



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η Αρχιτεκτονική του 5G

Ιωάννης Κυριαζής
icsd18107@aegean.gr
321/2018107

Ασφάλεια Κινητών και Ασύρματων Δικτύων Επικοινωνιών
Ιούλιος, 2022

Περίληψη

Το 5G με την πάροδο των χρόνων έχει αναπτυχθεί πολύ λόγω των καινούριων προτύπων που αφορούν την συνολική αρχιτεκτονική του, την διαχείριση δικτύου αλλά και την δικτύωση καθοριζόμενη από λογισμικό. Είναι μία τεχνολογία η οποία εξυπηρετεί ένα ευρύτερο φάσμα υπηρεσιών και εφαρμογών σχετικά με τις Κινητές και Ασύρματες Επικοινωνίες. Αυτές είναι η enhanced Mobile BroadBand (eMBB) που είναι ουσιαστικά μια επέκταση και βελτίωση σε αυτήν που χρησιμοποιείται επί του παρόντος για δεδομένα κινητής τηλεφωνίας, η Ultra-Reliable and Low-Latency Communications (URLLC) που προσφέρει αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία και η massive Machine-Type Communications (mMTC) που χρησιμοποιείται για την σύνδεση μεγάλου αριθμού συσκευών. Με την βοήθεια των ανωτέρω υπηρεσιών, το 5G αποτελεί τεχνολογία-καταλύτης για την εμφάνιση νέων υπηρεσιών προς πολίτες και επιχειρήσεις αλλά και για την ανάπτυξη, τον εκσυγχρονισμό και την παροχή νέων λύσεων όσον αφορά την μεταποίηση, την ενέργεια, την υγεία, την ψυχαγωγία και τις βιομηχανίες. Ο τεμαχισμός του δικτύου (network slicing) μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες διαφορετικών βιομηχανιών αλλά και η ενσωμάτωση της ασφάλειας στην συνολική αρχιτεκτονική, θα παίξει σημαντικό ρόλο στην προστασία κρίσιμων περιπτώσεων χρήσης. Σε αυτό το άρθρο γίνεται αναφορά για την συνολική αρχιτεκτονική του 5G, για την φυσική υποδομή και ανάπτυξη, την λογισμικοποίηση και διαχείριση των υπηρεσιών του 5G, την παροχή αρκετά υψηλού ρυθμού δεδομένων και την μειωμένη κατανάλωση ενέργειας όσον αφορά την ασύρματη επικοινωνία και πρόσβαση.

Κατάλογος Περιεχομένων

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| Κεφάλαιο 1 | Συνολική Αρχιτεκτονική..... | 4 |
| 1.1 | Υπηρεσίες 5G, Εφαρμογές και Περιπτώσεις Χρήσης..... | 4 |
| 1.2 | Τεμαχισμός/Τμηματοποίηση Δικτύου - Network Slicing..... | 4 |
| 1.3 | Προγραμματισμός και Λογισμικοποίηση..... | 7 |
| 1.4 | Διαχείριση και Ενορχήστρωση..... | 7 |
| 1.5 | Αρχιτεκτονική Ασφαλείας του 5G..... | 8 |
| Κεφάλαιο 2 | Φυσική Υποδομή και Ανάπτυξη..... | 10 |
| 2.1 | Βελτιώσεις στην Φυσική Υποδομή..... | 10 |
| 2.2 | Δίκτυο Φυσικής Πρόσβασης..... | 11 |
| 2.3 | Παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας του φόρτου εργασίας..... | 12 |
| Κεφάλαιο 3 | Λογισμικοποίηση και Διαχείριση των υπηρεσιών 5G..... | 13 |
| 3.1 | Τεχνολογίες Ενεργοποίησης (Multi-tenancy, Cloud, Virtualization, Network Programmability)..... | 13 |
| 3.2 | Υπηρεσίες και Σχεδιασμός Υπηρεσιών..... | 14 |
| 3.3 | Διαχείριση και Ενορχήστρωση..... | 16 |
| 3.4 | Αυτο-οργάνωση Δικτύων και Υπηρεσιών..... | 18 |
| Κεφάλαιο 4 | Συμπεράσματα..... | 21 |
| | Βιβλιογραφία / Πηγές Πληροφόρησης..... | 22 |

Κεφάλαιο 1. Συνολική Αρχιτεκτονική

1.1: Υπηρεσίες 5G, Εφαρμογές και Περιπτώσεις Χρήσης

Τα 5G δίκτυα είναι γνωστά για τις απαιτήσεις υψηλής κινητικότητας δημιουργώντας έτσι μία πλήρως συνδεδεμένη κοινωνία. Με τον όλο και αυξανόμενο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών, δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν νέες υπηρεσίες αλλά και να επιτρέψουν την πλήρη αυτοματοποίηση έτσι ώστε η ζωή να γίνει ασφαλέστερη και ευκολότερη. Για να γίνουν όμως όλα αυτά, είναι σαφές ότι πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη αρχιτεκτονική.

Αρχικά, ορίστηκαν ορισμένες περιπτώσεις χρήσης. Πολλές από τις διαθέσιμες περιπτώσεις χρήσης είναι παραλλαγές ενός μικρού συνόλου βασικών κατηγοριών υπηρεσιών του 5G οι οποίες έχουν ενοποιηθεί. Αυτές είναι: (α) enhanced Mobile BroadBand (eMBB), (β) η Ultra-Reliable and Low-Latency Communications (URLLC) και (γ) η massive Machine-Type Communications (mMTC). Λόγω της ευελιξίας που πρέπει να έχουν τα συστήματα 5G, είναι φυσικό να εμφανιστούν και πρόσθετες περιπτώσεις χρήσης οι οποίες δεν προβλέπονται σήμερα. Η Σύμπραξη Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα για την Υποδομή του 5G (5GPPP) βελτιώνει συνεχώς τις κατηγορίες περιπτώσεων χρήσης, ορίζοντας ομάδες. Αυτές είναι η αστική συμφόρηση, η ευρυζωνική σύνδεση με ταχύτητες 50+ Mbps παντού, τα συνδεδεμένα οχήματα, τα μελλοντικά έξυπνα γραφεία, οι IoT συσκευές με χαμηλό εύρος ζώνης και το απτικό διαδίκτυο. Επίσης, υπάρχει ομαδοποίηση και όσον αφορά την εμπειρία εξυπηρέτησης του πελάτη. Αυτές οι ομάδες είναι η πυκνότητα των συσκευών, η κινητικότητα, η υποδομή που σχετίζεται με την τοπολογία, ο τύπος κυκλοφορίας, ο ρυθμός δεδομένων, η καθυστέρηση, η αξιοπιστία, η διαθεσιμότητα που σχετίζεται με την κάλυψη δικτύου και το είδος της 5G υπηρεσίας (eMBB, URLLC, mMTC). Από άποψη ανάπτυξης και λειτουργίας του δικτύου προσδιορίζονται κι άλλες περιπτώσεις χρήσης όπως ο τεμαχισμός δικτύου (end-to-end τμήματα στην ίδια υποδομή για ετερογενείς υπηρεσίες), το multi-tenancy (τρόπος λειτουργίας του λογισμικού όπου πολλαπλές ανεξάρτητες παρουσίες μιας ή πολλαπλών εφαρμογών λειτουργούν σε κοινό περιβάλλον) και η ευελιξία (δυναμική διαμόρφωση δικτύων ανάλογα με προβλεπόμενα ή απρόβλεπτα γεγονότα). Τέλος, για την επιτυχημένη εμπορευματοποίηση υπάρχουν επιπλέον δυνατότητες όπως ο χρόνος ανάπτυξης υπηρεσίας (η διάρκεια που απαιτείται για την ρύθμιση end-to-end λογικών τμημάτων δικτύου), ο όγκος δεδομένων (η ποσότητα δεδομένων που μεταφέρονται ανά χρονικό διάστημα σε μία συγκεκριμένη περιοχή), η αυτονομία (διάρκεια ζωής της μπαταρίας που βοηθά και στην ενεργειακή απόδοση), η ασφάλεια (διασφαλίζει την προστασία των πόρων με έλεγχο ταυτότητας, εμπιστευτικότητα δεδομένων, ακεραιότητα δεδομένων, έλεγχο πρόσβασης και άλλα).

1.2: Τεμαχισμός/Τμηματοποίηση Δικτύου - Network Slicing

Το πρώτο αρχιτεκτονικό χαρακτηριστικό του 5G είναι η τμηματοποίηση (τεμαχισμός) του δικτύου (Network Slicing). Ένα τμήμα δικτύου αποτελεί μία σύνθεση λειτουργιών δικτύου και της υποδομής cloud (φυσικοί πόροι, εικονικοί πόροι, πόροι μέσω προσομοιωτή, πόροι RAN κ.α.) που συνδυάζονται ώστε να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις μιας συγκεκριμένης περίπτωσης χρήσης όπως το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση και άλλα σε συνδυασμό με κάποιον επιχειρηματικό σκοπό. Ένας πάροχος υποδομής θα δεσμεύσει τους αναγκαίους πόρους για ένα τμήμα δικτύου, το οποίο στην συνέχεια αναλαμβάνει κάθε υπηρεσία. Επομένως, στο τμήμα δικτύου περιλαμβάνεται ένα υποσύνολο πόρων υποδομής εικονικού δικτύου και είναι αφιερωμένο σε έναν συγκεκριμένο «μισθωτή» (tenant) έτσι ώστε να παρέχει μια συγκεκριμένη τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία. Η χρήση εικονικοποιημένης υποδομής βοηθά στην οικονομική βιωσιμότητα αυτής καθώς μπορεί να εκμεταλλευτεί τους πόρους ανάλογα με την ζήτηση. Οι πόροι θα μπορούσαν να μοιράζονται μεταξύ πολλών τμημάτων δικτύου, όμως κάθε πάροχος μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα συγκεκριμένο σύστημα και όλη η διαμόρφωση να αφηθεί στους χρήστες. Η προηγμένη ενορχήστρωση και ο αυτοματισμός είναι

απαραίτητοι για να απαλλάξουν τους χρήστες από το βάρος της διαμόρφωσης και να επιτρέψουν μια ολοκληρωμένη end-to-end λύση. Το Network Slicing καλύπτει όλα τα τμήματα δικτύου συμπεριλαμβανομένων των ασύρματων δικτύων, των ενσύρματων δικτύων και των δικτύων πυρήνα, μεταφοράς και αιχμής (edge). Επιτρέπει την ανάπτυξη πολλαπλών ανεξάρτητων δικτύων σε μία ενιαία πλατφόρμα υποδομής. Ως slice ορίζεται ένας συνδυασμός από όλους τους πόρους, τις λειτουργίες και τις δυνατότητες που απαιτούνται για την παροχή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας. Με τον τεμαχισμό δικτύου καταφέρνουμε να λογισμικοποιήσουμε, να απομονώσουμε, να αφαιρέσουμε και να διαχωρίσουμε τα λογικά στοιχεία του δικτύου από τους φυσικούς πόρους. Το επίπεδο ελέγχου για τα slices, διαχειρίζεται όλους τους πόρους, τις λειτουργίες του δικτύου και των υπηρεσιών που έχουν εκχωρηθεί σε αυτά. Τα slices είναι μία ομαδοποίηση φυσικών ή εικονικών πόρων και μπορούν να φιλοξενήσουν υπηρεσίες και λειτουργίες δικτύου όπως δίκτυα πρόσβασης, πυρήνα και αιχμής.

Τα Λειτουργικά Επίπεδα του 5G είναι:

- Επίπεδο Υπηρεσίας: περιλαμβάνει λειτουργίες πολιτικών και αποφάσεων σε επίπεδο επιχείρησης, εφαρμογές και υπηρεσίες που διαχειρίζεται ο tenant και Συστήματα Υποστήριξης Επιχειρήσεων (Business Support Systems - BSS). Με όλα τα παραπάνω επιτυγχάνεται σύστημα end-to-end ενορχήστρωσης (orchestration).
- Επίπεδο Διαχείρισης και Ενορχήστρωσης: περιλαμβάνει διάφορες λειτουργίες ETSI NFV MANO όπως το VIM, το VNF Manager και το NFVO. Υπάρχει ένας inter-slice «μεσίτης» (broker) ο οποίος διαχειρίζεται το πως θα κατανεμηθούν οι πόροι δια τμηματικά καθώς και αλληλεπιδρά με την λειτουργία διαχείρισης υπηρεσιών που αποτελεί μία ενδιάμεση λειτουργία μεταξύ του επιπέδου Υπηρεσίας και του inter-slice broker. Έτσι γίνεται μετατροπή των περιγραφών των υπηρεσιών από απευθυνόμενες προς καταναλωτές σε απευθυνόμενες προς πόρους και το αντίστροφο. Ο διαχειριστής domain, ο inter-slice broker και το NFVO αποτελούν το Software-Defined Mobile Network Orchestrator (SDM-O) που διαχειρίζεται τις end-to-end υπηρεσίες δικτύου και χρησιμοποιώντας τα πρότυπα τμημάτων δικτύου, μπορεί να δημιουργήσει slices και να τα συνδυάσει κατάλληλα στο καθορισμένο σημείο πολυπλεξίας.
- Επίπεδο Ελέγχου: περιλαμβάνει τον Συντονιστή Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας καθοριζόμενο από λογισμικό (SDM-X) και τον Ελεγκτή Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας καθοριζόμενο από λογισμικό (SDM-C) που μπορούν να εκτελεστούν ως VNF και PNF. Διαχειρίζονται αφιερωμένη και μοιρασμένη λειτουργία δικτύου αντίστοιχα και με βάση τις αρχές SDN μεταφράζουν τις αποφάσεις των εφαρμογών ελέγχου σε εντολές σε λειτουργίες εικονικών δικτύων (VNFs) και λειτουργίες φυσικών δικτύων (PNFs).
- Εγκαταστάσεις Multi-Domain Λειτουργικού Συστήματος Δικτύου: περιλαμβάνει ποικιλία από προσαρμογείς και αφαιρετές δικτύου (network abstractions – διακοπή φυσικών σχέσεων κάτι που βοηθά στην δημιουργία εικονικών διαδρόμων και συσκευών). Κατανέμει τους (εικονικούς) πόρους έτσι ώστε το δίκτυο να είναι αξιόπιστο σε περιβάλλον multi-domain.
- Επίπεδο Δεδομένων: περιλαμβάνει τις δύο βασικές λειτουργίες που απαιτούνται για την μεταφορά και επεξεργασία της κίνησης δεδομένων χρήστη, τα VNFs και τα PNFs.

