



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

**Αποτίμηση επίδοσης συστημάτων κινητών επικοινωνιών 5G με
προσομοίωση στο Ornet**

Πτυχιακή εργασία

Γεώργιος Στυλιανού

Αθήνα, 2017



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Γεώργιος Δημητρακόπουλος (Επιβλέπων)
Επίκουρος Καθηγητής, Πληροφορικής και
τηλεματικής, Χαροκόπειο πανεπιστήμιο

Κωνσταντίνος Τσερπές
Επίκουρος Καθηγητής, Πληροφορικής και
τηλεματικής, Χαροκόπειο πανεπιστήμιο

Βασίλης Δαλάκας
Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, Πληροφορικής και
τηλεματικής, Χαροκόπειο πανεπιστήμιο

Ο Γεώργιος Στυλιανού

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.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ.Γιώργο Δημητρακόπουλο κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας ,όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων. Ευχαριστώ ακόμη όλους τους καθηγητές μου και γενικότερα ολόκληρο το προσωπικό του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου για την βοήθεια και τις παροχές που μου προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησης μου . Θα θελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη στα Ελληνικά	7
Abstract	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	12
Εισαγωγή	13
ΚΕΦ.1: Σκοπός	15
ΚΕΦ.2: Ιστορική Αναδρομή.....	15
ΚΕΦ.3: Τι Ισχύει Σήμερα.....	17
ΚΕΦ.4: Τι Προβλέπει το Μέλλον.....	24
1. Evolution or Revolution?	26
2.Ορισμός και Χαρακτηριστικά της Πέμπτης Γενιάς Δικτύου	29
ΚΕΦ.5.....	31
1. Τι Επιβάλει η Νέα Γενιά.....	31
2. Πότε Αναμένεται να Κυκλοφορήσει	34
ΚΕΦ.6: Σύγκριση 4G - 5G	34
ΚΕΦ.7:Προκλήσεις που Πρέπει να Αντιμετωπισθούν.....	37
1. Cognitive Radio (CR) -Νέοι Τρόποι με Χρήση Ραδιοφάσματος	37
2. Software Defined Radio (SDR) - Reconfigurability Enabler	37
3. Αναδιαμορφωμένη-Διαλειτουργικότητα Μεταξύ Διαφόρων Τύπων Δικτύου Ασύρματης Πρόσβασης.....	38
4. Προσαρμοστική Σύζευξη - Αναδιαμορφωμένη Ολοκλήρωση (Adaptive Coupling- Reconfigurable Integration)	40
5. Δίκτυο Ενεργειακής Απόδοσης.....	40
6. Μηχανικού - Τύπου Επικοινωνία	41
7. Nanotechnology	41
8. All IP Network	42
9. Cloud computing	42
10. Μια Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική του Δικτύου 5G	43
11. Αναδιαμορφώσιμα Τερματικά Πολλαπλών Τρόπων	43
12. Αναδιαμορφώσιμοι Πυρήνες Πολλαπλών Τεχνολογιών	46
ΚΕΦ.8: Προσομοίωση στο Opnet.....	49
1. Σενάριο 1: Σύγκριση 4G με 5G Τεχνολογίες για Λήψη Εικόνας	49
2. Σενάριο 2: Σύγκριση Λήψης και Αποστολής Δεδομένων Μεταξύ 4G και 5G Δικτύων με Εναλλαγή Ρόλων.....	55

3. Σενάριο 3: Σύγκριση Λήψης και Αποστολής Δεδομένων Μεταξύ 4G και 5G Δικτύων	68
ΚΕΦ.9 Έργα και εγκαταστάσεις για το 5G	78
1. Τεχνολογικές Εξελίξεις και Φασματική Απόδοση	79
2. Δικτυακή Υποδομή και Τοπολογία	81
2.1.Οι Απαιτήσεις του δικτύου 5G για Επιπλέον Σταθμούς Βάσης	81
2.2. Ευέλικτη, Επεκτάσιμη και Έξυπνη Αρχιτεκτονική του Δικτύου	82
3. Φάσμα	84
3.1. Το 5G Αναμένεται να Χρησιμοποιήσει Ένα Ευρύ Φάσμα Συχνοτήτων	85
4. Επιπλέον Καταλυτικές Τεχνολογίες για το 5G	86
4.1. Εξελίξεις σε Συσκευές.....	86
4.2. Ασφάλεια και Αξιοπιστία	87
4.3. Αντιληπτή διαθεσιμότητα 99,999% και 100% γεωγραφική κάλυψη	87
4.4. Πυκνότητα Σύνδεσης	88
4.5. Μείωση της χρήσης ενέργειας δικτύου και βελτίωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας	89
ΚΕΦ.10: Το Μέλλον των Δικτύων και οι Ανοιχτές Προκλήσεις.....	89
ΚΕΦ.11: Επίλογος	91
Βιβλιογραφία.....	93

Περίληψη στα Ελληνικά

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση της κατάστασης στον τομέα των ασύρματων δικτύων. Μελετώνται η αρχιτεκτονική και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται, καθώς και οι προδιαγραφές αυτών, για να αξιοποιηθούν στην ενσωμάτωση της νέας τεχνολογίας 5G. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των σημερινών δικτύων και των τεχνολογιών που αναπτύσσονται για να στηρίξουν αυτή την τεχνολογία. Παράλληλα, παρουσιάζεται η μέχρι στιγμής εξέλιξη που έχει σημειωθεί στα σημερινά δίκτυα, γίνεται σύγκριση των τεχνολογιών και παρουσιάζονται τυχόν προβλήματα που προκύπτουν με τα άλματα που κάνει η τεχνολογία.

Επίσης, γίνεται προσομοίωση των δικτύων 5G και 4G, μελετώντας τόσο την ομαλή συνύπαρξή τους, όσο και τις διαφορές που παρουσιάζουν σε διάφορες καταστάσεις, αξιοποιώντας το εργαλείο Ornet Riverbed Modeler. Τα αποτελέσματα αυτών είναι πολύ ενθαρρυντικά για την προσεχές τεχνολογία. Πιο συγκεκριμένα υλοποιήσα τρία σενάρια για να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο τεχνολογιών. Στο πρώτο σενάριο γίνεται λήψη εικόνας από τα δύο δίκτυα και παρατηρείται ότι η τεχνολογία 5G λαμβάνει τα ίδια δεδομένα με την τεχνολογία 4G «φορτώνοντας» λιγότερο το δίκτυο. Στο δεύτερο σενάριο γίνεται σύγκριση λήψης και αποστολής δεδομένων μεταξύ 4G και 5G δικτύων με εναλλαγή ρόλων και παρατηρείται ότι με βάση τον χρόνο η τεχνολογία 5G φαίνεται ότι επικοινωνεί πιο γρήγορα με τις υπόλοιπες συσκευές. Στο τελευταίο σενάριο γίνεται σύγκριση λήψης και αποστολής δεδομένων μεταξύ 4G και 5G δικτύων και παρατηρείται ότι οι προσπάθειες αναμετάδοσης που γίνονται σε σχέση με τον χρόνο των 5G συσκευών είναι πολύ λιγότερες σε σχέση με αυτές που γίνονται στις 4G συσκευές. Έτσι ο 5G παραλήπτης είναι λογικό να ανταποκρίνεται πιο γρήγορα σε σχέση με τον 4G παραλήπτη και για αυτό το λόγο ξαναγίνονται προσπάθειες αναμετάδοσης.

Τέλος, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αποτελεί μια έρευνα για το μέλλον των ασύρματων δικτύων και την εξέλιξη αυτών, μελετώντας τους τομείς οι οποίοι θα επωφεληθούν, καθώς και τα πλεονεκτήματα που θα υπάρξουν για τους τελικούς χρήστες.

Λέξεις κλειδιά: φασματική απόδοση, προσομοίωση , ασφάλεια , αξιοπιστία, Χρήση Ραδιοφάσματος

Abstract

The purpose of this thesis is to present the situation in wireless networks. I've studied on architecture and protocols that used, and specifications of those, to exploit the integration of new technology 5G. The reference is made to the evolution of existing networks and technologies are being developed to support this technology. At the same time, it presents the so far progress has been made in the existing networks, comparing the technologies and presented any problems arising with the development of technology.

Also simulation of 5G and 4G networks presented, studying both their smooth coexistence, and the differences in a variety of situations, utilizing the tool Opnet Riverbed Modeler. The results of these are very encouraging for the next technology. Particularly, implementations of three scenarios used to compare the two technologies. In the first scenario comparing downloading image by the two systems, observed that 5G technology takes the same data with the 4G technology without «loading" network too much. In the second scenario are compared to download and send data between 4G and 5G networks with switching roles and 5G technology is noted that based on the time seems to communicate more quickly with other devices. In the latter scenario comparing data sending and receiving between 4G and 5G networks, we observed that attempts retransmission made relative to the time of the 5G devices are much less than those made in 4G devices. So the 5g recipient is reasonable to respond more quickly than the 4G recipient and therefore being re-broadcasting efforts.

Finally, this thesis is a study on the future of wireless networks and their evolution, studying the sectors which will benefit, and the benefits will be for end users.

Keywords: Cognitive Radio (CR), spectral efficiency, simulation, security, reliability

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίν.1: (E-UTRA) LTE Categories.....	19
Πίν.2: Συσχέτιση ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, εύρος ζώνης και συχνοτήτων	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ

Γραφ.1: Theoretical world download/upload speeds by network type.....	23
Γραφ.2: Real world download/upload speeds by network type.....	23

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ.1: Δομή αναδιαρθρώσιμου πομποδέκτη.....	45
Σχ.2: Δομή αναδιαμορφώσιμου δικτύου πυρήνα ως εξέλιξη της EPC του 4G δικτύου.....	47
Σχ.3: Αρχιτεκτονική 5G δικτύου.....	48
Σχ.4: Τοπολογία 1ου σεναρίου.....	49
Σχ.5: 1η τοπολογία 2ου σεναρίου.....	56
Σχ.6: 2η τοπολογία 2ου σεναρίου.....	56
Σχ.7: 1η τοπολογία 3ου σεναρίου.....	68
Σχ.8: 2η τοπολογία 3ου σεναρίου.....	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγ.1: Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων 1ου σεναρίου.....	50
Διάγ.2: Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων 1ου σεναρίου.....	51
Διάγ.3: Καθυστέρησης 1ου σεναρίου.....	52
Διάγ.4: Καθυστέρησης Πρόσβασης στα Δεδομένα 1ου σεναρίου.....	52
Διάγ.5: Ρυθμαπόδοσης 1ου σεναρίου.....	53
Διάγ.6: Φόρτου Δικτύου 1ου σεναρίου.....	54
Διάγ.7: Απόπειρας Αναμετάδοσης 1ου σεναρίου.....	55
Διάγ.8: Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων Παραληπτών 2ου σεναρίου..	57
Διάγ.9: Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομ. Αποσταλέντων 2ου σεναρίου...	58
Διάγ.10: Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων Παραληπτών 2ου σεναρίου.....	59
Διάγ.11: Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων Αποσταλέντων 2ου σεναρίου...	59
Διάγ.12: Φόρτου Δικτύου Παραληπτών 2ου σεναρίου.....	60
Διάγ.13: Φόρτου Δικτύου Αποσταλέντων 2ου σεναρίου.....	61
Διάγ.14: Καθυστέρησης Παραληπτών 2ου σεναρίου.....	62
Διάγ.15: Καθυστέρησης Αποσταλέντων 2ου σεναρίου.....	63
Διάγ.16: Ρυθμαπόδοσης Παραληπτών 2ου σεναρίου.....	64
Διάγ.17: Ρυθμαπόδοσης Αποσταλέντων 2ου σεναρίου.....	65
Διάγ.18: Μεγέθους Ουράς Παραληπτών 2ου σεναρίου.....	66
Διάγ.19: Μεγέθους Ουράς Αποσταλέντων 2ου σεναρίου.....	67
Διάγ.20: Προσπαθειών Αναμετάδοσης 2ου σεναρίου.....	67
Διάγ.21: Προσπαθειών Αναμετάδοσης Αποσταλέντων.....	70
Διάγ.22: Προσπαθειών Αναμετάδοσης Παραληπτών.....	70
Διάγ.23: Καθυστέρησης Παραληπτών.....	72
Διάγ.24: Καθυστέρησης Αποσταλέντων.....	72
Διάγ.25: Φόρτου Δικτύου Παραληπτών.....	73
Διάγ.26: Φόρτου Δικτύου Αποσταλέντων.....	73
Διάγ.27: Ρυθμαπόδοσης Αποσταλέντων.....	74
Διάγ.28: Ρυθμαπόδοσης Παραληπτών.....	75
Διάγ.29: Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων Αποσταλέντων.....	76
Διάγ.30: Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων Παραληπτών.....	76
Διάγ.31: Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων Αποσταλέντων.....	77
Διάγ.32: Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων Παραληπτών.....	78

Εισαγωγή

Σήμερα και στο πρόσφατο μέλλον, τα τεκμήρια και οι προκλήσεις για το εγγύς μέλλον όλο και αυξάνονται, τα ασύρματα δίκτυα του σήμερα με θα πρέπει να αναπτυχθούν με διάφορους τρόπους. Τα συστατικά της πρόσφατης τεχνολογίας, όπως η υψηλής ταχύτητας πρόσβαση πακέτων (High-Speed Packet Access - HSPA) και η μακροχρόνια εξέλιξη (Long-Term Evolution - LTE) θα αποτελέσουν την βάση για την έναρξη της εξέλιξης ως τμήμα των σημερινών ασύρματων τεχνολογιών. Παρόλα αυτά, βοηθητικά συστατικά μπορούν επίσης να αποτελέσουν την βάση για μελλοντικές τεχνολογίες του νέου ασύρματου δικτύου, το οποίο μπορεί να επίκουρος τις εξελιχθεί τεχνολογίες. Δείγμα αυτών των νέων τεχνολογικών συστατικών είναι οι διαφορετικοί τρόποι πρόσβασης στο φάσμα και σε σημαντικά υψηλότερες περιοχές συχνοτήτων, η μαζική υποκίνηση σε διαμορφώσεις κεραιών, η άμεση επικοινωνία από συσκευή σε συσκευή, και υπέρ-πυκνές αναπτύξεις. Από την έναρξή της στα τέλη της δεκαετίας του 1970, η κινητή ασύρματη επικοινωνία έχει περάσει από τις αναλογικές κλήσεις φωνής μέχρι την τρέχουσα σύγχρονη τεχνολογία παρέχοντας υπηρεσίες υψηλής ποιότητας με ταχύτητες των πολλών megabits ανά δευτερόλεπτο για τους τελικούς χρήστες σε μεγάλες περιοχές και δεκάδες ή ακόμη και εκατοντάδες , του megabits ανά δευτερόλεπτο σε τοπικό επίπεδο. Οι εκτεταμένες βελτιώσεις όσον αφορά την δυνατότητα των δικτύων κινητών επικοινωνιών, μαζί με την έναρξη του νέου τύπου κινητών συσκευών, όπως έξυπνα τηλέφωνα και tablets, έχουν δημιουργήσει μια έκρηξη των νέων εφαρμογών που θα χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κινητής συνδεσιμότητας και με αυτό τον τρόπο προκύπτει εκθετική αύξηση στην κίνηση του δικτύου. Η εργασία αυτή παρουσιάζει μία άποψή για το μέλλον της ασύρματης επικοινωνίας για το 2020 και μετέπειτα. Σε αυτή την εργασία, περιγράφονται οι βασικές προκλήσεις που θα αντιμετωπίζουν η μελλοντική ασύρματη επικοινωνία, ενώ παράλληλα εκκινεί τη δικτυωμένη κοινωνία. Μαζί με αυτό, μερικές τεχνολογικές διαδρομές ίσως ληφθούν για να εκπληρώσουν τις πολυάριθμες αυτές προκλήσεις.

Η φαντασία του μέλλοντος είναι μια δικτυωμένη κοινωνία, με απεριόριστη πρόσβαση στις πληροφορίες και στην ανταλλαγή δεδομένων, που είναι προς βέβαιη παντού και κάθε φορά για όλους και για όλα. Για την υλοποίηση αυτής της φαντασίας, τα συστατικά της νέας τεχνολογίας πρέπει να εξεταστούν βάση την εξέλιξη των υφιστάμενων τεχνολογιών που βασίζονται στην ασύρματη επικοινωνία. Υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες, όπως η τεχνολογία LTE, η 3ης γενιάς (3GPP), η HSPA και το Wi-Fi, θα ενσωματώνουν στα νέα τεχνολογικά στοιχεία που θα βοηθήσουν να καλυφθούν οι ανάγκες του μέλλοντος. Παρόλα αυτά, μπορεί να υπάρχουν ορισμένα σενάρια που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν επαρκώς μαζί με την πορεία των υφιστάμενων τεχνολογιών. Η προτροπή σε εντελώς νέες ασύρματες

τεχνολογίες θα συμπληρώσουν τις τρέχουσες τεχνολογίες που είναι απαραίτητες για τη μακροπρόθεσμη υλοποίηση της δικτυωμένης κοινωνίας.

Η ανάπτυξη των σύγχρονων δικτυακών συσκευών, που ολοένα κατακλύζει τη σύγχρονη αγορά, όπως για παράδειγμα η ύπαρξη σταθερών υπολογιστών, ταμπλετών, φορητών υπολογιστών, netbooks, notebooks, έξυπνων τηλεφώνων και πλήθος άλλων συσκευών, που έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, έχει καταστήσει ιδιαίτερα ζωτικής σημασίας την ανάγκη για επέκταση των δικτύων τηλεπικοινωνιών. Σύντομα, οι δικτυακές διευθύνσεις, που υπάρχουν στο πρωτόκολλο ipv4, δε θα επαρκούν και θα επικρατήσει το ipv6 πρωτόκολλο για τα σύγχρονα δίκτυα. Η χρήση των συσκευών επεκτείνεται όλο και περισσότερο, ενώ οι σύγχρονες ανάγκες για επικοινωνία και πρόσβαση στο διαδίκτυο δημιουργούν την ανάγκη για την προέκταση των δικτύων επικοινωνιών. Στις μέρες μας, οι χρήστες χρησιμοποιούν το διαδίκτυο παντού, εφόσον, για παράδειγμα, πηγαίνοντας στη δουλειά χρησιμοποιούν κινητές συσκευές για ενημέρωση, ψυχαγωγία ή και εργασία. Έπειτα, στη δουλειά του κανείς, χρησιμοποιεί τα σύγχρονα δικτυακά μέσα, αφού σε κάθε τομέα επαγγελματικής και ανθρώπινης δραστηριότητας περιλαμβάνονται οι υπολογιστές και η εργασία μέσω διαδικτύου.

Οι υπολογιστές και το διαδίκτυο, γενικότερα, παρέχουν οικονομικές λύσεις επικοινωνίας και εργασίας. Επιπρόσθετα, η πληθώρα της πληροφορίας στο διαδίκτυο είναι εκπληκτική και συντελεί στο να παρατηρήσει κανείς, παρόμοια θέματα με αυτά της ενασχόλησης του ή να εμπνευστεί καινοτόμες ιδέες για τον τομέα της δραστηριότητας του. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις, που άνθρωποι συνεργάζονται από μακριά και παρέχουν ή εκμεταλλεύονται διάφορες δικτυακές υπηρεσίες, όπως το ηλεκτρονικό εμπόριο, η ηλεκτρονική τραπεζική ή ηλεκτρονική εκπαίδευση κλπ. Επίσης, δημιουργούνται οικιακά δίκτυα μέσα στα οποία συνδέονται τα κινητά, οι συσκευές, οι υπολογιστές, που απαιτούν πρόσβαση στο διαδίκτυο. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη του επιστημονικού κλάδου των κινητών επικοινωνιών για μελέτη, ανάπτυξη και προώθηση της κινητής πέμπτης γενιάς τεχνολογίας (5G). Η τεχνολογία δικτύου κινητής τηλεφωνίας κινείται σε ένα αδυσώπητο ρυθμό και έχει κτιστεί γύρω από δύο μεγάλες βιομηχανίες πλέον. Η μία και πιο κοινή μέχρι στιγμής στους ανθρώπους σήμερα είναι η τέταρτης γενιάς ασύρματο δίκτυο (4G), και η άλλη βιομηχανία πλαισιώνεται στο πέμπτης γενιάς ασύρματο δίκτυο (5G) το οποίο αναμένεται. Η αφομοίωση του Internet of Things και στις δύο τεχνολογίες κάνει τον ασύρματο λαβύρινθο ακόμα πιο δύσκολο. Επίσης, σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι επιστήμονες όπως ο Magnus Frodigh, ο οποίος είναι ερευνητής στην εταιρία Ericsson αναφέρθηκε ήδη στην ασύρματη τεχνολογία έκτης γενιάς (6G) στο παγκόσμιο συνέδριο κινητής τηλεφωνίας (Mobile World Congress) θέτοντας τον πήχη ακόμα πιο ψηλά για τις εταιρίες που δραστηριοποιούνται σε αυτό τον τομέα, ενώ παράλληλα ήθελε να τονίσει την εξέλιξη που υπάρχει στον συγκεκριμένο τομέα και τις ανάγκες που δημιουργούνται στους ανθρώπους όσο εξελίσσεται η κινητή τηλεφωνία.

ΚΕΦ.1: Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση της κατάστασης στον τομέα των ασύρματων δικτύων. Μελετώνται η αρχιτεκτονική και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται, καθώς και οι προδιαγραφές αυτών, για να αξιοποιηθούν στην ενσωμάτωση της νέας τεχνολογίας 5G.

Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των σημερινών δικτύων και των τεχνολογιών που αναπτύσσονται για να στηρίξουν αυτή την τεχνολογία. Παράλληλα, παρουσιάζεται η μέχρι στιγμής εξέλιξη που έχει σημειωθεί στα σημερινά δίκτυα, γίνεται σύγκριση των τεχνολογιών και παρουσιάζονται τυχόν προβλήματα που προκύπτουν με τα άλματα που κάνει η τεχνολογία.

Επίσης, γίνεται προσομοίωση των δικτύων 5G και 4G, μελετώντας τόσο την ομαλή συνύπαρξή τους, όσο και τις διαφορές που παρουσιάζουν σε διάφορες καταστάσεις, αξιοποιώντας το εργαλείο Ornet Riverbed Modeler. Τα αποτελέσματα αυτών είναι πολύ ενθαρρυντικά για την προσεχές τεχνολογία.

Τέλος, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αποτελεί μια έρευνα για το μέλλον των ασύρματων δικτύων και την εξέλιξη αυτών, μελετώντας τους τομείς οι οποίοι θα επωφεληθούν, καθώς και τα πλεονεκτήματα που θα υπάρξουν για τους τελικούς χρήστες.

ΚΕΦ.2: Ιστορική Αναδρομή

Οι υπάρχουσες τεχνολογίες κινητών επικοινωνιών είναι αυτές, που ήδη έχουν εμφανιστεί στον κόσμο και έχουν αναπτυχθεί κατάλληλα πρότυπα για τις συγκεκριμένες επικοινωνίες. Κάθε δέκα περίπου χρόνια, εμφανίζεται και μία νέα γενιά κινητής τηλεφωνίας μετά την πρώτη εμφάνιση των κινητών τηλεπικοινωνιών, όπου εισήλθε το 1981, με το πρώτο αντιπροσωπευτικό σύστημα ασύρματης ψηφιακής τηλεπικοινωνίας, το σύστημα 1G με το Nordic Mobile Phone. Το 1992 εμφανίστηκε το σύστημα 2G. . Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο αυτών διαδοχικών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας ,1G και 2G , είναι ότι τα ραδιοκύματα, που χρησιμοποιούνται στα 1G δίκτυα είναι αναλογικά , ενώ τα δίκτυα 2G είναι ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν την ψηφιακή σηματοδότηση για τη σύνδεση των πύργων, για το υπόλοιπο του τηλεφωνικού συστήματος, η ίδια η φωνή κατά τη διάρκεια μιας κλήσης είναι κωδικοποιημένη σε ψηφιακά σήματα στο 2G, ενώ στην 1G μόνο διαμορφώνεται σε υψηλότερη συχνότητα, συνήθως 150 MHz και πάνω. Τα εγγενή πλεονεκτήματα της ψηφιακής τεχνολογίας συγκριτικά με αυτά της αναλογικής, σήμαινε ότι τα δίκτυα 2G αντικατέστησαν τα 1G, τελικά, σχεδόν σε κάθε τομέα ασύρματης τηλεπικοινωνιακής δραστηριότητας. Αξίζει

να σημειωθεί ότι οι ταχύτητες της τεχνολογίας 1G κυμαίνονται μεταξύ των 28 kbps και 56 kbps. Επίσης, η τεχνολογία 2G διαιρείται σε δύο κατηγορίες :

- Time Division Multiple Access (TDMA) με βάση και
- Code Division Multiple Access (CDMA) με βάση τα πρότυπα ανάλογα με τον τύπο της πολυπλεξίας, που χρησιμοποιείται.

Στη συγκεκριμένη τεχνολογία 2G παρατηρείτε και περεταίρω ανάπτυξη καθώς εξελίχθηκε σε 2.5G και 2.75G ,που περιλαμβάνει τα δίκτυα GPRS1, τα οποία εξελίχθηκαν σε EDGE δίκτυα.

Το πρώτο σύστημα 3G εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2001. Αυτή η γενιά βασίζεται σε ένα σύνολο προτύπων, που χρησιμοποιούνται για κινητές συσκευές και υπηρεσίες κινητής χρήσης τηλεπικοινωνιών και δικτύων, που υπακούνε στις προδιαγραφές των διεθνών κινητών τηλεπικοινωνιών (IMT - 2000) της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών. Η τρίτη γενιά (3G) βρίσκει εφαρμογή στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, στην κινητή πρόσβαση στο διαδίκτυο, στη σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο, σε κλήσεις βίντεο και στην κινητή τηλεόραση. Στην ουσία σηματοδοτεί την ένταξη της κινητής τηλεφωνίας στο χώρο του διαδικτύου. Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα 3G με τις υπηρεσίες υποστήριξης παρέχουν μια ταχύτητα μεταφοράς πληροφοριών τουλάχιστον 200 kbps. Αργότερα το δίκτυο 3G απελευθερώνεται και μετεξελίσσεται, ενώ συχνά συμβολίζεται με 3.5G και 3.75G, θέλοντας να σηματοδοτηθεί η ανάπτυξη γρηγορότερων και ταχύτερων υπηρεσιών. Επίσης, παρέχεται κινητή ευρυζωνική πρόσβαση πολλών Mbps σε έξυπνα τηλέφωνα και σε κινητά μόντεμ για φορητούς υπολογιστές. Η επέκταση αυτή είναι δυνατό να εφαρμοστεί στις υπηρεσίες, που εφαρμόζεται και η 3G τεχνολογία.

Το 4G έκανε την εμφάνισή του το 2011. Η τεχνολογία 4G είναι συνώνυμη με την Long Term Evolution (LTE) τεχνολογία, η οποία είναι μια εξέλιξη του υπάρχοντος ασύρματου προτύπου 3G. Στην πραγματικότητα, το LTE είναι μια προηγμένη μορφή 3G που σηματοδοτεί μια τολμηρή στροφή από τα υβριδικά δίκτυα δεδομένων και φωνής σε ένα δίκτυο IP δεδομένων μόνο. Υπάρχουν δύο βασικές τεχνολογίες που επιτρέπουν η τεχνολογία LTE να επιτύχει υψηλότερη απόδοση των δεδομένων από το προκάτοχο δίκτυο 3G και αυτές είναι οι Multiple-input multiple-output (MIMO) και Orthogonal frequency division multiplex (OFDM).

- Ορθογώνια πολυπλεξία συχνότητας (OFDM) είναι μια τεχνική μετάδοσης που χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό πυκνών τοποθετημένων φορέων που είναι ρυθμισμένα με χαμηλά ποσοστά δεδομένων. Είναι ένα φασματικό σύστημα απόδοσης που επιτρέπει όχι μόνο υψηλές ταχύτητες δεδομένων, αλλά και σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται ένα κοινό κανάλι.

- Η τεχνική πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (MIMO) βελτιώνει περαιτέρω την φασματική απόδοση και την διακίνηση των δεδομένων με τη χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και το δέκτη. Χρησιμοποιεί συγκρότημα επεξεργασίας ψηφιακού σήματος προκειμένου να εγκαταστήσει πολλαπλές ροές δεδομένων στο ίδιο κανάλι. Τα πρώτα δίκτυα LTE υποστηρίζουν 2×2 MIMO τόσο στην κατερχόμενη όσο και στην ανερχόμενη ζεύξη.

Τέλος, το πρότυπο LTE χρησιμοποιεί και τις δύο μορφές των εργασιών εκτύπωσης διπλής όψης: duplex διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Duplex - FDD) και αμφίδρομη διαίρεση χρόνου (Time Division Duplex - TDD). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ταχύτητες είναι θεωρητικές και χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουν το μέγιστο δυναμικό του δικτύου LTE κάτω από ιδανικές συνθήκες.

Όλες οι γενιές κινητής επικοινωνίας αναφέρονται, συνήθως, σε κυψελοειδές πρότυπο, το οποίο δεν είναι συμβατό προς τα πίσω (Non-backwards compatibility) και οι απαραίτητες απαιτήσεις, που σκιαγραφούνται αναφέρονται από την ITU - R. Παράλληλα με την ανάπτυξη των γενιών κινητής ITU - R, το IEEE και οι άλλοι φορείς τυποποίησης κατέβαλαν σημαντικές προσπάθειες να αναπτύξουν ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας, με συχνά υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και υψηλότερες συχνότητες, αλλά τις περισσότερες φορές με μικρή εμβέλεια μετάδοσης. Τα επιτεύγματα κάθε γενιάς είναι πολύ σημαντικά και στοχεύουν την προώθηση και εξέλιξη των επικοινωνιών. Είναι πιθανό, η νέα γενιά των προτύπων 5G να εισαχθεί περίπου στις αρχές της δεκαετίας του 2020. Συνεπώς, είναι σημαντικό προτού παρουσιαστεί η πέμπτη γενιά να γίνει μία αναφορά στις προηγούμενες.

ΚΕΦ.3: Τι Ισχύει Σήμερα

Σήμερα χρησιμοποιείται το LTE Advanced (LTE - A), το οποίο αποτελεί την εξέλιξη του δικτύου LTE και υπόσχεται τρεις φορές πιο γρήγορη ταχύτητα βασισμένο σε πέντε δομικά στοιχεία:

1. Συσσωμάτωση Μεταφορέα (Carrier Aggregation)
2. Αύξηση της τεχνολογίας MIMO (Increased MIMO)
3. Συντονισμένα πολλαπλά σημεία πρόσβασης (Coordinated Multipoint (CoMP))
4. Σταθμός Αναμετάδοσης (Relay Station)
5. Ετερογενών Δικτύων (Heterogeneous Network or HetNet)

Η τεχνολογία συσσωμάτωση μεταφορέα ή συσώρευση καναλιού (Carrier aggregation) είναι ένα σύστημα μετάδοσης που επιτρέπει έως και 20 κανάλια από διαφορετικά φάσματα να συνδυαστούν σε ένα ενιαίο ρεύμα δεδομένων. Εν συνεχεία, το LTE-A αυξάνει την απόδοση της τεχνολογίας MIMO με 8×8 διαμορφώσεις κεραίας για να αυξήσει τον αριθμό των ραδιοφωνικών ρευμάτων χρησιμοποιώντας την τεχνική καθοδήγησης δεσμών (beam steering).

Επιπλέον, τα συντονισμένα πολλαπλά σημεία πρόσβασης ή η συνεργασία με την τεχνολογία MIMO, επιτρέπει στη χρήση κινητών συσκευών να στέλνουν και να λαμβάνουν ραδιοσήματα από πολλαπλές συσκευές μειώνοντας τις παρεμβολές από άλλες συσκευές και εξασφαλίζεται με αυτό τον τρόπο, η βέλτιστη απόδοση στα άκρα του δικτύου. Η εταιρία SK Telecom, η οποία ισχυρίζεται ότι έχει ξεκινήσει το πρώτο LTE-A δίκτυο στον κόσμο το καλοκαίρι του 2012, ανέπτυξε στην πραγματικότητα μια πρώιμη μορφή της τεχνολογίας COMP.

Η αναμετάδοση της τεχνολογίας LTE-A ρυθμίζεται σαν μια βάση σταθμό που χρησιμοποιεί επικοινωνίες πολλαπλών αλμάτων (multi-hop) στις άκρες των συσκευών. Στην πραγματικότητα μια συσκευή λαμβάνει ένα ασθενές σήμα και το αναμεταδίδει με μια ενισχυμένη ποιότητα.

Τελευταίο και πιο κρίσιμο χαρακτηριστικό του δικτύου LTE-A είναι η τεχνολογία HetNet, ένα πολυεπίπεδο σύστημα επικαλυπτόμενων μικρών και μεγάλων συσκευών που αντλούν από χαμηλής κίνησης εύρους ζώνης (bandwidth). Η τεχνολογία HetNet, η οποία αποτελεί μια σταδιακή εξέλιξη της κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής, αποτελεί ένα πολύ πιο σύνθετο δίκτυο καθώς σε πολλούς σταθμούς αναμετάδοσης προστέθηκαν εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες σημεία εισόδου στο κυψελοειδές σύστημα. Η έννοια της αυτό-οργάνωσης του δικτύου (Self-Organizing Network - SON) είναι μία από τις βασικές τεχνολογίες που εξετάζονται για εφαρμογές LTE-A.

Εδώ, αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ το LTE-A πρότυπο δημιουργεί μια γέφυρα μεταξύ στους «κόσμους» των 4G και 5G τεχνολογιών, με πολλούς τρόπους. Η έννοια της HetNet υπηρετεί ως κόλλα μεταξύ του LTE-A και του κόσμου του 5G. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο πολλές ασύρματες βιομηχανίες του κλάδου απκαλούν την ασύρματη τεχνολογία 5G ως μια ενισχυμένη μορφή LTE-A.

(E-UTRA) LTE Categories – Ref. 3GPP TS 36.304(2015-03)		
Category	Max Download (Mbps)	Max Upload (Mbps)
Category 0	1	1
Category 1	10	5
Category 2	50	25
Category 3	100	50
Category 4	150	50
Category 5	300	75
Category 6	300	50
Category 7	300	100
Category 8	3000	1500
Category 9	450	50
Category 10	450	100
Category 11	600	50
Category 12	600	100
Category 13	390	150
Category 14	3900	1500

Αυτό είναι λογικό, διότι η κύρια ιδέα πίσω από τα συστήματα 5G είναι να επεκτείνει την ιδέα του μικρού δικτύου σε ένα εντελώς νέο επίπεδο και να δημιουργήσει ένα πολύ δυνατό πυκνό δίκτυο που θα βάλει μικροσκοπικές κυψέλες σε κάθε δωμάτιο.

Η εξέλιξη του δικτύου δεν αναφέρεται υποχρεωτικά στην πέμπτη γενιά κινητής τηλεφωνίας 5G. Παρόλο που οι τεχνολογικοί πόροι του σήμερα οδηγούν στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και στην επόμενη γενιά των κινητών επικοινωνιών, καθημερινά εξακολουθούν να υπάρχουν νέα χαρακτηριστικά τα οποία εισάγονται στην τεχνολογία LTE-A το οποίο θα συνεχίσει να πιέζει τα όρια των επιδόσεων μέχρι ακόμη και πέρα από την έναρξη των υπηρεσιών 5G. Μένοντας πιστό στην πλήρη ονομασία του (Long Term Evolution), το LTE / LTE-A πρότυπο εξακολουθεί να αυξάνεται και να εξελίσσεται. Νέα δίκτυα εξακολουθούν να ξεδιπλώνονται και τα χαρακτηριστικά αιχμής προστίθενται στο 4G για να ικανοποιούνται οι ανάγκες της αγοράς αυξάνοντας τα ποσοστά των δεδομένων.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι με τους οποίους το LTE-A εξελίσσεται προς 5G. Ο πρώτος, είναι με τη βελτίωση της απόδοσης του χρήστη για μικρές κυψέλες χρησιμοποιώντας υψηλότερα συστήματα διαμόρφωσης σε

συνδυασμό με υψηλότερης τάξης συσσωμάτωσης φορέων. Δεύτερον, συνεχείς βελτιώσεις έχουν επιτευχθεί σε παρεμβολές, κάλυψη και στην απόδοση συστήματος, με την εισαγωγή καινούργιων χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα το CoMP (Συντονισμένη Multipoint μετάδοσης / λήψης) και feliCIC (περαιτέρω ενίσχυση στις παρεμβολές), η οποία προσφέρει βελτιώσεις στην απόδοση. Τέλος, η εισαγωγή χαμηλής πολυπλοκότητας χρήσης εξοπλισμού (User Equipment - UE) για εφαρμογές IoT (Internet of Things), αναμένεται να είναι μια βασική κινητήρια δύναμη για την 5G, συμβαίνει ήδη υπό LTE-A με την εισαγωγή του Cat-0 και Cat-M. Αυτά τα νέα πρωτόκολλα θα θέσουν αυστηρότερες προδιαγραφές σχετικά με τις απαιτήσεις στο σύστημα σήμανσης για να φιλοξενήσει μεγάλο αριθμό UEs.

