



# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

## **ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

### **ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

#### **Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Προηγμένες Τεχνολογίες Υπολογιστικών Συστημάτων**

#### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη για τη χρήση δικτύων 5G σε μη επανδρωμένα  
αεροσκάφη**

**Λεβεντέας Κωνσταντίνος  
Α.Μ. mscacs22015**

**Εισηγητής: Βουτσινάς Στυλιανός, Λέκτορας**

**(Κενό φύλλο)**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη για τη χρήση δικτύων 5G σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη**

**Λεβεντέας Κωνσταντίνος  
Α.Μ. mscacs22015**

**Εισηγητής:**

**Βουτσινάς Στυλιανός, Λέκτορας**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

<b>Βουτσινάς Στυλιανός</b>	
<b>Βογιατζής Ιωάννης</b>	
<b>Φατούρος Σταύρος</b>	

**Ημερομηνία εξέτασης**

**(Κενό φύλλο)**

## **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Λεβεντέας Κωνσταντίνος του Ευαγγέλου, με αριθμό μητρώου mscacs22015 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Προηγμένες Τεχνολογίες Υπολογιστικών Συστημάτων του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

**Ο Δηλών**



**(Κενό φύλλο)**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Βουτσινά Στυλιανό, για την αμέριστη υποστήριξη, καθοδήγηση και ενθάρρυνση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης μου. Η τεχνογνωσία και οι γνώσεις του ήταν ανεκτίμητες και τα σχόλιά του με ωθούσαν πάντα να βελτιώνω την εργασία μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στους συναδέλφους και φίλους μου στο εργασιακό και ακαδημαϊκό περιβάλλον. Οι συζητήσεις μας, τόσο ακαδημαϊκές όσο και άλλες, ήταν ζωτικής σημασίας για να με βοηθήσουν να ξεπεράσω τις προκλήσεις αυτής της μελέτης.

Τέλος, σε προσωπικό επίπεδο, είμαι βαθύτατα ευγνώμων στην οικογένειά μου για την αμέριστη υποστήριξη και ενθάρρυνσή τους. Στους γονείς μου, που πάντα πίστευαν σε μένα και παρείχαν τα θεμέλια για την εκπαίδευσή μου.

**(Κενό φύλλο)**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μελέτη για τη χρήση δικτύων 5G σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Η έλευση των δικτύων 5G υπόσχεται να φέρει επανάσταση σε διάφορους κλάδους μέσω της υψηλής ταχύτητας, της χαμηλής καθυστέρησης και της αξιόπιστης συνδεσιμότητας. Η παρούσα μελέτη διερευνά την εφαρμογή της τεχνολογίας 5G στην ενίσχυση των δυνατοτήτων και των επιδόσεων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Συγκεκριμένα, εξετάζει τα δυνητικά οφέλη, τις τεχνικές προκλήσεις και τις πρακτικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσης των δικτύων 5G με μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV).

Η μελέτη μου διερευνά διάφορους βασικούς τομείς: τη βελτίωση της μετάδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και του απομακρυσμένου ελέγχου, τη βελτίωση της αυτόνομης πλοήγησης και της αποφυγής εμποδίων μέσω του υπολογισμού ακμών και τη διευκόλυνση πολύπλοκων επιχειρήσεων, όπως οι αποστολές πέρα από την οπτική γραμμή όρασης (BVLOS). Μέσω αυτής της μελέτης, αποδεικνύεται πως η συνδεσιμότητα 5G μπορεί να μειώσει σημαντικά την καθυστέρηση και να αυξήσει το διαθέσιμο εύρος ζώνης για τις λειτουργίες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, οδηγώντας σε πιο ευέλικτους και αποτελεσματικούς μηχανισμούς ελέγχου.

Επιπλέον, η μελέτη ασχολείται με τα τεχνικά εμπόδια που σχετίζονται με την ενσωμάτωση του 5G, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης για προηγμένο υλικό, των πιθανών προβλημάτων παρεμβολών και των προκλήσεων για τη διατήρηση σταθερών συνδέσεων σε δυναμικά περιβάλλοντα. Διερευνώνται επίσης οι ρυθμιστικές επιπτώσεις και οι επιπτώσεις στην ασφάλεια από την ευρεία ανάπτυξη drone με δυνατότητα 5G.

Τα συμπεράσματά μου υποδηλώνουν ότι, ενώ υπάρχουν σημαντικά οφέλη από τη χρήση των δικτύων 5G στην τεχνολογία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, η επίτευξη βέλτιστων επιδόσεων απαιτεί την αντιμετώπιση αρκετών κρίσιμων προκλήσεων. Η μελέτη καταλήγει με συστάσεις για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του 5G σε εφαρμογές UAV,

υπογραμμίζοντας τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο που μπορεί να έχει αυτή η τεχνολογία σε κλάδους όπως η εφοδιαστική, η επιτήρηση, η γεωργία και η αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the study on the use of 5G networks in unmanned aircraft. The advent of 5G networks promises to revolutionize various industries through high speed, low latency, and reliable connectivity. This study explores the application of 5G technology in enhancing the capabilities and performance of drones. Specifically, it examines the potential benefits, technical challenges and practical implications of integrating 5G networks with unmanned aerial vehicles (UAVs).

My study explores several key areas: improving real-time data transmission and remote control, improving autonomous navigation and obstacle avoidance through edge computation, and facilitating complex operations such as beyond line of sight (BVLOS) missions. Through this study, we demonstrate how 5G connectivity can significantly reduce latency and increase the available bandwidth for unmanned aircraft operations, leading to more flexible and efficient control mechanisms.

In addition, the study addresses the technical barriers associated with 5G integration, including the need for advanced hardware, potential interference issues and challenges to maintaining stable connections in dynamic environments. Regulatory and security implications of widespread deployment of 5G-enabled drones are also explored.

My conclusions suggest that while there are significant benefits from the use of 5G networks in drone technology, achieving optimal performance requires addressing several critical challenges. The study concludes with recommendations for future research and development to fully exploit the potential of 5G in UAV applications, highlighting the transformative impact this technology can have in sectors such as logistics, surveillance, agriculture, and emergency response.

Μελέτη για τη χρήση δικτύων 5G σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Μη επανδρωμένα αεροσκάφη, Δίκτυα, Δεδομένα, Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας, Εφαρμογές Drone

KEYWORDS:

Drone, 5G, Networks, UAV, Data, Mobile Networks, Drone Applications, Control and Non-Payload, Massive Multiple-input/multiple-out, Network Function Virtualization

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....</b>	<b>16</b>
2.1	Ιστορία (1G - 5G).....	16
2.2	Βασικές απαιτήσεις και τεχνολογίες του 5G.....	18
2.3	UAVs.....	27
2.4	Εφαρμογές των UAVs.....	29
2.5	Αρχιτεκτονική δικτύου UAV.....	35
<b>3.</b>	<b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....</b>	<b>37</b>
3.1	Παγκόσμιοι κανονισμοί και κανόνες.....	37
3.2	Τεχνικές παράμετροι επικοινωνίας.....	38
<b>4.</b>	<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>42</b>
<b>5.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>48</b>
5.1	Σύνοψη.....	48
5.2	Προοπτικές .....	49
<b>6.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>52</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1:</b> Evolution of Mobile Communication, from 1G to 5G.....	<b>18</b>
<b>Εικόνα 2:</b> 5G Densification.....	<b>20</b>
<b>Εικόνα 3:</b> Massive MIMO.....	<b>21</b>
<b>Εικόνα 4:</b> Application of UAVs in various fields.....	<b>29</b>
<b>Εικόνα 5:</b> UAV use cases.....	<b>31</b>
<b>Εικόνα 6:</b> UAV control diagram.....	<b>36</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1:</b> Drone Based Applications.....	<b>34</b>
<b>Πίνακας 2:</b> UAV Control and Non-Payload Communication Requirements.....	<b>41</b>
<b>Πίνακας 3:</b> UAV Payload Communication Requirements.....	<b>43</b>
<b>Πίνακας 4:</b> Communication Requirements for Drone Based Applications.....	<b>43</b>
<b>Πίνακας 5:</b> Συγκριτικός πίνακας CNPC & UAV Payload Communication.....	<b>49</b>

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

**UAS** Unmanned Aircraft Systems

**UAV** Unmanned Aerial Vehicles

**LTE** Long-Term Evolution

**SNR** Signal-to-noise ratio

**mMIMO** Massive Multiple-input/multiple-out

**mmWave** millimetre wave

**NFV** Network Function Virtualization

**SIC** Self-Interference Cancellation

**SDN** Software Defined Networking

**QoS** Quality of Service

**ABS** Aerial Base Station

**CNPC** Control and Non-Payload

**UE** Mobile Terminal

**EASA** European Aviation Safety Agency

**ITU** International Telecommunication Union

**ATC** Air Traffic Control

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έλευση της τεχνολογίας 5G προαναγγέλλει μια μετασχηματιστική εποχή στις ασύρματες επικοινωνίες, η οποία χαρακτηρίζεται από την πρωτοφανή ταχύτητα, την εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και τις τεράστιες δυνατότητες συνδεσιμότητας. Αυτή η επανάσταση είναι έτοιμη να επηρεάσει σημαντικά διάφορους τομείς, με μια από τις πιο υποσχόμενες εφαρμογές να είναι η ενσωμάτωση δικτύων 5G σε μη επανδρωμένα συστήματα αεροσκαφών (UAS). Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, που συνήθως αναφέρονται ως drones, έχουν γνωρίσει ραγδαίες εξελίξεις και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε διάφορους κλάδους, όπως η γεωργία, η εφοδιαστική, η επιτήρηση και η αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης. Ωστόσο, η τρέχουσα εξάρτηση από τις υπάρχουσες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας θέτει περιορισμούς στη λειτουργική τους αποτελεσματικότητα, την εμβέλεια και τις δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Η ενσωμάτωση των δικτύων 5G στα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών προσφέρει πλήθος πλεονεκτημάτων που μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτούς τους περιορισμούς και να ξεκλειδώσουν νέες δυνατότητες. Η ενισχυμένη απόδοση δεδομένων και η ελάχιστη καθυστέρηση εξασφαλίζουν επικοινωνία και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, κάτι που είναι κρίσιμο για εφαρμογές όπως η διαχείριση καταστροφών και οι παραδόσεις ιατρικών προμηθειών. Επιπλέον, η υψηλή αξιοπιστία και η εκτεταμένη κάλυψη των δικτύων 5G μπορούν να διευκολύνουν τις επιχειρήσεις πέραν της οπτικής επαφής (BVLOS), επεκτείνοντας έτσι το επιχειρησιακό πεδίο των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.



Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στη διερεύνηση των διαφόρων διαστάσεων της χρήσης του δικτύου 5G σε συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών, εστιάζοντας στις τεχνολογικές, επιχειρησιακές και ρυθμιστικές πτυχές. Εξετάζοντας την τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογίας 5G, τις δυνατότητές της και τις ειδικές απαιτήσεις των UAS, η παρούσα έρευνα επιδιώκει να προσδιορίσει τις πιθανές συνέργειες και προκλήσεις που συνεπάγεται αυτή η ενσωμάτωση. Επιπλέον, η μελέτη θα αξιολογήσει τον αντίκτυπο του 5G στις επιδόσεις, την ασφάλεια και την επεκτασιμότητα των επιχειρήσεων μη επανδρωμένων αεροσκαφών, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το 5G μπορεί να φέρει επανάσταση στο μέλλον της τεχνολογίας των UAVs.

