

Αρχιτεκτονικές Δικτύου και Επιχειρηματικά Μοντέλα για συστήματα 5ης Γενιάς

Καθηγητής: Δρ. Μποζαντζής Βασίλειος

Φοιτήτρια : Γκούνη Μαρία [2010288]

Ημερομηνία : 21/11/2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
Ι Δ Ρ Υ Μ Α



ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάση επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Όνομα και Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

.....ΜΑΡΙΑ ΓΚΟΥΝΗ.....

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή):

.....

Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος):

.....

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Ευχαριστίες	5
1 Εισαγωγή	6
Αντικείμενο της εργασίας	7
Οργάνωση της εργασίας	7
2 Δίκτυα κινητών επικοινωνιών 5 ^{ης} γενιάς	7
Απαιτήσεις συστημάτων 5 ^{ης} γενιάς και δείκτες (KPIs)	9
Εμπειρία Τελικού Χρήστη	11
Απόδοση Συστήματος	11
Απαιτήσεις Συσκευών	12
Ενισχυμένες Υπηρεσίες	12
Νέα Επιχειρηματικά Μοντέλα	14
Ανάπτυξη, Λειτουργία και Διαχείριση Δικτύων	14
Αρχιτεκτονική των δικτύων 5 ^{ης} γενιάς	15
Τμηματοποίηση του Δικτύου	18
3 Βιβλιογραφική Επισκόπηση των προτεινόμενων αρχιτεκτονικών του C-RAN των δικτύων 5ης γενιάς	21
Αίτιες Εξέλιξης της Αρχιτεκτονικής RAN	22
Συντονισμός (Coordination)	22
Κεντριοποίηση (Centralization)	23
Εικονοποίηση (Virtualization)	24
Η εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής του RAN	27
Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική	27
Σταθμοί Βάσης με Απομακρυσμένες Κεφαλές Ραδιοσυχνοτήτων (RRH)	28
Κεντριοποιημένη Αρχιτεκτονική Σταθμών Βάσης - C-RAN	29
Αρχιτεκτονική του Cloud RAN στα δίκτυα 5 ^{ης} γενιάς	31
Πλεονεκτήματα του Cloud RAN	34
Cloud RAN, HetSNets και Massive MIMO	34
4 Βασικά επιχειρηματικά μοντέλα του δικτύου 5 ^{ης} γενιάς	35
Μοντέλο του Παρόχου ως συνεργάτη as a Service	38
Πάροχοι Συνδεσιμότητας (Connectivity Providers)	39

Μοντέλο Διαμοιρασμού Δικτύου (Network Sharing Model)	40
Anything as a Service (XaaS)	40
Radio-Access-Network-as-a-service (RANaaS)	41
Infrastructure-as-a-Service (IaaS)	42
Radio-Access-as-a-Service (RAaaS)	42
Radio-resources-as-a-Service (RaaS)	42
Data – Knowledge as a Service (DKaaS)	43
5 Συμπεράσματα	44
Βιβλιογραφία	46
Παράρτημα	50
Πίνακας Συντομογραφιών	50
Πίνακας Κύριων Απαιτήσεων ανά Περίπτωση Χρήσης	53
Κατηγοριοποίηση των Περιπτώσεων Χρήσης	55

Η επόμενη γενιά ασύρματων δικτύων και κινητών επικοινωνιών, η 5^η γενιά ασύρματων δικτύων όπως ονομάζεται παγκοσμίως (5G) στοχεύει στη παροχή υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων της τάξεως των Gbps, στην ύπαρξη υπερβολικά χαμηλής καθυστέρησης κατά την μετάδοση της πληροφορίας ή της σηματοδότησης, στην πολλαπλή αύξηση χωρητικότητας στους σταθμούς βάσης (κεραίες) και στην αντίστοιχη σημαντική βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS) που απολαμβάνει ο τελικός χρήστης, σε σύγκριση με τα υπάρχοντα 4G LTE ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Καθώς το πλήθος των έξυπνων συσκευών αυξάνεται διαρκώς, μαζί με αυτές αρχίζει να επεκτείνεται και η δημιουργία πολυμεσικών εφαρμογών αλλά και η αντίστοιχη ζήτηση/χρήση σε δεδομένα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα μεγάλο φορτίο στα υπάρχοντα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα. Τα ασύρματα δίκτυα 5^{ης} γενιάς, έχοντας βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, χωρητικότητα, ποιότητα υπηρεσιών και λιγότερη καθυστέρηση στην επικοινωνία αποτελούν τη λύση σε ακριβώς αυτό το αυξημένο φορτίο που δημιουργείται λόγω της ολοένα αυξανόμενης κίνησης στο δίκτυο (network traffic).

Τα ασύρματα δίκτυα 5^{ης} γενιάς περιέχουν αρκετές αρχιτεκτονικές αλλαγές συγκριτικά με τα δίκτυα προηγούμενων γενιών. Μεταξύ αυτών των αλλαγών βρίσκονται κάποιες οι οποίες σχετίζονται με τον σχεδιασμό του δικτύου ασύρματης πρόσβασης (RAN) και των ραδιοδιεπαφών (air interface), με τις έξυπνες κεραίες (smart antennas), με την ολοκλήρωση και ενοποίηση των ετερογενών ασύρματων δικτύων καθώς και την αξιοποίηση της τεχνολογίας της νεφοϋπολογιστικής (cloud) στον συγκεκριμένο τομέα του δικτύου (C-RAN). Το C-RAN διαδραματίζει μεγάλο ρόλο στην επίλυση του προβλήματος της αυξανόμενης ζήτησης υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων επειδή σχεδιάζεται με στόχο να βελτιώσει την αρχιτεκτονική του συστήματος, την απόδοση του συστήματος σε σχέση με την κινητικότητα των συσκευών, την αντίστοιχη κάλυψη καθώς και την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στο σύστημα. Οι τεχνολογικές προσπάθειες που γίνονται προς αυτήν τη κατεύθυνση περιλαμβάνουν την προσθήκη κελιών ή αλλιώς κυψελών ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με την τεχνική MIMO ή massive MIMO, η οποία περιλαμβάνει την εγκατάσταση μιας περίπλοκης δομής από ετερογενή δίκτυα και μικρο-κυψέλες (micro cells). Το C-RAN επιλύει, επίσης, το πρόβλημα του υψηλού κόστους σχετικά είτε με τις κεφαλαιακές (CAPEX) είτε με τις λειτουργικές δαπάνες (OPEX) κάποιου παρόχου, οι οποίες εμπόδιζαν μέχρι πρότινος την ανάμειξη των παραπάνω κυψελών-κελιών του ασύρματου δικτύου. Το C-RAN ως νέα αρχιτεκτονική, βασίζεται κυρίως στην τεχνολογία της εικονοποίησης (virtualization). Όσον αφορά το ποια εσωτερική αρχιτεκτονική θα έχει το ίδιο το C-RAN για την διαχείριση και λειτουργία του ως δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, είναι ένα θέμα το οποίο βρίσκεται σε εξέλιξη και προτείνονται ως υποψήφιος αρχιτεκτονικές του η κατανεμημένη (distributed), η κεντριοποιημένη (centralized) ή μία ανάμειξη και των δύο αρχιτεκτονικών.

Οι δυνατότητες που θα προκύψουν από την υλοποίηση των δικτύων 5^{ης} γενιάς εξελίσσουν όχι μόνο την παροχή των υπαρχόντων υπηρεσιών από τους παρόχους, τις οποίες γνωρίζουμε μέχρι σήμερα, αλλά δίνουν το έναυσμα για μια συνολικότερη και καθοδικότερη εξέλιξη των αντίστοιχων επιχειρηματικών μοντέλων των παροχών κινητών επικοινωνιών. Στις μέρες μας οι πιο γνωστές υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι η προσωπική επικοινωνία και οι υπηρεσίες δεδομένων όπως για παράδειγμα οι υπηρεσίες ιστού (web services). Αυτές οι υπηρεσίες θα βελτιωθούν ως προς την ποιότητα αλλά και ως προς το εύρος τους. Οι προσωπικές επικοινωνίες θα εμπεριέχουν υπηρεσίες πολυμέσων υψηλής ποιότητας μέσω της υποδομής IP και ένα σύνολο από πλούσιες υπηρεσίες επικοινωνίας. Οι υπηρεσίες δεδομένων από την άλλη, θα ενεργοποιηθούν από τις ολοκληρωμένες πολλαπλές τεχνολογίες πρόσβασης, θα είναι πανταχού παρούσες και θα τις χαρακτηρίζει ένα ικανοποιητικό ελάχιστο επίπεδο σταθερότητας όσον αφορά την αποδοτικότητα. Σίγουρα η κίνηση των δεδομένων θα κυριαρχείται από αυτά τα δεδομένα που αφορούν σε υπηρεσίες βίντεο και μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Οι νέες υπηρεσίες που θα εμφανιστούν θα συνδέονται με τις αντίστοιχες νέες αγορές, όπως αυτές των αυτοματοποιημένων βιομηχανιών, γενικά των αγορών του έξυπνου περιβάλλοντος (IoT), των υποδομών δημόσιας ασφάλειας και υπηρεσιών κρίσιμων επιχειρήσεων. Επομένως, θα αναπτυχθούν πολλές νέες υπηρεσίες και κατ' επέκταση επιχειρηματικά μοντέλα τα οποία θα εκμεταλλεύονται συνολικά ή μερικώς τις δυνατότητες των συστημάτων 5^{ης} γενιάς. Ως πιο σημαντικά επιχειρηματικά μοντέλα μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής : Knowledge as a Service (KaaS), Network as a Service (NaaS), RAN as a Service (RANaaS).

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και για την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω στο εργαστήριο Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Βασίλειο Μποζαντζή για την καθοδήγησή του και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την καθοδήγηση και την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα την «**Αρχιτεκτονική Δικτύου και Υποψήφιες Τεχνολογίες για Συστήματα Επικοινωνιών 5^{ης} Γενιάς**» (**Network Architecture and Key Networking Technologies for 5G systems**). Τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των έξυπνων κινητών και τερματικών συσκευών έχει αυξηθεί δραματικά. Σε συνδυασμό με την εκτεταμένη ανταλλαγή δεδομένων υψηλού εύρους ζώνης, όπως για παράδειγμα τα βίντεο και οι πολυμεσικές εφαρμογές, η αύξηση των συσκευών αυτών αναμένεται να οδηγήσει, εν συγκρίσει με το 2010, σε αύξηση της κίνησης δεδομένων από κινητούς κόμβους έως και 1000 φορές μέχρι το 2020, οπότε και αναμένεται δισεκατομμύρια συσκευών να είναι συνδεδεμένες με ευρυζωνικές συνδέσεις. Επομένως, όλες αυτές οι συσκευές θα βρίσκονται σε ένα πλήρως διασυνδεδεμένο δίκτυο, το «δίκτυο των πάντων» (IoE). Οι επικοινωνίες μηχανής με μηχανή (M2M) αυξάνουν σημαντικά τις απαιτήσεις για υψηλή απόδοση δικτύου, χαμηλή καθυστέρηση στις επικοινωνίες, καθώς και υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης των λειτουργιών και της διαχείρισης του. Αυτές οι απαιτήσεις οδηγούν στην ανάγκη για την ανάπτυξη καινοτόμων αρχιτεκτονικών δικτύου και τεχνολογιών δικτύωσης που ξεφεύγουν από τις υπάρχουσες τεχνολογίες που βασίζονται στις απαιτήσεις του δικτύου IMT-Advanced.

Πιο συγκεκριμένα στην εργασία γίνεται μία βιβλιογραφική επισκόπηση και συγκριτική ανάλυση της υπάρχουσας αρχιτεκτονικής δικτύων 5ης γενιάς σχετικά με το Cloud-RAN (CRAN), ενώ παράλληλα συνοψίζονται τα βασικά επιχειρηματικά μοντέλα που αναμένεται να κατευθύνουν την λειτουργία του δικτύου 5ης γενιάς, όπως για παράδειγμα οι υπηρεσίες Knowledge as a Service (KaaS) και Network as a Service (NaaS).

Οργάνωση της εργασίας

Η εργασία δομείται από έξι κεφάλαια: Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια συνοπτική αναφορά στις απαιτήσεις – δυνατότητες των δικτύων 5^{ης} γενιάς, ώστε να κατανοηθεί πλήρως το αντικείμενο που αυτή πραγματεύεται. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται εκτενής επισκόπηση των αρχιτεκτονικής που αφορά το Cloud Radio Access Network, το οποίο αποτελεί δομικό στοιχείο των συστημάτων 5^{ης} γενιάς. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται και αναλύονται συνοπτικά τα βασικά επιχειρηματικά μοντέλα που προκύπτουν λόγω των δυνατοτήτων των δικτύων 5^{ης} γενιάς. Στο κεφάλαιο 5 το οποίο είναι το τελευταίο γίνεται μια προσπάθεια να εξαχθούν μερικά συμπεράσματα που αφορούν στην εξέλιξη των ασύρματων δικτύων κινητών επικοινωνιών και τις συνολικότερες επιπτώσεις που αυτή η εξέλιξη είναι ικανή να επιφέρει σε διάφορους τομείς όπως η τεχνολογία, η κοινωνία και η οικονομία. Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται η αντίστοιχη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της, καθώς και αντίστοιχο παράρτημα με σκοπό την παροχή βοήθειας στον αναγνώστη.

2 Δίκτυα κινητών επικοινωνιών 5^{ης} γενιάς

Η 5^η γενιά των συστημάτων κινητών επικοινωνιών επεκτείνει τον τομέα των τηλεπικοινωνιών καθιστώντας εφικτό ένα κόσμο όπου όλα είναι διασυνδεδεμένα (IoT, M2M, D2D, Smartphones). Στο όραμα των δικτύων 5^{ης} γενιάς, η πρόσβαση στην πληροφορία και ο διαμοιρασμός δεδομένων θα είναι εφικτά από παντού, κάθε στιγμή, στον οποιονδήποτε έχει δικαίωμα πρόσβασης σε αυτές. Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς επεκτείνουν την μέχρι τώρα ανθρωποκεντρική επικοινωνία και συμπεριλαμβάνουν ταυτόχρονα και την μηχανοκεντρική επικοινωνία. Οι κινητές και ασύρματες επικοινωνίες θα γίνουν ολοένα και περισσότερο ο πρωταρχικός τρόπος πρόσβασης των ανθρώπων και των μηχανών στην πρόσβαση της πληροφορίας και των υπηρεσιών. Αυτή η πραγματικότητα θα οδηγήσει σε κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές, οι οποίες από τώρα δεν είναι ολοκληρωτικά προβλέψιμες. Σίγουρα όμως μπορεί κανείς να προβλέψει ότι θα βελτιωθούν παράγοντες όπως η παραγωγικότητα της εργασίας, η βιωσιμότητα, η διασκέδαση και συνολικά το μέσο επίπεδο ευημερίας.

Για να γίνει πραγματικότητα το συγκεκριμένο όραμα, θα πρέπει να βελτιωθεί ριζικά κάθε πλευρά της αρχιτεκτονικής των υπαρχόντων γενεών ασύρματων και κινητών δικτύων. Τα συστήματα 5G θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερη ευελιξία σε σύγκριση με τα παλαιότερα συστήματα, και να μπορούν να ενσωματώσουν τις επιμέρους αρχιτεκτονικές τους όχι μόνο όσον αφορά τις παραδοσιακές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης, αλλά και τον κορμό του δικτύου (core network), καθώς και τα επίπεδα εφαρμογής και μεταφοράς. Όλα αυτά μαζί απαιτούν έναν νέο τρόπο σκέψης, προτυποποίησης και υλοποίησης της ασύρματης πρόσβασης, της αρχιτεκτονικής του δικτύου και των εφαρμογών που θα υπάρχουν σε αυτό.

Οι νέες εφαρμογές και οι νέες διακριτές περιπτώσεις χρήσης (use cases) των δικτύων 5^{ης} γενιάς θα έχουν συγκεκριμένους στόχους και προκλήσεις για να επιτευχθούν. Για να πραγματοποιηθούν οι στόχοι και να ξεπεραστούν τα εμπόδια που υπάρχουν σήμερα έχουν οριστεί συγκεκριμένες απαιτήσεις, οι οποίες πρέπει να καλυφθούν. Για να αντιληφθεί κανείς τι εννοείται με την έννοια νέες απαιτήσεις και περιπτώσεις χρήσης μπορεί να φανταστεί το παράδειγμα των αυτόνομων οχημάτων.



Σύμφωνα με δημοσιεύματα προβλέπεται μαζική υιοθέτηση των αυτόνομων οχημάτων μέχρι το 2050. Αυτό συμβαίνει διότι η αυτοματοποίηση της οδήγησης θα έχει πολύ θετικές επιπτώσεις στην κοινωνία, βοηθώντας τους ανθρώπους και φέρνοντας

ένα πλήθος πλεονεκτημάτων όπως η βελτιωμένη ασφάλεια στην κίνηση των οχημάτων αποφεύγοντας ατυχήματα, η μείωση του άγχους των οδηγών και η δυνατότητα αυτών να συγκεντρώνονται σε άλλες πιο παραγωγικές δραστηριότητες κατά την διάρκεια της μεταφοράς τους.

Όσον αφορά όμως τις απαιτήσεις που δημιουργούνται σχετικά με την συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης, έχουμε την υπηρεσία του ελέγχου των αυτόνομων οχημάτων από το δίκτυο ως απαίτηση. Αυτό δεν προϋποθέτει μόνο την επικοινωνία μεταξύ του οχήματος και της υποδομής του δικτύου (vehicle-to-infrastructure) αλλά προϋποθέτει την επικοινωνία οχήματος με όχημα (vehicle-to-vehicle) και οχήματος με αισθητήρες (vehicle-to-sensors), οι οποίοι θα βρίσκονται στα οδικά δίκτυα πχ. έξυπνοι φωτεινοί σηματοδότες. Αυτού του είδους η επικοινωνία χρειάζεται να υπάρχουν συνδέσεις που παρέχουν πολύ χαμηλή καθυστέρηση στη μετάδοση της πληροφορίας και πολύ υψηλή αξιοπιστία σχετικά με την σηματοδότηση των οχημάτων, η οποία αποτελεί μια κρίσιμη λειτουργία ασφάλειας. Αν και η συγκεκριμένη σηματοδότηση, τυπικά δεν απαιτεί υψηλό εύρος ζώνης, θα χρειάζονται υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων εάν για παράδειγμα κάποια εφαρμογή απαιτεί την αποστολή βίντεο από κάποιο όχημα σε ένα άλλο, ή ώστε να ενεργοποιείται ταχύτατα ο έλεγχος της οδήγησης ενός συνόλου από οχήματα, τα οποία θα πρέπει να προσαρμόζονται μέσω της επικοινωνίας αυτής σε ένα περιβάλλον το οποίο συνεχώς μεταβάλλεται δυναμικά (πχ. κίνηση, έργα στο οδικό δίκτυο, πιθανό ατύχημα κ.ά.). Τέλος, στο συγκεκριμένο παράδειγμα απαιτούνται υπηρεσίες κινητικότητας υψηλού επιπέδου (mobility), ώστε να είναι εφικτή η υποστήριξη των οχημάτων υψηλής ταχύτητας και η πλήρης κάλυψη τους από το δίκτυο. Το σύνολο των απαιτήσεων διαμορφώνεται από τις επιμέρους απαιτήσεις όλων των υπηρεσιών και περιπτώσεις χρήσεις, οι κυριότερες από αυτές φαίνονται στον αντίστοιχο πίνακα του παραρτήματος.

Απαιτήσεις συστημάτων 5^{ης} γενιάς και δείκτες (KPIs)

Παρακάτω παρατίθενται το σύνολο των απαιτήσεων για όλες τις νέες περιπτώσεις χρήσεις των δικτύων 5^{ης} γενιάς όπως αυτές περιγράφονται στις πιο πρόσφατες ερευνητικές εργασίες και εκφράζονται μέσω των κρίσιμων δεικτών απόδοσης των δικτύων αυτών (KPIs):

- Διαθεσιμότητα (Availability): Η διαθεσιμότητα είναι ορισμένη ως το ποσοστό των χρηστών ή των συνδέσεων επικοινωνίας, για τις οποίες οι απαιτήσεις σχετίζονται με την ποιότητα της εμπειρίας (QoE)
- Πυκνότητα Συνδέσεων (Connection density): Η πυκνότητα των συνδέσεων ορίζεται ως ο αριθμός των ταυτόχρονων ενεργών συσκευών ή χρηστών στην αντίστοιχη περιοχή σε ένα χρονικό πλαίσιο διαχωρισμένο βάσει του μεγέθους της περιοχής αυτής.
- Κόστος (Cost): Το κόστος τυπικά προκύπτει από την υποδομή του δικτύου, από τον εξοπλισμό του τελικού χρήστη και τα κόστη που είναι σχετικά με την αδειοδότηση εκπομπής σε συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων. Ένα απλό μοντέλο κοστολόγησης για τον πάροχο, λοιπόν, θα μπορούσε να βασιστεί στην υπόθεση ότι τα συνολικά κόστη ιδιοκτησίας (TCO) είναι αναλογικά με τον αριθμό των δικτυακών κόμβων, τον αριθμό των τελικών χρηστών και το αντίστοιχο φάσμα που έχει λάβει άδεια ώστε να εκπέμπει.

- Κατανάλωση Ενέργειας (Energy consumption): Η κατανάλωση ενέργειας είναι τυπικά ορισμένη ως ενέργεια ανά δυαδικό ψηφίο πληροφορίας (energy per information bit) στις αστικές περιοχές ενός εθνικού δικτύου, ενώ είναι ορισμένη ως ισχύς ανά μονάδα περιοχής (power per area unit) στα προάστια και τις υπαίθριες περιοχές.
- Ικανότητα εξυπηρέτησης του χρήστη (Experienced user throughput): Η ικανότητα εξυπηρέτησης του χρήστη είναι ορισμένη από το συνολικό μέγεθος της κίνησης των δεδομένων (εξαιρουμένης της σηματοδοσίας ελέγχου), την οποία πετυχαίνει η συσκευή τελικού χρήστη στο επίπεδο δικτύου 2 (MAC Layer) μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό πλαίσιο.
- Καθυστέρηση (Latency): Η καθυστέρηση αυτή αναφέρεται σε αυτήν που συμβαίνει στην κίνηση των δεδομένων στο επίπεδο 2 του δικτύου, δηλαδή στην ασύρματη διεπαφή (radio interface). Είναι γνωστοί δύο σχετικοί ορισμοί για την καθυστέρηση: η καθυστέρηση One-Trip Time (OTT) και η καθυστέρηση Round-Trip Time (RTT). Η OTT καθυστέρηση είναι ορισμένη ως η διαφορά μεταξύ του χρόνου που έχει σταλεί ένα πακέτο δεδομένων από το άκρο μετάδοσης και του χρόνου που το συγκεκριμένο πακέτο δεδομένων έχει ληφθεί από το άκρο λήψης. Η RTT καθυστέρηση είναι ορισμένη ως η διαφορά μεταξύ του χρόνου αποστολής ενός πακέτου δεδομένων από το άκρο μετάδοσης και του χρόνου που το ίδιο άκρο λαμβάνει ένα μήνυμα επιβεβαίωσης (ACK) από το αντίστοιχο άκρο λήψης.
- Αξιοπιστία (Reliability): Η αξιοπιστία είναι γενικά ορισμένη ως η πιθανότητα που έχει ένα ορισμένο μέγεθος δεδομένων να έχει μεταδοθεί επιτυχώς από ένα άκρο μετάδοσης σε ένα άκρο λήψης, πριν λήξει ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.
- Ασφάλεια (Security): Η ασφάλεια μια συγκεκριμένης επικοινωνίας που λαμβάνει χώρα σε ένα δίκτυο είναι δύσκολο να μετρηθεί. Ένας πιθανός τρόπος ποσοτικοποίησης θα ήταν να μετρηθεί ο χρόνος που θα χρειαστεί από κάποιον ικανότατο hacker ή ερευνητή ασφαλείας να αποκτήσει πρόσβαση στην πληροφορία που υπάρχει και μεταδίδεται μέσω του δικτύου.
- Όγκος πυκνότητας κίνησης (Traffic volume density): Ο όγκος της πυκνότητας της κίνησης ορίζεται από το συνολικό μέγεθος της κίνησης δεδομένων που ανταλλάσσεται από όλες τις συσκευές σε μία προκαθορισμένη περιοχή κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου διαχωρισμένο από το μέγεθος της περιοχής.

