



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.)  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

**Βελτιστοποίηση Μετάδοσης Video Πάνω Από Ασύρματα  
Δίκτυα 5G**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του  
**Φούντα Χριστίνα**

**ΑΕΜ: 725**

**Επιβλέπων: Βέργαδος Δημήτριος**

Επίκουρος Καθηγητής

Καστοριά Μάρτιος - 2023





ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.)  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

## **Βελτιστοποίηση Μετάδοσης Video Πάνω Από Ασύρματα Δίκτυα 5G**

### **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του  
**Φούντα Χριστίνα**

**ΑΕΜ: 725**

**Επιβλέπων : Βέργαδος Δημήτρης**  
Επίκουρος Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29-5-2023

Ιωάννης Βαρδάκας  
Αναπληρωτής Καθηγητής

Δημήτριος Ι. Βέργαδος  
Επίκουρος Καθηγητής

Νίκος Δημόκας  
Επίκουρος Καθηγητής

Καστοριά Μάρτιος - 2023

Copyright © 2023– Φούντα Χριστίνα

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας

Ως συγγραφείς της παρούσας εργασίας δηλώνουμε πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μη αναφερόμενες πηγές.

## *Ευχαριστίες*

*Στον καθηγητή μου, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη για την καθοδήγηση και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας. Οι πληροφορίες και τα σχόλιά του ήταν ανεκτίμητα και με βοήθησαν να κατανοήσω καλύτερα το θέμα. Η ενθάρρυνσή του με παρακίνησε να πιέσω τον εαυτό μου για να παράγω την καλύτερη δουλειά μου και εκτιμώ πραγματικά την προσπάθεια που κατέβαλε για τη διδασκαλία και την καθοδήγηση μου.*

## *Περίληψη*

Η βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο μέσω ασύρματων δικτύων 5G έχει γίνει πιεστικό μέλημα τα τελευταία χρόνια, καθώς η ζήτηση για μετάδοση βίντεο υψηλής ποιότητας συνεχίζει να αυξάνεται. Σε αυτό το έγγραφο, παρέχουμε μια επισκόπηση των διαφόρων τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο μέσω ασύρματων δικτύων 5G, συμπεριλαμβανομένης της προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, του προγραμματισμού πακέτων, της διαμόρφωσης δέσμης και τεχνικών συμπίεσης βίντεο, όπως η Κωδικοποίηση βίντεο υψηλής απόδοσης (HEVC) και το επεκτάσιμο βίντεο Κωδικοποίησης (SVC).

Η βασική πρόκληση για τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο μέσω ασύρματων δικτύων 5G είναι το περιορισμένο εύρος ζώνης, η υψηλή κινητικότητα και οι διαφορετικές συνθήκες καναλιού. Οι προσαρμοστικές τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης προσαρμόζουν τα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης με βάση την ποιότητα του καναλιού για να επιτύχουν υψηλότερη απόδοση και καλύτερη ποιότητα βίντεο. Οι τεχνικές προγραμματισμού πακέτων δίνουν προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο έναντι άλλων τύπων πακέτων για τη μείωση της καθυστέρησης και τη βελτίωση της ποιότητας μετάδοσης βίντεο. Οι τεχνικές διαμόρφωσης δέσμης βελτιστοποιούν την κατευθυντικότητα των συστοιχιών κεραίας για αύξηση της ισχύος του σήματος και μείωση των παρεμβολών. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται τεχνικές συμπίεσης βίντεο για τη μείωση του ρυθμού bit βίντεο διατηρώντας ταυτόχρονα την ποιότητα του βίντεο. Το HEVC και το SVC είναι κοινώς χρησιμοποιούμενες τεχνικές συμπίεσης βίντεο που μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του βίντεο και να μειώσουν το ρυθμό μετάδοσης bit. Η ενσωμάτωση του edge computing και της προσωρινής αποθήκευσης μπορεί επίσης να βελτιστοποιήσει τη μετάδοση βίντεο μειώνοντας την καθυστέρηση και βελτιώνοντας την ποιότητα των υπηρεσιών.

Παρά τις προόδους αυτές, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές προκλήσεις στη βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο μέσω ασύρματων δικτύων 5G. Η υψηλή κινητικότητα των χρηστών και των συσκευών μπορεί να προκαλέσει συχνές μεταδόσεις, οι οποίες μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα διακοπές στη μετάδοση βίντεο. Οι διαφορετικές συνθήκες του καναλιού μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε απώλεια πακέτων και υποβάθμιση της ποιότητας του βίντεο. Επιπλέον, το περιορισμένο εύρος ζώνης και η μεγάλη ζήτηση για μετάδοση βίντεο μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση του δικτύου και μειωμένη ποιότητα υπηρεσιών.

Συμπερασματικά, η βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο μέσω ασύρματων δικτύων 5G είναι ένα σύνθετο έργο που απαιτεί την ενσωμάτωση διαφόρων τεχνικών και στρατηγικών. Ενώ οι τεχνικές προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, προγραμματισμού πακέτων, διαμόρφωσης δέσμης και συμπίεσης βίντεο μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα μετάδοσης βίντεο, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να εστιάσει στην ανάπτυξη νέων τεχνικών που μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις και να βελτιώσουν την απόδοση της μετάδοσης βίντεο μέσω ασύρματων δικτύων 5G.

*Λέξεις Κλειδιά: βελτιστοποίηση, μετάδοση βίντεο, 5G, ασύρματα δίκτυα, προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, προγραμματισμός πακέτων, διαμόρφωση δέσμης, συμπίεση βίντεο, εύρος ζώνης, κινητικότητα, διακοπές, υποβάθμιση, συμφόρηση δικτύου*

## ***Abstract***

*The optimization of video transmission over 5G wireless networks has become a pressing concern in recent years, as the demand for high-quality video transmission continues to increase. In this paper, we provide an overview of the various techniques used for optimizing video transmission over 5G wireless networks, including adaptive modulation and coding, packet scheduling, beamforming, and video compression techniques such as High-Efficiency Video Coding (HEVC) and Scalable Video Coding (SVC).*

*The key challenge in optimizing video transmission over 5G wireless networks is the limited bandwidth, high mobility, and varying channel conditions. Adaptive modulation and coding techniques adjust the modulation and coding schemes based on the channel quality to achieve higher throughput and better video quality. Packet scheduling techniques prioritize video packets over other types of packets to reduce the delay and improve the quality of video transmission. Beamforming techniques optimize the directionality of the antenna arrays to increase the signal strength and reduce interference.*

*In addition, video compression techniques are used to reduce the video bit rate while maintaining the video quality. HEVC and SVC are commonly used video compression techniques that can improve the video quality and reduce the bit rate. The integration of edge computing and caching can also optimize video transmission by reducing the latency and improving the quality of service.*

*Despite these advances, there are still several challenges in optimizing video transmission over 5G wireless networks. The high mobility of users and devices can cause frequent handovers, which can result in interruptions in the video transmission. The varying channel conditions can also lead to packet loss and degradation in video quality. Moreover, the limited bandwidth and high demand for video transmission can result in network congestion and reduced quality of service.*

*In conclusion, optimizing video transmission over 5G wireless networks is a complex task that requires the integration of various techniques and strategies. While adaptive modulation and coding, packet scheduling, beamforming, and video compression techniques can improve video transmission quality, there are still several challenges that need to be addressed. Future research should focus on developing new techniques that can address these challenges and improve the performance of video transmission over 5G wireless networks.*

***Key Words: optimization, video transmission, 5G, wireless networks, adaptive modulation and coding, packet scheduling, beamforming, video compression, bandwidth, mobility, outages, degradation, network congestion***

## Ευχαριστίες-Αφιερώσεις

*Στην οικογένειά μου, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες για την αμέριστη υποστήριξή και την ενθάρρυνση. Η πίστη τους σε εμένα μου έχει δώσει τη δύναμη και την αποφασιστικότητα να επιμείνω στις προκλήσεις αυτής της αποστολής. Η αγάπη και η ενθάρρυνσή τους ήταν η άγκυρά μου κατά τη διάρκεια αυτής της σημαντικής στιγμής και δεν μπορώ να σας ευχαριστήσω αρκετά που ήσασταν πάντα εκεί για μένα.*



## Περιεχόμενα

ΜΕΡΟΣ Α΄ .....	11
Εισαγωγή στην έννοια του 5G .....	11
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> :«Το δίκτυο 5 G» .....	11
1.1 Ιστορία εν συντομία .....	11
1.2 Εξέλιξη ή Επανάσταση; .....	12
1.2.1 Απαιτήσεις 5G .....	14
1.2.2 Ρυθμός δεδομένων .....	14
1.2.3 Λανθάνουσα κατάσταση.....	15
1.2.4 Ενέργεια και Κόστος.....	15
1.2.5 Περαιτέρω εστίαση στις απαιτήσεις .....	15
1.2.6 5G σχέση με τον βιομηχανικό κόσμο .....	15
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> :«Περιπτώσεις χρήσης 5G». .....	17
2.1 Τεράστιο IoT.....	17
2.2 Κρίσιμη επικοινωνία χρόνου .....	17
2.3 Συνδεσιμότητα κινητής τηλεφωνίας .....	19
2.4 Τομέας Επικοινωνίας Μεταφορών .....	19
2.4.1 Λειτουργίες δικτύου.....	20
2.5 Προς την έννοια του επιχειρηματικού οικοσυστήματος .....	21
2.5.1 Επιχειρηματικά στάδια εξέλιξης.....	21
2.5.2 Ορισμός του επιχειρηματικού οικοσυστήματος .....	22
2.5.3 Στοιχεία επιχειρηματικού οικοσυστήματος .....	23
2.5.4 Παράγοντες.....	24
2.5.5 Δραστηριότητες .....	24
2.5.6 Στοιχεία.....	24
2.5.7 Συμφόρηση .....	25
2.5.8 Τύποι σημείων συμφόρησης.....	25
2.5.9 Πλατφόρμες .....	26
2.6 Στρατηγική οικοσυστήματος .....	26
2.7 Ευθυγράμμιση συνεργατών .....	27
2.8 Συμπληρωματικότητα .....	27
2.9 Αλληλεξαρτήσεις.....	28
2.10 Κίνδυνοι συν-καινοτομίας .....	28
2.11 Χαρτογράφηση του οικοσυστήματος .....	29
2.12 Στρατηγική συμφόρησης .....	30
ΜΕΡΟΣ Β΄ .....	31
Κεφάλαιο 3 :« Βελτιστοποίηση Μετάδοσης Βίντεο με τη Χρήση Ασύρματου Δικτύου 5 G».....	31

3.1 Εισαγωγή Στις Μεθόδους Βελτιστοποίησης Βίντεο και Στις Δυνατότητες Βελτιστοποίησης με 5G.....	32
3.2 Ανάλυση Ποιότητας Μετάδοσης Βίντεο .....	34
3.3 Ανάλυση των Δυνατοτήτων που παρέχει το δίκτυο 5G στη Βελτιστοποίηση Ποιότητας Μετάδοσης Βίντεο.....	36
3.4 Ανάλυση των Τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στη Βελτιστοποίηση Μετάδοσης Βίντεο στο ασύρματο δίκτυο 5G .....	37
3.5 Εφαρμογές και Πρακτικές Εφαρμογές .....	38
3.5.1 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης Μετάδοσης Βίντεο .....	38
3.5.2 Συμπεράσματα .....	39
3.6 Συμπεράσματα .....	39
Επίλογος.....	44
Βιβλιογραφία .....	46
Α΄ΜΕΡΟΣ.....	46
Β΄ΜΕΡΟΣ .....	51

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Χρονολόγιο εξέλιξης κινητού δικτύου κινητής τηλεφωνίας-(Sood&Garg 2014).....	14
Εικόνα 2: Αντίκτυπος των διαφόρων τεχνολογιών σε αρχιτεκτονικό και κατασκευαστικό επίπεδο – (Baghbadorani, M. F., &Harandi, A., 2012).....	15
Εικόνα 3: Κατηγορίες περιπτώσεων χρήσης 5G- (Chandramoulietal., 2019, σ.10).....	18

## Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: 5G (αστικό/αγροτικό σενάριο).....	20
--	----

## ΜΕΡΟΣ Α΄

---

### Εισαγωγή στην έννοια του 5G

Από τότε που ο Guglielmo Marconi άνοιξε το δρόμο για σύγχρονα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας, έχει γίνει ένα μακρύ ταξίδι στον κόσμο της επικοινωνίας. Με την πάροδο των ετών, οι ασύρματες τεχνολογίες έχουν βελτιωθεί στο ποσοστό δεδομένων, την κινητικότητα, την κάλυψη και την αποτελεσματικότητα (Gupta&Jha., 2015). Το 5G, η τελευταία έκδοση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας κινητής τηλεφωνίας, θα βελτιώσει την ποιότητα της εμπειρίας των χρηστών, θα μειώσει το χρόνο που απαιτείται για την αποστολή δεδομένων και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (Hossain&Hasan., 2015).

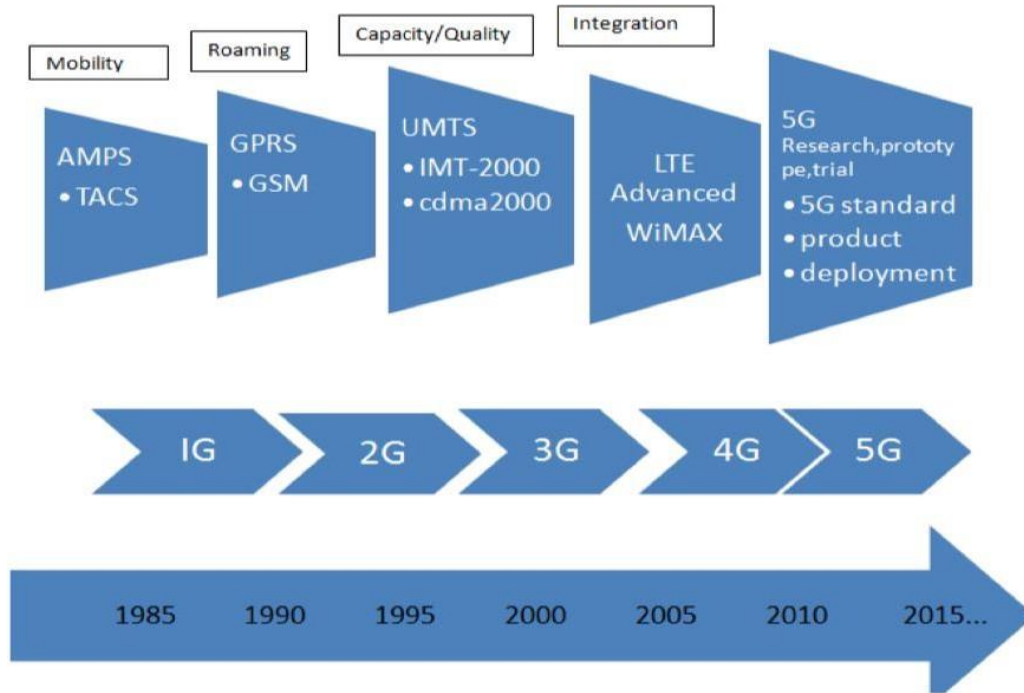
## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: «Το δίκτυο 5 G»

---

### 1.1 Ιστορία εν συντομία

Κάθε 10 χρόνια είμαστε μάρτυρες της εισαγωγής μιας νέας γενιάς τεχνολογίας στον τομέα της κινητής κυκλοφορίας. Το 1981 εισήχθησαν τα πρώτα συστήματα 1G και το 1992 παρακολούθησαμε την εισαγωγή του 2G. Το 2001 επωφεληθήκαμε από το 3G που έφεραν επανάσταση στον κόσμο μας επιτρέποντας την ανάπτυξη των πρώτων *smartphones*. Η ανάπτυξη συστημάτων 4G ξεκίνησε το 2002 και η τεχνολογία 4G έγινε πρότυπο γύρω στο 2010 (Singh&Singh., 2012).

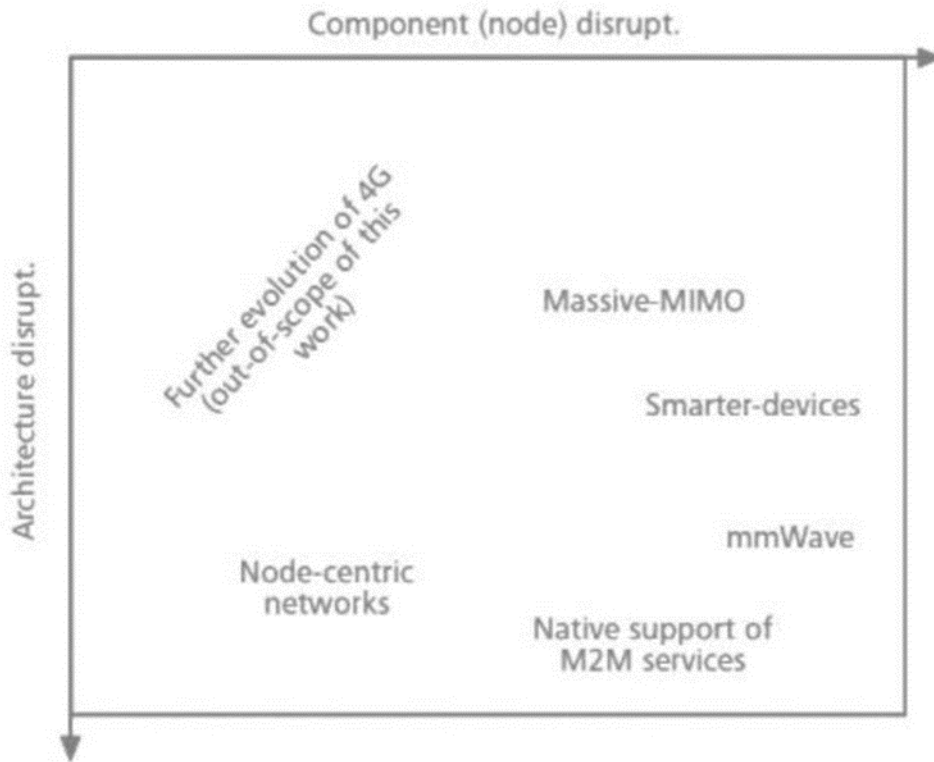
Το 1G ήταν η πρώτη γενιά ασύρματης κυψελοειδούς τεχνολογίας και χρησιμοποίησε αναλογικά ραδιοσήματα για να ευνοήσει την επικοινωνία. Αυτή η τεχνολογία επέτρεψε την εισαγωγή των πρώτων κινητών τηλεφώνων. Το GSM (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας) ή το 2G αποτελούνταν από την πρώτη κίνηση προς την εξέλιξη των πρωτόγονων συσκευών, παρέχοντας συνδεσιμότητα για φωνητική επικοινωνία. Ένα άλλο βήμα στην εξέλιξη της τεχνολογίας του δικτύου κινητής τηλεφωνίας ήταν η Γενική Υπηρεσία Ραδιοφώνου Πακέτων (2.5G), η οποία παρείχε επικοινωνία δεδομένων κινητής τηλεφωνίας σε μια περίοδο κατά την οποία ήμασταν μάρτυρες της αυγής του διαδικτύου και οι πλήρεις δυνατότητές του έπρεπε να έχουν ήδη ανακαλυφθεί. Το UMTS (3G) δημιουργήθηκε για να είναι μια τεχνολογία που θα μπορούσε να εγγυηθεί διαφορετικές υπηρεσίες (φωνή, δεδομένα διαδικτύου, βίντεο) μέσω του ίδιου δικτύου, αλλά πήρε μια πραγματική ώθηση με την προσθήκη των HSDPA και HSUPA (5G) για να προσφέρει γρήγορες υπηρεσίες δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Με την εφαρμογή του 5G η πρώτη ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση παραδόθηκε στην αγορά (Oproiu, E. M., Iordache, M., Patachia, C., Costea, C., & Marghescu, I., 2017, November). Χάρη στην εισαγωγή του 3G, έχουμε βιώσει την άφιξη στην αγορά των *smartphones*, τα οποία έχουν φέρει πολλαπλές υπηρεσίες στην ίδια συσκευή και έχουν φέρει επανάσταση στον τρόπο που ζούμε. Το LTE(4G) που είναι η τρέχουσα γενιά, παρείχε το πρώτο παράδειγμα κινητής ευρυζωνικής σύνδεσης (Tudzarov&Gelev., 2017).



Εικόνα 1: Χρονολόγιο εξέλιξης κινητού δικτύου κινητής τηλεφωνίας – (Sood&Garg, 2014)

## 1.2 Εξέλιξη ή Επανάσταση;

Η τεχνολογία 5G θα βελτιώσει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται τα κινητά τηλέφωνα μέσω της εκμετάλλευσης πολύ υψηλότερου εύρους ζώνης και χωρητικότητας. Το 5G πρόκειται να παρέχει ευρύτερη κάλυψη και πολύ υψηλότερη χωρητικότητα μετάδοσης δεδομένων από τις προηγούμενες γενιές ευζωνικών κυψελοειδών δικτύων. Τα συστήματα 5G μπορούν να είναι εξελικτικά και επαναστατικά: στην εξελικτική άποψη, τα συστήματα 5G θα επιτρέψουν εξαιρετικά ευέλικτα δίκτυα και θα βελτιώσουν την απόδοση των ήδη υπάρχουσών εφαρμογών 4G. Κατά την επαναστατική άποψη, το 5G θεωρείται ως μια εξαιρετικά επαναστατική τεχνολογία που θα παρέχει μια παγκόσμια απεριόριστη διασύνδεση (Singh&Singh., 2012). Για να καταλάβουμε αν το 5G θα είναι μια εξέλιξη ή μια επανάσταση, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ποιες είναι οι αναδυόμενες τεχνολογίες στον τομέα της συνδεσιμότητας 5G. Είναι επίσης θεμελιώδες να μελετήσουμε ποιες είναι οι αλλαγές που θα πρέπει να υπομείνουν αυτές οι τεχνολογίες προκειμένου να υποστηρίξουν την άνοδο της τεχνολογίας 5G. Ανεξάρτητα από τις υπό εξέταση τεχνολογίες, είναι γνωστό ότι οι σημαντικές αλλαγές στις οποίες θα υποβληθούν θα αφορούν τα επίπεδα κόμβου δικτύου και αρχιτεκτονικής (Al-Falahy&Alani., 2017). OBaghbadorani, M. F., και ο Harandi, A. (2012) ταξινόμησε τον αντίκτυπο σε πέντε πιθανές τεχνολογίες διαταραχής λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές που θα μπορούσαν να βιώσουν τόσο σε κόμβο δικτύου όσο και σε αρχιτεκτονικό επίπεδο, χάρη στη χρήση του μοντέλου Henderson-Clark.