Συνοψίζοντας, καθώς τα δίκτυα 5G συνεχίζουν να εξελίσσονται και να ωριμάζουν, η εφαρμογή τους σε συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών αποτελεί σημαντικό άλμα προς το μέλλον για την ενίσχυση των λειτουργιών τους και την επέκταση των περιπτώσεων χρήσης τους. Η παρούσα μελέτη προσπαθεί να συμβάλει στο σύνολο των γνώσεων σε αυτόν τον αναδυόμενο τομέα, προσφέροντας ιδέες και συστάσεις που μπορούν να καθοδηγήσουν τις μελλοντικές προσπάθειες έρευνας, ανάπτυξης και χάραξης πολιτικής.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

#### **2.1 Ιστορία (1G – 5G)**

Η εξέλιξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών από το 1G στο 5G αποτελεί ένα αξιοσημείωτο ταξίδι τεχνολογικών εξελίξεων, που διαμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι συνδέονται και επικοινωνούν παγκοσμίως. Κάθε γενιά ασύρματης τεχνολογίας έχει επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά την ταχύτητα, τη χωρητικότητα και τη λειτουργικότητα, αντανακλώντας τον ταχύτερο ρυθμό καινοτομίας στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών. Η κατανόηση της

ιστορικής εξέλιξης από την πρώτη γενιά (1G) έως την πέμπτη γενιά (5G) παρέχει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο των δικτύων κινητής τηλεφωνίας στην κοινωνία, την οικονομία και την τεχνολογία.

Η πρώτη γενιά, 1G, που εισήχθη στις αρχές της δεκαετίας του 1980, σηματοδότησε την αυγή της κινητής επικοινωνίας με αναλογική μετάδοση φωνής. Αν και υποτυπώδης για τα σημερινά δεδομένα, η 1G έθεσε τα θεμέλια για την κινητή τηλεφωνία, επιτρέποντας στα πρώτα κινητά τηλέφωνα να γίνουν πραγματικότητα. Ωστόσο, οι περιορισμοί της όσον αφορά την κακή ποιότητα φωνής, την περιορισμένη χωρητικότητα και την έλλειψη ασφάλειας ανέδειξαν την ανάγκη για περαιτέρω εξελίξεις.

Η δεύτερη γενιά, 2G, εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1990, φέρνοντας στο προσκήνιο την ψηφιακή επικοινωνία. Αυτή η μετάβαση στην ψηφιακή τεχνολογία επέφερε σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα της φωνής, τη χωρητικότητα και την ασφάλεια. Ειδικότερα, τα δίκτυα 2G επέτρεψαν την αποστολή μηνυμάτων κειμένου (SMS) και τις βασικές υπηρεσίες δεδομένων, οι οποίες άρχισαν να μετατρέπουν τα κινητά τηλέφωνα από απλές συσκευές φωνητικής επικοινωνίας σε ευέλικτα εργαλεία για προσωπική και επαγγελματική χρήση.

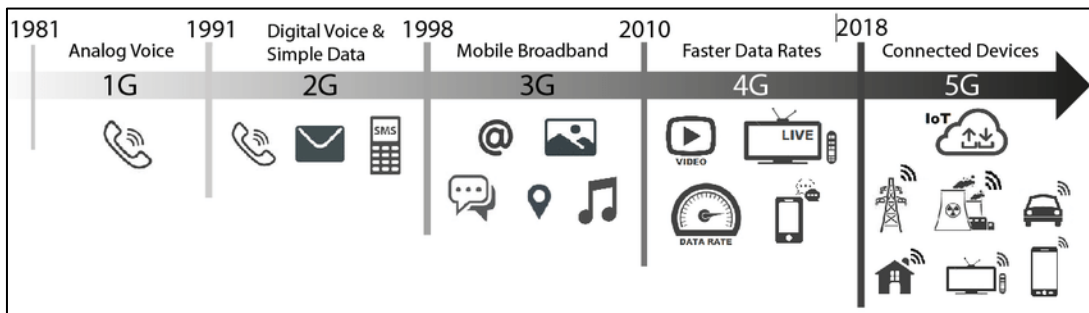
Στις αρχές της δεκαετίας του 2000 ήρθε η τρίτη γενιά, η 3G, η οποία έφερε επανάσταση στις κινητές επικοινωνίες παρέχοντας υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και υποστηρίζοντας εφαρμογές πολυμέσων, όπως βιντεοκλήσεις και πρόσβαση στο κινητό διαδίκτυο. Αυτή η γενιά έθεσε τις βάσεις για την εποχή των smartphone, καθιστώντας δυνατή την περιήγηση στο διαδίκτυο, τη λήψη εφαρμογών και τη ροή πολυμέσων σε κινητές συσκευές.

Βασιζόμενη στις δυνατότητες του 3G, η τέταρτη γενιά, 4G, που ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 2000 και στις αρχές της δεκαετίας του 2010, βελτίωσε περαιτέρω τις ταχύτητες δεδομένων και τη χωρητικότητα του δικτύου, επιτρέποντας την απρόσκοπτη ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας, παιχνίδια σε πραγματικό χρόνο και πιο προηγμένες εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας. Η εισαγωγή της τεχνολογίας Long-Term Evolution (LTE) ως μέρος των δικτύων 4G βελτίωσε σημαντικά την εμπειρία του χρήστη, καθιστώντας την ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία υψηλής ταχύτητας πραγματικότητα.

Το τελευταίο άλμα στην τεχνολογία των κινητών επικοινωνιών, το 5G, άρχισε να αναπτύσσεται στα τέλη της δεκαετίας του 2010. Χαρακτηρίζεται από

εξαιρετικά γρήγορες ταχύτητες δεδομένων, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και τη δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης τεράστιου αριθμού συσκευών, το 5G πρόκειται να μεταμορφώσει διάφορους κλάδους, από την υγειονομική περίθαλψη και την αυτοκινητοβιομηχανία έως την ψυχαγωγία και τις έξυπνες πόλεις. Με τη δυνατότητά του να υποστηρίξει καινοτόμες εφαρμογές, όπως τα αυτόνομα οχήματα, οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις και το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), το 5G αποτελεί το αποκορύφωμα της εξέλιξης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μέχρι σήμερα.

Αυτή η ιστορική επισκόπηση των γενεών δικτύων κινητής τηλεφωνίας από το 1G έως το 5G υπογραμμίζει τη συνεχή αναζήτηση για βελτιωμένη συνδεσιμότητα και την αδιάκοπη προσπάθεια για μεγαλύτερη τεχνολογική πρόοδο. Κάθε γενιά όχι μόνο αντιμετώπισε τους περιορισμούς των προκατόχων της, αλλά και άνοιξε το δρόμο για νέες δυνατότητες και καινοτομίες, αλλάζοντας ριζικά τον τρόπο με τον οποίο ζούμε και αλληλεπιδρούμε σε έναν ολοένα και πιο συνδεδεμένο κόσμο.



Εικόνα 1: Evolution of Mobile Communication, from 1G to 5G [1].

## 2.2 Βασικές απαιτήσεις και τεχνολογίες του 5G

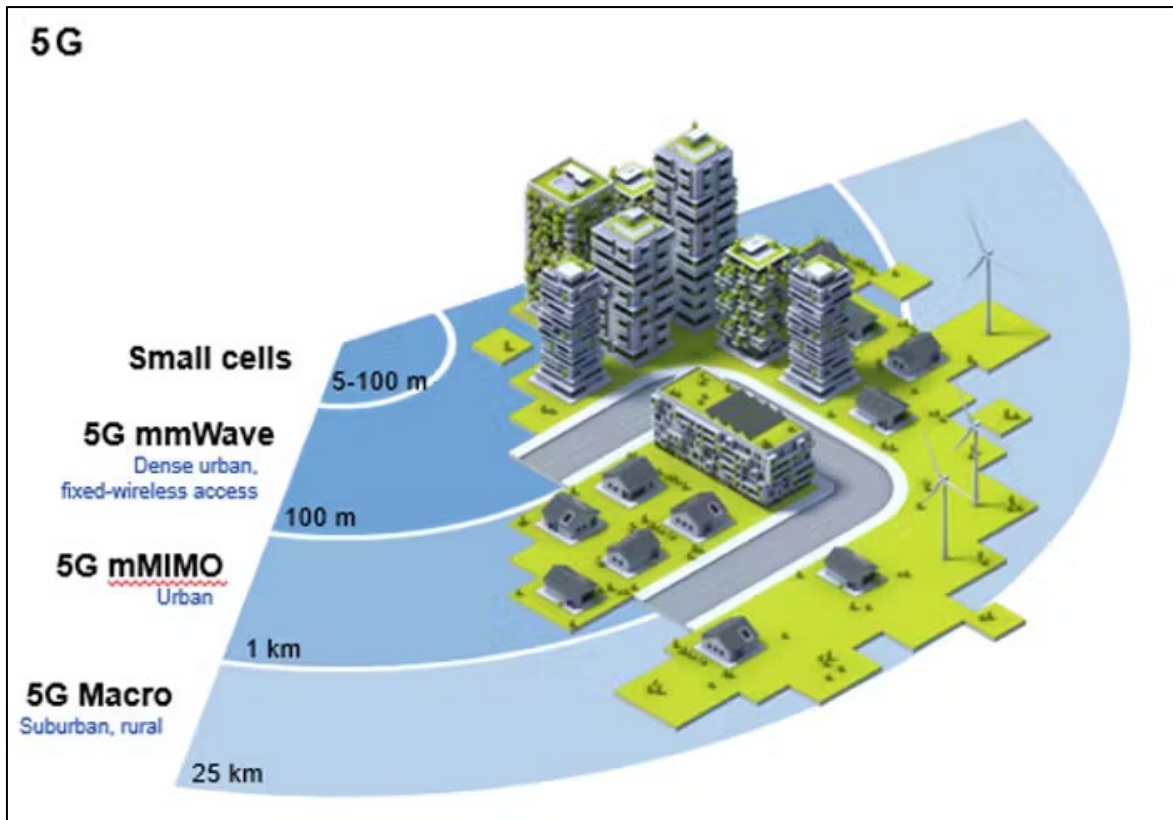
Οι ευρέως αποδεκτές απαιτήσεις 5G περιλαμβάνουν υψηλό ρυθμό δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση, μεγαλύτερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών, καλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και πολύ μεγάλο όγκο κίνησης. Το 5G δεν είναι απλώς μια τροποποιημένη έκδοση του 4G, αλλά μια πλήρης αλλαγή σε κάθε επίπεδο δικτύου [2]. Ορισμένες από τις βασικές απαιτήσεις και τεχνολογίες του 5G παρατίθενται παρακάτω:

## 1. Network Densification

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της απόδοσης, της χωρητικότητας και της κάλυψης του δικτύου, αυξάνοντας τον αριθμό των σημείων πρόσβασης που είναι διαθέσιμα στους χρήστες και μειώνοντας την απόσταση μεταξύ των κόμβων. Σε ένα ασύρματο δίκτυο, η ισχύς του σήματος μειώνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε κακή ποιότητα σήματος, χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και διακοπείσες συνδέσεις [3].