Οι παραπάνω κρίσιμοι δείκτες απόδοσης του συστήματος υπάρχουν για να διασφαλίζουν ότι ο κάθε πάροχος ικανοποιεί τις προϋποθέσεις λειτουργίας ενός συστήματος 5^{ης} γενιάς.

Συνοψίζοντας, η αποτελεσματική και αποδοτική επικοινωνία των συσκευών που θα διασυνδέονται και θα συνυπάρχουν σε ένα ενιαίο δίκτυο γίνεται εφικτή εξ' αιτίας κάποιων νέων ή βελτιωμένων συνθηκών και προϋποθέσεων για τη δημιουργία των δικτύων κινητών επικοινωνιών 5^{ης} γενιάς. Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς αντιπροσωπεύουν την επόμενη σημαντική φάση εξέλιξης, στην οποία εισάγονται τα πρότυπα κινητών τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Οι απαιτήσεις για αυτά τα δίκτυα, όπως καθορίζονται από τον οργανισμό NGMN Alliance επιγραμματικά είναι οι εξής:

- Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων δεκάδων megabits ανά δευτερόλεπτο για δεκάδες χιλιάδες τελικούς χρήστες
- Πολλές εκατοντάδες χιλιάδες ταυτόχρονες συνδέσεις που αφορούν σε συσκευές, μηχανήματα, έξυπνα κινητά και ασύρματους αισθητήρες
- Ενισχυμένη αποδοτικότητα φάσματος συχνοτήτων σε σύγκριση με το LTE – δίκτυα 4^{ης} γενιάς
- Βελτιωμένη κάλυψη και αποδοτικότητα σηματοδότησης
- Βελτιωμένα μεγέθη καθυστέρησης συγκριτικά με το LTE από άκρο σε άκρο στο δίκτυο (E2E)

Αναλυτικότερα, οι απαιτήσεις αυτές διαχωρίζονται βάσει κάποιων πλευρών με κριτήριο το σε ποιο συστατικό μέρος του δικτύου αυτές αναφέρονται: **Εμπειρία τελικού χρήστη** (User Experience), **Απόδοση Συστήματος** (System Performance), **Απαιτήσεις συσκευών** (Device Requirements), **Ενισχυμένες Υπηρεσίες** (Enhanced Services), **Επιχειρηματικά Μοντέλα** (Business Models) και **Ανάπτυξη, Λειτουργία και Διαχείριση Δικτύων** (Network Deployment, Operation and Management).

Εμπειρία Τελικού Χρήστη

Ως εμπειρία τελικού χρήστη αναφέρεται η αντίστοιχη εμπειρία κατά την παροχή ή κατανάλωση μίας ή περισσότερων υπηρεσιών. Η εμπειρία αυτή θα διαχειρίζεται μέσα ένα περιβάλλον μεγάλης ετερογένειας και υπό διάφορα σενάρια χρήση.

Η εμπειρία τελικού χρήστη, πρέπει να έχει σταθερά χαρακτηριστικά στον χρόνο αλλά και στον τόπο ως προς την δεδομένη υπηρεσία, η οποία λαμβάνεται από αυτόν. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων θα προσεγγίζει μέχρι και το 1 Gb/s σε συγκεκριμένα μέρη και περιβάλλοντα, ενώ η ταχύτητα των τουλάχιστον 50 Mb/s θα πρέπει να είναι διαθέσιμη παντού και με εφικτό κόστος. Γενικά η καθυστέρηση του συστήματος 5G θα πρέπει να είναι παρά μόνο 10 ms από άκρο σε άκρο και μόνον 1 ms E2E σε περιπτώσεις που απαιτούν πολύ χαμηλή καθυστέρηση (πχ. υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης). Όσον αφορά την κινητικότητα, δηλαδή την ικανότητα του δικτύου να παρέχει αδιάκοπη υπηρεσία ενώ ο τελικός χρήστης κινείται συνεχώς, πρέπει να είναι φοβερά προσαρμοστική. Με άλλα λόγια θα πρέπει να υποστηρίζεται όλο το εύρος ταχυτήτων από πολύ υψηλές όπως πχ. μετακίνηση με τρένα/αεροπλάνα μέχρι πολύ χαμηλές όπως πχ. σχεδόν στατικές συσκευές και διασυνδεδεμένοι αισθητήρες.

Απόδοση Συστήματος

Η απόδοση συστήματος ορίζει τις απαιτήσεις που υπάρχουν από το σύστημα ώστε να ικανοποιούνται οι ποικίλες ανάγκες χρηστών και οι ποικίλες περιπτώσεις χρήσεις (use case scenarios). Η πυκνότητα των συνδέσεων που πρέπει να υποστηρίζεται αποτυπώνεται σε πολλές εκατοντάδες ταυτόχρονες ενεργές συνδέσεις ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο για διάφορες συσκευές, όπως για παράδειγμα μαζικά δίκτυα αισθητήρων. Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά είναι το φάσμα εκπομπής. Η αποδοτική αυτή αξιοποίηση του φάσματος πρέπει να εφαρμοστεί παντού, σε μικρές και μεγάλες περιοχές, σε χαμηλές και υψηλές συχνότητες, καθώς και σε σενάρια είτε χαμηλής είτε υψηλής κινητικότητας. Οι ρυθμοί

μετάδοσης της πληροφορίας πρέπει να είναι πολλών δεκάδων Mb/s ώστε να υποστηρίζονται δεκάδες χιλιάδες χρηστών σε περιοχές με πολύ πληθυσμό, όπως για παράδειγμα τα στάδια ή τα υπαίθρια φεστιβάλ. Απαιτείται να προσφέρεται 1 Gb/s ταυτοχρόνως σε δεκάδες χρήστες σε ένα γραφείο του ίδιου ορόφου, υποστηρίζοντας όμως και δίκτυα διατεταγμένων αισθητήρων. Η αποδοτικότητα του φάσματος, η κάλυψη, η αποδοτικότητα της σηματοδότησης θα πρέπει να ενισχυθεί, ώστε ο αντίστοιχος σταθμός εκπομπής και η κατανάλωση ενέργειας να ελαχιστοποιείται και να προσαρμόζεται στις ανάγκες των αντίστοιχων εφαρμογών, για τις οποίες χρησιμοποιείται.

Απαιτήσεις Συσκευών

Όσον αφορά τις απαιτήσεις των συσκευών στην εποχή του 5G αυτές αλλάζουν και πιο συγκεκριμένα η απαίτηση για εύρος συχνότητας θα μεγαλώσει, θα αυξηθεί η πολυπλοκότητα σε υλικό και λογισμικό, και ειδικότερα τα λειτουργικά συστήματα θα συνεχίσουν να εξελίσσονται και να προσαρμόζονται στις ανάγκες αυτές. Οι συσκευές αυτές ίσως σε μερικές να περιπτώσεις λειτουργήσουν ως διακόπτες ελέγχου άλλων συσκευών, ή να υποστηρίζουν λειτουργίες ελέγχου συσκευής με συσκευή μέσω του δικτύου. Οι δυνατότητες ελέγχου από την πλευρά του παρόχου πάνω στις συσκευές 5G θα περιλαμβάνουν δυνατότητες προγραμματισμού και παραμετροποίησης σε μεγάλο βαθμό από το δίκτυο. Για παράδειγμα, σε όρους δυνατοτήτων τερματικού σταθμού, θα χρησιμοποιείται τεχνολογία πρόσβασης, πρωτόκολλα μεταφοράς και συγκεκριμένες λειτουργίες χαμηλού επιπέδου (π.χ. σχήματα ελέγχου σφαλμάτων). Η υποστήριξη πολλών συχνοτήτων και λειτουργιών (Multi-Band-Multi-Mode - TDD/FDD/mixed) στις συσκευές είναι απαραίτητη για να υποστηρίζεται η δυνατότητα περιαγωγής (Roaming). Η αποδοτικότητα της μπαταρίας των συσκευών απαιτείται να αυξηθεί σημαντικά: τουλάχιστον 3 μέρες για ένα έξυπνο τηλέφωνο (smartphone) και μέχρι 15 χρόνια για κάποια συσκευή επικοινωνίας χαμηλού κόστους (MTC). Η αποδοτικότητα των πόρων της συσκευής και η αποδοτικότητα σχετικά με τη σηματοδότηση είναι πολύ κρίσιμα καθώς έχουν μεγάλη επίπτωση στην διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας.

Ενισχυμένες Υπηρεσίες

Όσον αφορά τις υπηρεσίες στο περιβάλλον των δικτύων 5^{ης} γενιάς, αυτές θα δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας ακριβώς αυτό το πλούσιο σύνολο δυνατοτήτων του δικτύου και της αξίας που απορρέει από αυτές τις δυνατότητες. Καταρχάς οι ενισχυμένες υπηρεσίες χαρακτηρίζονται από υψηλό επίπεδο ασφάλειας, εμπειρίας χρήστη και χρηστικών λειτουργιών (features). Η διαφάνεια της συνδεσιμότητας είναι μία βασική απαίτηση ώστε να διανέμεται σταθερά η εμπειρία χρήστη σε ένα υψηλού βαθμού ετερογενές περιβάλλον. Το 5G ίσως να εξελίξει έναν συνδυασμό των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης (RATs). Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι οι τεχνολογίες των 3GPP LTE / LTE-Advanced είναι πιθανόν να εξελιχθούν περαιτέρω στην εποχή του 5G (5G era), οι τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης και του 5G αλλά και του LTE ίσως να είναι προσβάσιμες και από τερματικά τεχνολογίας 5G. Οι πληροφορίες συμφραζομένων (contextual information) είναι σημαντικές για παροχή άμεσων και εξατομικευμένων υπηρεσιών. Η τοποθεσία επίσης είναι ένα από τα πιο σημαντικά

χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτών των πληροφοριών. Στο 5G, η τοποθεσία απαιτείται να υποστηρίζεται βασισμένη σε τρεις διαστάσεις μέσα στο χώρο, με ακρίβεια από 10 μέτρα μέχρι μικρότερης του 1 μέτρου στο 80% των περιπτώσεων, καθώς ακριβέστερη του 1 μέτρου για εσωτερικού χώρου εφαρμογές. Για να παρέχεται η παρακολούθηση συσκευών που κινούνται με υψηλή ταχύτητα απαιτεί αυτή την ακρίβεια τοποθεσίας σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, ένας χρήστης που κινείται μέσα σε ένα τρένο θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιεί αμέσως την υπηρεσία τοποθεσίας μέσω μιας οποιασδήποτε εφαρμογής από το smartphone του.

Η ασφάλεια είναι μία από τις βασικές δυνατότητες που προσφέρουν οι πάροχοι στους πελάτες τους. Το 5G θα υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος από εφαρμογές και περιβάλλοντα, από εφαρμογές βασισμένες σε ανθρώπους μέχρι βασισμένες σε μηχανές επικοινωνίας, και έτσι θα είναι δυνατόν να υπάρχει ένας τεράστιος όγκος ευαίσθητων δεδομένων, τα οποία θα προστατεύονται από την μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε αυτά, τη χρήση, τη διακοπή της ροής τους, τη μετατροπή, τον έλεγχο, την επίθεση, κλπ. Παρόμοια με το 4G δίκτυο, η αυθεντικοποίηση στο 5G θα αποτελεί μια εύρωστη πλατφόρμα στην οποία οι πάροχοι θα μπορούν να αναπτύξουν υπηρεσίες τύπου Single-Sign-On (SSO). Η ιδιωτικότητα του χρήστη στο σύστημα 5G θα παρέχεται από μηχανισμούς ασφαλείας οι οποίοι θα προστατεύουν μια ποικίλα εμπιστευτικών πληροφοριών των ανθρώπων αλλά και των χρηστών - μηχανών (πχ. ταυτότητα χρήστη, υπηρεσίες στις οποίες είναι ο χρήστης συνδρομητής, πληροφορίες τοποθεσίας/παρουσίας, υποδείγματα κίνηση χρηστών, συμπεριφορά δικτυακής χρήσης, συχνότητες χρήσης εφαρμογών κλπ.). Πέρα από την παροχή ασφαλείας από σημείο σε σημείο (hop-by-hop), αξίζει η παροχή υπηρεσίας ασφαλείας και στο ασύρματο επίπεδο κυκλοφορίας της πληροφορίας (Radio Bearer). Η δικτυακή ασφάλεια των πρωτοκόλλων IP θα μπορούσε να παραβιαστεί ως προς τη μετάδοση των δεδομένων (user plane) και της σηματοδότησης (control plane) σε όλες τις λειτουργίες του δικτύου, εξ' αιτίας της μεγάλης διάδοσης των χαμηλού κόστους δικτυακών συσκευών ή των ανοιχτού λογισμικού έξυπνων τηλεφώνων, στα οποία τα κακόβουλα λογισμικά κινητών συσκευών μπορούν να διαδοθούν εύκολα. Ο κορμός του δικτύου 5G του και τα ασύρματα δίκτυα θα μπορούσαν έτσι να γίνουν πιο ευάλωτα σε επιθέσεις. Οι απαιτήσεις βελτίωσης της ασφαλείας στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς είναι αρκετές σχετικά με το LTE/ LTE-Advanced (4G), μια τέτοια είναι η βελτίωση των συστημάτων αυτών απέναντι στις επιθέσεις τύπου smart jamming των σημάτων και των καναλιών ραδιοσυχνοτήτων. Η αντοχή και η υψηλή διαθεσιμότητα αντοχής είναι ουσιαστική ώστε να είναι διαθέσιμες οι ελάχιστες υπηρεσίες, όσον αφορά κρίσιμες υποδομές ή παρόχους υπηρεσιών σε περιπτώσεις καταστροφής. Ακόμη, τα 5G δίκτυα θα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ως τα πρωταρχικά μέσα για επείγουσες επικοινωνίες και επιχειρησιακές λειτουργίες σχετικές με την δημόσια ασφάλεια σε καθημερινή βάση. Η αντοχή θα μπορούσε για παράδειγμα να αναφέρεται στη δυνατότητα του δικτύου να ανακάμπτει κατόπιν κάποιων αποτυχιών σε κάποιο σύστημα ή υποσύστημα του. Αυτή η λειτουργία θα ήταν μια πολύ σημαντική λειτουργία ώστε να διατηρούνται οι ρυθμοί υψηλής διαθεσιμότητας. Ειδικότερα, η απομακρυσμένη (αυτό-)ανάκαμψη του εξοπλισμού θα πρέπει να είναι εφικτή. Η

αξιοπιστία της επικοινωνίας χαρακτηρίζεται από τον αντίστοιχο βαθμό αξιοπιστίας, ο οποίος μετράται ως εξής: η ποσότητα των επιτυχώς απεσταλμένων πακέτων που έχουν παραδοθεί στον προορισμό εντός του προβλεπόμενου χρονικού διαστήματος, όπως αυτός ορίζεται από τις απαιτήσεις της αντίστοιχης υπηρεσίας, διαιρεμένος με τον αριθμό του συνόλου των απεσταλμένων πακέτων. Ο βαθμός αξιοπιστίας αξιολογείται μόνον όταν το δίκτυο είναι διαθέσιμο.

Νέα Επιχειρηματικά Μοντέλα

Μια ουσιώδης απαίτηση την οποία καλούνται τα δίκτυα 5ης γενιάς να ικανοποιήσουν είναι αυτή της ύπαρξης μιας τεχνολογικής πλατφόρμας η οποία να επιτρέπει την εξέλιξη των υπαρχόντων επιχειρησιακών μοντέλων στην λιανική και χονδρική προσφορά υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, καλείται να δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την ύπαρξη και νέων επιχειρησιακών μοντέλων. Για τους παρόχους, η δυνατότητα να εξελίξουν και να ενεργοποιήσουν νέα επιχειρηματικά μοντέλα θα πρέπει να υποστηριχθεί με έναν αποδοτικό τρόπο, χωρίς να έχει επιπτώσεις στην αρχιτεκτονική των δικτύων τους. Χρησιμοποιώντας το 5G δίκτυο, οι πάροχοι – μεταπωλητές θα είναι ικανοί να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα και βασισμένοι σε αμοιβαίες συμφωνίες παροχής υπηρεσιών, όπου το δίκτυο θα προσφέρει χρήση δεδομένων για συμφωνηθέντες δικτυακές εφαρμογές, δυνατότητες που έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Το 5G απαιτείται να σχεδιαστεί από την αρχή ώστε ο πάροχος του δικτύου να είναι ικανός να δημιουργήσει μια μεγάλη ποικιλία από σχέσεις μεταξύ της υποδομής του δικτύου (network infrastructure) και τους πελάτες/παρόχους-μεταπωλητές υπηρεσιών, αντίστοιχα.

Ανάπτυξη, Λειτουργία και Διαχείριση Δικτύων

Οι απαιτήσεις ανάπτυξης, λειτουργίας και διαχείρισης του δικτύου είναι σημαντικές για να διασφαλιστεί η προσαρμοστικότητα και η αποδοτικότητα του δικτύου. Η αποδοτικότητα σε επίπεδο κόστους είναι αντίστοιχα σημαντική. Η οικονομική βιωσιμότητα της παροχής υπηρεσιών 5G είναι ουσιαστική για τους διαχειριστές των δικτύων. Το 5G χρειάζεται να σχεδιαστεί με στόχο να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας της δικτυακής υποδομής (TCO), καθώς και το κόστος λειτουργίας και διαχείρισης, για κάθε δοσμένη προσφορά υπηρεσίας. Επιπρόσθετα, το κόστος των συσκευών χρειάζεται αντίστοιχα να ελαχιστοποιηθεί ώστε να καταστεί δυνατή η πρόσβαση των πελατών/χρηστών των υπηρεσιών αυτών. Η ενεργειακή απόδοση των δικτύων είναι παράγοντας – κλειδί ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος ιδιοκτησίας της δικτυακής υποδομής, παράλληλα με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον από τα δίκτυα συνολικά. Συνεπώς, είναι κεντρική αρχή του 5G, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η μέτρηση της ορίζεται από τον αριθμό των bits που μεταδίδονται ανά μονάδα Joule (μονάδα μέτρησης της ενέργειας). Έτσι η ενέργεια υπολογίζεται σε ολόκληρο το δίκτυο, περιλαμβάνοντας κληροδοτημένες κυψελωτές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης και του βασικού κορμού του δικτύου, καθώς και κέντρων δεδομένων (data centers). Κάθε καινοτομία και αναβάθμιση του 5G θα πρέπει να παρέχεται αποδοτικά, ευέλικτα και γρήγορα με την ικανότητα να εισάγονται νέες υπηρεσίες και μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Το 5G σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει ευκολία ανάπτυξης, αυτό σημαίνει

ότι το σύστημα χρειάζεται να επαναχρησιμοποιεί και να αναβαθμίζει τις υπάρχουσες υποδομές δικτύου. Η ευελιξία και η δυνατότητα διεύρυνσης είναι από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των 5G δικτύων, τα οποία θα υποστηρίζουν μια τεράστια ποικιλία απαιτήσεων σε ιδιότητες και χαρακτηριστικά σύνδεσης, κατευθυνόμενα από την συνύπαρξη πολλών διαφορετικών περιπτώσεων χρήσης. Η δυνατή ευκινησία όσον αφορά το φάσμα πρέπει να είναι δυνατή, ώστε να χρησιμοποιείται δυναμικά το φάσμα από διάφορες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (RAN), βάσει των ρυθμιστικών απαιτήσεων. Η σύγκλιση των σταθερών και κινητών επικοινωνιών απαιτείται να υποστηρίζεται από το σύστημα 5G, ώστε να:

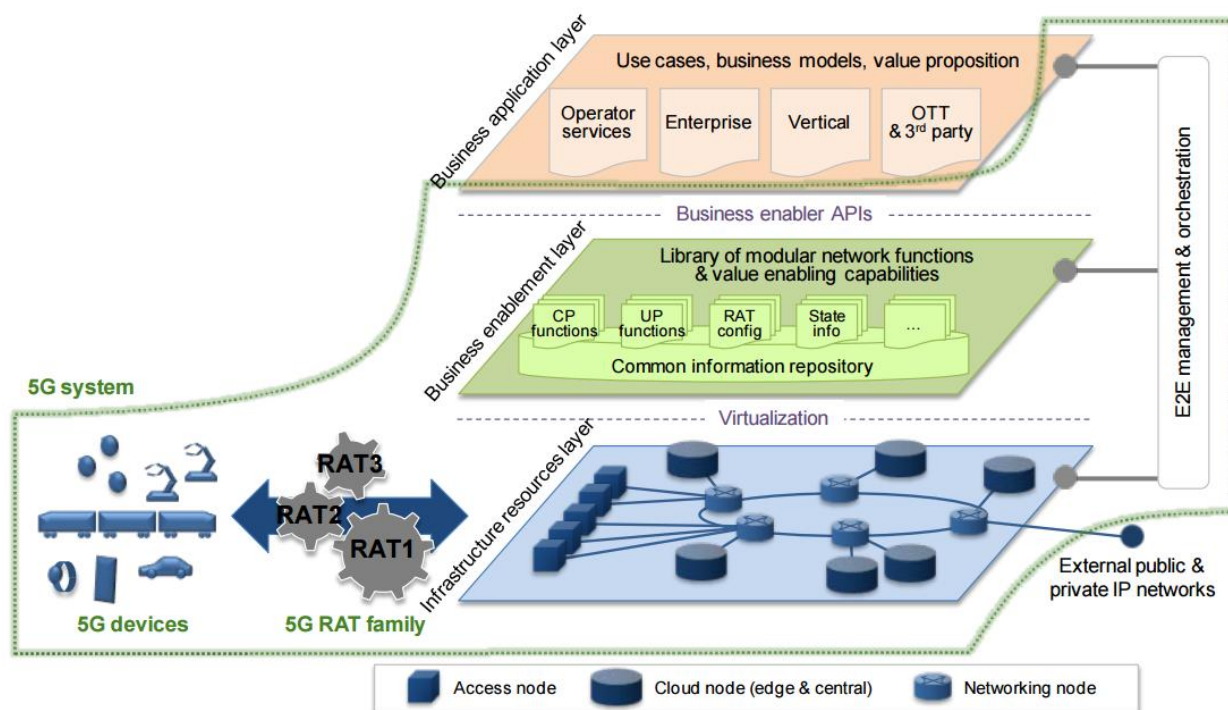
- Βεβαιώνεται η αδιάκοπη εμπειρία του χρήστη διαμέσου των σταθερών και κινητών τομέων (πχ. Ενοποιημένη αυθεντικοποίηση χρήστη)
- Επιτρέπει στον διαχειριστή την επεξεργασία ενός πελάτη/χρήστη ανεξάρτητα από τον τύπο πρόσβασης αυθεντικοποίησης και χρέωσης, διαμέσου μιας ενοποιημένης βάσης δεδομένων πελατών και συστήματος πληροφοριών ανάμεσα στους τομείς σταθερής και κινητής επικοινωνίας. Η επίγνωση των λειτουργιών σημαίνει ότι το 5G σύστημα απαιτείται να έχει πρόσβαση, να παρακολουθεί και να επεξεργάζεται πολλά τμήματα πληροφορίας ώστε να βελτιστοποιείται η λειτουργία του σε συγκεκριμένες περιπτώσεις
- Οι στιγμιαίες δικτυακές συνθήκες πρέπει να προσαρμόζονται ώστε να υπάρχουν βέλτιστες συνδέσεις και δρομολόγηση της κίνησης κατά έναν δυναμικό τρόπο.

