



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

**« 5G και V&V: Εκτίμηση Απόδοσης σε 5ης Γενιάς Υπηρεσίες
Δικτύων - Στοχευμένες Δοκιμές Επικύρωσης και
Επαλήθευσης »**

Μάριος Τούλουπου

ΑΜ: ΜΕ1751

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημοσθένης Κυριαζής, Επίκουρος Καθηγητής,

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



UNIVERSITY OF PIRAEUS

DEPARTMENT OF DIGITAL SYSTEMS

POSTGRADUATE STUDIES

INFORMATION SYSTEMS AND SERVICES

DIRECTION: ADVANCED INFORMATION SYSTEMS

**«5G and V&V: Performance Prediction in 5th Generation
Networks – Targeted Verification and Validation
Approaches»**

Marios Touloupou

RN: ME1751

Supervisor:

Dimosthenis Kyriazis, Assistant Professor,

University of Piraeus

Οι υπογράφοντες εξέτασαν τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο «5G και V&V: Εκτίμηση Απόδοσης σε 5ης γενιάς Υπηρεσίες Δικτύων - Στοχευμένες Δοκιμές Επικύρωσης και Επαλήθευσης» που παρουσίασε ο Μάριος Τούλουπου, υποψήφιος για το πτυχίο Πληροφοριακά Συστήματα & Υπηρεσίες, και πιστοποιούν ότι είναι άξιος αποδοχής.

Πειραιάς, 28/02/2019

Ο Επιβλέπων

1^{ος} Συνεξεταστής

2^{ος} Συνεξεταστής

Δ. Κυριαζής
Επ. Καθηγητής

Μ. Φιλιπάκης
Αν. Καθηγητής

Δρ. Α. Μενύχτας
Διδάσκων

Αφιερωμένο στην οικογένειά μου και σε αυτούς που ήταν δίπλα μου...

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Προηγμένα Πληροφοριακά Συστήματα» του τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιά.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που γνώρισα, συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της.

Πρώτο από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, Επ. Καθηγητή Δημοσθένη Κυριαζή για την πολύτιμη καθοδήγηση του και την εμπιστοσύνη και εκτίμηση που μου έδειξε.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ευγενία που ήταν δίπλα μου σε όλες τις στιγμές, καλές και κακές, και στις οποίες μου στάθηκε ώστε όχι μόνο να καταφέρω να πραγματοποιήσω το στόχο μου αλλά και να καταφέρω πράγματα που στην αρχή μου φαινόταν ακατόρθωτα.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Νίκο και Ανδρούλα, που με υπομονή και κουράγιο πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Σας ευχαριστώ,

Μάριος

Acknowledgements

This is a diploma thesis within the postgraduate program "Advanced Information Systems" of the Department of Digital Systems of the University of Piraeus.

Before presenting the results of this diploma thesis, I feel obliged to thank some of the people I met, I worked with them and played a very important role in its realization.

First of all, I would like to thank Professor Dimosthenis Kyriazis, the supervising professor of my diplomacy, for his valuable guidance and the trust and appreciation he has shown to me.

Then, I would like to thank Evgenia who stood next to me, at good and bad moments, and to whom I not only accomplished my goal, but also, I have accomplished things that at first seemed impossible.

Finally, I want to thank my parents, Nikos and Androulla, who, with patience and courage, offered the necessary support for the completion of this work.

Thanks a million,

Marios

Περίληψη

Η σύγκλιση προς τα 5G, το IoT και στην προηγμένη ανάλυση δεδομένων πρόκειται να διαταράξει το οικοσύστημα Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Η συνδυασμένη επίδραση αυτών των τεχνολογιών θα ανοίξει το δρόμο για νέα επιχειρηματικά μοντέλα, τεχνολογική καινοτομία και χιλιάδες ευκαιρίες για εφαρμογές σε όλες τις βιομηχανικές περιοχές που βασίζονται σε υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής. Το 5G υπόσχεται να επιτρέψει έξυπνες υπηρεσίες δικτύου και εφαρμογών με συνδεσιμότητα σε απομακρυσμένους αισθητήρες, τεράστιες ποσότητες δεδομένων IoT και μετάδοσης δεδομένων υψηλής ευκρίνειας. Τα αναλυτικά στοιχεία επίσης δεν θα είναι πλέον μια σκέψη αλλά θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των προτύπων 5G, που θα επιτρέψουν ευφυΐα σε όλο το δίκτυο, στις εφαρμογές και στις επιχειρήσεις.

Επομένως, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στα 5ης γενιάς δίκτυα παρουσιάζοντας τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις ευκαιρίες που δημιουργούνται με αυτά αλλά και τα τεχνικά εμπόδια σε αυτό το μονοπάτι. Επίσης, εστιάζοντας στην παραγόμενη κυκλοφορία που θα προκαλούν οι 5ης γενιάς εφαρμογές, εμφανίζεται η ανάγκη για ανάλυση των δεδομένων και εκτίμησης των επιδόσεων των εφαρμογών. Αποτέλεσμα αυτού, προκειμένου να ενισχυθεί η επικύρωση και επαλήθευση (V&V) διαφόρων υπηρεσιών δικτύου (NS) σε ετερογενείς πλατφόρμες, παρουσιάζεται η ανάλυση παραγόμενων δεδομένων παρακολούθησης, τα οποία ανήκουν στις υπηρεσίες δικτύου που λειτουργούν σε ένα δίκτυο καθορισμένο από λογισμικό (SDN). Επιπλέον, παρουσιάζεται μια προσέγγιση ανάλυσης δεδομένων και υπολογισμού συσχετίσεων όπου οι υπεύθυνοι ανάπτυξης υπηρεσιών επωφελούνται από τα βασικά στοιχεία του μηχανισμού ώστε να κατανοήσουν τη συμπεριφορά της υπηρεσίας τους και ακολούθως να βελτιστοποιήσουν τις δοκιμές στο V&V πριν από την αποστολή της υπηρεσίας προς το περιβάλλον παραγωγής.

Abstract

The Convergence to 5G, IoT and advanced data analysis is going to disrupt the Information and Communication Technology (ICT) ecosystem. The combined effect of these technologies will pave the way for new business models, technological innovation and thousands of opportunities for applications in all industrial areas based on telecoms and IT services. 5G promises to enable intelligent network and application services with connectivity to remote sensors, huge amounts of IoT data and high-definition data transmission. Analytical data will also no longer be a thought but will play an important role in the evolution of 5G standards that will allow intelligence throughout the network, applications and businesses.

Therefore, this diploma thesis focuses on 5th generation networks presenting the technological developments and opportunities created with them as well as the technical barriers to this path. Also, focusing on the traffic generated by the 5th generation applications, there is a need for data analysis and applications' performance estimation. As a result, in order to enhance the validation and verification (V & V) of different network services (NS) on heterogeneous platforms, the analysis of generated tracking data, belonging to network services running on a software-defined network (SDN), is presented. Additionally, a data analysis and correlation calculation approach is also presented where service developers can benefit from the key components of the mechanism to understand the behavior of their service and thus optimize the V&V testing before sending the service to the production.

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

SLA	Συμβόλαιο Παροχής Υπηρεσιών
Υ.Δ.	Υπηρεσία Δικτύου
Π.Υ.	Ποιότητα Υπηρεσίας
Ε.Λ.Δ.	Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύου
Ε.Μ.	Εικονική Μηχανή
5G	5th Generation Networks
API	Application Programming Interface
BSS	Business Support System
CLI	Command Line Interface
CRUD	Create, Read, Update, Delete
DevOps	Development and Operations (workflow and organizational concept)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (SDO)
FSM	Function Specific Manager
GUI	Graphical User Interface
KPI	Key Performance Indicators
MANO	Management and Orchestration (layer of the ETSI NFV architecture)
MSD	Monitor Service Descriptor
NFV	Network Function Virtualization
NFVO	NFV Orchestrator (component of MANO)
NS	Network Service
NSD	Network Service Descriptor
OSM	Open Source MANO
PoP	Point of Presence
REST	Representational State Transfer
SDK	Software Development Kit
SLA	Service Level Agreement
SP	Service Platform
SSM	Service Specific Manager
URL	Uniform Resource Locator
V&V	Validation and Verification
VIM	Virtual Infrastructure Manager (component of MANO)
VM	Virtual Machine
VN	Virtual Network
VNF	Virtual Network Function
VNFD	Virtual Network Function Descriptor
VNFM	VNF Manager (component of MANO)
WIM	WAN Infrastructure Manager

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1	Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας ζήτησης ραδιοφάσματος που υποβλήθηκε από την Κίνα, όπου μια περιοχή 3.7 χλμ. x 2.6 χλμ. γύρω από το Beijing Financial Street επιλέχθηκε ως η τυπική πυκνότητα κυκλοφορίας
Σχήμα 2	Βήματα του αλγορίθμου υπολογισμού και συναφείς παράμετροι εισόδου
Σχήμα 3	Συνολικές απαιτήσεις φάσματος τόσο για τα RATG1 όσο και για τα RATG2 κατά το έτος 2020
Σχήμα 4	Σύνοψη των εθνικών απαιτήσεων ραδιοφάσματος σε ορισμένες χώρες
Σχήμα 5	Αρχιτεκτονική SDN
Σχήμα 6	Παραδοσιακή προβολή δικτύου σε σύγκριση με δίκτυο καθορισμένο από λογισμικό: α) Παραδοσιακή προσέγγιση (Κάθε κόμβος δικτύου έχει δικό του επίπεδο ελέγχου και διαχείρισης). β) προσέγγιση SDN (το επίπεδο ελέγχου εξάγεται από τον κόμβο του δικτύου)
Σχήμα 7	Η λειτουργία του SDN (contoller-switch)
Σχήμα 8	Γενική Αρχιτεκτονική
Σχήμα 9	Περιπτώσεις χρήσης του 5GCAR
Σχήμα 10	Αρχιτεκτονική του 5G ESSENCE
Σχήμα 11	Το κόνσεπτ του 5G-TRANSFORMER
Σχήμα 12	Συνολική λειτουργική αρχιτεκτονική έννοια του 5G-MONARCH
Σχήμα 13	Προτεινόμενη αρχιτεκτονική ελέγχου και διαχείρισης του 5G-PICTURE
Σχήμα 14	Αρχιτεκτονική του 5GTANGO
Σχήμα 15	Συνολική αρχιτεκτονική της πλατφόρμας MATILDA
Σχήμα 16	Πλήρης Εικονικοποίηση
Σχήμα 17	Εικονικοποίηση επιπέδου λειτουργικού συστήματος
Σχήμα 18	Εικονικοποίηση σε επίπεδο υλικού
Σχήμα 19	Κύκλος ζωής επικύρωσης και επαλήθευσης
Σχήμα 20	Περιπτώσεις χρήσης 5G
Σχήμα 21	Αρχιτεκτονική εργαλείου
Σχήμα 22	Παράδειγμα συνόλου δεδομένων
Σχήμα 23	Τύπος συσχέτισης Pearson
Σχήμα 24	Παράδειγμα αποτελέσματος εργαλείου σε μορφή Json
Σχήμα 25	Παράδειγμα αποτελέσματος εργαλείου με μορφή σχήματος
Σχήμα 26	Υποστηριζόμενα APIs εργαλείου
Σχήμα 27	Διαμορφώσεις εγκατάστασης Dockerfile

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ	9
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	10
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
2 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΑ ΑΠΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (5G AND SDN).....	17
2.1 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΣΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ	17
2.1.1 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	17
2.1.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	18
2.1.3 ΖΗΤΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ	18
2.2 ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΑ ΑΠΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
2.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΡΙΣΜΕΝΟ ΑΠΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (SDN).....	23
2.2.2 ΓΙΑΤΙ SDN;.....	25
3 5G-PPP (PUBLIC PRIVATE PARTNERSHIP).....	28
3.1 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	28
3.2 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ 5G.....	30
3.3 5G-PPP PHASE 2 PROJECTS	31
3.3.1 5G-CAR	31
3.3.2 5G-ESSENCE.....	32
3.3.3 5G-TRANSFORMER.....	34
3.3.4 5G-MONARCH	36
3.3.5 5G-PICTURE	37
3.3.6 5GTANGO	38
3.3.7 MATILDA	40
4 ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	42
4.1 ΤΟ MININET.....	42
4.1.1 SDN ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟ MININET	43
4.1.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	43
4.1.3 SDN ΚΑΙ MININET	44
4.1.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ SDN ΣΤΟ MININET ΜΕ ΕΛΕΧΤΗ FLOODLIGHT	44
4.1.5 ΑΛΛΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	45
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	45
4.2.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	46
4.2.2 ΠΡΟΤΩΤΥΠΟ.....	46

4.2.3	ΕΦΑΜΡΟΓΗ	46
4.2.4	ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ	46
5	ΕΙΚΟΝΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ	47
5.1	ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΡΩΝ	47
5.1.1	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	47
5.1.2	ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	48
5.1.3	ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΛΙΚΟΥ - HARDWARE	48
5.1.4	ΠΑΡΑ-ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	49
5.1.5	ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΡΓΩΝ	49
5.1.6	ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	50
5.2	ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ	50
5.2.1	ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ;	50
5.2.2	ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	51
5.2.3	ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ NFV MANO;	51
5.2.4	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ NFV	52
5.3	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ / ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	53
5.3.1	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ	53
5.3.2	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ	54
6	ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ	55
6.1	Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ V&V	55
6.2	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΓΟΥ 5GTANGO	56
6.3	5G ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕ V&V	56
6.3.1	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ	56
6.3.2	ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ V&V	57
6.4	ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ V&V	58
6.4.1	ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ V&V	58
6.5	Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ V&V	59
6.6	ΕΝΑ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ V&V	60
7	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	61
7.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	61
7.2	ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΙ ΟΔΗΓΟΙ	62
7.3	5G ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ANALYTICS	63
7.4	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑ 5G	63
7.5	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	64
7.5.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	64

7.5.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	65
8	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ.....	66
8.1	ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	66
8.2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	66
8.3	ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	67
8.3.1	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.....	67
8.3.2	ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ.....	68
8.4	ΚΙΤ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ 5GTANGO.....	69
8.5	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.....	70
8.5.1	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	71
8.6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΙΚΩΝ VNF.....	72
8.6.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ:.....	72
8.6.2	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ.....	74
8.6.3	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΓΝΩΣΤΩΝ VNF.....	74
8.6.4	ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΑ API.....	75
8.7	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ.....	75
9	ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ.....	77
9.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΟΔΗΓΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΗΣ.....	77
9.1.1	ΚΥΡΙΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ.....	77
9.1.2	ΕΞΑΡΤΗΣΕΙΣ.....	77
9.2	ΤΟΠΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (ΜΕ ΧΡΗΣΗ DOCKER CONTAINERS).....	78
9.3	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ.....	78
9.4	ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	79
9.5	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΧΡΗΣΗΣ.....	79
9.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ.....	79
10	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κίνηση στο διαδίκτυο αναμένεται να αυξάνεται συνεχώς με ρυθμό περίπου 25% ανά χρόνο ως το 2020 [1], ως αποτέλεσμα των απαιτήσεων των νέων εφαρμογών όπως το υπολογιστικό «νέφος», το διαδίκτυο των αντικειμένων (Internet of Things – IoT) αλλά και της αναμενόμενης έλευσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς (5G). Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας συνεισφέρουν το μεγαλύτερο μέρος (50%) σε αυτή την προβλεπόμενη αύξηση της κίνησης και επωμίζονται ένα μεγάλο βάρος των τεχνολογικών εξελίξεων. Το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης αυτής θα είναι τοπική επιβαρύνοντας σημαντικά το δίκτυο πρόσβασης και το μητροπολιτικό και σε μικρότερο βαθμό το δίκτυο κορμού [2]. Πέρα από την αύξηση της κίνησης, πολλές από τις νέες εφαρμογές έχουν «εκρηκτική» συμπεριφορά. Σε αυτό το περιβάλλον υπάρχει η ανάγκη δυναμικής και ευέλικτης λειτουργίας και συνεργασίας των διαφορετικών τμημάτων του δικτύου.

Σήμερα, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης (passive optical networks-PON) σχεδιάζονται στατικά, ενώ για να εξυπηρετήσουν τις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών απαιτείται η επανασχεδίασή, η εγκατάσταση νέου εξοπλισμού και η επαναρρύθμιση των υπαρχόντων συσκευών, γεγονός που αυξάνει το κόστος κεφαλαίου (CAPEX) και λειτουργίας (OPEX). Τα μητροπολιτικά δίκτυα και τα δίκτυα κορμού τα τελευταία χρόνια αναβαθμίζονται σε ελαστικά οπτικά δίκτυα (Elastic Optical Network - EON) [3] που αποτελούν εξέλιξη της τεχνολογίας WDM (Wavelength Division Multiplexing) παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία και αποδοτικότητα. Τα οπτικά μονοπάτια (lightpaths) αυτών των δικτύων μεταφέρουν κίνηση από τους IP δρομολογητές που βρίσκονται στις παρυφές τους, προσφέροντας συνδεσιμότητα στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και τα δίκτυα πρόσβασης. Κατά τη διάρκεια ζωής ενός οπτικού μονοπατιού η ποιότητα μετάδοσής του (Quality of Transmission - QoT) μειώνεται για μια σειρά από λόγους: γήρανση του εξοπλισμού, αύξηση παρεμβολών λόγω νέων συνδέσεων, κ.α. Για αυτό το λόγο τα οπτικά μονοπάτια εγκαθίστανται θεωρώντας ακραία δυσμενείς συνθήκες δικτύου («υψηλά περιθώρια»– “high margins”) με στόχο αυτά να λειτουργούν στατικά και με ασφάλεια για πολλά χρόνια (~10 χρόνια) [4]. Ομοίως λόγω της στατικής λειτουργίας του οπτικού δικτύου εγκαθίσταται επιπλέον εξοπλισμός για να καλυφθούν ανάγκες αυξημένης χωρητικότητας βάση προβλέψεων μελλοντικής κίνησης και έλλειψης συντονισμού των μηχανισμών προστασίας [5]. Οι τρέχουσες πρακτικές στατικής δικτυακής λειτουργίας, υπερεκτίμησης των απαιτήσεων του οπτικού φυσικού στρώματος και της κίνησης καθώς και η απομονωμένη λειτουργία είναι εξαιρετικά αναποτελεσματικές. Εν αντιθέσει, σημαντικά οφέλη, απόδοσης και κόστους, μπορούν να προκύψουν από τη μείωση των «περιθωρίων» στο σχεδιασμό και τη δυναμική λειτουργία των οπτικών δικτύων [6] καθώς και από τον κοινό σχεδιασμό και λειτουργία των διαφορετικών τμημάτων του δικτύου [7][8].