Η παραπάνω μέθοδος προσφέρει κάποια πλεονεκτήματα όπως είναι τα παρακάτω [3]:

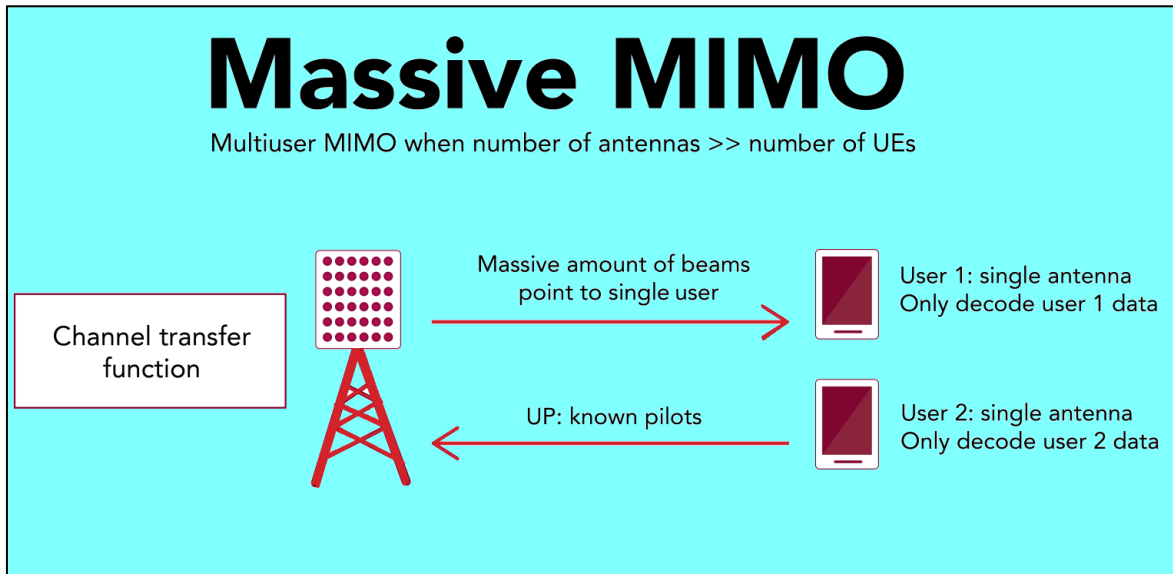
- a. **Αυξημένη χωρητικότητα δικτύου:** Αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου αυξάνοντας τον αριθμό των σημείων πρόσβασης που είναι διαθέσιμα στους χρήστες. Αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να διαχειρίζεται μεγαλύτερη κυκλοφορία, να μειώνει τη συμφόρηση και να παρέχει καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών.
- b. **Βελτιωμένη κάλυψη:** Βελτιώνεται η κάλυψη του δικτύου μειώνοντας την απόσταση μεταξύ των κόμβων. Αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να φτάσει σε περιοχές που προηγουμένως δεν καλύπτονταν ή είχαν κακή ποιότητα σήματος.
- c. **Μειωμένες παρεμβολές:** Μειώνονται οι παρεμβολές βελτιώνοντας το SNR. Το βελτιωμένο SNR μειώνει το θόρυβο και επιτρέπει την ευκολότερη διάκριση του σήματος από το θόρυβο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα σήματος, λιγότερες διακοπόμενες συνδέσεις και υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων.
- d. **Καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών:** Βελτιώνεται η ποιότητα της υπηρεσίας μειώνοντας τη συμφόρηση, βελτιώνοντας την κάλυψη και αυξάνοντας τους ρυθμούς δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη εμπειρία χρήστη, με ταχύτερες λήψεις, λιγότερες διακοπόμενες κλήσεις και υψηλότερη ποιότητα βίντεο.



Εικόνα 2: 5G Densification [4].

## 2. Massive Multiple Input, Multiple Output (mMIMO)

Το Massive MIMO είναι μια ασύρματη τεχνολογία υλικού που επιτρέπει ανώτερη συνδεσιμότητα 5G με τη χρήση πομποδεκτών και δεκτών με περισσότερες από οκτώ ροές. Με τη χρήση πολλαπλών κεραιών, οι φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας μπορούν να διευρύνουν τις περιοχές κάλυψης της κυψέλης και να αυξήσουν τη χωρητικότητα δεδομένων και την απόδοση των χρηστών. Η χωρική πολυπλεξία, η διαμόρφωση δέσμης και άλλες καινοτόμες λύσεις με massive MIMO μπορούν να αναπτυχθούν στο ραδιόφωνο, στη βασική ζώνη ή και στις δύο θέσεις. Η ευελιξία ανάπτυξης που παρέχει το massive MIMO μεταφράζεται σε επέκταση των σημάτων σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, γεγονός που επιτρέπει υψηλό κέρδος διαμόρφωσης δέσμης [5].



Εικόνα 3: Massive MIMO [6].

### 3. millimetre wave (mmWave)

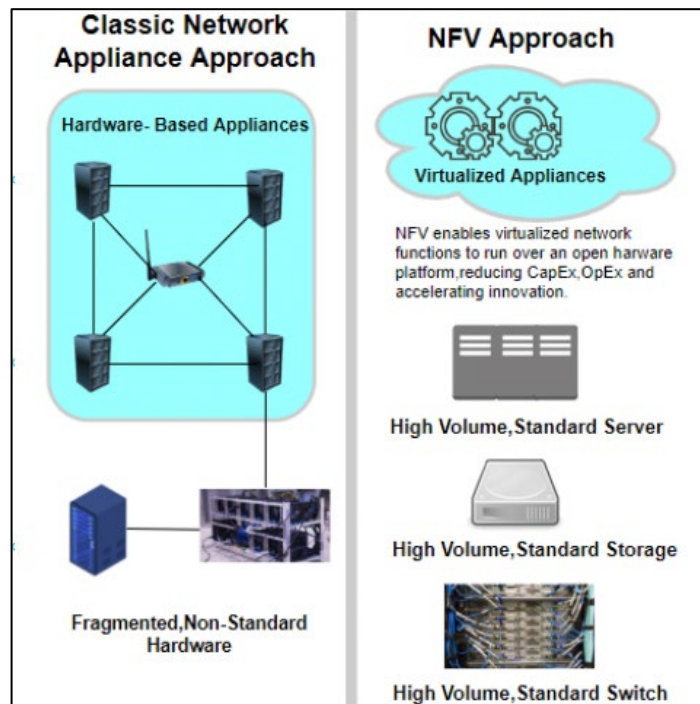
Το mmWave (millimetre wave) είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα υψηλής συχνότητας στην περιοχή 30 έως 300 GHz. Τα δεδομένα μεταφέρονται με την τεχνολογία 5G χρησιμοποιώντας κύματα και η συχνότητά τους καθορίζει την ταχύτητα με την οποία μεταφέρονται τα δεδομένα. Έτσι, όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα ενός κύματος, τόσο πιο γρήγορα θα μεταδίδεται. Ωστόσο, αυτό έχει ένα μειονέκτημα: όσο αυξάνεται η συχνότητα, μειώνεται η ικανότητα διείσδυσης των κυμάτων και δεν μπορούν να περάσουν εύκολα μέσα από στερεά αντικείμενα.

Και τι σχέση έχει το λεγόμενο 5G με το mmWave; Το κύμα χιλιοστού (mmWave) είναι ένα τμήμα του φάσματος ραδιοκυμάτων που χρησιμοποιείται ειδικά για τη μετάδοση δεδομένων στα δίκτυα 5G. Και όπως είπαμε, αυτό έχει ένα πλεονέκτημα (ταχύτητα μετάδοσης) και ένα μειονέκτημα (δυσκολία στο να περάσει μέσα από αντικείμενα και να φτάσει όσο το δυνατόν πιο μακριά) [7].

#### 4. Network Function Virtualization (NFV)

Μια βασική πτυχή των δικτύων 5G είναι η τμηματοποίηση του δικτύου. Για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, η τμηματοποίηση του δικτύου παρέχει τη δυνατότητα διαίρεσης και κλιμάκωσης του δικτύου σε βάση υπηρεσιών και «κατά παραγγελία». Αυτό απαιτεί μια προηγμένη, καθορισμένη από λογισμικό υποδομή που επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών εικονικών δικτύων πάνω σε κοινή φυσική υποδομή. Τα εικονικά δίκτυα μπορούν στη συνέχεια να προσαρμοστούν ώστε να συμμορφώνονται με τις ανάγκες των εφαρμογών, των υπηρεσιών, των συσκευών, των πελατών ή άλλων παγκόσμιων TSP.

Στα δίκτυα 5G, το NFV θα επιτρέψει το διαχωρισμό ενός δικτύου σε πολλαπλά εικονικά δίκτυα που θα μπορούν να υποστηρίξουν διάφορους τύπους υπηρεσιών για τον εκάστοτε πελάτη και τις κάθετες βιομηχανίες. Οι φέτες δικτύου θα είναι απομονωμένες μεταξύ τους, έτσι ώστε η εμπειρία του συνδρομητή να είναι η ίδια σαν να επρόκειτο για ένα φυσικά ξεχωριστό δίκτυο [8].



Εικόνα 4: Classic Deployment vs NFV Deployment [8]

## 5. Self-Interference Cancellation (SIC)

Η ακύρωση αυτοπαρεμβολής (SIC) στα δίκτυα 5G είναι μια εξελιγμένη τεχνική που χρησιμοποιείται για την εξάλειψη των παρεμβολών που εμφανίζονται όταν μια συσκευή εκπέμπει και λαμβάνει ταυτόχρονα σήματα στο ίδιο κανάλι συχνότητας. Αυτή η ικανότητα είναι ζωτικής σημασίας για την ενεργοποίηση της επικοινωνίας πλήρους διπλής όψης, όπου τόσο η μετάδοση όσο και η λήψη συμβαίνουν ταυτόχρονα, βελτιώνοντας έτσι σημαντικά τη φασματική αποδοτικότητα και την απόδοση του δικτύου [9].

Μερικές από τις βασικές έννοιες και η σημασία της ακύρωσης αυτοπαρεμβολής [9]:

### a. Πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία:

Τα συστήματα επικοινωνίας λειτουργούν σε λειτουργία half-duplex όπου η μετάδοση και η λήψη πραγματοποιούνται σε διαφορετικές χρονοθυρίδες ή σε διαφορετικά κανάλια συχνότητας για την αποφυγή παρεμβολών. Η επικοινωνία πλήρους διπλής όψης αποσκοπεί στο διπλασιασμό της χωρητικότητας επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη στο ίδιο κανάλι συχνότητας.

### b. Αυτοπαρεμβολή:

Όταν μια συσκευή εκπέμπει και λαμβάνει σήματα ταυτόχρονα στην ίδια συχνότητα, το εκπεμπόμενο σήμα μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στο λαμβανόμενο σήμα. Αυτή η παρεμβολή είναι γνωστή ως αυτοπαρεμβολή και μπορεί να κατακλύσει τον δέκτη, καθιστώντας δύσκολη την αποκωδικοποίηση του εισερχόμενου σήματος.

### c. Μηχανισμός ακύρωσης αυτοπαρεμβολής (SIC):

Αναλογική SIC: Πριν το σήμα φτάσει στον αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα (ADC) του δέκτη, χρησιμοποιούνται τεχνικές αναλογικής SIC για την αφαίρεση του μεταδιδόμενου σήματος από το λαμβανόμενο σήμα. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση κυκλωμάτων και εξαρτημάτων που μπορούν να αναπαράγουν και να ακυρώσουν το μεταδιδόμενο σήμα.



**Ψηφιακή SIC:** Μετά την ψηφιοποίηση του σήματος, οι ψηφιακές τεχνικές SIC εφαρμόζουν προηγμένους αλγορίθμους επεξεργασίας σήματος για την περαιτέρω μείωση τυχόν εναπομένουσας αυτοπαρεμβολής. Αυτό περιλαμβάνει εξελεγμένους αλγορίθμους που μοντελοποιούν και αφαιρούν την παρεμβολή με βάση τα γνωστά χαρακτηριστικά του μεταδιδόμενου σήματος.

**d. Οφέλη της SIC στο 5G:**

- **Αυξημένη φασματική αποδοτικότητα:** Η SIC διπλασιάζει αποτελεσματικά τη χωρητικότητα δεδομένων ενός καναλιού συχνότητας.
- **Βελτιωμένη απόδοση δικτύου:** Το SIC βελτιώνει τη συνολική απόδοση του δικτύου, επιτρέποντας την ταυτόχρονη επικοινωνία ανοδικής και καθοδικής ζεύξης, μειώνοντας την καθυστέρηση και βελτιώνοντας την εμπειρία του χρήστη.
- **Βελτιωμένη αξιοπιστία:** Το SIC βοηθά στη διατήρηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας του σήματος, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και χαμηλή καθυστέρηση, όπως τα αυτόνομα οχήματα, η επαυξημένη πραγματικότητα και η απομακρυσμένη χειρουργική.

**e. Προκλήσεις:**

- **Πολυπλοκότητα και κόστος:** Η εφαρμογή SIC περιλαμβάνει εξελεγμένο υλικό και λογισμικό, αυξάνοντας την πολυπλοκότητα και το κόστος της δικτυακής υποδομής και των συσκευών των χρηστών.
- **Ακρίβεια της ακύρωσης:** Η επίτευξη τέλει ακύρωσης αποτελεί πρόκληση λόγω των διακυμάνσεων του μεταδιδόμενου σήματος και των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος.

#### f. Εφαρμογές της SIC στο 5G:

- **Small Cells και πυκνά δίκτυα:** Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με πολλές μικρές κυψέλες, η SIC μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποδοτικότητα και τη χωρητικότητα του δικτύου.
- **Συστήματα μαζικής MIMO:** Το SIC βελτιώνει την απόδοση των συστημάτων μαζικής πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (MIMO) μειώνοντας τις παρεμβολές σε περιβάλλοντα με μεγάλο αριθμό κεραιών.