Οι δύο κύριες υπηρεσίες τεμαχισμού του δικτύου είναι

- a. η διάθεση Εικονικών Υποδομών (VI) οι οποίες ελέγχονται από τους tenants. Η ανάπτυξη ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας περιλαμβάνει την κατανομή και απο-κατανομή VI (λογικές οντότητες που αποτελούνται από εικονικούς συνδέσμους και κόμβους και διασυνδέονται με ένα εικονικό και λογικό δίκτυο) για να λειτουργήσουν ως φυσική υποδομή για το δίκτυο.
- b. η διάθεση Υπηρεσιών Δικτύου (NS) οι οποίες ανήκουν στον tenant. Δημιουργούνται ως μια ομάδα διασυνδεδεμένων Λειτουργιών Εικονικού Δικτύου (VNF) που εγκαθίστανται αμέσως σε μια κοινή υποδομή. Μια ομάδα τελικών σημείων που συνδέονται με ένα ή περισσότερα VNF Forwarding Graphs (VNF-FGs), αποτελεί ένα NS.

Προκειμένου να αρχίσουν να λειτουργούν οι εν λόγω υπηρεσίες, μπορεί να δημιουργηθεί ένα σύνολο API (α) κατανομής υπηρεσιών δικτύου, τροποποίησης και από-κατανομής, (β) κατανομής εικονικής υποδομής, τροποποίησης και από-κατανομής, (γ) περιορισμένου ελέγχου εικονικής υποδομής και (δ) πλήρους ελέγχου εικονικής υποδομής.

Το Network Slicing δίνει τη δυνατότητα στον χειριστή να δημιουργήσει δίκτυα που είναι λογικά τμηματοποιημένα σε μια δεδομένη στιγμή, με βάση συγκεκριμένες ανάγκες ή σενάρια αγοράς. Αυτά τα τμήματα ενδέχεται να απαιτούν διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας, απόδοσης και απαιτήσεις ασφάλειας. Το πλαίσιο του Network Slicing καθορίζεται από το (α) επίπεδο διαχείρισης κύκλου ζωής (μια σειρά από καταστάσεις λειτουργικών δραστηριοτήτων από τις οποίες διέρχεται ένα τμήμα δικτύου) και από το (β) επίπεδο παρουσιών.

Οι αρχιτεκτονικές αρχές που είναι απαραίτητες για να διαμορφωθούν τα χαρακτηριστικά της διαχείρισης του κύκλου ζωής των NS λύσεων είναι το (α) «αξίωμα» της διακυβέρνησης (λογικά διαχειριστική αρχή για όλα τα NS), (β) «αξίωμα» του διαχωρισμού (τα slices μπορούν να είναι ανεξάρτητα και απομονωμένα το ένα από το άλλο), (γ) «αξίωμα» της έκθεσης των δυνατοτήτων (το κάθε slice μπορεί να δίνει πληροφορίες σχετικά με υπηρεσίες που προσφέρονται από αυτό σε τρίτους).

Το NS (α) εγγυάται απομόνωση στο επίπεδο δεδομένων, ελέγχου, διαχείρισης, υπηρεσίας αφού επιτυγχάνει ασφαλή και αποτελεσματική τμηματοποίηση με την βοήθεια ενεργοποιητών, (β) διαθέτει μεθόδους για την ενεργοποίηση διαφορετικών απαιτήσεων υπηρεσίας, (γ) διαθέτει αναδρομή που επιτρέπει ιεραρχία της τμηματοποίησης του δικτύου με σχέσεις γονέα-παιδιού, (δ) διαθέτει μεθόδους και πολιτικές για την αντιστάθμιση της ευελιξίας με την αποτελεσματικότητα κατά τον τεμαχισμό, (ε) επιτυγχάνει την σωστή και αυτόματη επιλογή πόρων και λειτουργιών, (στ) έχει την ικανότητα να παρακολουθεί την όλη λειτουργία του NS, (ζ) μπορεί να κάνει χρήση APIs για τον καθορισμό και την αλληλεπίδραση των τμημάτων και (η) μπορεί να προγραμματίζει και να ελέγχει τα NS.

Εκτός από δυνατότητες, το NS μπορεί να (α) διαχειριστεί τα τμήματα (δημιουργία, ενεργοποίηση/απενεργοποίηση, προστασία κ.α.), (β) εκτελεί αυτόνομη διαχείριση τμημάτων (αυτό-διαμόρφωση, αυτό-παρακολούθηση κ.α.), (γ) εκτελεί σύνθεση τμημάτων διαθέτοντας ενεργοποιητές, (δ) ενορχηστρώνει τα τμήματα δικτύου σε end-to-end, (ε) εκτελεί δυναμική και αυτόματη αντιστοίχιση υπηρεσιών σε τμήματα του δικτύου και (στ) ενοποιεί όλων των παραπάνω λειτουργιών και δυνατοτήτων.

Ο διαμοιρασμός των πόρων βοηθάει στην εκτέλεση πολλαπλών διεργασιών, στην εικονικοποίηση και στην πολυπλεξία που, με την σειρά τους, επιτυγχάνουν κοινή χρήση πόρων μεταξύ πολλών χρηστών με την απο-σύζευξη της λειτουργικότητας από τους πόρους που απαιτούνται για την εκτέλεση αυτής της λειτουργικότητας και με την κατανομή των πόρων σε απομονωμένα περιβάλλοντα εκτέλεσης. Με βάση τα παραπάνω, έπρεπε να δημιουργηθούν υπερεπόπτες (hypervisors) οι οποίοι διαχειρίζονται πόρους στο κεντρικό cloud και στο edge cloud του δικτύου, πολυπλέκτες (multiplexers) και μηχανισμοί εκτέλεσης πολλαπλών διεργασιών οι οποίοι πραγματοποιούν εκτέλεση της ίδιας εργασίας για άλλα στοιχεία του δικτύου. Όλα αυτά βοηθούν έτσι ώστε ο τεμαχισμός του δικτύου να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα στοιχεία του δικτύου κι έτσι να επιτυγχάνεται end-to-end τμηματοποίηση. Η τμηματοποίηση του δικτύου γίνεται ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε επιχείρησης και γι' αυτόν τον λόγο υπάρχουν διαφορετικές πρακτικές υλοποίησης αυτού. Έτσι υπάρχουν επιλογές όπως αυτόνομα τμήματα με δικό τους υλικό και φάσμα και τμήματα τα οποία δεν ξέρουν τους πόρους που δεσμεύουν. Ο τεμαχισμός του δικτύου μπορεί να υλοποιηθεί με διαφορετικές λειτουργίες του Δικτύου Ασύρματης Πρόσβασης (Radio Access Network - RAN) και, εν συνεχεία, διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης μπορούν να χρησιμοποιούν τους ίδιους συνδυασμούς λειτουργιών του RAN. Όλη αυτή την διαδικασία την ονομάζουμε ως Λειτουργία Διαμόρφωσης RAN (RCM). Προκειμένου να επιτευχθεί κοινή χρήση των ασύρματων πόρων, γίνεται χρήση μιας λειτουργίας την οποία μοιράζονται τα διαφορετικά RCM. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται RRM (Radio Resource Management). Επίσης, υπάρχει ένα κοινό τμήμα Ελέγχου Ασύρματων Πόρων (RRC – Radio Resource Control) αφού επιτρέπει την επιλογή τμήματος δικτύου. Για την αντιμετώπιση ειδικών απαιτήσεων περιπτώσεων χρήσης όταν πρόκειται για συγκεκριμένες λειτουργίες όπως την ασυνεχή μετάδοση δεδομένων, κάθε slice μπορεί να διαθέτει τις δικές τις διαμορφώσεις και λειτουργίες Ελέγχου Ασύρματων Πόρων. Μπορεί να γίνει παράλειψη ή τροποποίηση ορισμένων λειτουργιών λόγω διαφοράς του μεγέθους των μηνυμάτων ή των απαιτήσεων καθυστέρησης στον Έλεγχο ραδιοζεύξης (RLC - Radio Link Control) και στο Πρωτόκολλο Σύγκλισης Πακέτων Δεδομένων (PDCP - Packet Data Convergence Protocol). Επιπλέον, τα RCM που μοιράζονται τα χαμηλότερα επίπεδα (PHY, MAC κ.α.) θα πρέπει να αναπτύξουν έναν «ενοποιημένο χρονοπρογραμματιστή» προκειμένου να διευκολυνθεί η δυναμική κοινή χρήση πόρων.

Το RRM μεταξύ των RCM είναι ένα σημαντικό μέρος της εκπλήρωσης Συμφωνιών σε Επίπεδο Υπηρεσιών (SLAs) με την επιβολή QoS για συγκεκριμένο τμήμα. Βασική πρόκληση σε επίπεδο RAN είναι η αποτελεσματική κοινή χρήση σπάνιων ασύρματων πόρων μεταξύ τμημάτων δικτύου. Η αποτελεσματική διαχείριση ασύρματων πόρων (RRM) πολλαπλών τμημάτων υλοποιείται με τη βοήθεια του AIV agnostic Slice Enabler (AaSE), ο οποίος παρακολουθεί και επιβάλλει SLA για μεμονωμένα slices σύμφωνα με τις πολιτικές QoS. Το AaSE, επίσης, μπορεί να βοηθήσει στην τοποθέτηση λειτουργιών RRM εντός τμημάτων σε κόμβους RAN, έτσι ώστε οι χρονοπρογραμματιστές να μπορούν να συντονίζουν ομάδες από σημεία πρόσβασης (APs – Access Points). Επιπρόσθετα, μπορεί να εκχωρήσει χρονοπρογραμματιστές σε σταθμούς βάσης (BS – Base Stations) για να πληρούν το SLA ανά τμήμα δικτύου (όσον αφορά την απόδοση, την αξιοπιστία και την καθυστέρηση).

Συγκρίνοντας στην πράξη δύο υποδίκτυα (10MHz με δύο αποκλειστικά δίκτυα και 20MHz με κοινό RAN και για τα δύο δίκτυα), παρατηρούμε ότι ο τεμαχισμός του δικτύου μπορεί να βελτιώσει την απόδοση συγκεντρώνοντας πόρους, ενώ παράλληλα προστατεύει την απόδοση μεμονωμένων τμημάτων του δικτύου. Στην πρώτη περίπτωση, το πρώτο αποκλειστικό δίκτυο εξυπηρετεί λίγους χρήστες με χαμηλή ζήτηση ενώ το δεύτερο αποτελεί ένα φορτωμένο δίκτυο εξυπηρετώντας περισσότερους χρήστες που συνεπάγεται σε χαμηλότερη απόδοση ανά χρήστη. Στην δεύτερη περίπτωση, έχουμε 2 τμήματα δικτύου δηλαδή δύο εικονικά δίκτυα. Με την βοήθεια ενός SLA, στο τμήμα 1 οι χρήστες έχουν παρόμοια χωρητικότητα σε σχέση με τα αποκλειστικά δίκτυα στην πρώτη περίπτωση. Όταν το αποκλειστικό δίκτυο 1 έφτασε σε μία μέση απόδοση 218 Mbps, χρησιμοποιήθηκε ένα SLA με χωρητικότητα 220 Mbps. Το τμήμα 1 πετυχαίνει απόδοση 209 Mbps κάτι που είναι χαμηλότερο από την χωρητικότητα που τέθηκε στο SLA λόγω αυξομείωσης της κυκλοφορίας δεδομένων που προκαλεί ζήτηση μικρότερη από 220 Mbps σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.

1.3: Προγραμματισμός και Λογισμικοποίηση

Τα δίκτυα 5G χαρακτηρίζονται από την ευελιξία τους, την προγραμματιστική του ικανότητα καθώς και την «εξυπνάδα» τους αφού έχουν επίγνωση των εφαρμογών, των υπηρεσιών που προσφέρουν αλλά και του χρόνου εξυπηρέτησης. Προκειμένου να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω, υπάρχουν ενεργοποιητές και η λογισμικοποίηση του δικτύου τα οποία μπορούν να λειτουργούν ως υλικολογισμικό ανεξάρτητα από το hardware. Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα που κάνουν χρήση αυτής της τεχνολογίας όπως η εικονικοποίηση του δικτύου και κατ' επέκταση των λειτουργιών του και την μετράτρωση του δικτύου από δίκτυο οντοτήτων σε δίκτυο λειτουργιών. Έτσι οι λειτουργίες θα μπορούν να επιτυγχάνονται κατ' απαίτηση, ωστόσο πρόκληση είναι κάθε τεχνολογία δικτύωσης που επιτρέπει σε τρίτους πρόσβαση σε ανοιχτές προγραμματιζόμενες διεπαφές. Επιπρόσθετα, ο προγραμματισμός σε ενεργοποιητές και δίκτυα προσφέρουν δυναμικό προγραμματισμό σε συσκευές όπως δρομολογητές, μεταγωγείς και άλλες καθιστώντας εύκολη, ευέλικτη και δυναμική την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών αφού αυτές λειτουργούν ως συνδυασμός πολλών εικονικών μηχανών. Ο δυναμικός προγραμματισμός βασίζεται σε αξιόπιστους χρήστες του δικτύου, παρόχους υπηρεσιών και άλλους φορείς αφού μπορεί να επιτρέψει την εισαγωγή υπηρεσιών σε μορφή κώδικα από αυτούς. Με αυτόν τον τρόπο, οι πόροι του δικτύου μπορούν να βελτιστοποιηθούν ως προς την «συμπεριφορά» τους και να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένες λειτουργίες με σκοπό την βέλτιστη λειτουργία του δικτύου και των υπηρεσιών που προσφέρει.

1.4: Διαχείριση και Ενορχήστρωση

Στις μέρες μας, η σημαντικότερη ανάγκη είναι η εξυπηρέτηση πολλών πελατών με διαφορετικές απαιτήσεις. Έτσι, το 5G σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε για να ικανοποιεί αυτή την ανάγκη. Σε μία συγκεκριμένη φυσική υποδομή, ο χειριστής του εκάστοτε δικτύου μπορεί με προγραμματισμό να δημιουργεί εικονικές αρχιτεκτονικές δικτύου μετασχηματίζοντας την στατική αρχιτεκτονική του γνωστού έως τώρα LTE σε πολύπλοκες σχεδιαστικά αρχιτεκτονικές

που παρέχονται δυναμικά. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να δημιουργηθούν κατάλληλες διεπαφές στις εικονικές υποδομές προκειμένου να κατορθωθεί ευελιξία και έλεγχος. Αφού δημιουργηθεί αυτή η υποδομή, πρέπει να υπάρχουν μέρη τα οποία να διαχειρίζονται και να ενορχήστρωνουν τους πόρους χρησιμοποιώντας προγραμματισμό.

