



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

## **Δορυφόροι στα Δίκτυα 5G: Σενάρια χρήσης και Τεχνικές Προκλήσεις**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Χ. ΒΗΤΑΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος  
Καθηγητής ΕΜΠ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

## **Δορυφόροι στα Δίκτυα 5G: Σενάρια χρήσης και Τεχνικές Προκλήσεις**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Χ. ΒΗΤΑΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος  
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20η Οκτωβρίου 2023.

- Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ
- Γιώργος Ματσόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ
- Γιώργος Φικιώρης, Καθηγητής ΕΜΠ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023

**ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Χ. ΒΗΤΑΣ**

Πτυχιούχος του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχ. & Μηχ. Η/Υ ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Copyright © Αθανάσιος Βήτας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All Rights Reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Ευχαριστίες

*Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και τις θερμές ευχαριστίες προς τον καθηγητή Αθανάσιο Δ. Παναγόπουλο, για την καθοδήγησή του, την υποστήριξή του και την παροχή του πλούτου των εξειδικευμένων επιστημονικών του γνώσεων κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής αυτής. Χωρίς την δική του καθοριστική συνεισφορά και υποστήριξη, η ολοκλήρωσή της δεν θα ήταν ποτέ εφικτή. Τόσο η επιστημονική γνώση που αποκόμισα όσο και το ήθος που με δίδαξε θα με συνοδεύουν στον επαγγελματικό μου δρόμο.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το 5G, η πέμπτη γενιά ασύρματων δικτύων, αναμένεται να επαναπροσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούμε, εργαζόμαστε και αλληλοεπιδρούμε με τον κόσμο γύρω μας. Με τη δυνατότητά του να προσφέρει υψηλές ταχύτητες, χαμηλή καθυστέρηση και αυξημένη συνδεσιμότητα, το 5G αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την υλοποίηση ενός πλήρως εξυπηρετούμενου και συνδεδεμένου κόσμου.

Ωστόσο, πέρα από το δίκτυο κορμού, ο ρόλος των δορυφόρων στη διάδοση και υποστήριξη των δικτύων 5G αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας. Ο συνδυασμός των δορυφόρων και του 5G μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη, όπως η βελτίωση της κάλυψης, η αύξηση του εύρους ζώνης και η βελτίωση των υπηρεσιών.

Στην παρούσα διατριβή, θα εξετάσουμε τον ρόλο των δορυφόρων στα δίκτυα 5G, με έμφαση στα διάφορα σενάρια χρήσης και τις τεχνικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν. Θα επικεντρωθούμε στην αξιολόγηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών των δορυφόρων στην υποστήριξη των δικτύων 5G, και θα εξετάσουμε πώς μπορούμε να αξιοποιήσουμε αυτές τις δυνατότητες για να βελτιώσουμε την απόδοση και τη λειτουργία των δικτύων 5G.

*Λέξεις κλειδιά: Δορυφόροι, Δίκτυα 5G, Μικροί δορυφόροι, Ασύρματη Επικοινωνία, Τηλεπικοινωνίες.*

## ABSTRACT

5G is the fifth generation of wireless networks, which is set to redefine the way we communicate, work and interact with the world around us. With its potential to deliver high speeds, low latency and increased connectivity, 5G is an important step towards realizing a fully serviced and connected world.

However, beyond network cores, the role of satellites in the deployment and support of 5G networks is an important area of research. The combination of satellites and 5G can bring significant benefits, such as improved coverage, increased bandwidth and ultimately improved services.

In this thesis, we will examine the role of satellites in 5G networks, with emphasis on the different use cases and technical challenges they face. We will focus on assessing the capabilities and limitations of satellites in supporting 5G networks and consider how we can leverage these capabilities to improve the performance and operation of 5G networks.

*Keywords: Satellites, 5G Networks, Satellite Integration, Wireless Communication, Telecommunications, CubeSats, Network Infrastructure.*

## Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
Πίνακας Περιεχομένων .....	7
1 Δίκτυα 5G και Εφαρμογές .....	11
1.1 Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G.....	11
1.1.2 Βασικές Αρχές του 5G.....	15
1.1.3 Συχνότητες και Φάσμα 5G.....	16
1.2 Εφαρμογές των Δικτύων 5G .....	19
1.2.1 Υγειονομική Φροντίδα .....	19
1.2.2 Αυτόνομη Οδήγηση.....	19
1.2.3 M2M και Internet of Things (IoT) .....	19
1.2.4 Επικοινωνία σε Πραγματικό Χρόνο .....	19
1.2.5 Εκπαιδευτικές Εφαρμογές.....	20
1.2.6 Πόλεις Και Έξυπνες Υποδομές .....	20
1.2.7 Επιχειρηματικές Εφαρμογές και Καινοτομίες.....	20
1.2.8 Ψυχαγωγία και Πολυμέσα .....	20
1.2.9 Περιβάλλον και Βιώσιμη Ανάπτυξη .....	20
1.2.10 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα.....	21
1.2.11 Κοινωνική Δικαιοσύνη .....	21
1.2.12 Επικοινωνία και Συνεργασία στην Ερευνητική Κοινότητα.....	21
1.2.13 Καταναλωτές και Κοινωνία .....	21
1.2.14 Διασυνοριακές Προκλήσεις .....	21
1.2.15 Οικονομικές Επιπτώσεις .....	22
1.2.16 Τεχνολογία Edge Computing.....	22
1.2.17 Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση.....	22
2 Δορυφόροι .....	23
2.1 Ιστορική Αναδρομή .....	23
2.1.1 Τα πρώτα Βήματα (1950-1960).....	23
2.1.2 Space Race (1960-1970) .....	23
2.1.3 Οι Διαφορετικές Κατηγορίες Δορυφόρων (1970-2000).....	23
2.1.4 Η Εποχή της Διαστημικής Έρευνας (2000-σήμερα) .....	23
2.2 Κατηγορίες Δορυφόρων.....	24
2.2.1 Δορυφόροι σε Γεωστατική Τροχιά (GEO).....	25
2.2.2 Δορυφόροι Μέσης Τροχιάς (MEO).....	25
2.2.3 Δορυφόροι σε Χαμηλή Τροχιά (LEO) .....	26



2.2.4	Δορυφόροι σε Πολύ Χαμηλή Τροχιά (VLEO) και Small LEO.....	26
2.2.5	CubeSats .....	27
2.3	Χρήση των Δορυφόρων.....	28
2.3.1	Παρακολούθηση της Γης.....	28
2.3.2	Επιστημονικές και Τεχνολογικές Αποστολές: .....	29
2.3.3	Διαπλανητικές Εξερευνητικές Αποστολές:.....	29
2.3.4	Εμπορικές, Πολιτικές και Στρατιωτικές Εφαρμογές: .....	30
2.3.5	Χαρακτηριστικά Δορυφόρων .....	32
3	Δορυφόροι στα Δίκτυα 5G .....	35
3.1	Αρχιτεκτονική Δορυφορικών Συστημάτων. ....	35
3.2	Αρχιτεκτονική Δορυφόρου και Δικτύου 5G NR.....	37
3.3	Διαχείριση κίνησης και τροχιάς .....	37
3.4	Σενάρια Κάλυψης.....	39
4	Σενάρια χρήσης και Τεχνικές Προκλήσεις .....	41
4.1	Σενάρια χρήσης .....	41
4.1.1	Επέκταση ευρυζωνικής κάλυψης .....	41
4.1.2	Συνδεσιμότητα Κινητών Συσκευών .....	41
4.1.3	Επικοινωνία σε Περιπτώσεις Καταστροφής: .....	42
4.1.4	Επικοινωνία σε Κατακτήσεις και Περιπέτειες:.....	42
4.2	Τεχνικές Προκλήσεις.....	42
4.2.1	Οριστικοποίηση Προτύπων .....	42
4.2.2	Καθυστέρηση (Latency): .....	44
4.2.3	Αλληλεπίδραση Συχνοτήτων: .....	44
4.2.4	Κεραίες και Εξοπλισμός Κινητών Συσκευών: .....	45
4.2.5	Συγχρονισμός Δορυφόρων: .....	45
4.2.6	Ενεργειακές Προκλήσεις:.....	45
4.2.7	Ασφάλεια: .....	45
4.2.8	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις:.....	45
4.3	Μελλοντικές Προοπτικές .....	45
4.3.1	Εξελιγμένη Κάλυψη και Πρόσβαση .....	46
4.3.2	Εξοικονόμηση Ενέργειας:.....	46
4.3.3	Σύνδεση Κινητών Συσκευών: .....	46
4.3.4	Εφαρμογές Σε Κρίσεις: .....	46
4.3.5	Εξελιγμένες Υπηρεσίες:.....	46
5	ΜΙΚΡΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ (SmallSats, CubeSats) .....	47
5.1	Εισαγωγή.....	47
5.2	Free Space Optics, FSO.....	47

5.3	Οπτική Επικοινωνία σε Μικροδορυφόρους.....	48
5.4	Μικροδορυφόροι με RF (X or Ku or Ka band) Downlink Και SDR Based Receivers.....	49
5.5	Εφαρμογή της Κβαντικής Διανομής Κλειδιών (QKD) .....	50
5.6	Ελληνική Συμβολή στον Τομέα .....	51
5.7	Πλεονεκτήματα Μικρών Δορυφόρων (Small Satellites) .....	52
5.8	Εφαρμογές Μικρών Δορυφόρων (Small Satellites) .....	55
6	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις. ....	64
6.1	Συμπεράσματα .....	64
6.1.1	Βελτιωμένη Συνδεσιμότητα για Internet of Things (IoT):.....	64
6.1.2	Τεχνικές Προκλήσεις: .....	64
6.1.3	Ποικίλα Σενάρια Χρήσης: .....	65
6.1.4	Παγκόσμια Κάλυψη: .....	65
6.1.5	Υποδομές και εφεδρεία: .....	65
6.1.6	Ρυθμιστικά θέματα .....	65
6.1.7	Κόστος: .....	66
6.1.8	Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα.....	66
6.1.9	Τυποποίηση: .....	66
6.2	Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις. ....	66
6.2.1	Μείωση της Καθυστέρησης: .....	66
6.2.2	Υβριδικά Μοντέλα Δικτύου .....	67
6.2.3	Προηγμένα Δορυφορικά Σύνολα .....	67
6.2.4	Διαχείριση του Φάσματος:.....	67
6.2.5	Ενίσχυση της Ασφάλειας.....	67
6.2.6	Προαγωγή των Κανονισμών .....	68
6.2.7	Διαλειτουργικότητα: .....	68
6.2.8	Οικονομικά Αποδοτικές Λύσεις:.....	68
6.2.9	Μελέτες για Ειδικά Σενάρια Χρήσης .....	68
6.2.10	Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση: .....	68
6.2.11	Πράσινες Δορυφορικές Τεχνολογίες:.....	69
6.2.12	Βελτίωση της Εμπειρίας του Χρήστη:.....	69
7	Βιβλιογραφικές αναφορές – Παραπομπές – Πηγές από το διαδίκτυο .....	70

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1-1 Χρονική εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας [15].	11
Εικόνα 1-2 Κινητά τηλέφωνα και συσκευές ενδεικτικά της δεκαετίας 1990 [16].	13
Εικόνα 1-3 Βασικοί Στόχοι του 5G [17].	14
Εικόνα 1-4 Το φάσμα συχνοτήτων καθορίζει τις δυνατότητες προσφερόμενης κάλυψης και ταχύτητας [18].	17
Εικόνα 2-1 Είδη δορυφόρων και οι τροχιές τους [19].	25
Εικόνα 3-1 Αρχιτεκτονική Δορυφορικών Συστημάτων [25].	36
Εικόνα 3-2 3GPP 5G αρχιτεκτονικές που περιλαμβάνουν δορυφορικά συστήματα [26].	37
Εικόνα 3-3 EFC System, σταθερή κυψέλη σε σχέση με τον δορυφόρο [27].	40
Εικόνα 3-4 EFC System, σταθερή κυψέλη σε σχέση με τη ΓΗ [27].	40
Εικόνα 5-1 Μικρός Δορυφόρος ΜΔ [23].	47
Εικόνα 5-2 Πίνακας με κατασκευαστές και προϊόντα X-Band [21].	50
Εικόνα 5-3: QKD Γενική Επισκόπηση [20].	51
Εικόνα 5-4 Μικροί δορυφόροι (μάζα < 500 kg) συγκριτικά με συμβατικές δορυφορικές πλατφόρμες [22].	54
Εικόνα 5-5 Inter-Satellite Links [24].	60

## 1 Δίκτυα 5G και Εφαρμογές

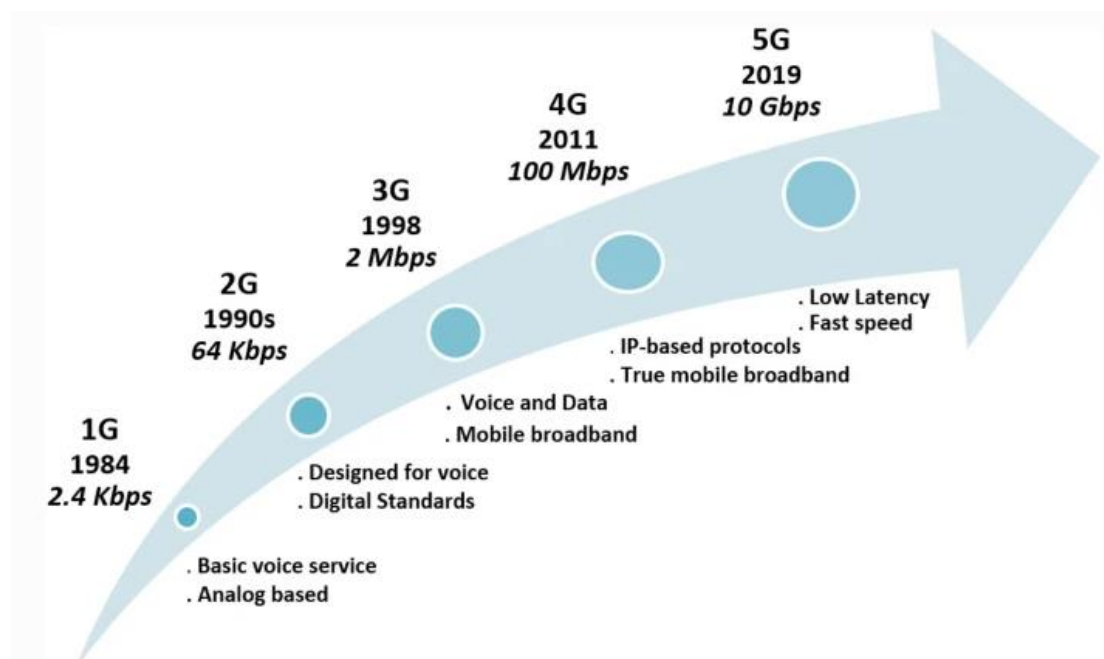
Αυτό το κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στην τεχνολογία 5G, εξετάζοντας τις βασικές αρχές και εφαρμογές της. Αναλύουμε τον ρόλο της τεχνολογίας 5G στην επικοινωνία και τη σύνδεση, ενώ παρέχουμε μια επισκόπηση των κυριότερων εφαρμογών της.

### 1.1 Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G

Τα δίκτυα 5G αντιπροσωπεύουν την πέμπτη γενιά των κινητών τηλεπικοινωνιών και συνιστούν μια εξελιγμένη τεχνολογική προσέγγιση για την ασύρματη επικοινωνία.

#### 1.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών από την πρώτη γενιά (1G) έως την πέμπτη (5G) αποτελεί μια συναρπαστική ιστορία τεχνολογικής προόδου. Η εξέλιξη αυτή είναι αποτέλεσμα συνεχών καινοτομιών στην τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία και την αυξημένη ζήτηση για υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χαμηλής καθυστέρησης, και αξιοπιστίας.



Εικόνα 1-ΙΧρονική εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας [15].

#### *1.1.1.1 1G - Τα Πρώτα Κινητά Δίκτυα*

Οι πρώτη γενιά των κινητών δικτύων (1G) εμφανίστηκαν κατά τη δεκαετία του 1980 και χρησιμοποιούσαν αναλογικές τεχνολογίες. Τα 1G δίκτυα επέτρεπαν μόνο την κλήση και την αποστολή μηνυμάτων κειμένου. Η ποιότητα των κλήσεων ήταν χαμηλή και ο μεγαλύτερος περιορισμός αυτών των αρχικών δικτύων ήταν η πλήρης έλλειψη ασφάλειας, που σήμαινε ότι οι κλήσεις ήταν ευάλωτες σε παρακολούθηση και παρεμβολές.

#### *1.1.1.2 2G - Ψηφιακή Επανάσταση*

Τα δεύτερης γενιάς (2G) δίκτυα εισήγαγαν την ψηφιακή τεχνολογία στην τηλεφωνία υιοθετώντας ψηφιακές μεθόδους μετάδοσης και επιφέροντας μια σειρά βελτιώσεων που επανασχεδίασαν τη βιομηχανία των κινητών τηλεπικοινωνιών. Η χρήση ψηφιακών σημάτων έκανε τα δίκτυα 2G πολύ πιο αποδοτικά, επιτρέποντας ένα μεγαλύτερο αριθμό ταυτόχρονων κλήσεων και χρηστών στο δίκτυο. Αυτή η αυξημένη χωρητικότητα, μαζί με τις εξελίξεις στη μείωση του φυσικού μεγέθους και του κόστους των κινητών τηλεφώνων, ήταν κρίσιμες για την έκρηξη της ζήτησης για υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Αυτή η εξέλιξη επέτρεψε την ανάπτυξη των SMS και τη βελτίωση της ποιότητας των κλήσεων.



Εικόνα 1-2 Κινητά τηλέφωνα και συσκευές ενδεικτικά της δεκαετίας 1990 [16].

#### 1.1.1.3 3G - Τα Πρώτα Δεδομένα

Οι τρίτης γενιάς (3G) τεχνολογίες επέτρεψαν τη μετάδοση δεδομένων και τη χρήση του διαδικτύου μέσω των κινητών συσκευών. Τα 3G δίκτυα εισήγαγαν την υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, επιτρέποντας βίντεο κλήσεις και περισσότερες εφαρμογές επιτρέποντας στους χρήστες να περιηγηθούν στο διαδίκτυο, να στείλουν email και να έχουν πρόσβαση σε βασικό πολυμεσικό περιεχόμενο και εφαρμογές, με τα κινητά τους τηλέφωνα. Αυτή επανάσταση έθεσε τα θεμέλια για διάφορες κινητές εφαρμογές και υπηρεσίες, μετατρέποντας τις κινητές συσκευές σε ισχυρά εργαλεία για πληροφόρηση και ψυχαγωγία.

Στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του 2000, η εισαγωγή και των smartphone και των εφαρμογών, που επιτρέπει πλέον στους χρήστες να επεκτείνουν τη λειτουργικότητα των κινητών τους.

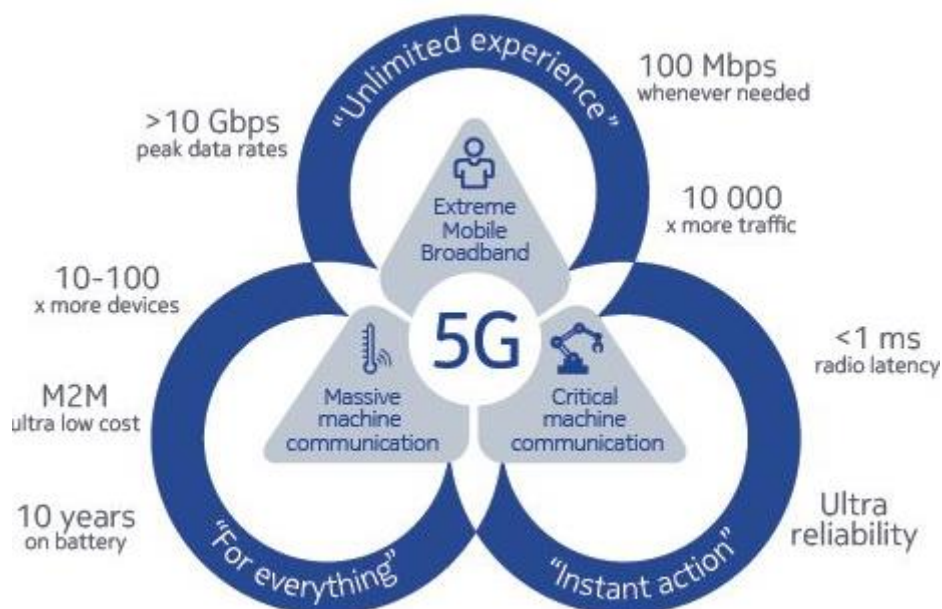
#### 1.1.1.4 4G - Η Εποχή της Ταχύτητας

Περίπου το 2010, εμφανίστηκαν τα δίκτυα 4ης γενιάς (4G). Αποτέλεσαν την επόμενη σημαντική εξέλιξη, σηματοδοτώντας ένα σημαντικό άλμα προόδου στην κινητή επικοινωνία. Το 4G αύξησε σημαντικά τις ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χρησιμοποίησε αποδοτικά το προσφερόμενο φάσμα και μείωσε την καθυστέρηση, καθιστώντας δυνατή την πραγματική ροή βίντεο σε

πραγματικό χρόνο, το OnLine gaming και τις υψηλής ποιότητας βιντεοκλήσεις. Οι βελτιωμένες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και η χαμηλή καθυστέρηση των δικτύων 4G είχαν βαθύ αντίκτυπο και στο οικοσύστημα των κινητών εφαρμογών, ανοίγοντας τον δρόμο στις κινητές εφαρμογές και υπηρεσίες που εξυπηρετούν διάφορες ανάγκες και ενδιαφέροντα.

