



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΣΧΟΛΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

Μελέτη τεχνολογιών RAN για 5G δίκτυα

Δημήτρης Βουρλούμης

AM: 2787

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Πολίτη Χριστίνα ,Πάτρα 2021.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή
Πάτρα, 2022

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία. Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος. Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Βουρλούμη Δημήτρη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Πολίτη Χριστίνα για την καθοδήγηση που μου προσέφερε και το χρόνο που διέθεσε δίνοντάς μου χρήσιμες συμβουλές και οδηγίες για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Στο ίδιο πλαίσιο ευγνωμοσύνης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής για τη συμβολή τους στην επιστημονική και τεχνολογική μου συγκρότηση στα χρόνια της φοίτησής μου. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την οικονομική τους υποστήριξη, καθώς και τους συγγενείς και τους φίλους για την ηθική υποστήριξη σε όλο το διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την πτυχιακή θα αναφέρουμε γιατί οι ραγδαίες εξελίξεις στην βιομηχανία των ασύρματων δικτύων απαιτούν αλλαγές κυρίως στο RAN,θα αναλύσουμε τις νέες τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης που θα αναπτυχθούν στο 5G για να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις(μεγάλες ταχύτητες,χαμηλή καθυστέρηση).Αρχικά θα αναλύσουμε την αρχιτεκτονική του 5G(RAN,5G CORE).Έπειτα θα αναλύσουμε την νέα τεχνολογία ραδιοπρόσβασης (New Radio) και το φάσμα συχνοτήτων που θα χρησιμοποιηθεί. Θα γίνει περιγραφή του RAN στο 5G καθώς και σε παλαιότερες τεχνολογίες RAN τα προβλήματα που υπάρχουν καθώς και πως η εικονικιοποίηση και η εισαγωγή λογισμικού στα δίκτυα θα βοηθήσει στην επίλυση αυτών τον προβλημάτων και την δημιουργία νέων αρχιτεκτονικών RAN. Θα αναλύσουμε τις νέες αρχιτεκτονικές RAN(C-RAN/vRAN/O-RAN) τα τις προκλήσεις και πως βοηθάνε του παρόχους και τους διαχειριστές των δικτύων RAN. Τέλος θα δούμε πως το Simu5G μας δίνει την δυνατότητα προσομοίωσης ενός 5G standalone συστήματος και τις αλλαγές στις παραμέτρους κώδικα για το κάθε σενάριο.

ABSTRACT

In this paper we will explain why the rapid developments in the wireless network industry require changes mainly in RAN part, we will analyze the new radio access technologies that will be developed in 5G to meet the requirements (high speeds, low latency) of 5G. We will mention the 5G architecture (RAN, 5G CORE). Then we will analyze the new radio technology (New Radio) and the frequencies that we will be used. RAN will be described in 5G as well as legacy RAN technologies, the existing problems as well as how the virtualization and the introduction of software in the networks will help to solve this problem and create new RAN architectures. We will analyze the new RAN architectures (C -RAN / vRAN / O-RAN) their challenges and how will they help the providers and administrators of RAN networks. Finally we will see how Simu5G gives us a 5G standalone system to simulate and the changes in the code parameters for each scenario.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1(ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G)

Εισαγωγή-Γιατί χρειαζόμαστε το 5G;

1 Αρχιτεκτονική 5G

1.2 Radio Access Network(RAN)

1.3 NodeB(eNodeB/gNodeB/ng-eNB)

1.3.1 Διαφορά μεταξύ gNB με ng-eNB;

1.4 5G Core Network(NGC)

1.5 Εφαρμογή 5G

1.5.1 Non Stand-Alone(NSA)

1.5.2 Stand-Alone(SA)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 (5G New Radio- NR)

2.0 5G New Radio

2.1 Ζώνη mmWave

2.2 Διαμόρφωση δέσμης(Beamforming)

2.2.1 Κατεύθυνση δέσμης και εναλλαγή δέσμης

2.2.2 Αναλογική διαμόρφωση δέσμης

2.2.3 Ψηφιακή διαμόρφωση δέσμης

2.2.4 Υβριδική διαμόρφωση δέσμης

2.3 Κεραίες Πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων(Multiple input and Multiple output (MIMO))

2.4 Διαφορές 5G NR-4G LTE

2.5 Δομή Πακέτου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 (Σενάρια χρήστη του 5G)

3.1 enhanced Mobile BroadBand (eMBB)

3.2 massive Machine-Type Communication (mMTC)

3.3 Ultra-Reliable and Low-Latency Communication (URLLC)

3.4 Τεμαχισμός Δικτύου - Network Slicing

3.5 Mobile Edge Computing(MEC)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 (Εικονικά δίκτυα και δίκτυα λογισμικού)

4.1 Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύου-Network Functions Virtualization(NFV)

4.2 Εικονικές λειτουργίες δικτύου Virtual Network Functions(VNFs):

4.3 Διαχωρισμός Λειτουργιών Δικτύου-Network Functions Disaggregation(NFD)

4.3.2 Πλεονεκτήματα NFV

4.3.3 Προκλήσεις NFV

4.4 Λειτουργίες Τύπου Νέφους-Cloud-Native Functions CNF

4.5 Δίκτυα Λογισμικού - Software-Defined Networks(SDN)

4.5.1 Αρχιτεκτονική SDN

4.5.2 Πλεονεκτήματα SDN

4.6 Σύγκριση SDN-NFV

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5(Radio Access Network)

5.1 Radio Access Network

5.2 Υποδομή Δικτύου

5.3 Παλαιότερες τεχνολογίες RAN

5.3.1 GSM RAN

- 5.3.2 GSM EDGE RAN
- 5.3.3 UMTS RAN(UTRAN)
- 5.3.4 Evolved UTRAN
- 5.4 Επόμενης Γενιάς RAN(Next Generation RAN-NG RAN)
- 5.5 ng-eNB(NextGeneration evolved-NodeB):
- 5.5.1 gNB(NextGeneration NodeB):

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 (C-RAN/cloud-RAN/centralized RAN)

- 6.1 Διαμοιρασμένα RAN-Distributed RAN Αρχιτεκτονική
- 6.2 Κεντρικά RAN-C-RAN Αρχιτεκτονική
- 6.2.1 C-RAN Δομή Συστημάτων
- 6.2.2 Πλεονεκτήματα κεντρικού BBU στα C-RAN
- 6.3 Εικονικοποίηση C-RAN
- 6.3.1 NFV τυποποίηση για τα C-RAN
- 6.3.2 SDN συστήματα για τα C-RAN
- 6.4 Προκλήσεις C-RAN

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Εικονικά RAN (Virtual Radio Access Network)

Εισαγωγή Ο ρόλος της εικονικοποίησης

- 7.1 Virtual RAN(εικονικά)
- 7.2 Αναβάθμιση στα vRAN
- 7.3 Πλεονεκτήματα vRAN.
- 7.4 Ο ρόλος των vRAN στο 5G.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8(Ανοιχτά RAN/OpenRAN)

- 8.1 Το πρόβλημα των παραδοσιακών RAN
- 8.2 Τι είναι ανοιχτό RAN(O-RAN);
- 8.3 O-RAN ALLIANCE
- 8.4 Ο ρόλος του RAN έξυπνου ελεγκτή(RAN Intelligent Controller-RIC):
- 8.6 O-RAN 5G
- 8.6.1 O-RAN Πλεονεκτήματα
- 8.6.2 O-RAN Προκλήσεις

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- 1.2 Omnet++
- 1.2 Simu5G
- 1.3 Ανάλυση προσομοίωσης-5G Standalone
- 1.4 1ο Σενάριο
- 1.5 2ο Σενάριο
- 1.6 3ο Σενάριο
- Συμπεράσματα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κινητή βιομηχανία είναι σε ένα κρίσιμο σημείο. Στο τέλος του 2017 υπήρξαν 4.8 δισεκατομμύρια συνδρομητές κινητής αντιπροσωπεύοντας το 65% του παγκόσμιου πληθυσμού, αλλά ο ρυθμός αύξησης των συνδρομητών μειώνεται στο 4.2% κάθε έτος, έτσι τα έσοδα περιορίζονται. Αλλά ο ρυθμός και ο τύπος της κινητής κίνησης συνεχίζει να εκτοξεύεται. Σύμφωνα με την Cisco, ο ρυθμός δεδομένων θα αυξηθεί πάρα πολύ μέχρι το 2022. Ο αριθμός των συσκευών που συνδέονται στο διαδίκτυο (Internet Of Things) αυξάνεται. Την ίδια στιγμή, οι δυνατότητες του 5G δικτύου καινοτομούν σε εφαρμογές ελάχιστης καθυστέρησης (ultra low latency-ULL), και για πρώτη φορά μαζικό μηχανικού τύπου επικοινωνία το οποίο θα οδηγήσει την ένταση και τον τύπο των δεδομένων ακόμα πιο ψηλά.

Οι πάροχοι βρίσκονται υπό πίεση ώστε να ανταπεξέλθουν στην αύξηση της χωρητικότητας ενώ ταυτόχρονα να συγκρατούν το κόστος και να λανσάρουν νέες πρόσφορες σε μια ανταγωνιστική αγορά, οι πάροχοι πρέπει να προετοιμαστούν για το μέλλον του 5G. Αυτοί οι παράγοντες οδήγησαν σε αλλαγές του κεντρικού δικτύου με την χρήση SDN και NFV, τα οποία βοηθούν στο να χτιστεί ένα ευέλικτο και πιο οικονομικό κεντρικό δίκτυο. Παρόλα αυτά το δίκτυο ράδιο πρόσβασης (Radio Access Network-RAN) παρέμεινε άθικτο πράγμα που προκάλεσε αντιδράσεις αφού το RAN παίζει μεγάλο ρόλο στις δαπάνες τόσο για την διαχείριση (OPEX) όσο και στην δημιουργία δικτύων (CAPEX), υπολογίζεται ότι το 65-70% των συνολικών εξόδων οφείλεται στα RAN τμήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1(ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G)

Εισαγωγή-Γιατί χρειαζόμαστε το 5G;

Το 5G είναι ένα ασύρματο δίκτυο επόμενης γενιάς το οποίο αναμένεται να αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι ζουν και δουλεύουν. Θα είναι πιο γρήγορο και θα μπορεί να υποστηρίξει περισσότερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών από ότι το 4G LTE, βελτιώσεις οι οποίες θα προσφέρουν νέα τεχνολογικά προϊόντα. Το 5G εφαρμόζεται σε πολλές χώρες και οι δυνατότητες του είναι υψηλές.

Γιατί χρειαζόμαστε το 5G;

1)Μεγαλύτερη ταχύτητα(higher throughput).

Πλέον χρησιμοποιούμε περισσότερο τα κινητά τηλέφωνα για να έχουμε πρόσβαση στο ίντερνετ παρά τον προσωπικό μας υπολογιστή, συνεπώς αυξάνονται η χρήστες που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο και έτσι το δίκτυο γίνεται πιο αργό. Για αυτόν τον λόγο χρειαζόμαστε ένα σύστημα το οποίο θα παρέχει γρηγορότερη ταχύτητα για να μπορεί να υποστηρίξει καλύτερα την πρόσβαση στο διαδίκτυο.

2)Μεγάλος αριθμός συνδέσεων(large connections)

Πλέον με το διαδίκτυο των πραγμάτων(Internet of Things) ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών στο διαδίκτυο αυξάνεται και έτσι χρειαζόμαστε ένα σύστημα το οποίο μπορεί να υποστηρίξει αυτόν τον τεράστιο αριθμό συνδέσεων.

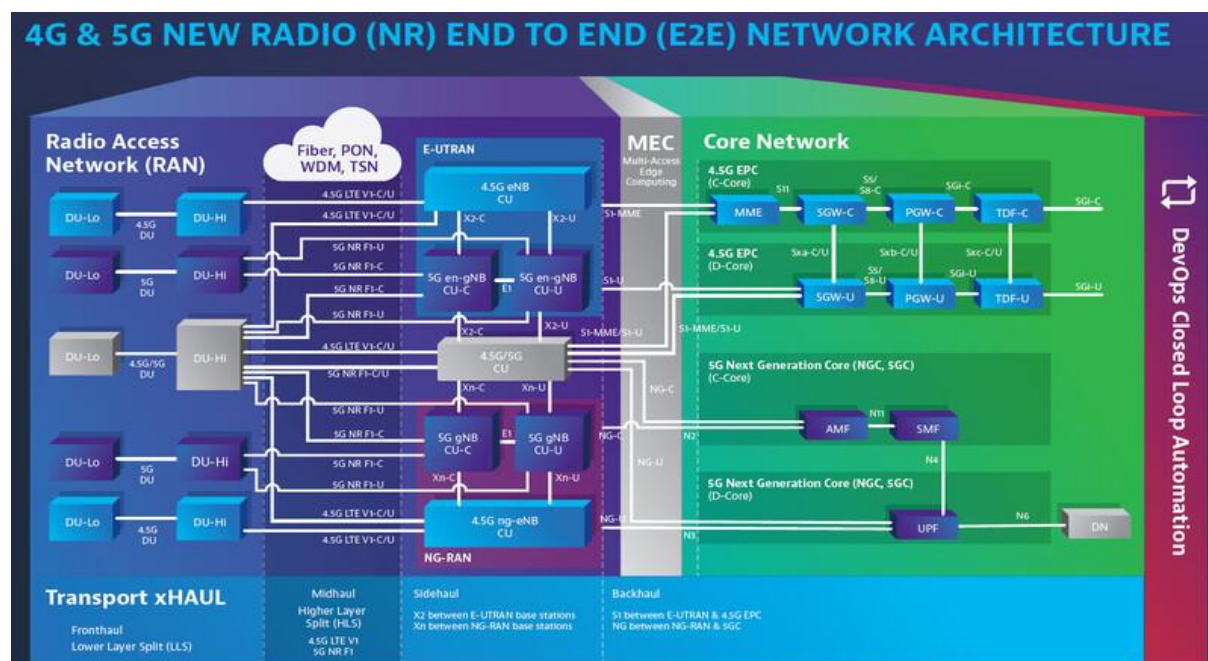
3)Ελάχιστη καθυστέρηση(low latency)

Το 4G LTE παρέχει end-to-end latency περίπου από 30ms έως 50ms και αυτό μπορεί να ικανοποιήσει τις περισσότερες υπηρεσίες. Όμως μερικές υπηρεσίες όπως αυτόματη οδήγηση,βιομηχανικό έλεγχο,ιατρική εξ αποστάσεως και εγχείρηση εξ αποστάσεως, απαιτούν πολύ χαμηλότερη καθυστέρει και υψηλή αξιοπιστία.

Για αυτούς τους λόγους που αναφέραμε πριν χρειαζόμαστε ένα καινούργιο σύστημα(5G) για να μπορεί να ανταπεξέλθει στις προκλήσεις στις οποίες το 4G LTE δεν μπορεί να ξεπεράσει.

1.1 Αρχιτεκτονική 5G

Τα 5G δίκτυα στοχεύουν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις μιας υψηλά δραστήριας και συνεχώς συνδεδεμένης κοινωνίας. Η συνύπαρξη εφαρμογών για τον άνθρωπο και του Internet of Things(IoT) θα καθορίσει τι νέες λειτουργίες και απαιτήσεις απόδοσης τις οποίες τα 5G δίκτυα θα πρέπει να υποστηρίζουν. Στο 5G σύστημα,ο end-to-end(E2E) τεμαχισμός δικτύου(network slicing),η αρχιτεκτονική βασισμένη στην υπηρεσία,το δίκτυο καθορισμένο από λογισμικό(Software Defined Network),οι εικονικοποιημένες λειτουργίες δικτύου(Network Function Virtualization NFV),θεωρούνται οι βασικοί πυλώνες για να υποστηρίξουν τους δείκτες απόδοσης(key performance indicators KPIs) των νέων σεναρίων χρήσης με έναν οικονομικό τρόπο. Το 5G δίνει στους παρόχους ευκαιρίες να προσφέρουν νέες υπηρεσίες στους συνδρομητές και επιχειρήσεις αντιμετωπίζοντας τις αντίστοιχες απαιτήσεις τους. Στο 5G χρησιμοποιείται μια νέα διεπαφή μετάδοσης (NewRadio NR),νέες τεχνικές επεξεργασίας σήματος όπως beamforming.



Σχήμα: Αρχιτεκτονική 5G δικτύου

1.2 Radio Access Network(RAN):Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να επικοινωνήσουν,μετατρέποντας την φωνή και τα δεδομένα σε ψηφιακά σήματα για να τα σταλούν ως ραδιοκύματα. Προκειμένου το κινητό τηλέφωνο να συνδεθεί σε ένα δίκτυο ή στο διαδίκτυο,συνδέεται πρώτα με ένα δίκτυο ραδιοσύνδεσης(Radio Access Network).Τα δίκτυα ραδιοσύνδεσης χρησιμοποιούν σταθμούς βάσης για να σε συνδέσουν στο κεντρικό δίκτυο. Οι περισσότεροι σταθμοί βάσεις συνδέονται μέσω οπτικής ίνας με το κεντρικό δίκτυο.

Το RAN προσφέρει ραδιοσύνδεση και βοηθάει στον συντονισμό των πόρων του δικτύου από όλες τις ασύρματες συσκευές. Οι συσκευές συνδέονται κυρίως με κινητά

δίκτυα μέσω LTE ή 5G NR συνδέσεις. Τόσο το κεντρικό δίκτυο όσο και ο εξοπλισμός του πελάτη (smartphone, laptop) βοηθάνε στην βελτιστοποίηση των RAN.

1.3 NodeB(eNodeB/gNodeB/ng-eNB): Είναι τμήματα της αρχιτεκτονικής του Radio Access Network είναι τα eNodeB και λειτουργούν ως σταθμοί βάσεις για τα 4G LTE δίκτυα κινητής η σύνδεση μεταξύ eNodeB και τον εξοπλισμό του χρήστη (UE) γίνεται μέσω δυο τεχνολογιών Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) για το downlink και Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) για το uplink. Στο 5G θα χρησιμοποιηθούν δυο τύποι σταθμών βάσης τα gNodeB (gNB) και τα next-generation Evolved Node B (ng-eNB). gNB είναι ο 5G σταθμός βάσης ενώ οι ng-eNB είναι μια αναβάθμιση του eNB που αναφέραμε πριν.

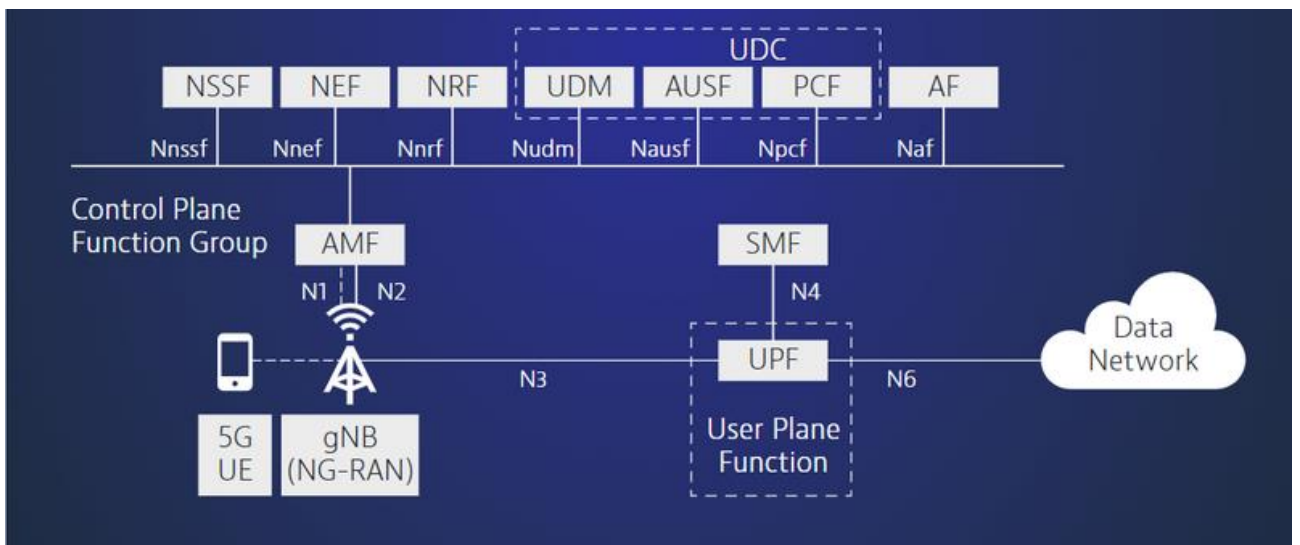
1.3.1 Ποια η διαφορά μεταξύ gNB με ng-eNB; Η διαφορά είναι ότι όταν χρησιμοποιούνται τα 5G Core networks αντί για τα EPC (το core δίκτυο για το 4G LTE), οι 5G συσκευές θα χρησιμοποιούν τα gNB τόσο για το πάνελ έλεγχου όσο και του χρήστη. Οι 4G συσκευές θα χρησιμοποιούν τα ng-eNB αντί για το eNB για να μπορούν να συνδεθούν στο κινητό δίκτυο μέσω ενός 5G core δικτύου. Το επόμενης γενιάς eNB μεταφράζεται ως gn-eNB.



Σχήμα: Εξέλιξη σταθμών βάσης στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας

1.4 5G Core Network (NGC): Το 5G κεντρικό δίκτυο (core network) είναι η καρδιά του 5G συστήματος και βοηθάει στην αύξηση της ταχύτητας ώστε να μπορεί να

ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις. Το νέο 5G core όπως το έχει ορίσει η 3GPP χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική ανάλογα με την υπηρεσία(Service Based Architecture) όπου επεκτείνεται σε όλες τις λειτουργίες,επικοινωνίες όπως ταυτοποίηση,ασφάλεια,διαχείριση συνεδρίων και τον διαχωρισμό της κίνησης από τις τερματικές συσκευές. Το 5G core δίνει βάση στο Network Function Virtualization(NFV) ως κύρια ιδέα με εικονικές λειτουργίες ικανές να εφαρμοστούν χρησιμοποιώντας Mobile Edge Computing(MEC) υποδομή η οποία αποτελεί μια από προδιαγραφές για την αρχιτεκτονική του 5G.

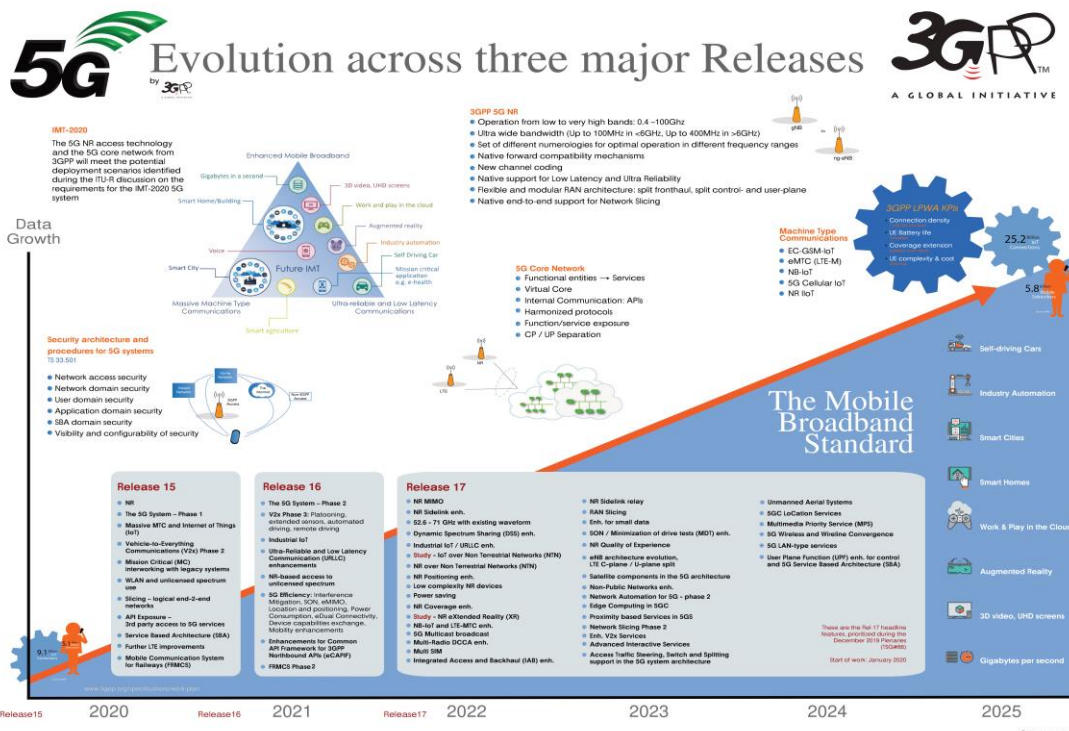


Σχήμα:5G Δίκτυο

1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ 5G Το 5G θα εφαρμοστεί σε διάφορα στάδια. Το πρώτο στάδιο/early drop (phase 1.1) έχουμε την εφαρμογή του 5G Non-Standalone NR (NSA,NR + EPC) και χρησιμοποιείται NSA τεχνολογία για την συνεργασία μεταξύ των δυο συστημάτων(5G και 4G). Στην επόμενη φάση(phase 1.2) το 5G θα είναι ανεξάρτητο δίκτυο(SA,NR+NGC).

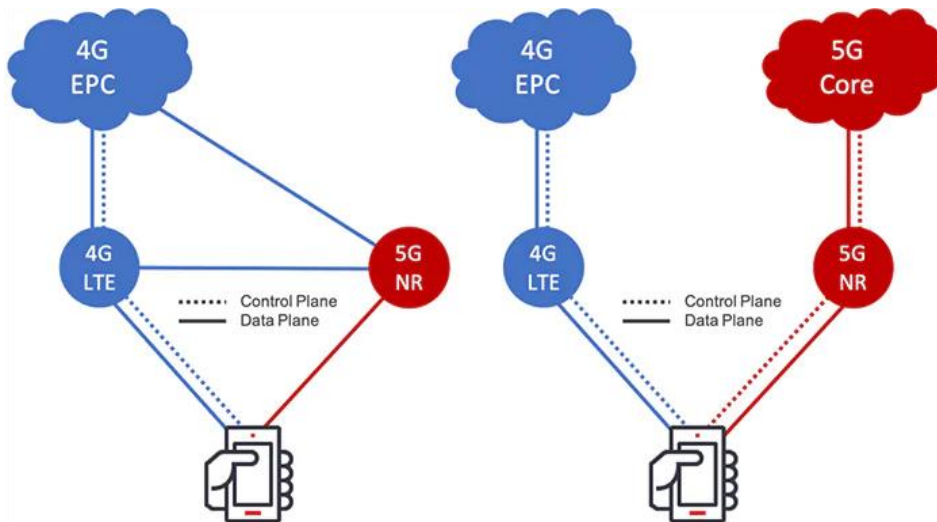


3GPP(3rd Generation Partnership Project) είναι ένας όρος ο οποίος αναφέρεται σε μια ομάδα από οργανισμούς οι οποίοι καθορίζουν κάποια στάνταρ,πρωτόκολλα για τα κινητά δίκτυα. Η 3GPP καλύπτει τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες όπως RAN,κεντρικά δίκτυα μεταφοράς και δυνατότητες υπηρεσιών. Επίσης παρέχει πλήρες συστηματικές προδιαγραφές για την 5G αρχιτεκτονική. Επίσης καθορίζει τις φάσεις εφαρμογής του 5G τις υπηρεσίες οποί είναι διαθέσιμες εμπορικά για κάθε στάδιο εφαρμογής. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται πλήρως τα στάδια εφαρμογής και οι διαθέσιμες υπηρεσίες σε κάθε στάδιο εφαρμογής.



1.5.1 5G Non-Standalone(NSA) NR:Είναι μια αρχιτεκτονική η οποία θα χρησιμοποιηθεί στο αρχικό στάδιο εφαρμογής του 5G,στο NSA το 5G δίκτυο πρόσβασης(Radio Access Network RAN) συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο του 4G LTE.Η NSA λύση βοηθάει του παρόχους να προσφέρουν στους πελάτες τους μεγαλύτερες ταχύτητες χωρίς να αλλάξουν το κεντρικό τους δίκτυο. Στην αρχιτεκτονική αυτή δεν υποστηρίζονται όλες οι υπηρεσίες του 5G όπως mMTC (massive Machine-Type Communication) και URLLC (Ultra-Reliable και Low-Latency Communication) παρά μόνο οι υπερουσίες eMBB (enhanced Mobile BroadBand)

1.5.2 5G Stand-Alone(SA) NR:Είναι μια αρχιτεκτονική στην οποία το 5G δίκτυο λειτουργεί αυτόνομα χωρίς να αλληλεπιδρά με δίκτυα παλαιότερης γενιάς 4G LTE. Στην 5G SA αρχιτεκτονική ξεκλειδώνονται όλες οι δυνατότητες του 5G αφού πλέον χρησιμοποιείται το 5G Core το οποίο υποστηρίζει όλες τις υπηρεσίες του 5G,αρχιτεκτονική ανάλογα με την υπηρεσία(Service Based Architecture-SBA) και εικονικές λειτουργίες δικτύου.



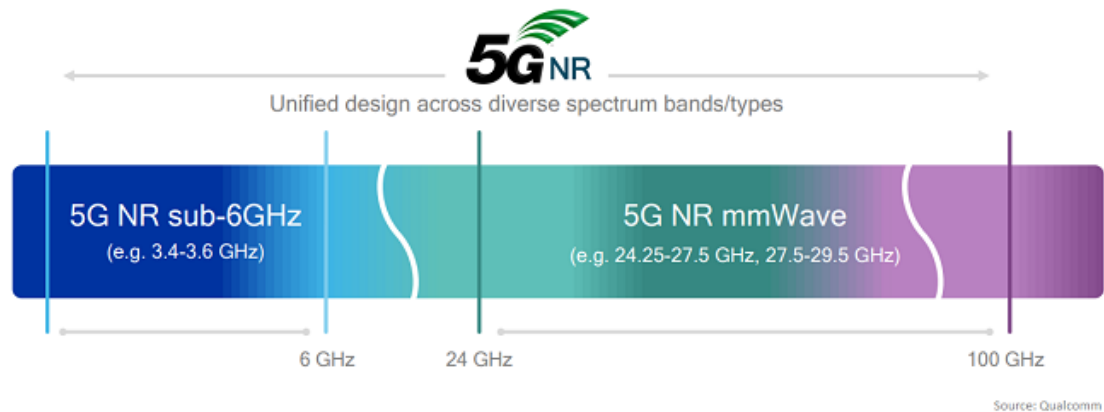
Σχήμα: 5G Non-Standalone και Standalone

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 (5G New Radio-NR)

Με τις απαιτήσεις που θέτουν τα δίκτυα 5G, έχει αναπτυχθεί μια εντελώς νέα διεπαφή ραδιοπρόσβασης που ονομάζεται 5G New Radio ή 5G NR. Η νέα διεπαφή καλύπτει τις αυξανόμενες ανάγκες της κινητής τηλεφωνίας. Η ανάπτυξη του 5G NR είναι το κλειδί για την ανάπτυξη και την λειτουργία των 5G συστημάτων και παρέχει μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με το 4G. Το 5G NR χρησιμοποιεί διαμόρφωση, κυματομορφές και τεχνολογίες πρόσβασης που θα επιτρέψουν στο σύστημα να καλύψει τις ανάγκες υπηρεσιών υψηλού ρυθμού δεδομένων, χαμηλής καθυστέρησης και όσους χρειάζονται μικρούς ρυθμούς δεδομένων και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας (IoT).