Για να ενισχυθεί η αποδοτικότητα και να μειωθούν το κόστος κεφαλαίου (CAPEX) και λειτουργίας (OPEX) κρίνεται επιτακτική η αξιοποίηση των καινοτόμων τεχνολογιών του δικτύου προγραμματιζόμενου μέσω λογισμικού (Software Defined Networks - SDN) και εικονικοποίησης των δικτυακών λειτουργιών (Network Function Virtualization - NFV). Η τεχνολογία SDN προσφέρει την απαραίτητη ευελιξία στην ανάπτυξη των λειτουργιών κινητής τηλεφωνίας [9]. Επιπροσθέτως, η τεχνολογία NFV δίνει αφενός τη δυνατότητα εικονικοποίησης των λειτουργιών των δικτύων κινητής τηλεφωνίας που παραδοσιακά υλοποιούνται με ακριβό και εξειδικευμένο (proprietary) εξοπλισμό, ενώ αφετέρου τις καθιστά διαθέσιμες ως λογισμικό που μπορεί να τρέχει σε υπολογιστικά κέντρα ή στο «νέφος», οι

οποίες αναπτύσσονται εύκολα, γρήγορα και οικονομικά [10]. Στο οπτικό δίκτυο πρόσβασης, σημαντικά οφέλη προκύπτουν από την εικονικοποίηση του εξοπλισμού στο τηλεφωνικό κέντρο (Central Office - CO), π.χ. του τερματικού οπτικής γραμμής (Optical Line Termination - OLT) μέσω NFV και από τον προγραμματισμό των λειτουργιών μέσω SDN [11]. Επιπλέον, σημαντική είναι η ύπαρξη «ανοιχτών» διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών (APIs), οι οποίες καθιστούν το δίκτυο «ανοιχτό» και δυναμικά προγραμματιζόμενο. Για τη δυναμική λειτουργία των δικτύων οι τεχνολογίες NFV και SDN πρέπει να συνδυαστούν με κατάλληλους μηχανισμούς εποπτείας, έτσι ώστε το δίκτυο να λαμβάνει υπόψη του την κατάστασή του, τόσο ως προς το φυσικό επίπεδο όσο και ως προς την κίνηση για να διαθέτει τους πόρους του με «έξυπνο» και δυναμικό τρόπο όπου υπάρχει πραγματική ανάγκη. Η σημαντικότερη, ωστόσο, δυνατότητα που παρέχουν οι τεχνολογίες SDN και NFV είναι η ευκαιρία ενοποίησης και από κοινού λειτουργίας των διαφορετικών τμημάτων του δικτύου (κινητά, πρόσβασης, μητροπολιτικό) που πολλαπλασιάζει τα οφέλη της δυναμικής λειτουργίας κάθε επιμέρους τμήματος.

1.1 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα δίκτυα 5G καθώς και τα δίκτυα προγραμματιζόμενα μέσω λογισμικού αποτελούν βασικό τομέα έρευνας και καινοτομίας. Οι παρόχοι δικτύων και υπηρεσιών προβλέπουν ότι έως το 2020, το 70% των δικτύων θα βασίζεται σε υποδομές Cloud, λειτουργίες εικονικού δικτύου, καθώς και ελεγκτές προγραμματιζόμενων δικτύων πολλαπλών τομέων. Το 5G θεωρείται ότι είναι ένα δίκτυο πολλαπλών υπηρεσιών και πολλαπλών τομέων, υποστηρίζοντας ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων χρήσης, με διαφορετικές απαιτήσεις.

Επιπρόσθετα, στα 5G, για να μειωθεί ο χρόνος αγοράς για δικτυακές υπηρεσίες και να μειωθεί ο φραγμός εισόδου σε τρίτους προγραμματιστές Virtual Network Functions (VNF) και Network Services (NS), μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία ανάπτυξης και λειτουργίας (DevOps) είναι ζωτικής σημασίας. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις όμως στο DevOps είναι η Επικύρωση και Επαλήθευση (V&V) μεμονωμένων VNFs και NSs έτσι ώστε οι πάροχοι αυτών των υπηρεσιών να είναι σίγουροι για τη συμπεριφορά τους. Η προαναφερθείσα πρόκληση έρχεται από το γεγονός ότι καθώς υπάρχει μεγάλη γκάμα από διαφορετικές NSs και VNFs, το να δημιουργηθεί ένα δυναμικό πλαίσιο που να επικυρώνει και επαληθεύει όλων των ειδών υπηρεσίες είναι σχεδόν ακατόρθωτο. Επίσης, πρόκληση είναι και η επιλογή των κατάλληλων ελέγχων για την επαλήθευση των υπηρεσιών. Συνήθως, μια ερώτηση που εμφανίζεται σε δημιουργούς ελέγχων είναι: “Τι πρέπει να ελέγξω ώστε να έχω το καλύτερο αποτέλεσμα;”. Έτσι, εμφανίζεται η ανάγκη για εργαλεία τα οποία μπορούν να υπολογίσουν και να κατανοήσουν τη συμπεριφορά των υπηρεσιών, και ακολούθως να προτείνουν τους κατάλληλους για αυτές ελέγχους.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελείται από 10 (δέκα) διαφορετικά κεφάλαια. Στην αρχή κάθε κεφαλαίου υπάρχει μια εισαγωγή, όπου συνοψίζεται το περιεχόμενο του. Πιο συγκεκριμένα, τα κεφάλαια διαχωρίζονται ως εξής:

- Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή Διπλωματικής Εργασίας.
- Κεφάλαιο 2^ο: 5ης γενιάς δίκτυα και δίκτυα καθορισμένα από λογισμικό.
- Κεφάλαιο 3^ο: 5GPPP - Public Private Partnership.
- Κεφάλαιο 4^ο: Εξομοίωση Συστημάτων.
- Κεφάλαιο 5^ο: Εικονικοποίηση πόρων και λειτουργιών δικτύου.
- Κεφάλαιο 6^ο: Επικύρωση και Επαλήθευση υπηρεσιών 5ης γενιάς.
- Κεφάλαιο 7^ο: Ανάλυση δεδομένων σε υπηρεσίες 5ης γενιάς.
- Κεφάλαιο 8^ο: Μελέτη περίπτωσης και εκτίμηση εργαλείου.
- Κεφάλαιο 9^ο: Συμπεράσματα και μελλοντικά σχέδια.
- Κεφάλαιο 10^ο: Βιβλιογραφία.

2 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΑ ΑΠΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (5G AND SDN)

2.1 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΣΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ

Τα δίκτυα 5G αναμένεται να φέρουν αξιόπιστη ασύρματη συνδεσιμότητα για την εξυπηρέτηση των διαφόρων αναγκών σε διαφορετικούς τομείς, καθώς και άλλες γενικότερες ανάγκες επικοινωνίας που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων το “διαδίκτυο των πραγμάτων” (IoT), η εικονική πραγματικότητα (VR) και επαυξημένη πραγματικότητα (AR). Επίσης, τα μεγάλα δεδομένα, η τεχνητή νοημοσύνη καθώς και το BlockChain είναι από τους τομείς που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν αφού οι καινοτομίες που θα φέρουν είναι πολλές. Αυτό σημαίνει ότι οι υπηρεσίες με δυνατότητα 5G θα έχουν πολλές και μερικώς αντικρουόμενες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται με τη νέα αρχιτεκτονική συστήματος και τις επιλογές ανάπτυξης. Αυτό απαιτεί καινοτομίες τόσο στις τεχνολογίες όσο και στα επιχειρηματικά μοντέλα.

2.1.1 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα 5G δίκτυα αναμένεται να οδηγήσουν σε βιομηχανικούς και κοινωνικούς μετασχηματισμούς και οικονομική ανάπτυξη προσφέροντας υπηρεσίες κινητής ευρυζωνικής υπηρεσίας Gigabit και υποστηρίζοντας νέους τύπους εφαρμογών που συνδέουν συσκευές και αντικείμενα στο IoT. Τα πλέον γνωστά σενάρια χρήσης για το 5G (ή IMT-2020) από τον κλάδο της Διεθνούς Τηλεπικοινωνιακής Ένωσης Ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R) που αποτελούν τους παγκόσμιους στόχους και τα θεμέλια για την ανάπτυξη του συστήματος 5G, περιλαμβάνουν τα Enhanced Mobile Broadband, Ultra-Reliable και Low Latency επικοινωνίες, καθώς και Massive Machine Type επικοινωνίες (ITU-R, 2015). Αυτά τα τρία σενάρια καλύπτουν μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών σε διάφορους τομείς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η υγεία, η ενέργεια, η ασφάλεια, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και η ψυχαγωγία. Αυτό θα οδηγήσει σε ευμετάβλητες και αυξανόμενες απαιτήσεις εφαρμογών σε ότι αφορά τα ποσοστά δεδομένων, την κινητικότητα, την καθυστέρηση, την πυκνότητα σύνδεσης, την αποδοτικότητα του ραδιοφάσματος, την κυκλοφοριακή ικανότητα και την ενεργειακή απόδοση.

Επίσης, η παροχή υψηλής ποιότητας συνδεσιμότητας σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, όπως σχολεία, κόμβοι μεταφορών, δημόσιες υπηρεσίες και επιχειρήσεις, έχει καταστεί βασικός κοινωνικός στόχος ως παράγοντας παροχής νέων υπηρεσιών. Αυτό υπογραμμίζει τις ιδιαίτερες ανάγκες της τοποθεσίας για ασύρματη συνδεσιμότητα ώστε να παρέχει νέες υπηρεσίες για τις επόμενες δεκαετίες, οι οποίες δεν μπορούν ακόμη να προβλεφθούν σήμερα. Επιπλέον, τοπικά κλειστά δίκτυα 5G μπορούν να αναπτυχθούν και να λειτουργούν για να εξυπηρετήσουν ένα περιορισμένο σύνολο πελατών, όπως τις μηχανές σε ένα εργοστασιακό περιβάλλον. Τέλος, τα δίκτυα 5G θα υποστηρίξουν αυτές τις ξεχωριστές επιχειρηματικές περιπτώσεις ή ένα σύνολο αυτών, με αποτέλεσμα διαφορετικές απαιτήσεις για λειτουργίες ανάλογα με την επιχειρησιακή υπόθεση. Για παράδειγμα, οι υπηρεσίες VR και AR μπορούν να καλύψουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς και τοποθεσίες, με αποτέλεσμα να έχουν αυστηρές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης οπότε να απαιτούν 5G με υπολογιστικές δυνατότητες για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους. Η μαζική ανάπτυξη του διαδικτύου, με δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές και αντικείμενα εμφανίζεται όλο και περισσότερο η ανάγκη να κοιτάξουμε τις δυνατότητες των δικτύων 5G πιο σοβαρά. Επιπλέον, το IoT αναμένεται να μετασχηματιστεί από ένα μοντέλο με γνώμονα τον αισθητήρα, σε ένα μοντέλο επικεντρωμένο στην επικοινωνία μεταξύ μηχανών, με ενεργά συστήματα που θα συμπληρώνονται από ενεργοποιητές, drones και ρομπότ. Αυτό, θέτει αυξανόμενες απαιτήσεις δικτύου όσον αφορά την αξιοπιστία από άκρο

σε άκρο, την καθυστέρηση και την κατανάλωση ενέργειας που τελικά μπορούν να αυτορυθμίζονται στα δίκτυα 5G. Σε γενικές γραμμές, τα 5G δίκτυα αναμένεται να συνεργαστούν με τεράστιο αριθμό χρηστών, με ποικιλία συσκευών και ποικίλες υπηρεσίες, με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας QoS.

2.1.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G στοχεύει στην ικανοποίηση των ολοένα αυστηρότερων απαιτήσεων για υψηλότερη χωρητικότητα, υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, χαμηλότερη συχνότητα, μαζική πυκνότητα συσκευών και μειωμένο κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας. Επιπλέον, τα δίκτυα 5G αναμένεται να αναπτυχθούν σε μια ευρύτερη ζώνη συχνοτήτων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων φάσματος κάτω από 1 GHz, φάσματος μεταξύ 1 και 6 GHz, και φάσματος πάνω από 6 GHz στην περιοχή χιλιοστομετρικών κυμάτων. Αυτό απαιτεί τα δίκτυα 5G να είναι εύκαμπτα, κλιμακώσιμα και να μπορούν να επαναπροσδιοριστούν προς διαφορετικές εφαρμογές, γεγονός που απαιτεί μια σημαντική μεταβολή σε ολόκληρο το σχεδιασμό του δικτύου. Τα 5G δίκτυα αναμένεται επίσης να οδηγήσουν στην εξαιρετικά πυκνή τοποθέτηση μικρών κυψελών, ευέλικτη ανάπτυξη και λειτουργία δικτύου, διασύνδεση, δυναμική διαχείριση κίνησης και διαχείρισης πόρων, έξυπνη χρήση δεδομένων δικτύου, αναμετάδοση, παροχή περιεχομένου καθώς και συνύπαρξη ετερογενών δικτύων και τοπικών αυτόνομων συστημάτων. Στην πραγματικότητα, πολύ πυκνή τοποθέτηση μικρών κυψελών που συνδέονται με το Backhaul υψηλής χωρητικότητας αναμένεται να είναι ένας βασικός τρόπος λειτουργίας των 5G και μπορεί να αναπτυχθεί από τον ιδιοκτήτη της εκάστοτε εγκατάστασης.

Από την άποψη της ραδιοεπικοινωνίας, καθώς δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθεί μια ενιαία διεπαφή που θα ικανοποιούσε όλες τις απαιτήσεις εφαρμογής σε όλα τα επίπεδα που λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα ζωνών συχνοτήτων, θα απαιτηθούν αρκετές νέες βελτιστοποιημένες παραλλαγές αυτών. Θα προκύψουν ωστόσο νέες ευκαιρίες κοινής χρήσης ραδιοσυχνοτήτων ώστε να επιτρέπεται η λειτουργία στις διάφορες ζώνες συχνοτήτων 5G υπό διαφορετικά καθεστάτα φασματικής εξουσιοδότησης. Οπότε, με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να επωφεληθεί και να βελτιωθεί η χρήση του ραδιοφάσματος. Ειδικότερα, οι λειτουργίες στις ζώνες χιλιοστομετρικών κυμάτων απαιτούν τη χρήση τεχνολογίας έξυπνης κεραίας για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της μεγάλης απώλειας πολλαπλασιασμού σε υψηλές συχνότητες, γεγονός που διευκολύνει ταυτόχρονα την κατανομή φάσματος περιορίζοντας τα όρια παρεμβολής. Στην πλευρά της υποδομής δικτύου, τα 5G αναμένεται να κάνουν άλμα από την παραδοσιακή κατανομή δικτύου μεταξύ των παρόχων με στόχο τη μείωση του κόστους προς τον τελικό χρήστη. Η λειτουργικότητα του δικτύου θα είναι ένα νέο τεχνικό χαρακτηριστικό που θα επιτρέψει στην πολυεπίπεδη και πολυδιάστατη προσαρμογή του δικτύου σε διαφορετικές εφαρμογές σε κάθετους τομείς μέσω της δυναμικής δημιουργίας “φετών” δικτύου πάνω σε μια κοινή υποδομή. Αυτά τα τεμάχια, συμπεριλαμβανομένων τόσο των δικτύων ραδιοεπικοινωνίας όσο και του πυρήνα του δικτύου, θα μπορούν να καλύπτουν διαφορετικές περιοχές πολλών ενδιαφερόμενων και να λειτουργούν χωριστά για την παροχή υπηρεσιών σε διαφορετικούς πελάτες.

2.1.3 ΖΗΤΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΑ 5G ΔΙΚΤΥΑ

Κάθε λίγα χρόνια, η ITU-R θέτει εκ των προτέρων τα θέματα της ατζέντας για να μελετήσει τη μελλοντική ζήτηση ραδιοφάσματος για το IMT και να υποστηρίξει την εξέταση πρόσθετων κατανομών φάσματος. Επί του παρόντος, η ITU-R έχει ήδη ολοκληρώσει τη μελέτη σχετικά με τη ζήτηση ραδιοφάσματος IMT προς το έτος 2020. Ορισμένες χώρες έχουν επίσης ξεκινήσει τη μελέτη για τη ζήτηση ραδιοφάσματος μετά το 2020.