Ως προς τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών/εφαρμογών για την κίνηση των δεδομένων, ο έλεγχος/πολιτική του διαχειριστή πρέπει να μπορεί να ενισχύεται χρονικά ώστε να βελτιστοποιούνται οι ροές δεδομένων (traffic flows). Επιπρόσθετα, ο διαχειριστής του 5G συστήματος θα πρέπει να συλλέγει ασφαλώς την πληροφορία για να ενισχύεται η εμπειρία του χρήστη και της υπηρεσίας (πχ. ταχύτητα, ακρίβεια τοποθεσίας) διαμέσου της ανάλυσης των δεδομένων (data analytics). Η διαχειριστική αποδοτικότητα είναι ένα συστατικό – κλειδί ώστε να μειωθεί το κόστος και η κατανάλωση ενέργειας στο δίκτυο. Το 5G σύστημα αναμένεται να εισάγει νέες προκλήσεις στις λειτουργικές διαδικασίες. Γενικά αναμένεται να υπάρξει η δυνατότητα κάποιες κατηγορίες δικτύων 5G να είναι υπερβολικά χαμηλού κόστους για περιοχές, οι οποίες αφορούν πολύ χαμηλό μέσο όρο εσόδων ανά χρήστη (ARPU). Γενικά για κάθε αγορά η μείωση του κόστους είναι ακόμη πιο σημαντική από τον μέσο όρο εσόδων ανά χρήστη. Για παράδειγμα περιοχές της υπαίθρου με πολύ μικρή πυκνότητα πληθυσμού, και ύπαιθρος/προάστια δεν είναι ακόμα συνδεδεμένες με το διαδίκτυο λόγω αυτών των οικονομικών περιορισμών. Επομένως, θα δοθεί πιθανότατα η δυνατότητα για τέτοιες περιοχές να αποκτήσουν πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Αρχιτεκτονική των δικτύων 5^{ης} γενιάς

Βασισμένος στις αρχές σχεδιασμού, ο οργανισμός NGMN οραματίζεται μια συνολική αρχιτεκτονική των δικτύων 5^{ης} γενιάς, η οποία θα ωφελείται από τον δομικό διαχωρισμό του υλικού από το λογισμικό, όπως επίσης και από την

προγραμματισιμότητα που προσφέρεται από τις τεχνολογίες των SDN και NFV. Ως τέτοια, η αρχιτεκτονική του 5G είναι εκ της φύσης της αρχιτεκτονική SDN/NFV καλύπτοντας πλευρές αφορούν τις συσκευές, κινητή και σταθερή υποδομή, δικτυακές λειτουργίες, νέες αξίες που ενεργοποιούνται από τις νέες δυνατότητες του δικτύου καθώς και όλες τις διαχειριστικές λειτουργίες που χρειάζονται για τον έλεγχο (orchestration) του δικτύου. Όσον αφορά τη προγραμματισιμότητα του δικτύου, οι διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (APIs) που θα παρέχονται σε συγκεκριμένα σημεία αναφοράς θα υποστηρίζουν πολλαπλές περιπτώσεις χρήσεις, θα δημιουργούν αξία και επιχειρηματικά μοντέλα. Η αρχιτεκτονική αυτή βρίσκεται στην εικόνα παρακάτω:



Αρχιτεκτονική 5G

Η αρχιτεκτονική αυτή αποτελείται από τρία επίπεδα: το επίπεδο υποδομής και δικτυακών πόρων (infrastructure resources layer), το επίπεδο ενεργοποίησης των επιχειρηματικών εφαρμογών (business enablement layer) και το επίπεδο ύπαρξης των επιχειρηματικών εφαρμογών (business application layer). Ένα τέταρτο επίπεδο από άκρο σε άκρο το οποίο είναι υπεύθυνο για την διαχείριση και έλεγχο των οντοτήτων του δικτύου.

Το επίπεδο της υποδομής και δικτυακών πόρων αποτελείται από τους ενοποιημένους φυσικούς πόρους του δικτύου σταθερής και κινητής, αποτελούμενο από τους κόμβους πρόσβασης, από τους κόμβους της νεφοϋπολογιστικής (των οποίων οι πόροι είναι ικανοί για χρήση επεξεργασίας ή αποθήκευσης δεδομένων), τις τελικές συσκευές 5^{ης} γενιάς, με οποιαδήποτε μορφή λαμβάνουν αυτές, δηλαδή smartphones, wearables όπως smartwatches, συσκευές του δικτύου που βρίσκονται στον χώρο του πελάτη – χρήστη και συνδέονται με το δίκτυο όπως τα σημεία πρόσβασης για βελτίωση της εσωτερικής κάλυψης (CPEs), δομικά στοιχεία μηχανών κ.ά), τους υπόλοιπους

δικτυακούς κόμβους και τις σχετικές με αυτούς συνδέσεις. Οι συσκευές 5G ίσως να έχουν πολλαπλές δυνατότητες παραμετροποίησης και ίσως λειτουργούν ως διακόπτες/κόμβοι ή ως πόροι υπολογισμού/ αποθήκευσης ανάλογα με τις ανάγκες χρήσης τους. Με αυτό τον τρόπο, οι συσκευές 5G θεωρούνται κομμάτι της παραμετροποιήσιμης υποδομής των πόρων του δικτύου και όχι μόνο τελικές συσκευές. Οι πόροι αυτοί είναι εκτεθειμένοι προς χρήση από τα υψηλότερα επίπεδα του δικτύου και από τις αντίστοιχες οντότητες διαχείρισης και ελέγχου του δικτύου από άκρο σε άκρο διαμέσου των αντίστοιχων διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογής (APIs). Η παρακολούθηση της απόδοσης και της κατάστασης του δικτύου, καθώς και η παραμετροποίηση του είναι εσωτερικό δομικό στοιχείο αυτών των διεπαφών προγραμματισμού.

Το επίπεδο ενεργοποίησης των επιχειρηματικών εφαρμογών αποτελεί μία βιβλιοθήκη, η οποία περιέχει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται από ένα ενοποιημένο δίκτυο. Η μορφή με την οποία υπάρχουν αυτές οι λειτουργίες στο επίπεδο αυτό είναι η δομική αρχιτεκτονική (modular architecture) αποτελούμενη από αντίστοιχα δομικά στοιχεία (building blocks), συμπεριλαμβανομένου των λειτουργιών που πραγματοποιούνται από λογισμικά που υπάρχουν ως δομικά στοιχεία και τα οποία ανακτώνται από τον αποθηκευτικό χώρο και εγκαθίστανται στην αντίστοιχη τοποθεσία του δικτύου. Έπειτα πραγματοποιείται η παραμετροποίηση τους για να ενσωματωθούν στο δίκτυο όπως για παράδειγμα η σύνδεση ενός δομικού στοιχείου του κορμού με τα δομικά στοιχεία της ασύρματης πρόσβασης. Οι λειτουργίες και οι δυνατότητες καλούνται αυτομάτως μέσω αντίστοιχου αιτήματος της οντότητας ελέγχου του δικτύου, διαμέσου των αντίστοιχων διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών. Για συγκεκριμένες λειτουργίες, θα υπάρχουν ποικίλες μεταβλητές, όπως για παράδειγμα διαφορετικές υλοποιήσεις της ίδιας λειτουργίας, οι οποίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και απόδοση. Τα διαφορετικά επίπεδα δυνατοτήτων και απόδοσης που προσφέρονται θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν περισσότερο στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς σε σχέση με τα σημερινά δίκτυα, διότι θα εξυπηρετούνται περισσότερα σενάρια χρήσης και αντίστοιχες συσκευές, οι οποίες εμπεριέχουν και διαφορετικές απαιτήσεις από το δίκτυο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η διαφοροποίηση των απαιτήσεων που υπάρχει όσον αφορά την απαίτηση της κινητικότητας των διαφορετικών συσκευών μέσα στο δίκτυο 5G, όπως μετακινήσεις πλήθους που κατέχουν smartphone, μετακινήσεις οχημάτων, αεροπορικές μετακινήσεις κλπ.

Το επίπεδο επιχειρηματικών εφαρμογών περιέχει συγκεκριμένες εφαρμογές και υπηρεσίες που αφορούν τους παρόχους/ διαχειριστές του δικτύου, των επιχειρήσεων, των κάθετων αγορών ή των εξωτερικών συνεργατών οι οποίοι αξιοποιούν το δίκτυο 5^{ης} γενιάς. Η διεπαφή με την οντότητα διαχείρισης και ελέγχου του δικτύου από άκρο σε άκρο επιτρέπει για παράδειγμα, την δημιουργία δικτυακών κομματιών αφιερωμένα σε συγκεκριμένες εφαρμογές ή την αντιστοίχιση μιας εφαρμογής με υπαρκτά δικτυακά κομμάτια (network slices).

Η οντότητα για την διαχείριση και τον έλεγχο του δικτύου από άκρο σε άκρο (E2E) αποτελεί το σημείο επαφής, το οποίο βρίσκεται μεταξύ των περιπτώσεων χρήσης και των επιχειρηματικών μοντέλων του δικτύου και των πραγματικών λειτουργιών και

μερών του δικτύου. Αυτή η οντότητα ορίζει τα δικτυακά κομμάτια για ένα δεδομένο σενάριο εφαρμογής, συνδέει τις σχετικές δομικές δικτυακές λειτουργίες του, αντιστοιχεί αναλόγως την παραμετροποίηση σχετικά με την απόδοση αυτών, και ως τελική διαδικασία αντιστοιχεί τους πραγματικούς δικτυακούς πόρους της υποδομής στις λειτουργίες του δικτύου. Η διαχείριση της κλιμάκωσης της χωρητικότητας του δικτύου ανάλογα με τις ανάγκες που παρουσιάζονται σε αυτό, όπως και η γεωγραφική κατανομή των πόρων του πραγματοποιείται από αυτή την οντότητα. Σε συγκεκριμένα επιχειρηματικά μοντέλα, είναι ικανή ως οντότητα να δίνει την δυνατότητα και τα δικαιώματα σε εφαρμογές συνεργατών (third parties) όπως οι κάθετες αγορές και οι εικονικοί πάροχοι κινητών επικοινωνιών (MVNOs), ώστε αυτοί με τη σειρά τους να δημιουργούν και να διαχειρίζονται τα δικά τους δικτυακά κομμάτια, διαμέσου των αντίστοιχων διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών και των αρχών της παροχής των πάντων ως υπηρεσίας (XaaS). Λόγω των πολλών καθηκόντων που εμπεριέχονται στην οντότητα διαχείρισης και του ελέγχου δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι ως οντότητα αποτελεί ένα μονολιθικό κομμάτι του δικτύου για τη συγκεκριμένη λειτουργία. Αντίθετα, θεωρείται ότι αυτή αποτελείται από μια συλλογή δομικών στοιχείων και λειτουργιών οι οποίες ολοκληρωμένες δημιουργούν πλεονεκτήματα σε διάφορους τομείς όπως οι εικονικές δικτυακές λειτουργίες (NFV), τα δίκτυα ορισμένα από λογισμικό (SDN) καθώς και η αυτόματη οργάνωση του δικτύου (SON). Αυτό επιβεβαιώνεται πλήρως αν αναλογιστεί κανείς πως θα προστίθεται σταδιακά «νόηση» στην λειτουργία αυτή, η οποία θα βελτιστοποιεί όλες τις πλευρές της σύνθεσης και της διανομής των υπηρεσιών.

Τμηματοποίηση του Δικτύου

Μία πολύ σημαντική πλευρά της αρχιτεκτονικής των δικτύων 5^{ης} γενιάς, η οποία αναλύεται παρακάτω είναι η τμηματοποίηση του δικτύου (Network Slicing). Ένα δικτυακό κομμάτι ή τμήμα του 5G, είναι γνωστό και ως “5G slice”, υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ μιας υπηρεσίας επικοινωνίας ενός συγκεκριμένου τύπου σύνδεσης με τον αντίστοιχο συγκεκριμένο τρόπο χειρισμού της μετάδοσης της σηματοδότησης (Control Plane) και της μετάδοσης των δεδομένων (User Plane). Επομένως, κάθε τμήμα του 5G αποτελείται από μια συλλογή δικτυακών λειτουργιών και συγκεκριμένες ρυθμίσεις ως προς τις τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (RATs), οι οποίες είναι συνδυασμένες μεταξύ τους, βάσει μιας ειδικής περίπτωσης χρήσης του δικτύου ή ενός επιχειρηματικού μοντέλου.

Ουσιαστικά, ένα τμήμα του 5G είναι ικανό να «γεφυρώσει» όλους τους τομείς του δικτύου 5^{ης} γενιάς: τα δομικά στοιχεία λογισμικού που «τρέχουν» στο δίκτυο σε κόμβους νεφοϋπολογιστικής, την συγκεκριμένη παραμετροποίηση του δικτύου μεταφοράς που υποστηρίζει την ευέλικτη τοποθέτηση των λειτουργιών του δικτύου, μια προσαρμοσμένη παραμετροποίηση του δομικού στοιχείου των ραδιοσυχνοτήτων ή μια συγκεκριμένη τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης, καθώς και την παραμετροποίηση μιας συγκεκριμένης 5G συσκευής. Προφανώς, δεν θα επιτελούν όλα τα τμήματα του δικτύου τις ίδιες λειτουργίες, κάποιες λειτουργίες που επιτελούν ενιαία τα σημερινά δίκτυα θα διαφοροποιούνται στο 5G και σε μερικές περιπτώσεις να παραλείπονται διότι δεν θα χρειάζονται ουσιαστικά. Ο λόγος ύπαρξης των ξεχωριστών τμημάτων του 5G είναι να

παρέχει τον απολύτως απαραίτητο χειρισμό της δικτυακής κίνησης για κάθε περίπτωση χρήσης, αποφεύγοντας οποιαδήποτε άλλη περιττή λειτουργία. Η ευελιξία που εμπεριέχεται σε αυτή την ιδέα είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που καθιστούν εφικτή την ενεργοποίηση της επέκτασης των υπάρχοντων επιχειρηματικών μοντέλων, καθώς και την δημιουργία νέων.

Οι οντότητες των συνεργατών του παρόχου ενός δικτύου 5G μπορούν διαμέσου της παροχής των κατάλληλων δικαιωμάτων (privileges) και διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών (APIs) να αποκτήσουν πρόσβαση ελέγχου συγκεκριμένων πλευρών της τμηματοποίησης, με τελικό στόχο να παρέχονται κάποιες ειδικά σχεδιασμένες υπηρεσίες.

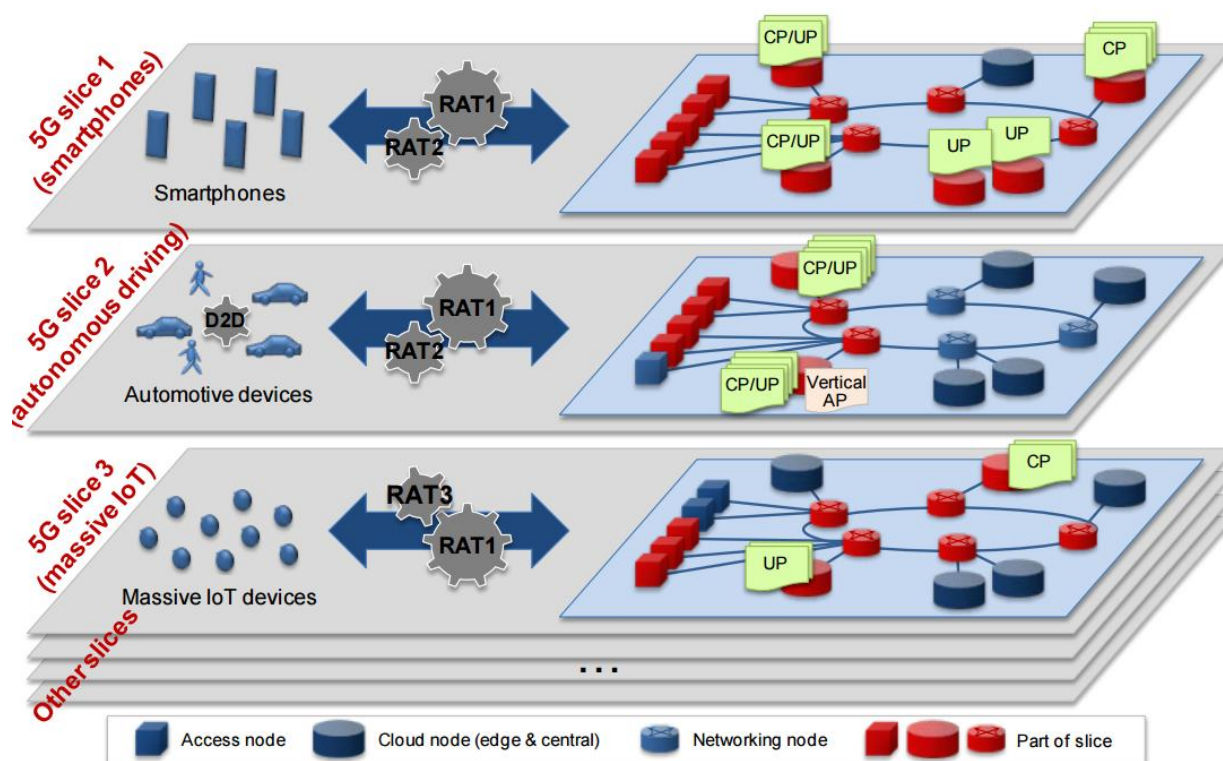
Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει ένα παράδειγμα ύπαρξης πολλαπλών τμημάτων 5G το οποίο λειτουργεί πάνω από την ίδια δικτυακή υποδομή. Για παράδειγμα, ένα τμήμα του 5G το οποίο έχει στόχο να εξυπηρετεί την χρήση των γνωστών μέχρι σήμερα τελικών συσκευών smartphone, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί εγκαθιστώντας και αναπτύσσοντας πλήρως όλες τις απαραίτητες λειτουργίες του δικτύου. Η ασφάλεια, η αξιοπιστία και η καθυστέρηση θα είναι μείζονος και κρίσιμης σημασίας για το τμήμα του 5G το οποίο θα υποστηρίζει την περίπτωση χρήσης σχετικά με την αυτοκίνηση. Για ένα τέτοιο τμήμα όλες οι απαραίτητες λειτουργίες, οι οποίες πιθανότητα θα είναι και αφιερωμένες κατ' αποκλειστικότητα σε αυτό μπορούν να δημιουργηθούν στον κόμβου του cloud της άκρης του δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των απαραίτητων κάθετων εφαρμογών λόγω των ιδιαιτερων περιορισμών που υπάρχουν σχετικά με την καθυστέρηση.

Ο ορισμός των σχετικών ανοιχτών διεπαφών αποτελεί προϋπόθεση για να επιτρέπεται να εισαχθούν στο δίκτυο 5^{ης} γενιάς όλες αυτές οι εφαρμογές που αφορούν τις κάθετες αγορές. Για ένα τμήμα του 5G δικτύου το οποίο υποστηρίζει την μαζική επικοινωνία μεταξύ μηχανών (mMTC), για παράδειγμα αισθητήρες, είναι απαραίτητο να παραμετροποιηθούν μερικές βασικές λειτουργίες της σηματοδότησης (C-plane), εξαιρώντας από αυτές κάποιες άλλες όπως για παράδειγμα οποιαδήποτε λειτουργία κινητικότητας, με πρόσβαση βασισμένη σε διαμοιρασμό πόρων σύμφωνα με την αρχή FIFO.

Σίγουρα, θα υπάρχουν αφιερωμένα τμήματα του 5G τα οποία θα λειτουργούν παράλληλα, καθώς όπως και ένα γενικό τμήμα το οποίο θα παρέχει την καλύτερη συνδεσιμότητα σύμφωνα με τις δυνατότητες του δικτύου και την κατάσταση του, το οποίο θα έχει τον ρόλο να εξυπηρετεί τις τελικές συσκευές οι οποίες εκτελούν «άγνωστα» σενάρια και αντίστοιχη κίνηση. Ανεξαρτήτως των τμημάτων που θα υποστηρίζονται από το 5G δίκτυο, θα πρέπει να περιέχει τέτοια λειτουργικότητα η οποία θα διασφαλίζει την ελεγχόμενη και ασφαλή λειτουργία του δικτύου από άκρο σε άκρο σε κάθε περίπτωση.

Για να υπάρχουν πολλαπλά τμήματα 5G, χρειάζεται να χρησιμοποιούνται σε αυτά παράλληλα οι αφιερωμένοι σε συγκεκριμένα τμήματα (slices) πόροι της υποδομής (dedicated), καθώς και οι πόροι της υποδομής οι οποίοι διαμοιράζονται (shared). Ένα παράδειγμα τέτοιο είναι ο προγραμματιστής των εκπομπών ραδιοσυχνοτήτων (radio

scheduler). Ο προγραμματιστής μιας τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης (RAT) θα διαμοιράζεται ουσιαστικά μεταξύ πολλών τμημάτων του 5G, και θα διαδραματίζει πολύ καθοριστικό ρόλο στην κατανομή των δικτυακών πόρων και στην απόδοση του κάθε τμήματος που επηρεάζει, συμπεριλαμβανομένου της αντίστοιχης εμπειρίας χρήσης που πρέπει να διασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση χρήσης. Η υλοποίηση του προγραμματιστή αυτού στα σημερινά δίκτυα είναι τυπικά στην ιδιοκτησία του κάθε παρόχου, δηλαδή γνωστή μόνο στον ιδιοκτήτη της. Ωστόσο, πρέπει να οριστεί ένα ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο ανοίγματος αυτής της υλοποίησης ώστε να υπάρχει πραγματικός έλεγχος ως προς την ικανοποίηση των απαιτήσεων αυτής της κρίσιμης λειτουργίας.



Τμηματοποίηση του 5G ανά Υπηρεσία

Στην αρχιτεκτονική του συστήματος 5^{ης} γενιάς, οι λειτουργίες Σηματοδοσίας (Control Plane) και Δεδομένων (User Plane) θα διαχωρίζονται ξεκάθαρα, με ανοιχτές διεπαφές μεταξύ τους, σύμφωνα με τις αρχές των ορισμένων από λογισμικό δικτύων (SDN). Επιπρόσθετα, ανοιχτές διεπαφές θα πρέπει να είναι ορισμένες μεταξύ των λειτουργιών τύπου access-specific and access-agnostic ώστε οποιεσδήποτε πρόσθετες τεχνολογίες πρόσβασης, στο δίκτυο σταθερής και ασύρματης πρόσβασης, να μπορούν εύκολα να ενώνονται με το υπόλοιπο 5G δίκτυο. Οι διεπαφές του εμπρός μέρους του δικτύου (fronthaul) μεταξύ των απομακρυσμένων μονάδων ραδιοσυχνοτήτων (remote radio units) και των μονάδων ελέγχου ραδιοσυχνοτήτων (baseband units) θα πρέπει αντίστοιχα να είναι ανοιχτές και ευέλικτες, προσφέροντας λειτουργία μεταξύ διαφόρων προμηθευτών δικτυακού εξοπλισμού (vendor) και σωστή συμβατότητα προς τα εμπρός

και προς τα πίσω, ενώ θα παρέχουν και επιλογές για μείωση του εύρους ζώνης. Επιπρόσθετα, η επικοινωνία μέσω των διεπαφών μεταξύ των δικτυακών λειτουργιών πρέπει να επιτρέπει την παροχή παραμετροποίησης, διαχείρισης των λειτουργιών για πολλούς προμηθευτές (multivendor provisioning).

Μια σημαντική σκέψη για την αρχιτεκτονική αυτού του συστήματος είναι το σε ποιες λειτουργίες θα είναι ορισμένος ο βαθμός ανάλυσης τους (granularity). Όσο μεγαλώνει ο βαθμός της ανάλυσης των λειτουργιών του δικτύου, τόσο αυξάνεται η ευελιξία αυτών, της προγραμματισιμότητας και παραμετροποίησης τους, αλλά αυξάνει και ο βαθμός πολυπλοκότητας τους σε σημαντικό βαθμό. Οι προσπάθειες για ελέγχους διαφόρων συνδυασμών λειτουργιών και η υλοποίηση των τμημάτων του δικτύου θα είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, και τα διαδικτυακά θέματα θα προκύπτουν συνεχώς μεταξύ των δικτύων. Έτσι, ο σωστός και κατάλληλος βαθμός ανάλυσης των λειτουργιών του δικτύου θα ισορροπήσει τους στόχους της ευελιξίας και της πολυπλοκότητας. Προφανώς αυτό είναι κάτι που θα επηρεάσει συνολικά τις δικτυακές λύσεις που θα προσφέρονται στο οικοσύστημα.