2.0 Πως δουλεύει το 5G-NR;

Η τερματικές συσκευές και η δικτυακή υποδομή μεταδίδουν δεδομένα μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικά ραδιοκύματα. Ανάλογα με την συχνότητά αυτών των κυμάτων καταλαμβάνει διαφορετικό μέρος του φάσματος.



Σχήμα: Φάσμα συχνοτήτων 5G-NR

Μερικά από τα κύματα που χρησιμοποιεί το 5G-NR έχουν συχνότητες μεταξύ 400MHz και 6GHz και ανήκουν στο sub-6GHz φάσμα. Το sub-6GHz φάσμα χρησιμοποιείται και από άλλες τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης, όπως 4G-LTE. Η χρήση διαφορετικών τεχνολογιών ραδιοπρόσβασης στο ίδιο φάσμα δημιουργεί παρεμβολές μεταξύ τους.

Το πλεονεκτήματα του 5G NR είναι ότι χρησιμοποιεί μια τεχνολογία που ονομάζεται Dynamic Spectrum Sharing (DSS). Αυτή η τεχνολογία DSS επιτρέπει στα σήματα 5G NR να χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη φάσματος με το 4G-LTE και άλλες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας. Αυτό επιτρέπει την ανάπτυξη δικτύων 5G NR χωρίς την διακοπή λειτουργίας 4G-LTE ή άλλων δικτύων που υποστηρίζουν υπάρχοντα smartphones ή συσκευές IoT.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα του 5G NR είναι ότι δεν χρησιμοποιεί μόνο το φάσμα sub-6GHz για τη μετάδοση δεδομένων αλλά χρησιμοποιεί και μεγαλύτερες συχνότητες μεταξύ 24GHz και παραπάνω για την μετάδοση δεδομένων, ονομάζεται ζώνη κυμάτων χιλιοστού (mmWave).

2.1 Ζώνη mmWave.

Η ζώνη κυμάτων χιλιοστών (mmWave) αυξάνει το διαθέσιμο φάσμα για τα κινητά δίκτυα. Η έλλειψη χωρητικότητας φάσματος ήταν πρόβλημα στο παρελθόν, καθώς υπάρχει περιορισμένος αριθμός ζωνών φάσματος sub-6GHz για χρήση από παρόχους. Η έλλειψη χωρητικότητας και οι στενές ζώνες φάσματος οδήγησαν σε συμφόρηση δικτύου, η οποία περιορίζει την ποσότητα δεδομένων που μεταδίδονται σε δίκτυα του φάσματος sub-6GHz.

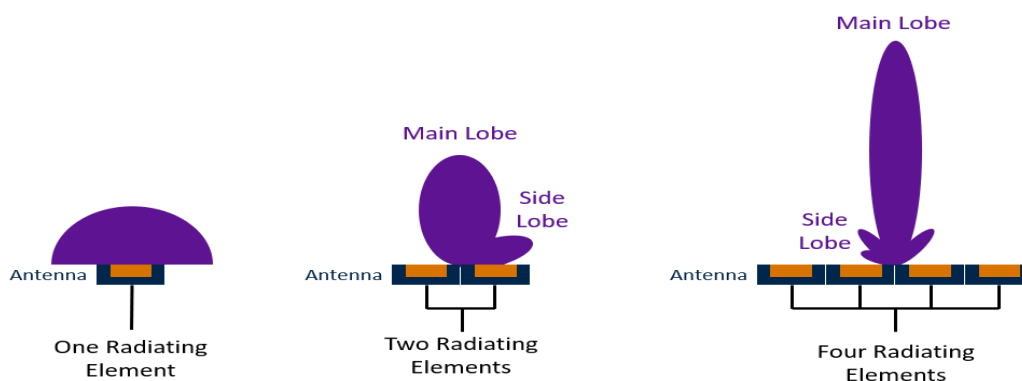
Το mmWave αυξάνει το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων και τις ζώνες συχνοτήτων για τη μετάδοση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Η αυξημένη χωρητικότητα που παρέχεται από το mmWave μειώνει, τον χρόνο μετάδοσης (ο χρόνος από τη στιγμή που η συσκευή στέλνει ένα σήμα και τη στιγμή που λαμβάνει απόκριση). Μειώνοντας την καθυστέρηση από 10ms (συσκευές sub-6GHz) σε 3-4ms ή χαμηλότερο με συσκευές 5G NR mmWave, το 5G επιτρέπει νέες υπηρεσίες.

Από την άλλη πλευρά, αυτές οι νέες συσκευές mmWave και η υποδομή δικτύου συνοδεύονται από νέες τεχνικές απαιτήσεις, καθώς και μειονεκτήματα που σχετίζονται με τη χρήση του φάσματος mmWave. Για παράδειγμα, οι συσκευές mmWave καταναλώνουν περισσότερη ισχύ και παράγουν περισσότερη θερμότητα

από τις συσκευές sub-6GHz. Επιπλέον, τα σήματα mmWave έχουν μικρότερη εμβέλεια και δεν διαπερνούν τοίχους και άλλα φυσικά αντικείμενα τόσο εύκολα όσο τα κύματα sub-6GHz. Το 5G NR περιλαμβάνει ορισμένες τεχνολογίες, όπως τη διαμόρφωση δέσμης (beamforming) και συστήματα πολλαπλών εξόδων και εισόδων (MIMO) μειώνοντας τους περιορισμούς εμβέλειας και διείσδυσης εμποδίων, αλλά δεν τους εξαλείφουν.

2.2 Διαμόρφωση δέσμης (Beamforming): Η διαμόρφωση δέσμης χρησιμοποιείται από πολλά στοιχεία μετάδοσης για την εστίαση του σήματος προς μια κατεύθυνση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα καλύτερης ποιότητας σήμα στον χρήστη (User Equipment) και λιγότερες παρεμβολές μεταξύ UE.

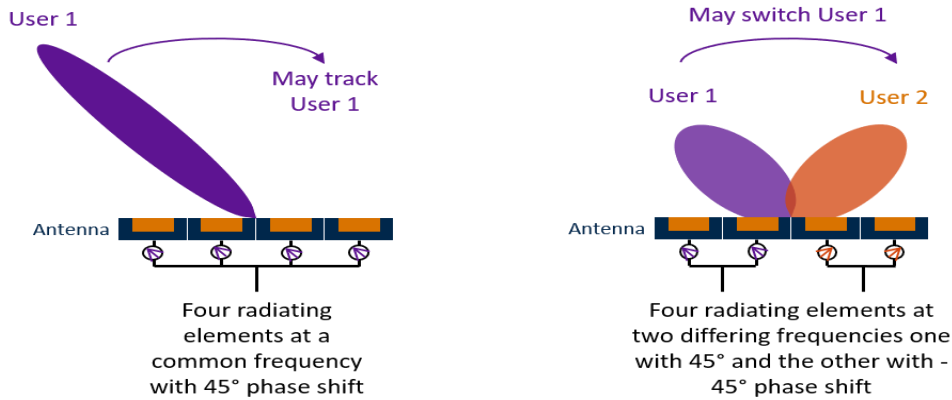
Τα στοιχεία μετάδοσης είναι σχεδιασμένα ώστε τα σήματα από κάθε στοιχείο να συνδυάζονται σχηματίζοντας έναν κύριο λοβό, που μεταδίδει το σήμα προς μια κατεύθυνση. Κατά την διαδικασία αυτή δημιουργούνται και ανεπιθύμητα σήματα (πλάγιος λοβός), τα στοιχεία αυτά έχουν σχεδιαστεί ώστε να κρατάν την ενεργεία στους πλάγιους λοβούς σε αποδεκτά επίπεδα.



Σχήμα: Διαμόρφωση δέσμης με 2 και 4 στοιχεία μετάδοσης

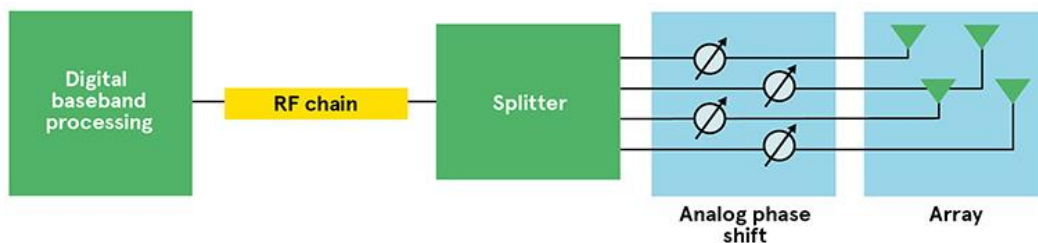
2.2.1 Κατεύθυνση δέσμης και εναλλαγή δέσμης:

Η κατεύθυνση της δέσμης μπορεί να αλλάξει, αλλάζοντας τη φάση του σήματος εισόδου σε όλα τα στοιχεία μετάδοσης. Η μετατόπιση φάσης επιτρέπει στο σήμα να στοχεύει σε έναν συγκεκριμένο δέκτη. Μια κεραία μπορεί να χρησιμοποιήσει στοιχεία μετάδοσης με κοινή συχνότητα για να κατευθύνει μια δέσμη προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Διαφορετικές δέσμες συχνοτήτων μπορούν επίσης να κατευθύνονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις για να εξυπηρετούν διαφορετικούς χρήστες. Η κατεύθυνση προς την οποία στέλνεται ένα σήμα υπολογίζεται δυναμικά από το σταθμό βάσης καθώς το τελικό σημείο κινείται, παρακολουθώντας τον χρήστη. Εάν μια δέσμη δεν μπορεί να παρακολουθήσει έναν χρήστη, το τελικό σημείο μπορεί να αλλάξει σε διαφορετική δέσμη. Η παρακολούθηση επιτυγχάνεται από το γεγονός ότι στο 5G οι σταθμοί βάσεις πρέπει να βρίσκονται πιο κοντά στους χρήστες από ότι σε δίκτυα παλαιότερης γενιάς.



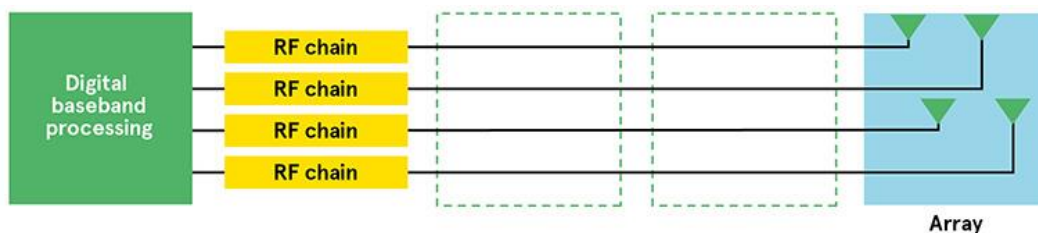
Σχήμα: Κατεύθυνση δέσμης και εναλλαγή δέσμης

2.2.2 Αναλογική διαμόρφωση δέσμης: Η αναλογική διαμόρφωση δέσμης είναι η απλούστερη από τις τρεις μεθόδους, όπου η φάση του σήματος αλλάζει στον αναλογικό τομέα. Η έξοδος από έναν μόνο πομποδέκτη ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency) χωρίζεται σε έναν αριθμό διαδρομών, που αντιστοιχούν στον αριθμό των στοιχείων κεραίας στη συστοιχία. Κάθε διαδρομή σήματος διέρχεται μέσα από έναν μετατροπέα φάσης και ενισχύεται πριν φτάσει στην κεραία. Είναι ο πιο οικονομικός τρόπος υλοποίησης διαμόρφωσης δέσμης αφού χρησιμοποιεί ελάχιστο υλικό, όμως μπορεί να χειριστεί μόνο μια ροή δεδομένων και να δημιουργήσει μια δέσμη σήματος περιορίζοντας την αποτελεσματικότητά του στο 5G που απαιτούνται πολλαπλές δέσμες.



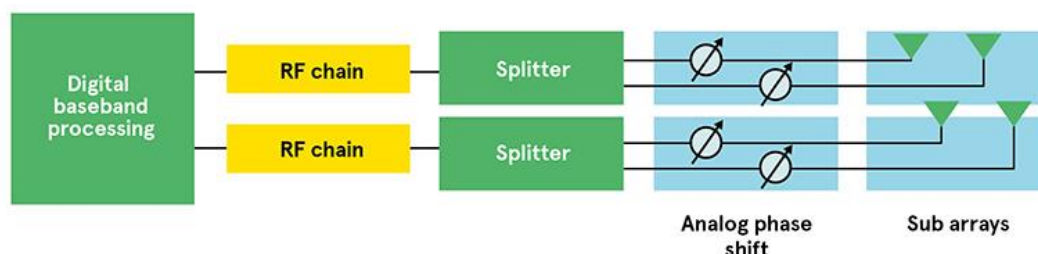
Σχήμα: Αναλογική διαμόρφωση δέσμης

2.2.3 Ψηφιακή διαμόρφωση δέσμης: Στην ψηφιακή διαμόρφωση δέσμης κάθε κεραία τροφοδοτείται από ξεχωριστό πομποδέκτη και δεδομένα και κάθε σήμα έχει κωδικοποιηθεί κατά την επεξεργασία στο BU πριν την μετάδοση RF. Επιτρέπει την δημιουργία πολλαπλών σημάτων προς την κεραία εξυπηρετώντας πολλές δέσμες (ή πολλούς χρήστες). Η ψηφιακή διαμόρφωση δέσμης είναι ιδανική για 5G δίκτυα αλλά απαιτεί περισσότερο υλικό και επεξεργασία σήματος που αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας ιδιαίτερα σε mmWave συχνότητες.



Σχήμα: Ψηφιακή διαμόρφωση δέσμης

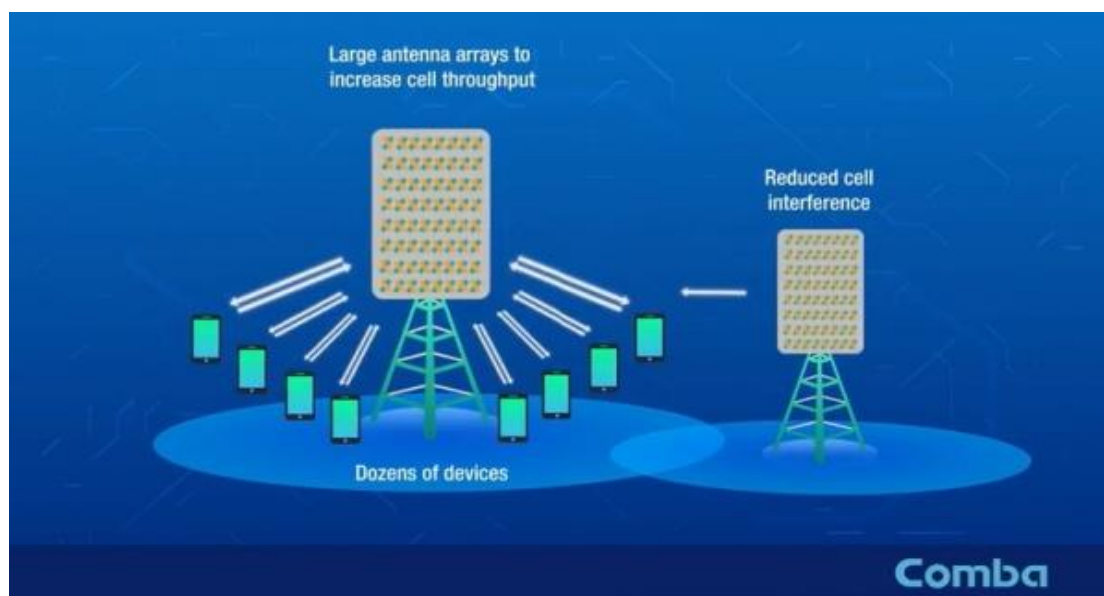
2.2.4 Υβριδική διαμόρφωση δέσμης: Όπου η αναλογική διαμόρφωση δέσμης πραγματοποιείται στο στάδιο RF και η ψηφιακή διαμόρφωση δέσμης στο baseband. Προσφέρει έναν συμβιβασμό μεταξύ της ευελιξίας της ψηφιακής διαμόρφωσης δέσμης και του χαμηλότερου κόστους και κατανάλωσης ισχύος της αναλογικής. Η υβριδική διαμόρφωση δέσμης, με την τμηματοποίηση της ψηφιακής και αναλογικής διαμόρφωσης δέσμης, μπορεί να ανταπεξέλθει στις συνεχείς εξελίξεις για τον διαχωρισμό και την εικονικιοποίηση του RAN που θα αναλύσουμε παρακάτω.



Σχήμα: Υβριδική διαμόρφωση δέσμης

2.3 Κεραίες Πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων(Multiple input and Multiple output (MIMO)):

Οι κεραίες πολλαπλών εισόδων και εξόδων απαιτούνται στην εφαρμογή του 5G και σε μεγάλο αριθμό. Η ιδέα είναι να εφαρμοστούν στους σταθμούς βάσεις συστοιχίες κεραιών που θα μεταδίδουν ταυτόχρονα ανεξάρτητα σήματα δεδομένων χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα αυξάνοντας την χωρητικότητα του δικτύου. Η φασματική απόδοση και η χωρητικότητα μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη κεραιών, μέχρι το σημείο όπου η κατανομή ισχύος και οι παρεμβολές μεταξύ των χρηστών θα έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένα κέρδη και, τελικά, απώλειες

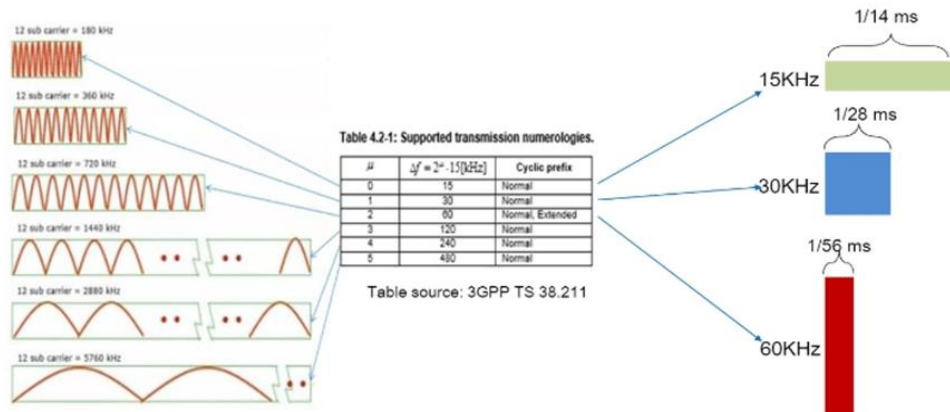


Σχήμα: Κεραίες Πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων

2.4 Διαφορές 5G NR-4G LTE: Παρόλο που το sub-6GHz με το mmWave είναι διαφορετικά, οι δυο τύποι 5G NR παρέχουν αυξημένη ταχύτητα, μικρότερη καθυστέρηση αλλά και βελτιώσεις σε σχέση με το 4G LTE, την προηγούμενη τεχνολογία ραδιοπρόσβασης.

Περισσότερες λειτουργίες του 5G NR είναι:

- Ευέλικτη αριθμολογία, η οποία επιτρέπει στην υποδομή δικτύου 5G NR να ρυθμίζει την απόσταση μεταξύ των δευτερευόντων φορέων σε μια ζώνη φάσματος στα 15, 30, 60, 120 και 240 kHz, αντί να χρησιμοποιεί μόνο διάστημα 15 kHz, όπως το LTE. Στο LTE χρησιμοποιείται μικρότερο φάσμα συχνοτήτων και στα 15kHz έχουμε ελάχιστες παρεμβολές. Στο 5G χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες συχνότητες έχοντας μεγαλύτερη ευελιξία και αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται το mmWave φάσμα αρχικά.



Σχήμα: 5G Αριθμολογία

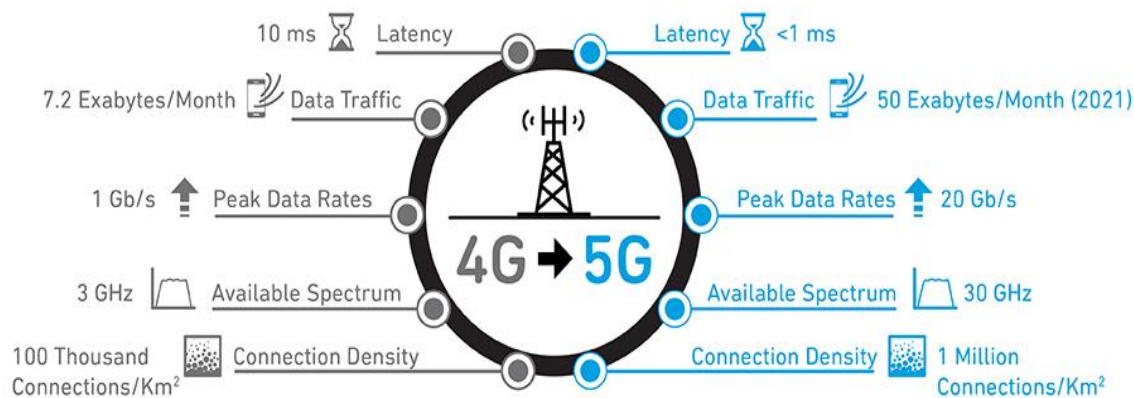
Βελτιώνει την απόδοση συσκευών 5G NR που χρησιμοποιούν υψηλότερο όπως το φάσμα C-Band 3,5 GHz, καθώς το δίκτυο μπορεί να προσαρμόσει την απόσταση των υποφορέων ώστε να ανταποκρίνεται στο συγκεκριμένο φάσμα και τις απαιτήσεις περιπτώσεων χρήσης που μεταδίδει. Για παράδειγμα, όταν απαιτείται χαμηλός χρόνος καθυστέρησης, το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιήσει ευρύτερο φάσμα για να βοηθήσει στη βελτίωση του χρόνου καθυστέρησης μετάδοσης.

- Selective Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ), που επιτρέπει στο 5G NR να σπάει μεγάλα μπλοκ δεδομένων σε μικρότερα μπλοκ, έτσι ώστε όταν υπάρχει σφάλμα, η αναμετάδοση να είναι μικρότερη, έτσι πετυχαίνει υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων από το LTE, το οποίο μεταφέρει δεδομένα σε μεγαλύτερα μπλοκ.
- Προληπτικός προγραμματισμός, ο οποίος μειώνει τον χρόνο καθυστέρησης επιτρέποντας στα δεδομένα υψηλότερης προτεραιότητας να αντικαθιστούν ή να καταλαμβάνουν δεδομένα χαμηλότερης προτεραιότητας, ακόμα κι αν τα δεδομένα χαμηλότερης προτεραιότητας μεταδίδονται ήδη.
- Συντομότερες μονάδες προγραμματισμού που περιορίζουν την ελάχιστη μονάδα προγραμματισμού σε δύο μόνο σύμβολα, βελτιώνοντας τον χρόνο καθυστέρησης.
- Νέα ανενεργή κατάσταση για συσκευές. Οι συσκευές LTE είχαν δύο καταστάσεις - αδράνεια και συνδεδεμένες. Το 5G NR περιλαμβάνει μια νέα κατάσταση - ανενεργή - που μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για μια

συσκευή να μετακινηθεί μέσα και έξω από τη συνδεδεμένη κατάσταση (την κατάσταση που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση), καθιστώντας τη συσκευή πιο αποκριτική.

Αυτές και οι άλλες τεχνικές εξελίξεις που έγιναν στο 5G NR είναι περίπλοκες, αλλά το αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων είναι αρκετά απλό – μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων, χαμηλότερη καθυστέρηση, μεγαλύτερη ευελιξία φάσματος και κατά τα άλλα καλύτερη απόδοση από το LTE.

Comparing 4G and 5G



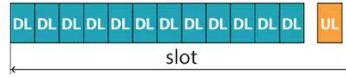
QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

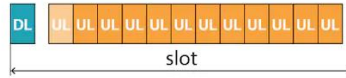
Σχήμα: Σύγκριση 4G με 5G

2.5 Δομή Πλαισίου 5G NR: Υποστηρίζει δύο περιοχές συχνοτήτων Sub 6GHz και mmWave. Στο 5G NR ένα πλαίσιο έχει διάρκεια 10 ms που αποτελείται από 10 υποπλαίσια με διάρκεια 1 ms. Κάθε υποπλαίσιο μπορεί να έχει μικρότερες υποδοχές. Κάθε μίνι-υποδοχή αποτελείται συνήθως από 14 σύμβολα OFDM. Το ραδιοπλαίσιο των 10 ms μεταδίδεται συνεχώς σύμφωνα με την τοπολογία TDD το ένα μετά το άλλο. Το υποπλαίσιο είναι σταθερής διάρκειας (δηλαδή 1 ms), καθώς το μήκος της υποδοχής ποικίλλει ανάλογα με την απόσταση του υποπλαίσιο και τον αριθμό των υποδοχών ανά υποπλαίσιο.

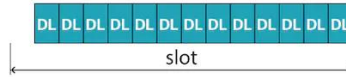
DL-heavy transmission with UL part



UL-heavy transmission with DL control

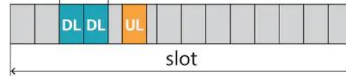


DL-only transmission with late start due to LBT or relaxed base station synchronization requirements

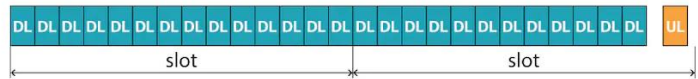


variable start
variable length

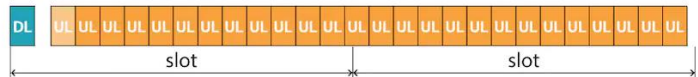
Utilizing mini-slots for URLLC transmission



Slot aggregation for DL-heavy transmission (for example, for eMBB)



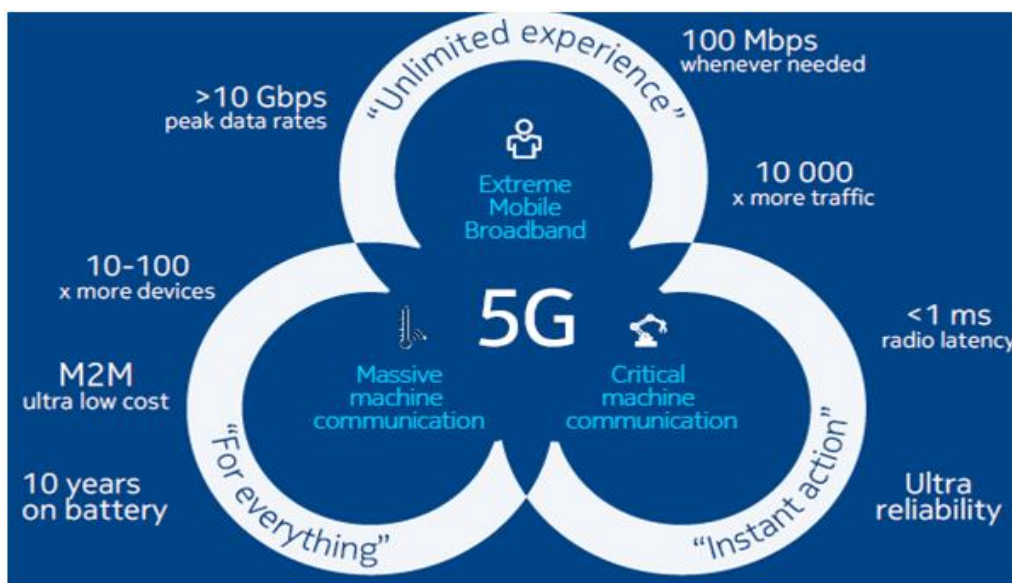
Slot aggregation for UL-heavy transmission (for example, for eMBB)



Σχήμα: Δομή πακέτου 5G

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 (ΣΕΝΑΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ 5G)

Το 5G NR, προτείνει τις εξής υπηρεσίες σε eMBB (enhanced Mobile BroadBand), mMTC (massive Machine-Type Communication), URLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communication):



Σχήμα: Απαιτήσεις 5G και σενάρια χρήσης.

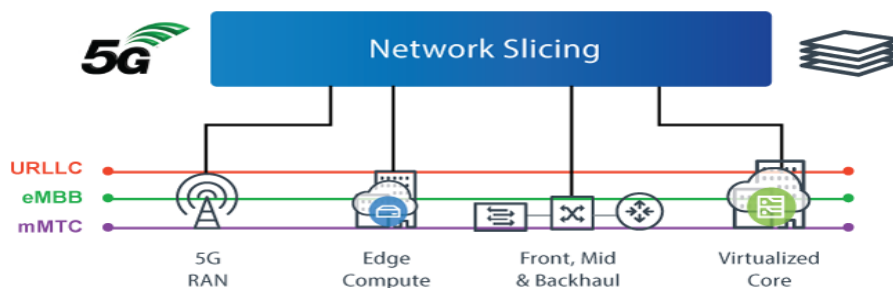
3.1 eMBB (enhanced Mobile BroadBand): Το 5G θα αυξήσει ακόμα περισσότερο την ταχύτητα του δικτύου και την εμπειρία του χρήστη. Αξιοποιώντας τις υψηλότερες μέγιστες και μέσες ταχύτητες του 5G NR και τη χαμηλότερη καθυστέρηση για να επιτρέπουν σε smartphones και άλλες συσκευές να υποστηρίξουν βιντεοπαιχνίδια υψηλής ευκρίνειας που βασίζονται σε cloud, βιντεοκλήσεις υψηλής ποιότητας και νέες εφαρμογές Virtual Reality, Augmented Reality και άλλες εφαρμογές XR.

3.2 URLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communication): Επιπλέον, το 5G NR υποστηρίζει επίσης μια νέα περίπτωση χρήσης, που ονομάζεται Ultra-Reliable, Low-Latency Communications (URLLC). Το 5G NR επιτρέπει στις συσκευές να δημιουργούν συνδέσεις που είναι εξαιρετικά αξιόπιστες με πολύ χαμηλό λανθάνοντα

χρόνο. Με αυτές τις νέες δυνατότητες 5G NR, καθώς και την υποστήριξη του 5G NR για πολύ γρήγορες μεταβιβάσεις και υψηλή κινητικότητα, οι οργανισμοί μπορούν τώρα να αναπτύξουν νέους αυτοματισμούς εργοστασίων, smart city 2.0 και άλλες εφαρμογές βιομηχανικού IoT (IoT) επόμενης γενιάς, καθώς και Vehicle-to- όλες τις (V2X) εφαρμογές, όπως αυτόνομα οχήματα.

