channel Geometric Disk Covering - MCG-DC** το οποίο αφορά στην μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθηθεί ούτως ώστε σε μια περιοχή ο κάθε χρήστης να καλύπτεται από ένα Repairing Unit.
- **Maximum Vertex Clustering - MVC** το οποίο αφορά στην μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί ούτως ώστε να διασυνδεθούν όλα τα RU και οι χρήστες μεταξύ τους.

Για την αντιμετώπιση αυτών των δύο προβλημάτων, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος βασίζεται σε συγκεκριμένους υπολογισμούς. Οι υπολογισμοί αυτοί, αφορούν την θέση και την συχνότητα που πρέπει να έχει κάθε RU. Σε κάθε θέση στην οποία τοποθετείται το κάθε repairing unit λαμβάνει κάποιες θεωρητικές δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές είναι η ισχύς που λαμβάνεται σε κάθε RU, από χρήστες ή από άλλα RU, τα οποία εκπέμπουν ισχύ σε μορφή beacon ή HELLO μηνύματα [4]. Είδη των δυνάμεων αυτών είναι:

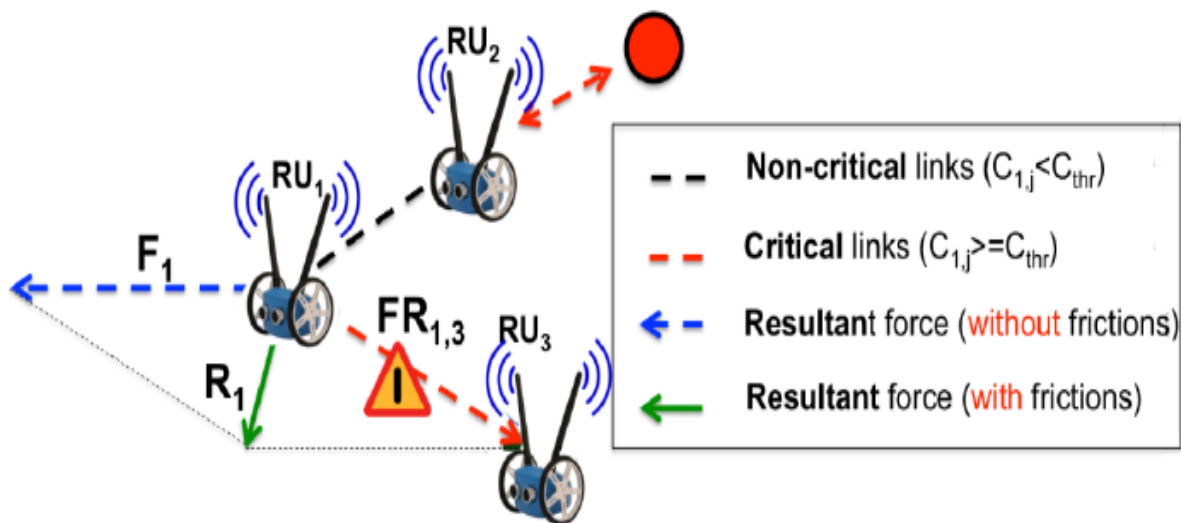
- **Mesh to Mesh (MtM)** όπου είναι οι δυνάμεις μεταξύ δύο RU σε μια RMN τοπολογία.
- **Mesh to Eu (MtE)** όπου είναι οι δυνάμεις μεταξύ ενός RU με ένα EU.
- **Mesh to Frontier (MtF)** όπου είναι οι δυνάμεις που χρησιμοποιεί ένα RU scout για να εξερευνήσει ένα περιβάλλον.

Οι δυνάμεις MtM και MtE είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του δικτύου RMN, ενώ η MtF είναι αυτή που χρησιμοποιείται για την εξερεύνηση μιας νέας περιοχής. Για την διατήρηση της τοπολογίας του δικτύου, οι Repairing Units που δεν παρέχουν υπηρεσία δικτύου στους χρήστες, λαμβάνουν τον ρόλο του ανιχνευτή. Με την

ιδιότητα αυτή, μετακινούνται σε όλη την περιοχή και ελέγχουν τις δυνάμεις, δηλαδή τα αποτελέσματα λήψης HELLO μηνυμάτων από του χρήστες. Αφού υπολογίσουν το σύνολο της λαμβανόμενης δύναμης, δηλαδή της ισχύς των λαμβανόμενων HELLO μηνυμάτων για έκαστη περιοχή, εξάγουν αποτελέσματα και ακολούθως τα διαβιβάζουν στα υπόλοιπα RU ούτως ώστε να γνωρίζουν τον αριθμό των χρηστών σε κάθε περιοχή. Ο έλεγχος αυτός γίνεται σε όλες τις θέσεις καθώς και σε διαφορετικές συχνότητες.

Από την άλλη πλευρά τα RU που παρέχουν υπηρεσία δικτύου, θα συγκρίνουν τον αριθμό των χρηστών για τους οποίους παρέχουν υπηρεσία στην θέση που βρίσκονται, με το σύνολο των λαμβανόμενων δυνάμεων σε μια νέα περιοχή και θα αποφασίσουν εάν θα μετακινηθούν σε άλλη περιοχή ή αν θα παραμείνουν σταθερά. Για την αποφυγή συχνών μετακινήσεων, άλλες μεταβλητές υπολογίζονται στην βάση της αποφυγής οποιασδήποτε καταστροφής ζεύξης - link breakage με άλλα RU.

Στην εικόνα 7 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια τοπολογία δικτύου με τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους.



Σχήμα 7. Δυνάμεις σε δίκτυο. [4]

Επιπρόσθετα, στην επικοινωνία μεταξύ τους, τα RU αποστέλλουν, σε συχνές περιόδους, μηνύματα beacon τα οποία περιέχουν τον αριθμό των EU που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, την θέση του RU και την συχνότητα στην οποία παρέχουν δίκτυο. Για την λήψη απόφασης



που αφορά την θέση και την συχνότητα που εκπέμπει ένα RU, αξιοποιείται ένας αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιείται και στην εφαρμογή.

Ο αλγόριθμος που αφορά στην επιλογή θέσης και συχνότητας, στηρίζεται στα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί από τους RU ανιχνευτές. Συγκρίνοντας αυτά τα δεδομένα και σε συνδυασμό με κάποιους περιορισμούς λαμβάνεται η απόφαση για την θέση και την συχνότητα κάθε RU.

Ανιχνευτής RU:

- Μεταβαίνει σε μια νέα περιοχή.
- Ανιχνεύει συγκεκριμένες συχνότητες.
- Εξάγει αποτελέσματα που αφορούν λαμβανόμενα HELLO μηνύματα από τους χρήστες σε διαφορετικές συχνότητες.
- Αποστέλλει τα αποτελέσματα μέσω beacon στο κανάλι επικοινωνίας των RU.
- Χαρακτηρίζει την περιοχή που ανίχνευσε ως πλέον 'μη αναγκαίους προς ανίχνευση'.

Gateway RU:

- Αποφασίζει εάν θα μετακινηθεί σε μια νέα θέση με βάση το beacon που έλαβε, συγκρίνοντας το μέγεθος των χρηστών που υποστηρίζει τώρα και με αυτό που θα υποστηρίζει στην νέα θέση που θα μετακινηθεί.
- Προτού μετακινηθεί ελέγχει εάν η θέση στην οποία θα μεταβεί, θα έχει ως αποτέλεσμα να διασπάσει την τοπολογία δικτύου των RU. Για να το επιτύχει, λαμβάνει υπόψη του μια απόσταση X, η οποία καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά των RU. Η απόσταση αυτή καθορίζεται από την ισχύ εκπομπής καθώς και την ευαισθησία του δέκτη των RU, δηλαδή είναι η μέγιστη απόσταση στην οποία τα RU επικοινωνούν μεταξύ τους. Εάν η οποιαδήποτε μετακίνηση διαταράξει την τοπολογία του δικτύου θα αποφευχθεί ή θα προσαρμοστεί ούτως ώστε να μετακινηθεί σε σημείο που να μπορεί να εξυπηρετεί το δίκτυο των RU καθώς και την εξυπηρέτηση χρηστών.
- Εάν καταλάβει μια νέα θέση, αποστέλλει ένα μήνυμα beacon με την θέση του και τον αριθμό των χρηστών που εξυπηρετεί. Με αυτόν τον τρόπο όταν τα RU λαμβάνουν

τα αποτελέσματα για την ζήτηση σε κάθε περιοχή, γνωρίζουν από πριν εάν υπάρχει ήδη άλλο RU στην θέση αυτή. Τα στοιχεία αυτά τηρούνται σε μια βάση δεδομένων σε κάθε RU που αφορούν τον χώρο που θα υλοποιηθεί το δίκτυο.