3 Βιβλιογραφική Επισκόπηση των προτεινόμενων αρχιτεκτονικών του C-RAN των δικτύων 5ης γενιάς

Η Πέμπτη γενιά κινητών ασύρματων δικτύων έρχεται να ξεπεράσει τις προκλήσεις που έχουν θέσει τα ήδη υπαρκτά δίκτυα κινητής όπως οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης της πληροφορίας και η υψηλή αποδοτικότητα συνολικά του συστήματος. Επιπρόσθετα τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς χρειάζεται να εισάγουν θεμελιώδεις αλλαγές συμπεριλαμβανομένου των κυματομορφών υψηλών συχνοτήτων (high carrier frequencies) με μαζικά εύρη συχνοτήτων, με σταθμούς βάσης και συσκευές με υπερβολικές πυκνότητες και πρωτοφανείς προβλέψεις για πλήθη κεραιών.

Όμως για να επιτευχθούν αυτές οι αλλαγές, απαιτείται να δημιουργηθούν, να αναβαθμιστούν και να επεκταθούν οι υπάρχουσες υποδομές των κινητών και ασύρματων δικτύων, γεγονός που σημαίνει ότι το κόστος είναι αρκετά αυξημένο. Ως εκ τούτου οι προκλήσεις για τους σχεδιαστές/ αρχιτέκτονες των κινητών δικτύων μπορούν να ξεπεραστούν μόνο με νέες προσεγγίσεις στην εξέλιξη της αρχιτεκτονικής του δικτύου ασύρματης πρόσβασης (RAN). Στην λογική αυτή, έχουν προταθεί αρκετές αρχιτεκτονικές επιλογές για το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης από μία κεντροποιημένη έως μια πλήρως κατανεμημένη αρχιτεκτονική. Η κεντροποιημένη αρχιτεκτονική λύση (Centralized RAN) με αντίστοιχο κορμό δικτύου βρίσκεται σε πλήρη συμμόρφωση με τα πρότυπα του οργανισμού 3GPP, έτσι, ενεργοποιείται ταχύτερα η πρόσβαση της αγοράς σε αυτήν. Οι άλλες λύσεις όπως η αρχιτεκτονική “anchor-booster” και η «edge cloud» είναι σχεδιασμένες χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν τους τον ιδανικό κορμό δικτύου και χρήζουν περαιτέρω προτυποποίησης ώστε να βεβαιωθεί η ύπαρξη απρόσκοπτης με τα υπόλοιπα υποσυστήματα του δικτύου (interoperability).

Τυπικά, κάθε διαφορετική αρχιτεκτονική του Δικτύου Ασύρματης Πρόσβασης (RAN) έχει τα δικά της σενάρια ανάπτυξης, έτσι ο πάροχος απαιτείται να προσαρμόζει

ευέλικτα και αντίστοιχα με κάθε συγκεκριμένο σενάριο. Η τεχνολογία που καθιστά αυτήν την απαίτηση εφικτή είναι αυτή της «Εικονοποίησης του Δικτύου» (Network Virtualization), η οποία δημιουργεί την ελευθερία ανάπτυξης συγκεκριμένων σεναρίων και αρχιτεκτονικών δικτύου ασύρματης πρόσβασης. Αυτό συμβαίνει διότι χρησιμοποιώντας την ίδια πλατφόρμα υψηλής απόδοσης, ο πάροχος θα μπορεί να υλοποιήσει ποικίλες δικτυακές λειτουργίες ανάλογα με τις ανάγκες κάθε σεναρίου.

Αιτίες Εξέλιξης της Αρχιτεκτονικής RAN

Μέχρι σήμερα οι κύριες επιλογές που παρουσιάζονται στο LTE, ως προς την αρχιτεκτονική του δικτύου είναι είτε πλήρως κατανεμημένη είτε πλήρως κεντριοποιημένη ανάπτυξη του δικτύου ασύρματων καναλιών και συχνοτήτων, οι οποίες αντιστοίχως έχουν τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματά τους. Αυτές οι αρχιτεκτονικές προκύπτουν από τις ισορροπίες που πρόκειται να διατηρούνται μεταξύ των παρακάτω παραγόντων:

- ανάγκη για αποδοτική αξιοποίηση φάσματος και εμπειρίας χρήστη
- αποδοτική αξιοποίηση του εξοπλισμού και των δικτυακών τόπων
- κόστος και διαθεσιμότητα για να υπάρχει κάλυψη και συνδεσιμότητα μέχρι και το τελευταίο σημείο του δικτύου ("last mile"-transport network connectivity)

Οι παραπάνω ανάγκες με τη σειρά τους κατευθύνουν τις εξής πλευρές της αρχιτεκτονικής αυτής:

- το συντονισμό (coordination) μεταξύ συχνοτήτων και κελιών
- την κεντριοποίησης (centralization) του υλικού
- της εικονοποίησης (virtualization) του λογισμικού

Συντονισμός (Coordination)

Προχωρώντας αναμένεται τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης θα γίνονται ολοένα και πιο ετερογενή ως προς τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ασύρματη πρόσβαση σε αυτά. Θα συνδυάζονται πολλαπλά επίπεδα με διαφορετικά μεγέθη κελιών και εύρος ζώνης, πράγμα που επιβάλλει μια στενότερη συνεργασία και συντονισμό μεταξύ των τεχνολογιών και των επιπέδων κελιών, οι οποίες αλληλοεπηρεάζονται ώστε να διαβεβαιώνεται η απρόσκοπτη εμπειρία χρήστη και η μέγιστη αποδοτικότητα στη χρήση του φάσματος.

Αυτή η διασυνεργασία ή συντονισμός στο τομέα των ραδιοσυχνοτήτων, στο LTE δίκτυο μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία κατανεμημένη όπως και με μία κεντριοποιημένη αρχιτεκτονική.

Ο συντονισμός μεταξύ των κελιών και των συχνοτήτων γίνεται ολοένα και πιο σημαντικός διότι υπάρχει η ανάγκη να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα στην χρήση του φάσματος και η εμπειρία χρήστη. Γενικά οι μηχανισμοί για τον συντονισμό του τομέα των ραδιοσυχνοτήτων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εξής:

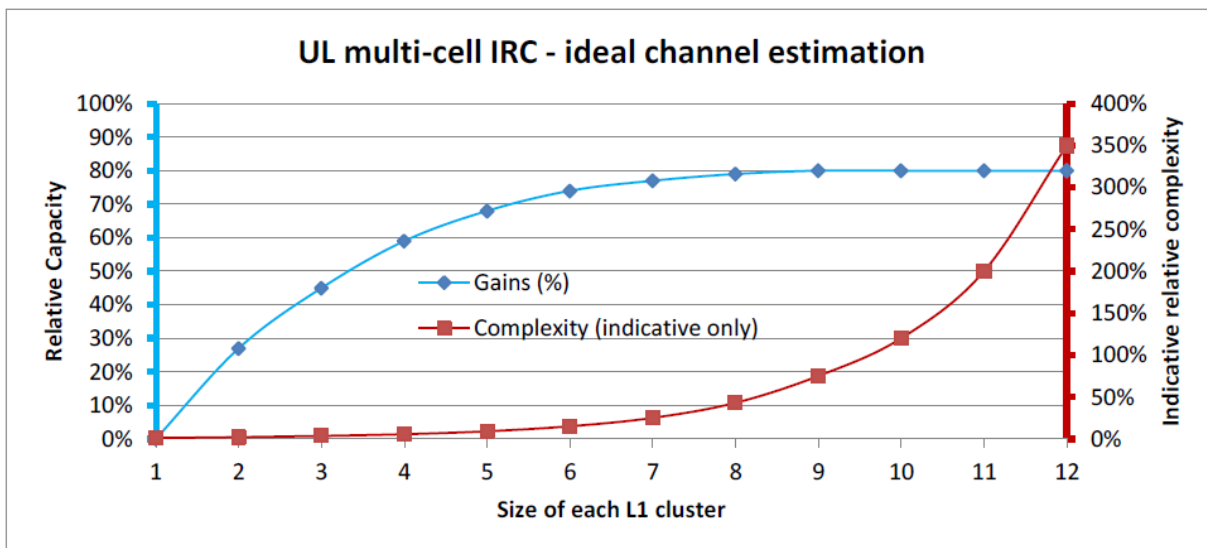
1. Διαχείριση Κινητικότητας (handover)
2. Διαχείριση της κίνησης των δεδομένων (load balancing)
3. Διαχείριση Αναμίξεων – Παρεμβολών (interference control)
4. Συνδυασμένη λήψη και μετάδοση (Joint reception and transmission)

5. Συνδυασμός καναλιών μεταφοράς (Carrier Aggregation)
6. Διπλή συνδεσιμότητα

Κεντριοποίηση (Centralization)

Η Κεντριοποίηση της επεξεργασίας την οποία εκτελούν οι σταθμοί βάσης (BS) έχει πολλά πλεονεκτήματα από την αύξηση της αποδοτικότητας στην λειτουργία, στο υλικό καθώς και από την οπτική της αξιοποίησης του φάσματος. Πρώτον, η κεντριοποίηση απλοποιεί την διαχείριση του δικτύου, των αναβαθμίσεων του και της αντιμετώπισης προβλημάτων σε αυτό λόγω των λιγότερων επισκέψεων των δικτυακών τοποθεσιών. Δεύτερον, δίνει την δυνατότητα της αξιοποίησης των υλικών πόρων μέσω μιας ενιαίας δεξαμενής υλικού, χάρις τη στατιστική πολυπλεξία με την χρήση της οποίας μια πλατφόρμα εκτέλεσης μπορεί να διεκπεραιώσει τα ίδια καθήκοντα «πάνω» από λιγότερο υλικό ή χωρητικότητα. Ο υψηλότερος βαθμός δημιουργίας δεξαμενής επιτυγχάνεται με την πλήρως κεντριοποιημένη προσέγγιση της επεξεργασίας των ραδιοσυχνοτήτων με μια σύνδεση αστέρος μεγάλης απόστασης, που ονομάζεται Κοινή Δημόσια Διεπαφή Ραδιοσυχνοτήτων (CPRI), μεταξύ της δεξαμενής επεξεργασίας ραδιοσυχνοτήτων και των κατανεμημένων απομακρυσμένων κεφαλών ραδιοσυχνοτήτων (RRH). Αυτό μπορεί να γίνει διότι η επεξεργασία των χαμηλότερων επιπέδων του δικτύου καταλαμβάνει ένα μεγάλο κομμάτι της υπολογιστικής ισχύος του υλικού. Όμως το πιθανό όφελος από την δεξαμενοποίηση του υλικού (hardware pooling) μπορεί στην πραγματικότητα να μην είναι τόσο μεγάλο όσο το κόστος της μεγάλης απόστασης των συνδέσεων μεταξύ της Κοινής Δημόσιας Διεπαφής Ραδιοσυχνοτήτων και των κατανεμημένων απομακρυσμένων κεφαλών ραδιοσυχνοτήτων, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Επιπρόσθετα, η υπολογιστική πολυπλοκότητα σε μία προσέγγιση πλήρους κεντριοποίησης της επεξεργασίας ραδιοσυχνοτήτων θα απαγορεύει την επεκτασιμότητα της κάθε δεξαμενής επεξεργασίας ραδιοσυχνοτήτων (baseband pool”).

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται κατά πόσο η σχετική χωρητικότητα (γαλάζια καμπύλη) του δικτύου βελτιώνεται με τον συντονισμό να μειώνεται με το μέγεθος της κοινής συστοιχίας επεξεργασίας των ραδιοσυχνοτήτων (common baseband cluster), και πως η υπολογιστική πολυπλοκότητα (κόκκινη καμπύλη) παράλληλα αυξάνεται εκθετικά



όσο αυξάνεται το μέγεθος της προαναφερθείσας συστοιχίας. Από την πλευρά της αξιοποίησης του υλικού, η βελτίωση μέσω της στατιστικής πολυπλεξίας που επιτυγχάνεται αρχίζει να μειώνεται μετά την δεξαμενοποίηση ενός πλήθους από 10 έως 100 κελιών, αναλόγως την κατανομή φόρτου στα κελιά και τις απαιτήσεις της ποιότητας των υπηρεσιών.

Μια πιο επιλεκτική κεντρικοποίηση ενός υψηλότερου ελέγχου των πόρων των ραδιοσυχνοτήτων και ένας χειρισμός της κίνησης των δεδομένων (user plane) όπως ο βελτιωμένος συντονισμός μεταξύ των μονάδων επεξεργασίας ραδιοσυχνοτήτων (BBUs), ωστόσο παρέχουν ακόμη ουσιαστικά οφέλη.

Εικονοποίηση (Virtualization)

Η πλειοψηφία των παρόχων τηλεπικοινωνιών στις μέρες μας διαχειρίζονται και λειτουργούν πολύπλοκα φυσικά δίκτυα, αποτελούμενα από ένα ευρύ σύνολο δικτυακών κόμβων, πολλών διαφορετικών τεχνολογιών και μεγάλου γεωγραφικού μεγέθους. Αυτά τα δίκτυα είναι ανεπτυγμένα χρησιμοποιώντας μια ανάμειξη μεταξύ ενός πλήθους έτοιμων λύσεων (COTS) για τηλεπικοινωνιακούς παρόχους από διάφορους μεγάλους προμηθευτές τηλεπικοινωνιακών προϊόντων (vendors) και υλικού μοναδικού σκοπού αφιερωμένο (dedicated) σε κάθε μοναδική δικτυακή λειτουργία. Αυτή η προσέγγιση δημιουργίας και λειτουργίας δικτύων κινητής είναι σχεδόν μια ασταθής προσέγγιση, διότι εμπεριέχει τα παρακάτω προβλήματα, όπως αυτά ορίζονται από τον οργανισμό ETSI NFV στο Σύνολο προδιαγραφών Βιομηχανιών (ISG) :

- Πολύπλοκοι δικτυακοί αγωγοί (carrier networks) με τεράστια ποικιλία ιδιόκτητων κόμβων και συσκευών υλικού που επιδρούν αρνητικά στην συνολική αποδοτικότητα του δικτύου
- Η εκκίνηση μιας νέας υπηρεσίας είναι δύσκολη, διότι καταναλώνει χρόνο και απαιτεί μια ποικιλία άλλων δικτυακών «κουτιών» - κόμβων για να ολοκληρωθεί πάνω στο δίκτυο
- Η λειτουργία είναι αργή και ακριβή λόγω των παραδοσιακών κύκλων προτυποποίησης, σχεδιασμού, προμήθειας, ολοκλήρωσης και ανάπτυξης

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται από τα αριστερά η κατάσταση μέχρι σήμερα όσον αφορά τα μηχανήματα που κατέχουν οι δικτυακοί πάροχοι σε κάθε δικτυακή τους τοποθεσία και στα δεξιά η μετάβαση που είναι αναγκαία να υπάρξει για να καταστούν πιο ευέλικτοι και να ξεπεράσουν τις προαναφερθείσες δυσκολίες. Η εικόνα ουσιαστικά συνοψίζει το όραμα του ETSI για την μετάβαση σε μια αρχιτεκτονική, η οποία θα απελευθερώνει την εισαγωγή νέων προμηθευτών δικτυακού λογισμικού, θα βελτιώσει τον ανταγωνισμό μεταξύ των προμηθευτών και θα δώσει περισσότερα κίνητρα για καινοτομίες στο αντικείμενο αυτό.

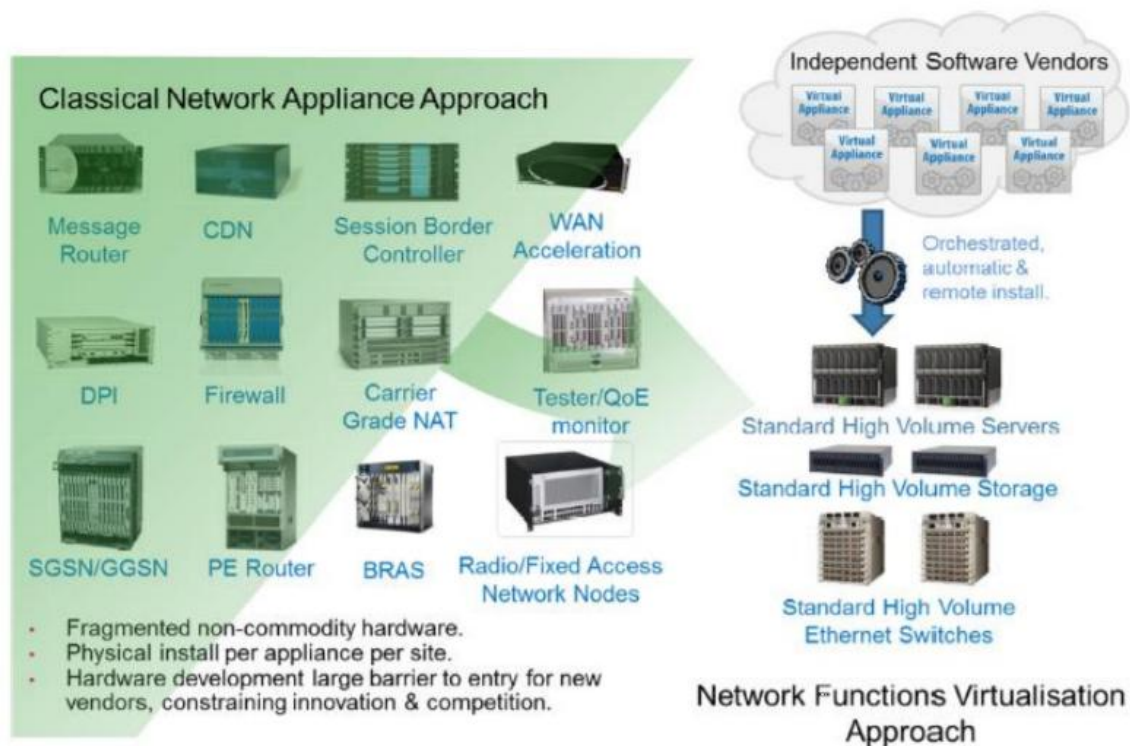


Figure 1. ETSI NFV Problem Statement and Solution Vision.

Η αποστολή του ETSI NFV ISG είναι να πραγματοποιηθεί η μεταμόρφωση της βιομηχανίας και η ανάπτυξη ενός ανοιχτού, διαδραστικού οικοσυστήματος διαμέσου της προτυποποίησης, της υλοποίησης και της ανάπτυξης της εμπειρίας. Ο σκελετός της αρχιτεκτονικής αυτής, ο οποίος παρέχει την κατεύθυνση για την προσέγγιση της εικονοποίησης των δικτυακών λειτουργιών (NFV) μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα περιβάλλον χτισμένο από πολλούς προμηθευτές δικτυακού λογισμικού και εξοπλισμού. Ο σκελετός αυτός περιλαμβάνει νέες λειτουργίες διαχείρισης και ελέγχου των δικτυακών λειτουργιών, οι οποίες επηρεάζουν τις ήδη υπάρχουσες διαδικασίες λειτουργίας και τα μοντέλα υπηρεσιών, επαναπροσδιορίζουν τους τομείς ευθύνης και διαχείρισης από τους παρόχους, μειώνοντας τα λειτουργικά κόστη (OPEX). Μία άλλη σημαντική μετάβαση είναι η εισαγωγή ενός υψηλότερου επιπέδου αυτοματοποίησης στον έλεγχο, την παραμετροποίηση και τη διαχείριση των εφαρμογών του δικτύου (NFV applications), της υποδομής και των δικτυακών πόρων. Καθώς η τεχνολογία της εικονοποίησης χρησιμοποιείται στην βιομηχανία της πληροφορικής πολλά χρόνια, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών κινητής και οι αντίστοιχοι προμηθευτές τηλεπικοινωνιακών λύσεων αποφάσισαν να ενδώσουν στο όραμα του ETSI ISG και να εργαστούν ώστε να παρέχουν τα απαραίτητα δομικά στοιχεία με σκοπό την προτυποποίηση, όπως αναμενόταν με λύσεις ιδιόκτητες και χωρίς να ακολουθούνται πλήρως τα πρότυπα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο σκελετός υψηλού επιπέδου του ETSI ISG:

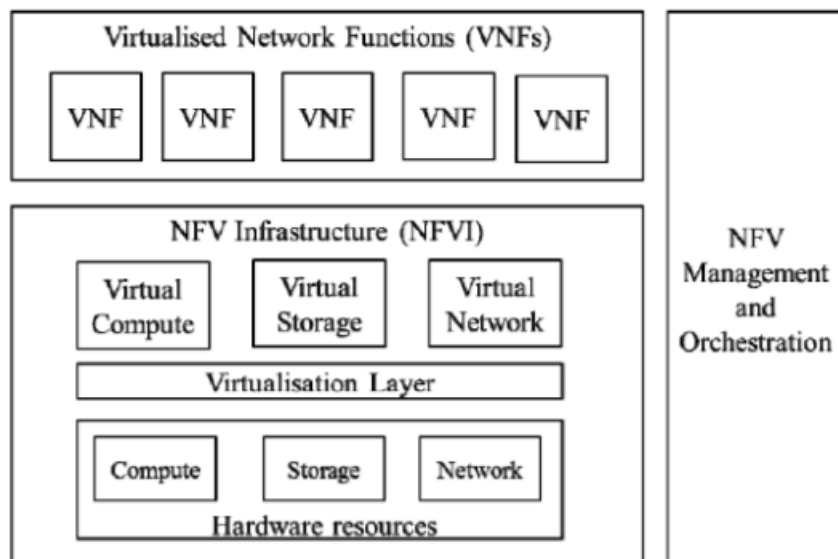


Figure 2. ESI ISG High-Level Framework.

Έτσι, η εικονοποίηση των δικτυακών λειτουργιών (NFV) εισάχθηκε ώστε να λύσει μερικές από τις βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι δικτυακοί πάροχοι στις μέρες μας, καθώς προσπαθούν να αναπτύξουν νέες υπηρεσίες ακολουθώντας την παραδοσιακή προσέγγιση όμως. Αυτό σημαίνει πως ανάμεσα σε όλα, αφιερώνεται πολύ χρόνος στην αγορά για την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών, αυξάνεται η ενέργεια και το κόστος, προκύπτουν προκλήσεις κεφαλαιουχικών επενδύσεων και υπάρχει σπανιότητα στην εύρεση ικανοτήτων απαραίτητων για τον σχεδιασμό, την ολοκλήρωση, και τη λειτουργία των ολοένα και αυξανόμενης πολυπλοκότητας συσκευών και υλικού. Αντίστοιχα, περιορίζεται η καινοτομία της δικτυοκεντρικής προσέγγισης ενός «διαδικτυομένου κόσμου».

Η εικονοποίηση των δικτυακών λειτουργιών στοχεύει στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων εκμεταλλευόμενη τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες της πληροφορικής (IT), σχετικά με τις τεχνικές εικονοποίησης, ώστε να ενοποιηθούν πολλοί τύποι δικτυακών συσκευών μέσα από τους υψηλών προδιαγραφών βιομηχανικούς εξυπηρετητές (industry standard high volume servers), μεταγωγείς δικτύου (switches) και αποθηκευτικοί χώροι (storage). Αυτός ο εξοπλισμός είναι τοποθετημένος σε κέντρα δεδομένων (data centers), δικτυακούς κόμβους (network nodes), ή στην τοποθεσία που ανήκει στον χρήστη (user premises).

Η εικονοποίηση των δικτυακών λειτουργιών αρχικά ξεκίνησε στις τηλεπικοινωνίες με την εικονοποίηση του πυρήνα δικτύου (Packet Core Network). Ως μια φυσική εξέλιξη, το επόμενο βήμα ήταν να ξεκινήσει η έρευνα για την εφαρμογή των τεχνικών εικονοποίησης, στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (RAN). Η βασική ιδέα είναι να εκτελείται η λειτουργία του RAN πάνω σε μια πλατφόρμα υλικού και λογισμικού γενικότερης φύσης, μαζί με τις εφαρμογές πυρήνα της νεφοϋπολογιστικής και άλλες κρίσιμες υπηρεσίες όσον αφορά την καθυστέρηση, μερικές φορές ακόμα σε ένα περιβάλλον το οποίο είναι γνωστό ως παροχή της Πλατφόρμας ως υπηρεσία (PaaS).