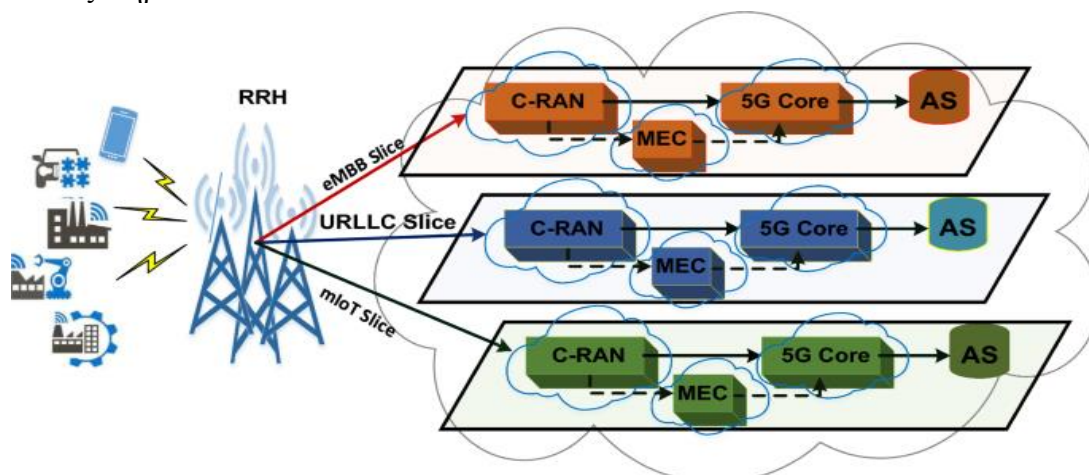
3.3 mMTC (massive Machine-Type Communication): Όπως αναφέραμε παραπάνω, το 5G θα υποστηρίζει επίσης τη νέα περίπτωση χρήσης mMTC, η οποία αντιπροσωπεύει μια βελτίωση της υπάρχουσας περίπτωσης χρήσης IoT. Ωστόσο, στην περίπτωση του mMTC, οι νέες περιπτώσεις χρήσης θα επιτραπούν με βελτιώσεις στα πρότυπα τεχνολογίας ραδιοπρόσβασης LTE-M και NB-IoT. Παραδείγματα αυτών των τύπων νέων περιπτώσεων χρήσης mMTC περιλαμβάνουν ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας, χαμηλού κόστους συσκευών αιχμής (όπως αισθητήρες) για έξυπνες πόλεις, έξυπνα logistics, έξυπνο δίκτυο και παρόμοιες εφαρμογές.

3.4 Network Slicing: Είναι μια αρχιτεκτονική η οποία δημιουργεί πολλαπλά και εικονικά δίκτυα στην ίδια υποδομή. Χρησιμοποιώντας Software-Defined-Network, Network Functions Virtualization (θα τα αναλύσουμε παρακάτω) οι διαχειριστές κινητών δικτύων (Mobile Network Operators-MNOs), μπορούν εύκολα να δημιουργήσουν μια φέτα (slice) δικτύου η οποία μπορεί να υποστηρίξει μια

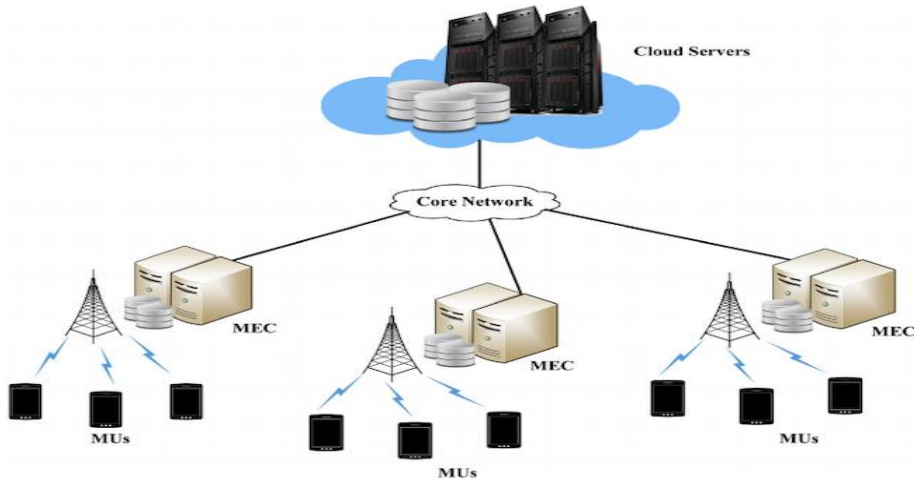


Σχήμα: Τεμαχισμός δικτύου

συγκεκριμένη οργάνωση, υπηρεσία, ομάδα χρηστών ή δίκτυο. Με το network slicing, κάθε slice μπορεί να έχει την δική της αρχιτεκτονική, διαχείριση και ασφάλεια για να υποστηρίξει κάθε σενάριο. Ενώ τα λειτουργικά μέρη και οι πόροι μπορούν να μοιραστούν μεταξύ των slices, δυνατότητες όπως ταχύτητα δεδομένων, χωρητικότητα, συνδεσιμότητα, ποιότητα, καθυστέρηση, αξιοπιστία και υπηρεσίες μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με το σενάριο (από τα παραπάνω) που εξυπηρετούν.



3.5 Mobile Edge Computing(MEC): Η αλλιώς Multi-access edge computing είναι ένας τύπος edge-computing οποίος επεκτείνει τις δυνατότητες του cloud computing φέρνοντας το στην άκρη(edge) του δικτύου δηλαδή πιο κοντά στον χρήστη. Παραδοσιακά το cloud computing έτρεχε σε απομακρυσμένους servers οι οποίοι βρίσκονται μακριά από τον χρήστη και την συσκευή. Το MEC επιτρέπει η επεξεργασία να γίνεται στους σταθμούς βάσεις, κεντρικά γραφεία και άλλα συγκεντρωτικά μέρη του δικτύου.



Σχήμα: Mobile Edge Computing(MEC) Mobile Edge Computing(MEC)

Μετακινώντας το φορτίο του cloud computing σε ξεχωριστούς τοπικούς servers, το MEC βοηθάει να μειωθεί η συμφόρηση στα κινητά δίκτυα και να μειώσει την καθυστέρηση, αυξάνοντας την ποιότητα εμπειρίας του χρήστη (Quality of Experience QoE) για τους τελικούς χρήστες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 (Εικονικά Δίκτυα και Δίκτυα Λογισμικού)

Εισαγωγή-Ο ρόλος της εικονικοποίησης: Η εικονικοποίηση είναι μια τεχνολογία η οποία είναι βασική για το 5G. Ξεχωρίζει το λογισμικό από το υλικό, δηλαδή όλες οι λειτουργίες του δικτύου τρέχουν σε κεντρικά σημεία ή κόμβους και όχι σε υλικό ειδικού σκοπού. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας εικονικές λειτουργίες δικτύου (NFV) όπως αναφέραμε πριν οι πάροχοι μπορούν εύκολα να διαμορφώσουν το δίκτυο τους με εικονικές μηχανές που τρέχουν σε φθηνούς κόμβους.

4.1 Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύου-Network Functions

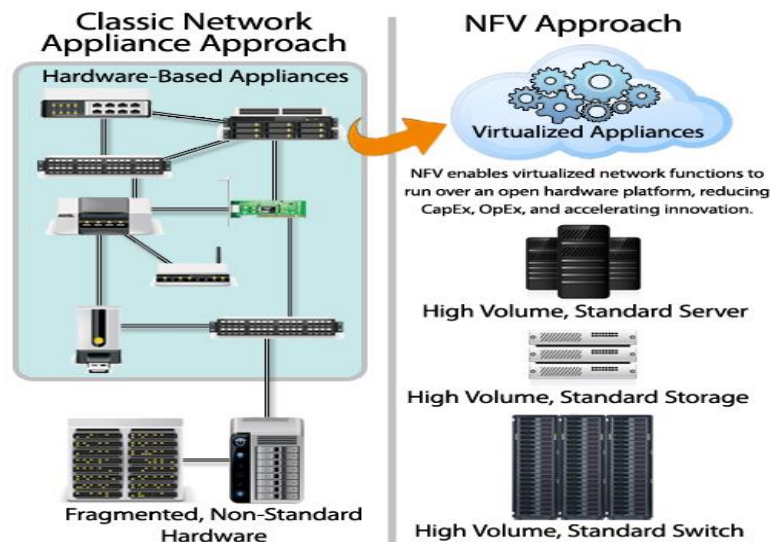
Virtualization(NFV): Η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου ή NFV είναι ένας τρόπος μείωσης του κόστους και επιτάχυνσης της ανάπτυξης υπηρεσιών για τους διαχειριστές δικτύου διαχωρίζοντας λειτουργίες όπως firewalls ή κρυπτογράφηση από αποκλειστικό υλικό μεταφέροντάς τις σε εικονικούς servers.

Αντί να εγκαταστήσουν ακριβό ιδιόκτητο υλικό, οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να αγοράσουν φθηνούς switches, αποθηκευτικό χώρο και routers για την φιλοξενία εικονικών μηχανών που εκτελούν λειτουργίες δικτύου. Αυτό μεταφέρει πολλές λειτουργίες σε έναν ενιαίο φυσικό server, μειώνοντας τα έξοδα εγκατάστασης και συντήρησης.

Εάν ένας πελάτης θέλει να προσθέσει μια νέα λειτουργία δικτύου, ο πάροχος υπηρεσιών μπορεί απλώς να καθιερώσει μια νέα εικονική μηχανή για να εκτελέσει αυτήν τη λειτουργία.

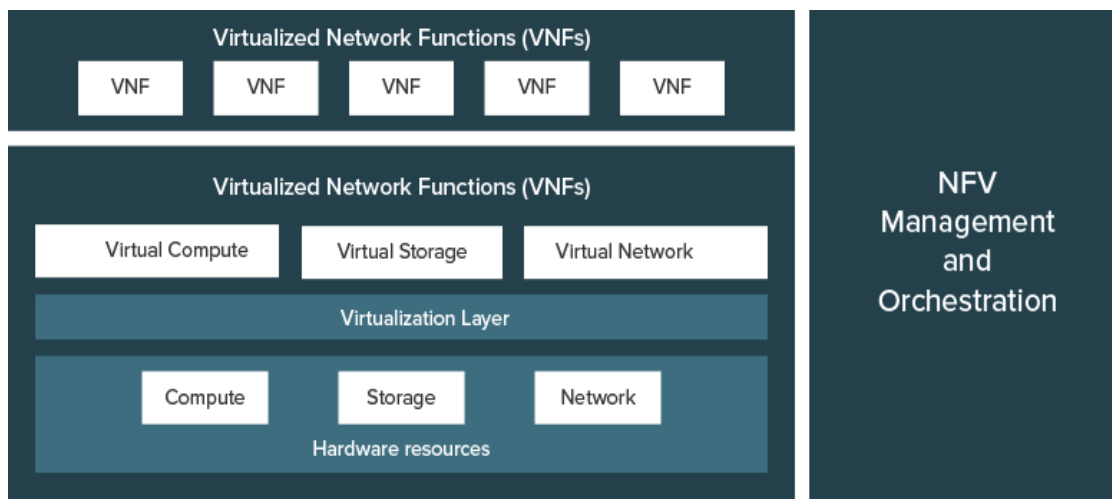
Για παράδειγμα, αντί να αναπτυχθεί μια νέα συσκευή υλικού σε όλο το δίκτυο για να ενεργοποιηθεί η κρυπτογράφηση δικτύου, το λογισμικό κρυπτογράφησης μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα router ή switch στο υπάρχον δίκτυο.

Αυτή η εικονικοποίηση των λειτουργιών δικτύου μειώνει την εξάρτηση από αποκλειστικές συσκευές υλικού για τους χειριστές δικτύου και επιτρέπει βελτιωμένη επεκτασιμότητα και προσαρμογή σε ολόκληρο το δίκτυο. Διαφορετικό από ένα εικονικοποιημένο δίκτυο, το NFV επιδιώκει να αποφορτίσει μόνο τις λειτουργίες του δικτύου και όχι ολόκληρο το δίκτυο.



Σχήμα: Σύγκριση δικτύου υλικού με εικονικό δίκτυο

4.2 Εικονικές λειτουργίες δικτύου Virtual Network Functions(VNFs): Είναι οι εικονικές συναρτήσεις δικτύου η οποίες πλέον τρέχουν χρησιμοποιώντας λογισμικό αντί για hardware. Τα VNFs είναι κομμάτια της NFV αρχιτεκτονικής.



Σχήμα: Εικονικές Λειτουργίες Δικτύου(VNFs)

4.3.1 Διαχωρισμός Λειτουργιών Δικτύου-Network Functions

Disaggregation(NFD): Ο διαχωρισμός λειτουργιών δικτύου αντιπροσωπεύει την εξέλιξη των εφαρμογών δρομολόγησης και του switching από το ιδιόκτητο, κλειστό hardware, με λογισμικό που μπορεί να ξεχωρίσει και να ανοίξει τα συστήματα εφαρμόζοντας COTS x86, ASIC. Το NFD επιτρέπει την επιλογή και τον διαχωρισμό του λειτουργικού συστήματος του δικτύου, πρωτοκολλά πρώτου και δεύτερου επίπεδου και τις διεπαφές διαχειρισθείσης για κάθε ξεχωριστή απαίτηση.

4.3.2 Πλεονεκτήματα NFV: Οι οργανισμοί που θα χρησιμοποιήσουν NFV εξοικονομούν χρήματα, μειώνουν το χρόνο διάθεσης στην αγορά για νέα ή ενημερωμένα προϊόντα, και μπορούν να προσαρμόσουν τους διαθέσιμους πόρους σε εφαρμογές και υπηρεσίες.

Μεγαλύτερη αποδοτικότητα πόρων: Ένα εικονικοποιημένο κέντρο δεδομένων ή άλλη υποδομή είναι πιο αποτελεσματική στη λειτουργία, επειδή μπορούν να γίνουν περισσότερα με λιγότερα. Η κατανάλωση ενέργειας και οι απαιτήσεις ψύξης μπορούν να μειωθούν ή να διατηρηθούν στα ίδια, αλλά με αυξημένο φόρτο εργασίας. Αυτό είναι δυνατό επειδή ένας μεμονωμένος server μπορεί να τρέξει πολλά VNF ταυτόχρονα, επομένως δεν χρειάζονται τόσοι πολλοί servers για την εκτέλεση του ίδιου όγκου εργασίας. Όταν η ζήτηση του δικτύου αλλάζει, ένας οργανισμός μπορεί να ενημερώσει την υποδομή του μέσω λογισμικού αντί αύξηση το υλικό. Οι περιπτώσεις όπου ένας οργανισμός χρειάζεται να ενημερώσει φυσικά το δίκτυό του και τα κέντρα δεδομένων του μειώνονται σημαντικά.

Ευελιξία: Οι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ευελιξία του NFV για να προσαρμοστούν γρήγορα στις μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές απαιτήσεις και στις

νέες ευκαιρίες της αγοράς. Με άλλα λόγια, η περίοδος χρόνου για την αγορά μειώνεται επειδή η υποδομή του δικτύου μπορεί να αλλάξει για να υποστηρίξει επαρκώς τα νέα προϊόντα του οργανισμού. Ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί NFV είναι επίσης σε θέση να προσαρμόζεται γρήγορα και εύκολα στις αλλαγές ζήτησης πόρων καθώς η κίνηση που έρχεται στο κέντρο δεδομένων αυξάνεται ή μειώνεται. Η αύξηση και η μείωση του αριθμού των εικονικών μηχανών και των πόρων που παρέχονται σε αυτά μπορεί να γίνει αυτόματα μέσω του λογισμικού SDN

4.3.3 Προκλήσεις NFV: Οι προκλήσεις γύρω από το NFV οφείλονται σε τρία στοιχεία της τεχνολογίας: τον διαχειριστή NFV (NFVM), τα VNF και την υποδομή NFV (Infrastructure NFV (NFVI)). Τα τρία στοιχεία είναι τόσο στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους που θεωρητικά είναι απλό για τους φορείς δικτύων, στην πράξη προσθέτει πολυπλοκότητα και δυσκολία κατά την ανάπτυξη του NFV.

Το Lean NFV προσπάθησε να λύσει αυτά τα προβλήματα αναπτύσσοντας μια νέα προσέγγιση στην αρχιτεκτονική NFV.

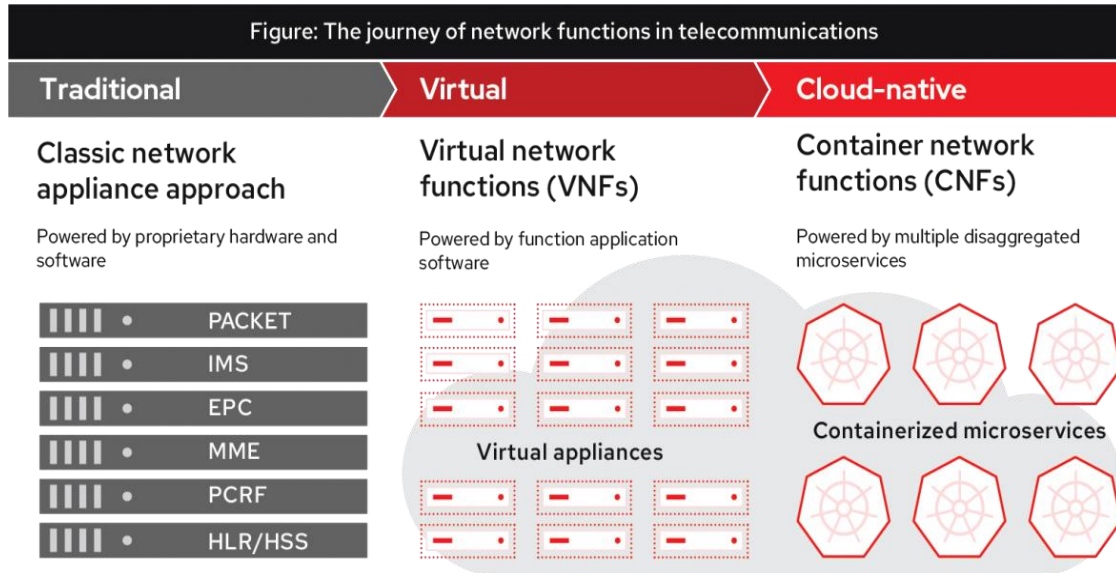
«Η πολυπλοκότητα που εμποδίζει αυτήν τη στιγμή το NFV δεν προκύπτει από το πώς κατασκευάζεται κάποιο από τα παραπάνω κομμάτια, αλλά από το πώς δένονται μαζί σε ένα συνολικό σύστημα», ανέφερε ο οργανισμός. «Πιο συγκεκριμένα, η πολυπλοκότητα προκύπτει όταν ο διαχειριστής NFV είναι ενσωματωμένος με την υπάρχουσα υπολογιστική υποδομή, όταν τα VNF είναι ενσωματωμένα με τον διαχειριστή NFV και όταν απαιτείται συντονισμός μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του διαχειριστή NFV».

Επίσης, πρέπει να δοθεί έμφαση στην απλοποίηση των τριών σημείων ολοκλήρωσης, ώστε άλλα στοιχεία των σχεδίων NFV να μπορούν να καινοτομούνται ευκολότερα. Ένας λόγος που υπάρχει πολυπλοκότητα στα στοιχεία της τεχνολογίας NFV είναι επειδή έχουν υπάρξει πολλοί οργανισμοί που προσπαθούν να τα τυποποιήσουν. Αυτό δεν οδήγησε σε προτύπα που να ξεχωρίζουν αρκετά για να γίνουν μεγαλύτερες επενδύσεις ή να υιοθετηθούν.

4.4 Λειτουργίες Τύπου Νέφους-Cloud-Native Functions(CNFs): Οι πάροχοι που θα υιοθετήσουν μια προσέγγιση νέφους(cloud) χρησιμοποιώντας κεντρικές και διαμοιρασμένες τοποθεσίες για τις εφαρμογές μπορούν να επωφεληθούν από ευελιξία, αποδοτικότητα, αξιοπιστία και φορητότητα. Προχωρώντας πέρα από την εικονικποίηση σε ένα πλήρες cloud σύστημα ανεβάζει το επίπεδο στην αποδοτικότητα και ευκινησία που χρειάζεται για την ταχύτερη εφαρμογή καινοτομίας, σε πρόσφορες που απαιτούν οι πελάτες.

Η κυρία διάφορα μεταξύ CNF και VNF είναι ότι χρησιμοποιεί κοντέινερ αντί για εικονικές μηχανές. Τα κοντέινερ επιτρέπουν στους χρήστες να πακετάρουν λογισμικό(εφαρμογές, λειτουργίες, υπηρεσίες) με όλα τα απαραίτητα αρχεία για να εκτελεστούν ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την πρόσβαση στο λειτουργικό σύστημα και άλλες υπηρεσίες του σέρβερ. Αυτή η προσέγγιση κάνει ευκολότερη την μεταφορά του περιεχόμενου μεταξύ διάφορων σημείων (ανάπτυξη, δόκιμες, παράγωγη) ακόμα και μεταξύ νεφών κρατώντας πλήρη λειτουργικότητα.

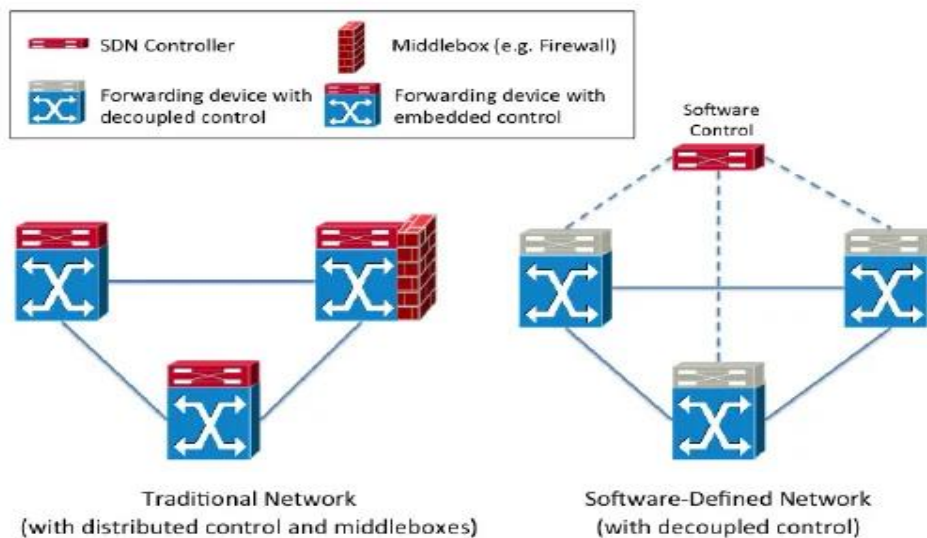
Ως εξέλιξη των VNFs, οι λειτουργίες υπολογιστικού νέφους (CNFs) έχουν σχεδιαστεί και εφαρμοστεί να τρέχουν μέσα σε κοντέινερ. Η τοποθέτηση της αρχιτεκτονικής δικτύου σε κοντέινερ επιτρέπει την εκτέλεση διάφορων υπηρεσιών στην ίδια κυψέλη, ταυτόχρονα προωθώντας την κίνηση στα σωστά σημεία του δικτύου.



Σχήμα: Λειτουργίες δικτύου στις τηλεπικοινωνίες

4.5 Δίκτυα Λογισμικού - Software-Defined Networks(SDN):

Έχει σχεδιαστεί για να κάνει τα δίκτυα πιο διαχειρίσιμα. Η βασική ιδέα είναι να διαχωριστεί το control plane από hardware του δικτύου επιτρέποντας εξωτερικό έλεγχο των δεδομένων μέσω μιας προγραμματισμένης οντότητας που ονομάζεται ελεγκτής(controller). Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, ο έλεγχος του δικτύου γίνεται μέσω προγραμμάτων.

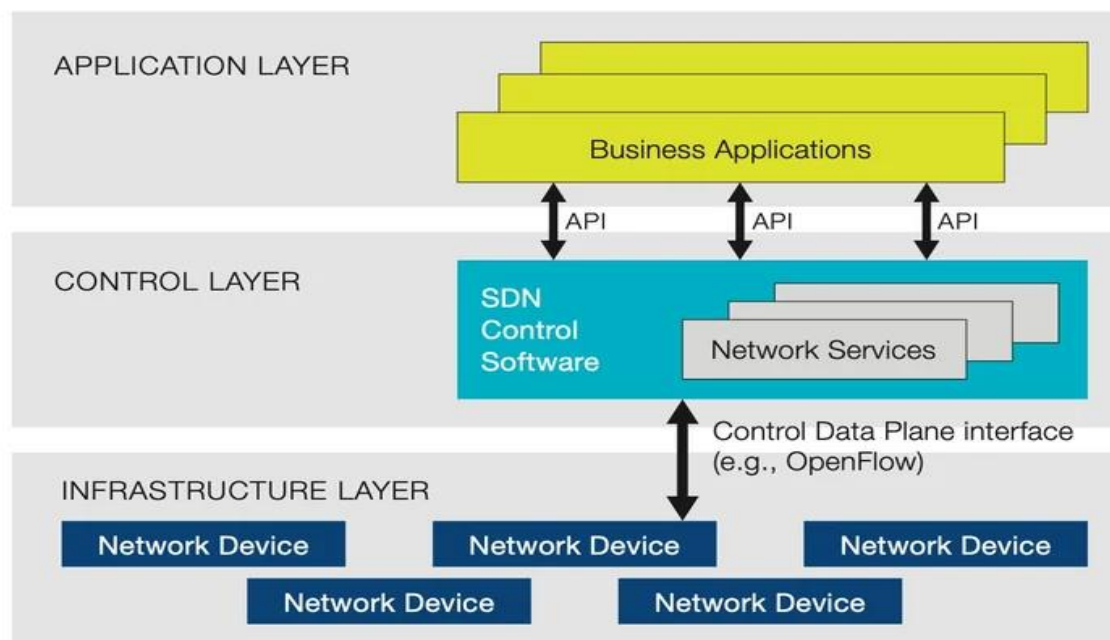


Σχήμα: Σύγκριση παραδοσιακού δικτύου με δίκτυο λογισμικού-

Στο 5G το SDN θα αυξήσει την ευελιξία και την προγραμματιστικότητα των δικτύων. Ένα έξυπνο,εικονικό και προγραμματισμένο 5G δίκτυο θα επιτρέψει στους παρόχους να καινοτομήσουν,τόσο στον τρόπο που διαχειρίζονται τα δίκτυα τους άλλα και στις υπηρεσίες που παρέχουν. Έτσι θα μπορούν να προσφέρουν υπηρεσίες on demand βελτιώνοντας την αποδοτικότητα τους και τος κέρδος τους.

4.5.1 Αρχιτεκτονική SDN:Υπάρχουν 3 επίπεδα στην αρχιτεκτονική SDN:επίπεδο εφαρμογής δηλαδή όλες οι εφαρμογές και υπηρεσίες που τρέχουν στο δίκτυο.Το επίπεδο ελέγχου το SDN controller ή ο "εγκέφαλος" του δικτύου. Τέλος το επίπεδο υποδομής στο οποίο υπάρχουν switches,routers και το hardware του δικτύου. Για την επικοινωνία μεταξύ αυτών των επιπέδων,το SDN χρησιμοποιεί northbound και southbound εφαρμογές(Application Program Interfaces-APIs)όπου το northbound API επικοινωνεί μεταξύ επιπέδων εφαρμογής και ελέγχου,το southbound API επικοινωνει μεταξύ των επιπέδων υποδομής και ελέγχου.

Ο SDN controller είναι ένα λογισμικό το οποίο παρέχει μια κεντρική εικόνα και έλεγχο σε ολόκληρο το δίκτυο. Οι διαχειριστές του δικτύου χρησιμοποιούν τον ελεγκτή για να καθορίσουν το πως η υπάρχουσα υποδομή προώθησης διαχειρίζεται την κίνηση. Επίσης χρησιμοποιείται για την εφαρμογή πρωτόκολλων και πολιτικών για την συμπεριφορά του δικτύου. Οι διαχειριστές του δικτύου επιβάλλουν πολιτικές που εφαρμόζονται σε πολλούς κόμβους του δικτύου. Πολιτικές δικτύου δηλαδή κανόνες για την κίνηση που καθορίζουν τι επίπεδο πρόσβασης έχει στο δίκτυο,πόσους πόρους επιτρέπει να χρησιμοποιεί,η τι προτεραιότητα έχει ανατεθεί. Έχοντας μια κεντρική εικόνα του δικτύου και πολιτικές ώστε να κάνουν την διαχείριση ευκολότερη.



Σχήμα:Επίπεδα αρχιτεκτονικής SDN

4.5.2 Πλεονεκτήματα SDN: Το SDN προσφέρει ένα κεντρικό και προγραμματιζόμενο δίκτυο που μπορεί να προσφέρει δυναμικά τους πόρους του δικτύου ώστε να αντιμετωπίσει της αλλαγές της βιομηχανίας.

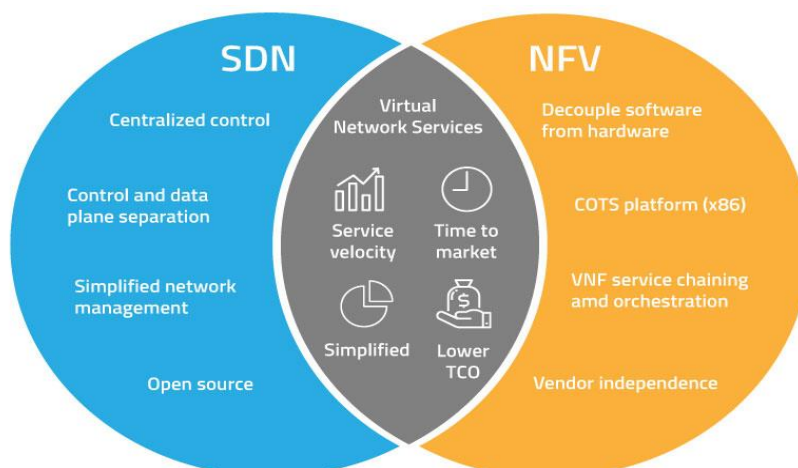
Απευθείας προγραμματιστικότητα: μια SDN πολιτική προγραμματίζεται απευθείας επειδή οι συναρτήσεις ελέγχου είναι διαχωρισμένες από τις συναρτήσεις προώθησης, αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να προγραμματιστεί από ιδιόκτητο η open source εργαλεία.

Κεντρική διαχείριση: η ευφυΐα του δικτύου είναι κεντρική σε SDN λογισμικό που διατηρεί μια καθολική εικόνα του δικτύου.