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την επικύρωση του ασύρματου δικτύου είναι να συμβαδίσει με την ολοένα και ταχύτερη εισαγωγή νέων χαρακτηριστικών στον οδικό χάρτη της 3GPP LTE-A, καθώς προχωράμε μέσα από τις εκδόσεις 12 και 13 προς την έκδοση 14 - μια προδιαγραφή που έχει ήδη αρχίσει να φαίνεται εντυπωσιακή, όπως ορισμένοι από τους στόχους 5G. Υψηλότερα επίπεδα πυκνότητας διαμόρφωσης, όπως 256 QAM (το οποίο εισήχθη στην έκδοση 12), έχουν ήδη αυξήσει το εφικτό ρυθμό δεδομένων στα 600 Mbps όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με συσσωμάτωση φορέα και MIMO. Η συγκέντρωση των υψηλότερων αριθμών των συστατικών φορέων (Component Carriers - CC) πιέζουν ακόμη περισσότερο, και οι πρόσφατες δοκιμές της συσώρευσης των πέντε-φορέων (5CC) σε ένα ζωντανό δίκτυο έδειξαν ποσοστά μεγαλύτερα του 1 Gbps. Το υψηλότερο ποσοστό δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης, που είναι θεωρητικά διαθέσιμες χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά της έκδοσης 12, ανέρχεται στα 3.917 Gbps στην κατηγορία 14, το οποίο συνδυάζει 256 QAM με 8x8 MIMO και την ομαδοποίηση 5CC.

Κατά την έναρξη της η τεχνολογία LTE χρησιμοποιούσε ένα μόνο φορέα 20 MHz, και η απόδοσή της άρχισε να επιτυγχάνει τους στόχους IMT για 4G σε σενάρια για τον πραγματικό κόσμο όταν προστέθηκαν τα προοδευτικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας LTE-A ξεκινώντας από την έκδοση 10. Η πρώτη ενίσχυση ήταν η συνάθροιση φορέα (carrier aggregation), που συνδυάζει στοιχεία του φάσματος που είναι γνωστή ως φορείς συστατικό (CC), που επιτρέπει τη χρήση του κατακερματισμένου φάσματος για την αύξηση των ποσοστών δεδομένων - αρχικά συνδυάζοντας δύο μεταφορείς (2 CC), αλλά τώρα αρχίζει να διαμορφώνεται για διάστημα έως 5 CC, καθώς επίσης, συνδυάζονται τα φάσματα Time-Division Duplexing (TDD) and Frequency-Division Duplexing (FDD). Άλλα χαρακτηριστικά που εισάγονται στην έκδοση 10 περιλαμβάνουν: Ανώτερης Τάξης MIMO, η οποία επιτρέπει να επιτευχθεί αυξημένη φασματική απόδοση, αναμεταδόσεις - το οποίο επεκτείνει την κάλυψη σε περιοχές όπου η ενσύρματη οπισθόζευξη (back-haul) είναι αντισυμβατική, και δίκτυα αυτό-βελτιστοποίησης (Self-Organizing/Self-Optimizing Networks - SON), που επιτρέπουν την αποδοτική χρήση των ετερογενών δικτύων (HetNets) που βελτιώνουν την κάλυψη και τη χωρητικότητα που παρέχεται από τους παραδοσιακούς σταθμούς βάσεων.

Διαδοχικές κυκλοφορίες 3GPP έχουν συμπεριλάβει την λειτουργία διαχείρισης των παρεμβολών (IM) με την αύξηση των επιπέδων της πολυπλοκότητας, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο αυξημένη φασματική αποδοτικότητα σε εκτάσεις που μπορούν να επιτευχθεί. ICIC (Inter-Cell Interference Coordination), η οποία μείωσε παρεμβολές στις άκρες των κυψελών, για πρώτη φορά εξελίχθηκε σε eICIC (ενισχυμένο ICIC), και στην έκδοση 11 ενισχύθηκε περαιτέρω ICIC (feICIC). Οι τεχνολογίες eICIC και feICIC χρησιμοποιούν μια τεχνική γνωστή ως «επέκταση της γκάμας των κυψελών» (cell range expansion) (CRE) για να αυξήσει την περιοχή κάλυψης και τη μείωση των παρεμβολών στις άκρες των μικρότερων κυψελών. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν στους χρήστες να εξέρχεται από τη μακρο-κυψέλη στη μικρό κυψέλη, και είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν η συσσωμάτωση φορέας δεν χρησιμοποιείται. Η δοκιμή ενός δικτύου που χρησιμοποιεί eICIC / feICIC απαιτεί ο δοκιμαστής να εφαρμόζει τις σχετικές διαδικασίες μέτρησης της κινητής συσκευής, προκειμένου να ανατροφοδοτήσουν σωστές και αξιόπιστες πληροφορίες στο δίκτυο.

Η τεχνολογία CoMP εισήχθη στην έκδοση 11 για την περαιτέρω ενίσχυση της απόδοσης του LTE-A. Τα ετερογενή δίκτυα συχνά δεν αποδίδουν την αναμενόμενη εμπειρία του χρήστη, κυρίως λόγω της κακής απόδοσης των ακρών των κυψελών, λόγω της έλλειψης συντονισμού κυκλοφορίας και διαχείρισης των παρεμβολών μεταξύ των μικρών κυψελών και μακρο-κυψελών. Η CoMP συντονίζει τη μετάδοση και λήψη μεταξύ διαφορετικών εκπομπής και λήψης κυψελών μέσω της χρήσης της εξισορρόπησης φορτίου, συντονισμένο προγραμματισμό και τη διαχείριση της ισχύος του σήματος και τις παρεμβολές. Ο αυστηρός συγχρονισμός που απαιτείται μεταξύ πολλαπλών σημείων εκπομπής και λήψης σημαίνει ότι η CoMP αποτελεί πρόκληση τόσο για τη διαμόρφωση όσο και για την επικύρωση. Χρησιμοποιώντας ρεαλιστικά σενάρια χρήσης CoMP, τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ζεύξη, κατά τη δοκιμή αποδείχθηκε ότι επιτρέπει να εκτελέσει στο εργαστήριο και στο πεδίο δοκιμών η ενσωμάτωση ρεαλιστικών επιδόσεων, και κατ' επέκταση, τη μεγιστοποίηση της απόδοσης σε αναπτύξεις ετερογενών δικτύων.

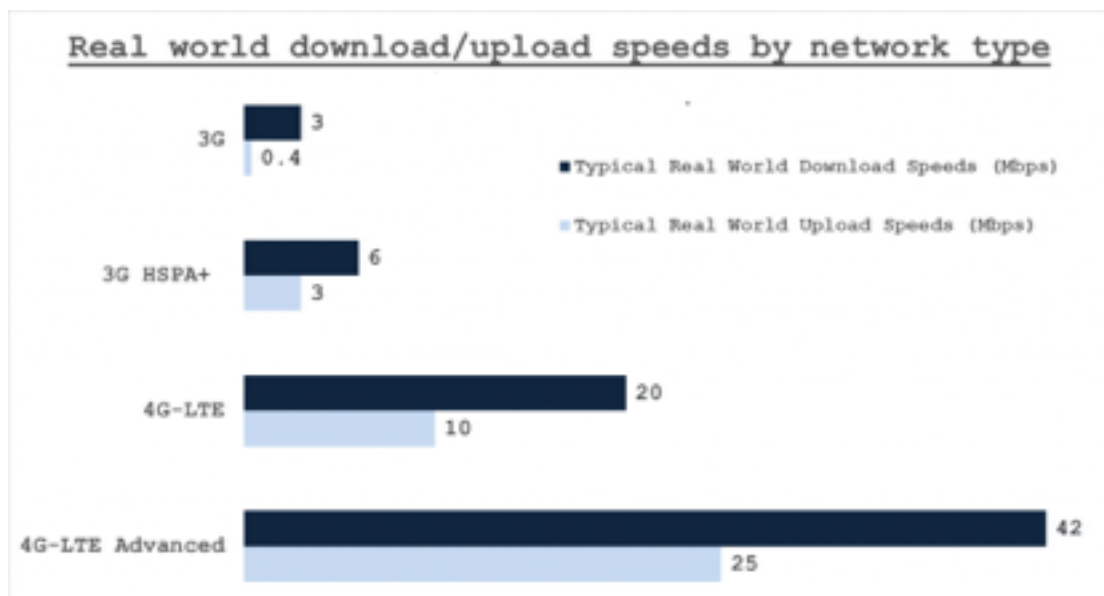
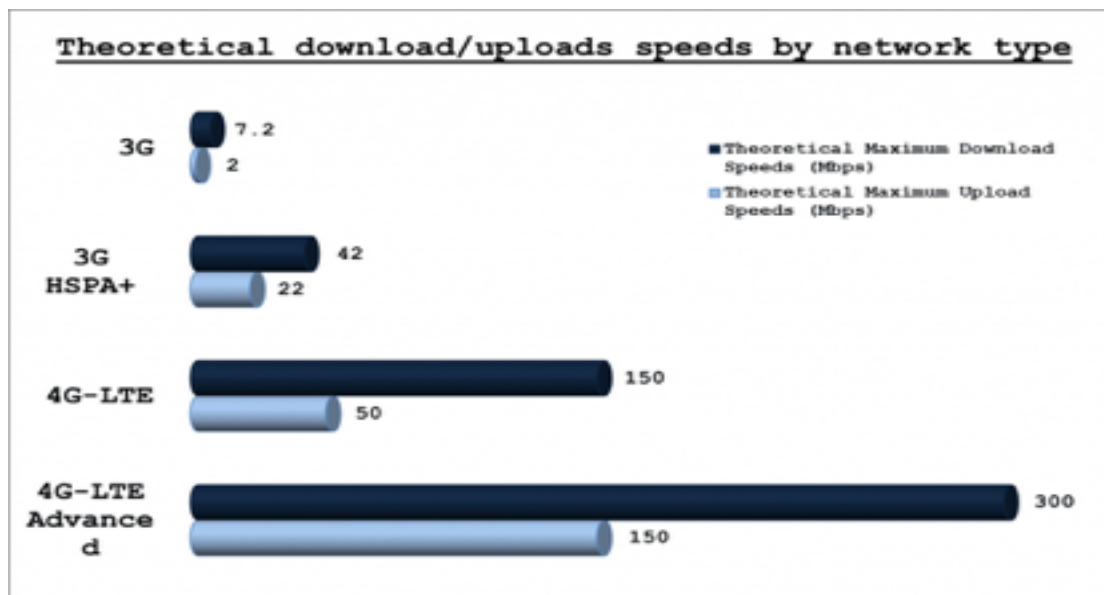
Στην 3GPP έκδοση 12 εισάγεται τόσο η τεχνολογία LTE TDD-FDD συνάθροιση φορέα (carrier aggregation) όσο και το σχήμα διαμόρφωσης 256 QAM το οποίο, όταν συνδυάζεται με 2CC CA (carrier aggregation) και 2 επίπεδα MIMO, επιτρέπει σε θεωρητικό επίπεδο ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 600 Mbps στην κατερχόμενη ζεύξη - χρησιμοποιώντας συνάθροιση πολλαπλών φορέων (multiple carrier aggregation) θα αυξηθεί η ταχύτητα ακόμα περισσότερο. Η 256 QAM επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του φάσματος για κινητές τερματικές συσκευές υπό ευνοϊκές συνθήκες λειτουργίας όπου οι κυψέλες είναι αραιοκατοικημένες. Η 256 QAM είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμη σε μικρές αναπτύξεις κυψελών, όπου οι χρήστες είναι κοντά στο σταθμό βάσης και υψηλό σήμα μπορεί να επιτευχθεί.

Στην 3GPP έκδοση 12 οι προδιαγραφές πάγωσαν τον Μάρτιο του 2015, και αναμένονταν να ξανά ξεκινήσουν στις αρχές του τρέχοντος έτους, γεγονός που έγινε. Συνεχίζονται οι εργασίες για την έκδοση 13, η οποία θα εισαγάγει περαιτέρω νέα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων LTE-M για την επικοινωνία μηχανών (Machine Type Communications (MTC)), η συνάθροιση φορέα (carrier aggregation) βελτιώνεται έως και 32 φορείς περισσώτερους, καθώς και Αδειοδότηση Υποβοηθούμενης Πρόσβασης (Licensed Assisted Access (LAA)), η οποία συνδυάζει τη χρήση του είτε με άδεια είτε χωρίς άδεια φάσματος.

Έτσι, ποιες είναι οι κύριες προκλήσεις για τη δοκιμή των νέων χαρακτηριστικών για της έκδοσης 13, καθώς επίσης και της έκδοσης 14 όταν αυτό έχει συμφωνηθεί; Η απόδοση σε φυσικό επίπεδο θα γίνει πιο δύσκολο να επικυρωθεί για μαζική MIMO σε υψηλότερες συχνότητες φορέα, και αυτό είναι εξίσου ένα από τα προβλήματα που θα πρέπει να επιλυθούν πριν εισαχθεί το 5G. Μια άλλη πρόκληση αποτελεί η δοκιμή της συγχώνευσης των πολλαπλών τεχνολογιών μέσα σε ένα σύστημα. Όχι μόνο τα χαρακτηριστικά πρέπει να ελεγχθούν μεμονωμένα, αλλά και αποφασιστικά κατά περίπτωση, επίσης, η αλληλεπίδραση μεταξύ των χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα τη δοκιμή κατερχόμενη ζεύξης CoMP σε συνδυασμό με την συνάθροιση φορέα (carrier aggregation), και LAA παράλληλα με υψηλότερης τάξης συστήματα MIMO. Καθώς η ζήτηση για τα δίκτυα αυξάνεται, οι δοκιμές που πρέπει να λάβουν χώρα για σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό χρηστών, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το σύστημα και ο χρήστης ικανοποιούνται αμφότερα όταν φορτώνεται το δίκτυο. Αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο στην άκρη των κυψελών εφόσον οι παρεμβολές είναι εμφανής.

Από μια άποψη πάνω σε μία δοκιμή του δικτύου, είναι πολύ σημαντικό ότι η υποστήριξη για νέα χαρακτηριστικά - και την αλληλεπίδραση μεταξύ τους - διατίθεται για το τμήμα έρευνας και ανάπτυξης, το συντομότερο δυνατόν, έτσι ώστε η απόδοση του δικτύου να μπορεί να επικυρωθεί, βάσει ρεαλιστικών σεναρίων χρήσης πριν από την εισαγωγή σχετικών χαρακτηριστικών στα πραγματικά κινητά τερματικά. Δεδομένου ότι η ικανότητα γίνεται μια ακόμη μεγαλύτερη πρόκληση, οι ευφυείς δυνατότητες εντοπισμού σφαλμάτων που αναπτύσσονται για την επικύρωση της απόδοσης του συστήματος και ειδικά της στοίβας σε συνθήκες υψηλού φορτίου. Ωστόσο, δεδομένου ότι η δυνατότητα αλληλεπίδρασης και η ικανότητα στους τρόπους δοκιμών αυξάνεται, συνεχώς οι απαιτήσεις για την επικύρωση πληθαίνουν και είναι σημαντικό να παρέχουν μετρήσεις που δεν δημιουργούν «υπερφόρτωση πληροφοριών», αλλά αντίθετα, να υπάρξει πραγματικό δοκιμαστικό όφελος και να βοηθήσει να προσδιορίσουν, όπου υπάρχει μια δυσχέρεια απόδοσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο διαγράμματα που περιγράφουν τις ταχύτητες που υποστηρίζονται σήμερα στο ασύρματο δίκτυο σε θεωρητικό και πραγματικό επίπεδο.



Παρατηρείται ότι η διαφορά είναι μεγάλη στη σύγκριση των θεωρητικών ταχυτήτων με τις πραγματικές ταχύτητες όπου όντως αυτή την στιγμή υπάρχουν στον κόσμο.

ΚΕΦ.4: Τι Προβλέπει το Μέλλον

Το μέλλον ήδη φθάνει, είναι απλώς ένα θέμα γνωρίζοντας το πού να κοιτάξουμε. Στην οδό Changshou της Σαγκάη, ένα «αετίσιο» μάτι μπορεί να εντοπίσει ένα περίεργο ορθογώνιο αντικείμενο πάνω από ένα μπλοκ γραφείου, το οποίο είναι μια συλλογή από 128 κεραίες μινιατούρες. Οι πεζοί στο Μανχάταν μπορεί να παρατηρήσουν μια αναλαμπή της συσκευής που μοιάζει με μια βιντεοκάμερα σε μία στάση, αλλά τραντάζεται και έχει μία παράξενη προεξοχή, όπου θα πρέπει να είναι ο φακός. Είναι εκρήξεις μια στενή δέσμη ραδιοκυμάτων σε κτίρια, ώστε να μπορεί να αναπηδήσει το δρόμο τους προς το δέκτη.

Αυτές οι κεραίες είναι οι πρωτοπορίες της νέας γενιάς των ασύρματων τεχνολογιών. Παρά το γεγονός ότι η προηγούμενη παρτίδα, συλλογικά ονομάζονται «τέταρτης γενιάς» ή 4G και εξακολουθεί να ξεδιπλώνεται σε πολλές χώρες, ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών έχει ήδη αρχίσει να εργάζεται για την επόμενη, 5G. Στις 12 Φεβρουαρίου η AT&T, όπου είναι δεύτερη μεγαλύτερη εταιρεία κινητής τηλεφωνίας της Αμερικής, είπε ότι θα αρχίσει τις δοκιμές για το πρωτότυπο κύκλωμα 5G που λειτουργεί σε εσωτερικούς χώρους, παρόμοιες ειδήσεις ανακοινώθηκαν για το Σεπτέμβριο από την Verizon, το νούμερο ένα. Η Νότια Κορέα επιθυμεί να έχει ένα δίκτυο 5G το οποίο θα έχει οργανωθεί και θα λειτουργεί όταν φιλοξενήσει τους Χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες το 2018, η Ιαπωνία, από την μεριά της, θέλει το ίδιο για τους θερινούς αγώνες το 2020.

Η κινητή τηλεφωνία έχει διανύσει πολύ δρόμο από τον Martin Cooper της Motorola, εφευρέτη του DynaTAC, το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο ακουστικό, το οποίο κυκλοφόρησε το 1973. Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, όταν η τεχνολογία 3G έκανε εφικτό το web-browsing για κινητά τηλέφωνα, οι φορείς ξόδεψαν περισσότερα από \$ 100 δις για τις άδειες ραδιοφάσματος, μόνο για να ανακαλύψουν ότι η τεχνολογία που είχαν συμφωνήσει με τη χρήση έγινε πιο δύσκολο να εφαρμοστεί απ' ό, τι αναμενόταν.

Η έλευση του 5G είναι πιθανό να φέρει μια άλλη φιγούρα επένδυσης, όπως ακριβώς οι παραγγελίες για τον εξοπλισμό 4G που είχαν κορυφωθεί. Ο στόχος είναι να είναι σε θέση να προσφέρει στους χρήστες όχι κάτι λιγότερο από την «αντίληψη της άπειρης χωρητικότητας», λέει ο Ραχίμ Tafazolli, διευθυντής του Κέντρου Καινοτομίας 5G στο Πανεπιστήμιο του Surrey. Σπάνια θα είναι η συσκευή που δεν συνδέεται ασύρματα, από την αυτόματη οδήγηση αυτοκινήτων και τα drones μέχρι τους αισθητήρες, βιομηχανικά μηχανήματα και οικιακές συσκευές που μαζί αποτελούν το «Internet of Things» (IoT).

Είναι εύκολο να απορριφθούν όλα αυτά ως «μια μεγάλη δημοσιότητα», σύμφωνα με τα λόγια του Kester Mann της CCS Insight, μια εταιρεία ερευνών. Όταν αναφέρεται στην τεχνολογία 5G, πολλά είναι ακόμα στον

αέρα: όχι μόνο ποια ζώνη του ραδιοφάσματος και ποιες ασύρματες τεχνολογίες θα χρησιμοποιηθούν, αλλά και με ποιά πρότυπα ταχυτήτων του δικτύου και συσκευές θα πρέπει να συμμορφώνονται. Οι επιχειρήσεις τηλεπικοινωνιών έχουν φθάσει στην συναίνεση για ένα σύνολο ακατέργαστων "απαιτήσεων". Το πιο σημαντικό είναι οι ταχύτητες σύνδεσης έως 10 gigabits ανά δευτερόλεπτο και οι χρόνοι απόκρισης («λανθάνουσα») κάτω του 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου.

Ωστόσο, μέχρι στιγμής οι στόχοι δείχνουν να είναι εφικτοί. Η Νότια Κορέα και η Ιαπωνία είναι πρωτοπόροι στην ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση, και οι ολυμπιακοί αγώνες είναι μια ευκαιρία για να δείξουν στον κόσμο ότι προτίθενται, επίσης, να μείνουν μπροστά και στο ασύρματο, ακόμα και αν αυτό μπορεί να σημαίνει ότι χρειάζεται να αναβαθμίσουν τα 5G δίκτυά τους, έτσι ώστε να συμμορφώνονται με το παγκόσμιο πρότυπο που έχει συμφωνηθεί. Η AT&T και η Verizon αμφότερες επένδυσαν από νωρίς στο 4G, και θα ήθελαν να ηγηθούν και πάλι στο 5G. Η αγορά για τον εξοπλισμό του δικτύου έχει κορυφωθεί, όπως πρόσφατα αποτελέσματα από την Ericsson και την Nokia έδειξαν ότι οι κατασκευαστές χρειάζονται επίσης μια νέα γενιά προϊόντων και νέες ομάδες πελατών.

Από την πλευρά της ζήτησης, επίσης, η πίεση εντείνεται για καλύτερη ασύρματη υποδομή. Η ταχεία αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων θα συνεχιστεί για το προβλέψιμο μέλλον, λέει ο Sundeep Rάγγκαν του NYU Wireless, ένα τμήμα του Πανεπιστημίου της Νέας Υόρκης. Σύμφωνα με μια εκτίμηση, τα δίκτυα πρέπει να είναι έτοιμα για μια αύξηση 1.000 φορές του όγκου των δεδομένων κατά το πρώτο εξάμηνο της δεκαετίας του 2020. Και το ραδιοφάσμα που χρησιμοποιείται από το 4G, το οποίο βρίσκεται ως επί το πλείστον κάτω από τα 3 gigahertz, εξαντλείται, και έτσι γίνεται όλο και πιο ακριβό. Μια δημοπρασία στην Αμερική που έλαβε χώρο πέρυσι σταμάτησε στα \$ 45 δισεκατομμύρια.

Αλλά η διαδρομή προς ένα 5G ασύρματο παράδεισο δεν θα είναι ομαλή. Δεν είναι μόνο οι συνήθεις ύποπτοι των τηλεπικοινωνιών που θα θέλουν να έχουν τον λόγο σε αυτή την μητέρα όλων των δικτύων. Εταιρείες μέσω μαζικής ενημέρωσης, θα ήθελαν να δοθεί προτεραιότητα σε αυτές συνοδευόμενη από γενναιόδωρα μεγάλο εύρος ζώνης, έτσι ώστε να προβάλουν ταινίες με όλο και υψηλότερη ανάλυση. Οι περισσότερες επιχειρήσεις IoT δεν θα χρειαστούν μεγάλο εύρος ζώνης, αλλά θα ήθελαν οι αισθητήρες τους να τρέχουν σε ένα σύνολο μπαταριών για πολλά χρόνια, έτσι θα θέλουν το πρότυπο 5G να τεθεί σε ένα ασφάλιστρο για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε "online" παιχνίδια θα ανησυχούν για τυχόν καθυστερήσεις: οι παίκτες θα παραπονεθούν αν είναι πολύ υψηλή.

Το πιο σημαντικό σύνολο νέων παραγόντων, ωστόσο, είναι οι επιχειρήσεις των πληροφοριακών συστημάτων. Οι συμπαθεί της Apple, της IBM και της Samsung έχουν μεγάλο ενδιαφέρον όχι μόνο για την πώληση περισσότερων έξυπνων τηλεφώνων (smartphones) και άλλων φορητών συσκευών, αλλά

και στον τομέα του IoT, η οποία δεσμεύεται να δημιουργήσει το επόμενο μεγάλο κύμα εσόδων για εκείνη και άλλες εταιρείες. Η Google, η οποία λειτουργεί ήδη σε δίκτυα υψηλής ταχύτητας οπτικών ινών σε διάφορες αμερικανικές πόλεις, μπορεί να μπει στον πειρασμό να οικοδομήσει το πρώτο της ασύρματο, καθώς έχει δείξει ενδιαφέρον για το 5G. Το 2014 αγόρασε μια καινούργια εταιρεία που ονομαζόταν Alpentel Technologies, η οποία ανέπτυξε μια φθηνή, υψηλής ταχύτητας υπηρεσία επικοινωνιών με τη χρήση εξαιρετικά υψηλών ραδιοσυχνοτήτων, που είναι γνωστά ως «κύματα χιλιοστού» (millimetre wave - mmWave), οι ζώνες φάσματος άνω του 3 gigahertz αναμένεται να είναι κατάλληλες για την τεχνολογία 5G.

Για να ικανοποιηθούν όλοι αυτοί οι παράγοντες δεν θα είναι εύκολο, προβλέπει ο Ulf Ewaldsson, διευθυντής τεχνολογίας της Ericsson. Οι ερωτήσεις σχετικά με το φάσμα μπορεί να είναι το πιο εύκολο να λυθεί εν μέρει, επειδή λόγω της παγκόσμιας διάσκεψης ραδιοεπικοινωνιών, που ιδρύθηκε από διεθνή συνθήκη, θα τους ηρεμήσει. Στην τελευταία συλλογή τους, το Νοέμβριο, απέτυχαν να συμφωνήσουν σχετικά με τις συχνότητες για το 5G, αλλά αναμένεται να το πράξουν όταν θα συναντηθούν εκ νέου το 2019. Είναι πιθανό να δώσουν χώρο στις ζώνες mmWave. Σε δοκιμές όπως εκείνες στο Μανχάταν που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι οποίες διεξάγονται από ερευνητές στο NYU Wireless, έχουν δείξει ότι οι ταινίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για 5G: αν και μπλοκάρονται ακόμη και από λεπτά εμπόδια, μπορούν να κατασκευαστούν έτσι ώστε να αναπηδούν αποφεύγοντας τα εμπόδια.

Για πρώτη φορά δεν θα υπάρχουν ανταγωνιστικά σύνολα των τεχνικών κανόνων, όπως έγινε στην περίπτωση του 4G και LTE, τώρα το πρότυπο, αρχικά απειλήθηκε από το WiMax, το οποίο είχε αναλάβει για να ολοκληρώσει η Intel, κατασκευάζοντας ένα “chip”. Κανείς, όμως, δεν φαίνεται διατεθειμένος να παίξει το ρόλο της Intel αυτή τη φορά. Τούτου ελεγχθέντος, το 5G θα πρέπει να αντιμετωπίζει ένα ισχυρό ανταγωνιστή, ειδικά σε κλειστούς χώρους: οι χρήστες έξυπνων τηλεφώνων χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο τις συνδέσεις Wi-Fi για κλήσεις και κείμενα, καθώς και τα δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι έχουν όλο και λιγότερο ανάγκη για μια κινητή σύνδεση, δεν έχει σημασία πόσο μπορεί να είναι η ταχύτητα.

1. Evolution or Revolution?

Η τεχνολογία χωρίζει τη βιομηχανία με άλλο τρόπο, λέει ο Τεράλ της IHS, μια εταιρεία έρευνας αγοράς. Ένα στρατόπεδο, λέει, θέλει 5G “να λάβει μια εξελικτική πορεία, χρησιμοποιήστε ό,τι έχουν και βελτιώστε το”. Αυτό περιλαμβάνει πολλούς από τους υφιστάμενους κατασκευαστές ασύρματου δικτύου και τους επιχειρηματίες, που θέλουν να προστατεύσουν τις υπάρχουσες επενδύσεις τους και να κάνουν ένα βήμα τη φορά. Στις 11 Φεβρουαρίου, για παράδειγμα, η Qualcomm, μια εταιρεία σχεδίασης τσιπ,

παρουσίασε το πρώτο σετ από τσιπ για το 4G στον κόσμο που επιτρέπει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως ένα gigabit ανά δευτερόλεπτο. Χρησιμοποιώντας μια τεχνική που ονομάζεται «συνάθροιση μεταφορέας» (carrier aggregation), το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να συνδυάσει μέχρι και δέκα ασύρματες ροές δεδομένων των 100 megabits ανά δευτερόλεπτο.

Το άλλο στρατόπεδο, εξηγεί ο κύριος Τεράλ, ευνοεί μια επαναστατική προσέγγιση: για απευθείας μετάβαση στην τεχνολογία αιχμής. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει, για παράδειγμα, αφήνοντας πίσω τη συμβατική κυψελοειδή δομή των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, όπου μία μόνο κεραία επικοινωνεί με όλες τις συσκευές εντός της κυψέλης του. Αντ' αυτού, ένα σύνολο από μικρές κεραίες θα στείλει συγκεντρωμένα ραδιοκύματα για να ανιχνεύσει για συσκευές, εν συνέχεια, μια δεύτερη ομάδα θα αναλάβει, να κάνει κάθε συσκευή εφικτή να δέχεται ραδιοκύματα. Θα μπορούσε, επίσης, να σημαίνει την ανάλυση των δεδομένων χρήσης προκειμένου να γίνεται πρόβλεψη στην χρήση που κάνει στην ασύρματη σύνδεση ένας συνδρομητής και θα επιτρέπει στις εταιρείες να κάνουν προσφορές ανάλογα με τις ανάγκες του πελάτη, μια τεχνική που το 5G Κέντρο Καινοτομίας στο Πανεπιστήμιο του Surrey θέλει να αναπτύξει.

Ένας από τους πιο ειλικρινείς εκπροσώπους του επαναστατικού στρατοπέδου είναι η China Mobile. Για τον Chih-Lin I, ο επικεφαλής επιστήμονας της, τα ασύρματα δίκτυα, όπως είναι σήμερα σχεδιασμένα, δεν είναι πλέον βιώσιμα. Οι κεραίες χρησιμοποιούν όλο και περισσότερη ενέργεια για να ωθήσουν όλο και περισσότερα megabit μέσω του αέρα. Η θέση της επιχείρησης, λέει, βασίζεται στην αναγκαιότητα: ο μεγαλύτερος φορέας - εταιρεία στον κόσμο, με 1,1 εκατομμύρια σταθμούς βάσης για 4G και 825 εκατομμύρια συνδρομητές (πάνω από όλους τους ευρωπαϊκούς φορείς μαζί), τα προβλήματα με την τρέχουσα αρχιτεκτονική του δικτύου επιδεινώνονται από την κλίμακα της επιχείρησης. Οι σκεπτικιστές υποσιάζονται ότι μπορεί να υπάρχει μια "βιομηχανική ατζέντα" στο χώρο εργασίας, που ευνοεί τις κινέζικες κατασκευαστές εξοπλισμού και μειώνει τα δικαιώματα ευρεσιτεχνίας όπου πρέπει να πληρώσουν. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της τεχνολογίας 5G από το 4G, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα η Κίνα να μπορεί να κάνει δικό της μέρος πνευματικής ιδιοκτησίας του προτύπου.

Όποιο και αν είναι το κίνητρο, το όραμα της κυρίας I για το πώς τελικά θα σχεδιαστούν τα δίκτυα 5G είναι ευρέως αποδεκτό. Όχι μόνο θα είναι "πολύ γρήγορο", λέει, αλλά θα είναι και "πράσινο και μαλακό", που σημαίνει πολύ λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και απόλυτα ελεγχόμενο από το λογισμικό. Όπως και με τα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών πριν από αυτούς, υπήρχε πολύ εξειδικευμένος εξοπλισμός για ένα δίκτυο, όπως είναι οι επεξεργαστές που κάθονται δίπλα σε κάθε πύργο, θα γίνει «εικονικά» - δηλαδή, θα αντικατασταθεί με το λογισμικό, που καθιστά πολύ πιο εύκολη την αναμόρφωσή του. Τα ασύρματα δίκτυα θα γίνουν λίγο σαν υπολογιστών

στο διαδικτυακό "σύννεφο" (cloud), και σε μερικές επιπτώσεις θα συγχωνευθεί με αυτό, χρησιμοποιώντας το ίδιο υλικό off-the-shelf.

Οι συζητήσεις έχουν ήδη αρχίσει για το πώς το 5G θα αλλάξει τη δομή του κλάδου. Ένα ερώτημα είναι εάν η ασύρματη πρόσβαση θα γίνει ακόμη περισσότερο ένα εμπόρευμα, λέει ο Chetan Sharma, ένας σύμβουλος τηλεπικοινωνιών. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του, το μερίδιο των συνολικών εσόδων του κλάδου των φορέων έχει ήδη πέσει κάτω από το 50% στην Αμερική, με το υπόλοιπο να πηγαίνει σε κινητές υπηρεσίες, όπως οι εφαρμογές του Facebook στα έξυπνα κινητά, η οποία κερδίζει χρήματα μέσω των διαφημίσεων.

Η αλλαγή στο 5G θα μπορούσε να βοηθήσει τους φορείς να αναστρέψουν αυτή την πτώση, επιτρέποντάς τους να κάνουν πράγματα όπως αγορά του δικού τους βίντεο περιεχομένου. Αλλά είναι ευκολότερο να φανταστεί κανείς την παρακμή τους που επιταχύνεται, μετατρέποντάς τους σε χαμηλού περιθωρίου κέρδους εταιρείες. Αν ναι, η περαιτέρω εδραίωση ενός ήδη υψηλού βαθμού συγκέντρωσης της βιομηχανίας μπορεί να είναι αναπόφευκτο: σε ορισμένες χώρες μπορεί να μείνει με ένα μόνο πάροχο ασύρματων υποδομών, όπως συχνά έχουν μόνο ένα πάροχο του νερού.

Εάν η πρόσφατη ιστορία της πληροφορικής μετά την άνοδο του cloud computing που είναι ο οδηγός, με τους όμοιούς του Dell, HP και IBM να αγωνίζονται να συμβαδίσουν, οι κατασκευαστές εξοπλισμού δικτύων θα πρέπει επίσης να συμπίεστούν. Η Ericsson και η Nokia κάνουν ήδη σχεδόν το ήμισυ των πωλήσεών τους ασχολείται με τη διαχείριση των δικτύων για λογαριασμό των φορέων εκμετάλλευσης. Αλλά το 5G μπορεί τελικά να επιφέρει αυτό που έχει πολυσυζητηθεί, λέει ο Bengt Nordstrom του Northstream, μια άλλη εταιρεία συμβούλων: η σύγκλιση των κατασκευαστών υπολογιστών και τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, μπορεί να αναγκαστούν να είναι μαζί εξαιτίας της τυποποίησης και των χαμηλών περιθωρίων κέρδους. Πέρυσι η Ericsson σχημάτιζε συνεργασίες πρώτα με την HP και, στη συνέχεια, με τη Cisco. Πλήρης συγχωνεύσεις θα μπορούσαν να ακολουθήσουν σε κάποιο σημείο.

Ένα μεγάλο αρνητικό και άσχημο για την ανθρώπινη υγεία είναι ότι οι κεραίες της κινητή τηλεφωνία θα γίνουν πιο δύσκολο εντοπίσιμες. Οι κεραίες θα είναι πιο πολλές, σίγουρα, αλλά θα συρρικνωθούν. Εκτός από την ορθογώνια διάταξη, όπου η China Mobile ελέγχει στη Σαγκάη, παράλληλα πειραματίζεται με μικρότερα, πιο διακριτικά "πλακάκια", που μπορούν να συνδυαστούν και να ενσωματωθούν σε γράμματα στο πλάι του κτιρίου. Υπό την έννοια αυτή, και κάποιες ακόμα, το μέλλον των κινητών τηλεπικοινωνιών θα είναι αόρατο.