2.1.3.1 ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020

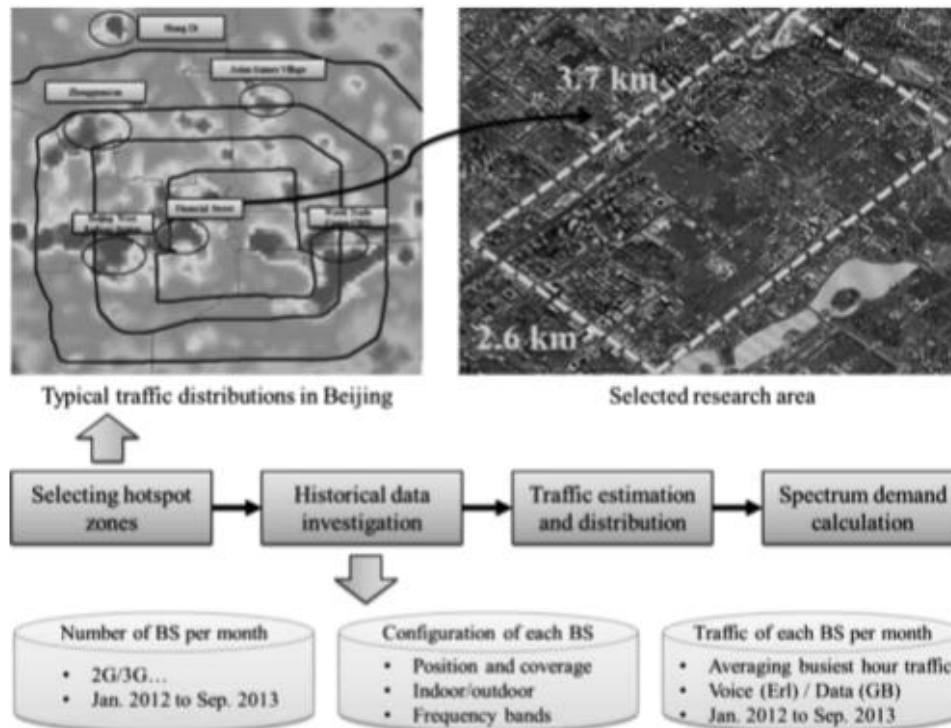
Γενικά, μια μεθοδολογία υπολογισμού της ανάγκης φάσματος ξεκινά με την ανάλυση της μελλοντικής αγοράς και του όγκου δεδομένων, ακολούθως υπολογίζει και διανείμει την κυκλοφορία σε διαφορετικές τεχνικές ραδιοεπικοινωνίας και στη συνέχεια υπολογίζει την απαιτούμενη χωρητικότητα πριν ολοκληρωθεί η εκτίμηση. Η πραγματική διαδικασία υπολογισμού μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη, όταν υπάρχουν διάφοροι τύποι μεταφοράς, διαφορετικά περιβάλλοντα και πολλαπλοί τύποι διαφορετικών τεχνικών ραδιοεπικοινωνίας. Για παράδειγμα, φανταστείτε πώς μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό δεδομένων ενός χρήστη που βρίσκεται σε εσωτερικούς χώρους, συνδεδεμένος με μελλοντικά μικρά κελιά 5G, και παρακολουθεί μια υψηλής ποιότητας βίντεο.

Πολλές χώρες έχουν συνεισφέρει στη μεθοδολογία υπολογισμού της ανάγκης φάσματος. Το σχήμα 4 συνοψίζει τις εθνικές απαιτήσεις ραδιοφάσματος που προβλέπονται από ορισμένες χώρες και οργανισμούς κατά τη διάρκεια της μελέτης της ITU-R, με τη μορφή συνολικού ποσού για όλους τους φορείς σε μια χώρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οι εθνικές απαιτήσεις ραδιοφάσματος έχουν διαφορές στη χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία και τις παραδοχές που έγιναν (π.χ. διαφορές στις παραμέτρους που σχετίζονται με την κυκλοφορία/ραδιοφάσματα, διαφορές στο έτος εκτίμησης, διαφορές στις εκτιμήσεις με βάση το εάν οι απαιτήσεις ραδιοφάσματος είναι συνολικά ή πρόσθετα κ.λπ.).

Μερικές από αυτές, όπως η GSMA (GSM Association) και το Ηνωμένο Βασίλειο, επικεντρώθηκαν στις βελτιώσεις των υφιστάμενων μεθόδων της ITU-R που αναφέρονται στη σύσταση M.1768-1. Η μεθοδολογία της σύστασης ITU-R M.1768-1 αναπτύχθηκε από την ομάδα μελέτης ITU-R, η οποία χρησιμοποιείται στο WRC-07 για τον υπολογισμό της ζήτησης ραδιοφάσματος στο μέλλον. Η μεθοδολογία παρέχει τις απαιτήσεις φάσματος του IMT στο σύνολό του και κατανέμεται μεταξύ δύο ομάδων τεχνικής πρόσβασης (RATGs):

- RATG 1: συστήματα IMT-IMT-2000 και βελτιώσεις του.
- RATG 2: IMT-Advanced.

Η μεθοδολογία αντικατοπτρίζει ορισμένες πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες IMT και την ανάπτυξη δικτύων IMT, όπως η εισαγωγή της κατανομής φάσματος μεταξύ των μακρομοριακών και μικροκυψελικών στρωμάτων στο IMT Advanced και η εισαγωγή ενός νέου παραμετρικού φάσματος για τα συστήματα IMT.



Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας ζήτησης ραδιοφάσματος που υποβλήθηκε από την Κίνα, όπου μια περιοχή 3.7 χλμ. x 2.6 χλμ. γύρω από το Beijing Financial Street επιλέχθηκε ως η τοπική πυκνότητα κυκλοφορίας

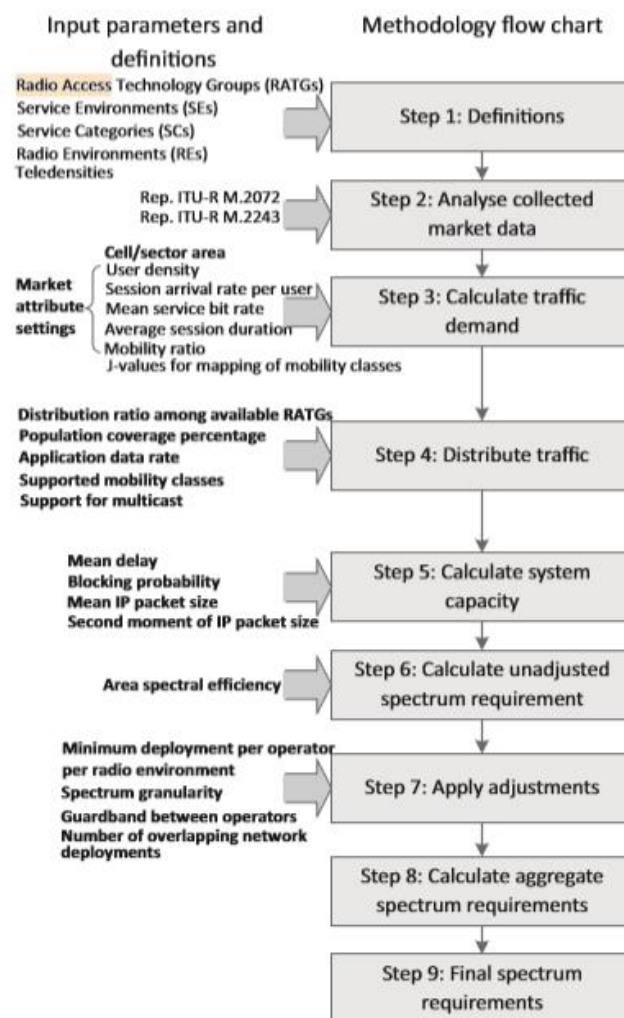
Το Σχήμα 2 συνοψίζει τα βήματα του αλγορίθμου υπολογισμού που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο ITU-RM.1768-1 σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες παραμέτρους από μελέτες αγοράς που χαρακτηρίζουν το σύνολο των μεταφορών από το IMT και από άλλα κινητά συστήματα, που αντιστοιχούν στα Βήματα 2-3. Στο Βήμα 4, το συνολικό φορτίο που λαμβάνεται από τις μελέτες αγοράς κατανέμεται μεταξύ διαφορετικών ραδιοσυστημάτων (κυτταρικά στρώματα) και RATG σύμφωνα με παράγοντες όπως χαρακτηριστικά μετακίνησης (απαιτούμενες ταχύτητες και κινητικότητα χρηστών), ικανότητες RATG (ρυθμοί δεδομένων που υποστηρίζονται, καλύψεις) κλπ. Η χωρητικότητα του συστήματος που απαιτείται για τη μεταφορά του προσφερόμενου μεταφορικού μέσου υπολογίζεται στη συνέχεια στο Βήμα 5 χρησιμοποιώντας ξεχωριστούς αλγόριθμους υπολογισμού χωρητικότητας για μεταφορές με βάση την κράτηση και μεταφορές με βάση πακέτα, αντίστοιχα.

Αρχικές εκτιμήσεις φάσματος προκύπτουν από τις απαιτήσεις χωρητικότητας διαχωρίζοντας τις τελευταίες από τις φασματικές επιδόσεις (Βήμα 6). Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται προσαρμογές για να ληφθούν υπόψη οι αναπτύξεις δικτύου, ενώ οι απαιτήσεις ραδιοφάσματος συγκεντρώνονται στις σχετικές αναπτύξεις (βήματα 7-8). Τέλος, η μεθοδολογία εξάγει τις συνολικές απαιτήσεις ραδιοφάσματος των RATG 1 και RATG 2, οι οποίες συνολικά δηλώνουν τα συστήματα IMT (Βήμα 9).

Επομένως, αναπτύσσονται δύο ρυθμίσεις για να χαρακτηρίζουν τις χαμηλότερες και υψηλότερες ρυθμίσεις πυκνότητας χρήστη. Αυτά τα δύο σύνολα αγορακεντρικών τιμών δεδομένων μελετών αγοράς εξετάζονται στον υπολογισμό των χαρακτηριστικών των πυκνοτήτων των χρηστών σε διάφορες χώρες. Το σχήμα 3 δείχνει τις υπολογισθείσες απαιτήσεις ραδιοφάσματος και για τα δύο RATG 1 και 2. Σε ορισμένες χώρες, η απαίτηση για την τήρηση των προϋποθέσεων μπορεί να είναι χαμηλότερη από την εκτίμηση που προκύπτει από χαμηλότερες ρυθμίσεις πυκνότητας χρήστη και σε ορισμένες χώρες, η εθνική απαίτηση

για ραδιοφάσμα μπορεί να είναι μεγαλύτερη από αυτή που αποδίδεται από τις ρυθμίσεις πυκνότητας.

Εκτός από τη χρήση υφιστάμενων μεθοδολογιών, υπάρχουν επίσης πρωτότυπες μεθοδολογίες που προτείνονται από τις ΗΠΑ, την Αυστραλία, τη Ρωσία κ.ο.κ. Αυτές οι μεθοδολογίες αντικατοπτρίζονται ως μελέτες περιπτώσεων που βασίζονται σε εθνικές εκτιμήσεις. Ακολουθεί ένα σύντομο παράδειγμα από την Κίνα, η οποία διεξάγεται από την ομάδα προώθησης IMT-2020. Το κύριο σημείο της νέας μεθόδου είναι να εκτιμηθεί το ανώτερο όριο της ζήτησης. Στην πραγματικότητα, από τα επιχειρησιακά στοιχεία αποδεικνύεται ότι η περιοχή που έχει τη μεγαλύτερη ζήτηση φάσματος βρίσκεται πάντα σε μητροπόλεις. Όταν οι απαιτήσεις ενός τέτοιου σεναρίου ικανοποιηθούν, η λύση μπορεί να ισχύει και για άλλους.



Σχήμα 2: Βήματα του αλγορίθμου υπολογισμού και συναφείς παράμετροι εισόδου

Κατά τον υπολογισμό, μια τυπική ζώνη - Hotspot στο Πεκίνο επιλέγεται ως ερευνητική περιοχή. Για να συγκεντρώσει τα ιστορικά δεδομένα εντός της ζώνης αυτής, η κυβέρνηση εξέδωσε επιστολή έρευνας σε όλους τους φορείς διαχείρισης δικτύων. Η έρευνα δεδομένων βασίστηκε στο σύστημα διαχείρισης δικτύου του φορέα διαχείρισης στην Κίνα, το οποίο αποτελεί σημαντική διαφορά μεταξύ της προτεινόμενης μεθόδου και άλλων διεθνών μεθόδων.

Υποστηριζόμενοι από αυτά τα πρώτα δεδομένα, έγιναν αναλύσεις για την εκτίμηση της αύξησης της κυκλοφορίας, της κατανομής της κυκλοφορίας και της ανάπτυξης του σταθμού βάσης (BS) στο μέλλον. Το γενικό διάγραμμα της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Σύμφωνα με τον υπολογισμό, η συνολική ζήτηση φάσματος IMT στην Κίνα είναι 1350-1810 MHz το 2020, τα οποία είναι λίγο διαφορετικά αλλά παρόμοια με το αποτέλεσμα υπολογισμού κατά το M.1768-1 (1490-1810MHz).

Total spectrum requirements	RATG 1	RATG 2	RATGs 1 and 2
Lower user density settings	440 MHz	900 MHz	1340 MHz
Higher user density settings	540 MHz	1420 MHz	1960 MHz

Σχήμα 3: Συνολικές απαιτήσεις φάσματος τόσο για τα RATG1 όσο και για τα RATG2 κατά το έτος 2020

Τα αποτελέσματα εκτιμήσεων που λαμβάνονται ανεξάρτητα από διαφορετικές μεθόδους είναι τεράστια. Σε σύγκριση με το σημερινό προσδιορισμένο φάσμα για IMT σε διάφορες χώρες, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετές εκατοντάδες έως και 1000 MHz έλλειψης. Επιπλέον, κατά την περίοδο εμπορίας 5G μετά το 2020, η συνολική ζήτηση ραδιοφάσματος μπορεί να συνεχίσει να αυξάνεται.

Source	US	Australia	Russia	China	GSMA	India	UK
Estimation year	Until 2014	Until 2020	2020	2015, 2020	2020	2017, 2020	2020
Spectrum requirements	Additional 275 MHz by 2014	1081 MHz in total	1065 MHz in total	570–690 MHz in total by 2015 1490–1810 MHz in total by 2020	1600–1800 MHz in total for some countries	Additional 300 MHz by 2017 Additional another 200 MHz by 2020	775–1080 MHz in total for low 2230–2770 in total MHz for high
Methodology	Original	Original	Original	Rec. ITU-R M.1768-1	Complementary to Rec. ITU-R M.1768-1	Original	Rec. ITU-R M.1768-1

Σχήμα 4: Σύνοψη των εθνικών απαιτήσεων ραδιοφάσματος σε ορισμένες χώρες

2.1.3.2 ΖΗΤΗΣΗ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020

Το παραπάνω αποτέλεσμα είναι, σε κάποιο βαθμό, ένα συνολικό ποσό φάσματος και το εύρος εξαρτάται από τις παραδοχές που έγιναν στη διαδικασία εκτίμησης. Εντούτοις, οι βλέψεις για τα 5G μετά το έτος 2020, είναι πιθανόν να μην καθιστούν δυνατή τη μέτρηση της νέας ζήτησης σε ένα συνολικό αριθμό. Για παράδειγμα, σε σενάρια εσωτερικών υψηλών μεταδόσεων 5G, προκειμένου να επιτευχθούν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, η ζήτηση για εύρος ζώνης συχνότητας μπορεί να φτάσει σε κάθε GHz. Αυτό μπορεί να επιλυθεί χρησιμοποιώντας υψηλότερες συχνότητες και πυκνότερες εφαρμογές κεραιών. Αλλά, αυτές οι λύσεις μπορεί να μην είναι η καλύτερη επιλογή για εξωτερικά σενάρια ευρείας περιοχής. Επομένως, θα είναι χρήσιμο να υπολογιστεί ξεχωριστά το φάσμα που απαιτείται για την κάλυψη, την ικανότητα, τις επιδόσεις και τις συνδέσεις για κάθε σενάριο 5G.

Γενικά, η εκτίμηση της ζήτησης φάσματος 5G θα πρέπει να είναι ένα ολοκληρωμένο αποτέλεσμα, υποδεικνύοντας λύσεις ραδιοφάσματος για διάφορα σενάρια. Αναμένεται ότι το 5G θα απαιτεί περισσότερο από το συνολικό ποσό φάσματος, θα είναι ευρύτερο σε σχέση με τα μεμονωμένα εύρη ζώνης, και πιο ευέλικτο στο πρότυπο χρήσης.