Μία αρχιτεκτονική προς ανάλυση είναι η ETSI NFV MANO. Στο χαμηλότερο επίπεδο περιλαμβάνει τις οντότητες διαχείρισης και ενορχήστρωσης για έναν συγκεκριμένο τομέα (domain). Το αμέσως επόμενο υψηλότερο επίπεδο επιτυγχάνεται συνδυασμός των οντοτήτων διαχείρισης και ενορχήστρωσης έτσι ώστε να δημιουργηθεί μία οντότητα διαχείρισης και ενορχήστρωσης πολλών τομέων που συντονίζει την end-to-end υπηρεσία για την δημιουργία τμημάτων δικτύου. Σε κάθε επίπεδο υπάρχει ένα επίπεδο αφαίρεσης (abstraction layer) που περιλαμβάνει ένα σύνολο από διεπαφές το οποίο καλύπτει συγκεκριμένες τεχνικές λεπτομέρειες και λεπτομέρειες υλοποίησης. Οι διεπαφές διαχείρισης εκτείνονται τόσο στους πελάτες όσο και σε άλλους φορείς. Το 5GPPP προτείνει μεταξύ του επιπέδου του πελάτη και του χειριστή να περιγράφονται με ακρίβεια τα τμήματα του δικτύου και οι υπηρεσίες που φιλοξενούν. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύχθηκαν μηχανισμοί για την εμφάνιση on-demand υπηρεσιών. Επιπλέον, έχει επιτευχθεί η εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης και η απλούστευση της διαχείρισης των υπηρεσιών όσον αφορά την ασφάλεια της εγκατάστασης των λειτουργιών του δικτύου. Όταν ο χειριστής λάβει αίτημα υπηρεσίας, το σύστημα διαχείρισης και ενορχήστρωσης, είναι σημαντικό οι λειτουργίες του δικτύου ή τμήμα του που απαρτίζουν την υπηρεσία να τοποθετηθούν σωστά και να διατεθούν οι πόροι που απαιτούνται για την εκτέλεσή της. Αυτός είναι ένας τύπος αλγορίθμων που ονομάζουμε αλγόριθμοι τοποθέτησης ή ενσωμάτωσης (placement or embedding algorithms). Μπορεί να συμβεί σε όλους τους χειριστές. Υπάρχουν προκλήσεις στην ανάπτυξη πολλαπλών χειριστών, επειδή ένας χειριστής μπορεί να θέλει να εκθέσει μόνο ένα περιορισμένο σύνολο λειτουργιών, πόρων και δυνατοτήτων σε έναν άλλο χειριστή. Εξετάζεται ένα «συνεργατικό οικοσύστημα» (cooperative ecosystem) για την ανάπτυξη υπηρεσιών όπου πραγματοποιείται αφαίρεση της εσωτερικής λειτουργικότητας των χειριστών έτσι ώστε να μπορούν να ανταγωνίζονται και να συνεργάζονται μεταξύ τους για την υλοποίηση υπηρεσιών. Η πρόκληση για την έκθεση της διεπαφής χειριστή προς χειριστή είναι η διασφάλιση της ασφάλειάς της. Μόλις παρέχεται η υπηρεσία πρέπει να παρακολουθείται για τη συμμόρφωση με τις συμφωνίες σε επίπεδο υπηρεσιών (SLA). Αυτό πρέπει να γίνει σε έναν μόνο τομέα και σε τομείς και παρόχους.

Τέλος, λόγω της τμηματοποίησης του δικτύου, εξετάστηκε η αυτοματοποίηση της διαχείρισης για την απλούστευση της υπερφόρτωσής της. Αυτό μπορεί να γίνει με την χρήση μακροπρόθεσμης μηχανικής μάθησης για να διατηρεί το δίκτυο ομαλή και αποτελεσματική λειτουργία, ανιχνεύοντας αλλαγές στο δίκτυο και το περιβάλλον και χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες για τη διαχείριση του δικτύου (καθορισμός νέων πολιτικών και αλλαγών όσον αφορά την υποδομή του δικτύου). Η ενορχήστρωση ανακατανέμει διαχειριζόμενους πόρους δικτύου, όπως VNF, ως απόκριση στις αλλαγές των πολιτικών.

1.5: Αρχιτεκτονική Ασφαλείας του 5G

Η νέα αρχιτεκτονική ασφαλείας σχεδιάστηκε για να εκμεταλλεύεται τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες και έννοιες, οι οποίες αποτελούν σημαντικά βήματα προόδου από την προηγούμενη γενιά ασύρματων δικτύων (4G). Η λογισμικοποίηση του δικτύου και η εικονικοποίηση θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο 5G, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ευελιξίας και της επεκτασιμότητας. Η ανάπτυξη τεχνολογιών τμηματοποίησης δικτύου και Mobile Edge Computing θα επιτρέψει να προσφερθούν διαφορετικοί τύποι υπηρεσιών σε διαφορετικούς tenants πιο δυναμικά. Τα Δίκτυα καθορισμένα από Λογισμικό (SDN – Software Defined Networks) επιτρέπουν την αναδιαμόρφωση της υποδομής ενός δικτύου σε μεγάλη κλίμακα, κάτι που θα επιτρέψει μεγαλύτερη ευελιξία και δυναμική λειτουργία. Σε ένα περιβάλλον με πολλούς διαφορετικούς παράγοντες που διαχειρίζονται ανεξάρτητα τους δικούς τους πόρους, η ασφάλεια αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για όλες τις δραστηριότητες διαχείρισης. Συγκεκριμένα, το 5G πρέπει να χειρίζεται πολύπλευρους ελέγχους ασφαλείας όπως την παροχή κλειδιών και διαπιστευτηρίων. Θα είναι επίσης υπεύθυνο για τη διασφάλιση της ασφαλείας του συστήματος. Η ασφάλεια είναι κορυφαία προτεραιότητα και πρέπει να φροντίζει ότι οι υπηρεσίες θα είναι πάντα αξιόπιστες και ασφαλείς. Η ενορχήστρωση εικονικοποιημένων περιβαλλόντων, υπηρεσιών

και SDN θα απαιτήσει επίσης ασφαλή διαχείριση. Για τον εντοπισμό και την προστασία από επιθέσεις, τα σημεία ελέγχου ασφαλείας πρέπει να ορίζονται με βάση τα όρια μεταξύ των λειτουργιών και των τμημάτων δικτύου διαφορετικών φορέων και των διεπαφών τους. Με το 5G, θα υπάρχει αυξανόμενος αριθμός ασφαλών και μη ασφαλών πρωτοκόλλων και λειτουργιών δικτύου που χρησιμοποιούνται σε σχέση με διάφορες περιπτώσεις χρήσης. Οι βασικές έννοιες στην αρχιτεκτονική ασφαλείας είναι:

- a. ο τομέας/domain (διάφορες οντότητες δικτύου που σχετίζονται φυσικά ή λογικά με το δίκτυο). Υπάρχουν τρεις τύποι τομέων. Ο πρώτος τύπος τομέα εστιάζεται στις φυσικές πτυχές του δικτύου, όπως το υλικό (Infrastructure Domains). Για αυτόν τον τύπο τομέων υπάρχουν τα UICC Domains (αποθήκευση κρίσιμων πληροφοριών), τα Mobile Equipment Hardware (MEHW) Domains (υποστήριξη Mobile Equipment, αξιόπιστα περιβάλλοντα εκτέλεσης) και Infrastructure Provider (IP) Domains (πλατφόρμες hardware). Ο δεύτερος τύπος είναι λογικοί τομείς που εκτελούνται σε Infrastructure Domains (Tenant Domains). Για αυτόν τον τύπο τομέων υπάρχουν τα Mobile Equipment (ME) Domains (πρόσβαση σε υπηρεσίες δικτύου), τα USIM Domains (λειτουργία USIM), τα Identity Management (IM) Domains (έλεγχο ταυτότητας που βασίζεται σε USIM), τα Access (A) Domains (πρόσβαση στον κεντρικό τομέα δικτύου), τα Serving (S) Domains (δρομολόγηση κλήσεων και μεταφορά δεδομένων), τα Home (H) Domains (μόνιμα δεδομένα χρήστη σε μόνιμη τοποθεσία), τα Transit (T) Domains (επικοινωνία τομέα δικτύου εξυπηρέτησης με εξωτερικά απομακρυσμένα μέρη), τα 3rd Party (3P) Domains (ένα εργοστάσιο παρέχει τις δικές του υπηρεσίες ελέγχου ταυτότητας για τα δικά του μηχανήματα), τα Internet Protocol Service (IPS) Domains (εξωτερικού χειριστή δίκτυα παροχής IP διεύθυνσης όπως τα δημόσια δίκτυα) και τα Management Domains (διαχείριση συγκεκριμένων πτυχών ενός δικτύου 5G). Ο τρίτος είναι ένας τύπος τομέα που επιτρέπει τη σύλληψη ομαδοποιήσεων υψηλότερης τάξης οντοτήτων ή/και λειτουργιών (Compound Domains). Για αυτόν τον τύπο τομέων υπάρχουν τα υπάρχουν τα Slice Domains (καταγραφή πτυχών τμηματοποίησης δικτύου), τα User Equipment (UE) Domains (ορίζονται από MEHW, ME, UICC, USIM και IM Domains), τα Access Network (AN) Domains (ορίζονται από A και IP Domains), τα Serving Network (SN), Home Network (HN) και Transit Network (TN) Domains (περιλαμβάνουν S, H, T και IP Domains), τα Core Network (CN) Domains (ορίζονται από HN, SN, TN και IP Domains), τα Operator Network (ON) Domains (ορίζονται από AN και CN Domains), τα External Network (EN) Domains (ορίζονται από 3P, IPS και IP Domains) και τα Network (N) Domains (ορίζονται από ON και EN Domains).
- b. το stratum (ένα σύνολο πρωτοκόλλων, δεδομένων και λειτουργιών που σχετίζονται με τις υπηρεσίες που παρέχονται από έναν ή περισσότερους τομείς/domains). Υπάρχει το Application Stratum (χρήση υπηρεσιών που παρέχονται από το σπίτι, τα στρώματα εξυπηρέτησης και μεταφοράς και την υποδομή για την υποστήριξη υπηρεσιών ή/και υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας), το Home Stratum (διαχείριση και αποθήκευση δεδομένων συνδρομής και ειδικών υπηρεσιών οικιακού δικτύου), το Serving Stratum (δρομολόγηση και την προώθηση δεδομένων χρήστη ή δικτύου), το Transport Stratum (μεταφορά δεδομένων χρήστη από άλλα στρώματα μέσω του δικτύου), το Access Stratum (υποστρώμα του Transport Stratum, υπηρεσίες που σχετίζονται με τη μετάδοση δεδομένων) και το Management Stratum (διαχείριση δικτύου και διαχείριση ασφαλείας δικτύου).
- c. η Κλάση Ελέγχου Ασφαλείας/SCC (ένα σύνολο μέτρων ασφαλείας για την προστασία των δικτύων 5G, ιδίως των δικτύων υποδομής, των υπηρεσιών τους, του εξοπλισμού χρηστών και τα δεδομένα). Περιλαμβάνει την διαχείριση ταυτότητας και πρόσβασης, την αυθεντικοποίηση, την μη άρνηση συμμετοχής σε μια συγκεκριμένη ενέργεια, την εμπιστευτικότητα, την ακεραιότητα, την διαθεσιμότητα, την μυστικότητα, τον έλεγχο, την εμπιστοσύνη και διασφάλιση και την συμμόρφωση.
- d. ένα Πεδίο Ασφαλείας/SR (καταγράφει τις ανάγκες ασφαλείας ενός ή περισσότερων επιπέδων ή τομέων). Υπάρχει το Access Network (AN) SR (καταγράφει τις ανάγκες ασφαλείας των Network Domains και του Access Stratum), το Application (App) SR (καταγράφει τις ανάγκες ασφαλείας του Application Stratum), το Management (Mgmt) SR (καταγράφει τις ανάγκες ασφαλείας του Management Stratum και των Management Domains), το User Equipment (UE) SR (καταγράφει τις ανάγκες ασφαλείας των User Equipment (UE) Domains), το Network SR (καταγράφει τις ανάγκες ασφαλείας των Core Network Domains και μεταξύ των Core Network Domains και των External Network Domains) και το Infrastructure and Virtualization (I&V) SR (καταγράφει τις ανάγκες ασφαλείας των IP Domains).

Κεφάλαιο 2. Φυσική Υποδομή και Ανάπτυξη

2.1: Βελτιώσεις στην Φυσική Υποδομή

Το 5G είναι γνωστό για την εξαιρετικά μικρή καθυστέρηση, το υψηλό εύρος ζώνης καθώς και την προσφορά realtime υπηρεσιών που είναι προσβάσιμες από διάφορες εφαρμογές. Έτσι, οι ερευνητές έπρεπε να καταλήξουν σε μία φυσική υποδομή η οποία θα ήταν σύμφωνη με τα ανωτέρω. Με αφορμή αυτό, αναπτύχθηκε το Multi-access Edge Computing (MEC), παλαιότερα ονομαζόταν Mobile Edge Computing, το οποίο παρέχει δυνατότητες cloud computing και υπηρεσιών πληροφορικής στο edge (στην άκρη) του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Οι χειριστές του δικτύου μπορούν να επιτρέπουν σε τρίτους να έχουν πρόσβαση στην άκρη του, ώστε να μπορούν να παρέχουν γρήγορα νέες εφαρμογές και υπηρεσίες στους συνδρομητές, τις επιχειρήσεις και άλλους κλάδους τους. Η Λειτουργία Αποφόρτισης της Κυκλοφορίας (TOF – Traffic Offloading Function) του MEC συμβάλλει στη βελτίωση της υποδομής, ώστε η κυκλοφορία να μπορεί να δρομολογηθεί τοπικά, αντί για συνολικά. Διαθέτει μία διεπαφή ελέγχου και τρεις επίπεδους δεδομένων, το Base Band Unit (BBU – εικονική ασύρματη πρόσβαση), το Serving GW (πλαίσιο το οποίο παρέχει και δεδομένα και φωνή – Evolved Packet Core) και το Apps (πραγματοποιείται στο edge cloud και απαιτεί πρόσβαση στο επίπεδο δεδομένων). Οι τρεις αυτές διαπαφές πρέπει να θεωρούνται ως προσαρμογείς του δικτύου. Ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσεται ή διαιρείται το RAN μεταξύ της Απομακρυσμένης Μονάδας και της Κεντρικής Μονάδας, γνωστό και ως EDGE cloud, καθορίζει πόσο στενά σχετίζονται το MEC και το RAN. Ο λειτουργικός διαχωρισμός, ή αλλιώς ο καταμερισμός των εργασιών μεταξύ της ασύρματης μονάδας (RU) και της κεντρικής μονάδας (CU), έχει σημαντική επιρροή στο δίκτυο μεταφοράς, στις απαιτήσεις NGFI (Next Generation Fronthaul Interface) για τη διεκπεραίωση δεδομένων, στην καθυστέρηση και στον συγχρονισμό, καθώς και στις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στο MEC. Θεωρητικά, οποιοδήποτε από τα μπλοκ που εμφανίζονται μπορεί να αντιπροσωπεύει τον διαχωρισμό μεταξύ RU και CU.