Εικόνα 2: Αντίκτυπος των διαφόρων τεχνολογιών σε αρχιτεκτονικό και κατασκευαστικό επίπεδο – (Baghbadorani, M. F., &Harandi, A., 2012)

Ανάλογα με τον αντίκτυπο που θα έχουν αυτές οι τεχνολογίες σε επίπεδο κόμβων και αρχιτεκτονικής, οι συγγραφείς έχουν εντοπίσει τέσσερις διαφορετικούς τύπους αλλαγών που θα αντιμετωπίσουν οι τεχνολογίες:

-*Εξελίξεις στο σχεδιασμό*: όταν υπάρχουν μικρές αλλαγές σε επίπεδο κόμβων και αρχιτεκτονικά επίπεδα (Skouby, K.E., &Lynggaard, P., 2014).

-*Αλλαγές στοιχείων*: όταν υπάρχουν ενοχλητικές αλλαγές σε επίπεδο κόμβων δικτύου

-*Αρχιτεκτονικές Αλλαγές*: όταν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στην αρχιτεκτονική

-*Ριζικές αλλαγές*: όταν υπάρχουν ενοχλητικές αλλαγές τόσο σε επίπεδο αρχιτεκτονικής όσο και σε επίπεδο κόμβων

Οι πέντε δυνητικά διασπαστικές τεχνολογίες που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν αλλαγές τόσο στην αρχιτεκτονική όσο και στο επίπεδο των κόμβων είναι:

-*Δίκτυα με επίκεντρο κόμβους*: Η αλλαγή στις ροές πληροφοριών θα παρέχει πληρέστερες διαδρομές και πολύ χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Χάρη σε αυτές τις καινοτομίες θα υπάρξουν σοβαρές αλλαγές στο αρχιτεκτονικό σύστημα, ή όπως επισημάναμε πριν θα υπάρξουν αρχιτεκτονικές αλλαγές.

-*Massive MIMO*: Μαζική πολλαπλή έξοδος πολλαπλών εισόδων (MIMO), η οποία περιλαμβάνει τη χρήση πολλών κεραιών για την κάλυψη της ανάγκης να υπάρχουν διαφορετικές συχνότητες δικτύου ταυτόχρονα

Ανάλογα με τη συσκευή που χρησιμοποιούμε, θα χρειαστεί μια σημαντική αλλαγή στο επίπεδο σχεδιασμού των κόμβων δικτύου, δημιουργώντας έτσι σημαντικές αλλαγές στοιχείων.

-*Εξυπνότερες συσκευές*: Θα χρειαστούν αλλαγές στην αρχιτεκτονική, η ανάπτυξη εξυπνότερων συσκευών σημαίνει είσοδο σε μια νέα εποχή συνδεσιμότητας, τη λεγόμενη εποχή D2D (συσκευή σε συσκευή).

-*Millimeterwave (mmWave)*: το σήμα θα αυξηθεί σε συχνότητα και το εύρος ζώνης θα επεκταθεί. Σε αυτόν τον τομέα θα υπάρξουν αλλαγές τόσο σε επίπεδο αρχιτεκτονικής όσο και σε επίπεδο κόμβων, που συνεπάγονται ριζικές αλλαγές σε αυτό το είδος τεχνολογίας και ισχυρή συνέπεια για το 5G.

-*Εγγενής υποστήριξη για την επικοινωνία μηχανής-μηχανής (M2M)*: δηλαδή, η προέλευση της βιομηχανίας 4.0. Αυτό θα συνεπάγεται υπηρεσίες χαμηλού ποσοστού δεδομένων και μετάδοση δεδομένων χαμηλού λανθάνοντος χρόνου. Νέες ιδέες θα τεθούν τόσο σε αρχιτεκτονικό όσο και σε επίπεδο συστατικών. Έτσι, θα βιωθούν ριζικές αλλαγές.

### 1.2.1 Απαιτήσεις 5G

Οι εφαρμογές του 5G θα είναι ποικίλες και τεράστιες, ξεκινώντας από την επαυξημένη πραγματικότητα, το μαζικό IoT, την αναπαραγωγή περιεχομένου πολυμέσων 4K, το κρίσιμο IoT. Οι Andrewsetal., (2014) τονίζουν πώς για να γίνουν πραγματικότητα όλες αυτές οι εφαρμογές, υπάρχουν απαιτήσεις που πρέπει να πληροί το δίκτυο 5G: *ρυθμός δεδομένων, λανθάνουσα κατάσταση και ενέργεια και κόστος.*

### 1.2.2 Ρυθμός δεδομένων

Όσον αφορά το ποσοστό δεδομένων, οι μηχανικοί είναι πεπεισμένοι ότι η ανάπτυξη του δικτύου 5G θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων και η ικανότητα υποστήριξης αυτής της τεράστιας αύξησης της χωρητικότητας θα είναι μία από τις κύριες απαιτήσεις της νέας τεχνολογίας. Σύμφωνα με τον Andrewsetal., (2014), λαμβάνονται υπόψη τρεις διαφορετικές μετρήσεις για τον υπολογισμό του ποσοστού δεδομένων:

-Ο *συνολικός ρυθμός δεδομένων* ή η *δυναμικότητα της περιοχής*, τα οποία αποτελούνται από τον όγκο των δεδομένων που μπορεί να υποστηρίξει το δίκτυο και υπολογίζονται σε bits/s ανά περιοχή μονάδας. Η κοινή γνώμη είναι ότι η χωρητικότητα δεδομένων που επεξεργάζεται το δίκτυο 5G θα πρέπει να αυξηθεί κατά  $10^3$  φορές σε σύγκριση με το τρέχον δίκτυο 4G.

-Το *ποσοστό ακμής* ή το *ποσοστό 5%* είναι η χειρότερη κάλυψη δικτύου που μπορεί να βιώσει ένας χρήστης όταν χρησιμοποιεί κινητό τηλέφωνο. Εμφανίζεται κυρίως σε περιοχές εκτός πόλεων και μακριά από σταθμούς κινητής τηλεφωνίας 5G θα πρέπει να φέρει ποσοστά ακμής σε εύρος μεταξύ 100 Mbps και 1 Gbps. Αυτός είναι ένας πολύ φιλόδοξος στόχος που θέτει το 5G καθώς ο τρέχων ρυθμός ακμής του 4G είναι περίπου 1Mbps (Lund, H., Mathiesen, B. V., Connolly, D., & ØStergar'd, P. A., 2014).

-Το *PeakRate* είναι το καλύτερο ποσοστό δεδομένων που μπορεί να βιώσει ένας καταναλωτής, συνήθως αποτελείται από έναν φανταστικό αριθμό που είναι απίθανο να επιτευχθεί και οι ειδικοί το τοποθετούν περίπου 10 Gbps (Andrewsetal., 2014).

### 1.2.3 Λανθάνουσα κατάσταση

Μια άλλη θεμελιώδης πτυχή που πρέπει να λάβουμε υπόψη όσον αφορά το 5G είναι η λανθάνουσα κατάσταση: το χρονικό διάστημα μεταξύ της διέγερσης και της απόκρισης. Parvezetal., (2018, σ. 3099) υπογραμμίζουν ότι όσον αφορά το 5G: «Η λανθάνουσα κατάσταση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε ορισμένες εφαρμογές όπως η αυτοματοποιημένη βιομηχανική παραγωγή, η ρομποτική, οι μεταφορές, η υγειονομική περίθαλψη, η ψυχαγωγία, η εικονική πραγματικότητα, η εκπαίδευση και ο πολιτισμός». Οι Andrewsetal., (2014) σχετικά με τον λανθάνοντα χρόνο εξηγούν πώς η τρέχουσα λανθάνουσα κατάσταση της τεχνολογίας 4G είναι της τάξης των 15 ms, ενώ το 5G θα πρέπει να υποστηρίζει λανθάνοντα χρόνο 1ms (Nam, T., &Pardo, T. A., 2011, June).

### 1.2.4 Ενέργεια και Κόστος

Μια άλλη απαίτηση που πρέπει να πληροί η τεχνολογία 5G είναι η πτώση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους. Ειδικότερα, το φάσμα mmWave θα πρέπει να είναι λιγότερο ακριβό ανά Hz από το φάσμα 3G και 4G. Παρόμοια συλλογιστική μείωσης του κόστους και βελτίωσης των επιδόσεων μπορεί να γίνει όσον αφορά τα μικρά κύτταρα σε αντίθεση με τα μακροκυτταέλια 4G (Andrewsetal., 2014).

### 1.2.5 Περαιτέρω εστίαση στις απαιτήσεις

Η έννοια των απαιτήσεων 5G που πρέπει να πληρούνται προκειμένου να έχει πρακτική σημασία στον πραγματικό κόσμο τονίζεται περαιτέρω από τους Rao και Prasad (2018) στο άρθρο τους «*Αντίκτυπος των τεχνολογιών 5G στην εφαρμογή έξυπνων πόλεων*» στο οποίο υπογραμμίζουν τον τρόπο με τον οποίο το 5G πρέπει να πληροί:

*-Χαλαρές απαιτήσεις λανθάνοντος χρόνου* , προκειμένου να καταστεί δυνατή η ανάγνωση απομακρυσμένου μετρητή για σκοπούς χρέωσης

*-Αυστηρές απαιτήσεις λανθάνοντος χρόνου* για τη διευκόλυνση όλων των υπηρεσιών που απαιτούν ταχεία και αποτελεσματική ανταπόκριση, όπως ο έλεγχος της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και η παρακολούθηση των ασθενών σε πραγματικό χρόνο (Leligou, H. C., Zahariadis, T., Sarakis, L., Tsampasis, E., Voulkidis, A., &Velivassaki, T. E., 2018, March).

*-Υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας δικτύου* για τη λειτουργία ηλεκτρικών λειαντικών και βιομηχανικού ελέγχου

*-Χαλαρό επίπεδο αξιοπιστίας δικτύου* για την παρακολούθηση των θερμοκρασιών στο εσωτερικό των σπιτιών

*-Μεγάλος όγκος πληροφοριών και χαμηλός όγκος πληροφοριών* ανάλογα με τις διάφορες περιπτώσεις εφαρμογών όπως η παρακολούθηση βίντεο ή η παρακολούθηση φορτίου

*-Χαμηλό κόστος συσκευής/ χαμηλή ενέργεια* για τη λειτουργία αισθητήρων που τροφοδοτούνται με μπαταρία.

### 1.2.6 5G σχέση με τον βιομηχανικό κόσμο

Προκειμένου να έχουμε μια σαφέστερη ιδέα για το πού το 5G θα επηρεάσει περισσότερο μπορούμε να επικεντρωθούμε στις βιομηχανίες που θα υποβληθούν σε

ψηφιακό μετασχηματισμό λόγω αλλαγών στην αγορά. Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις βιομηχανιών όπου το 5G μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη σύνδεση ανθρώπων και πραγμάτων:

-Υγειονομική περίθαλψη: όπου οι σημαντικότερες εφαρμογές 5G θα είναι η βιοηλεκτρονική ιατρική, το τηλεσκόπιο και η επαυξημένη /εικονική πραγματικότητα.

-Κατασκευή: με την παρακολούθηση των ρομποτικών οργάνων και την εφαρμογή της επικοινωνίας μεταξύ μηχανημάτων στα εργοστάσια.

-Ψυχαγωγία: όπου θα αναπτυχθεί μια πιο καθηλωτική και ολοκληρωτική εμπειρία για τους καταναλωτές.

-Αυτοκινητοβιομηχανία: όπου η αυτόνομη οδήγηση και η απομακρυσμένη συντήρηση θα είναι ώριμα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

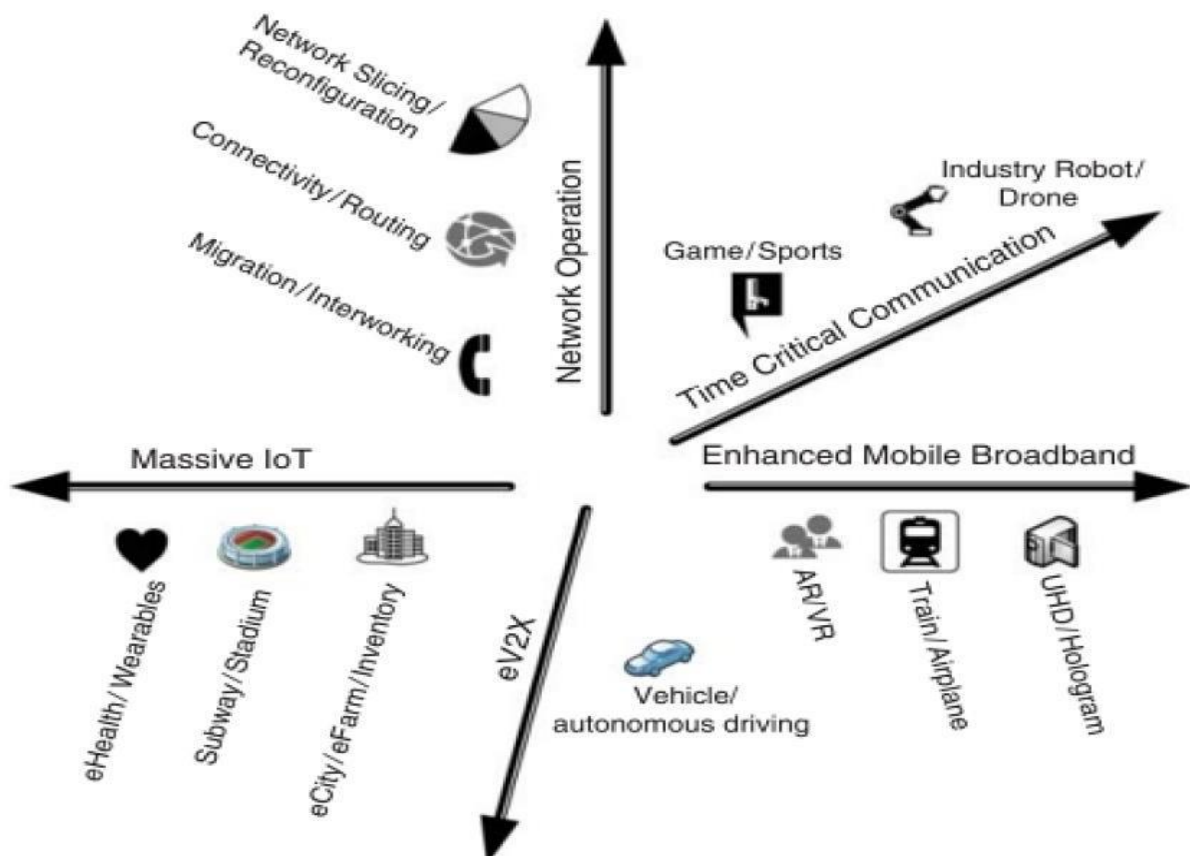
-Ενέργεια: με συνδεδεμένα αιολικά πάρκα και παρακολούθηση δικτύου και ελέγχου.

-Δημόσιες συγκοινωνίες: όπου το *infotainment* και οι λειτουργίες τρένων/λεωφορείων θα αξιοποιούν την τεχνολογία 5G.

-Γεωργία: όπου η απασχόληση σύγχρονων γεωργικών μηχανημάτων, αισθητήρων σύνδεσης και ελέγχου *drones* θα έχει κρίσιμο αντίκτυπο στο μέλλον

-Δημόσια Ασφάλεια: με την ανάπτυξη συστημάτων ανίχνευσης απειλών, αναγνώρισης προσώπου και *drones* (Komninos, N., 2006).

-Μεγαλουπόλεις και Έξυπνες Πόλεις: οι πόλεις του μέλλοντος θα συνδεθούν. Χάρη στο 5G ο αριθμός των αισθητήρων και των αντικειμένων που θα συνδεθούν θα εκτοξευτεί και θα έχουμε την ευκαιρία να παρακολουθήσουμε τη ρύπανση και την κατανάλωση ενέργειας των πόλεων μας. Οι πόλεις μας θα είναι ασφαλέστερες, οι επιδόσεις των δημόσιων συγκοινωνιών θα βελτιωθούν και το σύστημα στάθμευσης θα βελτιωθεί (Chandramoulietal., 2019).



Εικόνα 3: Κατηγορίες περιπτώσεων χρήσης 5G – (Chandramoulietal., 2019, σ.10)



## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> :«Περιπτώσεις χρήσης 5G».**

Ενώ το προηγούμενο κεφάλαιο μας έδωσε μια επισκόπηση των βιομηχανικών τομέων που θα μπορούσαν να επηρεαστούν περισσότερο από τις επιπτώσεις της τεχνολογίας 5G, σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε ποιες είναι οι κύριες εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας μέσω της μελέτης ορισμένων περιπτώσεων χρήσης: προκειμένου να έχουμε μια καλύτερη κατανόηση των διαφόρων εφαρμογών αυτής της τεχνολογίας μπορούμε να τις διαιρέσουμε σε ορισμένες μακρο περιοχές (Εικ.2).

### **2.1 Τεράστιο IoT**

Στο τεράστιο IoT, ένας αυξανόμενος αριθμός αισθητήρων θα συμμετέχει στην αποστολή σημάτων. Το MassiveIoT θέτει τις ρίζες του στο λεγόμενο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το οποίο περιγράφεται από τους Mumtazetal., (2017, σ.28) ως η «διασύνδεση ευφών συσκευών και πλατφορμών διαχείρισης που, με ελάχιστη έως καθόλου ανθρώπινη παρέμβαση, διευκολύνουν συλλογικά μια έξυπνη, συνδεδεμένη λέξη». Οι Rao και Prasad (2018) στο άρθρο τους "Αντίκτυπος των τεχνολογιών 5G στη βιομηχανία 4.0" τονίζουν πώς το Διαδίκτυο των πραγμάτων και η τεχνολογία 5G μοιράζονται ένα βαθύ δεσμό που καθορίζει το γεγονός ότι το 5G μπορεί να θεωρηθεί ως ένας από τους ενεργοποιητές του IoT χάρη στην αξιοπιστία, τον λανθάνοντα χρόνο, την επεκτασιμότητα και την υπολογιστή χωρίς άκρες που απαιτούνται για αρκετές κρίσιμες εφαρμογές IoT. Μια εφαρμογή της τεχνολογίας 5G στη βιομηχανία IoT θα είναι ο έλεγχος των βιομηχανικών ρομπότ, τα οποία χρειάζονται υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Μια άλλη εφαρμογή είναι οι φορητές συσκευές που απαιτούν νομαδική συνδεσιμότητα και καλύπτουν πολύ μεγάλες περιοχές μέσω της λεγόμενης παγκόσμιας περιαγωγής. Οι μαζικές εφαρμογές IoT θα απαιτούν ασφάλεια και ιδιωτικότητα σε κάθε διαφορετικό πλαίσιο και το 5G θα είναι σε θέση να τις παρέχει (Chandramoulietal., 2019).

### **2.2 Κρίσιμη επικοινωνία χρόνου**

Μια άλλη ενδιαφέρουσα μακροπεριφέρεια στην οποία το 5G θα μπορούσε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο είναι αυτή της κρίσιμης επικοινωνίας χρόνου: ορισμένες περιπτώσεις χρήσης σχετικά με αυτόν τον τομέα είναι η χρήση drones προκειμένου να πραγματοποιηθεί τακτική συντήρηση στον εξοπλισμό και η εξάλειψη των καλωδίων σε ρομποτικά εργοστάσια (Chandramoulietal., 2019). Αυτού του είδους οι περιπτώσεις χρήσης ρέουν στην εφαρμογή της βιομηχανίας 4.0, η οποία ορίζεται από τον Lu (2017, σ.2) ως «η ενσωμάτωση σύνθετων φυσικών μηχανημάτων και συσκευών με δικτυωμένους αισθητήρες και λογισμικό, που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη, τον έλεγχο και τον σχεδιασμό καλύτερων επιχειρηματικών και κοινωνικών αποτελεσμάτων». Ο συγγραφέας προτείνει επίσης ότι η βιομηχανία 4.0 θα είναι υπέρμαχος της εξέλιξης της βιομηχανίας, όπως την γνωρίζουμε σήμερα προς την υιοθέτηση συστημάτων που καθοδηγούνται από την πληροφορία και διασυνδέονται (Vaismoradi, M., Turunen, H., &Bonda, T., 2013). Μεταξύ των στόχων της βιομηχανίας 4.0 είναι η εξέλιξη της αλυσίδας παραγωγής προς την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα σε πραγματικό χρόνο, η ικανότητα παρακολούθησης των προϊόντων μόλις φύγουν από το εργοστάσιο και η συνεχής επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ εξαρτημάτων, προϊόντων και μηχανημάτων (Lu, 2017). Για να είναι δυνατή μια τέτοια εξέλιξη, είναι απαραίτητο το 5G να μπορεί να υποστηρίξει την κρίσιμη επικοινωνία χρόνου και την αξιόπιστη επεξεργασία στα εργοστάσια (Rios, P., 2012). Βασική προϋπόθεση για τη βιομηχανία 4.0 και το

έξυπνο εργοστάσιο είναι η παρουσία αποτελεσματικών γραμμών παραγωγής και η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της ποιότητας των τελικών προϊόντων (Reilly, Steve., 2015 Singh, S., & Singh, P., 2012). Για να καταστεί αυτό δυνατό, θα ήταν απαραίτητο οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στα εργοστάσια του μέλλοντος να είναι αποτελεσματικοί και να μπορούν να βασίζονται στην ικανότητα συλλογής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω εξαιρετικά χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (Marabissi, D., Mucchi, L., Fantacci, R., Spada, M. R., Massimiani, F., Fratini, A., & Fedele, L., 2019). Ταυτόχρονα, τα ρομπότ που εκτελούν τη λειτουργία της συναρμολόγησης προϊόντων πρέπει να υιοθετήσουν την κρίσιμη επικοινωνία χρόνου προκειμένου να είναι όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματική. Οι Rao και Prasad (2018) στο άρθρο τους «*Impact of 5G Technologies on Industry 4.0*» τονίζουν πώς το 5G είναι η απάντηση σε αυτές τις απαιτήσεις και μπορεί αναμφίβολα να θεωρηθεί διαμεσολαβητής για όλες εκείνες τις βιομηχανικές εφαρμογές που απαιτούν επικοινωνία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για άμεση απόκριση (Hox, J. J. & Boeije, H. R., 2005).