2.Ορισμός και Χαρακτηριστικά της Πέμπτης Γενιάς Δικτύου

Βασικό κρίνεται να παρουσιάσει κανείς όσο μπορεί περισσότερα στοιχεία για τη χρήση, λειτουργία και εγκατάσταση των κινητών δικτύων επικοινωνιών. Τίθενται, λοιπόν, κρίσιμα ερωτήματα όσον αφορά τα κινητά δίκτυα της πέμπτης γενιάς. Για παράδειγμα, είναι σημαντικό να αναλογιστεί κανείς για ποιο λόγο είναι απαραίτητα, τι θα προσφέρουν στο μέσο χρήστη, που ως σήμερα δεν παρέχεται, ποιες υπηρεσίες θα καλύπτουν, σε πόσα χρόνια αναμένεται να εμφανιστούν, ποια θα είναι τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους, ποιο θα είναι το κόστος τους. Επίσης, τις βασικότερες τεχνολογίες, που θα συμβάλουν, ώστε να υλοποιηθούν. Πολλά από τα οποία αυτά ερωτήματα ίσως, να μην είναι, ακόμα, δυνατό να απαντηθούν, αφού τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών πέμπτης γενιάς είναι ακόμα υπό μελέτη και σκέψη. Συνεπώς, παρατίθενται κατωτέρω στοιχεία, που είναι γνωστά σήμερα για το μέλλον των επικοινωνιών και συγκεκριμένα τη μετεξέλιξή τους στην Πέμπτη γενιά.

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς ή ασύρματα συστήματα πέμπτης γενιάς ή (5G) αποτελούν την επόμενη και επερχόμενη σημαντική φάση στην εξέλιξη της κινητής τεχνολογίας. Είναι γνωστό ότι θα περιλαμβάνουν πρότυπα τηλεφωνίας πολύ αυστηρότερα αυτών, που ήδη ισχύουν για τα 4G και επίσης, οι τεχνολογίες για τις κινητές επικοινωνίες αναμένονται μετά το 2020. Σε κανένα επίσημο έγγραφο δεν υπάρχουν δημοσιευμένες επίσημες πληροφορίες σε ό,τι αφορά τις προδιαγραφές του νέου αυτού τύπου επικοινωνίας, αλλά ούτε και έχουν γνωστοποιηθεί ως τώρα τα βασικά πρωτόκολλα, που θα διέπουν τη λειτουργία τους. Αφού χρειάζεται πρώτα μελέτη και ανάπτυξη των προτύπων και των δικτυακών πρωτοκόλλων, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα για χρήση και εφαρμογή στις νέες συσκευές. Τα ενημερωμένα αυτά πρότυπα, τα οποία εξετάζονται παρέχουν νέες δυνατότητες για τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες 4G.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της νέας αυτής τεχνολογίας θα είναι:

- Μαζικά MIMO συστήματα (επίσης, γνωστά ως μεγάλης κλίμακας συστήματα κεραίας , Very Large MIMO) παρέχουν επιπλέον κεραίες, ώστε να συμβάλουν στην αύξηση της απόδοσης και της εκπεμπόμενης ενέργειας. Άλλα σοβαρά οφέλη, των μαζικών MIMO περιλαμβάνουν την εκτεταμένη χρήση των φθηνών εξαρτημάτων χαμηλής ισχύος , τη μείωση του διαστήματος , την απλοποίηση του ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC) , και την ευρωστία της εσκεμμένης παρεμβολής. Η αναμενόμενη απόδοση εξαρτάται από το περιβάλλον διάδοσης, που παρέχει ασυμπτωτικά ορθογώνια κανάλια για τους τερματικούς σταθμούς, αλλά μέχρι στιγμής πειράματα δεν έχουν αποκαλύψει τυχόν περιορισμούς στον τομέα αυτό. Ενώ, τα μαζικά MIMO ακυρώνουν τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα σε αντίθεση, όμως, αποκαλύπτουν εντελώς νέα, που χρειάζονται επίλυση άμεσα, όπως η

πρόκληση, που τίθενται ώστε να χρησιμοποιούνται πολύ χαμηλού κόστους εξαρτήματα χαμηλής ακρίβειας, που συνεργάζονται αποτελεσματικά, η απόκτηση και ο συγχρονισμός των πρόσφατα ενταγμένων τερματικών σταθμών, η εκμετάλλευση των επιπλέον βαθμών ελευθερίας, που παρέχεται από τις επιπλέον υπηρεσίες κεραίας, η μείωση της εσωτερικής κατανάλωσης ρεύματος (για να επιτευχθεί συνολική μείωση της ενεργειακής απόδοσης), καθώς και η εξεύρεση νέων σεναρίων ανάπτυξης. Κρίσιμο θα είναι, επίσης, να υποστηριχτούν αποτελεσματικά οι συσκευές, για να μπορέσει να λειτουργήσει το διαδίκτυο με αρκετά μεγαλύτερο πλήθος συνδεδεμένων συσκευών, καθώς και πλήθος νέων εφαρμογών, όπως για παράδειγμα, η αποστολή κρίσιμων σημείων ελέγχου ή η ασφάλεια της κυκλοφορίας, που οδηγεί σε μειωμένη καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία.

- Διάχυτη χρήση των δικτύων, που μπορεί ή όχι να παρέχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, όπως για παράδειγμα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και η πανταχού παρούσα υπολογιστική. Ο εκάστοτε χρήστης θα μπορεί ταυτόχρονα να συνδεθεί με διάφορες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης και αδιάλειπτη εναλλαγή μεταξύ τους. Αυτές οι τεχνολογίες πρόσβασης μπορεί να είναι κάποιες από τις 2.5G, 3G, 4G, ή κινητά δίκτυα 5G, Wi-Fi, WPAN, ή οποιαδήποτε άλλη μελλοντική τεχνολογία πρόσβασης. Στην 5G τεχνολογία η έννοια της συνεχούς εναλλαγής, μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω σε πολλαπλές διαδρομές για ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων, που θα εξασφαλίσει πολλαπλάσια ταχύτητα της σημερινής.
- Ένα σημαντικό ζήτημα σε συστήματα πέραν του 4G είναι να καθίστανται διαθέσιμα τα υψηλά ποσοστά δυαδικών ψηφίων σε ένα μεγαλύτερο τμήμα του κυττάρου, ειδικά, για τους χρήστες σε μια δημόσια θέση εκτεθειμένη μεταξύ πολλών σταθμών βάσης.
- Η τεχνολογία smart-radio επιτρέπει σε διαφορετικές ραδιοτεχνολογίες να μοιράζονται με τον ίδιο αποτελεσματικό τρόπο το φάσμα από την εύρεση αχρησιμοποίητου φάσματος και την προσαρμογή του συστήματος μετάδοσης με τις απαιτήσεις των τεχνολογιών, που σήμερα μοιράζονται το φάσμα.
- Τα δυναμικά Adhoc Ασύρματα Δίκτυα (DAWN) είναι στην ουσία ταυτόσημα με το κινητό δίκτυο ad hoc (MANET) και το ασύρματο δίκτυο πλέγματος (WMN) ή τα ασύρματα δίκτυα, που συνδυάζονται με έξυπνες κεραίες σύμφωνα με τη συνεργατική ποικιλομορφία και την ευέλικτη διαμόρφωση.
- Η διαίρεση συχνότητας Vandermonde - υπόχωρος πολυπλεξίας (VFDM) είναι ένα σχήμα διαμόρφωσης για να επιτραπεί η συνύπαρξη των μακρο - κυττάρων και μικρών ραδιοκυττάρων σε ένα δίκτυο δύο επιπέδων LTE/4G.
- Το IPv6 πρωτόκολλο διευθύνσεων, όπου εκχωρείται μια διεύθυνση κινητής IP ανάλογα με τη θέση και τις συνδεδεμένες διευθύνσεις στο δίκτυο.
- Li-Fi είναι μία βαλίτσα φωτός και Wi-Fi είναι ένα τεράστιο MIMO ορατό δίκτυο επικοινωνίας φωτός, έτσι ώστε να εφαρμοστεί σε 5G. Το Li - Fi

χρησιμοποιεί διόδους εκπομπής φωτός για τη μετάδοση δεδομένων και όχι τα ραδιοκύματα, όπως το Wi-Fi.

- Ο ασύρματος παγκόσμιος ιστός (Wireless World Wide Web- WWW) ,είναι ένας ολοκληρωμένος τρόπος βασισμένος στην ασύρματη εφαρμογή του δικτύου, που περιλαμβάνει πλήρη δυναμικότητα των πολυμέσων με ταχύτητες μεγαλύτερες από αυτές του 4G.

ΚΕΦ.5

1. Τι Επιβάλλει η Νέα Γενιά

Τα δίκτυα της πέμπτης γενιάς έχουν μεγάλη σημασία και αναμένεται να επικρατήσουν στο μέλλον. Σε αυτό, συντελεί σαφέστατα και η φύση τους. Οι πολίτες και χρήστες των σύγχρονων ψηφιακών συσκευών έχουν αυξημένες απαιτήσεις από τα σύγχρονα δίκτυα. Γενικότερα, η δημιουργία των θεμελίων για τα μελλοντικά δίκτυα επικοινωνιών, είναι παρούσα σε αυτή τη δεκαετία. Η ευρωπαϊκή βιομηχανία τηλεπικοινωνιών είναι ιστορικά στην πρώτη γραμμή του παγκόσμιου ανταγωνισμού, δεδομένου ότι βρίσκεται στις πρώτες ημέρες της τεχνολογίας GSM και εξακολουθεί να αποτελεί περίπου το 40 % της παγκόσμιας αγοράς, δηλαδή, € 200 δισ. ευρώ στο έτος 2012 από την άποψη της παροχής υποδομής δικτύου. Η πρόκληση για τη γενιά είναι να εξασφαλίσει στην ηγεσία της Ευρώπης και ειδικότερα σε συγκεκριμένες περιοχές, όπου η Ευρώπη είναι ισχυρή ή όπου υπάρχουν τέτοιες δυνατότητες, τη δημιουργία νέων αγορών, όπως έξυπνες πόλεις, συστήματα e-health, συστήματα ευφυών μεταφορών, εκπαίδευσης ή ψυχαγωγίας και μέσων ενημέρωσης.

Η 5G γενιά θα προσφέρει αρχιτεκτονικές λύσεις, τεχνολογίες και πρότυπα για την πανταχού παρούσα επόμενη γενιά υποδομών επικοινωνίας της επόμενης δεκαετίας και θα παρέχει τέτοιου είδους επιτεύγματα. Επίσης, τετραπλασιάζεται η χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων, τα οποία εξυπηρετούν πάνω από 7 δισεκατομμύρια συσκευές, υπό την προϋπόθεση να δημιουργηθεί ένα ασφαλές, αξιόπιστο δίκτυο με ελάχιστη αναμονή.

Επιπρόσθετα, όσον αφορά την τεχνολογία 5G αναμένεται να αλλάξει τον τρόπο ύπαρξης των σύγχρονων δικτύων. Σε αντιδιαστολή, με τα δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών, τα οποία αποτελούνται από «κυψέλες», οι οποίες βρίσκονται σε σταθμούς βάσης εικάζεται, ότι τα 5G δίκτυα θα βρίσκονται σε μία σειρά διαφορετικών ζωνών συχνотήτων, που θα μεταφέρουν πληροφορίες με διαφορετικές ταχύτητες και θα έχουν εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά μετάδοσης. Σε αντίθεση, ως σήμερα ένα τηλέφωνο συνδέεται με το δίκτυο μέσω μίας ανοδικής και μία καθοδικής ζεύξης, με τον τοπικό σταθμό βάσης. Δηλαδή, το δίκτυο αναμένεται να αλλάζει σύμφωνα με τις απαιτήσεις δεδομένων της εκάστοτε συσκευής.

Εν συνεχεία, ενισχύεται η άποψη πως θα προκύψουν νέες κλάσεις συσκευών, οι οποίες θα επικοινωνούν με άλλες συσκευές. Τέτοιο παράδειγμα είναι οι αισθητήρες, οι οποίοι αναμένεται να στέλνουν δεδομένα σε κάποιον εξυπηρετητή (server), με τη διαφορά ότι αυτό θα πραγματοποιείται με «συσκευο-κεντρικό τρόπο» και όχι με «κυψελοκεντρικό», που γίνεται σήμερα. Αυτό θα συμβεί, εφόσον, οι νέες συσκευές θα είναι ικανές να «αποφαίνονται» πότε και πως είναι αποτελεσματικότερο να αποσταλούν τα δεδομένα στον εξυπηρετητή.

Επιπρόσθετα, θα υπάρξουν αλλαγές στη μετάδοση της πληροφορίας. Η μετάδοση μικροκυμάτων, που χρησιμοποιείται σήμερα θα συμπληρωθεί από τη μετάδοση κυμάτων χιλιοστού. Τα μικροκύματα εκτείνονται σε φάσμα 600 MHz, το οποίο έχει απελευθερωθεί μετά την επικράτηση της ψηφιακής τηλεόρασης, η οποία στην Ελλάδα υπάρχει μέσω της DIGEA, όχι όμως σε μεγάλο βαθμό, αλλά σε μικρό ποσοστό, που μετά βίας έφτασε στα 80 MHz και όπως, είναι ευρέως γνωστό έχει αρκετά υψηλό κόστος. Έτσι, φυσικό επόμενο αυτού, είναι η αναζήτηση λύσεων για τα μεγαλύτερα μήκη κύματος και για τις υψηλότερες συχνότητες μετάδοσης, οι οποίες κυμαίνονται στις τάξεις των 3 έως και 300 GHz. Κάτι τέτοιο, εμφανίζει εξίσου διάφορα προβλήματα, εφόσον τα σήματα αυτά είναι δυνατό να δεχτούν μεγάλες παρεμβολές από τα κτίρια, την κακοκαιρία, αλλά και την ανθρώπινη δραστηριότητα μεταξύ πομπού και δέκτη. Τέτοια προβλήματα, αναμένεται να επιλυθούν με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών, οι οποίες στρέφονται σε πραγματικό χρόνο την ώρα ,που μπλοκάρονται τα σήματα.

Επόμενο και σημαντικότερο επίτευγμα θα αποτελέσει η τεχνολογία MIMO (Multiple in-Multiple-out). Πρακτικά, κάτι τέτοιο σημαίνει πως οι σταθμοί βάσης θα εξοπλιστούν με πολλαπλές κεραιές, που θα μεταδίδουν πολλά σήματα ταυτόχρονα, ενώ τέτοια κεραία θα μπορεί να έχει και μία συσκευή. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα, με την οποία ένα δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί τις συχνότητές του. Σημαντικό ρόλο, στη διαμόρφωση των δικτύων του μέλλοντος θα παίξουν και οι ολοένα εξυπνότερες συσκευές. Επομένως, αντί τα σήματα να δρομολογούνται από τους σταθμούς βάσης, θα είναι εφικτό να δρομολογούνται και από τις ίδιες τις συσκευές.

Ακόμα, μία επαναστατική τεχνολογία θα είναι ότι θα δίνεται η δυνατότητα σε πλήθος συσκευών να επικοινωνούν μεταξύ τους, χωρίς να είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούν το δίκτυο. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να έχει δεκάδες χιλιάδες συσκευές μετάδοσης δεδομένων θερμοκρασίας. Η μετάδοσή τους καθίσταται ευκολότερη αν τα δεδομένα αποσταλούν, χωρίς να παρεμβάλλεται ο σταθμός βάσης, κάτι το οποίο θα συμβεί με χρήση της νέας τεχνολογίας.

«Ο κόσμος μας βρίσκεται πια σε fast forward», στο πλαίσιο μίας «μόνιμης τεχνολογικής εξέλιξης», όπως τόνισε στις εξαγγελίες του ο Βρετανός πρωθυπουργός Ντέιβιντ Κάμερον από το βήμα της εμπορικής έκθεσης CeBit, στο Ανόβερο της Γερμανίας. Εκεί επικυρώθηκε και η σχετική συμφωνία

μεταξύ Λονδίνου και Βερολίνου, για την ακρίβεια μεταξύ των πανεπιστημίων της Δρέσδης, του Σάρει και του λονδρέζικου King's College, η οποία ως στόχο της έχει να μην μείνουν πίσω τεχνολογικά οι δύο χώρες-μέλη της Ε.Ε. του ομίλου G8. «Είμαστε ενώπιον μίας νέας βιομηχανικής επανάστασης, της οποίας θέλω να ηγηθούν η Βρετανία και η Γερμανία», ανέφερε ο Κάμερον, υπερτονίζοντας όλα τα πλεονεκτήματα του 5G.

Η παράθεση των λόγων του βρετανού πρωθυπουργού καταδεικνύει ακριβώς την ανάγκη εγκατάλειψης των παλιότερων μέσων κινητών τηλεπικοινωνιών και της ανάπτυξης της 5G τεχνολογίας. Οι χρήστες των κινητών και άλλων σχετικών συσκευών, που έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο έχουν αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια και αναμένεται να αυξηθούν ακόμα περισσότερο μέσα στα επόμενα. Κάτι τέτοιο δημιουργεί την ανάγκη για την ανάπτυξη νέων δικτύων με μεγαλύτερο εύρος και χωρητικότητα, αλλά και με γρηγορότερες ταχύτητες αποστολής και λήψης δεδομένων. Επικοινωνία μεταξύ συσκευών, αλλά ακόμα και οχημάτων με έξυπνο τρόπο είναι πλέον γεγονός και γίνεται αντιληπτό ότι η ανάγκη για άμεση απόκριση των δικτύων είναι αυξημένη. Ακόμα, η εξοικείωση των χρηστών με τις νέες τεχνολογίες έχει οδηγήσει στην αύξηση των απαιτήσεών τους, κάτι το οποίο σημαίνει ότι επιδιώκουν πρόσβαση σε πλήθος νέων υπηρεσιών, με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος. Επιπρόσθετα, μία βασική επιδίωξη των χρηστών, στις μέρες μας, είναι και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, που θα οδηγήσει σε ανάπτυξη νέων τεχνολογιών από τους τεχνικούς όσον αφορά τα νέα δίκτυα και τα νέα κινητά τηλέφωνα. Συχνά, οι χρήστες πραγματοποιούν παράπονα για τα νέα μοντέλα κινητής τηλεφωνίας, αφού η έντονη χρήση διαδικτύου δεν ευνοεί τη μεγάλης διάρκειας αντοχή των συσκευών χωρίς τοποθέτηση στην πρίζα.

Επιπλέον, το 2020 δείχνει να είναι η χρονιά, όπου όλοι οι κατασκευαστές εκτιμούν ότι θα δούμε τις πρώτες υλοποιήσεις 5G. Η προσπάθεια, που ξεκινά η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επιδιώκεται να στεφθεί με επιτυχία για να επανακτηθεί το χαμένο έδαφος στο πεδίο των τηλεπικοινωνιών, που χάθηκε, αφού δεν αναπτύχθηκαν εγκαίρως από τους Ευρωπαίους οι προηγούμενες τεχνολογίες. Η Κομισιόν κατανοώντας, ότι η Ευρώπη έμεινε πίσω στο 4G με τους Αμερικανούς και τους Ασιάτες να έχουν πάρει πλέον ξεκάθαρο τεχνολογικό προβάδισμα, κυρίως σε επίπεδο υλοποιήσεων και ταχυτήτων σύνδεσης, θέλει να κάνει άλμα απευθείας στο 5G. Και το πλάνο περιλαμβάνει την επιτάχυνση της διαδικασίας διαμόρφωσης των προτύπων. Σαφέστατα, ο στόχος δεν είναι καθόλου εύκολος. Από την άλλη πλευρά, ο τρόπος με τον οποίο αρχίζουν να χρησιμοποιούν οι πολίτες, οι κρατικοί φορείς και οι επιχειρήσεις, τα ασύρματα δίκτυα και τις ψηφιακές τεχνολογίες δημιουργεί νέα μοντέλα χρήσης και ανάγκες, που πολύ δύσκολα θα είναι εφικτό να καλυφθούν από τα 4G δίκτυα ή ακόμη και από τα δίκτυα οπτικών ινών, που υλοποιούνται σε διάφορα σημεία του πλανήτη. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι η όλο και αυξανόμενη απαίτηση για υψηλές ταχύτητες σύνδεσης λόγω της χρήσης του video πολύ υψηλής ευκρίνειας. Τα 100 Mbps, που θα προσφέρει σε 1-2 χρόνια το 4G δεν θα είναι αρκετά, ούτε

καν τα 200 Mbps των δικτύων οπτικών ινών. Το 1 Gbps είναι το ελάχιστο όριο, που θα απαιτείται και δεν είναι τυχαίο ότι σε εταιρικά περιβάλλοντα γίνεται λόγος για συνδέσεις 10 Gbps με το 5G. Πρόκειται για ταχύτητα 200 φορές υψηλότερη από τα 50 Mbps, που προσφέρεται αυτή τη στιγμή από το VDSL. Οι υπερβολικά υψηλές ταχύτητες, όμως, δεν είναι το μόνο ζητούμενο. Η απαίτηση των καταναλωτών να απολαμβάνουν κορυφαία εμπειρία ακόμη και όταν βρίσκονται σε έναν χώρο, όπως ένα ποδοσφαιρικό γήπεδο όπου λειτουργούν ταυτόχρονα δεκάδες χιλιάδες έξυπνα τηλέφωνα και άλλες «έξυπνες» συσκευές, απαιτεί νέες αρχιτεκτονικές δικτύων προκειμένου να ικανοποιηθεί. Αν προσθέσουμε σε αυτό και το γεγονός ότι σταδιακά θα είναι δικτυωμένο οτιδήποτε μπορεί να φανταστεί κανείς (από πλυντήρια και πόρτες μέχρι αυτοκίνητα και φανάρια) είναι προφανές ότι οι ανάγκες είναι τεράστιες. Όλοι οι αυτοί οι λόγοι, ενισχύουν την ανάγκη για την εξέλιξη, την ανάπτυξη και τη λειτουργία των τεχνολογιών 5G.

2. Πότε Αναμένεται να Κυκλοφορήσει

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, το 5G είναι προς το παρόν, στα πρώτα στάδια της έρευνας και της εξέλιξης του. Το νέο φάσμα IMT αναμένεται να συμφωνηθεί για την Παγκόσμια Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών (WRC) το 2019. Η ITU είναι σήμερα παρούσα, στην εργασία σχετικά με τις απαιτήσεις του φάσματος IMT για το 2020 και μετά. Μετά την WRC-19, η ITU θα παρέχει μια σαφέστερη διαδρομή για τον προσδιορισμό του δικτύου, αλλά και για τις απαιτήσεις του συστήματος και την τεχνολογία. Για να γίνουν τα ανωτέρω, καθώς και η σταδιακή αντικατάσταση των υποδομών των δικτύων, ώστε να γίνουν πιο μοντέρνα και να συμβαδίζουν με την τελευταία τεχνολογία, αλλά και την ανάπτυξη συσκευών σύγχρονης τεχνολογίας, υποθέτουν οι επιστήμονες πως θα ολοκληρωθούν οι διαδικασίες αυτές περίπου το 2020. Κάτι, το οποίο δεν είναι απόλυτο, εφόσον, είναι πολύ πιθανό να καθυστερήσει πολύ περισσότερο, αφού τα έργα αυτά είναι μεγάλης έκτασης και χρειάζονται πολλά χρόνια για τη μελέτη και την υλοποίηση των εν λόγω.

ΚΕΦ.6: Σύγκριση 4G - 5G

Είναι σημαντικό να συγκριθούν τα 4G και 5G δίκτυα, Ο όγκος της κίνησης στο δίκτυο αυξάνεται εκρηκτικά και η αύξηση των χρηστών των ασύρματων δικτύων δημιουργεί περισσότερες διακοπές στη ζώνη συχνοτήτων. Το 5G θα χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz, που έχει λιγότερο συνωστισμό

για λιγότερες παρεμβολές. Οι χρήστες θα χρησιμοποιούν περισσότερες εφαρμογές, που θα δημιουργούν παράσιτα στο εύρος ζώνης συχνοτήτων, υπηρεσίες συγχρονισμού ραδιοδιεπαφής, βίντεο HD, διαδικτυακές συσκέψεις, εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης, online ροή ραδιοφώνου κ.λ.π. Αυτά καταναλώνουν περισσότερη χωρητικότητα από ποτέ άλλοτε.

Θα είναι ταχύτερο και θα έχει μεγαλύτερο εύρος από το ασύρματο 4G. Με το 5G θα είναι δυνατό να είναι γρηγορότερη η ροή βίντεο, να υπάρχουν λιγότερες νεκρές ζώνες και να ακούγονται οι διάλογοι με πιο καθαρό ήχο. Η πλήρης ταχύτητα και τα πλεονεκτήματα του 5G απαιτούν δρομολογητή οικιακού δικτύου, που υποστηρίζει το 5G.

Το 5G θα λειτουργεί στη ζώνη των 5 GHz. Η ζώνη της συχνότητας των 2,4 GHz παρουσιάζει ολοένα μεγαλύτερη πολυκοσμία, καθώς, χρησιμοποιείται από πληθώρα συσκευών σε κάθε σπίτι ή γραφείο.

Το 5G θα έχει λιγότερες παρεμβολές. Οι κλήσεις δεν θα ανταγωνίζονται άλλους προκειμένου να βρουν σήμα. Η ζώνη των 5 GHz έχει σημαντικά περισσότερο χώρο για τη μετάδοση δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χρήση υψηλότερης ποιότητας, που ουσιαστικά εξαλείφει τις κακές συνδέσεις. Το 5G αφαιρεί τα νεκρά σημεία, έτσι ώστε να είναι δυνατό να χρησιμοποιείται το τηλέφωνο σε περιοχές του δικτύου, όπου δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως τώρα.

Η ροή βίντεο απαιτεί πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Γι' αυτό, η παρακολούθηση βίντεο στα σημερινά ασύρματα δίκτυα μπορεί να δημιουργεί προβλήματα. Τα παγώματα της εικόνας σημειώνονται, επειδή το ασύρματο δίκτυο μπορεί να μην είναι δυνατό να μεταδώσει με ακρίβεια. Το 5G μειώνει τις προβληματικές εικόνες κατά την αποθήκευση βίντεο στην προσωρινή μνήμη buffer.

Το 5G θα επιταχύνει σημαντικά τον χρόνο, που απαιτείται για τη μεταφορά αρχείων και τον συγχρονισμό δεδομένων. Η δημιουργία αντιγράφου ασφαλείας κινητών συσκευών είναι επίσης ταχύτερη. Από ημερολόγια, κείμενα, φωτογραφίες και βίντεο έως εφαρμογές κι επαφές, η δημιουργία αντιγράφου ασφαλείας δεδομένων θα είναι πλέον θέμα δευτερολέπτων. Παρά το γεγονός ότι η νέα τεχνολογία αναμένεται να είναι έως και 1000 φορές γρηγορότερη από τον προκάτοχό της, δηλαδή την τέταρτη γενιά και πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από τις προγενέστερες γενιές όπως 1,2 και 3 το κόστος της υποδομής για την ανάπτυξη και χρήση της τεχνολογίας αυτής αναμένεται να κυμανθεί περίπου στα 1.5 δισεκατομμύρια δολάρια για τη χώρα της Νότιας Κορέας. Άρα, συμπεραίνεται ότι και για τις υπόλοιπες χώρες του κόσμου ανάλογα με το μέγεθός τους και την πληθυσμιακή κάλυψη, που επιδιώκουν να πετύχουν, τα κόστη θα κυμαίνονται σε τέτοιου είδους μεγάλα ποσά, που είναι δύσκολο να βρεθούν και να δαπανηθούν στην περίοδο αυτή, που η οικονομική κρίση μαστίζει μεγάλο μέρος του αναπτυσσόμενου κόσμου.

Κάποιες επιπλέον διαφορές είναι :

1. Πρώτα απ' όλα, ενώ τα βασισμένα στην τεχνολογία LTE δίκτυα 4G διέρχονται μια ταχεία ανάπτυξη, τα δίκτυα 5G ως επί το πλείστο αποτελούνται από ερευνητικές εργασίες και πιλοτικά σχέδια. Η ασύρματη βιομηχανία έχει σε γενικές γραμμές στόχο το 2020 για την ευρεία διάδοση των δικτύων 5G.
2. Τα ασύρματα δίκτυα μέχρι το 4G επικεντρώθηκαν κυρίως με τη διαθεσιμότητα του εύρους ζώνης, ενώ το 5G στοχεύει στην διάχυτη παροχή συνδεσιμότητας ώστε να θέσει θεμέλια για γρήγορη και ανθεκτική πρόσβαση των χρηστών του διαδικτύου, είτε είναι στην κορυφή ενός ουρανοξύστη είτε κάτω από ένα σταθμό μετρό. Αν και το LTE πρότυπο ενσωματώνει μια παραλλαγή που ονομάζεται επικοινωνία τύπου μηχανής (Machine Type Communications - MTC) για την κίνηση IoT, οι τεχνολογίες του 5G έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν MTC συσκευές.
3. Τα δίκτυα 5G δεν πρόκειται να είναι μια μονολιθική οντότητα του δικτύου που θα χτιστεί γύρω από ένα συνδυασμό τεχνολογιών: 2G, 3G, LTE, LTE-A, Wi-Fi, M2M, κλπ. Με άλλα λόγια, το 5G θα πρέπει να σχεδιαστεί για να υποστηρίξει μια ποικιλία εφαρμογών, όπως το IoT, που συνδέεται ασύρματα, επαυξημένης πραγματικότητας και συναρπαστικότερα παιχνίδια.

Σε αντίθεση με το 4G ομόλογό του, το 5G δίκτυο θα προσφέρει τη δυνατότητα να χειριστεί μια πληθώρα των συνδεδεμένων συσκευών και μια μυριάδα των τύπων κίνησης. Για παράδειγμα, το 5G θα παρέχει συνδέσμους υπέρ-υψηλής ταχύτητας για streaming video HD, καθώς και ταχύτητες χαμηλού ρυθμού δεδομένων για δίκτυα αισθητήρων.

4. Το δίκτυο 5G θα αποτελέσει τον πρωτοπόρο σε νέες αρχιτεκτονικές όπως διαδικτυακό σύννεφο RAN και εικονικά RAN έτσι ώστε να διευκολύνει μια πιο κεντρική εγκατάσταση του δικτύου και να κάνει την καλύτερη δυνατή χρήση των γεωργικών εξυπηρετητών μέσω τοπικών κέντρων δεδομένων στα άκρα του δικτύου.
5. Τέλος, 5G θα ηγηθεί τη χρήση των τεχνικών cognitive radio για να επιτραπεί στην υποδομή να αποφασίζει αυτόματα σχετικά με τον τύπο του καναλιού που θα προσφέρεται, κάνοντας διάκριση μεταξύ κινητών και σταθερών αντικειμένων, και να προσαρμοστεί σε συνθήκες για μια δεδομένη στιγμή. Με άλλα λόγια, το δίκτυο 5G θα είναι σε θέση να εξυπηρετήσει τις βιομηχανικές εφαρμογές, όπως το Internet και το Facebook, ταυτόχρονα.

ΚΕΦ.7:Προκλήσεις που Πρέπει να Αντιμετωπισθούν

1. Cognitive Radio (CR) -Νέοι Τρόποι με Χρήση Ραδιοφάσματος

Οι νέες γενιές κινητών συνήθως αποδίδονται σε νέες ζώνες συχνοτήτων και σε ευρύτερο φασματικό εύρος ζώνης ανά κανάλι συχνότητας, αλλά δεν υπάρχουν πολλά περιθώρια για νέες ζώνες συχνοτήτων ή μεγαλύτερο εύρος του καναλιού. Αυτό συμβαίνει επειδή το φάσμα ήταν και θα συνεχίσει να είναι ένας σπάνιος πόρος για τον κλάδο της κινητής επικοινωνίας. Ιστορικά, μέχρι τώρα, η βιομηχανία κινητών στηρίχθηκε σε ραδιοφάσματα που είναι αφιερωμένα στην κινητή επικοινωνία και έχουν αδειοδοτηθεί για έναν συγκεκριμένο χειριστή. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου η άδεια του φάσματος δεν είναι διαθέσιμη, άλλες δυνατότητες για την αύξηση της διαθεσιμότητας του φάσματος παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη χρήση μη αδειοδοτημένου φάσματος, ή δευτερογενή φάσματα χρησιμοποιούνται κυρίως για άλλες υπηρεσίες επικοινωνίας, ως συμπλήρωμα για τη λειτουργία του αδειοδοτημένου φάσματος. Η μη χρησιμοποίηση της μετάδοσης του ραδιοφάσματος (σε ορισμένες περιοχές) συχνά αναφέρεται ως «λευκό χώρο». Σχετικό με αυτή είναι η έννοια cognitive radio. Ωστόσο, η δυνατότητα εφαρμογής των cognitive radio σε κυτταρική επικοινωνία είναι μια σχετικά νέα περιοχή και απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα και οι επιπτώσεις των εν λόγω χρήσης. Η cognitive radio τεχνολογία επιτρέπει διαφορετικές ραδιοφωνικές τεχνολογίες να μοιράζονται το ίδιο φάσμα αποτελεσματικά με προσαρμογή στην εύρεση ακρησιμοποίητου φάσματος και προσαρμόζοντας το σύστημα μετάδοσης με τις απαιτήσεις των τεχνολογιών σήμερα που μοιράζονται το φάσμα. Αυτή η δυναμική διαχείριση ραδιοφωνικών πόρων επιτυγχάνεται με καταναμημένο τρόπο, και στηρίζεται σε λογισμικά ορισμένο ραδιοσυστήματα.

2. Software Defined Radio (SDR) - Reconfigurability Enabler

Η τεχνολογία Software Defined Radio (SDR) ωφελείται από τη σημερινή υψηλή επεξεργαστική ισχύ για να αναπτύξει multiband, multi-standard σταθμούς βάσης και τερματικούς σταθμούς. Παρά το γεγονός ότι στο μέλλον τα τερματικά θα προσαρμόζουν τη διεπαφή αέρα προς τη διαθέσιμη

τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης, προς το παρόν αυτό γίνεται από την υποδομή. Αρκετά κέρδη της υποδομής αναμένονται από την SDR. Για παράδειγμα, για να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (π.χ. κατά τη διάρκεια ενός φεστιβάλ ή αθλητικών εκδηλώσεων), ένας χειριστής θα αναμορφώσει το δίκτυό της προσθέτοντας αρκετά μόντεμ σε ένα δεδομένο σταθμό βάσης που λειτουργεί ως πομποδέκτης (Base Transceiver Station - BTS). Η SDR κάνει αυτή την αναδιαμόρφωση εύκολη. Στο πλαίσιο των αναμενόμενων συστημάτων 5G, η SDR θα αποτελέσει καταλύτη για την τερματική και το δικτυακή αναδιάρθρωση μέσω λήψης λογισμικού. Για τον κατασκευαστή, αυτό μπορεί να αποτελέσει μια ισχυρή ενίσχυση για την παροχή multi-standard, multi-band εξοπλισμού με μειωμένη προσπάθεια και κόστος ανάπτυξης.

3. Αναδιαμορφωμένη-Διαλειτουργικότητα Μεταξύ Διαφόρων Τύπων Δικτύου Ασύρματης Πρόσβασης

Η αδιάλειπτη διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών δικτύων αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την επιτυχία των συστημάτων 5G με διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης να εξελίσσονται. Μία νέα λύση που θα εξασφαλίζει την διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφόρων τύπων δικτύων ασύρματης πρόσβασης δίνεται από το αναπτυσσόμενο IEEE 802.21 πρότυπο. Το IEEE 802.21 επικεντρώνεται στη διευκόλυνση της παράδοσης μεταξύ διαφορετικών ασύρματων δικτύων σε ετερογενή περιβάλλοντα, ανεξάρτητα από τον τύπο του μέσου. Τα τυπικά ονόματα του είδους της κάθετης παράδοσης ως Media Independent Handover (MIH). Ο στόχος του IEEE 802.21 είναι να διευκολύνει τη χρήση των κινητών κόμβων, παρέχοντας αδιάλειπτη παράδοση σε ετερογενή δίκτυα. Η καρδιά του πλαισίου 802.21 είναι η λειτουργία του Media Independent Handover (Media Independent Handover Function - MIHF), που είναι υπεύθυνη για την επικοινωνία με διαφορετικά τερματικά, δίκτυα και απομακρυσμένες MIHFs, το οποίο θα πρέπει να εφαρμοστεί σε κάθε IEEE 802.21 συμβατή συσκευή (είτε υλικού είτε λογισμικού). Το ενδιαφέρον που υπάρχει τόσο στον ακαδημαϊκό χώρο όσο και στη βιομηχανία δείχνει ότι το IEEE 802.21 μπορεί να είναι ο βασικός καταλύτης για την απρόσκοπτη κάθετη μεταπομπή και διαφανή περιαγωγή σε ετερογενή δίκτυα. Το πρότυπο IEEE 802.21 αναμένεται να κάνει μια σημαντική συμβολή προς την κατεύθυνση της επαναπροσδιοριζόμενης πτυχής της διαλειτουργικότητας των 5G ασύρματων και κυψελωδών συστημάτων επικοινωνίας. Η εκ νέου ρύθμιση της διαλειτουργικότητας προσφέρει στους παρόχους δικτύου τη δυνατότητα να επιλέγουν, με ελάχιστες επενδύσεις, μεταξύ των εναλλακτικών δικτύων ασύρματης πρόσβασης. Η επιλογή θα μπορούσε να γίνει με βάση διάφορα κριτήρια, όπως:

- Σύγκριση μεταξύ της διαθεσιμότητας των πόρων πρόσβασης και τις απαιτήσεις συγκεκριμένης υπηρεσίας (π.χ. κατάσταση του καναλιού, πιθανότητα διακοπής, κάθετη πιθανότητα παράδοσης, QoS απαιτήσεις των χρηστών, την ευαισθητοποίηση του πλαισίου κλπ)(e.g. channel state, outage probability, vertical handover probability, users' QoS requirements, context awareness etc.).
- Εξισορρόπηση φορτίου και κατανομής μεταξύ των διαφόρων χωρικά συνυπάρχοντων ασύρματων δικτύων.
- Αποτελεσματική κοινή χρήση του φάσματος.
- Έλεγχος συμφόρησης.