#### 1.1.1.5 5G – Το Επόμενο Βήμα

Τα δίκτυα 5G αποτελούν την τελευταία εξέλιξη στην εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών. Προσφέρουν αυξημένες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση, βελτιωμένη αξιοπιστία. Τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν πολύ περισσότερες συσκευές από τις προηγούμενες γενιές και να χειριστούν εφαρμογές με περισσότερα δεδομένα, όπως η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, αυτόνομα οχήματα και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Το 5G, ανοίγει το δρόμο για νέες καινοτομίες και ευκαιρίες σε διάφορους τομείς, όπως η υγεία, οι μεταφορές κτλ., ενώ αποτελεί κινητήριο μοχλό για τεχνολογίες όπως ο Edge Computing και η Τεχνητή Νοημοσύνη.



Εικόνα 1-3 Βασικοί Στόχοι του 5G [17].

Η εξέλιξη από τα 1G στα 5G δίκτυα αποτελεί μια εντυπωσιακή ιστορία τεχνολογικής καινοτομίας που συνεχίζεται. Τα δίκτυα 5G προσφέρουν νέες

δυνατότητες και εφαρμογές που αλλάζουν τον τρόπο που επικοινωνούμε και συνδεόμαστε με τον κόσμο.

### 1.1.2 Βασικές Αρχές του 5G

Στο παρόν κεφάλαιο, θα εξετάσουμε τις βασικές τεχνικές καινοτομίες που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα 5G. Αυτές οι καινοτομίες είναι κρίσιμες για την παροχή υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων, χαμηλής καθυστέρησης, και την υποστήριξη ποικίλων εφαρμογών.

#### 1.1.2.1 Χρήση της Υψηλής Συχνότητας

Η έναρξη της τεχνολογίας 5G επικεντρώνεται στη χρήση υψηλών συχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των συχνοτήτων υπερυψηλής χωρητικότητας του εύρους 28 GHz και 39 GHz. Αυτές οι υψηλές συχνότητες επιτρέπουν την μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, αλλά παρουσιάζουν προκλήσεις όπως η πρόσκρουση στα αντικείμενα και η μείωση της εμβέλειας.

#### 1.1.2.2 Τεχνολογία Massive MIMO

Η τεχνολογία Massive Multiple Input, Multiple Output (MIMO) είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των δικτύων 5G. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει τη χρήση πολλών κεραιών στον πομπό και το δέκτη, βελτιώνοντας την απόδοση, την ευαισθησία και την αντοχή στο θόρυβο του δικτύου.

#### 1.1.2.3 Χρήση της Τεχνολογίας Beamforming

Η τεχνολογία Beamforming επιτρέπει στα δίκτυα 5G να εστιάζουν τα σήματά τους προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις, αυξάνοντας την απόδοση της μετάδοσης και μειώνοντας την παρεμβολή από άλλες συσκευές.

#### 1.1.2.4 Τεχνολογία Χαμηλής Καθυστέρησης (Low Latency)

Η χαμηλή καθυστέρηση είναι κρίσιμη για πολλές εφαρμογές των δικτύων 5G, όπως η αυτόνομη οδήγηση και η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Τεχνολογίες όπως η edge computing και η network slicing συμβάλλουν στη μείωση της καθυστέρησης.



#### 1.1.2.5 Υποστήριξη IoT

Η τεχνολογία 5G δίνει τη δυνατότητα για την υποστήριξη του Internet of Things (IoT). Η δυνατότητα σύνδεσης εκατομμυρίων συσκευών σε ένα δίκτυο 5G απαιτεί τεχνολογίες όπως η Narrowband-IoT (NB-IoT) και η LTE-M, που παρέχουν αποδοτική χρήση ενέργειας.

#### 1.1.2.6 Ασφάλεια και Προστασία Δικτύου

Η ασφάλεια των δικτύων 5G είναι κρίσιμη τόσο για την προστασία των προσωπικών δεδομένων όσο και ευαίσθητων εφαρμογών όπως η υγειονομική φροντίδα και τα αυτόνομα οχήματα. Εμπεριέχει τεχνολογίες όπως η κρυπτογράφηση, ο έλεγχος πρόσβασης και η ανίχνευση απειλών που κάνουν δυνατή τη διατήρηση της ασφάλειας των δικτύων 5G.

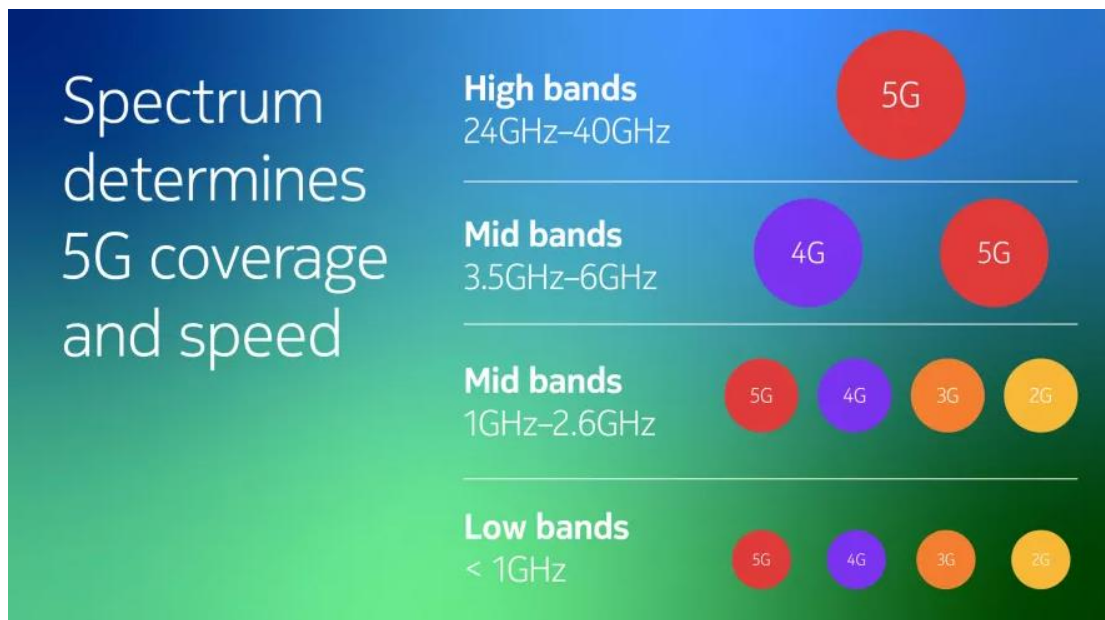
Οι τεχνικές καινοτομίες που αναφέρθηκαν αποτελούν τον βασικό πυρήνα της εξέλιξης των δικτύων 5G και επιτρέπουν την υποστήριξη ποικίλων εφαρμογών και υπηρεσιών, από το Internet of Things μέχρι την αυτόνομη οδήγηση και τις υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η ασφάλεια και η προστασία του δικτύου αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη διατήρηση της αξιοπιστίας και της ιδιωτικότητας στα δίκτυα 5G. Αναμένεται ότι αυτές οι τεχνολογίες θα έχουν σημαντική επίδραση στην τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία και θα αλλάξουν τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούμε και διασυνδεόμαστε στην εποχή των δικτύων 5G.

#### 1.1.3 Συχνότητες και Φάσμα 5G

Το φάσμα συχνοτήτων αποτελεί το θεμέλιο κτήμα των δικτύων 5G. Η χρήση σωστών συχνοτήτων είναι κρίσιμη για την επίτευξη των χαρακτηριστικών υψηλής ταχύτητας, χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας που χαρακτηρίζουν τα δίκτυα 5G.

### 1.1.3.1 Κατηγορίες Συχνοτήτων

Τα δίκτυα 5G χρησιμοποιούν διάφορες κατηγορίες συχνοτήτων για τη μετάδοση δεδομένων. Κάθε κατηγορία έχει τα πλεονεκτήματά της και τις προκλήσεις της.



Εικόνα 1-4 Το φάσμα συχνοτήτων καθορίζει τις δυνατότητες προσφερόμενης κάλυψης και ταχύτητας [18].

#### 1.1.3.1.1 Υψηλές Συχνότητες (mmWave)

Οι υψηλές συχνότητες στο εύρος των 28 GHz και 39 GHz επιτρέπουν τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, αλλά παρουσιάζουν περιορισμούς στην εμβέλεια και την διείσδυση σε κτίρια.

Το 5G mmWave έχει τεράστιο δυναμικό σε εφαρμογές όπως:

1. Συνδεδεμένα Οχήματα
2. Έξυπνες Πόλεις και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)
3. Νοσοκομεία
4. Σχολεία και Πανεπιστήμια

Τα δίκτυα που χρησιμοποιούν το 5G mmWave μπορούν να αναμένουν ταχύτητες πολύ μεγαλύτερες από το 4G, σε απόσταση περίπου 300 μέτρων

από τον πύργο κυψέλης. Οργανισμοί χρησιμοποιούν ένα δίκτυο μικρών κυψελών για να επεκτείνουν τα σήματα του mmWave πέρα από αυτόν τον περιορισμό, όταν αυτό είναι απαραίτητο. Οι μικρές κυψέλες του 5G είναι ζωτικές για τη βελτίωση της κάλυψης, της χωρητικότητας και της πυκνότητας του mmWave.

Το 5G mmWave έχει τα ακόλουθα οφέλη:

- Ταχύτερες δυνατές ταχύτητες 5G - γρηγορότερες λήψεις και μεταφορές δεδομένων
- Ιδανικό για πυκνοκατοικημένες περιοχές και εφαρμογές επιχειρήσεων
- Σύνδεση με υπερχαμηλή καθυστέρηση - υποστηρίζοντας εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, αυτόνομα οχήματα και πολλά άλλα

#### 1.1.3.1.2 Μεσαίες Συχνότητες

Οι μεσαίες συχνότητες (3 GHz έως 6 GHz) προσφέρουν ισορροπημένη εμβέλεια και απόδοση και είναι κατάλληλες για τις περισσότερες πόλεις αλλά και μη αστικές περιοχές.

#### 1.1.3.1.3 Χαμηλές Συχνότητες

Οι χαμηλές συχνότητες (κάτω από 1 GHz) είναι κατάλληλες για ευρεία εμβέλεια και διείσδυση σε εσωτερικούς χώρους, μέσα από παράθυρα και τοίχους, αλλά προσφέρουν χαμηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων.

#### 1.1.3.2 Διαχείριση του Φάσματος

Η διαχείριση του φάσματος και η χρήση διαφορετικών συχνοτήτων αποτελούν σημαντικά θέματα στην ανάπτυξη των δικτύων 5G. Η κατανοητή χρήση του φάσματος, σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες και τις καινοτομίες, είναι απαραίτητη για την επίτευξη των υψηλών απαιτήσεων των δικτύων 5G σε ταχύτητα, χαμηλή καθυστέρηση και αξιοπιστία.

## 1.2 Εφαρμογές των Δικτύων 5G

Τα δίκτυα 5G έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίξουν μια ευρεία γκάμα εφαρμογών και υπηρεσιών που απαιτούν υψηλή ταχύτητα, χαμηλή καθυστέρηση και αξιοπιστία. Οι εφαρμογές των δικτύων 5G περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε:

### 1.2.1 Υγειονομική Φροντίδα

Τα δίκτυα 5G προσφέρουν τη δυνατότητα αναβάθμισης των υπηρεσιών υγειονομικής φροντίδας μέσω της τηλεϊατρικής εξ' αποστάσεως. Η αποστολή υψηλής ανάλυσης εικόνων και βίντεο μπορεί να υποστηρίξει την ακριβή διάγνωση και παρακολούθηση ασθενών. Επιπλέον, οι φορητές συσκευές υγειονομικής παρακολούθησης μπορούν να συνδεθούν στα δίκτυα 5G, επιτρέποντας τη μετάδοση σημαντικών δεδομένων υγείας σε πραγματικό χρόνο.

### 1.2.2 Αυτόνομη Οδήγηση

Τα δίκτυα 5G είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτόνομης οδήγησης. Τα οχήματα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και με την υποδομή, διευκολύνοντας την ανταλλαγή πληροφοριών για την αποφυγή συγκρούσεων και τη βελτίωση της κυκλοφορίας.

### 1.2.3 M2M και Internet of Things (IoT)

Τα δίκτυα 5G διευκολύνουν την επικοινωνία μηχανής προς μηχανή (M2M) και το Internet of Things (IoT). Αυτό επιτρέπει στις συσκευές να επικοινωνούν αυτόνομα, προσφέροντας νέες δυνατότητες για τον έλεγχο και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος καθώς και ευρεία άλλη γκάμα εφαρμογών.

### 1.2.4 Επικοινωνία σε Πραγματικό Χρόνο

Τα δίκτυα 5G είναι ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, όπως βιντεοκλήσεις, Online παιχνίδια, και τηλεδιάσκεψη. Οι χαμηλές καθυστερήσεις και η υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων επιτρέπουν την αδιάκοπη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας μια βελτιωμένη εμπειρία χρήστη.

### 1.2.5 Εκπαιδευτικές Εφαρμογές

Τα δίκτυα 5G διευκολύνουν την ανάπτυξη προηγμένων εκπαιδευτικών εφαρμογών. Η υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και η χαμηλή καθυστέρηση επιτρέπουν τη δημιουργία εκπαιδευτικών πλατφορμών που παρέχουν διαδραστικό περιεχόμενο, διαλέξεις σε πραγματικό χρόνο και απομακρυσμένη πρόσβαση σε εκπαιδευτικούς πόρους.

### 1.2.6 Πόλεις Και Έξυπνες Υποδομές

Τα δίκτυα 5G υποστηρίζουν την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων (Smart Cities) και έξυπνων υποδομών. Η σύνδεση συσκευών όπως αισθητήρες, κάμερες και διαχειριστικά συστήματα σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει την εποπτεία και τον έλεγχο των δημόσιων υπηρεσιών όπως η κυκλοφορία, η ασφάλεια και η ενεργειακή απόδοση.

### 1.2.7 Επιχειρηματικές Εφαρμογές και Καινοτομίες

Τα δίκτυα 5G προσφέρουν νέες ευκαιρίες στον επιχειρηματικό κόσμο και την καινοτομία. Επιτρέπουν τη δημιουργία προηγμένων υπηρεσιών όπως επαυξημένη πραγματικότητα, εικονική πραγματικότητα, και αυτόματη επεξεργασία δεδομένων, προσφέροντας νέες δυνατότητες για την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων και υπηρεσιών.

### 1.2.8 Ψυχαγωγία και Πολυμέσα

Τα δίκτυα 5G επαναπροσδιορίζουν την εμπειρία ψυχαγωγίας και πολυμέσων. Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και η χαμηλή καθυστέρηση επιτρέπουν το streaming υψηλής ανάλυσης, τις εικονικές πραγματικότητες και τη συνεργατική ψυχαγωγία σε πραγματικό χρόνο.

### 1.2.9 Περιβάλλον και Βιώσιμη Ανάπτυξη

Τα δίκτυα 5G συμβάλλουν στην προώθηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας μέσω της αποτελεσματικής χρήσης των πόρων, της παρακολούθησης του περιβάλλοντος, και της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της έξυπνης διαχείρισης.

### 1.2.10 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα

Η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα αποτελούν θεμελιώδεις παράμετρους για τα δίκτυα 5G. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει βελτιωμένες λύσεις ασφάλειας και προστασίας των προσωπικών δεδομένων, ενώ παράλληλα επιτρέπει την ασφαλή ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ συσκευών.

### 1.2.11 Κοινωνική Δικαιοσύνη

Τα δίκτυα 5G μπορούν να συμβάλουν στην προώθηση της κοινωνικής δικαιοσύνης με την επέκταση της πρόσβασης στις υπηρεσίες του διαδικτύου σε περιοχές που προηγουμένως δεν είχαν πρόσβαση σε ψηφιακές υπηρεσίες.

### 1.2.12 Επικοινωνία και Συνεργασία στην Ερευνητική Κοινότητα

Τα δίκτυα 5G προσφέρουν τη δυνατότητα για βελτιωμένη επικοινωνία και συνεργασία στην ερευνητική κοινότητα. Επιτρέπουν τη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων, την απομακρυσμένη συνεργασία και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και επιστημονικών εφαρμογών.

### 1.2.13 Καταναλωτές και Κοινωνία

Οι καταναλωτές επωφελούνται από τα δίκτυα 5G μέσω της υψηλής ποιότητας υπηρεσιών και της βελτιωμένης επικοινωνίας. Επιπλέον, η κοινωνία ωφελείται από την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών ευκαιριών, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης.

### 1.2.14 Διασυνοριακές Προκλήσεις

Τα δίκτυα 5G δημιουργούν προκλήσεις σε διεθνές επίπεδο, καθώς η χρήση τους διασχίζει σύνορα. Αυτό απαιτεί συνεργασία μεταξύ χωρών για την καθορισμό κοινών προτύπων, την αντιμετώπιση θεμάτων ασφάλειας και την εξισορρόπηση των συμφερόντων των διαφόρων εμπλεκόμενων μερών.

### 1.2.15 Οικονομικές Επιπτώσεις

Η εισαγωγή των δικτύων 5G έχει οικονομικές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας θέσεων εργασίας, της ανάπτυξης νέων επιχειρηματικών ευκαιριών και της αύξησης της παραγωγικότητας.

### 1.2.16 Τεχνολογία Edge Computing

Τα δίκτυα 5G υποστηρίζουν την τεχνολογία Edge Computing, η οποία επιτρέπει την επεξεργασία δεδομένων κοντά στην πηγή τους, μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα των εφαρμογών.

### 1.2.17 Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η μηχανική μάθηση αξιοποιούνται στα δίκτυα 5G για την αυτοματοποίηση, την ανίχνευση βλαβών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου.

Οι παραπάνω εφαρμογές αποτελούν ένα δείγμα του τι μπορεί να επιτευχθεί με τα δίκτυα 5G. Η τεχνολογία αυτή ανοίγει τον δρόμο για νέες καινοτομίες και εφαρμογές που θα επηρεάσουν τον τρόπο που επικοινωνούμε, εργαζόμαστε και ζούμε στην εποχή των δικτύων 5G. Η τεχνολογία αυτή ανοίγει νέους ορίζοντες για την ανάπτυξη καινοτόμων υπηρεσιών που μπορούν να επηρεάσουν θετικά πολλούς τομείς της κοινωνίας και της οικονομίας.

Οι δυνητικές εφαρμογές των δικτύων 5G είναι πολυάριθμες και συνεχώς εξελίσσονται με την πρόοδο της τεχνολογίας στο πέρασμα του χρόνου, ειδικά μια και βρισκόμαστε μόνο στην αρχή. Τα δίκτυα 5G δημιουργούν νέες ευκαιρίες για τη βελτίωση της ζωής, την ανάπτυξη επιχειρηματικών μοντέλων και την επίλυση παγκόσμιων προκλήσεων. Είναι σημαντικό να αξιοποιηθούν αυτές οι δυνατότητες με διαφάνεια και σεβασμό προς τις αρχές της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας.

## 2 Δορυφόροι

Οι δορυφόροι αποτελούν ένα από τα πλέον σημαντικά επιτεύγματα της ανθρώπινης τεχνολογίας στον χώρο της διαστημικής έρευνας και των επικοινωνιών. Η ιστορία των δορυφόρων έχει συναρπαστική διαδρομή που απλώνεται σε δεκαετίες και αντικατοπτρίζει την ανθρώπινη προσπάθεια να εξερευνήσει και να εκμεταλλευτεί τον διαστημικό χώρο.

### 2.1 Ιστορική Αναδρομή

#### 2.1.1 Τα πρώτα Βήματα (1950-1960)

Η ιστορία των δορυφόρων ξεκινά το 1957, όταν η Σοβιετική Ένωση έστειλε τον δορυφόρο "Sputnik 1" στο διάστημα. Αυτό σήμανε την έναρξη της διαστημικής εποχής και άνοιξε τον δρόμο για την εξερεύνηση του διαστημικού χώρου. Τα επόμενα χρόνια, και η Αμερικανική Αεροπορία ακολούθησε με τον δορυφόρο "Explorer 1" το 1958.