Επικεντρωνόμαστε σε τρεις λειτουργικές διαιρέσεις, την Α (5G τεχνολογίες σε Cloud RAN συστήματα βασισμένα σε κοινή δημόσια ραδιοδιεπαφή), την Β (μεταφορά συμβόλων του frequency domain) και την Γ (διαχωρισμός upper-MAC και μπορεί να αντιπροσωπεύει διεπαφές backhaul-οπισθοζευκτικές). Σε γενικές γραμμές, οι διαχωρισμοί περαιτέρω στην αλυσίδα επεξεργασίας μειώνουν τις ανάγκες για διεκπεραίωση δεδομένων fronthaul-εμπροσθοζευκτικών, καθυστέρηση και συγχρονισμό, ενώ παρέχουν λιγότερες βελτιώσεις συγκεντροποίησης όσον αφορά το μέγεθος RRU και τη επεξεργασία με συνεργασία πόρων. Αφού παραμετροποιήσουμε ρεαλιστικά αυτές τις λειτουργικές διαιρέσεις (5G τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης), δηλαδή για την Γ, ως ρυθμός δεδομένων καθορίζεται ένα εύρος από 16 έως 26 Gbps. Αν και υπάρχει ακόμα MAC και επιβάρυνση μεταφοράς, αυτό είναι αρκετά κοντά στις ταχύτητες δεδομένων που βιώνει ο χρήστης. Αυτές οι ταχύτητες δεδομένων είναι συνεπείς με την ικανότητα 5G έως και 10 Gbps. Οι ρυθμοί δεδομένων ανά κελί για τις χαμηλότερες λειτουργικές διαιρέσεις κυμαίνονται από 35 έως περίπου 200 Gbps. Αυτές είναι, ωστόσο, απαιτήσεις αιχμής. Υπάρχουν συστάσεις οι οποίες χρησιμοποιούν τη στατιστική πολυπλεξία που υπάρχει στα δίκτυα του πραγματικού κόσμου. Πραγματοποιώντας μετρήσεις βασισμένες σε δίκτυο 4G, υποθέτουμε ότι θα υπάρχουν αντιστοιχίες και στην περίπτωση χρήσης 5G με μόνη διαφορά την αύξηση του εμπειρικού φορτίου που μετρήθηκε στο δίκτυο 4G. Το εύρος Tbps μπορεί να επιτευχθεί εύκολα αφού αναμένονται μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Αυτός ο αντίκτυπος μπορεί να μετριάσει με την εισαγωγή μικρότερων λειτουργικών διαχωρισμών Β και Γ και η στατιστική πολυπλεξία μπορεί να ελαχιστοποιήσει περαιτέρω την απαραίτητη χωρητικότητα. Τα μελλοντικά δίκτυα μεταφοράς δεδομένων πρέπει να λαμβάνουν υπόψη αυτές τις μεταβλητές ώστε να καταστούν οικονομικά εφικτά.

2.2: Δίκτυο Φυσικής Πρόσβασης

Για να είναι τόσο γρήγορο το 5G, πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες air interface οι οποίες απαιτούν συγχρονισμό διαφορετικών ραδιοπεριοχών καθώς και επεξεργασία πληροφοριών από πολλαπλούς σταθμούς βάσης σε μία κοινή οντότητα. Στην αρχιτεκτονική του επιπέδου δεδομένων, το σημαντικότερο στοιχείο είναι το XFE (μεταγωγέας πολλαπλών επιπέδων που αποτελείται από δυο μεταγωγείς, τον XPFE-μεταγωγέας πακέτων, και τον XCSE-μεταγωγέας κυκλώματος). Η διαδρομή μεταγωγής κυκλώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορα προφίλ κυκλοφορίας που δεν είναι κατάλληλα για μεταφορά πακέτων ή απλώς για αποφόρτιση χωρητικότητας. Η διαδρομή μεταγωγής πακέτων είναι η τέλεια επιλογή για την πλειονότητα της κίνησης fronthaul (FH) και backhaul (BH) με ανοχή σε καθυστέρηση. Στον μεταγωγέα μπορούν να προστεθούν και να αφαιρεθούν επίπεδα κάτι που βοηθά στην υποστήριξη multi-tenancy λόγω της χρήσης διαφορετικών σεναρίων ανάπτυξης με διαχωρισμό της κυκλοφορίας. Είναι δυνατή η εικονικοποίηση μονάδων απομακρυσμένης πρόσβασης για σταθμούς βάσης, μεταφέροντας μέρος των λειτουργιών τους στην τοποθεσία κυψέλης και τα συμπληρωματικά τους καθήκοντα στους κόμβους επεξεργασίας της ζώνης βάσης. Οποιαδήποτε τρέχουσα ή νέα διεπαφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διεπαφή fronthaul για ένα σταθμό βάσης μεταξύ της μονάδας απομακρυσμένης πρόσβασης και της κεντρικής μονάδας πρόσβασης. Προκειμένου να μειωθεί η ποσότητα των ροών δεδομένων, οι ασύρματες μονάδες ενδέχεται να κάνουν κάποια συγκέντρωση πριν αλληλεπιδράσουν με το XFE. Μία αλληλουχία RRH (Remote Radio Head – περιέχει το κύκλωμα ραδιοσυχνότητας του σταθμού βάσης συν μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό ή ψηφιακό σε αναλογικό και μετατροπείς up/down) που προσθέτει και πολυπλέκει την κυκλοφορία CPRI χρησιμεύει ως πρώτη απεικόνιση. Σε δεύτερη απεικόνιση, τα σήματα πελάτη πολυπλέκονται σε ένα σύστημα RoF (Radio over Fiber) χρησιμοποιώντας πολλές ραδιοσυχνότητες. Υπάρχουν αρκετές λειτουργίες προσαρμογής, η AF-1 (καθιστά δυνατή την αποστολή δεδομένων από το ένα μέσο στο άλλο), η AF-2 (αντιστοιχίζει τη ραδιοδιεπαφή στο πρωτόκολλο XCSE), η AF-3 και AF-4 (αντιστοιχίζει το XCF-επεξεργασίας βασικής ζώνης και άλλων εικονικών λειτουργιών, στο πρωτόκολλο του XCSE) και η AF-5 (απαραίτητη μόνο όταν οι προϋπάρχοντες μονάδες ζώνης βάσης πρέπει να συνδεθούν με στοιχεία τα οποία επεξεργάζονται τις συνδέσεις του κεντρικού δικτύου με μικρές κυψέλες). Ο έλεγχος προώθησης πακέτων (ποιο πλαίσιο προωθείται από ένα XPFE-στοιχείο προώθησης πακέτων, με ποιον τρόπο) γίνεται στον SDN Controller. Σύμφωνα με την προσέγγιση SDN, όλοι οι έλεγχοι γίνονται λογικά σε έναν κεντρικό ελεγκτή. Για τους σκοπούς της μεταφοράς διάφορων τύπων κίνησης fronthaul και backhaul, το XCF πρέπει να παρέχει ευρύτερο φάσμα υπηρεσιών. Διαφορετικά πρωτόκολλα, συμπεριλαμβανομένων βασισμένων σε IP (LTE), μπορούν να αναπτυχθούν για το δίκτυο backhaul ανάλογα με τη φυσική τοπολογία. Τόσο η κίνηση fronthaul όσο και η κίνηση backhaul μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο επίπεδο μεταγωγής, κάτι που προορίζονται να κάνουν τα XCF και τα XPFE. Πρέπει να μπορούν να επικοινωνούν με παλαιότερες συσκευές προκειμένου να διευκολυνθεί η μετάβαση στο επόμενο δίκτυο μεταφορών 5G. Πρέπει να φιλοξενηθούν πολλοί tenants και διάφορα λειτουργικά τμήματα. Οι συγκλινόμενοι τομείς οπτικού και ασύρματου δικτύου που μπορούν να επιτρέψουν τόσο την πρόσβαση όσο και τη μεταφορά αποτελούν ένα βιώσιμο επίπεδο δεδομένων για τη μεταφορά 5G. Μέσω της χρήσης των τεχνολογιών mm-Wave και sub-6, ένα πυκνό στρώμα μικροσκοπικών κυψελών μπορεί να μεταφερθεί σε μακρο-κυψέλες στον ασύρματο τομέα. Ένας εναλλακτικός σχεδιασμός επιτρέπει τη συνδεσιμότητα κεντρικής μονάδας και μικρής κυψέλης μέσω ενός ενεργού οπτικού δικτύου. Αυτό χρησιμοποιεί μια υβριδική στρατηγική που συνδυάζει μια λύση οπτικού δικτύου που βασίζεται σε πλαίσιο που την καθιστά δυναμική με πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM) στο παθητικό οπτικό δίκτυο (PON) που έχει αυξημένη χωρητικότητα. Οι παραδοσιακοί περιορισμοί RAN μπορούν να παρακαμφθούν εφαρμόζοντας την ιδέα Cloud-RAN. Εξηγεί γιατί οι νέες λειτουργικές υπηρεσίες δικτύου (FH) πρέπει να υποστηρίζονται σε όλο το δίκτυο μεταφοράς. Προτείνεται η υποστήριξη BH και FH ταυτόχρονα σε μια κοινή υποδομή για τη βελτιστοποίηση του συντονισμού και των πλεονεκτημάτων κοινής χρήσης πόρων. Είναι δυνατή η χρήση ευέλικτων εναλλακτικών τμημάτων που μπορούν να χαλαρώσουν τα αυστηρά κριτήρια μεταφοράς για χωρητικότητα, καθυστέρηση και συγχρονισμό. Με βάση μια ποικιλία μεταβλητών, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών του δικτύου μεταφοράς, μπορεί να ληφθεί μια δυναμική απόφαση σχετικά με την καλύτερη κατανομή των λειτουργιών επεξεργασίας που θα εκτελεστούν τοπικά ή εξ αποστάσεως. Προκειμένου να μεταφερθεί η κίνηση στο Central Office (CO), όπου διασυνδέεται με ένα ενεργό οπτικό δίκτυο, ένα παχύ στρώμα μικρών κυψελών πρώτα διασυνδέεται με ένα παθητικό οπτικό δίκτυο που βασίζεται στην τεχνολογία WDM-PON. Αυτές οι διεπαφές επιλύουν επίσης ένα σημαντικό ζήτημα, δηλαδή την αντιστοίχιση διαφόρων κλάσεων Quality of Service (QoS) σε διάφορους τομείς. Οι

προγραμματιζόμενες διεπαφές δικτύου μπορούν να επεξεργάζονται επιλογές προώθησης κίνησης με ταχύτητα καλωδίου και μπορούν να χειριστούν μια ποικιλία τύπων κίνησης. Μια τροποποιημένη έκδοση του πρωτοκόλλου CPRI που υποστηρίζει την ιδέα του λειτουργικού διαχωρισμού έχει χρησιμοποιηθεί για την κυκλοφορία FH. Τα σημεία εξόδου πραγματοποιούνται ως αντίστροφη λειτουργία. Σε σύγκριση με τα cloudlet, τα Data Centres μεγάλης κλίμακας προσφέρουν καλύτερη απόδοση ανά Watt για υπηρεσίες C-RAN και CDN (Content Distribution Network). Παρατηρείται ότι η χρήση της συνδυασμένης ασύρματης-οπτικής υποδομής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας (μεταξύ 60% και 75%). Λόγω της απουσίας κοινής χρήσης BBU (Base Band Unit), το παραδοσιακό RAN μειώνει τον χρόνο καθυστέρησης της υπηρεσίας BH από άκρο σε άκρο εις βάρος της αυξανόμενης κατανάλωσης ενέργειας. Ο αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη συνολική κατανάλωση ενέργειας, σύμφωνα με έρευνα. Οι υπηρεσίες υψηλής αναλογίας δικτύου προς υπολογισμό χρειάζονται πολλούς πόρους δικτύου για να εκτελεστούν. Η επιλογή υψηλότερων επιλογών διαχωρισμού, οι οποίες χρειάζονται λιγότερο εύρος ζώνης για τη σύνδεση ασύρματης μονάδας με την κεντρική μονάδα, εξουδετερώνει αυτόν τον αντίκτυπο.

2.3: Παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας του φόρτου εργασίας

Προκειμένου τα δίκτυα 5G να παρέχουν και να εγγυώνται το κατάλληλο επίπεδο απόδοσης υπηρεσιών, η παρακολούθηση της πλατφόρμας και των υπηρεσιών είναι απαραίτητη. Ως προσέγγιση των υπηρεσιών προφίλ που θα αναπτυχθούν σε μια υποδομή 5G και θα βελτιώσουν την απόδοσή τους, παρουσιάστηκε η εμπειρική μεθοδολογία γνωστή ως TALE. Η προσέγγιση βασίζεται στην τηλεμετρία πλήρους στοίβας για τη συλλογή μετρήσεων για την απόδοση, τις ανωμαλίες, την καθυστέρηση και την εντροπία σε σχέση με την υπηρεσία που είναι το αντικείμενο της έρευνας και βρίσκεται υπό πίεση από καταστάσεις δυναμικού φορτίου. Η μέθοδος TALE συνδυάζει ανάλυση και οπτικοποίηση με την αυτόματη συλλογή ορισμένων δεδομένων συστήματος. Η αντιστοίχιση KPI επιδιώκει να προσδιορίσει, από την άποψη της υποδομής, τις πιο σχετικές μετρήσεις πλατφόρμας που συνδέονται με έναν δείκτη βασικής πλατφόρμας (KPI) για μια υπηρεσία. Αυτό καθιστά δυνατή την παρακολούθηση των περίπλοκων συστημάτων δικτύου πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, ενώ παράλληλα μειώνει την ποσότητα της τηλεμετρίας που πρέπει να εξεταστεί για τη διασφάλιση της υπηρεσίας.