Μειωμένο κόστος: το SDN μειώνει την ανάγκη για καθιερωμένου σκοπού hardware, αφού υποστηρίζει αναπτυξιακά μοντέλα. Επίσης, η ικανότητα αυτοματοποίησης της αναβάθμισης των δικτύων αυτό σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητο να ζηλώσουν και να αντικαταστήσουν ολόκληρη την υποδομή όταν η δικτυακές ανάγκες αλλάζουν. Γλιτώνει χρόνο διαχειρισθείσης του δικτύου αφού οι εργασίες πλέον τρέχουν αυτόματα.

Ευελιξία: το SDN βοηθάει τους οργανισμούς να εφαρμόσουν νέες εφαρμογές, υπηρεσίες και υποδομή ώστε να μπορεί γρήγορα να συναντήσει επιχειρησιακούς στόχους επειδή όταν κάτι καινούργιο δημιουργείται μια απλή αναβάθμιση στο δίκτυο είναι αρκετή.

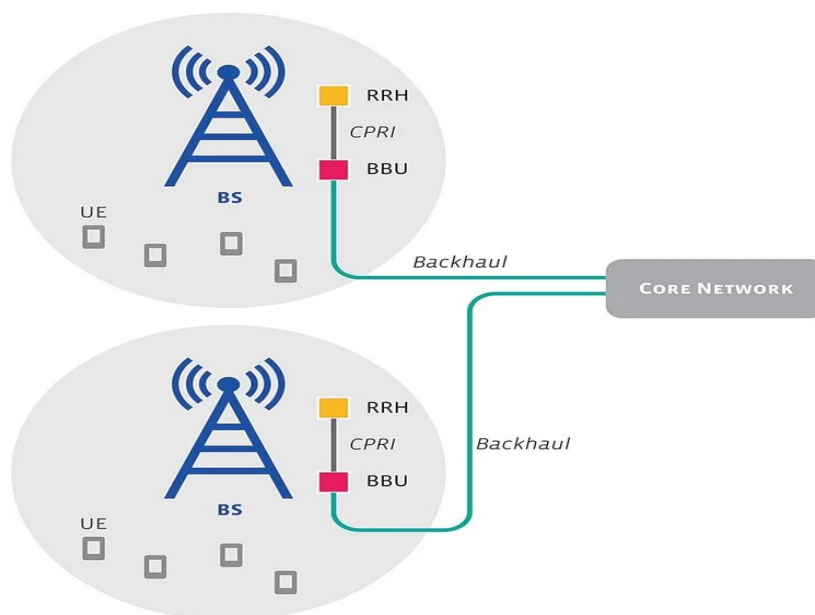
4.6 NFV-SDN: Το NFV αναφέρεται στην εικονικοποίηση στοιχείων δικτύου, ενώ το SDN αναφέρεται σε μια αρχιτεκτονική δικτύου που εισάγει αυτοματισμό και προγραμματισμό στο δίκτυο ξεχωρίζοντας τις λειτουργίες ελέγχου και προώθησης δικτύου. Με άλλα λόγια, το NFV εικονικοποιεί την υποδομή δικτύου και το SDN συγκεντρώνει τον έλεγχο του δικτύου. Σε συνδυασμό, το SDN και το NFV δημιουργούν ένα δίκτυο που δημιουργείται, λειτουργεί και διαχειρίζεται από λογισμικό. Ένα SDN έχει συνήθως έναν ελεγκτή SDN, διεπαφές προγραμμάτων northbound (API), και API southbound. Ο ελεγκτής επιτρέπει στους διαχειριστές δικτύου να προβάλλουν το δίκτυο και να υπαγορεύουν συμπεριφορές και πολιτικές στην υπάρχουσα υποδομή. Τα Southbound API λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του δικτύου από αυτήν την υποδομή και τις στέλνουν πίσω στον ελεγκτή, κάτι που είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες χρησιμοποιούν northbound APIs για να κοινοποιήσουν τις ανάγκες τους σε πόρους στον ελεγκτή.



Σχήμα: Σύγκριση SDN-
NFV

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5(Radio Access Network)

5.1 Radio Access Network: Πιο αναλυτικά στο RAN, το Radio Unit(RU) επεξεργάζεται ψηφιακά σήματα και μεταδίδει, λαμβάνει και μετατρέπει τα σήματα για τον RAN σταθμό βάσης. Όταν το RU λάβει ψηφιακή πληροφορία από τις κεραιές, τότε επικοινωνεί με το Base Band Unit(BBU) χρησιμοποιώντας Common Public Radio Interface (CPRI). Το BBU λαμβάνει το σήμα και το επεξεργάζεται ώστε να μπορεί να προωθηθεί στο κεντρικό δίκτυο. Τα δεδομένα επιστρέφουν στον χρήστη με την αντίθετη διαδικασία.



Σχήμα: Δίκτυο ραδιοπρόσβασης

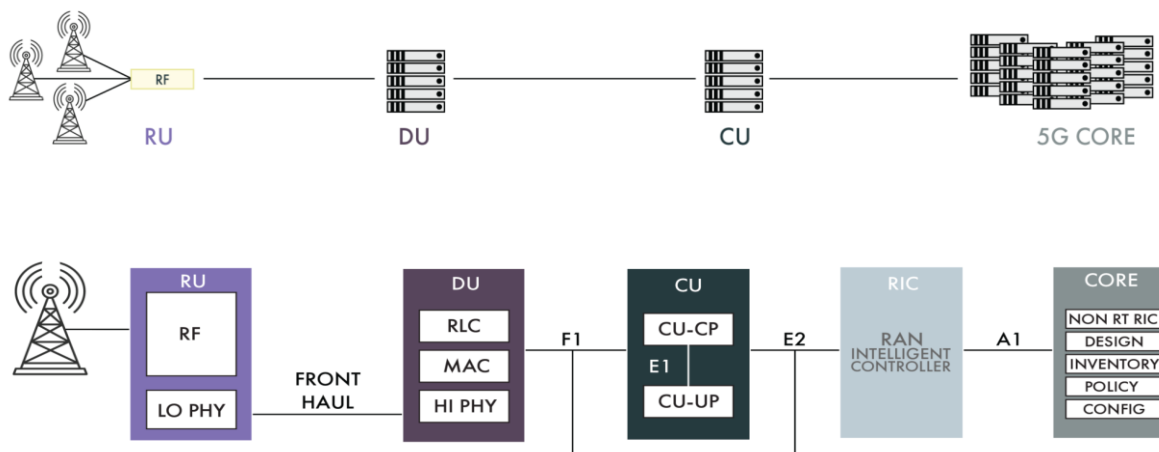
5.2 Υποδομή Δικτύου: Η βασική δομή ενός RAN περιλαμβάνει BBU, radio unit(RU) ή remote radio unit(RRU), κεραιές, και διάφορες διεπαφές βασισμένες σε λογισμικό. Στα 5G RAN το BBU είναι χωρισμένο σε distributed unit(DU) και centralized unit(CU).

Επιλέγοντας DU και RU αρχιτεκτονική μπορεί να μειωθεί μερικώς το κόστος εφαρμογής, να γίνει πιο ευέλικτο τον σχεδιασμό της RAN υποδομής, και να χρησιμοποιηθεί σε cloud-RAN υποδομές.

Το DU τρέχει τα radio link control και medium access control(MAC) στρώματα καθώς και κάποια μέρη του φυσικού επιπέδου, αυτό ελέγχεται από το RU.

Το RU τρέχει το radio control protocol, το οποίο διεξάγει πολλές λειτουργίες, όπως broadcasting, εγκαθιδρύσει και ελευθέρωση γραμμών μεταξύ εξοπλισμού χρήστη και το RAN, επίσης ελέγχει την ποιότητα υπηρεσίας(Quality of Service QoS).

Στο RU δουλεύει με το packet data convergence protocol (PDCP), το οποίο συμπιέζει και αποσυμπιέζει IP δεδομένα, επικεφαλίδες και μεταφέρει δεδομένα σε άλλες τεχνικές λειτουργίες.



Σχήμα: Υποδομή 5G RAN και οι λειτουργίες τους.

Το CU μπορεί να παραμείνει στον σταθμό βάσης ή μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα πιο κεντρικό σημείο. Το DU από την άλλη, παραμένει στον σταθμό βάσης το οποίο δεν είναι κεντρικό μέρος

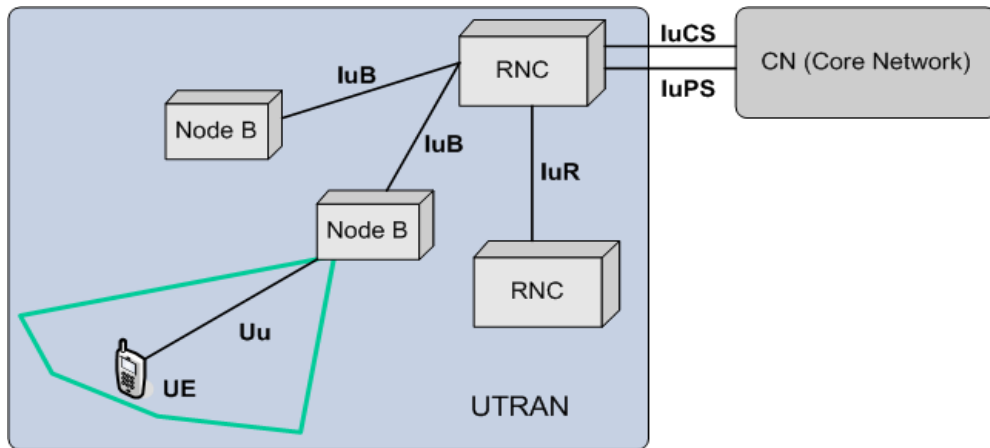
5.3 Παλαιότερες τεχνολογίες RAN: Οι διάφοροι τύποι RAN φέρουν πολλές προόδους στα δίκτυα. Τυποί RAN όπως GSM RAN (GRAN), GSM EDGE RAN (GERAN), UMTS RAN (UTRAN), και Evolved UTRAN (E-UTRAN).

5.3.1 GSM RAN (GRAN): Χρησιμοποιεί σταθμούς βάσης και ελεγκτές για να μεταδώσει και να διαχειριστεί radio links για μεταγωγή κυκλώματος και μεταγωγή πακέτου στα κεντρικά δίκτυα. Πιο προχωρημένα RAN στάνταρ έχουν υιοθετηθεί με την πάροδο του χρόνου αφού οι πάροχοι εφαρμόζουν νέα κινητά δίκτυα.

5.3.2 GSM EDGE RAN (GERAN): Το edge στα GERAN δεν αναφέρεται στο edge computing, αλλά είναι ένα ακρωνύμιο για τα αυξημένα ποσοστά δεδομένων (Enhanced Data Rates) για την GSM εξέλιξη. Μερικές υπηρεσίες που πρόσφερε το GERAN είναι βελτιωμένο downlink και uplink στο ίντερνετ, καλύτερο Voice over IP (VoIP), σταθερή σύνδεση στο κατάλληλο σταθμό βάσης, και μεγαλύτερη ταχύτητα ανά bit.

5.3.3 UMTS RAN (UTRAN): Σε αυτήν την τεχνολογία οι σταθμοί βάσεις αναφέρονται ως NodeBs και Radio Network Controllers (RNCs). RNCs είναι στάθμη βάσεις οι οποίοι βρίσκονται μεταξύ NodeB και κεντρικού δικτύου. Το UTRAN σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε κυρίως για το 3G. Το NodeB είναι διαφορετικό από έναν GSM σταθμό βάσης επειδή το NodeB χρησιμοποιεί διαφορετικό τύπο μετάδοσης που ονομάζεται Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA). Ο GSM σταθμός βάσης χρησιμοποιεί Code Division Multiple Access (CDMA). Οι ραδιοσυχνότητες που λαμβάνονται από το NodeB μετατρέπονται σε data stream τα οποία προωθούνται στα RNCs για να σταλούν στο κεντρικό δίκτυο. Για την αντίθετη

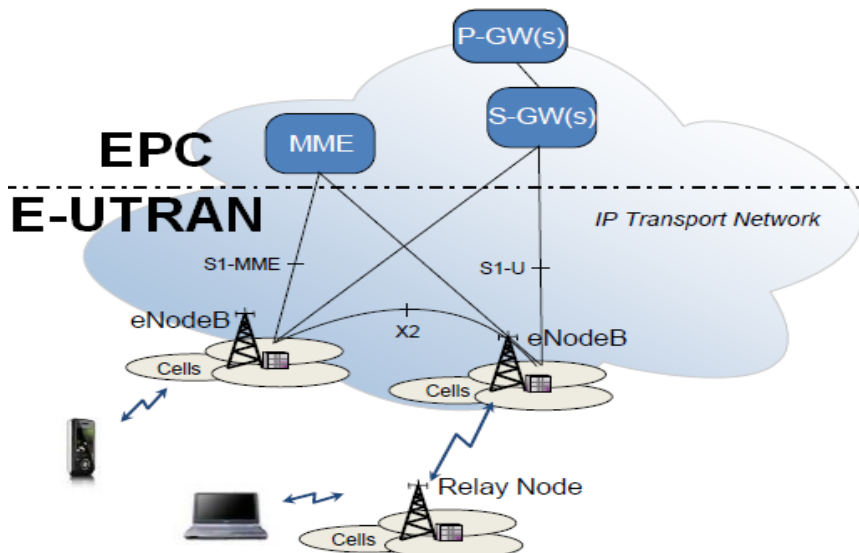
διαδικασία, το NodeB μετατρέπει τα data stream σε ράδιο συχνότητες για να



προω
θηθο
ύν
στο
εξοπλ
ισμό
του
χρηστ
ή.

Σχήμα:UTRAN.

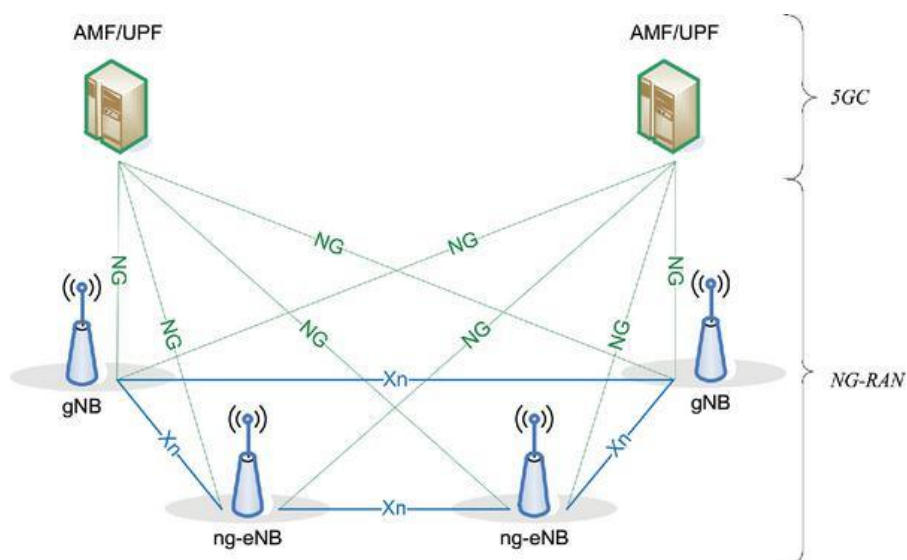
5.3.4 Evolved UTRAN (E-UTRAN): Είναι το RAN το οποίο σχεδιάστηκε για τα 4G LTE δίκτυα. Ο τύπος μετάδοσης είναι διαφορετικός από το WCDMA στην πραγματικότητα είναι ασύμβατος με αυτόν. E-UTRAN χρησιμοποιεί Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) για downlink συνδέσεις και Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) για uplink. Χαρακτηριστικά του E-UTRAN είναι μέγιστη ταχύτητα 100Mb/s downlink και 50Mb/s uplink, μειωμένη καθυστέρηση, μεγαλύτερο bandwidth, και υποστηρίζει συνδεδεμένες συσκευές οι οποίες κινούνται αργά ή μέχρι 500km/h.



Σχήμα: E-UTRAN.

5.4 Επόμενης Γενιάς RAN (Next Generation RAN-NG RAN):

Το NG-RAN αντιπροσωπεύει το καθορισμένο δίκτυο ραδιοπρόσβασης για 5G. Το NG-RAN παρέχει ραδιοπρόσβαση NR και LTE. Ένας κόμβος NG-RAN (δηλαδή σταθμός βάσης) είναι είτε ένα gNB (δηλαδή ένας σταθμός βάσης 5G), που παρέχει υπηρεσίες επιπέδου χρήστη NR και επιπέδου ελέγχου, ή ένα ng-eNB, που παρέχει υπηρεσίες LTE/E-UTRAN προς τον εξοπλισμό του χρήστη. Τα gNB και τα ng-eNB διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Xn. Τα gNB και ng-eNB συνδέονται επίσης μέσω των διεπαφών NG με τον πυρήνα 5G (5GC), πιο συγκεκριμένα με το AMF (Λειτουργία διαχείρισης πρόσβασης και κινητικότητας) μέσω της διεπαφής NG-C και με το UPF (User Plane Function) μέσω της διεπαφής NG-U.

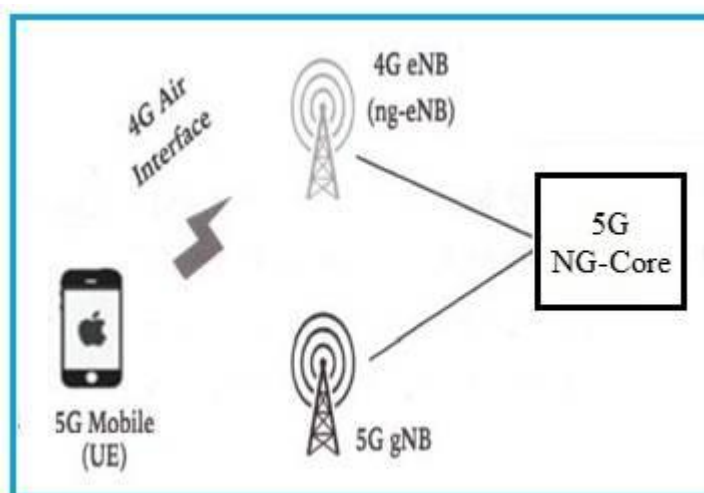


Σχήμα: NG-RAN.

5.5 ng-eNB (Next Generation evolved-NodeB):

Είναι βελτιωμένη έκδοση του 4G eNodeB. Το ng-eNB συνδέει τον εξοπλισμό χρήστη 5G (UE με το 5G CN (Core Network)

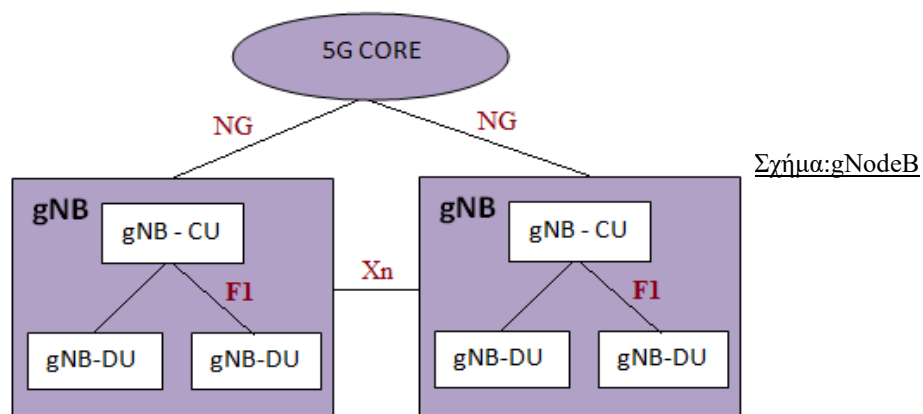
χρησιμοποιώντας τη διεπαφή αέρα 4G LTE.



Σχήμα: NG-eNodeB

Όπως φαίνεται στο σχήμα-1, το UE (User Equipment) χρησιμοποιεί πόρους 4G LTE για σύνδεση με το ng-eNB. Συνδέεται με το NG-Core μέσω διεπαφής NG. Κατά τη φάση της αρχικής μετάβασης και ανάπτυξης του 5G NR, τα δίκτυα 4G είναι διαθέσιμα παντού. Θα υπάρχουν πολλές τοποθεσίες όπου δεν θα υπάρχει κάλυψη 5G και μόνο η διαθέσιμη κάλυψη θα γίνεται με χρήση δικτύου 4G LTE. Σε τέτοιες τοποθεσίες, τα ng-eNB επιτρέπουν στους συνδρομητές 5G να συνδέονται χρησιμοποιώντας τη διεπαφή αέρα 4G με 5G NG-core για να επωφελούνται από υπηρεσίες 5G.

5.5.1 gNB(NextGeneration NodeB): Το gNB είναι ραδιοκόμβος που ισοδυναμεί με το eNB στην αρχιτεκτονική 4G. Το gNB επιτρέπει στο 5G UE να συνδέεται με τον πυρήνα 5G NG χρησιμοποιώντας μόνο διεπαφή αέρα 5G NR προσφέροντας όλες τις δυνατότητες του 5G.



Το gNB

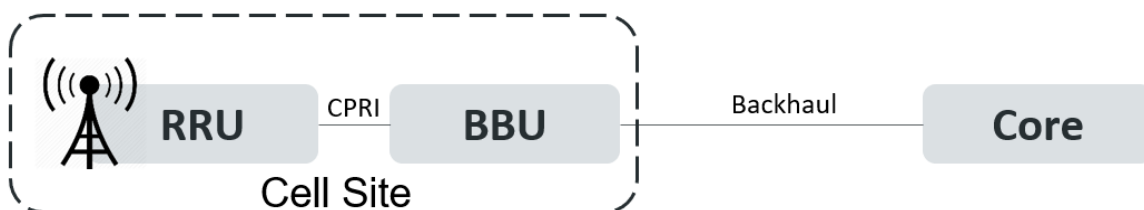
φιλοξενεί τρεις λειτουργικές μονάδες, δηλαδή. CU (Μονάδα Ελέγχου), DU (Κατανεμημένη Μονάδα) και Μονάδα Ραδιοφώνου (RU). Το gNB-CU φροντίζει για Mobility Control (έλεγχος κινητικότητας), Radio Resource Management (Διαχείριση ραδιοπόρων) και Session Management (Διαχείριση συνεδρίας). Το gNB-DU παρέχει λειτουργίες επιπέδου PHY και MAC. Ο διαχωρισμός της λειτουργικότητας μεταξύ CU και DU εξαρτάται από την υλοποίηση.

Τα gNB-DUs και gNB-CU συνδέονται χρησιμοποιώντας τη διεπαφή F1. Η διεπαφή F1 υποστηρίζει ανταλλαγή σήματος και μετάδοση δεδομένων μεταξύ αυτών των μονάδων (δηλαδή DU και CU). Δύο κόμβοι gNB επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας τη διεπαφή Xn.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6(C-RAN/cloud-RAN/centralized RAN)

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε την αρχιτεκτονική των κεντρικών RAN και τις διαφορές με την αρχιτεκτονική RAN(Distributed RAN)που εφαρμόστηκε στα παλαιότερα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας,την δομή και τα πλεονεκτήματά τους. Να αναφέρουμε ότι τα περισσότερα στοιχεία και συστήματα χρησιμοποιούνται και σήμερα.

6.1 Διαμοιρασμένα RAN(D-RAN)Αρχιτεκτονική:Στην διαμοιρασμένη αρχιτεκτονική RAN ολόκληρος ο σταθμός βάσης βρίσκεται στην ασύρματη κεραία κινητής.Τα RRU βρίσκονται στην κορυφή της κεραίας δίπλα από τις κεραίες και τα BBU βρίσκονται σε ένα σημείο κοντά στην κεραία. Η σύνδεση μεταξύ RRU και BBU γίνεται μέσω δημοσίας ράδιο σύνδεσης (Common Public Radio Interface CPRI),αυτό σημαίνει ότι για κάθε RRU υπάρχει ένα BBU ώστε να επεξεργαστεί τα δεδομένα.Το D-RAN δημιούργησε πολλά προβλήματα για τις τηλεπικοινωνίες στην διαχείριση του χώρου και της χωρητικότητας που χρειάζονται οι σταθμοί βάσης.Οι περισσότεροι σταθμοί βάσης σχεδιάστηκαν για να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε ώρες αιχμής της κάθε περιοχής. Όμως,οι ώρες αιχμής δεν είναι σταθερές και έτσι υπήρχαν στιγμές οπότε η χωρητικότητα επεξεργασίας έμενε αναξιοποίητη. Επίσης υπάρχει και η ανάγκη το δίκτυο να μπορεί να ανταπεξέλθει στην αύξηση της κυκλοφορίας για λίγο χρονικό διάστημα(π.χ. μια συναυλία στην περιοχή),τα RRU και BBU δεν είναι σχεδιασμένα για αυτόν τον τύπο ευελιξίας.



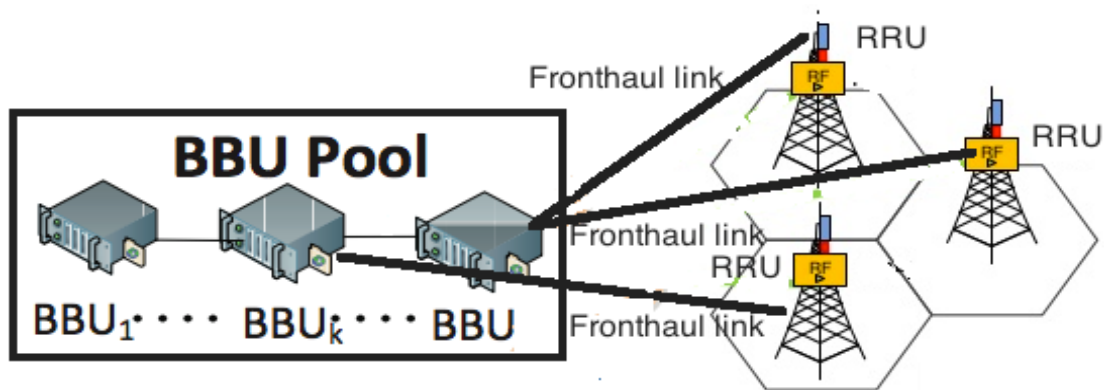
Σχήμα: Αρχιτεκτονική D-RAN

6.2 Κεντρικά RAN/cloud RAN(C-RAN)Αρχιτεκτονική: Η αρχιτεκτονική του C-RAN περιλαμβάνει 3 κυρία στοιχεία: Base-Band Unit(BBU), Remote-Radio Unit(RRU), και το δίκτυο μεταφοράς ή όπως αναφέρεται fronthaul. Σε αυτήν την αρχιτεκτονική τα Base-Band Units βρίσκονται σε κεντρικό σημείο ομαδοποιημένα. Τα RemoteRadioUnits(RRUs) βρίσκονται μοιρασμένα στο δίκτυο. Τέλος το front haul δίκτυο είναι αυτό που συνδέει τα μοιρασμένα RRUs με τα κεντρικά BBUs. Παρακάτω θα αναφέρουμε πιο αναλυτικά τις λειτουργίες τους κάθε τμήματος.

BBU: βρίσκεται σε κεντρική περιοχή όπως ένα cloud η κέντρο βάσης. Αποτελείται από πολλούς BBU κόμβους οι οποίοι έχουν υψηλή υπολογιστική δύναμη και μεγάλες δυνατότητες αποθήκευσης. Τα BBU είναι υπεύθυνα να επεξεργάζονται πόρους και να τους κατανέμουν δυναμικά στα RRU.

RRU: είναι ένα ασύρματο δίκτυο το οποίο συνδέει ασύρματες συσκευές όπως ένα access point ή μια κεραία στα παραδοσιακά κυψελωτά δίκτυα.

Fronthaul: είναι η σύνδεση μεταξύ BBU και μερικά RRU που προσφέρει μεγάλο εύρος ζώνης για να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις πολλών RRU. Στα fronthaul χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες όπως οπτική ίνα, κινητή επικοινωνία η κύματα χιλιοστών. Προτιμότερη, η οπτική ίνα στα C-RAN αφού προσφέρει το μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Παρόλα αυτά έχει υψηλό κόστος και ελάχιστη ευελιξία. Οι άλλοι δυο τρόποι είναι φθηνότερη και ευκολότερη στην εφαρμογή όμως προσφέρουν χαμηλό bandwidth και υψηλότερη καθυστέρηση.



Σχήμα: Αρχιτεκτονική C-RAN

6.2.1 C-RAN Δομή Συστημάτων: Σύμφωνα με την λειτουργικότητα των BBU και RRU, η C-RAN αρχιτεκτονική μπορεί να χωριστεί σε ολοκληρωτικά κεντρική, μερικός κεντρική και υβριδική.

Ολοκληρωτικά κεντρική: σε αυτήν την δομή τα επίπεδα δικτύου, MAC και φυσικά μεταφέρονται στο BBU. Τα BBU αναλαμβάνουν όλες τις συναρτήσεις διαχείρισης και επεξεργασίας πόρων και συνεπώς αυτή η δομή βοηθάει στην συντήρηση και διαχείριση του δικτύου. Όμως όλο το βάρος πέφτει στο fronthaul αφού εκεί γίνεται η επικοινωνία BBU-RRU έτσι η απόδοση περιορίζεται στις δυνατότητες του fronthaul.

Μερικός κεντρική-Partially centralized: σε αυτήν την δομή οι συναρτήσεις του φυσικού επιπέδου τρέχουν στα RRU, ενώ συναρτήσεις των επιπέδων MAC και δικτύου τρέχουν στα BBU. Η δομή αυτή μειώνει σημαντικά την επικοινωνία BBU-RRU αφού όλο το βάρος των υπολογισμών πέφτει στο φυσικό επίπεδο. Παρόλα αυτά σε αυτές τις δομές έχουν πολύπλοκη επικοινωνία στο φυσικό και MAC επίπεδο και δεν υποστηρίζουν διαμοιρασμό πόρων φυσικού επιπέδου μεταξύ διαφορετικών RRU.

Hybrid centralized(υβριδική): σε αυτήν την δομή μέρος των συναρτήσεων του φυσικού επιπέδου γίνονται στα RRU ενός άλλες στα BBU. RRU αναλαμβάνουν τις συναρτήσεις επεξεργασίας σήματος από χρήστες ή κυψέλες. Αυτή η δομή είναι ευέλικτη στον διαμοιρασμό πόρων με δυνατότητες μειώσεις στην κατανάλωση ισχύος και την επικοινωνία στα BBU.

6.2.2 Πλεονεκτήματα κεντρικού BBU στα C-RAN:

Ένα κεντρικό BBU έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως: πιθανότητα εφαρμογής καινούργιων τεχνολογιών, εικονικοποίηση (virtualization) πόρων, και εφαρμογή υπηρεσιών κοντά στον χρήστη. Το BBU βρίσκεται στο κεντρικό δίκτυο και τα RRU

είναι καταναμημένα. Αυτό επιτρέπει τα C-RAN να έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα από τα παραδοσιακά κυψελωτά δίκτυα όπου τα BBU είναι καταναμημένα.

