



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University Of Macedonia

ΔΠΜΣ στα Πληροφορικά Συστήματα

Master in Information Systems

Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών

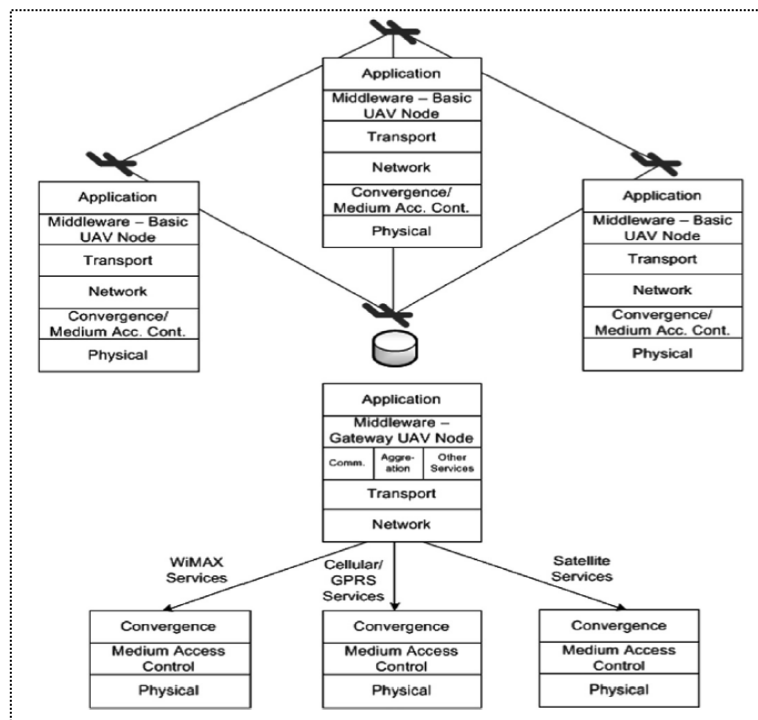
Course: Computer Networks

Καθηγητής: Α.Α Οικονομίδης

Professor: A.A Economides

Δίκτυα Επικοινωνίας των Μη Επανδρωμένων Ιπτάμενων Οχημάτων

Communications Networks for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)



Αθανάσιος Θωμαΐδης mis19002

Κουκιάλη Χένρι mis19026

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2019

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο	Σελίδα
Περίληψη	3
1 Εισαγωγή στον κόσμο των UAVs	5
1.1 Έννοια των UAVs	5
1.2 Κατηγοριοποίηση των UAVs	6
1.2 Εξαρτήματα των UAVs	10
1.3 Αισθητήρες των UAVs	11
2 Τα UAVs και τα δίκτυα επικοινωνίας τους	12
3 Η αγορά των UAVs σε αριθμούς	13
4 Οι προκλήσεις στην δημιουργία δικτύων επικοινωνίας UAVs	14
5 Τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου επικοινωνίας UAV	17
5.1 Δίκτυο UAV βασισμένο σε προσχεδιασμένες υποδομές ή δίκτυα ad-hoc	17
5.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Routing Protocols)	19
6 Διατάξεις δικτύων επικοινωνίας UAVs (network configuration)	21
6.1 Διάταξη STAR	22
6.2 Διάταξη Multi – STAR	22
6.3 Διάταξη MESH –Δικτυωτά Δίκτυα	23
Συμπεράσματα	24
Βιβλιογραφία	25

Περίληψη

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) απέκτησαν σημαντικό ρόλο τα τελευταία 10 χρόνια όπως θα αναπτύξουμε σε μεγάλο βαθμό στο κεφάλαιο 1, ως τεχνολογία και πλατφόρμα εκτέλεσης εργασιών που θα αποτελούσαν κίνδυνο στην ανθρώπινη παρουσία αλλά και σημαντική μείωση του αντίστοιχου κόστους των εργασιών αυτών. Η ανάπτυξη του κλάδου των UAV οδηγείται κυρίως από επενδύσεις στρατιωτικής φύσεως πολλών χωρών, αλλά ταυτόχρονα αυξάνεται η χρήση τους τόσο για εμπορικές εφαρμογές όσο και για την δημόσια υγεία και ασφάλεια. Για την επιτυχή εκτέλεση των αποστολών που θα δούμε στο κεφάλαιο 2, μια σειρά από δεδομένα θα πρέπει να ληφθούν ή να αποσταλούν από το UAV, όπως δεδομένα τηλεμετρίας και GPS, δεδομένα φορτίου που μπορεί να μεταφέρουν, δεδομένα από τους αισθητήρες τους (κάμερες, κεραίες κτλ.), όπως και οι εντολές από τους επίγειους σταθμούς ελέγχου (E.S.E) τους. Σε αυτό το έγγραφο και μελέτη εργασίας θα ασχοληθούμε με τα απαραίτητα δίκτυα επικοινωνίας των UAV με τους E.S.E για ένα αξιόπιστο και αποδοτικό ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας μετάδοσης και αναδιανομής πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο.

Λέξεις Κλειδιά:

Μη επανδρωμένο αεροσκάφος, UAV, δίκτυα επικοινωνίας, ασύρματα δίκτυα και ιπτάμενα τερματικά κινητής επικοινωνίας, πομποί δικτύωσης, τοπολογία δικτύου, διατάξεις δικτύου, MANET, VANET, STAR, MESH.

Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have taken on an important role over the last 10 years, as we will develop extensively in Chapter 1 as a technology and work platform that would be a danger to human presence but also a significant reduction in the corresponding cost of these operations. The development of the UAV industry is driven mainly by military investments in many countries, but at the same time increasing their use for both commercial applications and public health and safety.

For the successful execution of the shipments we will see in Chapter 2, a series of data will be received or sent by the UAV, such as telemetry and GPS data, load data that can be transferred, data from their sensors (cameras, antennas etc.), as well as the commands from their ground control stations (EWCs). In this document and work study we will deal with the necessary UAV communication networks with the EWCs for a reliable and efficient wireless communication and information redistribution network in real time.

Keywords:

Unmanned aircraft, UAVs, communication networks, wireless networks and mobile communication terminals, network transmitters, network topology, network layouts, MANET, VANET, STAR, MESH.

1.Εισαγωγή στον κόσμο των UAVs

Οι πρώτες προσπάθειες για πτήσεις με μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles – UAVs¹) έγιναν στα μέσα του 19ου αιώνα όταν οι Αυστριακοί προσπάθησαν να πλήξουν τη Βενετία χρησιμοποιώντας μπαλόνια που μετέφεραν βόμβες με πυροκροτητές χρονοκαθυστερήσης, ενώ η χρήση τους σε πολεμικές επιχειρήσεις αρχίζει κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Στις μέρες μας κάποιος μπορεί να αποκτήσει ένα μικρό UAV δαπανώντας λιγότερα από 50 ευρώ, ενώ περίπου 5000 ευρώ κοστίζουν τα ακριβότερα UAVs που μπορεί να αποκτήσει ένας επαγγελματίας π.χ. φωτογράφος για τις ανάγκες της δουλειάς του. Αγροτικές εφαρμογές, εναέρια φωτογραφίσεις, περιπολία συνόρων, παρακολούθηση της άγριας φύσης, είναι μερικές μόνο από τις εφαρμογές των UAVs.

1.1 Έννοια των UAVs

Τα UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) ή Drones δηλαδή, είναι κάθε ιπτάμενη μηχανή η οποία έχει την δυνατότητα να ίπταται χωρίς πλήρωμα στο εσωτερικό τους. Τα UAVs μπορεί να είναι ημι-αυτόνομα ή αυτόνομα, δηλαδή να ελέγχεται από κάποιον χειριστή που βρίσκεται στο έδαφος, ή να ελέγχεται από ηλεκτρονικά συστήματα και να λειτουργεί πλήρως αυτόνομα. Για την αυτόνομη πτήση χρειάζεται την χρήση κάποιου εξειδικευμένου λογισμικού σε συνεργασία πλήθος ηλεκτρονικών διατάξεων όπως μικροϋπολογιστές, κινητήρες, θερμικές κάμερες, GPS και αισθητήρες που διαθέτει κάθε UAV τα οποία όλα μαζί θα ελέγχουν το σχέδιο πτήσης. Ακόμα όμως και στις αυτόνομες πτήσεις, είναι αναγκαία η οπτική επαφή του αεροσκάφους από τον χειριστή, ειδικά όταν πρόκειται για πτήσεις εντός η δίπλα σε αστικά κέντρα, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη ασφάλεια και η αποφυγή ατυχημάτων.