Κεφάλαιο 3. Λογισμικοποίηση και Διαχείριση των υπηρεσιών 5G

3.1: Τεχνολογίες Ενεργοποίησης (Multi-tenancy, Cloud, Virtualization, Network Programmability)

Μια πλατφόρμα που υποστηρίζει multi-tenancy μπορεί να εκτελεί τον κώδικα διαχείρισης/ενορχήστρωσης για συγκεκριμένους tenants ανεξάρτητα για υπηρεσίες και λειτουργίες. Οι λειτουργίες και οι υπηρεσίες έχουν τη δυνατότητα αυτοαναφοράς εάν υποστηρίζουν πολλούς tenants. Η αρχιτεκτονική του συστήματος δημιουργήθηκε για να παρέχει υπηρεσίες δικτύου κινητής τηλεφωνίας από άκρο σε άκρο σε διάφορους τομείς. Για το 5G υπάρχουν ορισμένες πτυχές multi-tenancy όπως (α) η κοινή χρήση υποδομής (εστιάζει στη χρήση μεθόδων τεμαχισμού δικτύου για τη δημιουργία πολλών εικονικών Core Networks που μοιράζονται πολυάριθμοι χειριστές δικτύων και διαθέτουν υπηρεσίες και εφαρμογές ευαίσθητες στο χρόνο), (β) η κοινή χρήση φάσματος (στόχος είναι να εντοπιστούν κανονισμοί που, αντί να πωλούν ξεχωριστές ζώνες συχνοτήτων, εξασφαλίζουν τα υψηλότερα προβλεπόμενα έσοδα), (γ) κοινή χρήση RAN (εξαρτάται από λύσεις που βασίζονται σε Hypervisor για την κατασκευή ενός εικονικού λειτουργικού συστήματος) και (δ) η κοινή χρήση δικτύου (οι εφαρμογές που διαχειρίζονται απλώς κοινόχρηστους πόρους και λειτουργίες δικτύου λειτουργούν στο SDM-X. Τέτοιοι πόροι και λειτουργίες δικτύου μπορούν να μοιράζονται αποτελεσματικά μεταξύ τμημάτων/ενοικιαστών χάρη στη διαχείριση μεταξύ τμημάτων του 5G NORMA. Το SDM-O θα αποφασίσει ποιες λειτουργίες δικτύου μπορούν να χωριστούν σε τμήματα και πού θα τις τοποθετήσουν στο δίκτυο). Ενισχύοντας το παρόν 3GPP LTE με πρόσθετες δυνατότητες ελέγχου, μπορεί να επιτευχθεί η κοινή χρήση RAN για 5G. Ο προγραμματιστής σταθμών βάσης εκχωρεί το μπλοκ φυσικών πόρων (PRB) ως τη μικρότερη μονάδα. Ένας προγραμματιστής μπορεί να επιλέξει ποιος χρήστης θα λάβει τους κοινόχρηστους πόρους (χρόνος και συχνότητες) για κάθε TTI. Ο σχεδιασμός και η εκτέλεση στρατηγικών που μπορούν να προγραμματίσουν αποτελεσματικά Μπλοκ πόρων σχετίζονται με το ζήτημα RAN. Στο πλαίσιο πεδίου ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, διαθέτει έναν τοπικό ελεγκτή πραγματικού χρόνου (RTC) που διατηρεί τη συνέπεια των πληροφοριών. Η κοινή χρήση υποδομής, φάσματος και RAN υποστηρίζεται μέσω της ενοποίησης κεντρικού ελεγκτή και ενός πλήρως διαμορφώσιμου υποστρώματος.

Το NFV, συνοδευόμενο από SDN, θεωρείται επί του παρόντος ως η κύρια τεχνολογία για την ανάπτυξη τμημάτων δικτύου. Για να υλοποιηθεί πλήρως η υπόσχεση του λογισμικού, θα πρέπει να συνυπάρχουν αρκετές τεχνολογίες εικονικοποίησης. Με τη συγκατοίκηση ολόκληρων VM (Εικονικών Μηχανών) και την container-based εικονικοποίηση, αυτό πραγματοποιείται ήδη. Μια εξαιρετικά ελαφριά τεχνική εικονικοποίησης που ονομάζεται unikernels κερδίζει δημοτικότητα για μερικές συγκεκριμένες περιπτώσεις εφαρμογών. Αυτές οι τρεις τεχνολογίες θα πρέπει να συνυπάρχουν στην ίδια υποδομή και να εφαρμόζονται επιλεκτικά ανάλογα με τις περιστάσεις και τον φόρτο εργασίας. Η δομή του δικτύου θα είναι όλο και πιο σημαντική καθώς φτάνουμε προς τη δημιουργία λογισμικοποιημένου δικτύου. Οι δρομολογητές λογισμικού χρησιμεύουν ως απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο απλές δυνατότητες επεξεργασίας πακέτων μπορούν να συνδυαστούν για να παρέχουν πιο περίπλοκες λειτουργίες κόμβου, όπως δρομολογητής/NAT/τείχος προστασίας. Για να επωφεληθούμε από αυτές τις διαφορετικές ρυθμίσεις εκτέλεσης, το αρχιτεκτονικό μοντέλο για το 5G πρέπει να είναι προσαρμόσιμο. Το ετερογενές υλικό και η ετερογενής πλατφόρμα που γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα στην ανάπτυξη 5G μπορούν να αφαιρεθούν χάρη στις έννοιες RFB/REE. Το επαναχρησιμοποιούμενο λειτουργικό μπλοκ (RFB) είναι μια γενίκευση του VNF και το RFB Execution Environment (REE) αναφέρεται στο περιβάλλον που μπορεί να επιτρέψει την εκτέλεση μιας υπηρεσίας. Το REE μπορεί να είναι ένθετο. Για παράδειγμα, τα containers μπορούν να εκτελούνται πάνω από εικονικές μηχανές και ένας δρομολογητής λογισμικού μπορεί να λειτουργεί μέσα και στα δύο.

Μια κρίσιμη τεχνολογία ενεργοποίησης για δυναμική λειτουργία της υπηρεσίας 5G και της αρχιτεκτονικής τμημάτων είναι η δυνατότητα προγραμματισμού. Προκειμένου να παρέχεται ενορχήστρωση και διαχείριση για συγκεκριμένο τομέα, η εσωτερική αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης του χειριστή 5G εξαρτάται από τις διεπαφές που

εκτίθενται από τα ειδικά για την τεχνολογία VIM στο VNFM και το NFVO. Η δυνατότητα προσαρμογής της υποδομής στις απαιτήσεις της υπηρεσίας ενώ φιλοξενούνται πολυάριθμες υπηρεσίες στην ίδια υποδομή για να επιτραπεί κάποιου βαθμού πλεονεκτήματα πολυπλεξίας είναι το κύριο πλεονέκτημα του τεμαχισμού. Η υποκείμενη υποδομή πρέπει επομένως να είναι προγραμματιζόμενη, σύμφωνα με αυτό. Ο αποτελεσματικός συντονισμός και διαχείριση RAN προγραμματιζόμενων υποδομών και υπηρεσιών εξαρτάται από τη συνεπή αναπαράσταση της κατάστασης του δικτύου και των πόρων της υποδομής. Μέσω της χρήσης αφαιρέσεων υψηλού επιπέδου, οι δομές προγραμματισμού προσφέρουν τρόπους προβολής και ελέγχου τόσο εικονικών όσο και πραγματικών λειτουργιών δικτύου (NF). Προκειμένου να καταστεί δυνατή η δημιουργία υπηρεσιών και τμημάτων που επεκτείνουν τους τομείς τεχνολογίας και παρόχων, η ενορχήστρωση για συγκεκριμένο τομέα παρέχει επίσης μια northbound διεπαφή στο επίπεδο end-to-end ενορχήστρωσης. Για παράδειγμα, οι αφαιρέσεις που βασίζονται σε γραφήματα μπορούν να προσομοιώσουν ζητήματα κατανομής πόρων LTE που επιλύονται με επιτυχία από αλγόριθμους τοπικής αναζήτησης και εκπλήρωσης περιορισμών. Τα δεδομένα κατάστασης αφαιρούνται στα χαμηλά επίπεδα και παρέχονται στα ανώτερα επίπεδα ελέγχου για τη δημιουργία network views. Η δυνατότητα χρήσης μαθηματικών μοντέλων και αλγορίθμων είναι ουσιαστικά αυτό που επιτρέπουν τα γραφήματα δικτύου, και αυτό συχνά οδηγεί σε εξαιρετικά αποτελεσματικές λύσεις όσον αφορά τη σύγκλιση και την απόδοση του δικτύου. Οι κορυφές και τα άκρα των γραφημάτων δικτύου κατασκευάζονται από διάφορες πηγές δεδομένων, όπως οι πρωτογενείς μετρήσεις της υποδομής ή πιο προηγμένες τεχνικές παρακολούθησης. Οι πληροφορίες που αποθηκεύονται σε εξειδικευμένο χώρο αποθήκευσης ή είναι άμεσα προσβάσιμες από οντότητες υποδομής συλλέγονται για να δημιουργηθεί ένα γράφημα δικτύου (π.χ. δίκτυα αποθήκευσης και βάσεις δεδομένων). Ένα γράφημα δικτύου μπορεί να απεικονίζει την κατάσταση του δικτύου σε σχέση με μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική RAT (Radio Access Technology) και σχετικούς κόμβους σε επίπεδο τοπικών οντοτήτων ελεγκτή σε πραγματικό χρόνο. Για το σκοπό του συντονισμού πολλών τομέων, τα γραφήματα δικτύου υψηλού επιπέδου μπορούν να συγκεντρωθούν ανάλογα με ορισμένα σύνολα γραφημάτων περιφερειακού δικτύου. Η ενορχήστρωση για συγκεκριμένο τομέα μπορεί να έχει τη δυνατότητα (α) να συλλέγει δεδομένα δικτύου από διάσπαρτες πηγές δεδομένων, (β) να συγκεντρώνει προϋπάρχοντα γραφήματα δικτύου, (γ) να επεξεργάζεται γραφήματα δικτύου με σκοπό τον συντονισμό και τον έλεγχο των λειτουργιών και (δ) να διανέμει γραφήματα δικτύου και αποτελεσμάτων σε άλλους ελεγκτές και οντότητες δικτύου.

3.2: Υπηρεσίες και Σχεδιασμός Υπηρεσιών

Αντί της χρησιμοποίησης γενικών, απλών μεθόδων, οι εκτεταμένες περιγραφές υπηρεσιών θα επιτρέψουν μια πολύ μεγαλύτερη ποικιλία αυτοματοποιημένων βελτιστοποιήσεων, όπως η αυτόματη τοποθέτηση και κλιμάκωση με τρόπο συγκεκριμένο για την υπηρεσία. Η ικανότητα της πλατφόρμας MANO να κάνει πιο ενημερωμένες κρίσεις σχετικά με την αναγκαιότητα μιας υπηρεσίας ή μιας λειτουργίας θα οδηγήσει τελικά σε βελτίωση της ποιότητας της υπηρεσίας. Τα de facto πρότυπα βασίζονται στην ιδέα ETSI και προσθέτουν μερικά απλά χαρακτηριστικά. Οι επεκτάσεις που είναι κατάλληλες παρέχουν μετρήσιμα δεδομένα που συνδέουν το προσφερόμενο φορτίο, τους απαραίτητους πόρους και την παραδοθείσα απόδοση. Η προδιαγραφή των Προτύπων Υπηρεσιών Δικτύου αναπτύσσεται από το ETSI NFV με στόχο να επιτρέψει την ανάπτυξη υπηρεσιών ενώ κατανοεί ότι αποτελούνται από έναν αριθμό διασυνδεδεμένων VNF. Υπάρχει μια παράλληλη προδιαγραφή των περιγραφών αιτημάτων υπηρεσίας ως μέρος αυτής της προσπάθειας. Τα πρότυπα υπηρεσιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθ' όλη τη διάρκεια ζωής μιας υπηρεσίας, όχι μόνο για αιτήματα υπηρεσιών. Ο ορισμός του OASIS για το TOSCA δηλώνει ότι είναι μια γλώσσα και μεταμοντέλο για την περιγραφή των υπηρεσιών, των στοιχείων τους, των συνδέσεων και των διαδικασιών διαχείρισης. Στο TOSCA, ένα ειδικό προφίλ για το NFV έχει ήδη δημιουργηθεί και χρησιμοποιείται από διάφορες εμπορικές λύσεις που είναι διαθέσιμες στην αγορά. Μια αρχιτεκτονική υπηρεσίας που βασίζεται σε τρία βασικά στοιχεία καθορίζεται από την ομάδα εργασίας Service Function Chaining (SFC) του IETF για ανάπτυξη σε τομέα με δυνατότητα SFC. Ο ορισμός μιας περιγραφής υπηρεσίας δεν καλύπτεται στο IETF SFC, κάτι που απαιτεί πρόσθετη λογική για να γίνει αυτό. Οι λειτουργίες υπηρεσίας (SF), οι οποίες είναι ίδιες με τις VNF, οι λειτουργίες προώθησης λειτουργιών υπηρεσίας (SFF) και οι λειτουργίες ταξινόμησης υπηρεσιών αποτελούν τα στοιχεία (SCF). Η πρόταση του OGF Network Service Information (NSI) επιτρέπει τους ακόλουθους τύπους αιτημάτων για υπηρεσίες συνδεσιμότητας που περιλαμβάνουν δεδομένα για

συγκεκριμένες υπηρεσίες όπως σημεία τερματισμού υπηρεσίας για είσοδο και έξοδο (STP), Routing Object Direct (ERO) και πληροφοριακή ικανότητα του Connection Framing.