Προϋπόθεση για την υλοποίηση του αλγορίθμου, είναι ο καθορισμός της περιοχής μέσα στην οποία θα αναπτυχθεί η εφαρμογή. Η περιοχή αυτή θα διαχωριστεί ως ένα grid και για κάθε πλέγμα – τετράγωνο διαστάσεων που θα αξιολογείται από τους ανιχνευτές, θα τηρούνται τα στοιχεία για τον αριθμό των χρηστών που υπάρχουν εντός αυτού. Παράλληλα μέσω των beacon θα υπάρχουν και τα δεδομένα για το ποιο RU εξυπηρετεί το συγκεκριμένο πλέγμα.

## 4.2 Σύγκλιση

Η σύγκλιση του δικτύου, αφορά την δυνατότητα του να παρέχει πολλαπλές υπηρεσίες δεδομένων που αφορούν κυρίως φωνή, βίντεο και μηνύματα. Σε έλεγχο του δικτύου το οποίο στηρίζεται στην δομή των Stem κόμβων, καθώς και στον αλγόριθμο για την θέση και την συχνότητα τους αποδείχθηκε ότι, η σύγκλιση του δικτύου εξαρτάται από τον χρόνο. Δηλαδή, κατά την διάρκεια της ανάπτυξης και της εξερεύνησης των περιοχών από τα ανιχνευτικά RU το μέγεθος εξυπηρέτησης χρηστών ακολουθεί μια αύξουσα τιμή.

Αφού αναπτυχθούν τα RU και περατωθεί ο χρόνος για την εξερεύνηση μιας περιοχής όπως αυτή περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η εξυπηρέτηση χρηστών λαμβάνει μια σταθερή τιμή εξυπηρετούμενων χρηστών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα RU έχουν λάβει τις τελικές τους θέσεις με βάση τα δεδομένα του περιβάλλοντος, χωρίς να σημαίνει ότι θα παραμείνουν πάντα στατικά, μιας και το περιβάλλον μετά από μια καταστροφή είναι δυναμικά μεταβαλλόμενο. Γεγονός το οποίο οφείλεται στις πολλές αλλαγές που μπορούν να παρατηρηθούν λόγω των νέων τηλεπικοινωνιακών αλλαγών που δημιουργούνται στο πέρασμα του χρόνου και εντός των 72 golden hours.

Παράλληλα, δεδομένο το οποίο προκύπτει και αφορά την σύγκλιση του δικτύου είναι ότι, ο χρόνος του beacon διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διατήρηση της τοπολογίας του

δικτύου. Τα μηνύματα αυτά, περιλαμβάνουν πληροφορίες που αφορούν τον αριθμό των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε ένα RU, καθώς και τον αριθμό των χρηστών που αναμένουν να συνδεθούν στο δίκτυο σε συχνότητες οι οποίες έχουν ελεγχθεί. Αυτές οι πληροφορίες, αξιολογούνται από τον αλγόριθμο και χρησιμοποιούνται για την λήψη απόφασης μετακίνησης των RU, με αποτέλεσμα να λαμβάνουν σημαντική αξία για την διατήρηση της θέσης κάθε RU.

Με αυτόν τον τρόπο, όταν τα beacon αποστέλλονταν σε μικρότερα χρονικά διαστήματα η τοπολογία διατηρείτο σταθερή, ενώ όταν τα beacon είχαν μεγαλύτερο μέγεθος χρόνου η τοπολογία άλλαζε συχνότερα. Το συμπέρασμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, τα RU κινούνταν στις περιοχές όπου λάμβαναν πληροφορίες για περισσότερους ελεύθερους χρήστες, με αποτέλεσμα να διασπάται η τοπολογία, ενώ εάν ο χρόνος αποστολής των beacon είναι μικρότερος θα λαμβάνει συχνότερες ανανεώσεις για τους διατιθέμενους χρήστες και οι κινήσεις θα ήταν μικρότερες.

Όλα αυτά διαδραματίζονται με απώτερο σκοπό, την διατήρηση της ποιότητας έκαστης ζεύξης διότι οι δημόσιες υπηρεσίες ασφάλειας έχουν την ανάγκη να μεταφέρουν δεδομένα με υψηλές απαιτήσεις. Δηλαδή, για μια υπηρεσία υπάρχει η ανάγκη να έχει εικόνα από το σημείο καταστροφής άρα αναγκαίοι Quality of Service<sup>17</sup> μέσω του οποίου, θα μεταφέρεται ζωντανό βίντεο ή έστω ετεροχρονισμένα εικόνες και βίντεο από μια περιοχή με αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη μεγάλου όγκου δεδομένων και πληροφορίας.

### 4.3 Ενέργεια

Σε ένα σενάριο καταστροφής ο χρόνος που θα διαρκέσει η ζημιά στις τηλεπικοινωνιακές υποδομές μπορεί να είναι από ώρες, μέρες μέχρι μήνες. Εάν αναλογιστεί κανείς ότι στην Ιαπωνία καταστράφηκαν 14000 σταθμοί κινητής τηλεφωνίας και εφόσον δεν υπήρχαν οι διαθέσιμοι πόροι και το προσωπικό που αναγκαίοι για την επαναφορά του συστήματος, τότε μπορεί ο χρόνος επαναφοράς του να λάβει τεράστιες χρονικές διαστάσεις. Κρατώντας

---

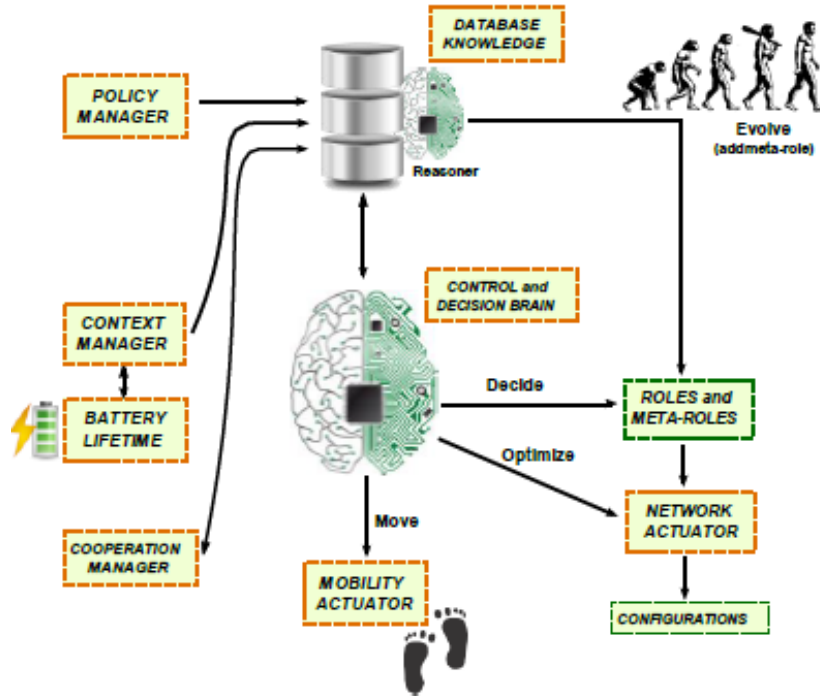
<sup>17</sup> Quality of Service είναι η ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας σε ένα δίκτυο.

αυτό ως δεδομένο, το δίκτυο που δημιουργήθηκε έχει λάβει υπόψη του ότι ο χρόνος εγκαθίδρυσης και λειτουργίας του είναι από μηδενικός έως τεράστιος.

Θεωρείται δεδομένο ότι, τα νέου τύπου multicopter drone είναι αυτά που πιθανόν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του δικτύου, λόγω της ικανότητας τους να πετούν σε σταθερό ύψος για περίπου 4 έως 5 ώρες. Παράλληλα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι δημιουργείται ανάγκη για την συχνή φόρτιση ή αντικατάσταση τους λόγω έλλειψης ενέργειας. Τα multicopters στην περίπτωση του σεναρίου, θα καταναλώνουν ακόμη περισσότερη ενέργεια λόγω της χρήσης του Wi-Fi πομπού, το οποίο χρειάζεται μεγάλα ποσά ενέργειας σε σύγκριση με το μέγεθος της μπαταρίας ενός drone, για να εκπέμψει και να λάβει ούτως ώστε να υλοποιήσει το δίκτυο.