2.2 ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΑ ΑΠΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κατανεμημένα πρωτόκολλα ελέγχου και μεταφοράς που εκτελούνται μέσα από τους δρομολογητές και τους διακόπτες είναι οι βασικές τεχνολογίες που επιτρέπουν την παροχή πληροφοριών, με τη μορφή ψηφιακών πακέτων, σε όλο τον κόσμο. Παρά την ευρεία υιοθέτησή τους, τα παραδοσιακά δίκτυα IP είναι περίπλοκα και δύσκολο να διαχειριστούν [12]. Για να εκφράσουν τις επιθυμητές πολιτικές δικτύου υψηλού επιπέδου, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύου πρέπει να διαμορφώσουν ξεχωριστά κάθε μεμονωμένη συσκευή δικτύου χρησιμοποιώντας εντολές στο χαμηλό επίπεδο και συχνά εντολές που σχετίζονται με τους προμηθευτές των προϊόντων. Εκτός από την πολυπλοκότητα των ρυθμίσεων, τα περιβάλλοντα δικτύου πρέπει να αντέξουν τη δυναμική των βλαβών και να προσαρμοστούν στις αλλαγές φορτίου. Οι αυτόματοι μηχανισμοί επαναπροσδιορισμού και απόκρισης είναι σχεδόν ανύπαρκτοι στα τρέχοντα δίκτυα IP. Η επιβολή των απαιτούμενων πολιτικών σε ένα τέτοιο δυναμικό περιβάλλον είναι επομένως άκρως σημαντική και προκλητική. Για να γίνει ακόμα πιο κατανοητό, τα τρέχοντα δίκτυα είναι επίσης κάθετα ολοκληρωμένα. Το επίπεδο ελέγχου (το οποίο αποφασίζει για τον τρόπο χειρισμού της κίνησης δικτύου) και το επίπεδο δεδομένων (που προωθεί την κίνηση σύμφωνα με τις αποφάσεις του επιπέδου ελέγχου) είναι ενσωματωμένα μέσα στις συσκευές δικτύωσης, μειώνοντας την ευελιξία και παρεμποδίζοντας την καινοτομία και την εξέλιξη της υποδομής δικτύωσης. Η μετάβαση από το IPv4 στο IPv6 ξεκίνησε πριν από μια δεκαετία και ακόμα σε μεγάλο βαθμό είναι ελλιπής καθώς είναι μάρτυρας αυτής της πρόκλησης, ενώ στην πραγματικότητα το IPv6 αντιπροσώπευε απλώς μια ενημέρωση πρωτοκόλλου. Λόγω της αδράνειας των σημερινών δικτύων IP, ένα νέο πρωτόκολλο δρομολόγησης μπορεί να διαρκέσει πέντε έως δέκα χρόνια για να σχεδιαστεί πλήρως, να αξιολογηθεί και να αναπτυχθεί. Ομοίως, μια προσέγγιση καθαρού σχιστόλιθου για την αλλαγή της αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου (π.χ., αντικατάσταση της IP) θεωρείται ως μια αποθαρρυντική εργασία που δεν είναι εφικτή στην πράξη [13], [14].

2.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΡΙΣΜΕΝΟ ΑΠΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (SDN)

Ο όρος SDN σχεδιάστηκε αρχικά για να αντιπροσωπεύσει τις ιδέες και τις εργασίες γύρω από το OpenFlow [15] στο Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ, Stanford, CA, ΗΠΑ [16]. Όπως ορίστηκε αρχικά, το SDN αναφέρεται σε μια αρχιτεκτονική δικτύου όπου η κατάσταση προώθησης στο επίπεδο δεδομένων ελέγχεται από ένα εξ αποστάσεως ελεγχόμενο επίπεδο αποσυνδεδεμένο από το πρώτο. Η βιομηχανία δικτύωσης έχει επανειλημμένα μεταφερθεί από αυτή την αρχική εικόνα του SDN, αναφέροντας σε οτιδήποτε αφορά λογισμικό ως SDN.

Ένα SDN ορίζεται ως η αρχιτεκτονική ενός δικτύου με τέσσερις πυλώνες:

1. Τα επίπεδα ελέγχου και δεδομένων αποσυνδέονται. Η λειτουργία ελέγχου αφαιρείται από τις συσκευές δικτύου που τελικά θα μετατραπεί σε απλά (πακέτα) και στοιχεία προώθησης.
2. Οι αποφάσεις διαβίβασης βασίζονται στη ροή, αντί για τον προορισμό. Μια ροή καθορίζεται ευρέως από ένα σύνολο τιμών πεδίων πακέτων που λειτουργούν ως κριτήριο αντιστοίχισης (φίλτρου) και ένα σύνολο ενεργειών (οδηγίες). Στο περιβάλλον SDN / OpenFlow, μια ροή είναι μια ακολουθία από πακέτα μεταξύ πηγής και προορισμού. Όλα τα πακέτα μιας ροής λαμβάνουν ίδιες πολιτικές εξυπηρέτησης στις συσκευές προώθησης [16], [17]. Η αφαίρεση ροής επιτρέπει την ενοποίηση της συμπεριφοράς διαφόρων τύπων συσκευών δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των δρομολογητών, διακοπών, τειχών προστασίας και μεσαίες θυρίδες [18].

3. Η λογική ελέγχου μετακινείται σε μια εξωτερική οντότητα, τον αποκαλούμενο ελεγκτή SDN ή NOS. Το NOS είναι μια πλατφόρμα λογισμικού που λειτουργεί με τεχνολογία διακομιστών και παρέχει τους βασικούς πόρους και δυνατότητες για να διευκολυνθεί ο προγραμματισμός των συσκευών προώθησης βάσει μιας λογικά συγκεντρωμένης και αφηρημένης προβολής δικτύου. Επομένως, ο σκοπός του είναι παρόμοιος με εκείνον ενός παραδοσιακού λειτουργικού συστήματος.
4. Το δίκτυο είναι προγραμματιζόμενο μέσω εφαρμογών λογισμικού που εκτελούνται στην κορυφή του NOS που αλληλεπιδρά με τις υποκείμενες συσκευές δεδομένων. Αυτό είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό του SDN, που θεωρείται ως μια από τις κύριες προσφορές του.

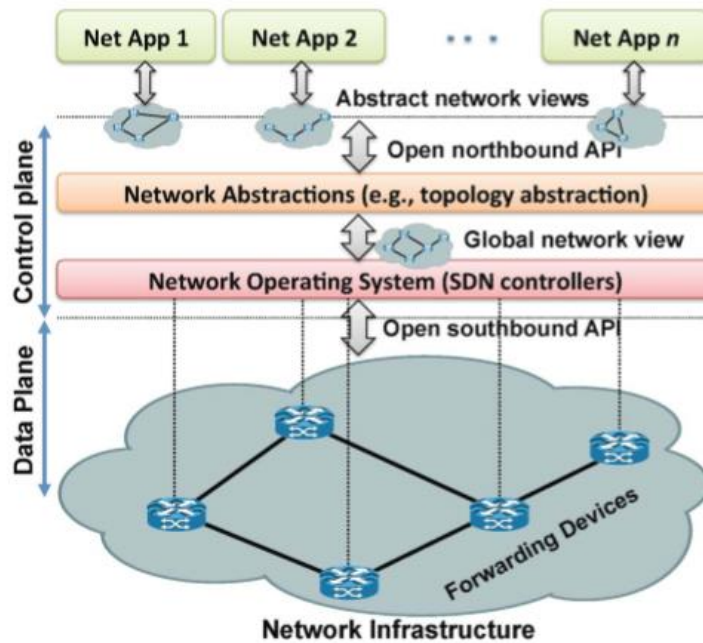
Ας σημειωθεί ότι η συγκέντρωση της λογικής ελέγχου, προσφέρει πολλά επιπλέον πλεονεκτήματα. Πρώτον, είναι απλούστερο και λιγότερο επιρρεπές στο να τροποποιήσει κάποιος τις πολιτικές δικτύου μέσω γλωσσών υψηλού επιπέδου και εξαρτημάτων λογισμικού, σε σύγκριση με ειδικές διαμορφώσεις χαμηλού επιπέδου για συσκευές. Δεύτερον, ένα πρόγραμμα ελέγχου μπορεί να αντιδράσει αυτόματα σε ψευδείς αλλαγές της κατάστασης δικτύου και έτσι να διατηρήσει άθικτες τις πολιτικές υψηλού επιπέδου. Τρίτον, η συγκέντρωση της λογικής ελέγχου σε ελεγκτή με γενική γνώση της κατάστασης δικτύου απλοποιεί την ανάπτυξη πιο εξελιγμένων λειτουργιών δικτύωσης, υπηρεσιών και εφαρμογών.

Μετά από την ιδέα SDN που εισήχθη στο [19], ένα SDN μπορεί να οριστεί από τρία βασικά επίπεδα: προώθηση, διανομή και προδιαγραφές. Στην πραγματικότητα, τα τρία αυτά επίπεδα είναι βασικά εργαλεία έρευνας στην επιστήμη των υπολογιστών και την τεχνολογία της πληροφορικής, καθώς είναι ήδη ένα πανταχού παρόν χαρακτηριστικό πολλών αρχιτεκτονικών υπολογιστών και συστημάτων [20].

Στην ιδανική περίπτωση, το επίπεδο της προώθησης θα πρέπει να επιτρέπει οποιαδήποτε συμπεριφορά προώθησης επιθυμητή από την εφαρμογή δικτύου (το πρόγραμμα ελέγχου), ενώ θα αποκρύπτει λεπτομέρειες του υποκείμενου υλικού. Το OpenFlow είναι μια υλοποίηση μιας τέτοιας προσέγγισης, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως η ισοδύναμη με ένα "πρόγραμμα οδηγός συσκευής" σε ένα λειτουργικό σύστημα.

Η κατανομή επίσης, θα πρέπει να προστατεύει τις εφαρμογές SDN από τις ιδιομορφίες της κατανεμημένης κατάστασης, καθιστώντας το πρόβλημα του κατανεμημένου ελέγχου λογικά κεντρικό. Η υλοποίησή του απαιτεί ένα κοινό στρώμα διανομής, το οποίο στα SDN βρίσκεται στο NOS. Αυτό το στρώμα έχει δύο βασικές λειτουργίες. Πρώτον, είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση των εντολών ελέγχου στις συσκευές προώθησης. Δεύτερον, συλλέγει πληροφορίες κατάστασης σχετικά με το στρώμα προώθησης (συσκευές δικτύου και συνδέσμοι δικτύου), για να προσφέρει μια γενική προβολή δικτύου.

Το τελευταίο επίπεδο, οι προδιαγραφές, πρέπει να επιτρέπουν σε μια εφαρμογή δικτύου να εκφράζει την επιθυμητή συμπεριφορά δικτύου χωρίς να είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή αυτής της συμπεριφοράς. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω λύσεων εικονικοποίησης, καθώς και γλωσσών προγραμματισμού δικτύου. Αυτές οι προσεγγίσεις καταγράφουν τις αφηρημένες διαμορφώσεις τις οποίες οι εφαρμογές εκφράζουν με βάση ένα απλοποιημένο, αφηρημένο μοντέλο του δικτύου σε μια φυσική διαμόρφωση για την προβολή του γενικού δικτύου που εκτίθεται από τον ελεγκτή SDN. Το σχήμα 5 απεικονίζει την αρχιτεκτονική, τις έννοιες και τα δομικά στοιχεία ενός SDN.



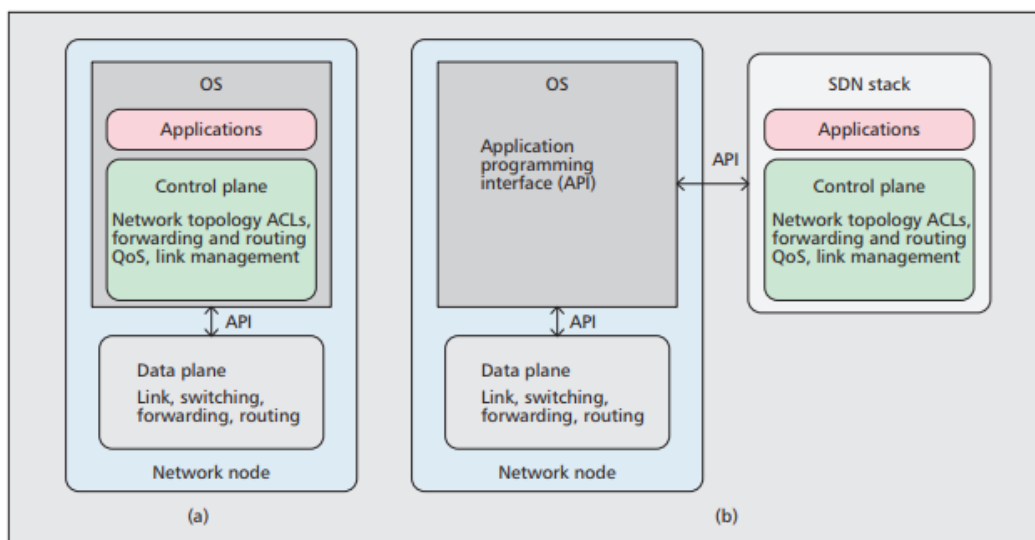
Σχήμα 5: Αρχιτεκτονική SDN

2.2.2 ΓΙΑΤΙ SDN;

Ο βασικός σκοπός τους δικτύου επικοινωνιών είναι να μεταφέρει πληροφορίες από ένα σημείο σε ένα άλλο. Εντός του δικτύου τα δεδομένα ταξιδεύουν σε πολλαπλούς κόμβους. Η αποτελεσματική μεταφορά των δεδομένων αυτών εξασφαλίζεται από τον έλεγχο που παρέχεται από τις διάφορες εφαρμογές / υπηρεσίες του δικτύου.

2.2.2.1 Η ΔΙΚΤΥΩΣΗ ΠΑΛΙΑ

Στα παραδοσιακά δίκτυα, όπως φαίνεται στο σχήμα 6, τα επίπεδα ελέγχου και δεδομένων συνδυάζονται σε έναν κόμβο δικτύου. Το επίπεδο ελέγχου είναι υπεύθυνο για τη διαμόρφωση του κόμβου και τον προγραμματισμό των διαδρομών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τις ροές δεδομένων. Μόλις αυτά τα μονοπάτια έχουν καθοριστεί, ωθούνται προς τα κάτω, στο επίπεδο δεδομένων. Η μεταφορά δεδομένων στο υλικό επίπεδο βασίζεται σε αυτές τις πληροφορίες ελέγχου. Σε αυτή την παραδοσιακή προσέγγιση, μόλις καθοριστεί η διαχείριση ροής (πολιτική προώθησης) ο μόνος τρόπος για την προσαρμογή μιας νέας πολιτικής είναι μέσω αλλαγών στη διαμόρφωση των συσκευών. Αυτό έχει αποδειχθεί περιοριστικό για τους φορείς που επιθυμούν να μεγεθύνουν τα δίκτυά τους ανταποκρινόμενοι στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις κυκλοφορίας.



Σχήμα 6: Παραδοσιακή προβολή δικτύου σε σύγκριση με δίκτυο καθορισμένο από λογισμικό: α) Παραδοσιακή προσέγγιση (Κάθε κόμβος δικτύου έχει δικό του επίπεδο ελέγχου και διαχείρισης). β) προσέγγιση SDN (το επίπεδο ελέγχου εξάγεται από τον κόμβο του δικτύου)

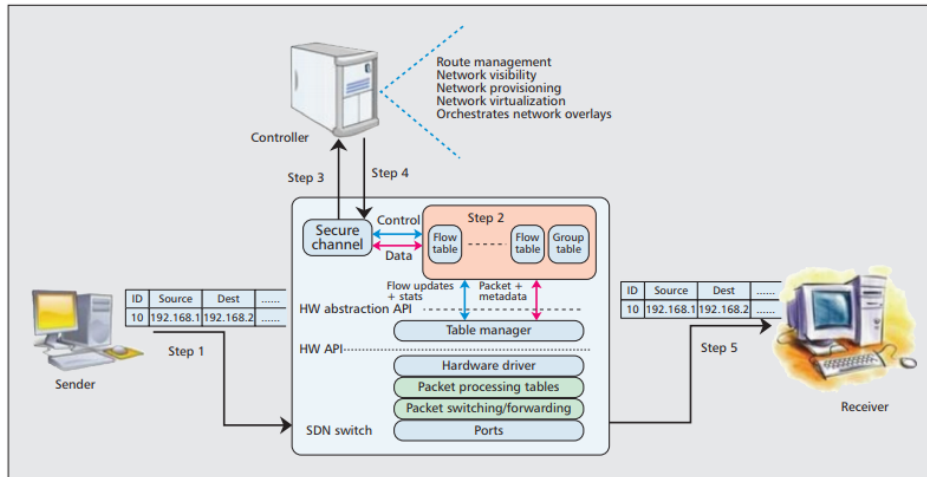
2.2.2.2 ΔΙΚΤΥΩΣΗ ΜΕ SDN

Από αυτές τις απαιτήσεις που επικεντρώνονται στις υπηρεσίες, έχει προκύψει το SDN. Ο έλεγχος μετακινείται εκτός των επιμέρους κόμβων του δικτύου και στον ξεχωριστό κεντρικό ελεγκτή. Οι διακόπτες SDN ελέγχονται από ένα λειτουργικό σύστημα δικτύου (NOS) που συλλέγει πληροφορίες χρησιμοποιώντας τη διεπαφή προγραμματισμού που φαίνεται στο σχήμα 7 και χειρίζεται το επίπεδο προώθησης τους, παρέχοντας ένα αφηρημένο μοντέλο της τοπολογίας δικτύου στον ελεγκτή SDN που φιλοξενεί τις εφαρμογές.

Επομένως, ο ελεγκτής μπορεί να εκμεταλλευτεί την πλήρη γνώση του δικτύου για να βελτιστοποιήσει τη διαχείριση ροής και να υποστηρίξει τις απαιτήσεις υπηρεσιών-χρήστη, της επεκτασιμότητας και της ευελιξίας. Για παράδειγμα, το εύρος ζώνης μπορεί να διατεθεί δυναμικά στα δεδομένα από την εφαρμογή.

Στο σχήμα 7, όταν το πρώτο πακέτο μιας νέας ροής φτάσει στο διακόπτη από τον αποστολέα (βήμα 1), ο διακόπτης ελέγχει για έναν κανόνα ροής για αυτό το πακέτο στην προσωρινή μνήμη του SDN (βήμα 2). Αν υπάρχει εγγραφή που ταιριάζει, εκτελούνται οι οδηγίες που σχετίζονται με την συγκεκριμένη καταχώρηση ροής (π.χ. μετρητής ενημέρωσης, πεδία πακέτων / αντιστοίχισης, σύνολο ενεργειών, μεταδεδομένα). Τα πακέτα μεταφέρονται στη συνέχεια στον δέκτη (βήμα 5).