Σε γενικές γραμμές, οι κύριες απαιτήσεις διαλειτουργικότητας που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι εξής:

- Initial Network Selection (INS), το INS είναι μία από τις βασικές λειτουργίες της διαδικασίας της διαλειτουργικότητας μεταξύ ετερογενών δικτύων. Μια έξυπνη επιλογή του κατάλληλου δικτύου από τους χρήστες θα οδηγήσει σε μείωση των πιθανοτήτων φραγής, μεγαλύτερη χωρητικότητα και βελτιωμένη QoS. Αυτά τα οφέλη μπορούν να επιτευχθούν μόνο αν το INS επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση των πόρων του δικτύου. Ως αποτέλεσμα, οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν το πιο κατάλληλο δίκτυο με ένα ενισχυμένο QoS σε σχέση με τις επιθυμητές απαιτήσεις υπηρεσιών. Η επίτευξη αυτών των βελτιώσεων εξαρτάται από την αρχιτεκτονική ενοποίηση των δύο τεχνολογιών και την ανάπτυξη αποτελεσματικών μηχανισμών INS και κριτηρίων.
- Mobility support (υποστήριξη της κινητικότητας), αφού επιλέξετε ένα δίκτυο, ο χρήστης μπορεί να αλλάξει το αρχικά επιλεγμένο δίκτυο σύμφωνα με τις διάφορες συνθήκες, επομένως προκύπτει η σημασία καθορισμού ενός αποτελεσματικού σετ κριτηρίων και μηχανισμών για την τεχνολογία Inter-Network Handover (INH). Η απόφαση για την INH θα μπορούσε να βασιστεί σε αξιολόγηση της συνάρτησης κόστους που καλύπτει βασικούς παράγοντες όλων των πιθανών μεταπομπών μεταξύ δικτύου. Η απόφαση για τα δύο INS και INH βασίζεται στην επιλογή ασύρματης πρόσβασης εν συναρτήσει κόστους και πρόσβασης.
- Η εταιρική σχέση ή οι συμφωνίες μεταξύ φορέων διαφορετικών δικτύων, οι φορείς εκμετάλλευσης θα πρέπει να δώσουν στο χρήστη τα ίδια οφέλη σαν η διαλειτουργικά να χειρίζεται εντός ενός φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου.
- Χειρισμός χρέωσης των συνδρομητών και λογαριασμών μεταξύ των συστημάτων περιαγωγής.
- Η ταυτοποίηση των συνδρομητών θα πρέπει να γίνεται σαν να είναι σε ένα καθαρό περιβάλλον ενός συστήματος.

4. Προσαρμοστική Σύζευξη - Αναδιαμορφωμένη Ολοκλήρωση (*Adaptive Coupling-Reconfigurable Integration*)

Ανάλογα με το επίπεδο ολοκλήρωσης που απαιτείται μεταξύ των διαθέσιμων τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης, μπορεί να ληφθεί μια ποικιλία προσεγγίσεων για την αποτελεσματική διαλειτουργικότητα. Από τη μία πλευρά, αν η ολοκλήρωση μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών είναι σφικτή, η παροχή της υπηρεσίας είναι πιο αποτελεσματική και η επιλογή του δικτύου, καθώς και η κάθετη διαδικασία μεταπομπής είναι ταχύτερη. Ωστόσο, ένα υψηλό επίπεδο ολοκλήρωσης απαιτεί σημαντική προσπάθεια στον ορισμό των διασυνδέσεων και των μηχανισμών που είναι σε θέση να υποστηρίξουν την απαραίτητη ανταλλαγή δεδομένων και τη σηματοδότηση μεταξύ διαφορετικών δικτύων ασύρματης πρόσβασης. Επιπλέον, η στενότητα ζεύξης πάσχει από τη δυνητική συμφόρηση φορτίου όταν ένα δίκτυο είναι πλήρες. Από την άλλη πλευρά, αν η ενσωμάτωση μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών είναι χαλαρή, η καθυστέρηση της διαδικασίας μεταπομπής είναι σημαντική. Από τη θετική πλευρά, η χαλαρή σύζευξη επιτρέπει την ευελιξία και την ανεξαρτησία των εκτελεστικών ατομικά διαφορετικών μηχανισμών σε κάθε δίκτυο. Εκτός αυτού, διευκολύνει τη σταδιακή ανάπτυξη ενός δικτύου χωρίς ή με μικρή τροποποίηση στο άλλο δίκτυο. Η προσαρμοστική σύζευξη είναι ένας νέος προτεινόμενος μηχανισμός που αλλάζει προσαρμοστικά επίπεδο ζεύξης από το ανοιχτό, χαλαρό ή σφικτό ακόμη και στο πολύ σφικτό ανάλογα με την κατάσταση του φορτίου και την καθυστέρηση στους περιορισμούς των δικτύων.

5. Δίκτυο Ενεργειακής Απόδοσης

Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για τα κινητά τερματικά υπήρξε μια σημαντική προϋπόθεση από την εμφάνιση των τερματικών χειρός περίπου πριν από 25 χρόνια. Η κινητήρια δύναμη ενίσχυσε τη μείωση του μεγέθους της μπαταρίας και βελτίωσε το χρόνο της μπαταρίας. Σήμερα, η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης λαμβάνει αυξημένη προσοχή. Το κόστος της ενέργειας είναι ένα καθόλου αμελητέο μέρος του συνολικού κόστους λειτουργίας για το χειριστή. Με επαρκώς χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, εύλογου μεγέθους ηλιακά πάνελ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, αντί των γεννητριών ντίζελ που χρησιμοποιούνται συνήθως σήμερα. Παρ' όλα αυτά, η μελλοντική εξέλιξη των κυτταρικών συστημάτων θα πρέπει να καταβάλει περαιτέρω

προσπάθειες για την ελαχιστοποίηση της μετάδοσης των σημάτων που δεν χρειάζονται.

6. Μηχανικού - Τύπου Επικοινωνία

Με την αυξημένη διαθεσιμότητα των κινητών ευρυζωνικών, η συνδεσιμότητα έχει γίνει μια ρεαλιστική επιλογή για την επικοινωνία του μηχανήματος. Η επικοινωνία τύπου - μηχανής καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από την μαζική εγκατάσταση χαμηλού κόστους αισθητήρες που τροφοδοτούνται από μπαταρία μέχρι σε τηλεχειριστήριο, κάμερες επιτήρησης. Πολλές από τις εφαρμογές αυτές μπορεί να αντιμετωπιστούν με 4G συστήματα που υπάρχουν ήδη. Η επικοινωνία με μια κάμερα επιτήρησης, για παράδειγμα, δεν είναι σημαντικά διαφορετικό από τη μεταφόρτωση ενός αρχείου, στην οποία περίπτωση τα ποσοστά των δεδομένων είναι υψίστης σημασίας. Ωστόσο, άλλες εφαρμογές μπορεί να μην απαιτούν τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων ή ελάχιστη καθυστέρηση, αλλά δημιουργούν προκλήσεις από την άποψη ότι ένα τεράστιο ποσό από συσκευές συνδέονται στο δίκτυο. Ο χειρισμός ενός τόσο μεγάλου αριθμού συσκευών είναι πιθανό να είναι μια πρόκληση, κυρίως για το πυρήνα του δικτύου, αλλά οι βελτιώσεις στον τομέα της εγκατάστασης της σύνδεσης και της τροφοδοσίας στην αποτελεσματική διαχείριση του ελέγχου σηματοδότησης στο δίκτυο μπορεί να έχει μεγάλο ενδιαφέρον για το μέλλον των κινητών επικοινωνιών 5G .

7. Nanotechnology

Η νανοτεχνολογία είναι η εφαρμογή των νανοεπιστημών για τον έλεγχο της διαδικασίας στην κλίμακα νανομέτρων, μεταξύ 0,1 και πεδίο 100nm. Το πεδίο είναι επίσης γνωστό ως μοριακή νανοτεχνολογία (molecular nanotechnology - MNT), όπου η MNT ασχολείται με τον έλεγχο της δομής της ύλης με βάση το άτομο ανά άτομο και ανά μηχανικό μόριο. Η νανοτεχνολογία θεωρείται ως η επόμενη βιομηχανική επανάσταση, και ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών θα μεταμορφωθεί ριζικά από αυτό σε λίγα χρόνια. Καθώς οι μελλοντικές εφαρμογές θα απαιτούν περισσότερη μνήμη και υπολογιστική ισχύ για να προσφέρουν υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, οι τρέχουσες τεχνολογίες δεν μπορούν να επιλύσουν αυτές τις προκλήσεις. Ευτυχώς, η νανοτεχνολογία θα μπορούσε να παρέχει αποτελεσματικές λύσεις για την αποτελεσματική δύναμη της πληροφορικής, της αίσθησης, της διεύρυνσης της μνήμης και της αλληλεπίδρασης ανθρώπου - μηχανής. Η νανοτεχνολογία θα έχει σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην κινητή συσκευή, καθώς και στον πυρήνα του δικτύου ως εξής:

- Η φορητή συσκευή έχει γίνει κάτι περισσότερο από μια συσκευή επικοινωνίας στο σύγχρονο κόσμο. Ο υπολογισμός και η επικοινωνία είναι έτοιμα να εξυπηρετήσουν το χρήστη με έξυπνο τρόπο. Οι κινητές συσκευές μαζί με τη νοημοσύνη, που είναι ενταγμένη στο ανθρώπινο περιβάλλον, θα δημιουργήσει μια νέα πλατφόρμα που επιτρέπει πανταχού παρούσα την αίσθηση της πληροφορικής και της επικοινωνίας. Με τη νανοτεχνολογία τα κινητά τηλέφωνα μπορεί να λειτουργήσουν ως ευφυείς αισθητήρες που έχουν εφαρμογές σε πολλές βιομηχανίες, μεταξύ των οποίων και οι μεταφορές, οι επικοινωνίες, η ιατρική και η ασφάλεια.
- Το κεντρικό δίκτυο απαιτεί υψηλή ταχύτητα και μια αξιόπιστη ικανότητα να χειραγωγήσει και να συνεργάζονται με την αύξηση του αριθμού των τεχνολογιών ετερογενών πρόσβασης. Προς το παρόν, οι νανοτεχνολογίες χρησιμοποιούνται στην Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος (Digital Signal Processing - DSP), εισάγοντας νέες αντιλήψεις στο DSP σχεδιασμό που αυξάνει τη συνολική ταχύτητα και χωρητικότητα του συστήματος.

8. All IP Network

Το All-IP Network (AIPN) είναι μια εξέλιξη του συστήματος 3GPP για να εκπληρώσει τις αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς σε κυψελοειδείς επικοινωνίες. Είναι μια κοινή πλατφόρμα που ισχύει για όλα τα είδη των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης. Το AIPN επικεντρώθηκε κυρίως στις βελτιώσεις της μεταγωγής πακέτων τεχνολογίας αλλά τώρα παρέχει μια συνεχή εξέλιξη και βελτιστοποίηση όσον αφορά τόσο την απόδοση όσο και το κόστος. Τα βασικά πλεονεκτήματα της AIPN αρχιτεκτονικής περιλαμβάνει μια ποικιλία παροχής διαφόρων συστημάτων πρόσβασης, χαμηλότερο κόστος, καθολική απρόσκοπτη πρόσβαση, αυξημένο βαθμό ικανοποίησης των χρηστών και ελάχιστη καθυστέρηση του συστήματος. Αλλά με τα πλεονεκτήματα της IP θα εμφανιστούν κάποιοι κίνδυνοι: τα δεδομένα που ρέουν πιο ελεύθερα και το διαδίκτυο είναι ανοικτά όχι μόνο για τους προγραμματιστές, αλλά και σε κάθε είδους εγκληματίες και ιούς, οι προγραμματιστές και οι επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν νέες προκλήσεις ασφάλειας που θα πρέπει να λυθούν σωστά.

9. Cloud computing

Το cloud computing είναι ένα μοντέλο για τη διευκόλυνση πανταχού παρόν, βολικό, on-demand πρόσβαση στο δίκτυο σε ένα κοινόχρηστο χώρο για τη

ρύθμιση υπολογιστικών πόρων (π.χ., δίκτυα, servers, storage, εφαρμογές και υπηρεσίες) που μπορεί να τροφοδοτηθεί γρήγορα και να κυκλοφορήσει με την ελάχιστη προσπάθεια του διαχειριστή ή του φορέα παροχής υπηρεσιών αλληλεπίδρασης. Ως εκ τούτου, το cloud computing είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί το διαδίκτυο και το κεντρικό απομακρυσμένο διακομιστή για τη διατήρηση δεδομένων και εφαρμογών. Σε δίκτυα 5G ο κεντρικός απομακρυσμένος διακομιστής θα μπορούσε να είναι μια υπηρεσία παροχής περιεχομένου. Το cloud computing επιτρέπει στους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις να χρησιμοποιούν εφαρμογές χωρίς εγκατάσταση και πρόσβαση στα προσωπικά τους αρχεία σε οποιονδήποτε υπολογιστή με πρόσβαση στο internet. Η ίδια έννοια θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε multi-core τεχνολογία όπου ο χρήστης προσπαθήσει να αποκτήσει πρόσβαση σε μορφή ιδιωτικού λογαριασμού του από ένα παγκόσμιο πάροχο μέσω του cloud computing.

10. Μια Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική του Δικτύου 5G

Τα τερματικά και τα στοιχεία δικτύου δυναμικά αναδιαρθρώνονται για τη νέα κατάσταση. Οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων χρησιμοποιούν την αναδιάρθρωση για την παροχή υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας πιο εύκολα. Η αναδιάρθρωση βασίζεται στο cognitive radio. Οι γνωστικές cognitive radio περιλαμβάνουν την ικανότητα των συσκευών να προσδιορίσουν τη θέση τους, την αίσθηση του φάσματος που χρησιμοποιείται από τις γειτονικές συσκευές, τη συχνότητα αλλαγής, να προσαρμόσει ισχύ εξόδου ακόμη και να αλλάξει τις παραμέτρους μετάδοσης και τα χαρακτηριστικά. Ένα cognitive radio είναι ένας πομποδέκτης που είναι σε θέση να κατανοήσει και να αντιδράσει με το περιβάλλον λειτουργίας του. Έτσι το cognitive radio αφορά κινητές συσκευές και δίκτυα που είναι υπολογιστικά ευφυή σε σχέση με ραδιοφωνικούς πόρους και συναφείς επικοινωνίες ώστε να ανιχνεύουν τις επικοινωνιακές ανάγκες του χρήστη και να προσφέρουν ασύρματες υπηρεσίες κατάλληλες στις ανάγκες αυτές. Ως εκ τούτου, το ραδιόφωνο γνωρίζει και γνωστικές αλλαγές στο περιβάλλον του και ανταποκρίνεται σε αυτές τις αλλαγές προσαρμόζοντας λειτουργικά χαρακτηριστικά με κάποιο τρόπο έτσι ώστε να βελτιώσει τις επιδόσεις της.

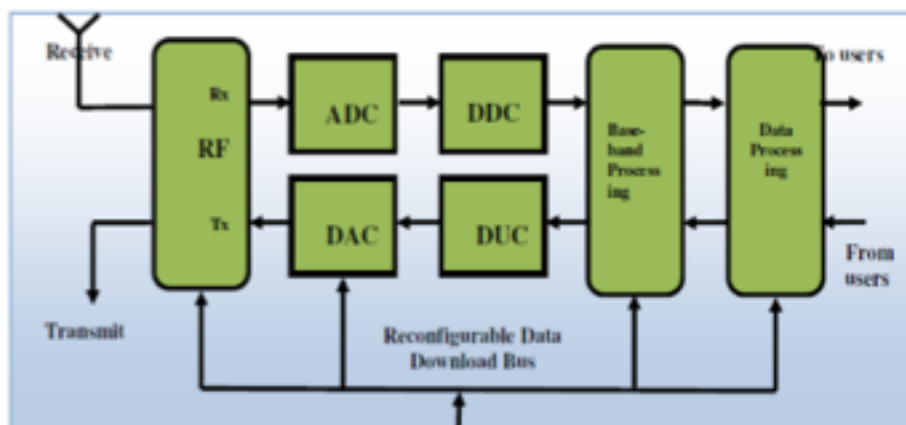
11. Αναδιαμορφώσιμα Τερματικά Πολλαπλών Τρόπων

Το 5G ενδεχομένως θα απαιτήσει το σχεδιασμό ενός ενιαίου τερματικού ασύρματου χρήστη που θα έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί αυτόνομα σε διαφορετικά ετερογενή δίκτυα πρόσβασης. Ένα πλήρως αναδιαρθρώσιμο τερματικό μπορεί να αλλάζει τις λειτουργίες επικοινωνίας του ανάλογα με το δίκτυο ή / και τις απαιτήσεις των χρηστών. Επιπλέον, αυτό το τερματικό θα

πρέπει να αξιοποιεί διάφορα περιβάλλοντα και πληροφορίες όπως η επικοινωνία με συστήματα πλοήγησης, εντοπισμού και επικοινωνίας με πρόγνωση του καιρού και των συστημάτων έκτακτης ανάγκης προκειμένου να παρέχουν πιο πλούσιες υπηρεσίες στους χρήστες. Ωστόσο, ο πλούτος των υπηρεσιών θα απαιτήσει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, η οποία θα είναι ο κύριος παράγοντας οδήγησης προς την ανάπτυξη ευρυζωνικών πολυμέσων. Επίσης, το τερματικό ευαισθητοποίησης θα θέσει μεγάλη έμφαση στην έννοια του cognitive radio και cognitive algorithms για stand-alone τερματικά αναδιάρθρωσης και διαλειτουργικότητας. Ο σχεδιασμός ενός επαναπροσδιοριζόμενου με πολλαπλούς τρόπους τερματικό χρήστη αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα, διότι θα πρέπει να υπάρξει μείωση του κόστους, του μεγέθους, της κατανάλωσης ενέργειας και της πολυπλοκότητας του κυκλώματος που θα οδηγήσει σε ένα επαναπροσδιοριζόμενο τερματικό χρήστη το οποίο θα είναι φθηνό, θα φοριέται και θα συμμορφώνεται. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί εύκολα με την τεράστια ικανότητα της νανοτεχνολογίας. Επιπλέον, πρέπει να αναπτυχθούν εξελιγμένες αυτόνομες εφαρμογές εντοπισμού και δυναμικής επιλογής αλγόριθμοι του δικτύου. Τα τερματικά των χρηστών αναμορφώνονται μόνο τους σύμφωνα με τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά του δικτύου.

Ένας λογισμικά αναδιαρθρώσιμος πομποδέκτης υλοποιεί τις λειτουργίες επικοινωνίας της ως προγράμματα που τρέχουν σε έναν κατάλληλο επεξεργαστή, όπου διαφορετικοί αλγόριθμοι πομπού - δέκτη, οι οποίοι περιγράφουν συνήθως τα πρότυπα μετάδοσης, εφαρμόζονται στο λογισμικό. Το αναδιαμορφώσιμο τερματικό επιτρέπει την σύνδεση με διάφορες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης, που κυμαίνονται από 2G/GERAN σε 3G/UTRAN και 4G/EUTRAN μαζί με τα 802.11x WLAN και 802.16x WMAN. Άλλα πρότυπα, επίσης, ενεργοποιούνται όπως το IS/95, EV-DO, CDMA2000 κτλπ. Τα κριτήρια διαδικασίας της διαλειτουργικότητας και οι μηχανισμοί επιτρέπουν τόσο στο τερματικό όσο και στις αναπροσαρμόσιμες τεχνολογίες πολλών επεξεργαστών να επιλέξουν τα παραπάνω συστήματα ετερογενών πρόσβασης. Το παρακάτω σχήμα δείχνει έναν αναδιορθώσιμο πομποδέκτη και στους δύο τερματικούς σταθμούς και βάσης. Μπορεί να αναδιαμορφωθεί μέσω ενός διαύλου ελέγχου που προμηθεύει τις μονάδες επεξεργασίας με τις παραμέτρους που έχει κατεβάσει από αναδιαμορφωμένη απομακρυσμένη βάση δεδομένων μέσω ενός προκαθορισμένου καναλιού μετάδοσης. Μια τέτοια διαμόρφωση εγγυάται ότι η μετάδοση μπορεί να αλλάξει ακαριαία αν είναι απαραίτητο (π.χ., για ένα inter-network handover). Το πρότυπο επικοινωνίας που παραμετροποιείται ως μια σειρά εγγράφων που περιγράφουν πλήρως όλες τις λειτουργίες ενός ραδιοφωνικού συστήματος. Ένας αναδιαρθρώσιμος πομποδέκτης είναι χτισμένος σε ανοικτή αρχιτεκτονική και βασίζεται σε λογισμικό σύστημα ραδιοεπικοινωνίας. Οι λειτουργικές ενότητες του ραδιοφωνικού συστήματος, όπως η διαμόρφωση / αποδιαμόρφωση, η γενιά σήματος, τα πρωτόκολλα κωδικοποίησης και το επίπεδο σύνδεσης εφαρμόζονται για τις γενόσημα

αναπρογραμματιζόμενες πλατφόρμες υλικού που χρησιμοποιούν προγραμματιζόμενες ενότητες, όπως επεξεργαστές ψηφιακού σήματος (Digital Signal Processors - DSPs), Field Programmable Gate Arrays (FPGAs), Μικροελεγκτές (MicroControllers - MCs) και αναλογικές RF ενότητες.



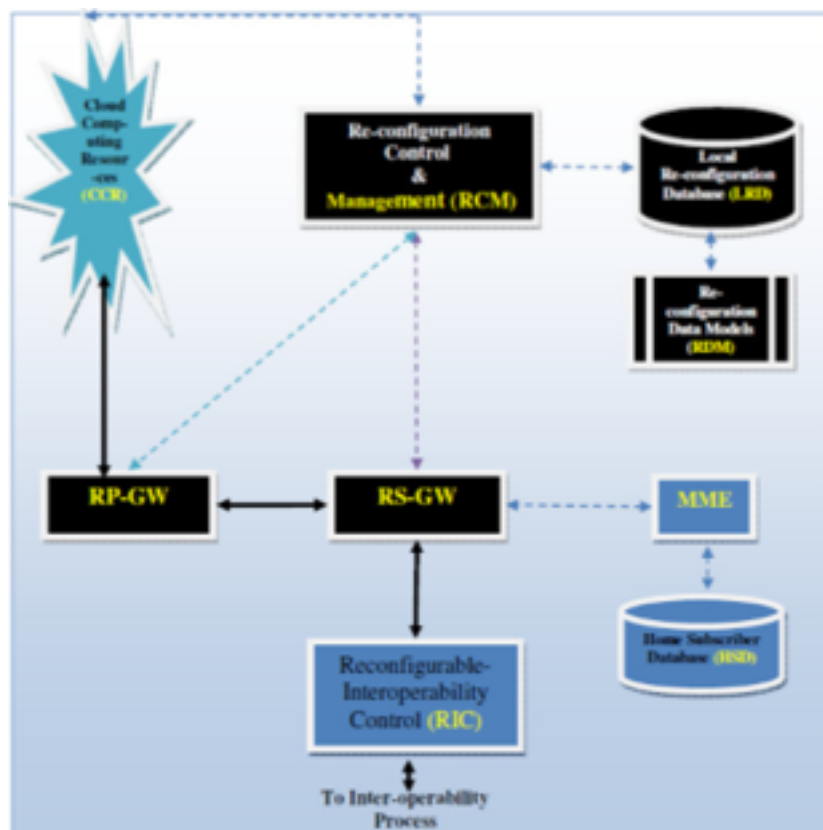
Οι front-end λειτουργίες RF λειτουργούν ως πομπός και δέκτης για το σήμα RF που λαμβάνεται μέσω της κεραίας. Στο σήμα που λαμβάνεται, το κάτω τμήμα μετατρέπει το σήμα RF σε IF σήμα για περαιτέρω επεξεργασία στο τμήμα IF. Το σήμα που μεταδίδεται, το πάνω τμήμα εκτελείται για τη μετατροπή του σήματος IF σε RF και στην συνέχεια το σήμα περνά από ενίσχυση ισχύος. Το τμήμα IF είναι υπεύθυνο για την μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό (Analog-to-Digital Conversion - ADC) αλλά και για μετατροπή από ψηφιακό σε αναλογικό (Digital-to-Analog Conversion - DAC) για την διαδρομή λήψης και μετάδοσης, αντίστοιχα. Ο ψηφιακός κάτω μετατροπέας (Digital Down Converter - DDC) και ο ψηφιακός άνω μετατροπέας (Digital Up-Converter - DUC) που προχωρούν και θα προηγούνται των λειτουργιών ADC και DAC αντίστοιχα, αναλαμβάνουν από κοινού τις λειτουργίες ενός μόντεμ. Το βασικό τμήμα εκτελεί βασικές εργασίες, όπως η ρύθμιση της σύνδεσης, η εξίσωση, η μεταπήδηση συχνοτήτων, το χρονοδιάγραμμα αποκατάστασης και η συσχέτιση. Σε έναν αναδιαρθρώσιμο πομποδέκτη, η επεξεργασία βασικής ζώνης είναι σχεδιασμένη να είναι προγραμματισμένη ως λογισμικό. Στην κορυφή του, οι ενότητες DDC και DUC στο τμήμα IF είναι επίσης προγραμματισμένες. Τα πρωτόκολλα επιπέδου γραμμής, οι εργασίες διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης είναι εφαρμόσιμες στον τομέα του λογισμικού. Έτσι, ο τρόπος λειτουργίας του πομποδέκτη μπορεί να αλλάξει ή να αυξηθεί μετά την κατασκευή με τη χρήση του λογισμικού. Ένα ιδανικός αναδιαρθρώσιμος πομποδέκτης είναι αυτός που είναι προγραμματισμένος μέχρι το τμήμα RF, δηλαδή, ικανός να εκτελεί υψηλής ταχύτητας και αποτελεσματικής δύναμης μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό και αντίστροφα ακριβώς στην κεραία. Ωστόσο, για να υποστηριχθεί το απαιτούμενο ψηφιακό εύρος ζώνης, το δυναμικό εύρος και ο ρυθμός δειγματοληψίας για την αποτελεσματική

εφαρμογή του προγραμματισμένου τμήματος RF είναι ακόμα μια πρόκληση για περισσότερη ανάπτυξη.

12. Αναδιαμορφώσιμοι Πυρήνες Πολλαπλών Τεχνολογιών

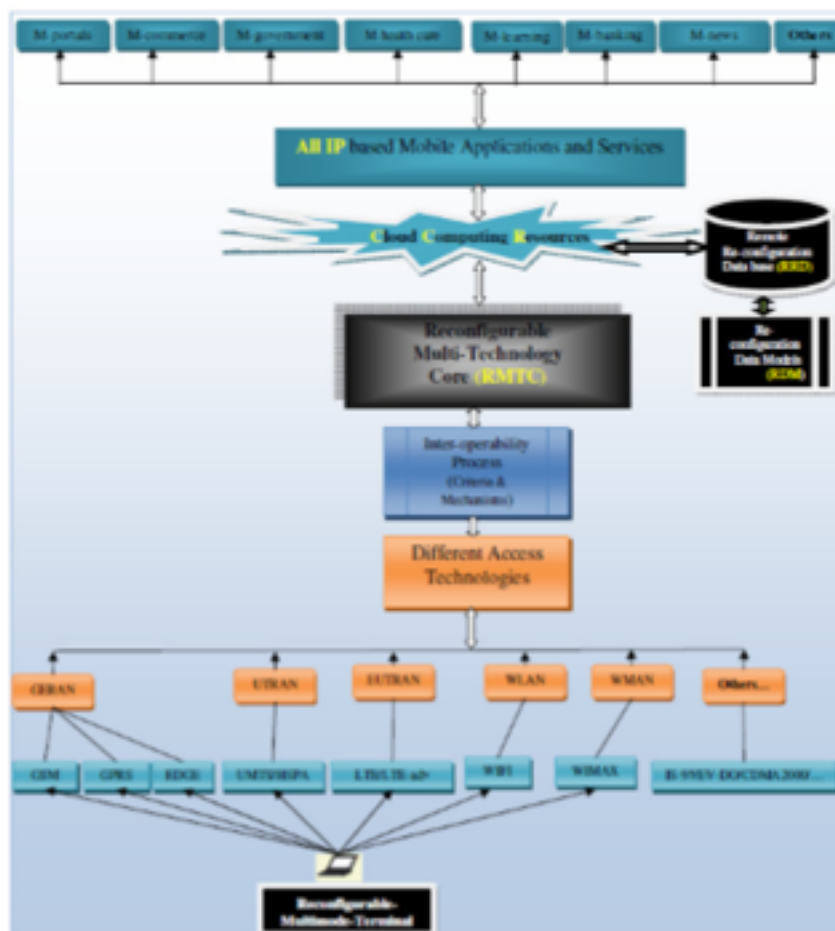
Η κύρια πρόκληση για έναν αναδιαμορφώσιμο πυρήνα πολλαπλών τεχνολογιών είναι η ενασχόλησή του με την αύξηση του αριθμού των διαφορετικών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης με βάση τη στέρεα διαλειτουργικότητα των κριτηρίων και των μηχανισμών. Ο πυρήνας είναι μια σύγκλιση της προαναφερθείσας νανοτεχνολογίας, το cloud computing και το cognitive radio και βασίζονται σε όλες τις IP πλατφόρμες. Η ικανότητα αναδιαμόρφωσης του πυρήνα θα μπορούσε να είναι μια αυτο-προσαρμογή σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον ή μία προσαρμογή της αποστολής προσανατολισμένο να καλύψει ένα δεδομένο σύνολο των απαιτήσεων της αποστολής με στόχο τη βελτίωση της παροχής υπηρεσιών και της χρήσης του φάσματος. Ο πυρήνας αλλάζει τις λειτουργίες επικοινωνίας του, ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου και / ή τις απαιτήσεις των χρηστών. Η αναδιαμόρφωση θα μπορούσε να είναι τόσο στο κομμάτι του λογισμικού όσο και του υλικού. Η αναδιαμόρφωση του υλικού γίνεται κυρίως από τους φορείς εκμετάλλευσης, δηλαδή με προσθήκη επιπλέον εξοπλισμού για την αύξηση της δυναμικότητας του δικτύου σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ωστόσο, στην αναδιαμόρφωση του λογισμικού και με τη δύναμη του SDR, το δίκτυο είναι δυναμικά αναδιαμορφώσιμο, πράγμα που σημαίνει ότι τα προγράμματα (που εκτελούνται σε επαναπροσδιοριζόμενα στοιχεία επεξεργασίας), καθώς και οι συνδέσεις επικοινωνίας μεταξύ των στοιχείων επεξεργασίας διαμορφώνονται κατά το χρόνο εκτέλεσης. Τα διαφορετικά στοιχεία επεξεργασίας χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς. Οι επεξεργαστές γενικού σκοπού είναι πλήρως προγραμματισμένοι να εκτελέσουν διαφορετικές υπολογιστικές εργασίες. Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια δομή υψηλού επιπέδου από ένα αναδιαμορφώσιμο δίκτυο πυρήνα ως εξέλιξη της Evolved Packet Core (EPC) του 4G δικτύου. Η τοπική αναδιαμορφώσιμη βάση δεδομένων (Local Reconfiguration Database - LRD) συνδέεται με τα αναδιορθώσιμα μοντέλα δεδομένων (Reconfiguration Data Models - RDM) που συνδέονται με πύλες (gateway entities) μέσω της μονάδας αναδιαμορφώσιμου ελέγχου και διαχείρισης (Reconfiguration Control and Management - RCM). Η RCM είναι επίσης συνδεδεμένη με πόρους του Cloud Computing (Cloud Computing Resources - CCR) για τη σύνδεση του κεντρικού δικτύου με απομακρυσμένη και αναδιαμορφώσιμη βάση δεδομένων (Remote Reconfiguration Database - RRD). Οι βασικές οντότητες του EPC ενισχύονται

με αναδιαμορφώσιμες δυνατότητες όπως αναδιαμορφώσιμες πύλες εξυπηρετητή (Reconfigurable Serving Gateway - RS-GW) και τα αναδιαμορφώσιμα πακέτα δεδομένων πύλης δικτύου (Reconfigurable Packet data network Gateway - RP-GW). Το RS-GW συνδέεται με διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης μέσω του ελέγχου της μονάδας αναδιαμορφώσιμης διαλειτουργικότητας (Reconfigurable-Interoperability Control - RIC). Το RIC ελέγχει τη διαδικασία της διαλειτουργικότητας μεταξύ ετερογενών τεχνολογιών πρόσβασης και επιτρέπει στο RS-GW την αποστολή και την λήψη πακέτων από και προς τον επιλεγμένο σταθμό βάσης / eNB που εξυπηρετούν την UE. Για να εξυπηρετηθούν οι χρήστες που χρησιμοποιούν εφαρμογές και υπηρεσίες μέσω των κινητών που είναι βασισμένα σε IP, οι RP-GW διασυνδέσεις, μέσω του CCR, με το διαδίκτυο και άλλα δίκτυα πακέτων δεδομένων. Η διαχειριστική οντότητα κινητικότητας (Mobility Management Entity - MME), ως σηματοδότης μόνο μία οντότητας, συνδέει το RS-GW στον κόμβο αρχικού συνδρομητή της βάσης δεδομένων (Home Subscriber Database - HSD).



Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια προτεινόμενη αρχιτεκτονική δικτύου 5G. Όλες οι κινητές εφαρμογές και υπηρεσίες που βασίζονται στο IP, όπως τα κινητά ως πύλες, τα κινητά ως εμπόριο, τα κινητά ως υγειονομική περίθαλψη, τα κινητά ως κυβέρνηση, τα mobile banking και άλλα, προσφέρονται μέσω των πόρων του Cloud Computing (CCR). Το CCR συνδέει τον αναδιαμορφώσιμο πυρήνα πολλαπλών τεχνολογιών (Reconfigurable Mul-

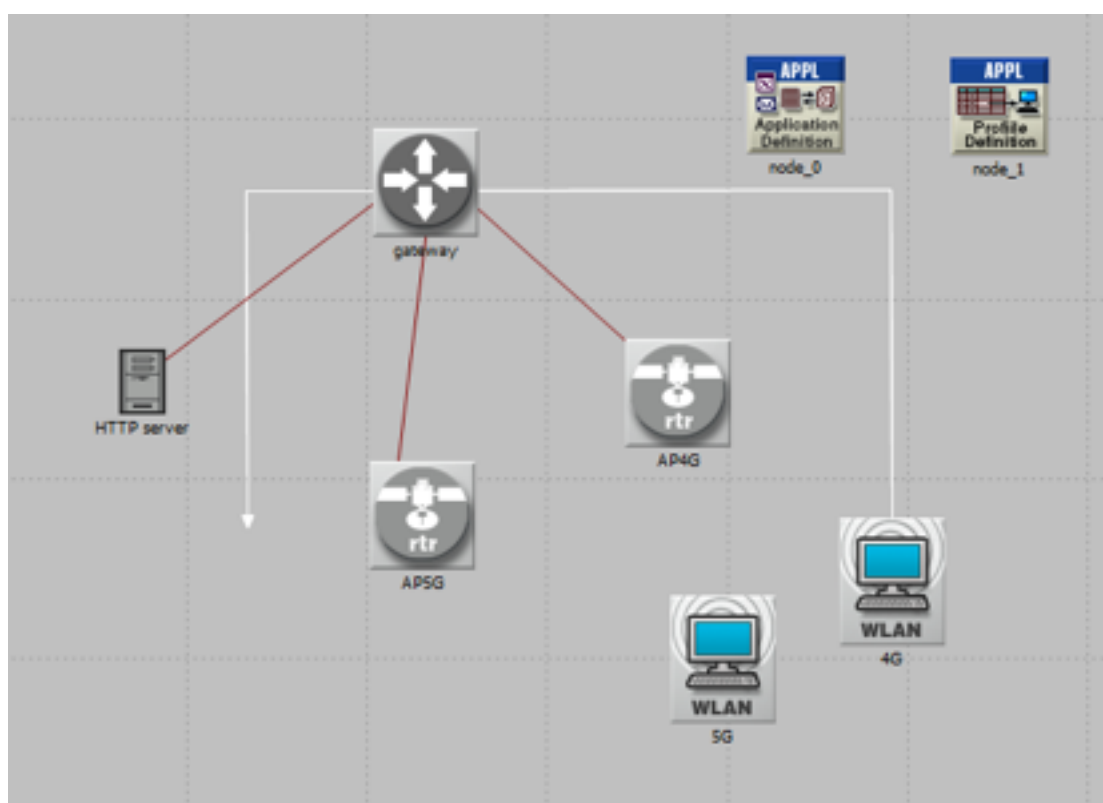
ti-Technology Core - RMTC) με απομακρυσμένα αναδιαμορφώσιμα δεδομένα από το RRD που συνδέονται με τα αναδιαμορφώσιμα μοντέλα δεδομένων (Reconfiguration Data Models - RDM). Το RMTC συνδέεται με διάφορες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης που κυμαίνονται από το 2G/GERAN σε 3G/UTRAN και 4G/EUTRAN μαζί με τα 802.11x WLAN και 802.16x WMAN. Άλλα πρότυπα, επίσης, ενεργοποιούνται όπως IS/95, EV-DO, CDMA2000, κλπ. Τα κριτήρια διαδικασίας της διαλειτουργικότητας και οι μηχανισμοί επιτρέπουν τόσο στο τερματικό όσο και στο RMTC να επιλέξουν από τα παραπάνω συστήματα ετερογενών πρόσβασης.



