



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τεχνοοικονομική Μελέτη Δικτύων 5G

Κουσουλός Αθανάσιος (21244)

Αθήνα, 2017



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπων καθηγητής

Μιχαλακέλης Χρήστος

Λέκτορας, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Αθηνών

Μέλη εξεταστικής επιτροπής

Δημητρακόπουλος Γεώργιος

Λέκτορας, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Αθηνών

Καμαλάκης Θωμάς

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Ο Κουσουλός Αθανάσιος

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Πρόβλεψη διεισδυσης δικτύων 5G» πραγματοποιήθηκε από τον φοιτητή Κουσουλό Αθανάσιο του προπτυχιακού του τμήματος Πληροφορική και Τηλεματική στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Η εργασία ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του 2017 και επιβλέπων καθηγητής ήταν ο Λέκτορας Χρήστος Μιχαλακέλης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Μιχαλακέλη που καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας με βοηθούσε και με καθοδηγούσε σε οτιδήποτε χρειαζόμουν ώστε να ολοκληρωθεί η εργασία με επιτυχία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Γ. Δημητρακόπουλο και Θ. Καμαλάκη οι οποίοι ήταν διαθέσιμοι σε οποιαδήποτε απορία είχα κατά την διάρκεια της εργασίας.

Περιεχόμενα

Ακρόνυμα-Abbreviations	7
Πίνακας Πινάκων.....	8
Πίνακας Εικόνων	9
Περίληψη	11
Abstract	12
1.1 Πρώτη Γενιά Κινητών Συστημάτων (1G).....	13
1.2 Δεύτερη Γενιά Κινητών Συστημάτων (2G)	14
1.3 Τρίτη Γενιά Κινητών Συστημάτων (3G).....	16
1.4 Τέταρτη Γενιά Κινητών Συστημάτων (4G)	20
2. Πέμπτη Γενιά Κινητών Συστημάτων (5G)	23
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Η Πορεία των 5G	23
2.3 Απαιτήσεις για τα 5G	25
2.4 Απειλές στην Εφαρμογή των 5G.....	29
2.5 Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα των Δικτύων 5G.....	30
2.6 Αρχιτεκτονική των Κυψελωτών Δικτύων 5G.....	31
2.6.1 Δομή της Αρχιτεκτονικής.....	31
2.6.2 Network Slicing- Τοποθέτηση στο Δίκτυο	34
3. Σχετικές τεχνολογίες με τα 5G	37
3.1 BDMA.....	37
3.2 Τεχνολογία MIMO	38
3.3 Ετερογενή Δίκτυα (HetNets).....	39

3.4 Μικρές κυψέλες (Smallcells)	40
4. Ανάλυση Δεδομένων Κινητής Τηλεφωνίας.....	41
4.1 Εισαγωγή.....	41
4.2 Υπηρεσίες εκπομπής βίντεο	41
4.3 Machine-to-Machine (M2M) επικοινωνίες.....	42
4.4 ITU-R	43
4.5 LTE.....	45
4.5.1 Ευκαιρίες για περαιτέρω εξέλιξη του LTE.....	47
4.5.2 Το LTE παραμένει πολύ σημαντικό και θα συνεχίσει να εξελίσσεται	49
4.6 Η «1000x» Πρόκληση.....	49
5. Τεχνοοικονομική μελέτη	51
5.1 Πρώτο μέρος – Προβλεπόμενος Αριθμός Χρηστών.....	53
5.2 Δεύτερο μέρος - Ρυθμός Ανατροπής.....	56
5.3 Τρίτο μέρος - Μοντέλο Τιμολόγησης	56
5.4 Τέταρτο μέρος - Προβλέψεις και Ανάλυση Κόστους.....	62
5.5 Πέμπτο μέρος -Ζήτηση Κυκλοφορίας και Επένδυση Δικτύου	66
5.5.1 Εκτίμηση της δημιουργούμενης ζήτησης κυκλοφορίας.....	66
5.5.2 Μοντελοποίηση επενδύσεων δικτύου	68
5.6 Συμπέρασμα και Μελλοντική Εργασία.....	71
6. Βιβλιογραφία	73

Ακρόνυμα-Abbreviations

QoS	Quality of Service
OMN	Operator Mobile Networks
CARG	Compound Annual Growth Rate
CAPEX	Capital Expenditure
OPEX	Operational Expenditure
RAT	Radio Access Technology
BS	Base Station
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
MiBs	Micro Base Station
MaBs	Macro Base Station
PBS	Pico Base Station
mmW	Millimeter Wave
FBS	Femto Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
NGMN	Next Generation Mobile Networks
QoE	Quality of Experience
IoT	Internet of Things
M2M	Machine to Machine

BDMA	Base Division Multiple Access
APIs	Application Programming Interface
HSPA	High Speed Packet Access
SDN	Software-defined networking
NFV	Network Functions Virtualization
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	International Telecommunication Union Radiocommunication
MIMO	Multiple Input Multiple Output

Πίνακας Πινάκων

Αριθμός	Ονομασία	Σελίδα
Πίνακας 1	Κύρια χαρακτηριστικά της πρώτης γενιάς (1G) κινητών συστημάτων	14
Πίνακας 2	Κύρια χαρακτηριστικά της δεύτερης γενιάς (2G) κινητών συστημάτων	15
Πίνακας 3	Κύρια χαρακτηριστικά της τρίτης γενιάς (3G) κινητών συστημάτων	18
Πίνακας 4	Συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των 1G, 2G και 3G	19
Πίνακας 5	Η εξέλιξη των γενιών στα πλαίσια των υπηρεσιών και της επίδοσης	21
Πίνακας 6	Διαφορές και Ομοιότητες των 4G και 5G κινητών συστημάτων	30

Πίνακας 7	Τεχνολογικές ικανότητες δικτύων κινητής επικοινωνίας στην μετάδοση βίντεο και εικόνας.	42
Πίνακας 8	Υβριδικό μοντέλο τιμολόγησης χρησιμοποιώντας το περιβάλλον των χρηστών.	58
Πίνακας 9	Επίδραση της τιμής και του όγκου στην κερδοφορία για την κινητή ευρυζωνική σύνδεση 5G	61
Πίνακας 10	Εκτιμήσεις του συνολικού προεξοφλημένου κόστους στην παρούσα αξία για την ανάπτυξη νέων BSs χρησιμοποιώντας LTE-A, 5G mmW και IEEE 802.11ac	66
Πίνακας 11	Σύνολο κυψελοειδών συνδέσεων ανά γενιά και παγκοσμίως	67
Πίνακας 12	CAPEX και χωρητικότητα για FBS και Wi-Fi IEEE802.11ac	69
Πίνακας 13	CAPEX και χωρητικότητα για macro sites με φορέα συγκέντρωσης	69

Πίνακας Εικόνων

Αριθμός	Ονομασία	Σελίδα
Εικόνα 1	Εξέλιξη των 3G Ασύρματων Πρότυπων	17
Εικόνα 2	Πορεία των 5G	24
Εικόνα 3	Απαιτήσεις (challenges) των 5G	26
Εικόνα 4	5G Αρχιτεκτονική – Επίπεδα	32
Εικόνα 5	Παράδειγμα πολλαπλών κομματιών 5G που λειτουργούν ταυτόχρονα στην ίδια υποδομή	35
Εικόνα 6	BDMA – Beam Division Multiple Access	38
Εικόνα 7	Αριθμός Machine To Machine (M2M) συνδέσεων	43
Εικόνα 8	Η σημασία των δυνατοτήτων των κλειδιών για τα διαφορετικά σενάρια χρήσης πέρα του 2020	44

Εικόνα 9	Η εξέλιξη της κινητής τεχνολογίας βάσει γενιών από το 1980 και έπειτα	45
Εικόνα 10	Σύνολο κυψελοειδών συνδέσεων ανά γενιά και παγκοσμίως	46
Εικόνα 11	Προβλέψεις κάλυψης δικτύου LTE, ως ποσοστό του πληθυσμού ανά περιοχή	47
Εικόνα 12	Σύνολο προβλέψεων κινητής τηλεφωνίας CAPEX, ετήσια, σε εκατομμύρια δολάρια (US\$)	48
Εικόνα 13	Παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας ανά έτος	50
Εικόνα 14	Μελέτη σεναρίων (case study)	52
Εικόνα 15	Πρόβλεψη χρηστών κινητής τηλεφωνίας για 6 χρόνια	55
Εικόνα 16	Προβλεπόμενη τιμή σε συνάρτηση με τον όγκο της χρήσης κινητής ευρυζωνικής τεχνολογίας 5G	60
Εικόνα 17	Προσομοίωση του CAPEX διαφορετικών BS (σενάριο 1)	64
Εικόνα 18	Προσομοίωση του OPEX διαφορετικών BS (σενάριο 1)	65
Εικόνα 19	Προσομοίωση των CAPEX και OPEX διαφορετικών BS (σενάριο 2)	65

Περίληψη

Αναμένεται ότι οι κινητοί και ασύρματοι όγκοι κυκλοφορίας θα αυξηθούν σημαντικά μέσα στην επόμενη δεκαετία. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι θα υπάρχει ανάγκη για 1000 φορές μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, μικρότερη end to end καθυστέρηση, μεγαλύτερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών και 10-100 φορές μεγαλύτερο ρυθμό χρήσης δεδομένων. Η παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας αυξήθηκε κατά 70% το 2012 και αναμένεται να αυξηθεί σταθερά κατά 66% από το 2012 έως το τέλος του 2017. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρξει 13πλάσια αύξηση μέχρι τότε. Για να είναι έτοιμος να φιλοξενήσει αυτή την ανάπτυξη, ο κλάδος της ασύρματης επικοινωνίας χρειάζεται πρόσθετο φάσμα και καινοτομία πολιτικής. Περισσότερο από οτιδήποτε, υπάρχει ανάγκη για απεριόριστη χωρητικότητα. Η βιομηχανία άρχισε να αναζητά την ενίσχυση της υπάρχουσας χωρητικότητας κατά 1000 φορές. Ως εκ τούτου, οι OMNs (Mobile Networks Operator) πρέπει να σχεδιάσουν την αναβάθμιση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 4G σε 5G μέχρι το 2020, το οποίο είναι το αναμενόμενο έτος για την έναρξη του 5G. Παρακάτω εξετάζεται μια τεchnοοικονομική ανάλυση και μια προσέγγιση μαθηματικής μοντελοποίησης. Επίσης, προτείνεται ένα νέο μοντέλο τιμολόγησης για να συμβαδίζει με την ανάπτυξη της κινητής ευρυζωνικότητας. Τα δύο βασικά στοιχεία κόστους, οι κεφαλαιουχικές δαπάνες και οι λειτουργικές δαπάνες συγκρίθηκαν με τα έσοδα που αναμένεται να εισπραχθούν κατά την περίοδο ανάπτυξης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το 5G είναι πολύ επωφελές, όχι μόνο λόγω του χαμηλότερου κόστους του σε σχέση με το 4G LTE, αλλά και λόγω της αύξησης των μέσων καταναλώσεων δεδομένων που προσφέρουν οι κινητές τεχνολογίες 5G και της αύξησης του αριθμού των χρηστών. Διαπιστώσαμε επίσης, ότι η καλή ανάλυση της Ελαστικότητας Τιμής του Όγκου δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Τέλος, επιβεβαιώσαμε ότι η επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων τοποθεσιών έχει μεγάλο αντίκτυπο στη μείωση του κόστους όταν αναπτύσσεται ένα πυκνότερο macro δίκτυο.

Λέξεις κλειδιά: 5G, Δίκτυα, Τεχνοοικονομική, Ανάλυση, κινητές επικοινωνίες.

Abstract

It is expected that mobile and wireless traffic volumes will increase significantly over the next decade. Recent studies show that there will be a need for a 1000 times larger data volume, a lower end to end delay, a larger number of connected devices and a 10-100 times higher data usage rate. Global mobile data traffic grew by 70% in 2012 and is expected to increase steadily by 66% from 2012 to the end of 2017. This means that there will be a 13-fold increase until then. To be ready to host this growth, the wireless communications industry needs additional spectrum and policy innovation. More than anything, there is a need for unlimited capacity. Industry began to seek to boost existing capacity by 1000 times. Therefore, the OMNs (Operator Mobile Networks) should plan for upgrading 4G to 5G mobile network beyond 2020, which is the expected year for launching 5G. A techno-economic analysis and mathematic modeling approach was considered. Also, a new pricing model is proposed to be consistent with the growth of mobile broadband. The two major cost elements, Capital Expenditure and Operative Expenditure were compared with the revenue expected to be collected within the deployment period. The results show that 5G is very beneficial, not only because of its lower cost compared with 4G LTE, but also due to the increment of average data consumptions offered by 5G mobile technologies and the increasing growth of number of users. We also found that good analysis of Price Elasticity of Volume gives an important margin of benefit. We confirm that the reuse of existing sites have a large impact on reducing costs when a denser macro network deployed.

Keywords: 5G, Networks, Techno economic, Analysis, mobile communication.

1. Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα

Τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης του σήμερα θα πρέπει να εξελιχθούν με διάφορους τρόπους προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις και τις προσδοκίες του μέλλοντος. Τα νέα τεχνολογικά στοιχεία θα εισαχθούν ως μέρος της εξέλιξης των σημερινών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης, όπως η πρόσβαση σε πακέτα υψηλής ταχύτητας (HSPA) και η μακροπρόθεσμη εξέλιξη (LTE). Ωστόσο, πρόσθετα στοιχεία μπορεί να απαρτίζουν τις μελλοντικές νέες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης, οι οποίες μπορούν να συμπληρώσουν τις εξελιγμένες τεχνολογίες. Παραδείγματα τέτοιων στοιχείων νέας τεχνολογίας είναι: νέοι τρόποι πρόσβασης στο φάσμα, τα αισθητά υψηλότερα εύρη συχνοτήτων, η εισαγωγή μαζικών σχημάτων κεραίας και η άμεση επικοινωνία συσκευής προς συσκευή (device-to-device communication).

Η κινητή ασύρματη επικοινωνία έχει προχωρήσει πολύ από την εισαγωγή της στα τέλη της δεκαετίας του '70: από τις αναλογικές φωνητικές κλήσεις προς τις σημερινές τεχνολογίες αιχμής ικανές να προσφέρουν υψηλής ποιότητας κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες με ταχύτητες δεδομένων αρκετών megabits ανά δευτερόλεπτο σε ευρείες περιοχές και δεκάδες ή ακόμα και εκατοντάδες megabits ανά δευτερόλεπτο τοπικά. Οι τεράστιες βελτιώσεις όσον αφορά τις δυνατότητες δικτύων κινητής επικοινωνίας, καθώς και η εισαγωγή νέων τύπων κινητών συσκευών, όπως τα έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) και τα tablet, έχουν προκαλέσει έκρηξη νέων εφαρμογών και σεναρίων για κινητή συνδεσιμότητα και την επακόλουθη εκθετική ανάπτυξη της κίνησης στο δίκτυο. Η μετάβαση σε μια πλήρως συνδεδεμένη, δικτυωμένη κοινωνία θα ξεκινήσει όταν τα πάντα που μπορούν να επωφεληθούν από μια ασύρματη σύνδεση θα είναι συνδεδεμένα. Οι βασικές προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει η μελλοντική ασύρματη επικοινωνία είναι η απότομη αύξηση της κινητής τηλεφωνίας (Konjeti, 2016).

1.1 Πρώτη Γενιά Κινητών Συστημάτων (1G)

Η πρώτη γενιά κινητών συστημάτων (1G) χρησιμοποιούσε αναλογικές μεταδόσεις για υπηρεσίες ομιλίας. Το 1979 ξεκίνησε η λειτουργία του πρώτου δικτύου κινητής τηλεφωνίας από την

Nippon Telephone and Telegraph(NTT) στο Τόκιο. Δύο χρόνια αργότερα πραγματοποιήθηκε η επέκτασή της στην Ευρώπη και το 1982 στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Τα δύο πιο δημοφιλή αναλογικά συστήματα ήταν τα εξής : Nordic Mobile Telephones(NMT) και Total Access Communication Systems(TACS). Το σύστημα κατανέμεται σε ένα εύρος ζώνης 40-MHz εντός του 800-900 MHz εύρους συχνοτήτων από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών για AMPS (Sharma,2013)

Πίνακας 1: Κύρια χαρακτηριστικά της πρώτης γενιάς (1G) κινητών συστημάτων

Κύρια Χαρακτηριστικά των 1G-First Generation Mobile Communication System	
Χωρητικότητα Δεδομένων	2Kbps
Τεχνολογία	Αναλογική ασύρματη σύνδεση
Πρότυπο	AMPS
Πολυπλεξία	FDMA
Τύπος Μεταγωγής	Κύκλωμα
Υπηρεσία	Μόνο φωνή
Κύριο Δίκτυο	PSTN
Υποστήριξη Handoff	Οριζόντια
Συχνότητα	800 με 900MHz

1.2 Δεύτερη Γενιά Κινητών Συστημάτων (2G)

Η δεύτερη γενιά κινητών συστημάτων (2G) ξεκίνησε στα τέλη του 1980. Αντιθέτως με την πρώτη γενιά (1G), η δεύτερη γενιά (2G) χρησιμοποιεί ψηφιακή τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης, όπως TDMA(time division multiple access) και CDMA (code division multiple access). Συγκριτικά με τα 1G συστήματα, τα 2G προσφέρουν υψηλότερη αποδοτικότητα φάσματος, καλύτερες υπηρεσίες δεδομένων και περισσότερο προηγμένες υπηρεσίες περιαγωγής. Στις Ηνωμένες Πολιτείες υπήρχαν τρεις σειρές ανάπτυξης ψηφιακών κυψελωτών συστημάτων δεύτερης γενιάς. Το πρώτο ψηφιακό σύστημα εμφανίστηκε πρώτη φορά το 1991 και ονομάστηκε IS-54 (North America TDMA Digital Cellular). Η δεύτερη έκδοση του εμφανίστηκε

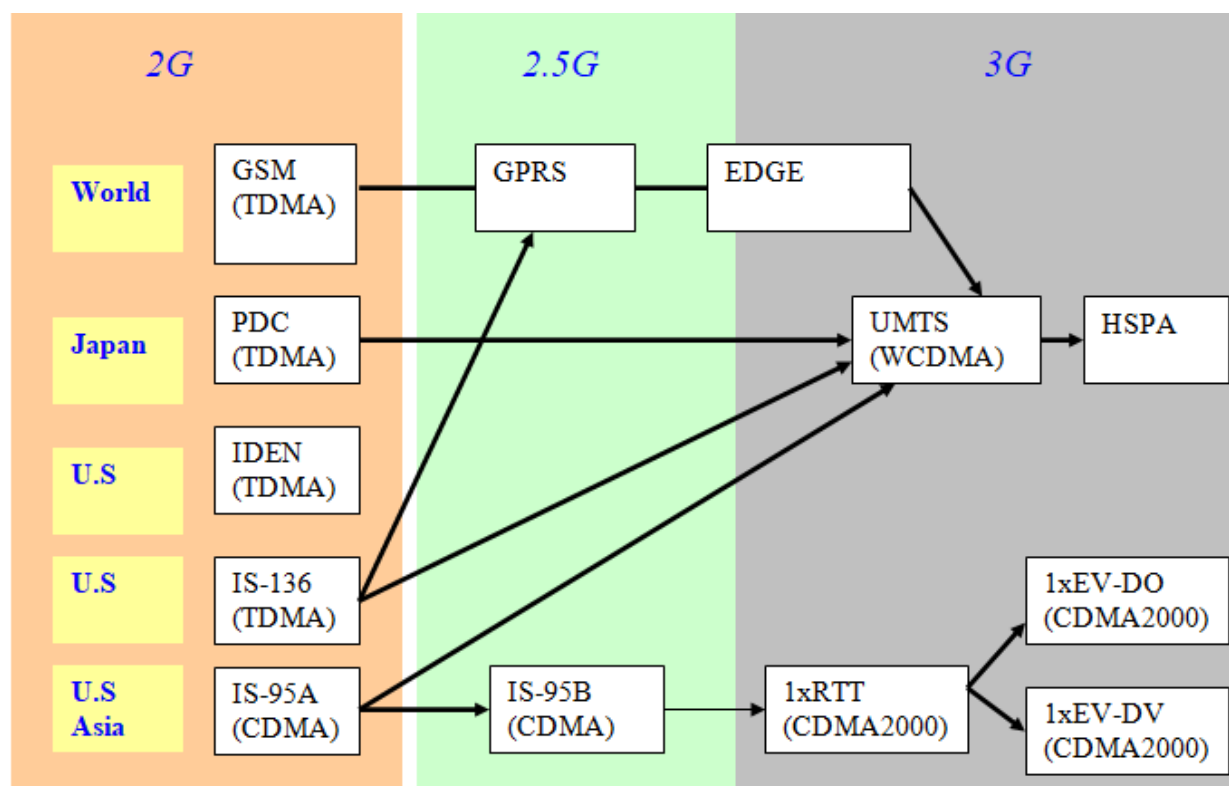
το 1996, ονομάστηκε IS-136 και υποστήριζε επιπλέον υπηρεσίες. Παράλληλα, αναπτύχθηκε το 1993 το IS-95 το οποίο ανήκει στην κατηγορία του CDMA (Sharma,2013). Στην δεύτερη γενιά χρησιμοποιείται το GSM το οποίο είναι ένα κυψελωειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας, που χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για τη μετάδοση σημάτων (Mogal,2012). Στο GSM, χρησιμοποιείται το GPRS για την υποστήριξη των υπηρεσιών δεδομένων. Το CDMA όπως και το GSM είναι κυψελωειδείς ασύρματες τεχνολογίες. Έχουν αναπτυχθεί ώστε να υποστηρίζουν επικοινωνία μέσω φωνής αλλά και δεδομένων ανάμεσα σε πολλούς χρήστες παγκοσμίως.