#### 2.1.2 Space Race (1960-1970)

Τη δεκαετία του '60, πραγματοποιήθηκαν σημαντικές αποστολές όπως η αποστολή "Apollo" της NASA που έφερε τον άνθρωπο στο φεγγάρι. Οι πρώτοι δορυφόροι παρακολούθησης της Γης και οι πρώτοι επιστημονικοί δορυφόροι άρχισαν να στέλνουν πολύτιμα δεδομένα για την κλιματολογία, τη γεωλογία και άλλους τομείς.

#### 2.1.3 Οι Διαφορετικές Κατηγορίες Δορυφόρων (1970-2000)

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η ποικιλία των δορυφόρων αυξήθηκε σημαντικά. Εμφανίστηκαν οι δορυφόροι επικοινωνιών που παρείχαν δορυφορικό Internet και τηλεφωνία. Οι δορυφόροι πλοήγησης όπως το GPS άρχισαν να προσφέρουν υπηρεσίες πλοήγησης σε όλον τον κόσμο.

#### 2.1.4 Η Εποχή της Διαστημικής Έρευνας (2000-σήμερα)

Σήμερα, οι δορυφόροι συμβάλλουν στη διαστημική έρευνα και την εξερεύνηση του ηλιακού συστήματος. Αποστολές όπως αυτές της NASA προς τον Άρη, η αποστολή Rosetta που εξερευνούσε τον κομήτη 67P/Churyumov-Gerasimenko



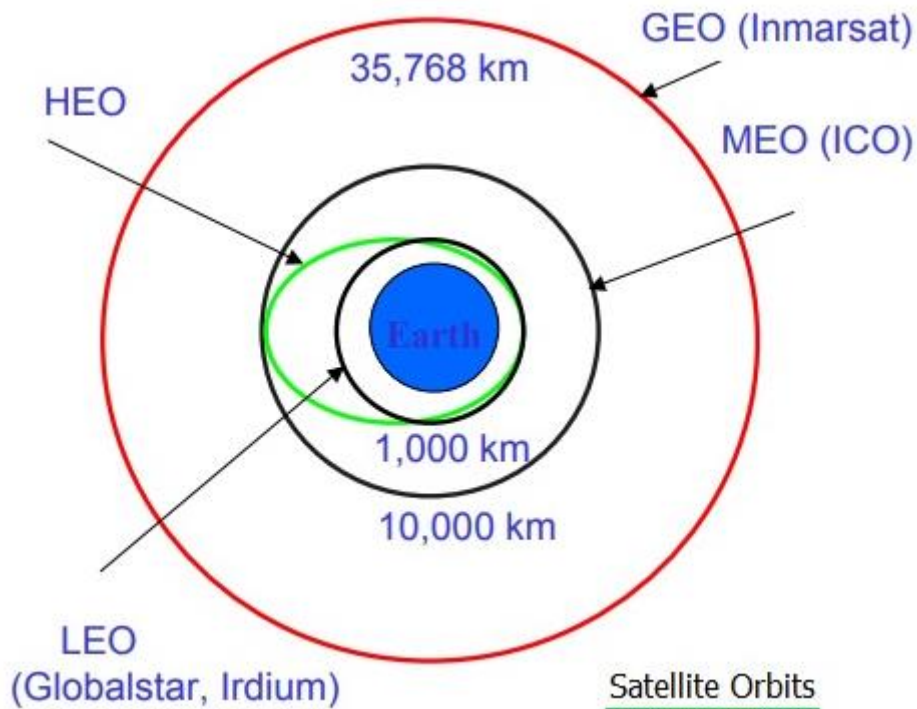
και η προσεχής αποστολή προς τον Δία από την ESA δείχνουν τη σημασία των δορυφόρων στην εξερεύνηση του διαστήματος.

Οι δορυφόροι συνεχίζουν να εξελίσσονται και να προσφέρουν καινοτόμες υπηρεσίες. Οι δορυφόροι επικοινωνιών τεχνολογίας 5G και οι δορυφόροι τηλεπικοινωνιών όπως οι "Starlink" της SpaceX προσφέρουν υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας σε όλον τον κόσμο. Οι δορυφόροι παρακολούθησης της Γης παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για την κλιματολογία, την πρόβλεψη φυσικών καταστροφών και τη γεωεπιστήμη. Συμβάλλουν στην παγκόσμια επικοινωνία και τη σύνδεση απομακρυσμένων περιοχών του κόσμου. Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία, για τη διαβίβαση ειδήσεων, πληροφοριών, μέχρι και την παροχή εκπαιδευτικών υπηρεσιών.

Η ιστορική αναδρομή στον κόσμο των δορυφόρων αναδεικνύει τη συνεχή εξέλιξη και την ανεξάντλητη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας. Από την αποστολή του "Sputnik 1" μέχρι την εξερεύνηση των πλανητών και την παροχή δορυφορικού Internet, οι δορυφόροι έχουν αλλάξει τον τρόπο που βλέπουμε και αξιοποιούμε το διάστημα. Με πλούσια ιστορία και αμέτρητες δυνατότητες για το μέλλον, οι δορυφόροι αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης εξερεύνησης του διαστήματος και των επικοινωνιών.

## 2.2 Κατηγορίες Δορυφόρων

Οι δορυφόροι χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την τροχιά τους, το ύψος πάνω από την επιφάνεια της Γης και τον σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιούνται. Οι κύριες κατηγορίες δορυφόρων περιλαμβάνουν:



Εικόνα 2-1 Είδη δορυφόρων και οι τροχιές τους [19].

### 2.2.1 Δορυφόροι σε Γεωστατική Τροχιά (GEO)

Οι δορυφόροι σε γεωστατική τροχιά (GEO) παραμένουν σε σταθερή θέση πάνω από συγκεκριμένες περιοχές στην επιφάνεια της Γης. Αυτοί οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται κυρίως για επικοινωνίες, όπως τηλεόραση, ραδιοφωνία και επικοινωνίες δεδομένων, καθώς και για μετρήσεις πεδίου (GPS).

### 2.2.2 Δορυφόροι Μέσης Τροχιάς (MEO)

Οι δορυφόροι Μέσης Τροχιάς (MEO) βρίσκονται σε υψηλότερα ύψη από τους GEO δορυφόρους. Οι δορυφόροι MEO περιλαμβάνουν συστήματα πλοήγησης όπως το GPS. Οι δορυφόροι MEO παρέχουν καλή γεωγραφική κάλυψη και χρησιμοποιούνται ευρέως για πλοήγηση, χαρτογράφηση και υπηρεσίες χρονικού συγχρονισμού.

Στους ΜΕΟ περιλαμβάνονται και οι δορυφόροι σε Υψηλή Ελλειπτική Τροχιά (ΗΕΟ), γνωστοί και ως δορυφόροι σε Μεσαία τροχιά Γης (ΜΕΟ), ανήκουν σε μια ειδική κατηγορία δορυφόρων που λειτουργούν σε ελλειπτικές τροχιές, ταξιδεύοντας σε μεταβαλλόμενες αποστάσεις γύρω από τη Γη, με δυνατότητα να εξυπηρετούν συγκεκριμένους σκοπούς που διαφέρουν από αυτούς στη γεωστατική τροχιά (ΓΕΟ) ή στη χαμηλή τροχιά Γης (ΛΕΟ) παρέχοντας κάλυψη και υπηρεσίες σε περιοχές που δεν εξυπηρετούνται βέλτιστα από τους δορυφόρους σε ΓΕΟ ή ΛΕΟ τροχιές.

### 2.2.3 Δορυφόροι σε Χαμηλή Τροχιά (ΛΕΟ)

Οι δορυφόροι σε χαμηλή τροχιά (ΛΕΟ) βρίσκονται σε χαμηλότερα ύψη πάνω από τους δορυφόρους ΜΕΟ. Η τροχιά ΛΕΟ χρησιμοποιείται για το Globalstar, το Iridium και το Starlink, μεταξύ άλλων. Οι δορυφόροι ΛΕΟ προσφέρουν χαμηλή καθυστέρηση και υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, καθιστώντας τους κατάλληλους για ευρυζωνική πρόσβαση και επικοινωνίες παγκοσμίως.

### 2.2.4 Δορυφόροι σε Πολύ Χαμηλή Τροχιά (VLEO) και Small LEO

Οι δορυφόροι σε πολύ χαμηλή τροχιά (VLEO) και οι δορυφόροι Small LEO (μικροί ΛΕΟ) είναι πολύ χαμηλότεροι από τους παραδοσιακούς δορυφόρους ΛΕΟ. Αυτοί οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται για νέες εφαρμογές όπως το Internet of Things (IoT) και την παρακολούθηση της Γης με υψηλή ανάλυση. Οι VLEO και Small LEO δορυφόροι έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ευκρίνειας με μικρότερη καθυστέρηση.

Στα κύρια πλεονεκτήματα των μικρών δορυφόρων σε χαμηλή τροχιά (ΛΕΟ) περιλαμβάνονται το πολύ χαμηλό κόστος, τη χαμηλή καθυστέρηση στις επικοινωνίες, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η υψηλή ανθεκτικότητα σε βλάβες, εάν ληφθεί υπόψη η απασχόληση δεκάδων μικρών δορυφόρων ταυτόχρονα. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τους μικρούς δορυφόρους ελκυστικούς για διάφορα σενάρια εφαρμογής. Για παράδειγμα η υλοποίηση παγκόσμιου δικτύου δορυφόρων με σκοπό την επέκταση της πρόσβασης στο Διαδίκτυο για τον παγκόσμιο πληθυσμό. Εργασίες που ήδη εκτελούνται από

συστήματα δορυφόρων σε LEO τροχιές θα μπορούσαν να εκτελεστούν από μικρούς δορυφόρους με χαμηλότερο κόστος και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, όπως η παρακολούθηση της Γης, η ανάκαμψη μετά από καταστροφές, η απομακρυσμένη εποπτεία, οι εφαρμογές από μηχανή σε μηχανή (M2M) και οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), ιδίως εάν οι συσκευές βρίσκονται σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές.

### 2.2.5 CubeSats

Τα CubeSats είναι μικροί δορυφόροι με προκαθορισμένο μέγεθος και βάρος και απλότητα σχεδιασμού. Ο πιο κοινός τύπος είναι ο "1U CubeSat," που έχει διαστάσεις 10x10x10 εκατοστά και όγκο περίπου 1 λίτρο. Υπάρχουν διάφοροι άλλοι τύποι (ενδεικτικά: 2U, 3U, και άλλοι) που ποικίλλουν στο μέγεθος. Χρησιμοποιούνται για εκπαιδευτικούς, επιστημονικούς και επιχειρηματικούς σκοπούς. Οι CubeSats έχουν χαμηλό κόστος και είναι εξαιρετικά ευέλικτοι, γεγονός που επιτρέπει τη διεξαγωγή πολλών διαφορετικών αποστολών με μικρό κόστος.

Αυτές είναι ορισμένες από τις βασικές κατηγορίες δορυφόρων που χρησιμοποιούνται στο χώρο των δορυφορικών εφαρμογών. Κάθε κατηγορία έχει τις δικές της ιδιαιτερότητες και εφαρμογές που την καθιστούν σημαντική στον κόσμο των δορυφόρων.

Ο αυξανόμενος ρόλος της μικροηλεκτρονικής και η ελαχιστοποίηση του κόστους σε συνδυασμό με χρήση COTS υλικού στην κατασκευή δορυφόρων κατέστησε δυνατή την μεγάλη παραγωγή και την ευρεία χρήση των μικρών δορυφόρων, δηλαδή διαστημικών οχημάτων μάζας 500-1000 κιλών. Τα μικρά δορυφορικά σκάφη έχουν αποδειχθεί ως ένα προσιτό μέσο για την επίδειξη νέων τεχνολογιών, αλλά επιτρέπουν επίσης στις συστοιχίες δορυφόρων να προσεγγίσουν τις συμβατικές διαστημικές αποστολές με διαφορετικό τρόπο, αυξάνοντας τον χρόνο επανεξέτασης σε πολλές τοποθεσίες ενδιαφέροντος, αυξάνοντας τον αριθμό των επιστημονικών μετρήσεων, αλλά και επιτρέποντας τη χρήση διαφορετικών μετρήσεων μέσω τεχνικών απόστασης σε συνδυασμό με δορυφορικούς δέκτες GPS.

## 2.3 Χρήση των Δορυφόρων

Οι δορυφόροι αποτελούν κρίσιμο στοιχείο των επικοινωνιακών, πλοήγησης, παρακολούθησης και διαστημικών εφαρμογών. Η εξέλιξη της δορυφορικής τεχνολογίας έχει επιτρέψει τη δημιουργία δορυφόρων σε ποικίλες κατηγορίες, καθένα από τα οποία εξυπηρετεί συγκεκριμένες ανάγκες και λειτουργίες.

### 2.3.1 Παρακολούθηση της Γης

Μέχρι στιγμής, η κύρια χρήση για τους νανο/μικροδορυφόρους έχει είναι η παρακολούθηση της Γης και η τηλεπισκόπηση. Η εφαρμογή μεγάλων δορυφορικών συστημάτων επιτρέπει την πραγματοποίηση πολλών ταυτόχρονων και κατανεμημένων μετρήσεων ή παρατηρήσεων (πόροι της Γης, κλιματικές αλλαγές, ανάλυση εδάφους, παρακολούθηση δασών, κ.λπ.). Οι νανο/μικροδορυφόροι προσφέρουν τη δυνατότητα παρακολούθησης ευρύτερων περιοχών της Γης με μικρότερο κόστος σε σύγκριση με τους μεγάλους γεωσταθερούς δορυφόρους, επιτρέποντας τη συλλογή σημαντικών γεωγραφικών και περιβαλλοντικών δεδομένων

#### 2.3.1.1 Παρακολούθηση Καιρού:

Δορυφόροι χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών, προβλέποντας καιρικά φαινόμενα και φυσικές καταστροφές. Αυτοί οι δορυφόροι συλλέγουν δεδομένα που βοηθούν στην πρόβλεψη του καιρού, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες για τη μελλοντική πρόγνωση και την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών.

#### 2.3.1.2 Παρακολούθηση Περιβάλλοντος

Δορυφόροι παρακολουθούν την αλλαγή του κλίματος, την αποψίλωση των δασών, την ποιότητα του νερού και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους ή και καταστροφές όπως φυσικές καταστροφές (π.χ. πλημμύρες, πυρκαγιές) ή ανθρωπογενείς καταστροφές (π.χ. πυρηνικές εκρήξεις). Αυτή η παρακολούθηση επιτρέπει γρήγορη αντίδραση και παροχή βοήθειας σε περιπτώσεις καταστροφής.

Το αυξημένο επίπεδο χρήσης των μικρών δορυφόρων για την παρακολούθηση της Γης και την τηλεπισκόπηση απαιτεί αυξημένες ρυθμίσεις της ροής των δεδομένων για τη λήψη των συλλεγμένων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο.

#### *2.3.1.3 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ. Γ. Π.)*

Οι δορυφόροι παρέχουν γεωγραφικές πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για χαρτογραφικές εφαρμογές, πλοήγηση, και περιβαλλοντική διαχείριση.

### **2.3.2 Επιστημονικές και Τεχνολογικές Αποστολές:**

Οι νανο/μικροδορυφόροι έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για επιστημονικές αποστολές και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στον διαστημικό τομέα. Εξερευνούν την ατμόσφαιρα, τον χώρο, τον Ήλιο, και άλλα αστρικά σώματα, προσφέροντας σημαντικές επιστημονικές πληροφορίες. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στο διάστημα, καθώς και για εκπαιδευτικούς σκοπούς για την ενθάρρυνση της νέας γενιάς επιστημόνων.

#### *2.3.2.1 Διαστημική Επιστήμη*

Δορυφόροι χρησιμοποιούνται για επιστημονικές αποστολές για την κατανόηση του διαστημικού περιβάλλοντος και την εξερεύνηση των πλανητών και του Διαστήματος.

#### *2.3.2.2 Τηλεσκόπια στο Διάστημα*

Δορυφόροι με τηλεσκόπια στο διάστημα παρέχουν υψηλής ανάλυσης εικόνες του Σύμπαντος.

### **2.3.3 Διαπλανητικές Εξερευνητικές Αποστολές:**

#### *2.3.3.1 Εξερεύνηση Άλλων Πλανητών*

Δορυφόροι αποστέλλονται για την εξερεύνηση άλλων πλανητών του ηλιακού συστήματος, όπως ο Άρης, η Αφροδίτη και η Ευρώπη.

### 2.3.3.2 Υπηρεσίες Επικοινωνίας

Δορυφόροι επικοινωνιών αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία. Χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση τηλεπικοινωνιακών σημάτων, την παροχή δορυφορικού Internet, την κινητή τηλεφωνία, και άλλες επικοινωνιακές υπηρεσίες. Δορυφόροι χρησιμοποιούνται για την παροχή επικοινωνίας σε απομακρυσμένες περιοχές και κατά τη διάρκεια καταστροφών όπου οι υποδομές έχουν καταρρεύσει.

Συστοιχίες μικρών και ναυδορυφόρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή διανομής δεδομένων (εφαρμογές μετάδοσης) και ανταλλαγής δεδομένων (Internet of Things και Machine-to-Machine παράδειγμα) και επίσης για την επέκταση της πρόσβασης στο Διαδίκτυο σε όλη τη Γη. Σύμφωνα με την Space Works, στα επόμενα χρόνια, οι συστοιχίες επικοινωνίας μικρών και ναυδορυφόρων, που βρίσκονται τώρα στη φάση επίδειξης της τεχνολογίας, θα χρησιμοποιηθούν για να εξυπηρετήσουν και να υποστηρίξουν τη γρήγορα αυξανόμενη αγορά του Internet of Things (IOT) και του Machine-to-Machine (M2M). Ορισμένες επιχειρήσεις που ασχολούνται με αυτό τον τομέα είναι η Sky & Space Global, η Kepler Communications, η Hiber (Magnitude Space), η Helios Wire, η Astrocast, η Blink Astro, η Fleet Space και η Myriota.

### 2.3.4 Εμπορικές, Πολιτικές και Στρατιωτικές Εφαρμογές:

#### 2.3.4.1 Πλοήγηση:

Το GNSS αναφέρεται στα Διαστημικά Συστήματα Παγκόσμιας Πλοήγησης (Global Navigation Satellite System). Η τρέχουσα γενιά των GNSS μπορεί να θεωρηθεί ως ο διάδοχος των συστημάτων Doppler. Αυτά τα συστήματα βασίζονται σε συνεκτικά ψηφιακά σήματα μικροκυμάτων (στη ζώνη L-band) που εκπέμπονται από τους δορυφόρους σε τουλάχιστον δύο φορείς συχνότητας. Η ταυτόχρονη μέτρηση των σημάτων που εκπέμπονται από διάφορους δορυφόρους και καταγράφονται από έναν δέκτη επιτρέπει την άμεση προσδιορισμό θέσης.

Το GPS (Global Positioning System) είναι πιθανώς το πιο γνωστό GNSS και θεωρείται η πιο γνωστή διαστημική γεωδαιτική τεχνική σήμερα. Το σύστημα έχει επιρροή στην επιστήμη και την κοινωνία συνολικά, εκτείνοντας τις επιδράσεις του πέρα από τη διαστημική γεωδαισία. Το GPS επαναπροσδιόρισε τη γεωμετρία, το χρονισμό, την πεζοπορία, την πλοήγηση αυτοκινήτου, θαλάσσια και αεροπορική πλοήγηση. Εκατομμύρια δέκτες χρησιμοποιούνται σήμερα. Οι δορυφόροι πλοήγησης μέσω του συστήματος GPS, παρέχουν πληροφορίες για την προσδιορισμό της θέσης και την πλοήγηση σε ξηρά, θάλασσα και αέρα.

Οι διαστημικές εφαρμογές του GPS έχουν βαθύ αντίκτυπο στη γεωδαισία και τις ατμοσφαιρικές επιστήμες.

#### *2.3.4.2 Πληροφορίες Ασφάλειας*

Οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών ασφάλειας και επιτήρησης. Το Aerial & Maritime εμπορική αποστολή της GomSpace είναι επικεντρωμένη στην παρακολούθηση αεροσκαφών και πλοίων για την αντίληψη της κατάστασης προσφέροντας απομακρυσμένη παρακολούθηση, γεω-εντοπισμός και έξυπνη συλλογή δεδομένων για προληπτική συντήρηση

#### *2.3.4.3 Πολιτικές Και Πολεμικές Επιχειρήσεις:*

Δορυφόροι συμβάλλουν στην επικοινωνία, την επιτήρηση, και την ανίχνευση σε στρατιωτικές και πολιτικές επιχειρήσεις.

Συνολικά, οι δορυφόροι παρέχουν μια ευρεία γκάμα υπηρεσιών και εφαρμογών που καλύπτουν τόσο επιστημονικούς όσο και εμπορικούς, πολιτικούς και στρατιωτικούς τομείς συμβάλλοντας σημαντικά στην κατανόηση του κόσμου μας, στη βελτίωση των επικοινωνιών και των υπηρεσιών μας, στην εξερεύνηση του διαστήματος, την επικοινωνία και την πλοήγηση σε παγκόσμια κλίμακα, την παρακολούθηση της Γης και των φυσικών φαινομένων, και την υποστήριξη στρατιωτικών και ασφαλιστικών εφαρμογών.