¹ Wikipedia, 2018. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle

1.2 Κατηγοριοποίηση των UAVs

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs) συνήθως κατηγοριοποιούνται² με βάση τα εξής χαρακτηριστικά: το πεδίο εφαρμογής τους, την κατεύθυνση απογείωσης-προσγείωσης, το βάρος τους, το μέγιστο εύρος πτήσης και τέλος το είδος τους

Κατηγορία	Υποκατηγορία	Μάζα (kg)	Μέγιστο εύρος δράσης (km)	
			με επιστροφή	χωρίς επιστροφή
Τακτικά (πτήσεις κοντινής εμβέλειας)	Nano	0,025	έως 1	
	Micro	κάτω των 5	κάτω των 10	κάτω από 20
	Mini	20-150	κάτω από 30	κάτω από 60
	Κλείσιμο εύρους (CR)	25-150	10-30	30-80
Λειτουργικά-Τακτικά	Μικρής εμβέλειας (SR)	50-250	30-80	90-160
	Μέση εμβέλεια (MR)	150-500	80-200	240-400
	Μεσαία Αντοχή (MRE)	500-1500	200-500	600-1000
	Βαθιά διείσδυση σε χαμηλό υψόμετρο (LADP)	250-2500	250-300	700-800
Στρατηγικά-Λειτουργικά	Χαμηλός υψόμετρο μακράς αντοχής (LALE)	150-250	500-800	1500-1600
	Μεσαίο υψόμετρο μεγάλη αντοχή (MALE)	1000-1500	500-800	1500-1600
Στρατηγικά	Μεγάλο υψόμετρο μεγάλη αντοχή (HALE)	2500-5000	Κάτω από το 2000	Κάτω από το 2000
Ειδικά	Μη επανδρωμένο αεροσκάφος μάχης (UCAV)	Πάνω από 1000	Μέχρι 1500	Μέχρι 1500
	Lethal (LETH)			
	Decoy (DEC)			
	Stratospheric (STRATO)			
	Exostratospheric (EXO)			
	SPACE			

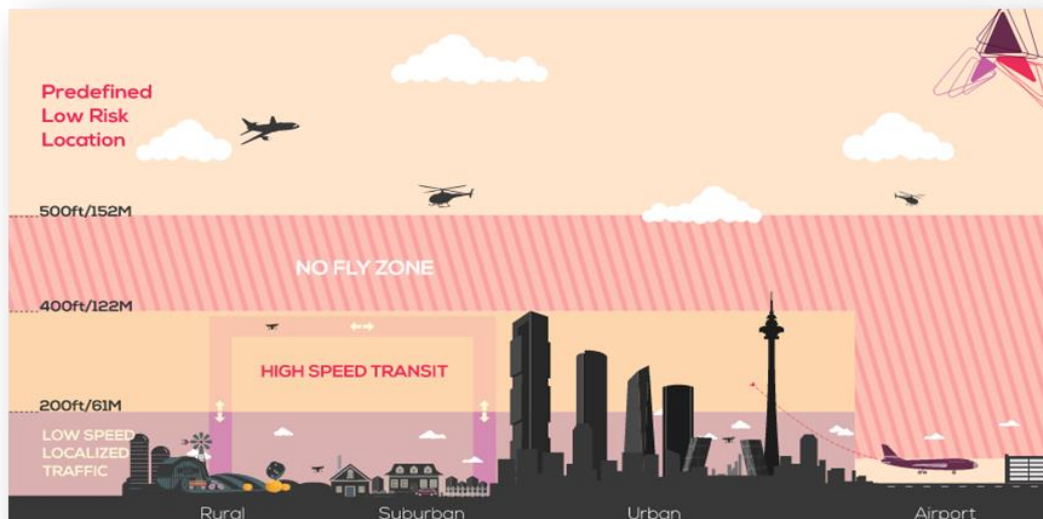
Πίνακας 1 : Πίνακας διαχωρισμού των UAVs σε υποκατηγορίες ανάλογα με τη μάζα και το μέγιστο εύρος δράσης τους (πηγή: Korchenko and Illyash, 2013).

Τα UAVs ανάλογα με το βάρος, το μέγιστο εύρος πτήσης και το είδος τους διαιρούνται σε: τακτικά, λειτουργικά-τακτικά, στρατηγικά-λειτουργικά, στρατηγικά και ειδικά.

- **Τακτικά:** Τα Nano, Micro, Μίνι, κλειστής εμβέλειας-Close Range (CR). Είναι κυρίως μικρού ή μεσαίου μεγέθους, το υψόμετρο της πτήσης φτάνει μέχρι τα 500km, η διάρκεια πτήσης είναι από 30 λεπτά μέχρι 2 ώρες και το βάρος του φτάνει έως 1.000kg.

² Wikipedia, 2018. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit

³ <https://news.ihsmarket.com/press-release/aerospace-defense-security/significant-global-demand-pushes-uav-sales-exceed-82-billion>



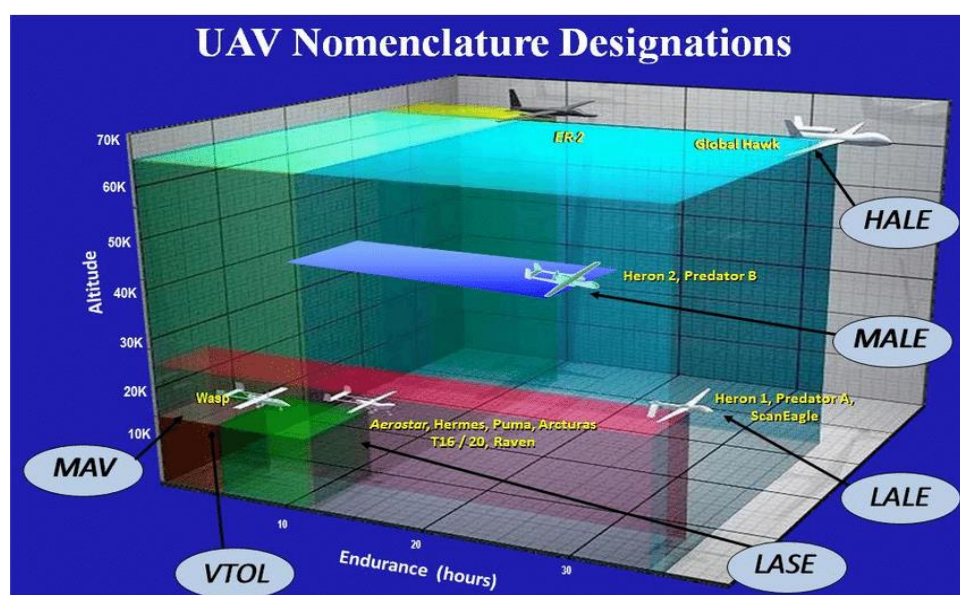
Γράφημα.1 Σχεδιασμός εναέριων ζωνών πτήσης μικρών UAV (Πηγή:Amazon)

- **Λειτουργικά-τακτικά:** Είναι μικρής εμβέλειας-Short Range (SR), μεσαίας εμβέλειας Medium Range (MR), μεσαίας εμβέλειας αντοχής-Medium Range Endurance (MRE) και αυτά με βαθιά διείσδυση σε χαμηλό υψόμετρο-Low Altitude Deep Penetration (LADP).
- **Στρατηγικά-λειτουργικά:** Είναι τα μεσαίου υψομέτρου μεγάλης αντοχής-Medium Altitude Long Endurance (MALE) και τα χαμηλού υψομέτρου μεγάλης αντοχής-Low Altitude Long Endurance (LALE). Τα UAVs αυτού του είδους χρησιμοποιούνται σε αμυντικά αλλά και σε πολιτικά θέματα όπως η χαρτογράφηση και η επιτήρηση πυρκαγιών. Μπορούν να πετάξουν σε υψόμετρο 5.500m έως 9.000m και κάποια μοντέλα μπορεί να φτάσουν τα 12.000m. Η χρονική διάρκεια λειτουργίας είναι 45 λεπτά μέχρι 2 ώρες, το μέσο βάρος τους είναι περίπου 200kg και έχουν εξωτερικά φορτία που φέρουν βάρος έως 900kg.
- **Στρατηγικά:** Είναι τα μεγάλης αντοχής μεγάλου υψομέτρου-High Altitude Long Endurance (HALE). Τα UAVs αυτά, μπορούν να πετάξουν σε υψόμετρο έως 15.000m. Η χρονική διάρκεια λειτουργίας τους είναι από 24 έως 48 ώρες και το μέσο βάρος τους από 2.500kg έως 5.000kg. Ο ρόλος αυτών είναι κυρίως επιστημονικός με σκοπό τη συλλογή

Communications Networks for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

πληροφοριών π.χ για να αξιολογηθεί η κλιματική αλλαγή σε μεγάλες περιοχές του πλανήτη.