Πίνακας 2 : Κύρια χαρακτηριστικά της δεύτερης γενιάς (2G) κινητών συστημάτων

Κύρια Χαρακτηριστικά των 2G,2.5,2.75 - Generation Mobile Communication System			
	2G	2.5G	2.75G
Χωρητικότητα Δεδομένων	10Kbps	200Kbps	473Kbps
Τεχνολογία	Ψηφιακή ασύρματη σύνδεση	GPRS	EDGE
Πρότυπο	CDMA,TDMA,GSM	TDMA,GSM	CDMA,,GSM
Πολυπλεξία	CDMA,TDMA	CDMA,TDMA	CDMA,TDMA
Τύπος Μεταγωγής	Κύκλωμα	Πακέτα μεταγωγής	Πακέτα μεταγωγής
Υπηρεσία	Φωνή και δεδομένα	MMS, Internet	Φωνή και δεδομένα
Κύριο Δίκτυο	PSTN	TDMA,GSM	WCDMA
Υποστήριξη Handoff	Οριζόντια		
Συχνότητα	850 με 1900MHz(GSM) και 825MHz με 849MHz(CDMA)	850 με 1900MHz	850 με 1900MHz(GSM) και 825MHz με 849MHz(CDMA)

1.3 Τρίτη Γενιά Κινητών Συστημάτων (3G)

Η πρώτη προ-εμπορική εκκίνηση 3G δικτύου πραγματοποιήθηκε από την NTT DoCoMo στην Ιαπωνία, ονομαζόμενο ως FOMA. Ήταν αρχικά διαθέσιμο ως πιλοτική έκδοση για τον έλεγχο της τεχνολογίας W-CDMA. Η πρώτη εμπορική κυκλοφόρηση 3G δικτύου πραγματοποιήθηκε επίσης από την NTT DoCoMo τον Οκτώβρη 2001, αν και αρχικά ήταν αρκετά περιορισμένες οι λειτουργίες της. Η διεύρυνση της διαθεσιμότητας του συστήματος καθυστέρησε καθώς ήταν αμφίβολη η αξιοπιστία του. Το δεύτερο δίκτυο που κυκλοφόρησε στο κοινό ήταν της SK Telecom στην Νότια Κορέα, τύπου CDMA βασισμένο σε τεχνολογία 1xEV-DO. Το Μάιο του 2002 κυκλοφόρησε το δεύτερο δίκτυο 3G της Νότιας Κορέας από την KT τύπου EV-DO και οι Κορεάτες ήταν οι πρώτοι που διέκριναν τον ανταγωνισμό πάνω στο αντικείμενο των δικτύων 3G. Το πρώτο ευρωπαϊκό δίκτυο ήταν στην Νήσο του Μαν, τύπου UTMS και κλειστό για το κοινό. Ήταν προϊόν της Manx Telecom και αργότερα αποκτήθηκε από την British Telecom. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο της Ευρώπης μπήκε σε λειτουργία από την Telenor τον Δεκέμβριο του 2001. Ήταν τύπου UTMS βασισμένο σε W-CDMA. Καθώς δεν υπήρχαν εμπορικές συσκευές για να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο, το αποτέλεσμα ήταν να μην έχει πελάτες. Το πρώτο εμπορικό 3G δίκτυο των Η.Π.Α. ιδρύθηκε από την Monet Mobile Networks σε τεχνολογία CDMA2000 1x EV-DO, ωστόσο ο πάροχος του δικτύου σταμάτησε τη λειτουργία του. Ο δεύτερος πάροχος 3G δικτύου των Η.Π.Α. ήταν η Verizon Wireless τον Οκτώβριο του 2003, επίσης σε CDMA2000 1x EV-DO. Παράλληλα, δημιουργήθηκαν και τα πρώτα δίκτυα 3G και σε Αφρική, Αυστραλία. Μέχρι τον Ιούνιο του 2007 είχαν συνδεθεί 200 εκατομμύρια 3G συνδρομητές. Δηλαδή μόνο το 6,7% του συνολικού πληθυσμού συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας. Σε χώρες όπου το 3G κυκλοφόρησε γρηγορότερα, όπως Ιαπωνία και Νότια Κορέα, η διείσδυση του 3G ήταν πάνω από 70%. Στην Ευρώπη η πρωτοπόρος χώρα ήταν η Ιταλία με το 1/3 των συνδρομητών της να έχουν μεταβεί στα 3G δίκτυα. Άλλες χώρες όπως Ηνωμένο Βασίλειο, Αυστρία, Αυστραλία και Σιγκαπούρη είχαν 20% μετανάστευση προς τα 3G δίκτυα (Mogal,2012).



Εικόνα 1 : Εξέλιξη των 3G Ασύρματων Πρότυπων
 Πηγή : Computer Desktop Encyclopedia 2008 The Computer Language Co

Μάλιστα εάν θεωρήσουμε ότι η κατηγορία των πελατών που χρησιμοποιούν CDMA2000 1x RTT συμπεριλαμβάνονται στους 3G συνδρομητές, τότε ο συνολικός αριθμός συνδρομητών θα ήταν 475 εκατομμύρια τον Ιούνιο του 2007 και 15,8% του συνόλου όλων των συνδρομητών παγκοσμίως (Mogal,2012).

Χαρακτηριστικά των 3G Τεχνολογιών

Τα 3G εισήγαγαν τον όρο “mobile broadband”, καθώς η ταχύτητα και η χωρητικότητα τους τα καθιστούσαν ως βιώσιμη εναλλακτική για περιήγηση στο διαδίκτυο και τα USB φορητά modems γινόντουσαν ολοένα και περισσότερο δημοφιλή (Mogal,2012).

Πίνακας 3 : Κύρια χαρακτηριστικά της τρίτης γενιάς (3G) κινητών συστημάτων

Κύρια Χαρακτηριστικά των 3G- Generation Mobile Communication System			
	3G	3.5G	3.75
Χωρητικότητα Δεδομένων	384Kbps	2Mbps	30Mbps
Τεχνολογία	Ευρυζωνικότητα, τεχνολογία IP, FDD και TDD	GSM, 3GPP	
Πρότυπο	CDMA, WCDMA, UMTS, CDMA2000	HSDPA, HSUPA	1XEVDO
Πολυπλεξία	CDMA	CDMA	CDMA
Τύπος Μεταγωγής	Πακέτα μεταγωγής και Κυκλώματα μεταγωγής	Πακέτα μεταγωγής	Πακέτα μεταγωγής
Υπηρεσία	Υψηλή ταχύτητα φωνής, δεδομένων και video	Υψηλή ταχύτητα φωνής, δεδομένων και video	Υψηλή ταχύτητα Internet και Multimedia
Κύριο Δίκτυο	Δίκτυο πακέτων	GSM, TDMA	
Υποστήριξη Handoff	Οριζόντια	Οριζόντια	Οριζόντια
Συχνότητα	1.6 με 2.5GHz	1.6 με 2.5GHz	1.6 με 2.5GHz

Το CDMA (Code-Division Multiple Access) αναφέρεται σε οποιοδήποτε από τα πολλά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες δεύτερης γενιάς (2G) και τρίτης γενιάς (3G). Όπως υποδηλώνει ο όρος, το CDMA είναι μια μορφή πολυπλεξίας, η οποία επιτρέπει σε πολλά σήματα να καταλαμβάνουν ένα μοναδικό κανάλι μετάδοσης, βελτιστοποιώντας τη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται σε κυψελοειδή τηλεφωνικά συστήματα εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (UHF) στις ζώνες 800 MHz και 1.9 GHz. Το CDMA χρησιμοποιεί μετατροπή αναλογικού προς ψηφιακό (ADC) σε συνδυασμό με την τεχνολογία εξάπλωσης φάσματος. Η είσοδος ήχου αρχικά ψηφιοποιείται σε δυαδικά στοιχεία. Στη συνέχεια η συχνότητα του μεταδιδόμενου σήματος μεταβάλλεται σύμφωνα με ένα καθορισμένο πρότυπο (κωδικό), έτσι ώστε να μπορεί να παρεμποδίζεται μόνο από έναν δέκτη του οποίου η απόκριση συχνότητας προγραμματίζεται με τον ίδιο κωδικό, έτσι ακολουθεί ακριβώς μαζί με τη συχνότητα του πομπού. Υπάρχουν

τρισεκατομμύρια πιθανών κωδικών ακολουθίας συχνότητας, οι οποίες ενισχύουν την ιδιωτικότητα και καθιστούν δύσκολη την κλωνοποίηση.

Πίνακας 4 : Συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των 1G, 2G και 3G

Γενιά	Τεχνολογία		Χαρακτηριστικά
1G	AMPS	Advanced Mobile Phone Service	• Αναλογική ασύρματη σύνδεση • Μόνο φωνή
2G	CDMA	Code Division Multiple Access	• Ψηφιακή ασύρματη σύνδεση • Επικοινωνία μέσω φωνής αλλά και δεδομένων ανάμεσα σε πολλούς χρήστες παγκοσμίως • 9.6K έως 14.4Kbit/sec • CDMA, TDMA και PDC προσφέρουν μόνο μιας κατεύθυνσης μεταφοράς δεδομένων • Βελτιωμένες υπηρεσίες κλήσης όπως η αναγνώριση κλήσης
	TDMA	Time Division Multiple Access	
	GSM	Global System for Mobile Communications	
	PDC	Personal digital cellular	
3G	W-CDMA	Wide-band Code Division Multiple Access	• Υψηλή ποιότητα φωνής • Υψηλή ταχύτητα Internet και Multimedia • Έως 14 M bit/sec • Ευρυζωνικότητα • Βελτιωμένη περιαγωγή
	CDMA-2000	Based on the Interim Standard-95 CDMA standard	
	TD-SCDMA	Time-division synchronous code-division multiple-access	

Υιοθέτηση της 3G Τεχνολογίας

Η υιοθέτηση των 3G δικτύων πραγματοποιήθηκε σχετικά αργά σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα 3G δίκτυα δεν χρησιμοποιούσαν τις ίδιες ραδιοσυχνότητες με τα 2G, οπότε έπρεπε να δημιουργηθούν νέα δίκτυα και να αδειοδοτηθούν εξ ολοκλήρου νέες συχνότητες, ειδικά ώστε να επιτευχθούν υψηλές ταχύτητες στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Επίσης, υπήρξαν καθυστερήσεις λόγω του κόστους αναβάθμισης του εξοπλισμού μετάδοσης, ειδικά για την Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), καθώς ήταν απαραίτητη η αντικατάσταση των περισσότερων πύργων μετάδοσης σήματος. Λόγω αυτών των θεμάτων και δυσκολιών στην εφαρμογή, σε πολλές περιπτώσεις αυτές οι βελτιωμένες ικανότητες καθυστέρησαν να εφαρμοστούν ή δεν πραγματοποιήθηκαν καθόλου. Τον Δεκέμβριο του 2007, λειτουργούσαν 190 3G δίκτυα σε 40 χώρες και 154 HSDPA σε 71 χώρες, σύμφωνα με τον GSA. Στην Ασία, Ευρώπη, Καναδά και Η.Π.Α. οι εταιρίες τηλεπικοινωνιών χρησιμοποιούσαν W-CDMA τεχνολογία με την υποστήριξη περίπου 100 σχεδίων τερματικών για να λειτουργούν τα 3G δίκτυα κινητών. Σε αρκετές χώρες υπήρξε καθυστέρηση των 3G λόγω του τεράστιου κόστους που είχε η διανομή του φάσματος. Επίσης, οι αμοιβές για τις άδειες σε ορισμένες Ευρωπαϊκές χώρες ήταν αρκετά ακριβές καθώς η κυβέρνηση έβαζε αυτόν τον περιορισμένο αριθμό αδειών σε δημοπρασίες (Mogal,2012).

1.4 Τέταρτη Γενιά Κινητών Συστημάτων (4G)

Ως σκοπό ανάπτυξης των δικτύων 4G μπορούμε να ορίσουμε την υψηλή απόδοση και χωρίς ασυνέχειες επικοινωνία. Τα γενικά χαρακτηριστικά που συνάδουν με αυτό το σκοπό είναι οι συγκριτικά υψηλότεροι βαθμοί ρυθμοί μετάδοσης - 100Mbps και πάνω – δεδομένων με υψηλού επιπέδου QoS και χαμηλότερο κόστος. Ταυτόχρονα, η κατανομή φάσματος είναι τέτοια που να επιτρέπονται οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί μετάδοσης πάνω σε κυψέλες μεσαίου μεγέθους. Τα δίκτυα που εξυπηρετούν τέτοιους σκοπούς αποτελούνται από κυκλώματα μεταγωγής και όλα τα στοιχεία τους είναι ψηφιακά.

Η πρώτη δοκιμή πεδίου στα 4G δίκτυα πραγματοποιήθηκε στο Τόκιο, στις 23 Ιουνίου του 2005. Η NTT Docomo κατάφερε σε ταχύτητα κίνησης 20km/h να πιάσει ταχύτητα downlink 1Gbps (Sharma,2013).

Η μετάβαση από υπηρεσίες 3.5G σε υπηρεσίες 4G προσφέρει στους χρήστες πρόσβαση σε μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων και χαμηλότερα ποσοστά καθυστέρησης. Συνεπώς ο τρόπος με τον οποίο οι χρήστες έχουν πρόσβαση και χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο σε κινητές συσκευές συνεχίζει να αλλάζει δραματικά. Σε όλο τον κόσμο, οι φορείς εκμετάλλευσης συνήθως αναφέρουν ότι οι πελάτες 4G καταναλώνουν περίπου το διπλάσιο του μηνιαίου όγκου δεδομένων των χρηστών που δεν είναι χρήστες 4G και σε ορισμένες περιπτώσεις τριπλάσιο. Ένα αυξημένο επίπεδο κατανάλωσης δεδομένων λόγω ροής βίντεο από πελάτες σε δίκτυα 4G αναφέρεται συχνά από τους φορείς εκμετάλλευσης ως σημαντικό παράγοντα που συμβάλλει σε αυτό το γεγονός (GSMA Intelligence, 2014).

Πίνακας 5 : Η εξέλιξη των γενιών στα πλαίσια των υπηρεσιών και της επίδοσης

Γενιά	Βασικές Υπηρεσίες	Βασικές Διαφοροποιήσεις	Αδυναμίες
1G	Analogue phone calls	Mobility	Poor spectral efficiency, major security issues
2G	Digital phone calls and messaging	Secure, mass adoption	Limited data rates – difficult to support demand for Internet/email
3G	Phone calls, messaging, data	Better internet experience	Real performance failed to match type, failure of WAP for Internet access
3.5G	Phone calls, messaging, broadband data	Broadband Internet, applications	Tied to legacy, mobile specific architecture and protocols
4G	All-IP services (including voice, messaging)	Faster broadband Internet, lower latency	?

Πηγή : GSMA Intelligence

Τα 4G δίκτυα ή All-IP δίκτυα ουσιαστικά βασίζονται στη δημιουργία και εγκατάσταση μίας IP υποδομής, η οποία λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος και backbone core network όλων των υπολοίπων ασυρμάτων δικτύων, είτε πρόκειται για δίκτυα κυψελωτής τηλεφωνίας, είτε για ασύρματα δίκτυα δεδομένων. Τα 4G συστήματα είναι ουσιαστικά ένα σύνολο ετερογενών αλλά IP-based δικτύων που επιτρέπουν στο χρήστη να χρησιμοποιεί το σύστημα οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Οι εφαρμογές τις οποίες χρησιμοποιεί ο κάθε χρήστης είναι αυτές που παρέχονται από τα διάφορα συνενωμένα δίκτυα. Έτσι, μπορούμε να πούμε πως τα 4G δίκτυα δεν είναι μόνο τηλεπικοινωνιακού χαρακτήρα αλλά ταυτόχρονα παρέχουν και υπηρεσίες πολυμέσων και δεδομένων. Μόνη απαίτηση είναι η συσκευή να μπορεί να συνδέεται ασύρματα σε δίκτυο όπως για παράδειγμα σε GPS, σε WLAN ή σε UMTS.

2. Πέμπτη Γενιά Κινητών Συστημάτων (5G)

2.1 Εισαγωγή

Οι OMNs (Mobile Networks Operator) πρέπει να σχεδιάσουν την αναβάθμιση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 4G σε 5G μέχρι το 2020, το οποίο είναι το αναμενόμενο έτος για την έναρξη του 5G. Αναμένεται ότι οι κινητοί και ασύρματοι όγκοι κυκλοφορίας θα αυξηθούν σημαντικά μέσα στην επόμενη δεκαετία και μέχρι το 2020 προβλέπεται ότι θα υπάρχουν περίπου πενήντα δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές στο cloud. Όλες οι παραπάνω συσκευές θα χρειάζεται να έχουν πρόσβαση και να μοιράζονται δεδομένα, οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Με τη γρήγορη αύξηση στον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών, εμφανίζονται ορισμένες δοκιμασίες, στις οποίες θα δώσει απάντηση η αύξηση της χωρητικότητας, η βελτίωση της απόδοσης ενέργειας, του κόστους και της χρήσης του ραδιοφάσματος. Για την ανταπόκριση στις απαιτήσεις του σήμερα, η γενική ιδέα είναι πως θα πρέπει το δίκτυο να υποστηρίξει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- 1000 φορές μεγαλύτερο όγκο δεδομένων ανά περιοχή
- 10 με 100 φορές μεγαλύτερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών
- 10 με 100 φορές μεγαλύτερο ρυθμό χρήσης δεδομένων
- 10 φορές μεγαλύτερη αντοχή μπαταρίας για τις χαμηλής ενέργειας συσκευές
- 5 φορές μικρότερη End-to-End καθυστέρηση

2.2 Η Πορεία των 5G

Η πορεία, τα ορόσημα και τα βήματα προς την κατεύθυνση της τελικής ανάπτυξης, είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την συνολική επιτυχία του 5G. Το NGMN έχει ορίσει μια πορεία 5G που δείχνει ένα φιλόδοξο χρονοδιάγραμμα με την έναρξη των πρώτων εμπορικών συστημάτων το 2020. Παράλληλα, καθορίζει μια εύλογη προθεσμία για όλους τους φορείς της βιομηχανίας έτσι ώστε να διεκπεραιώνουν τις απαιτούμενες δραστηριότητες (όπως τυποποίηση, πειράματα, δοκιμές), εξασφαλίζοντας τη διαθεσιμότητα των ώριμων τεχνολογικών λύσεων για τους διαχειριστές και παρέχοντας ελκυστικές υπηρεσίες στους πελάτες κατά την ημερομηνία έναρξης.

M2: Η αρχική έρευνα, ανάπτυξη και σχεδιασμός του συστήματος, τα πρώτα πρωτότυπα είναι έτοιμα, μελέτη και σύσταση για τη διαθέσιμη τυποποίηση, επίσης αρχίζει στην πράξη η τυποποίηση.

M3: Ξεκινά η δοκιμή της βασικής λειτουργικότητας.

M4: Οριστικοποιημένα πρότυπα (1η έκδοση).

M5: Υποδομή και τερματικά έτοιμα για δοκιμές και πιστοποίηση διαλειτουργικότητας. Επίσης ξεκινούν οι δοκιμές των πελατών.

M6: Ολοκληρώνονται οι δοκιμές διαλειτουργικότητας των υποδομών και των τερματικών.

M7: Πρώτη εμπορική υποδομή. Υπηρεσίες και τερματικά έτοιμα για ανάπτυξη.

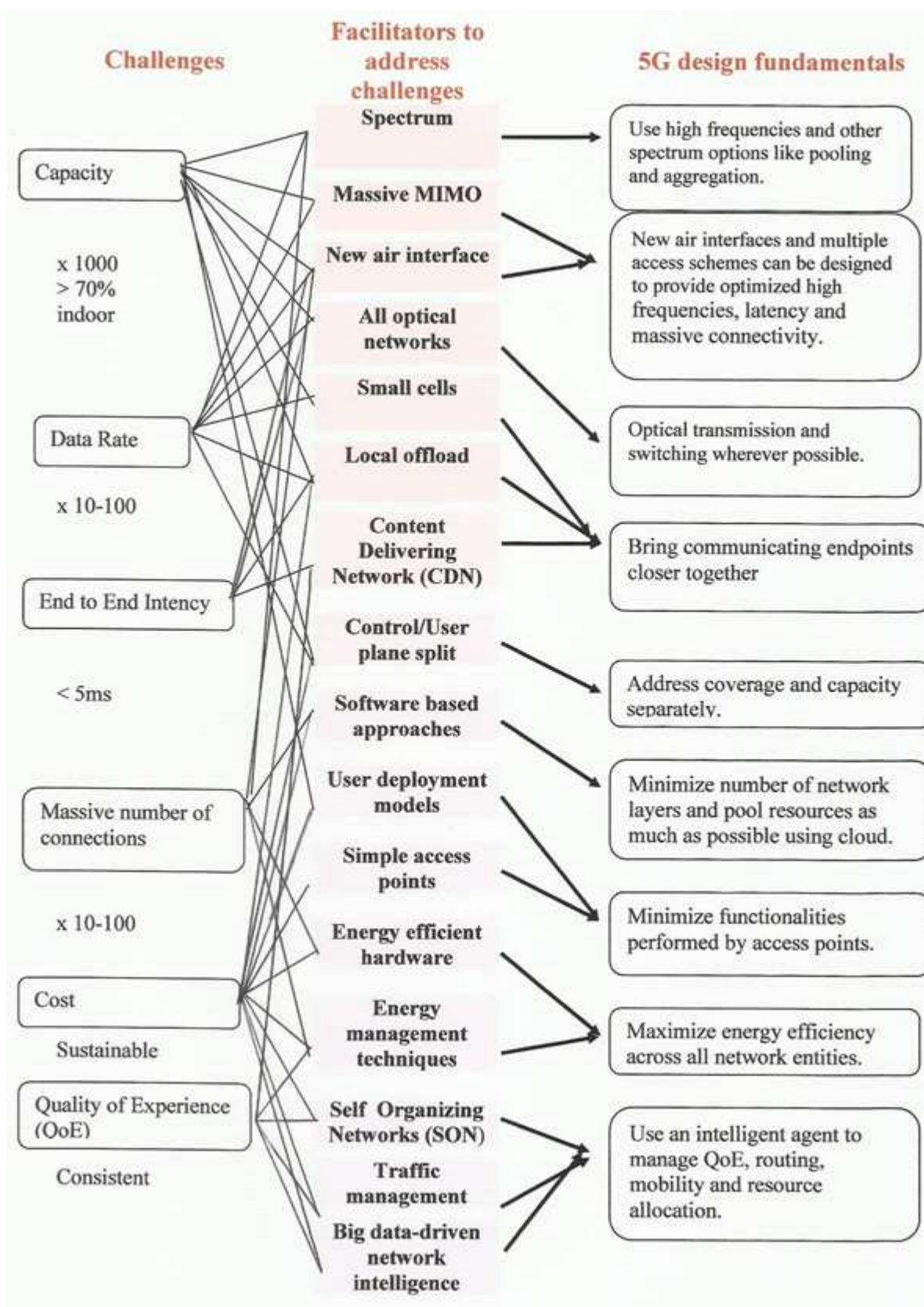
(El Hattachi, 2015)

2.3 Απαιτήσεις για τα 5G

Μια ιδέα για τη μεταστροφή προς τα 5G βασίζεται στις τρέχουσες μετακινήσεις. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι τα κυψελωτά δίκτυα των 5G πρέπει να αντιμετωπίσουν ορισμένες προκλήσεις που δεν κατάφεραν να επιλύσουν αποτελεσματικά τα 4G. Αυτές είναι οι εξής :

- Υψηλή χωρητικότητα
- Υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων
- Χαμηλότερη End to End καθυστέρηση (1-10 millisecond end-to end καθυστέρηση)
- Μαζική συνδεσιμότητα συσκευών
- Μειωμένο κόστος
- 90% μείωση στην χρήση ενέργειας για το δίκτυο
- Μπαταρίες με διάρκεια ζωής μέχρι και 10 χρόνια για συσκευές χαμηλής κατανάλωσης
- 1000x εύρος ζώνης για κάθε μονάδα ανά περιοχή.
- 99.999% διαθεσιμότητα
- 100% κάλυψη
- Το Quality of Experience για τους χρήστες

Οι προκλήσεις αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρακάτω σχήμα, μαζί με μερικούς πιθανούς διαμεσολαβητές για την αντιμετώπισή τους. Επίσης, πρόσφατα εισήχθησαν στο IEEE τα 802.11ac, 802.11ad και 802.11af πρότυπα, τα οποία είναι πολύ βοηθητικά και χρήσιμα, και δρουν ως θεμελιώδη στοιχεία στο δρόμο για τα 5G (Gupta, Kumar, 2015).



Εικόνα 3 : Απαιτήσεις (challenges) των 5G

99,999% διαθεσιμότητα και 100% γεωγραφική κάλυψη

Η 99,999% διαθεσιμότητα και η 100% κάλυψη είναι εφικτές χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε υπάρχουσα τεχνολογία και θα μπορούσαν να επιτευχθούν από οποιονδήποτε φορέα δικτύου. Οι φορείς αποφασίζουν πού να τοποθετήσουν τις κυψέλες, με βάση το κόστος για να προετοιμάσουν το χώρο για τη δημιουργία μιας κυψέλης, ώστε να καλύψουν μια συγκεκριμένη περιοχή, σε συνδυασμό με το όφελος που παρέχει το κύτταρο στην κάλυψη μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής.