Ένα annotation υποδεικνύει εάν μια υπηρεσία μπορεί να λειτουργήσει για διάφορους χρήστες σε διαφορετικές περιστάσεις. Ένας ενορχηστρωτής παρακολουθεί ποιες VNF/υπο-υπηρεσίες είναι ήδη εγκατεστημένες ή διαθέσιμες, μαζί με εκείνες που είναι προσβάσιμες ως λειτουργίες εικονικού δικτύου (πολλαπλή μίσθωση). Πολλοί κατάλογοι περιλαμβάνουν παρόμοια αποθετήρια στα οποία μπορεί να αποκτηθεί πρόσβαση και να αλληλεπιδράσουν χρησιμοποιώντας ένα SDK. Οι υπηρεσίες μπορούν να τροποποιηθούν ή να παραχθούν νέες εκδόσεις υπηρεσίας χρησιμοποιώντας το API του ενορχηστρωτή και το SDK. Τεχνικές γνωστές ως Service Function Chaining (SFC) έχουν χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση τόσο των παραδοσιακών όσο και των σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών σε νέες υποδομές με δυνατότητα Cloud. Η καλύτερη κατανόηση των ιδεών του NFV σε αυτήν την κατάσταση είναι απαραίτητη προκειμένου να επεκταθεί η έννοια του SFC στο πλαίσιο του οικοσυστήματος 5G. Οι πιο δημοφιλείς υποψήφιοι για την επιβολή διεύθυνσης της κυκλοφορίας σε ένα λογικό γράφημα δικτύου είναι οι τεχνικές δικτύωσης που καθορίζονται από λογισμικό (SDN) για SFC. Τα τυπικά πρωτόκολλα μαζί με ορισμένες αλλαγές SDN μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πλήρη εφαρμογή και υποστήριξη του SFC ή μπορούν να εφαρμοστούν νέες εξειδικευμένες μέθοδοι. Ο ελεγκτής SDN βρίσκεται ανάμεσα σε στοιχεία όπως ο Orchestrator of the Light Data Centre (Light DC). Η λογική της εφαρμογής του ελεγκτή διατηρεί τις πολιτικές διεύθυνσης και επιβολής κανόνων. Η τεχνική SFC μπορεί να αλλάξει ανάλογα με την αρχιτεκτονική εάν η δρομολόγηση εκτείνεται σε πολλά Light DC. Η ασφάλεια της δημιουργίας ενός τέτοιου μηχανήματος με τρόπο χωρίς παρακολούθηση σε ένα μη φιλοξενούμενο δίκτυο είναι ένα κρίσιμο ζήτημα.

Σε σύγκριση με τις λανθασμένες τροποποιήσεις διαμόρφωσης σήμερα, η εγκατάσταση νέων VNF, όπως η λειτουργικότητα επεξεργασίας στο 5G, εγκυμονεί πιθανούς κινδύνους. Η κυκλοφορία επιθέσεων μπορεί να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες εσωτερικού χειριστή λόγω εσφαλμένης διαμόρφωσης του τείχους προστασίας VNF ή μια πύλη εφαρμογής ενδέχεται να τροποποιήσει εσφαλμένα πακέτα, με αποτέλεσμα απώλεια σύνδεσης. Χρειαζόμαστε εργαλεία για την αξιολόγηση της ακρίβειας των ρυθμίσεων χρησιμοποιώντας έλεγχο μοντέλου, προκειμένου να εγγυηθούμε υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας. Μια διαφορετική και εξαιρετικά πολλά υποσχόμενη στρατηγική είναι η χρήση εργαλείων επαλήθευσης επιπέδου δεδομένων δικτύου που βασίζονται σε επίσημες μεθόδους επαλήθευσης λογισμικού. Αυτά τα προγράμματα μιμούνται τα αποτελέσματα της έγχυσης ενός γενικού πακέτου (με πεδία χαρακτήρων μπαλαντέρ) σε μια θύρα δικτύου. Η γλώσσα SEFL περιγράφει την επεξεργασία κάθε πλαισίου δικτύου ως μια σειρά από "port: instruction list.". Ο τρόπος που λειτουργεί η συμβολική εκτέλεση (εργαλείο Symnet) είναι η παρακολούθηση των επιτρεπόμενων τιμών για το πεδίο κεφαλίδας (ή διαδρομή) κάθε πιθανού πακέτου. Ένα μόνο συμβολικό πακέτο χρησιμοποιείται για την έναρξη της εκτέλεσης, το οποίο συνεχίζεται μέχρι να ανακαλυφθεί μια εντολή τείχους προστασίας. Η συμβολική εκτέλεση αρχικά καθορίζει εάν η συνθήκη if ικανοποιείται πριν εξερευνηθεί τη διαδρομή then όταν συναντήσουμε μια εντολή if. Με τον περιορισμό ότι πρέπει να ισχύει η συνθήκη του αρνηθέντος εάν, διερευνάται και η διαδρομή αλλιώς. Το Symnet έχει επεκταθεί ως μέρος του έργου 5GPPP για να συμπεριλάβει μια γλώσσα που επιτρέπει στους χειριστές να εξηγούν με σαφήνεια και περιεκτικότητα τους κανόνες τους, παρέχει ένα εργαλείο που εκτελεί συμβολικές εντολές υπό την καθοδήγηση της πολιτικής χειριστή προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των αναζητούμενων μονοπατιών, να συμπεριλάβει επαληθεύσιμα ακριβείς μεταφράσεις μεταξύ της γλώσσας μας SEFL (η επιλεγμένη γλώσσα της ανάλυσης), που χρησιμοποιείται από το Symnet, και γλωσσών όπως η P4 και να βελτιώσει το Openstack Neutron συμπεριλαμβάνοντας την επαλήθευση Symnet κάτι που είναι σε εξέλιξη. Το πλαίσιο πρώτα επαληθεύει ότι το πακέτο προορίζεται για αυτό, στη συνέχεια καθορίζει εάν η θύρα προορισμού πρέπει να προωθηθεί και, εάν ναι, αντικαθιστά τη διεύθυνση προορισμού. Η εκτέλεση ξεκινά με ένα πακέτο που περιέχει μια συμβολική διεύθυνση προορισμού IP και θύρα TCP. Εάν όχι, θα στείλει το πακέτο σε άλλη θύρα εξόδου στην τρέχουσα κατάστασή του. Το Symnet μπορεί να παρακολουθεί τη βασική προσβασιμότητα, καθώς και τις τροποποιήσεις κεφαλίδων, τη δημιουργία σήραγγας και τα stateful τείχη προστασίας. Προκειμένου να παραδοθούν πιο δυναμικές λύσεις που χρησιμοποιούν μηχανική εκμάθηση για αποτελεσματική και αυτοματοποιημένη διαχείριση δικτύου, τα δίκτυα 5G πρέπει να κάνουν χρήση αυτών των δυνατοτήτων.

Στην εποχή του 5G, προτείνεται η χρήση υπηρεσιών μηχανικής εκμάθησης για την παροχή αποτελεσματικότερης διαχείρισης δικτύου. Η ταξινόμηση της κίνησης δικτύου μπορεί να είναι χρήσιμη για τις λειτουργίες λογιστικής και απόδοσης του FCAPS. Η μηχανική εκμάθηση χρησιμοποιείται σε πολλές δημοσιεύσεις για την επίλυση ζητημάτων που

σχετίζονται με διάφορες λειτουργίες. Προκειμένου να εντοπιστούν μοτίβα κυκλοφορίας που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, ο Zender et al. χρησιμοποίησε το EM για να ομαδοποιήσει τα ίχνη κυκλοφορίας δικτύου. Η μελέτη του Williams et al διερεύνησε τα αποτελέσματα απόδοσης της μείωσης του συνόλου χαρακτηριστικών σε ένα ζήτημα ταξινόμησης της κυκλοφορίας δικτύου χρησιμοποιώντας επιλογή χαρακτηριστικών που βασίζεται στη συνέπεια και στη συσχέτιση. Μειώνοντας το ρυθμό απώλειας πακέτων και την καθυστέρηση εικονικής σύνδεσης, οι συγγραφείς εφάρμοσαν ενισχυτική μάθηση για να βελτιώσουν την απόδοση των εικονικών δικτύων. Για να ενημερώσουν καθορισμένους κανόνες ανώμαλης δραστηριότητας δικτύου με την πάροδο του χρόνου, χρησιμοποίησαν εξελικτικούς αλγόριθμους και έναν εκπαιδευόμενο που βασίζεται σε δέντρα αποφάσεων. Εξέτασαν τη δυναμική διαχείριση πόρων σε σχέση με τη διαμόρφωση, τη λογιστική και την απόδοση. Σύμφωνα με τις μοναδικές απαιτήσεις τους, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να επιλέξουν από ένα ολοκληρωμένο σύνολο υπηρεσιών που προσφέρει η φάση 1 του 5GPPP. Το χαρτοφυλάκιο υπηρεσιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπλέον των εργαλείων διαχείρισης δικτύου. Οι ολοκληρωμένες υπηρεσίες που βασίζονται στη μηχανική μάθηση έχουν προφανές όφελος και απαιτούνται από την αγορά. Τα εισαγόμενα και επεξεργασμένα δεδομένα που χρειάζονται οι ενότητες μηχανικής εκμάθησης διαχειρίζονται οι υπηρεσίες δεδομένων. Με βάση τις ανάγκες ενός χειριστή, μια ποικιλία υπηρεσιών από αυτά τα τρία επίπεδα μπορεί να επιλεγεί και να συνδυαστεί. Οι υπηρεσίες σχεδιασμού συντονίζουν τις υπηρεσίες πρόβλεψης για την πρόταση δράσης και την εκτέλεση πολιτικής, ενώ οι υπηρεσίες μηχανικής μάθησης προσφέρουν την απαραίτητη δυνατότητα πρόβλεψης. Οι θεμελιώδεις υπηρεσίες μηχανικής μάθησης συμπληρώνονται από υπηρεσίες δεδομένων και υπηρεσίες προγραμματισμού. Για την ομαδοποίηση των υπηρεσιών χρησιμοποιούνται (α) Υπηρεσίες Δεδομένων (όλες οι υπηρεσίες μηχανικής εκμάθησης στο χαρτοφυλάκιο υπηρεσιών CogNet χρησιμοποιούν υπηρεσίες δεδομένων ως είσοδο. Τα δεδομένα εξάγονται από όλες τις εξωτερικές πηγές δεδομένων μέσω υπηρεσιών συλλογής δεδομένων. Για τις ενεργές ενότητες μηχανικής εκμάθησης, η υπηρεσία προετοιμασίας δεδομένων καθαρίζει το θόρυβο και προετοιμάζει τα δεδομένα. Η υπηρεσία μείωσης διαστάσεων δεδομένων μειώνει τη διάσταση των παρεχόμενων δεδομένων), (β) Υπηρεσίες Διασφάλισης Ποιότητας (αυτές οι υπηρεσίες χρησιμοποιούν μια ποικιλία μεθόδων μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένης της ταξινόμησης (που χρησιμοποιείται, για παράδειγμα, στον εντοπισμό απειλών δικτύου και θορυβωδών γειτόνων) και της παλινδρόμησης. Ο εντοπισμός παραβίασης SLO, ο εντοπισμός θορυβώδους γείτονα και ο εντοπισμός ανωμαλιών είναι οι τρεις υπηρεσίες που αντιμετωπίζουν το ζήτημα του εντοπισμού ανωμαλιών), (γ) Υπηρεσίες Πρόβλεψης Ζήτησης Δικτύου (για μια ποικιλία περιπτώσεων χρήσης, συμπεριλαμβανομένης της συνεργατικής διαχείρισης πόρων, η υπηρεσία κατηγοριοποίησης της κυκλοφορίας δικτύου ταξινομεί την κυκλοφορία δικτύου. Για την κατηγοριοποίηση χρησιμοποιούνται μόνο οι κεφαλίδες των πακέτων κυκλοφορίας), (δ) Υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας (μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των διαφόρων προτύπων μετακίνησης πληθυσμών και λειτουργικών περιοχών μιας πόλης. Όλες αυτές οι επιχειρήσεις προβλέπουν τάσεις ζήτησης χρησιμοποιώντας δεδομένα με γεωγραφική ετικέτα, όπως δεδομένα μέσω κοινωνικής δικτύωσης) και (ε) Υπηρεσίες Σχεδιασμού (η υπηρεσία συστάσεων ενεργειών περιλαμβάνεται σε αυτήν την κατηγορία. Ανάλογα με τα συμβάντα και τις πληροφορίες που παρέχονται από το Cognitive Smart Engine, η υπηρεσία προτάσεων ενεργειών θα προτείνει μια ποικιλία δραστηριοτήτων).

3.3: Διαχείριση και Ενορχήστρωση

Ένα από τα βασικά στοιχεία του 5G είναι ο τεμαχισμός ή η εγκατάσταση αρχιτεκτονικής εικονικού δικτύου που σχηματίζει μια υπηρεσία. Η ερευνητική κοινότητα έχει ήδη καταβάλει μεγάλη προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση. Η διαχείριση τμημάτων επιτρέπει στους χειριστές να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους πόρους τους διαχειριζόμενοι τα VNF τους. Ένα άπληστο βήμα ορίζεται από τη μέθοδο ευρετικής χαρτογράφησης ως η συνδυασμένη αντιστοίχιση μιας λειτουργίας δικτύου και μιας σύνδεσης γραφήματος κοντινής υπηρεσίας. Αυτός ο αλγόριθμος αναζητά (δυναμικά πολλές) ενσωματώσεις αλυσίδων υπηρεσιών. Μια τεχνική περιορισμένης οπισθοδρόμησης είναι υπεύθυνη για τη διερεύνηση ενός τμήματος του χώρου κατάστασης εάν η άπληστη αναζήτηση αποτύχει, επιχειρώντας τοπικά λιγότερο επιθυμητά βήματα. Στη συνέχεια, ο ενορχηστρωτής επιλύει διαφορές σχετικά με τους πόρους και, εάν απαιτείται, ενεργεί ως «διατητής». Το βήμα κλιμάκωσης πρέπει να προστεθεί στους αλγόριθμους VNE προκειμένου να βελτιωθεί

η απόδοσή τους. Ένα γράφημα υπηρεσίας, σε αντίθεση με το παραδοσιακό ζήτημα ενσωμάτωσης εικονικού δικτύου, είναι συχνά ένα ευέλικτο αντικείμενο που μεταβάλλεται από λειτουργίες κλιμάκωσης. Αυτό σημαίνει ότι οι αλγόριθμοι VNE πρέπει να ενημερώνονται αργότερα αντί να εφαρμόζονται αμέσως.

Ένας αριθμός διασυνδεδεμένων συστημάτων εικονικοποίησης αναμένεται να χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη του 5G, μερικά από τα οποία περιλαμβάνουν ολοκληρωμένες λύσεις τηλεμετρίας (παρακολούθησης) ως Celimeter στο OpenStack. Το έργο έχει επιλέξει ανεξάρτητους πράκτορες τηλεμετρίας για να προσφέρει ένα ευρύ φάσμα μετρήσεων σε διάφορες τεχνικές εικονικοποίησης και για διάφορες περιπτώσεις χρήσης, όπως παρακολούθηση υπηρεσίας λειτουργίας και χαρακτηρισμός υπηρεσίας, προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα. Το έργο χρησιμοποιεί μια τεχνική παρακολούθησης ολόκληρης στοίβας και μια δομημένη πειραματική στρατηγική για τη συλλογή μετρήσεων. έγινε αποδεκτό ως κύρια συστήματα παρακολούθησης δεδομένων, μαζί με το πλαίσιο τηλεμετρίας ανοιχτού κώδικα Snap, το CMDDB, το Cimmamon και το CMDDB. Οι μετρήσεις που συγκεντρώθηκαν σχετίζονται με τη λειτουργική υπηρεσία που ελέγχεται καθώς και με τις πραγματικές και εικονικές υποδομές υπολογιστών, αποθήκευσης και δικτύου. Οι πληροφορίες που συλλέγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για (α) τον εντοπισμό δυνατοτήτων βελτιστοποίησης διαμόρφωσης, (β) να προσδιορίσει τις σχετικές μετρήσεις για την επιχειρησιακή παρακολούθηση και (γ) να καθιερώσει σημεία διακοπής για τις υπηρεσίες και τους υποκείμενους μηχανισμούς αστοχίας τους.