	5G αστικό σενάριο	5G αγροτικό σενάριο
Τύπος υπηρεσίας	Βίντεο HD, ροή HD, απτικό Διαδίκτυο, IoT	Βίντεο HD, υπηρεσία έκτακτης ανάγκης, ηλεκτρονική υγεία, ηλεκτρονική μάθηση
Περιορισμοί δικτύου	Μεγιστοποιήστε το εύρος ζώνης, ελαχιστοποιήστε την καθυστέρηση, την κάλυψη	Κάλυψη, εγγυημένο εύρος ζώνης
Ενέργειας	Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας	Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, ανανεώσιμες πηγές
Μηνιαίο τέλος συνδρομής χρήστη	Πληρωμή ανά εύρος ζώνης	Το ίδιο με τους τυπικούς χρήστες των αστικών περιοχών
Επιχειρηματικό μοντέλο	Απόδοση της επένδυσης	Επιχορηγούμενο από την κυβέρνηση
Απαιτούμενη ευελιξία δικτύου	Ψηλός	Ψηλός
Κινητικότητα	Πεζός, οχηματικός, υψηλής	Πεζόδρομος, οχηματικός

χρηστών	ταχύτητας	
---------	-----------	--

### 2.3 Συνδεσιμότητα κινητής τηλεφωνίας

Όταν μιλάμε για το 5G εξετάζουμε πάντα ευφυείς και φουτουριστικές εφαρμογές, όπως το μαζικό IoT ή η βιομηχανία 4.0, ή η αυτόνομη οδήγηση. Αλλά δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η εισαγωγή του δικτύου 5G θα έχει τις πιο άμεσες επιπτώσεις του στην

**Πίνακας 1: 5G (αστικό/αγροτικό σενάριο)**  
 κινητή συνδεσιμότητα. Χάρη στο 5G, η πραγματική κινητή ευρυζωνική σύνδεση θα βελτιωθεί και θα αναβαθμιστεί (Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszcak, J., &Williams, P., 2010). Ο πελάτης θα είναι μάρτυρας καλύτερης κάλυψης στις αγροτικές περιοχές, οι οποίες σήμερα δεν καλύπτονται από σήμα κινητής τηλεφωνίας ή δεν μπορούν να υπερβαίνουν την κάλυψη κινητής τηλεφωνίας. Η συνδεσιμότητα θα βελτιωθεί σε συνθήκες κίνησης, όπως κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού με πτήση ή τρένο (Chandramoulietal., 2019).

Πίνακας 1: Σύγκριση κλασικού αστικού σεναρίου 5G με αγροτικό – (Chiaraviglioetal., 2017, σ.51)

Σήμερα, τουλάχιστον δύο δεσεκατομμύρια άνθρωποι βιώνουν την απουσία ασύρματης κάλυψης δικτύου κινητής τηλεφωνίας (Partridge, H. L., 2004). Αυτοί οι άνθρωποι που θα ήθελαν να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες του δικτύου για να συνδεθούν με τον κόσμο ζουν σε αγροτικές περιοχές και κερδίζουν πολύ λίγα χρήματα. Σε αυτούς τους τομείς, οι φορείς εκμετάλλευσης δεν είναι πρόθυμοι να επενδύσουν δεν τους θεωρούν κερδοφόρους για την επιχείρησή τους (Chiaraviglioetal., 2017). Ο πίνακας 1 δείχνει τη διαφορά μεταξύ ενός αστικού σεναρίου και ενός αγροτικού σεναρίου για το 5G. Ειδικότερα, ο τύπος της υπηρεσίας και οι περιορισμοί δικτύου διαφέρουν σημαντικά. Οι αγροτικές περιοχές δεν χρειάζονται υψηλή ταχύτητα και εξαιρετικά χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, αλλά πρέπει να συνδεθούν με τον υπόλοιπο κόσμο, προκειμένου να μειωθεί το ψηφιακό χάσμα (Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszcak, J., &Williams, P., 2010).

### 2.4 Τομέας Επικοινωνίας Μεταφορών

Μία από τις μακροπεριφέρειες στις οποίες το 5G βρίσκει τις κύριες εφαρμογές του είναι ο τομέας της επικοινωνίας με το όχημά του. Ο Βλάχος κ.ά., (2017, σ.1) δηλώνει ότι «η αυτοκινητοβιομηχανία θα ωφεληθεί σε μεγάλο βαθμό από την έλευση της δικτύωσης 5G και την τεράστια ώθηση στην απόδοση και την κάλυψη που θα υποστηρίξει». Ειδικότερα σε αυτόν τον τομέα το 5G μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση οχημάτων και για την επικοινωνία V2X (όχημα σε όλα). Το όχημα προς τα πάντα (V2X) ενσωματώνει επικοινωνίες οχήματος προς όχημα (V2V), οχήματος προς πεζό (V2P), υποδομής οχήματος προς υποδομή (V2I) και επικοινωνιών οχήματος προς δίκτυο (V2N) και θα έχει μεγάλο αντίκτυπο στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, της αποδοτικότητας της κυκλοφορίας και των διαφόρων υπηρεσιών infotainment που σήμερα αποτελούν θεμελιώδεις πτυχές όσον αφορά την εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας (Chenetal., 2017).

Οι Chandramoulietal., (2019) εντοπίζουν διαφορετικά επίπεδα αυτοματισμού (0-5) που καθορίζουν τις διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης στις οποίες το 5G μπορεί να επηρεάσει τις επικοινωνίες V2X (Nam, T., &Pardo, T. A., 2011, June).

- Επίπεδο 0 (όχι. Αυτοματισμός): Τα αυτοματοποιημένα συστήματα θα μπορούσαν να παρέμβουν σε περίπτωση προειδοποίησης σηματοδότησης για τα οχήματα, αλλά ο οδηγός εξακολουθεί να ελέγχει το όχημα (Alam, T., 2019).
- Επίπεδο 1 (υποβοήτες κίνησης): Ο οδηγός δεν είναι πλέον ο μόνος υπεύθυνος για τον έλεγχο του οχήματος, αλλά το αυτοματοποιημένο σύστημα είναι εν μέρει υπεύθυνο για αυτό. Ένα παράδειγμα αυτού του συστήματος είναι το ACC (Adaptive Cruise Control), στο οποίο ο οδηγός εξακολουθεί να είναι υπεύθυνος για το τιμόνι, αλλά το αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχει την ταχύτητα και το χώρο στάθμευσης. Σε αυτό το σενάριο ο οδηγός μπορεί πάντα να ανακτήσει τη διοίκηση του οχήματος.
- Επίπεδο 2 (μερική αυτοματοποίηση): Σε αυτή την περίπτωση χρήσης, το σύστημα είναι πλέον υπεύθυνο για πολλές εργασίες που συνήθως εκτελούνται από τον οδηγό, όπως επιτάχυνση, φρενάρισμα και τιμόνι. Αλλά ο οδηγός πρέπει να είναι έτοιμος να παρέμβει ανά πάσα στιγμή.
- Επίπεδο 3 (αυτοματισμός υπό όρους): Ο οδηγός δεν είναι πλέον υπεύθυνος για τις κύριες εργασίες. Το σύστημα του οχήματος θα είναι υπεύθυνο για όλες αυτές τις στιγμές που απαιτούν άμεση παρέμβαση, όπως το φρενάρισμα σε επικίνδυνες καταστάσεις.
- Επίπεδο 4 (υψηλή αυτοματοποίηση): Ο οδηγός δεν είναι υπεύθυνος για τίποτα και οποιαδήποτε εργασία μεταφέρεται από το όχημα. Στο υψηλό επίπεδο αυτοματισμού, ο οδηγός θα μπορούσε ακόμη και να κοιμηθεί κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και το αυτοκίνητο θα εξακολουθεί να φθάνει στον προορισμό που έχει σχεδιαστεί, αλλά ο οδηγός θα μπορούσε ακόμα να ανακτήσει τον έλεγχο του αυτοκινήτου εάν είναι απαραίτητο ή σε συγκεκριμένες καταστάσεις.
- Επίπεδο 5 (πλήρης αυτοματοποίηση): Σε αυτό το επίπεδο δεν υπάρχει πλέον ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση. Το σύστημα του αυτοκινήτου, το οποίο ενεργοποιείται από την τεχνολογία 5G, φέρει όλες τις απαραίτητες εργασίες.

#### 2.4.1 Λειτουργίες δικτύου

Ο τελευταίος μακροοικονομικός τομέας επιρροής που πρόκειται να συζητηθεί σε αυτήν την ενότητα είναι αυτός των λειτουργιών δικτύου: Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές του 5G στον τομέα της λειτουργίας δικτύου είναι η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών επικοινωνίας ελαχιστοποιώντας τους πόρους που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο. Το 5G μπορεί επίσης να παρέχει την απαραίτητη ισχύ για τη χρήση του ίδιου του δικτύου και την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για τη χρήση διαφορετικών τύπων συσκευών (Chandramoulietal., 2019). Ο Zhangetal., (2017, σ.138) δηλώνει πώς: «Τα συστήματα 5G αναμένεται να παρέχουν στην κοινωνία πλήρη σύνδεση, η οποία μπορεί να ξεπεράσει τους περιορισμούς του χρόνου και του χώρου για να δημιουργήσει διαστασιακές συνδέσεις με επίκεντρο τον χρήστη ή με επίκεντρο τις υπηρεσίες μεταξύ ανθρώπων και πραγμάτων» (Iansiti, M., &Levien, R., 2004).

Οι συντάκτες εξηγούν επίσης πώς τα δίκτυα 5G έχουν ως στόχο να ανταποκριθούν σε διαφορετικές απαιτήσεις σε διάφορα σενάρια, προκειμένου να ανταποκριθούν σε συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών χρήστη (Díaz-Díaz, R., Muñoz, L., & Pérez-González, D., 2017). Σε σενάρια όπου υπάρχει ανάγκη ευρείας κάλυψης, ο εντοπισμός δικτύου που ενεργοποιείται από δίκτυα 5G θα πρέπει να παρέχει υψηλή υπηρεσία ποσοστού δεδομένων σε οποιαδήποτε περίοδο και παντού (Al-Falahy, N., & Alani, O. Y., 2017). Σε περιοχές που βρίσκονται σε πόλεις όπου υπάρχει ζήτηση για μεγάλο όγκο κυκλοφορίας δεδομένων, τα δίκτυα 5G θα πρέπει να εγγυώνται την κάλυψη και τη χωρητικότητα των KYT. Σε σενάρια όπου υπάρχει ανάγκη για συνδέσεις για αισθητήρες χαμηλής ισχύος, τα δίκτυα 5G θα πρέπει να εγγυώνται τις συνδέσεις εκατομμυρίων συσκευών με χαμηλό αντίκτυπο στο κόστος και την κατανάλωση ενέργειας για κάθε συσκευή που θα πρέπει να χρησιμοποιείται (Condoluci, M., Sardis, F., & Mahmoodi, T., 2015, October). Χάρη στο φαινόμενο του διαχωρισμού δικτύου, το οποίο συνίσταται στη διαίρεση ενός φυσικού δικτύου σε διαφορετικά λογικά δίκτυα, θα είναι δυνατή η παροχή υπηρεσιών hoc για διάφορα σενάρια εφαρμογών που χρησιμοποιούν το ίδιο φυσικό δίκτυο (Zhangetal., 2017).

## 2.5 Προς την έννοια του επιχειρηματικού οικοσυστήματος

Η έννοια του οικοσυστήματος προέρχεται από τις βιολογικές επιστήμες. Τα βιολογικά οικοσυστήματα αποτελούνται από διάφορα είδη που έχουν αλληλεξαρτούμενους δεσμούς μεταξύ τους. Με τον ίδιο τρόπο, σε ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα είναι οι διάφοροι οργανισμοί που είναι αλληλένδετοι στη φύση. Ακριβώς όπως το μέλλον και ο πολλαπλασιασμός ενός βιολογικού οικοσυστήματος εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ των διαφόρων ειδών, με τον ίδιο τρόπο που το μέλλον και ο πολλαπλασιασμός ενός επιχειρηματικού οικοσυστήματος εξαρτάται από τις αλληλεξαρτούμενους τους οργανισμούς που αποτελούν το ίδιο το οικοσύστημα (Iansiti & Levien, 2004). Σε ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα, οι εταιρείες σχηματίζουν διαφορετικούς κλάδους συνεργάζονται και ανταγωνίζονται για την ανάπτυξη προϊόντων και υπηρεσιών προκειμένου να ικανοποιήσουν τις ανάγκες των πελατών. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούν νέες δεξιότητες και ικανότητες γύρω από τις νέες καινοτομίες που θέλουν να φέρουν στην αγορά. Για παράδειγμα, η Apple Computer έχει καθιερωθεί ως ο ηγέτης ενός οικοσυστήματος που χτίζει τη δύναμή του γύρω από τέσσερις διαφορετικούς κλάδους: προσωπικούς υπολογιστές, ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, πληροφορίες και επικοινωνίες (Moore, 1993).

### 2.5.1 Επιχειρηματικά στάδια εξέλιξης

Ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα, όπως και το βιολογικό του αντίστοιχο, έχει διαφορετικά στάδια εξέλιξης: γέννηση, επέκταση, ηγεσία, αυτοανάπτυξη ή θάνατο. Τα στελέχη πρέπει να γνωρίζουν τις διάφορες αλλαγές που αντιμετωπίζει ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα και πρέπει να είναι έτοιμα να εντοπίσουν τις πιθανές αλλαγές που θα μπορούσαν να συμβούν (Moore, 1993).

Κατά τη διάρκεια του σταδίου γέννησης, ορίζεται η πρόταση αξίας ενός νέου προϊόντος ή υπηρεσίας που θα παραδοθεί στον πελάτη. Σε αυτό το στάδιο οι επιχειρηματίες που καταφέρνουν να καθορίσουν και να εφαρμόσουν σωστά την πρόταση αξίας είναι αυτοί που κερδίζουν βραχυπρόθεσμα και παίρνουν τη θέση των ηγετών στο οικοσύστημα. Οι ηγέτες συχνά αναζητούν άλλες εταιρείες (συνεργάτες) προκειμένου να παραδώσουν με επιτυχία το πλήρες πακέτο αξίας στον πελάτη. Ενώ

αναζητούν και αποκτούν για τους εταίρους θα μπορούσαν να αποκλείσουν τα σημαντικότερα από το να βοηθήσουν άλλα αναδυόμενα οικοσυστήματα προκειμένου να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (Moore, 1993).

Στο στάδιο της επέκτασης τα επιχειρηματικά οικοσυστήματα επεκτείνονται για την κατάκτηση νέων εδαφών. Προκειμένου να επιτευχθεί επέκταση, υπάρχουν δύο απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται: μια επιχειρηματική έννοια που μπορεί να εκτιμηθεί από μεγάλο αριθμό καταναλωτών και η δυνατότητα κλιμάκωσης της έννοιας προκειμένου να επιτευχθεί μια ευρύτερη αγορά. Σε γενικές γραμμές, αυτή η φάση χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι ορισμένα οικοσυστήματα καταφέρνουν να εγκατασταθούν εις βάρος άλλων και να τα διώξουν από την αγορά (Hammersley, M., & Campbell, J. L., 2012). Για να γίνει αυτό, οι εταιρείες πρέπει να διατηρήσουν τον έλεγχο των καταναλωτικών σχέσεων και των κέντρων καινοτομίας και αξίας. Πρέπει επίσης να αναπτύξουν σχέσεις με τους προμηθευτές τους, προκειμένου να αποτρέψουν την υπεροχή άλλων οικοσυστημάτων (Moore, 1993).

Στο ηγετικό στάδιο, οι εταιρείες μέσα σε ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα συγκρούονται μεταξύ τους για να καθορίσουν ποια είναι η κορυφαία. Υπάρχουν δύο προϋποθέσεις που καθορίζουν αν είναι λογικό να αγωνιστούμε για την ηγεσία ενός οικοσυστήματος (Pangbourne, K., Stead, D., Mladenović, M., & Milakis, D., 2018). Πρώτα απ' όλα, το οικοσύστημα πρέπει να έχει ευρείες προοπτικές ανάπτυξης και ένα αρκετά μεγάλο περιθώριο κέρδους. Δεύτερον, η δομή των συστατικών στοιχείων που συμβάλλουν στην προσθήκη αξίας και των κεντρικών διαδικασιών του επιχειρηματικού οικοσυστήματος πρέπει να είναι σταθερή. Σε αυτό το στάδιο, οι εταιρείες ασχολούνται περισσότερο με τα πρότυπα, τη διαφοροποίηση εντός του οικοσυστήματος και τη σχέση πελάτη-προμηθευτή. Για να δημιουργήσουν την ηγετική τους θέση μέσα σε ένα οικοσύστημα, οι εταιρείες μπορούν να αξιοποιήσουν το γεγονός ότι είναι οι μόνες που έχουν θεμελιώδη πόρο για να παραδώσουν την πρόταση αξίας στον πελάτη (Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M., 2015). Ταυτόχρονα, οι κυρίαρχες εταιρείες εργάζονται για να ενισχύσουν τον καίριο ρόλο τους μέσω συνεισφορών για τη βελτίωση των επιδόσεων των οικοσυστημάτων και προσπαθούν να καθιερώσουν τους βασικούς ρόλους τους μέσω συνεισφορών για τη βελτίωση του συνολικού οικοσυστήματος (Moore, 1993).

Στο τελευταίο στάδιο, το στάδιο ή η ανανέωση ή ο θάνατος, το πιο σημαντικό καθήκον είναι η αντιμετώπιση της απαξίωσης. Για να είναι ένα οικοσύστημα επιτυχημένο μακροπρόθεσμα, πρέπει να είναι σε θέση να ανανεωθεί και να αναλάβει διαδοχικές γενιές καινοτομιών. Οι κυρίαρχες εταιρείες μέσα σε ένα οικοσύστημα μπορούν να συμμετάσχουν σε αυτή τη φάση με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Μπορούν να προσπαθήσουν να επιβραδύνουν την ανάπτυξη νέων οικοσυστημάτων, μπορούν να προσπαθήσουν να ενσωματώσουν νέες καινοτομίες στο οικοσύστημά τους ή μπορούν να προσπαθήσουν να τροποποιήσουν τη δομή τους προκειμένου να αντιμετωπίσουν την πραγματικότητα γύρω τους (Moore, 1993).

## 2.5.2 Ορισμός του επιχειρηματικού οικοσυστήματος

Ο ορισμός του οικοσυστήματος έχει διαφορετικές όψεις (Solanas, A., Patsakis, C., Conti, M., Vlachos, I. S., Ramos, V., Falcone, F., ... & Martinez-Balleste, A., 2014). Πολλοί συγγραφείς έχουν συμβάλει στον καθορισμό του τι είναι ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα και, ως εκ τούτου, προκειμένου να υπάρχει ένας σαφής και κατανοητός ορισμός του επιχειρηματικού οικοσυστήματος, είναι απαραίτητο να εξεταστούν περισσότεροι μελετητές (Singh, S., & Singh, P., 2012). Σύμφωνα με τον Adner (2017,

σ.40) ένα οικοσύστημα μπορεί να οριστεί ως: «η δομή ευθυγράμμισης του πολυμερούς συνόλου εταιρών που πρέπει να αλληλεπιδρούν προκειμένου να υλοποιηθεί μια πρόταση εστιακής αξίας». Κατά την περιγραφή ενός οικοσυστήματος, πρέπει να γίνει θεμελιώδης διάκριση μεταξύ δύο διαφορετικών τρόπων θεώρησης ενός οικοσυστήματος. Αν ορίσουμε ένα οικοσύστημα ως σύνδεσμο, περιγράφουμε ένα οικοσύστημα ανάλογα με τα δίκτυα και τις πλατφόρμες που συνδέουν όλους τους συμμετέχοντες. Αν περιγράψουμε ένα οικοσύστημα ως δομή, εστιάζουμε στις δραστηριότητες, μέσα σε ένα συγκεκριμένο οικοσύστημα, που πραγματοποιούνται προκειμένου να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη πρόταση αξίας (Adner, 2017). Σύμφωνα με τον Karoor (2018, σ.2) «ένα οικοσύστημα περιλαμβάνει ένα σύνολο παραγόντων που συμβάλλουν στην πρόταση αξίας των χρηστών της εστιακής προσφοράς». Ο ορισμός αυτός λαμβάνει υπόψη τη σχέση μεταξύ της πλευράς της ζήτησης και της πλευράς της προσφοράς μιας εστιακής προσφοράς και παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τους παράγοντες των πολλαπλών βιομηχανιών που συμβάλλουν στη δημιουργία αξίας της εστιακής προσφοράς (Karoor, 2018). Η Hannah και η Eisenhardt (2018, σ.1) ορίζουν τα οικοσυστήματα ως «συλλογές επιχειρήσεων που παράγουν διακριτά προϊόντα ή υπηρεσίες που μαζί αποτελούν μια συνεκτική λύση», υπογραμμίζοντας επίσης εδώ τη συμβολή διαφορετικών εταιρειών στην υλοποίηση ενός προϊόντος και μιας υπηρεσίας. Ακόμη και αν η εστίαση στην πρόταση αξίας δεν αναφέρεται άμεσα, ο ορισμός φαίνεται να είναι σύμφωνος με τους προηγούμενους (Rabianski, J. S., 2003, Goodman, Marc, 2015).

### 2.5.3 Στοιχεία επιχειρηματικού οικοσυστήματος

Μόλις εντοπιστεί ένας ορισμός του επιχειρηματικού οικοσυστήματος σε ένα σύνολο επιχειρήσεων από διαφορετικούς κλάδους που συνεργάζονται για τη δημιουργία μιας πρότασης αξίας για τον τελικό πελάτη, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε ποια είναι τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα οικοσύστημα [Chandramouli, D., Liebhart, R., & Pirskanen, J. (Eds.), 2019]. Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα οικοσύστημα είναι: οι *δραστηριότητες* που πρέπει να πραγματοποιηθούν για την υλοποίηση της πρότασης αξίας, οι *φορείς* που είναι οι φορείς που πρέπει να ασκούν τις προαναφερθείσες δραστηριότητες, οι *θέσεις* που προσδιορίζουν πού βρίσκονται οι παράγοντες και οι *σύνδεσμοι* που καθορίζουν τις μεταφορές από τον ένα φορέα στον άλλο και τα χαρακτηριστικά αυτών των μεταφορών (Adner, 2017).