Ενώ μια νέα γενιά τεχνολογίας της κινητής τηλεφωνίας μπορεί να αλλάξει τις τιμές που εισέρχονται στο επιχειρηματικό μοντέλο, όπου η βιωσιμότητα των κυψελών πετυχαίνει 100% κάλυψη και 99,999% διαθεσιμότητα, θα παραμείνει μια επιχειρηματική απόφαση και όχι ένας τεχνικός στόχος. Αντίθετα, αν η 100% κάλυψη και η 99,999% διαθεσιμότητα, έπρεπε να είναι ένα κριτήριο για τη δημιουργία των 5G, κανένα δίκτυο δεν θα πετύχαινε την κατάσταση των 5G έως ότου υπάρξει κάλυψη 100% και να επιτευχθεί διαθεσιμότητα 99,999%.

Πυκνότητα σύνδεσης (1000x εύρος ζώνης ανά μονάδα επιφάνειας, 10-100x αριθμός συνδέσεων)

Αυτές οι απαιτήσεις πρέπει να πληρούνται από δίκτυα τα οποία περιλαμβάνουν 5G ως τεχνολογία επιτάχυνσης, αλλά επίσης απαιτούν συνεχή υποστήριξη των προϋπάρχουσων γενεών τεχνολογίας δικτύου. Η υποστήριξη 10 με 100 φορές του αριθμού των συνδέσεων εξαρτάται από ένα φάσμα τεχνολογιών που συνεργάζονται μεταξύ τους, συμπεριλαμβάνοντας τα 2G, 3G, 4G, Wi-Fi, Bluetooth και άλλες συμπληρωματικές τεχνολογίες. Η προσθήκη των 5G πάνω από αυτό το οικοσύστημα δεν θα πρέπει να θεωρηθεί ως τελική λύση, αλλά μόνο ως ένα επιπλέον κομμάτι μιας ευρύτερης εξέλιξης για να καταστεί δυνατή η συνδεσιμότητα των μηχανών. Το Internet of Things (IoT) έχει ήδη αρχίσει να αποκτά σημαντική δυναμική ανεξάρτητα από την άφιξη του 5G.

Ομοίως, η απαίτηση για εύρος ζώνης 1000 φορές περισσότερο ανά μονάδα επιφάνειας δεν εξαρτάται από τα 5G, αλλά είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα των περισσότερων συσκευών που συνδέονται σε υψηλότερα εύρη ζώνης για μεγαλύτερη διάρκεια. Ενώ ένα δίκτυο 5G μπορεί να προσθέσει μια νέα ώθηση στην εξέλιξη σε αυτόν τον τομέα, η ανάπτυξη του LTE έχει ήδη μετασχηματιστική επίδραση στο ποσό του εύρους ζώνης που καταναλώνεται σε συγκεκριμένη

περιοχή και αυτό θα αυξάνεται μέχρι και κατά την εμφάνιση του 5G. Η επέκταση του Wi-Fi και η ενσωμάτωση των δικτύων Wi-Fi με κυψέλες θα είναι επίσης το κλειδί για την υποστήριξη μεγαλύτερων ποσοστών πυκνότητας δεδομένων.

Η ικανοποίηση και των δύο αυτών απαιτήσεων θα έχει σημαντικές επιπτώσεις για το OPEX στο backhaul και την ισχύ, αφού κάθε κελί ή σημείο πρόσβασης θα πρέπει να τροφοδοτηθεί και όλη η πρόσθετη κυκλοφορία που παράγεται θα πρέπει να επανασχεδιαστεί (GSMA Intelligence, 2014).

Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας δικτύου και βελτίωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από δίκτυα και συσκευές είναι θεμελιώδους σημασίας για την οικονομική και οικολογική βιωσιμότητα της βιομηχανίας. Μια γενική αρχή της βιομηχανίας για την ελαχιστοποίηση της χρήσης ενέργειας στο δίκτυο και στον τερματικό εξοπλισμό θα πρέπει να εφαρμοστεί σε όλες τις γενιές τεχνολογίας και να αναγνωρίζεται ως οικολογικός στόχος, καθώς έχει σημαντικά θετική επίπτωση στο OPEX που συνδέεται με τη λειτουργία ενός δικτύου. Προς το παρόν δεν είναι σαφές πώς μια νέα γενιά τεχνολογίας με υψηλότερα εύρη ζώνης που αναπτύσσεται ως επικάλυψη (αντί για αντικατάσταση) πάνω από όλους τους προϋπάρχοντες εξοπλισμούς δικτύου θα μπορούσε να οδηγήσει σε καθαρή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Ορισμένες περιπτώσεις χρήσης για το M2M, απαιτούν η συνδεδεμένη συσκευή στο πεδίο να παραμένει αδρανής για εκτενείς χρονικές περιόδους. Είναι σημαντικό να επιδιώκονται :

- η καινοτομία στον τρόπο με τον οποίο αυτές οι συσκευές τροφοδοτούνται από την ισχύ
- η ευκαμψία της σηματοδότησης που χρησιμοποιούν όταν ενεργοποιούνται.

Ωστόσο, αυτή η απαίτηση έρχεται σε αντιπαράθεση με τις βασικές απαιτήσεις των 5G για τον ρυθμό δεδομένων αυτό που απαιτείται για τα μεγάλα δίκτυα αισθητήρων, είναι η πολύ περιστασιακή συνδεσιμότητα με την ελάχιστη παροχή και φόρτιση της σηματοδότησης. Οι εργασίες για την ανάπτυξη μιας τέτοιας τεχνολογίας προηγούνται των σημερινών απαιτήσεων των 5G και έχουν ήδη επιδιωχθεί στους οργανισμούς τυποποίησης.

Αυτές οι απαιτήσεις θα πρέπει και επιδιώκονται από τη βιομηχανία χρησιμοποιώντας ένα εύρος τεχνικών, αλλά αυτές οι ποσότητες εξέλιξης της υφιστάμενης τεχνολογίας δικτύου και της τοπολογίας ή των δυνατοτήτων που έχουν ενεργοποιηθεί αλλάζουν τα χαρακτηριστικά και τις

δυνατότητες του υλικού. Αυτά με τη σειρά τους θα ανοίξουν επιχειρηματικές ευκαιρίες για φορείς εκμετάλλευσης και τρίτους. Ωστόσο, καμία από αυτές τις απαιτήσεις δεν υπάρχει σήμερα και η δημιουργία τους περιορίζεται άμεσα από οικονομικούς όρους.

Έτσι, με τους αυστηρότατους όρους στα μετρήσιμα παραδοτέα του δικτύου που θα μπορούσαν να επιτρέψουν επαναστατικά σενάρια χρήσης, τα δυνητικά χαρακτηριστικά που θα ήταν μοναδικά για το 5G περιορίζονται σε καθυστέρηση υπο-1ms και ταχύτητα downlink > 1 Gbps (GSMA Intelligence, 2014).

2.4 Απειλές στην Εφαρμογή των 5G

Οι ακόλουθες απειλές αναμένονται από την εφαρμογή του δικτύου 5G ως μελλοντικό σύστημα.

- Δεδομένου ότι όλοι οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύου και οι πάροχοι υπηρεσιών θα μοιραστούν μια κοινή υποδομή βασικού δικτύου, η καταστολή ενός μόνο φορέα θα οδηγήσει στην κατάρρευση ολόκληρης της υποδομής, εάν δεν πραγματοποιηθεί προσεχτικά.
- Τα τρίτα μέλη μπορούν να μεταμφιεστούν ως νόμιμοι χρήστες που οδηγούν σε κλοπή των υπηρεσιών και οι απάτες τιμολόγησης μπορούν να προκύψουν εύκολα.
- Δεδομένου ότι η 5G είναι μια ασφαλής λύση που βασίζεται σε IP, θα είναι ευάλωτη σε όλες τις απειλές ασφάλειας, όπως ο σημερινός κόσμος του Διαδικτύου.
- Οι spooling επιθέσεις μπορούν να οδηγήσουν σε εσφαλμένες επικοινωνίες και απάτες που σχετίζονται με internet Banking.
- Παρακολούθηση και παρεμπόδιση των ιδιωτικών επικοινωνιών.
- Οι επιθέσεις ηλεκτρονικού "ψαρέματος" (phishing), οι οποίες κλέβουν λεπτομέρειες τραπεζικών λογαριασμών και άλλες πληροφορίες που έχουν εξασφαλιστεί, είναι πιο πιθανές.

(Olumuyiwa, 2014)

2.5 Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα των Δικτύων 5G

Η τεχνολογία 5G θα χρησιμοποιεί όλες τις υπάρχουσες κυψελωτές ασύρματες τεχνολογίες (2G, 3G και 4G). Εκτός από υψηλή διείσδυση θα παρέχει επίσης και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στους χρήστες και τους παρόχους:

- Περισσότερα έσοδα για τους παρόχους υπηρεσιών.
- Η διαλειτουργικότητα θα καταστεί εφικτή και ευκολότερη.
- Χαμηλή κατανάλωση μπαταρίας.
- Καλύτερη κάλυψη και υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων στις άκρες των κυψελών.
- Πολλαπλά μονοπάτια μετάδοσης δεδομένων ταυτόχρονα.
- Περισσότερη ασφάλεια και ιδιωτικότητα.
- Ευέλικτη αρχιτεκτονική βασισμένη στο SDR(Software Defined Radio).
- Υψηλότερη φασματική απόδοση συστήματος.
- Αβλαβές στην ανθρώπινη υγεία.
- Φθηνότερα τέλη λόγω του χαμηλότερου κόστους υποδομών ανάπτυξης.
- Καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (QoS – Quality of service).

Πίνακας 6 : Διαφορές και Ομοιότητες των 4G και 5G κινητών συστημάτων

Διαφορές και κοινά στοιχεία ανάμεσα σε 4G και 5G ασύρματα δίκτυα		
	4G	5G
Εύρος Ζώνης Δεδομένων	2Mbps to 1Gbps	1Gbps and higher as per need
Ζώνη Συχνοτήτων	2 to 8GHz	3 to 300GHz
Πρότυπο	AI access	CDMA και BDMA
Τεχνολογίες	CDMA,TDMA	CDMA,TDMA
Υπηρεσίες	Δυναμική πρόσβαση δεδομένων, φορητές	Δυναμική πρόσβαση δεδομένων, φορητές

	συσκευές, παγκόσμια περιαγωγή, HD streaming	συσκευές, HD streaming, οποιαδήποτε ζήτηση χρηστών
Συστήματα Πολλαπλής Πρόσβασης	CDMA	CDMA,BDMA
Κύριο Δίκτυο	ALL IP network	Flatter IP network, 5G network interfacing(5G-NI)
Υποστήριξη Handoff	Οριζόντια και κατακόρυφη	Οριζόντια και κατακόρυφη
Έτος εκκίνησης	Έτος 2010	Έτος 2015

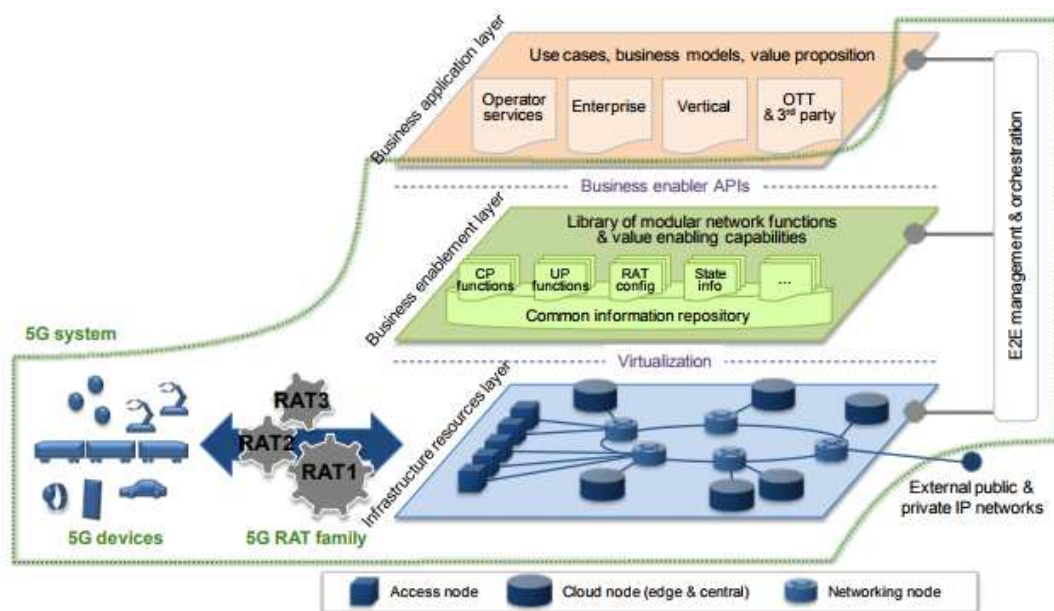
2.6 Αρχιτεκτονική των Κυψελωτών Δικτύων 5G

Όσο αναφορά τα δίκτυα 5G στην αγορά, είναι προφανές ότι οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης στο δίκτυο είναι στάσιμες και απαιτείται βελτίωση. Τρέχουσες τεχνολογίες όπως τα OFDMA θα είναι σε λειτουργία τουλάχιστον για τα επόμενα πενήντα χρόνια. Επίσης, δεν είναι αναγκαίο να αντικατασταθούν ολοκληρωτικά οι ρυθμίσεις του ασύρματου δικτύου, οι οποίες χρησιμοποιούνταν από το 1G μέχρι και το 4G. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να υπάρξει απλά η προσθήκη μιας εφαρμογής ή η βελτίωση στο βασικό δίκτυο με στόχο την ικανοποίηση των χρηστών. Αυτή η κίνηση θα προκαλέσει τους παρόχους πακέτων να τείνουν στα 5G δίκτυα μόλις τα 4G είναι εμπορικά ρυθμισμένα. Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του χρήστη και να ξεπεραστούν οι δοκιμασίες που έχουν τεθεί για τα 5G συστήματα, χρειάζεται μία δραστική αλλαγή στην στρατηγική της σχεδίασης της ασύρματης κυψελωτής αρχιτεκτονικής (Gupta, Kumar, 2015).

2.6.1 Δομή της Αρχιτεκτονικής

Με βάση τις αρχές σχεδιασμού, το NGMN προβλέπει μια αρχιτεκτονική που αξιοποιεί τον διαρθρωτικό διαχωρισμό του υλικού και του λογισμικού, καθώς και τον προγραμματισμό που προσφέρουν τα SDN και NFV. Ως εκ τούτου, η 5G αρχιτεκτονική είναι μια εγγενής αρχιτεκτονική SDN / NFV που καλύπτει πτυχές που κυμαίνονται από συσκευές, (κινητές /

σταθερές) υποδομές, λειτουργίες δικτύου, δυνατότητες ενεργοποίησης της αξίας και όλες τις λειτουργίες διαχείρισης που εννοχρηστρώνουν το σύστημα των 5G. Τα API παρέχονται στα σχετικά σημεία αναφοράς για την υποστήριξη της πολλαπλής χρήσης των σεναρίων, την αξία δημιουργίας και τα επιχειρηματικά μοντέλα. Αυτή η αρχιτεκτονική απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 4 : 5G Αρχιτεκτονική – Επίπεδα

Πηγή : El Hattachi, 2015

Η παραπάνω αρχιτεκτονική περιλαμβάνει τρία στρώματα-επίπεδα και μια οντότητα διαχείρισης και εννοχρήστρωσης E2E(End To End). Αυτά καταγράφονται και στη συνέχεια περιγράφονται παρακάτω:

1. Το στρώμα πόρων υποδομής.
2. Το στρώμα ενεργοποίησης επιχειρήσεων.
3. Το επίπεδο εφαρμογής των επιχειρήσεων.
4. Οντότητα διαχείρισης και εννοχρήστρωσης E2E.

1. **Το στρώμα πόρων υποδομής** αποτελείται από τους φυσικούς πόρους ενός σταθερού-κινητού δικτύου, περιλαμβάνοντας κόμβους πρόσβασης, κόμβους που βρίσκονται στο cloud (οι οποίοι

μπορεί να είναι επεξεργαστές ή πόροι αποθήκευσης), 5G συσκευές (με τη μορφή (έξυπνων) τηλεφώνων, φορητών, CPE, μονάδων τύπου μηχανής και άλλων), κόμβους δικτύωσης και σχετικούς συνδέσμους. Οι συσκευές 5G μπορεί να έχουν πολλές δυνατότητες εγκατάστασης και μπορούν να λειτουργούν ως ρελέ / διανομέας ή ως πόρος για υπολογισμούς ή αποθήκευση, ανάλογα με το πλαίσιο. Ως εκ τούτου, οι συσκευές 5G θεωρούνται επίσης μέρος του διαμορφώσιμου πόρου υποδομής. Οι πόροι εκτίθενται σε υψηλότερα επίπεδα καθώς και στην ενοποιημένη οντότητα διαχείρισης και ενορχήστρωσης μέσω των σχετικών API. Η εκτέλεση και η παρακολούθηση της κατάστασης καθώς και οι διαμορφώσεις αποτελούν εγγενές τμήμα ενός τέτοιου API.

2. **Το στρώμα ενεργοποίησης των επιχειρήσεων** είναι μια βιβλιοθήκη όλων των λειτουργιών που απαιτούνται σε ένα συγκλίνον δίκτυο δομικών στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών που υλοποιούνται από τις λειτουργικές μονάδες λογισμικού που μπορούν να ανακτηθούν από το χώρο αποθήκευσης στην επιθυμητή τοποθεσία και ένα σύνολο διαμόρφωσης των παραμέτρων για ορισμένα τμήματα του δικτύου, π.χ. πρόσβαση μέσω ραδιοφώνου. Οι λειτουργίες και οι δυνατότητες καλούνται κατόπιν αιτήματος της οντότητας ενορχήστρωσης, μέσω σχετικών APIs. Για ορισμένες λειτουργίες, μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές παραλλαγές, π.χ., διαφορετικές υλοποιήσεις της ίδιας λειτουργικότητας που έχουν διαφορετικές επιδόσεις ή χαρακτηριστικά. Τα διαφορετικά επίπεδα απόδοσης και δυνατοτήτων που προσφέρονται, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να διαφοροποιηθεί η λειτουργικότητα του δικτύου πολύ περισσότερο από ό, τι στα σημερινά δίκτυα (π.χ. να προσφέρει ως λειτουργία κινητικότητας νομαδική κινητικότητα, κινητικότητα των οχημάτων ή κινητικότητα των αερομεταφορών, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες).

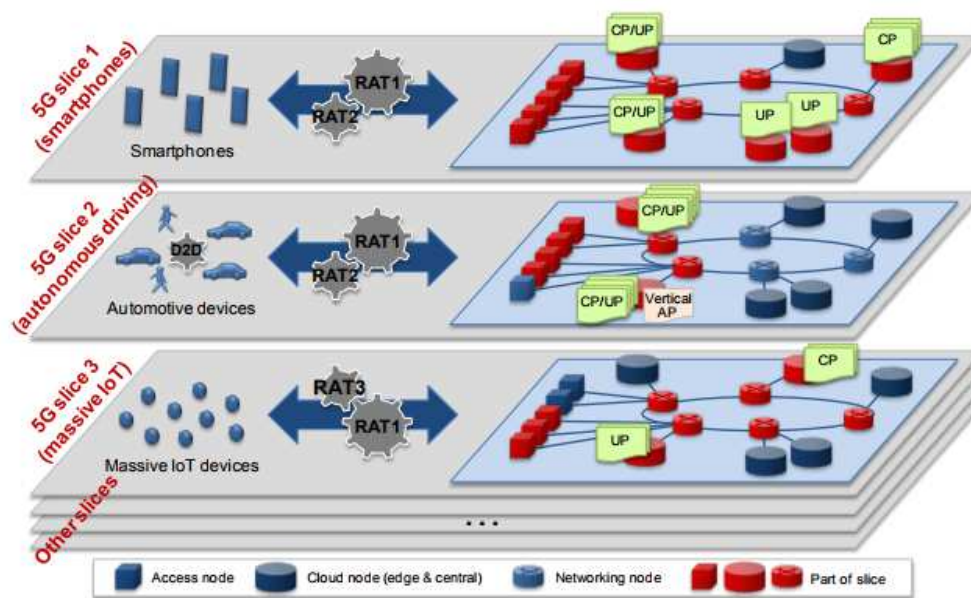
3. **Το στρώμα εφαρμογής των επιχειρήσεων** περιέχει συγκεκριμένες εφαρμογές και υπηρεσίες του διαχειριστή, της επιχείρησης, τρίτων μελών που χρησιμοποιούν το δίκτυο 5G. Η διαχείριση της από άκρο σε άκρο (end to end) διασύνδεσης και της ενότητας ενορχήστρωσης, επιτρέπει για παράδειγμα να δημιουργηθούν συγκεκριμένα κομμάτια δικτύου για μια εφαρμογή ή να γίνει αντιστοίχιση μιας εφαρμογής, σε ήδη υπάρχοντα κομμάτια του δικτύου.

4. **Η οντότητα διαχείρισης και ενορχήστρωσης E2E** είναι το σημείο επαφής για τη μετάφραση των σεναρίων και των επιχειρηματικών μοντέλων σε πραγματικές λειτουργίες δικτύου και των κομματιών αυτού. Αυτό, ορίζει τα μέρη του δικτύου για ένα δεδομένο σενάριο εφαρμογής,

συνδέει τις συναφείς λειτουργίες του αρθρωτού δικτύου, εκχωρεί τη σχετική απόδοση των διαμορφώσεων και τελικά καταγράφει όλα αυτά στους πόρους υποδομής. Διαχειρίζεται επίσης την κλιμάκωση της χωρητικότητας αυτών των λειτουργιών καθώς και τη γεωγραφική τους κατανομή. Σε ορισμένα επιχειρηματικά μοντέλα, θα μπορούσε επίσης να διαθέτει δυνατότητες για να επιτρέψει σε τρίτους (π.χ. MVNOs και verticals) να δημιουργούν και να διαχειρίζονται τα δικά τους κομμάτια δικτύου, μέσω των APIs και των αρχών XaaS. Λόγω των διαφόρων καθηκόντων της διαχείρισης και ενορχήστρωσης της οντότητας, δεν θα είναι ένα μονολιθικό κομμάτι λειτουργικότητας. Θα υλοποιηθεί ως μια συλλογή αρθρωτών λειτουργιών που ενσωματώνει τις προόδους που έχουν γίνει σε διαφορετικούς τομείς, όπως NFV, SDN ή SON. Επιπλέον, θα χρησιμοποιηθούν πληροφορίες με τη βοήθεια δεδομένων, για τη βελτιστοποίηση όλων των πτυχών της υπηρεσίας σύνθεσης και την παράδοσης.

2.6.2 Network Slicing- Τοποθέτηση στο Δίκτυο

Ένα κομμάτι δικτύου, δηλαδή το "5G κομμάτι", υποστηρίζει την υπηρεσία επικοινωνίας ενός συγκεκριμένου τύπου σύνδεσης με συγκεκριμένο τρόπο χειρισμού του επιπέδου C και U για αυτήν την υπηρεσία. Για το σκοπό αυτό, συντίθεται ένα κομμάτι 5G μιας συλλογής λειτουργιών δικτύου 5G και συγκεκριμένων ρυθμίσεων RAT που συνδυάζονται μαζί για την συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης ή το επιχειρηματικό μοντέλο. Έτσι, ένα τεμάχιο 5G μπορεί να εκτείνεται σε όλους τους τομείς του δικτύου: λογισμικές ενότητες που εκτείνονται σε κόμβους στο cloud, συγκεκριμένες διαμορφώσεις του δικτύου μεταφοράς υποστηρίζοντας ευέλικτη θέση των λειτουργιών, μια ειδική διαμόρφωση ραδιοφώνου ή ακόμα και ένα συγκεκριμένο RAT, καθώς και διαμόρφωση της συσκευής 5G. Δεν περιέχουν όλες οι φέτες τις ίδιες λειτουργίες. Ορισμένες λειτουργίες μάλιστα, που σήμερα είναι απαραίτητες για ένα κινητό δίκτυο μπορεί να λείπουν ακόμη και σε μερικά από τα κομμάτια. Η πρόθεση ενός κομματιού 5G είναι να παρέχει μόνο την κυκλοφοριακή μεταχείριση που είναι απαραίτητη για τη χρήση και να αποφεύγονται όλες τις άλλες περιττές λειτουργικότητες. Η ευελιξία πίσω από την έννοια του κομματιού, είναι βασικός παράγοντας για την επέκταση των υπαρχόντων επιχειρήσεων αλλά και προκειμένου να δημιουργηθούν νέες. Οι οντότητες τρίτων μελών μπορούν να λάβουν άδεια για να ελέγξουν ορισμένες πτυχές του τεμαχισμού μέσω ενός κατάλληλου API, προκειμένου να παρέχονται προσαρμοσμένες υπηρεσίες.