Το SDN και το NFV συγκεκριμένα θα αποτελέσουν τη βάση για τις τεχνολογίες λογισμικού και εικονικοποίησης του 5G. Μια ολοκληρωμένη διαχείριση αυτών των Apps έχει σχεδιαστεί και πρωτότυπο στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας 5GPPP. Αυτό ανοίγει την πόρτα για την ανάπτυξη αυθεντικά δυναμικών, κατ' απαίτηση, προσαρμοσίμων, αυτοματοποιημένων και αυτόνομων υπηρεσιών SDN/NFV βάσει εντοπισμένης. Προσφέρει πλήρως αυτοματοποιημένη παροχή, ρύθμιση, ενημέρωση/τροποποίηση και τερματισμό εφαρμογών NFV και SDN, τυπικές μεθόδους και διαδικασίες κύκλου ζωής για μια ποικιλία εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών ελεγκτή, εφαρμογών SDN, εφαρμογών VNF και εφαρμογών για λειτουργίες φυσικού δικτύου (PNF) και από τον σχεδιασμό, παρέχει ευελιξία και επέκτασιμότητα. Η ολοκληρωμένη διαχείριση φυσικών και εικονικών υποδομών, που κατέστη δυνατή από το έργο 5GPPP, επιτρέπει την αυτόματη ανάπτυξη των υποδομών 5G και των υπηρεσιών που λειτουργούν πάνω από αυτές. Αυτό περιλαμβάνει υπολογιστικό νέφος, υπολογιστική ακμής πολλαπλής πρόσβασης, υπηρεσίες εικονικοποίησης, υπηρεσίες SDN/NFV και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, όπως η Αλυσίδα Λειτουργίας Υπηρεσιών (SFC). Ο χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία και την ανάπτυξη των υποδομών και των υπηρεσιών που υποστηρίζουν έχει περιοριστεί δραστικά, από μέρες σε λεπτά. Ένα πρόγραμμα προβολής τοπολογίας 5G επιτρέπει επίσης την οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο της σύνδεσης των χρηστών κινητής τηλεφωνίας καθώς και των σχετικών στοιχείων φυσικής και ψηφιακής υποδομής. Η απόκτηση πόρων υπολογιστή κατ' απαίτηση πολλών χρηστών υποστηρίζεται από το πακέτο λογισμικού MaaS. Ένας νέος πόρος υπολογιστή εντοπίζεται αυτόματα όταν συνδεθεί στην υποδομή για πρώτη φορά. Με αυτόν τον τρόπο, ο διαχειριστής μπορεί να αναθέσει τον κόμβο και να αναλάβει τη διαχείρισή του. Μόλις αποκτηθεί ένας κόμβος, ο χρήστης μπορεί να εγκαταστήσει το δίκτυο, να τακτοποιήσει τους δίσκους και να αποφασίσει ποιο λειτουργικό σύστημα θα χρησιμοποιήσει.

Η ενσωμάτωση Verticals στην ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών θα είναι θεμελιώδης πτυχή του 5G. Οι φορείς εκμετάλλευσης θα πρέπει να συνεργαστούν για να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον συνεργασίας σε μια τέτοια περίπτωση. Αν και οι χειριστές ανταγωνίζονται μεταξύ τους, συνεργάζονται επίσης για να εξυπηρετήσουν τους κάθετους τελικούς πελάτες τους. Σύμφωνα με την κύρια λειτουργικότητά του, τα μέρη του Multi-domain Orchestrator (Mdo) μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη ομάδα είναι υπεύθυνη για την απόκτηση πόρων και ικανοτήτων, ενώ η δεύτερη ομάδα, η οποία είναι ορατή στη μέση του Mdo, είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη αιτημάτων υπηρεσίας (για παράδειγμα, εντοπισμός). Τα εξαρτήματα που είναι υπεύθυνα για τη διασφάλιση υπηρεσιών και τη διαχείριση SLA ανήκουν στην τρίτη ομάδα. Η πρώτη ομάδα είναι τα στοιχεία που συλλέγουν δεδομένα για πόρους και υπηρεσίες. Για να αποφασίσει για την εντοπισμένη υπηρεσιών και πόρων, κάθε Mdo πρέπει να γνωρίζει τις δυνατότητες και τους πόρους υπηρεσιών άλλων διαχειριστικών τομέων. Ένας Mdo μπορεί να δηλώσει τα είδη των διαθέσιμων πόρων και τις δυνατότητές του σε επίπεδο υπηρεσίας με τη βοήθεια των advertisement-based διασυνδέσεων. Οι Mdo μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες σχετικά με την τοπολογία, τους πόρους, τις υπηρεσίες και τις τιμές χρησιμοποιώντας bilateral διαπραγμάτευση. Ο Κατάλογος VNF (μια συλλογή λειτουργιών που μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας Πάροχος Υπηρεσιών για τη δημιουργία Υπηρεσιών Δικτύου) και ο Κατάλογος Υπηρεσιών

Δικτύου διατηρούνται από το Υποσύστημα Διαχείρισης Καταλόγου (CMS). Η ευθύνη της διατήρησης μιας βάσης δεδομένων σχετικά με την προσβασιμότητα των υπολογιστικών πόρων για το Resource Orchestration (RO) και το Network Service Orchestration (NSO) εμπίπτει στο Subsystem Abstraction and Discovery Topology (TADS). Η δεύτερη ομάδα είναι τα στοιχεία που συνδέονται με τη διαδικασία της ενορχήστρωσης. Το Network Service Orchestration (NSO), το Resource Orchestration (RO) και το MultiDomain Path Computation Element (MD-PCE) εκτελούν τη διαδικασία ανάπτυξης όταν το MdO λάβει ένα αίτημα από τον πελάτη. Το NSO είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των υπηρεσιών δικτύου που απαιτούν οι πελάτες ή το NSO άλλου MdO. Η τελευταία ομάδα είναι τα στοιχεία διασφάλισης της αναπτυσσόμενης υπηρεσίας. Τα στοιχεία διασφάλισης της αρχιτεκτονικής λαμβάνουν το SLA και τις οντότητες πόρων από τα NSO/RO. Συνεργαζόμενο με άλλους MdO, το SLA Management Subsystem and Intelligent Monitoring Subsystem (IMoS) είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό της ανάπτυξης και διαχείρισης τεχνικών μέτρησης που βασίζονται σε ανιχνευτές για διάφορους τομείς εντός ενός παρόχου ή σε πολλούς παρόχους. Στο πλαίσιο του 5G, το σενάριο πολλαπλών τομέων είναι αναμφισβήτητα μια νέα κατάσταση που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή από την άποψη της ασφάλειας. Πρέπει να δημιουργηθεί ένα μοντέλο εμπιστοσύνης για κάθε έναν από τους πολυάριθμους φορείς που θα χρησιμοποιούν ξεχωριστές διεπαφές MdO ως μέρος της ασφάλειας μιας τέτοιας παρουσίασης πολλαπλών χειριστών. Έχουν ληφθεί υπόψη διάφοροι παράγοντες στο μοντέλο εμπιστοσύνης ασφάλειας MdO. Αρχικά, μέσω της διεπαφής I1 (αλληλεπίδραση B2C), οι πελάτες (ενοικιαστές) επικοινωνούν με το Multi Domain Orchestrator (MdO), το οποίο προσφέρει μια σειρά υπηρεσιών για τη χρήση VNF και NS. Αυτοί οι πελάτες είναι δηλωμένοι ως private ως προς τον MdO με τον οποίο αλληλεπιδρούν και (α) ο συγκεκριμένος MdO πρέπει να τον προσδιορίζει, να τον πιστοποιεί, να τον εξουσιοδοτεί και να τον λογοδοτεί (πάροχος), (β) οι πελάτες μπορούν να χρησιμοποιούν μόνο τα διαπιστευτήρια που παρέχονται από τον MdO στον οποίο έχουν εκδοθεί και (γ) η ταυτότητά τους δεν θα αποκαλυφθεί ποτέ σε οποιονδήποτε πάροχο συνεργάτη (άλλοι MdO) για λόγους εμπορικού απορρήτου με ανιχνεύσιμο τρόπο. Δεύτερον, χρησιμοποιώντας υπηρεσίες I2, τα MdO επικοινωνούν μεταξύ τους (αλληλεπίδραση B2B). Αυτές οι υπηρεσίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα από άλλους φορείς και είναι διαθέσιμες μόνο για επικοινωνία MdO σε MdO και (α) απαιτούνται αμοιβαία ταυτοποίηση, έλεγχος ταυτότητας, εξουσιοδότηση και λογιστικοποίηση μεταξύ όλων των συμμετεχόντων MdO, (β) ως διαπιστευτήρια MdO, θα χρησιμοποιηθούν πιστοποιητικά X509 και κάθε MdO θα χρησιμοποιεί ένα μόνο πιστοποιητικό για όλες τις υπηρεσίες που παρέχονται μέσω διεπαφών I2 και (γ) κάθε MdO θα απαιτεί μόνο ένα από αυτά τα πιστοποιητικά εάν έχουν εκδοθεί από μια εξωτερική, δημόσια Αρχή Πιστοποίησης (CA), αλλά μπορεί επίσης να δοθούν απευθείας από μια ιδιωτική ΑΠ (στην περίπτωση αυτή, κάθε MdO θα απαιτεί ένα πιστοποιητικό για κάθε συνεργάτη 5GEx). Τέλος, οι μονάδες SW και τα στοιχεία μιας υλοποίησης MdO είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την ασφάλεια και πρέπει να προστατεύονται μέσα σε μια αξιόπιστη ζώνη του χώρου παροχής που είναι αφιερωμένη στο MdO. (α) Δεδομένου ότι εξακολουθεί να έχει εξωτερική ορατότητα στο δίκτυο προσβάσιμο από τον πελάτη, η μονάδα που εκθέτει τη διεπαφή I1 πρέπει να είναι ασφαλής όπως κάθε άλλη εξωτερική υπηρεσία παρόχου. (β) Δεν είναι δυνατή η απευθείας πρόσβαση σε άλλες μονάδες MdO από το εξωτερικό δίκτυο πελατών. (γ) Μέσα σε μια αξιόπιστη ζώνη μεμονωμένου παρόχου, οι λειτουργικές μονάδες υλοποίησης 5GEX μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους (με επιβολή της επιτρεπόμενης λίστας IP). (δ) Η εμπιστοσύνη μεταξύ MdOs πρέπει να ακολουθείται από όλες τις ενότητες και τα στοιχεία που υλοποιούν επικοινωνίες με και από άλλα MdO. (ε) Ως πρόσθετη ασφάλεια για τη διασφάλιση της ακεραιότητας του λογισμικού, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ψηφιακές υπογραφές της εικονικής εικόνας.

3.4: Αυτο-οργάνωση Δικτύων και Υπηρεσιών

Οι δεξιότητες μηχανικής μάθησης που απαιτούνται για την αυτόνομη διαχείριση δικτύου παρέχονται από το Cognitive Smart Engine (CSE). Αυτό το στοιχείο δέχεται δεδομένα παρακολούθησης από το ελεγχόμενο περιβάλλον ως είσοδο, καθώς και άλλες εισόδους, όπως δεδομένα συμφραζομένων. Ο σχεδιασμός του στοιχείου CSE βασίζεται (α) σε προϋπόθεση μιας ρύθμισης που βασίζεται στο Software Defined Networking and Network Functions Virtualization (NFV) (SDN), (β) στην αρχιτεκτονική λάμδα (μια πλατφόρμα για τη δημιουργία εφαρμογών μεγάλων δεδομένων υποστηρίζοντας μια σειρά περιπτώσεων χρήσης με διάφορες προδιαγραφές καθυστέρησης) που χρησίμευσε ως

έμπνευση για τα στοιχεία μηχανικής εκμάθησης του CSE, τα οποία αποτελούν το κύριο επίκεντρο του αυτοματισμού και μπορούν να χρησιμοποιούν τεχνικές επεξεργασίας κατά παρτίδες και ροής και (γ) στα τμήματα Παρακολούθηση (ο Συλλέκτης Δεδομένων λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το απαραίτητο SLA από το στοιχείο διαχείρισης SLA καθώς και πληροφορίες σχετικά με την παρακολούθηση από το στοιχείο παρακολούθησης), Ανάλυση (το CSE ή το Lightweight CSE (LCSE) είναι έξυπνοι πράκτορες που συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του δικτύου και του περιβάλλοντός του και χρησιμοποιούν αυτές τις γνώσεις για να βοηθήσουν στη διαχείριση του δικτύου του συστήματος. Το CSE λαμβάνει τα δεδομένα που συλλέγει και κάνει την ανάλυση), Σχεδιασμός (η Policy Engine λαμβάνει την έξοδο του (L)CSE και προτείνει πολιτικές δικτύου για την υλοποίηση της απαιτούμενης αλλαγής στην αρχιτεκτονική του δικτύου) και Εκτέλεση (οι διαχειριζόμενοι πόροι δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των VNF και NFVi, τροποποιούνται ζητώντας αλλαγές από το NFVO και άλλους ελεγκτές σύμφωνα με την προτεινόμενη πορεία δράσης) που μοιράζονται τον αυτόνομο βρόχο γνώσης (MAPE-K) υποστηρίχθηκε από στοιχεία και ροή εργασιών, επειδή το CSE επιδιώκει να δώσει ένα αυτόνομο σύστημα διαχείρισης δικτύου βασισμένο στη μηχανική εκμάθηση. Ο συνδυασμός μοντέλων μηχανικής μάθησης και στρατηγικών διαχείρισης δικτύου επιτρέπει στο CSE να προσαρμόζεται δυναμικά στις αλλαγές, κάτι που είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του. Το CSE καθιστά δυνατή την αυτόνομη διαχείριση δικτύου. Αυτό στοχεύει στη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών αυξάνοντας το άνοιγμα και τη διαφάνεια των υπηρεσιών που παρέχονται από τα δίκτυα 5G. Οι βαθμολογίες πρόβλεψης, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε κατώφλια για συγκεκριμένους κανόνες και μετρικά δεδομένα στον χρόνο. Το CSE χωρίζεται σε (α) συλλογή δεδομένων και προσαρμογείς (συλλογή δεδομένων από πόρους και αντιστοίχιση αυτών σε αυτά που μπορούν να υποστούν απευθείας επεξεργασία από τα στοιχεία), (β) καθαρισμός και φιλτράρισμα δεδομένων (καθαρισμός και τελειοποίηση, αποθήκευση ή προώθηση δεδομένων στην μηχανή επεξεργασίας), (γ) αποθήκευση δεδομένων (διατηρεί δεδομένα του παρελθόντος και τα καθιστά προσβάσιμα σε διάφορα στοιχεία του CSE), (δ) προεπεξεργασία δεδομένων (αυτόματη ή χειροκίνητη λειτουργία προεπεξεργασίας συλλεγόμενων δεδομένων, διαχειρίζεται το θόρυβο και επιταχύνει την επεξεργασία των αναλυτικών λειτουργιών), (ε) επιλογή αλγορίθμου (παρόμοιο με την προεπεξεργασία δεδομένων, καθορίζει αυτόματα ή ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη ποιο/ποια μοντέλο/μοντέλα θα αναπτυχθεί και στις δύο μηχανές επεξεργασίας), (στ) μηχανή επεξεργασίας batch (ανάκτηση consumption και state δεδομένων, χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα για να δημιουργήσει αξιολογήσεις ή να εκπαιδεύσει ένα μοντέλο), (ζ) κατανεμημένο σύστημα αρχείων (τα μοντέλα που παράγονται από τη Μηχανή Επεξεργασίας Batch φυλάσσονται εδώ για προετοιμασία για ανάπτυξη στη (Near) Real-time Processing Engine) και (η) (Near) Real-time Processing Engine (αξιολογεί άμεσα τα δεδομένα που λαμβάνει αφού τα καταναλώσει αμέσως από τις πηγές, χρησιμοποιώντας ελαφρές τεχνικές διαδικτυακής εκμάθησης, όπως ορισμένους διαδικτυακούς αλγόριθμους ομαδοποίησης ή το μοντέλο που δημιουργήθηκε από τη Μηχανή Επεξεργασίας Batch).