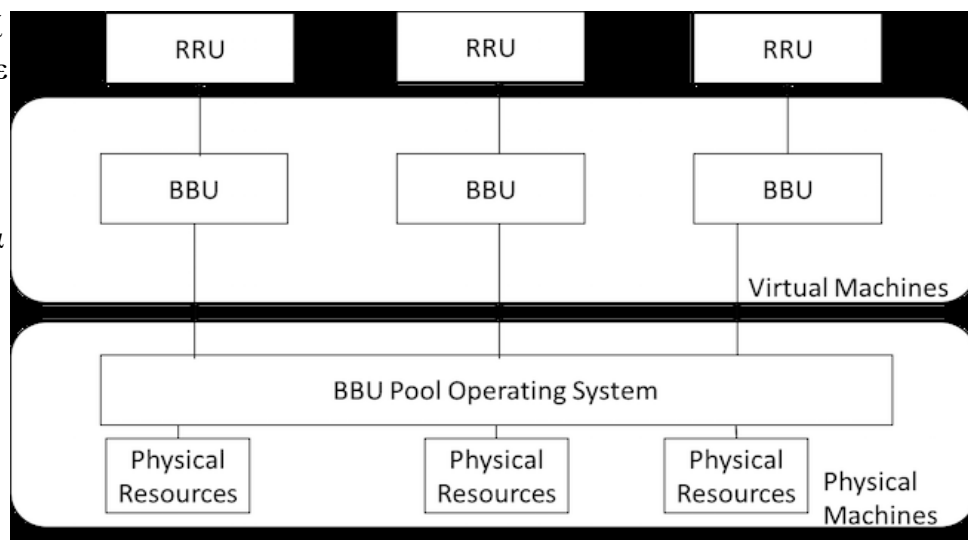
Το πρώτο πλεονέκτημα είναι η εφαρμογή καινούργιων τεχνολογιών όπου απαιτούν μεγάλη επεξεργασία και δεν μπορούν να εφαρμοστούν στα παραδοσιακά δίκτυα. Πλέον το BBU μπορεί να βρίσκεται μέσα σε δυνατά κέντρα δεδομένων και να έχουν αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών, μπορούν να κάνουν εκτενής υπολογισμούς που δεν μπορούν να γίνουν στα τωρινά δίκτυα.

Επίσης ο διαμοιρασμός πόρων μπορεί να γίνει εφικτός και συνεπώς η κατανομή μπορεί να γίνει πιο ευέλικτη και κατά παραγγελία. Αυτό βελτιώνει την χρήση των πόρων, με αποτέλεσμα χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος.

Με τόσο μεγάλα και καταναμημένα δίκτυα, οι υπηρεσίες μπορούν να εφαρμοστούν πιο κοντά στον χρήστη και όχι στο κεντρικό δίκτυο. Οι C-RAN σέρβερς είναι ισχυρή και μεγάλη υπολογιστική δύναμη οι υπηρεσίες στην άκρη του δικτύου γίνονται πιο εύκολες, με αποτέλεσμα γρηγορότερες απαντήσεις και μεγαλύτερη ευχαρίστηση του χρήστη. Επίσης, μπορεί να περιορίσει το φορτίο στο backhaul δίκτυο και συνεπώς γίνονται πιο ευέλικτα και πιο αναπτυξιακά από την τωρινή τους κατάσταση.

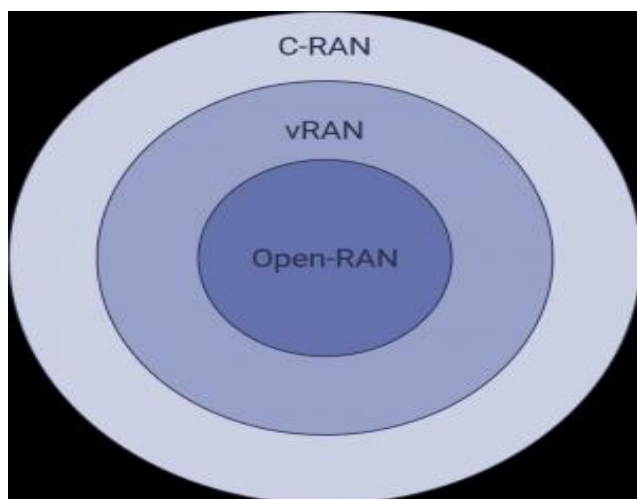
6.3 Εικονικοποίηση των C-RAN: Όσο αφορά τα C-RAN, η εικονικοποίηση γίνεται στο BBU pool επίπεδο. Κάθε BBU είναι ένας εικονικός κόμβος, και η επικοινωνία μεταξύ τους ένας εικονικός δεσμός. Το pool λειτουργεί στο φυσικό επίπεδο μοιράζοντας CPU, μνήμη και πόρους του δικτύου μεταξύ πολλών BBU. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο διαμοιρασμός των πόρων σε ένα BBU pool, όπου το pool εφαρμόζεται σε φυσικά μηχανήματα, ενώ τα BBU σε εικονικά μηχανήματα. Τα RRUs συνδέονται με το BBU pool όπου τα μοιράζονται στα εικονικά BBU. Τέτοια τεχνολογία φέρνει πολλά πλεονεκτήματα όπως μείωση κόστους, ελαχιστοποιεί τον χρόνο επικοινωνίας των BBU, και το σημαντικότερο επεκτασιμότητα. Η αφαίρεση και η προσθήκη των BBU γίνεται πιο εύκολη αφού είναι πλέον εικονικά και είναι πιο εύκολη η

ενεργοποίηση/απενεργοποίηση από τα φυσικά μηχανήματα.



Σχήμα:Εικονικό C-RAN

Τα C-RAN ανοίγουν τον δρόμο για περισσότερες τεχνολογίες και αλλαγές στα RAN.Η βασική RAN αρχιτεκτονική περιλαμβάνει σταθμούς βάσης,BBUs και πιθανός RRUs. Εφαρμόζοντας software και virtualization τα C-RAN μπορούν να εξελιχθούν σε V-RAN



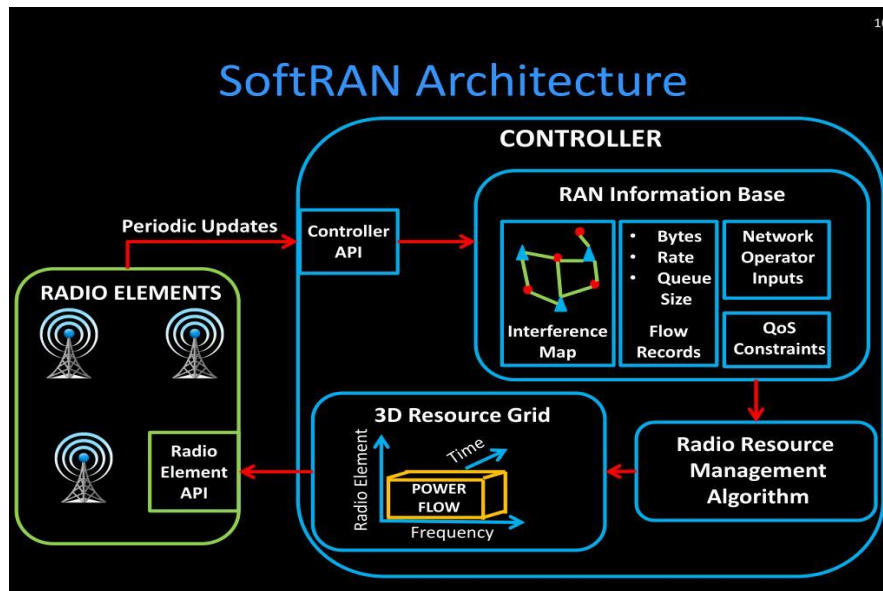
Σχήμα:Εξέλιξη δικτύων ραδιοπρόσβασης

6.3.1 NFV τυποποίηση για τα C-

RAN:Τα NFV όπως αναφέραμε και πριν κάνουν τις λειτουργίες του δικτύου εικονικές και αντικαθιστούν τις συσκευές με λογισμικό,συσκευές όπως ακριβώς routers ή switches.Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Στάνταρ δημιούργησε μια ομάδα παρόχων όπως AT&T και Telcom προκειμένου να τυποποιήσουν τις NFV για τα κεντρικά RAN.Η τυποποίηση αυτή περιλαμβάνει την τυποποίηση του κεντρικού δικτύου και επιτρέπει τις λειτουργίες δικτύου να εφαρμοστούν ως εικονικές(NFV).Επίσης,η εικονικοποίηση των BBU τα οποία είναι η καρδιά των κεντρικών RAN,πρέπει επίσης να τυποποιηθούν οι BBU λειτουργίες που μπορούν να εφαρμοστούν σε σέρβερς υψηλών επιδόσεων.Το NFV για τα κεντρικά RAN δεν έχει τυποποιηθεί ακόμα αλλά προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα εξαιτίας της ευελιξίας στο να χρησιμοποιείται το λογισμικό ως υλικό.

6.3.2 SDN υπάρχοντα συστήματα για τα C-RAN :Το SDN είναι μια τεχνολογία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή ασύρματης εικονικοποίησης στα C-RAN. Τέτοια τεχνολογία,διαχωρίζει το πάνελ έλεγχου από τα δεδομένα και κάνει κεντρικό τον έλεγχο.Τα switches του δικτύου θεωρούνται συσκευές προώθησης τα οποία ελέγχονται από μια κεντρική οντότητα. Στα C-RAN,τα switches είναι τα BBUs σε μια ομάδα τα οποία συντονίζονται από έναν διαχειριστή που ελέγχει αυτά τα BBU.

SoftRAN: Χωρίζει το μοντέλο σε δυο μέρη, όπου το πολύπλοκο κομμάτι του έλεγχου μένει τοπικά ενώ το άλλο κομμάτι πάει σε κεντρικό διαχειριστή. Στο κεντρικό διαχειριστή, τα μοιρασμένα BBUs θεωρούνται ως ένα μεγάλο, εικονικό switch όπου εκτελεί την λειτουργία που απαιτείται από κάθε BBU. Με τέτοιον τρόπο ώστε το φορτίο ισορροπείται, και το σύστημα μπορεί να επιτύχει μέγιστη λειτουργικότητα και διαπερατότητα σε ένα C-RAN σύστημα.



Σχήμα: SoftRAN αρχιτεκτονική

Mobile Flow: ένα άλλο σύστημα που χρησιμοποιεί την SDN αρχιτεκτονική όταν το δίκτυο γίνεται εικονικό είναι το MobileFlow. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί το OpenFlow πρωτόκολλο για να διαχειρίζεται την δρομολόγηση και τις διεπαφές που υπάρχουν στα κινητά δίκτυα. Η ιδέα αυτή έχει δοκιμαστεί και έδειξε ότι μπορεί να προσάρμοση το δίκτυο ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη.

CROWD: διαχείριση συνδέσεων για χαμηλή κατανάλωση ασυρμάτων δικτύων (Connectivity for energy Optimized Wireless Denses Networks), είναι μια ιδέα η οποία χρησιμοποιεί το SDN ως μια αποτελεσματική λύση για την παραμετροποίηση του MAC επιπέδου και την διαχείριση συνδέσεων στα ασύρματα εικονικά δίκτυα. Το CROWD έχει τέσσερις στόχους: περισσότερη χωρητικότητα όταν χρειάζεται, βελτιστοποιημένο MAC επίπεδο, χαμηλή κατανάλωση ενεργείας και διαβεβαιώνει την καλή ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες (Quality of Service QoS). Με αυτά τα συστήματα να εφαρμόζονται στα κεντρικά RAN, οι πάροχοι θα επωφεληθούν από το SDN κατά την εφαρμογή του δικτύου. Το SDN παρέχει διαχείριση πόρων και εικονικοποίηση δικτύου καθώς και αυτόματη επαναφορά σε περίπτωση λάθους.

6.4 Προκλήσεις C-RAN:

Υψηλές fornthaul δυνατότητες: η σύνδεση μεταξύ BBU-RRU πρέπει να έχει υψηλό bandwidth, χαμηλή καθυστέρηση και ελάχιστο κόστος. Όπως αναφέραμε, η οπτική ίνα είναι η κατάλληλη όμως το κόστος είναι πολύ υψηλό. Συνεπώς πρέπει να βρεθεί μια συμβιβαστική λύση υπολογίζοντας το κόστος, bandwidth και καθυστέρηση.

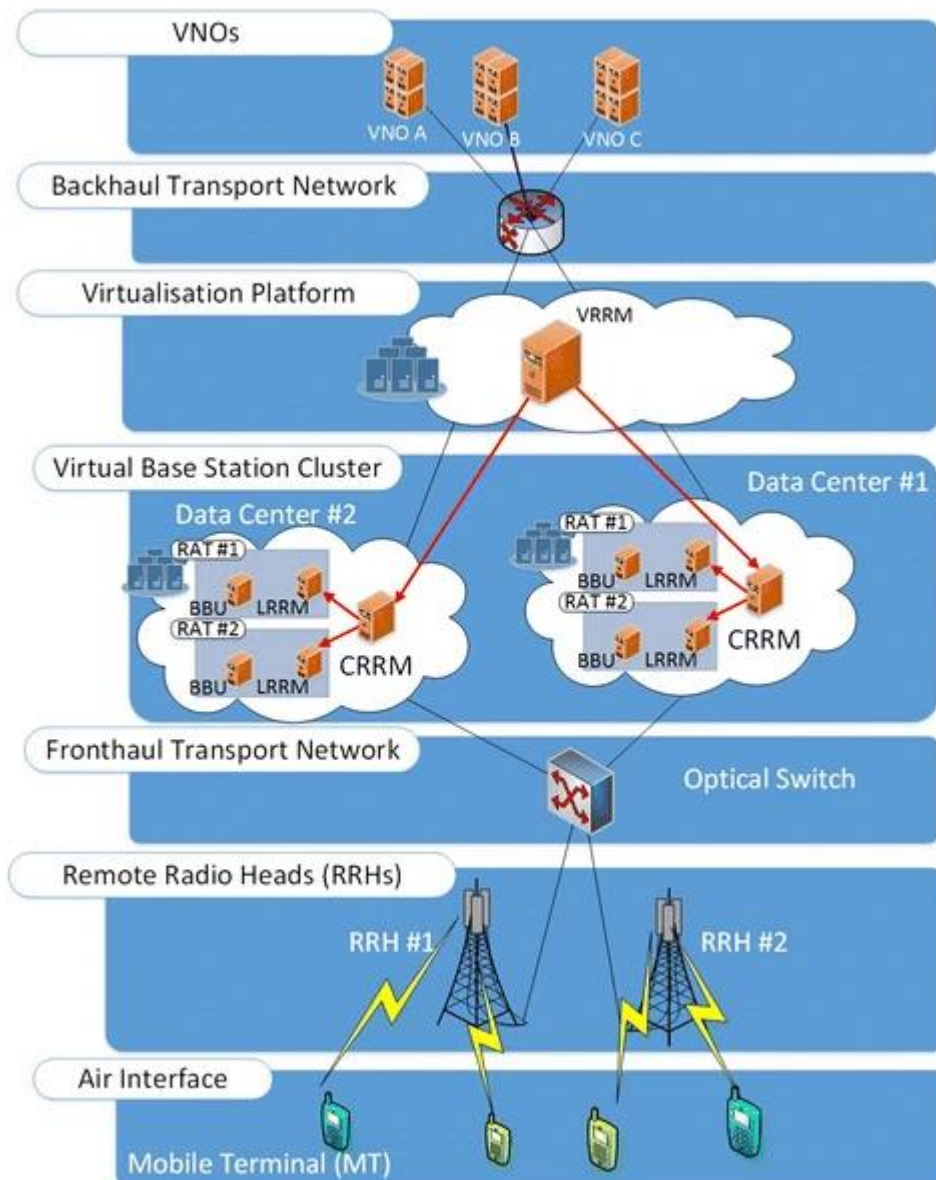
BBU Λειτουργικότητα: Τα BBU στην ίδια περιοχή πρέπει να συνεργάζονται για να υποστηρίξουν διαμοιρασμό δεδομένων του χρήστη. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα στο απόρρητο του χρήστη, υψηλό bandwidth, χαμηλή καθυστέρηση στην μεταξύ επικοινωνία των BBU.

Ομαδοποίηση Κυψελών (cell clustering): Η βέλτιστη ομαδοποίηση των κυψελών και BBU με μέγιστη απόδοση είναι άλλη μια πρόκληση. Ένα BBU πρέπει να πετυχαίνει τον μέγιστο αριθμό ανταλλαγής δεδομένων και να κρατάει στο ελάχιστο την κίνηση στο fronthaul δίκτυο.

Ασφάλεια: Όσον αφορά το απόρρητο των χρηστών και τους εξουσιοδοτημένους τρίτους χρήστες. Με τον διαμοιρασμό των πόρων μεταξύ BBU, υπάρχει οι πιθανότητα να διαρρεύσουν προσωπικά δεδομένα και να εισχωρήσει κάποιος τρίτος σε ασφαλισμένα δεδομένα. Ένας χρήστης μπορεί να εκμεταλλευτεί ένα τόσο μεγάλο και εικονικό δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Εικονικά RAN (Virtual Radio Access Network)

7.1 Εικονικά RAN - Virtual RAN αρχιτεκτονική: Η αρχιτεκτονική των εικονικών RAN (vRAN) βασίζεται στην αρχιτεκτονική των κεντρικών RAN (C-RAN) γίνεται χρήση NFV.



Σχήμα: Αρχιτεκτονική εικονικού RAN (vRAN)

- **Virtual Network Operators (VNO):** Οι πάροχοι δικτύων οι οποίοι δεν τους ανήκει κάποια RAN υποδομή. Ζητούν την εικονική πλατφόρμα για ασύρματη συνδεσιμότητα όσο αφορά την χωρητικότητα και την μεταφορά διάφορων υπηρεσιών κίνησης με διάφορες Quality-of-Service QoS προδιαγραφές για τους συνδρομητές τους.
- **Backhaul δίκτυο μεταφοράς:** ένα οπτικό δίκτυο με χαμηλή καθυστέρηση, το οποίο συνδέει το κεντρικό δίκτυο του παρόχου με την φυσική υποδομή του RAN.
- **Εικονική πλατφόρμα:** είναι η κυρία διάφορα του κεντρικού RAN (C-RAN) με το εικονικό RAN (vRAN), είναι υπεύθυνη να καταχωρεί την φυσική υποδομή για τους παρόχους-VNO, επίσης διαχειρίζεται τα αιτήματα των VNO μέσω των διαθέσιμων φυσικών πόρων. Η σημαντικότερη λειτουργία της εικονικής πλατφόρμας είναι το VRRM, είναι ο διαχειριστής ο οποίος είναι υπεύθυνος για μεταφράζει τις VNO απαιτήσεις μέσω πολιτικών στα χαμηλότερα επίπεδα. Βελτιστοποιεί την χρήση των εικονικών πόρων χωρίς να αντιμετωπίζει την διαχείριση των φυσικών πόρων.

- **Baseband Units-BBU κέντρο δεδομένων:** ένας αριθμός εικονικών μηχανών Vms για την διαχείριση της κίνησης μεταξύ τερματικών και κεντρικού δικτύου.
- **Fronthaul δίκτυο μεταφοράς:** μεταδίδει ψηφιοποιημένα ράδιο σήματα μεταξύ ομάδων BBU και RRU, χρησιμοποιώντας CPRI με μεγάλο ρυθμό δεδομένων μέσω οπτικών ινών. Ο οπτικός εξοπλισμός πρέπει να έχει την χαμηλότερη πιθανή καθυστέρηση αφού η μεγίστη καθυστέρηση πρέπει να είναι κάτω από 150μs.
- **RRHs:** οι πομποδέκτες που είναι υπεύθυνοι για την ανταλλαγή δεδομένων και τον έλεγχο της κυκλοφορίας από κινητά σε τερματικά μέσω του αέρα.

Συγκρίνοντας το C-RAN με τα τωρινά κινητά δίκτυα, φαίνεται πως το eNodeB έχει χωριστεί σε RRHs, οπτικές ίνες και ομάδες BBU. Η εικονική πλατφόρμα, η οποία προσφέρει απομόνωση, καταχώρηση πόρων και ενοικίαση, δεν υπάρχει στα τωρινά δίκτυα. Οι αλλαγές στην αρχιτεκτονική και η αντικατάσταση του αφοσιωμένου hardware από Vms στα κέντρα δεδομένων προσφέρει υψηλή ευελιξία, αποδοτικότητα πόρων, και την μείωση του κόστους.

7.2 Αναβάθμιση στα vRAN: Τα NFV στην πράξη αντικαθιστούν τις λειτουργίες που ήταν βασισμένες σε hardware με λογισμικό. Σε μια αρχιτεκτονική NFV το hardware είναι άπλα ένα commercial off-the-shelf (COTS)*.

Κάνοντας το RAN εικονικό γίνεται πιο ευέλικτο από ότι ένα RAN βασισμένο σε hardware. Ο όρος ευέλικτο σημαίνει ότι μπορεί να προσαρμοστεί στις αλλαγές δικτύου πιο γρήγορα. Δηλαδή στην ισορροπία του δικτύου και τον διαμοιρασμό των πόρων ανάλογα με την ζήτηση. Το vRAN είναι πιο ευέλικτο επειδή επιτρέπει αλλαγές χωρίς να χρειάζεται αντικατάσταση υλικού σε όλη την υποδομή, το μόνο που χρειάζεται είναι μια ενημέρωση λογισμικού.

Αναβαθμίζοντας το λογισμικό του RAN μπορεί να βελτιώσει την συνδεσιμότητα του δικτύου, την αποδοτικότητα και την ασφάλεια ανάμεσα σε άλλες λειτουργίες. Για παράδειγμα, η ασφάλεια είναι ένας στόχος που συνεχώς αλλάζει. Με vRAN υποδομή, οι πάροχοι μπορούν να ανταπεξέλθουν καλύτερα στην ασφάλεια από ότι οι πάροχοι που δεν χρησιμοποιούν vRAN επειδή τα bugs και άλλα θέματα ασφαλείας μπορούν να λυθούν με μια ενημέρωση λογισμικού αντί να πρέπει να αλλάξει το hardware σε μεγάλη κλίμακα. Ένα ασφαλές δίκτυο ελκύει περισσότερους πελάτες επειδή όσο πιο πολύ εμπιστοσύνη υπάρχει σε ένα προϊόν όπως το δίκτυο τόσο πιο πιθανό να το χρησιμοποιήσουν.

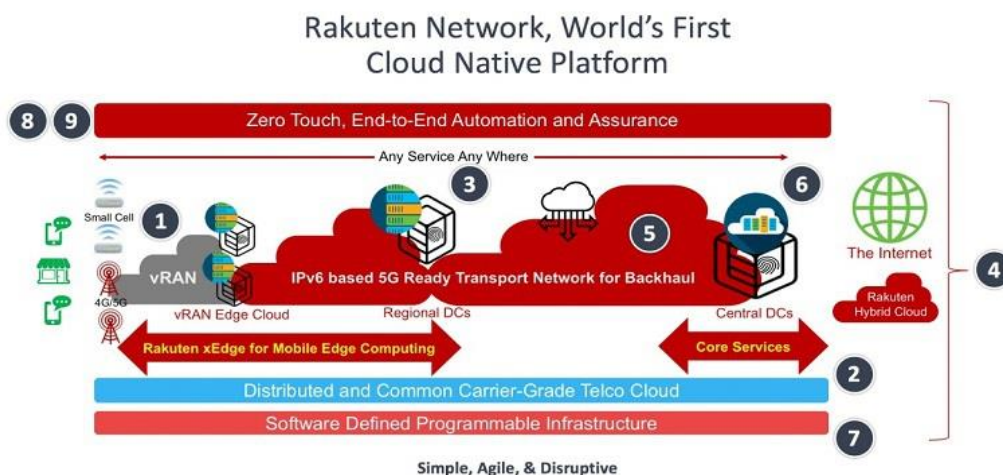
IT ομάδες μπορούν να κάνουν παραπάνω από το να λύσουν θέματα ασφαλείας με ένα απλό update. Ενημερώνοντας και αναβαθμίζοντας κάθε είδος λειτουργίας μπορεί να γίνει απομακρυσμένα από IT ομάδες (όπως οι ενημερώσεις σε εφαρμογές γίνονται απομακρυσμένα από τους χρήστες κατεβάζοντας ένα patch μέσω ίντερνετ). Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι το προσωπικό δεν χρειάζεται να αντικαταστήσει το hardware έξω στο πεδίο. Αντιθέτως μπορεί να γίνει πρώτα από κεντρικό σημείο και μετά να στείλουν προσωπικό στην υποδομή του δικτύου.

*Commercial off-the-shelf (COTS): είναι ένας όρος για προϊόντα τα οποία είναι έτοιμα και διαθέσιμα για να αγοραστούν οποιαδήποτε στιγμή.

7.3 Πλεονεκτήματα vRAN:Μαζί με τα παραπάνω έρχονται και άλλα πλεονεκτήματα όπως,οι διαχειριστές του δικτύου έχουν καλύτερο έλεγχο και ορατότητα στο δίκτυο τους. Τα πλεονεκτήματα του απομακρυσμένου έλεγχου και καλύτερης εικόνας προσφέρουν αυξημένο χρόνο λειτουργίας του δικτύου αφού τα προβλήματα μπορούν να εντοπιστούν και να λυθούν συντομότερα.

Οι RAN παροχή μπορούν να ωφεληθούν από το vRAN επιλέγοντας COTS εξοπλισμό για το δίκτυο τους ο οποίος είναι φθηνότερος.

Όταν μια IT ομάδα αποδέχεται το εικονικό,το ιδιόκτητο hardware δεν είναι πλέον απαραίτητο και το κλείδωμα προμηθευτών δεν είναι προκαθορισμένο. Αυτή δεν είναι η περίπτωση στην RAN βιομηχανία,αφού οι προμηθευτές που κυριαρχούν δεν έχουν διαλειτουργικές υποδομές.Το vRAN ανοίγει τον δρόμο στα ανοιχτά RAN,καθώς ανταγωνιστές οι οποίοι θέλουν να δημιουργήσουν ανοιχτά στάνταρ τα οποία θα επιτρέψουν hardware και software από διαφορετικούς προμηθευτές να επικοινωνεί. Υπάρχει μόνο ένα μεγάλης κλίμακας RAN το οποίο χρησιμοποιεί ανοιχτό RAN και αυτό είναι της Rakuten LTE RAN στην Ιαπωνία,όποτε δεν υπάρχει μεγάλη αποδοχή για τα ανοιχτά στάνταρ ακόμα.



Σχήμα:Rakuten Δίκτυο,πρώτη πλατφόρμα στο cloud

7.4 Ο ρόλος των vRAN στο 5G:Τα εικονικά RAN είναι απαραίτητα για τα 5G δίκτυα επειδή η νέα γενιά απαιτεί ορατότητα,αυτοματισμό και προσαρμοστικότητα προϋπόθεσης όπου τα hardware-based RAN δεν μπορούν να προσφέρουν. Η ικανότητα να μεγαλώσεις και να προσαρμόσεις το δίκτυο σε μεταβλητές καταστάσεις είναι πολύ σημαντική όταν η απαίτηση στα 5G δίκτυα αυξάνεται και από χρήστες τηλεφώνων άλλα και από συσκευές IoT.Ο αριθμός των IoT συσκευών αυξάνεται και

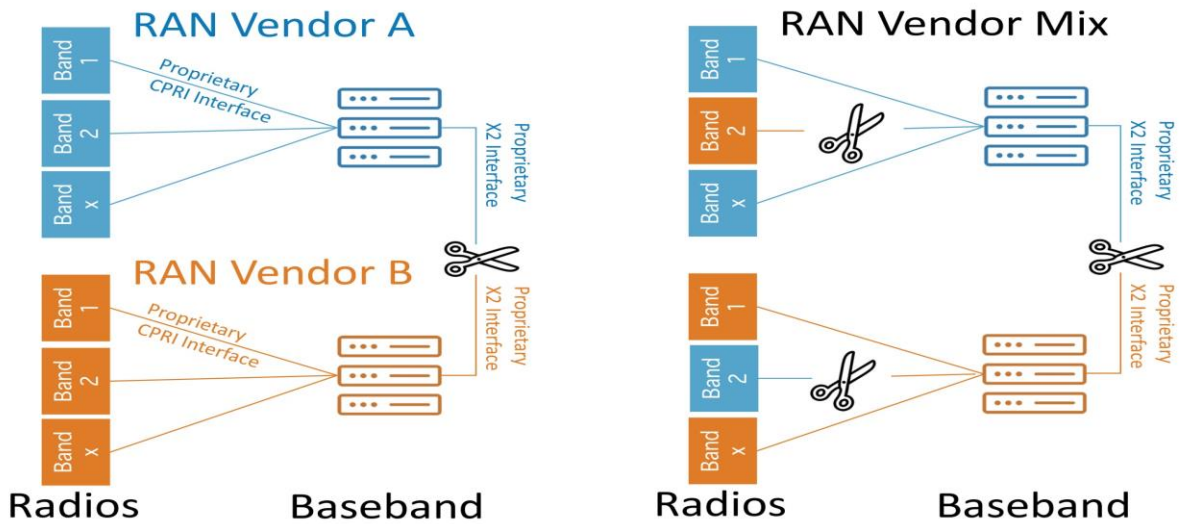
επειδή πολλές συσκευές είναι διασυνδεδεμένες μεταξύ τους και με το ευρύτερο δίκτυο, δημιουργούνται δεδομένα και μεταφέρονται σε τεράστιους ρυθμούς.

Είναι σημαντικό για τους διαχειριστές του δικτύου να μπορούν να αναβαθμίσουν το vRAN απομακρυσμένα αφού επιτρέπει βελτιώσει όσο προχωράει η τεχνολογία. Για παράδειγμα, μπορούν να βελτιώσουν την χρήση των πόρων και τις συνδέσεις στο δίκτυο, με το να ανεβάζουν νέους αλγόριθμους και κώδικες στο vRAN.

Αναβαθμίζοντας το RAN είναι το κλειδί στα 5G RAN επειδή η τεχνολογία στα τμήματα αναμένεται να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8(Ανοιχτά RAN/OpenRAN)

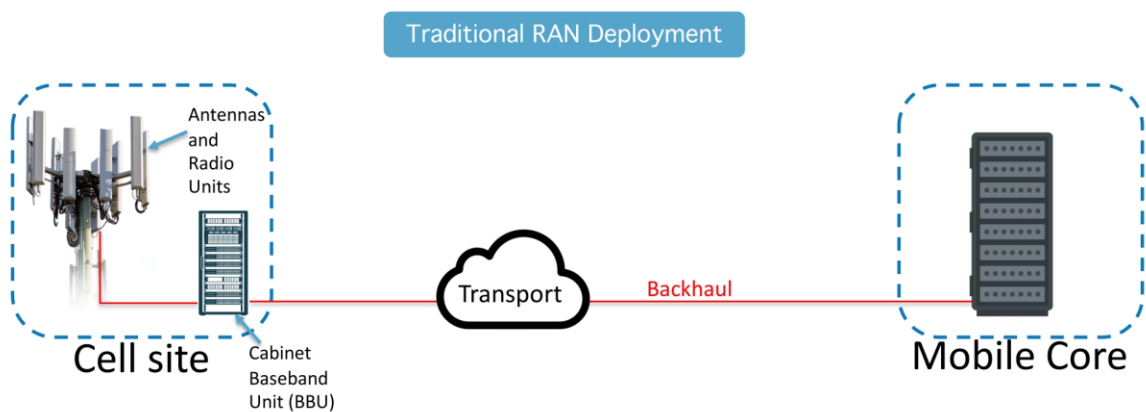
8.1 Το πρόβλημα των παραδοσιακών RAN:Όπως αναφέραμε προηγουμένως στην εφαρμογή των παραδοσιακών RAN το hardware και software είναι ζευγάρι από μια εταιρία χρησιμοποιώντας ιδιοκτήτες διεπαφές για επικοινωνία.