Ένα οικοσύστημα χαρακτηρίζεται από τις *δραστηριότητες* που χρησιμεύουν για την υλοποίηση των διαφορετικών προσφορών αξίας των *παραγόντων*, δηλαδή των συμμετεχουσών εταιρειών εντός του οικοσυστήματος (Fettweis, G., & Alamouti, S., 2014). Οι διάφορες προσφορές αξίας, οι μεμονωμένοι παράγοντες και οι προσφορές που συμβάλλουν στη δημιουργία ενός επιχειρηματικού οικοσυστήματος συνδέονται μεταξύ τους μέσω *τεχνολογιών και αρχιτεκτονικών παραγωγής* (Tudzarov, A., & Gelev, S., 2017). Οι αρχιτεκτονικές βασίζονται στις τεχνολογικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των προσφορών και στις σχέσεις σχετικά με τις ροές εισροών-εκροών μεταξύ των παραγόντων του οικοσυστήματος (Karoor, 2018). Προκειμένου να περιγραφεί μια ομοιογενής σύνθεση των οντοτήτων που συνθέτουν το οικοσύστημα, είναι δυνατόν να συνοψιστούν σε τρεις κατηγορίες: *Ηθοποιοί, Δραστηριότητες και Πλατφόρμες*. Ειδικότερα, η έννοια της Πλατφόρμας χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη φύση (τεχνολογική ή μη) των δεσμών μεταξύ των φορέων και των προσφορών, αλλά όχι τις διαπραγματεύσεις ή τη φύση των σχέσεων που μπορούν να παρατηρηθούν μεταξύ των διαφόρων παραγόντων του οικοσυστήματος, η οποία αποτελεί αντικείμενο της στρατηγικής οικοσυστήματος (Adner 2017, Karoor 2018).

#### 2.5.4 Παράγοντες

Μεταξύ των διαφόρων παραγόντων που αποτελούν επιχειρηματικό οικοσύστημα είναι δυνατή η αναγνώριση της *εστιακής επιχείρησης* και τους *συμπληρωματικούς παράγοντες*. Μια εστιακή εταιρεία μπορεί να καθορίσει ποιο είναι το όραμα και ποιοι είναι οι κοινοί στόχοι που πρέπει να ακολουθήσουν όλοι οι συμμετέχοντες σε ένα οικοσύστημα (Moore, 1996). Συνήθως η κορυφαία εταιρεία έχει τη δύναμη να επηρεάσει τους άλλους συμμετέχοντες στο οικοσύστημα ακολουθώντας τη φιλοσοφία και τα πρότυπά της (Baghbadorani&Harandi., 2012).

Οι παράγοντες που εμπλέκονται σε ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα μπορεί να έχουν διαφορετική φύση και μπορούν να έχουν διαφορετικά επίπεδα συμβολής στην κοινή πρόταση αξίας του οικοσυστήματος. Κατά τη μελέτη ενός επιχειρηματικού οικοσυστήματος, η εστίαση συνήθως κατευθύνεται προς τους *λεγόμενους συμπληρωματικούς*. Οι συμπληρωματικοί παράγοντες θεωρούνται οι παράγοντες που «παράγουν συμπληρωματικά προϊόντα και υπηρεσίες που συμβάλλουν στη δημιουργία αξίας της εστιακής προσφοράς» (Karoor, 2018, σ.7). Όσο πιο σημαντική είναι η συμβολή από την άποψη μιας ενιαίας προσφοράς ενός συμπληρώματος, τόσο περισσότερο ο συμπληρωματικός θεωρείται σημαντικός στην ισορροπία του οικοσυστήματος. Κατά την αντιμετώπιση των συμπληρωμάτων είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί μια δομή ευθυγράμμισης, η οποία μπορεί να διευκολύνει την υλοποίηση της κοινής αξίας και να περιορίσει τις συγκρούσεις που μπορεί να προκύψουν όταν ένας ή περισσότεροι συμπληρωματικοί παράγοντες μπορεί να έχουν μια μάχη σχετικά με την καταγραφή της αξίας που παράγεται μέσα στο οικοσύστημα (Karoor, 2018, Hall, R.. 2000).

#### 2.5.5 Δραστηριότητες

Μεταξύ των δραστηριοτήτων είναι δυνατή η διάκριση τριών διαφορετικών βασικών εννοιών: η έννοια της

την έννοια της *συμφόρησης* (με τους διαφορετικούς τύπους της) και την έννοια της *πλατφόρμας*.

#### 2.5.6 Στοιχεία

Οι δραστηριότητες είναι όλες οι δράσεις που παράγουν προσφορές που συμβάλλουν στην υλοποίηση της τελικής πρότασης αξίας ενός επιχειρηματικού οικοσυστήματος. Οι συνεισφορές μπορεί να είναι από την άποψη των προϊόντων ή/και των υπηρεσιών και να λάβουν το όνομα των *συστατικών*. Για παράδειγμα, η Apple ήταν σε θέση να δημιουργήσει ένα οικοσύστημα βασισμένο σε έναν όμιλο εταιρειών που παρείχαν διαφορετικά στοιχεία όπως mp3 player, μνήμη flash, δικαιώματα ψηφιακής μουσικής και το κατάστημα iTunes, το οποίο συνέβαλε στη δημιουργία της τελικής πρότασης αξίας του iPod (Hannah&Eisenhardt, 2018). Η φύση ενός επιχειρηματικού στοιχείου μπορεί να ποικίλει και να περιλαμβάνει διαφορετικές προσφορές αξίας που συμβάλλουν στην επιτυχία του τελικού προϊόντος ή υπηρεσίας. Στην πραγματικότητα, μπορεί να περιλαμβάνει επιχειρηματικά αντικείμενα, επιχειρηματικούς πόρους, επιχειρηματικές δραστηριότητες, επιχειρηματικές υπηρεσίες, αλλά και συνεισφορές που σχετίζονται με τους κανονισμούς που είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία σε έναν συγκεκριμένο τομέα. Όταν θέλουμε να μελετήσουμε τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μελών ενός επιχειρηματικού



οικοσυστήματος, ο ρόλος των δραστηριοτήτων που ασκούν οι εταιρείες αντικαθίσταται από αυτόν των συστατικών (Zhang&Fan, 2010).

### 2.5.7 Συμφόρηση

Η συμφόρηση αποτελεί συστατικό στοιχείο ενός επιχειρηματικού οικοσυστήματος του οποίου οι επιδόσεις παρεμποδίζουν ή παρεμποδίζουν τη λειτουργία ολόκληρου του οικοσυστήματος (Saumure, K. & Given, L. M., 2012). Η κριτική ενός σημείου συμφόρησης έγκειται στο γεγονός ότι οδηγεί σε περιορισμούς απόδοσης και δεν υπάρχει εναλλακτική λύση αυτή τη στιγμή που να μπορεί να την αντικαταστήσει (Baldwin, 2015). Ειδικότερα, ορισμένες από τις συνεισφορές όσον αφορά την προσφορά προς την πρόταση τελικής αξίας,

δηλαδή ορισμένα συστατικά στοιχεία του οικοσυστήματος, μπορεί να αντιπροσωπεύουν περιορισμούς όσον αφορά την απόδοση, το κόστος ή τη σπανιότητα και, ως εκ τούτου, να περιορίζουν τις επιδόσεις ολόκληρου του οικοσυστήματος (Karoor, 2018). Τα σημεία συμφόρησης επιβραδύνουν την ανάπτυξη του οικοσυστήματος λόγω της κακής ποιότητας και της περιορισμένης αποτελεσματικότητάς τους (Chen, S., Hu, J., Shi, Y., Peng, Y., Fang, J., Zhao, R., & Zhao, L., 2017). Για παράδειγμα, η αγορά ψηφιακής μουσικής στο iTunes ήταν μια σοβαρή συμφόρηση στο οικοσύστημα iPod και μόνο όταν επιλύθηκε πλήρως το iPod θα μπορούσε να οδηγήσει την αγορά (Hannah&Eisenhardt, 2018). Τα σημεία συμφόρησης πρέπει να διακρίνονται από τις δομικές οπές των δικτύων. Εάν ένα δίκτυο έχει μια δομική τρύπα μπορεί ακόμα να εκτελέσει τη λειτουργία του και ένας παράγοντας σε ένα δίκτυο που καταλαμβάνει μια δομική τρύπα μπορεί να κάνει λειτουργίες διαιτησίας μεταξύ των άλλων παραγόντων που διαφορετικά θα αποσυνδεθούν χωρίς αυτό (Mumtaz, S., Alshaily, A., Pang, Z., Rayes, A., Tsang, K. F., & Rodriguez, J., 2017). Αντίθετα, ένα εμπόδιο βλάπτει ολόκληρο το οικοσύστημα και αν δεν επιλυθεί δεν επιτρέπει στο οικοσύστημα να αποδώσει σωστά (Hannah, D. P., & Eisenhardt, K. M., 2018). Εάν ένας συμπλήρωμα οικοσυστήματος μπορεί να λύσει ένα δεδομένο εμπόδιο, πρέπει να είναι σε θέση να συλλάβει την αξία που προέρχεται από αυτό, αλλά αν θέλει να λειτουργήσει το οικοσύστημα, δεν μπορεί να επωφεληθεί πλήρως από τις χρηματιστηριακές δραστηριότητες με άλλους παράγοντες του οικοσυστήματος (Hannah&Eisenhardt, 2018).

Ο Moore (1993, σ.81) δηλώνει ότι «η διαπραγματευτική ισχύς προέρχεται από το να έχεις κάτι που χρειάζεται το οικοσύστημα και να είσαι η μόνη πρακτική πηγή», αλλά αυτή η συμφωνία περιορίζεται από την εύρυθμη λειτουργία του επιχειρηματικού οικοσυστήματος (Condoluci, M., Sardis, F., & Mahmoodi, T., 2015). Μια επιχείρηση που είναι σε θέση να λύσει ένα εμπόδιο πρέπει να είναι σε θέση να συλλάβει το μεγαλύτερο μέρος της αξίας από αυτό, αλλά για να λειτουργήσει ένα οικοσύστημα (το οποίο θα είχε επίσης τεράστια συμβολή στην εταιρεία που έλυσε το σημείο συμφόρησης), οι πληροφορίες για την επίλυση της συμφόρησης πρέπει να μοιραστούν (Bell, E., Bryman, A., 2011).

### 2.5.8 Τύποι σημείων συμφόρησης

Τα σημεία συμφόρησης μπορεί να είναι δύο τύπων: τεχνικά και στρατηγικά. Τεχνικά σημεία συμφόρησης συμβαίνουν όταν το εμπόδιο για την απόδοση του οικοσυστήματος προέρχεται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του ίδιου του οικοσυστήματος. Για παράδειγμα, σε έναν σιδηρόδρομο, εάν δεν υπάρχει γέφυρα που να συνδέει τις δύο όχθες ενός ποταμού, συναντάται ένα τεχνικό εμπόδιο. Σημεία

συμφόρησης στρατηγικού χαρακτήρα συμβαίνουν όταν υπάρχει η λύση σε ένα τεχνικό εμπόδιο, αλλά δεν είναι δυνατόν να επωφεληθούμε από αυτό, οπότε απαιτείται πληρωμή για τη χρήση του (Gurta, A., & Jha, R. K., 2015). Υπάρχουν τρεις υποκατηγορίες τεχνικών σημείων συμφόρησης: εκ των ων ουκ μη σημεία συμφόρησης, σημεία συμφόρησης και αντίστοιχα σημεία συμφόρησης. Τα εκ των ων ουδέν σημεία συμφόρησης αφορούν συστατικά απαραίτητα για τη βασική λειτουργία του οικοσυστήματος, εάν υπάρχουν τέτοια σημεία συμφόρησης που το οικοσύστημα δεν μπορεί να υπάρξει. Τα σημεία συμφόρησης αφορούν εξαρτήματα που δεν ταιριάζουν σωστά σε οικοσυστήματα που απαιτούν από τα μέρη να ταιριάζουν μεταξύ τους για να λειτουργήσουν σωστά (Baldwin, 2015).

### 2.5.9 Πλατφόρμες

Η μελέτη των πλατφορμών αφορά την τεχνολογία και τις αρχιτεκτονικές παραγωγής που επιτρέπουν τη θεμελιώδη σύνδεση μεταξύ των προσφορών και των παραγόντων του οικοσυστήματος. Τα οικοσυστήματα που βασίζονται σε πλατφόρμες και τις διαχειρίζονται οι ιδιοκτήτες της πλατφόρμας (Vaismoradi, M., Turunen, H., & Bonda, T., 2013). Ο ιδιοκτήτης της πλατφόρμας, που διαχειρίζεται τη δομή ευθυγράμμισης, δίνει τη δυνατότητα στους συμπληρωτές να συμμετέχουν στο οικοσύστημα ακολουθώντας ορισμένους κανόνες και διαδικασίες (Sood, R., & Garg, A., 2014). Τα οικοσυστήματα βάσει προϊόντων προβλέπουν αλληλεπιδράσεις σε επίπεδο αγοράς μεταξύ της εταιρείας πλατφόρμας (η οποία στην περίπτωση αυτή διαδραματίζει τον ρόλο της εστιακής εταιρείας), των συμπληρωμάτων και των τελικών χρηστών (Morvaj, B., Lugaric, L., & Krajar, S., 2011, Singer, Peter W., Friedman, Allan. (2014). Στην περίπτωση αυτή, η δομή ευθυγράμμισης μεταξύ των διαφόρων συμπληρωμάτων καθορίζεται από όλους τους συμμετέχοντες στο επιχειρηματικό οικοσύστημα (Karoor, 2018). Η αρχιτεκτονική ενός οικοσυστήματος καθιστά δυνατή την περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των συστατικών ενός οικοσυστήματος και τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους (Li, Paul Luo, Shaw Mary, Herbsleb Jim, Ray Bonnie, Santhanam Peter, 2004). Κατά τη μελέτη της αρχιτεκτονικής ενός οικοσυστήματος, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη τόσο η τεχνική αρχιτεκτονική όσο και η βιομηχανική αρχιτεκτονική. Η τεχνική αρχιτεκτονική σχετίζεται με τα τεχνικά καθήκοντα που είναι απαραίτητα για την παραγωγή ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας ανάλογα με την υλική δομή του. Η αρχιτεκτονική της βιομηχανίας ορίζεται ως το σύνολο των διαφόρων δομών συμβάσεων. Οι δομές των συμβάσεων περιλαμβάνουν πρακτικές, περιορισμούς, συμβάσεις, δικαιώματα ιδιοκτησίας και συναλλαγές που υπάρχουν εντός του οικοσυστήματος (Baldwin, 2015).

### 2.6 Στρατηγική οικοσυστήματος

Η μελέτη των διαφορετικών σχέσεων και ισορροπιών δυνάμεων μέσα σε ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα είναι το αντικείμενο της στρατηγικής του οικοσυστήματος. Ο Adner (2017, σ.47) ορίζει τη στρατηγική οικοσυστήματος ως: *«τον τρόπο με τον οποίο μια εστιακή εταιρεία προσεγγίζει την ευθυγράμμιση των εταίρων και διασφαλίζει το ρόλο της σε ένα ανταγωνιστικό οικοσύστημα»*. Σκοπός της στρατηγικής οικοσυστήματος είναι η μελέτη των σχέσεων μεταξύ των διαφόρων παραγόντων που αποτελούν μέρος του οικοσυστήματος και συμβάλλουν στην πρόταση τελικής αξίας (Karoor, 2018). Το όραμα αυτό μπορεί να επεκταθεί λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η στρατηγική για το οικοσύστημα ορίζεται ως η επιλογή μιας εταιρείας όσον αφορά τα συστατικά της στοιχεία, τη

συμπληρωματικότητά της και την *ισορροπία μεταξύ συνεργασίας και ανταγωνισμού* (Hannah&Eisenhardt, 2018). Η μελέτη της συνεργασίας και του ανταγωνισμού σε ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα είναι θεμελιώδης για την κατανόηση της δυναμικής που το διέπει. Στην πραγματικότητα, οι εταιρείες που συνθέτουν ένα οικοσύστημα εργάζονται ανταγωνιστικά και συνεργατικά για την ανάπτυξη νέων προϊόντων και την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών (Chiaraviglio, L., Blefari-Melazzi, N., Liu, W., Gutiérrez, J. A., VanDeBeek, J., Birke, R. & Bagula, A., 2017). Η ισορροπία των στρατηγικών ανταγωνισμού και συνεργασίας έχει ως αποτελέσματα την επούλωση του οικοσυστήματος (Moore, 1993). Η εξέλιξη ενός οικοσυστήματος είναι το θεμελιώδες στοιχείο που κρατά ζωντανό το οικοσύστημα και η συνεργασία και ο ανταγωνισμός είναι τα φαινόμενα που το ρυθμίζουν. Ανταγωνισμός και συνεργασία μέσα σε ένα οικοσύστημα μπορεί να μελετηθεί λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων εταίρων (*ευθυγράμμιση των εταίρων*) και μελετώντας στρατηγικές οικοσυστήματος που σχετίζονται με τη *διαχείριση των σημείων συμφόρησης*, τα οποία αποτελούν τους σημαντικότερους πόρους για ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα.

## 2.7 Ευθυγράμμιση συνεργατών

Ένας από τους τρόπους με τους οποίους μπορείτε να μελετήσετε τα επιχειρηματικά οικοσυστήματα είναι να εστιάσετε στον τρόπο με τον οποίο οι εταίροι διαχειρίζονται τις σχέσεις μεταξύ τους και με την εστιακή εταιρεία. Συγκεκριμένα, η ευθυγράμμιση των εταίρων επικεντρώνεται στην ικανότητα της εστιακής εταιρείας να ευθυγραμμίζει διάφορους συμπληρωματικούς παράγοντες με τις θέσεις και τους ρόλους που αντιλαμβάνεται το όραμα του επιχειρηματικού οικοσυστήματος. Ενδέχεται να προκύψουν κενά μεταξύ των διαφόρων συμπληρωμάτων ή μεταξύ της εστιακής επιχείρησης και των επιμέρους συμπληρωμάτων, και η εστιακή εταιρεία πρέπει να είναι σε θέση να τα κλείσει για να λειτουργήσει το οικοσύστημα (Adner, 2017). Προκειμένου να μελετηθεί η σχέση μεταξύ των διαφόρων εταίρων ενός οικοσυστήματος, είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι έννοιες της *συμπληρωματικότητας* και της *αλληλεξάρτησης*. Για να αναλυθεί κριτικά η ζημία που μπορεί να προκαλέσει μια εσφαλμένη ευθυγράμμιση των εταίρων, είναι απαραίτητο να διερευνηθούν *οι κίνδυνοι συν-καινοτομίας* και *οι κίνδυνοι ενσωμάτωσης* μέσω της χαρτογράφησης ενός οικοσυστήματος, στην πραγματικότητα: «Μια ουσιαστική στρατηγική οικοσυστήματος θα είναι σαφής στην αξιολόγηση και προορατική στη διαχείριση αυτών των κινδύνων» (Adner, 2017 σελ.48).

## 2.8 Συμπληρωματικότητα

Η έννοια της συμπληρωματικότητας σε ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα απορρέει από την ανάγκη των διαφόρων συστατικών μερών να οργανωθούν γύρω από ένα τελικό προϊόν ή υπηρεσία. Στην πραγματικότητα, για να υλοποιηθεί η τελική πρόταση αξίας είναι απαραίτητο να υπάρχουν όλα τα συστατικά στοιχεία (Hannah&Eisenhardt, 2018). Τα συστατικά ενός επιχειρηματικού οικοσυστήματος δημιουργούν αξία μόνο χάρη στη συμπληρωματικότητά τους. Στην πραγματικότητα, η αξία που παράγεται από το σύνολο των συστατικών στοιχείων που λαμβάνονται υπόψη στη συμπληρωματικότητά τους είναι πολύ υψηλότερη από εκείνη των συστατικών στοιχείων που λαμβάνονται μεμονωμένα (Baldwin, 2015). Ο βαθμός συμπληρωματικότητας ποικίλλει ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο μια συνιστώσα σχετίζεται με τη συνολική προσφορά αξίας του οικοσυστήματος. Βρισκόμαστε σε μια περίπτωση στενής συμπληρωματικότητας όταν η εστιακή προσφορά και το ενιαίο

στοιχείο δεν έχουν αυτόνομη αξία (Baldwin, C. Y. (2015). Η αξία τους είναι πραγματική μόνο όταν χρησιμοποιούνται μαζί, όπως ένα κινητό τηλέφωνο και ένα κινητό λειτουργικό σύστημα. Βρισκόμαστε σε μια περίπτωση υπερ-αρθρωτής συμπληρωματικότητας όταν όσο περισσότερο υπάρχει ένα στοιχείο, τόσο μεγαλύτερη είναι η συμβολή στην προσφορά αξίας. Ένα παράδειγμα είναι εφαρμογές smartphone ή σταθμοί φόρτισης για ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Ένα άλλο χαρακτηριστικό όσον αφορά τη συμπληρωματικότητα είναι ότι μπορεί να είναι γενική ή εξειδικευμένη σε σχέση με την εστιακή προσφορά (Karoor, 2018). Σύμφωνα με τον Karoor (2018, σ.3) οι συμπληρωματικότητες είναι «οικονομικές σχέσεις μεταξύ των προσφορών όσον αφορά τις δυνατότητες δημιουργίας αξίας» (Baghbadorani, M. F., & Harandi, A., 2012).