- **Ειδικά:** Είναι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μάχης (UCAV), τα Θανατηφόρα-Lethal (LETH), τα Decoy (DEC), τα Stratospheric (STRATO), τα Exostratospheric (EXO) και τα SPACE. Το υψόμετρο τους μπορεί να φτάσει μέχρι τα 20.000m, με εσωτερικό βάρος 750kg και η διάρκεια πτήσης τους είναι από 30 ώρες έως 4 ημέρες. Τέλος αυτά τα UAVs είναι ιδιαίτερα δαπανηρά και χρησιμοποιούνται μόνο από τη NASA.



Γράφημα: Κατηγοριοποίηση των UAV σύμφωνα με το υψόμετρο και την διάρκεια πτήσης (Πηγή: US Department of Homeland Security)

Αναλυτικά οι παραπάνω κατηγορίες των UAVs σύμφωνα με το υψόμετρο και την διάρκεια πτήσης τους είναι:

- LASE (Low Altitude, Short Endurance – Χαμηλού Υψομέτρου, Μικρής Διάρκειας): Αυτά τα UAV, δεν προϋποθέτουν την χρήση αεροδιαδρόμου απογείωσης – προσγείωσης. Το βάρος τους κυμαίνεται 2-5 κιλά, το άνοιγμα φτερών τους είναι μικρότερο των 3μ. και εκτοξεύονται είτε από καταπέλτη είτε ωθούνται από ανθρώπινο χέρι.

Communications Networks for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

- **LALE³** (Low Altitude, Long Endurance - Χαμηλού Υψομέτρου, Μεγάλης Διάρκειας): Έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν φορτία αρκετών κιλών και να ίπτανται σε υψόμετρα μερικών χιλιάδων μέτρων.
- **MALE⁴** (Medium Altitude, Long Endurance - Μέτριου Υψομέτρου, Μεγάλης Διάρκειας): Είναι αρκετά μεγαλύτερα από τα LALE και μπορούν να ίπτανται σε υψόμετρα κάτω των 9000μ.
- **HALE⁵** (High Altitude, Long Endurance - Μεγάλου Υψομέτρου, Μεγάλης Διάρκειας): Είναι τα μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα UAV. Μπορούν να ίπτανται σε υψόμετρα 20000μ. ενώ η διάρκεια πτήσης τους φτάνει και τις 30 ώρες.



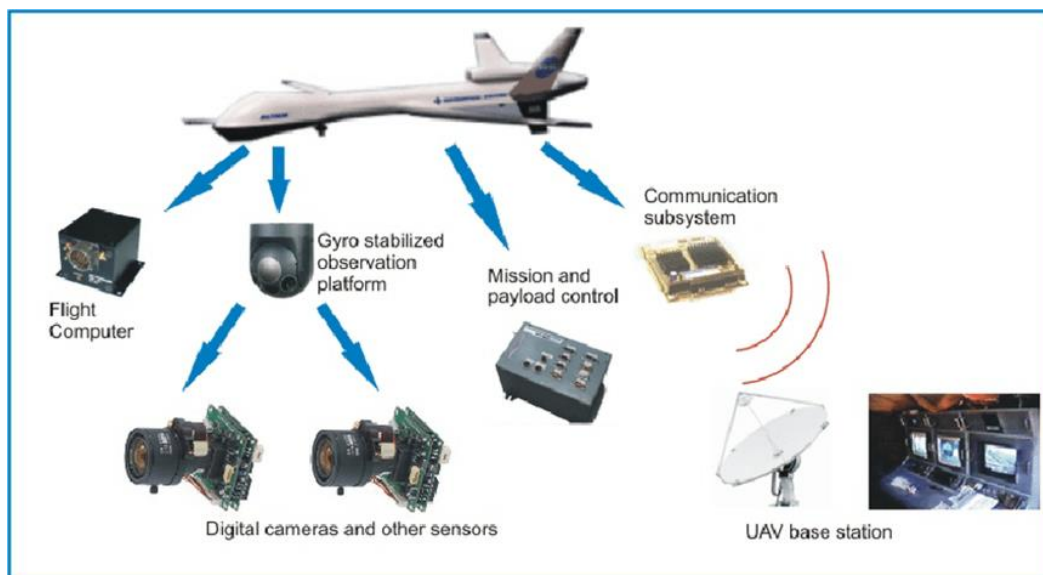
Φωτογραφία.1. Τα LALE και LASE UAV (Πηγή: US Department of Defense)

³Wikipedia, 2018. Wikipedia. available at: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_unmanned_aerial_vehicles

⁴Wikipedia, 2018. Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-altitude_long-endurance_unmanned_aerial_vehicle

⁵Wikipedia, 2018. Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/High-Altitude_Long_Endurance

1.3 Εξαρτήματα των UAVs



Φωτογραφία.2 Εξαρτήματα UAV (Πηγή: <https://www.researchgate.net>)

Τα κύρια εξαρτήματα ενός UAV είναι :

- **Σκελετός (Frame):** Το υλικό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ αλλά ταυτόχρονα και ανθεκτικό. Για τα μικρά UAV χρησιμοποιείται κυρίως το πλαστικό και τα παράγωγά του (φελιζόλ), ενώ για τα μεγάλα UAV το αλουμίνιο και τα ανθρακονήματα.
- **Κινητήρας (Motor):** Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διάρκεια και την ταχύτητα πτήσης αλλά και στο βάρος που μπορεί να μεταφέρει.
- **Υπολογιστής Πτήσης (Flight Control System):** Είναι ο εγκέφαλος του UAV. Ελέγχει τόσο την ταχύτητα όσο και τα πτερύγια του αεροσκάφους.
- **Σύστημα Πλοήγησης (Avionics):** Το ηλεκτρονικό σύστημα που κατευθύνει το UAV.
- **Radar:** Τα μεγάλα UAV διαθέτουν radar για την ανίχνευση στόχων.
- **Σύστημα Ευστάθειας (Gimbal Control):** Είναι το σύστημα ευστάθειας της φωτογραφικής μηχανής το οποίο βελτιώνει την ποιότητα των φωτογραφιών.
- **Αισθητήρες (Sensors):** Είναι κυρίως φωτογραφικές μηχανές και συστήματα SONAR (Sound Navigation And Ranging) & Lidar (Light Detection and Ranging) το οποίο βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας για την διενέργεια μετρήσεων.

- **Σύστημα Απομακρυσμένης Επικοινωνίας (Datalink):** Είναι το σύστημα ώστε να επιτυγχάνεται η απομακρυσμένη επικοινωνία του UAV με τον χειριστή.

1.3 Αισθητήρες (Sensors) των UAVs

Τα Drones έχουν πολλούς αισθητήρες πάνω τους, οι οποίοι συλλέγουν σε μόνιμη βάση δεδομένα για τη σταθερότητα, την αυτονομία, τη θέση, την ταχύτητα, το υψόμετρο και άλλα πολλά. Έτσι οι βασικές κατηγορίες αισθητήρων που τοποθετούνται στα UAV είναι τρεις:

- Αισθητήρες αποφυγής εμποδίων

Τα περισσότερα σύγχρονα UAV διαθέτουν σύστημα αποφυγής εμποδίων. Το σύστημα αυτό λαμβάνει δεδομένα από συγκεκριμένους αισθητήρες και αλλάζει την κατεύθυνση κίνησής του όποτε ανιχνεύσει εμπόδιο εντός του διαδρόμου πτήσης. Οι αισθητήρες που συνθέτουν το σύστημα αποφυγής εμποδίων είναι κάμερες και εξαρτήματα μέτρησης απόστασης με την χρήση υπερηχητικών κυμάτων .