Μια απλή λύση που προτείνεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως σε σενάρια με μικρά εμπόδια δηλαδή μικρά σπίτια, όπου τα multicopters πετούν σε χαμηλό ύψος, είναι η φόρτιση με καλώδιο κατά την διάρκεια της πτήσης. Είναι δεδομένο ότι, το βάρος που θα μεταφέρουν τα drone θα αυξηθεί, όμως θα απαλλαγούν από τους περιορισμούς που προσθέτει στο δίκτυο η ενέργεια. Αυτή η λύση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί περίπου μέχρι τα 40 μέτρα όπου το μέγεθος του καλωδίου δεν είναι τόσο μεγάλο ούτως ώστε, να μην δημιουργούνται μεγάλες απώλειες και το βάρος του είναι τέτοιο που να μην παρεμποδίζει την σταθερή πτήση του drone.

Στις περιπτώσεις όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προηγούμενη λύση, πρέπει να ακολουθηθεί άλλη μεθοδολογία σύμφωνα με την οποία στο περιβάλλον του σεναρίου, πρέπει να μεταφέρονται και να τοποθετούνται σταθμοί φόρτισης για τα drone.



**Σχήμα 8.** Δομή Stem Drone με Battery Life-time Module. [4]

Στην μεθοδολογία αυτή, αλλάζει η δομή του Stem drone αφού τοποθετείται ένα τμήμα το οποίο χρησιμοποιείται ξεκάθαρα για τις ανάγκες της μπαταρίας, το battery lifetime. Για την εξασφάλιση της φόρτισης των drone, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος λαμβάνει υπόψη του δύο τιμές. Η πρώτη αφορά τον βαθμό διασύνδεσης των χρηστών στο RU και συγκεκριμένα υπολογίζει την επίπτωση που θα δημιουργήσει η απεγκατάσταση του drone από την τοπολογία του δικτύου στον βαθμό εξυπηρέτησης χρηστών. Η δεύτερη τιμή, είναι η ανάγκη του drone για επαναφόρτιση και συγκεκριμένα, πόση μπαταρία έχει απομείνει στο σύστημα καθώς και πόση χρειάζεται για να μεταβεί στον κοντινότερο σταθμό για επαναφόρτιση.

Έτσι με την χρήση αυτού του αλγόριθμου, ξεπερνιούνται τα προβλήματα που δημιουργούνται από τους περιορισμούς της ενέργειας με το ελάχιστο αντίκτυπο στην τοπολογία του δικτύου, με μοναδική απαίτηση την εγκατάσταση ενός σταθμού φόρτισης στην περιοχή που ενεργούν τα drone.

# Κεφάλαιο 5

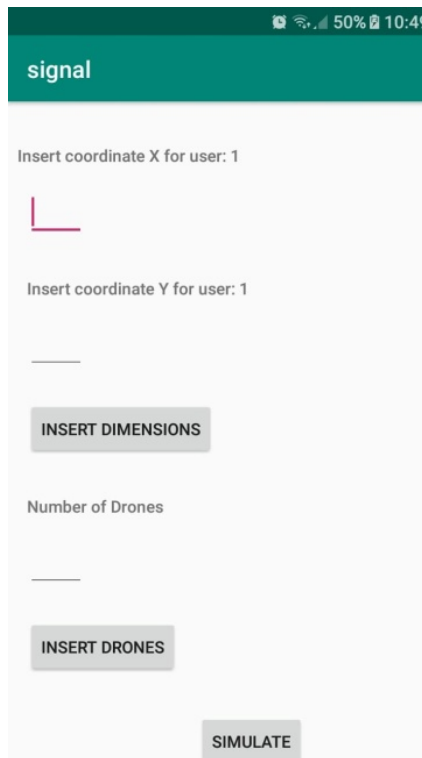
## Μοντελοποίηση

Σε αυτό το κεφάλαιο της μεταπτυχιακής διατριβής, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη και λειτουργία της εφαρμογής. Πρωταρχικός στόχος ήταν, να μετατρέψει τα όσα αναλύθηκαν θεωρητικά σε προηγούμενα κεφάλαια, σε μια πρακτική απλοποιημένη απεικόνιση.

### 5.1 Διεπαφή Χρήστη

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ο χρήστης έρχεται σε επαφή με δύο Activities, ή αλλιώς διεπαφές αλληλεπίδρασης [24]. Αρχικά Activity σε μια εφαρμογή android studio θεωρείται το περιβάλλον το οποίο παρουσιάζεται στον διαχειριστή δικτύου, αφού τρέξει την εφαρμογή. Είναι ο χώρος με τον οποίο ο εκάστοτε χρήστης της εφαρμογής αλληλεπιδρά είτε με τοποθέτηση δεδομένων είτε με άλλες επιλογές που μπορεί να εκτελέσει. Η μέθοδος αλληλεπίδρασης είναι με την τοποθέτηση συντεταγμένων για τις θέσεις των χρηστών των έξυπνων συσκευών ή με την τοποθέτηση του αριθμού των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Στην περίπτωση της εφαρμογής που αναπτύχθηκε προς εκπλήρωση της μεταπτυχιακής διατριβής, ο διαχειριστής δικτύου έρχεται αντιμέτωπος με δύο Activities.

Στο πρώτο Activity, ο διαχειριστής δικτύου τοποθετεί τα δεδομένα, ενώ στο δεύτερο είναι εκεί όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και δίνεται η εντολή για αποστολή μηνύματος. Και στα δύο περιβάλλοντα ακολουθείται μια συμμετρία στην τοποθέτηση των διαφόρων textbox, button και labels. Το περιβάλλον της διεπαφής είναι προσιτό για τον χρήστη και χαρακτηρίζεται από απλότητα και σαφής επεξήγηση των ζητούμενων. Ο απώτερος σκοπός ήταν ο χρήστης να μπορεί να αξιοποιήσει την εφαρμογή με ελάχιστη επεξήγηση.



**Σχήμα 9.** Activity 1.

Το πρώτο Activity παραβάλλεται στην εικόνα 9. Στα πρώτα δύο textbox ο διαχειριστής δικτύου, οφείλει να τοποθετήσει τις συντεταγμένες στις οποίες έχουν τοποθετηθεί οι χρήστες κινητών τηλεφώνων. Μόλις τοποθετήσει τα δεδομένα για πέντε χρήστες, οφείλει να τοποθετήσει τον αριθμό των drone. Για την διευκόλυνση του χρήστη καθώς και για την απλούστευση της εφαρμογής, έχουν τοποθετηθεί κάποια μηνύματα σε περίπτωση λανθασμένης τοποθέτησης δεδομένων από τον εκάστοτε χρήστη της εφαρμογής.

```
if((Integer.parseInt(dimensionX) < 1) || Integer.parseInt(dimensionX) > 5) {  
    CharSequence text = "Invalid dimension X. Please enter a value between 1 and 5";  
    Toast toast = Toast.makeText(context, text, duration);  
    toast.show();  
    dimensionXEditText.setText("");  
}
```

**Σχήμα 10.** Τμήμα κώδικα 1 – Μήνυμα ενημέρωσης.

Σε περίπτωση που τοποθετήθηκαν συντεταγμένες μεγαλύτερες από το 1 έως 5, ο διαχειριστής δικτύου ενημερώνεται για το λάθος του και καλείται για να το διορθώσει.

```

if(Integer.parseInt(numberOfDrones) < 1 || Integer.parseInt(numberOfDrones) > 3) {
    CharSequence text = "Invalid number of drones. Please enter a value between 1 and 3";

    Toast toast = Toast.makeText(context, text, duration);
    toast.show();

    numberOfDronesEditText.setText("");

    return;
}

```

**Σχήμα 11.** Τμήμα κώδικα 2 – Μήνυμα ενημέρωσης.

Στις περιπτώσεις όπου έχει τοποθετηθεί λάθος αριθμός drone, εμφανίζεται μήνυμα ενημέρωσης του χρήστη. Ο αριθμός των μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι από 1 έως 3.

```

public void simulate(View view) {

    Context context = getApplicationContext();
    int duration = Toast.LENGTH_SHORT;

    if((numberOfUsersEntered != MAXNUMBEROFUSERS) || (numberOfDrones == 0)) {
        CharSequence text = "Cannot proceed to simulation. Please enter data.";

        Toast toast = Toast.makeText(context, text, duration);
        toast.show();

        return;
    }
}

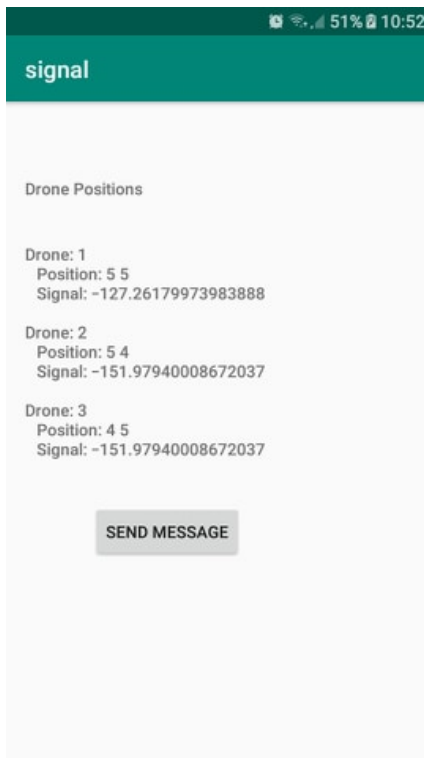
```

**Σχήμα 12.** Τμήμα κώδικα 3 – Μήνυμα ενημέρωσης

Εάν δεν έχει ολοκληρωθεί ορθώς η τοποθέτηση δεδομένων, τότε δεν θα καταστεί δυνατή η μετάβαση στην δεύτερη activity. Ακολούθως μέσω μηνύματος προειδοποίησης θα απαιτείται από τον χρήστη, η τοποθέτηση των απαραίτητων δεδομένων.