Παρόλα αυτά τα χαμηλά επίπεδα των πρωτοκόλλων του δικτύου ασύρματης πρόσβασης είναι κρίσιμα διότι πρέπει να ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο. Πολλές από τις απαιτήσεις χρονικού συγχρονισμού, οι οποίες επιβεβαιώνουν την απόδοση του πρωτοκόλλου ασύρματης πρόσβασης βρίσκονται στο επίπεδο των 8 μικροδευτερολέπτων (μs) ή νανοδευτερολέπτων (ns). Σε αντίθεση με τις λειτουργίες των

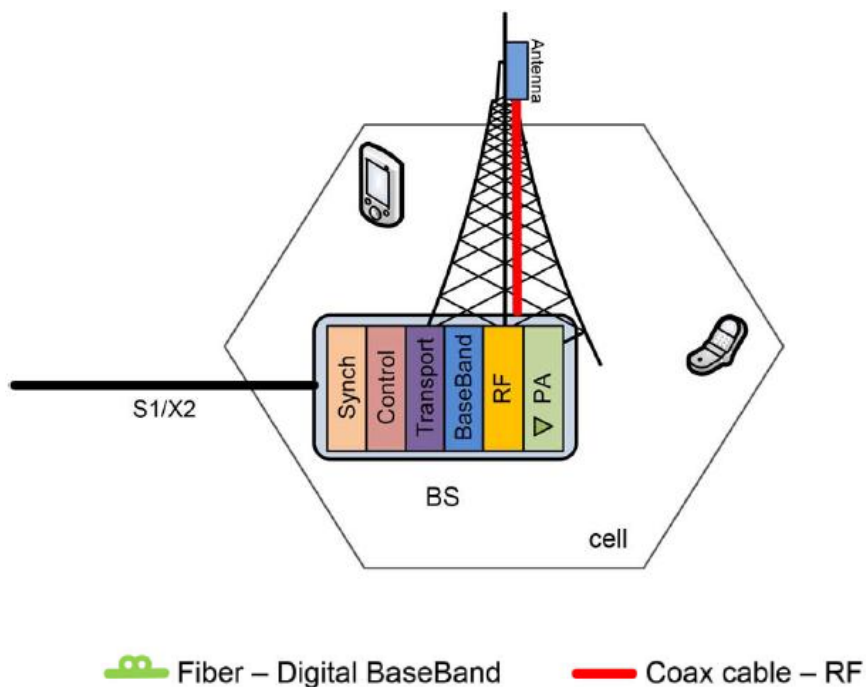
εξυπηρετητών (Servers), όπως είναι γνωστές σήμερα η λειτουργία του RAN δεν φιλοξενείται εύκολα με το μοντέλο PaaS της νεφοϋπολογιστικής.

Η εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής του RAN

Παρακάτω παρουσιάζεται η εξέλιξη του RAN από τους παραδοσιακούς σταθμούς βάσης μέχρι το C-RAN. Η περιοχή στην οποία εκτείνεται ένα δίκτυο κινητής είναι διαιρεμένο σε κελιά ή αλλιώς κυψέλες, για αυτό κάποιες φορές τα συναντάμε στην βιβλιογραφία και ως κυψελωτά δίκτυα. Παραδοσιακά στα κυψελωτά δίκτυα, οι χρήστες επικοινωνούν με έναν σταθμό βάσης, ο οποίος εξυπηρετεί ένα κελί με κάλυψη εκεί όπου βρίσκονται αυτοί. Οι κύριες λειτουργίες ενός σταθμού βάσης είναι η επεξεργασία ραδιοσημάτων και οι λειτουργίες των ραδιοσυχνοτήτων. Αυτές οι λειτουργίες χωρίζονται σε διάφορες άλλες μικρότερες λειτουργίες, μεταξύ αυτών είναι η κωδικοποίηση, η γρήγορη μεταφορά Fourier, η διαμόρφωση συχνοτήτων (frequency modulation) κ.ά. Η μονάδα ραδιοσυχνοτήτων είναι υπεύθυνη για την ψηφιακή επεξεργασία, την ενίσχυση της ισχύος του σήματος, καθώς και του φιλτραρίσματος της συχνότητας.

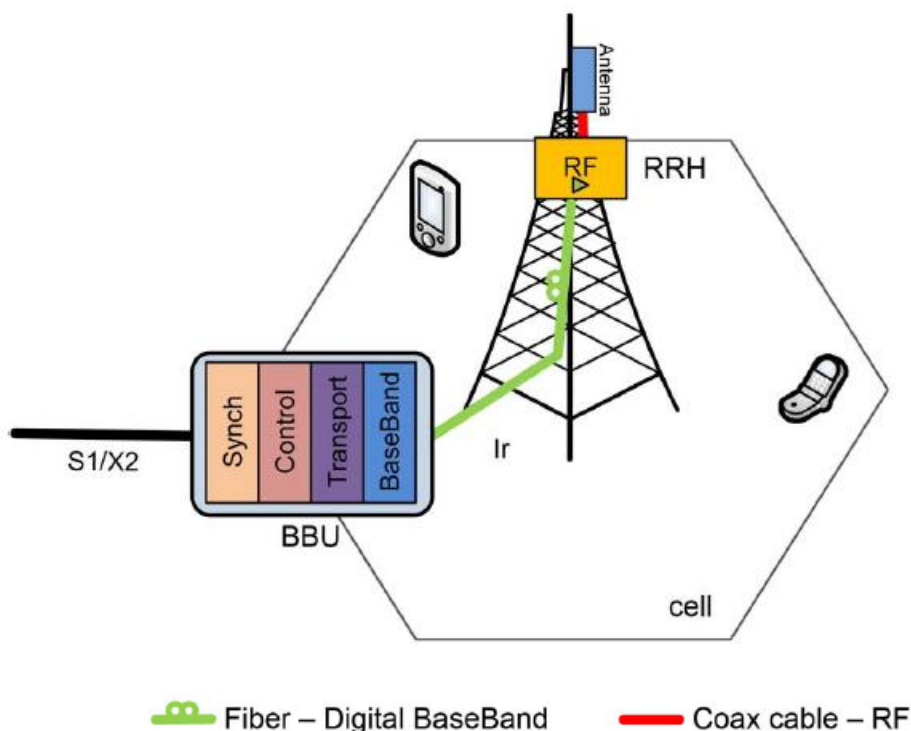
Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική

Στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική το δίκτυο των ραδιοσυχνοτήτων και η επεξεργασία των ραδιοσημάτων ως λειτουργίες είναι ολοκληρωμένες μέσα σε ένα σταθμό βάσης. Το κομμάτι της κεραίας είναι γενικά τοποθετημένο σε κοντινή απόσταση μερικών μέτρων από το υπόλοιπο μέρος του σταθμού βάσης και συνδέονται μεταξύ τους με ομοαξονικά καλώδια, τα οποία έχουν υψηλές απώλειες. Η διεπαφή είναι ορισμένη για την επικοινωνία μεταξύ των σταθμών βάσης και η διεπαφή S1 συνδέει έναν σταθμό βάσης με τον κορμό του δικτύου. Αυτή η αρχιτεκτονική ήταν δημοφιλής στα δίκτυα 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς.



Σταθμοί Βάσης με Απομακρυσμένες Κεφαλές Ραδιοσυχνοτήτων (RRH)

Ένας σταθμός βάσης με απομακρυσμένη κεφαλή ραδιοσυχνοτήτων έχει την εξής αρχιτεκτονική: ο σταθμός βάσης είναι διαχωρισμένος από την μονάδα ραδιοσυχνοτήτων και την μονάδα επεξεργασίας σημάτων. Η μονάδα ραδιοσυχνοτήτων λέγεται Απομακρυσμένη Μονάδα Ραδιοσυχνοτήτων (RRU). Μία απομακρυσμένη κεφαλή ραδιοσυχνοτήτων (RRH) παρέχει την διεπαφή στην οπτική ίνα και πραγματοποιεί την ψηφιακή επεξεργασία, μετατροπή ψηφιακή πληροφορίας σε αναλογική και το αντίστροφο, ενίσχυση της ισχύος και φιλτράρισμα των συχνοτήτων. Η επεξεργασία των ραδιοσημάτων γίνεται στην αντίστοιχη μονάδα που ονομάζεται είτε μονάδα επεξεργασίας ραδιοσυχνοτήτων (BBU) ή μονάδα δεδομένων (DU). Η διασύνδεση και ο

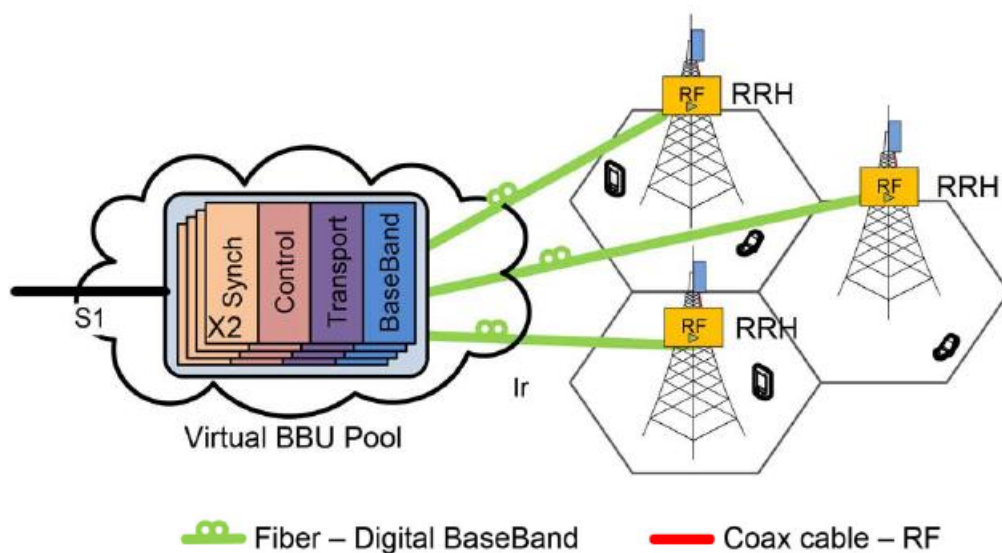


διαχωρισμός των λειτουργιών μεταξύ των BBU και RRH φαίνονται και στην παραπάνω εικόνα. Η αρχιτεκτονική αυτή εισάχθηκε μαζί με τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς και η συντριπτική πλειοψηφία των σταθμών βάσης την χρησιμοποιεί σήμερα. Η απόσταση μεταξύ των RRH και BBU μπορεί να επεκταθεί μέχρι και 40 χιλιόμετρα, όπου ο περιορισμός αυτός προκύπτει από την επεξεργασία και την εξάπλωση της καθυστέρησης. Οι συνδέσεις οπτικών ινών και μικροκυμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτή την αρχιτεκτονική. Ο εξοπλισμός της επεξεργασίας των ραδιοσυχνοτήτων μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα πιο εύκολα προσβάσιμο και πρακτικό μέρος, ενεργοποιώντας την μείωση του κόστους σε ενοίκια τοποθεσιών και συντήρηση σε σχέση με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική, όπου κάθε μονάδα επεξεργασίας ραδιοσυχνοτήτων χρειάζεται να είναι κοντά στην κεραία. Οι απομακρυσμένες κεφαλές ραδιοσυχνοτήτων μπορούν να τοποθετηθούν σε ιστούς, κολώνες ή στέγες. Έτσι, η ψύξη τους γίνεται πιο αποδοτικά λόγω του εξωτερικού χώρου και δεν καταναλώνεται αντίστοιχα ενέργεια από τα συστήματα ψύξης των BBUs. Οι απομακρυσμένες κεφαλές ραδιοσυχνοτήτων

(RRHs) είναι στατικά ανατεθειμένες σε μονάδες επεξεργασίας των ραδιοσυχνοτήτων όπως γίνεται και με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική του RAN. Μία μονάδα επεξεργασίας ραδιοσυχνοτήτων (BBU) μπορεί να εξυπηρετήσει πολλές απομακρυσμένες κεφαλές ραδιοσυχνοτήτων (RRHs). Οι RRHs μπορούν να συνδεθούν σε σειρά μεταξύ τους (daisy chained architecture). Η διεπαφή Ir είναι ορισμένη ώστε να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ του οι RRHs με τις BBUs. Η Κοινή Δημόσια Διεπαφή Ραδιοσυχνοτήτων (CPRI) είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ των RRHs και BBUs, στη διεπαφή Ir. Το πρωτόκολλο αυτό έχει σταθερό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αμφίδρομης κατεύθυνσης που απαιτεί ακριβή συγχρονισμό και αυστηρό έλεγχο στις καθυστερήσεις μετάδοσης. Υπάρχουν και άλλα πρωτόκολλα βέβαια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως αυτό της Διεπαφής Ανοιχτής Αρχιτεκτονικής για σταθμούς βάσης (OBSAI) και της Διεπαφής Ανοιχτού Εξοπλισμού Ραδιοσυχνοτήτων (ORI).

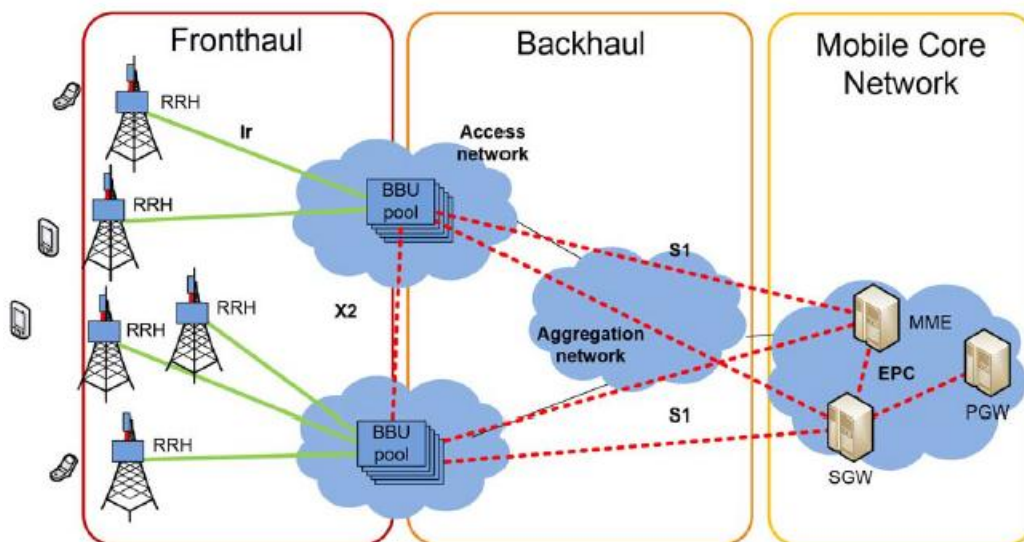
Κεντριοποιημένη Αρχιτεκτονική Σταθμών Βάσης - C-RAN

Στο C-RAN, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αξιοποίηση των μονάδων επεξεργασίας των ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ των υπερφορτωμένων και των λιγότερο φορτωμένων σταθμών βάσης, οι μονάδες αυτές (BBUs) είναι πλέον κεντρικά τοποθετημένες σε μία οντότητα, η οποία ονομάζεται δεξαμενή BBUs ή ξενώνας DUs. Μία δεξαμενή από BBUs μοιράζεται μεταξύ πολλών τοποθεσιών που βρίσκονται κελιά και είναι εικονοποιημένες (virtualized) ως μονάδες. Μια τέτοια δεξαμενή αποτελείται από μια εικονοποιημένη συστοιχία (cluster) η οποία μπορεί να αποτελείται με τη σειρά της από γενικού σκοπού επεξεργαστές για να πραγματοποιεί την επεξεργασία των ραδιοσημάτων στο χαμηλό επίπεδο (Physical/MAC layer).



Η διεπαφή X2 είναι μια νέα μορφή, η οποία συχνά αναφέρεται και ως X2+ καθώς οργανώνει και την επικοινωνία μεταξύ των συστοιχιών BBUs (inter-cluster communication). Η ιδέα του C-RAN είχε αρχικά τον τίτλο Ασύρματο Δίκτυο στο Νέφος (WNC) και δημιουργήθηκε βάσει της ιδέας των κατακεντρωμένων ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών, τα οποία ξεκίνησαν ώστε να δημιουργηθούν αρχιτεκτονικές δικτύων κινητής, στις οποίες ένας χρήστης μπορεί να επικοινωνεί με τοποθετημένες κατακεντρωμένες ασύρματες κεραίες διατεταγμένες σε μεγάλη πυκνότητα, ενώ η σηματοδότηση επεξεργάζεται από Κατακεντρωμένα Κέντρα Επεξεργασίας (DPCs).

Το C-RAN ως όρος περιγράφει αυτήν την αρχιτεκτονική και το γράμμα “C”, μπορεί να μεταφραστεί ανταποκρινόμενο σε διάφορους όρους, όπως: “Cloud” για να δοθεί έμφαση στις τεχνολογίες της νεφοϋπολογιστικής, “Centralized Processing” για να δοθεί έμφαση στην κεντροποιημένη αρχιτεκτονική του, “Cooperative radio”, “Collaborative” ώστε να δοθεί έμφαση στην ύπαρξη διασυνεργασίας ή συντονισμού στο τομέα των ραδιοσυχνοτήτων ή Clean καθαρό για την «καθαρότερη» αρχιτεκτονική του συγκριτικά με τις προηγούμενες γενιές.

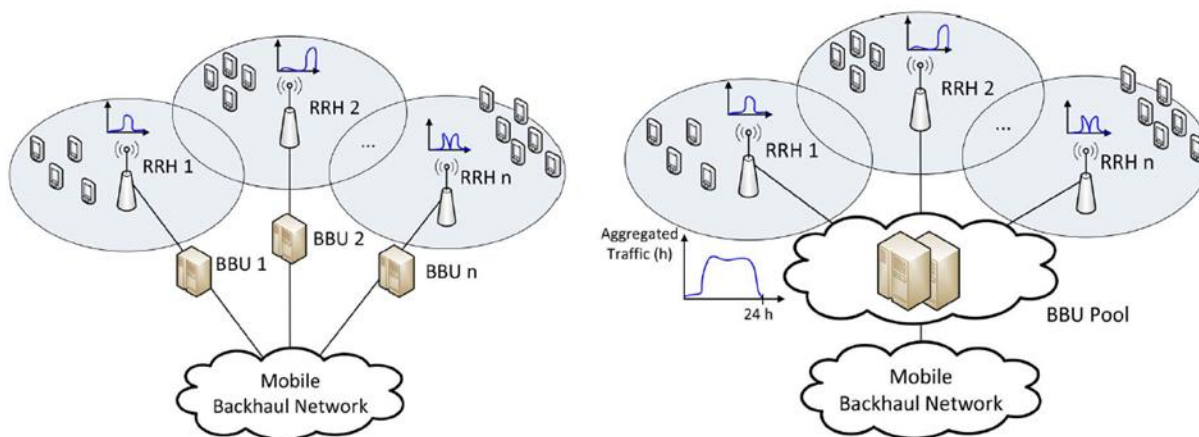


Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα όλης της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου LTE - 4^{ης} γενιάς με το μέρος του δικτύου ασύρματης πρόσβασης να αποτελείται από C-RAN. Το εμπρός μέρος του δικτύου (Fronthaul) διαχωρίζει τις απομακρυσμένες κεφαλές ραδιοσυχνοτήτων (RRHs) από τις δεξαμενές μονάδων επεξεργασίας ραδιοσυχνοτήτων (BBUs). Το πίσω μέρος συνδέει τη δεξαμενή των BBUs με τον πυρήνα του δικτύου (Mobile Core Network). Σε απομακρυσμένες τοποθεσίες οι απομακρυσμένες κεφαλές ραδιοσυχνοτήτων είναι τοποθετημένες μαζί με τις κεραίες. Οι RRHs είναι συνδεδεμένες με επεξεργαστές υψηλής απόδοσης στην δεξαμενή από BBUs διαμέσου συνδέσμων μεταφοράς οπτικών ινών χαμηλής καθυστέρησης και μεγάλου εύρους ζώνης. Η ψηφιακή σηματοδότηση, όπως για παράδειγμα τα δείγματα IQ αποστέλλονται μεταξύ των RRH και των BBU.

Αρχιτεκτονική του Cloud RAN στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς

Στο C-RAN, η επεξεργασία των σημάτων ραδιοσυχνοτήτων γίνεται κεντρικά και διαμοιράζεται μέσω μιας δεξαμενής από εικονοποιημένες (virtualized) μονάδες ραδιοσυχνοτήτων (BBUs). Αυτό σημαίνει ότι αυτή η αρχιτεκτονική λύνει το πρόβλημα της ανομοιογένειας της ασύρματης κίνησης, η οποία υπάρχει και ποικίλει ανά περιοχές και αξιοποιεί τους πόρους του δικτύου ασύρματης πρόσβασης πχ. τους σταθμούς βάσης πιο αποδοτικά. Λόγω της αποδοτικότερης αξιοποίησης των πόρων, συμπεραίνει κανείς ότι χρειάζονται λιγότερες μονάδες ραδιοσυχνοτήτων. Άρα, η αρχιτεκτονική αυτή σίγουρα είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα από την παραδοσιακή, διότι εξοικονομούνται κόστη δικτυακής διαχείρισης, ισχύος και κατανάλωσης ενέργειας.

Το Cloud RAN είναι το μέρος της δικτυακής αρχιτεκτονικής στο οποίο πραγματοποιείται η ασύρματη πρόσβαση στο δίκτυο και το οποίο αποτελεί εξέλιξη των σταθμών βάσης σε σχέση με το πώς αυτοί είναι μέχρι σήμερα στα δίκτυα IMT-Advanced. Στην αρχιτεκτονική του C-RAN οι πόροι των μονάδων ραδιοσυχνοτήτων (BBUs), οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία των αντίστοιχων σημάτων ραδιοσυχνοτήτων, είναι ομαδοποιημένοι ώστε να είναι εφικτός ο διαμοιρασμός τους από τους αντίστοιχους σταθμούς βάσης. Στην παρακάτω εικόνα ^[14] φαίνεται καθαρά η αρχιτεκτονική διαφορά μεταξύ του παραδοσιακού δικτύου ασύρματης πρόσβασης σε σχέση με το C-RAN.



Το πρόβλημα λοιπόν που τίθεται είναι το ποια μέρη του RAN είναι εφικτό και βιώσιμο να μεταφερθούν σε ένα περιβάλλον εικονοποίησης, καθώς και το πώς θα ικανοποιηθούν μια σειρά από ανάγκες και απαιτήσεις που προκύπτουν από την αλλαγή πηγαίνοντας από την 4^η προς την 5^η γενιά δικτύων. Το Cloud RAN είναι μια καινοτόμα αρχιτεκτονική δικτύων κινητής, η οποία έχει την δυνατότητα να ικανοποιήσει πολλές από τις προκλήσεις που τίθενται ως απαιτήσεις για τα συστήματα 5^{ης} γενιάς όπως αυτές έχουν περιγραφεί παραπάνω. Η ιδέα αυτή πρώτη φορά προτάθηκε μέσω της ερευνητικής εργασίας με τίτλο *“Wireless network cloud: Architecture and system requirements”* από την IBM το 2010^[18] και αναλύθηκε λεπτομερώς από την εργασία με τίτλο *“C-RAN the road towards green ran”* από το Ινστιτούτο Έρευνας της China

Mobile^[19] ένα χρόνο μετά. Στο C-RAN, η επεξεργασία των σημάτων ραδιοσυχνοτήτων πραγματοποιείται κεντρικά και διαμοιράζεται μεταξύ πολλών δικτυακών τοποθεσιών μέσα από μια δεξαμενή εικονοποιημένων μονάδων επεξεργασίας ραδιοσημάτων (virtualized BBUs). Αυτό συνεπάγεται ότι υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής του C-RAN σε συνθήκες ανομοιομορφής κίνησης δεδομένων και αποδοτικής αξιοποίησης των πόρων όπως οι σταθμοί βάσης (BS). Συνεπώς, σε σύγκριση με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική του RAN, στην αρχιτεκτονική του C-RAN χρειάζονται λιγότερες μονάδες επεξεργασίας ραδιοσημάτων. Επίσης, μειώνεται το κόστος λειτουργίας του δικτύου, διότι η ισχύς που χρειάζεται και η κατανάλωση ενέργειας είναι αντίστοιχα μειωμένη σε σχέση με το παραδοσιακό μοντέλο του RAN.