### 2.3.5 Χαρακτηριστικά Δορυφόρων

Τα χαρακτηριστικά των δορυφόρων περιλαμβάνουν διάφορα στοιχεία που αφορούν στον τρόπο λειτουργίας, τη δομή, την ενέργεια και την επικοινωνία τους. Ας εξετάσουμε καθένα από αυτά τα χαρακτηριστικά πιο αναλυτικά:

#### 2.3.5.1 Δομή

Η δομή του δορυφόρου αφορά τον τρόπο με τον οποίο είναι σχεδιασμένος και κατασκευασμένος. Συμπεριλαμβάνει τα υλικά που χρησιμοποιούνται, την αντοχή στις συνθήκες του διαστήματος, το μέγεθος, το βάρος και τη γενική δομή του δορυφόρου. Η δομή πρέπει να είναι ανθεκτική και να παρέχει προστασία από τις σκληρές συνθήκες του διαστήματος.

#### 2.3.5.2 Deployment (Ανάπτυξη)

Το deployment αφορά τον τρόπο με τον οποίο ανοίγουν ή αναπτύσσονται διάφορα υποσυστήματα ή εξαρτήματα του δορυφόρου μετά την εκτόξευση. Για παράδειγμα, κάποιοι δορυφόροι έχουν περύγια που ανοίγονται μετά την εκτόξευση για να παρέχουν σταθερότητα ή για να προσφέρουν επιπλέον επιφάνεια για την παραγωγή ενέργειας από το φως του ήλιου.

#### 2.3.5.3 Ενέργεια

Η προμήθεια ενέργειας είναι κρίσιμη για τη λειτουργία του δορυφόρου. Οι δορυφόροι χρησιμοποιούν ηλιακούς πίνακες για την παραγωγή ενέργειας από το φως του ήλιου και μπαταρίες για την αποθήκευση της ενέργειας για χρήση κατά τη διάρκεια της νύκτας ή σε περίπτωση προσωρινής σκίασης από τη Γη. Επιπλέον, ορισμένοι δορυφόροι μπορεί να λειτουργούν με ραδιοϊσότοπα ως πηγές ενέργειας.

#### 2.3.5.4 Επικοινωνία:

Η δυνατότητα επικοινωνίας είναι ουσιώδης για τους δορυφόρους. Αυτή περιλαμβάνει την επικοινωνία με τον έδαφος και, σε πολλές περιπτώσεις, την επικοινωνία με άλλους δορυφόρους. Οι δορυφόροι χρησιμοποιούν ραδιοσήματα για τη μετάδοση πληροφοριών προς και από τη Γη και για εσωτερική επικοινωνία μεταξύ διαφόρων υποσυστημάτων.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι κρίσιμα για την επιτυχημένη λειτουργία των δορυφόρων στο διάστημα και για την παροχή των διαφόρων υπηρεσιών και εφαρμογών που εξυπηρετούν. Κάθε δορυφόρος σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με βάση τις συγκεκριμένες ανάγκες και τις λειτουργίες που πρέπει να εκτελέσει.

Η εισαγωγή της μικροηλεκτρονικής, της αυτοματοποιημένης κατασκευής, των αισθητήρων, των μπαταριών, των κινητήρων και η σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής τους έχει επιτρέψει την ελαχιστοποίηση των μεγαλύτερων συμβατικών δορυφόρων και μερών, μειώνοντας σημαντικά το κόστος εκτόξευσης (κόστος ανά κιλό).

Οι μικροί δορυφόροι (SmallSats, CubeSat) έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα που τα έχουν καταστήσει πολύ δημοφιλή την τελευταία δεκαετία για επιστημονικές και εμπορικές διαστημικές αποστολές μια και μπορούν με πολύ προσιτό κόστος.

Η χρήση στοιχείων COTS (Commercial Off-The-Shelf) για αποστολές μικρών δορυφορικών σκαφών σε χαμηλή τροχιά της Γης (LEO) έχει επίσης μειώσει τα κόστη των διαστημικών αποστολών, έχει συμβάλει στην ελαχιστοποίηση και έχει δημιουργήσει μεγάλη διαθεσιμότητα στοιχείων και αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δορυφορικά όργανα, υποσυστήματα και πλατφόρμες.

Νέοι ιδιωτικοί και πολιτικοί εκτοξευτές έχουν αυξήσει τον αριθμό και τον ανταγωνισμό των εκτοξεύσεων, μειώνοντας το κόστος εκτόξευσης και αυξάνοντας σημαντικά τη διαθεσιμότητα εκτοξεύσεων σε σύγκριση με πριν από 10 χρόνια.

Μικροί δορυφόροι με χαμηλό κόστος εκτόξευσης μπορούν να επιτρέψουν τη δημιουργία συστημάτων συστοιχιών, τα οποία επιτρέπουν την ταυτόχρονη αύξηση του αριθμού, της συχνότητας και της τοποθεσίας των μετρήσεων αισθητήρων σε όλο τον κόσμο.

Αυτά τα πλεονεκτήματα έχουν καταστήσει τα μικρά δορυφορικά σκάφη ελκυστικά για επιστημονικές και εμπορικές χρήσεις, επιτρέποντας την εξοικονόμηση χρημάτων και την επίτευξη νέων καινοτόμων εφαρμογών στον χώρο της διαστημικής έρευνας και των υπηρεσιών.

### 3 Δορυφόροι στα Δίκτυα 5G

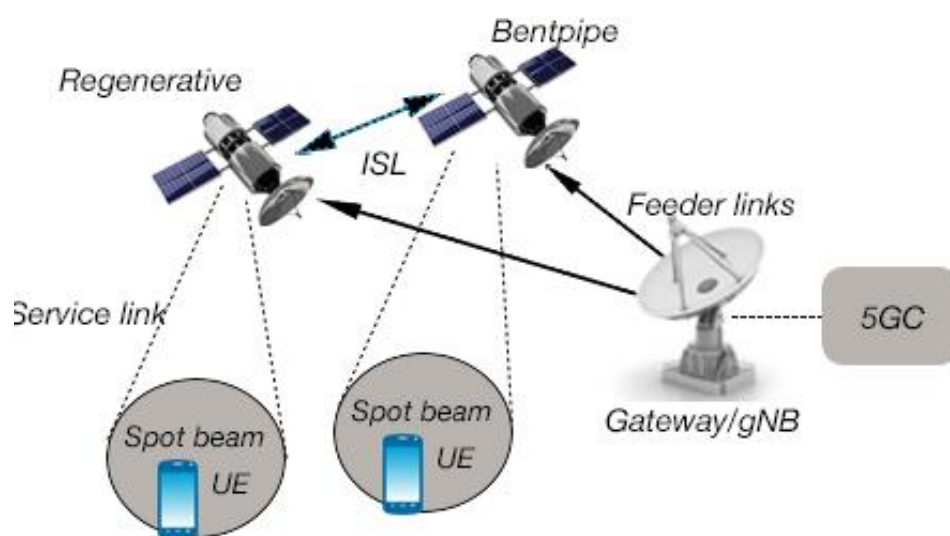
Οι δορυφόροι δύνανται να συμβάλλουν στη διασύνδεση των δικτύων 5G και στη διασφάλιση της παγκόσμιας κάλυψης υποστηρίζοντας παράλληλα νέες εφαρμογές και υπηρεσίες. Αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσει τον ρόλο των δορυφόρων στα δίκτυα 5G και τις τεχνολογίες που τους στηρίζουν.

#### 3.1 Αρχιτεκτονική Δορυφορικών Συστημάτων.

Οι δορυφορικές μικροκυματικές συνδέσεις χρησιμοποιούν δορυφορικούς σταθμούς αναμετάδοσης (δορυφόρους), οι οποίοι είναι σε θέση να μεταδίδουν σήματα σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτές οι δορυφορικές συνδέσεις διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις "ανοδικές", προς τα πάνω (uplink) και τις "καθοδικές", προς τα κάτω (downlink) δηλαδή τη ζεύξη από το δορυφόρο προς έναν ή περισσότερους επίγειους σταθμούς, ενώ λέγοντας uplink εννοούμε τη ζεύξη από τον επίγειο σταθμό προς τον δορυφόρο. Η δυνατότητα εκπομπής των συνδέσεων προς τα κάτω, καθιστά τα δορυφορικά συστήματα ελκυστικά για υπηρεσίες εκπομπής, όπως τηλεοπτικών σημάτων. Η ζεύξη μέσω δορυφόρου συνήθως περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Δορυφορικά Τερματικά (Satellite Terminals, ST) αυτό μπορεί να είναι και ο εξοπλισμός του χρήστη (UE) π.χ. το κινητό του τηλέφωνο, είτε πρόκειται για το επίγειο ή το δορυφορικό κινητό σύστημα.
- Επίγειοι Σταθμοί-πύλες (Terrestrial Gateways), που παρέχουν λειτουργίες διασύνδεσης σε ένα επίγειο δίκτυο όποια κι αν είναι η μορφή του ή μεταξύ του δορυφορικού δικτύου και του Internet.
- Δίκτυα (Service/Feeder Links), που συνδέουν τον εξοπλισμό του χρήστη με το δορυφόρο ή με τους επίγειους σταθμούς-πύλες.
- Bent-pipe Αρχιτεκτονική: ο δορυφόρος λειτουργεί ως αναμεταδότης από και προς τον σταθμό εδάφους. Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, ο δορυφόρος, η συσκευή και ο σταθμός εδάφους πρέπει να έχουν οπτική επαφή. Η επίγεια τηλεπικοινωνιακή υποδομή βοηθά σημαντικά στην πραγματοποίηση των κλήσεων. Πρόκειται για ένα σύνολο ενεργειών που περιλαμβάνουν το φιλτράρισμα, τη μετατροπή και την ενίσχυση της Ραδιοσυχνότητας (RF).

- Διασυνδέσεις Δορυφόρων προς Δορυφόρους (Inter-Satellite Links - ISL). Στην αρχιτεκτονική του "Intersatellite," η μόνη απαίτηση είναι η οπτική επαφή μεταξύ του δορυφόρου και της συσκευής του χρήστη. Οι κλήσεις μπορούν να μεταδοθούν από έναν δορυφόρο σε άλλον σε μεγάλες αποστάσεις, μέχρι να φθάσουν στον δορυφόρο που βλέπει τον παραλήπτη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος PRP (Probabilistic Routing Protocol) που μειώνει τον αριθμό των προσπαθειών επαναδρομολόγησης των μηνυμάτων προς τον επιθυμητό προορισμό. Η υλοποίηση των συνδέσεων ISL μπορεί να χρησιμοποιήσει κανονική RF ή τεχνολογία Οπτικών Ελευθέρου Διαστήματος (Free-Space Optical - FSO), που χρησιμοποιεί το φως που διαδίδεται ελεύθερα στο διάστημα για τη μετάδοση δεδομένων.
- Στην αρχιτεκτονική "Hybrid," ο δορυφόρος αποθηκεύει τα μηνύματα όταν δεν μπορεί να δει τον παραλήπτη. Όταν ο δορυφόρος βρεθεί σε θέση όπου μπορεί να δει τον παραλήπτη, τότε προωθεί το αποθηκευμένο μήνυμα.



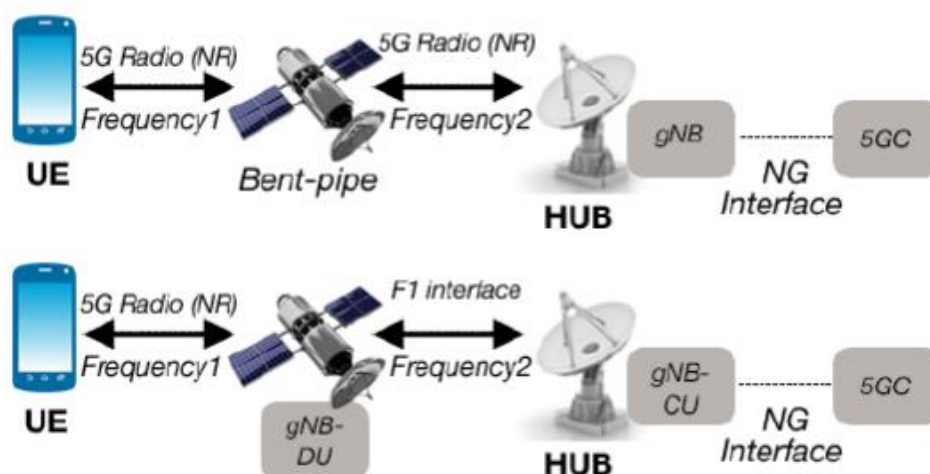
Εικόνα 3-1 Αρχιτεκτονική Δορυφορικών Συστημάτων [25]

Η τεχνολογία δορυφόρων και η συμβολή τους στα δίκτυα 5G συνεχώς εξελίσσονται. Τεχνολογικές εξελίξεις όπως ο αυξημένος αριθμός των δορυφόρων σε τροχιά, η χρήση της ισχύος του φωτός, και η χρήση εξελιγμένων

κεραιών συμβάλλουν στην βελτίωση των δορυφορικών υπηρεσιών για τα δίκτυα 5G. Από την τεχνολογία δορυφορικών συστημάτων μέχρι τις οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, οι δορυφόροι προσφέρουν μια πολυδιάστατη συμβολή στην εξέλιξη των δικτύων 5G.

### 3.2 Αρχιτεκτονική Δορυφόρου και Δικτύου 5G NR

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3-2, οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές επικοινωνίας του 3rd Generation Partnership Project (3GPP) εξελίχθηκαν με τη συμμετοχή των δορυφόρων. Στις προτεινόμενες αρχιτεκτονικές, παρουσιάζονται οι αναγεννητικοί δορυφόροι με δυνατότητες επεξεργασίας στον δορυφόρο και Bent-pipe δορυφόροι, οι οποίοι δεν διαθέτουν δυνατότητες επεξεργασίας στον δορυφόρο, στα δίκτυα πρόσβασης 5G δορυφορικών συνδέσεων αντίστοιχα.



Εικόνα 3-2 3GPP 5G αρχιτεκτονικές που περιλαμβάνουν δορυφορικά συστήματα [26]

### 3.3 Διαχείριση κίνησης και τροχιάς

Σε αντίθεση με τα δορυφορικά συστήματα GEO, τα δορυφορικά συστήματα LEO έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως αποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης, χαμηλές καθυστερήσεις στην μετάδοση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στους χρήστες και τους δορυφόρους. Ωστόσο, η περιοχή κάλυψης ενός δορυφόρου LEO στην επιφάνεια της Γης δεν είναι σταθερή λόγω της

ασύγχρονης κίνησης του δορυφόρου σε σχέση με τη Γη, με αποτέλεσμα την επαναλαμβανόμενη μετάβαση κατά τη σύνδεση με δορυφόρους LEO δορυφόρους. Ως εκ τούτου, ο έλεγχος της τροχιάς και κίνησης είναι πιο δύσκολος στα δορυφορικά συστήματα LEO σε σύγκριση με τα συστήματα GEO. Η ίδια διαφορά υπάρχει κατά τη σύγκριση της διαχείρισης κίνησης σε ένα σύστημα LEO με τα επίγεια δίκτυα κινητής.

### 3.3.1.1 Μετάβαση- (Handover-HO)

Η Μετάβαση (Handover - HO) αναφέρεται στη διαδικασία μεταφοράς μιας τρέχουσας κλήσης ή συνόλου δεδομένων από ένα λογικό/φυσικό κανάλι σε ένα άλλο με ελάχιστη απώλεια ή διακοπή της υπηρεσίας. Αυτό μπορεί να συμπεριλαμβάνει διάφορους σταθμούς βάσης και/ή δορυφόρους. Όταν ένας δορυφόρος δεν μπορεί να διατηρήσει τη σύνδεσή του λόγω πτώσης της στάθμης του σήματος κάτω από το όριο λειτουργίας, συμβαίνει η μετάβαση από το δορυφόρο (Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να βρίσκεται εκτός του οπτικού πεδίου του δορυφόρου). Γι' αυτό, η σύνδεση θα πρέπει να συνεχιστεί με τον επόμενο δορυφόρο που είναι διαθέσιμος.

Η απόδοση του συστήματος επικοινωνίας εξαρτάται σημαντικά από την απόδοση των μεταβάσεων, καθώς μια ανεπιτυχής μετάβαση οδηγεί σε αποκοπή κλήσης/συνεδρίας δεδομένων και αναγκαστικό τερματισμό της κλήσης με όποιες συνέπειες.

Διάφορα επίπεδα πρωτοκόλλου μπορεί να εμπλακούν στη διαδικασία της μετάβασης. Όσο χαμηλότερα είναι τα επίπεδα που εμπλέκονται στην προετοιμασία, συντονισμό και εκτέλεση της μετάβασης, τόσο καλύτερη είναι η απόδοση και το χαμηλότερο επίπεδο διακοπών που μπορούν να επιτευχθούν. Με βάση αυτό, η μετάβαση μπορεί να χωριστεί σε μετάβαση στο επίπεδο συνδέσης (link layer handover) ή στο επίπεδο δικτύου (network layer handover). Στα συστήματα δορυφόρων, υπάρχουν διάφορα είδη μεταβάσεων στο επίπεδο συνδέσης:

- Η μετάβαση από δορυφόρο σε άλλο δορυφόρο,

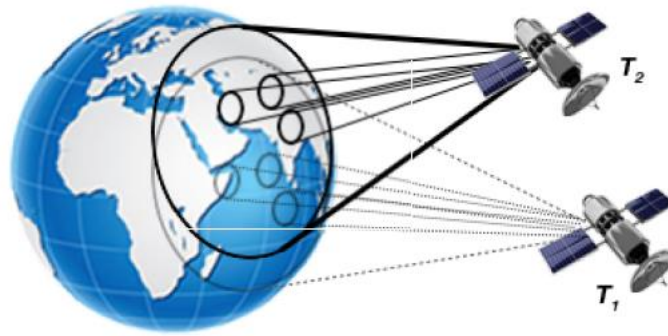
- Η μετάβαση διασυνδέσεων δορυφόρου (ISL HO) που είναι απαραίτητη όταν χρειάζεται να αλλάξει η θέση των δορυφόρων λόγω της κίνησής τους:
- Intra-plane ISLs συνδέουν δορυφόρους στην ίδια τροχιά, όπου η σχετική τοποθεσία του γειτονικού δορυφόρου παραμένει σταθερή και μπορεί εύκολα να χρησιμοποιήσει το FSO για τη σύνδεση.
- Inter-plane ISLs συνδέουν δορυφόρους σε γειτονικές τροχιές, όπου η σχετική τοποθεσία των γειτονικών δορυφόρων αλλάζει με τον χρόνο, καθιστώντας πιο περίπλοκη τη σύνδεση μέσω FSO.
- Η μετάβαση Spot-Beams (Spot-Beams HO) είναι μια ενδο-δορυφορική μετάβαση όπου η μόνη αλλαγή είναι η μετάβαση της σύνδεσης σε ένα διαφορετικό spot-beam.

### 3.4 Σενάρια Κάλυψης

Καθώς οι δορυφόροι LEO κινούνται με σχετικά μεγάλη ταχύτητα σε σχέση με έναν παρατηρητή στη γη, είναι ορατοί για λίγα λεπτά και συνεπώς συχνές μεταβάσεις λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαφορετικών δορυφόρων για να εξασφαλίσουν συνεχή σύνδεση. Το πεδίο κάλυψης του δορυφόρου συνήθως διαιρείται σε μικρότερα κελιά ή spot-beams για να επιτευχθεί αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. Λαμβάνοντας υπόψη το κενό μεταξύ των spot-beams, μια βελτιστοποιημένη χρήση του φάσματος μπορεί να επιτύχει ελάχιστη παρεμβολή με τα μοτίβα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Αυτό επιτρέπει σε spot-beams και/ή δορυφόρους να εξυπηρετούν ένα χρήστη κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας σύνδεσης. Οι δέσμες δορυφόρων μπορούν να σχεδιαστούν με βάση την κάλυψη σε Δορυφόρο με Σταθερό Κελί (SFC) και Δορυφόρο με Σταθερό Κελί Γης (EFC).

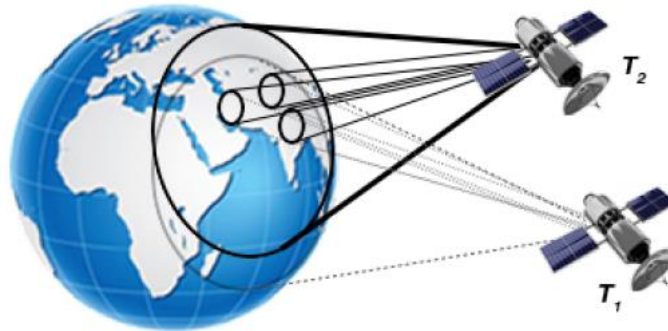
- Συστήματα Δορυφόρου με Σταθερό Κελί (SFC): Οι δέσμες σχετίζονται με το δορυφόρο, όπου οι κατευθύνσεις των δεσμών διατηρούνται σταθερές καθώς ο δορυφόρος κινείται ομαλά πάνω από τη Γη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-3.