Σχήμα: Διαφορά παραδοσιακού RAN με ανοιχτό RAN

Τα Radio unit συνδέονται με τα baseband units μέσω ιδιοκτήτης διεπαφής χρησιμοποιώντας CPRI. Κάθε κατασκευαστής εφαρμόζει την δικιά του CPRI εκδοσή, κάνοντας τα radio units και baseband units από διαφορετικές εταιρίες να μη ταιριάζουν. Έτσι οι κατασκευαστές δημιούργησαν ένα κλειδώμα (lock-in) εφαρμόζοντας τις X2 διεπαφές όπως θέλουν, δημιουργώντας δυσκολίες στους παρόχους στο να χρησιμοποιήσουν περισσότερα από τα προϊόντα μια εταιρίας σε μια περιοχή.

Οι πάροχοι αναγκάστηκαν να χρησιμοποιούν μια εταιρία ανά γεωγραφική περιοχή. Ας υποθέσουμε ότι τα προϊόντα της A εταιρίας έχουν εφαρμοστεί βόρεια μιας πόλης, ενώ προϊόντα της B εταιρίας έχουν εφαρμοστεί στα νότια. Παρακάτω θα αναφέρουμε τα πρόβλημα που δημιουργούνται με την διαφορετικότητα σε μια γεωγραφική περιοχή.



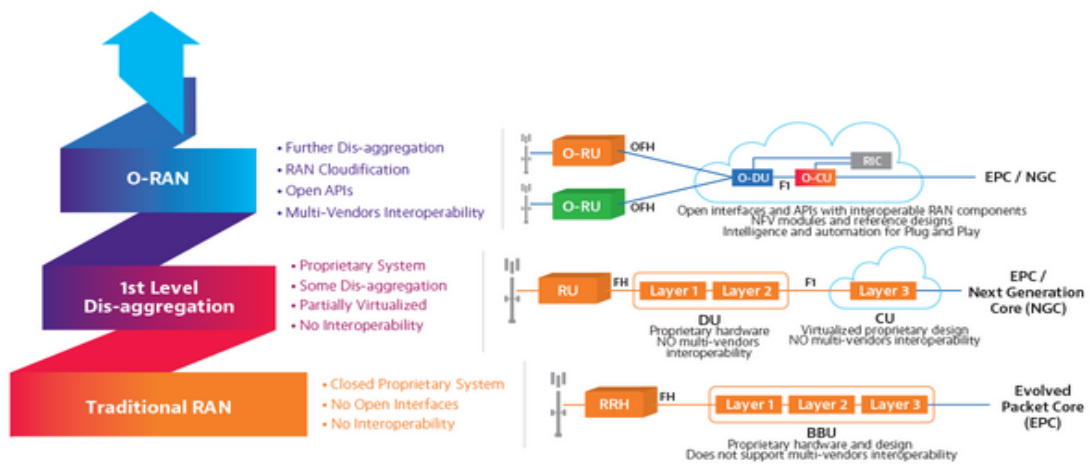
Σχήμα: Παραδοσιακού RAN

- Οι διαχειριστές πρέπει να έχουν ξεχωριστά BBU για τις δυο εταιρίες A και B καθώς και radio units για όλες τις μάντες από τις δυο εταιρίες.
- Επιδόσεις μεταξύ των εταιριών: επειδή στο handover χρησιμοποιείται η X2 διεπαφή, η οποία δεν είναι λειτουργική, οι διαχειριστές έπρεπε να χρησιμοποιήσουν την S1 διεπαφή. Αυτό αύξησε το σήμα, την καθυστέρηση και επηρέασε αρνητικά

την απόδοση του δικτύου. Οι πάροχοι μετρίασαν τον περιορισμό σχεδιάζοντας τα RAN σύνορα ώστε να γίνεται επικάλυψη σε περιοχές με χαμηλή κίνηση και ευελιξία(βουνά,ποτάμια και δάση) ώστε να επηρεάσει λιγότερους χρήστες.

- Υποστηρίζοντας δυο δίκτυα αυξάνει τον αριθμό που χρειάζεται για να λειτουργήσουν τα δίκτυα. Οι διαχειριστές κινητών δικτύων έχουν τεχνικό ειδικό για το λογισμικό και υλικό της A εταιρίας. Αυτό το άτομο μερικές φορές δεν είχε τις ικανότητες και τις γνώσεις να λύσει βλάβες στον εξοπλισμό της B εταιρίας. Επομένως οι διαχειριστές χρειαζόντουσαν ειδικευμένες ομάδες για να κάνουν και τα δυο δίκτυα λειτουργικά.
- Οι πάροχοι πληρώνουν μια ετήσια συνδρομή για κάθε RAN εταιρία για να υποστηρίξει το λογισμικό και το υλικό της. Αυτή η συνδρομή ορίζεται από τον αριθμό των κυψελών,radio και κόμβων που έχουν εφαρμοστεί σε μια περιοχή. Μερικές φορές τα έσοδα της μεγαλύτερης κάλυψης δεν ήταν αρκετά για να υποστηρίξουν την ετήσια συνδρομή αφού η υποδομή ήταν χωρισμένη σε πολλές εταιρίες.
- Όταν ένας πάροχος θελήσει να αλλάξει ή να εκσυγχρονίσει το δίκτυο του και να αλλάξει από την μια εταιρία στην άλλη,τότε ο πάροχος πρέπει ξηλώσει και να αντικαταστήσει όλο το υπάρχον υλικό. Αυτό απαιτεί χρόνο και χρήμα ώστε να αφαιρεθούν τα υπάρχοντα radio και να εγκατασταθεί νέος υλικό ώστε να κάνει το ίδιο πράγμα. Το κόστος είναι μεγάλο και οι πάροχοι δεν θα έχουν πλεονεκτήματα η άλλες λειτουργίες.

8.2 Τι είναι ανοιχτό RAN(O-RAN):Το ανοιχτό RAN ή αλλιώς O-RAN είναι μια ιδέα βασισμένη στην διαλειτουργικότητα και την τυποποίηση των RAN κομματιών περιλαμβάνοντας μια ενοποιημένη διασύνδεση για τα hardware και τα software τμήματα από διαφορετικούς κατασκευαστές,δηλαδή ο εξοπλισμός της A εταιρίας να είναι συμβατός και λειτουργικός με το software της B εταιρίας και το αντίθετο. Η O-RAN αρχιτεκτονική ενσωματώνει το software του σταθμού βάσης σε έτοιμο(off-the-shelf) hardware,όπου επιτρέπει baseband και radio unit εξαρτήματα από ξεχωριστούς προμηθευτές να λειτουργήσουν αποδοτικά.



Σχήμα: Δρόμος προς τα ανοιχτά RAN

O-RAN βελτιώνει τις 5G RAN επιδόσεις σε σημεία όπως αποδοτικότητα, ευφυΐα και ευελιξία. Εφαρμόζοντας O-RAN στην άκρη του δικτύου θα βοηθήσει τις 5G εφαρμογές όπως αυτόνομα οχήματα, διαδίκτυο των πραγμάτων, τεμαχισμό δικτύου σενάρια, και θα επιτρέψει ασφαλείς και αποτελεσματικές firmware ενημερώσεις.

8.3 O-RAN ALLIANCE: καθιερώθηκε το 2018 από παγκόσμιους παρόχους δικτύων με στόχο να εξελίξουν τα RAN δίκτυα του κόσμου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την μετάβαση σε εικονικά στοιχειά δικτύων, white-box hardware και ανοιχτές διεπαφές στο RAN.

Η O-RAN ALLIANCE έχει καθιερώσει 8 ξεχωριστές ομάδες με φιλόδοξους τεχνικούς στόχους όπως open fronthaul αρχιτεκτονική, RAN cloudification και software προδιαγραφές για τα New Radio (NR) πρωτόκολλα.



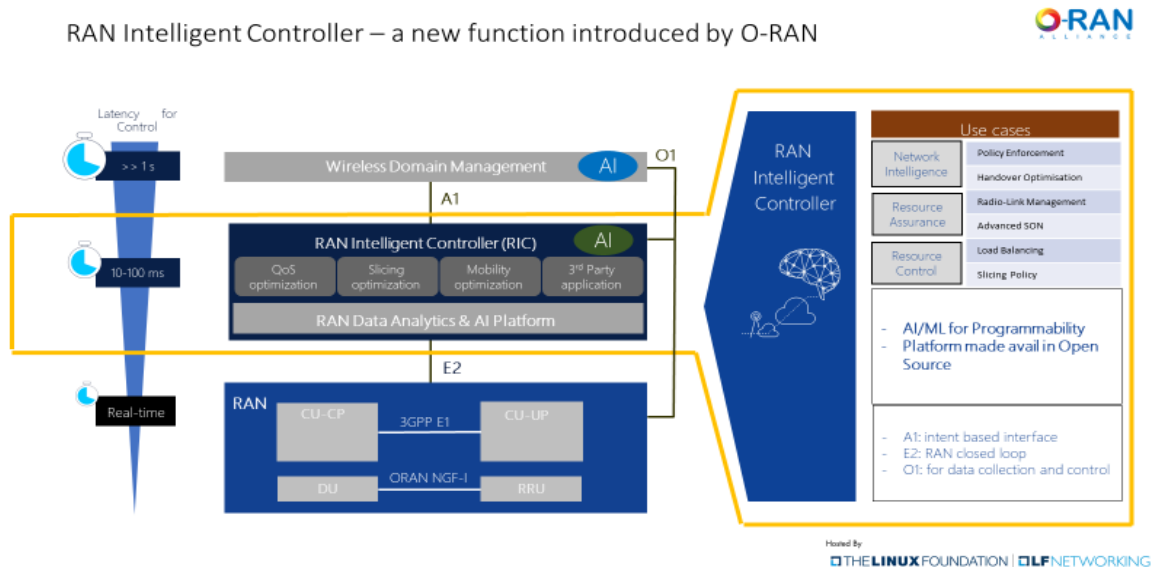
Η έννοια του “ανοιχτού”: Η ανοιχτές διεπαφές είναι αναγκαίες ώστε να επιτρέψουν σε μικρές εταιρίες και παρόχους να προβάλουν τις υπηρεσίες τους, ή να ρυθμίσουν το δίκτυο τους με τις δικές τους ανάγκες. Οι ανοιχτές διεπαφές επιτρέπει επίσης εφαρμογές πολλαπλών εταιριών, επιτρέποντας ένα πιο απαιτητικό και ανταγωνιστικό οικοσύστημα προμηθευτών. Παρομοίως, ανοιχτού κώδικα λογισμικό και υλικό αυξάνουν τους ρυθμούς καινοτομίας.

Λογισμικό ανοιχτού κώδικα: Πολλά τμήματα της O-RAN αρχιτεκτονικής θα παραδοθούν ως ανοιχτός κώδικας. Τμήματα όπως, RAN έξυπνος ελεγκτής (RAN Intelligent Controller), πρωτοκολλά, επεξεργασία φυσικού επιπέδου και εικονική πλατφόρμα. Το O-RAN πλαίσιο ανοιχτού κώδικα δεν θα περιεχθεί μόνο τις απαραίτητες διεπαφές (F1/W1/E1/E2/X2/Xn) αλλά επίσης θα προσφέρει το σχέδια για επόμενης γενιάς διαχείριση πόρων (Radio Resource Management) με “έξυπνους” ελεγκτές - RIC.

8.4 Ο ρόλος του RAN έξυπνου ελεγκτή(RAN Intelligent Controller-RIC):

Στα 2G και 3G δίκτυα, οι αρχιτεκτονικές είχαν ελεγκτές οι οποίοι ήταν υπεύθυνη για διαχείριση των RAN. Με το 4G η αρχιτεκτονική του δικτύου έγινε πιο επίπεδη και ο στόχος ήταν να επιτρέψουν βέλτιστη εμπειρία χρήστη, με τους σταθμούς βάσεις να επικοινωνούν μέσω της X2 διεπαφής για να χειρίζονται την κατανομή των πόρων του δικτύου. Αυτό δημιούργησε το γνωστό πρόβλημα κλείδωμα εταιριών αφού οι εταιρίες είχαν τον δικό τους τύπο X2 διεπαφής, έτσι έγινε δύσκολο για τους παρόχους να έχουν περισσότερο από μια εταιρία σε μια περιοχή. Η αρχιτεκτονική O-RAN κινήθηκε προς την ιδέα του ελεγκτή για να επιτρέψει καλύτερο του είδους RAN.

Πολλά 5G σενάρια χρήσης απαιτούν ελάχιστη καθυστέρηση, διαχωρισμό μεταξύ πάνελ ελέγχου και χρήστη, λειτουργικά RAN τμήματα και τεμαχισμό δικτύου, όλα αυτά απαιτούν την RAN εικονικποίηση σε συνδυασμό με τα δίκτυα καθορισμένου λογισμικού-SDN. Αυτός ο συνδυασμός SDN και NFV είναι απαραίτητος για να επιτρέψει παραμετροποίηση, βελτιστοποίηση και έλεγχο της RAN υποδομής. Έτσι δημιουργήθηκε ο έξυπνος ελεγκτής (RAN Intelligent Controller-RIC) για τα ανοιχτά RAN, για να επιτρέψει eNB/gNB λειτουργίες ως xApps σε northbound διεπαφές. Λειτουργίες όπως διαχείριση κινητικότητα, έλεγχος εισόδου και διαχείριση διεπαφών είναι διαθέσιμες ως εφαρμογές στον ελεγκτή, ο οποίος επιβάλλει πολιτικές μέσω southbound διεπαφές προς το δίκτυο. Ο RIC παρέχει προχωρημένο έλεγχο λειτουργιών, ο οποίος προσφέρει αυξημένη αποδοτικότητα και καλύτερη διαχείριση



πόρων.

Σχήμα: RAN έξυπνος ελεγκτής από την O-RAN

Ο διαχωρισμός λειτουργιών σε southbound και northbound επιτρέπει πιο αποδοτική, με χαμηλότερο κόστος διαχείριση πόρων για λειτουργίες πραγματικοί

χρόνου και μη πραγματικοί χρόνου,αφού ο RIC διαμορφώνει το δίκτυο με βάση το περιβάλλον και το σενάριο χρήσης.

Η εικονικιοποίηση(NFV) δημιουργεί μια λογισμική υποδομή και ένα περιβάλλον υπολογιστικού νέφους για τον RIC,το SDN επιτρέπει σε αυτές τις εφαρμογές να διαμορφώσουν και να διαχειριστούν το δίκτυο για ταχύτερη εφαρμογή.

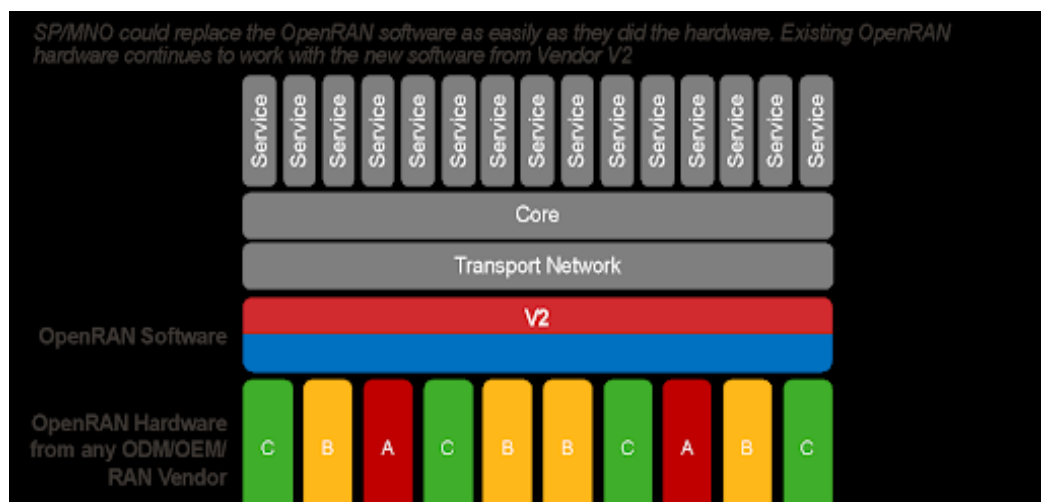
8.6 O-RAN 5G:Ο διαχωρισμός είναι απαραίτητος για την εφαρμογή και την εξέλιξη του 5G,επιτρέποντας στους παρόχους να “ανοίξουν” τα RAN δίκτυα αξιοποιώντας multi-vendor λύσεις. Το ανοιχτό RAN προσφέρει νέους τρόπους εφαρμογής των RAN και προσαρμογής τα οποία είναι ισάξια με την ποικιλία των 5G σεναρίων χρήσης και απαιτήσεων.

Επιτρέποντας νέες συμμετοχές(κατασκευαστές,προμηθευτές) στο O-RAN 5G οικοσύστημα,αυξάνεται η καινοτομία που χρειάζεται για μπορούν οι διαχειριστές να ανταπεξέλθουν στις συνεχείς αλλαγές των πελατών,και να χρησιμοποιήσουν τα καλύτερα RAN τμήματα βασισμένα στις ανάγκες των δικτύων τους.

8.6.1 O-RAN Πλεονεκτήματα: Ένα ανοιχτό RAN οικοσύστημα δίνει στους διαχειριστές περισσότερες επιλογές στα RAN στοιχεία. Με multi-vendor κατάλογο ,οι διαχειριστές έχουν την δυνατότητα να διαμορφώσουν την λειτουργικότητα των RAN τους με τις ανάγκες τους. Το κλειδώμα προμηθευτών(vendor lock-in) δεν είναι πλέον πρόβλημα αφού οι οργανισμοί μπορούν να ξεφύγουν από το υλικό και λογισμικό ενός προμηθευτεί αποκλείστηκα.

Επίσης επιτρέπει νέους προμηθευτές να μπουν στην αγορά. Ένα κύμα νέων προμηθευτών θα αυξήσει τον ανταγωνισμό και θεωρητικά θα μειώσει το κόστος,ωφελώντας τους πελάτες.

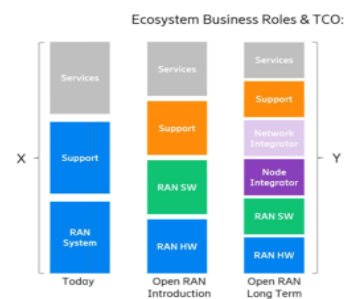
Μερικοί διαχειριστές δουλεύουν στην RAN αγορά για να δείξουν πως ξεχωρίζοντας τα RAN τμήματα οδηγεί σε αυξημένη εφικτότητα,καλύτερη απόδοση και μειωμένη καθυστέρηση. Η Intel και VMware** δουλεύουν μαζί για να προχωρήσουν τα εικονικά RAN. Μαζί θα αναπτύξουν προγραμματισμένες ανοιχτές διεπαφές. Τα αποτελέσματα από αυτήν την συνεργασία θα υποστηρίζουν όλες τις O-RAN διεπαφές.



8.6.2 O-RAN Προκλήσεις: Πριν ο ανταγωνισμός μειώσει το κόστος, οι O-RAN διεπαφές και τμήματα πρέπει να υιοθετηθούν από πολλές RAN εταιρίες. Όπως αναφέραμε και πριν σε μεγάλη κλίμακα μόνο η Rakutan στην Κίνα χρησιμοποιεί ολοκληρωτικά ανοιχτό RAN.

Μένοντας κολλημένος με έναν προμηθευτή σημαίνει μεγαλύτερα έξοδα επειδή τα πάντα είναι ιδιόκτητα. Παρόλα αυτά όταν κάτι πάει λάθος ο πελάτης μπορεί να πάει αμέσως στον προμηθευτή και να ζητήσει βοήθεια. Αν ένας οργανισμός χρησιμοποιεί multi-vendor μοντέλο χρειάζεται χρόνος και κόστος για να απομονώσει και να εντοπίσει το πρόβλημα και μετά να λάβει υποστήριξη από τον σωστό προμηθευτή, ενώ ένας οργανισμός που είναι κλειδωμένος σε έναν προμηθευτή δεν χρειάζεται να κυνηγάει να βρει τον υπεύθυνο. Επίσης σε ένα multi vendor περιβάλλον ο καθένας μπορεί να κατηγορήσει τον άλλον.

How to build the new RAN Ecosystem?



2020-03-26 | Commercial in Confidence | Page 14

O-RAN potential benefits for operators:

- Reduce CAPEX by increasing RAN competition and minimize vendor proprietary solutions.
- Create new use-cases and business opportunities.
- Expand the vendor eco system.

O-RAN potential risks for operators:

- System integration cost.
- Increased Time to Market.
- Network performance degradation.
- Difficult operation and maintenance.
- Industry fragmentation and reduced innovation.
- Less clear and distributed accountability.

Σχήμα: Νέο RAN οικοσύστημα

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Σε αυτό το πρακτικό μέρος θα δούμε πως με την βοήθεια του OMNet++ και του Simu5G μπορούμε να προσομοιώσουμε ένα 5G standalone δίκτυο. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τα διάφορα σημεία του δικτύου(gNB,server) καθώς και πως επηρεάζεται το δίκτυο από τις διάφορες αλλαγές μέσα στο δίκτυο.

1.1 OMNet++: Το OMNeT++ είναι μια επεκτάσιμη,βασισμένη σε στοιχεία βιβλιοθήκη και πλαίσιο προσομοίωσης C++, κυρίως για την κατασκευή προσομοιώσεων δικτύου. Το «δίκτυο» εννοείται μια ευρύτερη έννοια που περιλαμβάνει ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας, δίκτυα σε τσιπ, δίκτυα ουράς και ούτω καθεξής. Λειτουργικότητα συγκεκριμένης περιοχής, όπως υποστήριξη για δίκτυα αισθητήρων, ασύρματα δίκτυα ad-hoc, πρωτόκολλα Διαδικτύου, μοντελοποίηση απόδοσης κ.λπ., παρέχονται από πλαίσια μοντέλων, τα οποία έχουν αναπτυχθεί ως ανεξάρτητα έργα. Το OMNeT++ προσφέρει ένα IDE που βασίζεται στο Eclipse, ένα γραφικό περιβάλλον χρόνου εκτέλεσης και μια σειρά από άλλα εργαλεία. Υπάρχουν επεκτάσεις για προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο, εξομοίωση δικτύου, ενοποίηση βάσεων δεδομένων, ενοποίηση SystemC και πολλές άλλες λειτουργίες. Το OMNeT++ διανέμεται υπό την Ακαδημαϊκή Άδεια.

1.2 Simu5G: Το Simu5G είναι ένας προσομοιωτής 5G New Radio,μοντελοποιεί το επίπεδο χρήστη(User Plane) και του κεντρικού δικτύου(CN) και του Δίκτυο Πρόσβασης Ραδιοφώνου (RAN).Στο Simu5G ένα δίκτυο 5G αποτελείται από τον εξοπλισμό του χρήστη(UE),gNodeBs(gNBs) και User Plane Functions(UPF).Οι UE και τα gNB επικοινωνούν μέσω πρωτοκόλλο New Radio (NR) layer-2, που υλοποιείται μαζί με το φυσικό επίπεδο στη μονάδα NrNic. Ο εσωτερικός σχεδιασμός του NIC και για τα δύο gNB και UE απεικονίζονται στο Σχήμα 3 και αποτελούνται από μία υπομονάδα για κάθε στρώμα του πρωτοκόλλου NR. Από την πλευρά UE, το NIC περιέχει επίσης υπομονάδες για το πρωτόκολλο LTE για να επιτρέπει 4G/5G και E-UTRA/NR Dual Connectivity σενάρια.

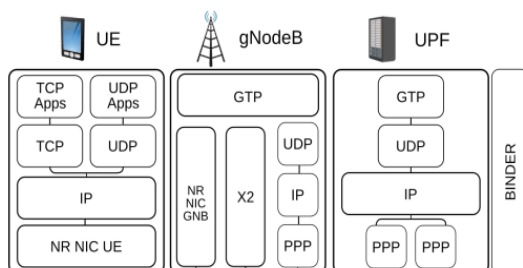


Figure 2: Simu5G main modules

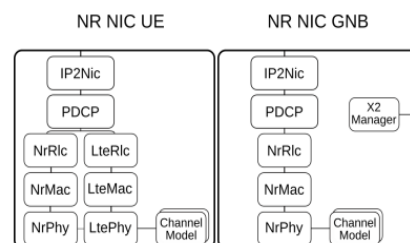
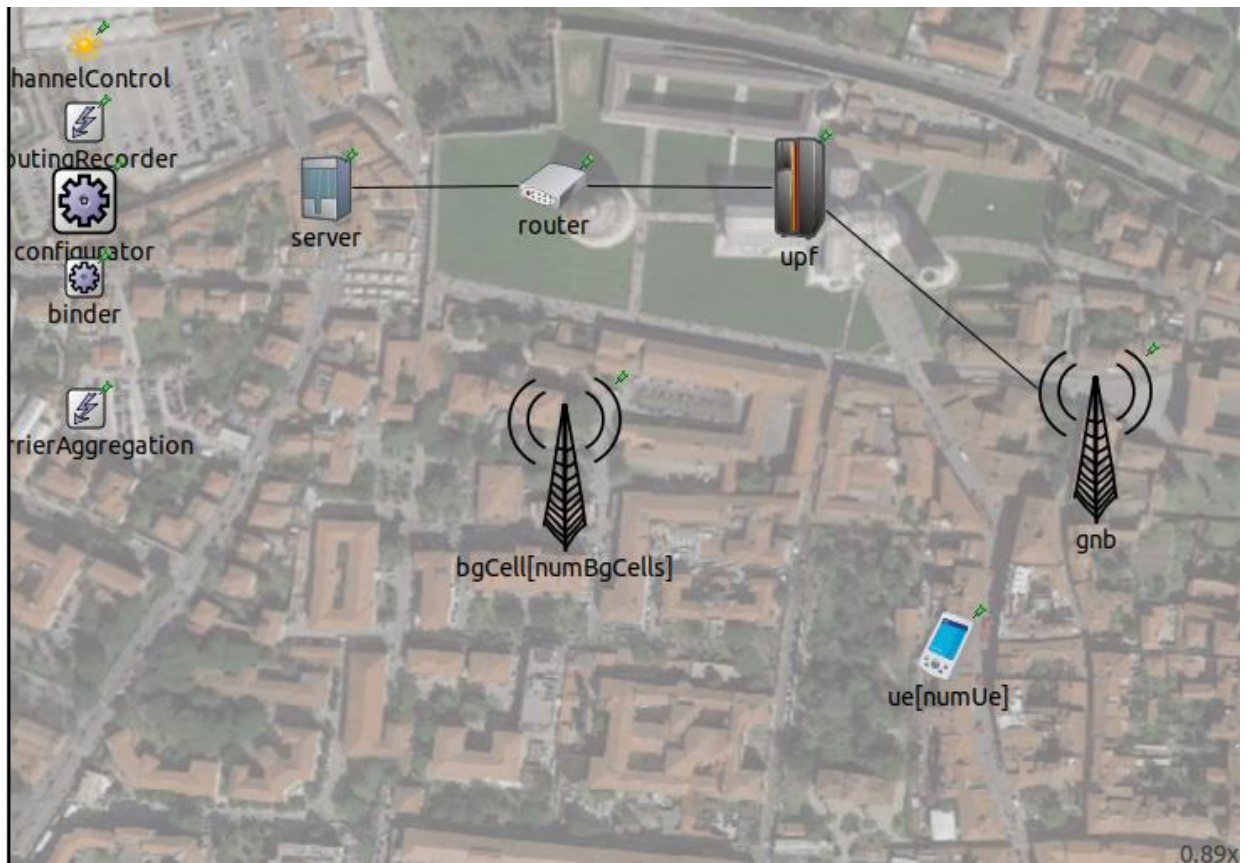


Figure 3: NIC modules

1.3 Ανάλυση προσομοίωσης-5G Standalone

Στην συγκεκριμένη προσομοίωση(σχήμα 1) έχουμε 1 εξοπλισμό χρήστη στο οποίο τρέχει 1 εφαρμογή. Στην συνέχεια έχουμε ένα gNB αφού προσομοιώνουμε ένα 5G standalone δίκτυο. Το gNB συνδέεται με ένα User Plane Function(UPF) το οποίο είναι ένα βασικό κομμάτι για τα 5G δίκτυα ουσιαστικά αντιπροσωπεύει τον διαχωρισμό μεταξύ πάλιν έλεγχου και χρήστη. Ο διαχωρισμός αυτός επιτρέπει την επεξεργασία πακέτων και την συγκέντρωση πακέτων να γίνεται πιο κοντά στον χρήστη αυξάνοντας την απόδοση και το εύρος ζώνης του δικτύου. Το upf module στέλνει τα δεδομένα σε έναν server μέσω ενός router,ο server επεξεργάζεται τα



δεδομένα και τα στέλνει στον εξοπλισμό του χρήστη.

Σχήμα: Δίκτυο 5G Standalone

1.4 1ο Σενάριο

Στο πρώτο σενάριο τρέχουμε την προσομοίωση για να δούμε τα αποτελέσματα στο downlink και uplink, με έναν εξοπλισμό χρήστη να τρέχει μια εφαρμογή με μέγεθος πακέτου 40.

```
** .ueTxPower = 26
** .eNodeBTxPower = 40
** .targetBler = 0.01
** .blerShift = 5
```

Σχήμα 1 (Μεταβλητές μετάδοσης στον κώδικα)

Η εφαρμογή VoIP-UL (βλέπε σχήμα 3) στέλνει δεδομένα προς το gNB και έπειτα στον server. Η εφαρμογή που τρέχει ο σέρβερ ονομάζεται VoIPReceiver. Από την πλευρά του εξοπλισμού χρήστη έχουμε παραμέτρους για το μέγεθος πακέτου που είναι 40, την διεύθυνση αποστολής (destAddress=server), το port επικοινωνίας την εφαρμογή (VoIPSender) η οποία στέλνει πακέτα φωνής. Στην αρχή της εφαρμογής μπορούμε να επιλέξουμε πόσες εφαρμογές τρέχουν στον εξοπλισμό του χρήστη και πόσες στον server, οι εφαρμογές που τρέχουν στον server πρέπει να είναι ίσες με τον αριθμό UE*αριθμό εφαρμογών, στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε 1 UE που τρέχει 1 εφαρμογή οπότε ο αριθμός εφαρμογών στον server είναι 1. Το ίδιο ισχύει και

```
#
[Config VoIP-UL]
extends=Standalone

# one UDP application for each user
*.ue[*].numApps = 1

# the amount of UDP applications on server should be equal to (numUEs)*(ue[*].numApps)
*.server.numApps = 1

#==== Application Setup =====
*.server.app[*].typename = "VoIPReceiver"
*.server.app[*].localPort = 3000+ancestorIndex(0)

*.ue[*].app[*].PacketSize = 40
# obtain the address of the client by reading its index in the array of udp Apps
*.ue[*].app[*].destAddress = "server"
*.ue[*].app[*].localPort = 3088+ancestorIndex(0)
*.ue[*].app[*].typename = "VoIPSender"
*.ue[*].app[*].startTime = uniform(0s,0.02s)
#-----#
```

για το DL παράδειγμα παρακάτω.