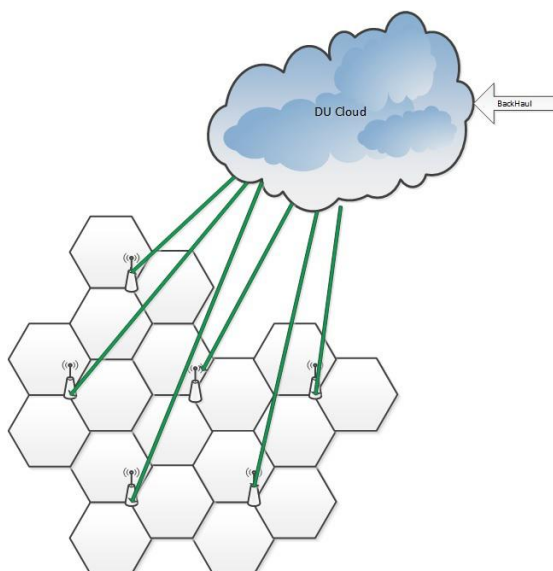
Είναι προφανές ότι μέσω των τεχνολογιών της εικονοποίησης, γίνεται πιο εύκολη η διαδικασία αναβάθμισης (upgrade), όπως και η βελτίωση της ικανότητας κλιμάκωσης (scalability) της χωρητικότητας καθώς και η δικτυακή συντήρηση (maintenance) όσον αφορά την πλευρά του δικτύου ασύρματης πρόσβασης. Ακόμη η δεξαμενή που περιέχει τις εικονοποιημένες μονάδες επεξεργασίας των ραδιοσημάτων, θα επιτρέπει τον διαμοιρασμό της μεταξύ των παρόχων, επιτρέποντας την παροχή του συγκεκριμένου τμήματος του RAN ως υπηρεσία (RANaaS) νεφοϋπολογιστικής.

Το γεγονός ότι πολλές μονάδες επεξεργασίας ραδιοσημάτων είναι συγκεντρωμένες και φιλοξενούνται σε μία κοινή δεξαμενή, ενώ είναι αφιερωμένες σε πολλές διαφορετικές τοποθεσίες του δικτύου ασύρματης πρόσβασης, σημαίνει ότι μπορούν ανταποκρίνονται με χαμηλότερες καθυστερήσεις. Συνεπώς έχουν προταθεί και εισαχθεί στο LTE-Advance ήδη μηχανισμοί οι οποίοι αυξάνουν την αποδοτικότητα του φάσματος και το εύρος ζώνης, όπως είναι ο ενισχυμένος συντονισμός μεταξύ των κελιών (ICIC) και ο συντονισμός μεταξύ πολλών σημείων (CoMP), ο οποίος προσφέρει βελτιωμένη αξιοποίηση και απόδοση του δικτύου ασύρματης πρόσβασης. Υπάρχουν επίσης, ήδη διάφορες μέθοδοι για την υλοποίηση της ισορροπίας του φόρτου μεταξύ των κελιών (cell load balancing). Επιπρόσθετα η συνολική απόδοση του δικτύου βελτιώνεται καθώς μειώνεται η καθυστέρηση της επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων επεξεργασίας των ραδιοσημάτων (intra-BBU Pool handover).

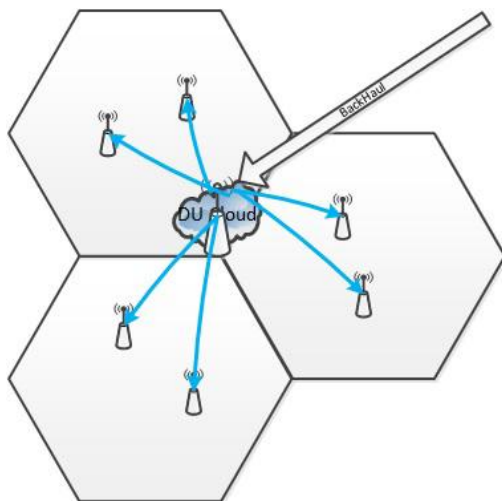
Το C-RAN ως αρχιτεκτονική και ως στόχος έχει τεθεί από τους παρόχους κινητής δικτύωσης, έχει σχεδιασθεί και επινοηθεί με τη βοήθεια παρόχων και προμηθευτών τηλεπικοινωνιακού λογισμικού και υλικού, από το Ινστιτούτο Έρευνας όπως προαναφέρθηκε, την IBM, την Alcatel-Lucent, τη Huawei, τη ZTE, τη Nokia Networks, την Intel και την Texas Instruments. Επιπρόσθετα, το C-RAN εξυπηρετεί και την τυπική μετάβαση των τηλεπικοινωνιακών παρόχων στην υιοθέτηση και χρήση «πράσινων» τεχνολογιών, με την έννοια της ύπαρξης φιλικότερης προς το περιβάλλον τεχνολογίας οδεύοντας προς την 5^η γενιά δικτύων κινητής. Παρόλα αυτά, το C-RAN δεν αποτελεί την μοναδική υποψήφια αρχιτεκτονική για το RAN στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς που μπορεί να ικανοποιήσει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι.

Το τυπικό σενάριο ανάπτυξης του C-RAN είναι αυτό που η δεξαμενή των BBUs βρίσκεται σε μία κεντρική τοποθεσία, ώστε να υπάρχει μεγάλος όγκος πόρων και συντονισμός παρεμβολών. Αυτή η λύση είναι συμβατή με τα πρότυπα του 3GPP

οργανισμού, ο οποίος αναμένεται να μειώσει το χρονικό διάστημα που θα εισαχθούν στην αγορά οι λύσεις C-RAN. Αυτό το σενάριο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Όμως, όσο αυξάνεται το ενδιαφέρον για τα ετερογενή (HetNets) δίκτυα μικροκυψελών (microcells) η λύση που αναπτύσσει το C-RAN σε πιο τοπικό επίπεδο γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής. Στην λύση του τοπικού C-RAN, η δεξαμενή των BBUs είναι τοποθετημένη εκεί που βρίσκονται και οι μακροκυψέλες (macrocells). Οι απομακρυσμένες κεφαλές ραδιοσυχνοτήτων (RRHs) είναι συνδεδεμένες στην



αντίστοιχη δεξαμενή των BBUs διαμέσου συνδέσεων υψηλού εύρους ζώνης, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Η φύση αυτού του σεναρίου ανάπτυξης του C-RAN ταιριάζει αρκετά σε μεγάλα κτήρια, γραφεία και στάδια όπου η πυκνότητα του πληθυσμού των συνδέσεων είναι μεγάλη. Επίσης με τις κατάλληλες τεχνικές συμπίεσης είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί η ήδη υπάρχουσα δικτυακή καλωδίωση αυτών των εγκαταστάσεων όπως για παράδειγμα το δίκτυο Ethernet, ώστε να συνδεθεί το εμπρός μέρος (fronthaul) του δικτύου του C-RAN με το πίσω (backhaul).

Πλεονεκτήματα του Cloud RAN

Οι μακροκυψέλες και οι μικροκυψέλες μπορούν να οφεληθούν από την νέα αρχιτεκτονική του C-RAN. Όσον αφορά τους σταθμούς βάσης μακροκυψελών, μια κεντριοποιημένη δεξαμενή από BBU's καθιστά εφικτή την αποδοτική αξιοποίηση των μονάδων αυτών και μειώνει το κόστος της εγκατάστασης των σταθμών βάσης καθώς και το κόστος λειτουργίας τους. Μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και παρέχει αυξημένη ευελιξία στην αναβάθμιση του δικτύου καθώς και προσαρμοστικότητα σε περιπτώσεις όπου η κίνηση είναι ανομοιογενείς. Επιπρόσθετα, τα προχωρημένα γνωρίσματα του LTE-Advanced όπως ο συντονισμός μεταξύ πολλών σημείων (CoMP) και ο περιορισμός των παρεμβολών, μπορούν να υποστηριχθούν αποδοτικά από το C-RAN, πράγμα που είναι ουσιαστικό ειδικά για τις εγκαταστάσεις μικροκυψελών. Τέλος, έχοντας δυνατότητες υψηλής επεξεργαστικής ισχύος, η οποία διαμοιράζεται μεταξύ πολλών χρηστών, οι πάροχοι μπορούν να προσφέρουν στους τελικούς χρήστες πιο ελκυστικές Συμφωνίες Παροχής Υπηρεσιών (SLAs), καθώς ο χρόνος απόκρισης των εφαρμογών μειώνεται αισθητά όταν τα δεδομένα είναι προσωρινά αποθηκευμένα (cached) στη δεξαμενή των BBU's.

Οι δικτυακοί πάροχοι έχουν τη δυνατότητα να συνεργαστούν με τρίτους, οι οποίοι αναπτύσσουν υπηρεσίες ώστε να φιλοξενηθούν οι εφαρμογές τους στους εξυπηρετητές που είναι τοποθετημένοι στο cloud. Συνοψίζοντας, τα οφέλη από την αρχιτεκτονική του C-RAN είναι τα εξής:

- Προσαρμοστικότητα του δικτύου ασύρματης πρόσβασης στην ανομοιόμορφη κίνηση και κλιμάκωση της
- Ενεργειακό και Οικονομικό όφελος, το οποίο απορρέει από το κέρδος μέσω της στατιστικής πολυπλεξίας στην δεξαμενή των BBU's
- Αύξηση της απόδοσης του δικτύου και μείωση των καθυστερήσεων
- Ευκολία στις αναβαθμίσεις και την συντήρηση του δικτύου

Cloud RAN, HetSNets και Massive MIMO

Άλλες εναλλακτικές λύσεις θεωρούνται αυτές που περιλαμβάνουν τα μικροκελιά (Small Cells), τα Ετερογενή Δίκτυα Μικροκελιών (HetSNets) καθώς και τεχνικές Massive MIMO. Οι δημιουργία εγκαταστάσεων μικροκελιών είναι οι κύριοι ανταγωνιστές του C-RAN διότι καλύπτουν τόσο καλά τα σενάρια που αφορούν εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους κάλυψης. Υπάρχουν λύσεις όπως το Light-Radio της Alcatel-Lucent, η οποία μπορεί να φιλοξενήσει όλες της λειτουργίες σταθμού βάσης σε ένα μικρό κουτί. Αυτές οι λύσεις μπορούν να εγκατασταθούν σε εξωτερικούς χώρους αποφεύγοντας κόστη λειτουργίας ψύξεως καθώς και ενοικίου τοποθεσίας.

Παρόλα αυτά, αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της υπολειτουργίας σε περιόδους χαμηλής κίνησης στους συγκεκριμένους εξωτερικούς χώρους και το πρόβλημα του ότι δεν είναι ικανά όσο το C-RAN να επιτελούν συνεργατικές λειτουργίες μεταξύ τους. Επίσης, εμφανίζουν δυσκολίες όπως ο παραδοσιακός τρόπος αναβάθμισης, επισκευής και συντήρησης κάτι που το C-RAN ξεπερνάει μέσω της εικονοποίησης. Σε κάθε

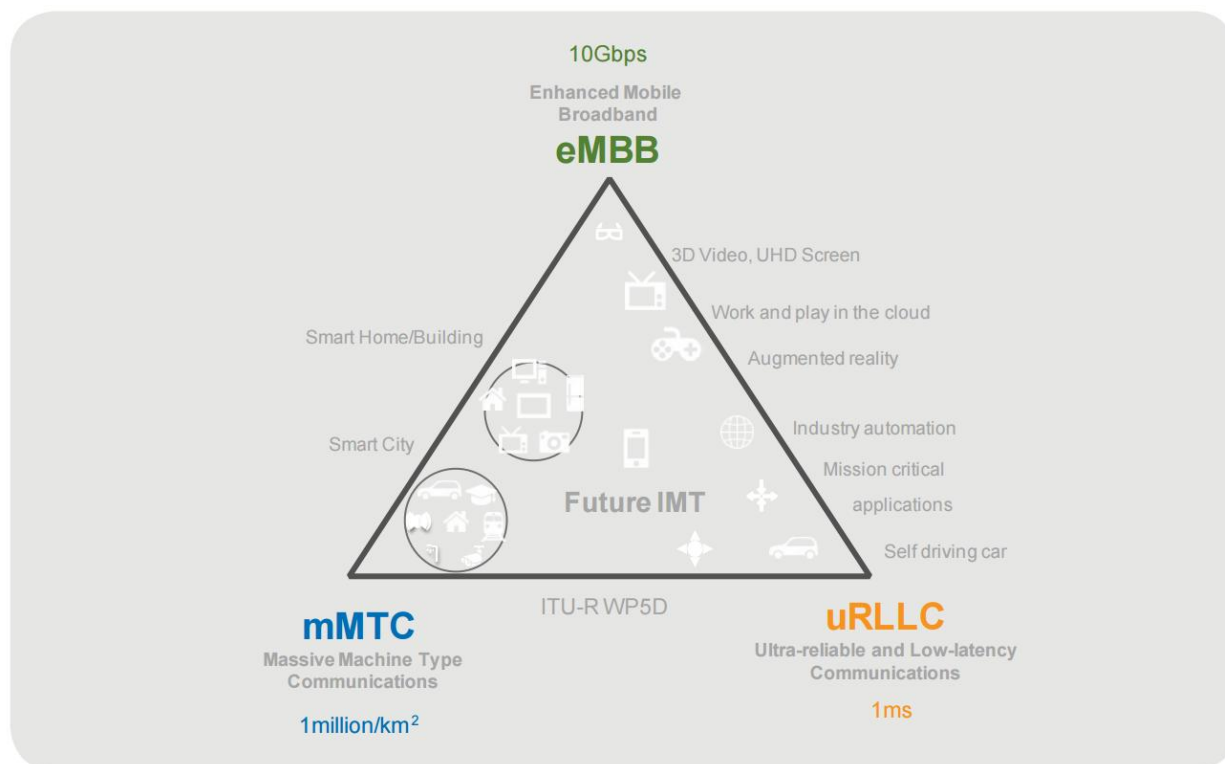
περίπτωση δεν αποτελεί μια από όλες την ιδανική λύση για το RAN. Αυτό έχει να κάνει με τις ειδικές ανάγκες του κάθε παρόχου και το κόστος της ώστε να κριθεί η βέλτιστη για αυτόν. Σύμφωνα με την εργασία “Cloud RAN or small cells?”^[40], η σύγκριση του συνολικού κόστους (TCO) συμπεριλαμβανομένου του κεφαλαιουχικού (CAPEX) και του λειτουργικού (OPEX) κόστος σε διάστημα 8 χρόνων, για το παραδοσιακό μοντέλο των μακρο-σταθμών βάσης του LTE, του LTE C-RAN και των μικροκυψελών του LTE τα αποτελέσματα αναδεικνύουν ως πιο ακριβή λύση το δίκτυο μικροκυψελών (2200\$), ακολουθεί το C-RAN (1800\$) και το φθηνότερη λύση αποτελεί το δίκτυο μικροκυψελών (600\$). Το κόστος μετρήθηκε ως κόστος συνολικής μεταφοράς Megabytes ανα δευτερόλεπτο.

Ως εκ τούτου, απασχολεί το πώς μπορεί να αξιοποιηθεί το C-RAN, φέρνοντας τα μέγιστα οφέλη ώστε να ξεπεράσει το υψηλό κόστος μεταφοράς δεδομένων που εμποδίζει την εξάπλωση του. Οι συνεργατικές μέθοδοι που παρουσιάστηκαν παραπάνω, όπως οι CoMP, η εξελιγμένη ICIC, μπορούν να υλοποιηθούν εξίσου αποδοτικά ή αποδοτικότερα στα δίκτυα μικροκελιών. Συνεπώς, υπάρχει συζήτηση διότι για το αν το C-RAN πρέπει να χρησιμοποιείται για περιπτώσεις ειδικού σκοπού όπως η κάλυψη ενός σταδίου ή πρέπει να γενικευτεί. Ωστόσο, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι οι οποίοι έχουν πρόσβαση σε δωρεάν ή φθηνά δίκτυα οπτικών ινών θεωρούν ελκυστική την λύση του Cloud RAN.

4 Βασικά επιχειρηματικά μοντέλα του δικτύου 5^{ης} γενιάς

Στην νέα εποχή που εισάγεται από τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς, προκύπτουν νέες απαιτήσεις από τα υπάρχοντα δίκτυα καθώς και νέες προκλήσεις σχετικά με την τεχνολογία και τα επιχειρηματικά μοντέλα. Τα δίκτυα νέας γενιάς όπως αναφέρεται και πιο πάνω πρέπει να ανταποκρίνονται σε ποικίλες ανάγκες. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει κατηγοριοποιήσει τις υπηρεσίες του 5G σε τρεις κατηγορίες: ενισχυμένες κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες (eMBB), κατ’ εξοχήν αξιόπιστες (Ultra-reliable) και χαμηλής-καθυστερήσης επικοινωνίες (uRLLC) και μαζική επικοινωνία μηχανών (mMTC). Οι ενισχυμένες κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες καλύπτουν την αυξανόμενη ζήτηση των χρηστών γύρω από τον ψηφιακό τρόπο ζωής και εστιάζει σε υπηρεσίες, οι οποίες έχουν υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (bandwidth), όπως για παράδειγμα οι υπηρεσίες μετάδοσης υψηλής ανάλυσης βίντεο (High Definition Videos), οι υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας (VR). Οι κατ’ εξοχήν αξιόπιστες και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίες ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της ψηφιακής βιομηχανίας, η οποία εστιάζει στις υπηρεσίες χαμηλής καθυστέρησης, όπως για παράδειγμα η υποβοηθούμενη και αυτόματη οδήγηση, καθώς και η απομακρυσμένη διαχείριση. Η μαζική επικοινωνία μηχανών ανταποκρίνεται στις ανάγκες για περαιτέρω ανάπτυξη της ψηφιακής κοινωνίας και εστιάζει σε υπηρεσίες οι οποίες περιλαμβάνουν υψηλές απαιτήσεις όσον αφορά την πυκνότητα των συνδέσεων, όπως για παράδειγμα οι έξυπνες πόλεις (smart cities) και η έξυπνη αγροτική παραγωγή (smart agriculture). Η

επέκταση του εύρους των υπηρεσιών για τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών εμπλουτίζει συνολικά το τηλεπικοινωνιακό και δικτυακό οικοσύστημα καθώς και μεγάλο μέρος των κλάδων της οικονομίας και της παραδοσιακής βιομηχανίας, όπως αυτός της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ενέργειας, της υγείας των οποίων τα διευθυντικά συστήματα συμμετέχουν στη δημιουργία του οικοσυστήματος αυτού. Το 5G είναι η αρχή της προώθησης της ψηφιοποίησης, ξεκινώντας από την προσωπική διασκέδαση και φτάνοντας μέχρι και την διασύνδεση ολόκληρης της κοινωνίας. Η ψηφιοποίηση δημιουργεί τεράστιες ευκαιρίες μέσα στη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών αλλά θέτει ταυτόχρονα και πολύ ισχυρές προκλήσεις σε τεχνολογικό επίπεδο.



Οι κοινωνικές, οικονομικές και επιχειρηματικές διαστάσεις του οράματος για τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς είναι τεράστιες. Οι κύριοι μηχανισμοί ελέγχου της σημερινής οικονομίας αποτελούνται ακόμη από την ανθρώπινη νόηση, προσήλωση, προσπάθεια και χρόνο. Επομένως, το ανθρώπινο δυναμικό αποτελεί ακόμη το πιο παραγωγικό τμήμα της οικονομίας. Αυτό έχει αποτέλεσμα την μετακίνηση μεγάλων βιομηχανικών μονάδων εκεί όπου η εργατική δύναμη πωλείται φθηνότερα, ώστε το κόστος παραγωγής να μειωθεί. Το όραμα των δικτύων 5^{ης} γενιάς θα συμβάλλει ώστε αυτή η τάση να αλλάξει, δημιουργώντας μια διάχυτη «νόηση των μηχανών» (machine intelligence) ικανή να μετασχηματίσει τα αποτελέσματα αυτής της τάσης της οικονομίας, λαμβάνοντας νοητικά καθήκοντα, τα οποία μέχρι πρότινος αναλάμβαναν μόνο άνθρωποι. Οι οργανισμοί θα εστιάσουν στην αξιοποίηση και εκμετάλλευση των τεχνολογιών αυτών γύρω από την μηχανική νόηση (machine intelligence), την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων (big data) καθώς και τη διασύνδεση/επικοινωνία μεταξύ οχημάτων δημιουργώντας νέες

θέσεις εργασίας βασισμένες σε αυτά τα πεδία. Αυτή η διαδικασία θα έχει μια σειρά από επιπτώσεις σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, καθώς θα μειωθεί η ανθρώπινη προσπάθεια σε διάφορες εργασίες στον αντίστοιχο βαθμό, με τον οποίο αυτές θα αυτοματοποιούνται (computerization & robotization), στοχεύοντας στη μείωση του λειτουργικού κόστους με ταυτόχρονη υψηλότερη ποιότητα, ασφαλέστερη εργασία και βελτιωμένες λειτουργικές συνθήκες. Συμπερασματικά, τα κόστη σε ανθρώπινο δυναμικό θα μειωθούν και πιθανότατα δεν θα αποτελούν πλέον τον κύριο οδηγό λήψης επενδυτικών αποφάσεων. Άρα, αντίστοιχα πιθανότατα θα δημιουργηθεί ένα πλήθος νέων επενδύσεων και θέσεων εργασίας μεγαλύτερος από αυτόν που θα εκλείψουν λόγω της αυτοματοποίησης της παραγωγής.

Το δίκτυα λοιπόν, συνολικά από έναν απλό αγωγό πληροφοριών θα αρχίσουν να μεταμορφώνονται σε νευραλγικό σύστημα της ψηφιακής κοινωνίας. Οι πάροχοι αντίστοιχα, εκμεταλλευόμενοι τα ίδια τους τα δίκτυα θα έχουν τη δυνατότητα να διαδραματίσουν ενεργό ρόλο σε αυτό, δημιουργώντας νέα επιχειρηματικά μοντέλα και θα βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση.

Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θα βοηθήσουν να προχωρήσουμε από τη λήψη πληροφορίας από τον κόσμο με τα δίκτυα αισθητήρων στην ίδια την αυτοματοποίηση του, μέσω της επεξεργασίας της πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο και με δυνατότητες ελέγχου αυτής. Κατ' αρχάς, μέσω του mobile edge computing, θα παρέχεται μία ρευστή διαδικασία επεξεργασίας, συσχετισμένη με την πολύ χαμηλή καθυστέρηση κατά τη μετάδοση της πληροφορίας (low latency). Δεύτερον, οι ειδικευμένες υπηρεσίες συνδεσιμότητας θα είναι διαθέσιμες σε εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών (guaranteed QoS), με αντίστοιχη αξιοπιστία και καθυστέρηση η οποία αρμόζει στις ανάγκες των κρίσιμων τομέων υπηρεσιών. Επιπλέον, τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θα φέρουν την απαιτούμενη εμπιστοσύνη ώστε να ενεργοποιηθεί με ασφάλεια το κομμάτι της βιομηχανίας του δικτύου των αντικειμένων (IoT), το οποίο θα προσφέρει καινοτόμες υπηρεσίες όπως αυτοματοποιημένη οδήγηση με ασφάλεια εκ της σχεδίασης. Τέλος, ξεπερνώντας της σημερινές υπηρεσίες της νεφοϋπολογιστικής (Cloud), θα εισαχθεί το μοντέλο παροχής των Πάντων ως υπηρεσίας (XaaS), το οποίο θα εξαπλωθεί σε όλους τους τομείς: υποδομές, πλατφόρμα ακόμη και στους ίδιους τους πόρους του δικτύου (πχ. Φάσμα). Θα ενεργοποιηθούν εντελώς νέες υπηρεσίες και επιχειρησιακά μοντέλα, όπως για παράδειγμα το Data and Knowledge as a Service, χάρις την ζήτηση ανάπτυξης εφαρμογών στην άκρη του δικτύου ή στις συσκευές των τελικών χρηστών. Αυτό θα ενισχύσει την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια στους παρόχους της υπηρεσίας XaaS ώστε να επεκτείνουν την προσφορά των υπηρεσιών αυτών και σε κρίσιμους τομείς και υποδομές. Όλοι οι τομείς σταδιακά θα μεταμορφωθούν σε πολυ-πολικές αποκεντρωμένες αξιακές αλυσίδες, οι οποίες ανασυγκροτούν συνεχώς τον εαυτό τους σε ένα περιβάλλον που αποτελείται από ένα πλήθος «παιχτών» (υπηρεσίες, πάροχοι, επιχειρηματικά μοντέλα). Το οικοσύστημα κινητής δικτύωσης εξελίσσεται από ένα περιβάλλον διμερών σχέσεων μεταξύ παρόχων κινητής και αντίστοιχων πελατών, σε έναν κόσμο από ειδικευμένες επιχειρήσεις, οι οποίες θα παρέχουν διαφορετικά κομμάτια αυτής της αξιακής αλυσίδας. Το Internet of Things προσφέρει μια ξεκάθαρη

αντανάκλαση αυτών των επιχειρηματικών σχέσεων, οι οποίες δεν είναι πια διμερείς: πχ οι τελικοί καταναλωτές δεν αποκτούν συνδρομή σε υπηρεσίες έξυπνων μετρητών ενέργειας (smart meters), αλλά η αντίστοιχη εταιρεία που τους προσφέρει την υπηρεσία της ενέργειας αναλαμβάνει να υλοποιήσει αυτή την πρόσβαση συνδεσιμότητας σύμφωνα με το αντίστοιχο συμβόλαιο εκ μέρους των πελατών της. Επιπρόσθετα, οι προμηθευτές διαδραματίζουν έναν ρόλο-κλειδί στην ανάπτυξη του βιομηχανικού δικτύου των πραγμάτων, με τα μεγάλης διάρκειας συμβόλαια που συνάπτουν με άλλους ενδιαφερόμενους από κάθετες αγορές. Αυτό λειτουργεί συμπληρωματικά για τις προσφορές των τηλεπικοινωνιακών παρόχων, λόγω της εμπειρίας τους στην παροχή ευρείας κλίμακας υπηρεσιών συνδεσιμότητας. Η τεχνολογία του virtualization, θα συνεισφέρει στην επιτάχυνση αυτής της τάσης. Μερικές κάθετες βιομηχανίες θα προσφέρουν υπηρεσίες στην κορυφή της τηλεπικοινωνιακής υποδομής, με τη μορφή της υπηρεσίας (as a Service). Άλλοι πάροχοι θα αναδιοργανωθούν ως εταιρείες και επιχειρήσεις. Η διαθεσιμότητα των πόρων στην άκρη του δικτύου και οι νέες δυνατότητες σχετικά με την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) θα επιτρέπουν στις κάθετες βιομηχανίες να αναπτύσσουν τις δικές τους κρίσιμες εφαρμογές σε μία διαμοιραζόμενη υποδομή, με το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας και την απαραίτητη προστασία της επεξεργασίας και των ίδιων των δεδομένων. Για παράδειγμα, τα τρένα στις μέρες μας έχουν την δική τους δικτυακή σηματοδότηση, η οποία θα μπορεί να παρέχεται από κάποια υπηρεσία κρίσιμων υποδομών από τα μελλοντικά δίκτυα 5^{ης} γενιάς. Με την έλευση των δικτύων 5^{ης} γενιάς, αναμένονται να εμφανιστούν και νέοι ρόλοι. Για παράδειγμα, θα εμφανιστούν διαχειριστές υποδομών, οι οποίοι θα προσφέρουν την υπηρεσία Μικρο-Κυψελών ως υπηρεσία (SCaaS). Τέτοιοι θα δύναται να είναι επιχειρήσεις του χώρου των μεταφορών, οι οποίοι θα αναλαμβάνουν τη μεταφορά των small cells σε οχήματα για την κάλυψη της ανάγκης σε έκτακτες συνθήκες που δεν έχουν μόνιμα χαρακτηριστικά. Μία από τις μεγάλες προκλήσεις λοιπόν που προκύπτουν είναι οι πάροχοι του IoT να εξειδικεύσουν τις αναλογίες των προϊόντων τους. Δηλαδή να αποστέλλουν πληροφορία στους πελάτες τους η οποία να έχει πραγματικά αξία για εκείνους.

Συμπερασματικά, το 5G θα ενεργοποιήσει νέους τρόπους χρεώσεων και τιμολόγησης βάσει πολλών παραμέτρων όπως η απόδοση, ο όγκος δεδομένων, η καθυστέρηση, η κινητικότητα των συσκευών, η επεξεργασία, η αποθήκευση η λειτουργία ή βάσει των γεγονότων σε πραγματικό χρόνο.

Μοντέλο του Παρόχου ως συνεργάτη as a Service

Το μοντέλο του Παρόχου Υπηρεσιών ως Συνεργάτη (Partner service provider) και το μοντέλο της παροχής οποιασδήποτε υπηρεσίας (XaaS), αναφέρεται ως υψηλή απαίτηση του 5G συστήματος, ώστε να επιτραπεί η δημιουργία διαφορετικών επιπέδων σχέσεων μεταξύ παρόχων/διαχειριστών και παρόχων εφαρμογών/υπηρεσιών. Εκμεταλλευόμενο την ευελιξία που περιγράψαμε, το 5G χρειάζεται να μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης και επιχειρηματικά μοντέλα όπως αυτά

είναι γνωστά σήμερα (πχ. Υποδομή ως υπηρεσία - IaaS, Πλατφόρμα ως υπηρεσία – PaaS, Δίκτυο ως υπηρεσία – NaaS).

Αντιστοίχως, η ίδια υποστήριξη πρέπει να ισχύει και για τη δημιουργία εξ' ολοκλήρου νέων επιχειρηματικών μοντέλων, τα οποία είτε έχουν ήδη σχεδιαστεί είτε θα προκύψουν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης και εξέλιξης του 5G. Η απαίτηση – κλειδί είναι ότι οι πάροχοι υπηρεσιών θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να παραμετροποιούν και να διαχειρίζονται την εκάστοτε υπηρεσία, ενώ οι διαχειριστές θα έχουν υπό την ευθύνη τους αποκλειστικά την διαχείριση και ανάπτυξη του δικτύου. Στην ίδια λογική, το 5G θα παρέχει ένα αφαιρετικό επίπεδο ως διεπαφή (interface), όπου όλοι οι τύποι των εσωτερικών λειτουργιών του δικτύου σχετικά με τη σηματοδότηση και τη μετάδοση δεδομένων (control plane and data plane) θα μπορούν να εκτίθενται σε επίπεδο λειτουργιών εφαρμογής (application layer) και/ή οι πάροχοι υπηρεσιών θα έχουν πρόσβαση βάσει της εκάστοτε συμφωνίας παροχής της υπηρεσίας (Service Level Agreement). Έτσι ο πάροχος της εφαρμογής/υπηρεσίας θα είναι ικανός να χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο των δυνατοτήτων του δικτύου με ευελιξία, με τη δυνατότητα παραμετροποίησης και προγραμματισμού, καθώς και να χρησιμοποιεί τους δικτυακούς πόρους ανάλογα με τις προτιμήσεις του. Αυτές οι προσβάσιμες στον πάροχο των υπηρεσιών, εσωτερικές λειτουργίες του δικτύου ή οι αντίστοιχες πληροφορίες πιθανότατα θα περιέχουν δυνατότητες χρέωσης, αυθεντικοποίησης, κινητικότητας, λειτουργίες αξιοπιστίας, ίχνη χρηστών των αντίστοιχων υπηρεσιών κλπ. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές τρίτων θα μπορούσαν να χρεώνονται βάσει ενός εναλλακτικού μοντέλου χρέωσης, όπως από την κίνηση που δημιουργεί ο χρήστης μέσω της εφαρμογής. Οι διαχειριστές μπορούν να παρέχουν είτε σταθερά είτε κατόπιν ζήτησης μία «έξυπνη» εφαρμογή διαχείρισης της κίνησης (traffic management), «παρακολουθώντας» την παρουσία του εξοπλισμού ενός χρήστη (UE – User Equipment) σε μια συγκεκριμένη περιοχή χωρίς να παραβιάζεται όμως το απόρρητο του χρήστη. Κάποιες πληροφορίες ραδιομετάδοσης, μπορούν επίσης να εκτεθούν, τέτοια είναι για παράδειγμα η φόρτωση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, η ποιότητα των υπηρεσιών (QoS), αναφορές μετρήσεων σχετικά με τον εξοπλισμό χρήστη, κινητικότητα, ένταση σήματος κ.ά. Για παράδειγμα, η «αυτόματη» προσαρμογή των ρυθμίσεων μετάδοσης όσον αφορά την ποιότητα – ρυθμό μετάδοσης (Bit Rate), από κάποια εφαρμογή βίντεο σε πραγματικό χρόνο (Real-time QoS), βελτιώνοντας έτσι την εμπειρία χρήστη.

Πάροχοι Συνδεσιμότητας (Connectivity Providers)

Η παροχή συνδεσιμότητας ως υπηρεσία και επιχειρηματικό μοντέλο εφαρμόζεται σε λύσεις λιανικής και χονδρικής, αφορά δηλαδή τελικούς χρήστες καθώς και μεταπωλητές - πάροχοι της υπηρεσίας αυτής. Θεωρείται ότι οι πελάτες της υπηρεσίας είναι αποκομμένοι από την υποδομή του φυσικού δικτύου κι έχουν είτε ελάχιστα δικαιώματα παραμετροποίησης είτε καθόλου (τελικοί χρήστες). Τα συστήματα 5^{ης} γενιάς ενισχύουν την αποδοτικότητα αυτού του επιχειρησιακού μοντέλου, καθιστώντας τον πάροχο – μεταπωλητή της υπηρεσίας ικανό να παραμετροποιήσει την ροή δεδομένων ώστε να χρησιμοποιούνται μόνο οι απαραίτητες λειτουργίες του δικτύου, ανάλογα με τη

ζήτηση και με προγραμματίσιμο τρόπο, ώστε να βελτιστοποιείται το λειτουργικό και διαχειριστικό κόστος του. Αυτό απαιτεί η αρχιτεκτονική του δικτύου να είναι αρθρωτή (modular), δίνοντας τη δυνατότητα να στο 5G να παρέχεται ως υπηρεσία και το ίδιο να ισχύει για την παραμετροποίηση του επίσης.

Μοντέλο Διαμοιρασμού Δικτύου (Network Sharing Model)

Το μοντέλο διαμοιρασμού του δικτύου ως επιχειρηματικό μοντέλο εισάγει την σχέση μεταξύ του παρόχου υπηρεσιών και του διαχειριστή (operator) του δικτύου από το οποίο αυτές παρέχονται, καθώς και ανάμεσα στους διαχειριστές οι οποίοι είναι και ιδιοκτήτες των δικτύων, όσον αφορά την φυσική υποδομή των δικτύων αυτών. Το σύστημα 5G απαιτείται να παρέχει και να αναπτύξει μεθόδους και εργαλεία για πολλά σχήματα διαμοιρασμού ώστε να μεγιστοποιήσει τις συνολικές συνέργειες, οι οποίες θα ορίζονται νομικά μέσω των συμφωνιών διαμοιρασμού των δικτύων (network sharing agreements), ώστε να ενεργοποιηθούν τα ευέλικτα επιχειρηματικά μοντέλα που περιγράφονται συνολικά και οι εμπορικές σχέσεις οι οποίες πιθανόν να αλλάξουν ραγδαία. Αυτό απαιτείται επίσης, να εφαρμοστεί και στα παρόντα μοντέλα διαμοιρασμού των δικτύων. Με το 5G σύστημα, θα είναι δυνατόν να παρέχεται επάρκεια και ευελιξία ώστε να εξυπηρετήσει τις δυναμικές ανάγκες χωρητικότητας των φιλοξενούμενων διαχειριστών δικτύων σε πραγματικό χρόνο (πχ. για τον διαμοιρασμό χωρητικότητας, όπου οι πόροι του δικτύου παρέχονται δυναμικά κατόπιν υποβολής προσφοράς). Οι τεχνικές δυνατότητες θα πρέπει να περιλαμβάνουν διαμοιρασμό και επαναχρησιμοποίηση φάσματος, ενισχυμένες τεχνικές κινητικότητας και ενισχυμένους μηχανισμούς πρόσβασης στο δίκτυο, πρόσβασης σε σημεία του, σε κόμβους, και επιλογή φάσματος σε επίπεδο πολιτικής του διαχειριστή του δικτύου.

Anything as a Service (XaaS)

Ο σχεδιασμός των συστημάτων 5^{ης} γενιάς χρειάζεται να είναι όσο το δυνατόν πιο ευέλικτος γίνεται, όντας βασισμένος στις τεχνολογίες NFV, SDN και της νεφοϋπολογιστικής. Αυτή η ικανότητα συνεισφέρει στην δημιουργία στιγμιότυπων (instances) Εικονικών Δικτυακών Πόρων (VNI) ανά πάσα στιγμή προκύψει η ανάγκη αυτή παράλληλα με την σύνθεση Εικονικών Δικτυακών Λειτουργιών (VNF) για παράδειγμα όσον αφορά τα δομικά στοιχεία του LTE, Packet Data Network Gateway - PGW και ένα Serving Gateway – SGW και την αντίστοιχη δημιουργία διαφόρων instances ανάλογα με τις αυξομειώσεις τις κίνησης δεδομένων στο δίκτυο.

Στο μεταξύ, η τάση της κατανομής/αποκεντροποίησης της αρχιτεκτονικής του cloud που υπάρχει, στη μορφή του cloudlet θα μπορούσε να καταστήσει δυνατή την τοποθέτηση των VNFs κοντά στον χρήστη. Αυτό θα μείωνε την επικοινωνία από άκρο σε άκρο, μεταξύ των τελικών χρηστών και των τελικών εξυπηρετητών (servers), πράγμα που σίγουρα θα βελτιώσει στα σίγουρα την εμπειρία του χρήστη (QoE). Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς πρέπει να επιτρέπουν στους παρόχους να δημιουργούν και να ελέγχουν με έναν δυναμικό τρόπο τις υπηρεσίες δικτύου, ώστε να στοχεύεται η βελτιστοποίηση της αξιοποίησης των δικτυακών πόρων, για παράδειγμα προσωρινή αποθήκευση δεδομένων, αποφόρτωση κίνησης ή βελτιστοποίηση μιας συγκεκριμένης εφαρμογής. Η

έννοια του Anything as a Service, εκμεταλλευόμενοι την δημιουργία βάσει ζήτησης και την ενορχήστρωση – έλεγχο όλων των υπηρεσιών 5^{ης} γενιάς, ενεργοποιημένοι από τις τεχνολογίες του cloud και των NFV επιτρέπει την δημιουργία ενός ή περισσότερων δικτυακών πόρων, μαζί με την ολοκλήρωση τους. Ανάμεσα στα στιγμιότυπα των υπηρεσιών του XaaS μπορεί να εκδοθούν και τα εξής:

- Mobile CDN as a Service: αυτή η υπηρεσία δημιουργεί και διαχειρίζεται ένα στιγμιότυπο υπηρεσίας ενός εικονικού CDN, όπου τα στιγμιότυπα του CDN VNF (πχ. Video on demand) δημιουργούνται και τοποθετούνται στρατηγικά κοντά στους χρήστες σύμφωνα με κάποια λογική πχ. γεωγραφική κατανομή, πρότυπα κινητικότητας χρηστών κλπ.
- Traffic Offload as a Service: αυτή η υπηρεσία δημιουργεί και επιτρέπει τη διαχείριση ενός εικονικού Local Gateway (L-GW), το οποίο έχει τη δυνατότητα αποφόρτωσης της κίνησης IP από συγκεκριμένα δίκτυα όπως καθορίζει η πολιτική ενός παρόχου.

Η ιδέα του XaaS ίσως να δημιουργεί μία μοναδική υπηρεσία που θα λειτουργεί μόνη της ή πολλαπλές υπηρεσίες βεβαιώνοντας την αποδοτική αλληλο-ολοκλήρωση μεταξύ τους. Για παράδειγμα οι παραπάνω υπηρεσίες θα μπορούσαν να δημιουργηθούν η κάθε μία μόνη της ή θα μπορούσαν αν διαδραματίσουν μεταξύ τους συμπληρωματικό ρόλο.

Επομένως, το XaaS αναφέρεται σε εκείνες τις υπηρεσίες οι οποίες ξεπερνούν το υπάρχων μοντέλο πλατφόρμας λογισμικού και υποδομής (SPI), δηλαδή τα SaaS, PaaS, IaaS της νεφοϋπολογιστικής, το επεκτείνουν και καθιστούν εφικτά και άλλα μοντέλα υπηρεσιών όπως τα εξής: Data as a service, Security as a service, Knowledge as a service, Machine as a service, Robot as a service κ.ο.κ. Όλες αυτές οι υπηρεσίες θα μπορούν να μεταφερθούν πάνω από την υποδομή του 5G χωρίς να χρειάζονται αποκλειστικά το δικό τους υλικό, λογισμικό και τα γνωστικά τους αντικείμενα.

Radio-Access-Network-as-a-service (RANaaS)

Το πιο βασικό και σημαντικό κομμάτι που δεν αλλάζει άρδην παρόλη την εξέλιξη προς τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς είναι ότι η κύρια υποδομή της πρόσβασης του δικτύου είναι η ασύρματη υποδομή και οι αντίστοιχοι πόροι, οι οποίοι αποτελούν τη βάση του δικτύου για κάθε υπηρεσία. Ως εκ τούτου, ένα τέτοιο σύστημα που η βασική αρχή του είναι να είναι προσανατολισμένο στις υπηρεσίες, θα πρέπει να είναι ικανό να προσφέρει και το κομμάτι της ασύρματης πρόσβασης ως υπηρεσία (RANaaS). Το RANaaS συνήθως θεωρείται ένα από τα προϊόντα των δικτύων βασισμένων στη νεφοϋπολογιστική πχ. Cloud-RAN, όπου όλες οι λειτουργίες του RAN εκτελούνται κεντρικά.

Παρόλα αυτά μπορούμε να αναθεωρήσουμε την υπηρεσία αυτή και να δούμε ότι είναι εφικτός ένας διαχωρισμός σε παραπάνω από μία κατηγορία υπηρεσίας, όπως οι εξής: Infrastructure-as-a-Service (IaaS), Radio-Resources-as-a-Service (RaaS) και Radio-Access-as-a-service (RAaaS), όπου το υλικό το λογισμικό και οι πόροι χειρίζονται ξεχωριστά και κανονικά ενόψει μιας ευέλικτης και προγραμματίσιμης υπηρεσίας 5^{ης} γενιάς, της Radio Access Network as a Service.

Infrastructure-as-a-Service (IaaS)

Σε αντίθεση με το τωρινό σύστημα 4^{ης} γενιάς στο οποίο κυριαρχούν οι σταθμοί βάσης ή στα προγενέστερα, στο σύστημα 5^{ης} γενιάς αναμένεται η υποδομή ως ιδέα να εμπλουτισθεί σημαντικά, λόγω της μαζικής ανάπτυξης διαφορετικών τύπων σταθμών βάσεων και την εξαιρετική πυκνότητα τους, λόγω της ανάπτυξης οντοτήτων προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων, υπολογιστικά κέντρων, μηχανών, αισθητήρων και μονάδων συλλογής ενέργειας. Η εκρηκτική ανάπτυξη αυτών των δικτυακών στοιχείων μπορεί να αυξήσει συνεπώς, τη ζήτηση για υλικό υποστήριξης, όπως για τον κορμό του δικτύου και οι μονάδες ελέγχου των πόρων ραδιοσυχνοτήτων. Στον σκελετό του IaaS, κάθε συνδυασμός αυτών των πλεονεκτημάτων του 5G μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος υπηρεσίας προσφερόμενο από τον InSP.

Radio-Access-as-a-Service (RAaaS)

Όταν όλο το RAN είναι διαχωρισμένο, η υποδομή και η ασύρματη πρόσβαση μπορούν να διαχειρίζονται ξεχωριστά, πράγμα που καθιστά εφικτή την καινοτόμα ιδέα του RAaaS, όπου μερικές λειτουργίες του RAN που ανήκουν στην στοίβα πρωτοκόλλων της διεπαφής των ραδιοσυχνοτήτων μπορούν να αντιμετωπιστούν και να προσφερθούν ως υπηρεσίες. Σε αυτή την λογική όλα τα λογισμικά που σχετίζονται με την ασύρματη πρόσβαση, όπως η σηματοδότηση, η πρόσβαση και ο έλεγχος εισόδου, ο ελεγκτής δικτύου ραδιοσυχνοτήτων, οι πύλες και άλλα πρωτόκολλα του RAN είναι εικονοποιημένα ως λειτουργίες. Όλες αυτές οι λειτουργίες του RAN ή κομμάτια αυτών μπορούν να προσφερθούν ως υπηρεσίες από την πλατφόρμα RANaaS στον NSP, ο οποίος προσαρμόζει, παραμετροποιεί και επεκτείνει την λειτουργία σύμφωνα με τις ανάγκες τις εκάστοτε κίνησης, μένοντας συντονισμένος με τις απαιτήσεις του κορμού του δικτύου και του δικτύου ασύρματης πρόσβασης.

Radio-resources-as-a-Service (RaaS)

Στα εικονοποιημένα δίκτυα, μετά από την αφαίρεση, την μόνωση και την τμηματοποίηση, την επεκτασιμότητα των πόρων ασύρματης πρόσβασης μπορούν να ελεγχθούν και βελτιστοποιηθούν, και ίσως μπορούν να δεξαμενοποιηθούν ανεξαρτήτως τοποθεσίας, με διαφάνεια προς τον NSP ή απευθείας στους τελικούς χρήστες. Στην πλατφόρμα του RaaS, οι πόροι των ραδιοσυχνοτήτων μπορούν να γίνουν αφαιρετικοί, να απομονωθούν, να αντιστοιχηθούν και να τμηματοποιηθούν σύμφωνα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις, και τέλος να προσφερθούν ως υπηρεσία. Έτσι οι διαθέσιμοι πόροι ραδιοσυχνοτήτων μπορούν να αξιοποιηθούν πιο αποδοτικά, επιτρέποντας σε διαφορετικά μέρη να μοιράζονται το ίδιο φάσμα συχνοτήτων.

Η κεντρικοποίηση της επεξεργασίας και της διαχείρισης των δικτύων 5^{ης} γενιάς δικτύων χρειάζεται να είναι ευέλικτη ώστε να προσαρμόζεται στις πραγματικές απαιτήσεις των υπηρεσιών. Αυτό θα οδηγήσει σε μια ισορροπία μεταξύ ενός πλήρως κεντρικοποιημένου συστήματος, όπως το C-RAN και ενός αποκεντρωμένου δικτύου όπως είναι σήμερα το υπάρχων δίκτυο ασύρματης και κινητής επικοινωνίας. Αυτή η ισορροπία ουσιαστικά δημιουργείται από την ιδέα του RANaaS, η οποία μερικώς κεντρικοποιεί τις λειτουργίες του RAN αναλόγως των πραγματικών αναγκών όπως για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά του δικτύου.

Το RANaaS είναι ουσιαστικά μια εφαρμογή του προαναφερθέντος XaaS, το οποίο υποστηρίζει ότι καθετί μπορεί στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς να προσφερθεί με την μορφή της υπηρεσίας, πιθανότητα κεντρικά μέσω της cloud πλατφόρμας. Αυτό επιτρέπει την

πλήρη εκμετάλλευση του αποθηκευτικού χώρου και των επεξεργαστικών δυνατοτήτων που παρέχονται από αυτές τις πλατφόρμες. Ο σχεδιασμός αυτός ενεργοποιεί την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα ως εξής:

- Ανάλογα με την συνδεσιμότητα του δικτύου, το RAN είναι κεντριοποιημένο και η κατάλληλη λειτουργία λογισμικού χρησιμοποιείται
- Οι πραγματικές περιπτώσεις χρήσης και τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε κίνησης να επιλέγονται οι κατάλληλοι αλγόριθμοι που ταιριάζουν σε αυτές
- Μπορούν να χρησιμοποιούνται οι τελευταίες υλοποιήσεις του λογισμικού και οι πιο νέοι αλγόριθμοι, οι οποίοι εκμεταλλεύονται την διαθεσιμότητα των πόρων στα data center πιο αποδοτικά

Data – Knowledge as a Service (DKaaS)

Τα επεκτάσιμα ασύρματα δίκτυα αναδύονται ακόμη σαν κρίσιμος τομέας συνεισφοράς στα δεδομένα πάνω από τη διεπαφή του αέρα, ενώ προχωράμε στην εποχή των τεράστιων όγκων δεδομένων (Big Data Era). Η εικονοποίηση των big data μπορεί να ληφθεί από τη σκοπιά του πιο πολύτιμου μέσου το οποίο τους δίνει νόημα και τα κάνει πιο ελκυστικά στους παρόχους διαδικτυακών υπηρεσιών (NSPs). Διαμέσου της εικονοποίησης οι μεγάλοι όγκοι δεδομένων μπορούν να γίνουν πιο αφηρημένοι, να χαρακτηριστούν και να εικονοποιηθούν στην πιο πολύτιμη γνώση, ώστε να είναι ικανή να βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων.