## 2.9 Αλληλεξαρτήσεις

Οι αλληλεξαρτώμενοι μεταξύ των διαφόρων παραγόντων ενός οικοσυστήματος προκύπτουν από το γεγονός ότι οι προσφορές που προτείνουν συνδέονται σε επίπεδο αρχιτεκτονικής από το ίδιο το οικοσύστημα (Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R. A., Hayes, N., & Nelson, L. E., 2009). Οι αλληλεξαρτήσεις αποτελούνται από διαρθρωτικές σχέσεις που βοηθούν να εξηγηθεί πώς η αλλαγή μιας προσφοράς από έναν συμπληρώνει μπορεί να επηρεάσει τις συνεισφορές από τις προσφορές των άλλων συμπληρωμάτων (Hossain, E., & Hasan, M., 2015). Η αλληλεξάρτηση χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι επικεντρώνεται στην πλευρά της ζήτησης της εστιακής προσφοράς και ο τελικός χρήστης έχει λόγο στην ενσωμάτωση των διαφόρων συστατικών που παρέχονται από τους συμπληρωτές για να εξασφαλίσει την εστιακή προσφορά (Karoor, 2018).

Η Hannah και η Eisenhardt (2018, σ.2) δηλώνουν ότι «Η αλληλεξάρτηση μεταξύ συμπληρωματικών στοιχείων μπορεί να είναι περίπλοκη, με υποκείμενες ροές δραστηριότητας που διέπουν τον τρόπο διασύνδεσης των στοιχείων». Η αλληλεξάρτηση είναι διαφορετική από τη συμπληρωματικότητα: θα μπορούσαμε να ορίσουμε την αλληλεξάρτηση ως μελέτη του τρόπου με τον οποίο διαχειρίζεστε τη συμπληρωματικότητα (Bardhi, F., & Eckhardt, G. M., 2012).

## 2.10 Κίνδυνοι συν-καινοτομίας

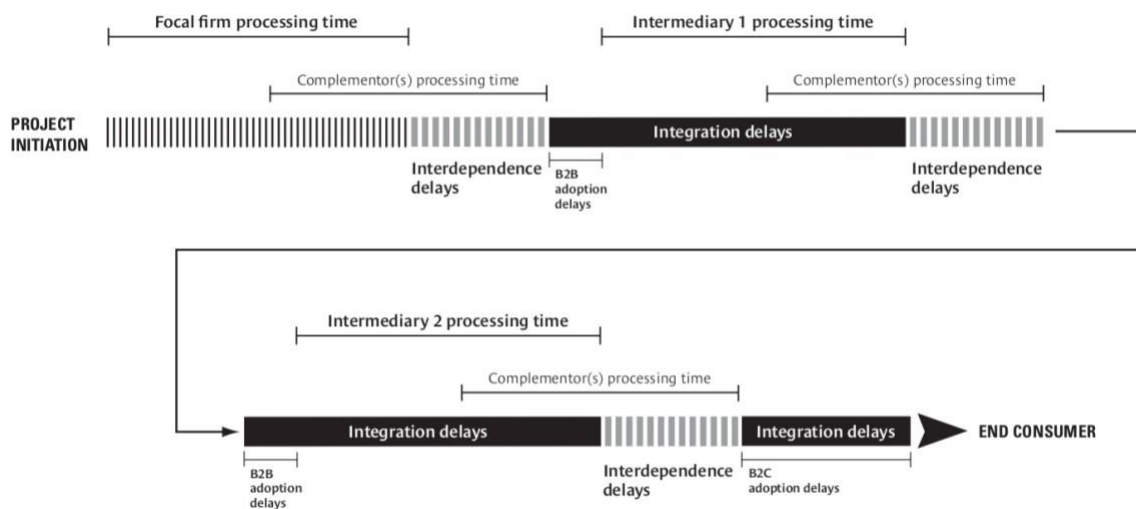
Κατά τη μελέτη των σχέσεων μεταξύ των διαφόρων εταιρών μέσα σε ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα, ενδέχεται να προκύψουν κίνδυνοι σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο διεξάγονται αυτές οι σχέσεις. Οι κίνδυνοι αυτοί περιλαμβάνουν κινδύνους συμπαραγωγής. Αναφέρονται σε τυχόν δυσκολίες που ενδέχεται να αντιμετωπίσουν οι συμπληρωματικοί παράγοντες κατά την άσκηση νέων δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη συμβολή στην ανάπτυξη της πρότασης αξίας (Adner, 2017). Οι κίνδυνοι αυτοί ονομάζονται επίσης κίνδυνοι αλληλεξάρτησης και αναφέρονται στις πιθανές καθυστερήσεις που ενδέχεται να προκύψουν όταν ένας ή περισσότεροι συμπληρωματικοί παράγοντες που θα πρέπει να συνεργάζονται στη διαδικασία καινοτομίας για την υλοποίηση της πρότασης τελικής αξίας δεν επιτυγχάνουν την επιτυχή ανάπτυξη των συνιστωσών τους στον απαιτούμενο χρόνο (Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., & Scholl, H. J., 2012). Όσο περισσότερο μια πρόταση αξίας εξαρτάται από την ταυτόχρονη ανάπτυξη άλλων συστατικών, τόσο περισσότερο ο κίνδυνος αλληλεξάρτησης είναι υψηλός (Adner, 2006).

Ένας άλλος κίνδυνος σχετικά με την ευθυγράμμιση των εταίρων σε ένα οικοσύστημα αφορά τον λεγόμενο κίνδυνο αλυσίδας υιοθέτησης (Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., & Meijers, E., 2007). Αυτός ο τύπος κινδύνου αφορά την προθυμία ή μη των συμπληρωμάτων οικοσυστήματος να συμμετάσχουν στις δραστηριότητες που απαιτούνται για την υλοποίηση στην αγορά της πρότασης τελικής αξίας και εγείρει ερωτήματα σχετικά με τα κίνητρα συμμετοχής σε επιχειρηματικό οικοσύστημα (Adner, 2017). Οι κίνδυνοι αυτοί ονομάζονται επίσης *κίνδυνοι ολοκλήρωσης* και αναφέρονται σε όλους τους μεσάζοντες κατά μήκος της αλυσίδας αξίας που πρέπει να υιοθετήσουν μια συγκεκριμένη πρόταση αξίας που επέτρεψαν στην εν λόγω πρόταση αξίας να επιτύχει ικανοποιητικό αριθμό πωλήσεων στην αγορά (Adner, 2006).

## 2.11 Χαρτογράφηση του οικοσυστήματος

Αφού διαπιστώσουμε ποια είναι τα χαρακτηριστικά που πρέπει να λάβουμε υπόψη όταν θέλουμε να μελετήσουμε τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων παραγόντων που συμμετέχουν σε ένα οικοσύστημα, μπορούμε να εισαγάγουμε ένα εργαλείο που μπορεί να μας βοηθήσει να τα αναλύσουμε: Η χαρτογράφηση του οικοσυστήματος.

Σχήμα 4: Χαρτογράφηση του οικοσυστήματος – (Adner, 2006, σ.7)



Η χαρτογράφηση του οικοσυστήματος είναι μια διαδικασία που αποτελείται από διάφορα στάδια (Ahad, A., Tahir, M., & Yau, K. L. A. (2019). Καταρχάς, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν όλοι οι μεσάζοντες που πρέπει να υιοθετήσουν μια καινοτομία πριν φτάσει στον τελικό καταναλωτή. Στη συνέχεια γίνεται ο προσδιορισμός όλων των εξαρτημάτων (οι άλλες προσφορές αξίας που πρέπει να γίνουν από τους συμπληρωτές για την υλοποίηση της τελικής προσφοράς αξίας). Μετά από αυτές τις δύο πρώτες φάσεις υπάρχει η εκτίμηση όλων των καθυστερήσεων που προκαλούνται από την αλληλεξάρτηση με τους συμπληρωματικούς παράγοντες, δηλαδή την εκτίμηση των *κινδύνων αλληλεξάρτησης*. (Alusi, A., Eccles, R. G., Edmondson, A. C., & Zuzul, T., 2011). Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την εκτίμηση των καθυστερήσεων που προκαλούνται από το χρόνο που

απαιτείται για κάθε διαμεσολαβητή κατά μήκος της αλυσίδας αξίας να υιοθετήσει την προσφορά αξίας, έτσι ώστε να φτάσει στην αγορά, αυτό το βήμα συμπίπτει με την εκτίμηση των *κινδύνων ολοκλήρωσης*. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε μέχρι σήμερα επικεντρώνεται στην προοπτική μιας προσφοράς εστιακής αξίας (που προέρχεται από συγκεκριμένη εστιακή επιχείρηση) και στις σχέσεις της εστιακής επιχείρησης με τους συμπαίκτες και τους μεσάζοντες της. Η χαρτογράφηση του οικοσυστήματος είναι ένα πλήρες εργαλείο ανάλυσης, στην πραγματικότητα είναι απαραίτητο να εκτιμηθούν επίσης οι καθυστερήσεις που προκαλούνται από την αλληλεξάρτηση των μεσαζόντων με τους αντίστοιχους συμπληρωματικούς παράγοντες τους (*κίνδυνος αλληλεξάρτησης των διαμεσολαβητών*) και τις καθυστερήσεις που προκαλούνται εντός της αλυσίδας αξίας των μεμονωμένων διαμεσολαβητών (*κίνδυνοι ένταξης των διαμεσολαβητών*). Μόλις, χάρη στη χαρτογράφηση του οικοσυστήματος, εντοπιστούν όλα τα προβλήματα εντός ενός επιχειρηματικού οικοσυστήματος, είναι δυνατόν να καθοριστεί εάν επιβεβαιώνονται ή απορρίπτονται οι προσδοκίες σχετικά με την άφιξη της προσφοράς αξίας στην αγορά (Creswell, J. W., 2014). Στη δεύτερη περίπτωση είναι δυνατή η υιοθέτηση στρατηγικών λύσεων, η τροποποίηση των σχέσεων με τους εταίρους ή η δράση σε επίπεδο αγοράς για να γεφυρώνεται το χάσμα μεταξύ του εκτιμώμενου χρόνου παράδοσης μιας δεδομένης προσφοράς αξίας στην αγορά και του πραγματικού χρόνου λόγω της εκτίμησης διαφορετικών καθυστερήσεων (Adner, 2006).

## 2.12 Στρατηγική συμμόρφωσης

Η χαρτογράφηση ενός επιχειρηματικού οικοσυστήματος παρέχει σχετικές πληροφορίες σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων παραγόντων σε σχέση με τη συμβολή τους όσον αφορά την προσφορά αξίας στην πρόταση τελικής αξίας (Al-Falahy, N., & Alani, O. Y., 2017). Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση της μελέτης δεν λαμβάνει υπόψη ένα από τα θεμελιώδη στοιχεία της σύνθεσης του οικοσυστήματος, τα σημεία συμμόρφωσης (Ahad, A., Tahir, M., & Yau, K. L. A., 2019). Τα χαρακτηριστικά των σημείων συμμόρφωσης έχουν ήδη συζητηθεί στις ειδικές παραγράφους, οπότε αυτή η παράγραφος θα εξηγήσει πώς μέσω της στρατηγικής συμμόρφωσης είναι δυνατόν να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα συμπεριφέρεται μπροστά από την παρουσία σημείων συμμόρφωσης. Σύμφωνα με τη Hannah και την Eisenhardt (2018) η στρατηγική συμμόρφωσης αποτελείται από διάφορα στάδια. Η πρώτη φάση αποτελείται από το ξεκλείδωμα εξαρτημάτων που αποτελούν σημεία συμμόρφωσης λόγω της απόδοσής τους ή των προβλημάτων έλλειψης (Article 29 DPWP., 2014). Το δεύτερο βήμα είναι η καινοτομία αυτών των συστατικών/σημείων συμμόρφωσης και το τρίτο βήμα είναι να συνεργαστούμε με τους συμπληρωματικούς παράγοντες για τη συναρμολόγηση των υπόλοιπων συστατικών του οικοσυστήματος (Adner, R., & Karoor, R., 2016). Η στρατηγική αυτή προβλέπει μια αμοιβαία σχέση μεταξύ συνεργασίας και ανταγωνισμού μεταξύ των εταίρων ενός οικοσυστήματος: όταν ένας παράγοντας επιχειρηματικού οικοσυστήματος καταφέρνει να ξεκλειδώσει ένα εμπόδιο, πρέπει να είναι σε θέση να δημιουργήσει αξία (να συνεργαστεί για τη συγκέντρωση ολόκληρου του οικοσυστήματος) και να αποτυπώσει την αξία (ανταγωνίζονται ασκώντας ισχύ στην αγορά) (Adner, R., 2017). Προκειμένου να αποφασιστεί σε ποιο βαθμό, να συνεργαστούν και σε ποιο βαθμό να ανταγωνιστούν το γύρω οικοσύστημα, αντιμετωπίζοντας με επιτυχία τα σημεία συμμόρφωσης, είναι απαραίτητο να εξεταστεί η έννοια του *συνωστισμού*. Ένα εμπόδιο θεωρείται συνωστισμός όταν η προσφορά αξίας της οποίας αποτελείται παρέχεται από μεγάλο αριθμό συμπληρωμάτων.

Αντίθετα, ένα σημείο συμφόρησης θεωρείται ανολοκλήρωτο όταν η προσφορά αξίας (συστατικό) της οποίας αποτελείται παρέχεται από μικρό αριθμό συμπληρωμάτων (Caragliu, A., DelBo, C., & Nijkamp, P., 2011). Εάν ένα εμπόδιο αποδειχθεί ότι είναι γεμάτο, είναι απαραίτητη η συνεργασία, ενώ αν ένα εμπόδιο αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει, είναι απαραίτητος ο ανταγωνισμός (Yassein, M. B., Aljawarneh, S., & Al-Sadi, A., 2017).

Οι εταιρείες που θέλουν να δημιουργήσουν αξία μέσω της τεχνολογίας έχουν την απαραίτητη ανάγκη να αναζητήσουν και να λύσουν σημεία συμφόρησης. Μόλις επιλυθούν, είναι απαραίτητο να τους ελέγξουμε (Adner, R., 2006). Για να καταλάβουμε αν ένα συγκεκριμένο συστατικό είναι ένα εμπόδιο, ποιος αποφασίζει να προσπαθήσει να τα αναγνωρίσει πρέπει να τα συγκρίνει με ένα ευρύτερο σύστημα. Είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε τι συνιστά καλή απόδοση σε επίπεδο συστήματος και πώς Τα σημεία συμφόρησης επηρεάζουν αρνητικά αυτό το είδος απόδοσης (Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C., & Zhang, J. C., 2014). Τα τεχνικά σημεία συμφόρησης μπορούν να εντοπιστούν μέσα σε ένα σύστημα και είναι επίσης δυνατή η χαρτογράφηση των συγκεκριμένων εξαρτημάτων που συμβάλλουν στη δημιουργία της συμφόρησης (Abu-Matar, M. (2016, September). Ειδικότερα, τα έντονα σημεία συμφόρησης προκαλούνται από την έλλειψη απόδοσης σε ένα από τα συστατικά, ενώ εκτεταμένα σημεία συμφόρησης προκαλούνται από την έλλειψη απόδοσης πολλών εξαρτημάτων (Adner, R., 2006). Τα τεχνικά σημεία συμφόρησης εντοπίζονται όταν μελετάται ένα συγκεκριμένο συστατικό ενός οικοσυστήματος και παρατηρείται ο τρόπος με τον οποίο συμβάλλει στην απόδοση ολόκληρου του συστήματος (Baker, S. B., Xiang, W., & Atkinson, I., 2017). Εάν το σύστημα αποτύχει να αποδώσει με τον επιθυμητό τρόπο λόγω ενός τέτοιου συστατικού, αντιμετωπίζει συμφόρηση (Baldwin, 2015).

## **ΜΕΡΟΣ Β'**

### **Κεφάλαιο 3 :« Βελτιστοποίηση Μετάδοσης Βίντεο με τη Χρήση Ασύρματου Δικτύου 5 G».**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα διερευνήσουμε τη βελτίωση μετάδοσης βίντεο μέσω ασύρματου δικτύου πέμπτης γενιάς (5G). Όμως πως προέκυψε αυτή η ανάγκη και που αποσκοπεί; Αυτό συμβαίνει λόγω της ανάγκης των ατόμων για εξέλιξη, αλλά και λόγω της αυξημένης κινητικότητας των βίντεο στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Η συμπίεση αυτή βοηθά στην πιο γρήγορη μετάδοση του βίντεο μέσα από τις εφαρμογές που χρησιμοποιούμε. Σε σχετική έρευνα των Sharmad K. Ibrahim και Nasser N. Khamiss που πραγματοποιήθηκε κατά το έτος 2019, όπου αναφέρεται στη νέα γενιά ασύρματων δικτύων και σε δύο τρόπους συμπίεσης των βίντεο, μέσα από την εφαρμογή των συγκεκριμένων μεθόδων καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η μετάδοση ασύρματων δεδομένων είναι καλύτερη από τη μέθοδο LTE-ADV. Με βάση τη συγκεκριμένη έρευνα θα προχωρήσουμε στην ανάλυση των μεθόδων αυτών και στη διεξαγωγή συμπερασμάτων με βάση τη κατανόηση της έρευνας, αλλά και των μεθόδων.

### 3.1 Εισαγωγή Στις Μεθόδους Βελτιστοποίησης Βίντεο και Στις Δυνατότητες Βελτιστοποίησης με 5G

Η μετάδοση βίντεο είναι ένα δημοφιλές μέσο για τη διάδοση περιεχομένου βίντεο σε ένα τεράστιο κοινό μέσω διαφόρων καναλιών, όπως η τηλεόραση, οι πλατφόρμες ροής και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Παρόλο που έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο λαμβάνουμε πληροφορίες, ψυχαγωγία και εκπαίδευση, η μετάδοση βίντεο αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών, οικονομικών και κανονιστικών εμποδίων. Αυτή η ενότητα εξετάζει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η μετάδοση βίντεο και πώς μπορούν να μετριαστούν για να διασφαλιστεί περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας, ελκυστικό και προσβάσιμο για το κοινό.

Μία από τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η μετάδοση βίντεο είναι η διασφάλιση της υψηλής ποιότητας παράδοσης βίντεο και ήχου στους θεατές. Η διαδικασία απαιτεί σημαντική επένδυση σε εξοπλισμό και υποδομές, όπως κάμερες, λογισμικό επεξεργασίας, διακομιστές και δίκτυα. Η υψηλής ποιότητας παράδοση περιεχομένου βίντεο επηρεάζεται από παράγοντες όπως οι περιορισμοί εύρους ζώνης, ο λανθάνοντας χρόνος και τα προβλήματα αποθήκευσης στην προσωρινή μνήμη, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε κακή εμπειρία προβολής για το κοινό.

Για τον μετριασμό αυτών των προκλήσεων, οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς μπορούν να επενδύσουν σε εξοπλισμό και υποδομή υψηλής ποιότητας για να διασφαλίσουν ότι η παράδοση περιεχομένου είναι απρόσκοπτη. Επιπλέον, μπορούν να συνεργάζονται με παρόχους υπηρεσιών Διαδικτύου για να βελτιώσουν τις δυνατότητες εύρους ζώνης και να μειώσουν τα προβλήματα αποθήκευσης στην προσωρινή μνήμη (Breckenridge, 2020; Bryant, 2018; Warfel, 2020). Οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν τεχνολογίες συμπίεσης για να βελτιώσουν την ποιότητα του βίντεο μειώνοντας ταυτόχρονα την ποσότητα των δεδομένων που απαιτείται για τη μετάδοση του περιεχομένου. Μια άλλη πρόκληση που αντιμετωπίζει η μετάδοση βίντεο είναι το κόστος παραγωγής και διανομής περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας. Αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο για ανεξάρτητους δημιουργούς και μικρές επιχειρήσεις. Μπορεί επίσης να είναι δύσκολη η δημιουργία εσόδων από περιεχόμενο βίντεο, καθώς τα έσοδα από διαφημίσεις μπορεί να ποικίλλουν και τα μοντέλα που βασίζονται σε συνδρομές μπορεί να μην είναι πάντα βιώσιμα.

Για να μετριάσουν αυτές τις προκλήσεις, οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς μπορούν να διαφοροποιήσουν τις ροές εσόδων τους προσφέροντας επώνυμο περιεχόμενο, εμπορικά προϊόντα και συμφωνίες χορηγίας. Επιπλέον, μπορούν να αξιοποιήσουν τις πλατφόρμες μέσων κοινωνικής δικτύωσης για να δημιουργήσουν πιστούς ακόλουθους και να αποκομίσουν έσοδα από το περιεχόμενό τους μέσω διαφήμισης, τοποθέτησης προϊόντων και μάρκετινγκ με επιρροές. Οι ρυθμιστικές προκλήσεις αποτελούν απειλή για τη μετάδοση βίντεο, ιδίως όσον αφορά τη συγκράτηση περιεχομένου και τη λογοκρισία. Οι κυβερνήσεις και άλλοι ρυθμιστικοί φορείς επιβάλλουν περιορισμούς στους τύπους περιεχομένου που μπορούν να μεταδοθούν, ιδίως όταν πρόκειται για ευαίσθητα ή αμφιλεγόμενα θέματα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συγκρούσεις μεταξύ των ραδιοτηλεοπτικών φορέων και των ρυθμιστικών αρχών, καθώς και σε συζητήσεις γύρω από ζητήματα όπως η ελευθερία του λόγου και η λογοκρισία. Για να μετριαστούν αυτές οι προκλήσεις, οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς μπορούν να συμμορφώνονται με τις κατευθυντήριες γραμμές περιεχομένου και να συνεργάζονται με ρυθμιστικούς φορείς για να διασφαλίζουν τη συμμόρφωση (Mediapost, 2019; Telestream, n.d.; Nanjappa, 2020).



Μπορούν επίσης να εφαρμόσουν ισχυρές πολιτικές συγκράτησης περιεχομένου για να μειώσουν τον κίνδυνο νομικής ζημίας και βλάβης της φήμης. Επιπλέον, οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς μπορούν να χρησιμοποιούν αποκεντρωμένες πλατφόρμες που επιτρέπουν μεγαλύτερη ελευθερία του λόγου, όπως πλατφόρμες κοινής χρήσης βίντεο που βασίζονται σε blockchain.

Η έλευση της ασύρματης τεχνολογίας 5G είναι έτοιμη να φέρει επανάσταση στον τρόπο επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ μας. Ως πέμπτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας, το 5G υπόσχεται μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων, χαμηλότερο λανθάνον χρόνο και μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου από τους προκατόχους του. Με αυτές τις δυνατότητες, το 5G έχει τη δυνατότητα να επιτρέψει μια σειρά νέων εφαρμογών και υπηρεσιών που προηγουμένως ήταν αδύνατες ή μη πρακτικές.

