

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

Θέμα Διπλωματικής Εργασίας:

«Μοντέλο κοστολόγησης & ελαχιστοποίησης κόστους  
κινητών δικτύων 5G και εξής: Η περίπτωση της  
τεχνολογίας MIMO»

Στυλιανός Κόκκαλης

AM: 5002

Επιβλέπων καθηγητής: Καθ. Χρήστος Ι. Μπούρας,

Πάτρα, Ιούνιος 2019

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών  
Υπολογιστών και Πληροφορικής  
Στυλιανός Κόκκαλης

© 2019- Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

## Ευχαριστίες

Πολλά ευχαριστώ στον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής εργασίας και καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Χρήστο Ι. Μπούρα, αρχικά για την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πραγματικά ενδιαφέρον θέμα ενός πολλά υποσχόμενου κλάδου, αλλά και για τις γνώσεις και εμπειρίες που μου μετέδωσε μέσα από τα μαθήματα του τμήματος που παρακολούθησα.

Αναγκαίο είναι να σταθώ και να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτωρ του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής Αναστασία Α. Κόλλια για συνεχή παρουσία της, την αμέριστη υποστήριξη της και την προθυμία της να απαντά άμεσα και με συνέπεια στις απορίες μου.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την παρουσίαση ενός μοντέλου κοστολόγησης και ελαχιστοποίησης του κόστους των κινητών δικτύων 5G, εστιάζοντας στην περίπτωση της τεχνολογίας MIMO. Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστούν αρχικά τα κινητά δίκτυα επικοινωνίας από την πρώτη έως την Πέμπτη γενιά και η σύγκριση των 5G και 4G τεχνολογιών. Έπειτα παρουσιάζονται τα συστήματα MIMO, τα κατανεμημένα συστήματα κεραίας (DAS) με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Ακολουθεί η τεχνο-οικονομική σύγκριση των MIMO και των DAS μοντέλων στα δίκτυα 5G με έμφαση στην πολλαπλή είσοδο και έξοδο, στο σύστημα κατανεμημένης κεραίας και στην ανάλυση του κόστους των δύο μοντέλων.

# Abstract

This thesis deals with the presentation of a model of costing and minimizing the cost of 5G mobile networks, focusing on the case of MIMO technology. The aim of the thesis is to first introduce the mobile communication networks from the first to the fifth generation and the comparison of the 5G and 4G technologies. Next, MIMO systems, Distributed Antenna Systems (DAS) with their advantages and disadvantages are presented. The techno-economical comparison of MIMO and DAS models in 5G networks with emphasis on multiple input and output, distributed antenna system and cost analysis of both models follows.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Ακρωνύμια.....	10
1. Εισαγωγή.....	12
2. Κινητά δίκτυα επικοινωνίας.....	16
2.1 «1G».....	16
2.2 «2G».....	17
2.3 «3G».....	20
2.4 «4G».....	25
2.5 «5G».....	27
2.6 Σύγκριση 5G και 4G τεχνολογιών.....	30
2.7 Αλλαγές στα σύγχρονα δίκτυα.....	31
2.8 Οι καινοτομίες του 5G.....	32
2.9 Σημασία χρήσης των 5G συστημάτων.....	37
3. Τα συστήματα MIMO.....	39
3.1. Ορισμός.....	39
3.2. Υπηρεσίες.....	39
3.3. Πλεονεκτήματα.....	43
4. Τα Κατανεμημένα Συστήματα Κεραίας (DAS).....	45
4.1. Τι είναι το σύστημα DAS.....	45
4.2. Πώς λειτουργεί ένα DAS.....	47
4.3. Μειονεκτήματα της τεχνολογίας DAS.....	54
4.4. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας DAS.....	56
4.5. Ο ρόλος του DAS στα 5G.....	59
5. Τεχνο-οικονομική Σύγκριση των MIMO και DAS μοντέλων στα 5G Δίκτυα [6],[7].....	67
5.1. Εισαγωγή στο MIMO και DAS για τα 5G Δίκτυα.....	67
5.1.1. Πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO).....	67
5.1.2. Σύστημα κατανεμημένης κεραίας DAS.....	69
5.2. Σύγκριση.....	71
5.3. Ανάλυση Κόστους.....	76

5.3.1	MIMO .....	77
5.3.2	DAS .....	79
5.3.3	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	81
6.	Συμπεράσματα.....	90
7.	Μελλοντική έρευνα .....	95
	Βιβλιογραφία.....	96

## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 - Βασικό μοντέλο MIMO .....	69
Εικόνα 2 - Τα μοντέλα του συστήματος κατανομής κεραίας DAS.....	71
Εικόνα 3 - Το κόστος της CAPEX σε εναλλακτικές εφαρμογές .....	84
Εικόνα 4 - Το κόστος της OPEX σε εναλλακτικές εφαρμογές .....	84
Εικόνα 5 - Το κόστος της TCO σε εναλλακτικές εφαρμογές .....	85
Εικόνα 6 - Η επίδραση της μείωσης του eNB κόστους στο τροποποιημένο DAS μοντέλο.....	85
Εικόνα 7 - Η επίδραση της μείωσης του EPC κόστους στο τροποποιημένο DAS μοντέλο.....	86
Εικόνα 8 - Η επίδραση της μείωσης του BW κόστους στο τροποποιημένο DAS μοντέλο.....	86
Εικόνα 9 - Η επίδραση της μείωσης του κόστους εξοπλισμού στο τροποποιημένο DAS μοντέλο .....	87
Εικόνα 10 - Η επίδραση της μείωσης του κόστους υλοποίησης στο τροποποιημένο DAS μοντέλο .....	87



## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 - Σύγκριση βασικών χαρακτηριστικών των μοντέλων MIMO και DAS .....	72
Πίνακας 2 -Ανάλυση SWOT για τις δυνατότητες, και τις απειλές που προκύπτουν από την υιοθέτηση των τεχνολογιών MIMO και DAS.....	73

## Ακρωνύμια

- 2.5G: 2,5 (Second and half generation) γενιά τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας (GPRS)
- 2.75G: 2.75G γενιά τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας (EDGE)
- 3G: Τρίτη γενιά (Third generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- 4G: Τέταρτη γενιά (Fourth generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- 5G: Πέμπτη γενιά (Fifth generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- AMPS: Advanced Mobile Phone System – Προηγμένο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας
- BS: Base Station
- BSC: Base Station Controller
- CAPEX: Capital Expenditure
- CDMA: Code Division Multiple Access
- CPRI: Common Public Radio Interface
- D2D: Device to Device
- DAS: Capital Expenditure for DAS
- DAS: Distributed Antenna Systems
- DSL: Digital Subscriber Loop/Line
- EHF: Extremely High Frequency
- eNB: NodeB
- EPC: Εξελιγμένοι πυρήνες πακέτων
- FDMA: Frequency Division Multiple Access
- GSM: Groupe Spécial Mobile
- i-DAS: Indoor DAS
- ITU: Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών

- LPWA: Low-Power Wide-Area
- LSA: Αδειοδοτημένη κοινή πρόσβαση
- LTE: Long Term Evolution
- M2M: Machine to Machine
- MIMO: Multiple Input Multiple Output
- MMS: Multimedia Messaging Service
- NMT: Nordic Mobile Telephone
- NFV: Network Function Virtualization
- NFV: Εικονικής λειτουργία δικτύου
- OPEX: Operational Expenditure
- SA: Sensitivity Analysis
- SWOT: Strengths Weaknesses Opportunities and Threats
- TACS: Total Access Communications System
- TCO: Total Cost Of Ownership
- WiMax: Worldwide Interoperability for Microwave Access

# 1. Εισαγωγή

Έχουν καθοριστεί υψηλά πρότυπα επικοινωνίας για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς 5G. Ως εκ τούτου, είναι εξαιρετικά σημαντικό να υιοθετηθούν τεχνολογικές λύσεις που περιλαμβάνουν όλα τα σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως η υψηλή κάλυψη και η χωρητικότητα και οι χαμηλές καθυστερήσεις στα δρομολόγια για την επόμενη γενιά κινητών δικτύων. Εκτός από την τεχνική αποτελεσματικότητά τους, αυτές οι τεχνολογίες θα πρέπει να είναι κερδοφόρες και για τους παρόχους. Ως αποτέλεσμα, ανακύπτει η ανάγκη περιορισμού του κόστους που θα δαπανηθεί για την ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών.

Το μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) περιγράφει την βασική τεχνικοοικονομική σύγκριση μεταξύ της εξαιρετικά πυκνής ανάπτυξης και της ανάπτυξης με το μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS). Η παραπάνω έρευνα έχει επεκταθεί με τη διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας (sentiment analysis - SA). Το δυναμικό μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) υποτίθεται ότι θα πετύχει την παροχή καλύτερης κάλυψης, καλύτερης χωρητικότητας και χαμηλότερων επιπέδων θορύβου. [8], [9], [37]

Το μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) επίσης αναλύεται με τεχνικοοικονομικό τρόπο στην εργασία «Economic comparison of enterprise in-building wireless solutions using das and femto». Σε αυτήν την εργασία αναλύονται οι πιο σημαντικοί παράγοντες τιμολόγησης του μοντέλου. Παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου σε σχέση με την δομή της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής του μοντέλου κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) για τις περιπτώσεις της δυτικής Ευρώπης και της Κίνας. Στην εργασία «Techno-economic analysis of ultra-dense and DAS deployments in mobile 5G» παρουσιάζονται τα

μοντέλα κόστους συγκρίνοντας το μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) και το χαμηλής ισχύος κυψελοειδή σταθμό βάσης (femtocell) και τελικά εξάγεται το συμπέρασμα ότι αν το κεφάλαιο του μοντέλου κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (distributed antenna system - DAS) (Capital expenditure or capital expense - CAPEX) και τα λειτουργικά κόστη (operating expenses - OPEX) μειωθούν τότε το μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) μπορεί να αποτελέσει μία σημαντική εναλλακτική για την Πέμπτη γενιά. Στην εργασία «Sensitivity analysis of small cells and DAS techno-economic models in mobile 5G» παρουσιάζεται μία ανάλυση ευαισθησίας συμπεριλαμβάνοντας τις παραμέτρους που έχουν τον πιο βασικό ρόλο στην διαμόρφωση του κόστους. [8], [9], [26]

Το συμπέρασμα ήταν ότι το συνολικό κόστος της ιδιοκτησίας για το μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) επηρεάζεται σημαντικά από το εύρος ζώνης (bandwidth) και το κόστος των τοποθεσιών (site costs). Παρόλο που το μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) έχει αναλυθεί υπό τεχνικοοικονομική οπτική σε μελέτες δεν υπάρχει καμία μελέτη που να συνδυάζει την έννοια της εικονικής λειτουργίας δικτύου (Network Function Virtualization - NFV) με το μοντέλο κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) για να ελαττωθούν τα μεγαλύτερα κόστη του. [8]

Η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (Multiple- Input and Multiple- Output - MIMO) που είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός για σταθμούς βάσης συζητείται στην εργασία «Optimal base station design with limited fronthaul: Massive bandwidth or massive MIMO?», όπου εντοπίζεται ότι τα ανεπίλυτα ζητήματα της πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (MIMO) εστιάζονται κυρίως στην εύρεση της ισορροπίας μεταξύ του κατάλληλου εύρους ζώνης που χρειάζεται, την ποσοτικοποίηση του

αριθμού των bit και του αριθμού των κεραιών που χρειάζεται για την μεγιστοποίηση του αθροίσματος των επιτεύξιμων τιμών. [33]

Η τεχνολογία πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (MIMO) έχει διεξοδικά ερευνηθεί στην εργασία «Cooperative MIMO multicell networks», ενώ όσον αφορά τις επιδόσεις η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO) έχει ερευνηθεί σε εργασίες όπως η «Performance analysis of massive MIMO for cell-boundary users». Όσον αφορά την ανάλυση κόστους, η κύρια υπάρχουσα μελέτη «Cost comparison of Licensed Shared Access (LSA) and MIMO scenarios for capacity growth in Finland» συγκρίνει και αντιπαραθέτει την MIMO με την αδειοδοτημένη κοινή πρόσβαση (LSA) στην Φινλανδία. Παρόλο που η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO) έχει διεξοδικά ερευνηθεί με τεχνικό τρόπο δεν υπάρχει αρκετή έρευνα αναφορικά με τα μοντέλα τιμολόγησης της τεχνολογίας. [24], [25], [34]

Σχετικά με την παρούσα εργασία έχουν γίνει και οι ακόλουθες δημοσιεύσεις:

- **Techno – economic comparison of MIMO and DAS cost models in 5G networks:** Όπου παρουσιάζονται μαθηματικά μοντέλα για τις τεχνολογίες πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (MIMO) και κατανεμημένων συστημάτων κεραιάς (DAS), γίνονται πειράματισμοί κάνοντας χρήση της τιμολόγησης της ελληνικής αγοράς και τέλος διεξάγεται ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity Analysis – SA) με σκοπό να εντοπίσει ποιό παράμετροι κόστους είναι οι ακριβότεροι και άρα πιο πιθανό να αποθαρρύνουν πιθανούς επενδυτές. [7]

- **Techno – economic analysis of MIMO and DAS in 5G:** Όπου με αφορμή το έτος υλοποίησης για το 5G (2020) και με δεδομένη την έντονη αμφιβολία που επικρατεί στον τομέα των επενδύσεων οι δύο τεχνολογίες (MIMO και DAS) αναλύονται από τεχνοοικονομικής σκοπιάς και συγκρίνονται. [6]

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα κινητά δίκτυα από το 1G μέχρι και το 5G, προσεγγίζονται τα συστήματα πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (MIMO) και τα κατανεμημένα συστήματα κεραίας (DAS), γίνεται τεχνοοικονομική ανάλυση, σύγκριση των δύο τεχνολογιών και τελικά παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία οδηγούμαστε από την παραπάνω έρευνα για το αν οι τεχνολογίες αυτές είναι οικονομικά βιώσιμες για υλοποίηση.

## 2. Κινητά δίκτυα επικοινωνίας

### 2.1 «1G»

Τα δίκτυα πρώτης γενιάς (First Generation), γνωστά και ως «1G» είναι κυψελωτά δίκτυα που αποσκοπούν στην πλήρη κάλυψη. Εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1970 και διαιρούν γεωγραφικά τα δίκτυα. Διαθέτουν το σύστημα AMPS (Advanced Mobile Phone System – Προηγμένο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας) μέσω του οποίου οι διάφορες περιοχές χωρίζονται σε διαδοχικές εξάγωνες κυψέλες. Το αντίστοιχο αμερικάνικο σύστημα οδήγησε στην ανάπτυξη συστημάτων στην Ευρώπη και την Ασία. Η προηγούμενη τεχνολογία από την 1G είναι το κινητό ραδιοτηλέφωνο. Το πρώτο εμπορικά αυτοματοποιημένο κινητό δίκτυο (η γενιά 1G) ξεκίνησε στην Ιαπωνία από τη Nippon Telegraph and Telephone (NTT) το 1979, αρχικά στην μητροπολιτική περιοχή του Τόκιο. Μέσα σε πέντε χρόνια, το δίκτυο NTT επεκτάθηκε για να καλύψει ολόκληρο τον πληθυσμό της Ιαπωνίας και έγινε το πρώτο εθνικό δίκτυο 1G.

Το 1981, το σύστημα NMT ξεκίνησε ταυτόχρονα στη Δανία, τη Φινλανδία, τη Νορβηγία και τη Σουηδία. Το NMT ήταν το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με διεθνή περιαγωγή. Ήταν το 1<sup>ο</sup> πλήρως αυτοματοποιημένο κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας, ενώ η διάδοσή του ήταν ταχεία. Το 1983, το πρώτο δίκτυο 1G που ξεκίνησε στις ΗΠΑ ήταν η Ameritech με έδρα το Σικάγο, χρησιμοποιώντας το κινητό τηλέφωνο Motorola DynaTAC. Στη συνέχεια ακολούθησαν αρκετές χώρες στις αρχές της δεκαετίας του 1980, συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου, του Μεξικού και του Καναδά. Από το 2018, μια περιορισμένη υπηρεσία NMT στη Ρωσία παραμένει το μόνο 1G κινητό δίκτυο που λειτουργεί ακόμα. Άλλα συμπεριλαμβάνουν το [Advanced Mobile Phone System](#) (AMPS) που χρησιμοποιείται στην Βόρεια Αμερική και στην



Αυστραλία, (["AMTA". amta.org.au](http://amta.org.au)), το TACS (Total Access Communications System) στο Ηνωμένο Βασίλειο, το C-450 στη Δυτική Γερμανία, Πορτογαλία και Νότια Αφρική, το Radiocom 2000 στη Γαλλία, το TMA στην Ισπανία και το RTMI στην Ιταλία. Στην Ιαπωνία υπήρχαν πολλά συστήματα. Τρία πρότυπα, TZ-801, TZ-802 και TZ-803 αναπτύχθηκαν από την NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation, (["Answers – The Most Trusted Place for Answering Life's Questions". Answers.com](http://Answers.com)), ενώ ένα ανταγωνιστικό σύστημα που λειτουργούσε η Daini-Denden Planning, Inc. Το (DDI) χρησιμοποίησε το σύστημα Επικοινωνιών πλήρους Πρόσβασης της Ιαπωνίας (JTACS). [2], [4]

Όσον αφορά τις δυνατότητες των 1G, υποστήριζαν κυρίως κλήσεις, ενώ λίγες εξελιγμένες συσκευές έστελναν και μηνύματα. Ωστόσο, η ποιότητα των κλήσεων δεν ήταν καλή, υπήρχε μεγάλος θόρυβος και απουσίαζε η ασφάλεια στην μετάδοση. Παρόλα αυτά, τα αναλογικά δίκτυα πρώτης γενιάς εισήγαγαν την φορητότητα και έδωσαν την δυνατότητα σε πολλούς χρήστες να μιλούν ταυτόχρονα. [29]

## **2.2 «2G»**

Μία δεκαετία μετά, το 1991 στην Φινλανδία έκανε την εμφάνισή του το δίκτυο δεύτερης γενιάς, το «2G». Το 2G (ή το 2-G) είναι συντομογραφία για την τεχνολογία κινητής δεύτερης γενιάς. Το δίκτυο αυτό εξέλιξε τα δίκτυα πρώτης γενιάς και χρησιμοποίησε το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Groupe Spécial Mobile, GSM). Τα δεύτερης γενιάς συστήματα είναι η εξέλιξη της πρώτης γενιάς αναλογικών συστημάτων, όπου παρέχουν στον χρήστη φωνητικές υπηρεσίες, μηνύματα κειμένου και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας όπως τα μηνύματα πολυμέσων, γνωστά και ως MMS (Multimedia Messaging Service). [30]

Συνέπεια της εμφάνισής τους είναι και η έλευση νέων τεχνολογιών όπως τα GPRS (2.5G), EDGE (2.75G) και HSCSD. Οι τεχνολογίες αυτές επέτρεψαν στον χρήστη να μεταφέρει δεδομένα ταχύτερα και αναβάθμισαν την κινητή τηλεφωνία. Ενδεικτικές ταχύτητες μεταφοράς με τη χρήση του GPRS ήταν 50 Kbit/s (40 Kbit/s στην πράξη), ενώ με τη χρήση του GSM, η ταχύτητα μεταφοράς ήταν 250 Kbit/s (150 Kbit/s στην πράξη). Με τα δίκτυα δεύτερης γενιάς βελτιώθηκε η ποιότητα των κλήσεων και η μεταφορά της φωνής σε μακρινές αποστάσεις. Τα συστήματα 2G ήταν σημαντικά πιο αποτελεσματικά στο φάσμα και επέτρεψαν πολύ μεγαλύτερα επίπεδα ασύρματης διείσδυσης. και τα 2G εισήγαγαν υπηρεσίες δεδομένων για κινητά, ξεκινώντας με μηνύματα SMS. Οι τεχνολογίες 2G επέτρεψαν στα διάφορα δίκτυα να παρέχουν υπηρεσίες όπως μηνύματα κειμένου, εικονομηνύματα και μηνύματα πολυμέσων (MMS). Όλα τα μηνύματα κειμένου που αποστέλλονται μέσω 2G είναι ψηφιακά κρυπτογραφημένα, επιτρέποντας τη μεταφορά δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε μόνο ο προοριζόμενος δέκτης να μπορεί να τα λάβει και να τα διαβάσει. [30]

Μετά την είσοδο της 2G, τα προηγούμενα συστήματα ασύρματων δικτύων κινητής τηλεφωνίας αναθεωρήθηκαν αναδρομικά. Ενώ τα ραδιοφωνικά σήματα σε δίκτυα 1G είναι αναλογικά, τα ραδιοφωνικά σήματα σε δίκτυα 2G είναι ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους πύργους ραδιοφώνου (που ακούν τις συσκευές) με το υπόλοιπο σύστημα κινητής.

Το πρότυπο GSM, ενώ αρχικά δημιουργήθηκε για να χρησιμοποιηθεί εντός των ορίων της Ευρώπης, διαδόθηκε στο 80% του παγκόσμιου πληθυσμού. Ταυτόχρονα υπάρχουν 4 ακόμη πρότυπα. Τα 3 πρώτα, το IS-136 (D-AMPS), το PDC (JDC) και το iDEN μαζί με το GSM είχαν ως βάση το πρότυπο TDMA. Το τέταρτο πρότυπο, το IS-95 είχε το CDMA. Από αυτά, το IS-136 ήταν διαδεδομένο στην Αμερική. Αργότερα

όμως ενσωματώθηκε στο GSM. Το PDC χρησιμοποιείται μόνο στην Ιαπωνία και το iDEN στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και στον Καναδά. Τέλος, το IS-95 χρησιμοποιείται στην Αμερική και σε χώρες της Ασίας, κατέχοντας το 17% των χρηστών παγκοσμίως. [17]

Το 2G έχει αντικατασταθεί από νεώτερες τεχνολογίες όπως 2.5G, 2.75G, 3G, 4G και 5G. Ωστόσο, τα δίκτυα 2G εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στα περισσότερα μέρη του κόσμου. Διάφοροι πάροχοι ανακοίνωσαν ότι η τεχνολογία 2G στις Ηνωμένες Πολιτείες βρίσκεται στο στάδιο της διακοπής, ώστε οι πάροχοι να μπορούν να ανακτήσουν αυτές τις ραδιοφωνικές ζώνες και να τις επαναχρησιμοποιήσουν για νέες τεχνολογίες (π.χ. 4GLTE).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως τα GPRS (2.5G) και το EDGE (2.75G) ήταν το πέρασμα στα δίκτυα τρίτης γενιάς. Η 2.5G ("δεύτερη και μισή γενιά") χρησιμοποιείται για την περιγραφή 2G-συστημάτων που έχουν υλοποιήσει έναν τομέα μεταγωγής πακέτων εκτός από τον τομέα μεταγωγής κυκλώματος. Δεν παρέχει απαραίτητα ταχύτερη εξυπηρέτηση, διότι η ομαδοποίηση χρονικών μηνυμάτων χρησιμοποιείται επίσης για υπηρεσίες δεδομένων μεταγωγής κυκλωμάτων (HSCSD).

Τα δίκτυα GPRS εξελίχθηκαν σε δίκτυα EDGE με την εισαγωγή κωδικοποίησης 8PSK. Ενώ ο ρυθμός συμβόλων παρέμεινε ο ίδιος στα 270.833 δείγματα ανά δευτερόλεπτο, κάθε σύμβολο φέρει τρία δυαδικά ψηφία αντί για ένα. Τα βελτιωμένα ποσοστά δεδομένων για το GSM Evolution (EDGE), το Enhanced GPRS (EGPRS) ή το IMT-SingleCarrier (IMT-SC) είναι μια τεχνολογία ψηφιακού κινητού τηλεφώνου συμβατότητας προς τα πίσω που επιτρέπει βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης ως μία επέκταση της GSM. Το EDGE αναπτύχθηκε σε δίκτυα GSM ξεκινώντας το 2003, αρχικά από την AT&T στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Το 2016 ανακοινώθηκε από πολλούς παρόχους στις ΗΠΑ, στην Αυστραλία και τον Καναδά ανακοινώθηκε πως θα καταργήσουν τα δίκτυα δεύτερης γενιάς προκειμένου να ελευθερωθούν οι δεσμευμένες συχνότητες για νεότερες τεχνολογίες.