Εάν δεν υπάρχει αντιστοιχία στον πίνακα ροής, το πακέτο μπορεί να προωθηθεί στον ελεγκτή μέσω ενός ασφαλούς καναλιού (βήμα 3). Χρησιμοποιώντας τη νότια διεπαφή προγραμματισμού (π.χ. OpenFlow, ForCES, PCEP), ο ελεγκτής μπορεί να προσθέσει, να ενημερώσει και να διαγράψει καταχωρήσεις ροής, τόσο αντιδραστικά (ως απάντηση στα πακέτα) όσο και προληπτικά. Ο ελεγκτής εκτελεί τον αλγόριθμο δρομολόγησης και προσθέτει μια νέα καταχώρηση προώθησης στον πίνακα ροής στον διακόπτη και σε κάθε έναν από τους αντίστοιχους διακόπτες κατά μήκος της διαδρομής ροής (βήμα 4). Στη συνέχεια ο διακόπτης προωθεί το πακέτο στο κατάλληλη θύρα για την αποστολή του πακέτου στον δέκτη (βήμα 5).



Σχήμα 7: Η λειτουργία του SDN (contoller-switch)

2.2.2.3 ΠΟΥ ΜΑΣ ΠΑΕΙ ΤΟ SDN

Η τεχνολογία SDN ανοίγει ένα μέσο για νέες καινοτομίες και νέες εφαρμογές. Ο δυναμικός έλεγχος τοπολογίας (δηλ. Η προσαρμογή της χρήσης του διακόπτη ανάλογα με τη χαρτογράφηση φορτίου και της κυκλοφορίας) καθίσταται δυνατή με την προβολή του όλου δικτύου. Αυτό εισάγει ένα νέο πεδίο εφαρμογής για έλεγχο πρόσβασης στο δίκτυο, διαχείριση ενέργειας και οικιακή δικτύωση, για την οποία η προβολή του δικτύου δεν είναι επωφελής, αλλά απολύτως αναγκαία.

Επιπλέον, η δυνατότητα προγραμματισμού του δικτύου στο SDN επιτρέπει την απρόσκοπτη επικοινωνία σε όλα τα επίπεδα, από υλικό σε λογισμικό και τελικά σε τελικούς χρήστες (φορείς δικτύου). Η δυνατότητα προγραμματισμού καθιστά τις εφαρμογές ενήμερες για το δίκτυο και το δίκτυο γνωρίζει τις εφαρμογές. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται πολύ βελτιωμένη χρήση των πόρων και ανοίγεται το δυναμικό για νέες εφαρμογές με τη σχετική δυνατότητα δημιουργίας εσόδων (π.χ. μέτρηση ροής), στην οποία μπορούν να οριστούν τα σχέδια κόστους βάσει ενός επιπέδου παροχής υπηρεσιών.

3 5G-PPP (PUBLIC PRIVATE PARTNERSHIP)

Η 5G-PPP [22] είναι μια κοινή πρωτοβουλία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και της ευρωπαϊκής βιομηχανίας ΤΠΕ (κατασκευαστές ΤΠΕ, τηλεπικοινωνιακοί φορείς, πάροχοι υπηρεσιών, ΜΜΕ και ερευνητικά ιδρύματα). Η 5G-PPP βρίσκεται τώρα στην τρίτη φάση όπου ξεκίνησαν πολλά νέα έργα στις Βρυξέλλες τον Ιούνιο του 2018. Η 5G-PPP θα προσφέρει λύσεις, αρχιτεκτονικές, τεχνολογίες και πρότυπα για τις επικοινωνιακές υποδομές επόμενης γενιάς της επόμενης δεκαετίας. Η πρόκληση για τη 5G-PPP είναι να εξασφαλίσει την ηγετική θέση της Ευρώπης στους συγκεκριμένους τομείς όπου η Ευρώπη είναι ισχυρή ή όπου υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας νέων αγορών όπως οι έξυπνες πόλεις, η ηλεκτρονική υγεία, οι ευφυείς μεταφορές, η εκπαίδευση ή η ψυχαγωγία και τα πολυμέσα. Η πρωτοβουλία 5G-PPP θα ενισχύσει την ευρωπαϊκή βιομηχανία ώστε να ανταγωνιστεί επιτυχώς τις παγκόσμιες αγορές και να ανοίξει νέες ευκαιρίες καινοτομίας. Θα "ανοίξει μια πλατφόρμα που θα μας βοηθήσει να επιτύχουμε τον κοινό μας στόχο ώστε να διατηρήσουμε και να ενισχύσουμε το παγκόσμιο τεχνολογικό προβάδισμα".

Οι βασικές προκλήσεις της 5G-PPP είναι:

- Παροχή 1000 φορές μεγαλύτερης χωρητικότητας ασύρματης ζεύξης και πιο ποικίλες δυνατότητες υπηρεσιών σε σύγκριση με το 2010.
- Εξοικονόμηση έως και 90% της ενέργειας ανά παρεχόμενη υπηρεσία. Το κύριο βάρος θα δοθεί στα δίκτυα κινητής επικοινωνίας, όπου η κυρίαρχη κατανάλωση ενέργειας προέρχεται από το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης.
- Μείωση του μέσου χρόνου δημιουργίας υπηρεσίας από 90 ώρες σε 90 λεπτά.
- Δημιουργία ασφαλούς, και αξιόπιστου διαδικτύου με "μηδενικό" χρόνο αναμονής για παροχή υπηρεσιών.
- Διευκόλυνση πολύ πυκνής ανάπτυξης συνδέσεων ασύρματης επικοινωνίας για τη σύνδεση περισσότερων από 7 τρισεκατομμυρίων ασύρματων συσκευών που εξυπηρετούν πάνω από 7 δισεκατομμύρια ανθρώπους.
- Εξασφάλιση πρόσβασης για όλους και παντού σε ένα ευρύτερο φάσμα υπηρεσιών και εφαρμογών με χαμηλότερο κόστος.

3.1 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Τα 5G θα ανταποκριθούν στις απαιτήσεις μιας πολύ κινητής και πλήρως συνδεδεμένης κοινωνίας. Ο πολλαπλασιασμός των συνδεδεμένων αντικειμένων και συσκευών θα ανοίξει το δρόμο σε ένα ευρύ φάσμα νέων υπηρεσιών και σε επιχειρηματικά μοντέλα που θα επιτρέψουν την αυτοματοποίηση σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας καθώς και στις κάθετες αγορές (π.χ. ενέργεια, ηλεκτρονική υγεία, έξυπνη πόλη, συνδεδεμένα αυτοκίνητα, βιομηχανική παραγωγή κλπ.). Εκτός από τις πιο διαδεδομένες ανθρώπινες εφαρμογές, όπως η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, η ροή βίντεο 4K, κλπ., τα δίκτυα 5G θα υποστηρίξουν τις επικοινωνιακές ανάγκες των εφαρμογών τύπου μηχανή προς μηχανή και μηχανή προς άνθρωπο, ώστε να καταστήσει τη ζωή μας πιο ασφαλή και βολική.

Η συνύπαρξη εφαρμογών ανθρώπινου και μηχανικού τύπου θα επιβάλλει πολύ διαφορετικούς λειτουργικούς και βασικούς δείκτες απόδοσης (KPIs)/απαιτήσεις απόδοσης που θα πρέπει να υποστηρίξουν τα δίκτυα 5G. Το όραμα της κοπής του δικτύου θα ικανοποιήσει συνεπώς τη ζήτηση κατακόρυφων τομέων που ζητούν αποκλειστικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, παρέχοντας τις περιγραφές των απαιτήσεων φέρουσας τοποθέτησης κατά παραγγελία σε πελάτες, όπως περιγράφεται στο σχήμα 8.

Η ανάγκη για χαρτογράφηση συμφωνιών επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών (SLAs) σε περιγραφές φέτας δικτύου, οι οποίες διευκολύνουν την δημιουργία στιγμιότυπων, καθίσταται εμφανής. Στο παρελθόν, οι χειριστές εκτελούσαν μια τέτοια χαρτογράφηση με χειροκίνητο τρόπο σε έναν περιορισμένο αριθμό τύπων υπηρεσίας/τεμάχιο (κυρίως στο κινητό ευρυζωνικό φάσμα - MBB, φωνητικές υπηρεσίες και SMS). Με αυξημένο αριθμό τέτοιων αιτημάτων πελατών, ένα πλαίσιο διαχείρισης και ελέγχου της κινητής τηλεφωνίας θα πρέπει συνεπώς να παρουσιάζει ένα σημαντικά αυξημένο επίπεδο αυτοματοποίησης για όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των περιπτώσεων χρήσης.

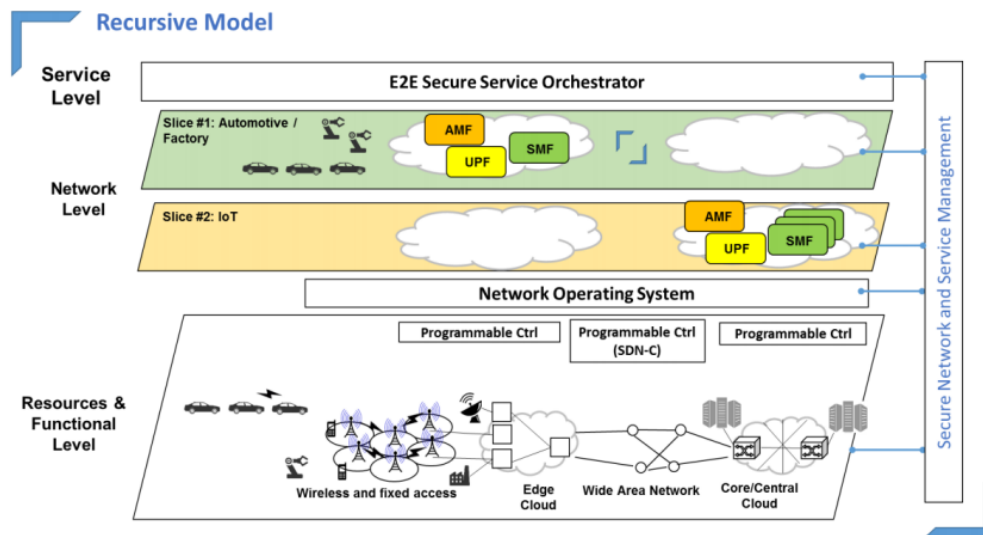
Πιο συγκεκριμένα, η αυτοματοποίηση του κύκλου ζωής πρέπει να πραγματοποιείται από μια αρχιτεκτονική και να περιλαμβάνει λειτουργίες και εργαλεία που εφαρμόζουν γνωστικές διαδικασίες για όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής: φάση προετοιμασίας, φάση εκκίνησης, διαμόρφωση και ενεργοποίηση, φάση χρόνου εκτέλεσης και φάση παροπλισμού. Δύο θεμελιώδεις τεχνολογικές δυνατότητες περιλαμβάνουν την ανάπτυξη λογισμικού, π.χ. εικονικοποίηση των λειτουργιών του δικτύου, καθώς και καθορισμένες από το λογισμικό προγραμματιζόμενες λειτουργίες δικτύου και πόρους υποδομής. Άλλα βασικά στοιχεία αποτελούν αποτελεσματικές διαδικασίες και πρωτόκολλα διαχείρισης και ενορχήστρωσης.

Τέλος, οι κλιμακωτοί αλγόριθμοι ανάλυσης δεδομένων που βασίζονται σε υπηρεσίες που εκμεταλλεύονται πηγές δεδομένων πολλαπλών τομέων, συμπληρωμένοι με αξιόπιστους μηχανισμούς ασφαλείας, θα ανοίξουν το δρόμο για την ανάπτυξη προσαρμοσμένων υπηρεσιών δικτύου με διαφορετικά εικονικά NF (VNF) σε μια κοινή υποδομή με αξιόπιστο τρόπο.

Μια αναδρομική δομή στο περιβάλλον 5G μπορεί να οριστεί ως σχέδιο, κανόνας ή διαδικασία που μπορεί να εφαρμοστεί επανειλημμένα. Σε ένα πλαίσιο υπηρεσίας δικτύου, αυτή η αναδρομική δομή μπορεί να είναι είτε ένα συγκεκριμένο τμήμα μιας υπηρεσίας δικτύου είτε ένα επαναλαμβανόμενο τμήμα της πλατφόρμας ανάπτυξης και ορίζεται ως η δυνατότητα δημιουργίας μιας υπηρεσίας από ήδη υπάρχουσες. Μια συγκεκριμένη υπηρεσία θα μπορούσε να κλιμακωθεί αναδρομικά, πράγμα που σημαίνει ότι ένα συγκεκριμένο μοτίβο θα μπορούσε να αντικαταστήσει ένα μέρος του. Όπως συμβαίνει με τον ορισμό μιας αναδρομικής υπηρεσίας, μια αναδρομική δομή στην αρχιτεκτονική (λογισμικού) 5G μπορεί να δημιουργηθεί σε παράσταση και να συνδεθεί επανειλημμένα. Βελτιώνει την επεκτασιμότητα, καθώς το ίδιο παράδειγμα μπορεί να αναπτυχθεί πολλές φορές, σε διαφορετικά σημεία ταυτόχρονα. Η αναδρομικότητα οδηγεί επίσης σε μια ευκολότερη διαχείριση της ελαστικότητας, της επεκτασιμότητας και της αλλαγής. Η αναδρομικότητα μεταβιβάζοντας τμήματα της υπηρεσίας σε πολλαπλές περιπτώσεις του ίδιου μπλοκ λογισμικού είναι ένας φυσικός τρόπος αντιμετώπισης πιο πολύπλοκων και μεγαλύτερων φόρτων εργασίας ή γραφικών υπηρεσιών. Εάν αυτή η αναδρομικότητα ληφθεί υπόψη από την αρχή της ανάπτυξης του 5G, τα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης θα προκύψουν με ελάχιστο κόστος.

Στο πλαίσιο της εικονικής υποδομής, μια τέτοια αρχιτεκτονική επιτρέπει την παρουσίαση μίας φέτας που λειτουργεί πάνω από τους πόρους της υποδομής. Ο ιδιοκτήτης μιας φέτας μπορεί να εκμεταλλεύεται την εικονική του υποδομή καθώς λειτουργεί στη φυσική υποδομή, κατανέμοντας και μεταπωλώντας ένα μέρος των πόρων σε άλλους μισθωτές. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ενοικιαστής μπορεί να αποκτήσει και να αναπτύξει το δικό του σύστημα MANO. Για την υποστήριξη της αναδρομής απαιτείται ένα σύνολο ομοιογενών API για την παροχή μιας στρώσης αφαίρεσης για τη διαχείριση κάθε τεμαχίου και τον έλεγχο των υποκείμενων

εικονικών πόρων που είναι διαφανής στο επίπεδο της ιεραρχίας όπου λειτουργεί ο μισθωτής. Διάφοροι ενοικιαστές ζητούν την παροχή φετών μέσω αυτών των API. Μέσω ενός προτύπου, σχεδίου ή SLA, κάθε ενοικιαστής καθορίζει όχι μόνο τα χαρακτηριστικά φέτας (topology QoS, κλπ.), αλλά και ορισμένα εκτεταμένα χαρακτηριστικά όπως το επιθυμητό επίπεδο ελαστικότητας, διαχείρισης και ελέγχου. Ο πάροχος πρέπει να φροντίσει για την ικανοποίηση των απαιτήσεων και τη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων.



Σχήμα 8: Γενική Αρχιτεκτονική

3.2 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ 5G

Στο πλαίσιο του προσδιορισμού των απαιτήσεων για την υποδομή δικτύου 5G περιγράφηκε και αναλύθηκε μεγάλος αριθμός περιπτώσεων χρήσης στο πλαίσιο των οργανισμών τυποποίησης, όπως το 3GPP και το ITU-T, τα φόρουμ του κλάδου όπως το NGMN και, τέλος, τα έργα της φάσης 1 της 5GPPP. Τα έργα αυτά περιγράφουν τη χρήση υποθέσεων που καθοδηγούν την έρευνα και την καινοτομία στα εν λόγω προγράμματα για την επίδειξη των επιστημονικών και τεχνολογικών επιτευγμάτων τους. Μέσω της αλληλεπίδρασης με την κοινότητα των κατακόρυφων βιομηχανιών έχουν καθοριστεί ορισμένες πρόσθετες περιπτώσεις χρήσης. Πολλές διαθέσιμες περιπτώσεις χρήσης είναι παραλλαγές ενός μικρού συνόλου βασικών κατηγοριών υπηρεσιών 5G, οι οποίες έχουν ενοποιηθεί και συμφωνηθεί στο πλαίσιο των 5GPPP και των διαφορετικών SDO ως εξής:

- Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB) - που ονομάζεται επίσης Extreme Mobile Broadband
- Επικοινωνίες Ultra-Reliable και Low Latency (URLLC), και
- Επικοινωνίες μεγάλου τύπου μηχανής (mMTC)

Είναι πιθανό να προκύψουν και άλλες περιπτώσεις χρήσης που δεν προβλέπονται σήμερα. Για τα μελλοντικά συστήματα 5G απαιτείται ευελιξία για να προσαρμοστεί σε νέες περιπτώσεις χρήσης με ένα ευρύ φάσμα απαιτήσεων. Επί του παρόντος, πέντε κάθετες βιομηχανίες έχουν

περιγράφει τις απαιτήσεις τους σε αντίστοιχες λευκές εργασίες. Οι απαιτήσεις εκφράστηκαν με τη μορφή κατακόρυφων περιπτώσεων χρήσης βιομηχανίας, οι οποίες αναλύθηκαν περαιτέρω και ενδυνάμωσαν έτσι τις κάθετες βιομηχανίες του 5G και την ομάδα εργασιών κοινωνικών προκλήσεων. Σε αυτό το υποκεφάλαιο περιγράφονται οι κατακόρυφες περιπτώσεις χρήσης και χαρτογραφούνται οι τεχνικές δυνατότητες του 5G, οι οποίες αντιστοιχούν στους κύριους δείκτες επιδόσεων του προγράμματος 5GPPP που προσδιορίζονται στη συμβατική ρύθμιση του 5GPPP και επεκτείνονται στο έγγραφο 5G Vision [21].