Εικόνα 5: Παράδειγμα πολλαπλών κομματιών 5G που λειτουργούν ταυτόχρονα στην ίδια υποδομή
 Πηγή : El Hattachi, 2015

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει ένα παράδειγμα πολλαπλών κομματιών 5G που λειτουργούν ταυτόχρονα στην ίδια υποδομή. Για παράδειγμα, ένα κομμάτι 5G για τυπική χρήση smartphone μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη ρύθμιση πλήρων λειτουργιών που διανέμονται στο δίκτυο. Η ασφάλεια, η αξιοπιστία και η καθυστέρηση θα είναι καθοριστικής σημασίας για την υποστήριξη ενός 5G κομματιού σε μια περίπτωση χρήσης αυτοκινητοβιομηχανίας. Για ένα τέτοιο κομμάτι, μπορούν να γίνουν όλες οι απαραίτητες (και ενδεχομένως αφοσιωμένες) λειτουργίες σε κόμβους στο cloud, συμπεριλαμβάνοντας την απαραίτητη κατακόρυφη εφαρμογή λόγω των περιορισμών καθυστέρησης. Για να επιτραπεί η μετάβαση σε μια τέτοια κατακόρυφη εφαρμογή σε έναν κόμβο σε cloud, πρέπει να καθοριστούν οι διεπαφές αρκετά ξεκάθαρα. Για ένα τεμάχιο 5G που υποστηρίζει μαζικές συσκευές τύπου μηχανής (π.χ. αισθητήρες), ορισμένες βασικές λειτουργίες του αεροσκάφους C μπορούν να διαμορφωθούν, παραλείποντας, π.χ., όλες τις λειτουργίες κινητικότητας, με βάση την επίλυση των πόρων για την πρόσβαση. Θα μπορούσαν να υπάρχουν και άλλες αφιερωμένες φέτες που να λειτουργούν παράλληλα, καθώς και ένα γενικό μέρος, το οποίο να παρέχει τη βασική συνδεσιμότητα με την καλύτερη δυνατή προσπάθεια, για να αντιμετωπίσει τις περιπτώσεις άγνωστης χρήσης και την κυκλοφορία. Ανεξάρτητα από τα κομμάτια που θα υποστηριχθούν από το δίκτυο, το δίκτυο 5G θα πρέπει να περιέχει

λειτουργικότητα που θα διασφαλίζει την ελεγχόμενη και ασφαλή λειτουργία του δικτύου από άκρο σε άκρο και υπό οποιοσδήποτε συνθήκες.

Η χρήση και των δύο ειδικών πόρων υποδομής για ορισμένες φέτες, η χρήση κοινών πόρων υποδομής, καθώς και λειτουργίες μεταξύ πολλαπλών φετών είναι απαραίτητες. Ένα παράδειγμα μιας κοινόχρηστης λειτουργίας είναι ο προγραμματιστής ραδιοφώνου. Ο προγραμματιστής ενός RAT τυπικά θα μοιράζεται μεταξύ των πολλαπλών φετών, και θα διαδραματίσει έναν καθοριστικό ρόλο στην κατανομή πόρων και τον καθορισμό των επιδόσεων ενός τεμαχίου 5G, συμπεριλαμβάνοντας τον βαθμό στον οποίο πραγματοποιείται η συνεπής εμπειρία του χρήστη. Η εφαρμογή χρονοπρογραμματιστή στα σημερινά δίκτυα, είναι τυπικά ιδιόκτητο. Εντούτοις, πρέπει να καθοριστεί το απαιτούμενο επίπεδο ανοίγματος έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής έλεγχος αυτής της κρίσιμης λειτουργίας.

Για να υλοποιηθεί αυτή η αρχιτεκτονική συστήματος 5G, οι λειτουργίες C- και U-plane θα πρέπει να διαχωρίζονται ξεκάθαρα, με ανοικτές διεπαφές που ορίζονται μεταξύ τους, σύμφωνα με τις αρχές SDN. Το μέτωπο των διεπαφών μεταξύ των απομακρυσμένων μονάδων ραδιοσυχνότητας και των μονάδων βάσης θα πρέπει επίσης να είναι ανοιχτό και ευέλικτο, προσφέροντας λειτουργία πολλαπλών προμηθευτών και καλή προς τα εμπρός και προς τα πίσω συμβατότητα, παρέχοντας παράλληλα επιλογές για τη μείωση του εύρους ζώνης μεταφοράς. Επιπλέον, η διασύνδεση μεταξύ των λειτουργιών πρέπει να επιτρέπει πολλαπλών εκδόσεων παροχή διαφορετικών λειτουργιών.

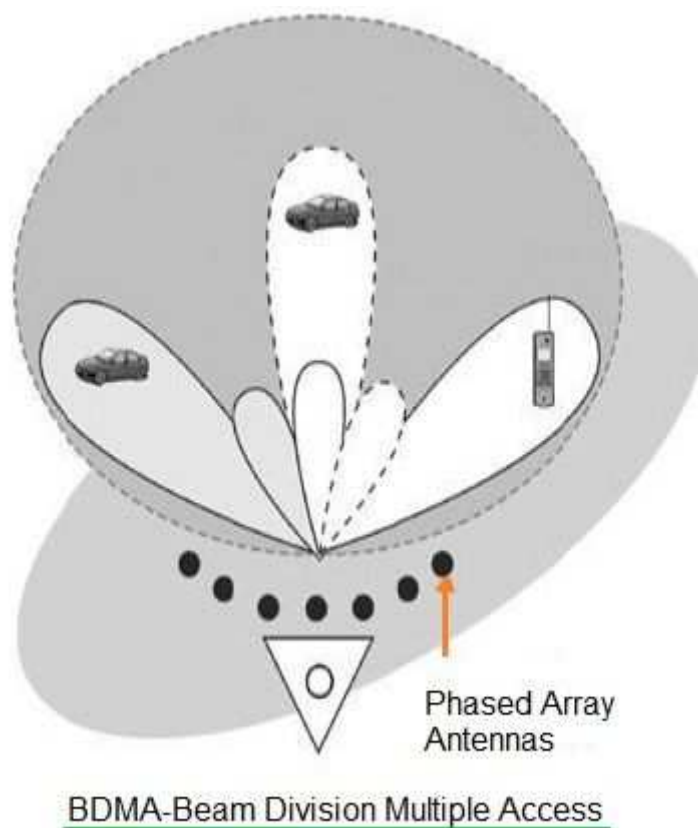
Ένα σημαντικό στοιχείο σε μια τέτοια αρχιτεκτονική συστημάτων είναι η λεπτομέρεια στην οποία ορίζονται οι λειτουργίες. Ενώ η μικρότερη λεπτομέρεια θα βελτιώσει την ευελιξία, μπορεί επίσης να οδηγήσει σε σημαντικές περιπλοκές. Οι προσπάθειες δοκιμών, για διαφορετικούς συνδυασμούς λειτουργιών και υλοποιήσεων φέτας θα είναι δυσκίνητες και θα προκύψουν διασυνδεδεμένα θέματα μεταξύ διαφορετικών δικτύων. Ως εκ τούτου, για την σωστή διακρίσιμότητα για την εξισορρόπηση του, πρέπει να προσδιοριστούν οι στόχοι της ευελιξίας και της πολυπλοκότητας. Αυτό θα επηρεάσει επίσης τον τρόπο με τον οποίο το οικοσύστημα προσφέρει λύσεις (El Hattachi, 2015).

3. Σχετικές τεχνολογίες με τα 5G

3.1 BDMA

Το σύστημα κινητών επικοινωνιών πρέπει να παρέχει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας σε μεγάλο αριθμό χρηστών, με χαμηλό κόστος. Η μεγάλη πρόκληση για τις ασύρματες τεχνολογίες είναι να αυξήσουν τη χωρητικότητα και την ποιότητα του συστήματος μέσα σε ένα περιορισμένο φάσμα πυκνότητας. Για τη λύση αυτού του προβλήματος είναι απαραίτητες ορισμένες τεχνολογίες πολλαπλής πρόσβασης, όπως FDMA, TDMA, CDMA και OFDM (Saurabh, Chauhan, Karadiya, 2012). Με την εκθετική αύξηση της ζήτησης των χρηστών, τα 4G δίκτυα θα είναι εύκολο να αντικατασταθούν από τα 5G με τη χρήση της προηγμένης τεχνολογίας πρόσβασης BDMA(Beam Division Multiple Access) και της FBMC που αναφέρεται ως (Filter Bank Multiple Access). Η βασική ιδέα πίσω από την τεχνική των BDMA εξηγείται από την εξέταση του σεναρίου ότι ο σταθμός βάσης (base station) επικοινωνεί με τους κινητούς σταθμούς(mobile stations). Σε αυτήν την επικοινωνία, μια ορθογώνια δέσμη κατανέμεται σε κάθε κινητό σταθμό και η τεχνική BDMA διαιρεί αυτήν την ακτίνα κεραίας σύμφωνα με τις θέσεις των κινητών σταθμών, δίνοντας πολλαπλή πρόσβαση σε αυτούς, η οποία αυξάνει αντίστοιχα την χωρητικότητα του συστήματος (Gupta, Kumar, 2015). Πιο αναλυτικά, ο σταθμός βάσης και ο κινητός σταθμός δεν γνωρίζουν ο ένας την τοποθεσία του άλλου, οπότε ο κινητός σταθμός βρίσκει τη θέση του και την ταχύτητα μετακίνησης του και τη μεταδίδει παντομερώς προς τον σταθμό βάσης. Με βάση την κινούμενη ταχύτητα και τη θέση του κινητού σταθμού, ο σταθμός βάσης υπολογίζει την κατεύθυνση και το πλάτος μιας δέσμης κατερχόμενης ζεύξης (downlink beam). Όταν ο κινητός σταθμός και ο σταθμός βάσης βρίσκονται σε κατάσταση LOS και γνωρίζουν τη θέση του άλλου, τότε και οι δύο μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους με τη χωριστή δέσμη. Στην τεχνική BDMA, σχηματίζονται πολλαπλές δέσμες διακριτών σχημάτων χρησιμοποιώντας την κεραία συστοιχίας φάσεων. Όταν οι κινητοί σταθμοί βρίσκονται σε διαφορετική γωνία με τον σταθμό βάσης, τότε ο σταθμός βάσης μεταδίδει τη διαφορετική δέσμη υπό διαφορετική γωνία για την ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων. Εάν οι κινητοί σταθμοί βρίσκονται στην ίδια γωνία με τον σταθμό βάσης, τότε μοιράζονται την ίδια δέσμη. Ο σταθμός βάσης μπορεί να αλλάξει το πλάτος των δοκών, τον αριθμό της δέσμης και την κατεύθυνση σύμφωνα με ένα περιβάλλον επικοινωνίας. Η δοκός χωρίζεται τρισδιάστατα έτσι ώστε να μπορεί να φιλοξενήσει περισσότερους χρήστες. Η απόδοση ακτινοβολίας της κεραίας μπορεί να

μεγιστοποιηθεί με την αντιστοίχιση του σχεδίου ακτινοβολίας των κεραιών κινητού σταθμού και σταθμών βάσης(Saurabh, Chauhan, Kapadiya,2012).



Εικόνα 6 : BDMA – Beam Division Multiple Access
Πηγή : Saurabh, Chauhan, Kapadiya,2012

3.2 Τεχνολογία MIMO

Μία γενική παρατήρηση από τους ερευνητές ήταν ότι οι χρήστες του ασύρματου δικτύου κατά 80% του χρόνου χρήσης έμεναν σε εσωτερικούς χώρους και μόλις 20% του χρόνου σε ανοιχτούς χώρους. Στην παρούσα ασύρματη κυψελωτή αρχιτεκτονική, για την επικοινωνία των χρηστών ανεξαρτήτως που βρίσκονται, ένας εξωτερικός σταθμός που βρίσκεται στο κέντρο της κυψέλης βοηθάει στην επικοινωνία. Οπότε για να επικοινωνήσουν οι χρήστες εσωτερικού χώρου με τον εξωτερικό σταθμό, το σήμα θα πρέπει να ταξιδέψει μέσα από τους τοίχους και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες. Το φαινόμενο αυτό έχει ως κόστος τη μείωση της φασματικής απόδοσης, τη μείωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και της απόδοσης

ενέργειας των ασύρματων δικτύων. Με σκοπό την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος γεννήθηκε μία νέα τεχνική στην σχεδίαση του κυψελωτού δικτύου, χωρίζοντας τις ρυθμίσεις για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Με αυτό τον τρόπο οι απώλειες του σήματος λόγω των τοίχων των κτηρίων θα μειωθούν σε ένα βαθμό. Αυτή η ιδέα θα πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια της τεχνολογίας massive MIMO. Η τεχνολογία massive MIMO είναι μία μέθοδος για να πολλαπλασιαστεί η χωρητικότητα των ραδιοσυχνοτήτων χρησιμοποιώντας κεραίες μετάδοσης και λήψης σήματος, ώστε να εκμεταλλευτεί τα πολλαπλά μονοπάτια. Οι κεραίες είναι στοιχισμένες γεωγραφικά και διασκορπισμένες. Τα παρόντα MIMO συστήματα χρησιμοποιούν 2 με 4 κεραίες, αλλά η ιδέα της massive MIMO θεωρητικά λόγω των πολυπληθών κεραιών έχει πλεονέκτημα τα τεράστια κέρδη χωρητικότητας (Gupta, Kumar, 2015).

3.3 Ετερογενή Δίκτυα (HetNets)

Το HetNet αναφέρεται στην παροχή ενός κυψελοειδούς δικτύου μέσω ενός συνδυασμού διαφορετικών τύπων κυττάρων (π.χ. macro, pico, femto) και διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης (δηλ. 2G, 3G, 4G, Wi-fi). Με την ενσωμάτωση μιας σειράς διαφορετικών τεχνολογιών ανάλογα με την τοπολογία της περιοχής κάλυψης, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να προσφέρουν μια πιο συνεπή εμπειρία στον πελάτη σε σύγκριση με το τι θα μπορούσε να επιτευχθεί με ένα ομοιογενές δίκτυο.

Η ανάπτυξη μικρών κυψελών αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της προσέγγισης HetNet, καθώς επιτρέπει μεγάλη ευελιξία ως προς το πού βρίσκονται, ωστόσο, η χρήση περισσότερων κυψελίδων έχει συνέπειες όσον αφορά την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και το backhaul (το τμήμα backhaul του δικτύου περιλαμβάνει τους ενδιάμεσους συνδέσμους μεταξύ του δικτύου πυρήνα ή του δικτύου κορμού και των μικρών υποδικτύων στην άκρη ολόκληρου του ιεραρχικού δικτύου.), ιδίως όταν βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές. Το Wi-Fi μπορεί επίσης να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο HetNet, τόσο όσον αφορά την εκφόρτωση δεδομένων όσο και την περιαγωγή (GSMA Intelligence, 2014).

3.4 Μικρές κυψέλες (Smallcells)

Ο όρος μικρές κυψέλες περιλαμβάνει τις φεμτο-κυψέλες, τις πικο-κυψέλες και τις μικρο-κυψέλες. Τα δίκτυα μικρών κυψελών μπορούν να επιτευχθούν με χρήση κατανεμημένης ραδιοτεχνολογίας που αποτελείται από κεντρικοποιημένες μονάδες που λειτουργούν στη βασική ζώνη (baseband). Τεχνολογίες διαμόρφωσης δέσμης (beamforming technologies), οι οποίες συγκεντρώνουν το ραδιοσήμα σε μία πολύ συγκεκριμένη και εντοπισμένη περιοχή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ενισχυμένη ή εστιασμένη κάλυψη της κυψέλης. Ένας κοινός παράγοντας σε όλες αυτές τις προσεγγίσεις των μικρών κυψελών είναι η κεντρική διαχείρισή τους από διαχειριστές κινητών δικτύων.

Οι μικρές κυψέλες παρέχουν μικρό εμβαδόν κάλυψης, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 10 m σε αστικές περιοχές και σε περιοχές εντός κτιρίων, έως 2 km σε αγροτικές περιοχές. Οι πικο-κυψέλες και οι μικρο-κυψέλες μπορούν επίσης να έχουν μία διακύμανση από μερικές εκατοντάδες μέτρων έως μερικά χιλιόμετρα, αλλά διαφέρουν από τις φεμτο-κυψέλες, λόγω του ότι δεν έχουν πάντα δυνατότητα αυτοοργάνωσης και αυτοδιαχείρισης. Οι μικρές κυψέλες είναι διαθέσιμες για ένα μεγάλο εύρος ραδιοδιεπαφών, μεταξύ άλλων GSM, CDMA2000, SCDMA, W-CDMA, LTE και WiMax. Η λεπτομέρεια και η βέλτιστη τακτική που σχετίζεται με την εγκατάσταση μικρών κυψελών ποικίλλει ανάλογα με την περίπτωση χρήσης και τη χρησιμοποιούμενη ραδιοτεχνολογία. Οι μικρές κυψέλες είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα των μελλοντικών δικτύων LTE. Στα δίκτυα τρίτης γενιάς, οι μικρές κυψέλες αντιμετωπίζονται ως τεχνική αποσυμφόρησης. Στα δίκτυα τέταρτης γενιάς, η κύρια αρχή του ετερογενούς δικτύου εισάγεται όπου το κινητό δίκτυο έχει κατασκευαστεί με επίπεδα (layers, tiers) μικρών και μεγάλων κυψελών.

4. Ανάλυση Δεδομένων Κινητής Τηλεφωνίας

4.1 Εισαγωγή

Η ευρεία υιοθέτηση ασύρματων ευρυζωνικών και έξυπνων τηλεφώνων οδήγησε σε τεράστια αύξηση του όγκου κίνησης στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία χρόνια. Με την εισαγωγή των smartphone και tablet, οι κινητές συσκευές εξελίχθηκαν από το να χρησιμοποιούνται κυρίως για να ομιλία. Οι άνθρωποι δαπανούν όλο και περισσότερο χρόνο για να συνδεθούν στο διαδίκτυο μέσω μιας κινητής συσκευής.

Έρευνες προβλέπουν ότι ο όγκος δεδομένων των κινητών επικοινωνιών θα αυξηθεί εκθετικά και η κυκλοφορία βίντεο θα οδηγήσει αυτή την ανάπτυξη σε συνδυασμό με τις machine-to-machine συνδέσεις. Οι υπηρεσίες βίντεο θα καταναλώνουν περισσότερους πόρους από πολλές άλλες εφαρμογές. Σύμφωνα με την Cisco Visual Networking Index (VNI), τα δεδομένα βιντεοπεριεχομένων είναι ήδη το 50% των δεδομένων κινητής τηλεφωνίας και αναμένεται να αντιπροσωπεύουν το 66% των παγκόσμιων δεδομένων κινητής τηλεφωνίας έως το 2017 (Konjeti, 2016).

4.2 Υπηρεσίες εκπομπής βίντεο

Οι υπηρεσίες εκπομπής βίντεο θα αποτελέσουν ένα σημαντικό κίνητρο για τη βελτίωση και την ανάπτυξη της κίνησης στα 5G δίκτυα. Το 2013, από τη συνολική κίνηση στα 4G δίκτυα οι υπηρεσίες βίντεο είχαν ήδη ξεπεράσει το 50% και μέχρι το 2019 προβλέπεται να αυξηθούν 13 φορές περισσότερο. Η μηνιαία κατανάλωση δεδομένων εκπομπής στα 4G δίκτυα έχει ήδη φτάσει τα 2.6GB και η μηνιαία κατανάλωση κίνησης στα 5G δίκτυα προβλέπεται να ξεπεράσει τα 500GB.

Η αύξηση της κίνησης των υπηρεσιών βίντεο συνδέεται με την υλοποίηση διαφόρων τεχνολογιών σχετικών με τις υπηρεσίες ποιότητας βίντεο και εικόνας. Η standard SD TV θα αντικατασταθεί από την UHD TV(8k), η οποία με την σειρά της απαιτεί ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων μέχρι και 10Gb/s στο δίκτυο. Η ικανότητα της εκπομπής βίντεο εξαρτάται από την ταχύτητα εκπομπής δεδομένων σε δίκτυα ασύρματης πρόσβασης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται

οι τεχνολογικές ικανότητες των δικτύων κινητής επικοινωνίας στη μετάδοση βίντεο και εικόνας (Tikhvinskiy, Bochechka, 2015).

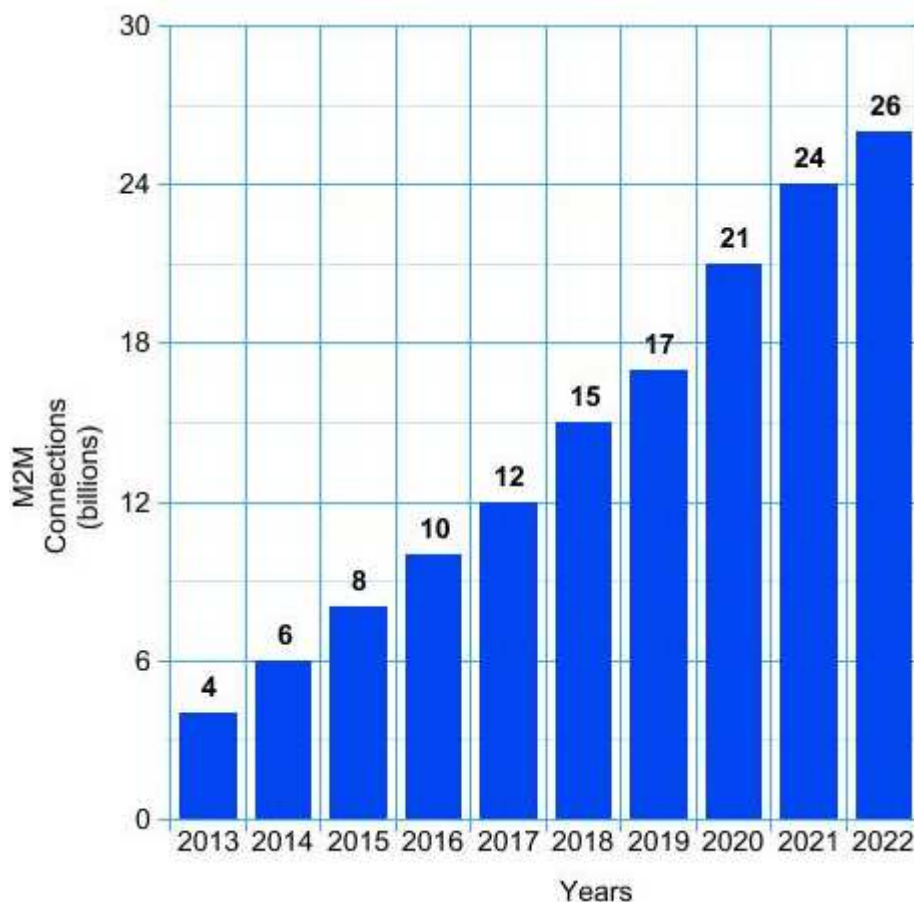
Πίνακας 7 : Τεχνολογικές ικανότητες δικτύων κινητής επικοινωνίας στη μετάδοση βίντεο και εικόνας.