### **2.3 «3G»**

Η έρευνα για τα δίκτυα τρίτης γενιάς, έπειτα από απαίτηση των χρηστών για καλύτερες συνδέσεις δικτύου. Η έρευνα για αυτά είχε ξεκινήσει ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), παρουσιάστηκε όμως μόλις το 1998. Τα δίκτυα 3G

Με την τεχνολογική ανάπτυξη και τους χρήστες να ζητούν καλύτερες συνδέσεις διαδικτύου δημιουργήθηκε το δίκτυο τρίτη γενιάς γνωστό και ως «3G». Η έρευνα και ανάπτυξη του είχε ξεκινήσει από τις αρχές του 1980 αλλά το δίκτυο παρουσιάστηκε το 1998. Το δίκτυο 3G έχει εφαρμογή στην κινητή τηλεφωνία, στις βίντεο κλήσεις και στα κινητά modem για φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές. [29]

Το 3G βασίζεται σε πρότυπα σύμφωνα με τις προδιαγραφές IMT-2000 και τα κριτήρια της ITU, με σκοπό την αξιοπιστία και την ταχύτητα στις μεταφορές των δεδομένων. Τονίζεται ότι μια υπηρεσία πρέπει να παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων τουλάχιστον στα 200 Kbit/s, με παρόχους να προσφέρουν αρκετά καλύτερες επιδόσεις από τις προτεινόμενες.

Τα πρότυπα στα οποία βασίζονται τα δίκτυα τρίτης γενιάς είναι το UMTS, το HSPA+, και το σύστημα CDMA2000. Από αυτά το πρώτο εμφανίστηκε το 2001 και χρησιμοποιήθηκε στην Ευρώπη, στην Ιαπωνία και στην Κίνα. Πέντε χρόνια αργότερα, το 2006, εμφανίστηκε το HSPA+ το οποίο αποτελεί εξέλιξη του προηγούμενου, γνωστή ως 3.5G και παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων μέχρι 168 Mbit/s λήψης (28 Mbit/s στην

πράξη) και 22 Mbit/s αποστολής. Το σύστημα CDMA2000 είναι κάπως προγενέστερο από αυτό, αφού εμφανίστηκε το 2002. Αυτό ήταν επέκταση του IS-95. Χρησιμοποιήθηκε στην Βόρεια Αμερική και στην Νότιο Κορέα με την πιο πρόσφατη έκδοση, την EVDO Rev B να παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στα 14.7 Mbit/s. [30]

Τα παρακάτω κοινά πρότυπα συμμορφώνονται με το πρότυπο IMT2000 / 3G:

- EDGE, μια αναθεώρηση από την οργάνωση 3GPP στις παλαιότερες μεθόδους μετάδοσης με βάση το [2G](#) GSM, χρησιμοποιώντας τους ίδιους κόμβους μεταγωγής, σταθμούς βάσης και συχνότητες όπως GPRS, αλλά και νέα κυκλώματα κινητής RF και νέους σταθμούς βάσης. Βασίζεται στο τριπλάσιο αποτελεσματικό σχήμα διαμόρφωσης 8PSK ως συμπλήρωμα του αρχικού σχεδίου διαμόρφωσης GMSK. Το EDGE εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της εύκολης αναβάθμισής του από την υπάρχουσα υποδομή GSM 2G και τα κινητά τηλέφωνα.
  - Το EDGE σε συνδυασμό με την τεχνολογία GPRS 2.5G ονομάζεται EGPRS και επιτρέπει κορυφαίες ταχύτητες δεδομένων της τάξης των 200 kbit / s, όπως και οι αρχικές εκδόσεις UMTSWCDMA, και έτσι εκπληρώνει τυπικά τις απαιτήσεις IMT2000 σε συστήματα 3G. Ωστόσο, στην πράξη το EDGE σπάνια διατίθεται στο εμπόριο ως σύστημα 3G, αλλά ως σύστημα 2.9G. Το EDGE παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη φασματική απόδοση του συστήματος από ότι τα αρχικά συστήματα UMTS και CDMA2000, αλλά είναι δύσκολο να επιτευχθούν πολύ υψηλότερα ποσοστά

δεδομένων κορυφής λόγω του περιορισμένου φασματικού εύρους ζώνης GSM των 200 kHz και είναι συνεπώς αδιέξοδο.

- EDGE ήταν επίσης ένας τρόπος στο σύστημα IS-136 TDMA, σήμερα σταμάτησε.
- Η εξελιγμένη EDGE, η τελευταία αναθεώρηση, έχει κορυφές 1 Mbit / s κατάντη και 400 kbit / s ανάντη, αλλά δεν χρησιμοποιείται εμπορικά.
- Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών, το οποίο δημιουργήθηκε και αναθεωρήθηκε από το 3GPP. Η οικογένεια είναι μια πλήρης αναθεώρηση από το GSM όσον αφορά τις μεθόδους κωδικοποίησης και το υλικό, παρόλο που κάποιες τοποθεσίες GSM μπορούν να τροποποιηθούν εκ των υστέρων για να μεταδοθούν στη μορφή UMTS / W-CDMA.
  - Η W-CDMA είναι η συνηθέστερη ανάπτυξη, η οποία λειτουργεί συνήθως στη ζώνη 2.100 MHz. Μερικοί άλλοι χρησιμοποιούν τις ζώνες 10, 900 και 1.900 MHz.
    - Το HSPA είναι μια συγχώνευση αρκετών αναβαθμίσεων στο αρχικό πρότυπο W-CDMA και προσφέρει ταχύτητες 14,4 Mbit / s και 5,76 Mbit / s. Το HSPA είναι συμβατό προς τα πίσω και χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες με το W-CDMA.
    - HSPA +, μια περαιτέρω αναθεώρηση και αναβάθμιση του HSPA, μπορεί να προσφέρει θεωρητικές μέγιστες ταχύτητες δεδομένων μέχρι 168 Mbit / s στην κατερχόμενη ζεύξη και 22 Mbit / s στην ανερχόμενη ζεύξη, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό βελτιώσεων της διεπαφής αέρα καθώς και πολλαπλών φορέων

HSPA και MIMO. Από τεχνική άποψη, τα MIMO και DC-HSPA μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς τις βελτιώσεις "+" του HSPA +

- Το σύστημα CDMA2000 ή IS-2000, συμπεριλαμβανομένων των CDMA2000 1x και CDMA2000 HighRatePacketData (ή EVDO), τυποποιημένο από το 3GPP2 (που διαφέρει από το 3GPP), εξελίσσεται από το αρχικό σύστημα CDMAIS-95, χρησιμοποιείται ειδικά στην βόρειο Αμερική, Κίνα, Ινδία, Πακιστάν, Ιαπωνία, Νότια Κορέα, Νοτιοανατολική Ασία, Ευρώπη και Αφρική.
  - Το CDMA2000 1xRev. E έχει αυξημένη φωνητική χωρητικότητα (πάνω από τρεις φορές) σε σύγκριση με το Rev. 0 Το EVDORev. B προσφέρει κατάντη ρυθμούς αιχμής στα 14,7 Mbit / s ενώ το Rev. C, βελτιώνει την εμπειρία χρηστών υπάρχοντων και νέων τερματικών.

Ενώ τα ασύρματα τηλέφωνα DECT και τα πρότυπα MobileWiMAX πληρούν επίσης τυπικά τις απαιτήσεις IMT-2000, δεν προτιμούνται συνήθως λόγω της σπανιότητας και ακαταλληλότητας τους για χρήση με κινητά τηλέφωνα.

Τα ερευνητικά και αναπτυξιακά έργα 3G (UMTS και CDMA2000) άρχισαν το 1992. Το 1999, η ITU ενέκρινε πέντε ραδιοδιεπαφές για το IMT-2000 ως μέρος της σύστασης ITU-RM.1457. Το WiMAX προστέθηκε το 2007. [22]

Υπάρχουν εξελικτικά πρότυπα (EDGE και CDMA) που είναι επεκτάσεις συμβατότητας προς το παρελθόν σε προϋπάρχοντα δίκτυα 2G καθώς και επαναστατικά πρότυπα που απαιτούν ολοκαίνουργιο υλικό δικτύου και κατανομές συχνοτήτων. Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν UMTS σε συνδυασμό με 2GGSM πρότυπα και εύρος ζώνης, αλλά δεν

υποστηρίζουν EDGE. Η τελευταία ομάδα είναι η οικογένεια UMTS, η οποία αποτελείται από πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για το IMT-2000, καθώς και ανεξάρτητα ανεπτυγμένα πρότυπα DECT και WiMAX, τα οποία συμπεριλήφθηκαν επειδή αντιστοιχούν στον ορισμό IMT-2000.

Ενώ η EDGE πληροί τις προδιαγραφές 3G, τα περισσότερα τηλέφωνα GSM / UMTS αναφέρουν λειτουργίες EDGE ("2.75G") και UMTS ("3G").

Τον Μάρτιο του 2008, ο Διεθνής Τηλεπικοινωνιακός Σύνδεσμος-Ραδιοεπικοινωνίες (ITU-R) καθόρισε ένα σύνολο απαιτήσεων για τα πρότυπα 4G, με την ονομασία International Mobile Telecommunications Advanced (IMT Advanced), που καθορίζει απαιτήσεις αιχμής για την υπηρεσία 4G στα 100 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbit / s) (= 12,5 megabytes ανά δευτερόλεπτο) για επικοινωνία υψηλής κινητικότητας (όπως από τρένα και αυτοκίνητα) και 1 Gigabit ανά δευτερόλεπτο για επικοινωνία χαμηλής κινητικότητας (όπως πεζούς και σταθερούς χρήστες). [23]

Αφού οι πρώτες εκδόσεις του Mobile WiMAX και LTE υποστηρίζουν πολύ μικρότερο από 1 Gbit / s μέγιστο bit rate, δεν είναι πλήρως συμβατές με το IMT-Advanced, αλλά συχνά φέρουν επωνυμία 4G από τους παρόχους υπηρεσιών. Σύμφωνα με τους χειριστές, μια γενιά του δικτύου αναφέρεται στην ανάπτυξη μιας νέας μη συμβατής προς τα πίσω τεχνολογίας. Στις 6 Δεκεμβρίου 2010, η ITU-R αναγνώρισε ότι αυτές οι δύο τεχνολογίες, καθώς και άλλες τεχνολογίες πέραν της 3G που δεν πληρούν τις απαιτήσεις IMT Advanced, θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως "4G", υπό την προϋπόθεση ότι αντιπροσωπεύουν πρόδρομους προς τις IMT Advanced εκδόσεις και "ένα σημαντικό επίπεδο βελτίωσης των επιδόσεων και των δυνατοτήτων σε σχέση με τα αρχικά συστήματα τρίτης γενιάς που αναπτύσσονται τώρα", (["ITU World Radiocommunication Seminar](#)



[highlights future communication technologies".](#) International Telecommunication Union.). [23]

## 2.4 «4G»

Το πρότυπο Mobile WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), που έκανε την εμφάνισή του το 2009 στην Ν. Κορέα, αποτέλεσε την βάση για τα δίκτυα τέταρτης γενιάς. Τον ίδιο ρόλο έπαιξε και το πρότυπο LTE (Long Term Evolution) στο Νορβηγία το 2009. Οι πρώτες συσκευές με τα πρότυπα αυτά κυκλοφόρησαν το 2010 και το 2011 αντίστοιχα. Το 2011 κυκλοφόρησαν αναθεωρημένες εκδόσεις και για τα δύο πρότυπα που ανταποκρίνονταν καλύτερα στα χαρακτηριστικά των 4G δικτύων (WirelessMAN-Advanced και LTE-Advanced). [30]

Τα δίκτυα τέταρτης γενιάς εγγυώνται ταχύτητα λήψης 1 Gbit/s και 500 Mbit/s αποστολής. Δεν στερούνται τίποτα από τις αρετές των δικτύων της προηγούμενης γενιάς αλλά εστιάζουν στην μεγαλύτερη ταχύτητα και στην αξιοπιστία μεταφοράς δεδομένων που εναρμονίζονται με τις ανάγκες των χρηστών. Ωστόσο, παρατηρείται σε αυτά ένα σημαντικό μειονέκτημα που αφορά την διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές, ένα σύστημα 4G δεν υποστηρίζει την παραδοσιακή υπηρεσία τηλεφωνίας με εναλασσόμενα κυκλώματα αλλά βασίζεται στην επικοινωνία βασισμένη στο πρωτόκολλο Internet (IP), όπως στην τηλεφωνία IP. Όπως φαίνεται κατωτέρω, η ραδιοφωνική τεχνολογία εξάπλωσης φάσματος που χρησιμοποιείται στα συστήματα 3G εγκαταλείπεται σε όλα τα υποψήφια συστήματα 4G και αντικαθίσταται από τη μετάδοση πολλαπλών παρόχων OFDMA και άλλα συστήματα εξισορρόπησης περιοχών συχνοτήτων (FDE), καθιστώντας δυνατή τη μεταφορά πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων παρά την εκτεταμένη πολλαπλών διαδρομών ραδιοφωνική διάδοση (ηχώ). Ο

ρυθμός bit κορυφής βελτιώνεται περαιτέρω από έξυπνες συστοιχίες κεραιάς για επικοινωνίες πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO). [17]

Η 4G εισάγει μια πιθανή ταλαιπωρία για όσους ταξιδεύουν διεθνώς ή επιθυμούν να αλλάξουν παρόχους. Για να πραγματοποιήσετε και να λάβετε 4G φωνητικές κλήσεις, το ακουστικό συνδρομητή δεν πρέπει να έχει μόνο μια ζώνη συχνοτήτων που ταιριάζει (και σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτεί ξεκλείδωμα), πρέπει επίσης να έχει τις ρυθμίσεις ενεργοποίησης αντιστοιχίας για τον τοπικό πάροχο ή / και χώρα. Ενώ ένα τηλέφωνο που αγοράζεται από έναν συγκεκριμένο πάροχο μπορεί να αναμένεται να συνεργαστεί με τον συγκεκριμένο πάροχο, η πραγματοποίηση φωνητικών κλήσεων 4G στο δίκτυο άλλης εταιρείας (συμπεριλαμβανομένης της διεθνούς περιαγωγής) μπορεί να είναι αδύνατη χωρίς ενημερωμένη έκδοση λογισμικού ειδικά για τον τοπικό πάροχο και το εν λόγω μοντέλο τηλεφώνου μπορεί να είναι διαθέσιμο ή όχι (αν και μπορεί να είναι δυνατή η εναλλαγή του 3G για φωνητικές κλήσεις εάν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο 3G με εύρος ζώνης συχνοτήτων). [20]

## **LTE**

Το LTE είναι ένα δίκτυο αρχιτεκτονικής IP. Είναι εξέλιξη του πρότυπου GSM/UMTS. Έχει την δυνατότητα να λειτουργεί ακόμα και αν η συσκευή που το υποστηρίζει ταξιδεύει με ταχύτητα 500 χιλιομέτρα την ώρα. Η μεταφορά δεδομένων γίνεται με ταχύτητες 299.6 Mbps σε λήψη και 75.4 Mbps σε αποστολή. Το LTE-Advanced υποστηρίζει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων ύψους 1 Gbit/s σε λήψη και 500 Mbit/s σε αποστολή. [30]

## **mm-Wave**

Το mm-Wave γνωστό και ως Extremely High Frequency (EHF) βρίσκεται εφαρμογές στα 4G δίκτυα αλλά και σε LTE backhaul. Πρόκειται για κύματα που βρίσκονται στο συχνοτικό φάσμα των 30-300 GHz με μήκη κύματος από 1 mm έως 10 mm εξού και η ονομασία τους. Κύματα σε αυτές τις συχνότητες εξασθενούν εύκολα καθώς απορροφούνται από αέρια στην ατμόσφαιρα αλλά και σε περιπτώσεις βροχόπτωσης γεγονός που προκαλεί προβλήματα ακόμα και σε κοντινές αποστάσεις ωστόσο υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

## **WiMax**

Το WiMax, που έχει βασιστεί στο πρωτόκολλο IEEE 802.16e-2005, είναι παρεμφερές με το Wi-Fi. Είναι σε θέση, ωστόσο, να καλύψει πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια, της τάξης των 35 χιλιομέτρων, αριθμός που δεν συγκρίνεται με τα 100 μέτρα κάλυψης του Wi-Fi. Παράλληλα, υποστηρίζει μεταφορά δεδομένων με ταχύτητα 128 Mbit/s σε λήψη και 56 Mbit/s σε αποστολή. [29]

## **2.5 «5G»**

Η νέα πολύ σημαντική φάση στην κινητή τηλεφωνία είναι τα δίκτυα πέμπτης γενιάς. Πρόκειται για πολύ πιο αυστηρά πρότυπα τηλεφωνίας συγκριτικά με το 4G. Αυτή η νέα τεχνολογία για την κινητή τηλεφωνία αναμένεται για μετά το 2020.

Δεν είναι ακόμη γνωστά τα βασικά πρωτόκολλα που αφορούν στη λειτουργία τους, αλλά ούτε και οι προδιαγραφές επικοινωνίας. Ο λόγος είναι ότι απαιτείται πρώτα η ανάπτυξη και η μελέτη των προτύπων και των πρωτοκόλλων που αφορούν στη λειτουργία τους. [35]

Ως προς τα χαρακτηριστικά του δικτύου 5G , αξίζει να σημειωθεί πως τα μαζικά συστήματα MIMO παρέχουν περισσότερες κεραιές με σκοπό να αυξήσουν την απόδοση και την ενέργεια που εκπέμπεται. [36]

Στα κύρια πλεονεκτήματα τα συγκαταλέγεται η απλοποίηση του ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC), η μείωση του διαστήματος, η ευρωστία της εσκεμμένης παρεμβολής και η εκτεταμένη χρήση των φθηνών εξαρτημάτων χαμηλής ισχύος. Με τα μαζικά MIMO ακυρώνονται τα υπάρχοντα προβλήματα αλλά προκύπτουν καινούργια που πρέπει να επιλυθούν. [35]

Συγκεκριμένα, πρόκειται για την απόκτηση και τον συγχρονισμό των τερματικών σταθμών που εντάχθηκαν πρόσφατα, την μείωση της εσωτερικής κατανάλωσης ρεύματος με σκοπό τη συνολική μείωση της ενεργειακής απόδοσης, την πρόκληση ώστε να χρησιμοποιούνται πολύ χαμηλού κόστους εξαρτήματα, την εξεύρεση νέων σεναρίων ανάπτυξης και την εκμετάλλευση των πρόσθετων βαθμών ελευθερίας που παρέχεται από τις υπηρεσίες κεραιάς. [36]

Ακόμη πρέπει να υποστηριχθούν με σωστό τρόπο οι συσκευές ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει το διαδίκτυο με περισσότερες εφαρμογές και μεγαλύτερο πλήθος συνδεδεμένων συσκευών.

Ένα ακόμη βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων 5G είναι η διάχυτη χρήση των δικτύων τα οποία μπορεί να έχουν ή να μην έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και η παρούσα υπολογιστική. Κάθε χρήστης μπορεί να συνδεθεί με διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης την ίδια στιγμή και να εναλλάσσει από την μία στην άλλη χωρίς πρόβλημα. Ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες μπορεί να είναι 2.5G, 3G, 4G ή δίκτυα 5G, WPAN, Wi - Fi ή κάθε άλλη μελλοντική τεχνολογία πρόσβασης. [17]

Η συνεχής εναλλαγή μπορεί να αναπτυχθεί πιο πολύ σε πολλαπλές διαδρομές για ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων στην 5G τεχνολογία. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι να εξασφαλιστεί πολλαπλάσια ταχύτητα από τη σημερινή.

Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό είναι η τεχνολογία smart-radio που επιτρέπει σε διαφορετικές ραδιοτεχνολογίες να μοιράζονται το φάσμα από την εύρεση αχρησιμοποίητου φάσματος και την προσαρμογή του συστήματος μετάδοσης με τον ίδιο τρόπο με τις απαιτήσεις των τεχνολογιών.

Επιπλέον, σε συστήματα πέραν του 4G είναι βασικό να γίνονται διαθέσιμα τα υψηλά ποσοστά δυαδικών ψηφίων σε πιο μεγάλο τμήμα του κυττάρου, κυρίως για τους χρήστες που είναι σε μια δημόσια θέση και εκτίθεται ανάμεσα σε πολλούς σταθμούς βάσης. [35]

Χαρακτηριστικό των δικτύων 5G είναι και η διαίρεση συχνότητας Vandermonde - υπόχωρος πολυπλεξίας. Πρόκειται για ένα σχήμα διαμόρφωσης που επιτρέπει τη συνύπαρξη των μακροκυττάρων και μικρών ραδιοκυττάρων σε δίκτυο δύο επιπέδων LTE/4G. [17]

Επίσης, τα δυναμικά Adhoc Ασύρματα Δίκτυα ταυτίζονται ουσιαστικά με το ασύρματο δίκτυο πλέγματος και το κινητό δίκτυο ad hoc, όπως και με τα ασύρματα δίκτυα. Αυτά συνδυάζονται με έξυπνες κεραιές βάσει της συνεργατικής ποικιλομορφίας και της ευέλικτης διαμόρφωσης. [36]

Στην ασύρματη εφαρμογή του δικτύου βασίζεται και ο ασύρματος παγκόσμιος ιστός ο οποίος περιλαμβάνει απόλυτη δυναμικότητα των πολυμέσων με ταχύτητες μεγαλύτερες του 4G. [30]

Ως προς το IPv6 πρωτόκολλο διευθύνσεων, σημειώνεται πως στην περίπτωση αυτή εκχωρείται μια διεύθυνση κινητής IP ανάλογα με τη θέση και τις συνδεδεμένες στο δίκτυο διευθύνσεις. Ταυτόχρονα, το Li - Fi

αξιοποιεί τις διόδους εκπομπής φωτός ώστε να μεταδώσει δεδομένα και όχι τα ραδιοκύματα όπως συμβαίνει με το Wi – Fi. [35]

## 2.6 Σύγκριση 5G και 4G τεχνολογιών

Η τεχνολογία 4G φαίνεται πως θα δώσει τη θέση της στα δίκτυα 5G. Το 5G θα χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz για λιγότερο συνωστισμό και λιγότερες παρεμβολές. Οι χρήστες έχουν αυξηθεί γεγονός που δημιουργεί πιθανώς πιο πολλές διακοπές στη ζώνη συχνοτήτων. Επίσης, οι χρήστες θα χρησιμοποιούν όλο και περισσότερες εφαρμογές οι οποίες προκαλούν παράσιτα. Τέτοιες είναι οι εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης, το βίντεο HD, η online ροή ραδιοφώνου και οι διαδικτυακές συσκέψεις. [17]

Έτσι, οι κυριότερες διαφορές που έχει το 5G συγκριτικά με το 4G είναι πρώτα από όλα πως θα είναι γρηγορότερο και θα χρησιμοποιεί μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων από ότι το 4G. Για αυτό το 5G παραδείγματος χάριν θα κατεβαίνουν ταχύτερα τα βίντεο καθώς οι νεκρές ζώνες θα είναι πολύ λιγότερες.