Προκειμένου να επισημοποιήσει τις αυτόνομες συμπεριφορές στο πλαίσιο SELFNET και να συνδέσει λογικά μια μηχανή Self-Organising Network (SON), το υποσύστημα παρακολούθησης, τον εντοπιστή, τη διαχείριση εφαρμογών και άλλα σχετικά στοιχεία στην αρχιτεκτονική, το SELFNET έχει αναπτύξει ένα αυτόνομο πλαίσιο διαχείρισης δικτύου βασίζεται σε μια καινοτόμο προδιαγραφή Tactical Autonomic Language (TAL). Η υπάρχουσα ιδέα 4G SON στο φυσικό επίπεδο των δικτύων 4G θα επεκταθεί από τη μηχανή αυτόνομης διαχείρισης SON στο επίπεδο διαχείρισης τόσο των φυσικών όσο και των εικονικών δικτύων σε δίκτυα 5G. Για να ενισχυθούν οι δυνατότητες πρόβλεψης και αυτο-μάθησης του πλαισίου, αναπτύσσονται αλγόριθμοι που βασίζονται στη μηχανική μάθηση. Μερικά παραδείγματα περιπτώσεων εφαρμογών είναι η αυτο-ίαση έναντι αστοχιών δικτύου ή τρωτών σημείων για αυξημένη αξιοπιστία, αυτοπροστασία από απειλές κυβερνοεπιθέσεων για αυξημένη ασφάλεια και αυτοβελτιστοποίηση έναντι ορίων δικτύου για αυξημένη ποιότητα εμπειρίας χρήστη. Στο πλαίσιο της μηχανής αυτόνομης διαχείρισης που βασίζεται στο SON, η ιδέα 5G SON αντιμετωπίζεται δύο φορές. Η χρήση του TAL εκφράζει ένα σύνολο τακτικών σχεδίων. Στόχος τους είναι να ορίσουν ανθρωποκεντρικούς τρόπους τακτικής για τις αντιδράσεις του συστήματος σε γεγονότα ή για τον εντοπισμό ανωμαλιών στο υπό έλεγχο σύστημα. Αναμένεται ότι μια αλγοριθμική ανάλυση των προτεινόμενων τεχνικών σε συνδυασμό με τη σταδιακά αναπτυγμένη (βασισμένη στη μηχανική μάθηση) τεχνητή νοημοσύνη θα οδηγήσει στις καλύτερες δυνατές επιλογές.

Εάν οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων και οι προγραμματιστές υπηρεσιών θέλουν να ασκήσουν τέτοιους ελέγχους (όπως προαναφέρθηκαν) και να παρέχουν την επιλογή τέτοιου ελέγχου, υπάρχει η επιθυμία να εξισορροπηθεί το

επίπεδο ρητού ελέγχου που προσφέρεται και στα δύο μέρη. Εδώ, ο όρος "ρητός έλεγχος" αναφέρεται στην έννοια της λήψης αποφάσεων ελέγχου ρητά γνωστές στον ενοικιαστή σε αντίθεση με τη σιωπηρή λήψη τους στο πλαίσιο μιας συγκεκριμένης λειτουργίας. Αυτό μπορεί να συμβεί σε πολλά επίπεδα. Είναι δύσκολο να συλλάβουμε πλήρως αυτόνομη, αυτοδιαχειριζόμενη λειτουργία σε επίπεδο μεμονωμένης λειτουργίας (εικονικού δικτύου) χωρίς να ληφθούν υπόψη οι ενέργειες αντιστοίχισης των ομότιμων λειτουργιών στην ίδια υπηρεσία. Πρέπει να υπάρχει κάποιος συντονισμός μεταξύ των διαφορετικών εργασιών υπηρεσίας, καθώς αυτό μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε ανεπιθύμητη συμπεριφορά ή φυλετικές καταστάσεις. Αυτός ο συντονισμός θα μπορούσε να γίνει με έναν τρόπο που ταιριάζει σε όλους, προσπαθώντας να ελέγξει και να διαχειριστεί όλες τις υπηρεσίες (και τις λειτουργίες που τις απαρτίζουν) με τον ίδιο τρόπο. Ως εκ τούτου, ενώ υιοθετούμε την αυτονομία, χρειαζόμαστε έναν μηχανισμό για να επιτύχουμε μια ισορροπία μεταξύ της ανάγκης για ρητό έλεγχο, σύμφωνα με τα τυπικά πλαίσια MANO, και της ανάγκης να παρέχουμε υπηρεσίες όσο το δυνατόν πιο λειτουργικά. Οι προαναφερθείσες αρχιτεκτονικές θα μπορούσαν να κάνουν αυτό το έργο. Μια άλλη στρατηγική θα ήταν η προσθήκη τέτοιων δυνατοτήτων αυτόνομης διαχείρισης σε μια πιο παραδοσιακή αρχιτεκτονική MANO, επιτρέποντας στις υπηρεσίες να αυτορυθμίζονται ενώ έχουν πρόσβαση σε σχετικά στοιχεία υποδομής όπως φορτίο, τοπολογία, περιγραφές και ούτω καθεξής. Είναι προφανές ότι για να διατηρηθεί η σταθερή λειτουργία, αυτές οι πληροφορίες πρέπει να ελέγχονται σωστά, οι αλληλεπιδράσεις υπηρεσιών μεταξύ τους πρέπει να αντιμετωπίζονται προσεκτικά και οι ενέργειες ελέγχου των δυνατοτήτων αυτοδιαχείρισης μιας υπηρεσίας πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά. Ο ενορχηστρωτής για το 5G θα πρέπει να είναι ένας σαφής, βασισμένος σε πλαίσιο και πρακτικός συμβιβασμός. Κάθε υπηρεσία (ή λειτουργία) έχει την ευκαιρία να παρέχει ρητή πρόσβαση στον κώδικα διαχείρισης σε (καλά περιορισμένη) πληροφορίες σχετικά με το τρέχον σύστημα και τη φόρτωση όταν καλείται σε περιβάλλον ενορχηστρωτή. Στη συνέχεια, μια υπηρεσία μπορεί να επιλέξει τη μείωση της κλίμακας, για παράδειγμα, αλλά ο ελεγκτής μπορεί να παρακάμψει τέτοιες αποφάσεις εάν διακυβευτούν στόχοι σε όλο το σύστημα (όπως η σταθερότητα). Μόλις υιοθετήσουμε μια τέτοια στρατηγική, δημιουργεί επίσης μια νέα προοπτική για τον τρόπο αλληλεπίδρασης των τμημάτων και των υπηρεσιών. Στο πιο βασικό σενάριο, ένα "slice" μπορεί να φιλοξενήσει μόνο μία υπηρεσία που τηρούσε ένα SLA και πραγματοποιήθηκε σε (εννοιολογική) απομόνωση πόρων. Εάν επεκταθεί η ιδέα ενός slice, με πολλές υπηρεσίες να βρίσκονται μέσα σε ένα μόνο κομμάτι, η κατάσταση αλλάζει σημαντικά. Η αυτόνομη διαχείριση υπηρεσιών ανοίγει το δρόμο για ένα πιο ισχυρό, πρακτικό παράδειγμα τεμαχισμού από αυτή την άποψη.

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Αναμφισβήτητα, το 5G με τις αμέτρητες καινοτομίες του, κατάφερε να φέρει την ευκολία, την αξιοπιστία, την σταθερότητα, την realtime επικοινωνία και την μεγάλη ταχύτητα δεδομένων. Όλα αυτά βοήθησαν ιδιώτες και επιχειρήσεις να ξεπεράσουν προβλήματα ετών. Ειδικότερα για τις επιχειρήσεις και τις βιομηχανίες παρατηρείται ραγδαία ανάπτυξη στον Βασικό Δείκτη Απόδοσης (KPI – Key Performance Indicator). Αρχικά, μπορεί να γίνει χρήση νέου φάσματος το οποίο περιλαμβάνει και τα millimeter wave. Πρόκειται για την δημιουργία ενός ευέλικτου πλαισίου διαχείρισης φάσματος για την υποστήριξη της διαθεσιμότητας νέου φάσματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί σημαντικά η χωρητικότητα της περιοχής κάλυψης λόγω της από κοινού χρήσης συχνοτήτων υψηλού και χαμηλού φάσματος και την διαμόρφωσης της δέσμης, καθώς και να επιτευχθεί ευέλικτη και δυναμική κατανομή πόρων μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών RAN που αποφορτίζουν το δίκτυο σε καταστάσεις υψηλής ζήτησης αυτών. Με την βελτιστοποιημένη χρήση πόρων επιτυγχάνεται καλύτερη εξυπηρέτηση του τελικού χρήστη καθώς η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων είναι έως και 11 φορές υψηλότερη από την τεχνολογία LTE και η χωρητικότητα εξυπηρέτησης σε μία περιοχή μπορεί να είναι 100 φορές μεγαλύτερη λαμβάνοντας υπόψιν τους ελεύθερους πόρους, τις συνθήκες του ασύρματου περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις για διάδοση δεδομένων. Ο συντονισμός των παρεμβολών προσφέρει κέρδος περίπου 60% στην απόδοση της ανερχόμενης ζεύξης για δυναμική διαίρεση χρόνου σε σχέση με στατική διαίρεση χρόνου έτσι ώστε να μειωθεί η παρεμβολή μεταξύ συσκευών και σταθμών βάσης. Μπορεί να επιτευχθεί ένα επιπλέον κέρδος της τάξεως του 50% λόγω της ακύρωσης της πολύ ισχυρής παρεμβολής μεταξύ συσκευών και σταθμών βάσης. Με την ευελιξία που προσφέρει ένα πλαίσιο Radio Resource Management (RRM), μπορεί να κατορθωθεί κατανομή ασύρματων πόρων και συνεργασία μεταξύ πόρων διαφορετικών κυψελών βελτιώνοντας την απόδοση συντονισμένης μετάδοσης και λήψης πολλαπλών σημείων (CoMP), της πολλαπλής συνδεσιμότητας και άλλων συνεργαζόμενων λειτουργιών στο RAN. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται τεχνικές διαχωρισμού και διαχείρισης της κυκλοφορίας που βοηθούν στην συνάθροιση του εύρους ζώνης πολλών τεχνολογιών πρόσβασης στο δίκτυο (κυψελοειδές, WiFi κ.α) παρέχοντας αξιόλογη ποιότητα υπηρεσιών σε όλη την περιοχή που καλύπτεται. Επιπρόσθετα, η αρχιτεκτονική Virtual RAN (VRAN) μπορεί να επιτρέψει την αναδιαμόρφωση υλικού μέσω της χρήσης πλατφορμών ανοιχτού κώδικα και υλικού γενικού σκοπού, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά την κατανομή ασύρματων πόρων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι καλυτερεύει η επεκτασιμότητα και μειώνεται το φορτίο σήματος σε περιβάλλοντα υψηλής ζήτησης λόγω της δημιουργίας πυκνών δικτύων αυξάνοντας την χωρητικότητα του δικτύου και μεγάλωνοντας την περιοχή κάλυψης. Δεδομένου ότι η ραδιοδιεπαφή έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα, απαιτεί επίσης μεγαλύτερη χωρητικότητα στο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων για backhauling (οπισθοζεύξη) και fronthauling (εμπροσθοζεύξη).

Καθώς επεκτείνεται η χρήση του 5G, μπορεί να παρατηρηθεί ότι υπάρχουν τεχνικές μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας προκειμένου να παραμένει σε υψηλά επίπεδα ο Βασικός Δείκτης Απόδοσης. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να υπάρξει μία τεχνική κατά την οποία επιτυγχάνεται μειωμένη κατανάλωση ενέργειας λόγω της ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης των κόμβων μεταφοράς ανάλογα με την κατάσταση (ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση) των ραδιοκόμβων. Τέλος, προτείνεται άλλη μία τεχνική κατά την οποία υπάρχει λειτουργία ενός ικανού αριθμού κόμβων στο δίκτυο με την χρήση κεντρικού προγραμματισμού κίνησης δεδομένων και συντονισμού πολλών κυψελών.

Βιβλιογραφία / Πηγές Πληροφόρησης

View on 5G Architecture: Version 2.0 5G PPP Architecture Working Group; (2017)
<https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10043680/>

ΠΕΡΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

UNIVERSITY OF THE AEGEAN
DEPARTMENT OF INFORMATION AND
COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING

Kyriazis Ioannis

Copyright © 2022 – All Rights Reserved