Τεχνολογία Δικτύου	Διάρκεια	Υπηρεσία βίντεο
HSPA	2005-2010	SDTV 3 Mb/s
LTE	2010-2015	HDTV 10 Mb/s
LTE Advanced	2015-2020	4K Ultra HD 60 Mb/s
5G	2020-	8K Ultra HD 240 Mb/s

4.3 Machine-to-Machine (M2M) επικοινωνίες

Οι Machine-to-Machine (M2M) επικοινωνίες περιλαμβάνουν μηχανές που επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν πληροφορίες με απομακρυσμένους διακομιστές, πιθανόν σε ένα δίκτυο κυψελωτής δομής. Τέτοιες τεχνολογίες θεωρούνται «κλειδί» για πόλεις, σπίτια, εργοστάσια και γενικότερα αντίστοιχα εμπορικά περιβάλλοντα. Ένας από τους κύριους λόγους χρήσης αυτής της τεχνικής επικοινωνίας είναι η ικανότητα παροχής μιας ποικιλίας εφαρμογών και υπηρεσιών που ενισχύουν σημαντικά τα 4G LTE Advanced συστήματα. Επίσης, αναμένεται να διατηρήσουν την κυριαρχία τους και στην 5G εποχή (Ratasuk, Prasad, Li, 2015).

Σύμφωνα με την πρόβλεψη του παρακάτω διαγράμματος το 2018 ο αριθμός των M2M συνδέσεων στα δίκτυα της κινητής επικοινωνίας θα υπερβεί τα 1.5 δισεκ., το οποίο είναι 15 φορές μεγαλύτερος από το 2015. Μέχρι το 2022 οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας θα έχουν περισσότερες από 2.6 δισεκ. M2M συνδέσεις. Ταυτόχρονα το μερίδιο των M2M συνδέσεων στα δίκτυα των πάροχων κινητής τηλεφωνίας θα αυξηθεί από 5% σε 15% μέχρι το 2018 και 22% το 2022 (Tikhvinskiy, Bochechka, 2015).



Εικόνα 7: Αριθμός Machine To Machine (M2M) συνδέσεων

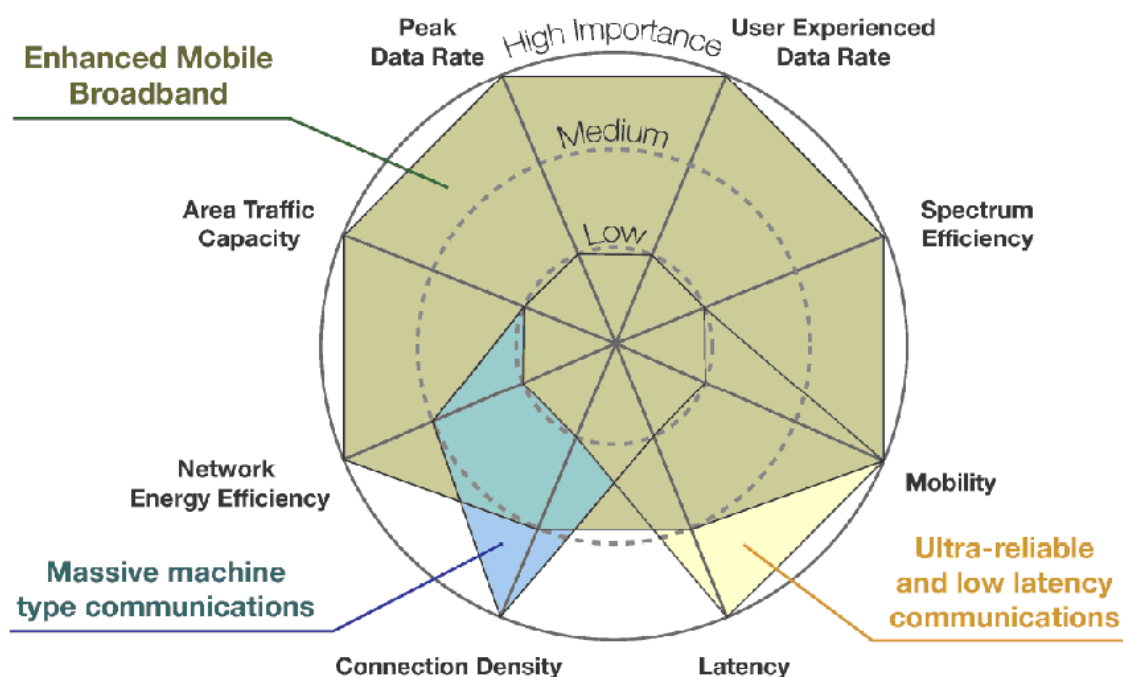
Πηγή : Tikhvinskiy, Bochechka, 2015

4.4 ITU-R

Σύμφωνα με το Σύνταγμά της, η ITU υποχρεούται να διαχειριστεί την κατανομή ραδιοσυχνοτήτων, καταχωρίσεων συχνότητας, τροχιακών θέσεων και άλλων παραμέτρων των δορυφόρων "προκειμένου να αποφευχθούν οι επιβλαβείς παρεμβολές μεταξύ ραδιοφωνικών σταθμών διαφορετικών χωρών". Ως εκ τούτου, το διεθνές σύστημα διαχείρισης του ραδιοφάσματος βασίζεται σε κανονιστικές διαδικασίες συντονισμού συχνότητας.

Ο τομέας ραδιοεπικοινωνιών της ITU (ITU-R) είναι ένας από τους τρεις τομείς (τμήματα ή μονάδες) της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) και είναι υπεύθυνος για τις ραδιοεπικοινωνίες. Ο ρόλος του είναι η διαχείριση του διεθνούς φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και των δορυφορικών τροχιών και η ανάπτυξη προτύπων για συστήματα ραδιοεπικοινωνιών με στόχο τη διασφάλιση της αποτελεσματικής χρήσης του φάσματος. Ο τομέας ITU-R όρισε τους

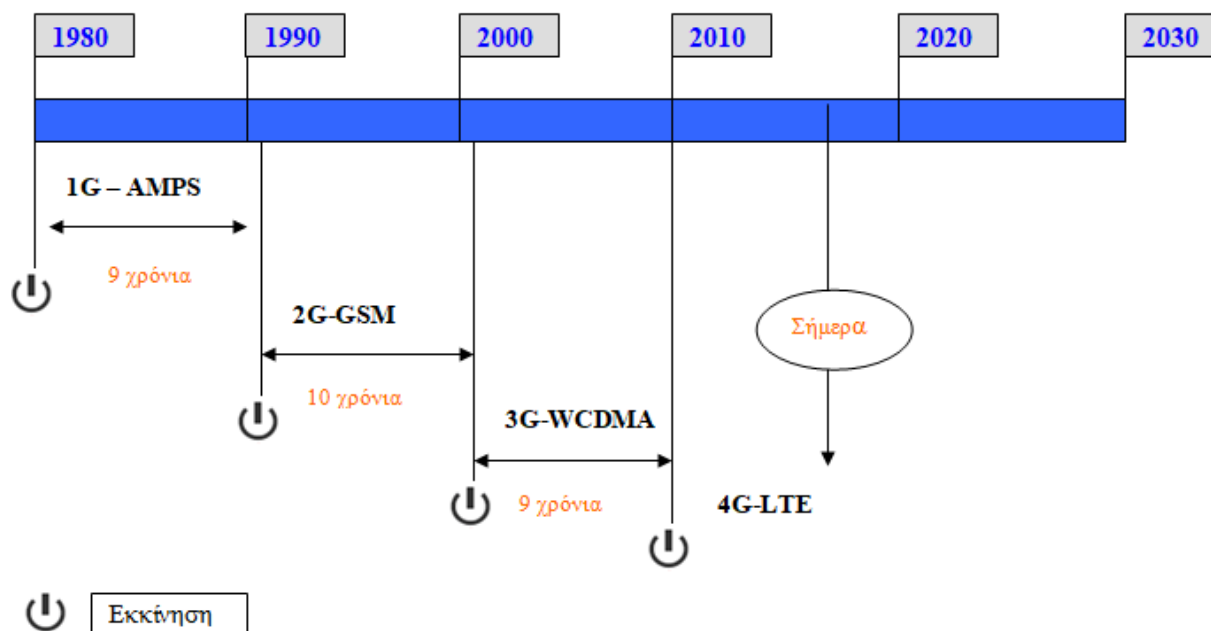
γενικούς στόχους της μελλοντικής ανάπτυξης των διεθνών κινητών τηλεπικοινωνιών (IMT) για το 2020 και μετά. Ακόμα, έχει εντοπίσει τρεις κατευθύνσεις υπηρεσιών, οι οποίες είναι συγκεκριμένα οι εξής: "Ενισχυμένη Ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία", "Εξαιρετικά αξιόπιστες και γρήγορης ανταπόκρισης επικοινωνίες" και "Μεγάλος όγκος διαβιβάσεων τύπου μηχανής". Τα τρία σενάρια έχουν ορισμένες δυνατότητες κλειδιά που σχετίζονται με τα ποσοστά δεδομένων, την καθυστέρηση, την ενεργειακή απόδοση, κ.λπ. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η "Ενισχυμένη κινητή Ευρυζωνική σύνδεση" επικεντρώνεται στο ρυθμό δεδομένων, την ενεργειακή απόδοση του δικτύου, την αποδοτικότητα και την κινητικότητα του φάσματος. Από την άλλη πλευρά, οι "Εξαιρετικά αξιόπιστες και γρήγορης ανταπόκρισης επικοινωνίες" επικεντρώνονται εκεί όπου η κύρια απαίτηση είναι η χαμηλή καθυστέρηση. Τέλος, ο "Μεγάλος όγκος διαβιβάσεων τύπου μηχανής" στοχεύει στην ενεργειακή απόδοση του δικτύου σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητα σύνδεσης. (metis ITU-R)



Εικόνα 8: Η σημασία των δυνατοτήτων των κλειδιών για τα διαφορετικά σενάρια χρήσης πέρα του 2020.
Πηγή : metis ITU-R

4.5 LTE

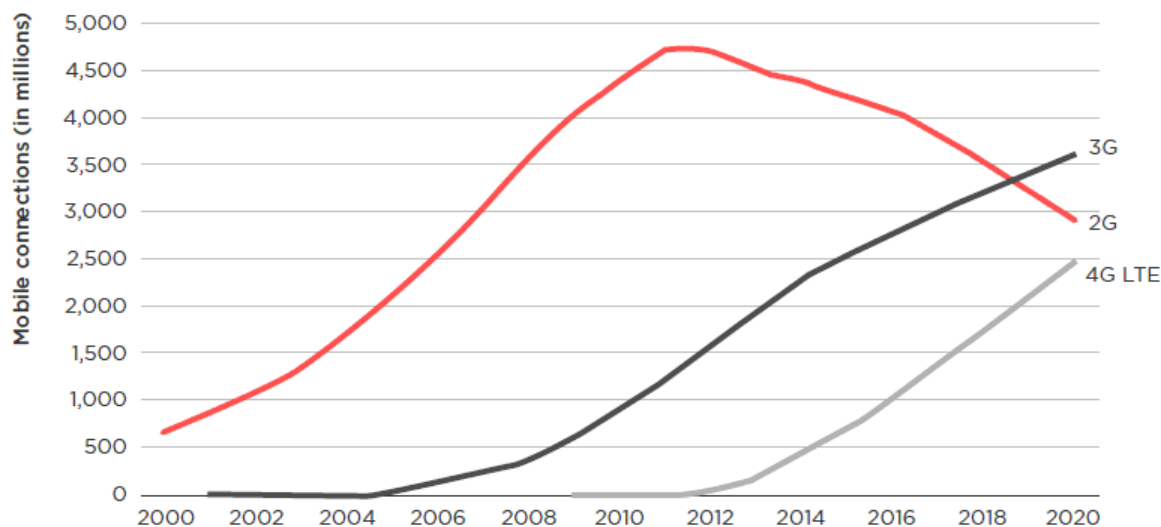
Ιστορικά, οι κυψελοειδείς τεχνολογίες έχουν ακολουθήσει περίπου έναν 20ετή κύκλο από την έναρξη έως τη μέγιστη διείσδυση, με περίπου δέκα χρόνια μεταξύ της έναρξης κάθε νέας τεχνολογίας (Εικόνα 9). Τα πρώτα εμπορικά δίκτυα LTE κυκλοφόρησαν ζωντανά το 2009 και με βάση το ιστορικό προηγούμενο, δεν θα αναμέναμε η τεχνολογία να φτάσει στο μέγιστο επίπεδο των συνδέσεων έως περίπου το 2030.



Εικόνα 9: Η εξέλιξη της κινητής τεχνολογίας βάσει γενιών από το 1980 και έπειτα.
Πηγή : GSMA Intelligence

Στην πραγματικότητα, η υιοθέτηση του LTE προχωρά με ταχύτερο ρυθμό σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες (Εικόνα 10), αλλά ακόμα δεν αναμένουμε ότι οι συνδέσεις LTE θα κορυφωθούν μέχρι την επόμενη δεκαετία. Η τεχνολογία βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο του κύκλου ζωής της, ενώ τα δίκτυα περιορίζονται σήμερα σε μόλις 110 από τις 237 αγορές κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως. Ως εκ τούτου, η LTE εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει μια σημαντική ευκαιρία ανάπτυξης για τη βιομηχανία - επί του παρόντος, μόνο το ένα τρίτο των παγκόσμιων φορέων εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας (293) έχουν ζωντανά δίκτυα LTE. Υποθέτοντας ότι όλα τα γνωστά μελλοντικά δίκτυα εκτόξευσης θα προχωρήσουν όπως είχε προγραμματιστεί, 158

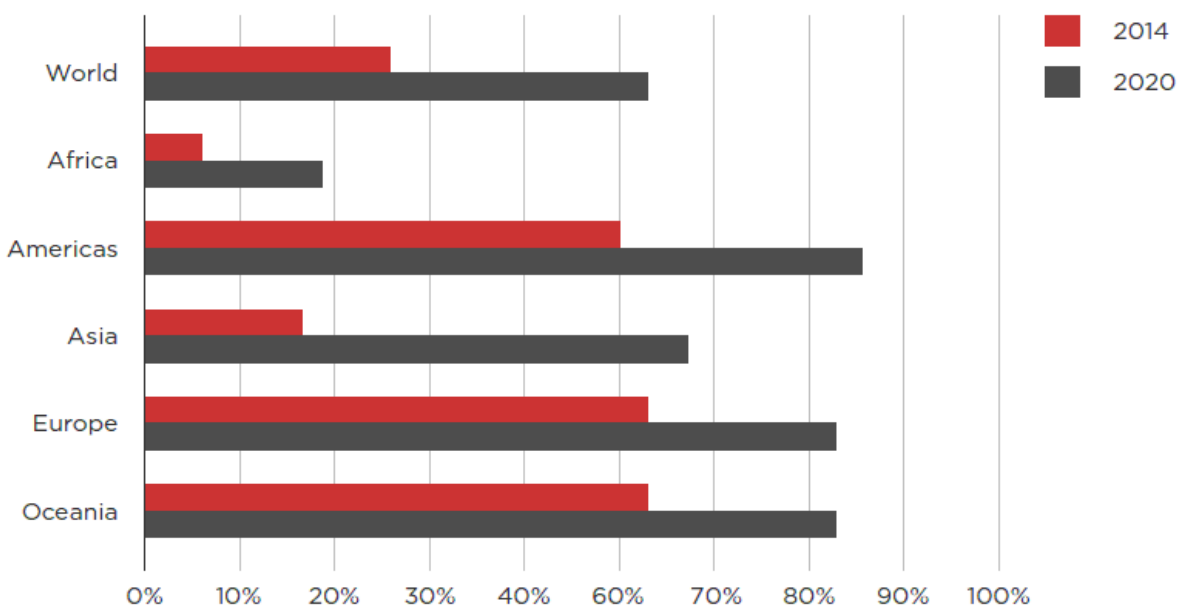
χώρες θα έχουν σύντομα τουλάχιστον έναν φορέα LTE - ωστόσο αυτό εξακολουθεί να αφήνει το ένα τρίτο των παγκόσμιων αγορών κινητής τηλεφωνίας ως αναξιοποίητο έδαφος για υπηρεσίες LTE (GSMA Intelligence, 2014).



Εικόνα 10: Σύνολο κυψελοειδών συνδέσεων ανά γενιά και παγκοσμίως
Πηγή : GSMA Intelligence

Όσον αφορά την κάλυψη, τα δίκτυα LTE έφτασαν το 26% του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το τέλος του 2014 (Εικόνα 11), αν και η τεχνολογία αντιπροσωπεύει μόλις το 6% των παγκόσμιων συνδέσεων, τα LTE ακόμη και σε περιοχές με εκτεταμένα δίκτυα όπως η Αμερική, η Ευρώπη και η Ωκεανία, όπου αναμένουμε να αυξηθεί η κάλυψη από περίπου τρία σε πέντε άτομα κατά μέσο όρο το 2014 σε περισσότερα από τέσσερα σε πέντε έως το 2020. Ο αναμενόμενος πολλαπλασιασμός των εκτοξεύσεων θα καλύψει επίσης τα περισσότερα από τα δύο τρίτα του πληθυσμού της Ασίας μέχρι τότε, ενώ σχεδόν ένας στους πέντε Αφρικανούς θα καλυφθεί από δίκτυα LTE, που είναι υπερδιπλάσιο από το ποσοστό του 2014. Έτσι παγκοσμίως αναμένουμε ότι η κάλυψη LTE θα αυξηθεί από το ένα τέταρτο που ήταν το 2014 σε περισσότερο από το 60%

του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το 2020 - πράγμα που σημαίνει ότι 4.9 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα έχουν ενδεχομένως πρόσβαση στην τεχνολογία.



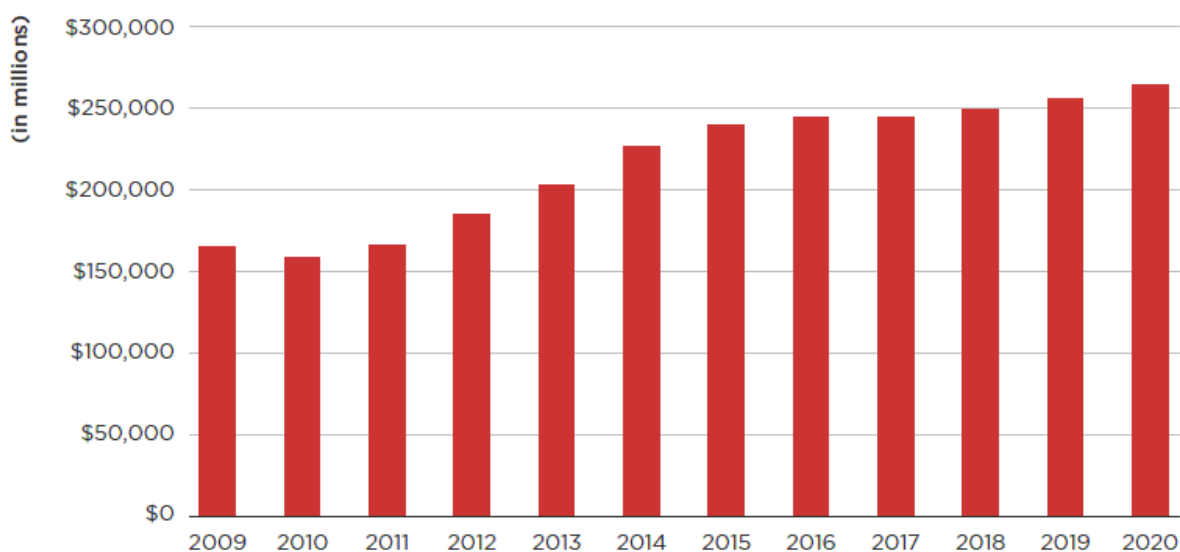
Εικόνα 11: Προβλέψεις κάλυψης δικτύου LTE, ως ποσοστό του πληθυσμού ανά περιοχή.
Πηγή : GSMA Intelligence

4.5.1 Ευκαιρίες για περαιτέρω εξέλιξη του LTE

Ως τεχνολογία, η LTE συνεχίζει να αναπτύσσεται. Οι φορείς εκμετάλλευσης σημειώνουν ήδη σημαντική πρόοδο όσον αφορά την αύξηση των δεδομένων ταχύτητας των υφιστάμενων δικτύων τους υιοθετώντας τεχνολογίες LTE-A με διπλό μεταφορέα, οι οποίες μπορούν να επιτύχουν θεωρητικές ταχύτητες downlink έως 300 Mbps. Από τον Οκτώβριο του 2014, περίπου 22 φορείς εκμετάλλευσης είχαν ήδη ξεκινήσει το LTE-A και γνωρίζουμε τις δεσμεύσεις που ανέλαβαν με 47 ακόμη για την εφαρμογή της τεχνολογίας. Σε όλες τις 15 χώρες σε όλο τον κόσμο, υπάρχουν πλέον ζωντανά δίκτυα LTE-A και ο αριθμός αυτός θα αυξηθεί στα 35, υποθέτοντας ότι όλα τα δίκτυα που έχουν προγραμματιστεί σήμερα φτάνουν με επιτυχία στο

στάδιο της εμπορικής προώθησης. Το LTE-A θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στην κινητή ευρυζωνική ζήτηση (σε όρους ταχύτητας) για αρκετά χρόνια και θα προσφέρει στους φορείς εκμετάλλευσης αυξανόμενες ευκαιρίες για ανάπτυξη ελκυστικών και κερδοφόρων υπηρεσιών 4G. Επιπλέον, το 3GPP εργάζεται επίσης για τη βελτιστοποίηση του ελέγχου συμφόρησης για αποτελεσματικότερη χρήση του M2M σε δίκτυα LTE (GSMA Intelligence, 2014).

Το LTE οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων CAPEX, δεδομένου ότι το δυναμικό που παραμένει για την αύξηση της υιοθέτησης 4G σε πολλές χώρες, αναμένουμε να δούμε σημαντικές περαιτέρω επενδύσεις στην τεχνολογία. Προβλέπουμε ότι οι επιχειρήσεις κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως θα επενδύσουν 1,7 τρισεκατομμύρια δολάρια στην υποδομή δικτύου κατά την περίοδο 2014-2020 (Εικόνα 12), μεγάλο μέρος των οποίων θα είναι σε δίκτυα 4G. Η δαπάνη αυτή είναι μια σημαντική αύξηση των εκτιμώμενων 878 δισεκατομμυρίων δολαρίων που επενδύθηκαν κατά την περίοδο 2009-2013 και υπογραμμίζει τη δέσμευση της βιομηχανίας να ανταποκριθεί στην εκθετικά αυξανόμενη ζήτηση για κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες καθώς και στη σύνδεση του «επόμενου δισεκατομμυρίου ανθρώπων» στο Διαδίκτυο.