Μια ακόμη διαφορά είναι ότι το 5G θα έχει πολύ λιγότερες παρεμβολές. Η ζώνη των 5GHz έχει πιο πολύ χώρο για μετάδοση δεδομένων, συνεπώς η ποιότητα θα είναι καλύτερη και δεν θα υπάρχουν κακές συνδέσεις. Ακόμη, το 5G δεν θα έχει νεκρά σημεία και άρα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί το τηλέφωνο σε περιοχές του δικτύου που ήταν δύσκολο ως σήμερα. [17]

Σαφώς όμως το 5G είναι πολύ ακριβότερο από το 4G. Για κάθε χώρα, ανάλογα βέβαια με το μέγεθος και την πληθυσμιακή κάλυψη το κόστος για κάτι τέτοιο θα είναι πολύ μεγάλο και είναι δύσκολο να βρεθούν και να δοθούν μεγάλα ποσά σε μια τέτοια επένδυση, ιδίως εν μέσω οικονομικής κρίσης. [35]

Όπως επισημάνθηκε το 5G θα λειτουργεί στη ζώνη των 5GHz. Αντίθετα, το 4G λειτουργεί στη ζώνη της συχνότητας των 2,4 GHz η οποία παρουσιάζει πια πολυκοσμία αφού χρησιμοποιείται από πολλές συσκευές σε κάθε σπίτι και γραφείο. [36]

Έτσι το 5G θα μπορέσει να εξασφαλίσει στους χρήστες τηλεδιασκέψεις χωρίς προβλήματα και διακοπές. Αυτό θα γίνει γιατί η ροή βίντεο απαιτεί τεράστιο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Αυτός είναι και ο λόγος που η παρακολούθηση βίντεο στα σημερινά ασύρματα δίκτυα ίσως να δημιουργεί προβλήματα. Το ασύρματο δίκτυο μπορεί να δυσκολεύεται να μεταδώσει με ακρίβεια για αυτό και προκύπτει πάγωμα της εικόνας ή του ήχου. Έτσι το 5G μπορεί να εξαλείψει τις κακές και προβληματικές εικόνες. [17]

Μέσω του 5G είναι επίσης δυνατό να δημιουργηθούν αντίγραφα ασφαλείας πιο γρήγορα. Η μεταφορά αρχείων και ο συγχρονισμός των δεδομένων μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Επίσης είναι σχεδόν τάχιστα η δημιουργία αντιγράφου ασφαλείας των κινητών συσκευών είτε πρόκειται για κείμενα, είτε για φωτογραφίες είτε για επαφές είτε για βίντεο, ακόμη και για εφαρμογές. [35]

## **2.7 Αλλαγές στα σύγχρονα δίκτυα**

Συνεπώς, γίνεται κατανοητό πως η τεχνολογία του 5G πρόκειται να αλλάξει συνολικά τα σύγχρονα δίκτυα καθώς θα υπάρξουν σημαντικά οφέλη σε σύγκριση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Η τεχνολογία 5G θα έχει πολύ χαμηλότερο κόστος, θα έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, θα είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον και θα επιτρέπει να συνδεθεί πολύ μεγάλος αριθμός συσκευών της κινητής επικοινωνίας. [17]

Για αυτό και οι εταιρείες που ασχολούνται με την τηλεφωνία και τις τηλεπικοινωνίες κάνουν μελέτες πάνω σε αυτή την τεχνολογία με σκοπό να μπορέσουν να την εφαρμόσουν στο άμεσο μέλλον. Η νέα τεχνολογία θα διευκολύνει ακόμη περισσότερο τον κόσμο, όμως θα υπάρξουν και αλλαγές στις απαιτήσεις μέσα από την εξέλιξη των συσκευών και τις γρήγορες ταχύτητες. Για παράδειγμα θα προκύψει η ανάγκη δημιουργίας νέων εφαρμογών που θα ανταποκρίνονται στη νέα. [35]

Αν και δεν είναι γνωστό πότε ακριβώς θα εφαρμοστεί, σίγουρα η έλευση του τοποθετείται από το 2020 και μετά. Υπάρχει σαφώς και η περίπτωση της καθυστέρησης εξαιτίας των συνθηκών που έχει δημιουργήσει η οικονομική κρίση.

Εξαιτίας του κόστους που θα έχει η αναβάθμιση του δικτύου φαίνεται πως και οι συσκευές θα είναι αρκετά ακριβές για να μπορέσουν να δεχτούν το νέο δίκτυο. [36]

Επομένως, αντιλαμβάνεται κανείς ότι στα επόμενα χρόνια η τεχνολογία 5G θα απασχολήσει πολύ τις τηλεπικοινωνίες και τους χρήστες, καθώς επίσης και τις εταιρείες ανάπτυξής του.

## **2.8 Οι καινοτομίες του 5G**

Το διαδίκτυο των πραγμάτων πρόκειται να υποστηριχθεί από τα δίκτυα πέμπτης γενιάς που μελετάμε. Η βασική τους καινοτομία είναι ότι θα μπορούν να προσφέρουν στο χρήστη ασύλληπτες ταχύτητες mobile Internet ακόμη πιο μεγάλες από 1Gbps, καθώς επίσης σταθερή ποιότητα υπηρεσιών εν κινήσει με πολύ ψηλές ταχύτητες και τεράστια αυτονομία.

Άρα ως προς την τεχνολογία και τις εφαρμογές, θα αποτελέσει τομή και επανάσταση. Μαζί με το 5G θα εμφανιστούν και το υπολογιστικό νέφος (cloud computing) και το Iot. Η Πέμπτη γενιά



δικτύων είναι απαραίτητη για να λειτουργήσουν αυτές οι εφαρμογές αφού για να υλοποιηθούν χρειάζονται τεράστιες ταχύτητες. [17]

Επιπλέον, το υπολογιστικό νέφος, που ήδη αναφέρθηκε, συνιστά την κατ' αίτηση διαδικτυακή κεντρική διάθεση υπολογιστικών πόρων, για παράδειγμα εφαρμογές, υπηρεσίες, δίκτυο κλπ. Το υπολογιστικό νέφος χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευελιξία και χαμηλή προσπάθεια από το χρήστη. Γίνεται, ακόμη, με διαδικτυακό τρόπο η επεξεργασία, αποθήκευση και χρήση λογισμικού, υπηρεσιών και δεδομένων. [35]

Στην τεχνολογία του υπολογιστικού νέφους στηρίζονται επίσης τα κοινωνικά δίκτυα, η κατ' αίτηση παροχή εικονικών μηχανών και το διαδικτυακό ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. [36]

Τα Cisco είναι παγκόσμια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που θα υποστηρίξουν περισσότερα από 12 δισεκατομμύρια κινητές συσκευές και συνδέσεις IoT έως το 2022.

Κατά την έναρξη του Cisco δείκτη πρόβλεψης εικονικής δικτύωσης κινητής (VNI), πριν από περισσότερο από μια δεκαετία, η κίνηση κινητής τηλεφωνίας (ή κυψελοειδής) αντιπροσώπευε λιγότερο από το 5% των συνολικών παγκόσμιων δικτύων διέλευσης της κυκλοφορίας IP. Σήμερα, ο ρόλος και η εξάρτηση στην κινητή δικτύωση έχει αυξηθεί δραματικά.

Έχει σημειωθεί παγκόσμια αύξηση της πρόσβασης μέσω κινητής τηλεφωνίας για τους καταναλωτές και τους επαγγελματίες χρήστες. Η διευρυμένη κάλυψη και η ποιότητα της κινητής ευρυζωνικότητας προκάλεσε μια φαινομενικά ακόρεστη ζήτηση για κινητές επικοινωνίες, πολυμέσα και ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών IoTκινητής.

Σύμφωνα με τη φετινή αναπροσαρμογή πρόβλεψης (2017 - 2022), η κινητή κίνηση θα είναι στα πρόθυρα να φτάσει σε ετήσια βάση ένα zettabyte μέχρι το τέλος της περιόδου πρόβλεψης. Μέχρι το 2022, η κινητή

κίνηση θα αντιπροσωπεύει σχεδόν το 20% της παγκόσμιας κυκλοφορίας IP και θα φθάσει τα 930 exabytes ετησίως. Αυτό είναι σχεδόν 113 φορές μεγαλύτερο από το σύνολο της παγκόσμιας κίνησης κινητής τηλεφωνίας που δημιουργήθηκε μόλις δέκα χρόνια πριν, το 2012.

Οι κινητές τεχνολογίες συνεχίζουν να συνδέουν περισσότερα άτομα και πράγματα από ποτέ. Το 2017, υπήρχαν πέντε δισεκατομμύρια χρήστες κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως, αλλά τα επόμενα πέντε χρόνια ο αριθμός αυτός θα αυξηθεί κατά μισό δισεκατομμύριο σε 5,7 δισεκατομμύρια χρήστες, ο οποίος αντιπροσωπεύει περίπου το 71% του παγκόσμιου πληθυσμού. Μέχρι το 2022, θα υπάρχουν πάνω από 12 δισεκατομμύρια συσκευές έτοιμες για κινητά και συνδέσεις IoT (από περίπου 9 δισεκατομμύρια συσκευές έτοιμες για κινητά και συνδέσεις IoT το 2017). Μέχρι το 2022, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα υποστηρίξουν περισσότερες από οκτώ δισεκατομμύρια προσωπικές κινητές συσκευές και τέσσερα δισεκατομμύρια συνδέσεις IoT.

Η αναπροσαρμογή πρόβλεψης προβλέπει επίσης τις συνεχείς προσπάθειες φορέων κινητής σε όλο τον κόσμο να ενισχύουν την απόδοση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Οι μέσες παγκόσμιες ταχύτητες κινητού τηλεφώνου θα αυξηθούν περισσότερο από τρεις φορές από 8,7 Mbps το 2017 σε 28,5 Mbps έως το 2022. Οι μέσες ταχύτητες κινητής τηλεφωνίας ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με τις γεωγραφικές τοποθεσίες, καθώς η υιοθέτηση 5G αρχίζει να αυξάνεται σε ορισμένες περιοχές.

Το 2017, τα δίκτυα Low-Power, Wide-Area (LPWA) υποστήριζαν το 1,5% των κινητών συσκευών / συνδέσεων machine to machine (M2M), ενώ η 2G υποστήριξε 34% των παγκόσμιων κινητών συσκευών / συνδέσεων M2M. Η 3G Υποστήριζε το 30% των παγκόσμιων κινητών συσκευών /

συνδέσεων M2M. και η 4G Υποστηρίζει το 35% των παγκόσμιων κινητών συσκευών / M2M συνδέσεων.

Μέχρι το 2022, τα δίκτυα LPWA θα υποστηρίξουν 14% των κινητών συσκευών / συνδέσεις M2M, η 2G θα υποστηρίξει οκτώ τοις εκατό των παγκόσμιων κινητών συσκευών / συνδέσεων M2M. Η 3G θα υποστηρίξει το 20% των παγκόσμιων κινητών συσκευών / M2M συνδέσεων. Η 4G θα υποστηρίξει το 54% %. Η 5G θα υποστηρίξει το 3% των παγκόσμιων κινητών συσκευών / συνδέσεων M2M (συνολικά 5G συνδέσεις 422m παγκοσμίως).

Μέχρι το 2022, οι συνδέσεις 5G θα αντιπροσωπεύουν πάνω από το 3% των συνολικών συνδέσεων κινητής τηλεφωνίας (περισσότερες από 422 εκατομμύρια παγκόσμια συσκευές 5G κινητής και συνδέσεις M2M) και θα αντιπροσωπεύουν περίπου το 12% της παγκόσμιας κυκλοφορίας δεδομένων κινητής τηλεφωνίας.

Επιπλέον, μέχρι το 2022, η μέση σύνδεση 5G (22 GB / μήνα) θα δημιουργήσει περίπου 3 φορές περισσότερη κίνηση από τη μέση σύνδεση 4G (8 GB / μήνα). Το 2022 η συνολική κίνηση IP (σταθερή και κινητή) θα είναι 29% ενσύρματη, 51% WiFi, και 20% κινητή. Συνολικά, το σύνολο των hotspots WiFi (συμπεριλαμβανομένων των οικιακών) θα αυξηθεί 4X από το 2017 (124 εκατομμύρια) σε (549 εκατομμύρια) το 2022.

"Η Cisco δεσμεύεται να βοηθήσει τους χρήστες δικτύων να ανταποκριθούν στις αυξανόμενες ανάγκες σε εύρος ζώνης των καταναλωτών κινητής τηλεφωνίας, των επιχειρήσεων χρηστών και της ποικίλης συλλογής IoT εφαρμογών ", δήλωσε ο Jonathan Davidson, ανώτερος αντιπρόεδρος και γενικός διευθυντής της υπηρεσίας παροχής υπηρεσιών της Cisco. "καθώς η παγκόσμια κίνηση κινητής προσεγγίζει την εποχή του zettabyte, πιστεύουμε ότι η 5G και το WiFi θα συνυπάρχουν

ως απαραίτητες και συμπληρωματικές τεχνολογίες προσπέλασης, προσφέροντας βασικά οφέλη στους πελάτες μας, επιχειρήσεις και παρόχους υπηρεσιών, ώστε να επεκτείνουν τις αρχιτεκτονικές τους. Ανυπομονούμε για συνεχείς συζητήσεις με τους πελάτες την επόμενη εβδομάδα στο Mobile World Congress της Βαρκελώνης σχετικά με την προετοιμασία για αυτή την ανάπτυξη και τη χαρτογράφηση των μεταβάσεων της αρχιτεκτονικής του δικτύου τους. "

Η πρόβλεψη κινητής οπτικής δικτύωσης της cisco περιλαμβάνει προβλέψεις και τάσεις σε παγκόσμιο, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο που σχετίζονται με κινητά (2G, 3G, 4G, και 5G) δίκτυα. Η πλήρης έκθεση περιλαμβάνει πρόσθετες πληροφορίες και ανάλυση σχετικά με την αύξηση της κίνησης κινητής τηλεφωνίας, τις κινητές συσκευές / συνδέσεις, την κινητή IoT από διάφορες βιομηχανικές κατακόρυφες εφαρμογές, την υιοθέτηση του κινητού IPv6, τις επιδόσεις του δικτύου κινητής, την εκφόρτωση Wi-Fi από κινητές συσκευές / συνδέσεις και την κινητή κλιμακωτή τιμολόγηση και τα κοινά σχέδια).

Η ολοκληρωμένη πρόβλεψη Cisco VNI <sup>TM</sup> για το 2017 έως το 2022 βασίζεται σε ανεξάρτητες προβλέψεις αναλυτών και σε δεδομένα χρήσης πραγματικού δικτύου. Σε αυτήν την βάση υπάρχουν πολυεπίπεδες εκτιμήσεις της Cisco για την παγκόσμια κυκλοφορία IP και την υιοθέτηση των υπηρεσιών. Λεπτομερής περιγραφή μεθοδολογίας περιλαμβάνεται στην πλήρη έκθεση. Κατά τη διάρκεια του ιστορικού της των 13 ετών, η έρευνα Cisco®VNI έχει εξελιχθεί σε πολύτιμο μέτρο της ανάπτυξης του διαδικτύου. Οι εθνικές κυβερνήσεις, οι ρυθμιστές δικτύων, οι ακαδημαϊκοί ερευνητές, οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών, οι τεχνολογικοί εμπειρογνώμονες και οι ειδικοί της βιομηχανίας / επιχειρήσεων και οι αναλυτές βασίζονται στην ετήσια μελέτη για τον σχεδιασμό του ψηφιακού μέλλοντος.

## 2.9 Σημασία χρήσης των 5G συστημάτων

Οι καταναλωτές θέλουν να χρησιμοποιήσουν 5G το 2019, καθώς οι φορείς αναπτύσσουν περιορισμένες εγκαταστάσεις που λειτουργούν σε μικρό αριθμό συσκευών. Πέρα από το 2019, η 5G θα βελτιώσει την ταχύτητα και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας στα smartphones, καθώς και θα αναπτύξει την σταθερή ασύρματη για κατοικίες, ανταγωνιζόμενη με τις ενσύρματες ευρυζωνικές συνδέσεις για ορισμένες κοινότητες.

Στην επιχείρηση, ο αντίκτυπος της 5G το 2019 (και τα επόμενα έτη) είναι πιο περιορισμένος, αλλά θα γίνει αισθητός.

Η 5G σταθερή ασύρματη θα είναι μια βολική επιλογή ως σύνδεση WAN για να είναι σε απευθείας σύνδεση τα υποκαταστήματα. Μπορεί να έχει την απόδοση (υψηλή ταχύτητα και χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση) για να ανταγωνιστεί τις ενσύρματες συνδέσεις. Καθώς η 5G κυκλοφορεί (το οποίο θα διαρκέσει χρόνια), θα ανοίξει νέες δυνατότητες και για IoT εφαρμογές. Χάρη στην 5G's τεχνολογία time-slicing, οι αισθητήρες θα μπορούν να λειτουργούν με μπαταρίες που διαρκούν χρόνια.

Η ασύρματη τεχνολογία της 5G θα εισαχθεί επίσης και στα εταιρικά δίκτυα τοπικής εμβέλειας: Η επέκταση του αδειοδοτημένου φάσματος 5G σε μια νέα, ελαφρώς εγκεκριμένη μπάνα CBRS (Citizens Broadband Radio Service), θα επιτρέψει στις επιχειρήσεις να δημιουργήσουν τα δικά τους, πλήρως ιδιωτικά δίκτυα δεδομένων 5G. Για ορισμένες εγκαταστάσεις διαδικτύου, αυτό θα μπορούσε να είναι μια συναρπαστική λύση.

Τα Wi-Fi 6 και 5G θα συνυπάρχουν ως κρίσιμες ασύρματες τεχνολογίες για την επιχείρηση. Ωστόσο, θα είναι αρχικά μια πρόκληση να βρεθούν τρόποι διαχείρισης των δικτύων καθώς οι χρήστες και οι συσκευές κινούνται μεταξύ τους. Οι δύο τεχνολογίες είναι εξαιρετικά

συμπληρωματικές και θα είναι ακόμα περισσότερο όταν τα εργαλεία διαχείρισης δικτύου εξελίσσονται για να τα χειριστούν παράλληλα.

## 3. Τα συστήματα MIMO

### 3.1. Ορισμός

Τα συστήματα MIMO κάνουν χρήση στοιχείων κεραίας τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη. Τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούν δύο με τέσσερις κεραίες. Τα συστήματα massive MIMO αποσκοπούν στην εκμετάλλευση της χωρητικότητας από την χρήση μεγαλύτερων συστοιχιών κεραίας. Από την άλλη πλευρά, το single-user MIMO(SU-MIMO) μπορεί να υποστηρίξει μικρό αριθμό από κεραίες. Για να επιτευχθεί όμως η ταυτόχρονη επικοινωνία με πολλαπλούς χρήστες πρέπει να γίνει χρήση της multiuser έκδοσης του MIMO (MU-MIMO). [5]

Η εμφάνιση και ανάπτυξη του LTE καθιέρωσε την MIMO τεχνολογία ως βασικό συστατικό του. Κάθε κινητή συσκευή περιλαμβάνει 2 με 4 κεραίες και κάθε σταθμός βάσης οκτώ. Τα συστήματα massive MIMO δηλαδή τα συστήματα κεραιών ευρείας κλίμακας τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω προέκυψαν από την προσπάθεια ανταπόκρισης στις ανάγκες των χρηστών των συστημάτων πέμπτης γενιάς. Έτσι, εξετάστηκε το ζήτημα του εξοπλισμού κάθε BSs με πολύ περισσότερες κεραίες από τους ενεργούς χρήστες. Κάθε σταθμός επομένως θα περιλαμβάνει εκατοντάδες κεραίες. [15], [29]

### 3.2. Υπηρεσίες

Η εφαρμογή του massive MIMO απαιτεί προηγουμένως την αντιμετώπιση ορισμένων βασικών προκλήσεων. Αρχικά, υπάρχει το ζήτημα «pilot contamination». Οι πιλοτικές μεταδώσεις μεταξύ χρηστών της ίδιας κυψέλης μπορούν να γίνουν με τη χρήση ορθογώνιας σηματοδοσίας και να ξαναχρησιμοποιηθούν από τους χρήστες άλλων

κυψελών. Έτσι μπορεί να εξασφαλιστεί ότι θα υπάρχουν πιο καθαρά κανάλια και ακόμη ότι δεν θα αναλωθούν οι πόροι για τις πιλοτικές μεταδώσεις. [17]

Απόρροια αυτού είναι ότι προκαλούνται παρεμβολές ανάμεσα στις πιλοτικές μεταδώσεις σε διαφορετικές κυψέλες με αποτέλεσμα η ποιότητα του καναλιού να υποβαθμίζεται. Για να εξαφανιστεί αυτό δεν αρκεί να αυξηθεί ο αριθμός των κεραιών του σταθμού βάσης. Για αυτό και εξετάζονται διάφορες μέθοδοι για τη μείωση του αν μειωθεί η ένταση συντονισμού μεταξύ των σταθμών βάσης. [18]

Επιπλέον, είναι βασικό να σχεδιαστούν προσεκτικά οι πιλοτικές δομές με σκοπό η αύξηση στο μέγεθος της πιλοτικής κεφαλίδας να αποφευχθεί.

Για να πραγματοποιηθεί το massive MIMO πρέπει να υπάρξει σχεδιασμός που αφορά στην αρχιτεκτονική του. Απαιτούνται διαφορετικές δομές σταθμών βάσης στις οποίες θα υπάρχουν πολλές μικροσκοπικές κεραιές τροφοδοτούμενες από ενισχυτές χαμηλής ισχύος. Ίσως να χρειάζεται κάθε κεραιά να έχει το δικό της ενισχυτή. Όμως, πρέπει να διευθετηθούν ορισμένα θέματα όπως είναι οι συσχετίσεις κεραιών, η επεκτασιμότητα και το κόστος και να γίνουν καινοτόμες μορφές τοπολογιών. [18]

Ως προς τους υφιστάμενους σταθμούς βάσης πρέπει να σημειωθεί πως διαθέτουν κυρίως οριζόντιες γραμμικές συστοιχίες που μπορούν να φιλοξενήσουν ένα περιορισμένο αριθμό κεραιών που εκμεταλλεύονται τη διάσταση της αζιμουθιακής γωνίας.

Η γωνία ανύψωσης μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω μέσω της υιοθέτησης επίπεδων συστοιχιών 2D με αποτέλεσμα να μπορούν να φιλοξενηθούν πολλές περισσότερες κεραιές με την ίδια μορφή δηλαδή η λεγόμενη πλήρης διάστασης MIMO. [30]



Επιπλέον, με τη χρήση προσαρμοσμένων κάθετων κυματομορφών αυξάνεται η ισχύς του σήματος και μειώνεται η παρεμβολή ανάμεσα σε χρήστες γειτονικών κυψελών.

Μαζί όμως με τα αρχιτεκτονικά ζητήματα πρέπει να τρέξουν και αυτά που σχετίζονται με τα μοντέλα του καναλιού που απαιτούν εκτεταμένες μετρήσεις πεδίου. [5]

Είναι απαραίτητο να καθοριστεί η σύζευξη για μαζικές συστοιχίες με παρόμοιες τοπολογίες, καθώς και οι συσχετίσεις των κεραιών και η μοντελοποίηση των δράσεών τους. Όσον αφορά στο FD-MIMO, η μοντελοποίηση πρέπει να ενσωματώσει και την ανύψωση πέρα από το αζιμούθιο. [15]

Οι σταθμοί βάσης που χρησιμοποιούν το massive MIMO πρέπει να υπάρχουν μαζί με τις μικρές κυψέλες του δικτύου. Ο αυξημένος αριθμός των κεραιών στα massive MIMO BSs πιθανότατα προσφέρει την αποφυγή παρεμβολών με σχετική απλότητα και πολύ μικρή ποινή και την ευκαιρία του χωρικού μηδενισμού.