3.3 5G-PPP PHASE 2 PROJECTS

3.3.1 5G-CAR

Για την ενίσχυση των μελλοντικών συνδεδεμένων οχημάτων, το έργο 5GCAR [22] ξεκίνησε με τον εντοπισμό κρίσιμων περιπτώσεων χρήσης και τις σχετικές απαιτήσεις τους το καλοκαίρι του 2017. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν αξιολογήσεις και επιδείξεις σε τεχνολογίες λύσεις 5G V2X για την εύρεση και προώθηση κατάλληλων επιδόσεων από άκρο σε άκρο σε ολόκληρο το σύστημα. Οι ενδιάμεσες αναφορές σε τομείς που κυμαίνονται από τις πτυχές των επιχειρήσεων και του φάσματος, τα συστατικά στοιχεία της κυψελίδας κατώτερου στρώματος και των τεχνολογιών πλευρικής τοποθέτησης, καθώς και τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής με τις κατευθυντήριες οδηγίες επίδειξης προβάλλονται κατά την άνοιξη του 2018. Το 5GCAR έχει καθορίσει ένα συστατικό σύνολο υποθέσεων χρήσης 5G V2X, με βάση άλλα έργα της ΕΕ, καθώς και άλλους οργανισμούς και φόρουμ όπως το ETSI-ITS και το 5GAA. Από κάθε αναγνωρισμένη τάξη επιλέχθηκε μια αντιπροσωπευτική περίπτωση χρήσης. Οι επιλεγμένες περιπτώσεις χρήσης είναι οι εξής: συνδυασμός λωρίδων, διασύνδεση, ασφάλεια πεζών, απόκτηση τοπικού χάρτη υψηλής ευκρίνειας και απομακρυσμένη οδήγηση για αυτοματοποιημένο χώρο στάθμευσης. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης προορίζονται να καλύψουν το σχετικό χώρο 5G V2X αντιπροσωπεύουν ένα πολύ ευρύτερο σύνολο περιπτώσεων χρήσης. Λεπτομερείς περιγραφές παρέχονται στο D2.1 [23], το οποίο χρησίμευσε ως εισροή στην τρέχουσα εργασία.

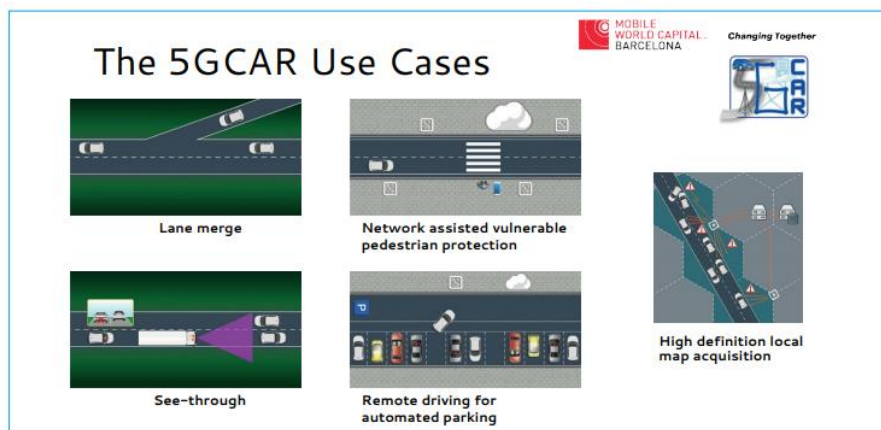
Οι κύριοι στόχοι του προγράμματος 5GCAR είναι:

- Ανάπτυξη μιας συνολικής αρχιτεκτονικής συστήματος 5G που παρέχει βελτιστοποιημένη συνδεσιμότητα δικτύου V2X από άκρο σε άκρο για εξαιρετικά αξιόπιστες υπηρεσίες V2X με χαμηλή καθυστέρηση, που θα υποστηρίζει την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής, να διαχειρίζεται επίσης την ποιότητα εξυπηρέτησης και να παρέχει διαχείριση κυκλοφοριακής ροής σε ένα σύστημα πολλαπλών RAT.
- Διασύνδεση πολλαπλών RAT που θα επιτρέπει την ενσωμάτωση υφιστάμενων λύσεων επικοινωνίας και καινοτόμων λύσεων 5G V2X.
- Ανάπτυξη μιας αποδοτικής, ασφαλούς και κλιμακούμενης διεπαφής για επικοινωνίες V2X χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας.
- Να προτείνει τεχνικές τοποθέτησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων 5G τόσο για τους ευάλωτους χρήστες όσο και για τα οχήματα ώστε να αυξηθεί η διαθεσιμότητα σε πολύ ακριβούς εντοπισμούς.

- Να προσδιορίσει επιχειρηματικά μοντέλα και εναλλακτικές λύσεις χρήσης φάσματος που θα υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών 5G V2X.
- Επίδειξη και επικύρωση των αναπτυγμένων εννοιών και αξιολόγηση των ποσοτικών οφελών των λύσεων 5G V2X με χρήση αυτοματοποιημένων σεναρίων οδήγησης σε χώρους δοκιμών.

Εκτός από τη θεωρητική δουλειά, παρέχεται επίσης εμπειρία από τρεις υποθέσεις χρήσης ζωντανής επίδειξης του 5GCAR που θα παρουσιαστούν προς το τέλος του έργου: Αυτές είναι, συντονισμός συγχώνευσης λωρίδων, συνεργατική αντίληψη για ελιγμούς συνδεδεμένων οχημάτων και προστασία των πεζών. Επίσης, αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα 9. Παρόλο που οι τελικές επιδείξεις θα περιέχουν πραγματικά αυτοκίνητα, έχει ήδη παρουσιαστεί μια μικρότερη περίπτωση "παιχνιδιού" της περίπτωσης χρήσης του συντονισμού συγχώνευσης λωρίδων στο Mobile World Congress 2018.

Παράλληλα, το 5GCAR συνεισφέρει επίσης σε αρκετές ομάδες εργασίας της 5GPPP. Για παράδειγμα, το 5GCAR παρείχε σημαντική εργασία και περιεχόμενο στην πρώτη λευκή βίβλο 5G Automotive WG: "Μια μελέτη για την ανάπτυξη 5G V2X", η οποία έγινε δημόσια νωρίτερα αυτό το έτος.



Σχήμα 9: Περιπτώσεις χρήσης του 5GCAR

3.3.2 5G-ESSENCE

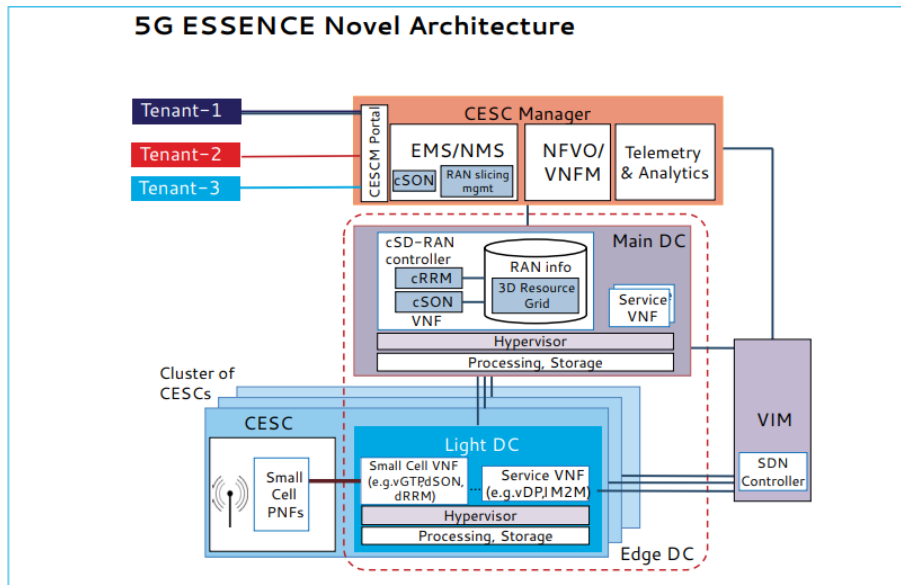
Το 5G ESSENCE [22] "αντιμετωπίζει" τα παραδείγματα του Edge Cloud Computing και του Small Cell-as-a-Service (SCaaS), τροφοδοτώντας τους οδηγούς και απομακρύνοντας τα εμπόδια στην αγορά μικρών κυψελών με εντυπωσιακό ρυθμό μέχρι το 2020 και μετά, καθώς διαδραματίζει έναν βασικό ρόλο στο παγκόσμιο οικοσύστημα 5G. Το πλαίσιο 5G ESSENCE παρέχει μια εξαιρετικά ευέλικτη και κλιμακούμενη πλατφόρμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 10, ικανή να υποστηρίξει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ροές εσόδων, δημιουργώντας μια αγορά "ουδέτερου κεντρικού υπολογιστή" και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος παρέχοντας νέες ευκαιρίες ιδιοκτησίας, ανάπτυξης, λειτουργίας και απόσβεσης.

Η τεχνική προσέγγιση εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα της συγκέντρωσης των λειτουργιών Μικρών Κυψελών καθώς η κλίμακα αναπτύσσεται μέσω ενός περιβάλλοντος Cloud Edge βασισμένου σε μια αρχιτεκτονική δύο επιπέδων: μια πρώτη κατανομημένη βαθμίδα για την παροχή υπηρεσιών χαμηλής λανθάνουσας ισχύος και μια δεύτερη κεντρική βαθμίδα για την

παροχή υψηλής επεξεργαστικής ισχύος για εφαρμογές δικτύου. Αυτό επιτρέπει την αποσύνδεση των επιπέδων ελέγχου και χρήστη και την επίτευξη των πλεονεκτημάτων του Cloud-RAN χωρίς τους τεράστιους περιορισμούς καθυστέρησης. Η χρήση μηχανισμών τεμαχισμού δικτύου από άκρο σε άκρο (E2E) θα επιτρέψει την κοινή χρήση της υποδομής 5G ESSENCE μεταξύ πολλών φορέων/κάθετων βιομηχανιών και την προσαρμογή των δυνατοτήτων του. Η ευελιξία της αρχιτεκτονικής ενισχύεται από τις τεχνικές εικονικοποίησης υψηλής απόδοσης για την απομόνωση δεδομένων, τη μείωση της καθυστέρησης και την αποτελεσματική χρήση των πόρων, καθώς και με την εννοχήστρωση ελαφρών εικονικών πόρων που καθιστούν δυνατή την τοποθέτηση και τη μετανάστευση σε πραγματικές λειτουργίες Virtualized Network Function (VNF).

Το έργο 5G ESSENCE αποτελεί μία καινοτόμο προσπάθεια για την επίτευξη των ακόλουθων στόχων:

- Να καθορίσει τις κρίσιμες αρχιτεκτονικές βελτιώσεις της 5G-PPP Phase-1 που χρειάζονται για να ενεργοποιηθεί πλήρως η δικτύωση μικρών κυψελών με το Cloud.
- Να καθορίσει την αρχιτεκτονική του συστήματος βασικής γραμμής και τις διασυνδέσεις για την παροχή ενός μικρού κυκλώματος πολυλειτουργικού δικτύου ενσωματωμένο στο νέφος και ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή διαχείρισης ραδιοφάσματος (RRM), προσαρμόσιμο σε κάθετη βάση.
- Να αναπτύξει τον κεντρικό ελεγκτή SD-RAN ο οποίος θα προγραμματίζει τη χρήση των ραδιοφωνικών πόρων με έναν ενιαίο τρόπο για όλα τα CESC.
- Αξιοποίηση υψηλής απόδοσης και αποτελεσματικών τεχνικών εικονικοποίησης για καλύτερη χρήση πόρων, υψηλότερη απόδοση και μικρότερη καθυστέρηση στον χρόνο δημιουργίας υπηρεσιών δικτύου (NS).
- Ανάπτυξη των βελτιώσεων εννοχήστρωτη για τη διαχείριση διανεμημένων υπηρεσιών.
- Επίδειξη και αξιολόγηση του δικτύου μικρών κυψελίδων πολλαπλών μισθωμένων δικτύων με ενσωματωμένο το νέφος μέσω τριών κατακόρυφων βιομηχανιών πραγματικής ζωής.
- Διεξαγωγή ανάλυσης αγοράς και δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων. Απαιτεί επίσης μια λεπτομερή τεχνικοοικονομική ανάλυση και οδικός χάρτης για την εκμετάλλευση και την εμπορευματοποίηση από τους βιομηχανικούς εταίρους.
- Εξασφάλιση της μεγιστοποίησης της επίδρασης του 5G ESSENCE στην υλοποίηση του οράματος 5G με την καθιέρωση στενών δεσμών και συνεργειών με τα έργα Φάσης-1 & 2 5G-PP. Να συνεχιστούν οι εκτεταμένες δραστηριότητες διάδοσης και επικοινωνίας, καθώς και να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος των ενδιαφερόμενων και της ευρύτερης κοινότητας.



Σχήμα 10: Αρχιτεκτονική του 5G ESSENCE

3.3.3 5G-TRANSFORMER

Το 5G-TRANSFORMER [22] δίνει τη δυνατότητα στην 5GPP να επεκταθεί στο πεδίο υπηρεσιών και να μετατρέψει τα σημερινά άκαμπτα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας σε ένα ευέλικτο και δυναμικό οικοσύστημα που υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα κατακόρυφων βιομηχανιών, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, ηλεκτρονική υγεία, τα μέσα ενημέρωσης και η βιομηχανία 4.0.

Παραδοσιακά, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αποτελούνταν από τρία τμήματα: το δίκτυο πρόσβασης (RAN), το δίκτυο κορμού και το δίκτυο μεταφορών που διασυνδέει το RAN με τον πυρήνα. Η ανάπτυξη αρχιτεκτονικών δικτύων 5G που ικανοποιούν τις ποικίλες και αυστηρές απαιτήσεις των κάθετων πεδίων όσον αφορά την ικανότητα, την καθυστέρηση και τη μαζική πυκνότητα σύνδεσης προκαλούν την παραδοσιακή διάσπαση τμημάτων κινητών δικτύων, απαιτώντας την προσθήκη υπολογιστικών δυνατοτήτων στην ακμή του κινητού δικτύου (RAN/Transport). Αυτές οι δυνατότητες προσφέρουν επίσης την ευκαιρία να αξιοποιήσουν ένα πλούσιο σύνολο πληροφοριών πλαισίου που είναι διαθέσιμες όχι μόνο για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης από άκρο σε άκρο αλλά και για την προσφορά νέων προσαρμοσμένων υπηρεσιών, ανοίγοντας την πόρτα για νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες.

Για να επιτραπεί ένας τέτοιος μετασχηματισμός, το 5G-TRANSFORMER προτείνει ένα δυναμικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 5G βασισμένο σε SDN / NFV, βασιζόμενο στον τεμαχισμό δικτύου, στον υπολογισμό άκρων πολλαπλών προσβάσεων (MEC) και έννοιες ομοσπονδίας ως βασικά στοιχεία για τη διαχείριση δικτύων και υπολογιστικών πόρων προσαρμοσμένων στις συγκεκριμένες υπηρεσίες.