Μία από τις πιο πολλά υποσχόμενες εφαρμογές του 5G είναι στον τομέα της μετάδοσης βίντεο. Με την ικανότητά του να υποστηρίζει μετάδοση δεδομένων υψηλού εύρους ζώνης και χαμηλής καθυστέρησης, το 5G έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τον τρόπο που καταναλώνουμε και δημιουργούμε περιεχόμενο βίντεο. Πιο κάτω σε αυτή την ενότητα, θα εξερευνήσουμε τις δυνατότητες του 5G για μετάδοση βίντεο και τους τρόπους με τους οποίους αυτή η τεχνολογία είναι έτοιμη να αλλάξει τη βιομηχανία βίντεο.

Στον πυρήνα του, το 5G είναι σχεδιασμένο να παρέχει ταχύτερη και πιο αξιόπιστη συνδεσιμότητα από τις προηγούμενες γενιές ασύρματης τεχνολογίας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός συνδυασμού βελτιώσεων στην αρχιτεκτονική του δικτύου, την κατανομή του φάσματος και την τεχνολογία ραδιοφώνου (Ofcom, 2021; Newman, 2018; Kondrashov, 2019). Πρακτικά, το 5G προσφέρει πολλές βασικές δυνατότητες που ταιριάζουν ιδιαίτερα για μετάδοση βίντεο. Πρώτα από όλα, τα δίκτυα 5G μπορούν να παρέχουν ταχύτητες δεδομένων έως και 20 Gbps, που είναι 100 φορές ταχύτερα από τα τρέχοντα δίκτυα 4G. Αυτό το υψηλό εύρος ζώνης επιτρέπει την απρόσκοπτη ροή περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας, ακόμη και σε μορφές υπερυψηλής ευκρίνειας (UHD) και 360 μοιρών. Επιπρόσθετα, τα δίκτυα 5G έχουν εξαιρετικά χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, που είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ μιας συσκευής και ενός δικτύου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για εφαρμογές βίντεο, καθώς ο χαμηλός λανθάνων χρόνος διασφαλίζει ότι το περιεχόμενο βίντεο μπορεί να μεταδοθεί σε ροή χωρίς αποθήκευση στην προσωρινή μνήμη ή καθυστερήσεις. Με το 5G, ο λανθάνοντας χρόνος μπορεί να μειωθεί σε μόλις 1 ms, κάτι που είναι σχεδόν στιγμιαίο. Τέλος, τα δίκτυα 5G έχουν σημαντικά υψηλότερη χωρητικότητα δικτύου σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές ασύρματης τεχνολογίας. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να υποστηρίξουν περισσότερες συσκευές και κίνηση δεδομένων χωρίς συμφόρηση ή επιβραδύνσεις. Αυτό είναι απαραίτητο για εφαρμογές βίντεο, που απαιτούν πολλούς πόρους δικτύου για τη γρήγορη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων.

Οι δυνατότητες του 5G το καθιστούν ιδανική τεχνολογία για μετάδοση βίντεο και υπάρχουν αρκετοί συγκεκριμένοι τρόποι με τους οποίους είναι έτοιμο να μεταμορφώσει τη βιομηχανία του βίντεο. Αρχικά, με το υψηλό εύρος ζώνης του, τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν τη ροή περιεχομένου βίντεο UHD χωρίς αποθήκευση στην προσωρινή μνήμη ή καθυστερήσεις. Αυτό σημαίνει ότι οι καταναλωτές θα μπορούν να απολαμβάνουν περιεχόμενο βίντεο υψηλότερης ποιότητας, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης 4K και 8K, στις κινητές τους συσκευές. Δεύτερον, τα δίκτυα 5G είναι επίσης κατάλληλα για τη μετάδοση περιεχομένου βίντεο 360 μοιρών. Αυτή η καθηλωτική μορφή βίντεο απαιτεί πολλούς

πόρους δικτύου για τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, τους οποίους το 5G μπορεί εύκολα να προσφέρει. Επιπλέον, τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν τη ροή περιεχομένου επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας, τα οποία απαιτούν χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλό εύρος ζώνης για να προσφέρουν μια απρόσκοπτη εμπειρία χρήστη. Αυτό θα επιτρέψει νέες εφαρμογές για AR και VR σε τομείς όπως το gaming, η εκπαίδευση και η υγεία (Hussain and Awais, 2020). Εν συνεχεία, τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν την απρόσκοπτη ροή ζωντανού περιεχομένου βίντεο, το οποίο είναι ολοένα και πιο σημαντικό σε τομείς όπως ο αθλητισμός, οι ειδήσεις και η ψυχαγωγία. Με το 5G, οι καταναλωτές θα μπορούν να παρακολουθούν ζωντανά συμβάντα σε πραγματικό χρόνο στις κινητές συσκευές τους, χωρίς να αντιμετωπίζουν προσωρινές διακοπές ή καθυστερήσεις.

Συμπερασματικά, η μετάδοση βίντεο έχει υποστεί μετασχηματισμό με την έλευση της ασύρματης τεχνολογίας 5G, επιτρέποντας μια σειρά νέων εφαρμογών και υπηρεσιών για μετάδοση βίντεο. Ωστόσο, η επιτυχής εφαρμογή της τεχνολογίας 5G αντιμετωπίζει επίσης αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να διασφαλιστεί περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας, ελκυστικό και προσβάσιμο για το κοινό. Οι τεχνικές προκλήσεις, όπως οι περιορισμοί εύρους ζώνης, ο λανθάνοντας χρόνος και τα ζητήματα προσωρινής αποθήκευσης, απαιτούν σημαντικές επενδύσεις σε εξοπλισμό και υποδομή για να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη παράδοση περιεχομένου. Οι οικονομικές προκλήσεις, όπως το κόστος παραγωγής και διανομής περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας, μπορούν να μετριαστούν διαφοροποιώντας τις ροές εσόδων και αξιοποιώντας τις πλατφόρμες μέσω κοινωνικής δικτύωσης. Οι κανονιστικές προκλήσεις, όπως η εποπτεία περιεχομένου και η λογοκρισία, απαιτούν από τους ραδιοτηλεοπτικούς φορείς να τηρούν τις κατευθυντήριες γραμμές και να εφαρμόζουν αυστηρές πολιτικές εποπτείας περιεχομένου. Καθώς η ανάπτυξη των δικτύων 5G συνεχίζεται σε όλο τον κόσμο, θα είναι σημαντικό για τους ενδιαφερόμενους φορείς να συνεργαστούν για να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις και να διασφαλίσουν ότι τα οφέλη της τεχνολογίας 5G υλοποιούνται με υπεύθυνο και βιώσιμο τρόπο, παρέχοντας στο κοινό υψηλής ποιότητας, καθώς και προσβάσιμο περιεχόμενο.

### 3.2 Ανάλυση Ποιότητας Μετάδοσης Βίντεο

Η ποιότητα μετάδοσης βίντεο είναι υψίστης σημασίας στην ψηφιακή εποχή όπου η κατανάλωση περιεχομένου βίντεο έχει αυξηθεί εκθετικά. Είναι απαραίτητο να αναλυθούν οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα μετάδοσης βίντεο, όπως η ισχύς του σήματος, η διαθεσιμότητα δικτύου, η ακρίβεια κωδικοποίησης βίντεο, η ανάλυση οθόνης, η συμβατότητα κωδικοποιητή και η απόδοση της συσκευής. Αυτή η ενότητα θα συζητήσει λεπτομερώς τον αντίκτυπο καθενός από αυτούς τους παράγοντες στην ποιότητα μετάδοσης βίντεο.

Η ισχύς του σήματος και οι παρεμβολές σήματος είναι οι πρωταρχικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα μετάδοσης βίντεο. Η ένταση του σήματος είναι ευθέως ανάλογη με την ποιότητα του βίντεο. Όσο πιο δυνατό το σήμα, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα του βίντεο (Aijazetal., 2021). Παρεμβολές από άλλες συσκευές ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορεί επίσης να επηρεάσουν το σήμα, με αποτέλεσμα κακή ποιότητα βίντεο. Η ισχύς του σήματος μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση ενός ενισχυτή σήματος, την αναβάθμιση της κεραίας ή την τοποθέτησή της σε υψηλότερη θέση και την αποφυγή παρεμβολών από άλλες συσκευές.

Η διαθεσιμότητα δικτύου και το εύρος ζώνης είναι άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα μετάδοσης βίντεο (Choi et al., 2020). Η ταχύτητα και η αξιοπιστία του δικτύου είναι βασικές για την ομαλή μετάδοση βίντεο. Ένα αργό ή αναξιόπιστο δίκτυο μπορεί να οδηγήσει σε buffering, τραύλισμα ή άλλα ζητήματα που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την εμπειρία προβολής. Το εύρος ζώνης δικτύου μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση ταχύτερης σύνδεσης στο Διαδίκτυο, την αναβάθμιση σε υψηλότερο πρόγραμμα Διαδικτύου ή τη χρήση ενσύρματης σύνδεσης δικτύου αντί ασύρματης.

Η ακρίβεια κωδικοποίησης βίντεο είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα μετάδοσης βίντεο. Η κωδικοποίηση βίντεο είναι η διαδικασία συμπίεσης των δεδομένων βίντεο για να μειωθεί το μέγεθος του αρχείου και να διευκολυνθεί η μετάδοση μέσω δικτύου (Frenzel, 2019). Ωστόσο, εάν η κωδικοποίηση δεν γίνει σωστά, μπορεί να οδηγήσει σε τεχνουργήματα, εικονοστοιχεία ή άλλες παραμορφώσεις που μπορούν να μειώσουν την ποιότητα του βίντεο. Η ακρίβεια κωδικοποίησης βίντεο μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση κωδικοποιητή βίντεο υψηλής ποιότητας ή επιλέγοντας υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης bit κωδικοποίησης.

Η ανάλυση οθόνης και ο λόγος διαστάσεων είναι επίσης κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα μετάδοσης βίντεο. Η ανάλυση της οθόνης και η αναλογία διαστάσεων της συσκευής που χρησιμοποιείται για την προβολή του βίντεο διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ποιότητας του βίντεο (Kamerman and Anantharaman, 2020). Εάν η ανάλυση της οθόνης είναι πολύ χαμηλή, το βίντεο ενδέχεται να εμφανίζεται με pixel ή θολό. Ομοίως, εάν η αναλογία διαστάσεων είναι λανθασμένη, το βίντεο μπορεί να εμφανιστεί τετρωμένο ή παραμορφωμένο. Για να διασφαλιστεί η βέλτιστη ποιότητα βίντεο, είναι σημαντικό να επιλέξετε μια συσκευή προβολής που να έχει υψηλή ανάλυση και τη σωστή αναλογία διαστάσεων.

Η συμβατότητα κωδικοποιητή είναι άλλος ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα μετάδοσης βίντεο. Ο κωδικοποιητής που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση του βίντεο πρέπει να είναι συμβατός με το πρόγραμμα αναπαραγωγής ή τη συσκευή που χρησιμοποιείται για την προβολή του (Liet al., 2021). Εάν ο κωδικοποιητής δεν είναι συμβατός, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αναπαραγωγής ή μειωμένη ποιότητα βίντεο. Για να διασφαλιστεί η βέλτιστη ποιότητα βίντεο, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσετε έναν κωδικοποιητή που είναι συμβατός με τη συσκευή αναπαραγωγής ή τη συσκευή που χρησιμοποιείται για την προβολή του βίντεο.

Τέλος, η απόδοση της συσκευής είναι άλλος ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα μετάδοσης βίντεο (Qualcomm, n.d.). Η απόδοση της συσκευής που χρησιμοποιείται για την προβολή του βίντεο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα του βίντεο. Μια συσκευή που δεν τροφοδοτείται ελάχιστα ή έχει ανεπαρκή μνήμη ενδέχεται να δυσκολεύεται να αναπαράγει βίντεο υψηλής ποιότητας ομαλά. Για τη διασφάλιση της βέλτιστης ποιότητας βίντεο, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείτε μια συσκευή που έχει επαρκή επεξεργαστική ισχύ, μνήμη και αποθήκευση.

Συμπερασματικά, η ποιότητα μετάδοσης βίντεο είναι ουσιαστική στην ψηφιακή εποχή και αρκετοί παράγοντες την επηρεάζουν. Η ισχύς του σήματος, η διαθεσιμότητα του δικτύου και το εύρος ζώνης, η ακρίβεια κωδικοποίησης βίντεο, η ανάλυση οθόνης, η συμβατότητα κωδικοποιητή και η απόδοση της συσκευής είναι οι

κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα μετάδοσης βίντεο (Zhangetal., 2021). Για να διασφαλιστεί η βέλτιστη ποιότητα βίντεο, είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστεί καθένας από αυτούς τους παράγοντες όπως είναι απαραίτητο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι οι θεατές θα έχουν μια απρόσκοπτη και απολαυστική εμπειρία θέασης.

### 3.3 Ανάλυση των Δυνατοτήτων που παρέχει το δίκτυο 5G στη Βελτιστοποίηση Ποιότητας Μετάδοσης Βίντεο

Η πέμπτη γενιά ασύρματων δικτύων, κοινώς 5G, είναι η τελευταία και πιο προηγμένη τεχνολογία στην ασύρματη επικοινωνία. Τα δίκτυα 5G προσφέρουν ταχύτερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, υψηλότερο εύρος ζώνης και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν δυνατή τη βελτίωση της ποιότητας μετάδοσης βίντεο, παρέχοντας καλύτερη εμπειρία στους χρήστες. Σε αυτή την ενότητα, θα αναλύσουμε τις δυνατότητες που παρέχουν τα ασύρματα δίκτυα 5G για τη βελτίωση της ποιότητας της μετάδοσης βίντεο.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του 5G είναι οι υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων του. Με ταχύτητες έως 20 Gbps, τα δίκτυα 5G είναι 20 φορές ταχύτερα από τον προκάτοχό τους, το 4G (Panwaretal., 2017). Αυτή η υψηλή ταχύτητα επιτρέπει ομαλότερη και πιο αξιόπιστη ροή βίντεο. Το 5G επιτρέπει τη λήψη περιεχομένου βίντεο σε δευτερόλεπτα, κάτι που είναι μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με τα λεπτά που χρειάζεται με το 4G. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να κάνουν ροή βίντεο σε υψηλή ευκρίνεια, ακόμη και σε ανάλυση 4K χωρίς buffer.

Latency είναι ο χρόνος που απαιτείται για να ταξιδέψουν τα δεδομένα από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Στο πλαίσιο της μετάδοσης βίντεο, λανθάνουσα κατάσταση είναι ο χρόνος που απαιτείται για να σταλούν τα δεδομένα βίντεο από την πηγή στον χρήστη (Usmanetal., 2017). Ο χαμηλός λανθάνων χρόνος είναι κρίσιμος για μια ομαλή εμπειρία βίντεο, καθώς διασφαλίζει ότι δεν υπάρχει καθυστέρηση μεταξύ του ήχου και του βίντεο. Τα δίκτυα 5G έχουν σημαντικά χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο από το 4G, με λανθάνοντες χρόνους έως και ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει σχεδόν καμία καθυστέρηση μεταξύ του βίντεο και του ήχου, με αποτέλεσμα μια πιο ομαλή και απολαυστική εμπειρία βίντεο.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του 5G είναι το υψηλό του εύρος ζώνης. Εύρος ζώνης είναι η ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν μέσω ενός δικτύου σε μια δεδομένη στιγμή (Dohleretal., 2019). Μεγαλύτερο εύρος ζώνης σημαίνει ότι περισσότερα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα, κάτι που είναι απαραίτητο για τη μετάδοση βίντεο. Με το 5G, υπάρχει αρκετό εύρος ζώνης για την υποστήριξη πολλαπλών συσκευών που μεταδίδουν βίντεο ταυτόχρονα χωρίς καθυστέρηση ή buffering. Αυτό είναι ωφέλιμο σε περιβάλλοντα με πολλούς χρήστες, όπως γραφεία, καφετέριες και δημόσιους χώρους.

Ο συνδυασμός των υψηλών ρυθμών μεταφοράς δεδομένων, του χαμηλού λανθάνοντος χρόνου και του υψηλού εύρους ζώνης που προσφέρουν τα δίκτυα 5G επιτρέπει τη μετάδοση βίντεο υψηλής ποιότητας (Lieta., 2019). Τα δίκτυα 5G υποστηρίζουν βίντεο 4K, ακόμη και 8K, τα οποία έχουν σημαντικά υψηλότερη ανάλυση από τα τυπικά βίντεο HD. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να απολαμβάνουν βίντεο με περισσότερη λεπτομέρεια, ευκρίνεια και χρώματα. Το 5G υποστηρίζει επίσης βίντεο υψηλού δυναμικού εύρους (HDR), τα οποία παρέχουν

ευρύτερο φάσμα χρωμάτων και αντίθεσης. Αυτές οι δυνατότητες ενισχύουν τη συνολική εμπειρία βίντεο και παρέχουν πιο καθηλωτικό περιεχόμενο.

Τα δίκτυα 5G προσφέρουν πολλές δυνατότητες για τη βελτίωση της ποιότητας της μετάδοσης βίντεο. Με υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και υψηλό εύρος ζώνης, το 5G επιτρέπει την ομαλή και πιο αξιόπιστη ροή βίντεο. (Singhetal., 2019) Επιπλέον, τα δίκτυα 5G υποστηρίζουν βίντεο υψηλής ποιότητας με υψηλότερες αναλύσεις και καλύτερα χρώματα. Με την ανάπτυξη των δικτύων 5G σε παγκόσμιο επίπεδο, μπορούμε να περιμένουμε σημαντική βελτίωση στην ποιότητα μετάδοσης βίντεο και μια πιο ευχάριστη εμπειρία βίντεο για τους χρήστες.

### 3.4 Ανάλυση των Τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στη Βελτιστοποίηση Μετάδοσης Βίντεο στο ασύρματο δίκτυο 5G

Η μετάδοση βίντεο έχει γίνει μια από τις πιο απαιτητικές εφαρμογές στη σύγχρονη εποχή. Καθώς η κατανάλωση βίντεο συνεχίζει να αυξάνεται, υπάρχει ανάγκη για ένα δίκτυο που να μπορεί να μεταφέρει αποτελεσματικά δεδομένα βίντεο υψηλής ποιότητας μέσω ασύρματων δικτύων. Το ασύρματο δίκτυο πέμπτης γενιάς (5G) αναμένεται να φέρει σημαντική βελτίωση στη μετάδοση βίντεο σε σχέση με τους προκατόχους του. Η παρούσα εργασία παρέχει μια ανάλυση των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της μετάδοσης βίντεο στο ασύρματο δίκτυο 5G.

Η αρχιτεκτονική δικτύου 5G έχει σχεδιαστεί για να παρέχει εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας μετάδοση δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και μαζική συνδεσιμότητα. (Rappaport, Heath Jr, and Daniels, 2014) Έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει τρεις διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών: βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση κινητής τηλεφωνίας (eMBB), μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC) και εξαιρετικά αξιόπιστες και χαμηλού λανθάνοντος χρόνου επικοινωνίες (URLLC). Το eMBB εστιάζει στην παροχή υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων, ενώ το mMTC έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει τεράστιο αριθμό συσκευών. Το URLLC έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει κρίσιμες για την αποστολή εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία.

Η τεράστια πολλαπλή έξοδος πολλαπλής εισόδου (MIMO) είναι μια βασική τεχνολογία που χρησιμοποιείται στο 5G για τη βελτίωση της μετάδοσης βίντεο. Η τεχνολογία MIMO περιλαμβάνει τη χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και στον δέκτη για τη βελτίωση της ποιότητας και της ταχύτητας των ασύρματων εκπομπών. Το τεράστιο MIMO οδηγεί αυτήν την τεχνολογία στο επόμενο επίπεδο, χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό κεραιών στο σταθμό βάσης για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του ασύρματου δικτύου (Zou, Zhou, and Ni, 2018). Με το τεράστιο MIMO, πολλαπλοί χρήστες μπορούν να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση της χωρητικότητας και της απόδοσης δικτύου.

Η διαμόρφωση δέσμης είναι μια άλλη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στο 5G για τη βελτίωση της μετάδοσης βίντεο. Περιλαμβάνει την εστίαση ενός ασύρματου σήματος προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, η οποία βελτιώνει την ισχύ και την ποιότητα του σήματος (Zhang, Ma, and Zhang, 2019). Η διαμόρφωση δέσμης επιτυγχάνεται με προσαρμογή της φάσης και του πλάτους του ασύρματου σήματος που εκπέμπεται από κάθε κεραία. Εστιάζοντας το σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, η διαμόρφωση δέσμης μειώνει τις παρεμβολές και βελτιώνει την ποιότητα του σήματος, με αποτέλεσμα μια πιο αξιόπιστη και ταχύτερη ασύρματη σύνδεση.

Ο διαχωρισμός δικτύου είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει στο δίκτυο 5G να χωρίζεται σε πολλαπλά εικονικά δίκτυα, το καθένα με τα δικά του χαρακτηριστικά και απαιτήσεις.(Zhang, Ma, and Zhang, 2019) Αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να βελτιστοποιηθεί για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως η μετάδοση βίντεο. Για παράδειγμα, ένα τμήμα δικτύου μπορεί να βελτιστοποιηθεί για μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλή αξιοπιστία, τα οποία είναι όλα απαραίτητα για τη μετάδοση βίντεο. Ο διαχωρισμός δικτύου επιτρέπει την προσαρμογή του δικτύου 5G για συγκεκριμένες εφαρμογές, με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση στην ποιότητα μετάδοσης βίντεο.

Η τεχνολογία Edgecomputing είναι μια άλλη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στο 5G για τη βελτίωση της μετάδοσης βίντεο. Περιλαμβάνει τη μεταφορά ορισμένων από τις λειτουργίες επεξεργασίας και αποθήκευσης από το σύννεφο στην άκρη του δικτύου, πιο κοντά στον χρήστη (Saha and Rahman, 2018). Μεταφέροντας την επεξεργασία και την αποθήκευση πιο κοντά στον χρήστη, ο υπολογισμός άκρων μειώνει την καθυστέρηση και βελτιώνει τη συνολική ποιότητα της μετάδοσης βίντεο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για εφαρμογές όπως η εικονική πραγματικότητα και η επαυξημένη πραγματικότητα, οι οποίες απαιτούν επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο.