- Αισθητήρες πλοήγησης

Ένα από τα πιο σημαντικά συστήματα των σύγχρονων drone είναι το σύστημα πλοήγησης το οποίο του δίνει την δυνατότητα να ίπταται αυτόνομα και να ακολουθεί το σχέδιο πτήσης που του έχει ανατεθεί. Η λειτουργία αυτή θα ήταν αδύνατο όμως να πραγματοποιηθεί με επιτυχία αν δεν είχε την βοήθεια από διάφορους αισθητήρες οι οποίοι τροφοδοτούν με δεδομένα το λογισμικό πλοήγησης. Οι αισθητήρες αυτοί ονομάζονται IMU (Inertial Measurement Units) και αποτελούν το γυροσκόπιο για την θέση στον χώρο, το τρισδιάστατο επιταχυνσιόμετρο για την εκτίμηση της κατεύθυνσης, το μαγνητόμετρο και το βαρόμετρο για την αλλαγή στο υψόμετρο. Θα πρέπει να τονίσουμε όμως ότι τον σημαντικότερο ρόλο πλοήγησης τον έχει ο δέκτης GPS.

- Αισθητήρες καταγραφής και μετρήσεων

Οι πιο σημαντικοί και εξεζητημένοι αισθητήρες είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται για καταγραφή και μετρήσεις. Η γκάμα των αισθητήρων αυτών είναι τεράστια. Οι πιο συχνά

Communications Networks for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

είναι οι κάμερες και τα συστήματα LIDAR (LIght Detection And Ranging). Οι κάμερες αυτές μπορεί να είναι απλές φωτογραφικές μηχανές ή πολυφασματικοί αισθητήρες που ανιχνεύουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή και την θερμική ακτινοβολία στα ορατά και στα υπέρυθρα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος . Το LIDAR πρόκειται για ένα όργανο (συσκευή ενεργούς τηλεπισκόπησης) με το οποίο μετράμε το αποτέλεσμα της διαμόρφωσης της ακτινοβολίας από τα συστατικά της ατμόσφαιρας. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας laser στην ατμόσφαιρα και ακολούθως, στην καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας καθώς και του χρόνου που μεσολαβεί ανάμεσα στην εκπομπή και στη λήψη και εφαρμόζεται στην τοπογραφία, στην γεωργία, στην δασολογία και αλλού.

2. Τα UAVs και τα δίκτυα επικοινωνίας τους - Παρουσίαση θέματος προβλήματος

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) απέκτησαν σημαντικό ρόλο τα τελευταία 10 χρόνια όπως αναπτύξαμε σε μεγάλο βαθμό στο κεφάλαιο 1, ως τεχνολογία και πλατφόρμα εκτέλεσης εργασιών που θα αποτελούσαν κίνδυνο στην ανθρώπινη παρουσία αλλά και σημαντική μείωση του αντίστοιχου κόστους των εργασιών αυτών. Η ανάπτυξη του κλάδου των UAV οδηγείται κυρίως απο επενδύσεις στρατιωτικής φύσεως πολλών χωρών, αλλά ταυτόχρονα αυξάνεται η χρήση τους τόσο για εμπορικές εφαρμογές όσο και για την δημόσια υγεία και ασφάλεια (βλέπε Πίν.1).

Πιν.1

UAV -Σημαντικότερες Χρήσεις

- Στρατιωτική Χρήση
- Εντοπισμός & παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών
- Υπηρεσίες πρόβλεψης καιρού
- Χαρτογράφηση
- Αεροφωτογράφηση
- Παράδοση

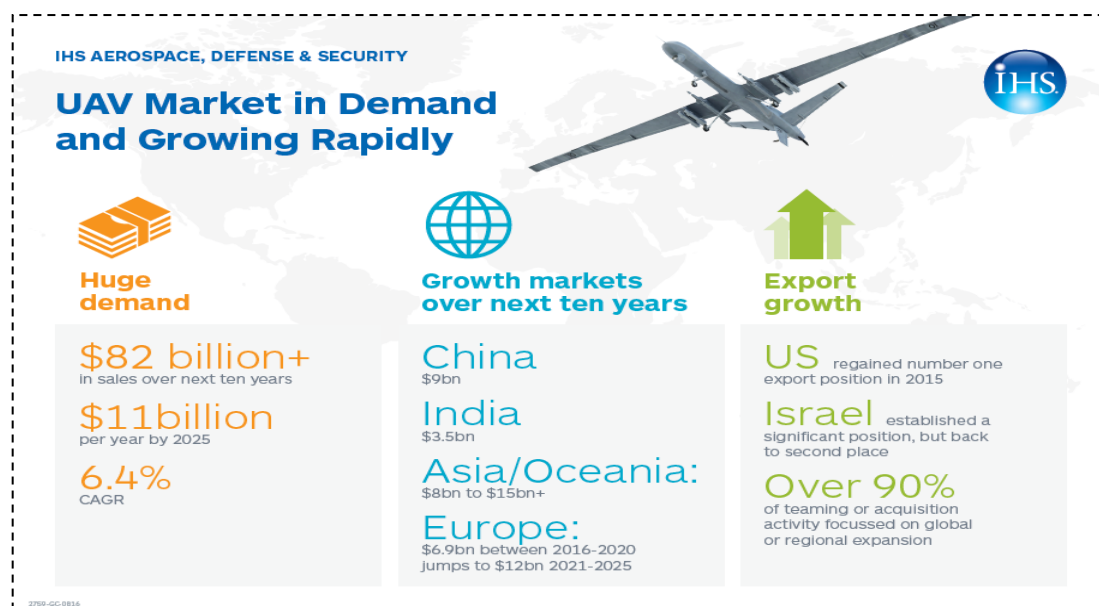
Τα κύρια τους πλεονεκτήματα είναι:

- 1) η εύκολη και άμεση ανάπτυξη τους στον χώρο που αποτελεί ενδιαφέρον απο τους χειριστές του συστήματος, 2) ένα αποδεκτό και προσβάσιμο κόστος για την τεχνολογία τους, 3) το χαμηλό κόστος συντήρησης, 4) μικρές διαστάσεις που προσφέρουν μεγαλύτερο βαθμό απόκρυψης απο τα ραντάρ (stealth) και τέλος 5) η δυνατότητα να υλοποιούν αποστολές σε πραγματικό χρόνο λαμβάνοντας και μεταφέροντας σημαντικές πληροφορίες μέσω των δικτύων επικοινωνίας στα οποία ανήκουν ή έχουν συνδεθεί. Για την επιτυχή εκτέλεση των αποστολών που είδαμε στον (πίνακα 1), μια σειρά απο δεδομένα θα πρέπει να ληφθούν ή να αποσταλούν απο το UAV, όπως δεδομένα τηλεμετρίας και GPS, δεδομένα φορτίου που μπορεί να μεταφέρουν, δεδομένα απο τους αισθητήρες τους (κάμερες, κεραίες κτλπ), όπως και οι εντολές απο τους επίγειους σταθμούς ελέγχου (Ε.Σ.Ε) τους. **Σε αυτό το έγγραφο και μελέτη εργασίας θα ασχοληθούμε με τα απαραίτητα δίκτυα επικοινωνίας των UAV με τους Ε.Σ.Ε για ένα αξιόπιστο και αποδοτικό ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας μετάδοσης και αναδιανομής πληροφοριών σε παραγματικό χρόνο.**

3. Η αγορά των UAVs σε αριθμούς.

Οι δυνατότητες που προσφέρουν τα UAV, όπως είδαμε παραπάνω, έχουν συγκεντρώσει την προσοχή πολλών κέντρων λήψεις αποφάσεων τόσο κρατικών φορέων όσο και του ιδιωτικού τομέα, με σημαντικές επενδύσεις⁶ (Γράφ.1.) στην τεχνολογία τους, εξελίσσοντας τον κλάδο με ταχύ ρυθμό (σύμφωνα με την HIS Markit, 11 δίσ δολλάρια τον χρόνο μεγαλώνει η αγορά).

⁶ <https://news.ihsmarkit.com/press-release/aerospace-defense-security/significant-global-demand-pushes-uav-sales-exceed-82-billio> , 11/05/2019



(Γράφημα 1. Πηγή HIS Markit: Global Demand for UAV Sales to Exceed \$82 Billion over Next 10 Years)

Σύμφωνα με την έρευνα του HIS Markit (Nasdaq: INFO), ένας οργανισμός που πρωταγωνιστεί σε ανάλυση θεμάτων στρατηγικής σημασίας και πληροφόρησης, οι συνεχιζόμενες εντάσεις διεθνώς και ο ανταγωνισμός για εμπορικές εφαρμογές των UAVs, δίνει ώθηση στην ζήτηση για λειτουργικά συστήματα, τόσο απο πλευράς πτητικών χαρακτηριστικών, τεχνολογία και υλικά κατασκευής όσο και αξιόπιστα δίκτυα ελέγχου και επικοινωνίας των UAV με επίγειους σταθμούς ελέγχου όσο και με άλλα UAV ή συστήματα αναμετάδοσης πληροφοριών όπς τα δορυφορικά συστήματα και κινητές κεραιές (cellular networks). Κυρίαρχα χαρακτηριστικά επιλογής και ανάπτυξης των εκάστοτε συστημάτων UAV, αποτελούν η ικανότητα απόκρυψης απο τα ραντάρ (stealth) και η διάρκεια λειτουργίας σε κάθε αποστολή (endurance).