Εικόνα 3-3 EFC System, σταθερή κυψέλη σε σχέση με τον δορυφόρο [27]

- Συστήματα Δορυφόρου με Σταθερό Κελί Γης (EFC): Οι δέσμες σχετίζονται με τη Γη, όπου η κατεύθυνση των δεσμών αλλάζει για να ταιριάζει με τα σταθερά κελιά στο έδαφος κατά την κίνηση του δορυφόρου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-4.



Εικόνα 3-4 EFC System, σταθερή κυψέλη σε σχέση με τη ΓΗ [27]

## 4 Σενάρια χρήσης και Τεχνικές Προκλήσεις

Οι δορυφόροι παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση και υποστήριξη των σύγχρονων δικτύων 5G σε διάφορους τομείς.

### 4.1 Σενάρια χρήσης

Τα δίκτυα 5G σε συνδυασμό με τους δορυφόρους προσφέρουν πολλά σενάρια χρήσης που επηρεάζουν διάφορους τομείς. Αυτό το τμήμα θα εξετάσει τα βασικά σενάρια χρήσης των δορυφόρων στα δίκτυα 5G.

#### 4.1.1 Επέκταση ευρυζωνικής κάλυψης

Ένας τομέας όπου οι δορυφόροι μπορούν να συμβάλουν είναι στην επέκταση της κάλυψης των δικτύων 5G σε μη εξυπηρετούμενες περιοχές που βρίσκονται πέρα από την εμβέλεια των γήινων υποδομών. Χρησιμοποιώντας τους δορυφόρους ως υποδομή επιστροφής, τα δίκτυα 5G μπορούν να φτάσουν σε αγροτικές περιοχές, στον αέρα και στη θάλασσα, διασφαλίζοντας ότι η συνδεσιμότητα είναι διαθέσιμη σε απομακρυσμένες και δύσκολα προσβάσιμες τοποθεσίες. Οι δορυφόροι παρέχουν ευρεία κάλυψη σε απομακρυσμένες περιοχές όπου τα έδαφος δεν μπορεί να παρέχει σταθερή σύνδεση. Έτσι γίνεται εφικτή η πρόσβαση σε υπηρεσίες 5G σε περιοχές που προηγουμένως ήταν απομονωμένες από την ψηφιακή εποχή.

#### 4.1.2 Συνδεσιμότητα Κινητών Συσκευών

Οι δορυφόροι συμβάλλουν στην αύξηση της συνδεσιμότητας για κινητές συσκευές, όπως αυτοκίνητα, αεροσκάφη και πλοία. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή της τεχνολογίας των αισθητήρων και το Internet of Things (IoT) σε πολλούς τομείς. Επιπλέον, οι δορυφόροι μπορούν να βελτιώσουν τη χωρητικότητα και την αξιοπιστία των δικτύων 5G. Μπορούν να παρέχουν επιπλέον χωρητικότητα για τις βάσεις σε όλο τον κόσμο, καθώς και σε τρένα, πλοία και αεροσκάφη. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις όπου υπάρχει υψηλή ζήτηση για μετάδοση δεδομένων, όπως σε πολυσύχναστες εκδηλώσεις ή κόμβους μεταφορών.

### 4.1.3 Επικοινωνία σε Περιπτώσεις Καταστροφής:

Σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών και ανθρωπογενών κρίσεων, οι δορυφόροι παρέχουν αξιόπιστη επικοινωνία, επιτρέποντας τη συντονισμένη ανταπόκριση και τη διάσωση.

### 4.1.4 Επικοινωνία σε Κατακτήσεις και Περιπέτειες:

Σε περιπτώσεις κατακτήσεων, αλλά και για αθλητικές και ψυχαγωγικές εκδηλώσεις, οι δορυφόροι παρέχουν επικοινωνία, μετάδοση εικόνας και δεδομένων, ενισχύοντας την εμπειρία των συμμετεχόντων και των θεατών.

## 4.2 Τεχνικές Προκλήσεις

Η ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G, φέρνει μαζί της τεχνικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία. Αυτό το τμήμα θα εξετάσει τις κυριότερες και τις επιπτώσεις τους στην παρεχόμενη υπηρεσία.

### 4.2.1 Οριστικοποίηση Προτύπων

Η εργασία που πραγματοποιείται από τον 3rd Generation Partnership Project (3GPP) σε συνεργασία με τους φορείς επικοινωνίας για τα πρότυπα σχετικά με τη διασύνδεση δορυφόρων στα δίκτυα 5G αποτελεί έναν κρίσιμο τομέα ανάπτυξης σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Αυτός ο τομέας επιτρέπει την ολοκλήρωση των δορυφόρων στο πλαίσιο της τεχνολογίας 5G και προσφέρει πολλά οφέλη και δυνατότητες για το μέλλον των τηλεπικοινωνιών.

Ο 3GPP αποτελεί ένα διεθνές σώμα που αναπτύσσει πρότυπα για τις τηλεπικοινωνίες και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογιών 5G. Ο ρόλος του 3GPP στην ανάπτυξη προτύπων που αφορούν τη διασύνδεση δορυφόρων στα 5G είναι κρίσιμος για την ολοκλήρωση των δορυφορικών υπηρεσιών στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών.

Με την ανάπτυξη των προτύπων 5G που συμπεριλαμβάνουν τη διασύνδεση δορυφόρων, ο 3GPP επιτρέπει την αποδοτική χρήση της δορυφορικής τεχνολογίας για την ενίσχυση των υπηρεσιών 5G. Αυτό προσφέρει υψηλή χωρητικότητα, χαμηλή καθυστέρηση και αξιόπιστη συνδεσιμότητα σε περιοχές που είναι δύσκολο να εξυπηρετηθούν από γήινες υποδομές. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την επέκταση των υπηρεσιών 5G σε αγροτικές, απομακρυσμένες, και άλλες δυσπρόσιτες περιοχές.

Το έργο του 3GPP και των φορέων επικοινωνίας σχετικά με τη διασύνδεση δορυφόρων στα 5G είναι κρίσιμο για την εξέλιξη της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας και την διασφάλιση της συνδεσιμότητας σε όλο τον κόσμο. Αυτή η συνεργασία και η ανάπτυξη προτύπων είναι κρίσιμη για την επιτυχή ενσωμάτωση των δορυφορικών υπηρεσιών στο πλαίσιο της τεχνολογίας 5G. Αυτό συνεισφέρει στην επίτευξη των ακόλουθων οφελών.

**Επέκταση της Κάλυψης:** Η δορυφορική σύνδεση επιτρέπει την επέκταση της κάλυψης των δικτύων 5G σε απομακρυσμένες περιοχές όπου οι γήινες υποδομές είναι περιορισμένες ή ανύπαρκτες.

**Υψηλή Χωρητικότητα και Χαμηλή Καθυστέρηση:** Οι δορυφορικές υπηρεσίες προσφέρουν υψηλή χωρητικότητα και χαμηλή καθυστέρηση, κάτι που είναι κρίσιμο για τις απαιτήσεις των δικτύων 5G, όπου ο υψηλός όγκος δεδομένων και η πραγματική χρονική επικοινωνία είναι ουσιώδεις.

**Επέκταση της Χωρητικότητας και Αξιοπιστίας:** Οι δορυφόροι προσφέρουν επιπλέον χωρητικότητα για τις βάσεις και τις συσκευές πελατών, ιδίως σε πολυσύχναστες εκδηλώσεις ή κόμβους μεταφορών, βελτιώνοντας την εμπειρία των χρηστών.

**Ολοκλήρωση της Δορυφορικής Τεχνολογίας:** Η δορυφορική τεχνολογία ενσωματώνεται αποτελεσματικά στο πλαίσιο των δικτύων 5G, διευκολύνοντας τη συνεχή συνδεσιμότητα και βελτιωμένη ποιότητα εμπειρίας.

Συνεργασία και Τυποποίηση: Ο ρόλος του 3GPP στη διασφάλιση της τυποποίησης και της συνεργασίας μεταξύ των διάφορων φορέων επικοινωνίας εξασφαλίζει την αποδοτική χρήση των δορυφορικών υπηρεσιών στα δίκτυα 5G.

Συνοψίζοντας, η εργασία που γίνεται από το 3GPP και τους φορείς επικοινωνίας σχετικά με τα πρότυπα για τη διασύνδεση δορυφόρων στα 5G είναι κρίσιμη για την επίτευξη της υψηλής απόδοσης, της ευελιξίας και της διαθεσιμότητας που απαιτούν οι τηλεπικοινωνίες του μέλλοντος. Αυτή η ολοκλήρωση ανοίγει τον δρόμο για νέες εφαρμογές και υπηρεσίες που θα εξυπηρετήσουν αποτελεσματικά τις ανάγκες των χρηστών σε όλο τον κόσμο.

#### 4.2.2 Καθυστέρηση (Latency):

Η καθυστέρηση είναι ένα σημαντικό ζήτημα, καθώς η σηματοδότηση και το περιεχόμενο πρέπει να ταξιδεύουν από τη γη στο δορυφόρο και πίσω. Αυτό μπορεί να επηρεάσει εφαρμογές όπως η αυτόνομη οδήγηση και η εικονική πραγματικότητα. Οι δορυφόροι παρέχουν επίσης υψηλής χωρητικότητας και χαμηλή καθυστέρηση, που αποτελούν ουσιαστικές απαιτήσεις για τα δίκτυα 5G. Τα συστήματα υψηλής διάθεσης δορυφόρων (HTS) και οι νέες μεγάλες συστοιχίες δορυφόρων μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτές τις απαιτήσεις και να ενισχύσουν τις γήινες υπηρεσίες εντός του πλαισίου του 5G. Αυτό επιτρέπει στα δίκτυα 5G να παρέχουν ταχύτερες και πιο αξιόπιστες συνδέσεις, υποστηρίζοντας εφαρμογές που απαιτούν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και πραγματική χρονική επικοινωνία.

#### 4.2.3 Αλληλεπίδραση Συχνοτήτων:

Η αλληλεπίδραση των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στο φάσμα μεταξύ επίγειων σταθμών βάσης και δορυφόρων πρέπει να διαχειριστεί προσεκτικά, καθώς οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τους δορυφόρους και τα εδάφη πρέπει να συμβαδίζουν ώστε να απαλείφεται η περίπτωση παρεμβολών.

#### 4.2.4 Κεραίες και Εξοπλισμός Κινητών Συσκευών:

Ο εξοπλισμός Κινητών Συσκευών που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση με τους δορυφόρους πρέπει να είναι προηγμένος και να διαχειρίζεται αποδοτικά τη συνδεσιμότητα.

#### 4.2.5 Συγχρονισμός Δορυφόρων:

Ο συγχρονισμός των δορυφόρων είναι απαραίτητος για να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του δικτύου και η αποφυγή συγκρούσεων.

#### 4.2.6 Ενεργειακές Προκλήσεις:

Οι δορυφόροι πρέπει να διαχειρίζονται την ενέργεια που καταναλώνουν, καθώς και την ψύξη για τη διατήρηση της λειτουργικότητάς τους στον διάστημα.

#### 4.2.7 Ασφάλεια:

Η ασφάλεια των δορυφόρων και των επικοινωνιών δορυφορικού δικτύου είναι κρίσιμη για την προστασία από επιθέσεις και παρεμβάσεις.

#### 4.2.8 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις:

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης δορυφόρων στα δίκτυα 5G πρέπει να εξεταστούν και να διαχειριστούν.

Αυτό το τμήμα παρέχει μια επισκόπηση των τεχνικών προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G. Αυτές οι προκλήσεις αποτελούν κρίσιμα ζητήματα που απαιτούν περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας για την επιτυχή υλοποίηση αυτών των συνδυασμένων δικτύων.

### 4.3 Μελλοντικές Προοπτικές

Παρά τις τεχνικές προκλήσεις, η ένταξη των δορυφόρων στα δίκτυα 5G έχει ενθαρρυντικές προοπτικές και ανοίγει τον δρόμο για πολλές εφαρμογές και εξελίξεις. Οι προοπτικές για τη συνδυασμένη χρήση δορυφόρων και δικτύων 5G είναι ενθαρρυντικές, αν και πρέπει να αντιμετωπιστούν πολλές προκλήσεις για την επίτευξη του πλήρους δυναμικού τους

### 4.3.1 Εξελιγμένη Κάλυψη και Πρόσβαση

Η χρήση δορυφόρων επεκτείνει την κάλυψη των δικτύων 5G σε απομακρυσμένες περιοχές και περιοχές που προηγουμένως δεν είχαν πρόσβαση σε υψηλές ταχύτητες πρόσβασης.

### 4.3.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας:

Η βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας και η εφαρμογή πράσινων τεχνολογιών μπορούν να μειώσουν τον οικολογικό αντίκτυπο των δορυφορικών δικτύων 5G.

### 4.3.3 Σύνδεση Κινητών Συσκευών:

Η σύνδεση των κινητών συσκευών και των αισθητήρων μέσω δορυφόρων επιτρέπει την εφαρμογή του Internet of Things (IoT) σε ευρύ φάσμα τομέων, συμπεριλαμβανομένων της έξυπνης πόλης, των μεταφορών και της γεωγραφικής πληροφορικής.

### 4.3.4 Εφαρμογές Σε Κρίσεις:

Η δορυφορική συνδεσιμότητα έχει σημαντική εφαρμογή σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών και ανθρωπογενών κρίσεων, παρέχοντας αξιόπιστη επικοινωνία και διάσωση.

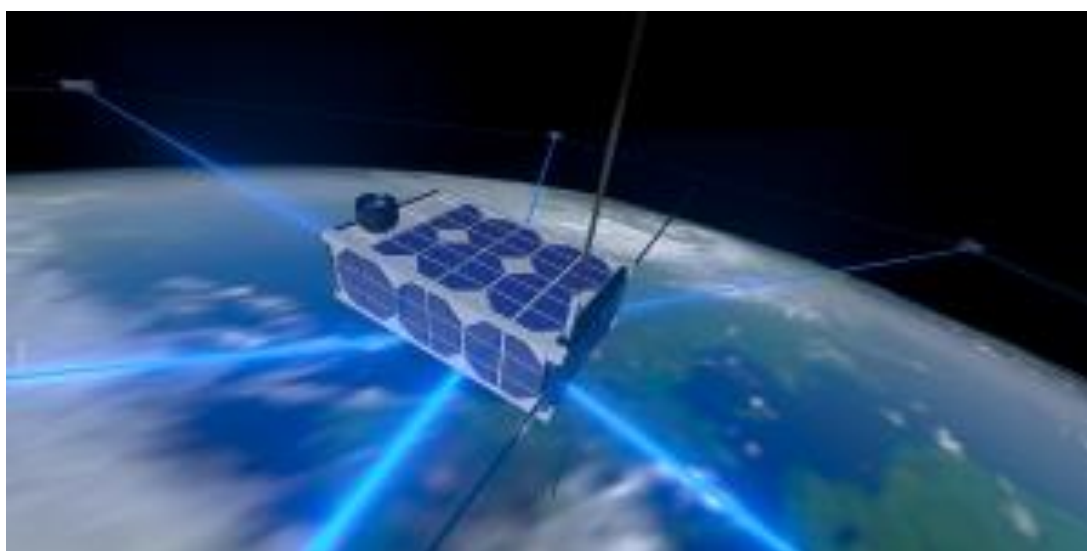
### 4.3.5 Εξελιγμένες Υπηρεσίες:

Οι δορυφορικές τεχνολογίες μπορούν να υποστηρίξουν εξελιγμένες υπηρεσίες όπως η υψηλή ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και η τηλεϊατρική στις απομακρυσμένες περιοχές.

## 5 ΜΙΚΡΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ (SmallSats, CubeSats)

### 5.1 Εισαγωγή

Η ανεξέλεγκτη ανάπτυξη των τεχνολογιών πληροφοριών και τηλεπικοινωνιών έχει οδηγήσει σε μια εκρηκτική αύξηση της ζήτησης για υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και ευρύτερα εύρος ζώνης. Στο πλαίσιο αυτό, οι μικροδορυφόροι και ιδίως οι μικροδορυφόροι παρατήρησης Γης που διαθέτουν υψηλής ακρίβειας δεδομένα για την παρακολούθηση φυσικών καταστροφών, την παρακολούθηση συνόρων και άλλες εφαρμογές, αντιμετωπίζουν την ανάγκη για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων προς τη Γη.



*Εικόνα 5-1 Μικρός Δορυφόρος ΜΔ [23]*

Σε αυτό το πλαίσιο, αναδύεται η ανάγκη για προηγμένα συστήματα επικοινωνιών που να μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτές τις απαιτήσεις.

### 5.2 Free Space Optics, FSO

Μια πολλά υποσχόμενη λύση για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η χρήση των οπτικών ασύρματων επικοινωνιών ελεύθερου χώρου (Free Space Optics, FSO) για μικρο-δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας. Τα οπτικά δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών ελεύθερου χώρου λειτουργούν στο φάσμα των οπτικών συχνοτήτων και παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε



σύγκριση με τα δορυφορικά συστήματα που λειτουργούν στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων (RF - X band & Ka band).

Σημαντικά πλεονεκτήματα των οπτικών δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών ελεύθερου χώρου περιλαμβάνουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, μεγαλύτερο διαθέσιμο φασματικό εύρος ζώνης, μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, μικρότερο μέγεθος και όγκο, καθώς και βελτιωμένη ασφάλεια. Επιπλέον, εξετάζεται η δυνατότητα υιοθέτησης υβριδικού payload που συνδυάζει την οπτική επικοινωνία με τη επικοινωνία μέσω ραδιοσυχνότητας, προσφέροντας έτσι ευελιξία στις επικοινωνίες.

### 5.3 Οπτική Επικοινωνία σε Μικροδορυφόρους

Η χρήση της οπτικής επικοινωνίας σε μικροδορυφόρους προσφέρει τη δυνατότητα υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων που είναι κρίσιμοι για εφαρμογές παρακολούθησης της Γης. Οι μικροδορυφόροι παρατήρησης Γης, για παράδειγμα, απαιτούν τη μετάδοση υψηλής ανάλυσης εικόνων και δεδομένων για την παρακολούθηση της επιφάνειας της Γης και την ανίχνευση φυσικών καταστροφών, όπως πλημμύρες, πυρκαγιές, και σεισμούς. Οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης είναι απαραίτητοι για την προσφορά πρακτικών λύσεων σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης και αντιμετώπισης κρίσεων.

Επιπλέον, η οπτική επικοινωνία επιτρέπει τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των απαιτήσεων για όγκο και μάζα των εξοπλισμών σε σύγκριση με τα δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας RF. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα καθώς οι μικροδορυφόροι έχουν περιορισμένους πόρους, όπως ενέργεια και χώρο, στη διάθεσή τους.

## 5.4 Μικροδορυφόροι με RF (X or Ku or Ka band) Downlink Και SDR Based Receivers

Δημιουργία μικροδορυφόρου ή constellation για εφαρμογές που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Π.χ. Μικροδορυφόροι επιτήρηση της γης , Μικροδορυφόροι που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές IoT / Smart Cities και Διασύνδεση Δημοσίων Φορέων είτε Στρατιωτικών Δομών.

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει διάφορα σενάρια σε σχέση τον απαιτούμενο όγκο δεδομένων και την ανοχή σε διακοπές λειτουργίας.

Σενάριο Εφαρμογής	Ανοχή σε Διακοπές
<b>Επιτήρηση Θαλάσσιων και Χερσαίων Συνόρων</b>	Χαμηλή
<b>Παρακολούθηση Κρίσιμων Ενεργειακών Υποδομών</b>	Χαμηλή
<b>Παρακολούθηση Περιβάλλοντος (Υπηρεσίες IoT, M2M)</b>	Υψηλή

Μικροδορυφόροι για απαιτήσεις με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Κατασκευή του τηλεπικοινωνιακού payload εξ ολοκλήρου από ελληνικές εταιρείες ή Πανεπιστήμια. Κατασκευή και υλοποίηση του Ground Segment (Software Defined Radio Receivers) με δυνατότητες διασύνδεσης με επίγεια Ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα. Τεχνολογία για επεξεργασία πάνω στο δορυφόρο (on board). Προγραμματισμός H/W με Δυνατότητες FPGA. Ανάπτυξη modules του μικροδορυφόρου από Ελληνικά Πανεπιστήμια και Ελληνικές Εταιρείες.