### 6. Software Defined Networking (SDN)

Το Software Defined Networking (SDN) στα δίκτυα 5G είναι μια αλλαγή στην αρχιτεκτονική του δικτύου που διαχωρίζει το επίπεδο ελέγχου από το επίπεδο δεδομένων, επιτρέποντας μια πιο ευέλικτη, προγραμματιζόμενη και αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου. Το SDN είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη και τη λειτουργία των δικτύων 5G, επιτρέποντάς τους να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για υψηλότερο εύρος ζώνης, χαμηλότερη καθυστέρηση και βελτιωμένη συνδεσιμότητα.

Κάποιες από τις βασικές εφαρμογές του SDN είναι:

#### a. Δυναμική διαχείριση της κυκλοφορίας:

Το SDN μπορεί να προσαρμόζει δυναμικά τις ροές κυκλοφορίας για να αποφεύγεται η συμφόρηση, να εξισορροπείται το φορτίο και να δίνονται προτεραιότητες σε κρίσιμες εφαρμογές, εξασφαλίζοντας βέλτιστη απόδοση του δικτύου και εμπειρία χρήστη.

#### b. Ενισχυμένη ασφάλεια:

Το SDN μπορεί να εφαρμόσει κεντρικές πολιτικές ασφαλείας για ανίχνευση και μετριασμό απειλών σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας τη συνολική κατάσταση ασφαλείας των δικτύων 5G.

**c. IoT και έξυπνες πόλεις:**

Το SDN υποστηρίζει την κλιμακούμενη και αποτελεσματική διαχείριση των συσκευών IoT και των υποδομών έξυπνων πόλεων παρέχοντας ευέλικτες και προγραμματιζόμενες δυνατότητες δικτύου.

**d. Ενισχυμένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS):**

Το SDN επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο των πόρων του δικτύου, διασφαλίζοντας ότι οι διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες λαμβάνουν το κατάλληλο επίπεδο QoS. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπως τα αυτόνομα οχήματα, η εξ αποστάσεως υγειονομική περίθαλψη και τα πολυμέσα με εμπυθιστικό περιεχόμενο.

## **7. Aerial Base Stations (ABS)**

Οι εναέριοι σταθμοί βάσης, που συχνά αναπτύσσονται με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών, αποτελούν καινοτόμο λύση για την ενίσχυση της κάλυψης και της χωρητικότητας του δικτύου 5G. Αυτοί οι ιπτάμενοι σταθμοί βάσης είναι εξοπλισμένοι με εξοπλισμό επικοινωνίας 5G και μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα για την παροχή ασύρματης συνδεσιμότητας σε περιοχές όπου οι παραδοσιακές υποδομές δεν υπάρχουν ή είναι ανεπαρκείς. Η τεχνολογία αυτή αξιοποιεί την ευελιξία και την κινητικότητα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες.

Έτσι οι εναέριοι σταθμοί βάσης βρίσκουν εφαρμογή σε:

**a. Ανακούφιση από καταστροφές και αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών:**

Μετά από φυσικές καταστροφές ή καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, οι εναέριοι σταθμοί βάσης μπορούν να αποκαταστήσουν γρήγορα τις υπηρεσίες επικοινωνίας, βοηθώντας τις επιχειρήσεις διάσωσης και αποκατάστασης.

**b. Δημόσιες εκδηλώσεις και προσωρινά hotspots:**

Συχνά απαιτείται προσωρινή ενίσχυση της χωρητικότητας του δικτύου για μεγάλες δημόσιες συγκεντρώσεις, όπως συναυλίες, αθλητικές εκδηλώσεις ή φεστιβάλ. Τα

μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να παρέχουν αυτή την πρόσθετη κάλυψη αποτελεσματικά.

**c. Απομακρυσμένη και αγροτική συνδεσιμότητα:**

Σε απομακρυσμένες ή αραιοκατοικημένες περιοχές όπου η κατασκευή μόνιμων υποδομών είναι ανέφικτη, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να προσφέρουν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για την επέκταση της κάλυψης του δικτύου.

**d. Έξυπνες πόλεις και IoT:**

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που είναι εξοπλισμένα με 5G μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές έξυπνων πόλεων και συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), παρέχοντας συνδεσιμότητα για αισθητήρες, κάμερες και άλλες έξυπνες υποδομές.

**e. Στρατιωτικές και τακτικές επικοινωνίες:**

Ο στρατός μπορεί να χρησιμοποιήσει εναέριους σταθμούς βάσης για τη δημιουργία ασφαλών και αξιόπιστων δικτύων επικοινωνίας στο πεδίο, υποστηρίζοντας τις επιχειρήσεις και ενισχύοντας την επίγνωση της κατάστασης.

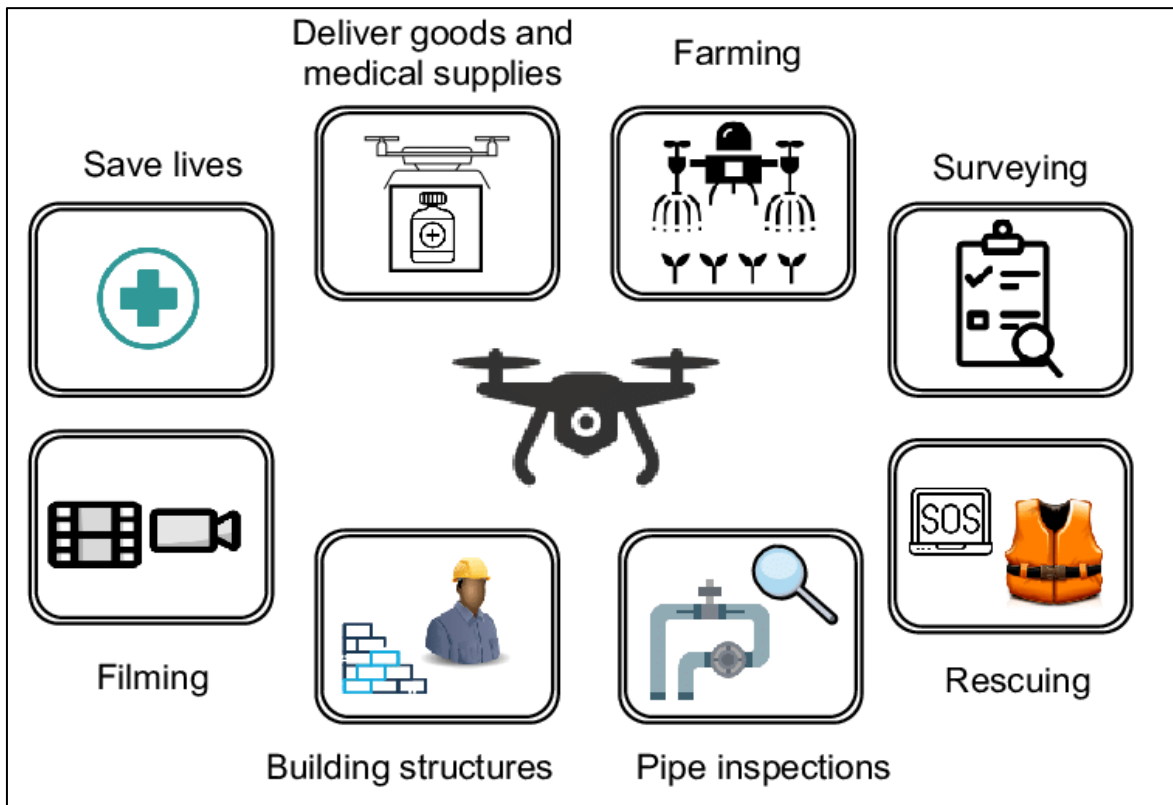
## 2.3 UAVs

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), κοινώς γνωστά ως drones, έχουν αναδειχθεί σε μια μετασχηματιστική τεχνολογία με ευρείες εφαρμογές σε πολλούς κλάδους. Ορίζονται ως αεροσκάφη χωρίς ανθρώπινο πιλότο, τα UAV μπορούν να ελέγχονται εξ αποστάσεως ή να πετούν αυτόνομα με βάση προ-προγραμματισμένα σχέδια πτήσης ή πιο σύνθετα δυναμικά συστήματα αυτοματισμού. Η ευελιξία, η αποδοτικότητά τους και η ικανότητά τους να έχουν πρόσβαση σε δυσπρόσιτες περιοχές τα έχουν καταστήσει ανεκτίμητα εργαλεία τόσο σε πολιτικά όσο και σε στρατιωτικά πλαίσια.

Τα UAVs έχουν πλούσια ιστορία που χρονολογείται από τα στρατιωτικά πειράματα των αρχών του 20ου αιώνα, αλλά οι πρόσφατες εξελίξεις στα υλικά, τους αισθητήρες και τις τεχνολογίες επικοινωνίας είναι αυτές που προώθησαν τη

ραγδαία εξέλιξη και την ευρεία υιοθέτησή τους. Οι εξελίξεις αυτές έχουν οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στη σταθερότητα της πτήσης, τη χωρητικότητα του ωφέλιμου φορτίου και την εμβέλεια, ανοίγοντας νέες δυνατότητες για εφαρμογές UAV.

Σε μη στρατιωτικούς τομείς, τα UAV φέρνουν επανάσταση σε κλάδους όπως η γεωργία, όπου χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των καλλιεργειών και τη γεωργία ακριβείας, τα logistics, όπου διευκολύνουν τις υπηρεσίες παράδοσης του τελευταίου μιλίου, και η προστασία του περιβάλλοντος, όπου βοηθούν στην παρακολούθηση της άγριας ζωής και στις προσπάθειες καταπολέμησης της λαθροθηρίας. Επιπλέον, τα UAV διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση καταστροφών, παρέχοντας δεδομένα και εικόνες σε πραγματικό χρόνο για επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης και εκτίμησης ζημιών [10].



Εικόνα 4: Application of UAVs in various fields [10]

Οι στρατιωτικές εφαρμογές των UAV παραμένουν εκτεταμένες και κρίσιμες, από αποστολές πληροφοριών, επιτήρησης και αναγνώρισης (ISR) έως πολεμικούς ρόλους, όπου μπορούν να διεξάγουν πλήγματα ακριβείας ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή. Η ικανότητά τους να επιχειρούν σε εχθρικά περιβάλλοντα και να παρέχουν λεπτομερή επίγνωση της κατάστασης τα καθιστά απαραίτητα μέσα για τις σύγχρονες ένοπλες δυνάμεις [11].