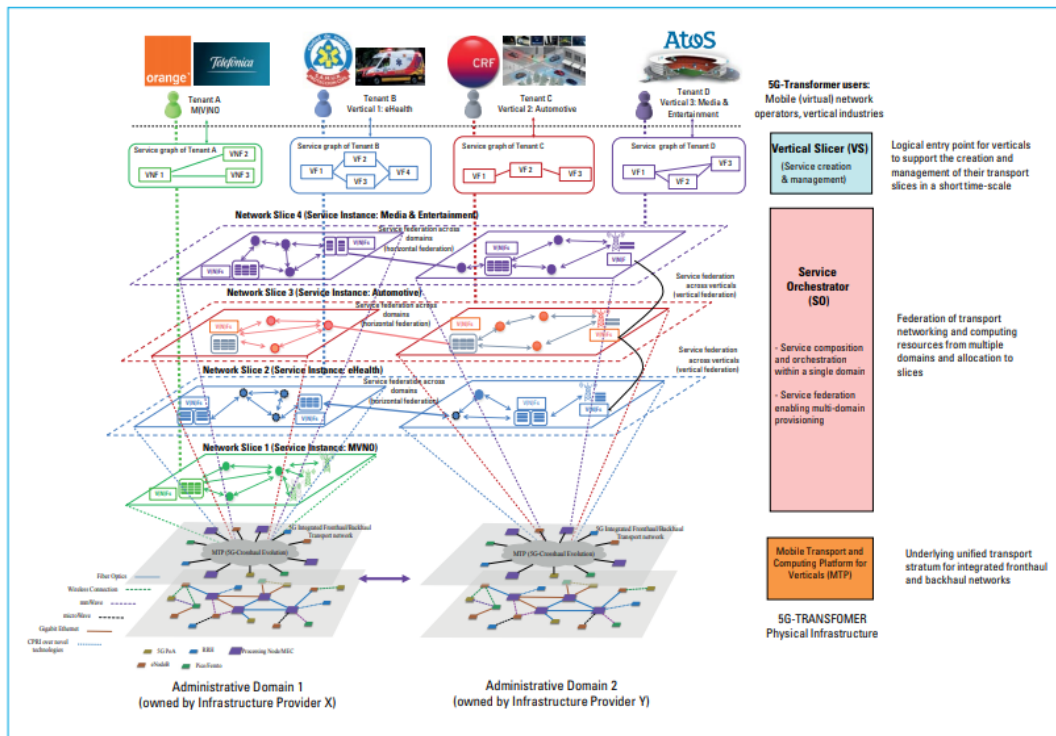
Η βασική αρχιτεκτονική ιδέα για την υποστήριξη αυτής της προσαρμογής στις ανάγκες των κατακόρυφων και των M(V)NOs είναι ο τεμαχισμός του δικτύου. Ο όρος φέτα δικτύου ευθυγραμμίζει τη λειτουργικότητα του δικτύου με τις επιχειρηματικές ανάγκες, δεδομένου ότι επιτρέπει στους πελάτες να ζητούν όχι μόνο λειτουργίες, αλλά και επιχειρησιακούς στόχους (π.χ. ποιότητα υπηρεσιών, ασφάλεια κ.λπ.). Το εύρος μιας φέτας μπορεί να είναι ένας μόνο

πελάτης που αντιμετωπίζει την υπηρεσία ή μια ομάδα τέτοιων υπηρεσιών. Το σύστημα θα επιτρέψει επίσης στους παρόχους υποδομής να μοιράζονται αποτελεσματικά την υποδομή κινητών μεταφορών και υπολογιστικής υποδομής 5G μεταξύ των περιπτώσεων χρήσης και των M(V)NOs, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα χρήσης του δικτύου 5G-TRANSFORMER. Όσον αφορά την ανάπτυξη, οι φέτες δικτύου μπορούν να υλοποιηθούν μέσω υπηρεσιών δικτύου NFV του ETSI.

Το 5G-TRANSFORMER ορίζει τρία κύρια αρχιτεκτονικά δομικά στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα 11 μαζί με τις κύριες έννοιες του έργου.

Αυτά τα δομικά στοιχεία είναι:

- Ο κατακόρυφος τεμαχιστής (5GT-VS) ο οποίος είναι το σημείο εισόδου για αίτημα μιας υπηρεσίας καθώς επίσης χειρίζεται τη σύνδεση αυτών των υπηρεσιών με τις φέτες δικτύου καθώς και τη διαχείριση των φετών δικτύου.
- Ο Συντονιστής Υπηρεσιών (5GT-SO) ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ενοποίηση των υπηρεσιών σε πολλαπλούς τομείς και για τη συγκέντρωση τοπικών πόρων και υπηρεσιών καθώς και την εκδήλωσή τους στο 5GT-VS με ένα ενοποιημένο τρόπο.
- Η πλατφόρμα κινητών μεταφορών και υπολογιστών (5GT-MTP), η οποία ενεργεί ως διαχειριστής του υποκείμενου ολοκληρωμένου δικτύου μεταφορών. Στην πραγματικότητα, παρέχει και διαχειρίζεται τους εικονικούς και φυσικούς πόρους καθώς και τους πόρους δικτύου στους οποίους τελικά αναπτύσσονται τα συστατικά στοιχεία της υπηρεσίας.



Σχήμα 11: Το κόνσепт του 5G-TRANSFORMER

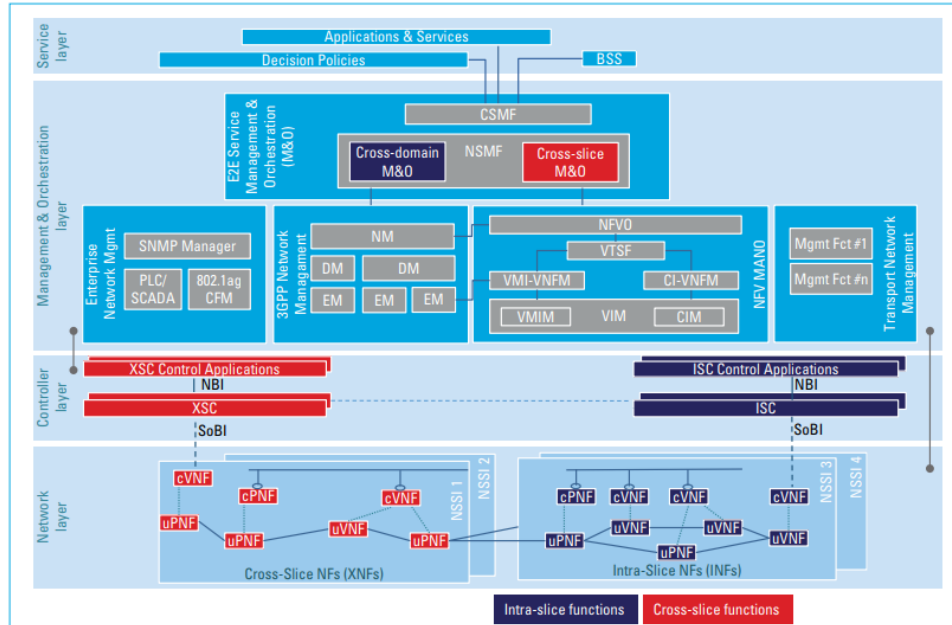
3.3.4 5G-MONARCH

Η προβλεπόμενη ποικιλία υπηρεσιών, οι περιπτώσεις χρήσης και οι εφαρμογές που υποστηρίζονται από το 5G απαιτούν μια ευέλικτη, προσαρμόσιμη και προγραμματιζόμενη αρχιτεκτονική κινητού δικτύου. Τα προγράμματα φάσης 1 της 5G-PPP αφορούσαν το σχέδιο βάσης μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής σε εννοιολογικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, η έννοια του "κόψιμου δικτύου", η οποία βασίζεται στις δυνατότητες του SDN, της εικονικοποίησης δικτύου (NFV), της ενορχήστρωσης του δικτύου πρόσβασης και των αναλυτικών στοιχείων, επιτρέπει τη λογική τοποθέτηση του δικτύου σε συγκεκριμένες υπηρεσίες, εφαρμογές ή και κάθετες βιομηχανίες. Κάθε ένας από τους τομείς αυτούς μπορεί να έχει διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τις απαιτήσεις ποιότητας και απόδοσης, αλλά πολλές φέτες έχουν την ίδια φυσική και εικονική υποδομή.

Ο στόχος του 5G-MoNArch [22] ως έργου φάσης 2 είναι να φέρει αυτό το σχέδιο αρχιτεκτονικής στην πράξη. Όπου οι βασικές έννοιες περιλαμβάνουν ήδη τις δομικές μονάδες και τις μεθόδους προσδιορισμού και εμφάνισης φετών, το 5G-MoNArch ολοκληρώνει και τις ενισχύει με μεθόδους και αλγόριθμους για ενορχήστρωση και βελτιστοποίηση μεταξύ των φετών του δικτύου και μεταξύ των εικονικοποιημένων λειτουργιών καθώς και με λειτουργίες για επιλεγμένες περιπτώσεις χρήσης. Κεντρικό στοιχείο του έργου είναι η πειραματική υλοποίηση λειτουργιών σε δοκιμαστικές λίστες πραγματικού κόσμου, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα πειραματικής απόδειξης. Στο σχήμα 12 φαίνεται επίσης η συνολική αρχιτεκτονική του έργου.

Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι του 5G-Monarch είναι:

- Η ολοκλήρωση των αρχών της αρχιτεκτονικής του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G προς μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική, λαμβάνοντας υπόψη την πρόοδο της τυποποίησης.
- Η επέκταση του σχεδιασμού αρχιτεκτονικής αρχικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας με ένα σύνολο καινοτομιών που επιτρέπουν τον έλεγχο μεταξύ των τεμαχίων και τη διαχειριζόμενη διατομεακή διαχείριση.
- Η αξιολόγηση με βάση την προσομοίωση των αναπτυγμένων αρχιτεκτονικών ιδεών και των τεχνικών καινοτομιών καθώς και η επικύρωση των επιδόσεών τους.
- Η ανάπτυξη και υλοποίηση της αναπτυγμένης αρχιτεκτονικής και επιλεγμένων δυνατοτήτων και λειτουργικών καινοτομιών σε δύο δοκιμαστικές περιπτώσεις πραγματικού κόσμου, συγκεκριμένα το «Έξυπνο Λιμάνι» στο Αμβούργο, που αντιπροσωπεύει ένα βιομηχανικό περιβάλλον, καθώς επίσης και το «Τουριστική Πόλη» Τορίνο υλοποιώντας μια υπόθεση μέσω και ψυχαγωγίας.



Σχήμα 12: Συνολική λειτουργική αρχιτεκτονική έννοια του 5G-MONARCH

3.3.5 5G-PICTURE

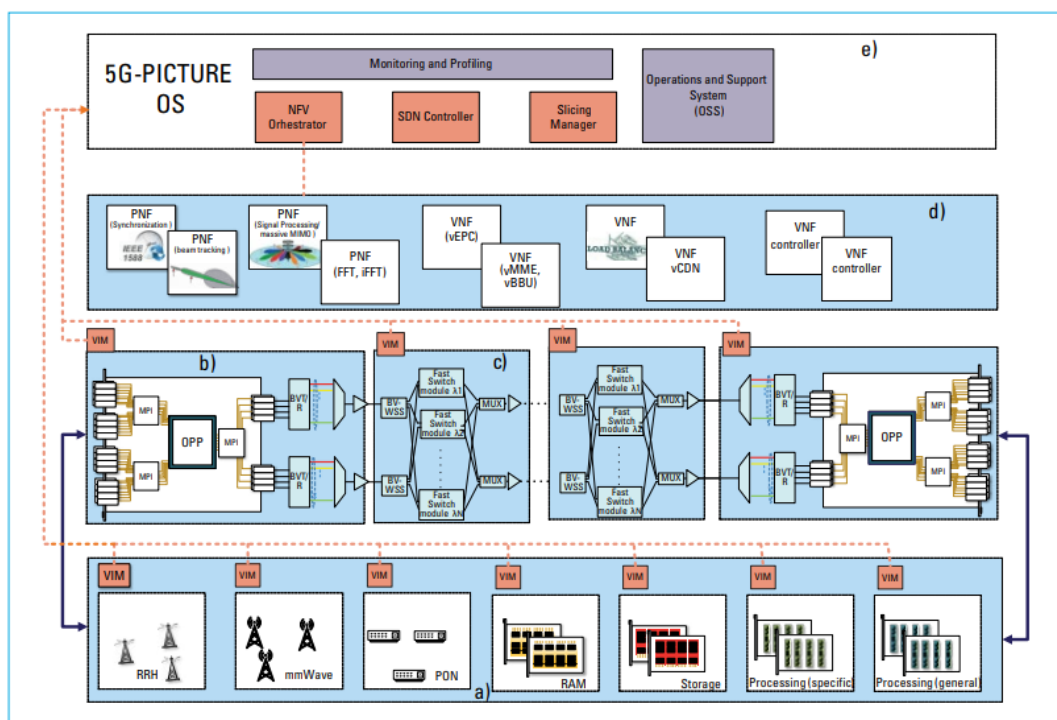
Το 5G-PICTURE [22] θα σχεδιάσει και θα αναπτύξει μια ολοκληρωμένη, κλιμακωτή και ανοιχτή υποδομή 5G για την υποστήριξη λειτουργικών και τελικών χρηστών τόσο για τις τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών όσο και για τις "κάθετες" βιομηχανίες. Αυτή η υποδομή θα βασίζεται σε μια συγκλιόμενη λύση fronthaul και backhaul, ενσωματώνοντας προηγμένη ασύρματη πρόσβαση και νέους τομείς οπτικών δικτύων.

Για την αντιμετώπιση των περιορισμών της τρέχουσας λύσης, το 5G-PICTURE θα εισάγει την νέα έννοια του "Disaggregated-Radio Access Networks" (DARANs), επιτρέποντας υπηρεσίες υπολογιστικής, αποθήκευσης και διαχείρισης των πόρων δικτύου. Θα στηριχθεί επίσης στο λογισμικό δικτύωσης για να επιτρέψει σε μια ανοιχτή πλατφόρμα αναφοράς να δημιουργήσει μια ποικιλία λειτουργιών δικτύου και να υιοθετήσει την αλυσίδα κοπής και υπηρεσίας για να διευκολύνει τη βελτιστοποιημένη λειτουργία πολλαπλών μισθώσεων.

Η λύση του 5G-PICTURE θα επιτρέψει στους τελικούς χρήστες και τρίτους να έχουν πρόσβαση σε πραγματικό ή εικονικό εξοπλισμό, υπηρεσίες, συστήματα και εργαλεία κατά παραγγελία, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση. Αυτό θα επιτρέψει τη μετατροπή των ΤΠΕ και κάθετων υποδομών από κλειστά άκαμπτα περιβάλλοντα σε ένα κοινό σύνολο αρθρωτών εξαρτημάτων HW και λογισμικού (SW) τα οποία μπορούν να συνδυαστούν και να συντονιστούν για να υποστηρίξουν μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών.

Το 5G-PICTURE θα ενσωματώσει πόρους δικτύου και υπολογιστών/αποθήκευσης σε μια κοινή υποδομή. Αυτό συνεπάγεται στην ανάπτυξη μιας ιεραρχικής δομής υπολογισμών και αποθήκευσης που υποστηρίζεται από μια ιεραρχία δικτύου. Για το σκοπό αυτό θα αξιοποιηθεί η ενσωμάτωση προγραμματιζόμενων ασύρματων τεχνολογιών στην άκρη και ένα υβριδικό παθητικό/ενεργό οπτικό δίκτυο μεταφοράς.

Το 5G-PICTURE θα αντιμετωπίσει τους περιορισμούς των υφιστάμενων κατακευμασμένων προσεγγίσεων RAN και Cloud-RAN, με την ανάπτυξη ευέλικτων λειτουργικών χωρισμάτων, τα οποία μπορούν να επιλεγούν δυναμικά με βάση το δίκτυο μεταφοράς και τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της έννοιας του DA-RAN που θα στηρίζεται σε μια αναλυτική ομάδα πόρων (δίκτυο/αποθήκευση/υπολογισμός). Για να ενεργοποιηθεί αυτή η προσέγγιση, το 5G-PICTURE προτείνει μια σειρά καινοτόμων τεχνολογικών λύσεων, καθώς και πλατφόρμες ελέγχου και διαχείρισης που προσφέρουν βελτιωμένο δίκτυο και υπολογισμό HW, καθώς και ευελιξία των SW. Ένα άλλο βασικό στοιχείο της προτεινόμενης προσέγγισης είναι η δημιουργία και η ανάπτυξη προγραμματιζόμενων λειτουργιών δικτύου καθώς και ευφών συστημάτων εντοχιστρώσεων. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του 5G-PICTURE απεικονίζεται στο σχήμα 13.



Σχήμα 13: Προτεινόμενη αρχιτεκτονική ελέγχου και διαχείρισης του 5G-PICTURE

3.3.6 5GTANGO

Το 5GTANGO [22] είναι ένα πρόγραμμα φάσης 2 της 5GPPP που επιτρέπει τον ευέλικτο προγραμματισμό δικτύων 5G προσφέροντας: α) ένα κιτ ανάπτυξης υπηρεσιών (SDK) με δυνατότητες NFV; β) πλατφόρμα αποθήκευσης με προηγμένους μηχανισμούς επικύρωσης και επαλήθευσης για τα VNF / NS, (συμπεριλαμβανομένων των συνεισφορών τρίτων) · και γ) μια αρθρωτή πλατφόρμα υπηρεσιών με έναν καινοτόμο εντοχιστρωτή, προκειμένου να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ των επιχειρησιακών αναγκών και των λειτουργικών συστημάτων διαχείρισης δικτύων.

Το 5GTANGO έχει τέσσερις κύριους στόχους:

- Μείωση της χρονικής διάρκειας προς την αγορά για δικτυακές υπηρεσίες με τη συντόμευση του κύκλου ανάπτυξης υπηρεσιών και την εξειδίκευση των υπηρεσιών δικτύου που πρόκειται να υιοθετηθούν.
- Μείωση του εμποδίου εισόδου σε τρίτους προγραμματιστές, υποστήριξη δημιουργίας και σύνθεσης λειτουργιών εικονικού δικτύου (VNF) και των στοιχείων εφαρμογής ως "Υπηρεσίες δικτύου".
- Ενεργοποίηση νέων επιχειρηματικών ευκαιριών με την προσαρμογή του δικτύου στις απαιτήσεις των εφαρμογών. Επιταχύνει επίσης την πρόσληψη NFV στη βιομηχανία μέσω ενός εκτεταμένου μοντέλου DevOps και την επικύρωση σε κλίμακα των δυνατοτήτων υπηρεσιών δικτύου της πλατφόρμας 5GTANGO σε κατακόρυφες περιπτώσεις χρήσης.