ΚΕΦ.8: Προσομοίωση στο Opnet

1. Σενάριο 1: Σύγκριση 4G με 5G Τεχνολογίες για Λήψη Εικόνας

Παρακάτω παρουσιάζεται το περιβάλλον που δημιουργήθηκε για την συγκεκριμένη προσομοίωση.

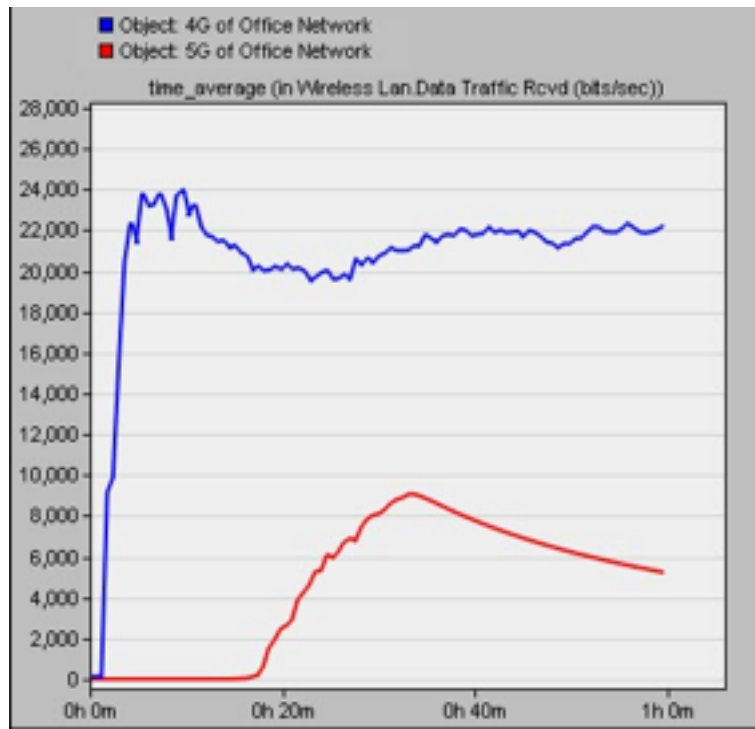


Τοπολογία

Πιο αναλυτικά, έχουμε έναν εξυπηρετητή στον οποίο γίνεται η αίτηση για την λήψη εικόνας, ο οποίος επικοινωνεί ενσύρματα με την πύλη στην οποία συνδέονται τα δύο σημεία πρόσβασης (access point). Με τα σημεία πρόσβασης επικοινωνούν αντίστοιχα οι συσκευές 4G και 5G. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε με σκοπό να ανατεθούν οι ταχύτητες, οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε μία τεχνολογία. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν τρέχοντας το σενάριο, το οποίο έχει ορισθεί να έχει διάρκεια μία ώρα.

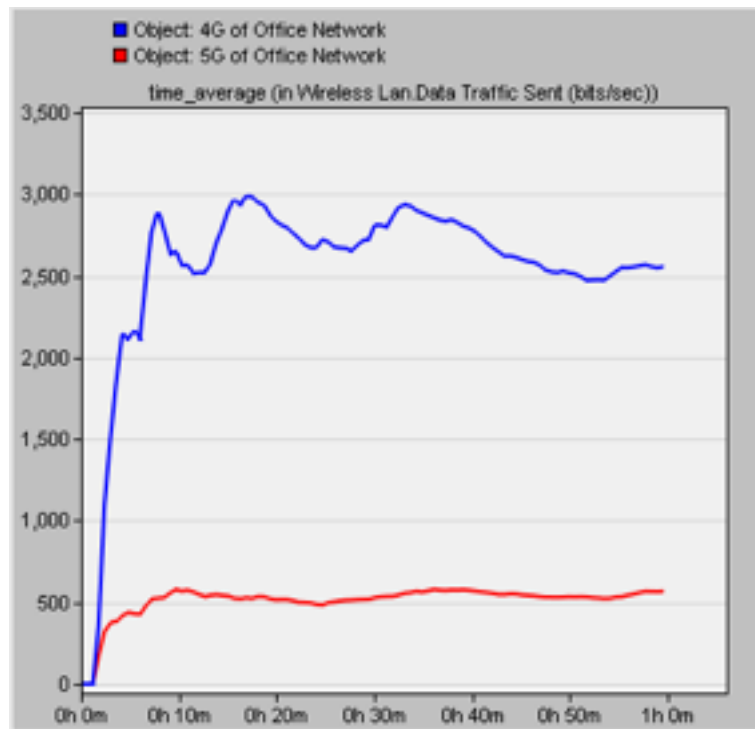
Αρχικά, παρουσιάζεται το διάγραμμα για την κυκλοφορία λήψης δεδομένων (data traffic received) και παρατηρείται ότι η τεχνολογία 5G λαμβάνει τα

ίδια δεδομένα με την τεχνολογία 4G «φορτώνοντας» λιγότερο το δίκτυο. Δηλαδή, είναι πιο αποτελεσματικό στο τομέα της συμφόρησης του δικτύου, που έχει σαν αποτέλεσμα πολλές φορές στην αργή απόκριση μιας σελίδας στο διαδίκτυο.



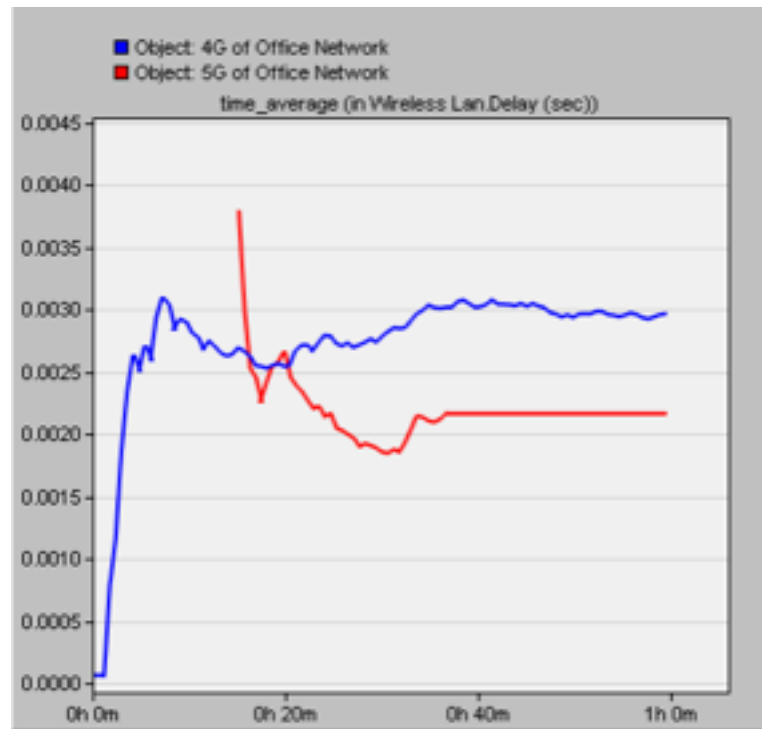
Διάγραμμα Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων

Το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρείται ότι υπάρχει και στην κυκλοφορία αποστολής δεδομένων (data traffic sent). Δηλαδή, παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία 5G θα μπορούσε να στείλει πιο γρήγορα κάποια αίτηση απ' ό,τι το 4G παραμένει σε χαμηλά επίπεδα για να αποφεύγεται η υπερφόρτωση του δικτύου. Το παρακάτω σχήμα αποτυπώνει το αποτέλεσμα, το οποίο μόλις περιεγράφηκε.



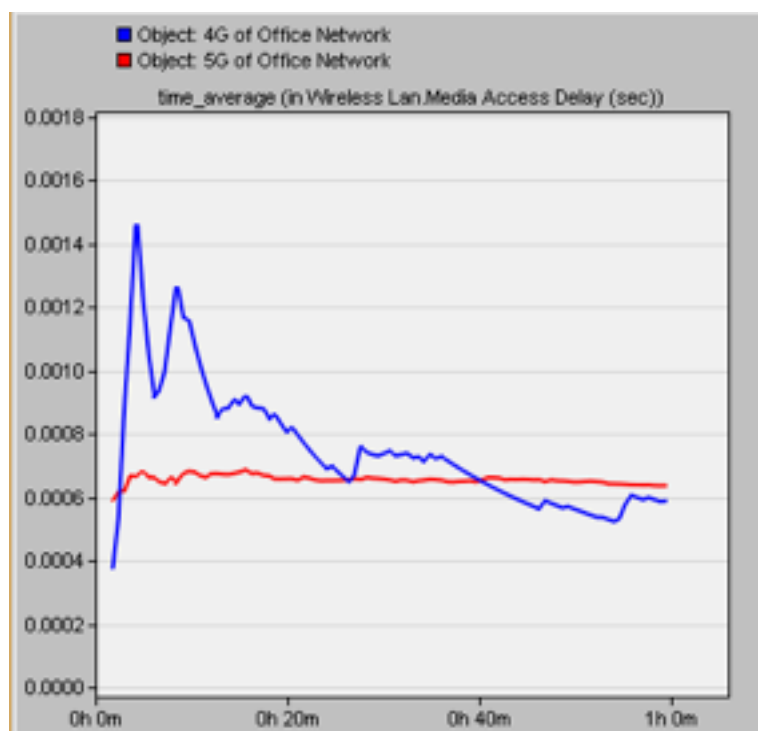
Διάγραμμα Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων

Παρατηρώντας, τα παραπάνω αποτελέσματα θα ήταν λογικό να εξάγει κάποιος το αποτέλεσμα ότι η καθυστέρηση που θα υπάρχει θα είναι μεγαλύτερη από τη μεριά του 5G σε σύγκριση με το 4G, ωστόσο λόγω του χαμηλού φόρτου που διατηρεί στο δίκτυο η καθυστέρηση είναι χαμηλή στο μεγαλύτερο διάστημα και υπάρχει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, δηλαδή δεν εκδηλώνεται εξ' αρχής. Σε αντίθεση με την προηγούμενη τεχνολογία που η καθυστέρηση στην αποστολή/λήψη δεδομένων ξεκινάει άμεσα και αυξάνεται μέχρι ένα σημείο όπου και παραμένει σταθερή μέχρι το τέλος.



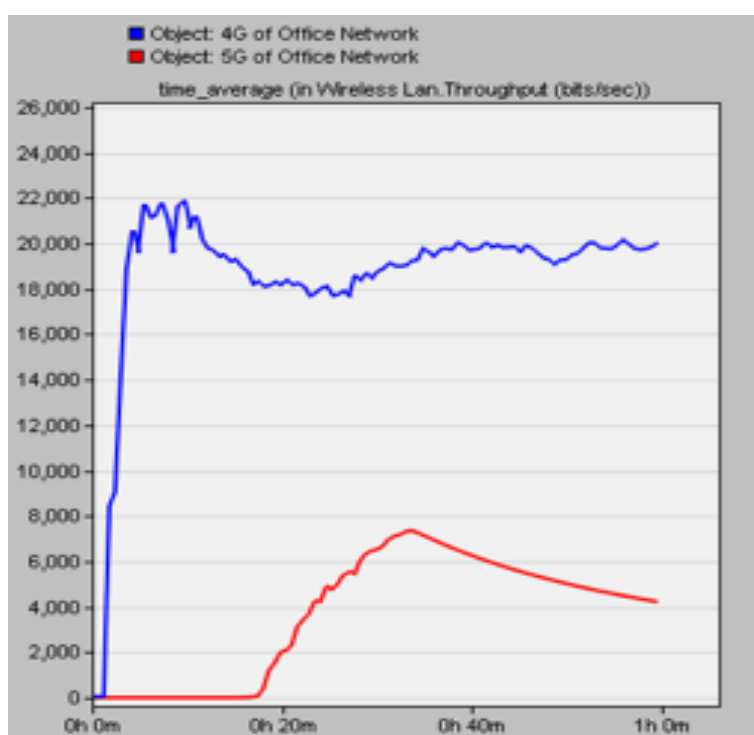
Διάγραμμα Καθυστερήσης

Επίσης, η καθυστέρηση που υπάρχει στην πρόσβαση προς τα media (media access delay), που στην προκειμένη περίπτωση είναι η περιήγηση σε εικόνες, είναι μεγαλύτερη στο δίκτυο 4G σε σχέση με το 5G, παρόλο που όπως προ αναφέρθηκε ο ρυθμός λήψης και αποστολής των δεδομένων φαίνεται να είναι πιο υψηλός στο δίκτυο 4G.



Διάγραμμα Καθυστερήσης Πρόσβασης στα

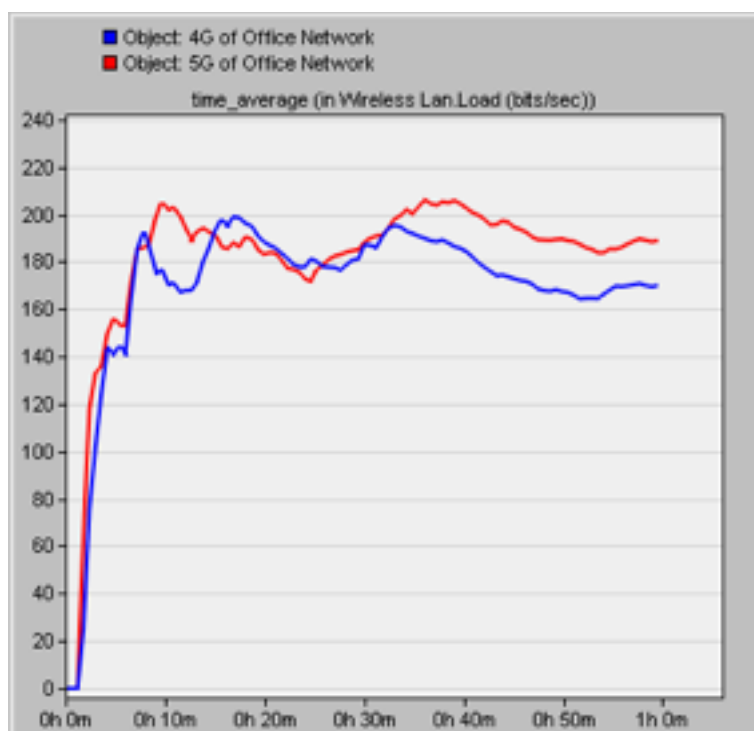
Η ρυθμαπόδοση (throughput), όπως είναι αναμενόμενο, θα είναι μεγαλύτερη στο δίκτυο 4G, καθώς η καθυστέρηση αλλά και η κυκλοφορία αποστολής δεδομένων είναι υψηλότερη. Παρατηρείται, λοιπόν, και βάση του παρακάτω διαγράμματος που δείχνει την ρυθμαπόδοση των δύο τεχνολογιών, ότι η τεχνολογία 4G φορτώνει το δίκτυο περισσότερο απ' ό,τι το 5G και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη καθυστέρηση στο συγκεκριμένο δίκτυο. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα θεωρείται λογικό διότι η τεχνολογία 5G κατασκευάζεται με σκοπό να δημιουργήσει έναν διαδικτυακό κόσμο που όλα θα γίνονται μέσω του διαδικτύου. Επομένως, προτιμάται το δίκτυο να μην είναι τόσο φορτωμένο όσο το 4G.



Διάγραμμα Ρυθμαπόδοσης

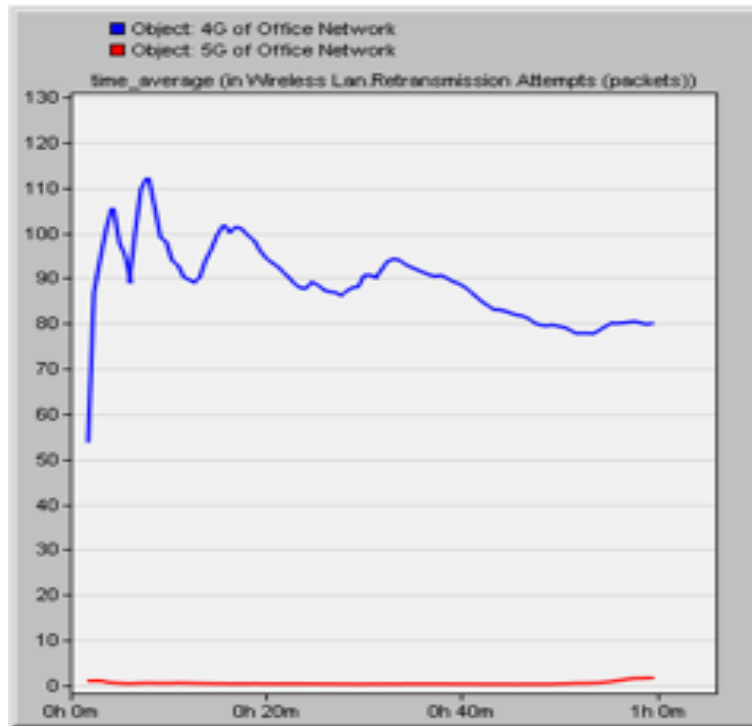
Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διαγραμμα, οι ταχύτητες όπου λειτουργεί το δίκτυο 5G στο συγκεκριμένο σενάριο είναι μεγαλύτερη από εκείνη του 4G. Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω η ταχύτητα που θα προσφέρει το 5G δίκτυο θα είναι υψηλότερες από εκείνες που ήδη προσφέρονται μέχρι σήμερα. Το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί και έναν από τους πυλώνες της συγκεκριμένης τεχνολογίας και σίγουρα είναι το στοιχείο που επικεντρώνει την προσοχή των περισσότερων ανθρώπων, είτε είναι άμεσα είτε έμμεσα ενδιαφερόμενοι. Με άλλα λόγια, η ταχύτητα του αναμενόμενου ασύρματου δικτύου αποτελεί μεγάλη πρόκληση επειδή στις τεχνολογίες που έχουν υπάρξει μέχρι σήμερα η απόκλιση των θεωρητικών ταχυτήτων που έχουν προβλεφθεί ότι αναμενόταν να έπιαναν τα ασύρματα δίκτυα δεν

ανταποκρίνονταν σε καμία περίπτωση με την πραγματικότητα. Για αυτό το λόγο, αυτή την φορά η ακριβέστερη προσέγγιση θα παίξει καθοριστικό ρόλο καθώς θα δημιουργηθούν εκ νέου εγκαταστάσεις για να υποστηρίξουν την καινούργια τεχνολογία.



Διάγραμμα Φόρτου Δικτύου

Ωστόσο, μια σημαντική και καθοριστική διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στα δύο δίκτυο στο συγκεκριμένο σενάριο και παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα του δικτύου είναι οι απόπειρες αναμετάδοσης (retransmission attempts). Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια της εκτέλεσης το δίκτυο 5G είχε πολύ μικρότερο ποσοστό αναμετάδοσης γεγονός που προδίδει ότι οι συσκευές ανταποκρίθηκαν πιο γρήγορα και δεν χρειάστηκε απόπειρα αναμετάδοσης του πακέτου. Αντίθετα στο 4G δίκτυο οι προσπάθειες αυξάνονται κατά την διάρκεια της εκτέλεσης αντί να μειώνονται γεγονός που σίγουρα δημιουργεί υπερφόρτωση του δικτύου. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η νέα τεχνολογία μπορεί να δώσει λύσεις στο πρόβλημα που υπάρχει σήμερα της υπερφόρτωσης του δικτύου, ενώ παράλληλα θα προσφέρει ταχύτερες και πιο αξιόπιστες υπηρεσίες στον τελικό χρήστη.

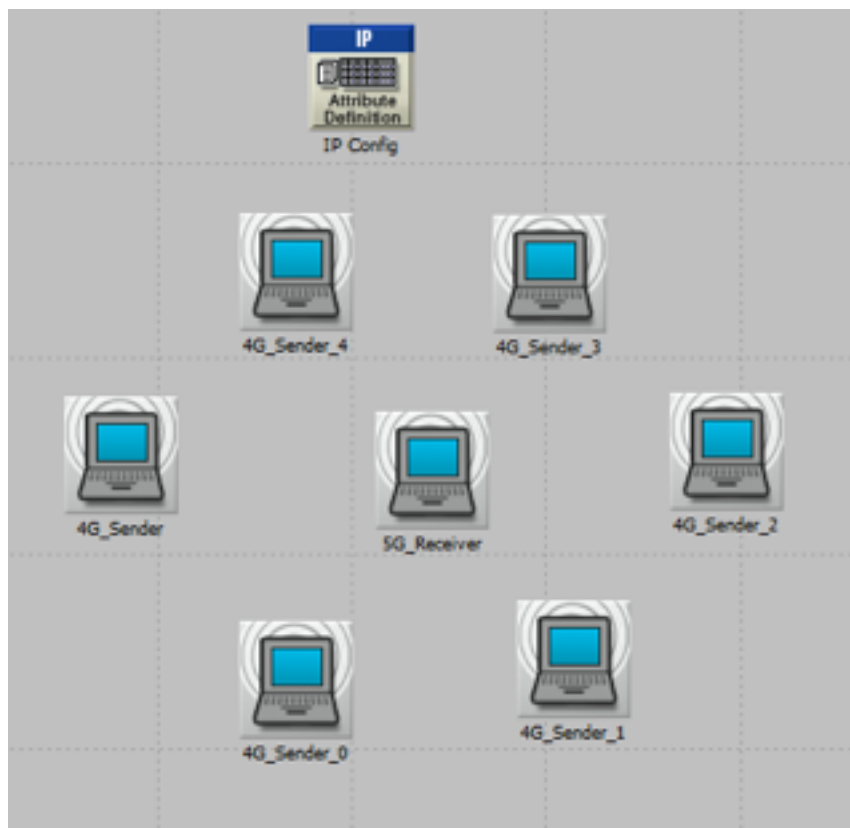


Διάγραμμα Απόπειρας Αναμετάδοσης

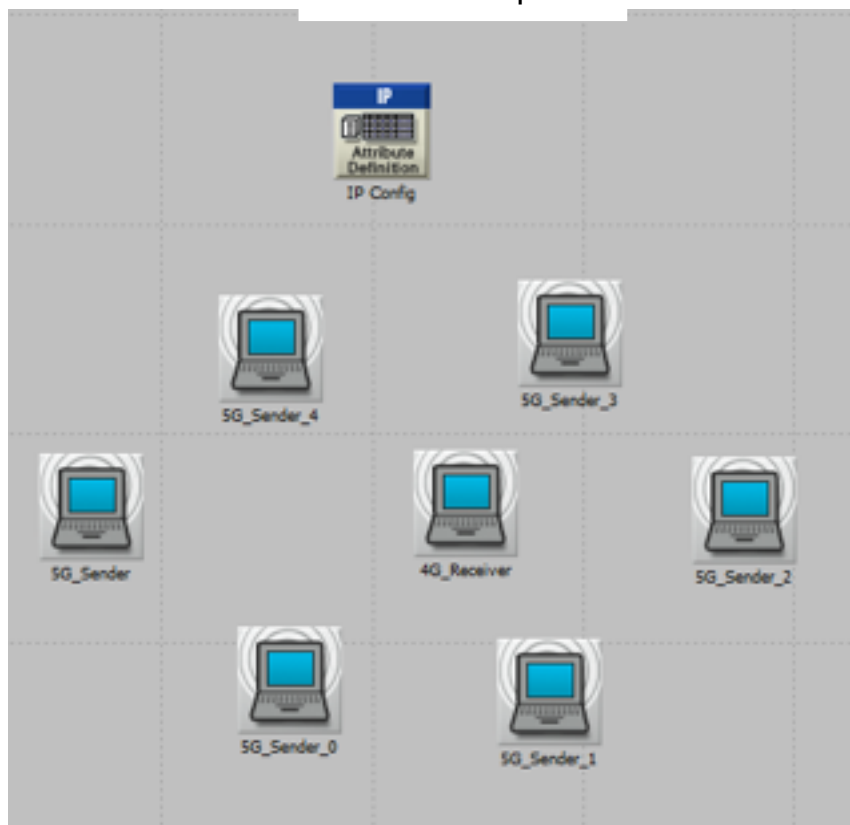
2. Σενάριο 2: Σύγκριση Λήψης και Αποστολής Δεδομένων Μεταξύ 4G και 5G Δικτύων με Εναλλαγή Ρόλων

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο περιβάλλοντα τα οποία δημιουργήθηκαν με κοινή λογική για την σύγκριση της λήψης και της αποστολής δεδομένων μεταξύ των 4G και 5G δικτύων. Το συγκεκριμένο σενάριο δημιουργήθηκε διότι η εμφάνιση και η αξιοποίηση της νέας τεχνολογίας, που αναμένεται να κυκλοφορήσει τα επόμενα χρόνια, δεν σηματοδοτεί την κατάργηση των τεχνολογιών που υπάρχουν ως σήμερα. Αντίθετα, η νέα τεχνολογία θα πρέπει να συνυπάρξει με τις προηγούμενες αξιοποιώντας παράλληλα και τις δυνατότητες τους.

Στην πρώτη τοπολογία παρουσιάζονται συσκευές 4G τεχνολογιών, όπου στέλνουν δεδομένα σε μία συσκευή που υποστηρίζει 5G τεχνολογία. Ενώ, στην δεύτερη τοπολογία παρουσιάζεται το αντίθετο, δηλαδή συσκευές που υποστηρίζουν 5G τεχνολογία στέλνουν δεδομένα σε συσκευή που υποστηρίζει 4G.



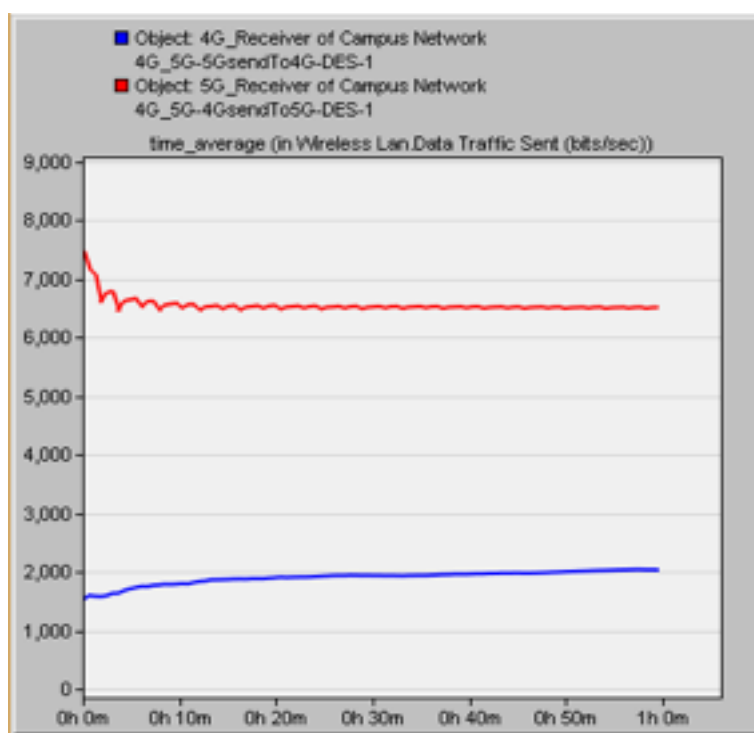
1^η τοπολογία



2^η τοπολογία

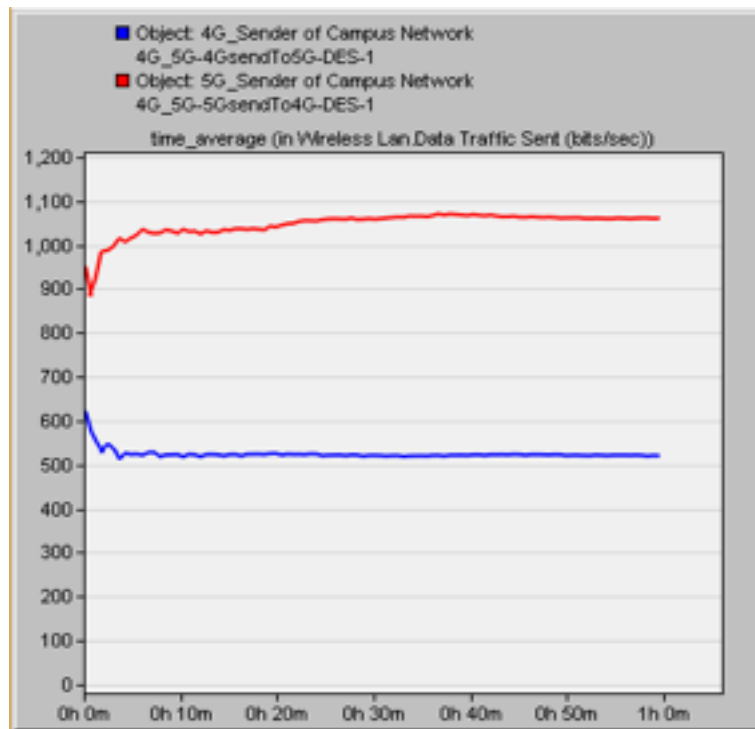
Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα, τα οποία εξήχθησαν κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου.

Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα, με βάση τον χρόνο, που δείχνει την κυκλοφορία των σταλμένων δεδομένων των δύο παραληπτών 4G και 5G. Παρατηρείται ότι με βάση τον χρόνο η τεχνολογία 5G φαίνεται ότι επικοινωνεί πιο γρήγορα με τις υπόλοιπες συσκευές, γεγονός το οποίο είναι αναμενόμενο αν συλλογιστεί κανείς την ταχύτητα την οποία προσφέρει όχι μόνο στην άνω αλλά και στην κάτω ζεύξη σε σύγκριση με την ταχύτητα που προσφέρει το 4G.



Διάγραμμα Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων
Παραληπτών

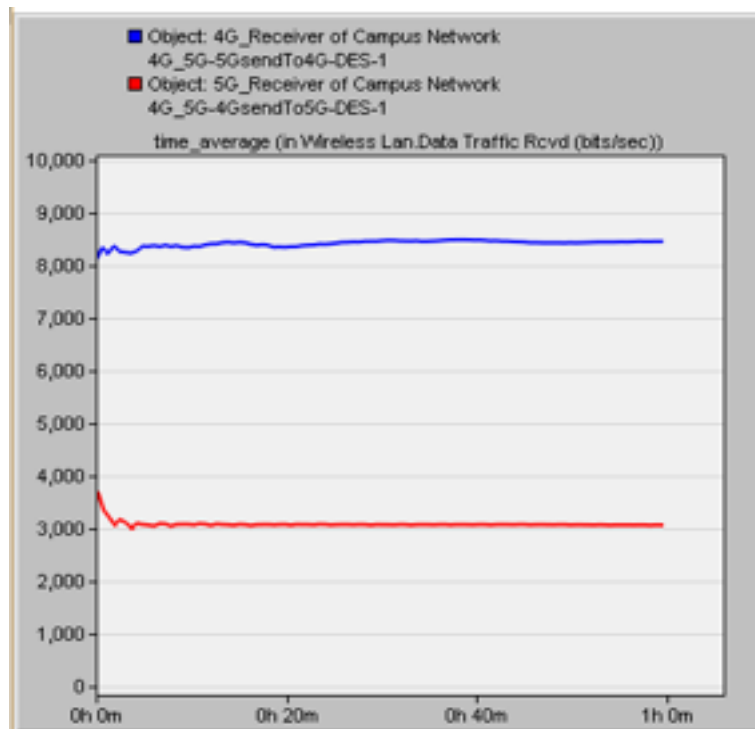
Επίσης, όσον αφορά τις συσκευές, που αποστέλλουν τα δεδομένα, θα περίμενε κανείς οι συσκευές που υποστηρίζουν 5G να είναι πιο γρήγορες στον τομέα της κυκλοφορίας των σταλμένων δεδομένων, γεγονός το οποίο όντως αντικατοπτρίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα. Παρατηρείται ότι με την πάροδο του χρόνου η ταχύτητα αυξάνεται στην τεχνολογία 5G ενώ στο 4G δίκτυο συμβαίνει το αντίθετο. Ωστόσο, πέρα από αυτό είναι φανερό ότι οι δύο τεχνολογίες έχουν μεγάλη διαφορά και κτά την έναρξη εκτέλεσης του σεναρίου.



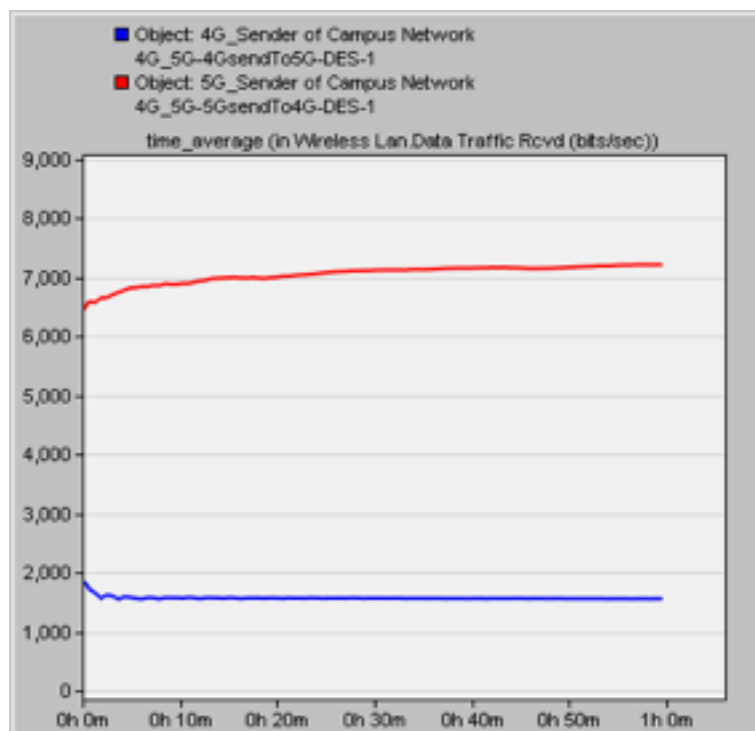
Διάγραμμα Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων
Αποσταλόντων

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα αποτελέσματα, στην κυκλοφορία λήψης δεδομένων, από τη μεριά των συσκευών που λαμβάνουν τα δεδομένα, το 4G φαίνεται ότι λαμβάνει πιο γρήγορα δεδομένα απ' ό,τι το 5G. Το αποτέλεσμα αυτό, το οποίο παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα, είναι λογικό καθώς οι τέταρτης γενιάς συσκευές αποστέλλουν τα δεδομένα με χαμηλότερο ρυθμό απ' ό,τι τα 5G και για αυτό το λόγο η λήψη καθυστερεί. Ενώ αντίθετα οι 5G συσκευές, όπως παρατηρήθηκε και παραπάνω στέλνουν τα δεδομένα με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Από την άλλη μεριά, ωστόσο, δηλαδή από την μεριά των συσκευών που στέλνουν τα δεδομένα η κυκλοφορία λήψης δεδομένων της τεχνολογίας 5G είναι πιο γρήγορη απ' ό,τι στο 4G. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα που στέλνεται από τον παραλήπτη λαμβάνεται πιο γρήγορα από τις 5G συσκευές, γεγονός που φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα και είναι λογικό. Η διαφορά που παρουσιάζουν οι δύο τεχνολογίες στην ταχύτητα είναι σημαντική και δεν αφορά μόνο την άνω αλλά και την κάτω ζεύξη. Παράλληλα, παρατηρείται ότι η ταχύτητα του δικτύου 5G κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου αυξάνεται σε αντίθεση με το 4G δίκτυο, ακριβώς όπως στην κυκλοφορία αποστολής δεδομένων.