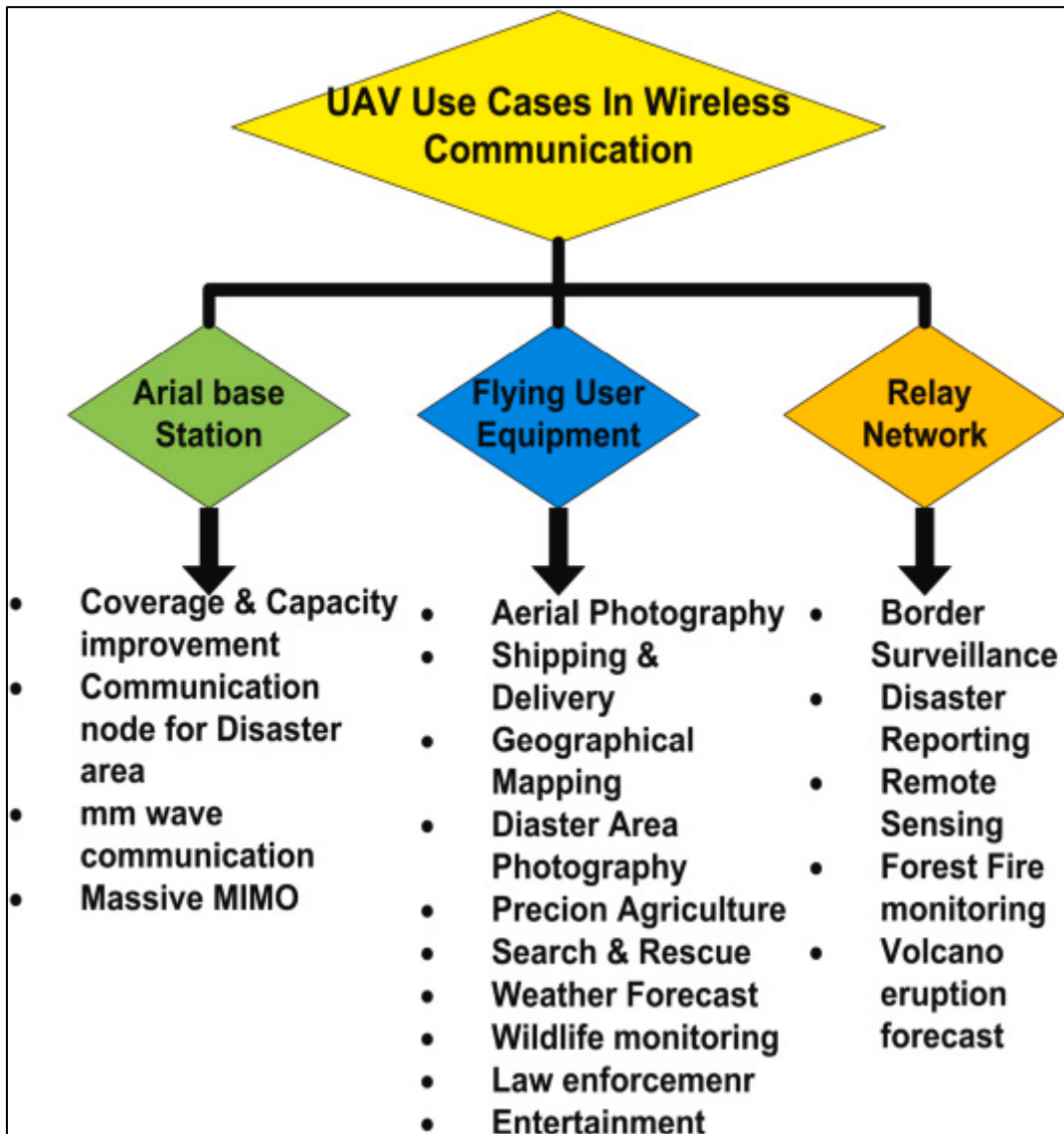
Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματά τους, τα UAV ενέχουν επίσης σημαντικές προκλήσεις και ανησυχίες. Ζητήματα όπως η ρύθμιση του εναέριου χώρου, η προστασία της ιδιωτικής ζωής, η ασφάλεια και η πιθανότητα κακής χρήσης απαιτούν ολοκληρωμένα πλαίσια και πολιτικές για να διασφαλιστεί η ασφαλής και ηθική λειτουργία τους. Επιπλέον, οι τεχνολογικές προκλήσεις που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, την αυτόνομη πλοήγηση και την αποφυγή συγκρούσεων συνεχίζουν να οδηγούν την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα αυτό.

Συμπερασματικά, τα UAV αντιπροσωπεύουν μια δυναμική και ταχέως εξελισσόμενη τεχνολογία με τη δυνατότητα να επηρεάσουν σημαντικά ένα ευρύ φάσμα τομέων. Καθώς οι δυνατότητές τους διευρύνονται και το κόστος τους μειώνεται, τα UAV είναι πιθανό να ενσωματωθούν ακόμη περισσότερο στις καθημερινές επιχειρήσεις, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια και την καινοτομία. Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στη διερεύνηση της τρέχουσας κατάστασης της τεχνολογίας UAV, των εφαρμογών, των προκλήσεων και των μελλοντικών προοπτικών της, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση του βαθύτατου αντίκτυπου των UAV στη σύγχρονη κοινωνία.

## **2.4 Εφαρμογές των UAVs**

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), που συνήθως αναφέρονται ως drones, έχουν εξελιχθεί γρήγορα από εξειδικευμένα εργαλεία σε κρίσιμα περιουσιακά στοιχεία σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Ορίζονται ως αεροσκάφη χωρίς ανθρώπινο πιλότο, τα UAV μπορούν να ελέγχονται εξ αποστάσεως ή αυτόνομα βάσει εξελιγμένων αλγορίθμων και προ-προγραμματισμένων διαδρομών πτήσης. Οι μοναδικές τους δυνατότητες τους επιτρέπουν να εκτελούν εργασίες που

είναι δύσκολες, επικίνδυνες ή αδύνατες για τα επανδρωμένα αεροσκάφη, καθιστώντας τα ανεκτίμητα σε τομείς όπως η γεωργία, η εφοδιαστική, η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η αντιμετώπιση καταστροφών και οι στρατιωτικές επιχειρήσεις.



Εικόνα 5: UAV use cases [14]

Μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές που ενισχύονται από τα UAV με δυνατότητα 5G είναι:

**a. Γεωργία:**

Η γεωργία ακριβείας μπορεί να φέρει επανάσταση με την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και την ανάλυση δεδομένων, οδηγώντας σε αποτελεσματικότερη χρήση των πόρων και βελτιωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών. Σκοπός του παρόντος σχεδίου είναι η συλλογή γεωργικών δεδομένων όπως η εδαφική υγρασία, η θερμοκρασία, οι μολυσμένες καλλιέργειες και άλλες σημαντικές παράμετροι που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αύξηση των καλλιεργειών [12].

**b. Εφοδιαστική και παράδοση:**

Τα UAV με δυνατότητα 5G μπορούν να εκσυγχρονίσουν την εφοδιαστική, παρέχοντας ταχύτερες και πιο αξιόπιστες υπηρεσίες παράδοσης, ιδίως σε αστικές και απομακρυσμένες περιοχές [13]. Βοηθούν σε τομείς όπως είναι:

- **Παράδοση τελευταίου μιλίου:**

Τα UAV μπορούν να χειριστούν αποτελεσματικά την παράδοση του τελευταίου χιλιομέτρου, μειώνοντας τους χρόνους και το κόστος παράδοσης, ιδίως σε αστικές περιοχές με μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση, όπου τα παραδοσιακά οχήματα παράδοσης αντιμετωπίζουν σημαντικές καθυστερήσεις.

Σε απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να γεφυρώσουν το χάσμα όπου τα συμβατικά δίκτυα εφοδιαστικής είναι αραιά ή ανύπαρκτα [13].

- **Επείγουσες και κρίσιμες μεταφορές:**

Τα UAV μπορούν να παραδώσουν κρίσιμες προμήθειες, όπως ιατρικό εξοπλισμό, φάρμακα και προμήθειες έκτακτης ανάγκης, γρήγορα σε τοποθεσίες που είναι δύσκολο να προσεγγιστούν με επίγειες μεταφορές, ιδίως κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών ή έκτακτων αναγκών.



Μπορούν επίσης να υποστηρίξουν την έγκαιρη παράδοση βασικών ειδών, μειώνοντας την ανάγκη για μεγάλα αποθέματα και εξασφαλίζοντας την έγκαιρη διαθεσιμότητα κρίσιμων προμηθειών[13].

- **Ηλεκτρονικό εμπόριο και λιανική πώληση:**

Οι γίγαντες του ηλεκτρονικού εμπορίου και οι λιανοπωλητές μπορούν να αξιοποιήσουν τα UAV για γρήγορη και αποτελεσματική παράδοση των ηλεκτρονικών παραγγελιών, ενισχύοντας την ικανοποίηση των πελατών με ταχύτερους χρόνους παράδοσης.

Τα UAV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παράδοση ευπαθών αγαθών, διασφαλίζοντας ότι αυτά φτάνουν στους πελάτες στην πιο φρέσκια κατάσταση [13].

- **Διαχείριση αποθηκών και αποθεμάτων:**

Μέσα σε μεγάλες αποθήκες, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση των αποθεμάτων, πραγματοποιώντας ελέγχους αποθεμάτων και εντοπίζοντας αντικείμενα, μειώνοντας το χρόνο και το κόστος εργασίας που σχετίζονται με αυτές τις εργασίες.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν επίσης να διευκολύνουν τη μεταφορά εμπορευμάτων μεταξύ διαφορετικών τμημάτων μιας αποθήκης ή μεταξύ κοντινών αποθηκών [13].

- **Δημόσια ασφάλεια και διαχείριση καταστροφών:**

Τα UAV που είναι εξοπλισμένα με 5G μπορούν να παρέχουν άμεση επίγνωση της κατάστασης και να υποστηρίξουν επιχειρήσεις διάσωσης, παρέχοντας τροφοδοσία βίντεο σε πραγματικό χρόνο και δυνατότητες επικοινωνίας. Βοηθούν σε τομείς όπως είναι:

**a. Επιτήρηση και παρακολούθηση ασφαλείας:**

- **Περιμετρική ασφάλεια:** Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να περιπολούν στις περιμέτρους κρίσιμων υποδομών, όπως σταθμοί παραγωγής ενέργειας, αεροδρόμια και στρατιωτικές **βάσεις**, παρέχοντας βίντεο σε πραγματικό χρόνο και ανιχνεύοντας πιθανές απειλές.
- **Ασφάλεια εκδηλώσεων:**  
Κατά τη διάρκεια μεγάλων δημόσιων εκδηλώσεων, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να παρακολουθούν τα πλήθη και να ανιχνεύουν ύποπτες δραστηριότητες, βοηθώντας το προσωπικό ασφαλείας να ανταποκρίνεται άμεσα σε περιστατικά.

**b. Επιθεώρηση υποδομών:**

- **Ενέργεια:**  
Εντοπίζοντας βλάβες ή ζημιές και μειώνοντας την ανάγκη για χειροκίνητες επιθεωρήσεις που μπορεί να είναι επικίνδυνες και χρονοβόρες.
- **Γέφυρες και κτίρια:**  
Για επιθεωρήσεις πολιτικού μηχανικού, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να αξιολογήσουν τη δομική ακεραιότητα γεφυρών, κτιρίων και άλλων κατασκευών, παρέχοντας λεπτομερείς εικόνες και δεδομένα για ανάλυση.

**c. Αντιμετώπιση και διαχείριση καταστροφών:**

- **Έρευνα και διάσωση:**  
Σε περιοχές που πλήττονται από καταστροφές, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να εντοπίζουν γρήγορα επιζώντες, να αξιολογούν τις ζημιές και να παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο στις ομάδες διάσωσης, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των προσπαθειών αντιμετώπισης.

- **Περιβαλλοντική παρακολούθηση:**

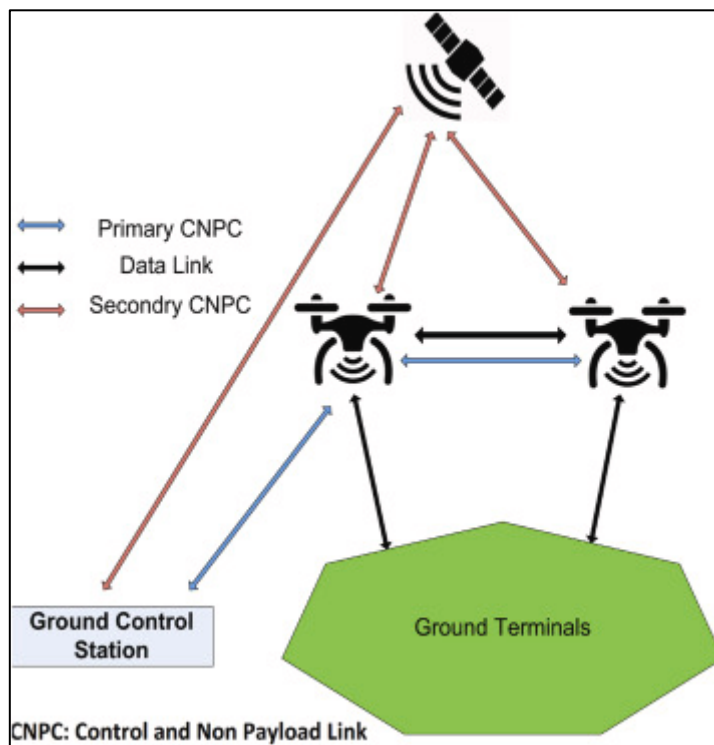
Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να παρακολουθούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η ποιότητα του αέρα, τα επίπεδα ακτινοβολίας και οι διαρροές επικίνδυνων υλικών, παρέχοντας κρίσιμα δεδομένα για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών.