Αφού χρησιμοποιήσει το κομβίον SIMULATE θα οδηγηθεί στο δεύτερο activity. Στο συγκεκριμένο παράθυρο διεπαφής, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν τις θέσεις των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Αυτά τα αποτελέσματα είναι προϊόν του αλγόριθμού ο οποίος τρέχει και προβαίνει σε υπολογισμούς χωρίς να γίνεται αντιληπτό από τον εκάστοτε διαχειριστή δικτύου.





**Σχήμα 13.** Activity 2.

Εκεί αναλόγως των δεδομένων που έχει τοποθετήσει, θα εξαχθούν τα αποτελέσματα με τις θέσεις τις οποίες έχουν λάβει τα drone. Για την εκάστοτε θέση, παρουσιάζεται το μέγεθος της λαμβανόμενης ισχύς για κάθε μη επανδρωμένο αεροσκάφος από τις εκπομπές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας των έξυπνων συσκευών. Παράλληλα, διατίθεται στον διαχειριστή δικτύου η δυνατότητα να αποστείλει το μήνυμα εγκαίρου προειδοποίησης με το κομβίον SEND MESSAGE.

```
public void sendMessageButton(View view) {  
    Context context = getApplicationContext();  
    int duration = Toast.LENGTH_SHORT;  
  
    CharSequence text = "Message sent";  
    Toast toast = Toast.makeText(context, text, duration);  
    toast.show();  
}
```

**Σχήμα 14.** Τμήμα κώδικα 4 – Μήνυμα ενημέρωσης.

Σε αυτό το σημείο της εφαρμογής όταν ο διαχειριστής δικτύου πιέζει το button message sent, εμφανίζεται ένα μήνυμα εικονικής αναπαράστασης αποστολής μηνύματος.

## 5.2 Android studio

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε με βάση το εργαλείο android studio. Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών για χρήστες android [25]. Η πρώτη του έκδοση διατέθηκε για πρώτη φορά στο κοινό τον Δεκέμβριο του 2014 και από τότε έχουν αναπτυχθεί νέες διανομές του συγκεκριμένου εργαλείου. Η γλώσσα προγραμματισμού στην οποία αναπτύσσονται οι εφαρμογές είναι είτε Java είτε Kotlin [26].

Το συγκεκριμένο εργαλείο κατασκευής εφαρμογών βασίζεται σε ένα σύστημα κατασκευής Grandle, στον emulator και σε διάφορα πρότυπα κώδικα. Το σύστημα Grandle χρησιμοποιείται για την αυτοματοποίηση της κατασκευής, της ανάπτυξης και του ελέγχου της εφαρμογής [27]. Κάθε εφαρμογή android χρειάζεται ένα grandle διότι είναι υπεύθυνο για την δημιουργία των APK – Android packages, ρόλος των οποίων είναι η εγκατάσταση και η λειτουργία των εφαρμογών android. Παράλληλα κατά την γραφή του κώδικα ο εκάστοτε προγραμματιστής, μπορεί να χρησιμοποιήσει τον code editor [28]. Η συγκεκριμένη λειτουργία βοηθά τον προγραμματιστή με ανάλυση, διόρθωση και ολοκλήρωση του κώδικα.

Πέραν των δυνατοτήτων σχεδίασης ο εκάστοτε χρήστης, έχει την ικανότητα να τρέχει την εφαρμογή που αναπτύσσει σε μια εικονική συσκευή τον Emulator [27]. Η ικανότητα αυτή ονομάζεται Android Virtual Device [24]. Το εργαλείο παρέχει μια γκάμα συσκευών στις οποίες ο χρήστης μπορεί να τρέξει την εφαρμογή του και να αλληλεπιδράσει εικονικά μέσω του ηλεκτρονικού του υπολογιστή. Παράλληλα, πρέπει να ληφθεί υπόψη η διανομή του android στο οποίο πρέπει να αναπτυχθεί η εφαρμογή καθώς και το μέγεθος των activity.

Όταν ο χρήστης τρέξει την εφαρμογή θα του ζητηθεί να αναπτύξει ένα νέο project. Στο project καθορίζεται η διανομή android καθώς και η δομή της εφαρμογής. Υπάρχουν διάφοροι τύποι project android, τα οποία μπορούν να περιλαμβάνουν χάρτες, συντεταγμένες, ερωτηματολόγια ή διαδικασίες σύνδεσης σε λογαριασμούς. Παράλληλα αφού περατωθούν οι διάφορες επιλογές για την ανάπτυξη του project διατίθεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα activity. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το activity

είναι η διεπαφή με την οποία έρχεται σε επαφή ο εκάστοτε διαχειριστής δικτύου ή χρήστης της εφαρμογής.

Το android studio παρέχει μια πληθώρα δυνατοτήτων, όπως για παράδειγμα ότι ο χρήστης μπορεί να αποφασίσει το μέγεθος της activity που θέλει να αναπτύξει, ούτως ώστε να συμβαδίζει με το μέγεθος της οθόνης του κινητού τηλεφώνου του. Στο main Activity ο χρήστης έχει το δικαίωμα να σχεδιάσει και να διαμορφώσει την διάταξη της διεπαφής του όπως ο ίδιος επιθυμεί. Μπορούν να τοποθετηθούν textbox, labels, buttons, checkbox κ.ο.κ.. Επιπρόσθετα μπορεί να αναπτυχθεί πέραν του ενός activity.

Απαραίτητο αρχείο για την λειτουργία της εφαρμογής είναι το android manifest. Στο συγκεκριμένο αρχείο .xml δημιουργούνται αυτόματα όλες οι αρχές που χρειάζονται για να τρέξει η εφαρμογή. Οι αρχές αυτές είναι όνομα, έκδοση, δραστηριότητες, άδειες ή οτιδήποτε απαιτούμενο υλικό.

Με την δημιουργία του οποιουδήποτε project, αυτόματα δημιουργείται το mainactivity.java. Στο συγκεκριμένο περιβάλλον εμπεριέχεται το μεγαλύτερο μέρος του κώδικα, που αφορά την πρώτη Activity με την οποία έρχεται σε επαφή ο χρήστης. Εκεί είναι το μέρος όπου αναγράφεται ο κώδικας ο οποίος μεταφράζεται σε εντολές και ενέργειες για την εφαρμογή και το κινητό αντίστοιχα.

## 5.3 Java

Η Java είναι η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε στο android studio για την διεκπεραίωση της εφαρμογής. Υπήρχε η δυνατότητα επιλογής μεταξύ δύο γλωσσών της kotlin και της java, αλλά λόγω οικειότητας επιλέχθηκε η δεύτερη. Δημιουργήθηκε το 1991 από την Sun Microsystems και αργότερα παρουσίασε μεγάλη ανάπτυξη λόγω της παρουσίας του Internet [29]. Ο πρωταρχικός λόγος για τον οποίο αναπτύχθηκε, ήταν για να χρησιμοποιηθεί ως το λογισμικό μικρών φορητών αξιόπιστων συσκευών. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούσαν γλώσσα προγραμματισμού C++, όπου αντιμετώπιζαν σημαντικές δυσκολίες [30].