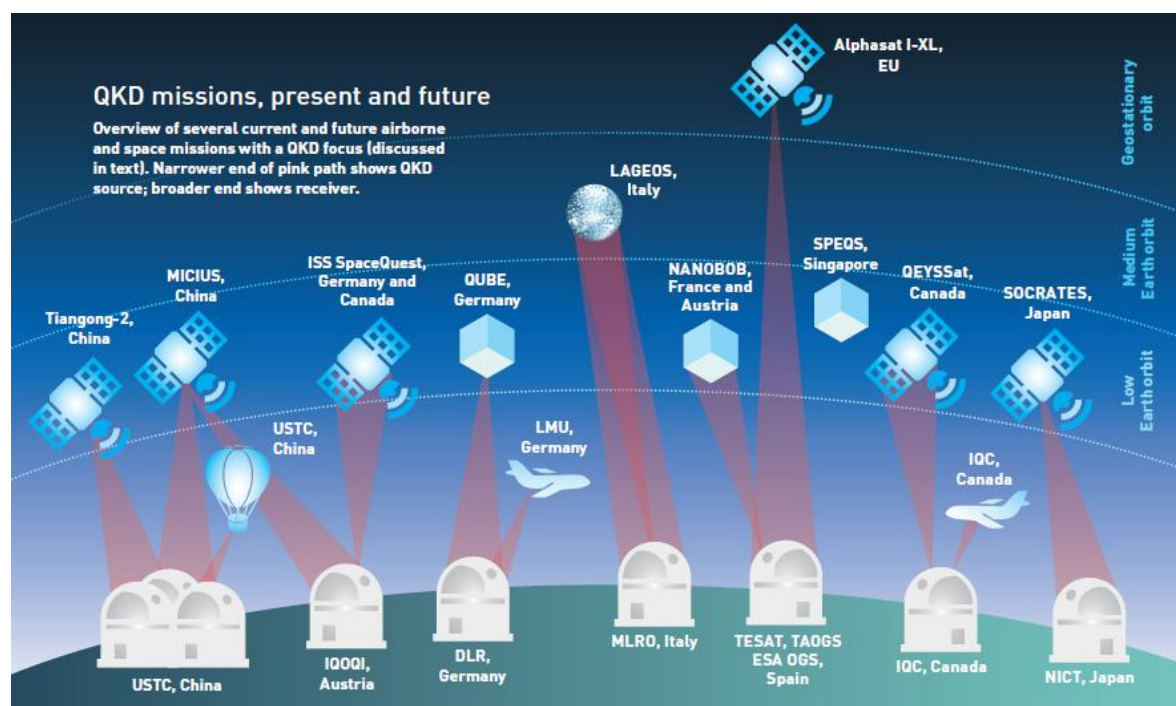
Μπορεί να γίνει και η προμήθεια έτοιμων συστημάτων αν μείνουμε σε πιο Χαμηλές συχνότητες. Δημιουργία πρωτοκόλλου επικοινωνίας βασισμένο στο DVB-S2. Ανάπτυξη του επίγειου δέκτη (κεραία, RF-Front end). Λογισμικό και αλγόριθμοι για την Επεξεργασία δεδομένων. Ε3. Συνέργεια με έργα ESA και ΕΣΠΑ.

Table 9-4: Manufacturers and Products for use in X-band		
Product	Manufacturer	TRL Status
Evolved X-band wire antennas	Antenna Development Corporation, Inc. (AnyDevCo)	9
Quadrifilar Helix Antenna	Antenna Development Corporation, Inc. (AnyDevCo)	9
XTX	Clyde Space	9
XANT	Clyde Space	9
X-band Patch Antenna	Endurosat	9
X-band Transmitter	Endurosat	9
XLINK	IQ Wireless GmbH	9
IRIS V2	JPL	9
SPAN-X-T2	Syrlinks	9
SPAN-X-T3	Syrlinks	9
HDR-TM	Syrlinks	9
EWC27	Syrlinks	9

Εικόνα 5-2 Πίνακας με κατασκευαστές και προϊόντα X-Band [21].

## 5.5 Εφαρμογή της Κβαντικής Διανομής Κλειδιών (QKD)

Το επίπεδο ασφάλειας είναι ένα ακόμα κρίσιμο ζήτημα στις επικοινωνίες μέσω δορυφόρου. Πρόσφατα, αυξημένο ενδιαφέρον παρατηρείται για την έρευνα και υλοποίηση εφαρμογών διανομής κβαντικών κλειδιών (Quantum Key Distribution - QKD) από δορυφόρο χαμηλής τροχιάς. Η χρήση της κβαντικής φυσικής εξασφαλίζει την απόλυτη ασφάλεια των επικοινωνιών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ασφαλή μετάδοση δεδομένων, είτε στον δημόσιο τομέα είτε στον στρατιωτικό τομέα.



Εικόνα 5-3: QKD Γενική Επισκόπηση [20].

## 5.6 Ελληνική Συμβολή στον Τομέα

Το Αστεροσκοπείο Χελμού και το τηλεσκόπιο "Αρίσταρχος" αναδείχθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA) για την κατασκευή επίγειου οπτικού σταθμού που θα υποστηρίζει την επόμενη γενιά τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών της Ευρώπης μέσω οπτικών επικοινωνιών. Αυτό αποτελεί μια εξαιρετική ευκαιρία για την εξέλιξη και αξιοποίηση της οπτικής τεχνολογίας σε δορυφορικές επικοινωνίες και τη συμβολή της Ελλάδας σε αυτόν τον σημαντικό τομέα.

Οι μικροδορυφόροι με οπτικό telecom payload αποτελούν μια πρωτοποριακή λύση για την ικανοποίηση των αυξανόμενων αναγκών σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και ασφαλείς επικοινωνίες. Επιπλέον, η συνδυασμένη χρήση της οπτικής και της ραδιοσυχνότητας σε υβριδικό payload αυξάνει την ευελιξία και την αποδοτικότητα των επικοινωνιών. Η έρευνα και ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον και η Ελλάδα μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην προώθηση αυτών των τεχνολογιών στον διεθνή χώρο.

Επιπλέον, η υποστήριξη και ανάπτυξη της κβαντικής διανομής κλειδιών μέσω δορυφόρων είναι ένα σημαντικό βήμα προς την ενίσχυση της ασφάλειας των επικοινωνιών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Σε κάθε περίπτωση, η ανάπτυξη των μικροδορυφόρων με οπτικό telecom payload και την εφαρμογή της κβαντικής διανομής κλειδιών ανοίγει νέους ορίζοντες στον τομέα των δορυφορικών επικοινωνιών και ασφάλειας, με σημαντικά οφέλη για την κοινωνία και την έρευνα.

Υπάρχουν προαιρετικά έργα της ESA που μπορούν να έρθουν σε συνέργεια με την κατασκευή μικροδορυφόρων στο θέμα που αφορά τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό για οπτικές/RF συχνότητες όπως τα ARTES και το SCYLIGHT.

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει διάφορα σενάρια σε σχέση τον απαιτούμενο όγκο δεδομένων.

Σενάριο Εφαρμογής	Όγκος Δεδομένων
Επιτήρηση Θαλάσσιων και Χερσαίων Συνόρων	Υψηλή
Παρακολούθηση Κρίσιμων Ενεργειακών Υποδομών	Μεσαίος / Υψηλός
Παρακολούθηση Περιβάλλοντος (Υπηρεσίες IoT, M2M)	Χαμηλός/Μεσαίος

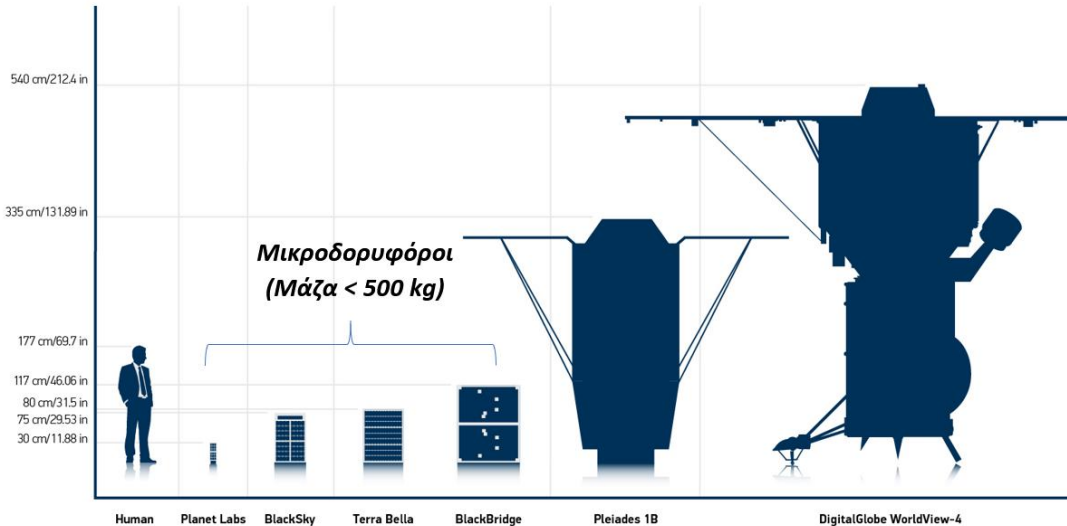
## 5.7 Πλεονεκτήματα Μικρών Δορυφόρων (Small Satellites)

Οι μικροί δορυφόροι έχουν αναδειχθεί ως σημαντικό εργαλείο στον τομέα της διαστημικής έρευνας και των εφαρμογών. Η πρόοδος στη μικροηλεκτρονική, τα υλικά και τα εμπορικά διαθέσιμα ηλεκτρονικά (COTS - Commercial Off the Shelf Electronics) έχουν επιτρέψει τη δημιουργία μικρών δορυφόρων που αποτελούν αποδοτική και οικονομική λύση για διαστημικές αποστολές. Συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα των COTS μικροηλεκτρονικών και αισθητήρων με την διαθεσιμότητα νέων διαστημικών φορέων όπως η SpaceX/Falcon-9, οι μικροί δορυφόροι αποτελούν ισχυρό εργαλείο για την ανάπτυξη και υλοποίηση διαστημικών αποστολών με σύντομους χρόνους προετοιμασίας (λιγότερο από

24 μήνες) και σημαντικά χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τους μεγαλύτερους, συμβατικούς δορυφόρους.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των μικρών δορυφόρων περιλαμβάνουν:

- Χρήση COTS μικροηλεκτρονικών και αισθητήρων, που συνεπάγεται σημαντική μείωση τόσο του κόστους όσο και του χρόνου κατασκευής μικρών δορυφόρων. Η επιλογή αυτών των εμπορικά διαθέσιμων εξαρτημάτων συμβάλλει στην ταχύτερη ανάπτυξη των δορυφόρων.
- Σμήνη μικρών δορυφόρων επιτρέπουν τη συχνή επανεπίσκεψη πάνω από σημεία ενδιαφέροντος. Για παράδειγμα, ένα σμήνος από 20 μικρούς δορυφόρους μπορεί να συλλέγει πληροφορίες κάθε 3-5 ώρες. Αυτή η συχνή επανεπίσκεψη βελτιώνει το Return of Investment (ROI).
- Χαμηλό κόστος εκτόξευσης μέσω νέων οικονομικών εκτοξευτών και ειδικών ευκαιριών τύπου 'secondary payloads.' Οι διαφορετικοί τύποι μικρών δορυφόρων και η χρήση νέων εκτοξευτών, όπως οι PSLV, VEGA, SpaceX Falcon 9 και Soyuz/Dnepr, έχουν μειώσει το κόστος εκτόξευσης.
- Κοινή τεχνολογία με άλλους τομείς όπως η Άμυνα, η Ρομποτική, το Internet of Things (IoT), οι κινητές επικοινωνίες και τα drones. Η ενσωμάτωση των μικρών δορυφόρων σε αυτούς τους τομείς συμβάλλει στην ανάπτυξη κοινής τεχνολογίας.
- Responsive Space, δηλαδή η δυνατότητα εκτόξευσης μικροδορυφόρων σε μικρό χρονικό διάστημα, προσφέροντας ευκαιρίες για γρήγορη αποστολή σε αποθήκευση και προσθήκη αισθητήρων ανάλογα με τις ανάγκες.



Εικόνα 5-4 Μικροί δορυφόροι (μάζα < 500 kg) συγκριτικά με συμβατικές δορυφορικές πλατφόρμες [22]

- Μετάδοση και μεταφορά τεχνολογίας, προσφέροντας νέες τεχνολογίες, δεξιότητες, γνώσεις και οικοσυστήματα σε χώρες και περιοχές όπου υπάρχουν ελλείψεις σε αυτούς τους τομείς και προϊόντα.
- Αναπτυξιακή διάσταση μικρών δορυφόρων, καθώς επιτρέπουν τον πειραματισμό και την πιστοποίηση νέων τεχνολογιών και εφαρμογών που οδηγούν στη δημιουργία προϊόντων και εμπορικών δραστηριοτήτων. Η πιστοποίηση νέων τεχνολογιών αποτελεί το πιο κρίσιμο εμπόδιο για την εμπορική αξιοποίηση και οι μικροί δορυφόροι προσφέρουν μια αποδοτική λύση.
- Τέλος, το χαμηλότερο κόστος εκτόξευσης μικρών δορυφόρων, σε συνδυασμό με την τακτική πρόσβαση στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (ISS), έχει μειώσει σημαντικά το κόστος εκτόξευσής τους, επιτρέποντας την περαιτέρω ανάπτυξη τους.

Συνοψίζοντας, οι μικροί δορυφόροι αποτελούν μια σημαντική εξέλιξη στον τομέα της διαστημικής τεχνολογίας, προσφέροντας πλεονεκτήματα όπως χαμηλό κόστος, ταχεία ανάπτυξη, συχνή πρόσβαση, και δυνατότητα μεταφοράς τεχνολογίας. Η ραγδαία εξέλιξή τους συνεχίζεται και αναμένεται να επιφέρει περαιτέρω επαναστατικές εξελίξεις στον τομέα της διαστημικής έρευνας και των εφαρμογών.

## 5.8 Εφαρμογές Μικρών Δορυφόρων (Small Satellites)

Οι εφαρμογές της διαστημικής τεχνολογίας σε διάφορους τομείς, συγκεκριμένα με τη χρήση των μικρών δορυφόρων, αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία και ποικιλία:

### 5.8.1.1 Εφαρμογές Επίγειας παρακολούθησης:

- Εφαρμογες στη Γεωργία με Χρήση Δορυφόρων Χαμηλής Τροχιάς,

Οι εφαρμογές της διαστημικής τεχνολογίας στον γεωργικό τομέα αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία και ποικιλία. Συγκεκριμένα:

- Υποστήριξη Εθνικής Αγροτικής Πολιτικής και Συμμόρφωση με την Κοινή Γεωργική Πολιτική (ΚΑΠ): Οι δορυφόροι παρέχουν δεδομένα που είναι υπερκρίσιμα για την υλοποίηση της εθνικής γεωργικής πολιτικής και τη συμμόρφωση με την ΚΑΠ.
- Ευφυής Γεωργία και Γεωργία Ακριβείας: Οι δορυφόροι επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση και διαχείριση των αγροτικών εκμεταλλεύσεων μέσω δεδομένων υψηλής ανάλυσης, βοηθώντας στη βελτίωση της παραγωγικότητας.
- Παρακολούθηση Καλλιεργειών και Αξιόπιστη Εκτίμηση της Παραγωγής: Οι δορυφόροι παρέχουν υψηλής ανάλυσης εικόνες και δεδομένα που επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση των καλλιεργειών και την αξιόπιστη εκτίμηση της παραγωγής.
- Εξορθολογισμένη Αγροτική Παραγωγή και Διασφάλιση Εισοδήματος και Τροφής: Με την χρήση δεδομένων από δορυφόρους, επιτυγχάνεται εξορθολογισμένη αγροτική παραγωγή, προσφέροντας εγγυημένα εισοδήματα και τροφή για τον πληθυσμό.
- Εξατομικευμένο Συμβουλευτικό Έργο στους Παραγωγούς: Οι δορυφόροι επιτρέπουν την παροχή εξατομικευμένων συμβουλών στους αγρότες, βασισμένες σε δεδομένα που παράγονται για τις συγκεκριμένες καλλιέργειές τους.



- Απόδοση Επιδοτήσεων και Αποζημιώσεων: Οι δορυφόροι παρέχουν τα δεδομένα που απαιτούνται για την αξιολόγηση και την εκκαθάριση των αποζημιώσεων και επιδοτήσεων.

Όλες οι παραπάνω αγροτικού ενδιαφέροντος εφαρμογές επιτυγχάνονται με τη χρήση δορυφόρων χαμηλής τροχιάς, που διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Χαμηλή τροχιά (300-500 km): Οι δορυφόροι αυτής της κατηγορίας παρέχουν υψηλή ανάλυση στις εικόνες που καταγράφουν. Σμήνος δορυφόρων: Η χρήση πολλών μικρών δορυφόρων ώστε να επιτυγχάνεται η κάλυψη της επικράτειας κάθε 2-4 ημέρες

Στον τομέα της γεωργίας, η χρήση πολυφασματικών και υπερφασματικών δεδομένων εικόνας παίζει ένα ουσιαστικό ρόλο για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση της κατάστασης των καλλιεργειών και του γεωργικού τομέα. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν την παρακολούθηση της υγείας των φυτών, των εδαφών και των πόρων νερού. Ορισμένοι σημαντικοί δείκτες και παράγοντες περιλαμβάνουν:

Δείκτες Φασματικοί (π.χ., NDVI, NDWI, Ευρύτερα Δείκτες Εδάφους): Αυτοί οι δείκτες υπολογίζονται μέσω της ανάλυσης των πολυφασματικών δεδομένων και παρέχουν πληροφορίες για την υγεία των φυτών, την υγρασία του εδάφους και την ποιότητα των φυτειών.

Δείκτες Αλλαγών (Change Vector): Με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων, μπορεί να ανιχνευθούν αλλαγές στις καλλιέργειες, όπως αλλαγές στην ποικιλία των φυτών ή αλλαγές στο φαινολογικό στάδιο των καλλιεργειών.

Φαινολογικό Στάδιο: Η παρακολούθηση του φαινολογικού σταδίου των φυτών βασίζεται στα πολυφασματικά δεδομένα και επιτρέπει τον προσδιορισμό της σωστής χρονικής περιόδου για τη συγκομιδή.

**Alerts Υγείας και Ζημιών:** Τα πολυφασματικά και υπερφασματικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση προβλημάτων στις καλλιέργειες, όπως παρασιτικές αρμούγες, ασθένειες, ή άλλες ζημιές.

Η αξιοποίηση αυτών των δεδομένων σε συνδυασμό με προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας όπως η τεχνητή νοημοσύνη (IA) και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση και τη διαχείριση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

- Προώθηση της κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης και αξιοποίηση του θαλάσσιου χώρου και άλλων υδάτινων περιοχών.

Αποτελεί προτεραιότητα και υπάρχει επείγουσα ανάγκη για την ενίσχυση της ασφάλειας στη θάλασσα. Ταυτόχρονα, η παρακολούθηση των βασικών παραμέτρων του περιβάλλοντος και του κλίματος αποτελεί προτεραιότητα για την παροχή έγκαιρων προειδοποιήσεων σχετικά με ακραίες καιρικές συνθήκες, καθώς και για την παρακολούθηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε περιφερειακό επίπεδο.

Ο δορυφόρος θα πληροί τις εξής προδιαγραφές: Θα διαθέτει ανακλαστήρα λέιζερ για την ακριβή προσδιορισμό της τροχιάς σε περίπου 10 εκατοστά, θα ελέγχει τον προσανατολισμό του σε περίπου 0.1 μοίρες και θα διαθέτει δυνατότητα παρακολούθησης σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Ο δορυφόρος θα είναι σε τροχιά ύψους 800 χιλιομέτρων και θα διαθέτει πολλαπλούς δέκτες GNSS για την ακριβέστερη προσδιορισμό της τροχιάς σε περίπου 4 εκατοστά.

- Διαχείριση Κρίσεων και Φυσικών Καταστροφών

Μπορεί να πραγματοποιηθεί η παρακολούθηση εν εξελίξει κρίσεων και καταστροφικών φαινομένων σε υψηλή ανάλυση. Επιπρόσθετα, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας μιας επιχειρησιακής εικόνας κρίσης σε σχεδόν πραγματικό χρόνο καθώς και η λεπτομερής και γρήγορη καταγραφή των επιπτώσεων της καταστροφής. Επιπρόσθετη είναι και η δυνατότητα παρακολούθησης ανθρωπιστικών κρίσεων όπως τα μεταναστευτικά ρεύματα, την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων για μέτρα αντιμετώπισης, και τη

ρεαλιστική εκτίμηση των ζημιών που προκαλούνται από ακραία φυσικά φαινόμενα, όπως πυρκαγιά, πλημμύρα, σεισμός, κ.ά. Επιπρόσθετα, περιλαμβάνει την υποστήριξη της απόδοσης αποζημιώσεων στους πληγέντες και τη λεπτομερή χαρτογράφηση του τοπίου και την ενημέρωση υποβάθρων.