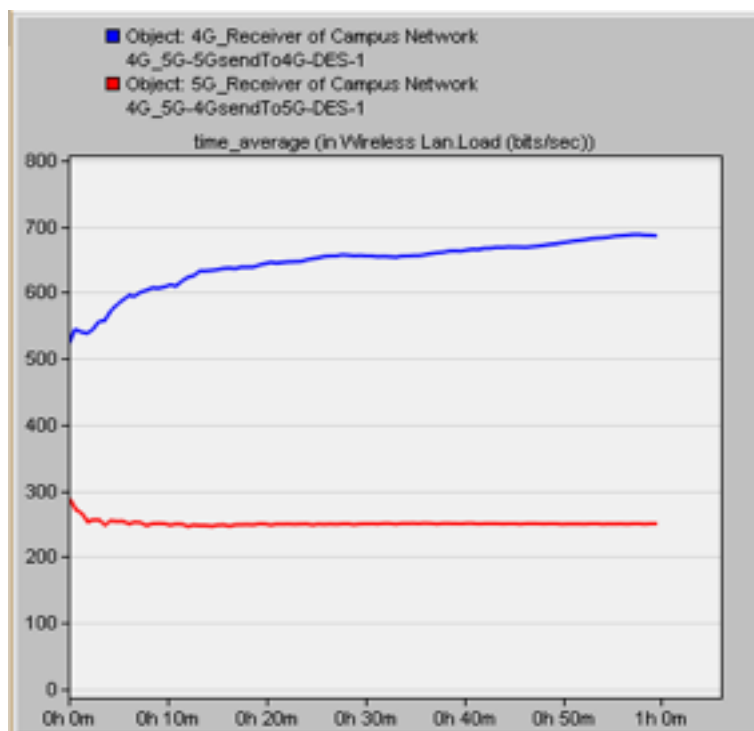
Διάγραμμα Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων
Παραληπτών



Διάγραμμα Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων
Αποσταλέντων

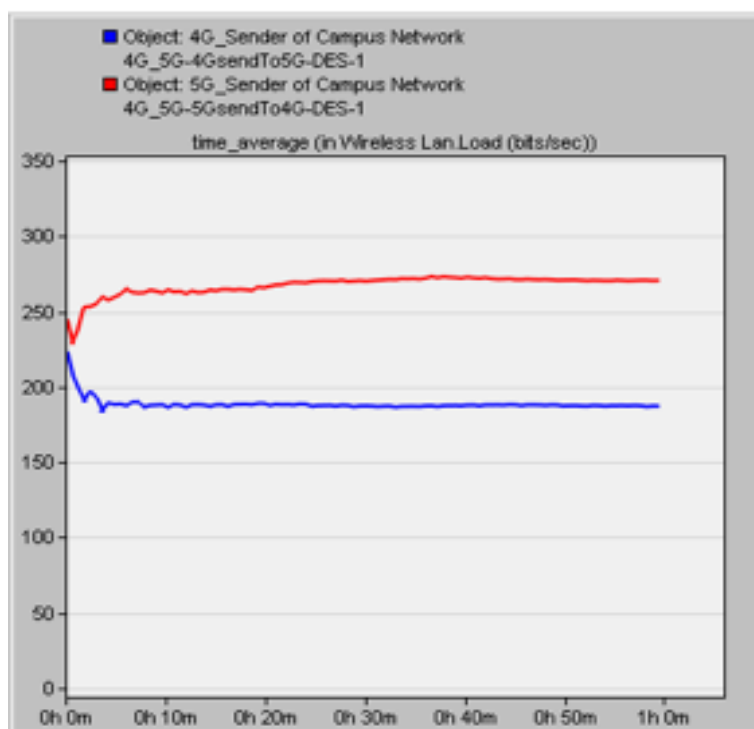
Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το φόρτο όπου δέχονται οι παραλήπτες του σεναρίου από τους αποστέλλοντες. Παρατηρείται, λοιπόν,

ότι όπως ήταν αναμενόμενο, το φόρτο που δέχεται ο παραλήπτης που υποστηρίζει το 4G δίκτυο είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό του 5G δικτύου, καθώς η τεχνολογία 4G δέχεται πακέτα από τεχνολογία πιο γρήγορη από εκείνη και είναι λογικό να φορτώνεται περισσότερο απ' ό,τι ο παραλήπτης που υποστηρίζει 5G. Επίσης, παρατηρείται ότι με την πάροδο του χρόνου το φόρτο που δέχεται το 4G αυξάνεται σε αντίθεση με το 5G.



Διάγραμμα Φόρτου Δικτύου Παραληπτών

Αντιθέτως με το προηγούμενο αποτέλεσμα, όσον αφορά το φόρτο που δέχεται η συσκευή στην περίπτωση που εναλλάσσονται οι ρόλοι, δηλαδή από παραλήπτες γίνονται αποστέλλοντες, τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά. Όπως ήταν αναμενόμενο το μεγαλύτερο φόρτο δικτύου στην περίπτωση που μελετάμε την δέχεται η νέα τεχνολογία. Αυτό συμβαίνει διότι οι αποστέλλοντες που υποστηρίζουν 5G δίκτυα στέλνουν σε συσκευή με 4G δίκτυο και είναι «αναγκασμένοι» να περιμένουν μέχρι να γίνει η λήψη του πακέτου από τον παραλήπτη. Επιπλέον, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, το φόρτο που δέχονται τα δύο δίκτυα δείχνουν να έχουν σχεδόν κοινό σημείο εκκίνησης, ωστόσο, στην περίπτωση που είναι αποδέκτης το 5G με την πάροδο του χρόνου δείχνει να έχει μία τάση μείωσης. Ενώ, στην περίπτωση που είναι παραλήπτης η συσκευή που υποστηρίζει το 4G δίκτυο δείχνει να έχει μια αυξητική τάση κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου.

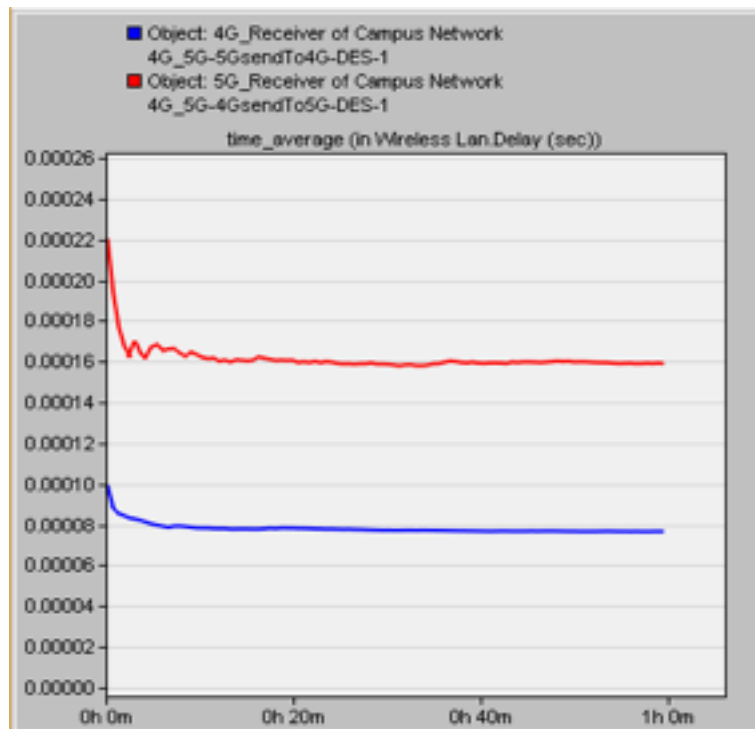


Διάγραμμα Φόρτου Δικτύου Αποσταλέντων

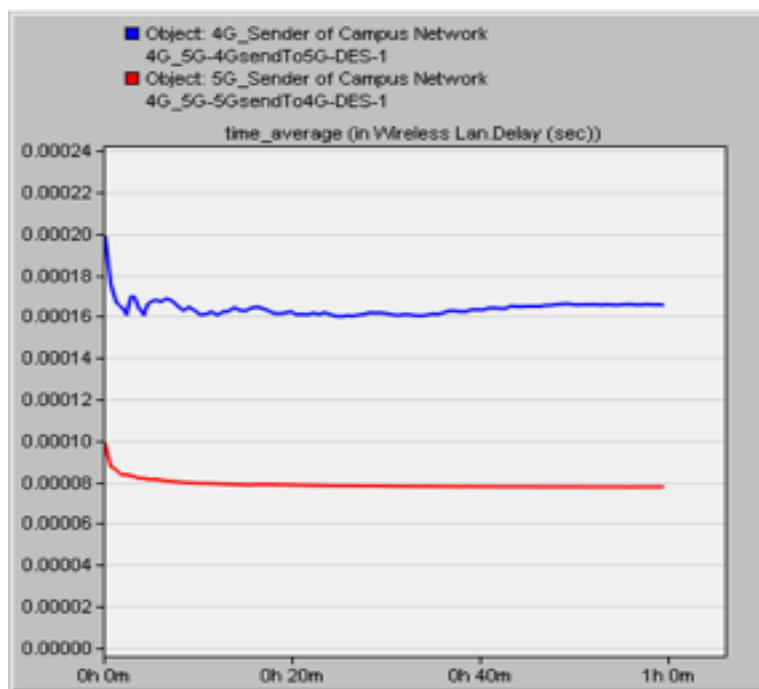
Αξιοσημείωτο γεγονός στο συγκεκριμένο σενάριο, αποτελεί η καθυστέρηση που σημειώνεται ανάμεσα στα δίκτυα. Παρατηρείται ότι, όταν ο παραλήπτης είναι εκείνος που υποστηρίζει το 5G δίκτυο, η καθυστέρηση είναι η μεγαλύτερη απ' ότι όταν ο παραλήπτης λειτουργεί με 4G δίκτυο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρόνος αποστολής των δεδομένων είναι πιο αργή όταν στέλνονται από τις 4G συσκευές. Σε αντίθεση με το όταν η 4G συσκευή είναι παραλήπτης όπου τα πακέτα στέλνονται πιο γρήγορα και λογικό είναι η καθυστέρηση από την μεριά του παραλήπτη να είναι μικρότερη. Παρ' όλα αυτά, στο διάγραμμα παρακάτω παρατηρείται ότι η καθυστέρηση κατά την εκτέλεση μειώνεται σημαντικά όταν ο αποδέκτης είναι η 5G συσκευή σε σχέση με το όταν είναι αποδέκτης η 4G συσκευή, όπου και πάλι μειώνεται η καθυστέρηση αλλά όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό.

Αντιθέτως, όταν μελετάται η καθυστέρηση από την μεριά των αποσταλέντων, τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά. Δηλαδή, παρατηρείται ότι το φόρτο του δικτύου αυτή τη φορά μεταφέρεται στις 4G συσκευές. Το γεγονός αυτό θεωρείται λογικό γιατί οι συσκευές 4G προσφέρουν πιο χαμηλή ταχύτητα από ότι οι συσκευές που υποστηρίζουν το 5G δίκτυο. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται ότι και στις δύο περιπτώσεις η καθυστέρηση με την πάροδο του χρόνου μειώνεται. Ωστόσο, η μείωση της καθυστέρησης είναι πιο εμφανής στις 4G συσκευές απ' ότι στις 5G. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό καθώς κατά την διάρκεια της λήψης δεδομένων, επειδή οι 4G συσκευές στέλνουν σε 5G, στέλνουν δεδομένα σε μία ταχύτερη συσκευή.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο παρακάτω διαγραμμάτων γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η συνολική καθυστέρηση προέρχεται από το 4G δίκτυο και αυτός είναι, ίσως και ο πιο σημαντικός λόγος, ο οποίος συμβάλλει συνολικά και στο φόρτο που προκαλείται στο δίκτυο. Για την αποτελεσματικότερη απόδοση του δικτύου, θα πρέπει το 4G δίκτυο να λειτουργήσει σε υψηλότερα πραγματικά επίπεδα, γιατί εν δυνάμει είναι ικανό να φτάσει σε ταχύτητες θεωρητικού επιπέδου έως 600 Mbps.

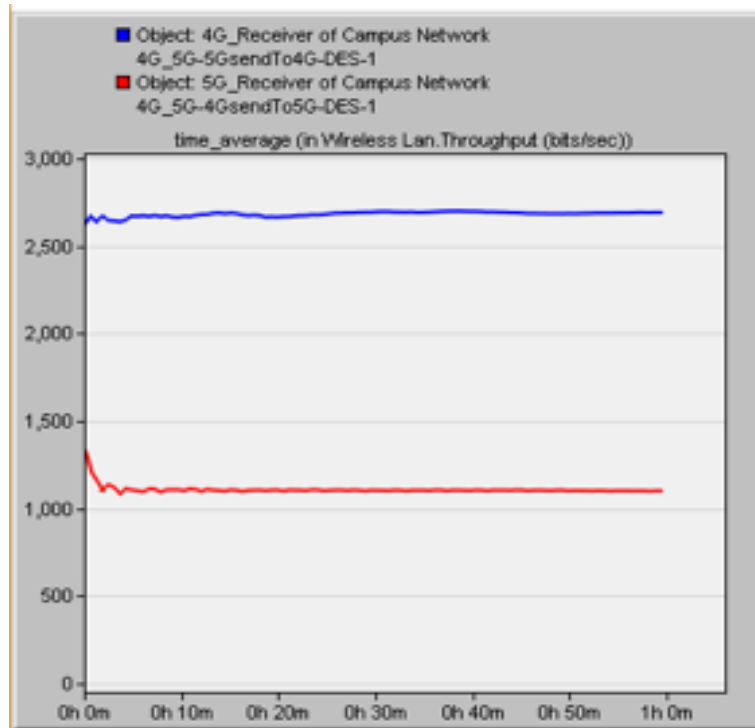


Διάγραμμα Καθυστέρησης Παραληπτών



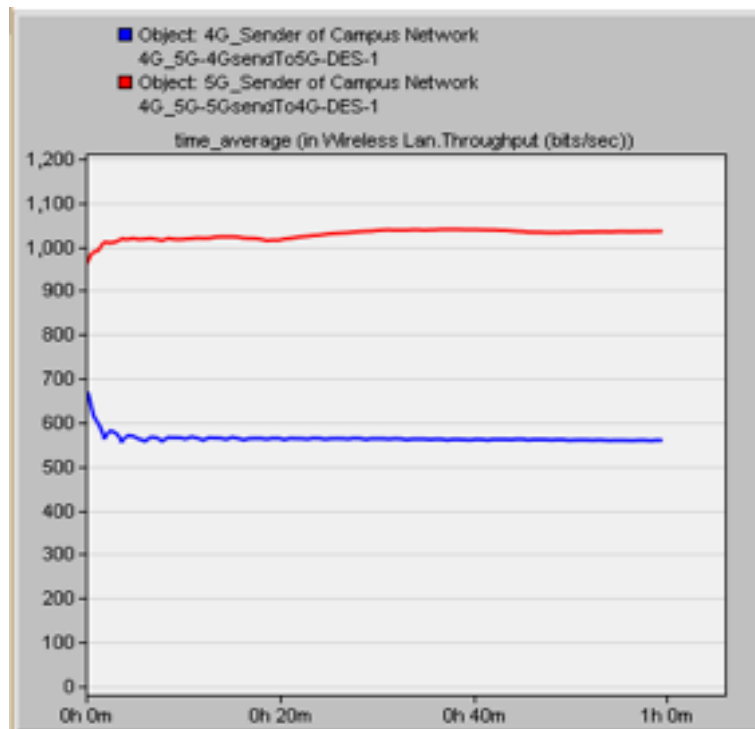
Διάγραμμα Καθυστερήσης Αποσταλέντων

Τα αποτελέσματα της ρυθμαπόδοσης (throughput), από την μεριά των παραληπτών, παρουσιάζουν, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Πιο αναλυτικά, η ρυθμαπόδοση της συσκευής που υποστηρίζει 4G δίκτυο δείχνει να είναι μεγαλύτερη κατά την λήψη των δεδομένων σε σύγκριση με την ρυθμαπόδοση της συσκευής που υποστηρίζει 5G δίκτυο. Το αποτέλεσμα αυτό, μπορεί να θεωρηθεί λογικό διότι τα δεδομένα, τα οποία λαμβάνει η 4G συσκευή προέρχονται από συσκευές 5G δικτύου. Άρα, είναι λογικό να πρέπει να λαμβάνει πιο γρήγορα τα δεδομένα. Από την άλλη μεριά, τα αποτελέσματα διαφέρουν όταν η συσκευή 5G δέχεται τα δεδομένα. Είναι λογικό η ρυθμαπόδοση να είναι χαμηλότερη, καθώς τα δεδομένα στέλνονται από 4G συσκευές, οι οποίες είναι πιο αργές. Άρα η συνολική ρυθμαπόδοση της συσκευής 5G δεν χρειάζεται να είναι μεγάλη, γεγονός που ωφελεί και στην αποφυγή της φόρτωσης του δικτύου. Επίσης, στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται ότι η ρυθμαπόδοση της 4G συσκευής αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου προκειμένου να ανταποκριθεί στην μαζική αποστολή των δεδομένων, σε αντίθεση με τη 5G συσκευή που κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου η ρυθμαπόδοση μειώνεται και αυτό όπως προαναφέρθηκε οφείλεται στο γεγονός ότι δεν χρειάζεται να αυξήσει την απόδοση του, εφόσον ανταποκρίνεται αποτελεσματικά ακόμα και με την συγκεκριμένη απόδοση. Όπως έχει αναφερθεί το 5G δίκτυο θα πρέπει να προσαρμόζεται, έτσι ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτωση του δικτύου, και το συγκεκριμένο αποτέλεσμα δείχνει πως στη συγκεκριμένη περίπτωση το δίκτυο ανταποκρίθηκε ορθά.



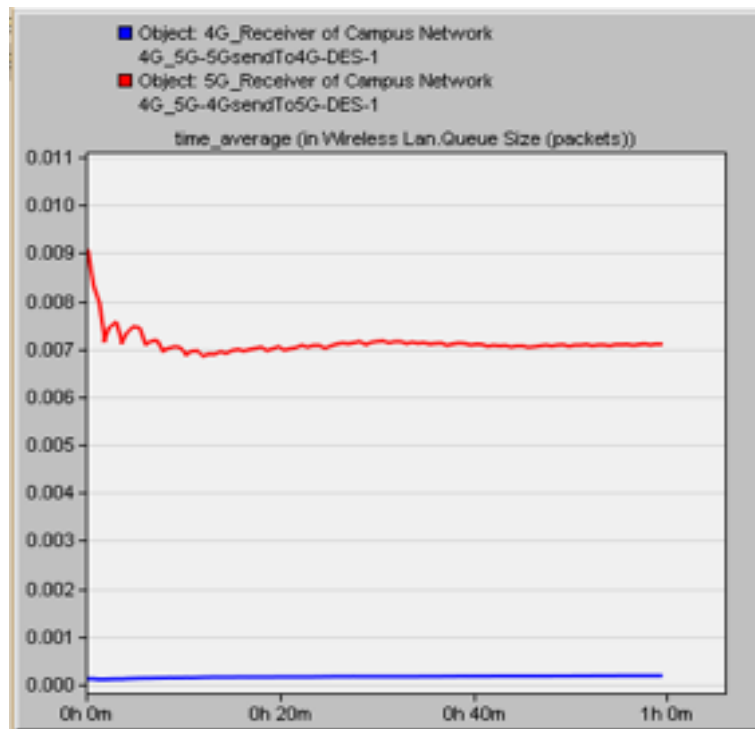
Διάγραμμα Ρυθμαπόδοσης Παραληπτών

Κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου, μελετώντας την ρυθμαπόδοση από την μεριά των αποσταλέντων, παρατηρείται ότι οι 5G συσκευές έχουν υψηλότερη απόδοση από τις 4G συσκευές. Στο αποτέλεσμα αυτό συμβάλει σίγουρα η ταχύτητα που είναι υψηλότερη αλλά και το φόρτο, το οποίο δέχεται το δίκτυο, όπου είναι χαμηλότερο όπως είδαμε και προηγουμένως. Επιπλέον, παρατηρείται ότι με την πάροδο του χρόνου η ρυθμαπόδοση στις 5G συσκευές αυξάνεται σε αντίθεση με τις 4G συσκευές που μειώνεται, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα Ρυθμαπόδοσης Αποσταλέντων

Αξιοσημείωτο αποτέλεσμα αποτελεί επίσης από την μεριά των παραληπτών το μέγεθος της ουράς το οποίο δημιουργείται κατά την διάρκεια του σεναρίου. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι στη 5G συσκευή, που λειτουργεί ως παραλήπτης στην προκειμένη περίπτωση, δημιουργείται μεγαλύτερη ουρά κατά την διάρκεια λήψης των πακέτων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι αποσταλέντες καθυστερούν να στείλουν τα πακέτα με αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλότερη φόρτωση στο δίκτυο και για αυτό το λόγο να δημιουργείται και η συγκεκριμένη ουρά. Από την άλλη μεριά, η 4G συσκευή το μέγεθος της ουράς είναι πολύ κοντά στο μηδέν και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή της φόρτωσης του δικτύου, το οποίο είναι και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου παρατηρείται ότι το μέγεθος της ουράς της 5G συσκευής μειώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε αντίθεση με την ουρά της 4G συσκευής, που ναι μεν είναι πολύ χαμηλή, αλλά με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζει μια ελαφρώς ανοδική τάση, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.

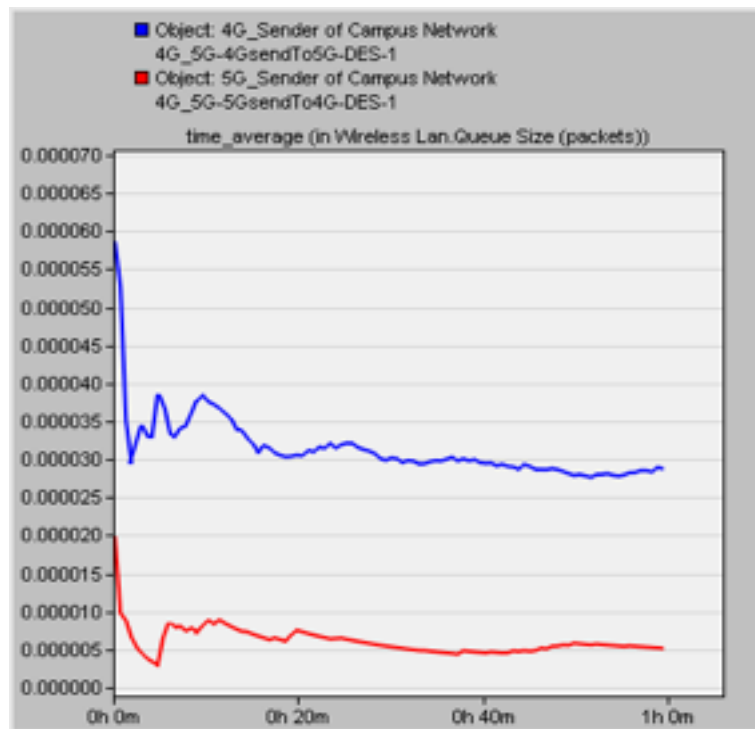


Διάγραμμα Μεγέθους Ουράς Παραληπτών

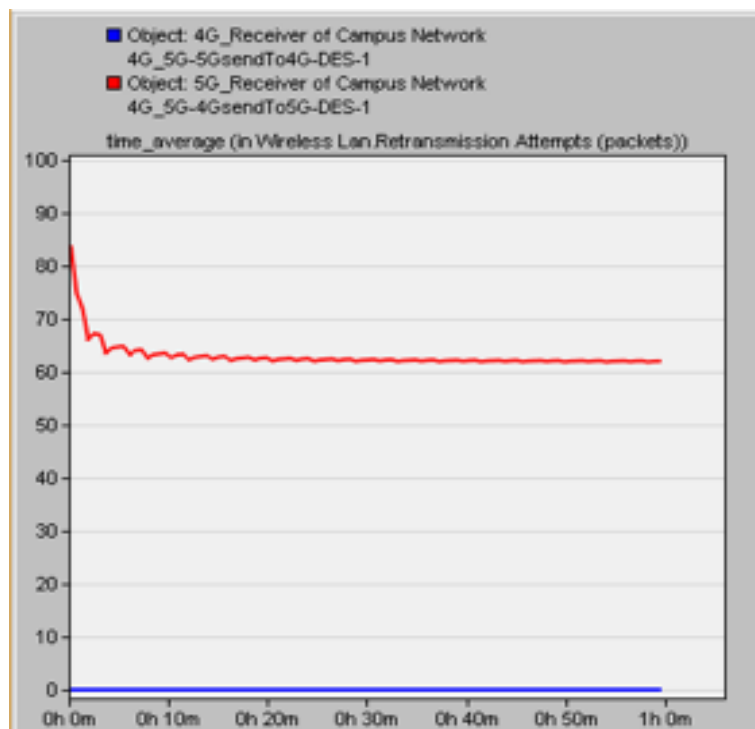
Αντίθετο με το προηγούμενο αποτέλεσμα είναι η ουρά που δημιουργείται από την σκοπιά των αποσταλέντων. Δηλαδή, όταν οι 4G συσκευές στέλνουν τα δεδομένα παρατηρείται ότι η ουρά που δημιουργείται είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τις 5G συσκευές. Το αποτέλεσμα αυτό, συνοψίζοντας παράλληλα και όλα όσα έχουν ειπωθεί μέχρι στιγμής, είναι απόλυτα λογικό καθώς η ουρά που δημιουργείται δεν επηρεάζεται μόνο από τις ταχύτητες άνω και κάτω ζεύξης αλλά και από άλλα δρώμενα, όπως το φόρτο που δημιουργείται στο δίκτυο κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου. Επίσης, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα και οι δύο τεχνολογίες δείχνουν να έχουν τρομερή μείωση με την πάροδο του χρόνου, ωστόσο, στο τέλος οι 5G συσκευές δείχνουν να συνεχίζουν την καθοδική τάση σε αντίθεση με τις 4G που δείχνουν να έχουν μια ελαφρώς εκ νέου ανοδική.

Τέλος, μελετώντας τις απόπειρες αναμετάδοσης των δύο τεχνολογιών παρατηρείται ότι η 5G συσκευή κάνει πολύ περισσότερες προσπάθειες αναμετάδοσης του σήματος στους αποσταλέντες σε αντίθεση με την 4G συσκευή όπου οι απόπειρες αναμετάδοσης είναι ίσες με μηδέν. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι 4G συσκευές όπου στέλνουν στην 5G δεν ανταποκρίνονται άμεσα στην προσπάθεια που κάνει ο παραλήπτης να επικοινωνήσει μαζί τους, είτε για την λήψη νέου πακέτου είτε για την επικύρωση παραλαβής του πακέτου. Αντιθέτως, στην 4G συσκευή οι αποσταλέντες που είναι 5G συσκευές ανταποκρίνονται άμεσα με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται προσπάθεια αναμετάδοσης. Ωστόσο, κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα,

παρατηρείται ότι οι απόπειρες αναμετάδοσης της 5G συσκευής μειώνονται σημαντικά ενώ της 4G συσκευής παραμένουν σταθερές στο μηδέν.



Διάγραμμα Μεγέθους Ουράς Αποσταλόντων



Διάγραμμα Προσπαθειών Αναμετάδοσης

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου, μελετώντας αμφότερα και τις δύο τεχνολογίες τόσο από την σκοπιά των παραληπτών όσο και από την σκοπιά των αποσταλέντων, μπορεί να καταλάβει κανείς ότι τα δύο δίκτυο μπορούν εύκολα να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Ωστόσο, λόγω των διαφορετικών προδιαγραφών που έχουν είναι λογικό ανάλογα με τις τεχνολογίες που υποστηρίζουν οι συσκευές να υπάρχουν πολλές φορές αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά.

3. Σενάριο 3: Σύγκριση Λήψης και Αποστολής Δεδομένων Μεταξύ 4G και 5G Δικτύων

Παρακάτω παρουσιάζεται τα περιβάλλοντα, στα οποία χωρίστηκαν τα δύο σενάρια, που δημιουργήθηκαν για την συγκεκριμένη προσομοίωση. Στο πρώτο σενάριο παρατηρείτε πλήθος 4G συσκευών όπου στέλνουν δεδομένα σε μία άλλη 4G συσκευή (Τοπολογία 1). Στο δεύτερο σενάριο, επίσης, παρατηρείται πλήθος 5G συσκευών οι οποίες στέλνουν δεδομένα έχοντας ως αποδέκτη μία άλλη 5G συσκευή (Τοπολογία 2).

Έπειτα θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν ένα - ένα τα σημαντικότερα αποτελέσματα που εξήχθησαν εκτελώντας τα δύο αυτά σενάρια.



Τοπολογία 1

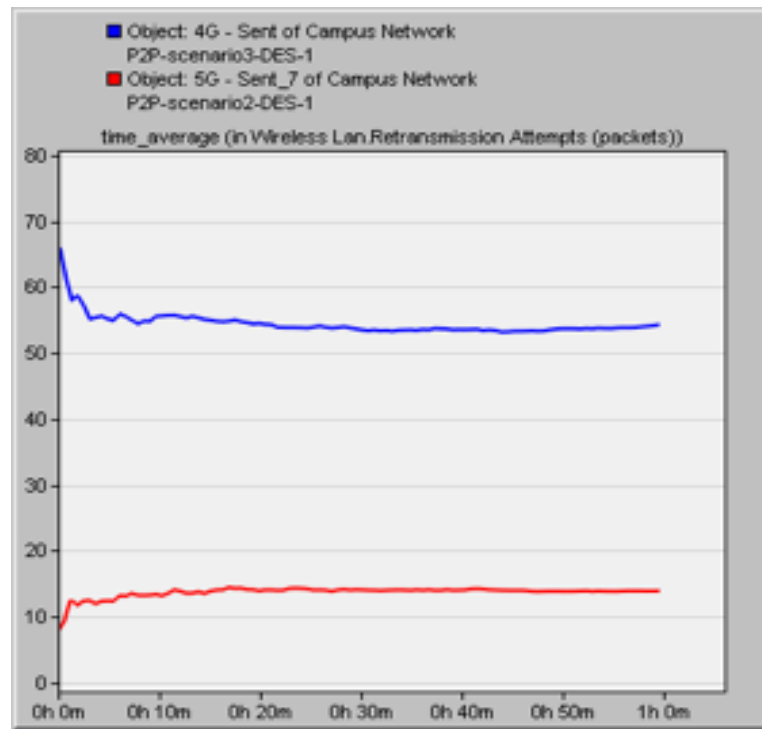


Τοπολογία 2

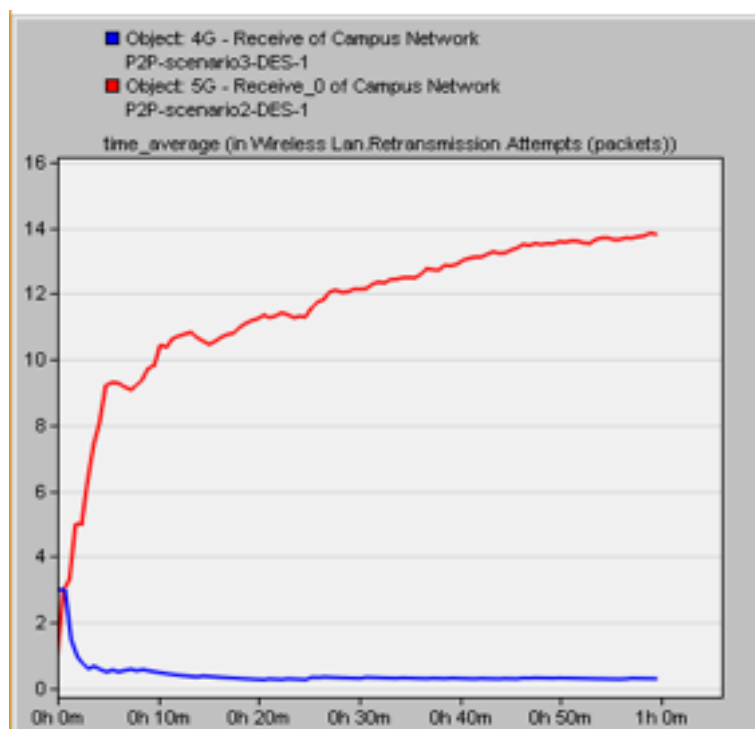
Το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται, αφορά τις προσπάθειες αναμετάδοσης που γίνονται και στις δύο περιπτώσεις από την μεριά των αποστολλόντων. Παρατηρείται ότι οι προσπάθειες αναμετάδοσης που γίνονται σε σχέση με τον χρόνο των 5G συσκευών είναι πολύ λιγότερες σε σχέση με αυτές που γίνονται στις 4G συσκευές. Ο 5G παραλήπτης είναι λογικό να ανταποκρίνεται πιο γρήγορα σε σχέση με τον 4G παραλήπτη και για αυτό το λόγο ξαναγίνονται προσπάθειες αναμετάδοσης. Ωστόσο, κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου οι 4G αποστέλλοντες έχουν μια αισθητή καθοδική τάση σε αντίθεση με τους 5G, οι οποίοι παρουσιάζουν μια ελαφρώς ανοδική τάση δίχως, όμως, να δημιουργούν προβλήματα στο δίκτυο.

Σε αντίθεση με το προηγούμενο αποτέλεσμα, οι προσπάθειες αναμετάδοσης από την σκοπιά των παραληπτών διαφέρουν. Δηλαδή, οι προσπάθειες αναμετάδοσης της 5G συσκευής είναι περισσότερες από τη 4G συσκευή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι προσπάθειες αναμετάδοσης της 4G συσκευής ξεκινούν από πιο υψηλό σημείο σε σχέση με τη 5G συσκευή, αλλά με την πάροδο του χρόνου δείχνουν μια ιδιαίτερα έντονη ανοδική τάση σε αντίθεση με την 4G συσκευή όπου έχει μια καθοδική τάση μέχρι το τέλος όπου πλησιάζει και πολύ κοντά στο μηδέν.

Τα δύο αποτελέσματα που μόλις περιεγράφηκαν παρουσιάζονται και διαγραμματικά παρακάτω.



Διάγραμμα Προσπαθειών Αναμετάδοσης Αποσταλέντων



Διάγραμμα Προσπαθειών Αναμετάδοσης Παραληπτών

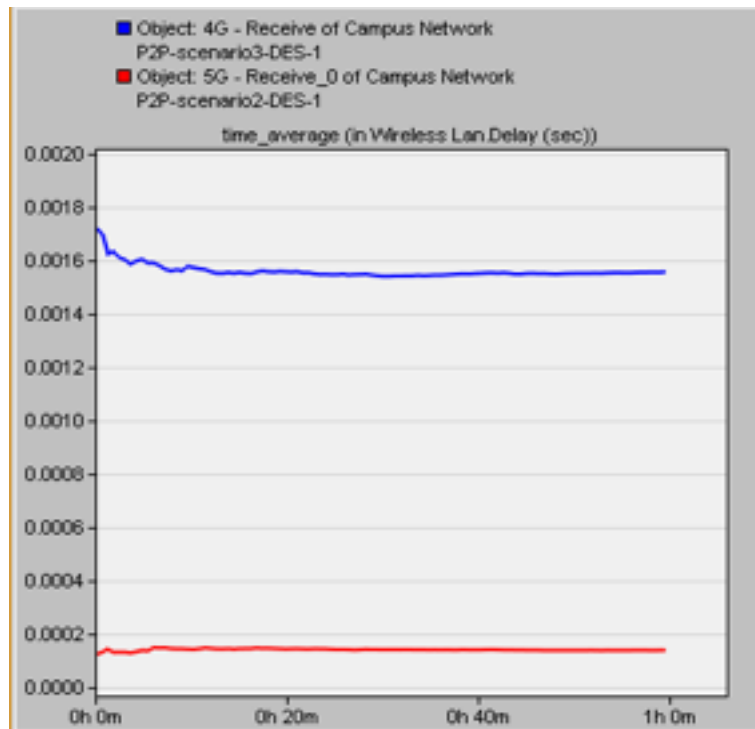
Η καθυστέρηση από την μεριά των παραληπτών αλλά και από την μεριά των αποσταλόντων, τα διαγράμματα των οποίων παρουσιάζονται στην συνέχεια, έχουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Πιο αναλυτικά, η καθυστέρηση που παρατηρείται στον 4G παραλήπτη είναι πολύ υψηλότερη σε σχέση με τον 5G παραλήπτη. Το αποτέλεσμα είναι λογικό καθώς η ταχύτητα που προσφέρεται στις δύο τεχνολογίες είναι διαφορετική. Η καθυστέρηση που παρατηρείται στον 4G παραλήπτη, με την πάροδο του χρόνου, δείχνει να έχει μια καθοδική τάση ενώ στον 5G παραλήπτη η καθυστέρηση δείχνει να είναι σταθερή.