Το γεγονός ότι τα δίκτυα γίνονται πυκνά και η κίνηση μεγαλύτερη μπορεί να έχει ως συνέπεια ότι ο αριθμός των ενεργών χρηστών ανά κυψέλη θα μειωθεί και έτσι η ανάγκη για μαζική MIMO θα μειωθεί. Το ζήτημα του κόστους και του backhaul θα παίξουν ρόλο στην ισορροπία μεταξύ αυτών των συμπληρωματικών ιδεών. [35]

Η επικοινωνία με mm-Wave δημιουργεί την ανάγκη χρήσης πολλών κεραιών που μπορούν να στρίβουν και να ορίζουν την κατεύθυνση του κύματος. Αυτές οι κεραιές είναι πιο μικρές σε αυτές τις συχνότητες με αποτέλεσμα μεγάλος αριθμός αυτών να μπορεί να χωρέσει σε φορητές συσκευές. Κάθε εφαρμογή του massive MIMO στις συχνότητες των mm-Wave είναι απαραίτητο να βρει σωστή ισορροπία

μεταξύ της μείωσης της στάθμης ισχύος και παρεμβολής και του παραλληλισμού. [30]

Επιπλέον, πρέπει να δοθεί προσοχή στη χωρική διαμόρφωση. Πρόκειται για μια καινούργια τεχνική MIMO η οποία έχει προταθεί για την εφαρμογή χαμηλής πολυπλοκότητας στα συστήματα MIMO αλλά δεν υποβαθμίζει την απόδοση του δικτύου. Ειδικότερα, αυτό που γίνεται είναι να κωδικοποιείται ένα μέρος των δεδομένων και να μεταδίδεται στην χωρική θέση κάθε κεραιάς της συστοιχίας κεραιών και όχι να γίνεται ταυτόχρονη μετάδοση από πολλαπλές ροές δεδομένων από τις διαθέσιμες κεραιές. [5]

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η συστοιχία των κεραιών να παίζει το ρόλο ενός δεύτερου διαγράμματος αστερισμών που λέγεται χωρικό διάγραμμα αστερισμών και να συνυπάρχει μαζί με το κλασικό διάγραμμα αστερισμού σήματος. Το παραπάνω χρησιμοποιείται για την αύξηση του ρυθμού δεδομένων (χωρική πολυπλεξία) σε σχέση με ασύρματα συστήματα μονής κεραιάς. [36]

Οι κεραιές είναι γενικά σε αδράνεια όταν μία κεραιά εκπομπής είναι ενεργή.

Συνεπώς, η χωρική διαμόρφωση είναι μια τεχνική που συνδυάζει το space shift keying (SSK) με τη διαμόρφωση πλάτους και φάσης. Το όφελος στην περίπτωση που γίνεται χρήση της είναι ότι μπορεί να μετριάσει τρία βασικά προβλήματα των MIMO συστημάτων. Αρχικά, μετριάζει τον συγχρονισμό μεταξύ των κεραιών, τις διακαναλικές παρεμβολές και τις πολλαπλές RF αλυσίδες. [36]

Είναι δυνατό να σχεδιαστούν δέκτες χαμηλής πολυπλοκότητας για κάθε αριθμό κεραιών εκπομπής και λήψης, ακόμη και στην περίπτωση των μη ισορροπημένων συστημάτων MIMO. [35]

Το κέρδος πολυπλεξίας στη χωρική διαμόρφωση αυξάνεται λογαριθμικά με την αύξηση του αριθμού των κεραιών μετάδοσης και ταυτόχρονα αυξάνεται γραμμικά σε συμβατικά συστήματα MIMO. Επομένως, η χαμηλή πολυπλοκότητα επιβάλλει κατά κάποιο τρόπο την ανάγκη να θυσιαστεί ένας βαθμός ελευθερίας. Το πεδίο αυτό, της multi-user χωρικής διαμόρφωσης, χρειάζεται αναμφίβολα περαιτέρω έρευνα πριν ενσωματωθεί στα καινούργια συστήματα επικοινωνιών. [36]

### 3.3. Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της massive MIMO τεχνολογίας είναι ποικίλα. Αρχικά, είναι δυνατό να επιτευχθεί μεγάλο βαθμό ελευθερίας στα ασύρματα κανάλια ανεξάρτητα από το πλαίσιο του φάσματος και του χρόνου, αν προστεθούν πολλαπλές κεραιές με σκοπό να εξυπηρετηθούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να βελτιωθεί η φασματική απόδοση, η αξιοπιστία και η ενεργειακή απόδοση των δικτύων. [5]

Ακόμη, μέσα από την τεχνολογία massive MIMO μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η φασματική και ενεργειακή απόδοση χωρίς να χρειάζεται η αυξημένη πύκνωση των σταθμών βάσης. Ιδανικά, αν συνδυάζονταν αυτά τα δύο θα υπήρχε ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία στα δίκτυα πέμπτης γενιάς αναφορικά με το ζήτημα της φασματικής αποδοτικότητας. Αναλυτικότερα, η χρήση της massive MIMO τεχνολογίας εκμηδενίζονται οι συνέπειες του θορύβου και της γρήγορης εξασθένησης του σήματος και ταυτόχρονα οι παρεμβολές στα πλαίσια μιας κυψέλης μπορούν να μετριαστούν αν χρησιμοποιηθούν μέθοδοι απλής γραμμικής προκωδικοποίησης και ανίχνευσης. [17], [18]

Ακόμη, αν χρησιμοποιηθεί σωστά το multiuserMIMO (MU-MIMO) σε massive MIMO συστήματα τότε θα απλοποιηθεί το επίπεδο του μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) και θα αποφευχθούν πολύπλοκοι αλγόριθμοι προγραμματισμού. Επιπλέον, ο σταθμός βάσης μπορεί να στείλει διακριτά σήματα για μεμονωμένους χρήστες που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες στον ίδιο χρόνο. Άλλωστε θα εξομαλυνθούν και οι αποκρίσεις του καναλιού λόγω της τεράστιας χωρικής ποικιλομορφίας. Ουσιαστικά, υποχωρεί η τυχειότητα και αυξάνεται ο αριθμός των παρατηρήσεων του καναλιού. [15]

Εξαιτίας της φύσης των καναλιών μεταξύ των σταθμών βάσης και λόγω της χρήσης της ίδιας πηγής σηματοδοσίας από μια ομάδα χρηστών, τα συστήματα της εκπομπής και της λήψης των δεδομένων γίνονται λιγότερο πολύπλοκα. Όσο ο αριθμός των κεραιών μεγαλώνει τόσο η ορθογωνιότητα του σήματος αυξάνεται για ένα δεδομένο αριθμό ενεργών χρηστών και τόσο καλύτερα λειτουργούν οι απλοί γραμμικοί πομποδέκτες και οι διαμορφωτές του σήματος ανά χρήστη. [18]

## 4. Τα Κατανεμημένα Συστήματα Κεραίας (DAS)

### 4.1. Τι είναι το σύστημα DAS

Τα Κατανεμημένα Συστήματα Κεραίας (DAS) είναι συστήματα που αποτελούνται από μια σειρά ραδιοφωνικών κεφαλών που τοποθετούνται στρατηγικά γύρω από μια στοχευμένη θέση όπου υπάρχει ανάγκη για πρόσθετη κάλυψη κινητού δικτύου . Κάθε μία από τις κεφαλές ραδιοφώνου μέσα στο σύστημα DAS κατευθύνεται έπειτα σε ένα διανομέα επικοινωνιών μέσω καλωδίου οπτικής ίνας για να επιτρέψει το κινητό σήμα να υποβληθεί σε επεξεργασία από ένα σταθμό βάσης κινητής.

Όπως τα μικρά δίκτυα κινητής, τα δίκτυα DAS υλοποιούνται συνήθως σε τοποθεσίες όπως εμπορικά κέντρα, σχολικές πανεπιστημιούπολεις, κτίρια γραφείων ή μεγαλύτερες εγκαταστάσεις όπως αθλητικά γήπεδα και αρένες εκδηλώσεων. Ενδεικτικό είναι το νέο έργο δικτύου DAS στο στάδιο NRG του Χιούστον, το οποίο κατασκευάστηκε ειδικά για το αμερικάνικο άθλημα του Super Bowl LI και αποτελείται από περισσότερες από 800 κεραίες. Είναι εντυπωσιακό ότι οι συμμετέχοντες στο Super Bowl LI παρόλο που κατανάλωσαν περίπου 16 terabyte δεδομένων σε έναν ολόκληρο αγώνα, τα κινητά και οι φορητές συσκευές των συμμετεχόντων δεν είχαν κάποιο πρόβλημα ταχύτητας του δικτύου.

Τα DAS είναι οι προτιμώμενες μέθοδοι για την επέκταση της συνδεσιμότητας δικτύου σε ορισμένες θέσεις όπου ο χώρος είναι περιορισμένος και δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση ενός παραδοσιακού πύργου κινητής. Τα συστήματα DAS είναι σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα παραδοσιακά macrocells ή των πύργων κινητής, καθιστώντας τα πολύ καλύτερες επιλογές για τοποθεσίες συμφόρησης και μεγάλου

όγκου. Εκτός από την χρήση λιγότερου χώρου από τους παραδοσιακούς πύργους κινητής, τα δίκτυα DAS τείνουν να παρέχουν καλύτερη κάλυψη δικτύου.

Καθώς η απόσταση μεταξύ ενός χρήστη κινητού και του σήματος κινητής αυξάνεται, η ποιότητα του σήματος κινητής αρχίζει να αποικοδομείται. Ωστόσο, με τη στρατηγική τοποθέτηση λύσεων DAS σε στοχευμένες τοποθεσίες όπου οι πάροχοι γνωρίζουν ότι θα είναι οι πελάτες τους, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι χρήστες κινητής θα βρίσκονται πάντα κοντά σε ένα ισχυρό και γρήγορο σήμα.

Μια λύση δικτύου DAS εξασφαλίζει επίσης ότι οι χρήστες που λαμβάνουν σήματα κινητής σε παραδοσιακά δίκτυα πύργων ή macrocells δεν θα αντιμετωπίσουν διακοπή της υπηρεσίας όταν υπάρχει ένα σημαντικό γεγονός που συμβαίνει στην ίδια περιοχή. Αυτά τα σημαντικά γεγονότα (αθλητικές εκδηλώσεις, συναυλίες, παραστάσεις, φεστιβάλ, συναθροίσεις κ.λπ.) φέρνουν χιλιάδες νέους χρήστες κινητής σε μια συγκεκριμένη περιοχή, οι οποίοι ορισμένες φορές υπερφορτώνουν το δίκτυο και προκαλούν σημαντικές διακοπές σήματος. Ευτυχώς, τα δίκτυα DAS είναι σε θέση να εκφορτώσουν αυτή την αυξημένη κίνηση σε ένα δωρεάν δίκτυο, απελευθερώνοντας το εύρος ζώνης των υπαρχόντων δικτύων έτσι ώστε αυτά να συνεχίσουν να λειτουργούν σε βέλτιστα επίπεδα.

Ωστόσο, παρόλο που ένα δίκτυο DAS μπορεί να ακούγεται παρόμοιο με ένα μικρό δίκτυο κινητής, υπάρχουν κάποιες βασικές διαφορές μεταξύ των δύο ανταγωνιστικών τεχνολογιών που θα πρέπει να γνωρίζει όποιος θέλει να αναπτύξει στοχευμένο εύρος ζώνης.

Τα ενσωματωμένα σε κτίρια συστήματα κεραίας (DAS) έχουν καταστεί κρίσιμο μέρος τόσο των φορέων δικτύων κινητής όσο και της υποδομής των επιχειρήσεων. Αλλά καθώς η τεχνολογία έχει εξελιχθεί τα τελευταία 20 χρόνια, έχει γίνει όλο και πιο πολύπλοκη. Ο κατάλογος των ακρωνύμιων μόνο είναι μεγάλος: iDAS, oDAS, eDAS, ενεργό DAS, παθητικό DAS, υβριδικό DAS, off-air DAS και πολλά άλλα. Αυτός ο οδηγός θα περιγράψει κοινούς τύπους συστημάτων κατανεμημένης κεραίας και αποτελεσματικές στρατηγικές εφαρμογής.

## **4.2. Πώς λειτουργεί ένα DAS**

Το DAS είναι ένα δίκτυο κεραιών που στέλνει και λαμβάνει σήματα κινητής στις συγκεκριμένες συχνότητες ενός φορέα, βελτιώνοντας έτσι τη δυνατότητα σύνδεσης φωνής και δεδομένων για τους τελικούς χρήστες. Στην πιο απλοποιημένη μορφή του, το DAS έχει δύο βασικά στοιχεία:

### **Μια πηγή σήματος**

Ένα σύστημα Κατανεμημένης Κεραίας, όπως υποδηλώνει το όνομα, "διανέμει" το σήμα. Αλλά γενικά δεν παράγει το ίδιο το σήμα κινητής. Το DAS πρέπει να τροφοδοτείται από κάπου. Υπάρχουν τέσσερις τυπικές πηγές σήματος: off-air (μέσω κεραίας στην οροφή), BTS (βασικός σταθμός πομποδέκτη) και τέλος η νεότερη προσέγγιση: μικρή κινητή.

### **Σύστημα διανομής**

Μόλις ληφθεί, το σήμα κινητής πρέπει να διανεμηθεί σε όλο το κτίριο. Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι συστημάτων διανομής: ενεργός (χρησιμοποιώντας καλώδιο οπτικών ινών ή καλώδιο ethernet), παθητικός, υβριδικός και ψηφιακός.

Η απόδοση του DAS εξαρτάται από τον τύπο της τεχνολογίας που χρησιμοποιεί. Για να κατανοηθεί η έννοια της "απόδοσης", πρέπει πρώτα να κατανοηθούν οι δύο βασικές μετρήσεις απόδοσης: κάλυψη και ικανότητα.

### **Κάλυψη έναντι χωρητικότητας**

Για να συγκριθούν οι διαφορετικές τεχνολογίες, πρέπει πρώτα να εξεταστούν οι δύο βασικοί λόγοι απόδοσης για τους οποίους αναπτύσσονται οι λύσεις DAS: η κάλυψη και η ικανότητα.

Ορισμένες τοποθεσίες έχουν σημαντικά μεγαλύτερη χρήση δεδομένων κινητής από άλλες. Για παράδειγμα ένα αθλητικό στάδιο που φιλοξενεί το Super Bowl ή ένας μεγάλος χώρος μουσικής που φιλοξενεί τον Justin Timberlake. Αν ο χώρος βασίστηκε σε έναν κοντινό πύργο κινητής για να παρέχει κάλυψη σε όλους αυτούς τους χρήστες, ο πύργος και το τοπικό δίκτυο θα γίνουν γρήγορα κατακλυσμένα και ασταθή. Σε τέτοιες εφαρμογές, μια πρωτεύουσα ανάγκη είναι το DAS με υψηλή χωρητικότητα.

Εάν απλά δεν υπάρχει αρκετό χρησιμοποιήσιμο σήμα που φτάνει στους χρήστες, είτε επειδή ο πύργος της κινητής είναι πολύ μακριά είτε λόγω δομικών υλικών όπως τα παράθυρα χαμηλού-E στα κτήρια LEED που εμποδίζουν το σήμα κινητής, η πρωταρχική ανάγκη είναι η κάλυψη. Για παράδειγμα, ένα νεόκτιστο νοσοκομείο με πιστοποίηση LEED με τοίχους από σκυρόδεμα μπορεί να μην έχει εσωτερική κάλυψη και να απαιτεί DAS. Τα υψηλά κτίρια συχνά χρησιμοποιούν εφαρμογές DAS, επειδή τα επίπεδα θορύβου ραδιοσυχνοτήτων σε μεγαλύτερα υψόμετρα καθιστούν το σήμα άχρηστο.



Ο προσδιορισμός μιας από των αναγκών αυτών ως πρωταρχική απαίτηση του έργου είναι ένα σημαντικό πρώτο βήμα. Η επιλογή της σωστής τεχνολογίας DAS συνεπάγεται αντιστάθμιση μεταξύ κάλυψης, χωρητικότητας και τιμής.

### **Πηγές σημάτων**

Οι πηγές σήματος για ένα σύστημα DAS είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στον προσδιορισμό τόσο της περιοχής κάλυψης όσο και της χωρητικότητας. Ανεξάρτητα από το πόσο καλά εκτελεί το σύστημα διανομής, μια DAS περιορίζεται πάντοτε από την απόδοση του σήματος που τροφοδοτεί το δίκτυο. Οι τρεις κύριες πηγές σήματος είναι off - air. BTS, NodeB ή eNodeB. και μικρά δίκτυα κινητής.

### **Off-Air**

Μια DAS που χρησιμοποιεί ένα σήμα off-air (που ονομάζεται μερικές φορές επαναλήπτης) χρησιμοποιεί κεραία δωρητή στην οροφή για να λαμβάνει και να μεταδίδει τα σήματα από το φορέα κινητής. Τα off-air σήματα είναι οι πιο συνηθισμένες πηγές σήματος για μια DAS. Εάν το σήμα στην κεραία του δότη είναι πολύ αδύναμο ή ο πλησιέστερος πύργος είναι αρκετά συμφορημένος, δεν είναι συνήθως εφικτό να χρησιμοποιείται σήμα off-air. Αλλά αν το σήμα του δότη είναι ισχυρό και καθαρό, τότε ένα σήμα off-air είναι συχνά η πιο εύκολη και οικονομικά αποδοτική πηγή σήματος.

Μια DAS που χρησιμοποιεί μια πηγή σήματος off-air δεν προσθέτει επιπλέον χωρητικότητα στο δίκτυο του μεταφορέα και χρησιμοποιείται κυρίως για την επέκταση της κάλυψης στις άκρες του δικτύου. Αυτές οι αναπτύξεις γίνονται συχνά για την επιλογή του χαμηλότερου κόστους

και είναι οι πλέον κατάλληλες όταν ο κύριος λόγος για την ανάπτυξη μιας DAS είναι η επέκταση της κάλυψης μέσα σε ένα κτίριο.

### **BTS, NodeB and eNodeB**

Ο βασικός σταθμός πομποδέκτη (BTS), ο NodeB και ο eNodeB αναφέρονται στην τεχνολογία που χρησιμοποιείται στους πύργους κινητής για να δημιουργηθεί ένα σήμα κινητής. Για λόγους απλότητας, αυτές οι τεχνολογίες συχνά αναφέρονται απλώς ως πηγή σήματος BTS.

Η σύνδεση μεταξύ του BTS του φορέα κινητής και του δικτύου πυρήνα απαιτεί συνήθως μια ειδική σύνδεση ίνας που εγκαθίσταται συνήθως από τον ίδιο τον μεταφορέα. Ένα σύστημα καταναμημένης κεραίας σε ένα μεγάλο γήπεδο ή αεροδρόμιο μπορεί ακόμη και να συνδεθεί με πολλαπλά BTSes-ένα για κάθε φορέα-για να χειριστεί το φορτίο δεκάδων χιλιάδων χρηστών που καλούν, στέλνουν μηνύματα και χρησιμοποιούν ταυτόχρονα δεδομένα.

Τα συστήματα DAS που χρησιμοποιούν πηγές σημάτων BTS συνήθως χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να αναπτυχθούν και είναι πιο ακριβά, κάθε φορέας πρέπει να τρέξει τις δικές του ίνες και οι ίδιοι οι BTSes είναι συνήθως τουλάχιστον \$ 50k + το καθένα.

### **Επιχειρησιακά Μικρά δίκτυα κινητής (Femtocells, Picocells και MetroCell)**

Τα μικρά δίκτυα κινητής είναι η τελευταία τεχνολογία που χρησιμοποιούν οι φορείς για την παροχή υπηρεσίας κινητής μέσα στα κτίρια. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές των μικρών δικτύων κινητής, συμπεριλαμβανομένων των Femtocells, των Picocells, των Nanocells και των MetroCell. Όλα αυτά είναι βασικά η ίδια τεχνολογία - δημιουργούν

ένα ασφαλές τούνελ πίσω στο δίκτυο του φορέα μέσω μιας κανονικής σύνδεσης στο Internet και δημιουργούν ένα υψηλής ποιότητας ασύρματο σήμα.

Η τυπική περιοχή κάλυψης ενός μικρού δικτύου κινητής είναι μόνο περίπου 5.000 έως 15.000 τετραγωνικά πόδια και είναι σχετικά ακριβή. Ενώ καλύπτονται μεγαλύτερες αίθουσες με δεκάδες μικρά δίκτυα κινητής, αυτά δεν είναι οικονομικά αποδοτικά, και η περιοχή κάλυψης ενός μικρού δικτύου κινητής μπορεί να επεκταθεί σε μεγάλο βαθμό χρησιμοποιώντας τα ως πηγή σήματος για ένα σύστημα κατανεμημένης κεραίας. Ένας περιορισμός της τεχνολογίας μικρών δικτύων κινητής είναι ότι απαιτούν μια αξιόπιστη σύνδεση Internet backhaul προκειμένου να συνδεθούν. Κάθε επιχειρησιακή βαθμίδα μικρού δικτύου κινητής υποστηρίζει συνήθως περίπου 200 χρήστες. Έχει εγκατασταθεί μια σειρά έργων DAS που χρησιμοποιούν μικρά δίκτυα κινητής ως πηγή σημάτων και τα αποτελέσματα είναι συνήθως εξαιρετικά. Αναμένεται ότι αυτή θα είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη νέα τεχνολογία στον χώρο DAS.

### **Ανάμιξη και Αντιστοίχιση**

Ανάλογα με τη ρύθμιση της DAS, είναι δυνατή η ανάμιξη και η αντιστοίχιση των διαφορετικών πηγών σημάτων που αναφέρονται παραπάνω σε έναν ενιαίο χώρο. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει μία πηγή σήματος μικρού δικτύου κινητής για έναν φορέα και να φέρει το υπόλοιπο των φορέων από μια κεραία δωρητή off-air.

### **Τεχνολογίες Διανομής Σημάτων**

Για όποια πηγή σήματος χρησιμοποιεί ένα σύστημα, το DAS πρέπει να ενισχύσει, να διανέμει και να ξαναδιαβιβάσει το σήμα μέσα στο κτίριο.

Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι τεχνολογίας διανομής σήματος: ενεργός, παθητικός, υβριδικός και ψηφιακός.

### **Παθητικό DAS**

Ένα παθητικό DAS χρησιμοποιεί παθητικά συστατικά RF όπως ομοαξονικό καλώδιο, διαχωριστές, βύσματα και συζεύκτες για τη διανομή σήματος μέσα σε ένα κτίριο. Όσο μακρύτερα η κεραία είναι από την πηγή σήματος και από οποιονδήποτε ενισχυτή, τόσο μεγαλύτερη εξασθένηση (απώλεια) θα υπάρχει στη ισχύ μετάδοσης από αυτήν την κεραία. Ο σχεδιασμός ενός παθητικού DAS σωστά απαιτεί τον υπολογισμό ακριβών προϋπολογισμών σύνδεσης για να βεβαιωθεί ότι η ισχύς εξόδου σε κάθε κεραία είναι ίση.

### **Ενεργό DAS**

Ένα ενεργό DAS μετατρέπει τις αναλογικές εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων από την πηγή σήματος σε ένα ψηφιακό σήμα για διανομή. Μια κύρια μονάδα εκτελεί αυτήν την αναλογική προς ψηφιακή μετατροπή. Η κύρια μονάδα μπορεί να ψηφιοποιήσει το σήμα από έναν μόνο φορέα ή από πολλαπλούς φορείς. Μόλις μετατραπεί, το DAS μεταδίδει το ψηφιακό σήμα μέσω καλωδίων οπτικών ινών ή Ethernet σε απομακρυσμένες μονάδες ραδιοσυχνοτήτων (RRUs) που μετατρέπουν το σήμα σε αναλογικό σήμα.

Σε αντίθεση με τα παθητικά ή υβριδικά συστήματα, τα ενεργά συστήματα δεν χρησιμοποιούν ομοαξονικό καλώδιο για τη διανομή σήματος. Το καλώδιο οπτικών ινών ή Ethernet λειτουργεί κατευθείαν στη μονάδα κεραίας και η μετατροπή στην αναλογική RF πραγματοποιείται μέσω κυκλώματος μέσα στην κεραία.

## **Υβριδικό DAS**

Ένα υβριδικό DAS συνδυάζει τα χαρακτηριστικά παθητικών και ενεργών συστημάτων. Οι μονάδες RRU είναι ξεχωριστές από τις κεραίες, επιτρέποντας στο σύστημα να χρησιμοποιεί τόσο καλώδιο οπτικών ινών όσο και ομοαξονικό καλώδιο για τη διανομή σήματος σε όλο το κτίριο. Επειδή αυτή η διαμόρφωση απαιτεί λιγότερα RRU, ένα υβριδικό DAS κανονικά κοστίζει λιγότερο από ένα ενεργό DAS.

Μια τυπική διαμόρφωση υβριδικού DAS περιλαμβάνει ένα RRU σε κάθε όροφο που μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε αναλογικό RF. Το αναλογικό σήμα RF είναι στη συνέχεια συνδεδεμένο σε πολλαπλές κεραίες στον όροφο με ομοαξονικό καλώδιο.