**Πίνακας 1:** Drone Based Applications [13].

Application Sector	Company	Drone Based Application	Starting Year of R&D	Application is Developed / Under Development
Delivery	Amazon	Home deliveries of products with in 24 KM of range	2013	Developed
	Alphabet	For delivery	2014	Application is developed got the air-carrier certification from FAA and have legal permission to deliver the products
	Uber	For foods delivery	2018	Under Development
	JD.com	For delivery	n/a	Developed
	UPS	For delivery the vaccines	2016	Developed
	Walmart	For delivery	2016	Under Development
	DHL	For delivery	2013	Under Development
Security and Inspection	FedEx	Drones for maintaining aircraft and inspecting runway	n/a	Application is developed, soon FedEx will use UAVs at Memphis International Airport
	GE	Inspection of manufacturing sectors	2014	Developed
	easyJet	To inspect the aircrafts	2015	Under Development
	IBM	To Visualize the natural disaster in real-time	2016	Under Development
Entertainment	Intel	For entertainment purposes like light shows, dancing drones, etc..	n/a	Application is developed, used for the sports, concerts and entertainment
	BBC	Real-time news broadcasting	2013	Developed
Maps and Navigation	Apple	To enhance the maps and navigation	2012	Developed
Internet Connectivity	Facebook/Meta	To provide internet connectivity	2014	Terminated the program in the year 2018
Agriculture	Microsoft and DJI	To gather the agricultural data	2015	Under Development

## 2.5 Αρχιτεκτονική δικτύου UAV

Δύο βασικές κατηγορίες συνδέσεων επικοινωνίας χρησιμοποιούνται στην ασύρματη επικοινωνία με τη βοήθεια UAV.



Εικόνα 6: UAV control diagram. [14]

### a. Οι συνδέσεις ελέγχου και μη φορτίου (CNPC):

Αυτές οι συνδέσεις είναι απαραίτητες για όλα τα UAV για τον έλεγχο της όλης λειτουργίας επικοινωνίας μεταξύ UAV και τελικών χρηστών. Χρησιμοποιούνται για την ασφαλή μεταφορά πληροφοριών στη σύνδεση UAV προς UAV, UAV προς επίγειο σταθμό ελέγχου. Υπάρχουν επίσης αυτόνομα UAV. Μπορούν να ολοκληρώσουν τις αποστολές τους με τη βοήθεια των ενσωματωμένων υπολογιστών και δεν απαιτούν ανθρώπινο έλεγχο για την εκπλήρωση της αποστολής τους. Αλλά οι συνδέσεις CNPC δημιουργούνται επίσης και για αυτόνομα συστήματα για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Ένα άλλο είδος συνδέσεων ελέγχου που ονομάζεται σύνδεσμος ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας (ATC) εμπλέκεται επίσης στην αποστολή με τη βοήθεια UAV, εάν τα UAV

βρίσκονται εντός της εμβέλειας κάποιου ελεγχόμενου εναέριου χώρου. Η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για τις συνδέσεις CNPC είναι η ζώνη L και η ζώνη C που είναι (960-977 MHz) και (5030-5091 MHz), αντίστοιχα [14].

Επιπλέον, υπάρχουν δύο τύποι συνδέσμων CNPC, οι οποίοι παρατίθενται κατωτέρω [14]:

- Η απευθείας σύνδεση μεταξύ του επίγειου σταθμού ελέγχου και του UAV ονομάζεται πρωτογενής σύνδεση CNPC. Προσφέρει μικρότερη καθυστέρηση, οπότε προτιμάται πάντα.
- Δευτερεύουσα CNPC Υπάρχουν επίσης δευτερεύουσες συνδέσεις CNPC μέσω κάποιας πλατφόρμας μεγάλου ύψους. Προσφέρουν μεγαλύτερη καθυστέρηση, αλλά προτιμώνται για την αξιοπιστία και την ευρωστία της σύνδεσης.

**b. Σύνδεση δεδομένων:**

Οι ζεύξεις δεδομένων υποστηρίζουν τις επικοινωνίες για τα επίγεια τερματικά, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν επίγεια BS, πύλες, UE (κινητά τερματικά) κ.λπ. Η χωρητικότητα των ζεύξεων δεδομένων ποικίλλει από μερικά kbps στη διαδρομή UAV-αισθητήρα έως Gbps σε ασύρματα backhauls. Έχουν χαλαρές απαιτήσεις καθυστέρησης και ασφάλειας σε σύγκριση με τις συνδέσεις CNPC. Η ζώνη συχνοτήτων (LTE) που ήδη χρησιμοποιείται σε κάποια εφαρμογή μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή να γίνει αποκλειστική κατανομή φάσματος (mm-Wave) για συνδέσεις δεδομένων [14]. Οι ζεύξεις δεδομένων UAV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τους ακόλουθους τύπους επικοινωνίας [14]:

- Επικοινωνία κινητού-UAV σε περίπτωση εκφόρτωσης BS ή πλήρους δυσλειτουργίας BS.
- Ασύρματη οπισθοδρόμηση UAV-BS και UAV-gateway.
- Ασύρματο backhaul UAV-UAV

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Για την πτήση ενός drone για κάθε είδους εφαρμογή υπάρχουν ορισμένοι συγκεκριμένοι κανόνες και κανονισμοί, οι οποίοι εφαρμόζονται τόσο σε εφαρμογές για χομππίστες όσο και σε εμπορικές επιχειρήσεις. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA) έχει αναπτύξει αυτούς τους κανόνες για να καταστήσει πιο ασφαλείς και ρυθμιζόμενες τις λειτουργίες των drone. Στην παρούσα ενότητα θα συζητηθούν οι κανόνες του EASA για τις πτήσεις με μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Παράλληλα, θα κάνουμε αναφορά στις τεχνικές παραμέτρους που είναι απαραίτητες για την επικοινωνία και την πλοήγηση των drone με βάση την τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας 5G [13].

#### 3.1 Παγκόσμιοι κανονισμοί και κανόνες

Ακολουθούν σύντομες πληροφορίες σχετικά με τους κανονισμούς του EASA που ακολουθούνται από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης μαζί με τη Νορβηγία, την Ισλανδία, το Λιχτενστάιν και το Ηνωμένο Βασίλειο [15].

- Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος δεν πρέπει να πετάει πάνω από 120 μέτρα ή 400 πόδια πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.
- Απαγορεύεται η λειτουργία drones σε απόσταση μικρότερη των 150 m από πολυσύχναστη περιοχή.
- Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που έχουν βάρος μικρότερο από 250g (A1 Drones), μπορούν να λειτουργούν πάνω από

ανθρώπους. Drones με βάρος μεγαλύτερο από 250g αλλά μικρότερο από 2 Kg (A2-Drones) πρέπει να λειτουργούν σε απόσταση τουλάχιστον 50 μέτρων από ανθρώπους. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη με βάρος άνω των 2 κιλών πρέπει να λειτουργούν πολύ μακριά από ανθρώπους.

- Οι χειριστές των μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα πρέπει να έχουν άδεια λειτουργίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.
- Απαγορεύεται η λειτουργία μη επανδρωμένων αεροσκαφών εντός περιμέτρου 1 χλμ. της αεροπορικής βάσης χωρίς άδεια.
- Κατά την πτήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών οι χειριστές πρέπει να κοιτάζουν πάντα τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη για να αποφεύγονται κάθε είδους εισβολές. Θα πρέπει να κοιτάζουν την οθόνη για να ρυθμίζουν μόνο το πλαίσιο για τη λήψη της λήψης ή για να ελέγξουν την μπαταρία [16]. Εάν ο χειριστής πετάει τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη στη γραμμή του χώρου, τότε η απόσταση λειτουργίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 500 m.

### **3.2 Τεχνικές παράμετροι επικοινωνίας**

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G στις λειτουργίες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών βελτιώνει σημαντικά τις δυνατότητες επικοινωνίας και πλοήγησης. Για την αποτελεσματική αξιοποίηση, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες βασικές παράμετροι για να διασφαλιστούν αξιόπιστες, αποτελεσματικές και ασφαλείς λειτουργίες των drone.

Για να επιτευχθεί ασφαλής και αξιόπιστη επικοινωνία για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιούν ένα κυψελοειδές σύστημα επικοινωνίας (5G), τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη πρέπει να ανταλλάσσουν πληροφορίες με τον πιλότο, με άλλα κοντινά μη επανδρωμένα αεροσκάφη ή UAV και κυρίως με το σύστημα ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας. Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται UAV Control and Non-payload Communication (CNPC)[17]. Ταυτόχρονα, ανάλογα με τις εφαρμογές, ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος πρέπει να μεταδίδει ή να λαμβάνει έγκαιρα πληροφορίες που σχετίζονται με την αποστολή που του έχει ανατεθεί, όπως εικόνες, βίντεο και πακέτα δεδομένων από επίγειες οντότητες προς το μη επανδρωμένο αεροσκάφος και αντίστροφα. Η λειτουργία αυτή είναι γνωστή ως επικοινωνία ωφέλιμου φορτίου. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής UAV σε μεγάλη

κλίμακα η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει κατηγοριοποιήσει το CNPC στην ακόλουθη ενότητα [13]:

- **Επικοινωνία διοίκησης και ελέγχου UAV (C2):**  
Αυτός ο τύπος επικοινωνίας περιλαμβάνει την κατάσταση του UAV ή του drone, ένα σήμα ελέγχου σε πραγματικό χρόνο από τον πιλότο στο UAV και ενημερώσεις εντολών πτήσης.
- **Επικοινωνία αναμετάδοσης ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας (ATC):**  
Επικοινωνία μεταξύ του συστήματος ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας και του χειριστή UAV μέσω αναμετάδοσης ATC.
- **Επικοινωνία για ανίχνευση και αποφυγή σύγκρουσης:**  
Ικανότητα ανίχνευσης και αποφυγή σύγκρουσης από κοντινά UAV και έδαφος.

Η επικοινωνία ωφέλιμου φορτίου και το CNPC απαιτούν διαφορετικό σύνολο φάσματος. Ο πίνακας 2 και ο πίνακας 3 αντιπροσωπεύουν τα σημεία κλειδιά του δικτύου για την επικοινωνία UAV [13].

### **UAV Control and Non-payload Communication**

Ο Πίνακας 2 αντιπροσωπεύει τις απαιτούμενες παραμέτρους QoS για την επικοινωνία CNPC. Εδώ, η μετάδοση δεδομένων ανοδικής ζεύξης (UL) αντιπροσωπεύει μηνύματα από το UAV προς την πλευρά του δικτύου και η μετάδοση δεδομένων καθοδικής ζεύξης (DL) αντιπροσωπεύει μηνύματα από το δίκτυο προς το UAV. Η επικοινωνία ελέγχου και εντολών είναι αμφίδρομη επικοινωνία και μπορεί να ενσωματωθεί με βίντεο για τον έλεγχο της λειτουργίας των UAV. Επομένως, όταν ένα μήνυμα C2 αποστέλλεται με βίντεο, η απαιτούμενη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο είναι 1 δευτερόλεπτο. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας είναι απαραίτητο ένα θετικό μήνυμα επιβεβαίωσης για τη μετάδοση στην κάτω ζεύξη [13]. Από την άλλη πλευρά, όταν ένα μήνυμα C2 αποστέλλεται χωρίς βίντεο, η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο θα είναι μικρότερη από 40 χιλιοστά



του δευτερολέπτου. Αυτή η λειτουργία απαιτεί επίσης θετική επιβεβαίωση στην καθοδική ζεύξη μετάδοσης. Για την επικοινωνία με τον αναμεταδότη ATC, η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο θα πρέπει να μην υπερβαίνει τα 5 δευτερόλεπτα. Για την ανίχνευση και την αποφυγή σύγκρουσης με άλλα UAV και το εδάφος, η καθυστέρηση για τη μετάδοση ανοδικής ζεύξης πρέπει να είναι μικρότερη από 140 milliseconds και στη μετάδοση κάτω ζεύξης η απαιτούμενη καθυστέρηση είναι 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Σε αυτή τη λειτουργία, η αξιοπιστία του δικτύου πρέπει να είναι 99,99% για τη μετάδοση ανοδικής ζεύξης και 99% για τη μετάδοση στην κάτω ζεύξη. Ωστόσο, η αξιοπιστία του δικτύου θα πρέπει να είναι 99,9% για τον υπόλοιπο τρόπο επικοινωνίας[18].