Η Java μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει δύο οντότητες, η μιας ως γλώσσα προγραμματισμού και η άλλη ως πλατφόρμα [31]. Ως γλώσσα προγραμματισμού χαρακτηρίζεται από απλότητα, αντικειμενοστραφής, σταθερή, ασφαλή και συμβατή με δίκτυα. Η απλότητα οφείλεται στο γεγονός, ότι απέβαλε σημαντικές δυσκολίες της C++ και πρόσθεσε ευελιξία για τον εκάστοτε προγραμματιστή. Παράλληλα είναι αντικειμενοστραφής, αφού η τέχνη του σχεδιασμού συγκεντρώνεται γύρω από τα αντικείμενα. Είναι συμβατή με δίκτυα, αφού παρέχει την δυνατότητα χρήσης των πρωτοκόλλων HTTP και FTP. Εν τέλει χαρακτηρίζεται από ασφάλεια μιας και η τεχνική πιστοποίησης πρόσβασης, βασίζεται στην ασύμμετρη κρυπτογραφία καθώς και η τροποποίηση της είναι αδύνατη.

Επιπρόσθετα η γλώσσα προγραμματισμού Java διαθέτει τον μεταγλωττιστή – compiler javac. [29] Καθήκον και λειτουργία του είναι να μεταφράζει τα διάφορα προγράμματα που έχουν γραφτεί από τους προγραμματιστές σε αρχεία .class δηλαδή σε byte code. Αργότερα τα αρχεία αυτά θα διαβαστούν από το Java Virtual Machine και θα τρέξουν δηλαδή θα υλοποιηθούν εικονικά. Σε γενικές γραμμές η εικονική μηχανή παρέχει περισσότερη ασφάλεια στον προγραμματιστή αλλά και στον υπολογιστή που τρέχει την εκάστοτε εφαρμογή.

Πέραν του προαναφερθέντος η Java εισήγαγε μια νέα τεχνική διαχείρισης της μνήμης του προγράμματος, το Garbage Collector [30]. Ο ρόλος του είναι να δεσμεύει και να αποδεσμεύει δυναμικά την μνήμη ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες των αντικειμένων. Δηλαδή αφού επέλθει μια ανάλυση της δομής της μνήμης ενός προγράμματος μπορεί να αποδεσμεύει τα αντικείμενα που δεν χρησιμοποιούνται πλέον. Έτσι ο προγραμματιστής δεν ασχολείται με την διαχείριση της μνήμης του προγράμματος του.

Στην μεταπτυχιακή διατριβή χρησιμοποιήθηκε εκτενώς η γλώσσα προγραμματισμού Java για την συγγραφή του κώδικα της εφαρμογής. Η εκτέλεση του αλγορίθμου καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων βασίζεται σε τεχνικές της γλώσσας προγραμματισμού Java.

```

double[][] values = Utils.calculateSignal(userPositions);

HashMap<String, Double> unsortedSignals = new HashMap<>();

for(int i = 0; i < Utils.LENGTH; i++) {
    for(int j = 0; j < Utils.WIDTH; j++) {
        unsortedSignals.put(String.valueOf(i + 1) + String.valueOf(j + 1), values[i][j]);
    }
}

Map<String, Double> sorted = sortByComparator(unsortedSignals, order: false);

int entryCounter = 0;
for (Entry<String, Double> entry : sorted.entrySet())
{
    if (entryCounter == numberOfDrones) {
        break;
    }
    int x = Integer.parseInt(entry.getKey().substring(0, 1));
    int y = Integer.parseInt(entry.getKey().substring(1, 2));
    double signal = entry.getValue();
    DronePositions.getInstance().addDroneAtIndex(entryCounter, x, y);
    DronePositions.getInstance().addSignalStrength(entryCounter, signal);
    entryCounter++;
}

```

**Σχήμα 15.** Τμήμα κώδικα 5 – Μέθοδος Hashmap

Στην εικόνα 15 παραβάλλεται η δημιουργία ενός Hashmap με όνομα Unsorted Signal. Συγκεκριμένα είναι μια κατανομή σε φθίνουσα σειρά των τιμών της λαμβανόμενης ισχύς για τα 25 κελιά του grid. Με την εντολή `sorted = sortByComparator (unsortedSignals, order: false)` καλείται το function για την τοποθέτηση των αποτελεσμάτων της λαμβανόμενης ισχύς σε σειρά. Με την επιλογή `false` επιλέγουμε όπως η τοποθέτηση αυτή γίνει κατά φθίνουσα.

```

private static Map<String, Double> sortByComparator(Map<String, Double> unsortMap, final boolean order)
{
    List<Entry<String, Double>> list = new LinkedList<>(unsortMap.entrySet());

    // Sorting the list based on values
    Collections.sort(list, (Comparator) (o1, o2) -> {
        if (order)
        {
            return o1.getValue().compareTo(o2.getValue());
        }
        else
        {
            return o2.getValue().compareTo(o1.getValue());
        }
    });

    // Maintaining insertion order with the help of LinkedList
    Map<String, Double> sortedMap = new LinkedHashMap<>();
    for (Entry<String, Double> entry : list)
    {
        sortedMap.put(entry.getKey(), entry.getValue());
    }
}

```

**Σχήμα 16.** Τμήμα κώδικα 6 - Τοποθέτηση αποτελεσμάτων κατά φθίνουσα.

Στην εικόνα 16 γίνεται μια απλή σύγκριση των αποτελεσμάτων ούτως ώστε να τοποθετηθούν σε φθίνουσα σειρά.

```
TextView droneEditText = (TextView) findViewById(R.id.droneTextView);

for(int i = 0; i < MainActivity.numberOfDrones; i++) {
    int x = (int) Math.round(DronePositions.getInstance().getDronePositions().get(i).first);
    int y = (int) Math.round(DronePositions.getInstance().getDronePositions().get(i).second);
    double signal = DronePositions.getInstance().getSignalStrength().get(i);
    droneEditText.append(
        "\nDrone: " + (i + 1) + "\n" +
        "\t" + "Position: " +
        x + " " + y + "\n" +
        "\t" + "Signal: " +
        signal + "\n"
    );
}
```

**Σχήμα 17.** Τμήμα κώδικα 7 – Μήνυμα ενημέρωσης.

Στην εικόνα 17 φαίνεται η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων που αφορούν τις θέσεις των drone καθώς και την λαμβανόμενη ισχύ. Συγκεκριμένα το x και y είναι οι θέσεις των drone όπως παρουσιάζονται στο δεύτερο activity ενώ το " " δηλαδή το κενό που παραβάλλεται μεταξύ τους. Η τρίτη τιμή που παρουσιάζεται είναι το signal, δηλαδή η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος. Παράλληλα το i είναι ο αριθμός των drone που έχει τοποθετηθεί σαν δεδομένα από τον διαχειριστή δικτύου.

## 5.4 Αλγόριθμος Εφαρμογής

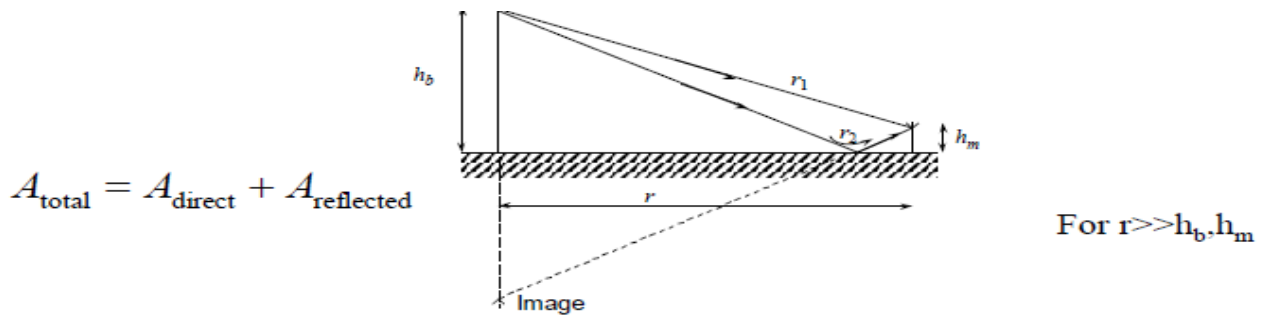
Απώτερος στόχος της εφαρμογής αυτής, είναι να μεταφέρει το πιθανό περιβάλλον καταστροφής στο κινητό ενός χρήστη και με την χρησιμοποίηση του αλγορίθμου να δώσει τις θέσεις στις οποίες θα εγκατασταθούν τα μη επανδρωμένα οχήματα. Οι θέσεις αυτές, θα είναι εκείνες οι οποίες θα δώσουν την μέγιστη κάλυψη στους χρήστες του περιβάλλοντος. Λόγω περιορισμένων δεξιοτήτων και γνώσεων αποφασίστηκε όπως ακολουθηθεί μια απλοποιημένη μορφή η οποία μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω με βάση περισσότερους αλγορίθμους.

Ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιείται στην εφαρμογή, είναι μια απλουστευμένη μορφή του αλγόριθμου που περιγράφεται στο κεφάλαιο 3 της μεταπτυχιακής διατριβής. Ο διαχειριστής δικτύου τοποθετεί τις θέσεις των χρηστών έξυπνων συσκευών, σε ένα θεωρητικό περιβάλλον και αφού τρέξει ο αλγόριθμος θα δώσει συγκεκριμένα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά, είναι οι θέσεις τις οποίες θα καταλάβουν τα drone.

Το περιβάλλον για τις ανάγκες της εφαρμογής, είναι ένα grid μεγέθους 5X5. Επιλέχθηκε αυτό το μέγεθος του περιβάλλοντος διότι όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, στον αλγόριθμο κάθε περιοχή ανάπτυξης των drone, πρέπει να διαχωρίζεται σε κυψέλες – τετράγωνα διαστάσεων και οποιοδήποτε από αυτά ελέγχεται από τα scout drone να λαμβάνει μια συγκεκριμένη ένδειξη. Με αυτόν τον τρόπο δεν θα ελέγχεται ξανά από άλλα drone. Από την άλλη πλευρά ο λόγος για τον οποίο τοποθετήθηκε ο περιορισμός στο μέγεθος των 5X5 τετραγώνων είναι για σκοπούς μείωσης των εξισώσεων.

Από τηλεπικοινωνιακής πλευράς, χρησιμοποιήθηκε ένα συγκεκριμένο μοντέλο διάδοσης εξωτερικών χώρων καθώς και συγκεκριμένες τιμές για κάποιες μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην θεωρία των ασύρματων επικοινωνιών. Αυτές είναι το κέρδος μιας έξυπνης συσκευής, η ισχύς εκπομπής και οι απώλειες της. Όλες οι συσκευές drone καθώς και οι χρήστες έξυπνων συσκευών διαθέτουν τα ίδια χαρακτηριστικά.

Το μοντέλο διάδοσης εξωτερικών χώρων είναι το Plane Earth Loss – Μοντέλο απωλειών λείας επίπεδης επιφάνειας. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε οφείλεται στην ύπαρξη εμποδίων στις πρώτες ζώνες Fresnel [11]. Στην βάση αυτού του φαινομένου, απορρίφθηκε η χρήση του μοντέλου απωλειών ελευθέρου χώρου. Στις πρώτες ζώνες Fresnel είναι δεδομένο ότι υφίστανται εμπόδια, αφού στις περιπτώσεις ύπαρξης καταστροφής μετά από σεισμούς και πλημμύρες είναι πολύ πιθανόν ο χρήστης να βρίσκεται κάτω από εμπόδια για την ασφάλεια του ή λόγω ατυχήματος.



$$L_{\text{PEL}} (dB) = 40 \log r - 20 \log h_m - 20 \log h_b$$

**Σχήμα 18.** Μοντέλο Plane Earth Loss. [11]

Όπως φαίνεται στην εικόνα 18 το συγκεκριμένο μοντέλο στηρίζεται στο ύψος του χρήστη, στο ύψος το οποίο ίπταται το drone καθώς και στην απόσταση μεταξύ drone και χρήστη. Οι προαναφερθείσες τιμές, θεωρούνται ίσες για όλους τους χρήστες και τα Drone του περιβάλλοντος, μιας και θεωρείται ότι όλα τα μέσα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά (πλην της απόστασης μεταξύ drone - χρήστη η οποία είναι μεταβαλλόμενη). Έτσι το ύψος των χρηστών θεωρείται ότι είναι 1.5μ. , ενώ το ύψος των drone τα 21.5μ. Η ισχύς εκπομπής του εκάστοτε χρήστη είναι 20dBm<sup>18</sup>, ενώ στις πράξεις οι μεταβλητές τοποθετούνται μόνο σε μορφή dB, άρα μετά την μετατροπή λαμβάνει την τιμή -10 dB. Το κέρδος στην κεραία του κάθε κινητού θεωρείται ότι είναι  $G_{\text{eu}}^{19} = 2\text{dB}$ , ενώ το κέρδος για την κεραία κάθε drone είναι  $G_{\text{dr}}^{20} = 9\text{dB}$ .

```
import ...

public class Utils {

    static final double USER_HEIGHT = 1.50;
    static final double DRONE_HEIGHT = 21.50;
    static final double GAIN_DRONE = 9.0;
    static final double GAIN_EU = 2.0;
    static final double POWER_TRANSMIT = -10.0;
    static final double DMB_FACTOR = -30;

    static final int LENGTH = 5;
    static final int WIDTH = 5;
```

**Σχήμα 19.** Τμήμα κώδικα 8 - Δεδομένα.

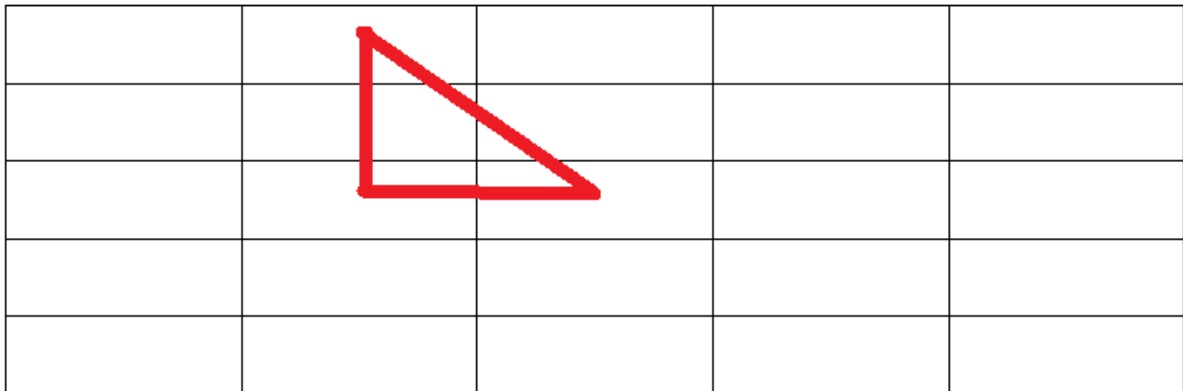
<sup>18</sup> Decibel είναι μονάδα μέτρησης.

<sup>19</sup> Gain of user = κέρδος κεραίας χρήστη.

<sup>20</sup> Gain of drone = κέρδος κεραίας drone.



Στην εικόνα 19 παρουσιάζονται τα δεδομένα καθώς και οι ονομασίες που τους έχουν δοθεί στον αλγόριθμο. Το μέγεθος του πλέγματος που απεικονίζει την περιοχή ανάπτυξης του drone, έχει μέγεθος 25 τετραγωνικών μέτρων. Η συχνότητα λήψης και εκπομπής που χρησιμοποιείται είναι αυτή των 2.4GHz. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στο γεγονός ότι οι πλείστες έξυπνες συσκευές μπορούν να συνδεθούν με πρωτόκολλα 802 της IEEE<sup>21</sup> σε αυτήν την συχνότητα. Παράλληλα θεωρείται μια από τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Συγκριτικά με την συχνότητα 5GHz, προτιμήθηκε λόγω της μεγαλύτερης απόστασης στην οποία ταξιδεύουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.



**Σχήμα 20.** Απεικόνιση Πλαισίου.

Στην εικόνα 20 παρουσιάζεται η μέθοδος εντοπισμού της απόστασης του εκάστοτε χρήστη, από την περιοχή την οποία ελέγχει το scout drone. Δηλαδή εάν το drone βρίσκεται στην θέση (2,1) και το κινητό στην θέση (3,3) , η μέθοδος εντοπισμού της μεταξύ τους απόστασης είναι μέσω του πυθαγόρειου θεωρήματος. Ακολουθως αφού εντοπιστεί η μεταξύ τους απόσταση ( $r$ ), τοποθετείται στην εξίσωση του μοντέλου υπολογισμού απωλειών. Για την ικανοποίηση της προϋπόθεσης του μοντέλου απωλειών, όπου  $r \gg hb, hm$  το αποτέλεσμα  $r$  πολλαπλασιάζεται επί δέκα.