Σχήμα 2 (Κώδικας για το Uplink σενάριο)

Για το VoIP-DL(βλέπε σχήμα 3) ο χρήστης λαμβάνει δεδομένα από τον server. Από πλευράς UE τρέχει η εφαρμογή VoIPReceiver για να λάβει δεδομένα VoIP και επίσης δηλώνουμε και το port επικοινωνίας στο UE. Στην συνέχεια από την πλευρά του server δηλώνουμε το μέγεθος πακέτου, τον προορισμοί(ue[0]) και την εφαρμογή VoIPSender που στέλνει δεδομένα προς το UE.

```
» [Config VoIP-DL]
extends=Standalone

# one UDP application for each user
*.ue[*].numApps = 1

# the amount of UDP applications on server should be equa
*.server.numApps =1

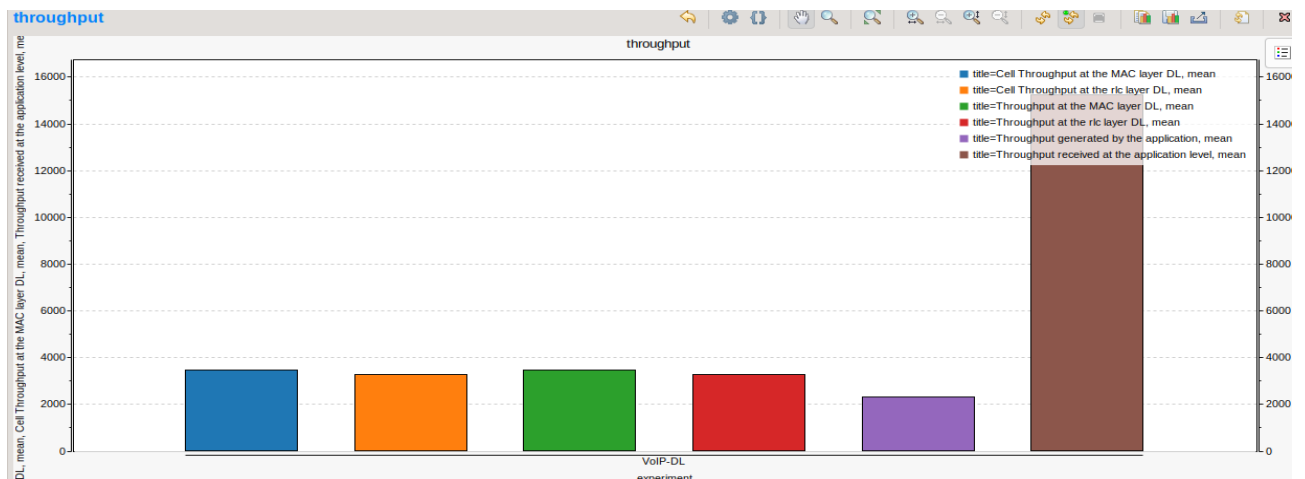
#===== Application Setup =====
*.ue[*].app[*].typename = "VoIPReceiver"
*.ue[*].app[0].localPort = 3000

*.server.app[*].PacketSize = 40
*.server.app[*].destAddress = "ue[0]" # obtain the adres:
*.server.app[*].localPort = 3088+ancestorIndex(0)
*.server.app[*].typename = "VoIPSender"
*.server.app[*].startTime = uniform(0s,0.02s)

--
```

Σχήμα 3 (Κώδικας για το Downlink σενάριο)

Αποτελέσματα Downlink για το πρώτο σενάριο

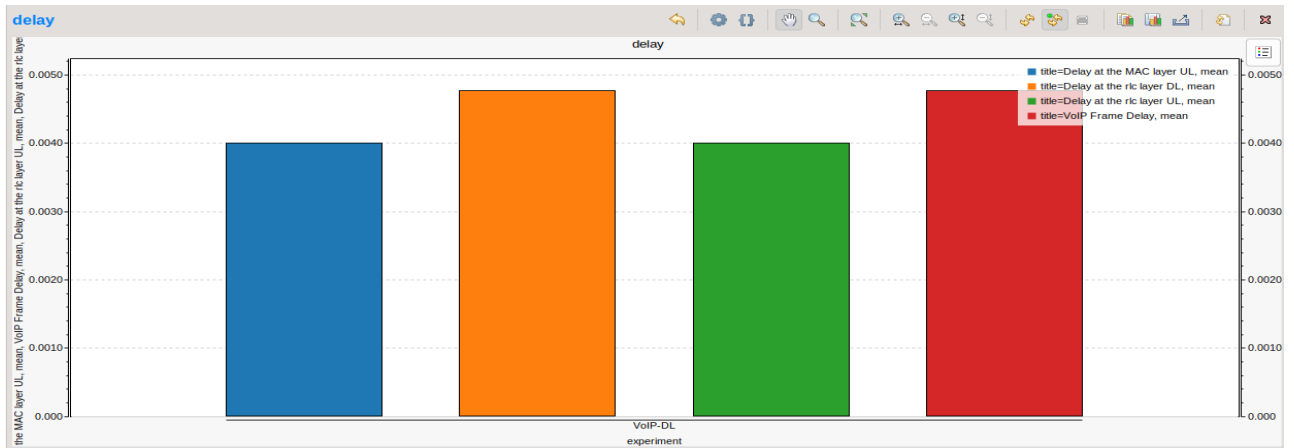


Κίνηση που παράγεται στο δίκτυο (Throughput)

Σχήμα 1

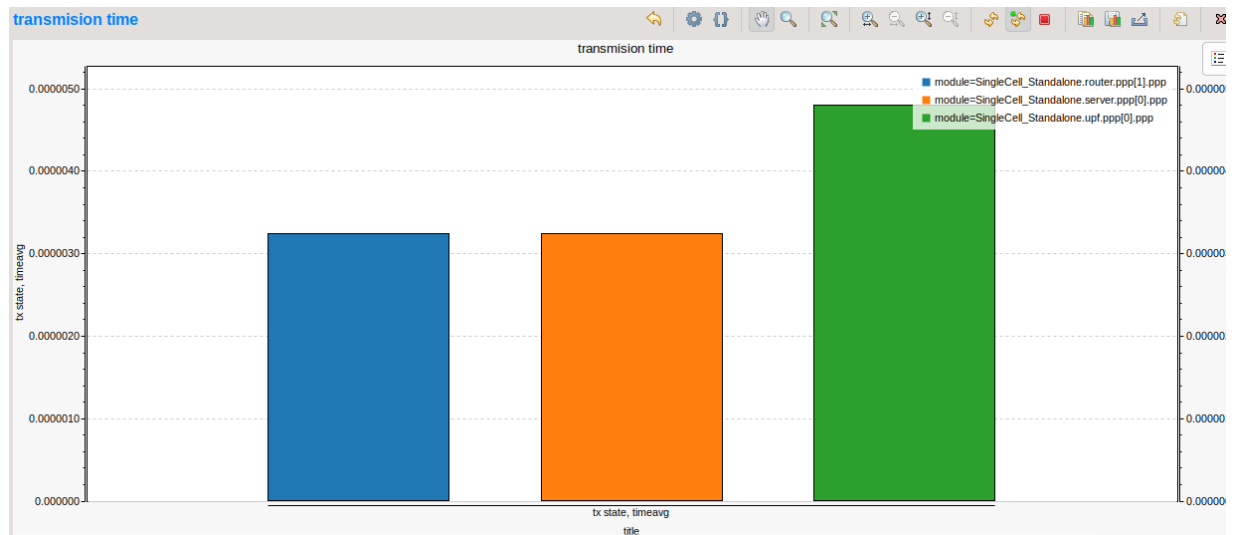
Παρατηρούμε σύμφωνα με το σχήμα(1) ότι η περισσότερη κίνηση παράγεται από το επίπεδο εφαρμογής αφού σε αυτό γίνεται η ανταλλαγή και επεξεργασία δεδομένων μεταξύ server και UE.

Καθυστέρηση στο δίκτυο -Delay



Σχήμα 2

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος καθυστέρησης είναι μεταξύ 0,0040 με 0,0050. Σε αυτό το σχήμα(2) βλέπουμε την καθυστέρηση σε διάφορα σημεία του δικτύου όπως για το MAC επίπεδο και την διεπαφή αέρα(radio link control-rlc). Η περισσότερη καθυστέρηση υπάρχει στο Downlink στην διεπαφή αέρα και στην συνολική καθυστέρηση του VoIP πακέτου.

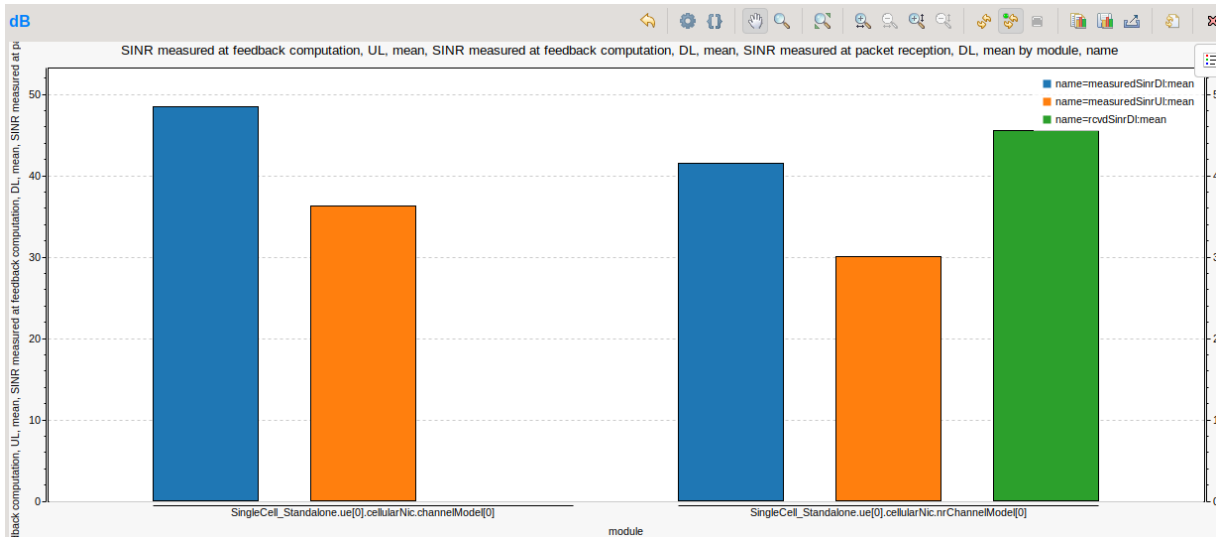


Χρόνος μετάδοσης

Σχήμα 3

Σε αυτό το σχήμα(3) βλέπουμε τον χρόνο μετάδοσης του router, server και upf. Στο upf έχουμε τον περισσότερο χρόνο αφού είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες του χρήστη επίσης συνδέει το RAN με το κεντρικό δίκτυο.

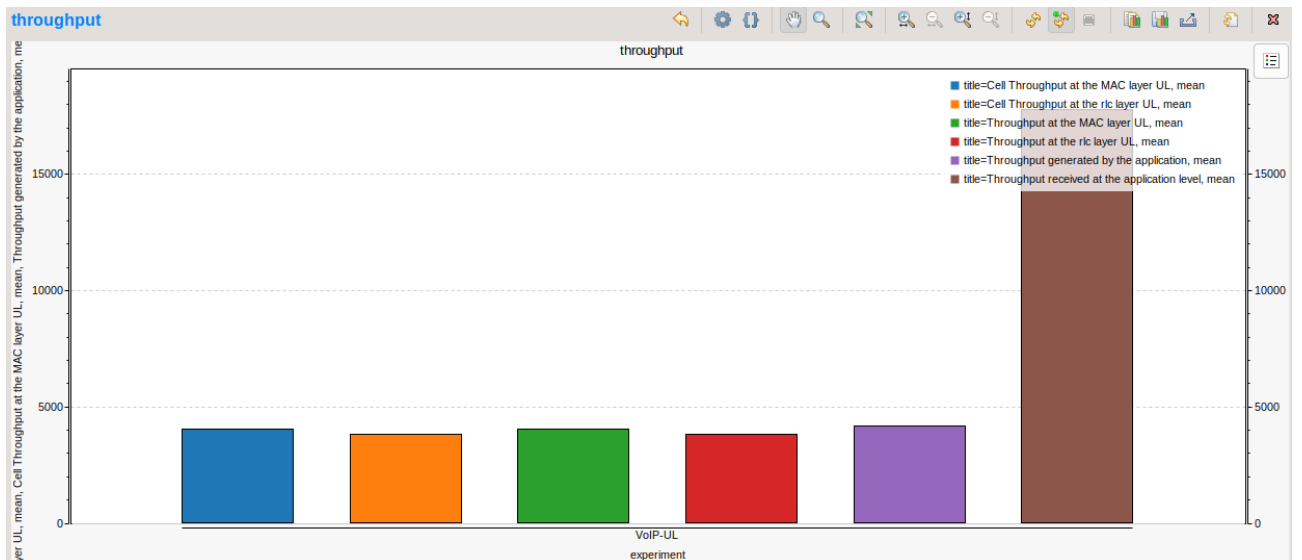
dB



Σχήμα 4

Σε αυτό το σχήμα(4) βλέπουμε το SNR που παράγεται στο δίκτυο. Παρατηρούμε ότι το περισσότερο SNR παράγεται κατά την αποδοχή πακέτων αφού τρέχουμε την προσομοίωση Downlink.

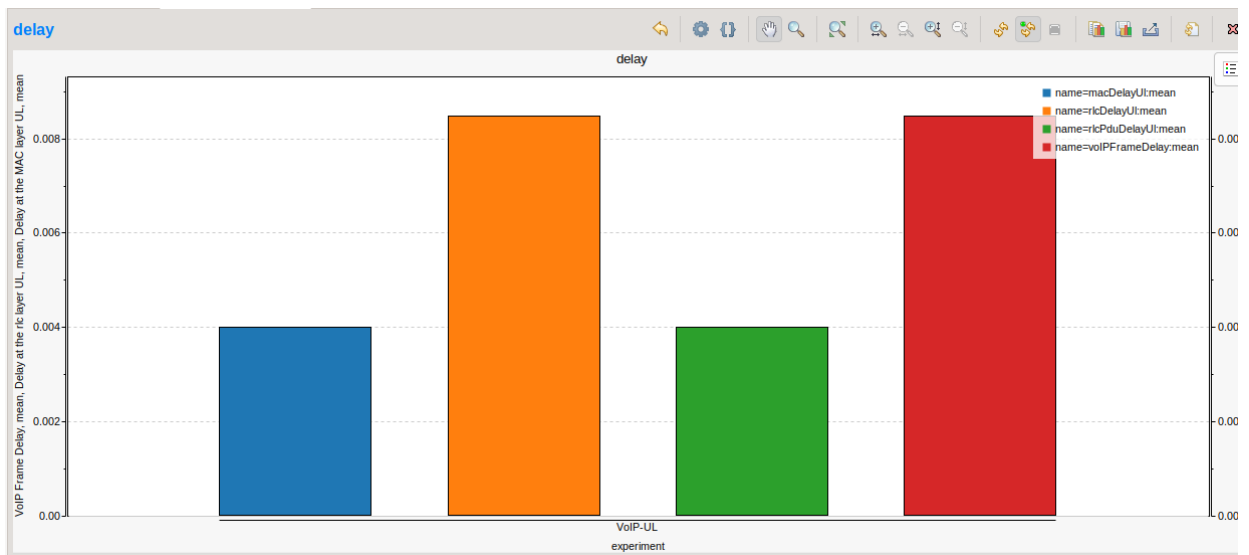
Ανάλυση Uplink για το πρώτο σενάριο



Κίνηση που παράγεται στο δίκτυο (Throughput)

Σχήμα 1

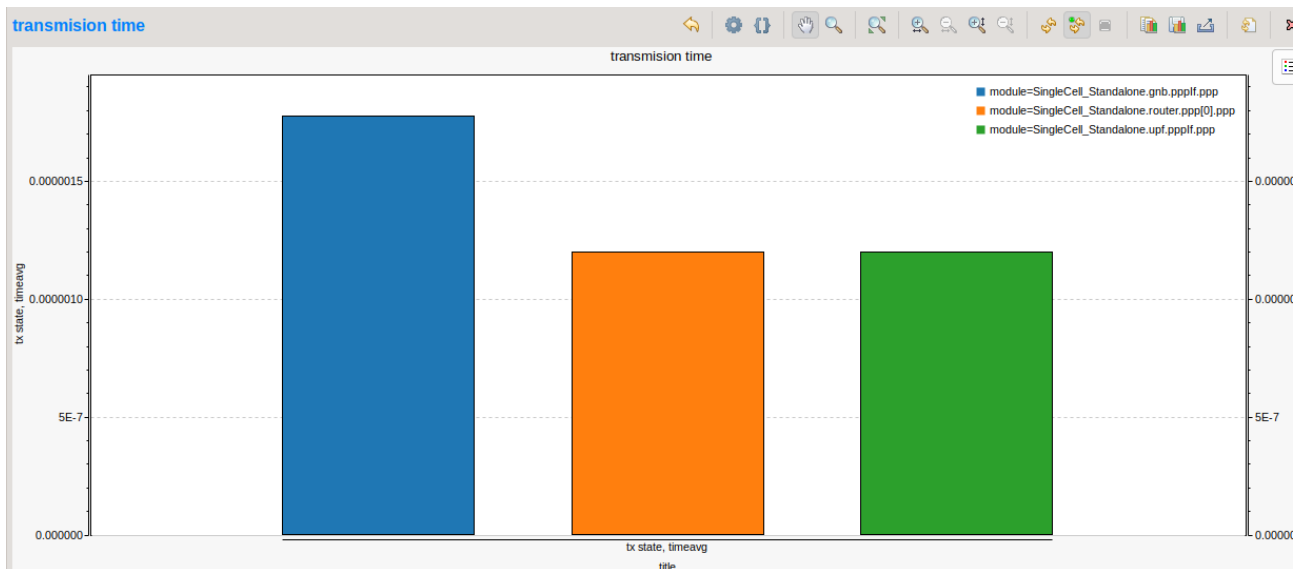
Παρατηρούμε ότι η περισσότερη κίνηση περνάει από το επίπεδο εφαρμογής αφού σε αυτό γίνεται η ανταλλαγή και επεξεργασία δεδομένων μεταξύ server και UE.



Καθυστέρηση στο δίκτυο - Delay

Σχήμα 2

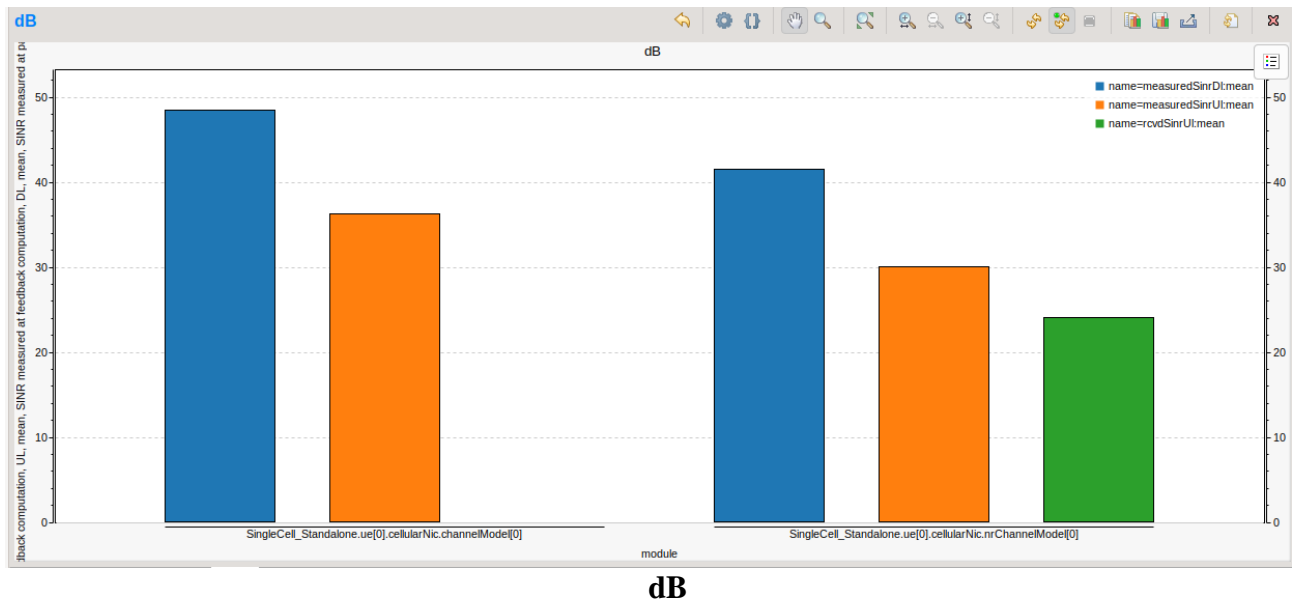
Παρατηρούμε ότι η καθυστέρηση στο Uplink είναι παραπάνω από το προηγούμενο σχήμα στην διεπαφή αέρα για το Uplink και για το συνολικό VoIP πακέτο, αυτό οφείλεται στο ότι τα πακέτα σε αυτό το σενάριο πάνε από τον εξοπλισμό του χρήστη προς τον server.



Χρόνος μετάδοσης

Σχήμα 3

Σε αυτό το σχήμα(3) βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη καθυστέρηση υπάρχει στο gnb αφού επεξεργάζεται όλα τα πακέτα του στέλνει ο UE προς το κεντρικό δίκτυο.



Σχήμα 4

Σε αυτό το σχήμα(4) βλέπουμε το SNR που παράγεται στο δίκτυο. Παρατηρούμε ότι το περισσότερο SNR παράγεται κατά την αποστολή πακέτων αφού τρέχουμε την προσομοίωση Uplink.

2ο Σενάριο

Στο δεύτερο σενάριο τρέχουμε την προσομοίωση για να δούμε τα αποτελέσματα στο downlink και uplink, με έναν εξοπλισμό χρήστη να τρέχει μια εφαρμογή με μέγεθος πακέτου 100. Επίσης θα αυξήσουμε και την ισχύ εκπομπής του gNB. Οι αλλαγές που κάνουμε στον κωδικά είναι οι παρακάτω:

```

** .ueTxPower = 52
** .eNodeBTxPower = 80
** .targetBlr = 0.02

```

Σχήμα 1 (Μεταβλητές μετάδοσης στον κώδικα)

```

#===== Application Setup =====
*.ue[*].app[*].typename = "VoIPReceiver"
*.ue[*].app[0].localPort = 3000

```

Σχήμα : (Κώδικας για το Downlink σενάριο)

```

*.server.app[*].PacketSize = 100
*.server.app[*].destAddress = "ue[0]" # obtain the
*.server.app[*].localPort = 3088+ancestorIndex(0)
*.server.app[*].typename = "VoIPSender"
*.server.app[*].startTime = uniform(0s,0.02s)

```

```

[Config VoIP-UL]
extends=Standalone

# one UDP application for each user
*.ue[*].numApps = 1

# the amount of UDP applications on server should be equal to (numUEs)*(ue[*].numApps)
*.server.numApps = 1

#===== Application Setup =====
*.server.app[*].typename = "VoIPReceiver"
*.server.app[*].localPort = 3000+ancestorIndex(0)

*.ue[*].app[*].PacketSize = 100
# obtain the address of the client by reading its index in the array of udp Apps
*.ue[*].app[*].destAddress = "server"
*.ue[*].app[*].localPort = 3088+ancestorIndex(0)
*.ue[*].app[*].typename = "VoIPSender"
*.ue[*].app[*].startTime = uniform(0s,0.02s)

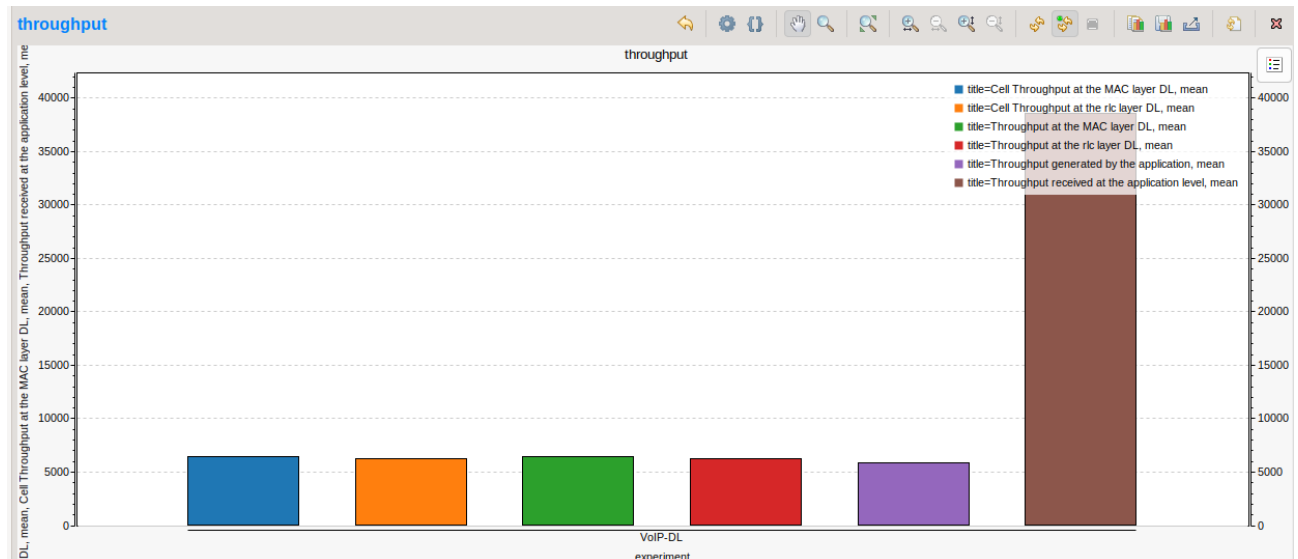
```

Σχήμα:(Κώδικας για το Uplink σενάριο)

Στα 2 παραπάνω σχήματα τόσο για το Downlink όσο και το Uplink αλλάζουμε μόνο το μέγεθος πακέτου σε 100.

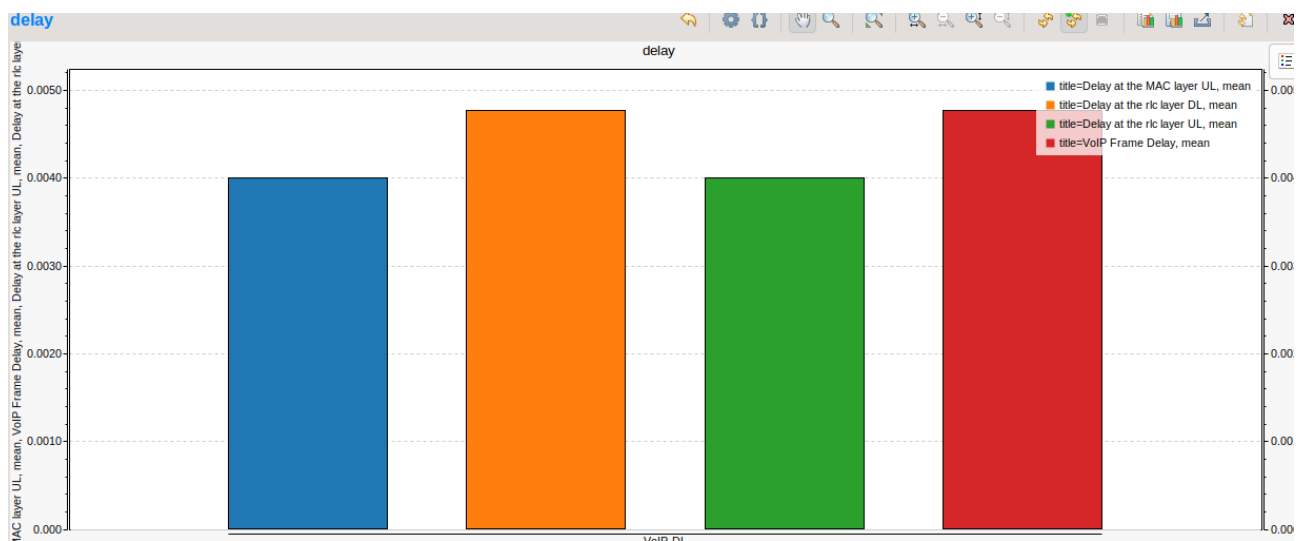
Αποτελέσματα Downlink για το δεύτερο σενάριο

Κίνηση που παράγεται στο δίκτυο (Throughput)



Σχήμα 1

Παρατηρούμε στο σχήμα(1) ότι παράγεται περισσότερη κίνηση από το προηγούμενο σενάριο αφού αυξήσαμε το μέγεθος πακέτου και τις παραμέτρους στο gnb, και σε αυτό το σενάριο η περισσότερη κίνηση περνάει από το επίπεδο εφαρμογής.