Εικόνα 12: Σύνολο προβλέψεων κινητής τηλεφωνίας CAPEX, ετήσια, σε εκατομμύρια δολάρια (US\$)
Πηγή : GSMA Intelligence

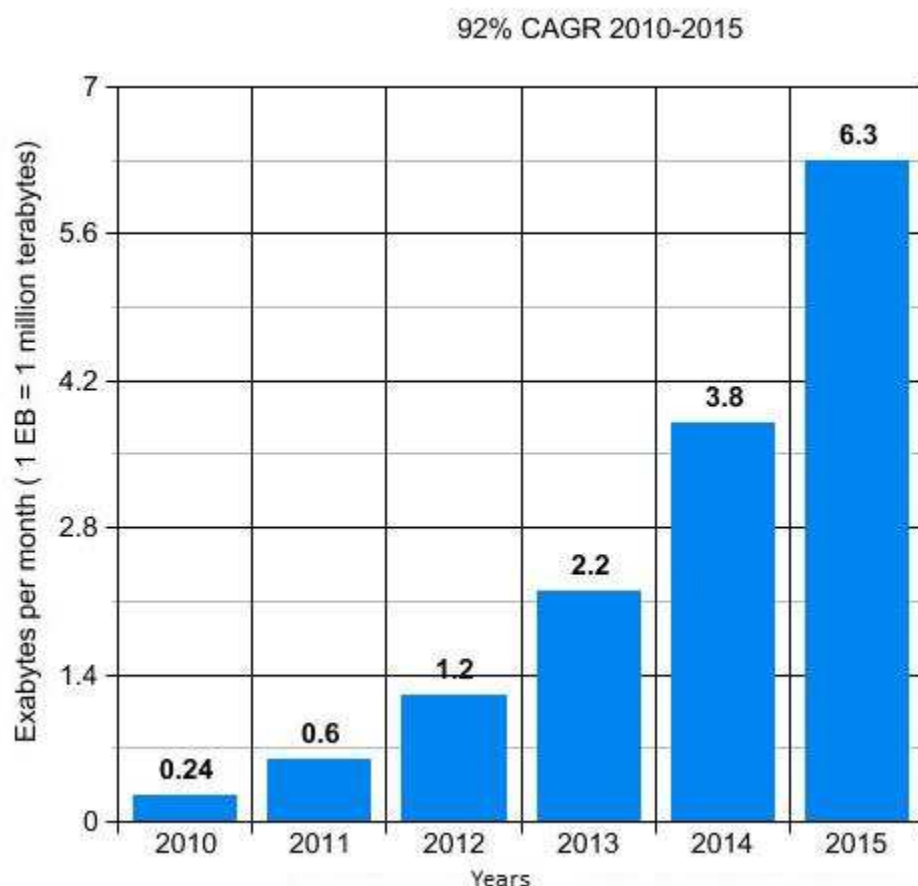
4.5.2 Το LTE παραμένει πολύ σημαντικό και θα συνεχίσει να εξελίσσεται

Παραμένουν σημαντικές δυνατότητες για μελλοντική ανάπτυξη του LTE, το οποίο εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει μόνο το 5% των κινητών συνδέσεων στον κόσμο. Η διείσδυση LTE ως ποσοστό των συνδέσεων είναι ήδη τόσο υψηλή όσο το 69% στη Νότια Κορέα, το 46% στην Ιαπωνία και το 40% στις ΗΠΑ, αλλά η διείσδυση LTE στον αναπτυσσόμενο κόσμο είναι μόλις 2%. Ως εκ τούτου, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική ευκαιρία για τους φορείς εκμετάλλευσης να αποκομίσουν κέρδη από την επένδυσή τους σε δίκτυα LTE.

Η τεχνολογία LTE θα συνεχίσει επίσης να αναπτύσσεται, ενώ οι φορείς εκμετάλλευσης σημειώνουν ήδη σημαντική πρόοδο στην αύξηση των ταχυτήτων δεδομένων των υφιστάμενων δικτύων τους υιοθετώντας τεχνολογίες LTE-A πολλαπλών φορέων. Επομένως, ενώ εξακολουθούν να υπάρχουν κέρδη και διασυνδέσεις γύρω από το LTE, αυτές οι εξελίξεις θα επιτρέψουν στους φορείς εκμετάλλευσης να προσφέρουν πολλές από τις υπηρεσίες που έχουν προταθεί στο πλαίσιο του 5G πολύ πριν από την 5G γίνει εμπορική πραγματικότητα (GSMA Intelligence, 2014).

4.6 Η «1000x» Πρόκληση

Σύμφωνα με το Cisco VNI, η παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας αυξήθηκε κατά 70% το 2012 και αναμένεται να αυξηθεί σταθερά στο CAGR κατά 66% από το 2012 έως το 2017. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρξει 13πλάσια αύξηση μέχρι το τέλος του 2017. Η αναφορά κινητικότητας της Ericsson δείχνει ότι η κυκλοφορία δεδομένων κινητής τηλεφωνίας ήδη ξεπέρασε τον όγκο της φωνητικής κίνησης ήδη από το 2009 και ότι η κυκλοφορία δεδομένων αυξάνεται με σταθερό ρυθμό ενώ η αύξηση της φωνητικής κίνησης παραμένει μέτρια. Στην πραγματικότητα, η αναφορά της Ericsson δείχνει ότι η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας διπλασιάστηκε το 2012 και αναμένεται να αυξηθεί με CAGR περίπου 50 τοις εκατό μεταξύ 2012 και 2018. Αυτό συνεπάγεται αύξηση περίπου 12 φορές μέχρι το τέλος του 2018.



Εικόνα 13: Παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας ανά έτος
Πηγή : Source VNI Mobile

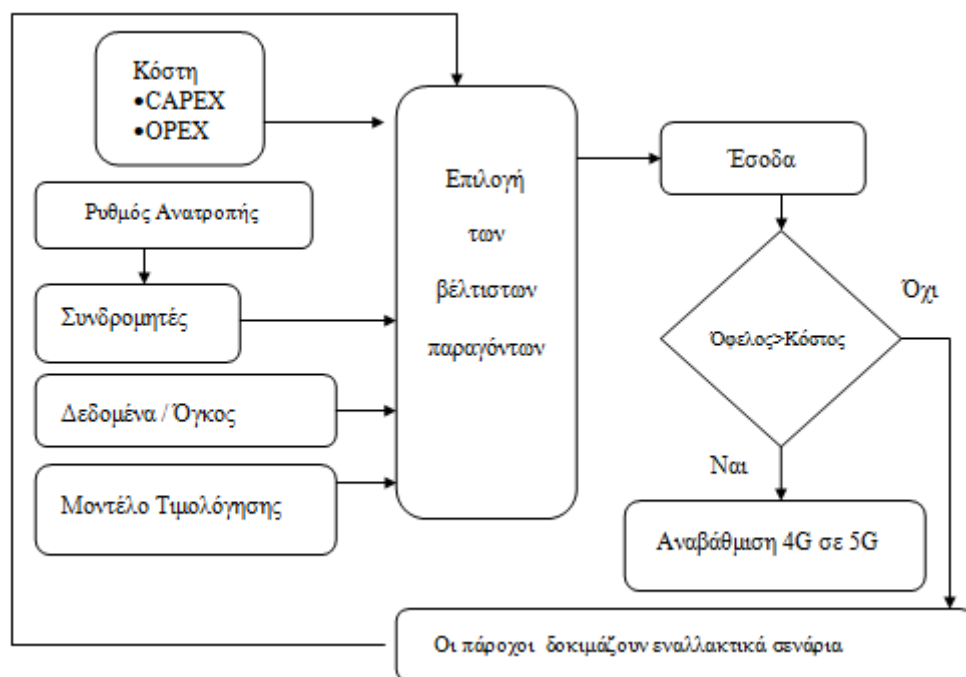
Όλες οι προβλέψεις για την αύξηση της κυκλοφορίας υποδηλώνουν ότι η ζήτηση για κινητά δεδομένα θα μπορούσε να κατακλύσει τους πόρους ασύρματου δικτύου λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας φάσματος, παρόλο που η εξέλιξη της τεχνολογίας βελτιώνει την αποδοτικότητα και την ικανότητα των ασύρματων δικτύων. Για να είναι έτοιμος να φιλοξενήσει αυτή την ανάπτυξη, ο κλάδος της ασύρματης επικοινωνίας χρειάζεται πρόσθετο φάσμα και καινοτομία πολιτικής. Περισσότερο από οτιδήποτε, υπάρχει ανάγκη για απεριόριστη χωρητικότητα. Η βιομηχανία άρχισε να αναζητά την ενίσχυση της υπάρχουσας χωρητικότητας κατά 1000 φορές. Αυτή η προβλεπόμενη καινοτομία ονομάζεται πρόκληση "1000x" (Konjeti, 2016).

5. Τεχνοοικονομική μελέτη

Η τεχνολογία και η βιομηχανία των κινητών επικοινωνιών μετακινούνται στο στάδιο της 5ης γενιάς (5G), η οποία αναμένεται να εκπληρώσει τις απαιτήσεις για εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα κυκλοφοριακής κίνησης, πυκνότητα σύνδεσης και κινητικότητα, καθώς και απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών (QoS) εφαρμογών πολυμέσων έως το 2020 και μετά. Οι περισσότεροι πωλητές τηλεπικοινωνιών αναμένουν ότι τα 5G θα προσφέρουν έως και 10 Gbit / s πάνω από τα ποσοστά δεδομένων και την καθυστέρηση ρεύματος της τάξης του 1ms και θα επιτρέψουν στις συσκευές Internet of Things (IoT) να λειτουργούν με μπαταρία για δέκα χρόνια. Το 2015, η παγκόσμια αγορά τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών ήταν 965,3 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ και η αγορά φωνητικών υπηρεσιών προβλέπεται να μειωθεί με συντελεστή ετήσιας ανάπτυξης (CAGR) -4,9% έως το 2020, ενώ η αγορά υπηρεσιών δεδομένων θα αυξηθεί κατά CAGR 8,3%. Ειδικότερα, η αγορά υπηρεσιών δεδομένων έχει ξεπεράσει την αγορά φωνητικών υπηρεσιών από το 2015 και αναμένεται να καλύψει το 65,7% της συνολικής αγοράς τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών το 2020. Ωστόσο, τα OMNs επιδιώκουν τη βελτίωση των δικτύων τους για να επεκτείνουν την κάλυψη, να αυξήσουν την παραγωγική τους ικανότητα και να υποστηρίξουν υψηλότερη και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών με αποτελεσματικότερη ροή κόστους και χωρητικότητας. Τα OMN αντιμετωπίζουν περιπτώσεις όπου το κόστος δικτύου μπορεί να υπερβαίνει τα έσοδα εάν δεν ληφθούν διορθωτικά μέτρα. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθεί το κόστος και να μεγιστοποιηθεί το εισόδημα. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήσαμε οικονομική ανάλυση για την ανάπτυξη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G και ένα μαθηματικό μοντέλο έχει σχεδιαστεί για να περιγράφει τα έσοδα και να προβλέπει το κόστος. Η πρόβλεψή μας βασίζεται σε έξι (6) χρόνια από το 2020 έως το 2025 και εστιάσαμε σε σύνολο τεχνικοοικονομικών δεικτών που προβλέπουν την αναγκαιότητα αναβάθμισης του δικτύου μας. Το παρόν έγγραφο αποτελείται από τέσσερα τμήματα. Το Τμήμα II παρέχει μια επισκόπηση των πιο συναφών και σχετικών εργασιών. Το τμήμα III καλύπτει τη μοντελοποίηση του προβλήματος και περιγράφει ένα σύνολο τεχνικοοικονομικών δεικτών που προβλέπεται ότι είναι απαραίτητες για την ανάλυση και την πρόβλεψη των τιμών και των εσόδων του δικτύου 5G. Επιπλέον, υπολογίζουμε τις Κεφαλαιουχικές Δαπάνες (CAPEX) και τις Επιχειρησιακές Δαπάνες (OPEX), οι οποίες χρησιμοποιούνται για να συγκριθούν με τα αναμενόμενα έσοδα, ώστε οι φορείς εκμετάλλευσης να κερδίσουν ή να χάσουν χρήματα κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Αυτό είναι το πρώτο έργο για την ανάλυση της εμπορικής εκτόξευσης του δικτύου

κινητής τηλεφωνίας 5G χρησιμοποιώντας την ελαστικότητα τιμής της ζήτησης (PED) και την ελαστικότητα του όγκου των εσόδων (VER) για την επιθεώρηση της κυκλοφορίας (όγκος) και του οφέλους. Αυτές οι δύο έννοιες είναι πολύ χρήσιμες όταν προβλέπουμε καταστάσεις για τιμές, έσοδα και κίνηση. Επιπλέον, προτείνεται ένα νέο μοντέλο τιμολόγησης που μπορεί να βελτιώσει τα έσοδα του OMN. Η ζήτηση κίνησης και οι επενδύσεις δικτύου αναλύονται στο τελευταίο τμήμα.

Προκειμένου να αναλυθούν οι απαιτούμενες παράμετροι μάρκετινγκ, η συγκεκριμένη εργασία στοχεύει μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 15, το πρώτο μέρος της διαδικασίας ανάλυσης ξεκινά με την ανάλυση του αριθμού των συνδρομητών, οι οποίοι ορίζονται ως χρήστες κινητών τηλεφώνων, οι οποίοι έχουν εγγραφεί σε μια OMN μέσω της Κάρτας SIM (Subscriber Identity Module) προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση στις υπηρεσίες (φωνή, δεδομένα) στην περιοχή που εξετάζεται.



Εικόνα 14: Μελέτη σεναρίων (case study)
Πηγή : (Smail, Weijia, 2015)

Το σημείο απόφασης εδώ είναι να συγκρίνουμε το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO) με τα έσοδα που προβλέπεται να εισπραχθούν κατά την περίοδο ανάλυσης. Φυσικά, αν η Επιστροφή Επενδύσεων (ROI) είναι μεγαλύτερη από το TCO, πιστεύεται ότι η επένδυση μπορεί να επιφέρει κέρδος. Επιπλέον, οι OMNs θέλουν να μεγιστοποιήσουν το όφελος όσον αφορά τους όρους και τιμές, ενώ οι χρήστες επιθυμούν να λάβουν υπηρεσίες με τη χαμηλότερη τιμή. Η περιοχή που πρόκειται να αναλυθεί και αναπτυχθεί έχει επιλεγεί να είναι η Σαγκάη / Κίνα για 6.340,5 km² και 25 εκατομμύρια πληθυσμό με πολύ υψηλή πυκνότητα 3.854 / km² σύμφωνα με το [1]. Η ανάλυσή μας σε αυτή τη συγκεκριμένη πόλη δείχνει ότι το 95% του πληθυσμού βρίσκεται στην αστική περιοχή και μόλις το 5% στην αγροτική περιοχή. Επιπλέον, αντιστοιχούν περίπου 128 κινητά τηλέφωνα σε κάθε 100 άτομα. Γενικά υπάρχουν 30 εκατομμύρια συνδρομητές, οι οποίοι είναι πολύ περισσότεροι από τον αριθμό των πολιτών (25 εκατομμύρια). Το γεγονός αυτό οφείλεται στον αριθμό των αλλοδαπών και των διακινούμενων εργαζομένων που ζουν στη Σαγκάη και οι περισσότεροι από αυτούς διαθέτουν κινητό τηλέφωνο με διπλές κάρτες SIM.

Η λεπτομερής ανάλυση αυτής της εργασίας χωρίστηκε σε τέσσερα μέρη. Το πρώτο μέρος είναι ο προβλεπόμενος αριθμός χρηστών. Οι παράμετροι όπως ο κατακερματισμός της αγοράς, το δημογραφικό μέγεθος και τα προφίλ υπηρεσιών είναι βασικοί παράγοντες για τη μέτρηση της σκοπιμότητας της αγοράς τηλεπικοινωνιών σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το δεύτερο μέρος είναι το ποσοστό απόδοσης που χρειάζεται για να δείξει τον αντίκτυπο της στα έσοδα του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G και πραγματοποιήθηκαν μαθηματικές σχέσεις. Το τρίτο μέρος είναι η ανάλυση της στρατηγικής τιμολόγησης και προτείνεται ένα νέο μοντέλο για να είναι συνεπές με την επόμενη γενιά κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών. Το τελευταίο μέρος είναι η αξιολόγηση του CAPEX και του OPEX για διάφορες κατηγορίες Σταθμών Βάσης (BS) με σενάρια πολλαπλών επιλογών.

5.1 Πρώτο μέρος – Προβλεπόμενος Αριθμός Χρηστών

Για τον παρακάτω υπολογισμό επιλέξαμε το οικονομικό μοντέλο Bass. Το μοντέλο Bass είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την πρόβλεψη στη διαδικασία υιοθέτησης μιας καινοτομίας (της πρώτης αγοράς) και γενικότερα ενός νέου προϊόντος για το οποίο δεν υπάρχουν άμεσες ανταγωνιστικές εναλλακτικές λύσεις στην αγορά. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου

αυτού, είναι ότι ενσωματώνει μια διαδικασία μετάδοσης πληροφορίας, από αυτούς που έχουν υιοθετήσει την καινοτομία σε αυτούς που δεν την έχουν υιοθετήσει ακόμα, από στόμα σε στόμα.

Αυτό το μοντέλο μπορεί να προβλέψει μακροπρόθεσμα το pattern πωλήσεων των νέων τεχνολογιών και των νέων ανθεκτικών προϊόντων κάτω από δύο τύπους συνθηκών, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω:

Η επιχείρηση πρόσφατα έχει εισάγει το προϊόν ή την τεχνολογία και έχει παρακολουθήσει τις πωλήσεις για ορισμένες περιόδους.

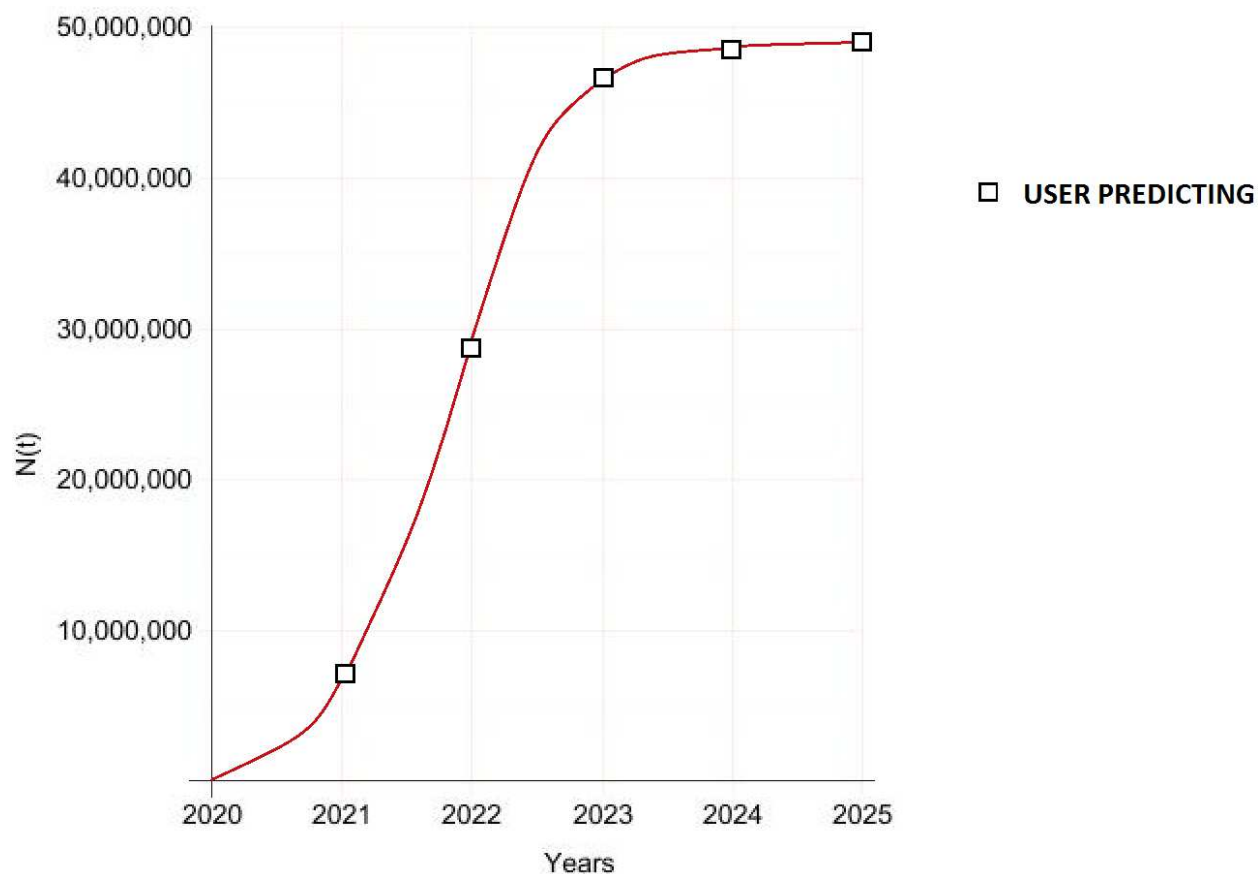
Η επιχείρηση δεν έχει εισάγει ακόμα το προϊόν ή την τεχνολογία, αλλά τα χαρακτηριστικά τους στην αγορά είναι παρόμοια σε κάποια ήδη υπάρχοντα προϊόντα ή τεχνολογίες, των οποίων το μοντέλο υιοθέτησης είναι γνωστό.

Το μοντέλο στοχεύει να προβλέψει πόσοι πελάτες θα υιοθετήσουν σταδιακά το νέο προϊόν και πότε θα το υιοθετήσουν. Το ερώτημα του πότε είναι σημαντικό, διότι η απάντηση θα καθοδηγήσει την επιχείρηση στην αξιοποίηση των πόρων για την προώθηση της συγκεκριμένης καινοτομίας. Αρχικά, έχουμε υποθέσει ότι ο αριθμός των μελλοντικών χρηστών θα εξαρτηθεί από το δυναμικό του πληθυσμού, τον ρυθμό ανάπτυξης των συντελεστών καινοτομίας και μίμησης και μπορεί να εκτιμηθεί σύμφωνα με την σχέση όπως φαίνεται παρακάτω:

$$N(t) = M \frac{1 - e^{-t(p+q)}}{1 + \frac{q}{p} e^{-t(p+q)}} \quad (1)$$

Όπου M είναι η χωρητικότητα της αγοράς, το $p > 0$ είναι ο συντελεστής καινοτομίας που είναι η πιθανότητα της αρχικής αγοράς στην αρχή του κύκλου ζωής της υπηρεσίας και σχετίζεται με το μέγεθος της αρχικής κρίσιμης μάζας των υιοθετών, $q \geq 0$ είναι ο συντελεστής απομίμησης που αναφέρεται στο μέγεθος της ομάδας των υπόλοιπων πιθανών μιμητών υιοθετών στο μέλλον, και $N(t)$ είναι ο αριθμός των συνδρομητών κατά το χρόνο t .

Σε αυτή τη μελέτη, θεωρούμε $M = 50$ εκατομμύρια. Επιπλέον, σύμφωνα με τη νέα περιφερειακή ταξινόμηση για την πολιτική διάχυσης των κινητών τηλεπικοινωνιών στην Κίνα, θεωρούμε $p = 0.009$ και $q = 0.42$ για τη Σαγκάη. Γραφικά, τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης του αριθμού των χρηστών κινητής τηλεφωνίας σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση απεικονίζονται στο σχήμα.



Εικόνα 15: Πρόβλεψη χρηστών κινητής τηλεφωνίας για 6 χρόνια
 Πηγή : (Smail, Weijia, 2015)

Το αποτέλεσμά μας έχει καμπύλη σχήματος s, πράγμα που σημαίνει ότι μετά την έναρξη της τεχνολογίας 5G, ο αριθμός των υιοθετών είναι ακόμα χαμηλός μέχρι το 2021, ωστόσο οι πρωτοπόροι θα αρχίσουν να υιοθετούν την νέα τεχνολογία. Σταδιακά, όλο και περισσότεροι καινοτόμοι υιοθετούν το 5G. Ως αποτέλεσμα, ο αριθμός των μιμητών παίρνει μια εκθετική μορφή. Ως εκ τούτου, μετά την εκθετική αύξηση των υιοθεσιών, ο αριθμός των νέων υιοθετών θα αρχίσει να μειώνεται το 2024.