$$L_{pel} = 40 * \log(r) - 20 * \log(hm) - 20 * \log(hb)$$

$$Pr = Gdr + Geu + Pt - Lpel$$

<sup>21</sup> IEEE είναι το Institute of Electrical and Electronics Engineers

Το Gdr είναι το κέρδος της κεραίας του drone, το Geu το κέρδος της κεραίας του χρήστη, το Pt είναι η εκπεμπόμενη ισχύς από το κινητό ενώ το Lpel οι απώλειες που έχουν υπολογιστεί με την χρήση του μοντέλου εξωτερικών χώρων. Το hm είναι το ύψος του χρήστη ενώ το hb το ύψος του κινητού. Αφού υπολογιστούν οι απώλειες κατά την διάδοση στον χώρο, πρέπει να υπολογιστεί η λαμβανόμενη ισχύς στον ανιχνευτή drone, από το σύνολο των χρηστών.

```

static double calculateDistance(Pair<Double, Double> p1, Pair<Double, Double> p2) {
    double res = Math.pow(p2.first - p1.first, 2) + Math.pow(p2.second - p1.second, 2);
    return 10 * Math.sqrt(res);
}

static double calculateLoss(double distance) {
    return (40 * Math.log10(distance)) - USER_HEIGHT - DRONE_HEIGHT;
}

static double calculateLinkBudget(double loss) {
    return (GAIN_DRONE + GAIN_EU + POWER_TRANSMIT - loss) + DMB_FACTOR;
}

static double[][] calculateSignal(Vector<Pair<Double, Double>> userPosition) {
    double values[][] = new double[LENGTH][WIDTH];
    double loss, linkBudget;
}

```

**Σχήμα 21.** Τμήμα κώδικα 9 – Αλγόριθμος.

Στην εικόνα 21 παρουσιάζονται οι εξισώσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί, για τον υπολογισμό του εκάστοτε ισοζυγίου ζεύξης για κάθε θέση στην οποία κινείται ο ανιχνευτής drone. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ελέγχονται και οι 25 θέσεις στο πλέγμα το οποίο αξιολογείται. Το DMB\_FACTOR είναι η μετατροπή από dB σε dBm.

```

static double calculateLinkBudget(double loss) {
    return (GAIN_DRONE + GAIN_EU + POWER_TRANSMIT - loss) + DMB_FACTOR;
}

static double[][] calculateSignal(Vector<Pair<Double, Double>> userPosition) {
    double values[][] = new double[LENGTH][WIDTH];
    double loss, linkBudget;

    for(int i = 0; i < LENGTH; i++) {
        for(int j = 0; j < WIDTH; j++) {
            for(int z = 0; z < userPosition.size(); z++) {
                double distance = calculateDistance(Pair.create( a: (double)i + 1.0, b: (double)j + 1.0), userPosition.get(z));
                if(distance == 0.0) {
                    linkBudget = -38.84;
                } else {
                    loss = calculateLoss(distance);
                    linkBudget = calculateLinkBudget(loss);
                }
                values[i][j] += linkBudget;
            }
        }
    }

    return values;
}

```

**Σχήμα 22.** Τμήμα κώδικα 10 – Αλγόριθμος.

Στην εικόνα 22 παρουσιάζονται οι πράξεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του συνολικού ισοζυγίου ζεύξης για κάθε μέρος του grid, το οποίο ελέγχει ο ανιχνευτής drone. Ακολούθως, τα αποτελέσματα των δεδομένων αυτών τοποθετούνται σε αύξουσα σειρά. Όταν ο διαχειριστής δικτύου μέσω της εφαρμογής τοποθετήσει τον αριθμό των drone, τότε με βάση αυτόν τον αριθμό, θα εμφανιστούν αναλόγως τα αποτελέσματα με τις θέσεις τις οποίες κατέλαβαν οι κόμβοι drone. Δηλαδή εάν θα χρησιμοποιηθούν 3 drone, η εφαρμογή θα εξάγει ως αποτέλεσμα τις τρεις θέσεις με την μεγαλύτερη λαμβανόμενη ισχύ. Λόγω του μικρού μεγέθους του grid τοποθετήθηκε όριο μέχρι 3 drone.

Στις περιπτώσεις όπου ο ανιχνευτής drone αξιολογούσε ένα κελί μέσα στο οποίο υπάρχουν χρήστες έξυπνων συσκευών, θεωρείται ότι η απόσταση είναι η μικρότερη δυνατή άρα οι απώλειες είναι -38,84 dBm. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L_{pel} = 40 * \log(r) - 20 * \log(hm) - 20 * \log(hb)$$

Όπου το  $r$  δηλαδή η απόσταση μεταξύ scout drone με τον χρήστη έξυπνης συσκευής, είναι η μικρότερη δυνατή η οποία μπορεί να ληφθεί στα δεδομένα της άσκησης. Δεδομένου του γεγονότος ότι ο διαχειριστής της εφαρμογής τοποθετεί τιμές ακέραιες από το 1 έως το 5, καθώς και ότι ο λογάριθμος του 0 λαμβάνει μια άπειρη τιμή, θεωρήθηκε σωστό όπως τοποθετηθεί ως μικρότερη δυνατή απόσταση το 1. Υπολογίζοντας τις πράξεις για τον υπολογισμό του  $L_{pel}$  το αποτέλεσμα είναι 9.84.

$$Pr = Gdr + Geu + Pt - L_{pel}$$

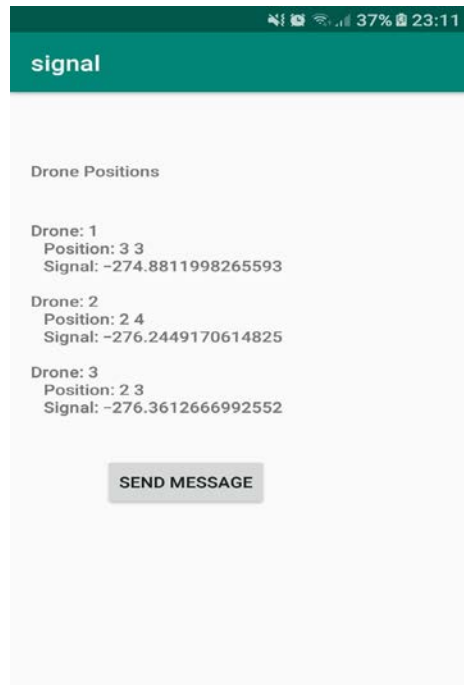
Υπολογίζοντας την συνολική λαμβανόμενη ισχύ στον δέκτη, το αποτέλεσμα είναι -8.84 και αφού η λαμβανόμενη ισχύς μετατρέπεται σε dBm γίνεται -38.84dBm.

Για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων, εξετάστηκαν πολλές προσομοιώσεις με διαφορετικά δεδομένα. Τα δεδομένα που τοποθετήθηκαν στην προσομοίωση που παρουσιάζεται ήταν τα εξής:

Θέσεις χρηστών: (1,4) , (5,1) , (4,1) , (3,3) , (2,4)

Αριθμός drone: 3

Αφού περαστούν τα δεδομένα, τρέχει ο αλγόριθμος ο οποίος αντικατοπτρίζει τον ανιχνευτή drone. Αφού εξετάσει και υπολογίσει την λαμβανόμενη ισχύ σε όλα τα κελιά του πλέγματος αποφασίζει τις τρεις καλύτερες θέσεις στις οποίες θα τοποθετηθούν οι drone παροχής υπηρεσίας. Μόλις χρησιμοποιηθεί το button SIMULATE, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα.



**Σχήμα 23.** Activity 2 – Results.

Στην εικόνα 23 παρουσιάζονται οι θέσεις των drone. Πρόκειται για κεντρικές θέσεις μέσα στο grid από τις οποίες καλύπτει εύκολα όλες τις θέσεις των χρηστών.

# Κεφάλαιο 6

## Επίλογος - Συμπεράσματα

Στο τελευταίο κεφάλαιο της μεταπτυχιακής διατριβής παρουσιάζεται μια ανάλυση των συμπερασμάτων που προέκυψαν κατά την διεκπεραίωση της, καθώς και μελλοντικές απόψεις για την περαιτέρω ανάπτυξη της εφαρμογής.

### 6.1 Συμπεράσματα

Ο αντικειμενικός σκοπός της διατριβής αυτής, ήταν η ανάπτυξη μιας εφαρμογής στην οποία ο εκάστοτε διαχειριστής δικτύου θα έχει το δικαίωμα να αποστείλει ένα μήνυμα προειδοποίησης σε χρήστες έξυπνων συσκευών, στις περιπτώσεις ενός καταστροφικού φαινομένου. Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στην τελική της μορφή, επιτυγχάνει την υλοποίηση ενός αυτόνομου ασύρματου δικτύου όχι όμως και την αποστολή μηνυμάτων στους χρήστες έξυπνων συσκευών. Κατά την διάρκεια της μελέτης για την διατριβή καθώς και της δημιουργίας της εφαρμογής παρουσιάστηκαν διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία αναλύονται παρακάτω.