4. Οι προκλήσεις στην δημιουργία δικτύων επικοινωνίας για τα UAVs

Σε αντίθεση με άλλα ασύρματα δίκτυα , η τοπολογία των δικτύων των UAVs αλλάζει συνεχώς ,τόσο ως προς το πόσοι κόμβοι επικοινωνίας είναι συνδεδεμένοι κάθε φορά (μοναδικό UAV ή σμήνος) και το δεύτερο σημαντικό στοιχείο που αποτελεί πρόκληση ως προς την διαχείριση των δεδομένων που αποστέλλονται και λαμβάνονται απο ένα UAV, είναι ότι η θέση τους αλλάζει συνεχώς. Αυτό απαιτεί απο το κέντρο ελέγχου και διαμοιρασμού των

Communications Networks for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

πληροφοριών να προβλέπει τις πιθανές θέσεις του κόμβου στο UAV αλλά και την διαθεσιμότητα των αντίστοιχων (data links) μέσων μεταφοράς δεδομένων (επίγγειες κεραίες, δορυφόροι, αεροσκάφη αναμεταδότες).

Απο την έρευνα μας, διαπιστώσαμε ότι υπάρχουν ήδη διαδεδομένα και δοκιμασμένα ασύρματα δίκτυα ως προς την αξιοπιστία τους και τις μεθόδους ανάπτυξης και λειτουργίας τους που παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με αυτά των UAVs. Αυτά είναι:

- τα δίκτυα ασύρματης κινητής τηλεφωνίας (MANET) αλλά και
- τα ασύρματα δίκτυα οχημάτων (VANET)

Και τα τρία δίκτυα που αναφερόμαστε θεωρούνται **δίκτυα ad-hoc**, δηλαδή μοναδικά δίκτυα που εξυπηρετούν μια συγκεκριμένη χρήση ή ανάγκη ή σχεδιασμό. Θα τα αναπτύξουμε παρακάτω στον **(πίνακα.2)** συγκρίνοντας τα με τα UAV δίκτυα στην προσπάθεια μας να εντοπίσουμε κοινά στοιχεία που θα μπορούν να αφομοιωθούν σε αυτά των UAVs και ποιές είναι οι σημαντικότερες διαφορές που απαιτούν μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση.

Τα ερωτήματα τα οποία έχουμε προσπαθήσει να απαντήσουμε στην προσπάθεια μας να αντιληφθούμε τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου UAVs και τις μορφές επικοινωνίας και τα μέσα που εμπλέκονται είναι τα ακόλουθα:

1. Τι είδος αρχιτεκτονικής δικτύων θα ήταν κατάλληλο;
2. Πόσο γρήγορα και με τι συχνότητα αλλάζει η τοπολογία του δικτύου ;
3. Πόσο συχνά ή εύκολα το δίκτυο διαμοιράζεται ανάλογα με την κίνηση των κόμβων;
4. Πως μπορεί να επεκταθεί η ζωή-διάρκεια λειτουργίας ενός δικτύου UAVs;

Στον Πίνακα.2 που ακολουθεί έχουμε συγκεντρώσει τις απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά.

Πίνακας 2 – Συγκριτική αναφορά σε δίκτυα ad-hoc

	MANET⁷ (Mobile Ad hoc Networks)	VANET⁸ (Vehicular Ad hoc Networks)	UAV Δίκτυα⁹
Περιγραφή	Κινητοί ασύρματοι κόμβοι διασυνδεδεμένοι ad-hoc μεταξύ τους (Μη απαραίτητες κεντρικές υποδομές)	Οι κόμβοι είναι τα ίδια τα οχήματα, τα οποία επικοινωνούν τόσο μεταξύ τους όσο και με αισθητήρες στους οδικούς άξονες.	Κόμβοι σε υπτάμενες πλατφόρμες, που επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με σταθμούς ελέγχου.
Κινητικότητα	Αργή: Τυπικές ταχύτητες 2m /sec. Τυχαία κίνηση και μεταβλητή συγκέντρωση τους αναλόγως την τοποθεσία.	Γρήγορη: Ταχύτητες 20-30 m/sec. Προβλέψιμη και περιορισμένη βάσει των οδικών δικτύων.	Γρήγορη: Ταχύτητες απο 0 έως 100 m/sec. Η κίνηση γίνεται τόσο σε δύο όσο και στις τρεις διαστάσεις.
Τοπολογία δικτύων	Τυχαία, ad-hoc	STAR με την σήμανση στον δρόμο και ad-hoc με τα άλλα οχήματα	STAR με το κέντρο ελέγχου, ad-hoc /mesh μεταξύ των UAVs
Διακυμάνσεις Τοπολογίας	Δυναμικές : οι κόμβοι συνδέονται και αποσυνδέονται απρόβλεπτα. Το δίκτυο είναι επιρεπές σε partitioning.	Περισσότερο δυναμικές απο το MANET. Κινητικότητα σε γραμμική μορφή. Σύνηθες το portioning.	Στατικό, αργές ή γρήγορες καθώς μπορεί να πετάνε σε σμήνη. Το δίκτυο είναι επιρεπές σε partitioning.
Ενεργειακοί Περιορισμοί	Η πλειοψηφία των κόμβων τροφοδοτούνται απο μπαταρία, η ενέργεια πρέπει να διαφυλαχθεί.	Οι συσκευές τροφοδοτούνται απο την μπαταρία του οχήματος ή απο δική τους μπαταρία.	Τα UAVs έχουν ενεργειακούς περιορισμούς. Αυτό επηρεάζει το βάρος τους και τον χρόνο πτήσης.

Από τα παραπάνω, τα συμπεράσματα τα οποία βγάζουμε είναι πως τα δίκτυα επικοινωνίας και ελέγχου των UAVs, παρουσιάζουν λίγες διαφορές αλλά καθοριστικές για την αποτελεσματικότητα και λειτουργία τους, έναντι των MANET και VANET.

⁷ Gurucharan Banerjee*, Anjani Kumari, Arvind Thakur, Komal Kumari, Jitendra Parit (2016) : An Analysis on Characteristics, Challenging Issues and Comparisons of Routing Protocols of MANET, | Volume 2 | Issue 2 | Print ISSN : 2395-1990 | Online ISSN : 2394-4099

⁸ Anatoli Djanatliev, Kai-Steffen Hielscher, Christoph Sommer, David Eckhoff, and Reinhard German (Eds.), "Proceedings of the 5th GI/ITG KuVS Fachgesprach Inter-Vehicle Communication (FG-IVC 2017)," Friedrich-Alexander-Universit " at Erlangen-Nurnberg, Dept. of Computer Science, Technical Reports, CS-2017-03, April 6th-7th, 2017.

⁹ Lobna Krichen , Mohamed Fourati , and Lamia Chaari Fourati(2017) : Communication Architecture for Unmanned Aerial Vehicle System DOI: 10.1007/978-3-030-00247-3_20

Αυτά είναι:

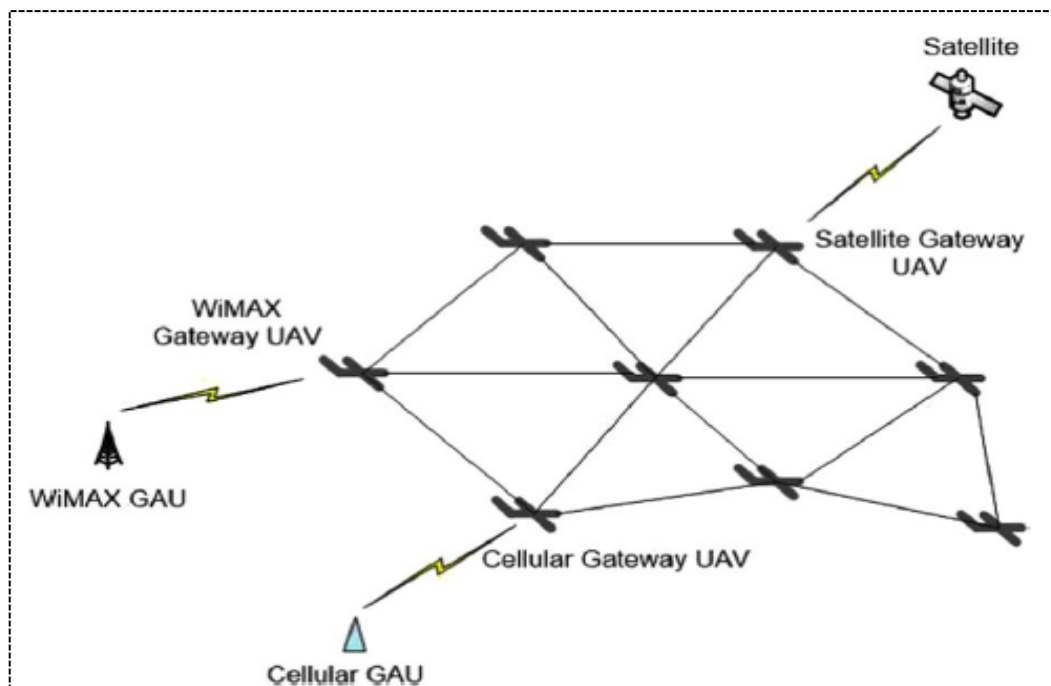
- Τα μοντέλα πρόβλεψης κινητικότητας στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, βάσει των σημείων που παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση χρηστών, πόλεις κτλπ. επιτρέπουν τον σχεδιασμό και τοποθέτηση των κόμβων δικτύου με σκοπό ένα λειτουργικό δίκτυο επικοινωνίας ασύρματης μορφής. Το πρόβλημα με τους κόμβους στα UAV's είναι η κίνηση τους όχι σε δύο διαστάσεις αλλά σε τρεις με άποτομες αλλαγές θέσης, όπου σε αντίθεση και με τα δίκτυα οχημάτων τα οποία κινούνται πάνω σε προδιαγεγραμμένους προορισμούς ,πάνω στο οδικό δίκτυο.
- Οι αλλαγές στην τοπολογία των δικτύων στα UAVs, σε σημεία όπου δεν υπάρχει συγκέντρωση κόμβων ελέγχου και επικοινωνίας, προκαλεί την απώλεια δεδομένων ή και την οριστική διάσπαση του δικτύου σε αντίθεση με τις υποδομές που ιφύστανται στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και αυτών των οχημάτων.
- Η απώλεια ενέργειας στα UAVs είναι επίσης καθοριστικής σημασίας καθώς διακόπτει μόνιμα την εκτέλεση της αποστολής του εκάστοτε UAV ή σμήνος από αυτά και κατ'επέκταση του σκοπού χρήσης μιάς πλατφόρμας UAV.

5. Τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου επικοινωνίας UAV

5.1 Δίκτυο UAV βασισμένο σε προσχεδιασμένες υποδομές ή δίκτυα ad-hoc;

Ανάλογα με το που θα εφαρμοστεί ένα σύστημα UAV, το δίκτυο θα πρέπει να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των μερών του συστήματος (**Γράφημα 2**), είτε μεταξύ των UAV όπως και με τις υπόλοιπες δομές ελέγχου και δικτύωσης, το data link (*στις τηλεπικοινωνίες το data link είναι ένας τρόπος δυο συσκευών με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών, όπως φωνή, δεδομένα, βίντεο κτλπ*) και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθούν.

Εξετάζοντας κάποιος το Γράφημα.2, το πρώτο ερώτημα είναι με ποια αρχιτεκτονική θα σχεδιαστούν τα δίκτυα αυτά και ποιά πρωτόκολλα θα χρησιμοποιηθούν που να καλύπτουν όλους τους συνδιασμούς ανταλλαγής πληροφοριών στα μέρη του συστήματος αυτού.



Γράφημα 2¹⁰. UAV προς UAV και UAV προς σταθμούς ελέγχου και μετάδοσης της πληροφορίας.

Το δίκτυο στο Γραφ.2, μπορεί να υλοποιηθεί βασισμένο στο γνωστό πρωτόκολλο IEEE 802.11¹¹, επιτρέποντας στο δίκτυο να έχει μια ακτίνα επικοινωνίας εκατοντάδων μέτρων (σε ανοιχτό χώρο), ακριβώς όπως η τεχνολογία που έχει εφαρμοστεί στα δίκτυα WiFi στον χώρο των κατοικιών και επιχειρήσεων, με προϋπόθεση την μη ύπαρξη εμποδίων μεταξύ των κόμβων, πομπών και των δεκτών. Η εξέλιξη του πρωτοκόλλου στην έκδοση IEEE 802.11n βοήθησε στην επέκταση της ακτίνας επικοινωνίας με υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας, προσθέτοντας πολλαπλές κεραίες και κόμβους που παίζουν τον ρόλο του δέκτη και πομπού. Αφού ορίσαμε τον τρόπο που θα πρέπει να επιλεγθούν επίπεδα του φυσικού εξοπλισμού και ο τρόπος που θα ελεγχθούν και θα δοθεί πρόσβαση στις πληροφορίες που διακινούνται μέσα στο δίκτυο, πρέπει να εξετάσουμε το επόμενο στάδιο, αυτό των πρωτοκόλλων δρομολόγησης δεδομένων.

¹⁰ Imad Jawhara,*, Nader Mohamedb, Jameela Al-Jaroodic, Dharma P. Agrawald, Sheng Zhange (2017): Communication and networking of UAV-based systems: Classification and associated architectures, *Journal of Network and Computer Applications* 84 (2017) 93–108

¹¹ IEEE 802.11 (2018) https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#802.11n 13/05/2019.

5.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Routing Protocols)

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να διαχωριστούν στις παρακάτω έξι κατηγορίες¹² :

1. Στατικό Πρωτόκολλο (Static Protocol)

Σε αυτή την κατηγορία, ο χάρτης-πίνακας δρομολόγησης έχει προγραμματιστεί σε κάθε πομπό των UAVs πριν από την έναρξη χρήσης τους συστήματος ή της αποστολής που πρέπει να εκτελεστεί

2. Δυναμικό Πρωτόκολλο (Proactive Protocol)

Ο κάθε πομπός ενημερώνει και ορίζει τον πίνακα δρομολόγησης, πριν την εκάστοτε αίτηση για μεταφορά δεδομένων.

3. Πρωτόκολλα Αντίδρασης (Reactive Protocols)

Η διαδρομή στην οποία θα μεταδοθεί η κάθε πληροφορία από τον κόμβο αποστολής και τον κόμβο λήψης, καθορίζεται μόνο όταν χρειαστεί να μεταφερθεί κάποια πληροφορία. Αφού οριστεί η διαδρομή και η θέση όλων των μερών του συστήματος, η τοπολογία, δεν αλλάζει μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μελλοντικές αποστολές δεδομένων και πληροφοριών.

4. Υβριδικά Πρωτόκολλα (Hybrid Protocols)

Εδώ έχουμε συνδυασμό των Δυναμικών και πρωτοκόλλων Αντίδρασης. Για παράδειγμα εάν ένα δίκτυο διασπαστεί σε ξεχωριστές συστοιχίες (clusters), η επικοινωνία μεταξύ των συστοιχιών θα χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο αντίδρασης ενώ μέσα στις συστοιχίες θα χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο αντίδρασης.

5. Position/ Geographic βασισμένο πρωτόκολλα

Τα πρωτόκολλα θέσης βασίζονται στην χρήση πομπών του δικτύου βάσει της θέσης τους μέσω GPS ή παρόμοιες μεθόδους εύρεσης τοποθεσίας για τον εντοπισμό και δημιουργία καναλιού επικοινωνίας μεταξύ πηγής και λήπτη της πληροφορίας.