Οι προδιαγραφές ενός τέτοιου μικρού δορυφόρου περιλαμβάνουν τη χρήση χαμηλής τροχιάς σε υψόμετρο 300-500 χιλιομέτρων, τη δημιουργία ενός σμήνους δορυφόρων που θα καλύπτουν την επικράτεια κάθε 2-4 ημέρες, και τη δυνατότητα επεξεργασίας στον ίδιο τον δορυφόρο (Onboard inference at the edge), παραδείγματος χάριν με τη χαρτογράφηση των αλλαγών, κατά μέσο όρο ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων πάνω από 100 Mbps, συμπίεση εικόνας, και αποθήκευση δεδομένων στον ίδιο τον δορυφόρο χωρητικότητας άνω των 50 TB.

➤ Η παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και της κλιματικής αλλαγής

Χρησιμοποιώντας δορυφορικά ατμοσφαιρικά δεδομένα μπορεί να βελτιωθούν οι καιρικές προγνώσεις, η μελέτη των στρατοσφαιρικών αλλαγών ως μέθοδο για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (γεωμηχανική) καθώς και η παρακολούθηση και καταγραφή ατμοσφαιρικών επεισοδίων, όπως σκόνη ερήμου, καπνός από πυρκαγιές και ηφαιστειακές εκρήξεις. Χρήση δεδομένων για τη στατιστική ανάλυση τοπικών κλιματικών μοντέλων με σκοπό την παροχή λεπτομερών κλιματικών προβολών μεγάλης χωρικής ανάλυσης προς περιφέρειες και τομείς ενδιαφέροντος, όπως η γεωργία και ο τουρισμός. Επιπρόσθετα, περιλαμβάνει τη χρήση δεδομένων από συνδυασμό δορυφόρων, την αφομοίωση σε αριθμητικά μοντέλα ατμόσφαιρας, καιρού και κλίματος, καθώς και την ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης.

Οι προδιαγραφές του δορυφόρου περιλαμβάνουν την εγκατάσταση ατμοσφαιρικής ενεργητικής τηλεπισκόπησης σε έναν δορυφόρο πολιτικής τροχιάς ή στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό.

### 5.8.1.2 Επικοινωνίες

- Προς τα κάτω δορυφορική ζεύξη στην ζώνη Ku/Ka.

Η δορυφορική ζεύξη υψηλού ρυθμού στην ζώνη Ku/Ka, απαιτεί υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Οι προδιαγραφές του δορυφόρου περιλαμβάνουν κεραίες, εξοπλισμό ραδιοσυχνοτήτων στη ζώνη Ku/Ka (με εύρος ζώνης μέχρι 375MHz ανάλογα με τις απαιτήσεις) που υποστηρίζουν ταχύτητες μετάδοσης μέχρι 1Gbps. Το επίπεδο τεχνολογικής ώριμης προσοχής κυμαίνεται από TRL 6 έως 9. Ο δορυφόρος αυτός συμβάλλει στην κάλυψη των αναγκών υψηλών ρυθμών μετάδοσης σε όλες τις υπηρεσίες.

- Προς τα κάτω οπτική ζεύξη

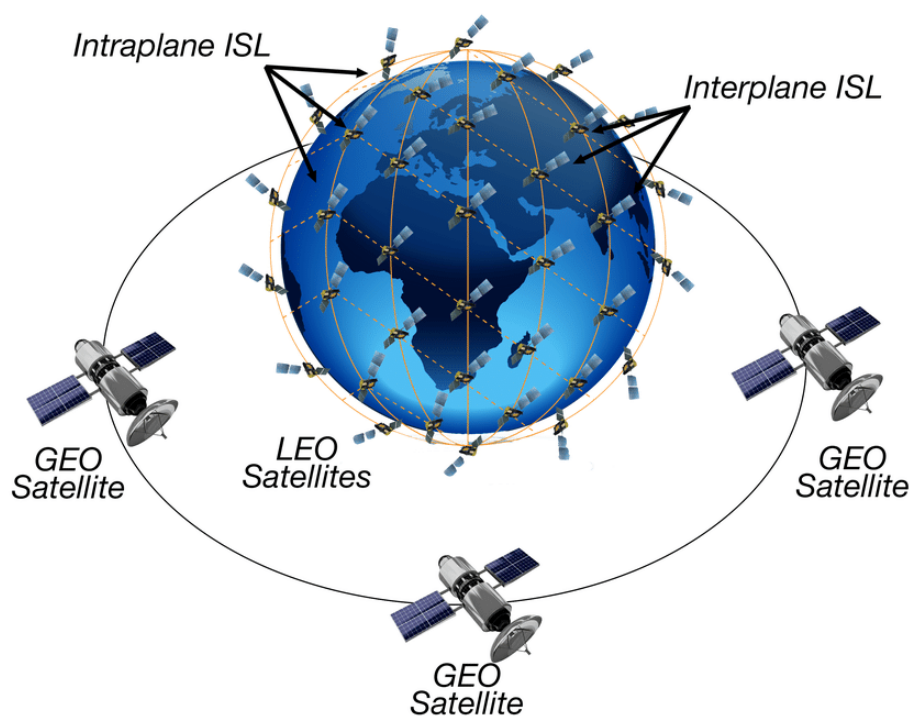
Η αποτελεσματική οπτική ζεύξη απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και διαθεσιμότητα για ακριβείς υπηρεσίες. Ο οπτικός εξοπλισμός, συμπεριλαμβανομένων των οπτικών τηλεσκοπίων, υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης έως 100Gbps. Αυτή η τεχνολογία συνδράμει στην κάλυψη των αναγκών υψηλών ρυθμών σε υπηρεσίες που απαιτούν υψηλή ακρίβεια, καθώς και στις τεχνικές μετάδοσης κλειδιών ασφαλείας της κβαντικής κρυπτογραφίας.

- Backhaul ζεύξεις σε απομακρυσμένου Σταθμούς Βάσης Κινητών Επικοινωνιών

Οι Backhaul ζεύξεις απευθύνονται σε απομακρυσμένους Σταθμούς Βάσης Κινητών Επικοινωνιών και διαθέτουν τη δυνατότητα ραδιοκάλυψης σε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές, όπως ορεινές ή νησιωτικές περιοχές, χρησιμοποιώντας δίκτυα 2G, 3G και 4G. Το τηλεπικοινωνιακό Payload περιλαμβάνει RF εξοπλισμό στις ζώνες S, X και Ku, καθώς και αναμετάδοση πρωτοκόλλου δικτύων κινητών επικοινωνιών. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την παροχή ραδιοκάλυψης σε απομακρυσμένες περιοχές, ανταποκρινόμενη σε εκτάκτες ανάγκες, όπως στην περίπτωση των First Responders και τη δημιουργία ενός αξιόπιστου δικτύου επικοινωνιών.

➤ Προηγμένες Τηλεπικοινωνίες (Intersatellite Links, QKD)

Κατά τη σύνδεση Δορυφόρων (Intersatellite Links, QKD (Quantum Key Distribution)), παρέχονται ασφαλείς τηλεπικοινωνίες με υψηλές ρυθμούς μετάδοσης και υψηλή διαθεσιμότητα για υπηρεσίες ακριβείας. Οι τεχνολογίες αυτές αναπτύσσονται συνέχεια και ξεπερνιούνται εμπόδια, όπως το γεγονός ότι η επικοινωνία με QKD μπορούσε να επιτευχθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας ώστε να αποφευχθεί η ύπαρξη θορύβου που προκαλεί το φως της ημέρας.



Εικόνα 5-5 Inter-Satellite Links [24]

Η επικοινωνία μεταξύ δορυφόρων Intersatellite Links, επιτρέπει σε πλειάδα δορυφόρων να συνδέονται μεταξύ τους και να μεταδίδουν δεδομένα στο διάστημα. Οι διασυνδέσεις δορυφορικής επικοινωνίας λειτουργούν στα εύρη συχνοτήτων 11,7-12,7 GHz, 18,1-18,6 GHz, 18,8-20,2 GHz και 27,5-30 GHz.

### 5.8.1.3 Πλοήγηση

- Αυτόνομος ακριβής προσδιορισμός τροχιάς με βάση τα συστήματα GNSS

Αυτόνομος, υψηλής ακρίβειας προσδιορισμός τροχιάς μέσω των συστημάτων GNSS. Τα υφιστάμενα συστήματα GNSS μπορούν να παρέχουν υψηλό επίπεδο απόδοσης και αξιοπιστίας στον προσδιορισμό τροχιάς όπως τα τρέχοντα συστήματα παρακολούθησης, όπως οι ιχνηλάτες αστείων, τα γυροσκόπια και τα μαγνητόμετρα. Ο συνδυασμός της δυνατότητας ακριβούς προσδιορισμού τροχιάς, προσανατολισμού, χρονισμού και σχετικής θέσης μεταξύ διαστημικών οχημάτων, επιτρέπει την ενσωμάτωση ενός ή περισσότερων δεκτών/κεραιών GNSS, με ή χωρίς την ανάγκη για επίγειο εξοπλισμό, προκειμένου να παρέχει προσδιορισμούς θέσης σε τροχιά, με όλους τους υπολογισμούς που γίνονται στο διαστημικό όχημα και σε πραγματικό χρόνο. Θα παρέχονται, με ενδιαφέροντα υπολογισμού επί του διαστημικού οχήματος, τροχιές αναφοράς σε πραγματικό χρόνο, με ακρίβεια στα επίπεδα 0.2 - 1.0 ή και ακόμα καλύτερα, χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους δέκτες GNSS για ραδιοσήματα σε μια (κατ' ελάχιστον) ή περισσότερες συχνότητες.

- Ακριβής προσδιορισμός και έλεγχος προσανατολισμού με βάση τα συστήματα GNSS.

Γίνεται αυτόνομη παρακολούθηση και έλεγχος προσανατολισμού σε πραγματικό χρόνο, με υψηλή αξιοπιστία, χρησιμοποιώντας πολλαπλούς αστερισμούς, δέκτες, κεραίες και σήματα από τα συστήματα GNSS. Ο αριθμός και η διάταξη των κεραιών GNSS που μπορούν να τοποθετηθούν περιορίζεται από τα χαρακτηριστικά και τη γεωμετρία του ίδιου του υπό εξέταση και χρήση δορυφόρου. Τουλάχιστον τρεις κεραίες πρέπει να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργήσουν δύο πολύ ακριβείς γραμμές βάσης στην πλατφόρμα του μικρού δορυφόρου. Η χρήση δεδομένων από πολλούς δορυφόρους και αστερισμούς GNSS αυξάνει τις παρατηρήσεις και συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας της θέσης και του προσδιορισμού του

προσανατολισμού του δορυφόρου. Αυτό επιτυγχάνεται με μικρά σφάλματα (< 0,5-1,0 μοίρες) που δεν συσσωρεύονται με την πάροδο του χρόνου.

➤ Προσδιορισμός θέσης με πλατφόρμες σε τροχιά LEO

Ο προσδιορισμός θέσης με τροχιακές πλατφόρμες LEO, επιτυγχάνεται με τη δημιουργία σμήνους δορυφόρων θέσης στην τροχιά LEO με σκοπό τη μείωση του κόστους του προγράμματος Galileo καθώς και την αξιοποίηση ατομικών ρολογίων (ελαφριάς/χαμηλής κατανάλωσης), ανάπτυξη νέων συστημάτων γεωεντοπισμού στη γη, χρήση προηγμένων αλγορίθμων προσδιορισμού θέσης και ταχύτητας. εφαρμογή προηγμένων ζευξών και διαστημικών συνδέσεων για τον προσδιορισμό θέσης και ταχύτητας με μείωση του κόστους σε σχέση με το GALILEO/GPS.

#### *5.8.1.4 Spectrum Monitoring/ Παρακολούθηση φάσματος*

Μία ακόμα εφαρμογή των μικρών δορυφόρων είναι η παρακολούθηση Φάσματος άρα κατ' επέκταση ο εντοπισμός Ηλεκτρομαγνητικών Σημάτων καθώς και η παρακολούθηση και εντοπισμός ραδιοεκπομπών. Ζητούμενο και επιθυμητό είναι η ανίχνευση και ο προσδιορισμός του Ηλεκτρομαγνητικού Στίγματος σε απόσταση μικρότερη του 1 χλμ. Για να επιτευχθεί το αποτέλεσμα αυτό, οι προδιαγραφές του δορυφόρου είναι οι ακόλουθες: Ευστάθεια Μικρότερη της 0.1 μοίρες, ακρίβεια θέσης Μικρότερη των 10 μέτρων. Αποτέλεσμα της παρακολούθησης του φάσματος είναι η δημιουργία χαρτών που παρουσιάζουν την ένταση και τη θέση του ηλεκτρομαγνητικού στίγματος με ακρίβεια μικρότερη του 1 χλμ, με ανανέωση των χαρτών ανά ημέρα, χρησιμοποιώντας ένα σμήνος 20 nanosat.

#### *5.8.1.5 IoT*

Υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής IoT μέσω δορυφόρων και δικτύων ασύρματων αισθητήρων, εφαρμογές, υπηρεσίες και διαχείριση IoT σε Απομακρυσμένες Περιοχές καθώς παρακολούθηση και έλεγχος των δικτύων IoT - προδιαγραφές δορυφόρου με τεχνολογία COTS SDR, χρησιμοποιώντας συχνότητες μέχρι το X Band. Σε απομακρυσμένες περιοχές δίνεται η δυνατότητα για ολοκληρωμένη διαχείριση υπηρεσιών IoT ανάλογα με τις

απαιτήσεις για υπηρεσίες που μπορεί να προκληθούν καθυστερήσεις. Για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων και εφαρμογή του IoT απαιτείται η δημιουργία ενός δορυφορικού σμήνους.

#### *5.8.1.6 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)/Αυτόματη εξαρτώμενη παρακολούθηση-μετάδοση (αναφορά), VTS (Vehicle Tracking Service)*

Οι μικροί δορυφόροι μπορούν να βρουν εφαρμογή σε Σύστημα Αυτόματης Εξαρτημένης Παρακολούθησης-Μετάδοσης (ADS-B) καθώς και στην Υπηρεσία Παρακολούθησης Οχημάτων (VTS). Η χρήση Νανο-Δορυφόρων ως Ενδιάμεσου Κρίσιμου Συστήματος για την Διαμεταγωγή πληροφοριών και την εξασφάλιση της παρακολούθησης επιβατών και φορτίων καθώς και για την εκτίμηση συνθηκών κυκλοφορίας και φόρτου, αναγνώριση σκαφών και αεροσκαφών - προδιαγραφές δορυφόρου με εκμεταλλεύσιμη τεχνολογία λογισμικού ορισμένης ραδιοεπικοινωνίας (COTS SDR) και υποστηριζόμενες συχνότητες μέχρι το X Band.



## 6 Συμπεράσματα και Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις.

Σε αυτήν την εργασία, εξετάσαμε την ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G, δίνοντας ιδιαίτερη βάση σε διάφορα σενάρια χρήσης και τις τεχνικές προκλήσεις που ενέχονται. Η ανάλυσή μας έχει παράσχει πολύτιμες πληροφορίες ως προς τη δυνατότητα των συστημάτων επικοινωνίας με δορυφόρους να ενισχύσουν και να συμπληρώσουν τα δίκτυα 5G, ιδίως σε περιβάλλοντα και περιπτώσεις απαιτητικές και απομακρυσμένες. Ακολουθώντας παρουσιάζονται τα βασικά μας συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα και παρέχεται μια συζήτηση για τη συνέχιση και τις κατευθύνσεις της επιστημονικής αυτής έρευνας.

### 6.1 Συμπεράσματα

#### 6.1.1 Βελτιωμένη Συνδεσιμότητα για Internet of Things (IoT):

Η ενσωμάτωση των δορυφόρων μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τη συνδεσιμότητα των συσκευών Internet of Things (IoT), ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές, δημιουργώντας ευκαιρίες για εφαρμογές σε τομείς όπως αυτός της γεωργίας, της μετεωρολογίας, της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και πολλά άλλα. Η συνδυαστική χρήση της τεχνολογίας 5G και δίνει τη δυνατότητα για επαναστατικές εφαρμογές του Internet of Things (IoT).

#### 6.1.2 Τεχνικές Προκλήσεις:

Διάφορες τεχνικές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένων θεμάτων σχετικά με την καθυστέρηση, την κατανομή συχνοτήτων και διαχείριση του φάσματος, τις δυσκολίες στις μεταβιβάσεις και τον σχεδιασμό των δορυφορικών συνόλων. Η υπέρβαση αυτών των προκλήσεων είναι κρίσιμη για την επιτυχή ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G.

### 6.1.3 Ποικίλα Σενάρια Χρήσης:

Η ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G ανοίγει τον δρόμο για μια ευρεία γκάμα σεναρίων χρήσης, όπως αυτό της βελτιωμένης κινητής ευρυζωνικότητας, την μαζική επικοινωνία μηχανημάτων, υπολογιστών και την αξιόπιστη χαμηλή καθυστέρηση. Αυτά τα σενάρια μπορούν να εξυπηρετήσουν τόσο αστικές όσο και απομακρυσμένες περιοχές, προσφέροντας βελτιωμένη συνδεσιμότητα σε έναν μεγαλύτερο σε αριθμό και ποικιλότητα πληθυσμό.

### 6.1.4 Παγκόσμια Κάλυψη:

Οι δορυφόροι προσφέρουν ένα μοναδικό πλεονέκτημα με τη διασφάλιση παγκόσμιας κάλυψης. Αυτό είναι κρίσιμο για τη σύνδεση απομακρυσμένων, νησιωτικών ή ακόμα και αναπτυσσόμενων περιοχών, όπου η ανάπτυξη επίγειας υποδομής είναι οικονομικά ασύμφορη και κατ' επέκταση ακατόρθωτη. Αυτή η δυνατότητα παγκόσμιας εμβέλειας αποτελεί το κύριο και βασικότερο πλεονέκτημα στην ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G.

### 6.1.5 Υποδομές και εφεδρεία:

Οι δορυφόροι μπορούν να λειτουργούν ως αξιόπιστη υποδομή για τα δίκτυα 5G, προσφέροντας τη δυνατότητα λειτουργίας και δυνατότητες εφεδρείας σε περίπτωση αποτυχίας ή κατάρρευσης των επίγειων δικτύων ή στην περίπτωση φυσικών καταστροφών που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία τους. Η συνύπαρξη, αλληλοϋποστήριξη και συνεργασία των δύο συστημάτων βελτιώνει και αυξάνει τη συνολική ευστάθεια και ευρωστία του δικτύου.

### 6.1.6 Ρυθμιστικά θέματα

Η διαμόρφωση του ρυθμιστικού πλαισίου της κατανομής συχνοτήτων και διαχείρισης του φάσματος διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον εκσυγχρονισμό των υπηρεσιών 5G βασιζόμενων σε δορυφόρους τόσο σε εθνικό όσο και διεθνές επίπεδο. Η συνεργασία μεταξύ του κλάδου τηλεπικοινωνιών, του τομέα των δορυφόρων και των κυβερνήσεων είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση αυτών των ρυθμιστικών εμποδίων.

### 6.1.7 Κόστος:

Το υψηλό κόστος εκτόξευσης καθώς και συντήρησης των δορυφόρων παραμένει ένα σημαντικό και απαγορευτικό εμπόδιο. Καινοτόμες στρατηγικές μείωσης του κόστους, όπως μικρότεροι σε μέγεθος δορυφόροι καθώς και βελτιωμένες διαδικασίες κατασκευής, με εφαρμογή νέων υλικών και τεχνολογιών, είναι απαραίτητες για να καταστεί η ενσωμάτωση δορυφόρων στα δίκτυα προσοδοφόρα.

### 6.1.8 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα

Ο έντονος προβληματισμός σχετικά με τη διασφάλιση του απορρήτου των επικοινωνιών πρέπει να αντιμετωπιστούν με προσοχή κατά την ενσωμάτωση των τεχνολογιών δορυφόρων και 5G. Η κρυπτογράφηση, η πιστοποίηση και η προστασία από κυβερνοεπιθέσεις είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της ακεραιότητας και της εμπιστευτικότητας της μετάδοσης δεδομένων.

### 6.1.9 Τυποποίηση:

Η ανάπτυξη διεθνών προτύπων και κανονισμών για την ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ποιότητας, συνεργασίας και δυνατότητας ευχρηστίας από τους τελικούς χρήστες. Οι φορείς τυποποίησης έχουν σημαντική θέση σε αυτό για την πιστοποίηση των τεχνολογιών καθώς και του εξοπλισμού.

## 6.2 Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις.

Παρά τις τεχνικές προκλήσεις, η ένταξη των δορυφόρων στα δίκτυα 5G έχει ενθαρρυντικές προοπτικές και ανοίγει τον δρόμο για πολλές εφαρμογές και εξελίξεις.

### 6.2.1 Μείωση της Καθυστέρησης:

Οι μελλοντικές έρευνες πρέπει να επικεντρωθούν στη μείωση της καθυστέρησης στη δορυφορική επικοινωνία, η οποία είναι κρίσιμη για

εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Βελτιώσεις στην επεξεργασία σήματος, τη θέση των δορυφόρων και την αρχιτεκτονική δικτύου μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της καθυστέρησης.