Συμπερασματικά, το ασύρματο δίκτυο 5G έχει σχεδιαστεί για να παρέχει εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας μετάδοση δεδομένων, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και μαζική συνδεσιμότητα.(Zou, Zhou, and Ni, 2018) Για να το επιτύχει αυτό, το δίκτυο 5G χρησιμοποιεί μια σειρά τεχνολογιών, όπως το τεράστιο MIMO, τη διαμόρφωση δέσμης, τον τεμαχισμό δικτύου και τον υπολογισμό άκρων. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώνουν την ποιότητα και την αποτελεσματικότητα των ασύρματων εκπομπών, με αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της μετάδοσης βίντεο. Καθώς η κατανάλωση βίντεο συνεχίζει να αυξάνεται, το δίκτυο 5G αναμένεται να παίξει κρίσιμο ρόλο στην παροχή περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας στους χρήστες σε όλο τον κόσμο.

### 3.5 Εφαρμογές και Πρακτικές Εφαρμογές

#### 3.5.1 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης Μετάδοσης Βίντεο

Η Πέμπτη γενιά έχει ως στόχο τη μεταφορά δεδομένων με υψηλή ποιότητα και αποτελεσματικότητα, αλλά στον τομέα των βίντεο δεν είναι πάντα εφικτή η αναμετάδοση υψηλής ανάλυσης. Γι' αυτό ακριβώς τον λόγο υπάρχουν μέθοδοι κωδικοποίησης που βοηθούν στην όσο το δυνατόν βέλτιστη μετάδοση των βίντεο. (Sharmad K. Ibrahim και Nasser N. Khamiss, 2019)

Οι μέθοδοι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

1. Κωδικοποίηση βίντεο υψηλής απόδοσης (HEVC/H.265), γνωστή ως MPEG-H Part 2 είναι ένα πρότυπο συμπίεσης βίντεο που σχεδιάστηκε με βάση το έργο MPEG-H ως εξέλιξη της προηγμένης κωδικοποίησης βίντεο. Μέσα από το έργο αυτό φαίνεται η ανωτερότητα της κωδικοποίησης βίντεο υψηλής απόδοσης σε σχέση με τα προγενέστερα μέσα κωδικοποίησης καθώς η δυνατότητα του υπερβαίνει μέχρι και 50% στο ίδιο επίπεδο ποιότητας βίντεο και με τον χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης bit.
2. Προηγμένη κωδικοποίηση βίντεο (AVC/H.264), που αναφέρεται και ως MPEG-4 Part 10 είναι ένα πρότυπο συμπίεσης που βασίζεται σε κωδικοποίηση προσανατολισμένη σε μπλοκ, με αντιστάθμιση κίνησης. Υποστηρίζει αναλύσεις έως

και 8K UHD σε σημαντικά χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης bit όπως και η κωδικοποίηση βίντεο υψηλής απόδοσης.(Sharmad K. Ibrahim και Nasser N. Khamiss, 2019)

3. Το LTE Advanced (LTE+), είναι ένα πρότυπο επικοινωνίας κινητής τηλεφωνίας και σημαντική βελτίωση του προτύπου LongTermEvolution (LTE). Υποβλήθηκε επίσημα ως υποψήφιο 4G στο ITU-T στα τέλη του 2009, καθώς πληρούσε τις απαιτήσεις του προτύπου IMT-Advanced, και τυποποιήθηκε από το 3rd GenerationPartnership Project (3GPP) τον Μάρτιο του 2011 ως 3GPP Release 10.

4. ProposedGeneration (Pro G), ενσωματώνει τη μέθοδο προσαρμοστικής ροής βίντεο πολλαπλών ρυθμών δεδομένων βίντεο χρησιμοποιώντας τη τεχνική κωδικοποίησης η οποία ονομάζεται H.265 προτεινόμενη ως H.265 pro. (Sharmad K. Ibrahim και Nasser N. Khamiss, 2019)

### 3.5.2 Συμπεράσματα

Μέσα από την μελέτη των δύο μεθόδων αυτών και από την έρευνα των Sharmad K. Ibrahim και Nasser N. Khamiss καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για να έχουμε όσο το δυνατόν βέλτιστη μετάδοση βίντεο η μέθοδος η οποία επιβεβαιώνει τις απαιτήσεις αυτές είναι η κωδικοποίηση βίντεο υψηλής απόδοσης (HEVC/H.265), αφού όχι μόνο υποστηρίζει αναλύσεις έως και 8K UHD και σε σημαντικά χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης bit , αλλά υπερβαίνει έως και 50% τις δυνατότητες προηγμένη κωδικοποίηση βίντεο. Επομένως, αυτό κάνει και τη προτεινόμενη δηλαδή την H.265 pro να είναι πιο βέλτιστη από την LTE-ADV (Sharmad K. Ibrahim και Nasser N. Khamiss, 2019)

### 3.6 Συμπεράσματα

Η βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο με χρήση ασύρματης σύνδεσης 5G παρουσιάζει σημαντικές ευκαιρίες και προκλήσεις για τη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών. Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας και του αυξανόμενου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών, υπάρχει ανάγκη για ταχύτερα και πιο αξιόπιστα δίκτυα. Το 5G υπόσχεται να καλύψει αυτές τις απαιτήσεις παρέχοντας υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο και μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου. Ωστόσο, αυτή η μετάβαση παρουσιάζει επίσης προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένου του κόστους, των απαιτήσεων υποδομής και των κανονιστικών θεμάτων.

Μία από τις κύριες ευκαιρίες που προσφέρει το 5G για μετάδοση βίντεο είναι η δυνατότητα υποστήριξης ροής βίντεο εξαιρετικά υψηλής ευκρίνειας (UHD) και 4K (Nguyenetal., 2020). Με το 5G, οι χρήστες μπορούν να μεταδίδουν περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας χωρίς buffer, κάτι που μπορεί να προσφέρει καλύτερη εμπειρία χρήστη. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στη βιομηχανία ψυχαγωγίας, όπου υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας και οι καταναλωτές αναμένουν εμπειρίες ροής υψηλής ποιότητας (Balasubramanian and Krishnan, 2020). Επιπλέον, τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας και επαυξημένης πραγματικότητας, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν νέες ευκαιρίες για τις βιομηχανίες παιχνιδιών και ψυχαγωγίας.

Μια άλλη σημαντική ευκαιρία είναι η δυνατότητα υποστήριξης περιπτώσεων νέων χρήσεων, όπως έξυπνες πόλεις, αυτόνομα οχήματα και χειρουργεία εξ αποστάσεως. (Al-Fuqahaetal., 2015) Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης απαιτούν δίκτυα υψηλού εύρους

ζώνης και χαμηλής καθυστέρησης, τα οποία υπόσχεται να παραδώσει το 5G. Για παράδειγμα, τα αυτόνομα οχήματα απαιτούν ένα δίκτυο που μπορεί να παρέχει μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, το οποίο είναι κρίσιμο για την ασφάλεια. Παρομοίως, οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις απαιτούν ένα δίκτυο που μπορεί να παρέχει συνδέσεις χαμηλής καθυστέρησης και υψηλού εύρους ζώνης, επιτρέποντας στους γιατρούς να πραγματοποιούν χειρουργικές επεμβάσεις από απομακρυσμένες τοποθεσίες (Ali, Al-Feghery, & Al-Osaimi, 2020).

Ωστόσο, η βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο με χρήση ασύρματου δικτύου 5G παρουσιάζει επίσης προκλήσεις (Giordano et al., 2020). Μία από τις πρωταρχικές προκλήσεις είναι το κόστος. Οι υποδομές 5G απαιτούν σημαντικές επενδύσεις, συμπεριλαμβανομένων νέων κεραιών, σταθμών βάσης και δικτύων backhaul. Επιπρόσθετα, το κόστος των αδειών φάσματος μπορεί να είναι υψηλό, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτό μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για την είσοδο μικρότερων εταιρειών τηλεπικοινωνιών, περιορίζοντας τον ανταγωνισμό και την καινοτομία.

Μια άλλη πρόκληση είναι οι απαιτήσεις σε υποδομές. Τα δίκτυα 5G απαιτούν περισσότερους σταθμούς βάσης από τα δίκτυα 4G, κάτι που μπορεί να είναι προκλητικό σε αστικές περιοχές με περιορισμένο χώρο (Holma and Toskala, 2011). Επιπλέον, τα δίκτυα 5G απαιτούν υψηλή πυκνότητα κεραιών, η οποία μπορεί να μην είναι ελκυστική οπτικά και μπορεί να οδηγήσει σε ανησυχίες για κινδύνους για την υγεία. Αυτές οι απαιτήσεις υποδομής μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε κανονιστικές προκλήσεις, καθώς οι δήμοι και οι κοινότητες ενδέχεται να έχουν διαφορετικές απόψεις σχετικά με την εγκατάσταση υποδομής 5G. (Parket et al., 2020)

Ρυθμιστικά ζητήματα μπορεί επίσης να αποτελέσουν πρόκληση για τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο με χρήση ασύρματης σύνδεσης 5G (Rosenbloom, 2019). Σε ορισμένες χώρες, μπορεί να υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση συγκεκριμένων συχνοτήτων ή περιορισμοί στην ποσότητα του φάσματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Liu et al., 2021). Επιπρόσθετα, ενδέχεται να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια των δικτύων 5G, ιδιαίτερα με τη συμμετοχή ξένων εταιρειών στην κατασκευή και λειτουργία αυτών των δικτύων.

Η μετάδοση βίντεο έχει διανύσει πολύ δρόμο από τις πρώτες ημέρες της αναλογικής τηλεόρασης έως τη ροή υψηλής ευκρίνειας που έχουμε σήμερα. Ωστόσο, με την έλευση της τεχνολογίας 5G, μπορούμε να αναμένουμε ακόμη περισσότερες βελτιώσεις στη μετάδοση βίντεο, οι οποίες θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε μια ποικιλία εφαρμογών και περιβαλλόντων. Σε αυτό το άρθρο, θα διερευνήσουμε τις μελλοντικές επεκτάσεις μετάδοσης βίντεο και τις δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία 5G (Singh and Kant, 2020). Η μετάδοση βίντεο ήταν πάντα μια πρόκληση, κυρίως λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης που είναι διαθέσιμο για τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων. Οι πρώτες μέρες της αναλογικής τηλεόρασης χρησιμοποιούσαν ένα σύστημα μετάδοσης που έστελνε σήματα στα ερτζιανά, τα οποία στη συνέχεια λαμβάνονταν από τις κεραιές της τηλεόρασης. Καθώς προχωρούσε η τεχνολογία, εισήχθη η ψηφιακή τηλεόραση, η οποία βελτίωσε την ποιότητα του σήματος και επέτρεψε τη μετάδοση περισσότερων καναλιών μέσω των ραδιοκυμάτων.

Η έλευση του Διαδικτύου και η ευρεία διαθεσιμότητα ευρυζωνικών συνδέσεων υψηλής ταχύτητας έχει μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο καταναλώνουμε περιεχόμενο βίντεο. Οι υπηρεσίες ροής όπως το Netflix, το Amazon Prime Video και το YouTube έχουν γίνει εξαιρετικά δημοφιλείς, προσφέροντας υψηλής ποιότητας



περιεχόμενο βίντεο κατά παραγγελία. Ωστόσο, η εμπειρία ροής μπορεί ακόμα να επηρεαστεί από ζητήματα όπως η αποθήκευση στην προσωρινή μνήμη, η καθυστέρηση και η συμφόρηση του δικτύου (Wang, 2019). Το μέλλον της μετάδοσης βίντεο έγκειται στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του σήματος βίντεο, να μειώσουν τον λανθάνοντα χρόνο και να αυξήσουν το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο για μετάδοση. Ακολουθούν ορισμένες από τις μελλοντικές επεκτάσεις μετάδοσης βίντεο που μπορούμε να περιμένουμε να δούμε τα επόμενα χρόνια.

Το HEVC είναι ένα πρότυπο συμπίεσης βίντεο που εισήχθη το 2013 (Siglin, 2019). Προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με το προηγούμενο πρότυπο, το H.264, μειώνοντας την ποσότητα δεδομένων που απαιτείται για τη μετάδοση περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας (Rappaport, Heath Jr, and Daniels, 2014). Το HEVC μπορεί να μειώσει το εύρος ζώνης που απαιτείται για τη μετάδοση έως και 50%, καθιστώντας το ιδανικό για ροή περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας σε συνδέσεις περιορισμένου εύρους ζώνης.

Το VR και το AR είναι ταχέως αναπτυσσόμενοι κλάδοι που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη μετάδοση βίντεο. Το VR και το AR απαιτούν περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας για να δημιουργήσουν συναρπαστικές εμπειρίες για τους χρήστες (Tahir, 2020). Η ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G θα επιτρέψει τη μετάδοση περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας σε συσκευές VR και AR, επιτρέποντας περισσότερες εμπειρίες που καθηλώνουν.

Το Cloudgaming είναι μια σχετικά νέα ιδέα που βασίζεται στη μετάδοση βίντεο υψηλής ποιότητας για την παράδοση παιχνιδιών στους χρήστες μέσω του Διαδικτύου. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G θα επιτρέψει στο cloudgaming να γίνει πιο διαδεδομένο, καθώς θα προσφέρει συνδέσεις χαμηλού λανθάνοντος χρόνου που είναι απαραίτητες για μια καλή εμπειρία παιχνιδιού.

Το βίντεο 8K είναι η επόμενη εξέλιξη των βίντεο υψηλής ευκρίνειας. Προσφέρει τετραπλάσια ανάλυση από το βίντεο 4K, παρέχοντας μια απίστευτα λεπτομερή και καθηλωτική εμπειρία θέασης. Ωστόσο, το βίντεο 8K απαιτεί σημαντικό εύρος ζώνης για τη μετάδοση, όπου μπαίνει η τεχνολογία 5G (Matic, 2013)). Το αυξημένο εύρος ζώνης που προσφέρει το 5G θα επιτρέψει τη μετάδοση περιεχομένου βίντεο 8K υψηλής ποιότητας σε συσκευές σε όλο τον κόσμο.

Η τεχνολογία 5G προσφέρει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων μετάδοσης βίντεο, συμπεριλαμβανομένων. Αρχικά, η τεχνολογία 5G προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερες ταχύτητες λήψης και αποστολής σε σύγκριση με το 4G. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες θα μπορούν να κατεβάζουν και να μεταδίδουν περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας πιο γρήγορα από ποτέ (Zhang, Ma, and Zhang, 2019). Επιπλέον, η τεχνολογία 5G προσφέρει συνδέσεις χαμηλού λανθάνοντος χρόνου, κάτι που είναι απαραίτητο για εφαρμογές όπως το cloudgaming, το VR και το AR. Οι συνδέσεις χαμηλού λανθάνοντος χρόνου διασφαλίζουν ότι το περιεχόμενο βίντεο παραδίδεται σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας μια απρόσκοπτη και καθηλωτική εμπειρία για τους χρήστες. Τέλος, η τεχνολογία 5G προσφέρει αυξημένο εύρος ζώνης, το οποίο είναι απαραίτητο για τη μετάδοση περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας, όπως το βίντεο 8K. Το αυξημένο εύρος ζώνης θα επιτρέψει τη μετάδοση υψηλής ποιότητας περιεχομένου βίντεο σε συσκευές σε όλο τον κόσμο.

Συνοπτικά, η ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη μετάδοση βίντεο, προσφέροντας ταχύτερες ταχύτητες λήψης και αποστολής,

συνδέσεις χαμηλής καθυστέρησης και αυξημένο εύρος ζώνης (Saha and Rahman, 2018). Αυτές οι βελτιώσεις θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και περιβαλλόντων, συμπεριλαμβανομένης της εικονικής πραγματικότητας, της επαυξημένης πραγματικότητας, των παιχνιδιών στο cloud και της ροής βίντεο υψηλής ποιότητας. Ωστόσο, η εγκατάσταση δικτύων 5G δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Η εγκατάσταση δικτύων 5G απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης νέων πύργων και της ανάπτυξης νέου εξοπλισμού. Επιπλέον, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως το βίντεο HEVC και 8K απαιτεί σημαντική έρευνα και ανάπτυξη, η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα και δαπανηρή.

Παρά τις προκλήσεις αυτές, τα πιθανά οφέλη της τεχνολογίας 5G είναι σημαντικά. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και η ανάπτυξη δικτύων 5G θα μας επιτρέψουν να μεταδίδουμε περιεχόμενο βίντεο υψηλής ποιότητας πιο γρήγορα και αποτελεσματικότερα από ποτέ, ανοίγοντας νέες ευκαιρίες για καινοτομία και ανάπτυξη σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών.

Συμπερασματικά, η εξέλιξη της ασύρματης τεχνολογίας 5G παρουσιάζει σημαντικές ευκαιρίες και προκλήσεις για τη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών όσον αφορά τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης βίντεο. Η δυνατότητα του 5G να υποστηρίζει ροή βίντεο υψηλής ποιότητας, νέες περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να φέρει επανάσταση στους κλάδους της ψυχαγωγίας, των παιχνιδιών και της υγείας. Οι πιο γρήγορες ταχύτητες λήψης και μεταφόρτωσης, οι συνδέσεις χαμηλής καθυστέρησης και το αυξημένο εύρος ζώνης που προσφέρει το 5G θα επιτρέψουν την παράδοση περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας σε χρήστες σε όλο τον κόσμο, μεταμορφώνοντας τον τρόπο που καταναλώνουμε και αλληλεπιδρούμε με το περιεχόμενο βίντεο.

Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν σημαντικές προκλήσεις προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες του 5G για μετάδοση βίντεο. Το κόστος, οι απαιτήσεις υποδομής και τα ρυθμιστικά ζητήματα παραμένουν μείζονες προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν για να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό του 5G. Η επένδυση που απαιτείται σε εξοπλισμό και υποδομή για την εξασφάλιση απρόσκοπτης παράδοσης περιεχομένου και το υψηλό κόστος παραγωγής και διανομής περιεχομένου βίντεο υψηλής ποιότητας πρέπει να εξισορροπηθεί με τη διαφοροποίηση των ροών εσόδων και τη μόχλευση των πλατφορμών κοινωνικών μέσων. Οι κανονιστικές προκλήσεις, όπως η εποπτεία περιεχομένου και η λογοκρισία, απαιτούν από τους ραδιοτηλεοπτικούς φορείς να τηρούν τις κατευθυντήριες γραμμές και να εφαρμόζουν αυστηρές πολιτικές εποπτείας περιεχομένου.

Καθώς ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών συνεχίζει να εξελίσσεται, θα είναι ζωτικής σημασίας να εξισορροπηθούν αυτές οι ευκαιρίες και οι προκλήσεις για να διασφαλιστεί ότι το 5G θα τηρήσει τις υποσχέσεις του για μετάδοση βίντεο. Οι συλλογικές προσπάθειες μεταξύ των ενδιαφερομένων σε ολόκληρο τον κλάδο, συμπεριλαμβανομένων των παρόχων εξοπλισμού, των χειριστών δικτύου και των παραγωγών περιεχομένου, θα είναι βασικές για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και την προώθηση της καινοτομίας και της ανάπτυξης στη μετάδοση βίντεο. Με την επιτυχή εφαρμογή της τεχνολογίας 5G, ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών μπορεί να αξιοποιήσει τις δυνατότητές του και να προσφέρει στο κοινό σε όλο τον κόσμο υψηλής ποιότητας, ελκυστικό και προσβάσιμο περιεχόμενο βίντεο.



## Επίλογος

Προκειμένου να λειτουργήσει σωστά και αποτελεσματικά η τεχνολογία 5G θα πρέπει να πληροί απαιτήσεις όπως αυξημένη χωρητικότητα δεδομένων, μειωμένη λανθάνουσα κατάσταση και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας. Η τεχνολογία 5G θα επηρεάσει πολλούς βιομηχανικούς τομείς και κοινωνικά φαινόμενα όπως η υγειονομική περίθαλψη, η μεταποίηση, η ψυχαγωγία, η αυτοκινητοβιομηχανία, η ενέργεια, οι δημόσιες συγκοινωνίες, η γεωργία, η δημόσια ασφάλεια, οι μεγαλουπόλεις και οι έξυπνες πόλεις. Ειδικότερα, υπάρχουν ειδικές περιπτώσεις χρήσης στις οποίες το 5G μπορεί να συμβάλει περισσότερο στις καινοτομίες του. Αυτά περιλαμβάνουν μαζική IoT, κρίσιμη για το χρόνο επικοινωνία, κινητή συνδεσιμότητα, επικοινωνία με οχήματα και λειτουργίες δικτύου.

Στην ενότητα 2 αναλύθηκε λεπτομερώς τη θεωρία των επιχειρηματικών οικοσυστημάτων. Ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα αποτελείται από μια σειρά παραγόντων που μέσα από τη συμβολή τους από άποψη πρότασης αξίας συνεργάζονται για την υλοποίηση της τελικής προσφοράς αξίας. Τα στοιχεία που συνθέτουν ένα επιχειρηματικό οικοσύστημα λαμβάνουν ακριβή ονόματα μέσα στη θεωρία του επιχειρηματικού οικοσυστήματος. Οι ηθοποιοί είναι οι εταιρείες που συμμετέχουν στο οικοσύστημα. Αυτές περιλαμβάνουν την εστιακή εταιρεία και τους συμπληρωματικούς παράγοντες. Η εστιακή εταιρεία είναι η εταιρεία που αναλαμβάνει κυρίαρχη θέση στο επιχειρηματικό οικοσύστημα και οι συμπλήρωμα είναι όλες οι άλλες εταιρείες που συμβάλλουν στην υλοποίηση της τελικής προσφοράς αξίας. Σε αυτή την περίπτωση περισσότερο από την εστιακή εταιρεία, ο ερευνητής αποφάσισε να επικεντρωθεί στην τελική προσφορά αξίας για τον καταναλωτή, η οποία στην περίπτωση αυτή αποτελείται από την έξυπνη πόλη. Οι δράσεις που πραγματοποιούνται από τις διάφορες εταιρείες που εμπλέκονται στο επιχειρηματικό οικοσύστημα για την υλοποίηση της πρότασης τελικής αξίας ονομάζονται δραστηριότητες. Οι συνιστώσες αποτελούν τις συνεισφορές όσον αφορά τα αγαθά ή τις υπηρεσίες που πραγματοποιούν οι συμπληρωματικοί παράγοντες για την υλοποίηση της πρότασης τελικής αξίας. Εάν ένα στοιχείο αποδειχθεί ότι δεν αποδίδει σωστά και εμποδίζει ολόκληρη την υλοποίηση της τελικής προσφοράς αξίας, παίρνει το όνομα της συμφόρησης.