**Πίνακας 2:** UAV Control and Non-Payload Communication Requirements [18].

Control and Non-Payload Communication	Message Interval (UP/DL)	Message Size (UP/DL)(byte)	Max UAV Speed (km/h)	End-To-End Latency (UP/DL)	Reliability (UP/DL)	ACK (UP/DL)
Control & Command Message (Without Video)	1s/ >=1s	84-140/100	300	1s/1s	99.9%	Not Required/Required
Control & Command Message (With Video)	40ms/40ms	84-120/24	60	40ms/40ms	99.9%	Not Required/Required
Communication with UTM or ATC	1s/1s	1500/10K	300	5s/5s	99.9%	Required/Required
Detect & Avoid Collision With Other UAV	500ms/500ms	4K/4K	50	140ms/10ms	99.99%/99%	Required/Required

### UAV Payload Communication

Η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας 5G πρέπει να είναι ικανή να μεταδίδει δεδομένα που συλλέγονται από την οντότητα που είναι εγκατεστημένη σε UAV, όπως μια κάμερα για τη μετάδοση εικόνων, βίντεο και αρχείων δεδομένων. Ανάλογα με τις εφαρμογές, τα UAV απαιτούν διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας (QoS) ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης. Ο πίνακας 3 αντιπροσωπεύει τις απαιτήσεις επικοινωνίας ωφέλιμου φορτίου UAV. Για τη μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση ενός UAV σε ύψος έως 100 μέτρα πάνω από το επίπεδο του εδάφους απαιτείται ρυθμός δεδομένων 100 Mbps για τη μετάδοση ανερχόμενης ζεύξης και 600 Kbps για τη μετάδοση κατερχόμενης ζεύξης.

Η επιτρεπόμενη καθυστέρηση είναι 200 και 20 χιλιοστά του δευτερολέπτου για τη μετάδοση ανοδικής και καθοδικής ζεύξης αντίστοιχα. Η χρήση ενός UAV για επιτήρηση απαιτεί 20 χιλιοστά του δευτερολέπτου καθυστέρηση από άκρο σε άκρο τόσο στην ανοδική όσο και στην καθοδική μετάδοση. Ο βασικός ρυθμός δεδομένων για αυτού του είδους την εφαρμογή είναι 120 Mbps για την ανερχόμενη ζεύξη και 50 Mbps για την κατερχόμενη ζεύξη. Για τον έλεγχο ενός UAV μέσω βίντεο HD, όπου η ταχύτητα του UAV είναι μικρότερη από 160 km/h, ο απαιτούμενος ρυθμός δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης είναι 25 Mbps και ο ρυθμός δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης είναι 20 Mbps. Για αυτό το είδος εφαρμογής, η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο είναι 100 και 20 χιλιοστά του δευτερολέπτου για τη μετάδοση ανοδικής και καθοδικής ζεύξης [18] αντίστοιχα.

Ο πίνακας 4 παρουσιάζει τις απαιτήσεις επικοινωνίας για τα διάφορα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που βασίζονται σε περιπτώσεις χρήσης. Οι απαιτήσεις αυτές δημοσιεύονται από την China Mobile [19].

**Πίνακας 3:** UAV Payload Communication Requirements [18].

UAV Applications	Above Ground Level (m)	Max UAV Speed (km/h)	End-To-End Latency (UP/DL)(ms)	Data Rate (UP/DL)
8K Video Real-Time Broadcasting	<100	60	200/20	100 Mbps/600 kbps
4X4K AI Surveillance	<200	60	20/20	120 Mbps/50 Mbps
Remote UAV Controller Through HD Video	<300	160	100/20	25 Mbps/300 kbps

**Πίνακας 4.** Communication Requirements for Drone Based Applications [19]

Drone Based Application Sector	Coverage Height (m)	End-To-End Latency (ms)	Throughput Requirements (UL/DL)
Delivery of Goods	100	500	200 kbps/300 kbps
Videography and Image Capturing	100	500	30 Mbps/300 kbps
Security and Inspection	100	3000	10 Mbps/300 kbps
Drone Fleet Show	200	100	200 kbps/200 kbps
Agriculture	300	500	200 kbps/300 kbps
Rescue Mission	100	500	6 Mbps/300 kbps

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

Η επικοινωνία στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV) χωρίζεται κυρίως σε δύο κρίσιμες συνιστώσες: Επικοινωνία Διοίκησης και Ελέγχου (C2), συχνά αναφερόμενη ως Επικοινωνία Διοίκησης και Μη Ωφέλιμου Φορτίου (CNPC), και Επικοινωνία Ωφέλιμου Φορτίου. Οι συνιστώσες αυτές εξυπηρετούν διακριτές αλλά συμπληρωματικές λειτουργίες, απαραίτητες για την αποτελεσματική και ασφαλή λειτουργία των UAV. Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε αυτές τις δύο μεθόδους:

## **Command and Non-Payload Communication (CNPC)**

Το CNPC αναφέρεται στη σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ του UAV και του επίγειου σταθμού ελέγχου που διαχειρίζεται τα σήματα εντολών και ελέγχου που απαιτούνται για την πλοήγηση, τη λειτουργία και τον έλεγχο του UAV. Αυτό περιλαμβάνει δεδομένα τηλεμετρίας, εντολές πτήσης και εισόδους ελέγχου.

Κύρια χαρακτηριστικά:

### **1. Σκοπός:**

- Εξασφαλίζει τον ασφαλή και ακριβή έλεγχο του UAV.
- Διευκολύνει την τηλεμετρία σε πραγματικό χρόνο και την παρακολούθηση της κατάστασης του UAV.
- Κρίσιμο για την πλοήγηση, τη σταθερότητα της πτήσης και την τήρηση των κανονιστικών απαιτήσεων.

### **2. Καθυστέρηση:**

- Απαιτεί εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση για να εξασφαλιστεί η έγκαιρη εκτέλεση εντολών και η άμεση απόκριση στις εισόδους ελέγχου.
- Η χαμηλή καθυστέρηση είναι απαραίτητη για προσαρμογές σε πραγματικό χρόνο και αποφυγή συγκρούσεων.

### **3. Αξιοπιστία και πλεονασμός:**

- Για την αποφυγή απώλειας ελέγχου είναι απαραίτητες οι εξαιρετικά αξιόπιστες και πλεονάζουσες συνδέσεις επικοινωνίας.
- Συχνά χρησιμοποιούνται πολλαπλά κανάλια επικοινωνίας (π.χ. κύρια και εφεδρικά) για την ενίσχυση της αξιοπιστίας.

#### **4. Εύρος ζώνης:**

- Γενικά απαιτεί χαμηλότερο εύρος ζώνης σε σύγκριση με την επικοινωνία ωφέλιμου φορτίου, δεδομένου ότι μεταδίδει κυρίως σήματα ελέγχου και δεδομένα τηλεμετρίας, τα οποία είναι λιγότερο απαιτητικά σε δεδομένα.
- Τα τυπικά δεδομένα περιλαμβάνουν συντεταγμένες GPS, ταχύτητα, υψόμετρο και άλλες παραμέτρους πτήσης.

#### **5. Ασφάλεια:**

- Η υψηλή ασφάλεια είναι απαραίτητη για την αποφυγή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης και ελέγχου του UAV.
- Για τη διασφάλιση των συνδέσεων CNPC χρησιμοποιούνται κρυπτογράφηση και ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας.

#### **6. Κανονιστική συμμόρφωση:**

- Πρέπει να συμμορφώνεται με τα ρυθμιστικά πρότυπα της αεροπορίας, τα οποία υπαγορεύουν συγκεκριμένες συχνότητες και πρωτόκολλα επικοινωνίας για να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία εντός του κοινού εναέριου χώρου.

### **UAV Payload Communication**

Η επικοινωνία με ωφέλιμο φορτίο αναφέρεται στη μετάδοση δεδομένων που συλλέγονται από το ωφέλιμο φορτίο του UAV, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει κάμερες, αισθητήρες και άλλο ειδικό εξοπλισμό για την αποστολή. Τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται στον επίγειο σταθμό ελέγχου ή σε άλλα τελικά σημεία για επεξεργασία και ανάλυση.

Κύρια χαρακτηριστικά:

### **1. Σκοπός:**

- Διευκολύνει τη συλλογή και τη μετάδοση δεδομένων ειδικών για την αποστολή, όπως εικόνες, βίντεο, περιβαλλοντικές μετρήσεις και άλλα δεδομένα αισθητήρων.
- Υποστηρίζει διάφορες εφαρμογές, όπως επιτήρηση, χαρτογράφηση, επιθεώρηση και συλλογή δεδομένων.

### **2. Καθυστέρηση:**

- Αν και η χαμηλή καθυστέρηση είναι επωφελής, είναι λιγότερο κρίσιμη σε σύγκριση με την CNPC. Ωστόσο, για εφαρμογές που απαιτούν ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (π.χ. ζωντανή ροή βίντεο), η χαμηλή καθυστέρηση εξακολουθεί να είναι σημαντική.
- Ορισμένα δεδομένα ωφέλιμου φορτίου μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία με μεγαλύτερη καθυστέρηση, ανάλογα με την περίπτωση χρήσης.

### **3. Εύρος ζώνης:**

- Απαιτεί υψηλότερο εύρος ζώνης για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, ειδικά για βίντεο υψηλής ευκρίνειας και εικόνες υψηλής ανάλυσης.
- Το απαιτούμενο εύρος ζώνης εξαρτάται από τον τύπο και την ποιότητα των δεδομένων που μεταδίδονται.

#### **4. Αξιοπιστία:**

- Η αξιοπιστία είναι σημαντική αλλά συνήθως λιγότερο κρίσιμη από την CNPC. Η περιοδική απώλεια δεδομένων μπορεί να γίνει ανεκτή σε ορισμένες εφαρμογές ωφέλιμου φορτίου, αν και προτιμάται η συνεχής και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων.
- Χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές συμπίεσης για τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης δεδομένων και τη διαχείριση της χρήσης εύρους ζώνης.

#### **5. Ασφάλεια:**

- Η ασφάλεια είναι σημαντική για την προστασία των ευαίσθητων δεδομένων που μεταδίδονται από το ωφέλιμο φορτίο του UAV.
- Χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα κρυπτογράφησης και ασφαλούς μετάδοσης για τη διασφάλιση της ακεραιότητας και της εμπιστευτικότητας των δεδομένων.

#### **6. Ευελιξία:**

- Τα συστήματα επικοινωνίας ωφέλιμου φορτίου πρέπει να είναι ευέλικτα ώστε να υποστηρίζουν διαφορετικούς τύπους αισθητήρων και τύπους δεδομένων.
- Μπορούν να προσαρμοστούν με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της αποστολής και τις δυνατότητες του ωφέλιμου φορτίου.

**Πίνακας 5:** Συγκριτικός πίνακας CNPC & UAV Payload Communication

Parameter	CNPC (Command and Non-Payload Communication)	UAV Payload Communication
Purpose	Safe control and navigation of the UAV	Transmission of mission-specific data
Latency	Ultra-low latency for real-time control	Low latency beneficial, varies by application
Bandwidth	Lower bandwidth, mainly for control signals and telemetry	Higher bandwidth for data-intensive payloads (e.g., video)
Reliability	High reliability and redundancy crucial	Important but some data loss can be tolerated
Security	High security to prevent unauthorized control	High security to protect sensitive data
Regulatory Compliance	Must adhere to aviation standards	Must ensure data protection and possibly adhere to specific data transmission regulations
Flexibility	Less flexible, standardized protocols	Highly flexible, varies with payload and mission requirements



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

#### 5.1 Σύνοψη

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αποτελεί μετασχηματιστική πρόοδο στις δυνατότητες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV), προσφέροντας σημαντικές βελτιώσεις στην επικοινωνία, την πλοήγηση και την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα. Αυτή η συνέργεια ξεκλειδώνει νέες δυνατότητες σε διάφορους κλάδους, όπως η εφοδιαστική, η ασφάλεια, η επιθεώρηση, η γεωργία και η αντιμετώπιση καταστροφών.