Από την σκοπιά των αποσταλόντων το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με αυτό που μόλις περιεγράφηκε. Δηλαδή, η καθυστέρηση στις 4G συσκευές είναι μεγαλύτερη, ωστόσο, κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου οι 4G συσκευές η μείωση της καθυστέρησης είναι πιο αισθητή σε σχέση με τη μείωση που παρατηρείται στις 5G. Παρ' όλα αυτά, η καθυστέρηση του δικτύου μέχρι και το πέρας του σεναρίου είναι υψηλότερο στις 4G συσκευές.

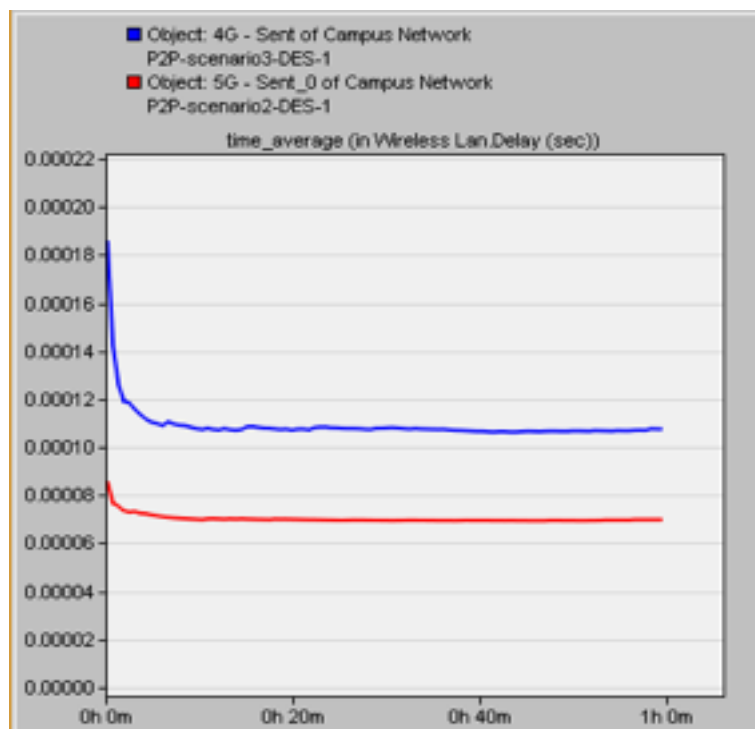
Παράλληλα, με την καθυστέρηση που παρατηρείται στα δίκτυα καλό θα ήταν να μελετηθεί και το φόρτο το οποίο ασκείται σε αυτό, ο οποίος είναι και ο βασικός λόγος δημιουργίας καθυστέρησης στο δίκτυο. Όπως παρατηρείται και στα παρακάτω διαγράμματα, από την μεριά των παραληπτών το φόρτο που δέχεται το δίκτυο είναι υψηλότερο στο 5G δίκτυο. Αποτέλεσμα το οποίο μπορεί να θεωρηθεί λογικό λόγο των ταχυτήτων που προσφέρονται στο δίκτυο. Ωστόσο, παρά το φόρτο που δέχεται το δίκτυο η καθυστέρηση είναι σε χαμηλά επίπεδα και το δίκτυο παραμένει αποτελεσματικό.

Από την σκοπιά, όμως, των αποσταλόντων τα αποτελέσματα διαφέρουν όσον αφορά το φόρτο του δικτύου. Δηλαδή, οι 5G συσκευές δεν δημιουργούν υψηλό φόρτο στο δίκτυο σε αντίθεση με τις 4G όπου δημιουργούν σχεδόν το οχταπλάσιο φόρτο σε σύγκριση με το άλλο δίκτυο. Γίνεται, εύκολα αντιληπτό με αυτό τον τρόπο γιατί η καθυστέρηση στις 4G συσκευές είναι τόσο υψηλή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το φόρτο που δημιουργείτε στο 4G δίκτυο μειώνεται αισθητά κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου, σε αντίθεση με το 5G δίκτυο το οποίο έχει μία ελαφρώς αύξηση του φόρτου του δικτύου μέχρι που σταθεροποιείται και παραμένει σταθερό μέχρι το πέρας της εκτέλεσης.

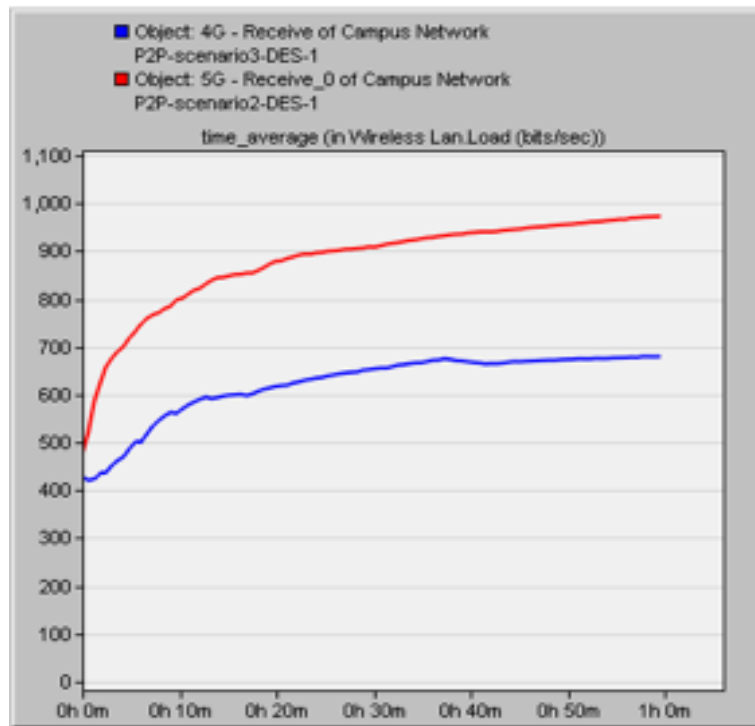
Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα αυτά από την μεριά των παραληπτών και των αποσταλόντων, συμπεραίνεται ότι τα δύο δίκτυα έχουν μεγάλη απόκλιση στο κομμάτι της καθυστέρησης και της εξυπηρέτησης των τελικών χρηστών. Το δίκτυο 5G δείχνει ικανό να εξυπηρετεί ακόμα μεγαλύτερο πλήθος συσκευών, με χαμηλότερη καθυστέρηση και αυτό είναι βασικός πυλώνας ο οποίος μπορεί να οδηγήσει στην συνεχόμενη μείωση του φόρτου του δικτύου.



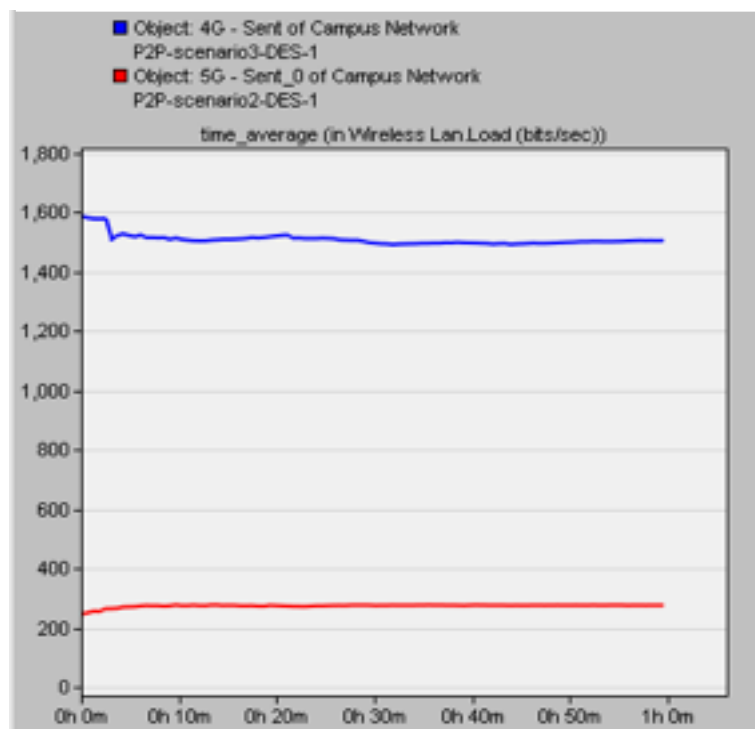
Διάγραμμα Καθυστέρησης Παραληπτών



Διάγραμμα Καθυστέρησης Αποσταλέντων



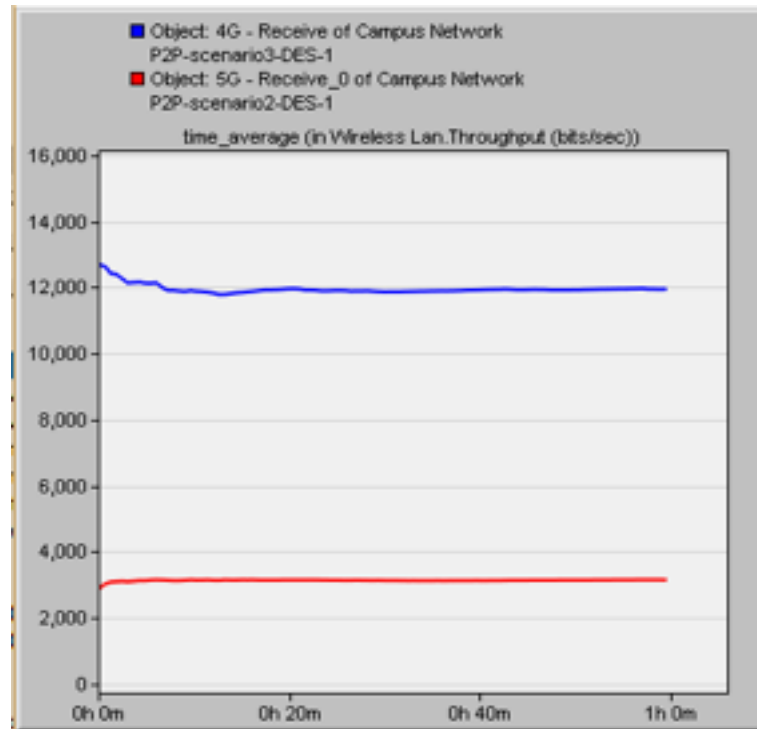
Διάγραμμα Φόρτου Δικτύου Παραληπτών



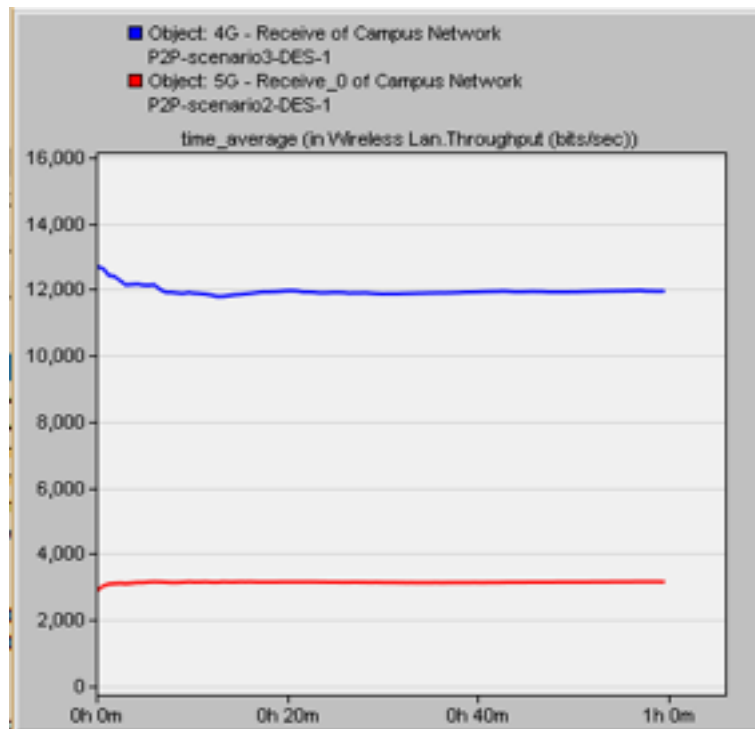
Διάγραμμα Φόρτου Δικτύου Αποσταλόντων

Σε αντίθεση με όλα τα προηγούμενα αποτελέσματα, η ρυθμαπόδοση, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω διαγραμματικά, είναι υψηλότερη στις 4G συσκευές από την σκοπιά όχι μόνο του παραλήπτη αλλά και του αποστολέα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το 4G δίκτυο προκειμένου να ολοκληρώσει τις διαδικασίες που του έχουν ανατεθεί στα

διάστημα που έχει τεθεί, πρέπει να έχει πολύ υψηλότερο ρυθμό από το 5G δίκτυο, υπερφορτώνοντας με αυτό τον τρόπο το δίκτυο. Αντίθετα, το 5G δίκτυο διατηρεί μια σταθερή ρυθμαπόδοση η οποία συμβάλει στην ολοκλήρωση των ανατεθειμένων διαδικασιών δίχως ιδιαίτερης δυσκολίας ή φόρτωσης του δικτύου. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ σημαντικό για το μέλλον, στο οποίο θέλει να βασιστεί η νέα τεχνολογία.



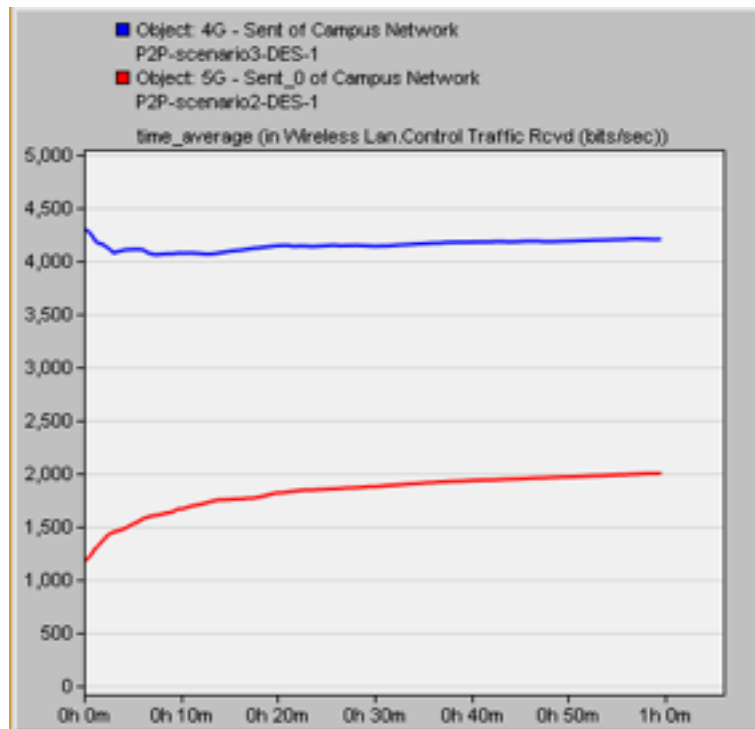
Διάγραμμα Ρυθμαπόδοσης Αποσταλέντων



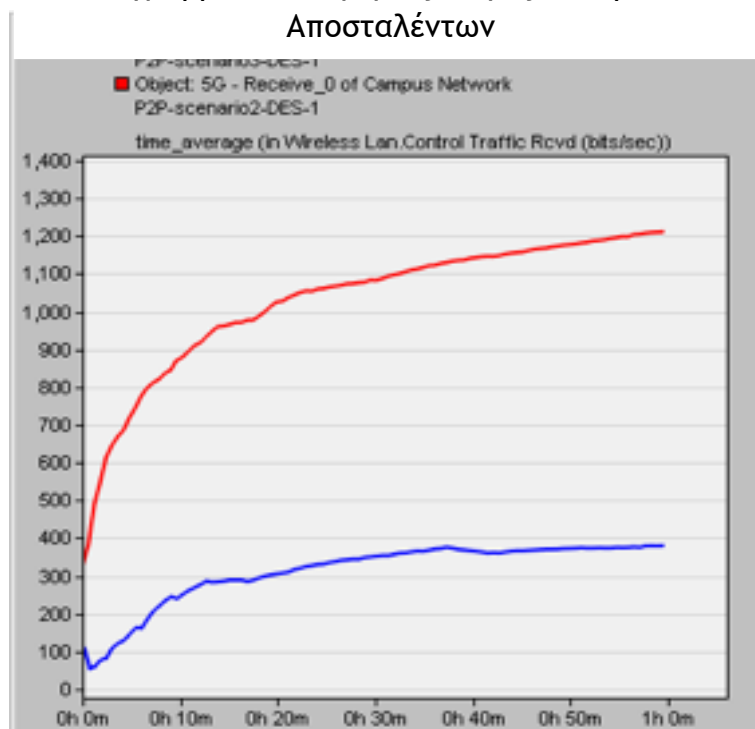
Διάγραμμα Ρυθμαπόδοσης Παραληπτών

Η κυκλοφορία λήψης δεδομένων αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό στο συγκεκριμένο πείραμα για τα δύο δίκτυα αλλά και για τις δύο σκοπιές μελέτης. Από τη σκοπιά, λοιπόν, των αποσταλέντων παρατηρείται ότι η κυκλοφορία λήψης παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα σε σχέση με το 4G δίκτυο. Ωστόσο, κατά την διάρκεια παρατηρείται ότι η κυκλοφορία λήψης των 5G αποσταλέντων αυξάνεται σε αντίθεση με τους 4G αποστέλλοντες όπου μειώνεται λίγο η απόδοσή τους.

Από την άλλη σκοπιά, είναι φανερό και από το διάγραμμα ότι η κυκλοφορία λήψης δεδομένων από την μεριά των παραληπτών είναι πολύ μεγάλη. Παρόλο, που η διαφορά κατά την εκκίνηση δεν είναι και εξαιρετικά μεγάλη, είναι μόνο 200 bits/sec, κατά την διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου γίνεται πολύ μεγάλη. Αυτό το αποτέλεσμα, οφείλεται στο γεγονός ότι η 5G συσκευή έχει μία πολύ μεγάλη αύξηση των δεδομένων που δέχεται το δευτερόλεπτο και δείχνει ότι μπορεί να ανταπεξέλθει, σε αντίθεση με την 4G συσκευή η οποία να μην δείχνει να ακολουθεί μια ανοδική τάση αλλά όχι με τόσο μεγάλη αύξηση. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η τάση της κυκλοφορίας λήψης της 4G συσκευής είναι αρχικά καθοδική.



Διάγραμμα Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων
Αποσταλόντων

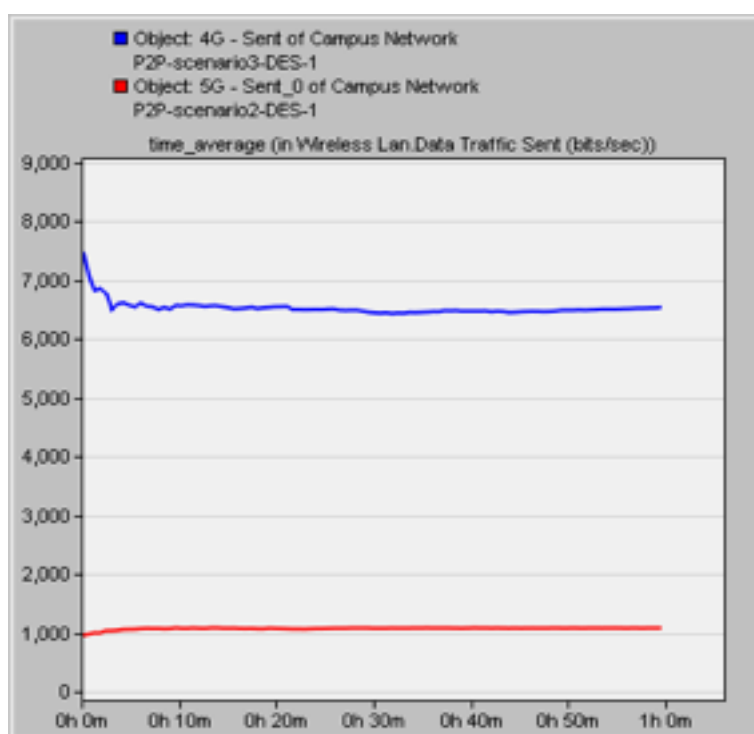


Διάγραμμα Κυκλοφορίας Λήψης Δεδομένων
Παραληπτών

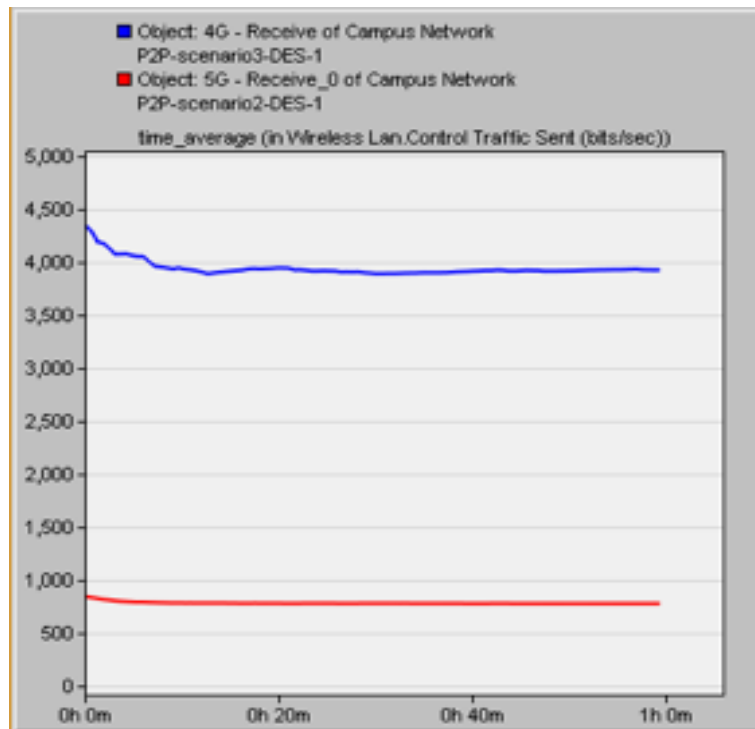
Τέλος, συγκρίνοντας την κυκλοφορία αποστολής δεδομένων παρατηρείται ότι το 4G δίκτυο έχει μεγαλύτερη απόδοση και από την μεριά του παραλήπτη

αλλά και από την μεριά των αποσταλέντων. Γεγονός το οποίο οφείλεται στην συνολική απόδοση του 5G δικτύου, δηλαδή στην επίτευξη του σκοπού του δίχως να δυσκολεύεται και να προσπαθεί για μεγαλύτερα αποτελέσματα δημιουργώντας φόρτο στο δίκτυο. Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα παρακάτω, με την πάροδο του χρόνου και οι 4G συσκευές δείχνουν να έχουν μία καθοδική τάση στην κυκλοφορία αποστολής, ενώ οι 5G συσκευές, είτε είναι παραλήπτης είτε αποστολέας, δείχνουν να έχουν μια σταθερή τάση μέχρι το πέρας εκτέλεσης του σεναρίου.

Το τελικό συμπέρασμα από το συγκεκριμένο πείραμα αποτελεί το γεγονός ότι πράγματι η 5G τεχνολογία αποτελεί μια τεχνολογική εξέλιξη, αν όχι επανάσταση, για τα σημερινά δίκτυα και είναι ικανή να στηρίξει μεγάλα έργα τα οποία έχουν σκοπό να γίνουν. Επιπλέον, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι θα είναι πλέον εφικτό να δημιουργηθεί η διαδικτυακή κοινωνία, η οποία υπάρχει εδώ και πολλά χρόνια ως στόχος σε παγκόσμια κλίμακα. Ο βασικότερος στόχος όλων αυτών των εξελίξεων είναι η διευκόλυνση της ανθρώπινης ζωής. Ωστόσο, πολλοί άνθρωποι πλέον δεν εξουσιάζουν αλλά εξουσιάζονται από την τεχνολογία και δυστυχώς η συγκεκριμένη εξέλιξη είναι πιθανό στο να «συμβάλει» στην εξάπλωση αυτού του φαινομένου.



Διάγραμμα Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων
Αποσταλέντων



Διάγραμμα Κυκλοφορίας Αποστολής Δεδομένων
Παραληπτών

ΚΕΦ.9 Έργα και εγκαταστάσεις για το 5G

Οι οδηγοί εγκατάστασης, και οι επιπτώσεις τους στην κινητή κυκλοφορία και συμφόρηση, μπορούν να ανταποκριθούν με διάφορους τρόπους από τους ιδιοκτήτες του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Ο διαχειριστής του δικτύου έχει τρεις επιλογές για την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου και της ευκολίας οποιαδήποτε κυκλοφοριακής συμφόρησης:

1. τεχνολογία - χρησιμοποιώντας περισσότερες τεχνολογίες αποδοτικών φασμάτων
2. τοπολογία - ανάπτυξη κατάλληλων (πυκνότερο) δικτυακών υποδομών και τοπολογιών
3. φάσμα - απόκτηση επιπρόσθετων φασμάτων.

Η επιλογή για μια ρύθμιση ή ρυθμίσεις θα εξαρτηθεί από το ποια λύση θα είναι η πιο εμπορικά ελκυστική, λαμβάνοντας υπόψη το κεφάλαιο ή τα λειτουργικά έξοδα που απαιτούνται, το χρόνο και την προσπάθεια για να τα αποκτήσουν και το σχέδιο για περισσότερες ιστοσελίδες στο δίκτυο, την επένδυση που απαιτείται για την απόκτηση μεγαλύτερου μέρους του φάσματος και την διαθεσιμότητα νέων φασμάτων. Άλλοι παράγοντες, όπως οι τεχνολογικές εξελίξεις, οι πολιτειακές και τοπικές διαδικασίες σχεδιασμού

και εγκατάστασης θα επηρεάσουν επίσης τις εμπορικές αποφάσεις σχετικά με το χρονοδιάγραμμα και το είδος των επενδύσεων του δικτύου που θα γίνουν.

Από τότε που τα χαρακτηριστικά του 5G ήταν ακόμα υπό ανάπτυξη, οι βέλτιστες ρυθμίσεις δικτύου και οι ειδικές ρυθμίσεις του φάσματος που απαιτούνται για το 5G δεν έχουν ακόμη καθοριστεί. Δεν είναι σαφές ποιο είναι το συγκεκριμένο μείγμα των επιλογών που θα υπάρχουν προς το παρόν, αν και αναμένεται ότι το 5G θα αξιοποιήσει τις αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως οι Massive Multiple Input Multiple Output (Massive MIMO) και οι τεχνικές μορφοποίησης δέσμης ακτινοβολίας που επιτρέπουν στο φάσμα να χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά και να κάνουν χρήση υψηλότερων ζωνών συχνοτήτων με ευρύτερο εύρος ζώνης το οποίο αποτελεί μια βιώσιμη επιλογή.

Αυτό το κεφάλαιο διερευνά τις τεχνολογικές εξελίξεις που επιτρέπουν την ανάπτυξη δικτύων 5G μέσα σε αυτές τις τρεις επιλογές που προσδιορίστηκαν για να παραδώσει επιπρόσθετη χωρητικότητα δικτύου.

1. Τεχνολογικές Εξελίξεις και Φασματική Απόδοση

Η τεχνολογία Massive MIMO και η μορφοποίηση δέσμης αποτελούν βασικές τεχνολογίες για το 5G. Τεχνικές για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του φάσματος και της ενίσχυσης της ικανότητας και της ταχύτητας των δικτύων κινητής τηλεφωνίας χωρίς τη χρήση επιπλέον φάσματος. Τέτοιες τεχνικές απόδοσης συνεχίζουν να εξελίσσονται και κάποια βασικές τεχνολογίες που υποστηρίζουν την εξάπλωση των 5G είναι η Massive MIMO και η μορφοποίηση δέσμης. Σε συνδυασμό, αυτών των δύο εξελίξεων επιτρέπεται η πρόσβαση σε επιπλέον φάσματα, τα οποία στο παρελθόν ήταν ελκυστικά για χρήση από υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας.

Η MIMO περιλαμβάνει την ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών κεραιών για την αύξηση της αποδοτικότητας του φάσματος και την ικανότητα των κυττάρων. Η MIMO μπορεί είτε να υποστηρίξει πολλαπλές παράλληλες ροές δεδομένων με πολλούς χρήστες είτε να διατηρήσουν υψηλή διακίνηση δεδομένων σε έναν μόνο χρήστη, και είναι μια ικανή τεχνική για να βελτιώσει την απόδοση των δεδομένων για τους χρήστες στην άκρη των κυττάρων. Ενώ τα πρότυπα του 4G περιλαμβάνουν τη MIMO, στα συστήματα 5G αναμένεται να διευρυνθεί η έννοια της MIMO να γίνει Massive MIMO με την αύξηση του αριθμού των κεραιών που είναι σε χρήση στο σταθμό βάσης. Αυτό θα επιτρέψει ένα μεγαλύτερο αριθμό χρηστών να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα στο ίδιο χρονικό μπλοκ συχνοτήτων ή να παρέχουν υψηλότερη απόδοση των δεδομένων σε ένα μικρότερο σύνολο των χρηστών. Μια σειρά από πωλητές έχουν αρχίσει τις δοκιμές σε Massive MIMO, συμπεριλαμβανομένης της ZTE, της Ericsson και της Samsung.

Παράλληλα με την τεχνολογία Massive MIMO, πολλοί φορείς του κλάδου και ερευνητές διερευνούν επίσης τα δυνητικά οφέλη της φασματικής απόδοσης. Στην τεχνολογία της φασματικής απόδοσης, οι δέσμες εκπομπής σχηματίζουν και στοχεύουν στον τελικό χρήστη. Η τρισδιάστατη φασματική απόδοση το επιτυγχάνει αυτό αμφότερα στα κατακόρυφα και στα οριζόντια επίπεδα, αντί να έχει ένα σταθμό βάσης που στέλνει συνεχώς σήματα σε μια μεγάλη περιοχή.

Κατά την εξέταση των ευρυζωνικών εφαρμογών για τα κινητά, τον εξοπλισμό του τελικού χρήστη είναι ιδανικά και αρκετά συμπαγής για να είναι διαχειρίσιμα, όπως και με τα 4G κινητά τηλέφωνα και τις σχετικές συσκευές. Σε ένα παράδειγμα εφαρμογής της φασματικής απόδοσης, ο εξοπλισμός του τελικού χρήστη εξυπηρετείται από τη βέλτιστη ακτίνα από το σταθμό βάσης, που επιλέγεται από μια επιλογή πολλών, με εναλλαγή διασταύρωσης και εντοπισμού, προκειμένου να διατηρήσει τη βέλτιστη σύνδεση, όπως ο χρήστης κινείται στο χώρο και το χρόνο. Η αξιοποίηση της φασματικής απόδοσης επιτρέπει στο δίκτυο δυνητικά να ξεπεραστεί το υψηλό σήμα και της διαδρομής χάνοντας την εμπειρία σε εμβέλεια χιλιοστομετρικών κυμάτων του φάσματος.

Μαζί, με τις τεχνολογίες Massive MIMO και φασματικής απόδοσης βοηθούν για να μετριάσει το σήμα και την απώλεια διαδρομής που τυπικά ισχύει στις υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων. Αυτό διευκολύνει την πρόσβαση στις συχνότητες χιλιοστομετρικών κυμάτων που προηγουμένως θεωρούνταν ακατάλληλα για πολλές κινητές εφαρμογές. Η διαθεσιμότητα από μεγαλύτερες ποσότητες του φάσματος στην περιοχή χιλιοστομετρικών συχνοτήτων και κυμάτων επιτρέπει επίσης την πρόσβαση σε κανάλια με μεγαλύτερο εύρος ζώνης (της τάξης των 100 MHz) και ως εκ τούτου υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μπορούν να παρέχονται στους τελικούς χρήστες του εξοπλισμού, επιτρέποντας έτσι βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων 5G.

Το ακριβές εύρος ζώνης και η ικανότητα του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων σε ορισμένες συχνότητες δεν έχουν καθοριστεί ακόμη. Ωστόσο, έχουν υπάρξει αρκετές επιδείξεις, με μερικά παραδείγματα που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Εταιρία	Peak ρυθμού δεδομένων	Συχνότητα	Εύρος Ζώνης
Nokia	10 Gbps	73 GHz	1 GHz
Ericsson	5.8 Gbps	15 GHz	400 MHz

Samsung	7.5 Gbps 1.2 Gbps (σε κινούμενο όχημα η ταχύτητα φτάνει έως τα 60 MPH)	28 GHz	800 MHz
---------	---	--------	---------

Περισσότερη δουλειά θα πρέπει να γίνει για να κατανοηθούν πλήρως τα χαρακτηριστικά της διάδοσης των χιλιοστομετρικών κυμάτων συχνοτήτων και πώς να διαχειρίζονται τα ενδεχόμενα προβλήματα παρεμβολών. Η δαπάνη και η υλικοτεχνική πρόκληση για την εγκατάσταση πολλαπλών κεραιών και δοκών σε κάθε κύτταρο έχει αναγνωριστεί ως ένα δυνητικό εμπόδιο στην ανάπτυξη.

2. Δικτυακή Υποδομή και Τοπολογία

Η δεύτερη επιλογή για τη βελτίωση της ικανότητας και της ταχύτητας των δικτύων κινητής τηλεφωνίας είναι η επέκταση ή τροποποίηση της τοπολογίας του δικτύου για να φιλοξενήσει νέες υποδομές. Όταν υπάρχει ανεπαρκής φάσμα και η ζήτηση είναι υψηλή, οι επιπλέον υποδομές είναι απαραίτητες για να μειώσουν ή να εξαπλώσουν τον αριθμό των χρηστών ανά κύτταρο, ή να βελτιωθεί η ικανότητα του κάθε κυττάρου. Υπάρχουν αρκετές πιθανές εξελίξεις στην τοπολογία του δικτύου που ενδέχεται να χρειαστούν για να αγκαλιαστεί /ενεργοποιηθεί πλήρως το 5G, συμπεριλαμβανομένης της προσθήκης σταθμών βάσης και της πιο επεκτάσιμης και έξυπνης αρχιτεκτονικής του δικτύου.

2.1.Οι Απαιτήσεις του δικτύου 5G για Επιπλέον Σταθμούς Βάσης

Τα δίκτυα 5G αναμένεται να είναι σημαντικά πυκνότερα από τα σημερινά δίκτυα μέσω της τοποθέτησης πρόσθετων σταθμών βάσης, ιδιαίτερα σε αστικά περιβάλλοντα. Η πυκνωση του δικτύου θα είναι αναγκαίο προκειμένου να υποστηριχθεί η αύξηση της κυκλοφορίας και οι συνδέσεις,

καθώς και η επίτευξη για χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή απόδοση για να επιτευχθούν σημαντικά μικρότερες διαδρομές των συχνοτήτων χιλιοστομετρικών κυμάτων. Τόσο η πυκνωση του δικτύου όσο και ο βαθμός ευελιξίας και των πληροφοριών που απαιτούνται από τα δίκτυα 5G μπορεί να οδηγήσουν σε κάποιες αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσονται και λειτουργούν τα δίκτυα.

Ειδικότερα, υπηρεσίες εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης θα απαιτήσουν περιεχόμενο που πρέπει να εξυπηρετείται από μια φυσική θέση πολύ κοντά στο χρήστη, η οποία είναι πιθανό να θέσουν προκλήσεις για τα υπάρχοντα μοντέλα δικτύου περιαγωγής και να αυξήσει την ανάγκη για σημεία διασύνδεσης χρήστη δυνητικά σε κάθε σταθμό βάσης. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και των δαπανών που συνδέονται με την αύξηση της πυκνότητας του δικτύου, οι ομάδες της βιομηχανίας διερεύνησης ερευνούν την δυνατότητα για διαφορετικά μοντέλα ανάπτυξης του δικτύου. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν από κοινού αναπτύξεις, όπως η ένταξη της ανάπτυξης από μία τρίτη οντότητα και στην πιο ακραία περίπτωση την ανάπτυξη ενός ενιαίου ουδέτερου δίκτυο υποδοχής.

2.2. Ευέλικτη, Επεκτάσιμη και Έξυπνη Αρχιτεκτονική του Δικτύου

Οι επενδύσεις στο δίκτυο για την υποστήριξη του 5G κατά πάσα πιθανότητα θα πρέπει να προχωρήσει πέρα από την ανάπτυξη πρόσθετων σταθμών βάσης. Τα δίκτυα 5G αναμένεται να είναι πιο ευέλικτα, επεκτάσιμα και κατά τα συμφραζόμενα να γνωρίζει από τα τρέχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Είναι απίθανο ότι μια αρχιτεκτονική δικτύου που αναπτύχθηκε ή αναπτύσσεται και η οποία θα επιτύχει όλα τα δηλωθέντα χαρακτηριστικά του 5G ανά πάσα στιγμή να μπορεί ταυτόχρονα να είναι και οικονομικά υποφερτή. Αντ' αυτού η 5G αρχιτεκτονική του δικτύου αναμένεται να είναι σε θέση να λειτουργεί σε διαφορετικές συχνότητες του φάσματος και να προσαρμόζεται με ευελιξία στις ταχέως μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των πόρων και τις γρήγορες μεταβολές της κυκλοφορίας τόσο στην άνω όσο και κάτω ζεύξη.