## **Ψηφιακό DAS**

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη στην τεχνολογία DAS είναι η CPRI (Common Public Radio Interface), η οποία επιτρέπει σε μια μονάδα μπάντας βάσης (BBU, ένα είδος BTS) να επικοινωνεί απευθείας με την κύρια μονάδα DAS και μέσω των απομακρυσμένων μονάδων χωρίς μετατροπή με μία αναλογική διασύνδεση RF.

Με τρεις διαφορετικές πηγές σημάτων και τέσσερα διαφορετικά συστήματα διανομής, υπάρχουν συνολικά δώδεκα δυνατές διαμορφώσεις DAS. Στην πράξη, ωστόσο, υπάρχουν πολύ λιγότερα. Ακολουθεί μια επισκόπηση των πιο συνηθισμένων διαμορφώσεων και των εφαρμογών για τις οποίες ταιριάζουν καλύτερα.

## **DAS & Μικρά δίκτυα κινητής – Διαφορές**

Οι ραδιοφωνικές κεφαλές ενός συστήματος DAS είναι ουσιαστικά "ψεύτικες" ραδιοφωνικές κεφαλές: αυτά τα σημεία πρόσβασης δεν

παρέχουν καμία επεξεργασία σήματος όπως θα έκανε ένα μικρό σύστημα κεραιών κινητής. Αντίθετα, οι κεφαλές ραδιοφώνου DAS αναμεταδίδουν το σήμα σε έναν σταθμό βάσης κινητής που βρίσκεται σε κεντρικό διανομέα. Μόλις μεταδοθεί το σήμα στο κέντρο, γίνεται εκεί η επεξεργασία του.

Οι σταθμοί βάσης που είναι εγκατεστημένοι σε έναν κεντρικό διανομέα είναι ουσιαστικά macrocells και με την εγκατάσταση πρόσθετων μονάδων σταθμών βάσης εντός του διανομέα, οι πάροχοι κινητής μπορούν να αυξήσουν την ευρυζωνική τους χωρητικότητα. Δεδομένου ότι το σήμα κινητής υποβάλλεται σε επεξεργασία στο σταθμό βάσης, ένας μόνο διανομέας μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλούς φορείς και πολλαπλές ζώνες ταυτόχρονα, με κάθε φορέα να εγκαθιστά τις δικές του μονάδες.

Σε ορισμένα σενάρια, όπως ένα γήπεδο ποδοσφαίρου που χρησιμοποιείται για έναν αγώνα Super Bowl, τα DAS συστήματα μπορούν στην πραγματικότητα να είναι πολύ πιο αποδοτικά από τα μικρά δίκτυα κινητής όταν πρόκειται να προμηθεύσουν κάλυψη πολλαπλών ζωνών με διαφορετικούς χειριστές. Τυπικά, τα μικρά δίκτυα κινητής μπορούν να υποστηρίξουν μόνο μία ή δύο ζώνες με έναν ή δύο χειριστές κάθε φορά, οπότε η συνολική χωρητικότητα δικτύου τους είναι σημαντικά πιο περιορισμένη από αυτή που προσφέρουν τα συστήματα DAS.

### **4.3. Μειονεκτήματα της τεχνολογίας DAS**

#### **Κόστος**

Εξετάζοντας την υλοποίηση του δικτύου DAS, υπάρχει ένα σημαντικό μειονέκτημα και είναι αυτό που εμφανίζεται πάντα, αφού είναι εξαιρετικά σημαντικό για τις επιχειρήσεις που θέλουν να

αποκομίσουν κέρδος. Όποτε οι πάροχοι κινητής θέλουν να επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου και το εύρος ζώνης τους, ένα από τα πρώτα πράγματα που θα θέσουν τα στελέχη είναι: "Πόσο θα μας κοστίσει αυτό;" Δυστυχώς, τα συστήματα DAS δεν είναι φθηνά.

Στην πραγματικότητα, σε σύγκριση με τα μικρά δίκτυα κινητής, τα δίκτυα DAS είναι πολύ πιο ακριβά. Η διαφορά τιμής προέρχεται από την ανάγκη χρήσης καλωδίων οπτικών ινών για τη σύνδεση κάθε κεφαλής ραδιοφώνου σε κεντρικό διανομέα, την ανάπτυξη του ίδιου του διανομέα και την τοποθέτηση των σταθμών βάσης κινητής. Ως εκ τούτου, η υλοποίηση ενός δικτύου DAS σε ένα μεγάλο χώρο, όπως ένα γήπεδο ποδοσφαίρου, μπορεί να κοστίσει εκατοντάδες χιλιάδες δολάρια για όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό DAS, μαζί με τον συντονισμό και τη βελτιστοποίηση που θα χρειαστεί μετά.

## **Backhaul**

Παρόλο που το backhaul δρομολόγησης είναι πρόβλημα τόσο για δίκτυα DAS όσο και για μικρά δίκτυα κινητής, το DAS είναι συνήθως πιο προβληματικό. Επειδή καθεμία από τις κεφαλές ραδιοφώνου που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του κινητού σήματος απαιτεί καλώδια οπτικών ινών, η διαδικασία εγκατάστασης μπορεί εύκολα να δημιουργήσει προβλήματα. Στην περίπτωση του Σταδίου Super Bowl του Χιούστον, κάθε μία από τις 800 ραδιοφωνικές κεφαλές θα πρέπει να δρομολογηθεί με οπτική ίνα στο κεντρικό διανομέα για να λειτουργήσει το σύστημα.

Αυτή η διαδικασία μπορεί δυνητικά να δημιουργήσει προβλήματα με τη διαχείριση των καλωδίων, καθώς η διατήρηση των οπτικών ινών εκτός οπτικής επαφής θα απαιτεί την προσεκτική διέλευση των καλωδίων μέσω των τοίχων και άλλων σημαντικών δομών της εγκατάστασης. Εάν η

διαδικασία αυτή δεν διεξαχθεί σωστά, η δρομολόγηση αυτών των καλωδίων μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στη δομική ακεραιότητα της εγκατάστασης, καθιστώντας την μη ασφαλή και ακατάλληλη για τους επισκέπτες.

### **Αναβάθμιση**

Όσον αφορά τα δίκτυα DAS, υπάρχει επίσης το ζήτημα της δυνατότητας αναβάθμισης. Καθώς νέα τεχνολογία είναι διαθέσιμη, είναι πιο δύσκολο να αναβαθμιστεί ένα υπάρχον δίκτυο DAS από ό, τι είναι η αναβάθμιση ενός συγκρίσιμου μικρού δικτύου κινητής. Συνήθως, τα μικρά δίκτυα κινητής μπορούν να αναβαθμιστούν χωρίς την ανάγκη για έναν τεχνικό να επισκεφθεί την περιοχή των κινητών. Ωστόσο, οι αναβαθμίσεις του δικτύου DAS ενδέχεται να απαιτούν την αντικατάσταση του σταθμού βάσης και τις τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται στις ίδιες τις κεφαλές ραδιοκυμάτων, καθιστώντας έτσι τη διαδικασία αναβάθμισης σημαντικά δυσκολότερη.

## **4.4. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας DAS**

Παρόλο που η υλοποίηση ενός δικτύου DAS είναι πιο ακριβή από ένα μικρό δίκτυο κινητής, τα δίκτυα DAS επωφελούνται από μια σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα συστήματα DAS μπορούν να χειριστούν πολλαπλές ζώνες για πολλαπλούς χειριστές ταυτόχρονα, ενώ τα μικρά δίκτυα κινητής μπορούν να υποστηρίξουν μόνο μία ή δύο ζώνες για έναν ή δύο φορείς.

Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στα δίκτυα DAS να είναι πολύ πιο εύχρηστα για μεγάλες συγκεκριμένες τοποθεσίες όπου οι πάροχοι κινητής



γνωρίζουν ότι η ζήτηση για πρόσθετο εύρος ζώνης θα είναι υψηλή. Σε μεγάλους χώρους όπου υπάρχει ανάγκη παροχής συνδεσιμότητας στο διαδίκτυο από πολλούς παρόχους κινητής, το δίκτυο DAS παραμένει η προτιμώμενη τεχνολογική λύση.

Αυτή η δυνατότητα υποστήριξης πολλαπλών ζωνών διασφαλίζει επίσης ότι ένα ευρύτερο φάσμα κινητών συσκευών με δικό τους σχεδιασμό κινητής μπορεί να λαμβάνει ισχυρή σύνδεση στο διαδίκτυο, ενώ βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τη ραδιοφωνική κεραία DAS, παρέχοντας μια καλύτερη εμπειρία για τον καταναλωτή κινητής.

Οι πάροχοι κινητής χρησιμοποιούν τα ακόλουθα κριτήρια κατά τον καθορισμό του συστήματος δικτύου που είναι κατάλληλο για την προγραμματισμένη επέκτασή τους:

- Ανάγκη κάλυψης (φωνή έναντι δεδομένων)
- Υπάρχον Backhaul και Υποδομή
- Ακριβής θέση της απαιτούμενης κάλυψης

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως οι οικοδομικοί κώδικες και οι περιορισμοί των καλωδίων, αλλά ο βαθύς χειρισμός αυτών των τριών στοιχείων είναι ο καλύτερος τρόπος για τον προσδιορισμό ποιας λύσης θα λειτουργήσει καλύτερα για οποιαδήποτε συγκεκριμένη ανάπτυξη.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι κατά το σχεδιασμό ενός δικτύου DAS, το σήμα δικτύου που μεταδίδεται δεν μπορεί να επηρεάσει ένα υπάρχον σήμα macrocell δικτύου στην περιοχή, επειδή αυτή η παρεμβολή μπορεί να προκαλέσει σοβαρές διαταραχές για τους χρήστες κινητών και για τα δύο σήματα, καθώς οδηγεί σε σοβαρό crosstalk, κάνοντας και τα δύο δίκτυα να είναι εντελώς ακατάλληλα.

Αν και η τεχνολογία DAS είναι αυτή τη στιγμή η προτιμώμενη μέθοδος για μεγαλύτερους χώρους, μερικές πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των μικρών δικτύων κινητής θα τους επιτρέψουν να υποστηρίξουν πρόσθετες ζώνες και φορείς, καθιστώντας τα πιο ανταγωνιστικά ως προς τα συστήματα DAS. Ενώ οι εγκαταστάσεις δικτύου DAS μπορεί να έχουν νόημα με τη σημερινή τεχνολογία, αυτό θα μπορούσε να αλλάξει στο εγγύς μέλλον.

Για μικρότερους χώρους, τα μικρά δίκτυα κινητής smallcells έχουν σίγουρα ένα πλεονέκτημα κόστους έναντι ενός δικτύου DAS απλά επειδή χρειάζονται λιγότερη εγκατάσταση καλωδίων και πομπών RF. Λόγω των μειωμένων απαιτήσεων υποδομής, τα μικρά δίκτυα κινητής μπορούν επίσης να αναπτυχθούν με πολύ ταχύτερο ρυθμό από τις λύσεις τύπου δικτύου DAS. Αυτό επιτρέπει στους παρόχους κινητής μεγαλύτερη ευελιξία όταν επιχειρούν να επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου τους προκειμένου να καλύψουν τις αυξανόμενες απαιτήσεις των πελατών τους.

Οι λύσεις δικτύου DAS θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν ρόλο στην προσπάθεια επέκτασης της συνδεσιμότητας του δικτύου στις Ηνωμένες Πολιτείες για το άμεσο μέλλον. Ωστόσο, ο ρόλος τους σε μικρότερους εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους ενδέχεται να μειωθεί καθώς η τεχνολογία των μικρών δικτύων κινητής smallcells συνεχίζει να ωριμάζει.

Για μεγαλύτερους χώρους, οι λύσεις δικτύου τύπου DAS θα συνεχίσουν να παρέχουν κλιμακούμενη αποδοτικότητα δικτύου για πολλαπλές ζώνες και φορείς. Εάν το κόστος ενός δικτύου DAS δεν αποτελεί παράγοντα, τότε είναι πιθανό οι πάροχοι κινητής να συνεχίσουν να επιλέγουν αυτά τα συστήματα για την παροχή αξιόπιστης σύνδεσης

στο διαδίκτυο για μεγάλες ομάδες ατόμων που βρίσκονται σε μικρή γεωγραφική θέση.

## **4.5. Ο ρόλος του DAS στα 5G**

Έχει ήδη αναλυθεί πώς τα δίκτυα 5G θα αυξήσουν τον αριθμό των κεραιών μέσα και γύρω από τις πόλεις, και τους κοινόχρηστους χώρους μας. Η οικοδόμηση της υποδομής για την υποστήριξη της 5G θα παρουσιάσει προκλήσεις τόσο για τους φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων όσο και για τους δήμους που εξυπηρετούν. Στα επόμενα θα φανεί το πώς τα Κατανεμημένα Συστήματα Κεραίας (ή DAS), τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις και να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της 5G.

Καθώς οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων αναπτύσσουν το 5G δίκτυο τους, ο αριθμός των απαιτούμενων κεραιών θα δημιουργήσει αισθητικές ανησυχίες και θα αυξήσει τις διαταραχές που προκαλούνται από την κατασκευή τους στην τοποθεσία. Εδώ μπορεί να βοηθήσει το DAS.

Το DAS αποτελεί το πρότυπο για την ανάπτυξη πολλαπλών φορέων εκμετάλλευσης κινητών δικτύων σε μια κοινή τοποθεσία για 15+ χρόνια. Το DAS επιτρέπει να μοιράζονται τη κοινή υποδομή δικτύου και κεραιών όλοι οι φορείς εκμετάλλευσης, πράγμα που σημαίνει ότι μία κεραία σε μια DAS παρέχει σήματα για όλους τους φορείς εκμετάλλευσης.

Τα οφέλη αυτής της έννοιας και οι επιπτώσεις για την 5G είναι εύκολο να αναγνωριστούν. Χωρίς τη χρήση DAS, εάν η Verizon, η AT & T, η T-Mobile και η Sprint επιθυμούν να αναπτύξουν τα δικά τους δίκτυα, κάθε φορέας εκμετάλλευσης θα πρέπει να εγκαταστήσει τα δικά του καλώδια, υλικό και κεραίες. Η ποσότητα του εξοπλισμού και η ενόχληση που προκαλεί αυτό πολλαπλασιάζεται επί τέσσερα. Οι περισσότεροι άνθρωποι δεν παρατηρούν ποτέ μια ενιαία κεραία DAS, αλλά αν τέσσερις ή περισσότερες ήταν συγκεντρωμένες κοντά η μία στην άλλη, θα ήταν δύσκολο να μην παρατηρηθούν.

Επειδή το DAS μπορεί να χειρίζεται πολλαπλούς χειριστές σε ένα ενιαίο σύστημα, μειώνει επίσης το ποσό της υποδομής που χρειάζεται να σχεδιαστεί, να διαχειριστεί, να εγκατασταθεί και να συντηρηθεί. Τα οφέλη από την εγκατάσταση ενός συστήματος έναντι πολλαπλών συστημάτων ελαχιστοποιούν το μέγεθος της διατάραξης των ανθρώπων και της υπάρχουσας υποδομής σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Με την εισαγωγή της 5G, κάθε φορέας εκμετάλλευσης κινητού δικτύου θα υποβάλλει αιτήματα για εγκατάσταση καλωδίου οπτικών ινών, σταθμών ηλεκτρικής ισχύος, κεραίων κλπ. Μόνο ο αριθμός των κεραίων θα μπορούσε να αυξηθεί κατά 10 – 50 φορές. Εάν οι τοποθεσίες κινητής cellsites προκαλούν ανησυχίες, μπορεί κανείς να φανταστεί την επίδραση του να βλέπει τον εξοπλισμό επικοινωνίας να καλύπτει τους περισσότερους στύλους.

Οι δήμοι θα αντιμετωπίσουν ένα σύνολο αιτημάτων από φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων. Αλλά με την υιοθέτηση υπαίθριου DAS (oDAS), οι δήμοι μπορούν να πάρουν τον έλεγχο της πυκνότητας δικτύου που απαιτείται για δίκτυα 5G. Όχι μόνο μπορεί το oDAS να παρέχει μια κοινή κεραία για όλους τους χειριστές, αλλά μπορεί να αναπτυχθεί μία

φορά και οι κεραιές μπορούν να καλυφθούν για να συμμορφωθούν με τις τοπικές αισθητικές απαιτήσεις.

Αντί ο κάθε φορέας να αναπτύσσει παράλληλα δίκτυα, το oDAS σημαίνει ότι μπορεί ένα ενιαίο δίκτυο να αναπτυχθεί και να γίνει η διαχείριση του. Δεν θα απαιτείται από τους φορείς εκμετάλλευσης να αναπτύξουν τον εξοπλισμό τους σε όλες τις τοποθεσίες του oDAS. Θα χρειαζόταν απλώς να αναπτύξουν τα στοιχεία του δικτύου τους σε μια κοινή τοποθεσία. Το oDAS χειρίζεται τη διανομή αυτών των σημάτων σε κάθε κόμβο του δικτύου.

Ένα νέο φάσμα θα δημοπρατηθεί για τα δίκτυα 5G στην περιοχή των 24 - 100 GHz. Τα απλά μαθηματικά και οι νόμοι της φυσικής δείχνουν ότι όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι τα σήματα 5G δεν θα μεταφέρονται τόσο μακριά και δεν θα διεισδύουν σε κτίρια στον ίδιο βαθμό με τα σημερινά δίκτυα 4G που αναπτύσσονται σε χαμηλότερες συχνότητες. Επομένως, θα απαιτηθούν τα δίκτυα DAS (iDAS) εσωτερικών χώρων για λειτουργία δικτύων 5G σε εσωτερικούς χώρους.

Παρόμοια με το εξωτερικό περιβάλλον, το iDAS αποτελεί την κατάλληλη λύση για την επίλυση της πρόκλησης των 5G δικτύων, καθώς επιτρέπει σε όλους τους φορείς εκμετάλλευσης να λειτουργούν σε ένα ενιαίο σύστημα. Το iDAS χρησιμοποιείται ήδη εκτεταμένα σε εσωτερικούς χώρους για την ενίσχυση του εξωτερικού δικτύου. Καθώς τα δίκτυα 5G αρχίζουν να χρησιμοποιούν αυτές τις νέες συχνότητες και καθώς οι φορείς κινητής τηλεφωνίας αυξάνουν την χωρητικότητα του δικτύου τους, η σημασία του iDAS θα συνεχίσει να αυξάνεται.

Η μεγαλύτερη αξία του DAS, είτε χρησιμοποιείται σε εσωτερικούς είτε εξωτερικούς χώρους, είναι η ικανότητα να ελέγχει ο καθένας τις λήψεις του. Η πόλη, και το ακίνητό είναι πολύτιμα για τον καθένα και θέλει να τα κρατήσει έτσι. Αυτή την εποχή είναι πολύ σημαντικό να διασφαλίζεται ότι οι κινητές συσκευές έχουν συνδεσιμότητα σε οποιοδήποτε περιβάλλον είναι σημαντικό. Εξίσου σημαντική είναι η διατήρηση του περιβάλλοντός μας χωρίς ακαταστασία και διακοπή των κατασκευών.

### **Πώς το 5G θα μπορούσε να ελαττώσει τη χρήση των Κατανεμημένων συστημάτων κεραίας (DAS)**

- Το DAS θα αντιμετωπίσει απότομα εμπόδια στην εξέλιξη του στην εποχή των 5G.
- Οι προμηθευτές διανεμημένων λύσεων RAN για μικρές επιχειρήσεις κινητών, που κάποτε ήταν ικανοποιημένοι στο να στοχεύουν την down-market από τη DAS, στοχεύουν όλο και περισσότερο να ανταγωνίζονται απευθείας το DAS, εκμεταλλευόμενοι τα τρωτά σημεία της DAS στην τεχνολογία 5G.
- Εντούτοις, είναι πιθανό να χρειαστεί χρόνια για να υπάρξει επίδραση οποιαδήποτε απειλής που τίθεται στη DAS από την τεχνολογία 5G, κάτι που αυξάνει τη μακροπρόθεσμη αβεβαιότητα γύρω από αυτές τις τάσεις.

Η 5G - στις πρώτες υλοποιήσεις της, τουλάχιστον με στόχο την κινητή ευρυζωνική σύνδεση και όχι το Ίντερνετ των πραγμάτων (IoT) - είναι περισσότερο εξέλιξη από επανάσταση, ενισχύοντας τις ταχύτητες που ήδη αυξάνονταν σταθερά μέσω των προόδων της τεχνολογίας LTE.

Αλλά σε ένα τουλάχιστον βαθμό, ακόμη και η κινητή ευρυζωνικότητα 5G υπόσχεται να κάνει κάτι πραγματικά διασπαστικό: Θα μπορούσε να σημάνει την κατάρρευση της DAS.

Κάποιες εκτιμήσεις κατέστησαν την παγκόσμια αγορά DAS πολύ μεγαλύτερη των 6 δισεκατομμυρίων δολαρίων ετησίως. Σε οποιοδήποτε στάδιο, νοσοκομείο, εμπορικό κέντρο ή κατάστημα big-box για την πραγματοποίηση μιας κλήσης μέσω κινητού τηλεφώνου. οι πιθανότητες είναι ότι κάποιος χρησιμοποιεί ένα DAS, ένα δίκτυο ουδέτερων μεταφορέων που διανέμει τα σήματα πολλών φορέων που χρησιμοποιούν κοινές κεραίες και άλλα εργαλεία έτσι ώστε κάθε φορέας εκμετάλλευσης να μην χρειάζεται δικό του χωριστό δίκτυο εντός του κτιρίου.

Το 2013, όταν οι μεγάλοι προμηθευτές RAN ανακάλυψαν νέες λύσεις μικρής κινητής, για επιχειρήσεις με κατανεμημένες αρχιτεκτονικές, οι οποίες θυμίζουν DAS, αυτοί στόχευαν κυρίως ένα τμήμα της αγοράς που ήταν κυρίως εφαιπτόμενο στο DAS. Το σύστημα ραδιοφωνικών σημείων της Ericsson και το LampSite της Huawei στοχεύουν σε μια αδιάκοπη "μεσαία" αγορά στον επιχειρηματικό χώρο. Οι χώροι μικρών επιχειρήσεων που χρειάζονταν καλύτερη εσωτερική κάλυψη κινητών θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν από αυτόνομα μικρά δίκτυα κινητής (picocells με βάση, ραδιόφωνο και κεραία όλα σε ένα κιβώτιο). Οι μεγάλες επιχειρήσεις είχαν ήδη εξυπηρετηθεί πολύ συχνά από τη DAS. Ωστόσο, δεν ήταν οικονομικά αποδοτικό να αναπτυχθούν είτε picocells είτε DAS σε μεσαίες επιχειρήσεις. Το υψηλό τμήμα της αγοράς επιχειρήσεων θεωρήθηκε ευρέως ότι παραμένει ασφαλής επαρχία της DAS.

Σήμερα, όμως, η Ericsson και η Huawei δεν είναι πλέον ικανοποιημένες με ακριβώς αυτό το παραμελημένο μεσαίο έδαφος. Τώρα

στοχεύουν όλη την αγορά DAS, συμπεριλαμβανομένων των μεγαλύτερων επιχειρηματικών χώρων, και σκέπτονται την μέρα που το DAS θα είναι παρελθόν. Αν και αυτή η προσπάθεια συμβαίνει εδώ και αρκετό καιρό (π.χ. η Huawei προωθεί πιο άμεσο ανταγωνισμό στο DAS το 2014), η 5G τροφοδοτεί ένα πιο επιθετικό επίπεδο ανταγωνισμού.

«Θα αντικαταστήσουμε πλήρως το DAS», ένας εκπρόσωπος της Huawei είπε πρόσφατα. "η 5G είναι το τέλος της DAS."