5.2 Δεύτερο μέρος - Ρυθμός Ανατροπής

Σημαντικό στοιχείο για την ανάλυση της αγοράς είναι ο ρυθμός ανατροπής, ο οποίος είναι το ποσό των συνδρομητών που κόβουν τους δεσμούς με την υπηρεσία 5G ενός φορέα εκμετάλλευσης σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Χρησιμοποιούμε μια τυποποιημένη οικονομική μέθοδο για να υπολογίσουμε το ρυθμό ανατροπής.

$$CR_{year} = \frac{Outflow_{(year)}}{N_{(year)}} \quad (2)$$

Όπου N_{year} είναι ο προβλεπόμενος αριθμός χρηστών, το CR που ο χρήστης μεταβαίνει από έναν φορέα σε άλλο σε ένα έτος και το $Outflow_{(year)}$ είναι ο αριθμός των χρηστών που χάθηκαν μέσα στο έτος. Ο λόγος για τον οποίο μελετάμε το ρυθμό ανατροπής είναι για τον υπολογισμό των χαμένων εσόδων και των νέων εσόδων από υπάρχοντες χρήστες μέσα σε δεδομένη χρονική περίοδο. Στην περίπτωση μας εκτιμήθηκε σύμφωνα με το [3] ότι ο ρυθμός ανατροπής θα είναι στην περιοχή [4%, 10%] όπου το 4% για την αισιόδοξη περίπτωση και το 10% για τη χειρότερη περίπτωση. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όταν ο χρήστης εγκαταλείπει, χάνουμε όχι μόνο τα μελλοντικά έσοδα από αυτόν τον χρήστη αλλά και τους πόρους που δαπανήσαμε για να αποκτήσουμε τους χρήστες.

5.3 Τρίτο μέρος - Μοντέλο Τιμολόγησης

Η πολλαπλή αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων για την επόμενη γενιά του δικτύου κινητής τηλεφωνίας (5G) θα αντιμετωπίσει ένα ζήτημα που σχετίζεται με τη στρατηγική τιμολόγησης εάν δεν μεταφραστεί σε αντίστοιχη αύξηση των εσόδων. Το 89% των φορέων εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν μοντέλα κοστολόγησης όγκου και σε ορισμένες περιπτώσεις σε συνδυασμό με ανώτατα όρια τιμολόγησης. Αυτό το μοντέλο είναι ευνοϊκό μόνο για δίκτυα με χαμηλά επίπεδα όπως το 4G δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (π.χ. 1GB, 3GB ή και 10GB ανά μήνα) και δεν θα είναι πολύ ικανοποιητικό με το 5G δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και τα δεδομένα θα μπορούσαν να μην ήταν επικερδή.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα και να αξιοποιηθεί το δυναμικό δημιουργίας εσόδων της ταχέως αναπτυσσόμενης αγοράς, διαμορφώσαμε καινοτόμα και ευέλικτα μοντέλα τιμολόγησης που μπορούν να βοηθήσουν τους OMNs να αποκομίσουν κέρδος από την αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων και έτσι να διατηρηθούν και να αναπτυχθούν μέσα σε αυτή την υψηλά ανταγωνιστική αγορά. Οι χρήστες εθίζονται σε ευρυζωνικές υπηρεσίες και εκείνοι που τις χρησιμοποιούν πιο πολύ είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν περισσότερο για βελτιωμένες ευρυζωνικές υπηρεσίες. Ωστόσο, το βιβλίο “Smart Pricing” των Jagmohan Raju, Z. John Zhang θεωρεί ότι η τιμή είναι ο μοναδικός σημαντικός παράγοντας που θα οδηγήσει στην αύξηση της κερδοφορίας, και ότι αυτά τα ευρήματα μπορούν να ενθαρρύνουν OMNs να διερευνήσουν την τιμολόγηση με βάση την στρατηγική της αξίας. Στο βιβλίο “Value Merchants: Demonstrating and Documenting Superior Value in Business Markets Hardcover” πιστεύουν ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές διαχείρισης της αξίας των πελατών για να υπολογίσουμε την αξία των προσφορών της αγοράς και να μεγιστοποιήσουμε την απόδοση.

Προτείνεται μια υβριδική τιμολογιακή πολιτική που βασίζεται στην τιμολόγηση με βάση τον όγκο αλλά και την αξία, η οποία μπορεί να είναι η πιο σημαντική επιλογή για να προκαλέσουν κερδοφορία οι OMNs. Στην οικονομική πολιτική, για να βρεθεί ο σωστός καταναλωτής, είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η στρατηγική βάσει αξίας πριν από τη στρατηγική βάσει όγκου. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήσαμε παραμέτρους τιμολόγησης αξίας όπως η ταχύτητα, ο χρόνος και τα δεδομένα ως τη πρώτη στρατηγική τιμολόγησης. Και θεωρούμε κριτήρια βασισμένα στον όγκο τα οποία βασίζονται στο περιβάλλον χρήστη όπως ο χρόνος χρήσης, η τοποθεσία και το περιεχόμενο για το δευτερεύον πρότυπο τιμολόγησης.

Έτσι, για να αυξήσουν τα κέρδη της αγοράς κινητής τηλεφωνίας, οι OMNs πρέπει να βρουν τη βέλτιστη τιμή των υπηρεσιών χρησιμοποιώντας δύο προσεγγίσεις: εξετάζοντας τη διαφάνεια και την απλότητα αντί των ρυθμίσεων δικτύου και χρησιμοποιώντας το PED (αναφέρεται παρακάτω).

Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα, οι χρήστες πρέπει να ενημερώνονται περιοδικά για την κατανάλωση δεδομένων και ο συνδυασμός των δύο εννοιών θα είναι απαραίτητος για την επίτευξη αυτού του στόχου. Εάν το περιεχόμενο του βίντεο κερδίζει έσοδα ανά χρονικό

διάστημα (Λεπτό ή ώρα), είναι εύκολο για τους πελάτες να επιθεωρήσουν το επίπεδο κατανάλωσής τους, στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε το χρόνο ως παράμετρο για την κατανάλωση όγκου και το περιεχόμενο ως παράμετρο για την αξία.

Πίνακας 8 : Υβριδικό μοντέλο τιμολόγησης χρησιμοποιώντας το περιβάλλον των χρηστών.

Παράμετροι για την Αξία	Παράμετροι για τον Όγκο	Υβριδικό Μοντέλο (προτεινόμενο μοντέλο)
Χρόνος χρήσης	Δεδομένα	Η ροή των δεδομένων εξαρτάται από τη χρονική στιγμή της χρήσης. (περιορισμένη κατά τη διάρκεια της ημέρας, απεριόριστη κατά τη διάρκεια της νύκτας και το σαββατοκύριακο).
	Ταχύτητα	Η ταχύτητα εξαρτάται από τη χρονική στιγμή της χρήσης. (υψηλή ταχύτητα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και χαμηλή σε άλλες).
	Χρόνος	Ο χρόνος εξαρτάται από τη χρονική στιγμή της χρήσης. (2 ώρες/ημέρα, 4ώρες/νύκτα, 6ώρες/σαββατοκύριακο)
Περιεχόμενο	Δεδομένα	Ανώτατο όριο ροής δεδομένων για συγκεκριμένες εφαρμογές (απεριόριστο «you tube» κατά τη διάρκεια της νύκτας).
	Ταχύτητα	Η ταχύτητα εξαρτάται από την εφαρμογή που χρησιμοποιείται.
	Χρόνος	Ο χρόνος εξαρτάται από συγκεκριμένες εφαρμογές. (2 ώρες για video/ημέρα, 4 ώρες για video/νύκτα).
Τοποθεσία	Δεδομένα	Η ροή των δεδομένων εξαρτάται από την τοποθεσία χρήσης (οικιακό δίκτυο)
	Ταχύτητα	Η ταχύτητα εξαρτάται από την τοποθεσία χρήσης (υψηλή ταχύτητα προσφέρεται σε ορισμένες τοποθεσίες και χαμηλή σε άλλες)

	Χρόνος	Η χρονική διάρκεια της σύνδεσης εξαρτάται από την τοποθεσία.
--	--------	--

Παρόλα αυτά, τα OMNs θα πρέπει να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τις εσωτερικές τους λειτουργίες και το κόστος των προϊόντων. Η συλλογή δεδομένων σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες ανταποκρίνονται στις αλλαγές της τιμής μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο και την αβεβαιότητα. Για όλα αυτά, χρησιμοποιήσαμε δύο οικονομικές έννοιες (Ελαστικότητα της τιμής του όγκου και Ελαστικότητα όγκου των εσόδων) στην έρευνά μας για να προβλέψουμε τις πωλήσεις του όγκου και να καθορίσουμε την τιμή του.

Ελαστικότητα της τιμής του όγκου $E_v(P)$: ανάλογη με την ελαστικότητα ζήτησης τιμών (PED). Καθορίζεται ως ποσοστιαία μεταβολή του πραγματοποιημένου όγκου V ανά ποσοστό μεταβολής της τιμής μονάδας P . Πρόκειται για ένα μέτρο ευαισθησίας του πραγματοποιηθέντος όγκου στις μεταβολές της τιμής ανά μονάδα:

$$E_v(P) = \lim_{P' \rightarrow P} \frac{\frac{V' - V}{\frac{1}{2}(V + V')}}{\frac{P' - P}{\frac{1}{2}(P + P')}} = \frac{P \cdot \Delta V}{V \cdot \Delta P} \Rightarrow \frac{\Delta V}{V} = E_v(P) \cdot \frac{\Delta P}{P} \quad (3)$$

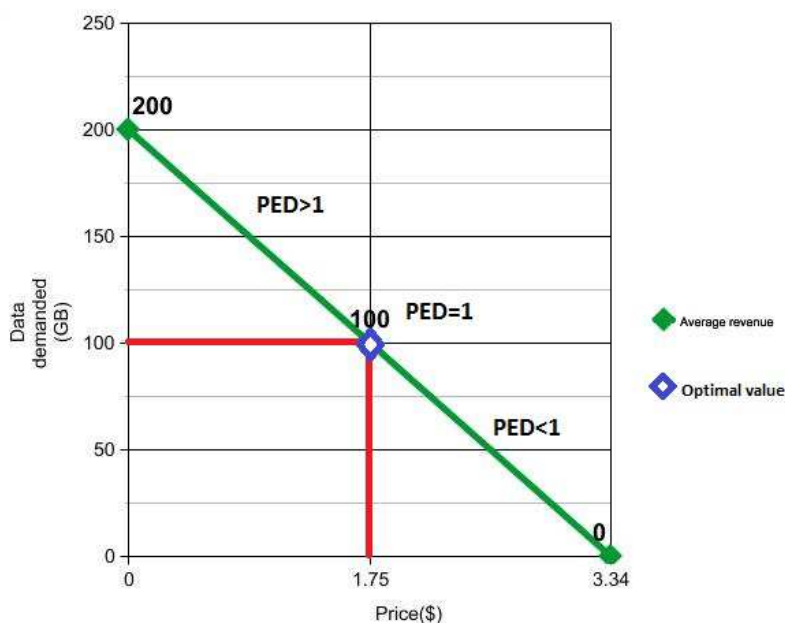
Το PED μπορεί να είναι μικρότερο από ένα (<1) (σε απόλυτη τιμή), πράγμα που σημαίνει ότι είναι ανελαστικό. Σημαίνει ότι οι μεταβολές της τιμής έχουν σχετικά μικρό αντίκτυπο στον όγκο της απαιτούμενης υπηρεσίας. Ωστόσο, στην περίπτωση που είναι μεγαλύτερη από μία (>1), η οποία είναι ελαστική, οι μεταβολές της τιμής έχουν σχετικά μεγάλη επίδραση στην απαιτούμενη ποσότητα.

Ελαστικότητα του Όγκου των Εσόδων $E_R(V)$: ορίζεται ως ποσοστό μεταβολής των εσόδων R (χρέωση) ανά ποσοστό μεταβολής του πραγματοποιημένου όγκου V . Είναι ένα μέτρο ευαισθησίας των εσόδων στις μεταβολές του παραχθέντα όγκου:

$$E_R(V) = \lim_{V' \rightarrow V} \frac{\frac{R'}{\frac{1}{2}(R+R')}}{\frac{V'-V}{\frac{1}{2}(V+V')}} = \frac{V \cdot \Delta R}{R \cdot \Delta V} \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = E_R(V) \cdot \frac{\Delta V}{V} \quad (4)$$

Ο OMN υποθέτει ότι ($E_R(V) > 1$), δηλ. η αύξηση του πραγματοποιημένου όγκου επηρεάζει την αύξηση των εσόδων. Ένας χρήστης αναμένει ότι ($E_V(P) < 1$), δηλ. η αύξηση του πραγματοποιημένου όγκου επηρεάζει τη μείωση της τιμής ανά μονάδα και αντιστρόφως.

Όπως μπορούμε να δείξουμε στην Εικόνα 16, η μείωση της τιμής της υπηρεσίας (φωνητικές κλήσεις ή δεδομένα) συνήθως έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας που ζητούν οι χρήστες λόγω της χαμηλής ζήτησης και αντιστρόφως.



Εικόνα 16: Προβλεπόμενη τιμή σε συνάρτηση με τον όγκο της χρήσης κινητής ευρυζωνικής τεχνολογίας 5G

Πηγή : (Smail, Weijia, 2015)

Ο Πίνακας 9 παρουσιάζει ένα διάγραμμα για τον τρόπο με τον οποίο οι επιδράσεις στις τιμές πώλησης επηρεάζουν την κερδοφορία χρησιμοποιώντας (3) και (4). Το κόστος δικτύου είναι μικρότερο από 1,0 € ανά Gigabit (GB), συμπεριλαμβανομένης της απόκτησης και της κατασκευής του ιστότοπου. Στην περίπτωση μας, υπολογίζουμε το κόστος 0,75 \$ ανά GB κατά μέσο όρο. Σε αυτήν την περίπτωση, μπορούμε να δούμε ότι το κέρδος των πωληθέντων 100 GB είναι πολύ μεγαλύτερο από 140 GB (100 \$ έναντι 35 \$). Ωστόσο, αν θεωρήσουμε ότι η 4G LTE μπορεί να προσφέρει 10 GB / χρήστη / μήνα με την ίδια τιμή ανά GB ως 5G, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το περιθώριο κέρδους 10 GB 4G LTE ισούται με 100 GB 5G κινητού δικτύου ($100/175 = 10 / 17,5$).

Πίνακας 9 : Επίδραση της τιμής και του όγκου στην κερδοφορία για την κινητή ευρυζωνική σύνδεση 5G

Ποσότητα Πωληθέντων Δεδομένων (GB/ Χρήστη/Μήνα)	140	130	120	110	100	80	70	60	50
Τιμή ανά GB (\$)	1	1.22	1.4	1.57	1.75	1.92	2	2.19	2.4
Κόστος ανά GB (\$)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Έσοδα (\$)	140	158.6	168	172.7	175	153.6	140	131.4	120
Συνολικό Κόστος (\$)	105	97.5	90	82.5	75	60	52.5	45	37.5
Κέρδος (\$)	35	61.1	78	90.2	100	93.6	87.5	86.4	82.5
Περιθώριο Κέρδους	25.0%	38.5%	46.4%	52.2%	57.1%	60.9%	62.5%	65.7%	68.7%

Αυτό σημαίνει ότι οι τεχνολογίες 5G είναι πολύ πιο ευεργετικές από την 4G όχι μόνο λόγω του χαμηλότερου κόστους αλλά και λόγω της αύξησης της μέσης κατανάλωσης δεδομένων. Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η ζήτηση για ποσότητα μειώνεται όταν αυξάνονται οι τιμές.

5.4 Τέταρτο μέρος - Προβλέψεις και Ανάλυση Κόστους

Το CAPEX προέρχεται από τα στοιχεία μετανάστευσης δικτύου, τα οποία συνήθως θεωρούνται σταθερό κόστος επένδυσης και το OPEX είναι το κόστος που προκύπτει μετά την ανάπτυξη διαστασιοποιημένων δικτύων που σχετίζονται με τη διαχείριση και συντήρηση του δικτύου 5G. Προκειμένου να γίνει μια τεχνοοικονομική ανάλυση και σύγκριση, εξετάζουμε τα ακόλουθα δύο σενάρια ανάπτυξης.

Σενάριο 1ο

Αντικατάσταση των προηγούμενων συσκευών της BS με την ανάπτυξη της νέας τεχνολογίας ραδιοεπικοινωνίας (RAT) με νέο σύστημα κεραίας και ραδιοεξοπλισμό σε τακτά σημεία χωρίς να μετράται το CAPEX στο backhaul της ίνας (ήδη εγκατεστημένης).

Σενάριο 2ο

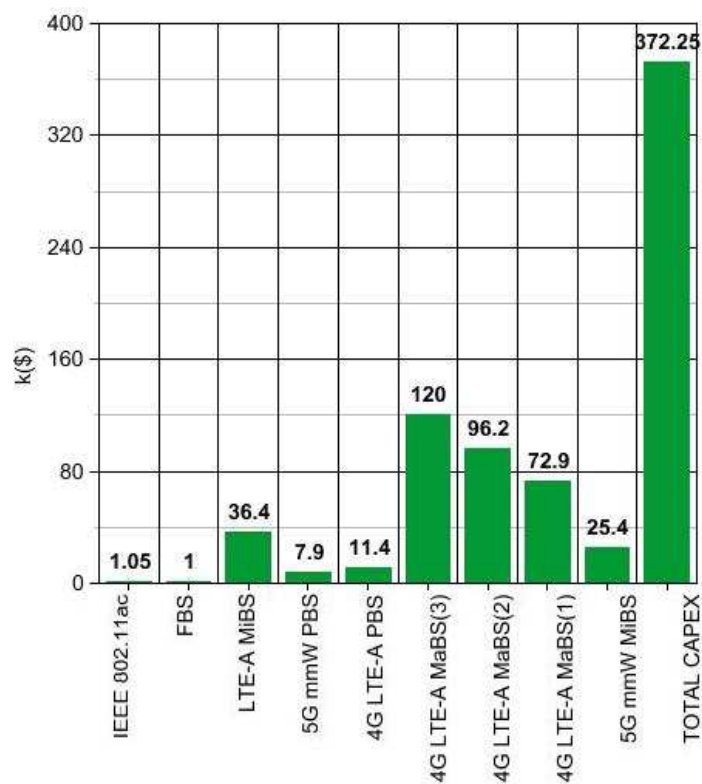
Τα προηγούμενα BS βελτιώνονται με την προσθήκη νέων φορέων και ραδιοσυσκευών στο υπάρχον RAT και προστίθενται επιπλέον BS που υποστηρίζουν το προηγούμενο RAT. Σε αυτή την περίπτωση, απαιτείται αναβάθμιση λογισμικού για να αυξηθεί η χωρητικότητα μετάδοσης του backhaul σε στρώμα hot spot. Στηρίζουμε την ανάλυσή μας στη σύγκριση του συνολικού κόστους για κάθε σενάριο ανάπτυξης και βασίζουμε τη μοντελοποίησή μας στη μεθοδολογία που αναφέρεται στο [2]. Για μια κλάση BS τάξης i , οι συνολικές δαπάνες C_i είναι προεξοφλημένες ως:

$$C_i = \sum_{k=0}^{k-1} \frac{(\alpha)_{k,i}}{(1 + \beta)^k} \quad (5)$$

Όπου $(\alpha)_{k,i}$ είναι το άθροισμα των εξόδων που προέκυψαν στο έτος k της BS της κλάσης i και β είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο. Σε αυτή την εργασία θεωρήσαμε το $k = 6$ έτη και το $\beta = 10\%$ και ότι όλα τα BS εγκαθίστανται κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους. Περαιτέρω σύμφωνα με το [9], θεωρούμε ότι το κόστος για την επιδίωξη ενός νέου σταθμού βάσης Macro (MaBS) στην αστική περιοχή είναι 110 k \$ και προσθέτουμε 10 k \$ για ραδιοεξοπλισμό που υποστηρίζει 3

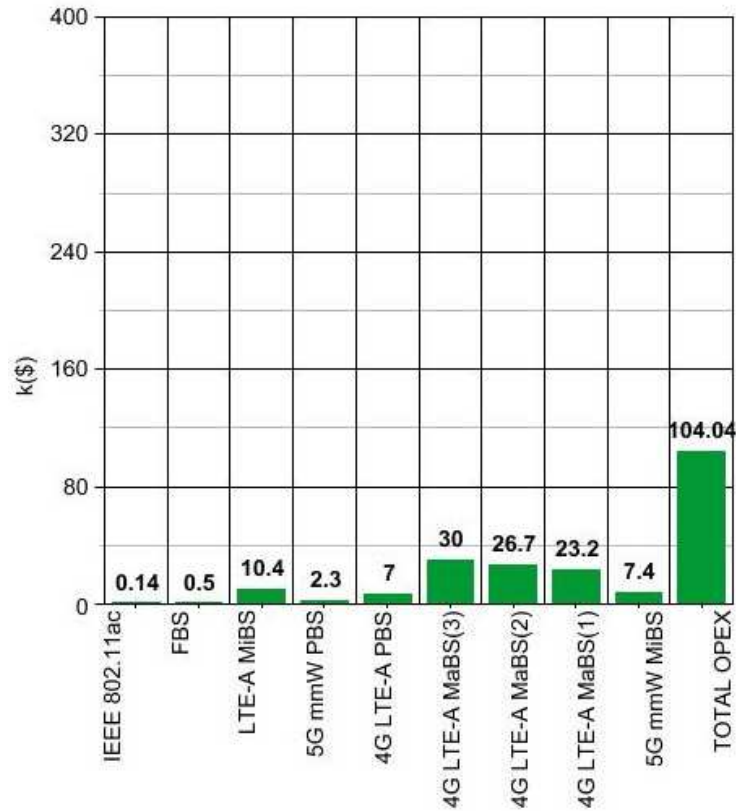
τομείς και 5-20 MHz, αποδίδοντας συνολικά 120 k \$. Επίσης, θεωρούμε ότι το MaBS έχει κόστος 20 χιλιάδων δολαρίων για 1 φορέα και προσθέτουμε 5 k \$ ανά τομέα ανά φορέα για τους επιπλέον πομποδέκτες σύμφωνα με το [2]. Ωστόσο, αναλαμβάνουμε ετήσιο OPEX 30 k \$ για τη νέα εγκατάσταση του MaBS. Για την επαναχρησιμοποίηση του υπάρχοντος MaBS, αναλαμβάνουμε την αναβάθμιση ιστότοπου 30 k \$. Θεωρούμε ότι τα σχετικά κόστη του σταθμού Micro Base (MiBS) και του σταθμού βάσης Pico (PBS) ισούνται με 50% και 15% αντιστοίχως εξοπλισμού MaBS ενός φορέα και 2 k \$ ανά PBS για μετάδοση σύμφωνα με το [2]. Σημειώστε ότι το MiBS και το PBS απαιτούν 10 k \$ και 2 k \$ για την ανάπτυξη του ιστότοπου αντίστοιχα. Το CAPEX και το OPEX του σταθμού βάσης Femto (FBS) θα πρέπει να είναι 1,1 k \$ και 0,5 k \$ αντίστοιχα και θεωρούμε το 1,05 k \$ CAPEX και το 0,14 k \$ OPEX που σχετίζονται με το WI-FI AP IEEE 802,1ac. Ωστόσο, η ευρωπαϊκή βιομηχανία οδήγησε στην ανάπτυξη προτύπων 5G με μείωση του OPEX κατά τουλάχιστον 20%. Επιπλέον, μειώνουν το 30% του κεφαλαίου CAPEX που συνδέεται με λύσεις βασισμένες σε πρότυπα για την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων κατά την περίοδο 2017-2025, επομένως θεωρούμε ότι οι θέσεις OPEX και CAPEX για περιοχές 5 χιλιοστών Wave (5 G mmW) είναι 30% χαμηλότερη σε σύγκριση με το 4G LTE-A RAT. Για να αναλύσουμε τον καλύτερο τρόπο για να επιτύχουμε το μέγιστο όφελος και τις ελάχιστες δαπάνες, υποθέτουμε μόνο την περίπτωση της μονοπωλιακής αγοράς να δείξει εάν η βέλτιστη αναβάθμιση.