Μπορούν να υιοθετηθούν δύο διαφορετικές στρατηγικές για τη μελέτη των επιχειρηματικών οικοσυστημάτων. Πρώτον, η αποκαλούμενη στρατηγική οικοσυστήματος επικεντρώνεται στη σταθερότητα ή όχι των σχέσεων που δημιουργούνται μεταξύ των παραγόντων του οικοσυστήματος. Η στρατηγική για το οικοσύστημα χαρακτηρίζεται από τη μελέτη της ευθυγράμμισης των εταίρων, της συμπληρωματικότητας και των αλληλεξαρτήσεων. Η άλλη, που ονομάζεται στρατηγική συμφόρησης επικεντρώνεται στον εντοπισμό και την υπέρβαση εξαρτημάτων που έχουν ανεπαρκή απόδοση (σημεία συμφόρησης). Έγινε λόγος επίσης για το φαινόμενο της έξυπνης πόλης ως επιχειρηματικού οικοσυστήματος. Συγκεκριμένα, προέκυψε ότι σε θεωρητικό επίπεδο υπάρχουν πολλές μελέτες που ορίζουν την έξυπνη πόλη ως επιχειρηματικό οικοσύστημα και ότι μέσα σε αυτό το οικοσύστημα υπάρχει μια σειρά παραγόντων που συμβάλλουν στην υλοποίηση έξυπνων λύσεων (τα έξυπνα στοιχεία της πόλης). Οι έξυπνες λύσεις συμβάλλουν στην υλοποίηση της τελικής προσφοράς αξίας της έξυπνης πόλης. Μεταξύ αυτών των συστατικών, τα πιο σημαντικά είναι οι έξυπνες μεταφορές, η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη, η έξυπνη ενέργεια, τα έξυπνα κτίρια και η έξυπνη κινητικότητα. Προέκυψε ότι η τεχνολογία 5G μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο σε αυτά τα

εξαρτήματα, ιδίως βελτιώνοντας τις επιδόσεις όσον αφορά τη χαμηλότερη λανθάνουσα κατάσταση και την υψηλή αξιοπιστία.

Στην ενότητα 3 μελετήθηκε εκτενώς η βελτιστοποίηση της παραγωγής βίντεο με τη χρήση συστημάτων τεχνολογίας 5G. Αρχικά, αναλύθηκε η έννοια της βελτιστοποίησης βίντεο και οι δυνατότητες που προσφέρει, καθώς επίσης και οι τρόποι επίτευξής της. Στη συνέχεια αναλύθηκε η πέμπτη γενιά δικτύου (5G), οι δυνατότητες της καθώς επίσης και η εφαρμογή της στη βελτιστοποίηση της παραγωγής βίντεο. Τέλος, έγινε έρευνα πάνω σε πρακτικές εφαρμογές και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα, μίας σχετικής έρευνας, όπου και έγινε η παρακάτω αναφορά των Sharmad K. Ibrahim και Nasser N. Khamiss όπου κατέληξαν στο εξής : «Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη μέθοδος για τη μετάδοση ασύρματων δεδομένων είναι καλύτερη από τη μέθοδο LTE-ADV όπου η απόδοση αύξησε τη μεταφορά δεδομένων κατά 29% επειδή το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιεί πιο αποτελεσματικό MCS σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα. Ο ρυθμός bit έχει κερδηθεί στο H.265 pro περίπου 13% σε σύγκριση με το H.265» όπως αναφέρεται από τους ερευνητές Sharmad K. Ibrahim και Nasser N. Khamiss (E. T. Tchao, J. D. Gadze, and J. O. Agyarong, 2018). Επιπρόσθετα μέσα από τη μελέτη μας καταλήξαμε στο ίδιο λογικό συμπέρασμα βάση δεδομένων και αδυναμιών κάποιων μεθόδων.

# Βιβλιογραφία

---

## Α΄ ΜΕΡΟΣ

Abu-Matar, M. (2016, September). Towards a software-defined reference architecture for smart city ecosystems. In *2016 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)* (pp. 1-6). IEEE.

Adner, R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard business review*, 84(4), 98.

Adner, R. (2017). Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. *Journal of management*, 43(1), 39-58.

Adner, R., & Kapoor, R. (2016). Right tech, wrong time. *Harvard Business Review*, 94(11), 60-67. Agarwal, P. K., Gurjar, J., Agarwal, A. K., & Birla, R. (2015). Application of artificial intelligence for development of intelligent transport system in smart cities. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(1), 20-30.

Ahad, A., Tahir, M., & Yau, K. L. A. (2019). 5G-Based Smart Healthcare Network: Architecture, Taxonomy, Challenges and Future Research Directions. *IEEE Access*, 7, 100747-100762.

Al-Falahy, N., & Alani, O. Y. (2017). Technologies for 5G networks: Challenges and opportunities. *IT Professional*, 19(1), 12-20.

Alam, T. (2019). 5G-Enabled Tactile Internet for smart cities: vision, recent developments, and challenges. *JURNAL INFORMATIKA*, 13(2), 1-10.

Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, 22(1), 3-21.

Alusi, A., Eccles, R. G., Edmondson, A. C., & Zuzul, T. (2011). Sustainable cities: oxymoron or the shape of the future? Harvard Business School Organizational Behavior Unit Working Paper, (11-062), 11-062.

Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C., & Zhang, J. C. (2014). What will 5G be?. *IEEE Journal on selected areas in communications*, 32(6), 1065-1082.

Article 29 DPWP. (2014). *Opinion 8/2014 on the Recent Developments on the Internet of Things*. Article 29 Data Protection Working Party. Retrieved from [http://ec.europa.eu/justice/data-protection/article-29/documentation/opinion-recommendation/files/2014/wp223\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/justice/data-protection/article-29/documentation/opinion-recommendation/files/2014/wp223_en.pdf).

Baghbadorani, M. F., & Harandi, A. (2012). A conceptual model for business ecosystem and implications for future research. *International Proceedings of Economics Development and Research*, 52(17), 82-86.

Baker, S. B., Xiang, W., & Atkinson, I. (2017). Internet of things for smart healthcare: Technologies, challenges, and opportunities. *IEEE Access*, 5, 26521-26544

- Baldwin, C. Y. (2015). Bottlenecks, modules and dynamic architectural capabilities. *Harvard Business School Finance Working Paper*, (15-028)
- Bardhi, F., & Eckhardt, G. M. (2012). Access-based consumption: The case of car sharing. *Journal of consumer research*, 39(4), 881-898.
- Beard, C. (2016). High reliability 4g and 5g cellular wireless services for smart cities. *IEEE smart cities ISCW-KC-2016*.
- Bell, E., Bryman, A., (2011). *Business research methods*. 3rd edition. Oxford university press.
- Boccardi, F., Heath, R. W., Lozano, A., Marzetta, T. L., & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 74-80.
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, 18(2), 65-82.
- Cerrudo, Cesar. (2015). An Emerging US (and World) Threat: Cities Wide Open to Cyber Attacks. *Securing Smart Cities*. Retrieved from <http://securingsmartcities.org/wp-content/uploads/2015/05/CitiesWideOpenToCyberAttacks.pdf> .
- Chandramouli, D., Liebhart, R., & Pirskanen, J. (Eds.). (2019). *5G for the Connected World*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Chen, S., Hu, J., Shi, Y., Peng, Y., Fang, J., Zhao, R., & Zhao, L. (2017). Vehicle-to-everything (V2X) services are supported by LTE-based systems and 5G. *IEEE Communications Standards Magazine*, 1(2), 70-76.
- Chiaraviglio, L., Blefari-Melazzi, N., Liu, W., Gutiérrez, J. A., Van De Beek, J., Birke, R., ... & Bagula, A. (2017). Bringing 5G into rural and low-income areas: Is it feasible? *IEEE Communications Standards Magazine*, 1(3), 50-57.
- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., & Scholl, H. J. (2012, January). Understanding smart cities: An integrative framework. In *2012 45th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 2289-2297). IEEE.
- Condoluci, M., Sardis, F., & Mahmoodi, T. (2015, October). Softwarization and virtualization in 5G networks for smart cities. In *International Internet of Things Summit* (pp. 179-186). Springer, Cham.
- Couzineau-Zegwaard, E., Barabel, M., & Meier, O. (2013, November). From smart grid to smart city business ecosystem: Strategy to define the proper legitimacy for an energy utility firm. In *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)* (pp. 1-11). IEEE.
- Creswell, J. W., 2014. RESEARCH DESIGN: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 4th Edition ed. s.l.: SAGE Publications, Inc.
- Díaz-Díaz, R., Muñoz, L., & Pérez-González, D. (2017). Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander. *Future Generation Computer Systems*, 76, 198-214.
- Fettweis, G., & Alamouti, S. (2014). 5G: Personal mobile internet beyond what cellular did to telephony. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 140-145.
- Goodman, Marc. (2015). *Future Crimes*. New York: Bantam Press.

- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., &Meijers, E. (2007). City-ranking of European medium-sized cities. *Cent. Reg. Sci. Vienna UT*, 1-12.
- Gupta, A., & Jha, R. K. (2015). A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies. *IEEE access*, 3, 1206-1232.
- Hall, R. (2000). The vision of a smart city International Life Extension Technology Workshop Paris. *France September 28, 2000*.
- Hammersley, M., & Campbell, J. L. (2012). *What is Qualitative Research?* Huntingdon: Bloomsbury Publishing.
- Hannah, D. P., & Eisenhardt, K. M. (2018). How firms navigate cooperation and competition in nascent ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39(12), 3163-3192.
- Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., & Williams, P. (2010). Foundations for smarter cities. *IBM Journal of research and development*, 54(4), 1-16. Hemilä, J., &Salmelin, J. (2017). Business model innovations for 5g deployment in smart cities. In *ISPIM Conference Proceedings* (pp. 1-7). The International Society for Professional Innovation Management (ISPIM).
- Hossain, E., & Hasan, M. (2015). 5G cellular: key enabling technologies and research challenges. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 18(3), 11-21.
- Hox, J. J. &Boeije, H. R., 2005. Data Collection, Primary vs. Secondary. *Encyclopedia of Social Measurement*, Volume 1.
- Iansiti, M., &Levien, R. (2004). Strategy as ecology. *Harvard business review*, 82(3), 68-78.
- Joshi, S., Saxena, S., & Godbole, T. (2016). Developing smart cities: An integrated framework. *Procedia Computer Science*, 93, 902-909.
- Kapoor, R. (2018). Ecosystems: broadening the locus of value creation. *Journal of Organization Design*, 7(1), 12.
- Komninos, N. (2006). The architecture of intelligent cities. *Intelligent Environments*, 6, 53-61. Lazaroiu, G. C., &Roscia, M. (2012). Definition methodology for the smart cities model. *Energy*, 47(1), 326-332.
- Leligou, H. C., Zahariadis, T., Sarakis, L., Tsampasis, E., Voulkidis, A., &Velivassaki, T. E. (2018, March). Smart Grid: a demanding use case for 5G technologies. In *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)* (pp. 215- 220). IEEE.
- Li, Paul Luo, Shaw Mary, Herbsleb Jim, Ray Bonnie, Santhanam Peter. (2004). Empirical Evaluation of Defect Projection Models for Widely deployed Production Software Systems. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 29(6), 263-272.
- Li, Y., &Voegel, T. (2017). Mobility as a service (MaaS): Challenges of implementation and policy required. *Journal of transportation technologies*, 7(2), 95-106.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications, and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.



- Lund, H., Mathiesen, B. V., Connolly, D., & Østergaard, P. A. (2014). Renewable Energy Systems-A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modelling of 100% Renewable Solutions. *CHEMICAL ENGINEERING*, 39.
- Marabissi, D., Mucchi, L., Fantacci, R., Spada, M. R., Massimiani, F., Fratini, A., & Fedele, L. (2019). A real case of implementation of the future 5G city. *Future Internet*, 11(1), 4.
- Moore, J. (1996). Death of competition. the age of business ecosystems. *fortune*. 4/15/96, 133. Moore, J. F. (1993). Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard business review*, 71(3), 75-86.
- Morvaj, B., Lugaric, L., & Krajcar, S. (2011, July). Demonstrating smart buildings and smart grid features in a smart energy city. In *Proceedings of the 2011 3rd international youth conference on energetics (IYCE)* (pp. 1-8). IEEE.
- Mumtaz, S., Alsohaily, A., Pang, Z., Rayes, A., Tsang, K. F., & Rodriguez, J. (2017). Massive Internet of Things for industrial applications: Addressing wireless IIoT connectivity challenges and ecosystem fragmentation. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(1), 28-33.
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011, June). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times* (pp. 282-291)
- Olaverri-Monreal, C. (2016). Autonomous vehicles and smart mobility related technologies. *Infocommunications Journal*, 8(2), 17-24.
- Oproiu, E. M., Iordache, M., Patachia, C., Costea, C., & Marghescu, I. (2017, November). Development and implementation of a Smart City Use Case in a 5G mobile network's operator. In 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR) (pp. 1-4). IEEE.
- Owens, William A., Dam, Kenneth W., and Lin, Herbert S. (2009). *Technology, Policy, Law, and Ethics Regarding U.S. Acquisition and Use of Cyberattack Capabilities*. Washington DC: Committee on Offensive Information Warfare; National Research Council, National Academic Press.
- Pangbourne, K., Stead, D., Mladenović, M., & Milakis, D. (2018). The case of mobility as a service: A critical reflection on challenges for urban transport and mobility governance. *Governance of the smart mobility transition*, 33-48.
- Panwar, N., Sharma, S., & Singh, A. K. (2016). A survey on 5G: The next generation of mobile communication. *Physical Communication*, 18, 64-84.
- Papa, E., & Lauwers, D. (2015). Smart mobility: opportunity or threat to innovate places and cities. In *20th international conference on urban planning and regional development in the information society (REAL CORP 2015)* (pp. 543-550).
- Partridge, H. L. (2004). Developing a human perspective to the digital divide in the 'smart city'. Parvez, I., Rahmati, A., Guvenc, I., Sarwat, A. I., & Dai, H. (2018). A survey on low latency towards 5G: RAN, core network and caching solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4), 3098-3130.

- Rabianski, J. S., (2003). Primary and Secondary Data: Concepts, Concerns, Errors, and Issues. *The Appraisal Journal*, 71(1), pp. 43-55.
- Rao, S. K., & Prasad, R. (2018). Impact of 5G technologies on industry 4.0. *Wireless personal communications*, 100(1), 145-159.
- Rao, S. K., & Prasad, R. (2018). Impact of 5G technologies on smart city implementation. *Wireless Personal Communications*, 100(1), 161-176.
- Reilly, Steve. (2015). Records: Energy Department Struck by Cyber Attacks. *USA Today*, 11 September 2015. Retrieved from [www.usatoday.com/story/news/2015/09/09/cyber-attacks-doe-energy/71929786/](http://www.usatoday.com/story/news/2015/09/09/cyber-attacks-doe-energy/71929786/)
- Rios, P. (2012). *Creating "The Smart City"* (Doctoral dissertation).
- Saumure, K. & Given, L. M., (2012). Nonprobability Sampling. In: The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc.
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38, 697-713.
- Singh, S., & Singh, P. (2012). Key concepts and network architecture for 5G mobile technology. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, IIMT Engineering College, Meerut, India, 1(5), 165-170.
- Singer, Peter W., Friedman, Allan. (2014). *Cybersecurity and Cyberwar*. Oxford: Oxford University Press.
- Skouby, K.E., & Lynggaard, P. (2014, November). Smart Home and smart city solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT services. In *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)* (pp.874-878). IEEE.
- Solanas, A., Patsakis, C., Conti, M., Vlachos, I. S., Ramos, V., Falcone, F., ... & Martinez-Balleste, A. (2014). Smart health: a context-aware health paradigm within smart cities. *IEEE Communications Magazine*, 52(8), 74-81.
- Sood, R., & Garg, A. (2014). Digital society from 1G to 5G: a comparative study. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 3(2), 186-193.
- Tudzarov, A., & Gelev, S. (2017). Requirements for next-generation business transformation and their implementation in 5G architecture. *International Journal of Computer Applications*, 162(2), 31-35.
- Vaismoradi, M., Turunen, H., & Bonda, T. (2013). Content analysis and thematic analysis: Implications for conducting a qualitative descriptive study. *Nursing & health sciences*, 15(3), 398-405.
- Vlachos, E., Lalos, A. S., Berberidis, K., & Tselios, C. (2017, June). Autonomous driving in 5G: Mitigating interference in OFDM-based vehicular communications. In *2017 IEEE 22nd International Workshop on Computer-Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)* (pp. 1-6). IEEE.
- Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R. A., Hayes, N., & Nelson, L. E. (2009). Helping CIOs understand "smart city" initiatives. *Growth*, 17(2), 1-17.

Yassein, M. B., Aljawarneh, S., & Al-Sadi, A. (2017, November). Challenges and features of IoT communications in 5G networks. In *2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)* (pp. 1-5). IEEE.

## Β΄ΜΕΡΟΣ

E. T. Tchao, J. D. Gadze, and J. O. Agyapong, "Performance analysis of a deployed 4G LTE network," *International Journal of Advanced Engineering and Applications*, vol. 9, no. 3, pp. 165–178, 2018.

K. Sihag and C. S. Lamba, "Algorithm and design style of high potency video secret writing (HEVC) normal," *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, vol. 5, no. 10, pp. 171–178, 2016.

P. Sule and A. Joshi, "Architectural shift from 4G to 5G wireless mobile networks," *International Journal of engineering and Mobile Computing*, vol. 3, no. 9, pp. 715–721, 2014.

S. P. Erik Dahlman and J. Sköld, *5G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*, Elsevier Ltd., Amsterdam, Holland, 2021.

T. Pandiaraj, "Power management optimization and rising outturn for LTE-advanced relay networks," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 86–88, 2013.

R. Nissel and M. Rupp, "Pruned DFT unfold low PAPR, low latency, high spectral potency," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 66, no. 10, pp. 4811–4825, 2018.

R. Zhang, Z. Zheng, M. Wang, X. Shen, and L.-L. Xie, "Equivalent capability in carrier aggregation-based LTE-A systems: a probabilistic analysis," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, no. 11, pp. 6444–6460, 2019.

S. Mohammed Elmusrati and R. Virrankoski, "*LTE-advanced: technology and performance analysis*," University of Vaasa, Vaasa, Finland, 2021, Master's thesis.

R. Ranjana, "Video compression victimization compact tool (HEVC)," *International Journal of Advanced analysis in engineering and software system Engineering*, vol. 6, no. 7, pp. 140–143, 2016.

Z. Matic, "HEVC: The Future of Video Codec," in *IEEE Journal of Consumer Electronics*, vol. 59, no. 2, pp. 184-190, May 2013, doi: 10.1109/JCE.2013.6546222.

A. Singh and R. Kant, "*Virtual Reality and Augmented Reality in Industry 4.0: A Review*," in *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 57, pp. 101-118, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.08.010.

A. Hussain and M. Awais, "*Cloud Gaming: A Review of Research Challenges and Future Directions*," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 56267-56289, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2984008.

T. Siglin, "*The Future of High-Resolution Video*," *Streaming Media Magazine*, Aug. 2019.

M. Tahir, "*5G Networks: Opportunities and Challenges for Video Delivery*," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 8, pp. 44-49, Aug. 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.2000259.

- W. Wang, "5G Technology: An Overview of Key Technologies and Deployment Strategies," in *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 14, no. 3, pp. 24-30, Sep. 2019, doi: 10.1109/MVT.2019.2912321.
- Y. Liu, L. Song, Y. Cui, and X. Yang, "Security Challenges in 5G Wireless Networks: A Survey of Threats and Defenses," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 2, pp. 1219-1242, 2021, doi: 10.1109/COMST.2020.3044399.
- A. Rosenbloom, "The Legal Landscape for 5G Deployment: A Guide to Understanding and Mitigating Regulatory and Liability Risks," Brookings Institution, Aug. 2019. [Online]. Available: <https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2019/08/5G-Liability-Landscape.pdf>. [Accessed: Mar. 31, 2023].
- H. Holma and A. Toskala, *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, 3rd ed. John Wiley & Sons, 2011.
- S. H. Park, S. Choi, M. Kim, J. H. Kim and K. H. Lee, "Cost-Benefit Analysis of Small Cell Deployment in 5G Networks," in *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 17, no. 3, pp. 1673-1685, Sep. 2020, doi: 10.1109/TNSM.2020.2990401.
- J. Huang, Z. Wei, and Y. Zhang, "Secure privacy-preserving data aggregation scheme for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 25, no. 8, pp. 2203-2213, Aug. 2014.
- J. Li, X. Liang, Q. Li, X. Li, and W. Lou, "Efficient and privacy-preserving data aggregation in mobile sensing," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 28, no. 6, pp. 1737-1749, Jun. 2017.
- X. Xiao, L. Liu, C. Liao, and X. Fu, "Privacy-preserving data aggregation in wireless sensor networks: A survey," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 14862-14879, Jul. 2017.
- S. Yu, C. Wang, and W. Lou, "Secure and efficient data aggregation for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 18, no. 12, pp. 1627-1637, Dec. 2007.
- Y. Zhang, J. Huang, and K. Ren, "A privacy-preserving protocol for sensor data collection and query," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 26, no. 8, pp. 2259-2272, Aug. 2015.
- B. Zhou, Z. Cao, Y. Ji, and Y. Zhang, "Efficient privacy-preserving data aggregation in smart grid communications," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 356-365, Jan. 2016.
- H. Zhang, Y. Chen, S. Nepal, and M. J. Atallah, "Privacy-preserving and efficient data aggregation in mobile sensing," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 16, no. 11, pp. 3214-3226, Nov. 2017.
- Y. Zhao, B. Xiao, M. Zhang, and X. Shen, "A secure and efficient data aggregation scheme for smart grid communications," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 6, pp. 2806-2814, Nov. 2014.