Το σκεπτικό πίσω από αυτή την εκπληκτική φιλοδοξία είναι ότι το DAS θα δυσκολευτεί να εξελιχθεί σε 5G, για πολλούς λόγους, όπως:

- **Υψηλές συχνότητες.** Η "Βέλτιστη" 5G θα χρησιμοποιήσει ένα μείγμα ζωνών χαμηλής, μέσης και υψηλής συχνότητας, αλλά αυτές οι ζώνες υψηλής συχνότητας (π.χ. χιλιοστά κύματος) θα είναι δύσκολο για το DAS - παθητικό DAS ειδικότερα (που χρησιμοποιεί στοιχεία χωρίς ενεργά ηλεκτρονικά).
- **MIMO.** Ακόμα και το ενεργό DAS (με ενεργά ηλεκτρονικά εξαρτήματα) θα αντιμετωπίσει εμπόδια επειδή η μετάβαση σε 5G θα απαιτήσει υψηλότερες συστοιχίες κεραιάς - π.χ. 4T4R - που θα μπορούσε να είναι δύσκολη ή απαγορευτικά δαπανηρή για DAS. Και χωρίς τις υψηλότερες εντολές του MIMO, η μορφοποίηση δέσμης - ένα συνονθύλευμα συζητήσεων 5G - δεν είναι δυνατή.
- **Value-Adds.** Με την πάροδο του χρόνου, η δυνατότητα εναπόθεσης υπηρεσιών πάνω από τα δίκτυα 5G, από το IoT έως τις υπηρεσίες που βασίζονται σε αναλύσεις, είναι κάτι το οποίο δεν έχει σχεδιαστεί να κάνει η παραδοσιακή DAS.



Μερικοί πάροχοι DAS έχουν λάβει υπόψη την απειλή από τη μικρή κινητή εδώ και αρκετό καιρό - κίνηση που τους τοποθετεί σε καλή θέση λαμβάνοντας υπόψη την επιδείνωση της απειλής προς τα DAS που θέτει η 5G, ακόμα κι αν δεν είχαν απαραίτητα προκληθεί από αυτήν την απειλή. Για παράδειγμα:

- Η CommScope, ένας σημαντικός πάροχος DAS, εξαγόρασε την επιχείρηση Airvana πωλητής μικρών κινητών το 2015.
- Η Corning, η οποία έχει σημαντική επιχειρηματική δραστηριότητα DAS πέρα από τις ίνες και άλλα περιουσιακά στοιχεία, εξαγόρασε την επιχείρηση SpiderCloud τον περασμένο χρόνο.

Εν τω μεταξύ, οι πωλητές μικρών δικτύων κινητής έχουν κάνει αλλαγές στα χαρτοφυλάκιά τους που υποστηρίζουν πιο επιθετικό ανταγωνισμό με τη DAS:

- Η Huawei εισήγαγε μια νέα έκδοση της LampSite enterprise RAN λύσης, LampSite Sharing, η οποία μπορεί να δεχθεί εισόδους CPRI ή RF, επιτρέποντάς της να συνεργάζεται με τα εργαλεία των άλλων πωλητών και να λειτουργεί περισσότερο σαν DAS.
- Η Ericsson εισήγαγε μια έκδοση πολλαπλών χειριστών του Radio Dot συστήματος τον Αύγουστο του 2017 και ένα 5G Dot τον Ιανουάριο του 2018.

Ενώ όλα αυτά λέγονται, ανεξάρτητα από τις προκλήσεις που θέτει η 5G για την DAS, θα χρειαστούν χρόνια για να δημιουργήσουν κάποιο αντίκτυπο. Οι ανάγκες σε 3G και 4G πρόκειται να παραμείνουν για κάποιο χρονικό διάστημα (ιδιαίτερα δεδομένης της αρχικής εξάρτησης της 5G από την 4G), προλαμβάνοντας τη διάλυση της DAS. Και μέχρι στιγμής, υπήρξε ένα δύσκολο σλόγκαν για λύσεις μικρών δικτύων κινητής

που προσπαθούν να διεισδύσουν σε περιβάλλοντα επιχειρήσεων (χάρη, για παράδειγμα, στα εμπόδια των μοντέλων επιχειρήσεων και της δεσπόζουσας θέσης του WiFi), οι περισσότερες από τις οποίες μέχρι πρόσφατα δεν προσφέρουν υποστήριξη πολλαπλών φορέων - αν και καθόλου. Και η υποστήριξη πολλαπλών χειριστών, φυσικά, θα είναι το κλειδί στην εκτόπιση της DAS. Ομοίως, θα χρειαστεί χρόνος για να αυξηθεί η ζήτηση για 5G σε περιβάλλοντα επιχειρήσεων. Και όσο περισσότερο διαρκεί η εξέλιξη αυτών των τάσεων, τόσο λιγότερο προβλέψιμη μπορεί να είναι.

## 5. Τεχνο-οικονομική Σύγκριση των MIMO και DAS μοντέλων στα 5G Δίκτυα. [6], [7]

### 5.1. Εισαγωγή στο MIMO και DAS για τα 5G Δίκτυα

#### 5.1.1. Πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO)

Η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO) θεωρείται ότι είναι η βασική τεχνολογία που καθιστά δυνατή την Πέμπτη γενιά των κινητών δικτύων. Διάφορες κεραιές υπάρχουν στις πλευρές του πομπού και του δέκτη που συμβάλλουν στην καλύτερη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ της πηγής και του προορισμού και στη συνολική βελτιστοποίηση της επικοινωνίας στο δίκτυο. Η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO) έχει εμφανιστεί από την Τρίτη γενιά των κινητών δικτύων. Σήμερα εξελιγμένες τεχνολογικές προσεγγίσεις, όπως η τεχνολογία έξυπνης κεραιάς, χρησιμοποιούνται για την διαφοροποίησή της, να ανταπόκριθούν και για να ικανοποιήσουν τις νέες απαιτήσεις που προκύπτουν από αυτές τις γενιές κινητών δικτύων.

Η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO) υπάρχει στην πλευρά των σταθμών βάσης (BS). Αρκετές κεραιές είναι δυνατό να υπάρχουν και στις δύο πλευρές ( πομπός, δέκτης) καλύπτοντας επαρκώς τόσο την πηγή όσο και τον προορισμό. Είναι δυνατό να υπάρχουν εναλλασόμενες ποσότητες κεραιών σε κάθε πλευρά. Ο συνήθης αριθμός κεραιών για πολλαπλή είσοδο και η πολλαπλή έξοδο (MIMO) είναι 4, 8, 16.

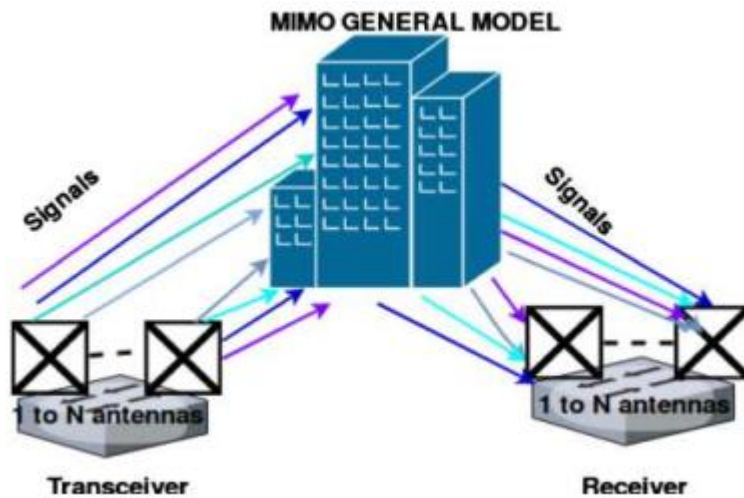
Η μαζική πολλαπλή είσοδος και πολλαπλή έξοδος (MIMO) πέμπτης γενιάς θέτει απαιτητικούς στόχους και ωθεί σε καινοτομίες. Υπό αυτούς τους όρους η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO) εναλλάσσεται στην κάλυψη των αυξημένων απαιτήσεων της πέμπτης

γενιάς με μία άλλη μορφή αυξημένου αριθμού κεραιών, που ονομάζεται μαζική πολλαπλή είσοδο και πολλαπλή έξοδο (MIMO). Για παράδειγμα, αν υπάρχουν περισσότερες από 64 κεραιές σε μία πλευρά του MIMO τότε αυτός ο τύπος της πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (MIMO) λέγεται μαζική MIMO. Ο συνηθισμένος αριθμός κεραιών για την μαζική πολλαπλή είσοδο και πολλαπλή έξοδο (massive MIMO) είναι : 64, 128, 256.

Η τεχνολογία πολλαπλών κεραιών (MIMO) έχει να αντιμετωπίσει πολύ σημαντικά μειονεκτήματα, κυρίως την ανάγκη για την βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης, την ποσοτικοποίηση του αριθμού των bit και τα κόστη που απόρρρέουν από την πρόσθεση των κεραιών. Από την άλλη τα πιο ουσιαστικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών (MIMO) είναι :

- Αύξηση της κάλυψης
- Μείωση της καθυστέρησης
- Βελτίωση του ρυθμού δεδομένων

Σε αυτήν την εργασία υπάρχουν δύο διαφορετικά σενάρια που ακολουθούνται για την τεχνολογία πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων MIMO. Στο ένα, θεωρείται ότι εκεί υπάρχουν 2, 4, 8, 16 κεραιές σε κάθε πλευρά (πηγή, προορισμός). Αυτή η ανάλυση θεωρείται ότι είναι η ανάλυση για την περίπτωση MIMO. Επίσης υπάρχει η ανάλυση για 64, 128, 256, 512 κεραιών σε κάθε πλευρά η οποία είναι η ανάλυση για την περίπτωση μαζικής MIMO. Το σχήμα 1 δείχνει πως σχηματίζεται ένα μοντέλο MIMO. (συμπεριλαμβάνονται ο πομπός, ο δέκτης και ένας N αριθμός κεραιών και πολλά σήματα ανταλλάσσονται και στις δύο πλευρές.) για τις δύο περιπτώσεις η τεχνολογία MIMO είναι στην ζώνη χιλιοστομέτρων.



Εικόνα 1 - Βασικό μοντέλο MIMO

### 5.1.2. Σύστημα κατανεμημένης κεραίας DAS

Το σύστημα κατανεμημένης κεραίας DAS είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιεί έναν αριθμό κεραίων για να αυξήσει την κάλυψη ενός κτιρίου ή μίας περιοχής ισοδύναμης με μία δομή μακροστοιχείου (macrocellular), για αυτόν τον λόγο υπάρχουν δύο τύποι συστήματος κατανεμημένης κεραίας DAS, κυρίως η εσωτερική και η εξωτερική, καλύπτοντας τις αντίστοιχες περιοχές. Το σύστημα κατανεμημένης κεραίας DAS περιλαμβάνει έναν αριθμό κεραίων στην βασική του δομή, οι οποίες είναι συνδεδεμένες με κάποιο μέσο π.χ. οπτικές ίνες, ομοαξονικό καλώδιο κ.α. Όταν συνδυάζεται με άλλες ασύρματες τεχνολογίες π.χ. 802.11 μπορεί να βοηθήσει στην ενίσχυση της απόδοτικότητας του δικτύου.

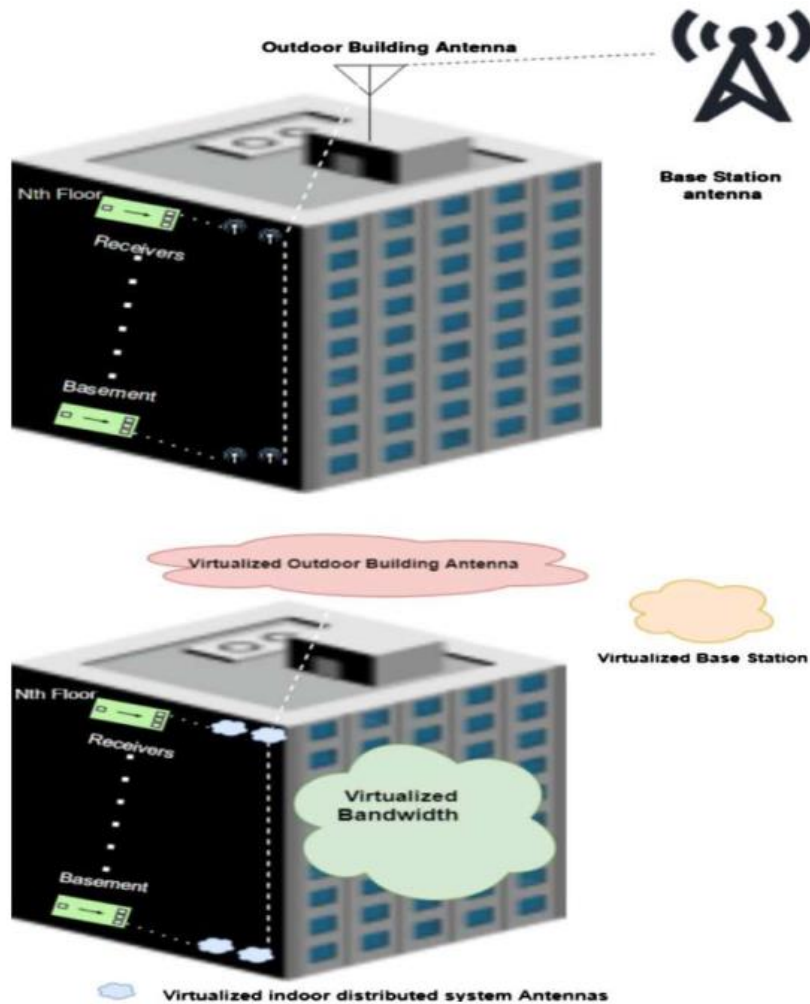
Στην βασική του δομή υπάρχουν δύο κεραίες, μία για την μετάδοση και μία για την λήψη. Εξοπλισμός βοηθά τα ράδιο σήματα να μεταδίδονται σωστά. Πολλοί τροφοδότες και πομποί συνήθως προσθέτονται στην δομή. Όλα τα προαναφερθέντα μέρη αποτελούν το

σύστημα κατανομής (DS). Υπάρχουν επίσης σταθμοί βάσης (BS) που προστίθενται στην υποδομή. Για ένα μικρό κτίριο δύο κεραίες ανά όροφο επαρκούν για την κάλυψη του κτιρίου. Για μεγαλύτερα και πιο υπερπληθυσμικά μέρη προστίθενται αρκετές κεραίες.

Από την άλλη, η χρησιμοποίηση της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV) μπορεί να συμβάλλει στην αντικατάσταση κάποιου εξοπλισμού π.χ. σταθμών βάσης και κεραίων με τα αντίστοιχα εικονικά. Επιπλέον, υπάρχουν τεχνικές που θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην εικονικοποίηση του αναγκαίου εύρους ζώνης η οποία θα βοηθήσει στην βελτίωση της ανακατανομής του εύρους ζώνης και στην εκμετάλλευση όλων των διαθέσιμων ζωνών συχνοτήτων.

Το σχήμα 2 δείχνει τα δύο ανπτυγμένα μοντέλα για την υποδομή της λύσης με το σύστημα κατανεμημένης κεραίας DAS. Στην αρχιτεκτονική DAS υπάρχουν  $N$  επίπεδα σε ένα κτίριο, αρκετές κεραίες σε κάθε όροφο οι οποίες είναι διασυνδεδεμένες. Οι κεραίες επικοινωνούν μεταξύ τους και με την κεραία στην οροφή του κτιρίου η οποία εκτελεί την επικοινωνία με την κεραία του σταθμού μετάδοσης. Υπάρχουν αρκετές συσκευές (δέκτες, πομποί) που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του σήματος μετάδοσης. Η συνολική αρχιτεκτονική είναι παρόμοια με αυτή του απλού συστήματος κατανεμημένης κεραίας DAS αλλά οι κεραίες (εσωτερικές και εξωτερικές) καθώς επίσης και οι σταθμοί βάσης και το εύρος ζώνης είναι εικονικά εξαρτήματα.

Το σύστημα κατανεμημένης κεραίας DAS φαίνεται να έχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως η καλύτερη κάλυψη, επεκτασιμότητα και αυξημένη χωρητικότητα δικτύου. Αντιθέτως, φαίνεται ότι περιλαμβάνει και μερικά μειονεκτήματα, το πιο ουσιαστικό από αυτά είναι τα υψηλά λειτουργικά κόστη λόγω του μεγάλου αριθμού των κεραίων.



Εικόνα 2 - Τα μοντέλα του συστήματος κατανεμημένης κεραίας DAS

## 5.2. Σύγκριση

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει την βασική σύγκριση των πιο θεμελιωδών χαρακτηριστικών των διαφορετικών λύσεων αυτής της εργασίας. Όλες οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν υψηλά λειτουργικά κόστη, αλλά στο προτεινόμενο μοντέλο αυτά τα κόστη έχουν μειωθεί λόγω της εικονικής

λειτουργίας δικτύου (NFV). Επιπλέον όλες οι τεχνολογίες είναι κλιμακωτές αφού μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν κεραιές από την αρχιτεκτονική. Αυτά είναι μοντέλα υψηλής απόδοσης και κάλυψης. Μπορούν να συνδυαστούν εύκολα με άλλες τεχνολογίες αφού είναι συμβατά με τις περισσότερες ασύρματες ή και κινητές λύσεις, δημιουργώντας έτσι ετερογενής δομές. Όλα περιλαμβάνουν υψηλής συχνότητας ζώνες οι οποίες ποικίλουν λίγο από την μία τεχνολογία στην άλλη. Η υψηλότερη διεπαφή είναι στην περίπτωση της μαζικής MIMO, καθώς αυτή περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό κεραιών οι οποίες είναι σε κοντινή απόσταση. Παρόλο που η χρησιμοποίηση του συστήματος κατανεμημένης κεραιάς DAS περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό κεραιών αυτές είναι διασκορπισμένες στην περιοχή της κάλυψης, για αυτό και η διεπαφή δεν φτάνει σε τέτοια επίπεδα.

Πίνακας 1 - Σύγκριση βασικών χαρακτηριστικών των μοντέλων MIMO και DAS

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΛΥΣΕΙΣ			
	DAS	ΤΡΟΠΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟ DAS	MIMO	ΜΑΖΙΚΗ MIMO
ΚΟΣΤΟΣ	Υψηλά λειτουργικά	Μειωμένα λειτουργικά	Υψηλά λειτουργικά	Υψηλά κεφαλαιακά και λειτουργικά
ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ	✓	✓	✓	✓
ΥΨΗΛΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	✓	✓	✓	✓
ΥΨΗΛΗ ΚΑΛΥΨΗ	✓	✓		✓
ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	✓	✓	✓	✓
ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ	Ghz ζώνη συχνοτήτων	Ghz ζώνη συχνοτήτων	Ghz ζώνη συχνοτήτων	Ghz ζώνη συχνοτήτων



ΥΨΗΛΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ				✓
ΕΜΦΑΝΙΣΗ	1980's		1970's	2010's
ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ	1990's	-	2000's	2020's (?)

Η ανάλυση δυνατοτήτων, αδυναμιών, ευκαιριών και απειλών (Strengths Weaknesses Opportunities and Threats ,SWOT) είναι η τεχνική που βοηθά στον εντοπισμό του πως αρκετοί εσωτερικοί και εξωτερικοί παράγοντες μπορεί να είναι είτε βοηθητικοί είτε επιβλαβείς στην επίτευξη ενός στόχου ή στην προώθηση ενός προϊόντος. Οι δυνατότητες και οι αδυναμίες είναι επίσης ωφέλιμες γιατί απορρέουν από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες. Οι αδυναμίες και οι απειλές είναι και οι δύο επιβλαβείς γιατί απορρέουν από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες.

Στο επόμενο τμήμα, η ανάλυση SWOT αναφέρει τις δυνατότητες, αδυναμίες, ευκαιρίες και απειλές που προκύπτουν από την υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών. Παρόλο που και οι δύο τεχνολογίες φαίνεται να έχουν αρκετά δυνατά σημεία ειδικά στην εκτέλεση και στην απόδοση παρουσιάζουν αρκετές αδυναμίες όπως το θέμα των παρεμβολών. Επιπλέον, οι πάροχοι (εξωτερικός παράγοντας) μπορεί να μην εμπιστεύονται να επενδύσουν σε νέες λύσεις, αλλά από την άλλη η έλευση της πέμπτης γενιάς είναι επικείμενη και οι εταιρίες δεν θα θέλουν να έχουν παρωχημένο εξοπλισμό.

*Πίνακας 2 -Ανάλυση SWOT για τις δυνατότητες, και τις απειλές που προκύπτουν από την υιοθέτηση των τεχνολογιών MIMO και DAS*

	ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ	ΕΠΙΒΛΑΒΕΙΣ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	1. Η τεχνολογία πολλαπλών	1. Και οι δύο έχουν υψηλά λειτουργικά

	<p>εισόδων και πολλαπλών εξόδων MIMO και το σύστημα κατανεμημένης κεραίας DAS είναι ιδανικές λύσεις για ασύρματα και κινητά δίκτυα.</p> <p>2. Και οι δύο είναι κλιμακωτές τεχνολογίες (κεραίες μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν).</p> <p>3. Είναι συμβατές η μία με την άλλη αλλά και με άλλες λύσεις επίσης.</p> <p>4. Μπορούν να συνδυαστούν η μία με την άλλη αλλά και με άλλες λύσεις επίσης.</p> <p>5. Προσφέρουν μηχανισμούς που αυξάνουν</p>	<p>κόστη (εύρος μετάδοσης BW, εξοπλισμός, backhawling, κτλ.</p> <p>2. Απαιτούν εξοπλισμό ή και τροποποιήσεις για να προσαρμοστούν στην Πέμπτη γενιά.</p> <p>3. Θέματα παρεμβολών που οφείλονται στις εσωτερικές κεραίες δεν έχουν επιλυθεί τελείως.</p> <p>4. Πλήρως πράσινη ενέργεια στην αρχιτεκτονική του δικτύου δεν έχει επιτευχθεί.</p> <p>5. Μεγάλες υποδομές προκαλούν μεγάλα κόστη για την δημιουργία τους.</p>
--	--	--

	την διαθεσιμότητα των πηγών δικτύου.	
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Η έλευση της πέμπτης γενιάς.</li> <li>2. Οι συμβατικές τεχνολογίες δεν πληρούν τις προϋποθέσεις τις πέμπτης γενιάς για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η έρευνα σε αυτόν τον τομέα που παρουσιάζεται ως ευκαιρία.</li> <li>3. Καινοτόμες υπηρεσίες και προϊόντα είναι συνδεδεμένα με την Πέμπτη γενιά.</li> <li>4. Τα δίκτυα της πέμπτης γενιάς θα είναι πολύ διαφορετικά από τα σημερινά για αυτόν τον λόγο πιο</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Οι πάροχοι χρειάζεται να επενδύσουν σε νέα προϊόντα / εξοπλισμό κ.α.</li> <li>2. Δυσπιστία από τους παρόχους για την απόδοση της επένδυσής τους όσον αφορά τα κέρδη.</li> <li>3. Δυσπιστία στους παρόχους για τα ωφέλη στην απόδοτικότητα που θα έχουν σε σχέση με το κόστος</li> <li>4. Προηγούμενες επενδύσεις σε τεχνολογίες δεν ήταν ανταπόδοτικές (π.χ. LTE – A)</li> </ol>

	<p>σύνθετες, αλληλένδετες και ετερογενής λύσεις απαιτούνται.</p>	
--	--	--

### 5.3. Ανάλυση Κόστους

Το συνολικό κόστος υιοθέτησης μίας λύσης μπορεί να χωριστεί σε δύο κύριες κατηγορίες:

- ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ (CAPEX) που πληρώνεται κατά την διάρκεια της επένδυσης σε νέα τεχνολογία. Περιλαμβάνει τα κόστη για την απόκτηση εξοπλισμού, τα κόστη εγκατάστασης και εφαρμογής και όλα τα κόστη που είναι σχετικά με τα εξαρτήματα που χρειάζονται να προστεθούν έτσι ώστε το σύστημα να δημιουργηθεί από την αρχή.
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ (OPEX) που περιλαμβάνουν τα κόστη της καθημερινής λειτουργίας και συντονισμού του συστήματος. Αρκετά έξοδα όπως η ενοικίαση του εύρους ζώνης, η κατανάλωση ρεύματος, οι δραστηριότητες συντήρησης κ.α. πρέπει να συμπεριληφθούν σε αυτήν την κατηγορία.