Για παράδειγμα, τα δίκτυα 5G είναι πιθανό να σχεδιαστούν ώστε να είναι σε θέση να αναβαθμιστούν έτσι ώστε να ληφθεί μέριμνα για υψηλού ρυθμού δεδομένων και χαμηλής καθυστέρησης υπηρεσίες, καθώς και συνδέσεις από μηχανή σε μηχανή (M2M) που απαιτούν πολύ χαμηλότερο εύρος ζώνης για την αποστολή σπανίως μικρών ποσοτήτων δεδομένων. Ομοίως, η υποστήριξη της κινητικότητας είναι πιθανό να παρέχεται μόνο σε αυτές τις συσκευές που το χρειάζονται με τη χωρητικότητα του δικτύου είναι σε θέση να αναβαθμιστεί γρήγορα για να υποστηρίξει τις περιπτώσεις χρήσης που απαιτούν υψηλή κινητικότητα ή/και απόδοση σε πρώτη ζήτηση, όπως η

σανίδα σωτηρίας (lifeline) (επίσης γνωστή ως ιερότητα ζωής) επικοινωνιών σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης ή καταστροφής.

Για να ενεργοποιηθεί αυτός ο βαθμός ευελιξίας, οι ομάδες της βιομηχανίας εξερευνούν την ιδέα της οργάνωσης της δυναμικότητας του δικτύου σε φέτες ή ενότητες. Τα δίκτυα 5G θα κατασκευαστούν για να αναγνωρίζουν τις διαφορετικές απαιτήσεις των ειδικών περιπτώσεων χρήσης, συμπεριλαμβανομένης της κάλυψης, της κινητικότητας, της αξιοπιστίας, της λανθάνουσας κατάστασης, της ασφάλειας και της απόδοσης, και της κάλυψης των αναγκών αυτών σε ένα προγραμματιζόμενο και εναλλασσόμενο τρόπο σύμφωνα με την προτεραιότητα και την ανάγκη.

Αναδυόμενες τεχνολογίες όπως τα δίκτυα αυτό-οργάνωσης (Self-Organizing Networks - SON), η λειτουργία εικονικής διαμόρφωσης δικτύων (Network Function Virtualization - NFV) και η δικτύωση μέσω λογισμικού (Software Defined Networking - SDN), αναμένεται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην υποστήριξη αυτού του είδους ευέλικτων και ευκίνητων για λειτουργίες του δικτύου. Η τεχνολογία SON αναφέρεται στην ικανότητα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας να αυτό-διαμορφώνονται και να βελτιστοποιούνται.

Η τεχνολογία NFV επιτρέπει λειτουργίες δικτύου, όπως τα αναχώματα ασφαλείας (firewalls), να εφαρμόζονται από ένα πρόγραμμα αντί για ένα φυσικό κομμάτι του υλικού, το διαχωρισμό των δικτυακών υποδομών από τις υπηρεσίες που παρέχει. Η τεχνολογία SDN επιτρέπει δυναμική αναδιαμόρφωση της αρχιτεκτονικής του δικτύου για να ρυθμίζει τις αλλαγές ανάλογα με την φόρτιση του δικτύου και την ζήτηση που υπάρχει. Σε μια τεχνολογία SDN, για παράδειγμα, οι λειτουργίες του δικτύου μπορούν γρήγορα να μετεγκατασταθούν για να υποστηρίξουν συνεχώς αξιόπιστες επικοινωνίες σε μια κατάσταση καταστροφής, όπου ορισμένα περιουσιακά στοιχεία του δικτύου, όπως σταθμοί βάσης μπορεί να έχουν καταστραφεί.

Παρομοίως, η χωρητικότητα του δικτύου θα μπορούσε δυναμικά να ξανά ανατεθεί έτσι ώστε να εξυπηρετήσει τη ζήτηση των πελατών σε ώρες αιχμής ή για συγκεκριμένες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση για χωρητικότητα μεταφόρτωσης κατά τη διάρκεια μιας συναυλίας ή ενός αθλητικού γεγονότος καθώς οι καταναλωτές θα μοιράζονται βίντεο της εκδήλωσης. Μια τεχνολογία SDN θα μπορούσε δυναμικά να προσαρμόσει τους ρυθμούς της άνω και της κάτω ζεύξης στα bits του βίντεο έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις μεταβολές της ζήτησης. Το δίκτυο θα πρέπει να απασχολεί μια έξυπνη διαδικασία διαχείρισης της κυκλοφορίας, απαντώντας σε πραγματικό χρόνο στα δεδομένα σχετικά με τον αριθμό των χρηστών σε μια περιοχή εξυπηρέτησης, την ποιότητα της εμπειρίας του χρήστη και τις απαιτήσεις για την κινητικότητα μεταξύ άλλων παραγόντων. Όσον αφορά την ικανότητα ταχέως εκ νέου διαμόρφωση, τα δίκτυα θα πρέπει επίσης να διαχειρίζονται αυτόματα πιθανά ζητήματα παρεμβολών.

Η εμφάνιση της πιο ευέλικτης αρχιτεκτονικής του δικτύου είχε εξαγγελθεί στην έκθεση του Μαΐου 2015 για την Αυστραλιανή Κυβέρνηση. Την επανεξέταση του πλαισίου διαχείρισης του φάσματος της Αυστραλίας ανέλαβε το Υπουργείο Συγκοινωνιών και Τεχνών, σε συνδυασμό με την ACMA (Australian Communications and Media Authority) (Αναθεώρηση Ραδιοφάσματος). Συστάσεις της έκθεσης αυτής περιλαμβάνονται στην υποστήριξη για την αυτόματη διαχείριση των παρεμβολών.

3. Φάσμα

Μια τρίτη επιλογή για την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου είναι να αποκτήσουν περισσότερα φάσματα. Η χρήση και η διαθεσιμότητα των διαφόρων τμημάτων του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων θα επηρεάσουν την πορεία προς το 5G, καθώς σχετίζονται με τη θέλησή και τις τεχνολογικές εξελίξεις που επηρεάζουν τη χρήση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας του φάσματος.

Η ACMA είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση και την κατανομή του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των φάσματος για κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες. Η έρευνα της ACMA, με τίτλο «πέρα από το 2020», το οποίο αποτελεί μια στρατηγική διαχείρισης του ραδιοφάσματος για την ικανότητα της αντιμετώπισης της αύξησης της κινητής ευρυζωνικότητας, περιγράφει τις τρεις πτυχές του ρόλου της ACMA στην προσφορά του φάσματος για κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες:

1. Η εξασφάλιση των ρυθμίσεων διαχείρισης του ραδιοφάσματος για τις ζώνες που αναμένεται να χρησιμοποιηθεί από κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες που γίνονται υπό τις κατάλληλες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων επαρκών αδειών για την διάρκεια της θητείας και της ευελιξίας της τεχνολογίας.
2. Βελτιστοποίηση των ρυθμίσεων για το φάσμα που ήδη διατίθενται για τις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες.
3. Εκ νέου εκτροπή (κατά περίπτωση) επιπλέον φάσματος για ενδεχόμενη χρήση από κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Οι μελλοντικές ανάγκες φάσματος των κινητών ευρυζωνικών έχει πρόσφατα εξεταστεί από την ACMA μέσω της τελευταίας ενημέρωσης της έρευνας για τις προοπτικές του φάσματος πέντε ετών και την έρευνα διαβούλευσης της στην κινητή ευρυζωνική στρατηγική της ACMA του, με τίτλο «πέρα από το 2020». Και τα δύο έγγραφα να σημειώνουν ότι η ACMA θα συνεχίσει το έργο της σε αυτόν τον τομέα, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης των διεθνών εξελίξεων και μέσω των υφιστάμενων εργασιών της ACMA στα διεθνή φόρουμ, συμπεριλαμβανομένου του συνεδρίου «World Radio Commu-

nication Conference» που πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2015 και το έργο του θα συνεχιστεί στην επόμενη διάσκεψη το 2019.

3.1. Το 5G Αναμένεται να Χρησιμοποιήσει Ένα Ευρύ Φάσμα Συχνοτήτων

Η ικανότητα να χρησιμοποιούν μια σειρά από ζώνες συχνοτήτων και τεχνολογίες πρόσβασης για να παραδώσουν τις ιδιαίτερες απαιτήσεις μιας συγκεκριμένης υπόθεσης χρήση ή υπηρεσίας, θα είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων 5G. Αυτό είναι πιθανό να απαιτήσει τη χρήση των ζωνών συχνοτήτων, εκτός από αυτές που είναι αφιερωμένες στην κινητή ευρυζωνική χρήση και την ευέλικτη χρήση του φάσματος χωρίς άδεια ή στην κατανομή των ανεκμετάλλεωτων φασμάτων για την παροχή επιπλέον χωρητικότητας όταν απαιτείται.

Τα δίκτυα 5G αναμένεται να απαιτούν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων τόσο κάτω όσο και πάνω από τα 6 GHz, αν και οι ακριβείς συχνότητες δεν έχουν ακόμη προσδιοριστεί. Μια σειρά από ομάδες της βιομηχανίας, ακαδημαϊκοί και οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο έχουν αρχίσει να διερευνούν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης υψηλότερων συχνοτήτων για τις κινητές ευρυζωνικές επικοινωνίες.

Η ACMA και οι εκπρόσωποι της αυστραλιανής βιομηχανίας ξεκίνησαν πρόσφατα να συμμετέχουν δυναμικά στον τομέα της επικοινωνίας της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU) και ήταν παρόν στην Παγκόσμια Διάσκεψη της Επικοινωνίας του 2015 (WRC-15). Η WRC-15 πρότεινε μια σειρά από αποφάσεις που θα επηρεάσουν το πώς το θέμα των πρόσθετων φασμάτων για κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες θα θεωρηθεί απ' όλο τον κόσμο και την Αυστραλία.

Σύμφωνα με την WRC-15 σημαντικό στοιχείο αποτελούν οι πρόσθετες κατανομές φάσματος για τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας σε πρωτεύουσα βάση και επιπλέον ταυτοποιήσεις Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών (International Mobile Telecommunications - IMT) έγιναν σε μια σειρά από ζώνες. Το κύριο αποτέλεσμα αυτής της ημερήσιας διάταξης ήταν η σημαντική διεθνής εναρμόνιση της συχνότητας να κυμαίνεται από τα 1427 έως τα 1518 MHz και τα 3400 σε 3600 MHz για το IMT.

Επιπλέον, ένα νέο σημαντικό στοιχείο εγκρίθηκε για την συνέδριο του 2019, έτσι ώστε να μελετηθεί για να συζητηθεί το ενδεχόμενο επιβολής πρόσθετων ταυτοποιήσεων IMT σε συγκεκριμένες ζώνες μεταξύ 24-25 και 86 GHz. Αυτές οι ζώνες συχνοτήτων αν εντοπιστούν, θα είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη διεθνή εναρμόνιση και θα αποτελέσουν τον πυρήνα για την ανάπτυξη των τεχνολογιών 5G. Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (US Federal Communications Commission)

πρότεινε νέους κανόνες τον Οκτώβριο του 2015 για την ασύρματη ευρυζωνική σε ασύρματες συχνότητες άνω των 24 GHz. Οι κανόνες αυτοί περιλάμβαναν μια πρόταση για την έγκριση της κινητής τηλεφωνίας στη ζώνη των 28 GHz και την ζώνη των 39 GHz.

Το φάσμα, σε υψηλότερες και χαμηλότερες συχνότητες, έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και πολλούς περιορισμούς για τις κινητές επικοινωνίες. Οι συχνότητες στην περιοχή χιλιοστομετρικών κυμάτων που ερευνώνται για το δίκτυο 5G προσφέρουν πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τις χαμηλότερες συχνότητες, και αυτό επιτρέπει την παροχή ευρύτερων καναλιών και ταχύτερων ρυθμών δεδομένων, όπως έχει οραματιστεί για το δίκτυο 5G. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά διάδοσης του φάσματος στην περιοχή αυτή σημαίνει ότι οι μεταδόσεις υπόκεινται σε υψηλότερες απώλειες διάδοσης. Για το λόγο αυτό, τα δίκτυα 5G είναι πιθανό να χρησιμοποιούν τις τρέχον κινητές ζώνες, συμπεριλαμβανομένων του φάσματος κάτω από 1 GHz, έτσι ώστε να παρέχεται η ευρεία κάλυψη και η διείσδυση στην οικοδόμηση αλλά και στην κορυφή των υψηλότερων ζωνών συχνοτήτων, που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για τις κινητές ευρυζωνικές. Η τεχνολογία 5G, ως εκ τούτου, αναμένεται να αξιοποιήσει τα πλεονεκτήματα και των χαμηλότερων αλλά και των υψηλότερων συχνοτήτων για να υποστηρίξει τα χαρακτηριστικά του.

4. Επιπλέον Καταλυτικές Τεχνολογίες για το 5G

Επιπλέον καταλυτικές τεχνολογίες για το 5G αφορούν περισσότερες από μία από τις τρεις επιλογές για τη βελτίωση της ικανότητας του δικτύου. Αυτοί οι μοχλοί περιλαμβάνουν συσκευές και τεχνολογικές εξελίξεις για την υποστήριξη και την προστασία της ιδιωτικής ζωής και τη διασφάλιση της αξιοπιστίας.

4.1. Εξελίξεις σε Συσκευές

Οι ρυθμίσεις επικοινωνίας από συσκευή προς συσκευή υπάρχουν (Device - to - Device - D2D) στις αναβαθμίσεις που έγιναν για τα δίκτυα 4G, αλλά αναμένεται να είναι ένα αναπόσπαστο και πολύ σημαντικό κομμάτι της λύσης και της αρχιτεκτονικής του δικτύου 5G. Στην άμεση επικοινωνία D2D, οι συσκευές υπό τον έλεγχο του φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου είναι σε θέση να μοιραστούν την συνδεσιμότητα και να ανταλλάξουν δεδομένα και περιεχόμενο, καθιστώντας και τους δύο ακροδέκτες και μέρος μιας ρύθμισης δικτυακής υποδομής.

Οι επικοινωνίες D2D μπορούν να ενσωματωθούν στην αρχιτεκτονική του δικτύου 5G για να βοηθήσουν στην υποστήριξη:

1. υπηρεσιών που έχουν ανάγκη από εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις
2. της επέκτασης της κάλυψης μέσω της χρήσης συσκευών όπως αναμεταδότες
3. της συνδρομής με τη χωρητικότητα του δικτύου και την κατανάλωση ενέργειας παίζοντας ένα σημαντικό ρόλο στην οπισθόζευξη ενώ παράλληλα περιορίζει την κυκλοφορία στην περιοχή, αντί να καταφεύγει σε πόρους του δικτύου από μια ευρύτερη περιοχή.

4.2. Ασφάλεια και Αξιοπιστία

Η εξασφάλιση της επαρκούς ασφάλειας και της αξιοπιστίας στο επίπεδο του δικτύου και της συσκευής αναμένεται να αποτελέσει ένα ζήτημα ζωτικής σημασίας για πολλές υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το δίκτυο 5G. Οι υπηρεσίες, όπως η ηλεκτρονική υγεία (e-health), θα απαιτήσουν από τα δίκτυα να είναι σε θέση να διασφαλίσουν την φύλαξη των ευαίσθητων προσωπικών πληροφοριών καθώς μεταδίδονται. Πάντα η αξιοπιστία, η άμυνα και η μέριμνα έναντι πιθανών επιθέσεων ασφάλειας στον κυβερνοχώρο θα αποτελούν κινδύνους ζωτικής σημασίας κυρίως για εφαρμογές υψίστης σημασίας που μπορούν να καθορίσουν μια ανθρώπινη ζωή, όπως η εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση, η δημόσια ασφάλεια επικοινωνιών γραμμή ζωής και η εφαρμογή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από μηχανοκίνητα και θα μεταφέρει αυτόματα, δίχως την ανθρώπινη παρέμβαση στην οδήγηση, τον άνθρωπο στο μέρος που επιθυμεί. Αυτό θα απαιτήσει περαιτέρω ανάπτυξη στην αρχιτεκτονική του δικτύου και της τεχνολογίας.

Υπάρχει ένταση μεταξύ τη διασφάλιση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας σε αποδεκτά επίπεδα, υποστηρίζοντας την ευελιξία στη διαχείριση του δικτύου και την ενθάρρυνση της ανάπτυξης νέων επιχειρηματικών μοντέλων. Τα τεχνικά εμπόδια παραμένουν στη δόμηση των δικτύων 5G προκειμένου να υπάρξει τόσο η ασφάλεια όσο και ευελιξία για τους φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων.

4.3. Αντιληπτή διαθεσιμότητα 99,999% και 100% γεωγραφική κάλυψη

Για αυτό το πρόβλημα δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν ούτε οδηγοί περίπτωσης, ούτε τεχνικά θέματα, αλλά οι αποφάσεις της οικονομικής και επιχειρηματικής περίπτωσης. Το ποσοστό 99,999% της διαθεσιμότητας και το 100% της κάλυψης είναι εφικτό χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε υπάρχουσα

τεχνολογία, και θα μπορούσε να επιτευχθεί με οποιονδήποτε φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου. Οι φορείς εκμετάλλευσης αποφασίζουν πού να τοποθετηθούν τις κυψέλες με βάση το κόστος για την προετοιμασία της τοποθεσίας για να δημιουργήσουν ένα κελί που θα καλύψει μια συγκεκριμένη περιοχή, το γεγονός αυτό, ωστόσο, σταθμίζεται έναντι του οφέλους της κυψέλης που παρέχει κάλυψη για μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Αυτό με τη σειρά του κάνει ορισμένες περιοχές των κυψελών και ορισμένες περιοχές κάλυψης, όπως οι αγροτικές περιοχές και η εσωτερική κάλυψη, να αποτελούν ένα ζήτημα για τις επιχειρήσεις που θα πρέπει να πάρουν δύσκολες επιχειρηματικές αποφάσεις.

Ωστόσο, η νέα γενιά της τεχνολογίας του δικτύου κινητής τηλεφωνίας ενδέχεται να μετατοπίσει τις αξίες αυτές στο επιχειρηματικό μοντέλο που καθορίζει τη βιωσιμότητα των κυψελών, καθώς το να επιτυγχάνει 100% κάλυψη και 99.999% διαθεσιμότητα θα παραμείνει μια επιχειρηματική απόφαση και όχι ένας τεχνικός στόχος. Αντίθετα, αν το 100% κάλυψη και το 99.999% διαθεσιμότητα ήταν ένα από τα κριτήρια επιλεξιμότητας ενός 5G δικτύου, κανένας πάροχος δεν θα αποκτούσε την ιδιότητα 5G έως ότου η τεχνολογία ήταν σε θέση να επιτύχει 100% κάλυψη και 99.999% διαθεσιμότητα.

4.4. Πυκνότητα Σύνδεσης

Η πυκνότητα σύνδεσης ουσιαστικά ισοδυναμεί με τις «σωρευτικές» απαιτήσεις δηλαδή τις απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται από τα δίκτυα που περιλαμβάνουν δίκτυο 5G στοιχειώδους τεχνολογίας, αλλά και απαιτούν τη συνεχή υποστήριξη των γενιών της τεχνολογίας των δικτύων που προϋπάρχουν. Η υποστήριξη της αύξησης στον αριθμό των συνδέσεων από 10 έως 100 φορές εξαρτάται από μια σειρά από τεχνολογίες που εργάζονται μαζί, συμπεριλαμβανομένων των 2G, 3G, 4G, Wi-Fi, Bluetooth και άλλων συμπληρωματικών τεχνολογιών. Η προσθήκη του 5G στην κορυφή αυτού του οικοσυστήματος δεν θα πρέπει να θεωρηθεί ως μία τελική λύση, αλλά μόνο ένα επιπλέον κομμάτι μιας ευρύτερης εξέλιξης που θα είναι κατάλληλο για να ενεργοποιήσει τη σύνδεση των μηχανών. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) έχει ήδη αρχίσει να αποκτά σημαντική δυναμική, ανεξάρτητη από την άφιξη του 5G.

Ομοίως, η απαίτηση για 1.000 φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης ανά μονάδα επιφάνειας δεν εξαρτάται από την τεχνολογία του 5G, αλλά αποτελεί το σωρευτικό αποτέλεσμα των περισσότερων συσκευών σύνδεση με υψηλότερο εύρος ζώνης για μεγαλύτερες διάρκειες. Ενώ ένα δίκτυο 5G μπορεί επίσης να προσθέσει μια νέα ώθηση στην πρόοδο σε αυτόν τον τομέα, η εγκατάσταση του LTE έχει ήδη μια μετασχηματιστική επίδραση στο ποσό του εύρους ζώνης που καταναλώνεται σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη περιοχή, και αυτό θα αυξηθεί κατά τη διάρκεια της περιόδου που θα μεσολαβήσει έως

την έλευση του 5G . Η επέκταση του Wi-Fi και η ολοκλήρωση των δικτύων Wi-Fi με το κινητό θα είναι επίσης το κλειδί για την υποστήριξη μεγαλύτερων ρυθμών πυκνότητας δεδομένων. Η συνάντηση των δύο αυτών απαιτήσεων θα σημειώσει σημαντικές συνέπειες για το OPEX στο τομέα της οπισθοζεύξης (backhaul) και της δυναμικής του, δεδομένου ότι κάθε κυψέλη ή κάθε σημείο πρόσβασης πρέπει να τροφοδοτείται και όλη η επιπλέον κίνηση που δημιουργείται πρέπει να αξιοποιεί την οπισθόζευξη (backhauled).

4.5. Μείωση της χρήσης ενέργειας δικτύου και βελτίωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από τα δίκτυα και τις συσκευές αποτελεί θεμελιώδους σημασίας για την οικονομική και οικολογική βιωσιμότητα του κλάδου. Μια γενική αρχή του κλάδου για την ελαχιστοποίηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στον εξοπλισμό του δικτύου και του τερματικού έδειξε ότι για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να εισχωρήσουν οι πάροχοι σε όλες τις γενιές της τεχνολογίας, και αναγνωρίζεται ως ένας οικολογικός στόχος καθώς επίσης να έχουν σημαντικό θετικό αντίκτυπο στην OPEX που σχετίζεται με τη λειτουργία ενός δικτύου. Προς το παρόν δεν είναι σαφές πώς μια νέα γενιά τεχνολογίας με υψηλότερο εύρος ζώνης που έχει αναπτυχθεί ως επικάλυψη (και όχι αντικατάσταση) στην κορυφή όλου του προ υπάρχοντος εξοπλισμού δικτύου θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια καθαρή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Έτσι, στους αυστηρότερους ελέγχους των μετρήσιμων παραδοτέων του δικτύου, το οποίο θα μπορούσε να επιτρέψει τα επαναστατικά νέα σενάρια χρήσης, τα πιθανά χαρακτηριστικά που θα είναι μοναδικά για την τεχνολογία 5G περιορίζονται σε λιγότερο από ένα millisecond ελάχιστη και λανθάνουσα καθυστέρηση και μεγαλύτερη του 1 Gbps ταχύτητα κάτω ζεύξης.

ΚΕΦ.10: Το Μέλλον των Δικτύων και οι Ανοιχτές Προκλήσεις

Το μέλλον γίνεται όλο και πιο δύσκολο να προβλεφθεί με κάθε χρόνο που περνάει. Έτσι θα πρέπει να αναμένεται πάντα με αυξανόμενο ρυθμό οι τεχνολογικές αλλαγές. Μπορεί ακόμα να μην έχει υλοποιηθεί στην πραγματικότητα το 5G δίκτυο, όμως πολλές έρευνες έχουν λάβει χώρο και έχουν προετοιμάσει πλήρως το έδαφος. Τα βήματα αυτά είναι πολύ ενθαρρυντικά για τους επιστήμονες όπου σε ένα πρόσφατο συνέδριο δεν δίστασαν να συζητήσουν ακόμα και για την επόμενη γενιά 6G ασύρματων δικτύων. Για παράδειγμα, η μελλοντική ενίσχυση της Nano τεχνολογίας πυρήνα θα είναι απίστευτη, καθώς συνδυάζεται με τεχνητή νοημοσύνη. Ωστόσο, νέες τεχνολογίες δημιουργούν νέα προβλήματα.

Ενώ η βιβλιογραφία που εξετάστηκε μέχρι σήμερα σαφώς επισημαίνει πως η εξέλιξη των σημερινών δικτύων θα βοηθήσει στην απλοποίηση της

ανθρώπινης ζωής, η ενότητα αυτή ασχολείται όχι μόνο με το μέλλον των δικτύων αλλά και με μερικά εμπόδια που θα αντιμετωπισθούν κατά την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

1) Ιδιωτική ζωή και ασφάλεια: Κατά τη κοινή γνώμη, ένα από τα κύρια εμπόδια της εξέλιξης των ασύρματων δικτύων σχετίζεται με το πώς αισθάνονται οι χρήστες για την ανταλλαγή δεδομένων και την προοπτική καταγραφής και εκμετάλλευσης από τρίτους των προσωπικών τους δεδομένων. Ενώ το μοίρασμα των προσωπικών πληροφοριών έχει γίνει μια καθημερινή συνήθεια, πολλοί αποδοκιμάζουν το γεγονός ότι οι εταιρίες δημιουργούν προφίλ με τη χρήση των δεδομένων τους. Με παρόμοιο τρόπο, θα μπορούσε να υπάρχει μια ισχυρή αντίσταση εναντίον μιας νέας τεχνολογίας που, αν και με έναν ανώνυμο τρόπο, συλλέγει και αναλύει τη συμπεριφορά για την πρόβλεψη των αποφάσεων των χρηστών. Πρότυπα και διαδικασίες πρέπει να μελετηθούν για να ενισχυθεί η ιδιωτικότητα και η ανωνυμία των δεδομένων των χρηστών.

2) Λειτουργίες δικτύου και διεπαφές: Πολλές από τις εφαρμογές που είναι πιθανό να επωφεληθούν από την εξέλιξη των δικτύων απαιτούν πρωτοφανή αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγωγών των πληροφοριών, των αναλυτών και των καταναλωτών. Ένα απλό παράδειγμα παρέχεται από την έξυπνη βελτιστοποίηση streaming media, τα οποία πρέπει να λάβουν πληροφορίες περιεχομένου από τη σχετική βάση δεδομένων και χρήστη ροή πληροφοριών από το χρήστη ή/και το φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου. Αυτή η πληροφορία στη συνέχεια αναλύεται και τροφοδοτείται σε έναν πάροχο συνεχούς ροής που βελτιστοποιεί την υπηρεσία της αναλόγως.

3) Αρχιτεκτονική επόμενης γενιάς: Τα δίκτυα 5G συζητούνται επί του παρόντος και, ενώ ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου και στην δημιουργία εικονικών λειτουργιών του δικτύου, υποστηρίζεται ότι η σημερινή υποδομή θα πρέπει να ενισχυθεί με τα αποθετήρια πληροφοριών στο πλαίσιο της εφαρμογής για να βοηθήσει στην υλοποίηση των νέων προβλέψεων. Σύμφωνα με τις προηγούμενες ανησυχίες, μοιράζονται ευαίσθητες πληροφορίες, ακόμη και με ανώνυμο τρόπο, αλλά απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά την προστασία της ιδιωτικής ζωής των χρηστών και την προσβασιμότητα στη βάση δεδομένων.

Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο μέρος του έργου που έχει αξιολογηθεί σε αυτή την έρευνα τείνει να επικεντρωθεί στο όφελος της νέας τεχνολογίας, ενώ υπάρχουν πολλές πιθανές απειλές. Όλα τα κύρια συστατικά του 5G δικτύου, η βάση δεδομένων και η νοημοσύνη στην πρόβλεψη/αναμονή, πρέπει να ενσωματωθούν αποτελεσματικά στην αρχιτεκτονική του δικτύου κινητής τηλεφωνίας που θέτει προκλήσεις σε διάφορα επίπεδα:

1. νέες διασυνδέσεις και παραδείγματα επικοινωνίας πρέπει να οριστούν για τη συλλογή δεδομένων τόσο από τον τελικό χρήστη όσο και από τις εξωτερικές πηγές του δικτύου κινητής τηλεφωνίας

2. η διαχείριση του περιεχομένου των βάσεων δεδομένων φέρνει μια πρόσθετη επιβάρυνση στο απαιτούμενο εύρος ζώνης και την επεξεργαστική ισχύ για διάφορα στοιχεία του δικτύου που μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα κλιμάκωσης.

Στο μέτρο αυτό, μια εμπεριστατωμένη και ολοκληρωμένη ανάλυση κόστους-οφέλους για συγκεκριμένα προληπτικά σενάρια δικτύωσης απαιτείται για το επόμενο βήμα της έρευνας στον τομέα αυτό.

ΚΕΦ.11: Επίλογος

Οι σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν από τα δίκτυα 5G τονίστηκαν, συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη χωρητικότητα, ο υψηλότερος ρυθμός δεδομένων, η μείωση της ελάχιστης καθυστέρησης, η μαζική συνδεσιμότητα των συσκευών, η μείωση του κεφαλαίου και οι λειτουργίες που κοστίζουν. Ένα αρχιτεκτονικό όραμα για το 5G δίκτυο προκειμένου να αντιμετωπιστούν ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις παρουσιάστηκε. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική ενσωματώνει διάφορα εργαλεία όπως οι μικρές κυψέλες, η τεχνολογία massive MIMO, το επίπεδο διάσπασης του ελέγχου και των δεδομένων και τέλος οι τεχνολογίες NFV και SDN. Οι κύριες έννοιες μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Εξαιρετικά πυκνές μικρές κυψέλες αναπτυγμένες σε φάσματα τα οποία είτε έχουν είτε δεν έχουν άδεια, σύμφωνα με τη διάσπαση της αρχιτεκτονικής, για την αντιμετώπιση των προκλήσεων στο κομμάτι της χωρητικότητας και της ταχύτητας των δεδομένων.
2. Οι τεχνολογίες NFV και SDN να παρέχουν ευέλικτη ανάπτυξη και λειτουργία του δικτύου.
3. Έξυπνη χρήση των δεδομένων για τη διευκόλυνση της βέλτιστης χρήσης των πόρων του δικτύου για προβλέψεις και τον προγραμματισμό.

Τα αρχικά αποτελέσματα των ερευνών υποδηλώνουν ότι κερδίζει περισσότερες από 1000 φορές μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση σε σύγκριση με ένα μόνο 3GPP ανάπτυξης LTE της έκδοσης 8 που είναι δυνατόν να επιτευχθεί με ένα συνδυασμό πυκνής ανάπτυξης μικρών κυττάρων, χρησιμοποιώντας μεγάλο εύρος ζώνης σε υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων και παράλληλη χρήση τεχνικών της τεχνολογίας massive MIMO σε μικρές κυψέλες. Παρ' όλα αυτά, μερικά από τα συστατικά που επισημαίνονται στην αρχή του συστήματος έχουν αμοιβαίες συγκρούσεις, όταν εξετάζονται λεπτομερώς. Ως εκ τούτου, η εξισορρόπηση στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της

κάθε πτυχής πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά. Περαιτέρω έρευνες είναι απαραίτητες ιδίως σε τομείς όπως:

1. Κατάλληλες τεχνικές για χρήση μικρών κυψελών σε διαφορετικά καθεστώτα συχνότητας.
2. Ενσωμάτωση μικρών κυττάρων με NFV και SDN τεχνολογίες, με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.
3. Ευφυείς αλγορίθμους που χρησιμοποιούν καλύτερα τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου.

Βιβλιογραφία

1. Atsusi Harada, Yuki Inoue, Daisuke Kurita, Tatsuromi Obara, 5G Laboratory, 5G Trials with Major Global Vendors (Atsusi Harada et al., 2016).
2. Omar Nader, Nizar Zarka, Nada Muhana, 4th and 5th Generation of Mobile Networks (Omar Nader et al. ,2014).
3. Sameh H. Ghwanmeh, Abedel Rahman Al-Zoubidi, Information Technology Journal, Wireless Network Performance Optimization Using Opnet Modeler.(Sameh H. et al. , 2012)
4. Akhil Gupta, Rakesh Kumar JHA, IEEE Access, A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies (Akhil & Rakesh ,2015).
5. Adebayo Emmanuel Abejide, Performance Analysis of an LTE-4G Network Running Multimedia Applications (Adebayo Emmanuel Abejide, 2014).
6. Pavel Masek, Jiri Hosek, Dominic Kovac, Mariya Pavlova, ResearchGate, Simulation - Based Study on Capacity Performance Of 4G Mobile Network For M2M Services (Pavel Masek et al. ,2014).
7. Παπαδάκης Χρυσοβαλάντης Εμμανουήλ, Ασύρματα Δίκτυα LTE: Αξιολόγηση Επίδοσης Κατερχόμενης Ζεύξης (Παπαδάκης, 2013).
8. Majeed Ahmad,4G and 5G wireless: How they are alike and how they differ (Majeed Ahmad, 2015).
9. James Dean, 4G vs 5G mobile technology (James Dean,2014).
10. Jonathan Borrill, 5G & IoT Specific Technologies to Handle High Device Numbers (Jonathan Borrill, 2016).
11. Amitava Ghosh, Timothy A. Thomas, Mark C. Cudak,Rapeepat Ratsuk, Prakash Moorut, Frederick W. Vook, Theodore S. Rappaport, George R. MacCartney, Shu Sun, Shuai Nie, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, Millimeter-Wave Enhanced Local Area Systems: A High-Data-Rate Approach for Future Wireless Networks (Amitava Ghosh et al. ,2014).
12. Afif Osseiran, Federico Boccardi, Volker Braun, Katsutoshi Kusume, Patrick Marsch, Michal Maternia, Olav Queseth, Malte Schellmann, Hans Schotten, Hidekazu Taoka, Hugo Tullberg, Mikko A. Uusitalo, Bogdan Timus, Mikael Fallgren, Ericsson, Alcatel-Lucent Bell Labs, DO-

- COMO Euro-Labs, Nokia Solutions and Networks, Huawei ERC, University of Kaiserslautern, Nokia, Scenarios for the 5G Mobile and Wireless Communications: the Vision of the METIS Project (Afif Osseiran et al., 2015).
13. Anwar M. Mousa, International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN), Prospective of Fifth Generation Mobile Communications, (Anwar M. Mousa, 2012).
 14. Australian Communications and Media Authority, 5G and mobile network developments—Emerging issues, (Australian Communications and Media Authority, 2016).
 15. GSMA Intelligence, Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile, (2014).
 16. Anass Benjebbour, Keisuke Saito, Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, NTT DOCOMO Technical Journal, 5G Radio Access Technology (Anass Benjebbour et al., 2016).
 17. Guangyi Liu, Dajie Jiang, Chinese Journal of Engineering, 5G: Vision and Requirements for Mobile Communication System towards Year 2020, (Guangyi Liu & Dajie Jiang ,2016).
 18. Advanced 5G Network Infrastructure for the Future Internet Public Private Partnership in Horizon 2020, Creating a Smart Ubiquitous Network for the Future Internet, (2013).
 19. M. D. Patel, International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET), The Implications of 5G Networks for Mobile Operators, (M. D. Patel, 2016).
 20. Fuad Alnajjar, Yahao Chen, International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), SNR/RP AWARE ROUTING ALGORITHM: CROSS-LAYER DESIGN FOR MANETS (Fuad Alnajjar & Yahao Chen, 2009).
 21. Stuart Clayman, Lefteris Mamatas, Alex Galis, ResearchGate, Efficient Management Solutions for Software Defined Infrastructures, (Stuart Clayman et al., 2016).
 22. Akram Hakiri, Pascal Berthou, Leveraging SDN for The 5G Networks: Trends, Prospects and Challenges,(Akram Hakiri & Pascal Berthou, 2014).
 23. Patrick Kwadwo Agyapong, Mikio Iwamura, Dirk Staehle, Wolfgang Kiess, DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH, Design

considerations for a 5G network architecture, (Patrick Kwadwo Agyapong et al., 2014).

24. Ian F. Akyildiz, David M. Gutierrez-Estevez, Elias Chavarria Reyes, Physical Communications, The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced, (Ian F. Akyildiz et al., 2010).
25. Nicola Bui, Matteo Cesana, S. Amir Hosseini, Qi Liao, Ilaria Malanchini, Joerg Widmer, Anticipatory Networking in Future Generation Mobile Networks: a Survey, (Nicola Bui et al., 2016).