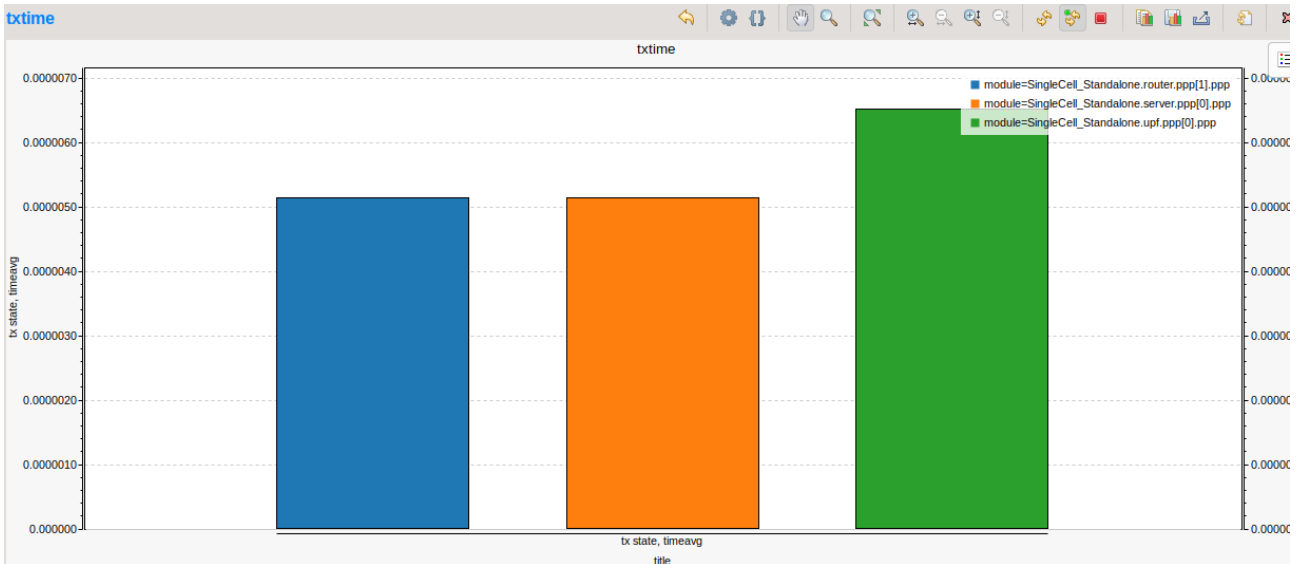


Καθυστέρηση στο δίκτυο -Delay

Σχήμα 2

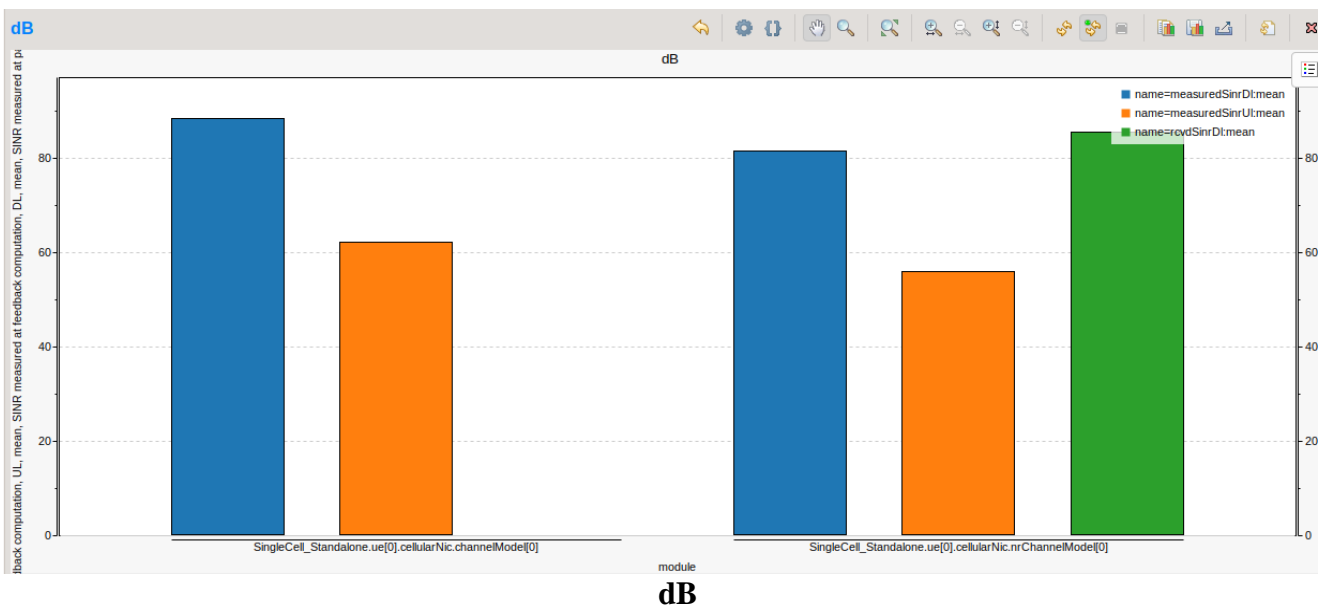
Παρατηρούμε αυξημένη καθυστέρηση που οφείλεται στο αυξημένο μέγεθος του πακέτου καθώς και τις παραμέτρους που αλλάξαμε στο gNB.

Χρόνος μετάδοσης



Σχήμα 3

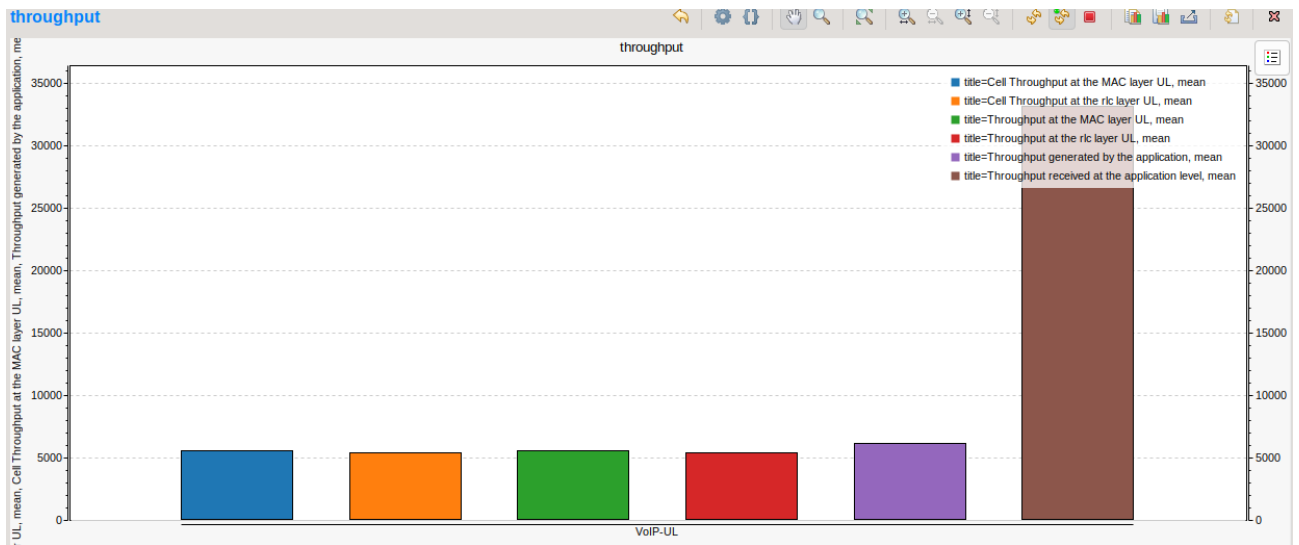
Σε αυτό το σχήμα(3) παρατηρούμε αυξημένο χρόνο μετάδοσης στο upf,αφού τα δεδομένα στο downlink επεξεργάζονται εκεί και μετά στέλνονται προς τον εξοπλισμό του χρήστη.



Σχήμα 4

Τα dB σε αυτό το σενάριο έχουν αυξηθεί,αφού έχουμε ανεβάσει την ενέργεια μετάδοσης τόσο του UE όσο και του server.

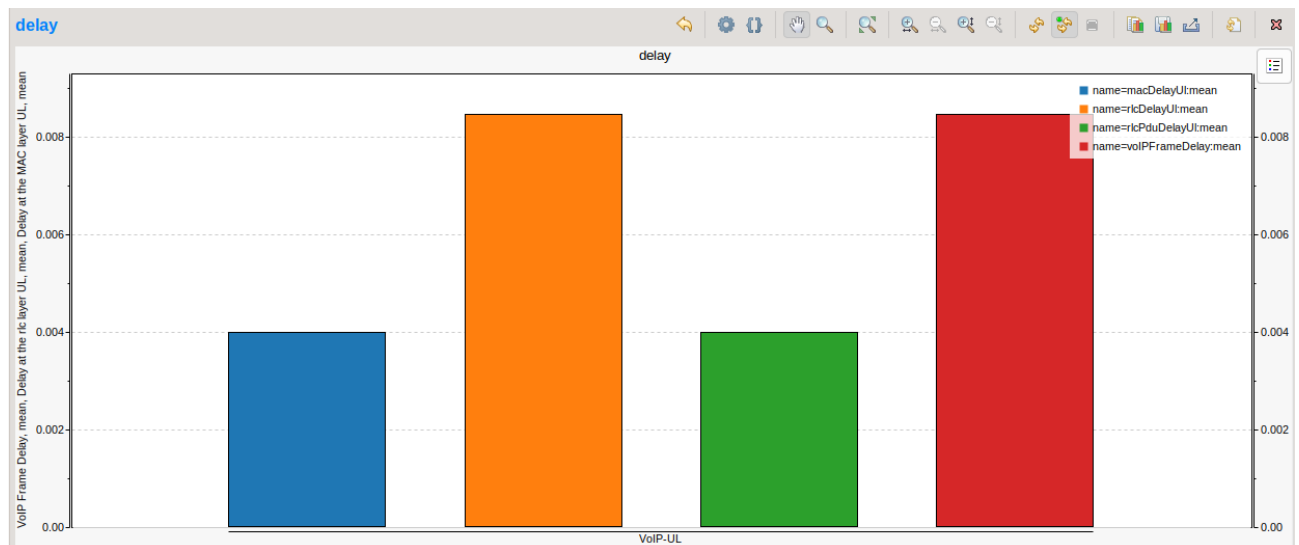
Αποτελέσματα Uplink για το δεύτερο σενάριο



Κίνηση που παράγεται στο δίκτυο (Throughput)

Σχήμα 1

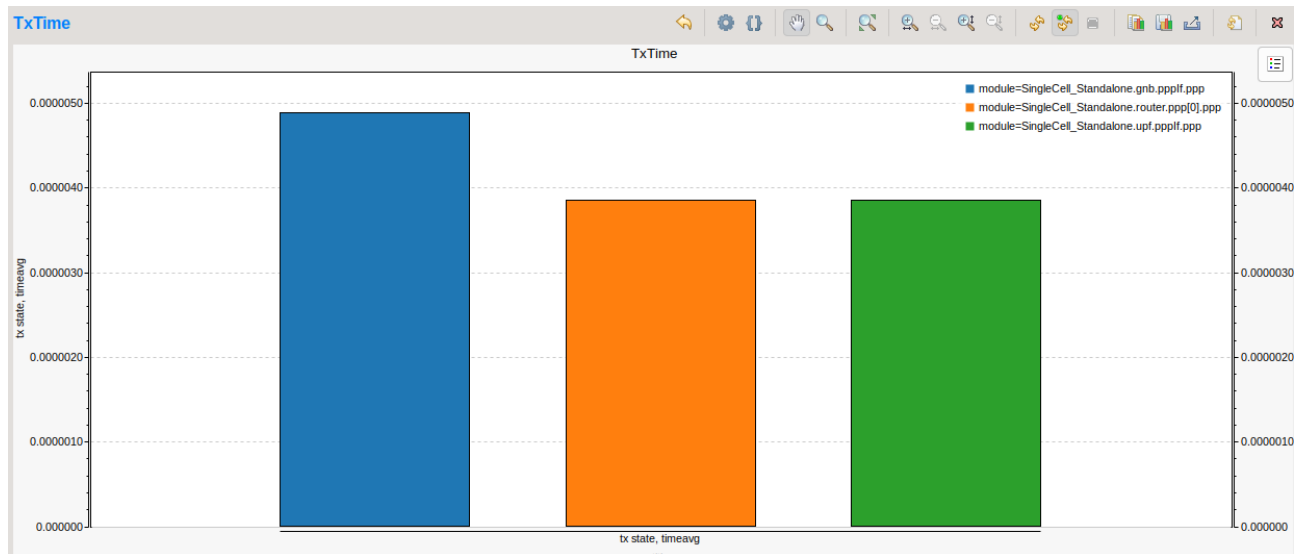
Παρατηρούμε ότι παράγεται περισσότερη κίνηση από το προηγούμενο σενάριο αφού αυξήσαμε το μέγεθος πακέτου και τις παραμέτρους στο gnb, και σε αυτό το σενάριο η περισσότερη κίνηση περνάει από το επίπεδο εφαρμογής.



Καθυστέρηση - Delay

Σχήμα 2

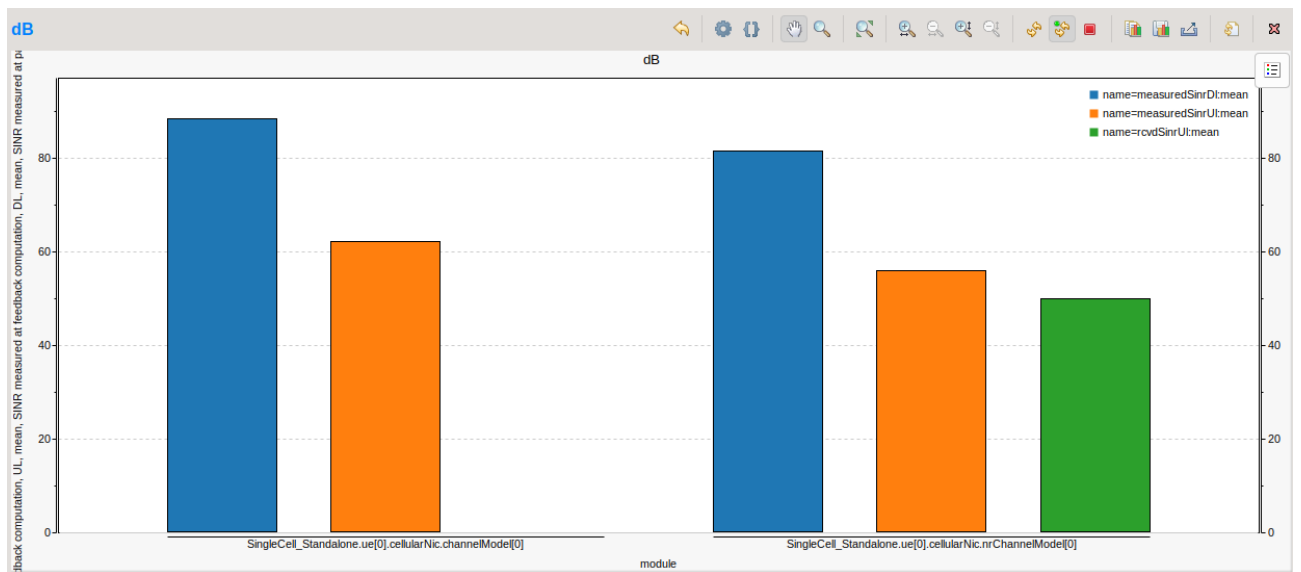
Παρατηρούμε αυξημένη κίνηση στην διεπαφή αέρα καθώς και στην συνολική καθυστέρηση του VoIP πακέτου. Αυτό οφείλεται στις αλλαγές που κάναμε σε αυτό το σενάριο.



Χρόνος μετάδοσης

Σχήμα 3

Παρατηρούμε ότι στο uplink ο χρόνος μετάδοσης είναι αυξημένος στο gnb αφού τα πακέτα επεξεργάζονται και στέλνονται προς το σέρβερ.



dB

Σχήμα 4

Τα dB σε αυτό το σενάριο έχουν αυξηθεί, αφού έχουμε ανεβάσει την ενέργεια μετάδοσης τόσο του UE όσο και του server.

3ο Σενάριο

Σε αυτό το σενάριο μετράμε την κίνηση που παράγει ο εξοπλισμός του χρήστη όταν τρέχει 2 εφαρμογές στο Downlink και στο Uplink. Οι αλλαγές που θα κάνουμε στον κωδικά είναι οι τόσο στο Downlink όσο και στο Uplink, προσθέτοντας ένα ακόμα port επικοινωνίας στον server και στον εξοπλισμό του χρήστη ώστε να γίνεται η επικοινωνία σε 2 πορτ (Αν αφήσουμε 1 πορτ πετάει σφάλμα ότι η πόρτα χρησιμοποιείται ήδη), αλλάζουμε και το πορτ προορισμού από μεριάς σερβερ και τοπικά στο UE. Επίσης αλλάζουμε και τον αριθμό των εφαρμογών τόσο σε server όσο και σε εξοπλισμό χρήστη. Τα μέγεθος πακέτου είναι 100 και οι παράμετροι gNB

```
[Config VoIP-DL]
extends=Standalone

# one UDP application for each user
*.ue[*].numApps = 2

# the amount of UDP applications on server should be equal to (numUEs)*(ue[*].numApps)
*.server.numApps = 2

##### Application Setup #####
*.ue[*].app[*].typename = "VoIPReceiver" #Efarmogi gia na einai to UE paraliptis
*.ue[*].app[*].localPort = 3000+ancestorIndex(0) #Edw dhlwnetai to kathe port gia thn efarmogh sto UE
*.server.app[*].PacketSize = 100 #Megethos Paketoy
*.server.app[*].destAddress = "ue[0]" # obtain the address of the client by reading its index in the array of udp Apps
*.server.app[*].localPort = 3088+ancestorIndex(0) #Port toy server poy trexoun oi efarmoges
*.server.app[*].destPort = 3000+ancestorIndex(0) #Ta Port proorisimos gia ta paketa
*.server.app[*].typename = "VoIPSender" #Efarmogi apostolea ston server
*.server.app[*].startTime = uniform(0s, 0.02s)
```

είναι ίση με το προηγούμενο σενάριο.

Σχήμα :(Κώδικας για το Downlink σενάριο)

```
[Config VoIP-UL]
extends=Standalone

# one UDP application for each user
*.ue[*].numApps = 2

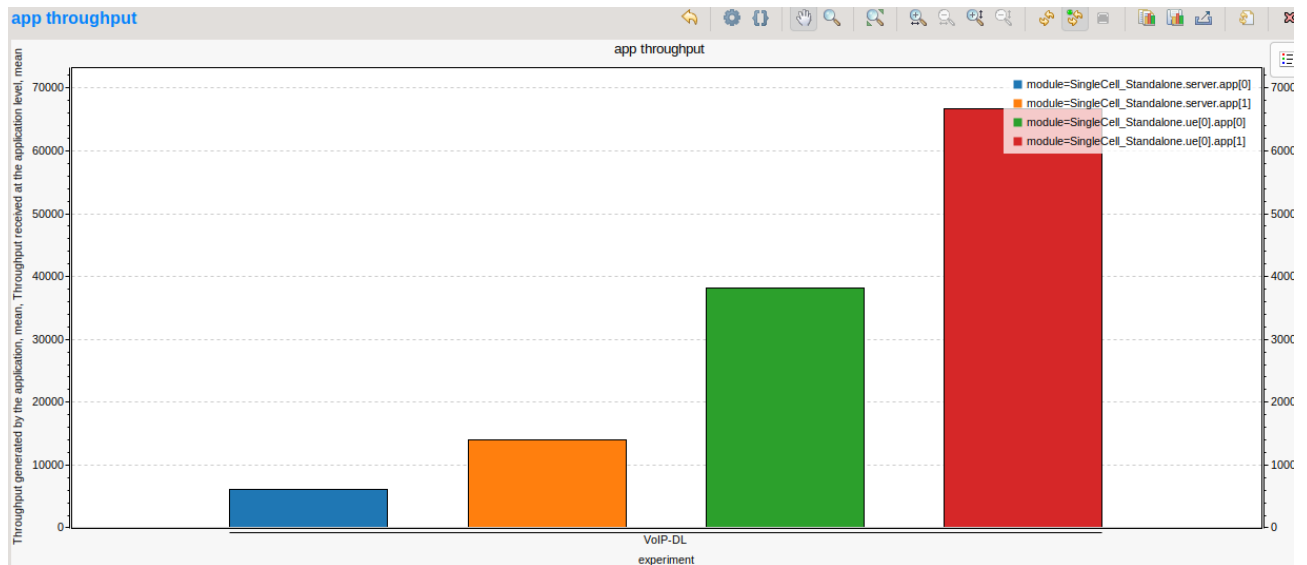
# the amount of UDP applications on server should be equal to (numUEs)*(ue[*].numApps)
*.server.numApps = 2

##### Application Setup #####
*.server.app[*].typename = "VoIPReceiver"
*.server.app[*].localPort = 3000+ancestorIndex(0)

*.ue[*].app[*].PacketSize = 100
# obtain the address of the client by reading its index in the array of udp Apps
*.ue[*].app[*].destAddress = "server"
*.ue[*].app[*].localPort = 3088+ancestorIndex(0)
*.ue[*].app[*].destPort = 3000+ancestorIndex(0)
*.ue[*].app[*].typename = "VoIPSender"
*.ue[*].app[*].startTime = uniform(0s, 0.02s)
```

Σχήμα:(Κώδικας για το Uplink σενάριο)

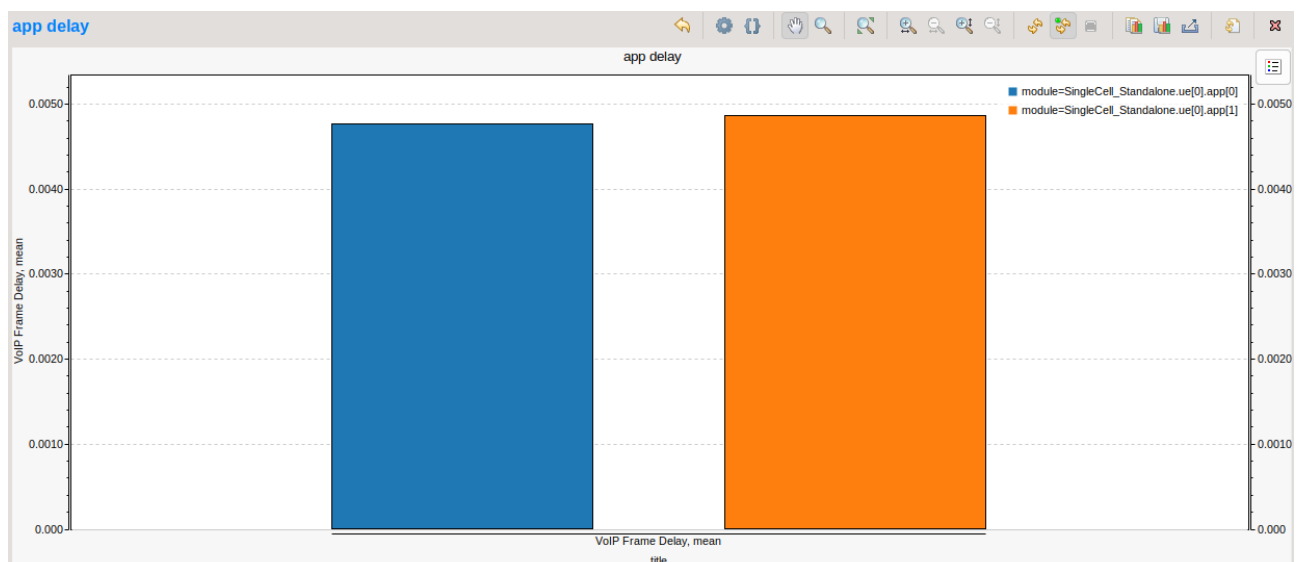
Αποτελέσματα Downlink για το τρίτο σενάριο



Κίνηση που παράγεται στο δίκτυο ανά εφαρμογή (Throughput)

Σχήμα 1

Στο παραπάνω σχήμα(1) η πράσινη και η κόκκινη γραμμή είναι το throughput που παράγει η εφαρμογή από τον εξοπλισμό του χρήστη, η μπλε και η πορτοκαλί γραμμή είναι η κίνηση των εφαρμογών στον σέρβερ. Παρατηρούμε ότι παράγεται μεγάλο throughput από μεριάς UE στο Downlink και αυτό είναι λογικό γιατί τρέχουν 2 εφαρμογές σε 1 UE με μέγεθος πακέτου 100.

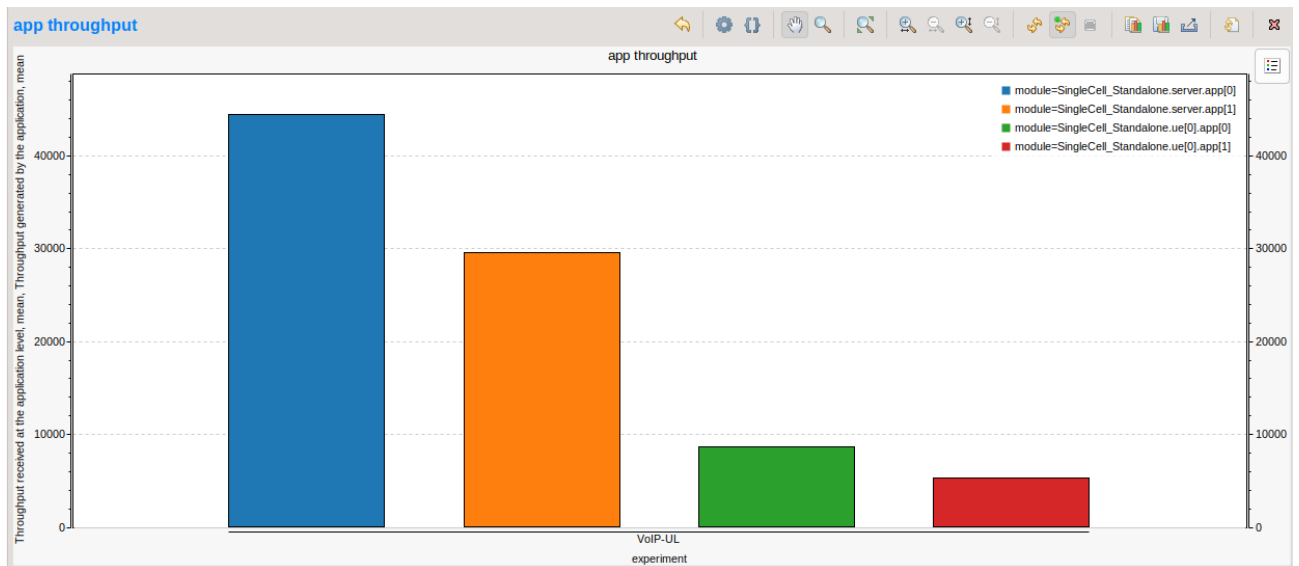


Καθυστέρηση κάθε εφαρμογής

Σχήμα 2

Αυτές οι αλλαγές αύξησαν και την καθυστέρηση σύμφωνα με το σχήμα(2) στο δίκτυο αφού παράγεται μεγάλο throughput αυξάνεται και η καθυστέρηση.

Αποτελέσματα Uplink για το τρίτο σενάριο



Κίνηση που παράγεται στο δίκτυο ανά εφαρμογή (Throughput)

Σχήμα 1

Στο uplink παράγεται λιγότερη κίνηση αφού τα δεδομένα πάνε προς στον σέρβερ και επεξεργάζονται εκεί.



Καθυστέρηση κάθε εφαρμογής

Σχήμα 2

Εδώ παρατηρούμε(σχήμα 2) ότι η είναι λίγο παραπάνω αφού τα δεδομένα πάνε από τον σέρβερ προς το UE.

Συμπεράσματα

Το 5G το επόμενο βήμα στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας το οποία θα αύξηση την ταχύτητα,θα προσφέρει νέα σενάρια,υπηρεσίες και αρχιτεκτονικές. Η νέα διεπαφή ραδιοπρόσβασης NR είναι σημαντική για την εξέλιξη και την ανάπτυξη του 5G καθώς και οι νέες τεχνολογίες όπως SDN και NFV και αρχιτεκτονικές των RAN(κεντρικά RAN,εικονικά RAN,ανοιχτά RAN) βοηθάνε το 5G να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των μεγάλων ταχυτήτων,των χαμηλών καθυστερήσεων και να βοηθήσει τους διαχειριστές να έχουν μεγαλύτερο κέρδος και καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας για τους χρήστες. Στο πρακτικό κομμάτι είδαμε ένα 5G standalone δίκτυο και πως επηρεάζεται από τις αλλαγές σε κάθε σενάριο αλλάζοντας τόσο το μέγεθος πακέτου και μετάδοση ισχύς άλλα και όταν τρέχουν πολλές εφαρμογές σε 1 UE.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

<https://static1.squarespace.com/static/5ad774cce74940d7115044b0/t/5bc79b371905f4197055e8c6/1539808057078/O-RAN+WP+Final+181017.pdf>

<https://www.telit.com/blog/5g-networks-guide-to-small-cell-technology/>

<https://www.ufispace.com/company/blog/what-is-cran-the-evolution-from-dran-to-cran>

<https://www.rcrwireless.com/20210907/5g/standalone-5g-vs-non-standalone-5g>

<https://www.affirmednetworks.com/sa-and-nsa-5g-architectures-the-path-to-profitability/>

<https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-beamforming-beam-steering-and-beam-switching-with-massive-mimo>

<https://commsbrief.com/what-is-the-difference-between-node-b-enodeb-ng-enb-and-gnb/>

http://anisimoff.org/eng/5g/5g_uc_requirements.html

<https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-sdn/>

<https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/what-the-definition-of-software-defined-networking-sdn/>

<https://www.blueplanet.com/resources/what-is-network-slicing.html>

https://stlpartners.com/edge_computing/mobile-edge-computing/

<https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-architecture>

<https://www.blueplanet.com/resources/What-is-NFV-prx.html>

<https://www.3gpp.org/about-3gpp>

<https://www.verizon.com/about/our-company/5g/5g-radio-access-networks>

<https://www.sdxcentral.com/5g/ran/definitions/radio-access-network/>

https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_Terrestrial_Radio_Access_Network

<https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-16/ftp/cloudran/index.html>

<https://www.sdxcentral.com/5g/ran/definitions/vran/>

<https://www.sdxcentral.com/5g/ran/definitions/what-is-ran-edge/>

<https://www.viavisolutions.com/en-us/solutions/service-providers/wireless/o-ran>

<https://www.5gtechnologyworld.com/deploy-and-maintain-an-open-ran-network/>

https://www.avnet.com/wps/wcm/connect/onesite/d401fc07-86cd-4842-ab4e-66ae2bb436aa/Centralised-RAN-Structure-EN-Diagram.jpg?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE.Z18_NA5A1I41L0ICD0ABNDMDDG0000-d401fc07-86cd-4842-ab4e-66ae2bb436aa-ns1BVqD

<https://www.avnet.com/wps/wcm/connect/onesite/d401fc07-86cd-4842-ab4e-66ae2bb436aa-ns1BVqD>

<https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/markets/communications/5g-solutions/understanding-massive-mimo-technology/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/LTE-M>

<https://www.sierrawireless.com/iot-blog/what-is-5g-nr/>

https://www.riverpublishers.com/journal_read_html_article.php?j=JICTS/6/1/4

<https://www.rfwireless-world.com/5G/Difference-between-ng-eNB-and-gNB-in-5G-NG-RAN.html>

<https://arxiv.org/pdf/2109.12048.pdf>

<https://link.springer.com/>

<https://stlpartners.com/>

<https://www.slideserve.com/>

<https://techblog.comsoc.org/2020/09/16/telefonica-rakuten-mou-on-open-ran-5g-core-network-and-oss/>

<https://www.techplayon.com/5g-nr-numerology-subcarrier-spacing-scs/#:~:text=5G%20NR%20Numerology%20varies%20from,broadcast%20signals%20at%20millimeter%20wave>