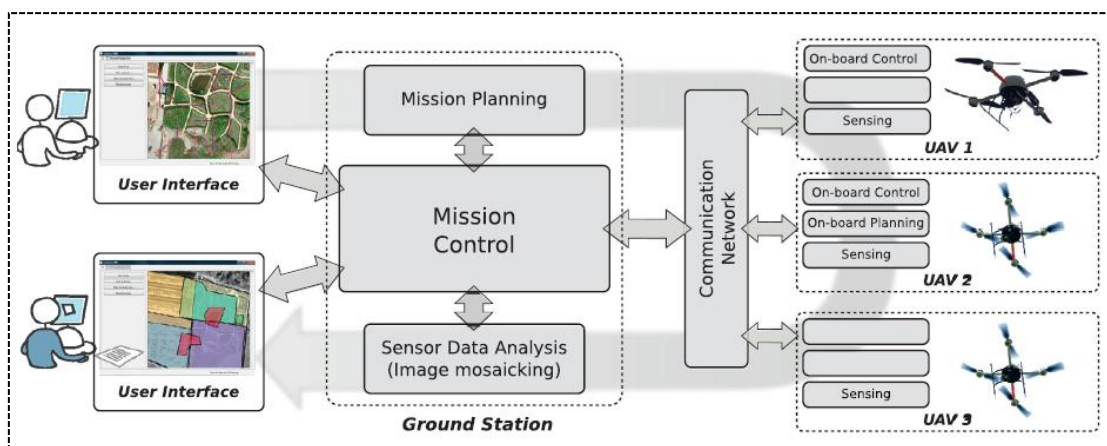
6. Ιεραρχικά Πρωτόκολλα (Hierarchical protocols)

¹² Imad Jawhara,*, Nader Mohamedb, Jameela Al-Jaroodic, Dharma P. Agrawald, Sheng Zhange (2017): Communication and networking of UAV-based systems: Classification and associated architectures, [Journal of Network and Computer Applications 84 \(2017\) 93–108](#)

Communications Networks for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Σε αυτά τα πρωτόκολλα, όλοι οι κόμβοι σε ένα δίκτυο μοιράζονται σε επίπεδα επικοινωνίας όπου το υψηλότερο επίπεδο επικοινωνεί κάθε φορά με το χαμηλότερο. Χρήσιμο πρωτόκολλο σε πολύ μεγάλα δίκτυα με σκοπό την εύκολη και γρήγορη επεκτασιμότητα του δικτύου.

Ποια από τις παραπάνω επιλογές θα κριθεί ως κατάλληλη μέθοδος δρομολόγησης (network routing) θα εξαρτηθεί από τον σκοπό της δημιουργίας του δικτύου, όπου θα οριστούν και τα χαρακτηριστικά των απαιτήσεων του δικτύου από άποψη εξοπλισμού και αρχιτεκτονικής,



όπως το παράδειγμα στο **Γράφημα 3¹³**. Δομές ενός δικτύου U2U (UAV προς UAV) και U2I (UAV προς υποδομές συστ.)

Συγκεκριμένα :

- Ο αριθμός των UAVs στο δίκτυο. Κάποια πρωτόκολλα αποδίδουν μόνο σε μικρό αριθμό εμπλεκόμενων κόμβων.
- Η επεξεργαστική ισχύς που έχει προστεθεί σε κάθε UAV
- Η χωρητικότητα μνήμης σε κάθε UAV, καθώς πρωτόκολλα που θα χρησιμοποιηθούν σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων απαιτούν μεγάλη χωρητικότητα φυσικής μνήμης.

¹³ Ev en Yanmaz , Saeed Yahyanejad , Bernhard Rinner , Hermann Hellwagner, Christian Bettstetter (2018) Drone networks: Communications, coordination, and sensing”Ad Hoc Networks 68 (2018) 1–15

Communications Networks for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

- Η ενεργειακή απόδοση και κατανάλωση ενός UAV. Μερικά πρωτόκολλα στοχεύουν στη σωστή κατανάλωση και δισφύλαξη της ενέργειας επιτρέποντας την επέκταση της αποστολής ενός UAV, ειδικά για μικρού μεγέθους UAV.
- Η δυνατότητα ενός UAV να κατευθυνθεί μέσω GPS, το οποίο βοηθάει στην καλή απόδοση του δικτύου, ειδικά για μεγαλύτερου μεγέθους UAV, και δίκτυα με υψηλή κινητικότητα και αλλαγής θέσης των συνδεδεμένων κόμβων. Αυτό όπως είδαμε παραπάνω έχει εφαρμογή στα δίκτυα VANET, στα δίκτυα οχημάτων.
- Η ασφάλεια της μετάδοσης των δεδομένων.
- Η δυνατότητα σύνδεσης των UAV μεταξύ τους αλλά και με το κύριο μέρος του συστήματος (επίγυρους σταθμούς ή αναμεταδότες όπως δορυφόροι και ιπτάμενες πλατφόρμες)
- Η λειτουργία ενός πρωτοκόλλου το οποίο δεν έχει απαίτηση αδείας χρήσης.
- Τέλος, το πόσο μεταβλητή είναι η θέση ενός UAV, δηλαδή ποια είναι τα πτητικά χαρακτηριστικά τους ώστε να προβλεφθούν οι πιθανές αποσυνδέσεις απο το σύστημα

Εφόσον επιλεγθεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας το επόμενο βήμα της θεωρίας δικτύων και το οποίο έχει εφαρμογή και στα δίκτυα επικοινωνίας των UAVs είναι τι διάταξη θα επιλεγθεί.

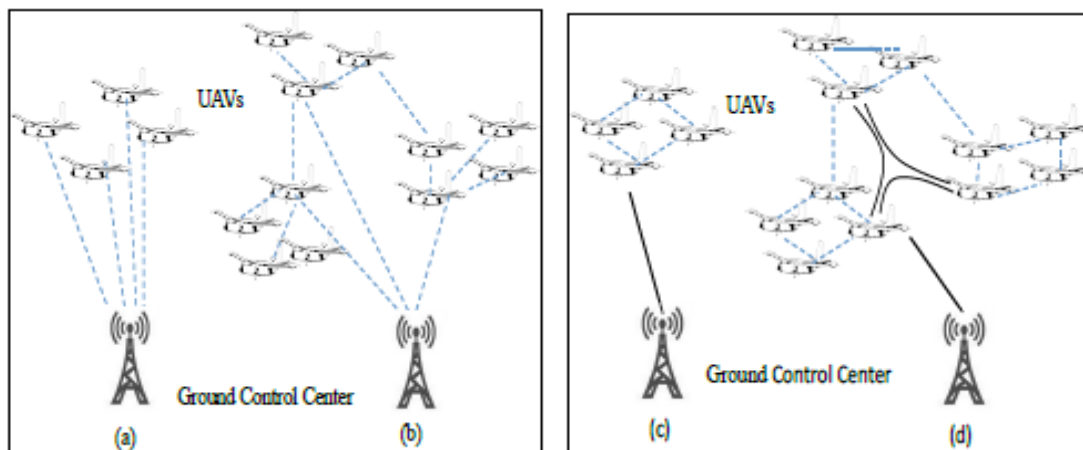
Παρακάτω αναλύουμε τα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα διαφόρων διατάξεων (network configuration).

6. Διατάξεις δικτύων επικοινωνίας UAVs (networks configuration)

Οι μελέτες και οι έρευνες που έχουν γίνει στις διατάξεις των δικτύων επικοινωνίας, βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο με προσεγγίσεις¹⁴ όπως : το Star Configuration (a), Multi-star configuration (b), Flat Mesh Network (c), Hierarchical Mesh Network (d), βλέπε

(Γράφ.4)

¹⁴ Lav Gupta and Gabor Vaskun (2016) Survey of Important Issues in UAV Communication networks : 5-6, DOI: 10.1109/COMST.2015.2495297



Γράφημα.4 : Διατάξεις ενός δικτύου UAVs.

6.1 Διάταξη STAR

Στην τοπολογία διάταξης STAR, κάθε UAV και ο πομπός του είναι συνδεδεμένα απευθείας με τον κεντρικό κόμβο ελέγχου ή επικοινωνίας, όπως στο παράδειγμα (Γράφ.4-α) και όλες οι επικοινωνίες μεταξύ των UAV, θα περνούσαν μέσα από το κεντρικό κόμβο επίγειου σταθμού.

Χαρακτηριστικά :

- Πιθανότητα να μπλοκαριστούν οι συνδέσεις
- Μεγαλύτερη πιθανότητα το δίκτυο να βρεθεί σε λανθάνουσα κατάσταση (latency) και ανάγκη κοστοβόρου υψηλού ευρυζωνικού downlinks
- Επιπλέον, καθώς οι κόμβοι είναι κινητοί, κατευθυνόμενες κεραιές μπορεί να απαιτούνται για να διατηρούν τον προσανατολισμό προς τον επίγειο κόμβο

6.2 Διάταξη Multi-STAR

Είναι η ίδια διάταξη με την STAR, με την διαφορά ότι πολλαπλά UAVs, συνδέονται μεταξύ τους σε διάταξη STAR (ένα κεντρικό UAV) και αυτό στην συνέχεια συνδέεται με τον κεντρικό επίγειο κόμβο (βλέπε.Γράφ.4 –b).