### 6.2.2 Υβριδικά Μοντέλα Δικτύου

Πρέπει να εξεταστούν και να αναπτυχθούν υβριδικά μοντέλα δικτύου που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα του επίγειου 5G και της δορυφορικής επικοινωνίας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη βέλτιστη διαχείριση πόρων και σε μια ομαλή εμπειρία χρήστη.

### 6.2.3 Προηγμένα Δορυφορικά Σύνολα

Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης πρέπει να συνεχιστούν για τη βελτίωση των δορυφορικών συνόλων, καθιστώντας τα πιο κοστολογικά αποδοτικά και αποτελεσματικά. Μικρότεροι, ευέλικτοι δορυφόροι και βελτιστοποιημένοι σχεδιασμοί συστημάτων μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις σε θέματα κόστους και απόδοσης.

### 6.2.4 Διαχείριση του Φάσματος:

Είναι σημαντικό να εξερευνηθούν καινοτόμες προσεγγίσεις για τη διαχείριση του φάσματος με σκοπό τη μέγιστη δυνατή χρήση των διαθέσιμων ζωνών συχνοτήτων. Η δυναμική κοινή χρήση του φάσματος και προηγμένες πολιτικές κατανομής του φάσματος μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη συνύπαρξη των δορυφόρων και των 5G.

### 6.2.5 Ενίσχυση της Ασφάλειας

Πρέπει να αναπτυχθούν προηγμένοι μηχανισμοί ασφαλείας και πρωτόκολλα προστασίας για την προστασία των δικτύων δορυφόρων-5G από εξελισσόμενες κυβερνοαπειλές. Η συνεργασία με ειδικούς στον τομέα της κυβερνοασφάλειας είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας της προστασίας από δυνητικές επιθέσεις.

### 6.2.6 Προαγωγή των Κανονισμών

Η διατήρηση συνεχών διαλόγων με τις ρυθμιστικές αρχές για την επηρεασμένων πολιτικών και προτύπων που διευκολύνουν την ενσωμάτωση της τεχνολογίας των δορυφόρων στα δίκτυα 5G είναι απαραίτητη. Πρέπει να υποστηρίζεται η διάθεση φάσματος και οι αλλαγές στις άδειες.

### 6.2.7 Διαλειτουργικότητα:

Πρέπει να διεξαχθούν έρευνες και να αναπτυχθούν λύσεις που εξασφαλίζουν απροβλημάτιστη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών δορυφορικών δικτύων και των συστημάτων 5G. Ο έλεγχος και η πιστοποίηση της διαλειτουργικότητας μπορούν να είναι ουσιώδεις για την επίτευξη αυτού του στόχου.

### 6.2.8 Οικονομικά Αποδοτικές Λύσεις:

Οι έρευνες πρέπει να επενδύουν στον εντοπισμό και την υλοποίηση οικονομικά αποδοτικών λύσεων για την εκτόξευση και τη συντήρηση των δορυφόρων. Η συνεργασία με διαστημικούς φορείς, εμπορικούς χειριστές δορυφόρων και τηλεπικοινωνιακές εταιρείες είναι ζωτικής σημασίας.

### 6.2.9 Μελέτες για Ειδικά Σενάρια Χρήσης

Πρέπει να διεξαχθούν λεπτομερείς μελέτες για συγκεκριμένα σενάρια χρήσης που ωφελούνται περισσότερο από την ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G, όπως η αγροτική συνδεσιμότητα, η ανάκαμψη από φυσικές καταστροφές και οι εφαρμογές IoT. Μπορούν να σχεδιαστούν εξατομικευμένες λύσεις βασισμένες σε αυτά τα σενάρια.

### 6.2.10 Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση:

Πρέπει να προωθηθεί η ευαισθητοποίηση και η εκπαίδευση σχετικά με τα οφέλη και τις προκλήσεις της ενσωμάτωσης των δορυφόρων στα δίκτυα 5G. Αυτό περιλαμβάνει προγράμματα εκπαίδευσης, σεμινάρια και τη διάδοση πληροφοριών σε επαγγελματίες της βιομηχανίας και πολιτικούς αποφοίτους.

### 6.2.11 Πράσινες Δορυφορικές Τεχνολογίες:

Πρέπει να διεξαχθούν έρευνες για περιβαλλοντικά φιλικές και βιώσιμες δορυφορικές τεχνολογίες, όπως δορυφόροι που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια και αποδοτικά συστήματα κίνησης, με σκοπό τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εκτοξεύσεων δορυφόρων.

### 6.2.12 Βελτίωση της Εμπειρίας του Χρήστη:

Πρέπει να επικεντρωθούμε στη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη διαχειριζόμενοι τις δυσκολίες στις μεταβιβάσεις και τις ομαλές μεταβάσεις ανάμεσα σε δορυφορικά και επίγεια δίκτυα. Αυτό περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων μεταβίβασης σήματος και αναβάθμιση των διαδικασιών μεταβίβασης του σήματος.

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση των δορυφόρων στα δίκτυα 5G κρύβει τεράστια δυναμική για τη διεύρυνση της συνδεσιμότητας, ιδίως σε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές. Ενώ υπάρχουν τεχνικές και ρυθμιστικές προκλήσεις για να αντιμετωπιστούν, οι διαρκείς έρευνες και αναπτυξιακές προσπάθειες είναι αναγκαίες για την πλήρη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων αυτής της ενσωμάτωσης. Οι Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις που αναλύθηκαν παρέχουν τις κατευθύνσεις για την επίτευξη αυτού του στόχου και για τη δημιουργία προηγμένων, αξιόπιστων και αειφόρων δορυφορικών δικτύων 5G. Διευρύνουν την κάλυψη των δικτύων 5G σε μη εξυπηρετούμενες περιοχές, παρέχουν υψηλή χωρητικότητα και χαμηλή καθυστέρηση, βελτιώνουν τη χωρητικότητα και την αξιοπιστία, υποστηρίζουν την ολοκλήρωση των διαστημικών και γήινων υποδομών και συμμετέχουν σε δραστηριότητες τυποποίησης. Αυτές οι συνεισφορές επιτρέπουν στα δίκτυα 5G να παρέχουν βελτιωμένη συνδεσιμότητα, βελτιωμένη απόδοση και ασύγκριτη ολοκλήρωση με άλλες τεχνολογίες επικοινωνίας.

## 7 Βιβλιογραφικές αναφορές – Παραπομπές – Πηγές από το διαδίκτυο

- [1] F. Davoli, C. Kourogiorgas, M. Marchese, A. Panagopoulos, and F. Patrone, "Small satellites and CubeSats: Survey of structures, architectures, and protocols," *Int J Satell Commun Network*, vol. 37, no. 4, pp. 343-359, July 2018.
- [2] A. Ntanos, N. Lyras, D. Zavitsanos, S. Anwar, O. Alia, G. Giannoulis, G. Kanellos, A. Panagopoulos, and H. Avramopoulos, "MEO satellite-to-ground Decoy-State QKD links realistic performance analysis," in *International Conference on Space Optics—ICSO 2022*, vol. 12777, pp. 1116-1130, Jul. 12, 2023, SPIE.
- [3] A. D. Panagopoulos, P.-D. M. Arapoglou, and P. G. Cottis, "Satellite communications at Ku, Ka, and V bands: Propagation impairments and mitigation techniques," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 6, no. 3, pp. 2-14, Oct. 14, 2004.
- [4] V. Lappas and V. Kostopoulos, "A Survey on Small Satellite Technologies and Space Missions for Geodetic Applications," in *Satellites Missions and Technologies for Geosciences*, Jul. 2020.
- [5] S. C. Burleigh, T. De Cola, S. Morosi, S. Jayousi, E. Cianca, and C. Fuchs, "From Connectivity to Advanced Internet Services: A Comprehensive Review of Small Satellites Communications and Networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, no. 11, pp. 1-17, May 2019.
- [6] I. F. Akyildiz and A. Kak, "The Internet of Space Things/CubeSats: A ubiquitous cyber-physical system for the connected world," *Computer Networks*, vol. 150, pp. 134-149, 2019.
- [7] C. Daehnick, I. Klinghoffer, B. Maritz, and B. Wiseman, "Large LEO satellite constellations: Will it be different this time?", *Aerospace & Defense Practice*, May 2020.
- [8] S. Liu, Z. Gao, Y. Wu, D. W. K. Ng, X. Gao, K.-K. Wong, S. Chatzinotas, and B. E. Ottersten, "LEO Satellite Constellations for 5G and Beyond: How Will They Reshape Vertical Domains?", *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 7, pp. 30-36, July 2021
- [9] S. Nanda and C. P. Seitz, "1G to 4G wireless networks: Evolution of networks, topologies, and infrastructure," *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 3, pp. 66-75, 1997.

- [10] J. L. Molina and L. Serrano, "Second generation digital cellular networks," IEEE Communications Magazine, vol. 34, no. 10, pp. 148-154, 1996.
- [11] T. S. Rappaport, "Wireless communications: principles and practice," Prentice Hall, 2002.
- [12] ITU-R Recommendation M.1645, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," 2003.
- [13] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Sköld, "4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband," Academic Press, 2011.
- [14] J. G. Andrews, A. Ghosh, T. S. Rappaport, and M. Hu, "Fundamentals of 5G wireless communication," Cambridge University Press, 2017.
- [15] M. Attaran, "The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization", Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, pp. 5977-5993, 2023.
- [16] Mpirical. "The Evolution of Mobile Communication." Mpirical Blog. [Online]. Available: <https://www.mpirical.com/blog/the-evolution-of-mobile-communication>.
- [17] Nokia. "Spectrum Bands in the 5G World." Nokia Thought Leadership Articles. [Online]. Available: <https://www.nokia.com/thought-leadership/articles/spectrum-bands-5g-world/>.
- [18] Nokia. "Laying the Tracks for Digital Railways." Nokia Newsroom Articles. [Online]. Available: <https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/laying-the-tracks-for-digital-railways/>.
- [19] B. D'Zio, "Medium Earth Orbit," West East Space. [Online]. Available: <https://westeastspace.com/encyclopedia/medium-earth-orbit/>. [Accessed: Mar. 5, 2020].
- [20] A. Kolovos, "Managing Uncertainty from the Sky: Surveillance Through Three Generations of Commercial Earth Observation Satellites," in Home Surveillance in Action, Chapter 15, pp. 167–184, 15 November 2017.
- [21] I. Khan, B. Heim, A. Neuzner, and C. Marquardt, "Satellite-Based QKD," Optics & Photonics News, February 2018
- [22] "SOA Communications | NASA Small Spacecraft Technology State of the Art Report," NASA, <https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/soa-communications/>.



- [23] "The Bright Future of Small Satellites," NLR. [Online]. Available: <https://www.nlr.org/article/the-bright-future-of-small-satellites/>
- [24] W. I. Pulak K. Chowdhury, Mohammed Atiquzzaman, "Handover schemes in satellite networks: state-of-the-art and future research directions," IEEE Communications Surveys Tutorials, 11 2006. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4062836>
- [25] A. Gaber, M. A. ElBahaay, A. M. Mohamed, M. M. Zaki, A. S. Abdo, and N. AbdelBaki, "5G and Satellite Network Convergence: Survey for Opportunities, Challenges, and Enabler Technologies," presented at [Conference Name], October 2020, Giza, Egypt.
- [26] 3GPP, "Study on New Radio (NR) to Support Non-Terrestrial Networks," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 38.811, Version 15.2.0, Oct. 2019. [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3234>.
- [27] A. Albanese, P. Angeletti, M. Lisi, and G. Lucchi, "Handover management and service availability in non-geostationary satellite constellations design," Apr. 2003. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2514/6.2003-2275>
- [28] F. Boccardi, R. W. Heath, A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, "Five disruptive technology directions for 5G," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, pp. 74-80, 2014.
- [29] T. S. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, E. Erkip, "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!," IEEE Access, vol. 1, pp. 335-349, 2013.
- [30] X. Niu and H. Li, "5G wireless communications: A review," Electronics, vol. 4, no. 2, pp. 114-129, 2015.
- [31] T. L. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 9, no. 11, pp. 3590-3600, 2010.
- [32] E. Björnson, L. Sanguinetti, and M. Kountouris, "Massive MIMO and mmWave for 5G wireless HetNet access," IEEE Wireless Communications, vol. 24, no. 5, pp. 54-61, 2017.
- [33] A. Alkhateeb, M. Alex, and J. Zhang, "Deconstructing the power and performance of cellular base stations," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, no. 6, pp. 1139-1153, 2014.

- [34] H. Ghazzai, D. B. Da Costa, and D. T. Slock, "Full-dimension MIMO (FD-MIMO) for 5G networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 5, pp. 3447-3461, 2017.
- [35] A. N. Mahmood, S. U. Hassan, and Y. Nasser, "Low-latency networking: a survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 1329-1358, 2017.
- [36] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, and M. Zorzi, "Toward low-latency and ultra-reliable vehicular communications with 5G: An overview on physical layer aspects," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 31246-31276, 2019.
- [37] K. Mekki, E. Bajic, and F. Chaxel, "Internet of Things: A review of surveys based on context awareness and its challenges," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2018.
- [38] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and L. Bahri, "Narrowband IoT: A survey," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 24477-24497, 2018.
- [39] N. Bhushan, J. Li, D. Malladi, R. Gilmore, L. Iwakiri, R. Belleville, M. I. Damaj, "Network densification: The dominant theme for wireless evolution into 5G," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 82-89, 2014.
- [40] J. G. Andrews, A. Ghosh, T. S. Rappaport, and M. Hu, "Fundamentals of 5G wireless communication," Cambridge University Press, 2017.
- [41] A. F. Molisch, K. Balakrishnan, D. Cassioli, C. Chizzali, M. Z. Win, and T. Zemen, "A comprehensive standardized model for ultrawideband propagation channels," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 11, pp. 3151-3166, 2006.
- [42] S. Soraya, S. Pouriyeh, B. H. Far, Z. A. Sani, Z. Mohamad, I. Ullah, "Wearable technology in the healthcare industry: A quality assessment of the recent applications," *Industrial Management & Data Systems*, vol. 119, no. 3, pp. 590-607, 2019.
- [43] E. Gomez, M. E. Hernando, A. Garcia, and F. Del Pozo, "A review of portable point-of-care breathalyzers," *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 9, pp. 32-48, 2015.
- [44] C. Kambitsis and A. Michalas, "Challenges and future perspectives in vehicular networks," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 13, no. 6, pp. 3106-3113, 2017.
- [45] J. Loo, S. Tarkoma, and G. Pau, "Delay-tolerant vehicular networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 11, pp. 96-101, 2016.

- [46] K. Mekki, E. Bajic, and F. Chaxel, "Internet of Things: A review of surveys based on context awareness and its challenges," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2018.
- [47] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and L. Bahri, "Narrowband IoT: A survey," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 24477-24497, 2018.
- [48] K. V. Swathi and S. A. Kumar, "A survey on real-time communication in 5G," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2018.
- [49] F. Boccardi, R. W. Heath, A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, "Five disruptive technology directions for 5G," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 74-80, 2014.
- [50] N. Dabbagh and A. Kitsantas, "Personal learning environments, social media, and self-regulated learning: A natural formula for connecting formal and informal learning," *The Internet and higher education*, vol. 15, no. 1, pp. 3-8, 2012.
- [51] O. Firssova and T. Raisanen, "Enabling 5G for education: Conceptual framework and scenarios," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 34922-34931, 2018.
- [52] J. Li, H. Zhang, L. Chen, L. Zhang, and L. Shu, "Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities," *Sustainable Cities and Society*, vol. 31, pp. 105-116, 2017.
- [53] A. Gharaibeh and S. Jabbar, "Smart cities: A survey on data management, security, and enabling technologies," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2019.
- [54] A. L. Buczak and E. Guven, "A survey of big data architectures and machine learning algorithms in large-scale cognitive radio networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 159-175, 2016.
- [55] M. Chen, J. Wan, S. G. Gonzalez, X. Liao, and M. Li, "Data mining for the Internet of Things: Literature review and challenges," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 14, no. 3, 1550147718769844, 2018.
- [56] J. Zhang, Y. Zhang, K. Li, L. Xu, and L. Li, "Security and privacy for mobile healthcare networks: From a quality of protection perspective," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 4, pp. 104-112, 2016.

- [57] M. Elkhodr, S. Shahrestani, H. Cheung, and H. Abbas, "Internet of things: A survey on the security of IoT frameworks," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 38, pp. 8-27, 2016.
- [58] J. Burrell, "How the machine 'thinks': Understanding opacity in machine learning algorithms," *Big Data & Society*, vol. 3, no. 1, 2053951715622512, 2016.
- [59] C. DiSalvo, "Algorithmic bias detection and mitigation: Best practices and policies to reduce consumer harms," *Data Society Research Institute*, 2018.
- [60] M. Chen, S. Mao, and Y. Liu, "Big data: A survey," *Mobile networks and applications*, vol. 19, no. 2, pp. 171-209, 2014.
- [61] I. Yaqoob, I. A. T. Hashem, E. Ahmed, S. A. Kazmi, C. S. Hong, and A. Gani, "Big data: From beginning to future," *International Journal of Information Management*, vol. 36, no. 6, pp. 1231-1247, 2016.
- [62] N. Kshetri, "The economics and political economy of the internet of things in the global south," *Third World Quarterly*, vol. 39, no. 8, pp. 1447-1467, 2018.
- [63] R. Ghanbarzadeh, N. Javadian, and V. Sundararajan, "The effect of 5G technology on the economic growth," *Telematics and Informatics*, vol. 34, no. 4, pp. 1351-1357, 2017.
- [64] B. D. Mittelstadt, P. Allo, M. Taddeo, S. Wachter, and L. Floridi, "The ethics of algorithms: Mapping the debate," *Big Data & Society*, vol. 3, no. 2, 2053951716679679, 2016.
- [65] L. Floridi, J. Cowls, M. Beltrametti, R. Chatila, P. Chazerand, V. Dignum, C. Luetge, "AI4People—an ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations," *Minds and Machines*, vol. 28, no. 4, pp. 689-707, 2018.
- [66] A. A. Yen, J. C. A. Huang, and H. Cui, "5G and the legal geographies of power," *The Information Society*, vol. 35, no. 3, pp. 118-133, 2019.
- [67] D. C. Sicker and M. Wu, "5G and the future of mobile networks," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 16, no. 1, pp. 26-41, 2019.
- [68] Y. Mao, C. You, J. Zhang, and K. Huang, "Joint channel and power allocation for 5G non-orthogonal multiple access technology in a cognitive Internet of Things network," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 6, pp. 2322-2333, 2017.

- [69] Y. Yu, Z. Li, and D. Li, "A cooperative 5G cloud radio access network with efficient spectrum sharing and usage," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 10, pp. 9436-9450, 2018.
- [70] L. Wang, H. Liu, S. Shu, and L. Wang, "Green 5G networks: Energy efficient and CO2 emissions modeling," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 19027-19037, 2017.
- [71] M. Zemke, S. Lautenbach, and C. Sibbers, "The environmental impact of 5G technology," in *Energy Management in Wireless Cellular and Ad-hoc Networks*, A. P. C. Lim (Ed.), pp. 189-209, IGI Global.
- [72] P. Chauhan and S. Goyal, "Economic impact of 5G on the global economy," in *2019 International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTM)*, pp. 1-6, IEEE.
- [73] J. Bughin, E. Hazan, S. Lund, P. Dahlström, A. Wiesinger, and A. Subramaniam, "Solving
- [74] the world's problems: McKinsey Global Survey results," *McKinsey Quarterly*.
- [75] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of things (IoT): A literature review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 05, pp. 164-173, 2015.
- [76] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, 2014.
- [77] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, "Edge computing: Vision and challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, 2016.
- [78] M. Satyanarayanan, "The emergence of edge computing," *Computer*, vol. 50, no. 1, pp. 30-39, 2017.
- [79] L. Zhang, K. Zheng, Z. Cui, and S. Özdemir, "Deep learning for wireless communication," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 2, pp. 93-99, 2019.
- [80] D. Carreno, J. Zhang, X. Tonnellier, J. Palicot, and A. Cathelin, "Hardware acceleration of machine learning algorithms in 5G wireless communications," in *2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, pp. 1-5, IEEE.
- [81] L. Girod, F. Morlot, and A. Deltenre, "Mobility and energy in the 5G era: Solutions and challenges," *Ericsson Review*, vol. 92, no. 4, pp. 5-10, 2015.

- [82] E. Ahmed, M. S. Hossain, G. Muhammad, and J. Hu, "Cognitive radio for smart cities: An approach to overcoming smart grid communications challenges," *IEEE Wireless Communications*, vol. 22, no. 2, pp. 72-79, 2015.
- [83] Nokia, "Spectrum Bands in the 5G World," [Online]. Available: <https://www.nokia.com/thought-leadership/articles/spectrum-bands-5g-world/>.
- [84] Online Library, "Data Link Layer Based Security for Fog Computing Applications in IoT," [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/sat.1393>.