#### 6.1.1 Πλεονεκτήματα

- Αρχικά η τοποθέτηση συσκευών Stem στην θεωρητική υπόσταση της εφαρμογής παρέχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των απλών συσκευών. Η δυνατότητα τους να μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις αναλόγως των δεδομένων που τους

διατίθενται είναι πολύ σημαντική εάν αναλογιστεί κανείς τις ανακατατάξεις του δυναμικού περιβάλλοντος μέσα στο οποίο αναπτύσσονται.

- Η εφαρμογή χαρακτηρίζεται από απλότητα και ευελιξία. Ο οποιοσδήποτε μπορεί να την αξιοποιήσει αφού προηγηθεί μια μικρή επεξήγηση και τα αποτελέσματα είναι άμεσα.
- Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο και στην βάση της να αναπτυχθούν πιο σύνθετες εφαρμογές οι οποίες να συμπεριλαμβάνουν όλα τα κομμάτια της θεωρητικής της κατάρτισης.

### **6.1.2. Μειονεκτήματα**

- Η τελική μορφή της εφαρμογής που αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα της μεταπτυχιακής διατριβής, επιτυγχάνει την υλοποίηση του αυτόνομου δικτύου των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Όμως δεν επιτυγχάνει την αποστολή μηνυμάτων στους χρήστες έξυπνων συσκευών για την οποία προσδίδει μια απλή απεικόνιση εντός της εφαρμογής.
- Ο τομέας στον οποίο αναπτύσσεται η εφαρμογή αυτή είναι μια πτυχή της τεχνολογικής ανάπτυξης η οποία σήμερα νοσεί. Δεν έχει εκδηλωθεί άμεσο ενδιαφέρον, πέραν από κάποιες θεωρητικές μελέτες οι οποίες μέχρι σήμερα δεν έχουν μεταφέρει το οτιδήποτε στην πράξη.
- Η εφαρμογή δεν έχει συμπεριλάβει κάποιες θεωρητικές πτυχές όπως είναι η μπαταρία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Παράλληλα οι συσκευές δεν λαμβάνουν αποφάσεις για την θέση τους, αλλά τους καθορίζεται ο χώρος που θα καταλάβουν μέσα στο χώρο.
- Η εφαρμογή μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω και να φτάσει στο επίπεδο όπου τα μηνύματα δεν θα είναι εικονικά και θα στέλλονται στους αποδέχτες που βρίσκονται εντός μιας περιοχής. Λόγω έλλειψης γνώσεων και απλοποίησης της εφαρμογής επιλέχθηκε όπως περιοριστεί μόνο σε μια εικονική αποστολή μηνυμάτων.

## 6.2 Επίλογος

Στην εφαρμογή αυτή, έγινε μια προσπάθεια αναπαράστασης των όσων αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και κυρίως στο κεφάλαιο 3 και 4. Για παράδειγμα στην εφαρμογή δεν υλοποιείται η ενδοεπικοινωνία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, με αποτέλεσμα να μην θεωρούνται Stem κόμβοι, άρα να χάνουν όλα τα χαρακτηριστικά τους που αφορούσαν την λήψη αποφάσεων και αλλαγή ρόλων στο δίκτυο. Λόγω μερικών ελλείψεων σε γνώσεις προγραμματισμού, προτιμήθηκε όπως αναπτυχθεί μια απλοποιημένη μορφή της εφαρμογής. Όμως πρέπει να θεωρείται δεδομένο ότι στην βάση της, με περαιτέρω ανάπτυξη μπορεί να μετατρέψει τα όσα έχουν αναλυθεί σε μια πληρέστερη και πιο σύνθετη εφαρμογή.

# Βιβλιογραφία

- [1] MDPI, "Review: Using Unmanned Aerial Vehicles as Mobiles Sensing Platforms for Disaster Response, Civil Security and Public Safety," *MDPI*, pp. 1-26, July 2019.
- [2] Dave Tappin, "The March 2011 Japan tsunami," *British Geological Survey*, pp. 7-9, 2011.
- [3] Wen-Chau Lee Michael Bell, "Supercells and mesocyclones in outer rainbands of Hurricane Katrina (2005)," *American Geophysical Union*, pp. 1-2, 2008.
- [4] Angelo Trotta, "Next-generation public safety systems based on autonomous vehicles and opportunistic communications," Bologna, 2017.
- [5] Max Roser Hannah Ritchie. (2019) Our world in Data. [Online]. <https://ourworldindata.org/natural-disasters>
- [6] Sithamparanathan Kandeepan Karina Gomez, "Aerial Base Stations with Opportunistic Links for Next Generation Emergency Communications," *IEEE Communications Magazine*, p. 32, 2016.
- [7] SENG W. LOKE, NIROSHINIE FERNANDO MAJED ALWATEER, "Enabling Drone Services: Drone Crowdsourcing and Drone Scripting," *IEEE Access*, 2017.
- [8] George E. Karastergios, Christos P. Antonopoulos, Stavros Koubias, and Nikos Pogkas, "Architecture Design and Implementation of an Ad-Hoc Network for Disaster Relief Operations," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS*, pp. 63-64, 2007.
- [9] Wei Zhou, Harshavardhan Chenji, MyoungGyu Won, Yong Oh Lee, Andria Pazarloglou, Radu Stoleru Stephen M. George, "DistressNet: A Wireless Ad Hoc and Sensor Network Architecture for Situation Management in Disaster Response," *IEEE Communications Magazine*, pp. 128-130, 2010.
- [10] Naveen Chauhan Himanshu Verma, "MANET Based Emergency Communication System for Natural Disasters," *International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2015)*, pp. 480-485, 2015.
- [11] Βουγιούκας Δημοσθένης, *Κεραίες και διάδοση για ασύρματα συστήματα επικοινωνιών*. Αθήνα: πεδίο, 2017.
- [12] Stephen Carr John Keane, "A Brief History of Early Unmanned Aircraft," *JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST*, pp. 558-562, 2013.
- [13] George J. Vachtsevanos Kimon P. Valavanis, *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. New York: SpringerReference, 2015.



- [14] Kenneth Katz, "BEFORE PREDATOR:THE EARLY HISTORY OF USAF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT," *Katz Aerosystems*, pp. 1-18, 2013.
- [15] M. VanderLind,J. Brown F. Tietzel, "SUMMARY OF ARPA-ASO, TTO AERIAL PLATFORM PROGRAMS," Ohio, 1975.
- [16] R. Marlow C. Jarrell, "Target Seeker Simulator," Maryland, 1976.
- [17] Kaan Oveyik Coskun Kurkcu, "U.S. UNMANNED, AERIAL VEHICLES (UAVS) AND NETWORK- CENTRIC WARFARE," California, 2008.
- [18] Office of The Secretary of Defence, "Unmanned Aerial Vehicles Roadmap 2000-2025," Washington, 2001.
- [19] Jaysen Yochim, "THE VULNERABILITIES OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM COMMON DATA LINKS TO ELECTRONIC ATTACK," Kansas, 2010.
- [20] Lori Cameron. (2019) www.computer.org. [Online]. <https://www.computer.org/publications/tech-news/research/flying-iot-toward-low-power-vision-sky>
- [21] AT&T. (2019) AT&T. [Online]. [www.att.com](http://www.att.com)
- [22] Berhard Rinner Evsen Yanmaz, "Drone Networks: Communications, Coordination, and Sensing," *ResearchGate*, p. 4, 2017.
- [23] Angelo Trotta Marco Di Felice, "STEM-Mesh : Self-Organizing Mobile Cognitive Radio Network for Disaster Recovery Operations," in *9-th IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing*, Cagliari, 2013, pp. 1-5.
- [24] Android Developer. (2019) Android Developer. [Online]. <https://developer.android.com/reference/android/content/DialogInterface.html>
- [25] Android Developers. (2019) Android Studio. [Online]. <https://developer.android.com/>
- [26] Tutorials point. (2019) Tutorials Point. [Online]. [www.tutorialspoint.com/android/android\\_architecture.htm](http://www.tutorialspoint.com/android/android_architecture.htm)
- [27] Android Developers. (2019) Android Grandle. [Online]. <https://developer.android.com/studio/intro>
- [28] Android Documents. (2019) Android docs. [Online]. <http://www.androiddocs.com/tools/studio/index.html>
- [29] Java. (2019) Java. [Online]. <https://www.java.com/en/>

[30] Java. (2019) Javatpoint. [Online]. <https://www.javatpoint.com/java-tutorial>

[31] Tutorials Point. (2019) [Online]. [https://www.tutorialspoint.com/java/java\\_thread\\_control.htm](https://www.tutorialspoint.com/java/java_thread_control.htm).

[32] IWM Staff, "A brief history of Drones," *IWM*, 2018.