6.3 Διάταξη MESH- δικτυωτά δίκτυα

Δίκτυα στα οποία τα UAVs είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και κάποια απο αυτά συνδέονται με το κεντρικό κόμβο ελέγχου και επικοινωνίας (**βλέπε.Γράφ.4 –c,d**).

Χαρακτηριστικά :

- Σε αντίθεση με τις διατάξεις STAR, τα δίκτυα σε διάταξη MESH, είναι περισσότερο ευέλικτα ως προς τον μεγάλο αριθμό διασυνδέσεων μεταξύ κόμβων και πολλαπλών διαδρομών μετάδοσης πληροφορίας.
- Είναι περισσότερο αξιόπιστα στην λειτουργία τους
- Μπορεί να είναι βασισμένα σε υποδομές επίγειες ή να δημιουργηθούν ad-hoc μεταξύ άλλων UAVs, διατηρώντας ή μεταφέροντας σημαντικές πληροφορίες που θα υποστηρίζουν την αποστολή τους.
- Τα UAVs και ο κάθε κόμβος που μεταφέρουν μπορεί να κινηθούν ελεύθερα δίχως τον περιορισμό της διατήρησης συγκεκριμένης θέσης με επίγειο σταθμό.

Συμπεράσματα. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAVs) είναι μια τεχνολογία πολύ απαραίτητη στην πορεία προς την αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση μια σειράς δραστηριοτήτων στρατιωτικής, εμπορικής και δημοσίου συμφέροντος. Ενώ οι τεχνολογίες που αφορούν την κατασκευή τους και το εύρος των αισθητήρων ή φορτίων που μπορούν να μεταφέρουν έχουν σημειώσει αλματώδη ανάπτυξη, η αχίλλειος πτέρνα των συστημάτων αυτών βρίσκεται στο δίκτυο επικοινωνίας τόσο με τα κέντρα ελέγχου όσο και με τα υπόλοιπα μέρη ενός δικτύου (αναμεταδότες, άλλα UAVs). Η διασφάλιση συνεχούς ροής μεταφοράς δεδομένων από και προς τους κόμβους ενός τέτοιου δικτύου δεν μπορεί να καλυφθεί πλήρως από τις τρέχουσες τοπολογίες και διατάξεις δικτύων ή αντιγράφοντας πετυχημένες εφαρμογές σε άλλους κλάδους (κινητή τηλεφωνία, δίκτυα επικοινωνίας οχημάτων).

Η πρόταση για να καλυφθούν οι αδυναμίες εξάρτησης του κόμβου επικοινωνίας με τα επίγεια κέντρα ελέγχου και επικοινωνίας είναι η ανάπτυξη μεγαλύτερης αυτονομίας των εκάστοτε UAV αλλά και η λειτουργία σε σμύνη με την εφαρμογή της τεχνικής νοσημοσύνης (Artificial Intelligence).

Βιβλιογραφία

1. Benassi, F. et al. (2017) 'Testing accuracy and repeatability of UAV blocks oriented with gnss-supported aerial triangulation', *Remote Sensing*, 9(2), pp. 1–23. doi: 10.3390/rs9020172. 4) Bernauw, K. (2016) 'Drones: The Emerging Era of Unmanned Civil Aviation', *Zbornik PFZ*, 66(2–3), pp. 223–248.
2. Getzin, S., Nuske, R. S. and Wiegand, K. (2014) 'Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests', *Remote Sensing*, 6(8), pp. 6988–7004. doi: 10.3390/rs6086988.
3. Nguyen, P. H. et al. (2017) 'Remote marker-based tracking for uav landing using visiblelight camera sensor', *Sensors (Switzerland)*, 17(9). doi: 10.3390/s17091987.
4. Sandborn, P. A. M. et al. (2015) 'Development of an FMCW LADAR Source Chip using MEMS-Electronic-Photonic Heterogeneous Integration', *Gomactech*, pp. 2–5
5. 14) Stöcker, C. et al. (2017) 'Review of the current state of UAV regulations', *Remote Sensing*, 9, pp. 33–35. doi: 10.3390/rs9050459.
6. Yılmaz, D. (2015) 'SURVEYING A 140KM CORRIDOR WITH A UAV FOR RAILWAY PLANNING Fast Survey of a High-speed Railway Line', (Figure 2).
7. Gurucharan Banerjee*, Anjani Kumari, Arvind Thakur, Komal Kumari, Jitendra Parit (2016) : An Analysis on Characteristics, Challenging Issues and Comparisons of Routing Protocols of MANET, | Volume 2 | Issue 2 | Print ISSN : 2395-1990 | Online ISSN : 2394-4099
8. Lobna Krichen , Mohamed Fourati , and Lamia Chaari Fourati(2017) : Communication Architecture for Unmanned Aerial Vehicle System DOI: 10.1007/978-3-030-00247-3_20
9. Ev en Yanmaz , Saeed Yahyanejad , Bernhard Rinner , Hermann Hellwagner, Christian Bettstetter (2018) Drone networks: Communications, coordination, and sensing” *Ad Hoc Networks* 68 (2018) 1–15
10. Lav Gupta and Gabor Vaskun (2016) Survey of Important Issues in UAV Communication networks:5-6, DOI: 10.1109/COMST.2015.2495297
1. Σιφναίου, Μ. Α. (2016) ‘ Εναέρια μη επανδρωμένα συστήματα λήψης εικόνων και η χρήση τους σε εφαρμογές μηχανικού ’.

Ηλεκτρονικές πηγές

1. UNIVERSAL WING, 2017. UNIVERSAL WING. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://web.archive.org/web/20120316113917/http://www.universalwing.com/technology/unmanned-aerial-vehicle> [Πρόσβαση 11 05 2019].
2. Wikipedia, 2018. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle [Πρόσβαση 11 05 2019].
3. Wikipedia, 2018. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AE [Πρόσβαση 11 05 2019].
4. Wikipedia. (2018). [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle#History [Πρόσβαση 11 05 2019].
5. Wikipedia. (2018). wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Kettering_Bug [Πρόσβαση 11 05 2019].
6. Wikipedia. (2018). wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Fairchild_FC-2 [Πρόσβαση 11 05 2019].
7. Wikipedia. (2018). wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Ryan_AQM-91_Firefly [Πρόσβαση 11 05 2019].
8. Wikipedia. (2018). wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at : https://en.wikipedia.org/wiki/MBLE_%C3%89pervier [Πρόσβαση 11 05 2019].
9. Wikipedia. (2018). wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at : https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_MQM-105_Aquila [Πρόσβαση 11 05 2019].
10. Wikipedia. (2018). Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-9_Reaper [Πρόσβαση 11 05 2019].
11. Uav factory. (2018). Uav factory. Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.uavfactory.com/product/16> [Πρόσβαση 11 05 2019].
12. URL12):DJI. (2018). DJI. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.dji.com/wookong-m> [Πρόσβαση 11 05 2019].
13. Wikipedia, 2018. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AE [Πρόσβαση 11 05 2019].
14. Agisoft, 2018. Agisoft. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.agisoft.com/features/compare/> [Πρόσβαση 11 05 2019].

Communications Networks for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

15. Simactine, 2018. Simactive. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.simactive.com/correlator3d-mapping-software-features.html> [Πρόσβαση 11 05 2019].
16. Hexagon geospatial, 2018. Hexagon geospatial. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/imaginephotogrammetry> [Πρόσβαση 11 05 2019].
17. PIX4D, 2018. PIX4D. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/> [Πρόσβαση 11 05 2019].
18. Pixprocessing, 2018. Pixprocessing. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.pixprocessing.com/pixprocessing-mining> [Πρόσβαση 11 05 2019].
19. Esri, 2018. Esri. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.esri.com/enus/arcgis/products/drone2map/overview> [Πρόσβαση 11 05 2019].
20. PhotoModeler UAS, 2018. PhotoModeler UAS. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.photomodeler.com/index.html> [Πρόσβαση 11 05 2019].
- 21) Significant Global Demand Pushes UAV Sales to Exceed \$82 Billion over Next 10 Years (2016) [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://news.ihsmarkit.com/press-release/aerospace-defense-security/significant-global-demand-pushes-uav-sales-exceed-82-billio> , [Πρόσβαση 11 05 2019].
- 22) IEEE 802.11 (2018) [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#802.11n [Πρόσβαση 13/05/2019].