Τα δύο είδη κόστους είναι πολύ διαφορετικά και για αυτόν τον λόγο είναι δύσκολο να υπολογιστεί το πραγματικό κόστος της κάθε κατηγορίας. Επίσης υπάρχουν και μερικά άλλα σημαντικά ζητήματα που πρέπει να συνυπολογιστούν για παράδειγμα πόσο θα στοιχίζει κάθε συστατικό του δικτύου σε 2 – 5 χρόνια ;

Τα έξοδα κεφαλαίου και τα λειτουργικά έξοδα πληρώνονται σε ετήσια βάση και αποτελούν μία μορφή δανείου. Το κυρίως ποσό του εξόδου αποπληρώνεται ετήσια έτσι ο παράγοντας της επαναλαμβανόμενης αποπληρωμής μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη των εξόδων για τα επόμενα χρόνια. Αυτό είναι χρήσιμο για το κόστος κεφαλαίου, το λειτουργικό κόστος και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO) αφού αποτελεί έναν τρόπο πρόβλεψης των ποσών που θα πρέπει να πληρώνονται σε ετήσια βάση.

Η εξίσωση για την επαναλαμβανόμενη πληρωμή είναι τέτοια έτσι ώστε να συνυπολογίζεται η υπόθεση της απόκτησης δανείου. Θεωρώντας ένα κύριο ποσό  $p$ , το ποσό αυτό θα πρέπει να δίνεται κάθε χρόνο. Έτσι το έξοδο θα δίνεται από:

$$A = P \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (1)$$

Όπου το  $r$  είναι ο περιοδικός τόκος και το  $n$  τα χρόνια των πληρωμών δηλαδή η διάρκεια των δόσεων σε χρόνια. [8]

### 5.3.1 MIMO

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO) του MIMO μπορεί να χωριστεί σε δύο διαφορετικές κατηγορίες, το κόστος κεφαλαίου CAPEX και το λειτουργικό κόστος OPEX.

#### ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Το  $C_{Enb}$  είναι το κόστος των σταθμών βάσης (BS) και το  $C_{EPC}$  είναι το κόστος για τον εξελεγμένο πυρήνα πακέτων (EPC), τότε το κόστος για ένα σταθμό μετάδοσης θα δίνεται από:  $C_{Enb} + C_{EPC}$ . Δεδομένου ότι το δίκτυο έχει αριθμό  $B$  σταθμών βάσης, BS, τότε το συνολικό κόστος για όλους τους σταθμούς βάσης (BS) θα είναι:  $B(C_{Enb} + C_{EPC})$ . Επιπλέον στην περίπτωση του MIMO οι κεραιές συνδέονται στην πλευρά της πηγής και στην πλευρά

του προορισμού . έτσι αυτός ο αριθμός θα πρέπει να συνυπολογίζεται. Υποθέτωντας ότι διαφορετικός αριθμός κεραιών προστίθονται σε κάθε πλευρά τότε το  $M_s$  και το  $M_d$  είναι ο αριθμός των κεραιών για την πηγή και για τον προορισμό αντίστοιχα, και το συνολικό κόστος του σταθμού βάσης (BS) με εξοπλισμό MIMO, κυρίως το κόστος κεφαλαίου CAPEX θα είναι χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1) :

$$C_{MIMO}^{CX} = B(C_{eNB} + C_{EPC})(M_s + M_d) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (2)$$

Όπου το  $C_{MIMO}^{CX}$  είναι το ετήσιο συνολικό κόστος κεφαλαίου CAPEX και  $n$  είναι το σχέδιο δόσεων σε χρόνια

#### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ

Τα κόστη λειτουργίας του συστήματος: καθημερινή διαχείριση, κατανάλωση ενέργειας κ.τ.λ. συμπεριλαμβάνονται στο  $C_{run}$ . Τα κόστη Back-hauling συμπεριλαμβάνονται στο  $C_{bh}$  . έτσι αν υπάρχει αριθμός σταθμών βάσης  $B$  (BS) το κόστος διαμορφώνεται σε :  $B(C_{run} + C_{bh})$  . Δεδομένου ότι υπάρχουν  $M_s$  και  $M_d$  κεραιές για την πηγή και τον προορισμό αντίστοιχα τότε :  $B ( C_{run} + C_{bh} ) (M_s + M_d)$  .

Το  $C_{st}$  περιλαμβάνει τα κόστη της τοποθεσίας, λειτουργίας και υποστήριξης. Υπάρχει αριθμός  $B$  σταθμών βάσης οπότε το  $BC_{st}$  αντιπροσωπεύει αυτό το ποσό. Το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο προς χρήση αντιπροσωπεύεται από το  $BW$  και πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή  $f_{bw}$  που αντιπροσωπεύει το κόστος μίσθωσης του εύρους ζώνης και άλλες υποστηρικτικές δραστηριότητες.

Έτσι, το συνολικό λειτουργικό κόστος OPEX για το MIMO είναι :

$$C_{MIMO}^{OX} = (M_s + M_d) \left[ B(c_{run} + c_{bh})(C_{eNB} + C_{EPC}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + Bc_{st} + f_{BW}BW \right] \quad (3)$$

### ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ ( TCO )

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ( TCO ) δίνεται προσθέτοντας το κόστος κεφαλαίου CAPEX και το λειτουργικό κόστος OPEX, έτσι :

$$C_{MIMO}^{TCO} = B(C_{eNB} + C_{EPC})(M_s + M_d) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + (M_s + M_d) \left[ B(c_{run} + c_{bh})(C_{eNB} + C_{EPC}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + Bc_{st} + f_{BW}BW \right] \quad (4)$$

Όπου  $i$  είναι ο τόκος και  $n$  είναι η διάρκεια του σχεδίου δόσεων σε χρόνια.

### 5.3.2 DAS

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ( TCO ) του συστήματος κατανεμημένης κεραίας DAS μπορεί επίσης να χωριστεί σε κόστος κεφαλαίου CAPEX και σε λειτουργικό κόστος OPEX.

#### ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ (CAPEX)

Τα κόστη του σταθμού βάσης (BS) είναι τμήμα του CAPEX. Τα κόστη του σταθμού βάσης του συστήματος κατανεμημένης κεραίας DAS ( DASBScosts) δίνονται από την εξίσωση :  $C_{eNB} + C_{EPC}$  ,  $C_{eNB}$  και  $C_{EPC}$  είναι τα κόστη για eNB και EPC αντίστοιχα. Δεδομένου ότι υπάρχουν NBSs, τότε  $N(C_{eNB} + C_{EPC})$  . Ο σχηματισμός του κόστους προκύπτει από την εξίσωση (1), αφού τα χρήματα που δαπανήθηκαν για τον σταθμό βάσης είναι μια επαναλαμβανόμενη πληρωμή. Τα κόστη του σταθμού μετάδοσης θα είναι :

$$C_{BS}^{CX} = N(C_{eNB} + C_{EPC}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (5)$$

Όπου το  $i$  αναπαριστά τον τόκο και το  $n$  τα χρόνια του σχεδίου δόσεων.

Για το σύστημα κατανομής DASd κεραίες πρέπει να προστεθούν και πρέπει να πληρωθεί το κόστος  $C_{eq}$  για την απόκτηση του εξοπλισμού.

Έτσι :

$$C_{DASEQ}^{CX} = C_{eq}d \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (6)$$

Όπου  $C_{DASEQ}^{CX}$  είναι το ετήσιο συνολικό κόστος του DS εξοπλισμού CAPEX.

Εφαρμόζοντας το σύστημα δημιουργείται κόστος που αναπαρίσταται με την παράμετρο  $C_{inc}$  που περιλαμβάνει τα κόστη για τον συντονισμό του συστήματος. Το συνολικό CAPEX είναι το άθροισμα όλων των προηγούμενων ποσών και για αυτό τον λόγο είναι :

$$C_{DAS}^{CX} = (C_{eq}d + N(C_{eNB} + C_{EPC})) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + C_{inc} \quad (7)$$

Όπου το  $C_{DAS}^{CX}$  είναι το συνολικό DASCAPEx σε ετήσια βάση.

## OPEX

Τα κόστη λειτουργίας του συστήματος : καθημερινή διαχείριση, κατανάλωση ενέργειας κ.τ.λ. συμπεριλαμβάνονται στο  $C_{run}$ , τα κόστη back-hauling συμπεριλαμβάνονται στο  $C_{bh}$  έτσι, αν υπάρχουν  $N$  σταθμοί βάσης τα κόστη είναι:

$$C_{BSDAS}^{OX} = N(c_{run} + c_{bh})$$



Διατηρώντας το σύστημα προκαλούνται OPEX. Το  $C_{eq}$  είναι το κόστος για ένα σύστημα κατανομής,  $d$  είναι ο αριθμός των κεραίων και των κατανεμημένων συστημάτων σε ολόκληρο το κτίριο. Αυτό το κόστος OPEX δίνεται :

$$C_{DSDAS}^{OX} = C_{eq}d \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Το κόστος της κατανάλωσης ενέργειας για το σύστημα κατανομής DS αναπαρίσταται ως  $C_{pw}$ . Το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο για χρήση BW πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή  $F_{bw}$  που αναπαριστά τα κόστη για την μίσθωση του εύρους ζώνης για άλλες υποστηρικτικές δραστηριότητες. Έτσι το ετήσιο OPEX δίνεται από :

$$C_{DAS}^{OX} = N(c_{run} + c_{bh}) + f_{BW}BW + (f_{st} + C_{pw}C_{eq}d) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (8)$$

### ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ TCO

Το TCO είναι το άθροισμα από την εξίσωση (7) και (8) και δίνεται :

$$TCO_{DAS} = (N(C_{eNB} + C_{EPC}) + C_{eq}d(1 + C_{pw}) + f_{st}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + C_{inc} + N(c_{run} + c_{bh}) + f_{BW}BW \quad (9)$$

### 5.3.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Σε αυτό το τμήμα οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου επιλέγονται. Συγκεκριμένα οι παράμετροι ποικίλουν μέσα σε ένα συγκεκριμένο φάσμα δεδομένων. Η ανάλυση ευαισθησίας SA βασίζεται στο γεγονός ότι οι τιμές στο μέλλον μπορούν είτε να μειωθούν είτε να αυξηθούν. Υποστηρίζεται ότι  $\pm 50\%$  των αξιών που πρέπει να

πληρωθούν για τους παράγοντες κόστους σήμερα μπορεί να είναι οι τιμές στο μέλλον. Ίσως τεχνολογικά επιτεύγματα μπορούν να οδηγήσουν στην μείωση των τιμών για όλα τα συστατικά στοιχεία του δικτύου μέχρι και 50 %, αλλά από την άλλη μεριά, η οικονομική αστάθεια μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση των τιμών μέχρι 50 % επιπλέον. [9]

Η τεχνική οπτικοποίησης (virtualization technique) χρησιμοποιείται για την τροποποίηση του μοντέλου DAS. Θεωρείται ότι η τεχνική οπτικοποίησης μειώνει τις τιμές μεταξύ 20 % έως και 80 %. Για αυτόν τον λόγο για αυτό το μοντέλο οι τιμές επιλέγονται να εξαχθούν από τις αρχικές τροποποιημένες έτσι ώστε να ανήκουν σε αυτό το εύρος τιμών δεδομένων. Επιπλέον ελαχιστοποιώντας τα κόστη συγκεκριμένων παραμέτρων, π.χ. τα κόστη των σταθμών βάσης, έχουμε μείωση και σε άλλους τύπους κόστους, όπως η κατανάλωση ενέργειας, ή τα λειτουργικά και καθημερινά κόστη. Αυτό συμβαίνει επειδή λιγότερος εξοπλισμός σημαίνει λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και λιγότερες δραστηριότητες συντήρησης.

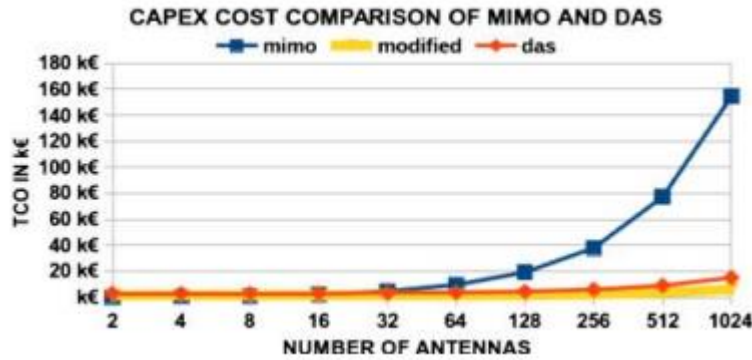
Ο πίνακας 2 δείχνει όλες τις παραμέτρους κόστους που επιλέγονται για το MIMO, μαζικό MIMO, DAS και το τροποποιημένο DAS. Οι παράμετροι, η περιγραφή τους, η σημερινή τους αξία και το εύρος τιμών δεδομένων συνοψίζονται. Για αυτόν τον λόγο θεωρείται ότι η επιλογή των παραμέτρων συμβάλλει στην πειραματική ανάλυση και υποδεικνύει ποιοι από τους παραμέτρους κόστους είναι οι πιο σημαντικοί για την δημιουργία του κόστους.

Συμπερασματικά, από τα αποτελέσματα της παραπάνω εργασίας προκύπτει ότι οι εναλλακτικοί παράγοντες δικτύου επηρεάζουν το συνολικό μοντέλο με διαφορετικό τρόπο. Για αυτόν τον λόγο είναι ζωτικής σημασίας να πραγματοποιείται η ανάλυση ευαισθησίας για τους πιο σημαντικούς παραμέτρους του μοντέλου έτσι ώστε να καθορίζεται

ποιοι παράμετροι έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στο κόστος και ποιοι πρέπει να εξαλειφθούν στο μέλλον. Επιπλέον, άλλοι παράμετροι λειτουργούν μεμονωμένα και για αυτόν τον λόγο επηρεάζουν τα συνολικά κόστη από μόνοι τους και άλλοι παράμετροι επηρεάζουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας όταν συνδυάζονται. Υπό αυτόν τον όρο ένας τρόπος που χρησιμοποιείται η ανάλυση ευαισθησίας είναι για να δείξει ποιοι παράμετροι έχουν επίδραση στο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας του μοντέλου. Από την άλλη, πολλαπλών τρόπων αναλύσεις ευαισθησίας μπορεί να εφαρμοστούν για παραμέτρους που επηρεάζουν το μοντέλο με συνδυαστικό τρόπο.

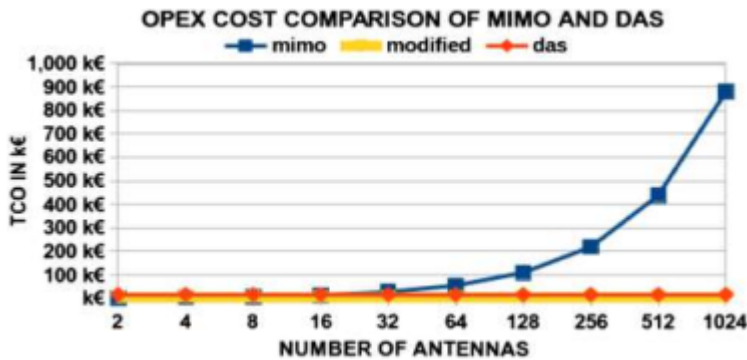
Το DAS έχει εξεταστεί διεξοδικά με την ανάλυση ευαισθησίας να έχει διεξαχθεί για όλες τις παραμέτρους του. Σε αυτήν την ανάλυση το DAS συγκρίνεται με τις άλλες αναπτύξεις όσον αφορά το CAPEX, OPEX και το TCO για τον αριθμό των κεραιών που προστέθηκαν στο προτεινόμενο μοντέλο. [8], [9]

Το επόμενο σχήμα υποδεικνύει ότι το CAPEX της τεχνολογίας MIMO είναι το μεγαλύτερο ειδικά στα σενάρια της μαζικής MIMO. Επιπλέον, τα σενάρια DAS παραμένουν φθηνά ειδικά για όταν προστίθενται λιγότερες από 1000 κεραιές. Το τροποποιημένο μοντέλο DAS είναι το πιο φθηνό από όλα και τα κόστη του δεν αυξάνονται όταν ο αριθμός των κεραιών αυξάνει.



Εικόνα 3 - Το κόστος της CAPEX σε εναλλακτικές εφαρμογές

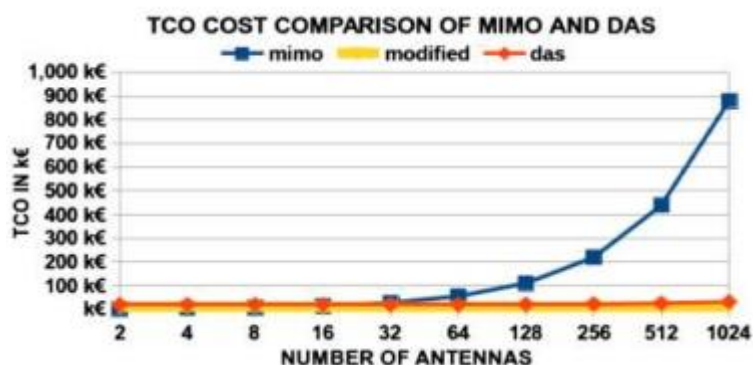
Το επόμενο σχήμα υποδεικνύει ότι το OPEX της τεχνολογίας MIMO είναι το μεγαλύτερο ειδικά στα σενάρια της μαζικής MIMO. Επιπλέον, τα σενάρια DAS παραμένουν φθηνά ειδικά για όταν προστίθενται λιγότερες από 1000 κεραίες. Το τροποποιημένο μοντέλο DAS είναι το πιο φθηνό από όλα και τα κόστη του δεν αυξάνονται όταν ο αριθμός των κεραιών αυξάνει.



Εικόνα 4 - Το κόστος της OPEX σε εναλλακτικές εφαρμογές

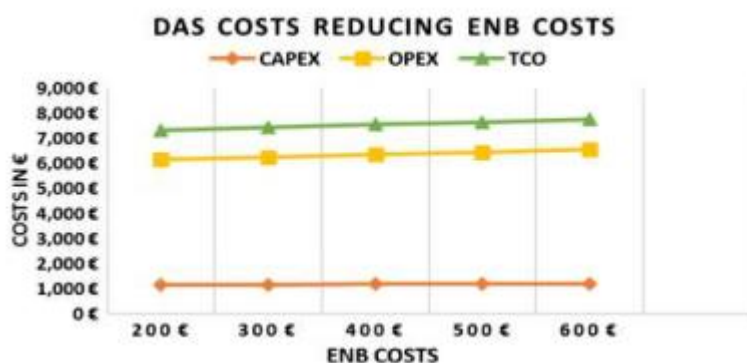
Το επόμενο σχήμα υποδεικνύει ότι το TCO της τεχνολογίας MIMO είναι το μεγαλύτερο ειδικά στα σενάρια της μαζικής MIMO. Επιπλέον, τα σενάρια DAS παραμένουν φθηνά ειδικά για όταν ο αριθμός των κεραιών δεν ξεπερνά τις 1000. Το τροποποιημένο μοντέλο DAS είναι το πιο φθηνό

από όλα και τα κόστη του δεν αυξάνονται όταν ο αριθμός των κεραιών αυξάνει.



Εικόνα 5 - Το κόστος της TCO σε εναλλακτικές εφαρμογές

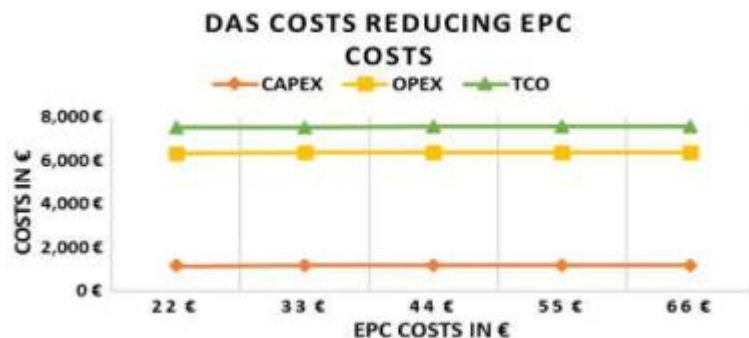
Το επόμενο σχήμα δείχνει ότι τα κόστη εξελιγμένων κόμβων B (eNB) επηρεάζουν τα κόστη του μοντέλου DAS. Αυτά σίγουρα επηρεάζουν το OPEX και για αυτόν τον λόγο το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας TCO αναλογικά με τους eNB. Από την άλλη, τα κόστη πραγματικά μειώνονται ειδικά αν τα συγκρίνουμε με τα κόστη του DAS πριν την εισαγωγή της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV).



Εικόνα 6 - Η επίδραση της μείωσης του eNB κόστους στο τροποποιημένο DAS μοντέλο

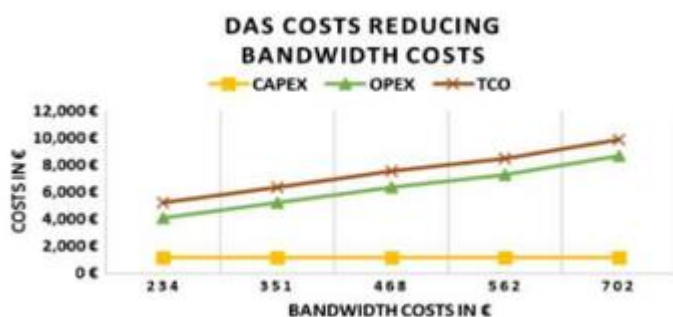
Το επόμενο σχήμα δείχνει ότι τα κόστη των εξελιγμένων πυρήνων πακέτων (EPC) δεν είναι πολύ σημαντικά για τα κόστη του μοντέλου DAS. Δεν επηρεάζουν πραγματικά το CAPEX, OPEX ή το TCO που σχεδόν

παραμένει σταθερό. Αλλά, τα κόστη πραγματικά μειώνονται ειδικά συγκρίνοντας με τα κόστη του DAS πριν την εισαγωγή της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV).



Εικόνα 7 - Η επίδραση της μείωσης του EPC κόστους στο τροποποιημένο DAS μοντέλο

Το επόμενο σχήμα δείχνει ότι τα κόστη του εύρους ζώνης δεν επηρεάζουν τα κόστη του μοντέλου DAS. Αυτά σίγουρα επηρεάζουν το OPEX και για αυτόν τον λόγο το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας TCO το οποίο είναι αναλογικό με το κόστος του εύρους ζώνης. Από την άλλη, τα κόστη πραγματικά μειώνονται ειδικά αν τα συγκρίνουμε με τα κόστη του DAS πριν την εισαγωγή της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV).



Εικόνα 8 - Η επίδραση της μείωσης του BW κόστους στο τροποποιημένο DAS μοντέλο

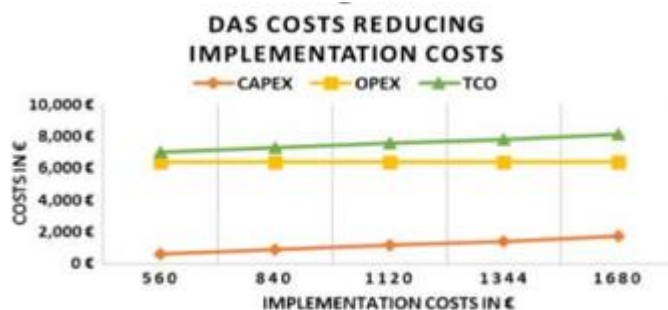
Το επόμενο σχήμα δείχνει ότι τα κόστη του εξοπλισμού δεν επηρεάζουν τα κόστη του μοντέλου DAS. Αυτά σίγουρα δεν επηρεάζουν το CAPEX, OPEX ή το TCO που σχεδόν παραμένουν σταθερά. Αλλά, τα

κόστη μειώνονται αν συγκριθούν με τα κόστη του DAS πριν την εισαγωγή των εικονικών λειτουργιών εικονικοποίησης (NFV).



Εικόνα 9 - Η επίδραση της μείωσης του κόστους εξοπλισμού στο τροποποιημένο DAS μοντέλο

Το επόμενο σχήμα δείχνει ότι τα κόστη υλοποίησης είναι πολύ ουσιώδη για τα κόστη του μοντέλου DAS. Αυτά επηρεάζουν το CAPEX και για αυτόν τον λόγο το TCO το οποίο είναι αναλογικό με τα κόστη υλοποίησης. Από την άλλη, τα κόστη πραγματικά μειώνονται ειδικά αν τα συγκρίνουμε με τα κόστη του DAS πριν την εισαγωγή της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV). Το σχήμα 11 δείχνει ότι τα κόστη τοποθεσίας είναι πολύ ουσιώδη για τα κόστη του μοντέλου DAS. Αυτά επηρεάζουν το OPEX και για αυτόν τον λόγο το TCO το οποίο είναι αναλογικό με τα κόστη τοποθεσίας. Από την άλλη, τα κόστη πραγματικά μειώνονται ειδικά αν τα συγκρίνουμε με τα κόστη του DAS πριν την εισαγωγή της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV).