Στην ίδια λογική, η εικονοποίηση εξελίσσεται σε ένα κρίσιμο εργαλείο για την διαβίβαση πληροφορίας σε όλες τις αναλύσεις δεδομένων, η οποία εισάγει και την πρόταση της ύπαρξης του μοντέλου υπηρεσίας Data and Knowledge as a Service (DKaaS). Στο μεταξύ το γεγονός ότι η διανομή τεράστιου όγκου δεδομένων πάνω από ασύρματα δίκτυα πραγματικά απασχολεί μεγάλο ποσοστό των ασύρματων δικτυακών πόρων, όπως το φάσμα, η ισχύς, ο αποθηκευτικός χώρος, ή ακόμη και το πίσω μέρος του δικτύου (backhaul), είναι προτιμότερο τα δεδομένα να επεξεργάζονται τοπικά και να συγκεντρώνεται κεντρικά μόνο η απολύτως απαραίτητη πληροφορία, πράγμα που ανοίγει τον ορίζοντα για την εισαγωγή τρίτων στο επιχειρηματικό αυτό μοντέλο.

Κάθε τοπικός οργανισμός ή μεμονωμένο πρόσωπο το οποίο έχει την ικανότητα να συγκεντρώνει δεδομένα ή να επεξεργάζεται δεδομένα μπορεί να γίνει ο Infrastructure Service Provider και να προσφέρει την απαιτούμενη πληροφορία στους NSPs. Για παράδειγμα, μία επιχείρηση ανάλυσης δεδομένων και μια εταιρεία με έξυπνα αξεσουάρ (smart wearables) μπορούν να παρέχουν τέτοιο περιεχόμενο ως υπηρεσία, δηλαδή να γίνουν DKaaS. Όταν αυτή η διαδικασία γενικευτεί η ευθύνη της μετάδοσης και ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων από τον NSP, να γίνεται από αφιερωμένες επινοικιασμένες οντότητες και έτσι οι ασύρματοι πόροι του δικτύου να μπορούν να αξιοποιηθούν καλύτερα παρέχοντας καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) προς τους χρήστες.

5 Συμπεράσματα

Ξεχωρίζοντας μερικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την βιβλιογραφική μας έρευνα θα μπορούσαμε να σημειώσουμε ότι όσο εξελίσσεται ο τομέας των ασύρματων και κινητών δικτύων, προκύπτουν για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και τους προμηθευτές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού (υλικού και λογισμικού), νέες ευκαιρίες και νέες δυνατότητες. Οι ευκαιρίες που προκύπτουν από την εξέλιξη και την μετάβαση στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς βρίσκονται κυρίως στον τομέα της ύπαρξης νέων μοντέλων υπηρεσιών κινητής και νέων περιπτώσεων χρήσης.

Παράλληλα όμως υπάρχουν και πολλές προκλήσεις στον ίδιο τομέα, από την οικονομική σταθερότητα και βιωσιμότητα, η οποία θα έχει να κάνει με την ήδη υπάρχουσα αρχιτεκτονική του LTE μέχρι και την ικανοποίηση των υψηλών και αυστηρών απαιτήσεων για την μετάβαση στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς.

Το κομμάτι της αρχιτεκτονικής των δικτύων 5^{ης} γενιάς που αφορά το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Αντίστοιχα, σημαντικοί παράγοντες που θα κατευθύνουν τις εξελίξεις αυτές είναι οι εξής:

- Η ανάπτυξη ετερογενών δικτύων, αναμειγνύοντας μακρο-κυψέλες και μικρο-κυψέλες, καθώς και νέες συχνότητες με ουσιαστικά διαφορετική κάλυψη
- Η υιοθέτηση της εικονοποίησης των δικτυακών λειτουργιών (NFV)
- Η ανάγκη για διαχωρισμό και ανεξάρτητη κλιμάκωση της επεξεργασίας των διαφορετικών πρωτοκόλλων που αφορούν το RAN επίπεδο
- Η ανάγκη για υποστήριξη διαφορετικών δικτυακών δυνατοτήτων μεταφοράς της πληροφορίας

Η βιομηχανία έχει στραμμένο το βλέμμα της στην μετατροπή του RAN όπως υπάρχει σήμερα σε μια αρχιτεκτονική Cloud RAN, όπως περιγράψαμε και παραπάνω εκμεταλλεύομενη τον συντονισμό, την κεντρικοποίηση και τις τεχνικές εικονοποίησης. Μια πολλά υποσχόμενη ιδέα είναι αυτή της υλοποίησης μερών της στοίβας πρωτοκόλλων του RAN ως Εικονοποιημένες Δικτυακές Λειτουργίες (VNFs) σε ένα περιβάλλον ενός data center. Με αυτόν τον τρόπο εισάγεται η αρχιτεκτονική του εικονοποιημένου RAN.

Εκτός των πλεονεκτημάτων των NFV, όπως η δυνατότητα να ενεργοποιούνται οι δικτυακές λειτουργίες ανάλογα με τη ζήτηση (on demand), ένας διαχωρισμός των αρχιτεκτονικών θα βελτιώσει την συνεργασία μεταξύ των κελιών και των επιπέδων. Αυτός ο στόχος είναι πολύ πιο σημαντικός αν αναλογιστούμε την εισαγωγή νέων υψηλότερων συχνοτήτων που εισάγονται στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς. Στην πράξη το Cloud RAN θα ενεργοποιήσει διαφορετικά επίπεδα συντονισμού των ραδιοσυχνοτήτων ανάλογα με τον βαθμό κεντρικοποίησης του RAN και τις δυνατότητες που θα υπάρχουν από την αντίστοιχη υποδομή μεταφοράς (transport network infrastructure). Επομένως, το Cloud RAN θα αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό εργαλείο υποστήριξης της εισαγωγής στην υποδομή και τις υπηρεσίες 5^{ης} γενιάς με αποδοτικό οικονομικά τρόπο.

Όσον αφορά τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα, αυτά ενεργοποιούνται από τις νέες δυνατότητες και απαιτήσεις των δικτύων 5^{ης} γενιάς. Πολύ βασικές ιδέες είναι αυτές του

διαμοιρασμού της υποδομής και των πόρων ραδιοσυχνοτήτων. Η εικονοποίηση του ασύρματου δικτύου αναδύεται ως η λύση για την μείωση του κόστους διαχείρισης και λειτουργίας του ασύρματου δικτύου.

Το όραμα των συστημάτων και δικτύων 5^{ης} γενιάς είναι αρκετά καινοτόμο και εισάγει πολλά νέα στοιχεία για τα μελλοντικά δίκτυα, καταργώντας τον περιορισμό των πόρων του υλικού, των ασύρματων πόρων, ακόμα και του λογισμικού. Ειδικότερα βασισμένο στην ιδέα της εικονοποίησης, το δίκτυο 5^{ης} γενιάς θα είναι ικανό να προσφέρει τα Πάντα ως Υπηρεσία (XaaS). Αυτό που ξεπροβάλλει μπροστά μας είναι μια συνολικά νέα ασύρματη αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες.

Σίγουρα παραμένουν ανοιχτά πάρα πολλά ζητήματα, τα οποία θα λύνονται και θα προχωρούν στον αντίστοιχο βαθμό που καταλήγουν και προτυποποιούνται οι διαδικασίες και οι απαιτήσεις από τους αντίστοιχους οργανισμούς, όπως οι οργανισμοί προτυποποίησης, οι πάροχοι και οι προμηθευτές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού. Υπάρχουν πολλές προκλήσεις και ανοιχτά ερευνητικά πεδία σχετικά με όλα τα θέματα που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία, τα οποία βρίσκονται ακόμα υπο έρευνα και συζήτηση.

Βιβλιογραφία

- [1] Horizon 2020 and Beyond: On the 5G Operating System for a True Digital Society, **Article** in IEEE Vehicular Technology Magazine 10(1):32-42 · March 2015, Impact Factor: 1.75 · DOI: 10.1109/MVT.2014.2380581 , David Soldani, Antonio Manzalini
- [2] [5G White Paper, by NGMN Alliance, version 1.0, 17 February 2015, Rachid El Hattachi/ Javan Erfanian](#)
- [3] Towards Service-oriented 5G: Virtualizing the Networks for Everything-as-a-Service Zheng Chang, Member of IEEE, Zhenyu Zhou, Member of IEEE, Sheng Zhou, Member of IEEE, Tapani Ristaniemi, Senior Member of IEEE, and Zhisheng Niu, Fellow of IEEE
- [4] [5gpp Empowering vertical industries](#)
- [5] [ITU towards “IMT for 2020 and beyond”](#)
- [6] [5G PPP Architecture Working Group View on 5G Architecture](#)
- [7] [NGMN - Next Generation Mobile Networks](#)
- [8] Huawei 5G-Network-Architecture-Whitepaper
- [9] RAN Architecture Options and Performance for 5G Network Evolution, Huaning Niu, Clara (Qian) Li, Apostolos Papathanassiou, Geng Wu, Standards and Advanced Technology, Mobile and Communications Group, Intel Corporation Santa Clara, CA, USA
- [10] Enabling and challenges for 5G Technologies, Chedia JARRAY, Asma BOUABID, Belgacem HIBANI, UR MACS, ENIG-University of Gabes, Rue Omar Ibn Elkhatab, 6029 Gabes, Tunisia
- [11] Cloud Radio Access Network: Virtualizing Wireless Access for Dense Heterogeneous Systems Osvaldo Simeone, Andreas Maeder, Mugen Peng, Onur Sahin, and Wei Yu
- [12] A 5G Infrastructure for “Anything-as-a-Service” Soldani - Huawei European Research Institute, Germany and Manzalini - Telecom Italia, Italy <http://www.omicsgroup.org/journals/a-g-infrastructure-for-anythingasaservice-2167-0919-114.pdf>
- [13] M. Agiwal, A. Roy and N. Saxena, "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 3, pp. 1617-1655, thirdquarter 2016.doi: 10.1109/COMST.2016.2532458
- [14] A. Checko et al., "Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 405-426, Firstquarter 2015. doi: 10.1109/COMST.2014.2355255
- [15] 5G Mobile and Wireless Communications Technology, Authors: Afif Osseiran, Jose F. Monserrat, Patrick Marsch, Cambridge University Press © 2016 ISBN: 9781107130098

- [16] Autonomous Vehicles: Mass Adoption Predicted for 2050, http://www.atelier.net/en/trends/articles/autonomous-vehicles-mass-adoption-predicted-2050_436634
- [17] IMT-2020 (5G) promotion group, "5G vision and requirements", May 2014.
- [18] Y. Lin, L. Shao, Z. Zhu, Q. Wang, and R. K. Sabhikhi, "Wireless network cloud: Architecture and system requirements," IBM J. Res. Develop., vol. 54, no. 1, pp. 4:1–4:12, Jan./Feb. 2010.
- [19] "C-RAN the road towards green ran," China Mobile Research Institute, Beijing, China, Oct. 2011, Tech. Rep
- [20] Cloud RAN Architecture for 5G, A Telefónica White Paper Prepared in collaboration with Ericsson
- [21] Ericsson White paper, 284 23-3251, January 2015, 5G Systems , Enabling Industry and Society Transformation
- [22] Networks and Devices for the 5G Era, Boyd Bangerter, Shilpa Talwar, Reza Arefi, and Ken Stewart, Intel
- [23] Q.C. Li, H. Niu, G. Wu and R.Q. Hu, "Anchor-booster based heterogeneous networks with mmWave capable booster cells," 2013 IEEE Globecom Workshops Atlanta, GA, 2013, pp. 93-98, doi: 10.1109/GLOCOMW.2013.6824968
- [24] K. Dimou et al., "Handover within 3GPP LTE: Design Principles and Performance," Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), 2009 IEEE 70th, Anchorage, AK, 2009, pp. 1-5., doi: 10.1109/VETEFCF.2009.5378909
- [25] "Carrier Aggregation Explained", Author: Jeanette Wannstrom, for 3GPP, (Submission, June 2013), <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>
- [26] "Network Functions Virtualisation, An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action", published on October 22-24, 2012 at the "SDN and OpenFlow World Congress", Darmstadt-Germany, http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf
- [27] Coordinated Multipoint (CoMP) Reception and Transmission for LTE-Advanced/4G, Authors: Satnam Singh, Amit Kumar, Dr. Sawtantar Singh Khurmi, Tanvir Singh
- [28] B. Han, V. Gopalakrishnan, L. Ji and S. Lee, "Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations," in IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 2, pp. 90-97, Feb. 2015. doi: 10.1109/MCOM.2015.7045396
- [29] "Bringing Network Function Virtualization to LTE", 4G Americas, November 2014, http://www.4gamericas.org/files/1014/1653/1309/4G_Americas_-_NFV_to_LTE_-_November_2014_-_FINAL.pdf

- [30] SDN and Virtualization-Based LTE Mobile Network Architectures: A Comprehensive Survey, Authors Van-Giang Nguyen, Truong-Xuan Do, YoungHan Kim, 06 August 2015
- [31] J. Segel, "LightRadio Portfolio: White Paper 3," Boulogne-Billancourt, France, 2011, Tech. Rep.
- [32] "Cloud RAN introduction. The 4th CJK international workshop technology evolution and spectrum," Shenzhen, China, Sep. 2011.
- [33] "ZTE green technology innovations white paper," Shenzhen, China, 2011, Tech. Rep.
- [34] "Intel heterogenous network solution brief," Santa Clara, CA, USA, 2011, Tech. Rep.
- [35] T. Flanagan, "Creating cloud base stations with TI's keystone multicore architecture," Dallas, TX, USA, Oct. 2011, Tech. Rep.
- [36] I. Chih-Lin et al., "Toward green and soft: A 5g perspective," IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 2, pp. 66–73, Feb. 2014.
- [37] H. Guan, T. Kolding, and P. Merz, "Discovery of cloud-RAN," Nokia Siemens Netw., Zoetermeer, The Netherlands, Apr. 2010, Tech. Rep
- [38] I. Hwang, B. Song, and S. Soliman, "A holistic view on hyper-dense, heterogeneous and small cell networks," IEEE Commun. Mag., vol. 51, no. 6, pp. 20–27, Jun. 2013.
- [39] W. Liu, S. Han, C. Yang, and C. Sun, "Massive MIMO or small cellnetwork: Who is more energy efficient?" in Proc. IEEE WCNCW, 2013, pp. 24–29.
- [40] J. Madden, "Cloud RAN or small cells?" Campbell, CA, USA, Apr. 2013, Tech. Rep.
- [41] J. F. Monserrat et al., "Rethinking the mobile and wireless network architecture: The METIS research into 5G," Networks and Communications (EuCNC), 2014 European Conference on, Bologna, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/EuCNC.2014.6882682
- [42] M. Peng, Y. Li, Z. Zhao and C. Wang, "System architecture and key technologies for 5G heterogeneous cloud radio access networks," in IEEE Network, vol. 29, no. 2, pp. 6-14, March-April 2015, doi: 10.1109/MNET.2015.7064897
- [43] Common Public Radio Interface (CPRI); Interface Specification V6.0, Aug. 2013, http://www.cpri.info/downloads/CPRI_v_6_0_2013-08-30.pdf
- [44] Open Base Station Architecture Initiative (OBSAI) BTS System Reference, Document Version 2.0, 2006.
- [45] "Open Radio equipment Interface (ORI), ORI Interface Specification, Part 1: Low Layers (Release 1)," Sophia Antipolis Cedex, France, ETSI GS ORI 002-1 V1.1.1 (2011-10).

- [46] "Open Radio equipment Interface (ORI), ORI interface specification, Part 2: Control and management (Release 1)," Sophia Antipolis Cedex, France, ETSI GS ORI 002-2 V1.1.1 (2012-08).
- [47] S. Zhou, M. Zhao, X. Xu, J. Wang, and Y. Yao, "Distributed wireless, communication system: A new architecture for future public wireless access," IEEE Commun. Mag., vol. 41, no. 3, pp. 108–113, Mar. 2003.
- [48] T. Taleb; A. Ksentini; R. Jantti, ""Anything as a Service" for 5G Mobile Systems," in IEEE Network , vol.PP, no.99, pp.12-19, November 2016, doi: 10.1109/MNET.2016.1500244RP
- [49] P. Rost et al., "Cloud technologies for flexible 5G radio access networks," in IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 68-76, May 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6898939
- [50] D. Sabella, A. De Domenico, E. Katranaras, M. A. Imran, M. Di Girolamo, U. Salim, M. Lalam, K. Samdanis, and A. Maeder, "Energy efficiency benefits of RAN-as-a-Service concept for a cloud-based 5G mobile network infrastructure" , IEEE Access, vol.2, pp.1586-1597, 2014.

Πίνακας Συντομογραφιών

Αρκτικόλεξο	Ερμηνεία
Gbps:	Gigabits (1000 bits) per second
ms :	milli-seconds 10^{-3} seconds
TDD/TDM:	Time Division Duplexing/ Time Division Multiplexing
FDD/FDM:	Frequency Division Duplexing/ Frequency Division Multiplexing
Mixed:	Χρήση των τεχνικών TDD και FDD παράλληλα
QoS:	Quality of Service
SSO :	Single-Sign-On
LTE:	Long Term Evolution. Το LTE αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM/UMTS
RAN:	Radio Access Network
C-RAN:	Cloud Radio Access Network
HetNet:	Heterogenous Networks
CAPEX:	Capital Expenditure
OPEX:	Operational Expenditure
MIMO:	Multiple Input Multiple Output
M2M:	Machine to Machine Communication
D2D:	Device to Device Communication
IoT:	Internet of Things
IoE:	Internet of Everything
IP:	Internet Protocol
IMT-Advanced:	International Mobile Telecommunications-Advanced (4G)
4G:	Ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών 4 ^{ης} γενιάς
KPI:	Key Performance Indicator
QoE:	Quality of Experience
TCO:	Total Cost of Ownership = CAPEX + OPEX
MAC:	Media Access Control
MAC Layer:	Data Link Layer σύμφωνα με το μοντέλο επιπέδων δικτύου OSI
OSI model:	Open Systems Interconnection model
OTT latency:	One-Trip Time latency
RTT latency:	Round-Trip Time latency
ACK:	Acknowledgment Packet
NGMN Alliance:	Next Generation Mobile Networks Alliance
E2E:	End to end
eMBB:	Enhanced Mobile Broadband
mMTC:	Massive Machine Type Communications
uRLLC:	Ultra Reliable Low-latency Communications
VR:	Virtual Reality
ITU:	International Telecommunication Union
NaaS:	Network as a Service

PaaS:	Platform as a Service
IaaS:	Infrastructure as a Service
SaaS:	Software as a Service
XaaS:	Anything or Everything as a Service
SCaaS:	Small Cells as a Service
RANaaS:	Radio Access Network as a Service
RAT:	Radio Access Technologies
ARPU:	Average Revenue Per User
SDN:	Software Defined Networks
NFV:	Network Function Virtualization
API:	Application Programming Interface
OTT:	Over The Top content delivery
CPE:	Customer Premises Equipment
UL:	Uplink (η πληροφορία κατευθύνεται από τη συσκευή προς το δίκτυο)
DL:	Downlink (η πληροφορία κατευθύνεται από το δίκτυο προς της συσκευή)
CP function:	Control Plane function (η λειτουργία μετάδοσης σηματοδοσίας)
UP function:	User Plane function (η λειτουργία μετάδοσης των δεδομένων)
MVNO:	Mobile Virtual Network Operator
SON:	Self Organizing Network
BBU:	Base Band Unit
RRU:	Remote Radio Unit
FIFO:	First In First Out
3GPP:	3 rd Generation Partnership Project
5GPPP:	5 th Generation Public Private Partnership
BS:	Base Station
CPRI:	Common Public Radio Interface
RRH:	Remote Radio Head
RRU:	Remote Radio Unit
CoMP:	Coordinated Multi-Point
IT:	Information Technologies
COTS:	Commercial Off the-Shelf
ISG:	Industry Specification Group
ETSI:	European Telecommunications Standards Institute
IETF:	Internet Engineering Task Force
ICIC:	Inter-Cell Interference Coordination
HetSNets:	Heterogenous Smallcells Networks
METIS:	Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty (2020) Information Society
FFT:	Fast Fourier Transform
X2 interface:	Η διεπαφή διασύνδεσης μεταξύ των σταθμών βάσης
S1 interface:	Η διεπαφή σύνδεσης του κορμού του δικτύου με τον σταθμό βάσης
MBB:	Mobile Broadband
DU:	Data Unit
OBSAI:	Open Base Station Architecture Initiative

ORI:	Open Radio equipment Interface
WNC:	Wireless Network Cloud
DPC:	Distributed Processing Centers
SLA:	Service Level Agreements
VNI:	Virtual Network Infrastructure
CDN:	Content Delivery Network
CDNaaS:	Content Delivery Network as a Service
SPI:	Software Platform and Infrastructure
NSPs:	Network Service Provider
InSP:	Infrastructure Service Provider
RAaaS	Radio Access as a Service
RaaS	Radio as a Service

Πίνακας Κύριων Απαιτήσεων ανά Περίπτωση Χρήσης

Πηγή: 5G Mobile and Wireless Communications Technology, By Afif Osseiran, Jose F. Monserrat and Patrick Marsch, Copyright Cambridge University Press©2016, Publisher Cambridge University Press

Use cases	Requirements	Desired value
Autonomous vehicle control	Latency	5 ms
	Availability	99999%
	Reliability	99999%
Emergency communication	Availability	99.9% victim discovery rate
	Energy efficiency	1 week battery life
Factory cell automation	Latency	Down to below 1 ms
	Reliability	Down to packet loss of less than 10^{-9}
High-speed train	Traffic volume density	100 Gbps/km ² in DL, and 50 Gbps/km ² in UL
	Experienced user throughput	50 Mbps in DL, and 25 Mbps in UL
	Mobility	500 km/h
	Latency	10 ms
Large outdoor event	Experienced user throughput	30 Mbps
	Traffic volume density	900 Gbps/km ²
	Connection density	4 subscribers per m ²
	Reliability	Outage probability < 1%
Massive amount of geographically spread devices	Connection density	1,000,000 devices per km ²
	Availability	99.9% coverage
	Energy efficiency	10 years battery life
Media on demand	Experienced user throughput	15 Mbps
	Latency	5 s (start application) 200 ms (after possible link interruptions)
	Connection density	4000 devices per km ²
	Traffic volume density	60 Gbps/km ²
	Availability	95% coverage
Remote surgery and examination	Latency	Down to below 1 ms
	Reliability	99999%
Shopping mall	Experienced user throughput	300 Mbps in DL, and

		60 Mbps in UL
	Availability	At least 95% for all applications, and 99% for safety-related applications
	Reliability	At least 95% for all applications, and 99% for safety-related applications
Smart city	Experienced user throughput	300 Mbps in DL, and 60 Mbps in UL
	Traffic volume density	700 Gbps/km ²
	Connection density	200 000 users per km ²
Stadium	Experienced user throughput	0.3-20 Mbps
	Traffic volume density	0.1-10 Mbps/m ²
Teleprotection in smart grid network	Latency	8 ms
	Reliability	99999%
Traffic jam	Traffic volume density	480 Gbps/km ²
	Experienced user throughput	100 Mbps in DL, and 20 Mbps in UL
	Availability	95%
Virtual and augmented reality	Experienced user throughput	4-28 Gbps
	Latency	10 ms RTT

Κατηγοριοποίηση των Περιπτώσεων Χρήσης

Πηγή: 5G White Paper By NGMN Alliance, NGMN 5G Initiative, Rachid El Hattachi, Javan Erfanian, 17th of February 2015