Παρουσιάζουμε την προσομοίωση των CAPEX και OPEX διαφορετικών BS για το σενάριο 1 και το σενάριο 2 αντίστοιχα και το συνολικό προεξοφλητικό κόστος απεικονίζεται στον Πίνακα 10 σύμφωνα με το (5).

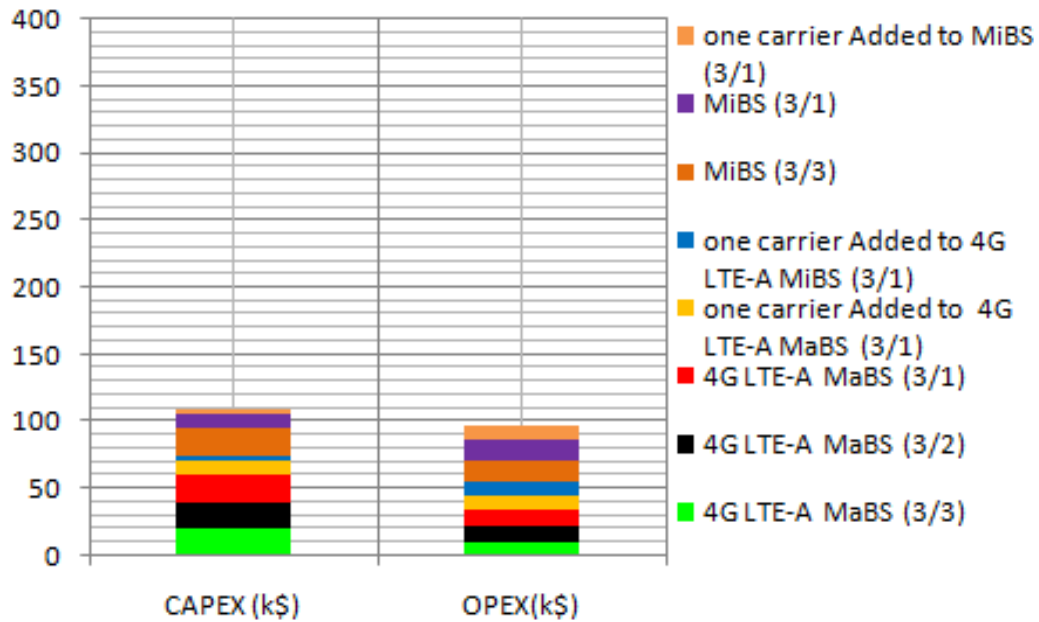


Εικόνα 17: Προσομοίωση του CAPEX διαφορετικών BS (σενάριο 1)

Πηγή : (Smail, Weijia, 2015)



Εικόνα 18: Προσομοίωση του OPEX διαφορετικών BS (σενάριο 1)
Πηγή : (Smail, Weijia, 2015)



Εικόνα 19: Προσομοίωση των CAPEX και OPEX διαφορετικών BS (σενάριο 2)
Πηγή : (Smail, Weijia, 2015)

Όταν συγκρίνουμε τα δύο σενάρια, είναι σαφές ότι η επαναχρησιμοποίηση του ιστότοπου παρέχει ένα σημαντικά χαμηλότερο CAPEX και είναι πιο βολική επιλογή για τον OMN ώστε να κερδίζει χρήματα, ωστόσο τα δύο OPEX φαίνονται πολύ κοντά.

Πίνακας 10 : Εκτιμήσεις του συνολικού προεξοφλημένου κόστους στην παρούσα αξία για την ανάπτυξη νέων BSs χρησιμοποιώντας LTE-A, 5G mmW και IEEE 802.11ac

Cell Type RAT	CAPEX	OPEX	Συνολικό προεξοφλημένο κόστος για 6 χρόνια
MaBS (3 carrier)	120	30	233.4
MaBS (2 carrier)	96.2	26.7	194.1
MaBS (1 carrier)	72.9	23.2	159.7
LTE-A MiBS	36.4	10.4	75.6
LTE-A PBS	11.4	3.4	24.1
5G mmW MiBS	25.4	7.4	54.1
5G mmW PBS	7.9	2.3	16.4
FBS	1.0	0.5	2.7
IEEE 802.11ac	1.05	0.14	1.5

5.5 Πέμπτο μέρος -Ζήτηση Κυκλοφορίας και Επένδυση Δικτύου

5.5.1 Εκτίμηση της δημιουργούμενης ζήτησης κυκλοφορίας

Δεδομένου ότι ο όγκος δεδομένων ανά συνδρομητή δεν εξαρτάται από το σενάριο ανάπτυξης, η παραγόμενη κίνηση δικτύου είναι ανάλογη της πυκνότητας πληθυσμού ρ . Για το λόγο αυτό, θεωρούμε το μοντέλο κυκλοφορίας του [3] για να υπολογίσει τη ζήτηση κυκλοφορίας για 1 km^2 στη Σαγκάη ως εξής:

$$G(t) = \rho \cdot \frac{8}{N_{dh} \cdot N_{md}} \cdot \varphi(t) \cdot D_k \quad (6)$$

Όπου N_{dh} αντιπροσωπεύει τον αριθμό ωρών της ημέρας που σημειώνονται ως ώρες απασχόλησης όταν η κίνηση είναι υπερβολική και N_{md} είναι ο αριθμός ημερών του μήνα. $\varphi(t)$ Αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό ενεργών χρηστών για δεδομένη χρονική στιγμή t χρησιμοποιώντας $\varphi(t) = 100\%$ για τον υπολογισμό της ζήτησης κυκλοφορίας στην περιοχή αιχμής στις ώρες απασχολημένης σε όρους Gbps / km² και D_k είναι η μέση ζήτηση δεδομένων ανά μήνα. Θεωρούμε $N_{dh} = 9$ σε 30 ημέρες. Περαιτέρω, σε συνδυασμό με το αποτέλεσμα μας στο Σχ. 2 σχετικά με τον αριθμό των χρηστών, θεωρούμε μια αρκετά ακραία κατοικημένη περιοχή με $\rho = 7,708$ πολίτες / km² (δύο φορές υψηλότερη). Συνεπώς, για να εξασφαλίσουμε δίκτυο που θα αποδειχθεί μελλοντικά πέρα από το 2025, θα εκτελέσουμε τη διαστασιολόγηση του δικτύου από την μελέτη περίπτωσης με το αποτέλεσμα που έχουμε στον Πίνακα 8 για μια μέση ζήτηση 100 GB / χρήστη / μήνα. Επίσης, σύμφωνα με το [2], εξετάζεται μόνο η κυκλοφορία downlink. Ο Πίνακας 11 συνοψίζει τα αποτελέσματα της εκτιμώμενης απόδοσης των ενεργών χρηστών σε πολυάριθμες ώρες στη Σαγκάη, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι συνδρομητές κατανέμονται ομοιόμορφα μέσα σε ένα κελί.

Πίνακας 11 : Προβλεπόμενη ζήτηση κυκλοφορίας στην περιοχή (Gbps / km²)

Μηνιαία Ζήτηση	Χωρητικότητα περιοχής (Gbps/km ²)	Ρυθμός Δεδομένων Χρήστη (Mbps)
100Gb/χρήστη	20	2.59

Το υποτιθέμενο επίπεδο ζήτησης αντιστοιχεί σε μέσες τιμές δεδομένων χρήστη περίπου 2,59 Mbps κατά τη διάρκεια των 8 ωρών εργασίας. Ωστόσο, διαπιστώσαμε ότι χρειαζόμαστε διέλευση 20 Gbps / km² σύμφωνα με το (6).

5.5.2 Μοντελοποίηση επενδύσεων δικτύου

Θα δοκιμάσουμε διαφορετικά σενάρια εσωτερικής εφαρμογής χρησιμοποιώντας διαφορετικές κατηγορίες BS και διάφορα μεγέθη φάσματος για να πετύχουμε τα 20 Gbps σε 1 km², τότε θα συγκρίνουμε το συνολικό προεξοφλημένο κόστος, κάλυψη και εκτιμήσεις χωρητικότητας για κάθε κατηγορία BS. Ωστόσο, το κύριο ζήτημα για αυτά τα σενάρια είναι οι απώλειες διείσδυσης τοίχου. Για να διαχειριστούμε το ζήτημα αυτό, είναι δυνατές δύο επιλογές αντιστάθμισης: δημιουργία ενός πυκνότερου δικτύου 2,6 GHz ή ανάπτυξη χρησιμοποιώντας 10MHz εντός ζώνης 0,8 GHz, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η εσωτερική κάλυψη. Συγγραφέας στο [3] ανέφερε ότι για αποζημίωση, 12 dB εξασθένησης, 5 φορές πυκνότερο δίκτυο πρέπει να κατασκευαστεί σε ζώνη των 2,6 GHz. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιείται φάσμα μόνο 10 MHz στη ζώνη των 0,8 GHz, ο αριθμός των τοποθεσιών πρέπει να διπλασιαστεί για λόγους περιορισμού της παραγωγικής ικανότητας. Στη συνέχεια αναλύουμε τις επιλογές ανάπτυξης με το MaBS, συμπεριλαμβανομένης της συνάθροισης φορέων και της αντιστάθμισης απώλειας τοίχων. Επίσης, θα αναπτύξουμε ένα από τα σενάρια ανάπτυξης με βάση τον αριθμό σταθμών βάσης Femto (FBS) ανά όροφο και τον αριθμό χρηστών ανά FBS στην μελέτη περίπτωσης. Επιπλέον, χρησιμοποιούμε την εσωτερική φασματική απόδοση εσωτερικού χώρου των 6,6 bps / Hz και 20 MHz φάσματος για FBS. Με βάση τις επεξεργασίες που σχετίζονται με την κάλυψη και την χωρητικότητα των BS στο [4], θεωρούμε 1.02 km² με 228 Mbps για το MaBS LTE-A και 0.001 km² με 4245 Mbps για 5G mmW PBS. Επιπλέον, θεωρούμε 0,008 km² με 132 Mbps για το FBS και 0,003 km² με 1300 Mbps για Wi-Fi IEEE 802.11ac. Το αντίστοιχο κόστος και χωρητικότητα για διαφορετικές στρατηγικές FBS / Wi-Fi, PBS και MaBS ικανοποιώντας 20 Gbps / km² συνοψίζονται στους Πίνακες 12 και 13.

Πίνακας 12 : CAPEX και χωρητικότητα για FBS και Wi-Fi IEEE802.11ac

FBS/Wi-Fi Σενάριο Ανάπτυξης	Αριθμός Ιστότοπων		CAPEX (MS)		Χωρητικότητα (Gbps)	
	FBS	Wi-Fi	FBS	Wi-Fi	FBS	Wi-Fi
7 BS floor	350	350	0.35	0.36	46.2	455
5 BS floor	250	250	0.25	0.26	33	325
3 BS floor	152	152	0.15	0.16	20.06	195
4 user BS	2500	2500	2.50	2.62	330	3250
8 user BS	1250	1250	1.25	1.31	165	1625
16 user BS	625	625	0.63	0.65	82.5	812.5
32 user BS	313	313	0.32	0.33	41.3	406.9
64 user BS	156	156	0.16	0.16	20.58	203.5

Πίνακας 13 : CAPEX και χωρητικότητα για macro sites με φορέα συγκέντρωσης

BS Σενάριο Ανάπτυξης	Αριθμός Ιστότοπων	Συνολικό CAPEX(MS)	Χωρητικότητα (Gbps)
Νέοι 5G mm W PBS	5	0.095	20.07
Επαναχρησιμοποιούμενοι MaBS LTE-A 0.8 & 2.6 GHz (Carr.Aggr.)	59	1.77	20.10
Νέοι MaBS LTE-A 0.8 & 2.6 GHz (Carr.Aggr.)	59	7.08	20.10
Επαναχρησιμοποιούμενοι MaBS LTE-A 0.8 GHz (Wall Loss comp)	175	3.5	20.15
Νέοι MaBS LTE-A 0.8 GHz (Wall Loss comp)	175	17.5	20.09

Επαναχρησιμοποιούμενοι MaBS LTE-A 5x2.6 GHz (Wall Loss comp)	89	1.76	20.21
Νέοι MaBS LTE-A 5x2.6 GHz (Wall Loss comp)	89	8.8	20.29

Από τους Πίνακες 12 και 13 μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού νέων ιστότοπων είναι πολύ δαπανηρή (π.χ. 175 -17,5 M \$), αλλά η επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων ιστότοπων οδηγεί σε λιγότερο δαπανηρή ανάπτυξη, ακόμη και όταν πολλοί ιστότοποι πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με νέο RAT (π.χ.175 -3,5 M \$). Επίσης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το 5G mmW PBS παρέχει το χαμηλότερο κόστος για την περίπτωση μελέτης μας, αλλά παρουσιάζει έναν ουσιώδη περιορισμό που σχετίζεται με την κάλυψη κατά τη διαστασιολόγηση του δικτύου. Ακόμη περισσότερο, αν λάβουμε υπόψη την εξασθένηση τοίχου 13.6 dB του PBS 5W mmW για πυκνότερη εσωτερική ανάπτυξη πρέπει να αναπτύξουμε τοποθεσίες 797 mmW μέσα στο κτίριο για να καλύψουν την έκταση 1 km². Έτσι, το συνολικό CAPEX θα είναι πολύ υψηλό 75,71 εκατ. \$ (0,095x797). Παρόλα αυτά, το βασικό εύρημα των διαφορετικών συγκρίσεων ανάπτυξης MaBS είναι ότι η αξιοποίηση της λειτουργικότητας συνάθροισης φορέα του LTE-A RAT είναι μακράν η πιο αποδοτική στρατηγική με μάλλον μικρές πυκνότητες σταθμών βάσης (58 ανά km²)

Ακόμα περισσότερο, η επιλογή ανάπτυξης νέων ιστότοπων με συνάθροιση φορέων είναι οικονομικά πιο αποδοτική σε σύγκριση με όλα τα σενάρια ανάπτυξης νέων ιστότοπων (7,08 εκατομμύρια δολάρια έναντι 8,8 εκατομμυρίων δολαρίων, 17,5 εκατομμύρια δολάρια και 75,71 εκατομμύρια δολάρια). Λόγω της υψηλής απόδοσης κάλυψης, η πιο αποδοτική επιλογή για τον OMN είναι η επαναχρησιμοποίηση των υφιστάμενων τοποθεσιών (σενάριο2) για φορέα συχνότητας 0,8 GHz και 10 MHz (μόνο 1,77 εκατ. \$) για ικανοποίηση 20 Gbps / km². Επιπλέον, η επαναχρησιμοποίηση των τοποθεσιών MaBS (0,8 & 2,6 GHz) με συνάθροιση φορέα είναι συγκρίσιμη με την επαναχρησιμοποίηση του MaBS (5x2,6 GHz) με αντιστάθμιση ζημιών (1,77 έναντι 1,76 M \$). Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη FBS και Wi-Fi IEEE 802.11ac καθίσταται σημαντικά αποδοτική σε περίπτωση που η ανάπτυξη του FBS μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό χρηστών (64 Χρήστες / FBS) ή (3 FBS / όροφο). Στην περίπτωση αυτή, μπορούμε να

επιτύχουμε 20 Gbps με το ίδιο κόστος για κάθε σενάριο. Ως εκ τούτου, το εμπόριο πρέπει να γίνει ικανοποιώντας την απαίτηση των χρηστών. Παρόλα αυτά, το FBS και το Wi-Fi είναι αυστηρά περιορισμένα στο εύρος. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι αυτές οι επιλογές ανάπτυξης είναι σχεδόν απεριόριστες στην χωρητικότητα (ικανότητα / χωρητικότητα) και παρόμοιες από πλευράς κόστους. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων τοποθεσιών έχει μεγάλο αντίκτυπο και όταν αναπτύσσεται ένα πυκνότερο MaBS προκειμένου να αντισταθμιστεί η εξασθένιση του τοίχου.

Ωστόσο, η κατάσταση είναι διαφορετική για την ανάπτυξη νέων ιστότοπων, εκτός εάν χρησιμοποιείται η λειτουργία συνάθροισης φορέα του LTE-A RAT. Έτσι, μπορούμε να συνοψίσουμε ότι η κύρια έλλειψη του δικτύου επόμενης γενιάς αναγνωρίζεται ως περιορισμένη κάλυψη με small cells λύσεις όπως femtocells, picocells που αναπτύσσονται με σύστημα 5W mmW και WiFi. Από την άλλη πλευρά, έχουμε την έλλειψη περιορισμένης χωρητικότητας από τις μακροεντολές. Η λύση αυτών των δύο προβλημάτων είναι η διερεύνηση των συνεταιριστικών διατάξεων των μακροεντολών με femtocells, 5G mmW PBS ή Wi-Fi, για να επιτευχθούν οι συμβιβασμοί και οι συνέργιες μεταξύ κόστους, χωρητικότητας και κάλυψης.

5.6 Συμπέρασμα και Μελλοντική Εργασία

Έχουν γίνει λίγες μελέτες σχετικά με την ανάπτυξη τεχνολογίας 5G χρησιμοποιώντας την τεχνική κόστους-οφέλους για τη μοντελοποίηση και ανάλυση και η παρούσα έρευνα διεξάγει την ανάλυση σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης της τεχνολογίας 5G στο υπάρχον δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 4G στη ρύθμιση μονοπωλίου. Μια τεchnοοικονομική προσέγγιση μοντελοποίησης πραγματοποιήθηκε για μια περίοδο 6 ετών για τη Σαγκάη / Κίνα. Με αυτές τις εκτιμήσεις, πραγματοποιήσαμε μια ανάλυση σύγκρισης της τιμής, του κόστους, της κάλυψης και της χωρητικότητας για διαφορετικά σενάρια χρησιμοποιώντας διάφορες κατηγορίες σταθμών βάσης. Επιπλέον, βάζουμε σε εφαρμογή ένα νέο μοντέλο τιμολόγησης ώστε να είναι συνεπής με την ανάπτυξη της κινητής ευρυζωνικότητας που βασίζεται σε παραμέτρους βάσει τιμής και όγκου.

Η μελέτη επιχειρεί να ανακαλύψει το όφελος και το οικονομικό κόστος της μεταναστευτικής κινητής τεχνολογίας 4G έως 5G. Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι η καλή ανάλυση της

Ελαστικότητας της τιμής ως προς τον όγκο δίνει ένα σημαντικό περιθώριο κέρδους. Επίσης, διαπιστώσαμε ότι όλες οι τεχνολογίες που αναλύθηκαν είναι σε θέση να υποστηρίξουν όλη την κινητή ευρυζωνική ζήτηση για διαφορετικά σενάρια, αλλά οι μακροκυψέλες βελτιωμένες με φορέα συγκέντρωσης (carrier aggregation) είναι η πιο αποδοτική λύση κόστους. Επίσης, γίνεται αντιληπτό ότι η χρήση ήδη υπάρχοντων τοποθεσιών έχει μεγάλη επίδραση ακόμα και όταν αναπτύσσεται ένας πυκνότερος macro σταθμός βάσης προκειμένου να αντισταθμιστεί η εξασθένηση του τοιχώματος. Ωστόσο, η κατάσταση είναι διαφορετική για την ανάπτυξη νέων ιστότοπων και το κόστος είναι πολύ υψηλό εκτός εάν χρησιμοποιείται η λειτουργικότητα συνάθροισης φορέα του LTE-A RAT. Επιπλέον, εντοπίσαμε την έλλειψη δικτύου επόμενης γενιάς ως περιορισμένη κάλυψη από λύσεις small cells όπως τα femtocells, τα picocells που αναπτύσσονται με mmW και το Wi-Fi. Από την άλλη, έχουμε την έλλειψη περιορισμών της ικανότητας που σχετίζονται με τους macro σταθμούς. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση, θα είναι απαραίτητο οι φορείς να διερευνήσουν τις συνεταιριστικές διατάξεις των macro σταθμών με femtocells, pico σταθμούς βάσης 5G mmW ή προηγμένα AP Wi-Fi, όπως το IEEE 802.11ac, για να επιτύχουν τους συμβιβασμούς και τις συνέργειες μεταξύ κόστους, ικανότητας και κάλυψης. Τέλος, ο αντίκτυπος της προτεινόμενης προσέγγισης που σχετίζεται με το μοντέλο τιμολόγησης στα έσοδα των OMNs και η σύγκριση με τις παραδοσιακές στρατηγικές τιμολόγησης θεωρούνται ως μελλοντικά έργα.

6. Βιβλιογραφία

1. Shanghai Population: <http://worldpopulationreview.com/worldcities/shanghai-population> (2016).
2. Johansson.K, “Cost Effective Deployment Strategies for Heterogeneous Wireless Networks”, Doctoral Dissertation. The Royal Institute of Technology, Stockholm (2007).
3. Ghoul Smail, Jia Weijia, “Techno-economic Analysis and Prediction for the Deployment of 5G Mobile Network” Department of Computer Science, China(2015).
4. Vladimir.N, Toni.J, “Cost-effectiveness Assessment of 5G Systems with Cooperative Radio Resource Sharing” (2015).
5. Amit K.Mogal, “Wireless Mobile Communication – A Study of 3G Technology”, Department of Computer Science, CMCS College (2012).
6. Pankaj Sharma, “Evolution of Mobile Wireless Communication Networks-1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Network”, Department of Computer Science, Abhilashi Educational Society, Ner Chowk, Mandi, Himachal Pradesh, India (2013).
7. Olumuyiwa Oludare, “Comparative studies on 3G,4G and 5G wireless technology”, Department of Electrical & Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Ekiti State University, Ado-Ekiti, Ekiti-State Nigeria (2014).
8. Valery Tikhvinskiy and Grigory Bochechka, “Prospects and QoS Requirements in 5G Networks”, LLC Icominvest, Moscow, Russia (2015).
9. Rapeepat Ratasuk, Athul Prasad, Zexian Li, Amitava Ghosh, and Mikko A. Uusitalo, “Recent Advancements in M2M Communications in 4G Networks and Evolution Towards 5G”, Nokia Networks, Arlington Heights, IL, USA (2015).
10. GSMA Intelligence: “Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile”, (2014).
11. Akhil Gupta, Rakesh Kumar, “A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies”, School of Electronics and Communication Engineering, Shri Mata Vaishno Devi University, Katra 182320, India (2015).
12. Saurabh Patel, Malhar Chauhan, Kinjal Kapadiya, “5G: Future Mobile Technology-Vision 2020”, EC Department NSIT, Jetalpur Gujarat, India (2012).

13. Salah Eddine Elayoubi¹, Mikael Fallgren², Panagiotis Spapis, Gerd Zimmermann, David Martín-Sacristán, Changqing Yang, Sébastien Jeux, Patrick Agyapong, Luis Campoy, Yinan Qi, Shubhranshu, “5G Service Requirements and Operational Use Cases: Analysis and METIS II Vision”, Singh Orange Labs, France; Ericsson, Sweden; Huawei Technologies ERC, Germany; Deutsche Telekom, Germany; Universitat Politècnica de València, Spain; Huawei, China; NTT Docomo Eurolabs, Germany; Telefonica, Spain; Samsung Electronics R&D Institute, UK; ITRI, Taiwan (2014).
14. Rachid El Hattachi, “NGMN 5G WHITE PAPER”, 5G Initiative Team (2015).
15. Konjeti Viswanadh, “Towards 1000x Capacity Challenge via Resource Allocation and Interference Management”, International Institute of Information Technology, India (2016).