Εικόνα 10 - Η επίδραση της μείωσης του κόστους υλοποίησης στο τροποποιημένο DAS μοντέλο

Η ανάλυση ευαισθησίας δείχνει ότι η υιοθέτηση του DAS και του τροποποιημένου DAS έχουν υψηλότερα OPEX κόστη. Το OPEX περιλαμβάνει όλα τα κόστη λειτουργίας του συστήματος, του εξοπλισμού, τα καθημερινά κόστη, τα κόστη κατανάλωσης ενέργειας κ.τ.λ. Για αυτόν τον λόγο είναι ζωτικής σημασίας να μειωθούν αυτά τα κόστη. Πρέπει να ληφθούν επιπλέον μέτρα για την μείωση αυτού του κόστους.

Για παράδειγμα, το εύρος ζώνης θα μπορούσε να εικονικοποιηθεί έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί, να διαχειριστεί και να διανεμηθεί καλύτερα. Επιπλέον, ένας βέλτιστος αριθμός σταθμών βάσης θα μπορούσε να είναι η απάντηση στα αυξημένα κόστη. Τα επιχειρησιακά και λειτουργικά κόστη μειώνονται αν υπάρχει λιγότερο υλικό εξαρτημάτων και λιγότερη ανάγκη για ενέργεια, υποστήριξη και συντήρηση.

Συνοψίζοντας, στην εργασία «Cost modeling for SDN/NFV based mobile 5G networks», δύο διαφορετικές τεχνολογίες, κυρίως η MIMO και η DAS εξετάζονται από μία τεχνικοοικονομική οπτική. Και οι δύο τεχνολογίες περιλαμβάνουν έναν αριθμό κεραιών, που πραγματικά βοηθά στην καλύτερη μετάδοση των σημάτων, οδηγεί σε καλύτερη κάλυψη και αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου και είναι ιδανικές για την ανακατανομή των εύρων ζώνης. Η DAS δείχνει να έχει μεγαλύτερη επίδραση στο κόστος ειδικά όταν προστίθονται εικονικής λειτουργίας δίκτυα NFV's στην ανάπτυξη του DAS, τότε το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας TCO γίνεται χαμηλότερο και η συνολική επένδυση αξίζει. Από την άλλη μεριά, η MIMO επίσης δείχνει να έχει επίδραση στο κόστος αλλά για την ανάπτυξη μαζικής MIMO τα κόστη αυξάνουν δραματικά και γίνονται μη βιώσιμα για τους χρήστες. Για αυτόν τον λόγο χρειάζεται να βρεθεί ο βέλτιστος αριθμός κεραιών στην πηγή και στον προορισμό και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και στο μέλλον. [12]



Όσον αφορά και τις δύο αναπτύξεις, η εικονική λειτουργία δικτύου NFV μπορεί να αποτελέσει μία καλή λύση αφού το λιγότερο υλικό εξαρτημάτων που πρεσβεύει σημαίνει επίσης λιγότερο κόστος για ενεργειακή κατανάλωση, λιγότερα λειτουργικά κόστη, λιγότερα επιχειρησιακά κόστη και λιγότερα κόστη συντήρησης. Έτσι, η έρευνα θα πρέπει να αφοσιωθεί προς την κατεύθυνση της εικονικής λειτουργίας δικτύου NFV's και στον τρόπο που αυτή η τεχνολογία θα μπορέσει να εισαχθεί και να εφαρμοστεί στο μέλλον. Επιπλέον η κατανάλωση ενέργειας δείχνει ότι είναι ένας ακριβός παράγοντας και για τις δύο αναπτύξεις και αρκετά μέτρα πρέπει να ληφθούν, η ερευνητική δραστηριότητα πρέπει να επικεντρωθεί προς την κατεύθυνση της δραστηκής μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης και στις δύο τεχνολογίες και στις συσκευές πέμπτης γενιάς και στον εξοπλισμό και στους σταθμούς βάσης. Ενώ η έλευση της πέμπτης γενιάς είναι επικείμενη αρκετά ερωτήματα είναι ακόμα ανοιχτά και πρέπει να διερευνηθούν.

## 6. Συμπεράσματα

Τα πλεονεκτήματα των δικτύων πέμπτης γενιάς είναι μεγάλης σημασίας για την ανθρωπότητα ,αλλά οι προδιαγραφές τους θα απαιτήσουν να πρέπει να ακολουθηθούν μερικές διαφορετικές τεχνολογίες και προσεγγίσεις έτσι ώστε αυτές να ικανοποιηθούν .Οι επιστημονικές κοινότητες, έρευνας και φορέων εκμετάλλευσης έχουν θέσει τις βασικές αρχές για αυτήν την γενιά, όπως η συνεχής κάλυψη, η μεγαλύτερη χωρητικότητα και οι λιγότερες καθυστερήσεις.

Επιπλέον, θα προωθείται η καινοτομία και οι σύγχρονες υπηρεσίες από αυτή τη γενιά, όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), οι επικοινωνίες μεταξύ συσκευών D2D (Device to Device) και μεταξύ Μηχανών (M2M) κλπ. Όλα αυτά τα επιτεύγματα θα δημιουργήσουν σταδιακά ένα τεράστιο φορτίο δεδομένων για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, καθώς ο αριθμός των συσκευών στην υποδομή δικτύωσης αυξάνεται εκθετικά κάθε μέρα.

Από την άλλη, η παγκόσμια οικονομική κρίση που μαστίζει τον επιχειρηματικό τομέα, ωθεί τους φορείς εκμετάλλευσης να αναζητήσουν επιπλέον εισόδημα, μειώνοντας τα έξοδα. Τα προαπαιτούμενα της πέμπτης γενιάς δεν μπορούν να καλυφθούν από τις τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα και συνεπώς πρέπει να χρησιμοποιηθούν νεωτερισμοί ή τροποποιήσεις της ήδη υπάρχουσας υποδομής για να επιτευχθεί η απόδοτικότητα του δικτύου.

Στο πλαίσιο αυτό, είναι μεγάλης σημασίας όχι μόνο να υιοθετηθούν πιο απόδοτικές τεχνολογίες αλλά επίσης να εξελιχθεί η παλιά υποδομή ώστε να γίνει συμβατή με την επόμενη γενιά. Όλες οι τεχνολογίες αιχμής θα πρέπει να αναλύονται με τεχνο-οικονομικό τρόπο.

Διαφορετικές προσεγγίσεις πρέπει να ακολουθούνται για τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Η ανάπτυξη τεχνικών υποθέσεων, μαθηματικών μοντέλων παράλληλα με πειραματισμούς είναι αναπόφευκτη. Η τεχνικοοικονομική ανάλυση είναι μία ισχυρή τεχνική που βοηθά στην ανάλυση τιμολογιακών μοντέλων και απεικονίζει κόστη σε σχέση με κάποιες παραμέτρους. Η ανάλυση της ευαισθησίας (SA) είναι η τεχνική που βοηθά στην εύρεση των παραγόντων που επηρεάζουν το συνολικό μοντέλο, ενώ ένας ή περισσότεροι παράμετροι μεταβάλλονται μέσα στα όρια ενός συγκεκριμένου πεδίου τιμών. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των μοντέλων τιμολόγησης, η ανάλυση ευαισθησίας δείχνει πως κάθε παράμετρος επιδρά στους διαφορετικούς τύπους εξόδων, κυρίως στο κεφαλαιουχικό (CAPEX), στο λειτουργικό (OPEX) και στο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO)

Η εικονική λειτουργία δικτύου (NFV) είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για να αντικατασταθούν τα εξαρτήματα με λογισμικό. Αυτή η τεχνολογία μειώνει την υποδομή εξαρτημάτων, τα κόστη, την κατανάλωση ενέργειας και τις δραστηριότητες διαχείρισης και συντήρησης. Τα κατανεμημένα συστήματα κεραίας (DAS) είναι μία τεχνολογία που εμφανίστηκε την δεκαετία του 1980, αλλά δεν αναπτύχθηκε αμέσως. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη έρευνα στον τομέα των κατανεμημένων συστημάτων κεραίας. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής γίνεται πολύ έρευνα σε αυτόν τον τομέα, επειδή αποτελεί μία πιθανή λύση για τα δίκτυα πέμπτης γενιάς. Η πολλαπλή είσοδος και πολλαπλή έξοδος (MIMO) είναι μία τεχνολογία που έχει ήδη εμφανιστεί στα δίκτυα. Βοηθά ιδιαίτερα στην καλύτερη μετάδοση του σήματος καθώς υπάρχουν περισσότεροι από έναν πομπούς και δέκτες μέσα στην βασική μορφή. Η εκτεταμένη πολλαπλή εισροή και πολλαπλή

εκροή είναι μία παραλλαγή της πολλαπλής εισροής και εκροής που περιέχει έναν αυξημένο αριθμό πομπών και δεκτών.

Επιπρόσθετα, ενδιαφέροντα αποτελέσματα έδωσε και η εργασία «Cost modeling for SDN/NFV based mobile 5G networks» όπου τεχνολογίες (κυρίως η DAS και η MIMO) που αποτελούν πιθανή λύση για την Πέμπτη γενιά, μελετώνται και συγκρίνονται. Επιπλέον, αρκετά σενάρια έχουν δημιουργηθεί για την διαδικασία πειραματισμού. Τα καταναμημένα συστήματα κεραίας (DAS) έχουν τροποποιηθεί χρησιμοποιώντας εικονική λειτουργία δικτύου (NFV) δημιουργώντας μία διαφορετική προσέγγιση. Επίσης παρουσιάζεται και ένα μοντέλο εκτεταμένης πολλαπλής εισροής και εκροής. Επιπρόσθετα, συμπεριλαμβάνονται μαθηματικά μοντέλα για τις δύο τεχνολογίες. Οι παράμετροι των μοντέλων είναι επιλεγμένοι για την Ελληνική αγορά. Η ανάλυση ευαισθησίας (SA) διεξάγεται για να δείξει πως τα κόστη επηρεάζουν τα συνολικά μοντέλα τιμολόγησης. [12]

Μοντέλα τιμολόγησης άλλων λύσεων πέμπτης γενιάς έχουν παρουσιαστεί και σε άλλες εργασίες, στις οποίες έχουν αναπτύξει τεχνικοοικονομικά μοντέλα για εξαιρετικά πυκνές αναπτύξεις και καταναμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) και επίσης ανάλυση ευαισθησίας (SA) για τις προαναφερθέντες τεχνολογίες. Από όσο γνωρίζουμε δεν υπάρχει σχετικά πολύ δραστηριότητα έρευνας στον τομέα της τεχνικοοικονομικής ανάλυσης των τεχνολογιών πέμπτης γενιάς. Δεν υπάρχει καμία μελέτη που να τροποποιεί το μοντέλο καταναμημένων συστημάτων κεραίας (DAS) χρησιμοποιώντας την εικονική λειτουργία δικτύου (NFV). [8], [9]

Μαζί με την πέμπτη γενιά 5G, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και οι επικοινωνίες μεταξύ συσκευών D2D (Device to Device) θα κυριαρχήσουν. Πολλές μελέτες υποστηρίζουν ότι στις δυτικές κοινωνίες θα υπάρχουν περισσότερες από πέντε συσκευές που θα είναι ταυτόχρονα

συνδεδεμένες ανά άτομο. Έχοντας σαν αποτέλεσμα, ακόμα και μέσα στα νοικοκυριά η χωρητικότητα να γίνει ένα μείζον θέμα. Η δημιουργία μίας απόδοτικής δικτυακής υποδομής σε υπάρχοντα και σε καινούργια κτίρια γίνεται όλο και πιο επιτακτική ανάγκη. Το μοντέλο κατανομημένων συστημάτων κεραίας (DAS) είναι μία ελπιδοφόρα λύση η οποία μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της προσβασιμότητας στο δίκτυο και να καλύψει τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και στις επικοινωνίες μεταξύ συσκευών D2D (Device to Device).

Μοντέλα τιμολόγησης για τα δίκτυα πέμπτης γενιάς αναλύονται σε δημοσιεύσεις όπως η «Paris metro pricing for 5G HetNets» η οποία βασίζεται σε ένα σχέδιο τιμολόγησης για το μετρό Παρισιού. Το εν λόγω σχέδιο βασίζεται στη λογική διαφορετικών παροχών αλλά και κόστους για τους πελάτες που επιθυμούν να αποφεύγουν τη συμφόρηση χωρίς όμως να αυξάνεται ο αριθμός των βαγονιών. Η παραπάνω λογική ανάγεται στα δίκτυα πέμπτης γενιάς εφαρμόζοντας δυναμική τιμολόγηση που θα προκύπτει από τη συμφόρηση της κάθε διαθέσιμης τεχνολογίας. Επιπρόσθετα σε εργασίες όπως η «Incremental deployment aspects of beyond 4G and 5G mobile HetNets» παρουσιάζονται και τα μοντέλα τιμολόγησης για εξαιρετικά πυκνή ανάπτυξη. Η Elmannai και ο Elleithy στην εργασία «Cost analysis of 5th generation technology» συγκρίνουν το κόστος με το οποίο παρέχεται σήμερα το 4G με το κόστος που υπολογίζουν ότι θα παρέχεται το 5G και υπόσχονται ότι το κόστος ανά bit θα παραμείνει το ίδιο. Στην εργασία «Business models for mobile network operators in Licensed Shared Access (LSA)» έχουν αναλυθεί οι ευκαιρίες που υπάρχουν στις συμφωνίες σε επίπεδο υπηρεσιών (SLA), οι οποίες περιλαμβάνουν πολύ υποσχόμενες οικονομικές ευκαιρίες για τους πάροχους και για τους φορείς εκμετάλλευσης των τηλεπικοινωνιών. Στην εργασία «What will 5G be» παρουσιάζονται οι τεχνολογίες οι οποίες θα

χρησιμοποιηθούν για την Πέμπτη γενιά και θα οδηγήσουν στην ικανοποίηση των βασικών απαιτήσεων της πέμπτης γενιάς, όπως το λογισμικό εξειδικευμένης δικτύωσης (SDN), η πολλαπλή είσοδος και η πολλαπλή έξοδος (MIMO), η εικονική λειτουργία δικτύου (NFV), το νέφος (cloud) και λοιπά. Στην εργασία «Cost modeling for SDN/NFV based mobile 5G networks» παρουσιάζονται τα μοντέλα κόστους του λογισμικού εξειδικευμένης δικτύωσης (SDN) και της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV) βασισμένα σε λύσεις πέμπτης γενιάς και στην εργασία «SDN & NFV in 5G: Advancements and challenges» παρουσιάζεται μία συγκριτική ανάλυση σχετικά με το λογισμικό εξειδικευμένης δικτύωσης (SDN) και της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV) σε φορητά δίκτυα πέμπτης γενιάς. Οι τελευταίες καταλήγουν σε άκρως ενθαρρυντικά αποτελέσματα αναφορικά με τα κόστη τόσο αυτά της παροχής υπηρεσιών 5G όσο και με τα CAPEX, OPEX και TCO. Συνολικά το 5G μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμο αρκεί να βρεθεί τρόπος να εξαλειφθούν τα όποια προβλήματα συμβατότητας υπάρξουν ανάμεσα στην υπάρχουσα τεχνολογία και υποδομή και στις υλοποιήσεις που απαιτούν τα δίκτυα πέμπτης γενιάς.

[1], [3], [11], [12], [16], [28], [31]

## 7. Μελλοντική έρευνα

Συνοψίζοντας, μια μελλοντική ερευνητική δραστηριότητα πρέπει να επικεντρωθεί σε καινοτόμους τρόπους χρησιμοποίησης της υπάρχουσας τεχνολογίας και των υπάρχουσών υποδομών π.χ. η χρησιμοποίηση της έννοιας της εικονικής λειτουργίας δικτύου (NFV) για παλιότερες τεχνολογίες. Επιπλέον, στην χρησιμοποίηση αρκετών ιδεών για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης, και του κόστους του backhauling , κόστους του εύρους ζώνης κ.τ.λ. Οι πηγές ζώνης εύρους μπορούν να ψηφιοποιηθούν (virtualized) με αποτέλεσμα να γίνουν πιο οικονομικά αποδοτικές. Η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να μειωθεί δραστικά έχοντας σαν επίδραση τα σχετικά κόστη να περιοριστούν.

Παλιότεροι τύποι κόστους, όπως σταθμοί βάσης και των συστημάτων κατανομής (DS) επίσης παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό του κόστους. Είναι για αυτόν τον λόγο ουσιώδες η έρευνα να επικεντρωθεί σε καινούργιους τρόπους για backhauling, στην βελτιστοποίηση των μεθόδων για σταθμούς βάσης και για τα συστήματα κατανομής, καθώς και στην βελτιστοποίηση του αριθμού των πομπών και δεκτών του MIMO σε κάθε πλευρά. Τέλος, θα πρέπει να παρουσιαστούν μοντέλα κόστους για όλες τις τεχνολογίες που είναι συμβατές με την Πέμπτη γενιά έτσι ώστε να βρεθούν ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας των πιθανών λύσεων.

## Βιβλιογραφία

1. Ahokangas, P., Matinmikko, M., Yrjölä, S., Mustonen, M., Posti, H., Luttinen, E., & Kivimäki, A. (2014, April). Business models for mobile network operators in Licensed Shared Access (LSA). In 2014 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN) (pp. 263-270). IEEE.
2. AMTA. amta.org.au. Archived from the original on 17 April 2008.
3. 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.
4. Answers - The Most Trusted Place for Answering Life's Questions. Answers.com.
5. Bogale, T. E., & Le, L. B. (2016). Massive MIMO and mm-Wave for 5G wireless HetNet: Potential benefits and challenges. IEEE Vehicular Technology Magazine, 11(1), 64-75.
6. Bouras C., Kokkalis S., Kollia A., Papazois A., "Techno – economic analysis of MIMO and DAS in 5G", 11<sup>th</sup> IFIP Wireless and Mobile Conference, Prague, Check Republic, September 3-5, 2018, pp. 73-80.
7. Bouras C., Kokkalis S., Kollia A., Papazois A., "Techno – economic comparison of MIMO and DAS cost models in 5G networks", Wireless Networks, Springer Verlang, 2018 (to appear).
8. Bouras, C., Kokkinos, V., Kollia, A., & Papazois, A. (2015, August). Techno-economic analysis of ultra-dense and DAS deployments in mobile 5G. In 2015 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS) (pp. 241-245). IEEE.



9. Bouras, C., Kollia, A., & Papazois, A. (2016, April). Sensitivity analysis of small cells and DAS techno-economic models in mobile 5G. In 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (pp. 1-6). IEEE.
10. Bouras, C., Kollia, A., & Papazois, A. (2017). Dense deployments and DAS in 5G: A techno-economic comparison. *Wireless Personal Communications*, 94(3), 1777-1797.
11. Bouras, C., Kollia, A., & Papazois, A. (2017, March). SDN & NFV in 5G: Advancements and challenges. In 2017 20th Conference on Innovations in Clouds, Internet and Networks (ICIN) (pp. 107-111). IEEE.
12. Bouras, C., Ntarzanos, P., & Papazois, A. (2016, October). Cost modeling for SDN/NFV based mobile 5G networks. In 2016 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT) (pp. 56-61). IEEE.
13. CDMA Worldwide. Archived from the original on 30 January 2010. Retrieved 23 December 2009.
14. Deng, N., Zhou, W., & Haenggi, M. (2015). Heterogeneous cellular network models with dependence. *IEEE Journal on selected Areas in Communications*, 33(10), 2167-2181.
15. Elijah, O., Leow, C. Y., Rahman, T. A., Nunoo, S., & Iliya, S. Z. (2016). A comprehensive survey of pilot contamination in massive MIMO—5G system. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(2), 905-923.
16. Elmannai, W., & Elleithy, K. M. (2014). Cost analysis of 5th generation technology. International Society for Computers and Their Applications, Inc.
17. Farooq, M., Ahmed, M. I., & Al, U. M. (2013). Future generations of mobile communication networks. *Academy of Contemporary Research Journal*, 2(1), 24-30.

18. Gao, Z., Dai, L., Mi, D., Wang, Z., Imran, M. A., & Shakir, M. Z. (2015). mm-Wave massive-MIMO-based wireless backhaul for the 5G ultra-dense network. *IEEE Wireless Communications*, 22(5), 13-21.
19. Gohad, A., Narendra, N. C., & Ramachandran, P. (2013, October). Cloud Pricing Models: A Survey and Position Paper. In 2013 IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM) (pp. 1-8). IEEE.
20. IT R&D program of MKE/IITA: 2008-F-004-01 "5G mobile communication systems based on beam-division multiple access and relays with group cooperation".
21. ITU World Radiocommunication Seminar highlights future communication technologies. International Telecommunication Union.
22. ITU. "ITU Radiocommunication Assembly approves new developments for its 3G standards". press release. Archived from the original on 19 May 2009. Retrieved 1 June 2009.
23. ITU-R, W. (2008). Draft Report on Requirements Related to Technical System Performance for IMT-Advanced Radio Interfaces (s)[IMT. TECH].
24. Katsigiannis, M., Basaure, A., & Matinmikko, M. (2014, November). Cost comparison of Licensed Shared Access (LSA) and MIMO scenarios for capacity growth in Finland. In 1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity (pp. 291-296). IEEE.
25. Lim, Y. G., Chae, C. B., & Caire, G. (2015). Performance analysis of massive MIMO for cell-boundary users. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 14(12), 6827-6842.
26. Liu, Z., Kolding, T., Mogensen, P., Vejgaard, B., & Sorensen, T. (2012, September). Economical comparison of enterprise in-building wireless

solutions using das and femto. In 2012 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall) (pp. 1-5). IEEE.

27. Muharar, R., & Evans, J. (2018, April). Performance analysis of massive MIMO networks with random unitary pilot matrices. In 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) (pp. 1-6). IEEE.

28. Nikolikj, V., & Janevski, T. (2015). Incremental deployment aspects of beyond 4G and 5G mobile hetnets. *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, 8(6), 177-196.

29. Ohmori, S., Yamao, Y., & Nakajima, N. (2000). The future generations of mobile communications based on broadband access technologies. *IEEE communications magazine*, 38(12), 134-142.

30. Onnela, J. P., Saramäki, J., Hyvönen, J., Szabó, G., Lazer, D., Kaski, K., ...& Barabási, A. L. (2007). Structure and tie strengths in mobile communication networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(18), 7332-7336.

31. Passas, V., Miliotis, V., Makris, N., Korakis, T., & Tassioulas, L. (2016, December). Paris metro pricing for 5G HetNets. In 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (pp. 1-6). IEEE.

32. Radiolinja's History. 20 April 2004. Archived from the original on 23 October 2006. Retrieved 23 December 2009.

33. Senel, K., Björnson, E., & Larsson, E. G. (2017, December). Optimal base station design with limited fronthaul: Massive bandwidth or massive MIMO?. In 2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) (pp. 1-7). IEEE.

34. Verde, F., Hong, Y. W. P., Samardzija, D., Schober, R., & Tao, Z. (2012). Cooperative MIMO multicell networks.

35. Wang, C. X., Haider, F., Gao, X., You, X. H., Yang, Y., Yuan, D., ...& Hepsaydir, E. (2014). Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 122-130.
36. Yang, N., Wang, L., Geraci, G., Elkashlan, M., Yuan, J., & Di Renzo, M. (2015). Safeguarding 5G wireless communication networks using physical layer security. *IEEE Communications Magazine*, 53(4), 20-27.
37. Yunas, S. F., Valkama, M., & Niemelä, J. (2015). Techno-economical comparison of dynamic DAS and legacy macrocellular densification. *International Journal of Wireless Information Networks*, 22(4), 312-326.  
62 commercial networks support DC-HSPA+, drives HSPA investments  
LteWorld February 7, 2012