Ο αριθμός των συσκευών που απαιτούν συνδεσιμότητα και υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων αυξάνεται με πολύ ταχύς ρυθμούς. Τα παραδοσιακά επίγεια ασύρματα δίκτυα καθίστανται ανεπαρκή για να ικανοποιήσουν όλες αυτές τις απαιτήσεις. Οι ασύρματες επικοινωνίες 5G/B5G (5G και πέραν του 5G) με τη βοήθεια UAV είναι η σημαντική επαναστατική τεχνολογία της εποχής για την ικανοποίηση όλων αυτών των απαιτήσεων [14]. Σε αυτή τη μελέτη, παρουσιάσαμε δύο μεθόδους χρήσης UAV με 5G.

Το υψηλό εύρος ζώνης και η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση του 5G επιτρέπουν τη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο βίντεο και δεδομένων αισθητήρων υψηλής ευκρίνειας, γεγονός που είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές που απαιτούν άμεση ανάλυση και λήψη αποφάσεων. Η αξιόπιστη και συνεχής επικοινωνία εξασφαλίζει ότι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να λειτουργούν με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα σε τεράστιες αποστάσεις, υποστηρίζοντας τόσο αστικές όσο και απομακρυσμένες αποστολές.

Με το 5G, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη επωφελούνται από τη βελτιωμένη ακρίβεια πλοήγησης, τη χαμηλή καθυστέρηση στη λήψη δεδομένων πλοήγησης και

τη δυνατότητα επεξεργασίας πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Οι προηγμένοι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, που υποστηρίζονται από το 5G, διευκολύνουν πιο εξελιγμένες αυτόνομες λειτουργίες, όπως δυναμικές προσαρμογές διαδρομής και αποφυγή συγκρούσεων. Αυτό οδηγεί σε ασφαλέστερες και αποτελεσματικότερες πτήσεις με μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Επιπλέον, η εκτεταμένη κάλυψη και η ισχυρή συνδεσιμότητα των δικτύων 5G επιτρέπουν την ταυτόχρονη λειτουργία πολλαπλών μη επανδρωμένων αεροσκαφών, επιτρέποντας την κλιμακούμενη και ευέλικτη ανάπτυξη. Αυτό είναι ιδιαίτερα επωφελές για επιχειρήσεις μεγάλης κλίμακας, όπως η αγροτική παρακολούθηση, η επιθεώρηση υποδομών και η ασφάλεια δημόσιων εκδηλώσεων. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη με δυνατότητα 5G φέρνουν επανάσταση στις βιομηχανίες, παρέχοντας καινοτόμες λύσεις που προηγουμένως ήταν ανέφικτες. Στην εφοδιαστική, επιτρέπουν ταχύτερες και πιο αξιόπιστες παραδόσεις, ιδίως σε δύσκολα περιβάλλοντα. Στην ασφάλεια και την επιθεώρηση, προσφέρουν επιτήρηση σε πραγματικό χρόνο και λεπτομερείς αξιολογήσεις των υποδομών, ενισχύοντας την ασφάλεια και την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα.

## 5.2 Προοπτικές

Το μέλλον των μη επανδρωμένων αεροσκαφών με τεχνολογία 5G είναι έτοιμο να φέρει επανάσταση σε διάφορους τομείς, ξεκλειδώνοντας πρωτοφανείς δυνατότητες και εφαρμογές. Με τη συνεχή επέκταση και ωρίμανση των δικτύων 5G, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη θα επωφεληθούν από την ενισχυμένη συνδεσιμότητα, την εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και το αυξημένο εύρος ζώνης, διευκολύνοντας πιο προηγμένες και αυτόνομες λειτουργίες. Αυτό θα επιτρέψει την επεξεργασία δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, που είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπως η αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών, η γεωργία ακριβείας και η αστική εναέρια κινητικότητα. Οι καινοτομίες στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης, που υποστηρίζονται από τις ισχυρές δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων του 5G, θα ενισχύσουν περαιτέρω τις αυτόνομες δυνατότητες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, επιτρέποντας πιο σύνθετες εργασίες και μειωμένη ανθρώπινη παρέμβαση. Επιπλέον, οι εξελίξεις

στην τεχνολογία των μπαταριών και την επιστήμη των υλικών θα επεκτείνουν τους χρόνους πτήσης και τις ικανότητες ωφέλιμου φορτίου, καθιστώντας τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη πιο ευέλικτα και αποδοτικά. Καθώς εξελίσσονται τα ρυθμιστικά πλαίσια και καθιερώνονται παγκόσμια πρότυπα, η απρόσκοπτη ενσωμάτωση των 5G drones στις καθημερινές λειτουργίες θα γίνει πραγματικότητα, οδηγώντας σε σημαντικές βελτιώσεις στην εφοδιαστική, την ασφάλεια, την επιθεώρηση και όχι μόνο. Η σύγκλιση της τεχνολογίας 5G και των μη επανδρωμένων αεροσκαφών υπόσχεται ένα μέλλον όπου τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη θα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των έξυπνων πόλεων, παρέχοντας βασικές υπηρεσίες και συμβάλλοντας σε έναν πιο συνδεδεμένο και αποτελεσματικό κόσμο.

Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιες μελλοντικές εκτιμήσεις/σκέψεις που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την χρήση ενός 5G drone:

## 1. Προηγμένη έρευνα και ανάπτυξη:

**Μπαταρίες και Ενεργειακές Λύσεις:** Η επένδυση στην έρευνα για την ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών μπαταριών, όπως οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης και η ασύρματη φόρτιση, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις δυνατότητες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

**Επιστήμη υλικών:** Η διερεύνηση ελαφρών και ανθεκτικών υλικών για την κατασκευή μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορεί να βελτιώσει τη χωρητικότητα του ωφέλιμου φορτίου και τις συνολικές επιδόσεις.

## 2. Οικοσυστήματα:

**Συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα:** Η συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, ιδιωτικών εταιρειών και ερευνητικών ιδρυμάτων μπορεί να προωθήσει την καινοτομία και την ανάπτυξη ρυθμιστικών πλαισίων.

**Φορείς τυποποίησης:** Η συμμετοχή σε διεθνείς φορείς τυποποίησης για την ανάπτυξη και υιοθέτηση παγκόσμιων προτύπων για τις λειτουργίες των τηλεκατευθυνόμενων αεροσκαφών 5G είναι ζωτικής σημασίας.

### 3. Ενσωμάτωση AI και μηχανικής μάθησης:

**Αυτόνομες επιχειρήσεις:** Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης για την ενίσχυση της αυτόνομης πλοήγησης, της λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και των προσαρμοστικών αντιδράσεων στις περιβαλλοντικές αλλαγές μπορεί να μειώσει την ανθρώπινη παρέμβαση και να βελτιώσει την αποδοτικότητα.

**Προβλεπτική συντήρηση:** Η χρήση ΤΝ για την πρόβλεψη των αναγκών συντήρησης με βάση τα επιχειρησιακά δεδομένα μπορεί να ενισχύσει την αξιοπιστία και να μειώσει τον χρόνο διακοπής λειτουργίας.

### 4. Ενισχυμένα μέτρα ασφαλείας:

**Κβαντική κρυπτογραφία:** Διερεύνηση της χρήσης της κβαντικής κρυπτογραφίας για υπερ-ασφαλείς συνδέσεις επικοινωνίας.

**Τεχνολογία blockchain:** Η εφαρμογή blockchain για ασφαλείς και διαφανείς συναλλαγές και διαχείριση δεδομένων μπορεί να ενισχύσει την εμπιστοσύνη και την ασφάλεια.

### 5. Περιβαλλοντικές και ηθικές εκτιμήσεις:

**Αειφόρες πρακτικές:** Διασφάλιση ότι οι λειτουργίες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι περιβαλλοντικά βιώσιμες, συμπεριλαμβανομένης της ελαχιστοποίησης της ηχορύπανσης και της εφαρμογής προγραμμάτων ανακύκλωσης για τα εξαρτήματα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

**Ηθικές κατευθυντήριες γραμμές:** Ανάπτυξη ηθικών κατευθυντήριων γραμμών για τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών, ιδίως στην επιτήρηση και τη συλλογή δεδομένων, ώστε να διασφαλίζεται ο σεβασμός της ιδιωτικής ζωής και των ανθρωπίνων δικαιωμάτων.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Guevara, César & Auat Cheein, Fernando. (2020). The Role of 5G Technologies: Challenges in Smart Cities and Intelligent Transportation Systems. *Sustainability*. 12. 10.3390/su12166469.
- [2] Rizwana Shahzadi, Mudassar Ali, Humayun Zubair Khan, Muhammad Naeem, UAV assisted 5G and beyond wireless networks: A survey, *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 189, 2021, 103114, ISSN 1084-8045, <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103114>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S108480452100134X>)
- [3] [www.telcomaglobal.com/p/network-densification-benefits-challenges-techniques](http://www.telcomaglobal.com/p/network-densification-benefits-challenges-techniques)
- [4] [www.mwrf.com/technologies/embedded/systems/article/21249378/nxp-semiconductors-5g-densification-making-5g-a-working-reality](http://www.mwrf.com/technologies/embedded/systems/article/21249378/nxp-semiconductors-5g-densification-making-5g-a-working-reality)
- [5] [www.abiresearch.com/blogs/2023/11/30/massive-mimo/](http://www.abiresearch.com/blogs/2023/11/30/massive-mimo/)
- [6] [www.5gtechnologyworld.com/creating-5g-massive-mimo-part-1/](http://www.5gtechnologyworld.com/creating-5g-massive-mimo-part-1/)
- [7] [www.telefonica.com/en/communication-room/blog/what-is-mmwave-and-how-does-it-relate-to-5g/](http://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/what-is-mmwave-and-how-does-it-relate-to-5g/)
- [8] [www.the5gzone.com/index.php/nfv-overview/](http://www.the5gzone.com/index.php/nfv-overview/)
- [9] S. Hong et al., "Applications of self-interference cancellation in 5G and beyond," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 114-121, February 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6736751. keywords: {Interferencecancellation; Next generation networking; Wirelesscommunication; Receivers; Baseband; Multiaccesscommunication},
- [10] Alladi, Tejasvi & Chamola, Vinay & Sahu, Nishad & Guizani, Mohsen. (2020). Applications of Blockchain in Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Vehicular Communications*. 10.1016/j.vehcom.2020.100249.
- [11] [www.britannica.com/technology/unmanned-aerial-vehicle](http://www.britannica.com/technology/unmanned-aerial-vehicle)

- [12] From Retailers To Insurance Providers, Here Are 20 Corps Using DroneTech Today”PublishedbyCBINSIGHTS,2019,Online:<https://www.cbinsights.com/research/report/corporations-drone-technology/>,(Access on:23 Feb 2022)
- [13] Singh, R., Ballal, K. D., Berger, M. S., & Dittmann, L. (2023). Overview of Drone Communication Requirements in 5G. In Proceedings of IoT Week 2022 (pp. 3-16). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20936-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20936-9_1)
- [14] Rizwana Shahzadi, Mudassar Ali, Humayun Zubair Khan, Muhammad Naeem,UAV assisted 5G and beyond wireless networks: A survey,Journal of Network and Computer Applications,Volume 189,2021,103114,ISSN 1084-8045,<https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103114>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S108480452100134X>)
- [15] Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulation (EU) 2019/947and Regulation (EU) 2019/945)” Revision from September 2021.
- [16] EU has passed a uniform set of drone rules, paving the way for easier flight” On-line: <https://www.dpreview.com/news/6070763652/eu-has-a-uniform-set-of-drone-ules>, (Access on:25 Feb 2022)
- [17] Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace”, ITU (2009). ITUTech.Rep.M.2171.M Series.
- [18] Unmanned Aerial System (UAS) support in 3GPP”, 3GPP TS 22.125 v17.2.0 (12/2020),Online:<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3545>, (Access on:25 Feb 2022)
- [19] Qingqing Wu, Yong Zeng, and Rui Zhang, UAV Communications for 5G and Beyond, ”UAV Definitions, Classes, and Global Trend”, pages: 3-16, Publisher:Wiley,2020, IEEE Press