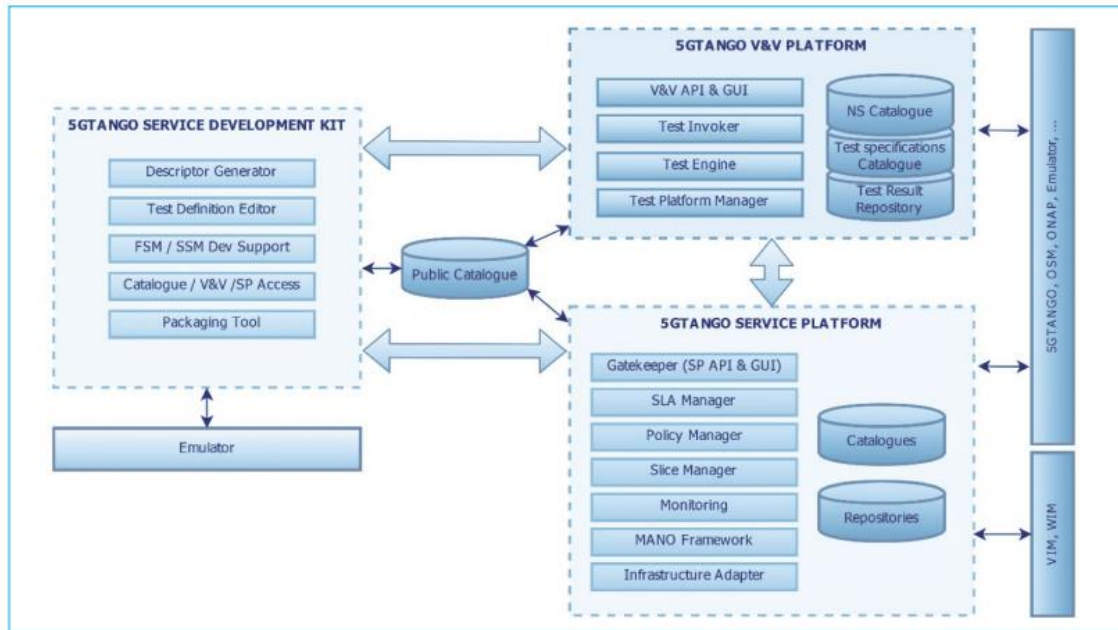
Τα αποτελέσματα ανοιχτού κώδικα της 5GTANGO θα έχουν ποικίλες επιπτώσεις σε έναν αναπτυσσόμενο κλάδο τηλεπικοινωνιών, όπως:

- Πλατφόρμα υπηρεσιών με Orchestrator: φορείς εκμετάλλευσης δικτύων.
- SDK του 5GTANGO: παρόχοι υπηρεσιών, πωλητές εξοπλισμού, προγραμματιστές.
- Κατάστημα V&V: φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, παρόχοι υπηρεσιών, προμηθευτές εξοπλισμού, προγραμματιστές.
- DevOps Tools / Methodology: τομείς τηλεπικοινωνιών.

Αυτό το πρωτοποριακό έργο έχει ένα 30μηνο πρόγραμμα εργασίας, που ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2017. Το 5GTANGO είναι μια πολύ συνεργατική προσπάθεια, με 17 εταίρους που εκπροσωπούν τηλεπικοινωνιακούς φορείς, κατασκευαστές, ολοκληρωτές συστημάτων, παρόχους υπηρεσιών, προγραμματιστές, ερευνητικά και ακαδημαϊκά ιδρύματα.

Το 5GTANGO κυκλοφόρησε την πρώτη έκδοση της αρχιτεκτονικής του συστήματος, η οποία βασίζεται στις 71 προδιαγραφές που προσδιορίστηκαν και χρησιμεύει ως ένα πλαίσιο αναφοράς για την καθοδήγηση των εξελίξεων του έργου 5GTANGO.

Αυτή η πρώτη έκδοση της αρχιτεκτονικής του συστήματος ξεκινάει με την παρουσίαση μιας δομής υψηλού επιπέδου του συστήματος 5GTANGO που θα δημιουργηθεί στο πλαίσιο του έργου. Η δομή του συστήματος περιγράφεται από την άποψη των αλληλεπιδραστικών αντικειμένων λογισμικού. Η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου παρουσιάζεται στο σχήμα 14. Είναι χωρισμένο στα τρία μεγάλα υποσυστήματα, το SDK, το V&V, και την πλατφόρμα υπηρεσιών. Αυτά τα υποσυστήματα κατανέμονται περαιτέρω σε μεμονωμένα στοιχεία που πραγματοποιούν την δική τους λειτουργία. Τα υποσυστήματα διαμορφώνονται σύμφωνα με τρεις φάσεις. Αυτές οι φάσεις αντιπροσωπεύουν στάδια στον κύκλο ζωής μιας υπηρεσίας: ανάπτυξη, επαλήθευση και επικύρωση αλλά και λειτουργία. Αν και αυτές οι φάσεις μπορεί να επικαλύπτονται, συμβαίνουν συνήθως σε διαφορετικό χρονικό διάστημα και εκτελούνται από διάφορους φορείς.



Σχήμα 14: Αρχιτεκτονική του 5GTANGO

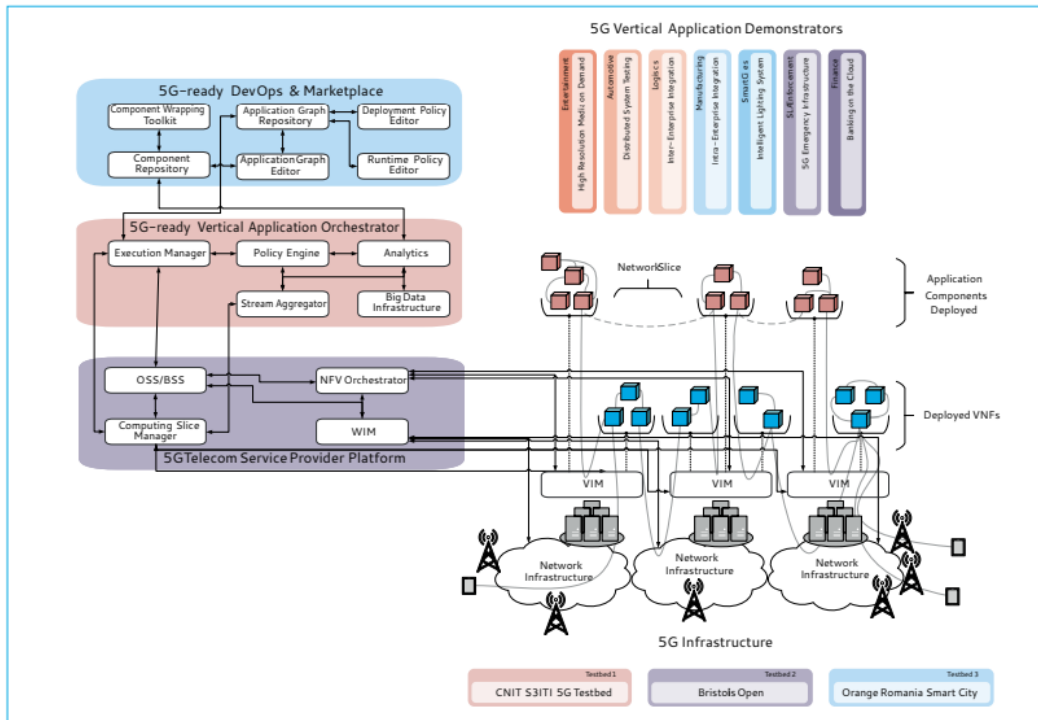
3.3.7 MATILDA

Το MATILDA [22] στοχεύει στην ανάπτυξη και υλοποίηση μιας ριζικής μετατόπισης σε κάθετες εφαρμογές που είναι έτοιμες για 5G, παρέχοντας τα εργαλεία για την προώθηση και επιτάχυνση της επέκτασης/εξέλιξης του Cloud στο οικοσύστημα 5G, γεφυρώνοντας εγγενώς τις εφαρμογές και τους τομείς υπηρεσιών δικτύου.

Λεπτομερέστερα, σε ένα όραμα που προβλέπει ισχυρότερη ενσωμάτωση των περιβαλλόντων Cloud Computing και Mobile Edge Computing (MEC), το MATILDA θα αναγνωρίσει και θα συμμορφωθεί με τις συνεχιζόμενες εξελίξεις και θα προσφέρει σαφείς διεπαφές για τη διαχείριση πολλών σημείων του Cloud και του Edge και στο Internet of Things (IoT), που θα υποστηρίζονται από έναν διαχειριστή υποδομής με εικονικό περιβάλλον πολλαπλών τοποθεσιών. Βάσει αυτού του παραδείγματος, θα υποστηρίξει τη δημιουργία και τη συντήρηση εφαρμογών έτοιμων για 5G μέσω της επιλογής των εξαρτημάτων τους, και της δημιουργίας δικών τους προωθητικών γραφημάτων μαζί με τη διαχείριση του κύκλου ζωής των απαιτούμενων φετών δικτύου με σωστή αλληλεπίδραση. Θα υποστηρίζονται επίσης μηχανισμοί ανάλυσης και προσανατολισμένοι στο δίκτυο και στην εφαρμογή, βασισμένοι τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και εκ των υστέρων στην επεξεργασία των συλλεγόμενων δεδομένων από ένα σύνολο ροών παρακολούθησης.

Για την επίτευξη αυτών των στόχων, θα εφαρμοστούν έξυπνοι, ενοποιημένοι και ιεραρχικοί μηχανισμοί ενορχήστρωσης για την αυτοματοποιημένη τοποθέτηση των εφαρμογών έτοιμων για 5G και τη δημιουργία και συντήρηση των τυποποιημένων παραλλαγών δικτύου. Η ιδέα της πρόθεσης φέτας θα επιτρέψει στον ενορχηστρωτή του επιπέδου εφαρμογής να ζητήσει, να διαπραγματευτεί, να αναπτύξει, να διατηρήσει και να διακόψει την κατάλληλη εφαρμογή που βασίζεται και προσαρμόζεται στις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής, παρέχοντας επίσης ένα σύνολο μηχανισμών για προσαρμογή κατά την εκτέλεση της εφαρμογής, βάσει πολιτικών που ορίζονται για λογαριασμό του παρόχου υπηρεσιών.

Ως δράση καινοτομίας, ένας άλλος σημαντικός στόχος του MATILDA είναι να αποδείξει την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων μηχανισμών και των αρχιτεκτονικών επιλογών του (απεικονίζεται στο σχήμα 15, μαζί με τη διαμόρφωση εγκατάστασης) σε ένα σύνολο δοκιμαστικών κλινών επίδειξης 5G, και σε περιπτώσεις βιομηχανικής χρήσης.



Σχήμα 15: Συνολική αρχιτεκτονική της πλατφόρμας MATILDA

4 ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα δίκτυα που ορίζονται από λογισμικό αντιπροσωπεύουν μια καινοτόμο προσέγγιση στον τομέα των δικτύων υπολογιστών, καθώς προτείνουν ένα νέο μοντέλο για τον έλεγχο της προώθησης και δρομολόγησης των πακέτων δεδομένων που περιηγούνται στον παγκόσμιο ιστό. Δεδομένου ότι η έρευνα για το θέμα αυτό βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, δεν υπάρχουν πολλές συσκευές, όπως δρομολογητές και διακόπτες που εφαρμόζουν λειτουργίες SDN. Επιπλέον, οι υπάρχοντες συσκευές είναι πολύ ακριβές. Έτσι, προκειμένου οι ερευνητές να μπορούν να κάνουν πειράματα και να δοκιμάσουν στην πράξη νέα χαρακτηριστικά αυτού του νέου παραδείγματος με χαμηλό οικονομικό κόστος, η λύση είναι να χρησιμοποιηθούν εξομοιωτές εικονικού δικτύου. Ως αποτέλεσμα, αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνεται στη μελέτη και αξιολόγηση ενός εργαλείου εξομοίωσης SDN που ονομάζεται Mininet. Οι αρχικές δοκιμές υποδηλώνουν ότι η ικανότητα ταχείας και απλοποιημένης παραγωγής πρωτοτύπων, η δυνατότητα ανταλλαγής αποτελεσμάτων και εργαλείων με μηδενικό κόστος είναι θετικοί παράγοντες που βοηθούν τους επιστήμονες να ενισχύσουν τις έρευνές τους παρά τους περιορισμούς του εργαλείου σε σχέση με την πιστότητα απόδοσης μεταξύ του προσομοιωμένου και του πραγματικού περιβάλλοντος. Μετά την παρουσίαση ορισμένων εννοιών και δυνατοτήτων του προσομοιωτή, πραγματοποιείται αξιολόγηση για να παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του.

4.1 ΤΟ MININET

Το πρότυπο SDN είναι ακόμα πρόσφατο, επομένως πολλές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη μελέτη του θέματος. Όταν οι ερευνητές θέλουν να δοκιμάσουν τις νέες δυνατότητες του SDN στους ελεγκτές, τους διακόπτες ή ακόμα και στο πρωτόκολλο OpenFlow, έχουν αρκετές δυσκολίες καθώς οι συσκευές που χρειάζονται και είναι οικονομικά προσιτές είναι ελάχιστες. Επιπλέον, σε πιο συγκεκριμένες περιπτώσεις, όταν είναι απαραίτητο να προσομοιωθούν μεγάλα δίκτυα με μεγάλο αριθμό κεντρικών υπολογιστών, διακόπτες και ελεγκτές SDN, η χρήση του διαδικτύου μπορεί να μην είναι μια καλή ιδέα, επειδή οι ακατάλληλες ρυθμίσεις μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητα προβλήματα. Μία από τις λύσεις για αυτό το πρόβλημα είναι η κατασκευή πρωτοτύπων και η προσομοίωση τους σε εικονική λειτουργία. Για να γίνει αυτό, έχουν δημιουργηθεί κάποια εργαλεία καθώς ένα από αυτά είναι το λογισμικό Mininet [24]. Το Mininet είναι ένα σύστημα που επιτρέπει τη γρήγορη δημιουργία μεγάλων εικονικών δικτύων σε έναν μόνο υπολογιστή. Δημιουργεί επίσης κλιμακούμενα δίκτυα που ορίζονται από λογισμικό, χρησιμοποιώντας ελαφρούς μηχανισμούς εικονικοποίησης, όπως οι διεργασίες και οι χώροι ονομάτων δικτύου. Μερικά χαρακτηριστικά που οδήγησαν στη δημιουργία του Mininet είναι:

- 1) **Ευελιξία**, δηλαδή, νέες τοπολογίες και νέα χαρακτηριστικά θα πρέπει να μπορούν να ρυθμιστούν στο λογισμικό χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού και κοινά λειτουργικά συστήματα,
- 2) **Εφαρμοσιμότητα**, σωστές υλοποιήσεις σε πρωτότυπα θα πρέπει να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικά δίκτυα που βασίζονται στο υλικό χωρίς αλλαγές στους πηγαίους κώδικες.
- 3) **Διαδραστικότητα**, η διαχείριση και η λειτουργία του προσομοιωμένου δικτύου θα πρέπει να γίνονται σε πραγματικό χρόνο σαν να συμβαίνει σε πραγματικά δίκτυα.

4) **Επεκτασιμότητα**, το πρωτότυπο περιβάλλον θα πρέπει να μπορεί να κλιμακωθεί σε μεγάλα δίκτυα με εκατοντάδες ή χιλιάδες διακόπτες μόνο σε έναν υπολογιστή.

5) **Ρεαλιστικότητα**, η πρωτότυπη συμπεριφορά θα πρέπει να αντιπροσωπεύει συμπεριφορά πραγματικού χρόνου με υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης, έτσι οι εφαρμογές και τα πρωτόκολλα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς οποιαδήποτε τροποποίηση κώδικα.

6) **Κοινή Χρήση**, τα δημιουργημένα πρωτότυπα θα πρέπει να μπορούν να μοιράζονται εύκολα με άλλους συνεργάτες, οι οποίοι στη συνέχεια να μπορούν να τα τρέξουν και να τα τροποποιήσουν.

4.1.1 SDN ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟ MININET

Το Mininet μπορεί να δημιουργήσει SDNs, να τα προσαρμόσει, να τα μοιραστεί με άλλα δίκτυα και να πραγματοποιήσει αλληλεπιδράσεις. Αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνουν τους κεντρικούς υπολογιστές, τους διακόπτες, τους ελεγκτές και τους συνδέσμους. Ένας κεντρικός υπολογιστής στο Mininet είναι μια απλή διαδικασία με το δικό του περιβάλλον δικτύου που εκτελείται στο λειτουργικό σύστημα. Ο κάθε κεντρικός υπολογιστής παρέχει διεργασίες με αποκλειστική ιδιοκτησία, εικονική διασύνδεση δικτύου, θύρες, διευθύνσεις και πίνακες δρομολόγησης (όπως ARP και IP). Οι διακόπτες OpenFlow που δημιουργούνται από το Mininet παρέχουν την ίδια σημασιολογική παράδοση πακέτων που παρέχεται από έναν πραγματικό διακόπτη υλικού. Στη προσομοίωση με το Mininet, οι ελεγκτές μπορούν να λειτουργούν στο πραγματικό ή προσομοιωμένο δίκτυο, εφόσον η μηχανή στην οποία εκτελούνται οι διακόπτες έχει συνδεσιμότητα με τον ελεγκτή. Εάν είναι επιθυμητό, το Mininet δημιουργεί έναν τυπικό ελεγκτή μέσα στο τοπικό περιβάλλον προσομοίωσης και οι εικονικές συνδέσεις μπορούν επίσης να δημιουργηθούν μεταξύ των στοιχείων μέσω των εικονικών διεπαφών τους. Για παράδειγμα, η γραμμή εντολών “*mn -topo single, 3 -mac -switch ovsk -controller remote*” δημιουργεί τρεις εικονικούς κεντρικούς υπολογιστές, δημιουργεί έναν ενιαίο διακόπτη λογισμικού OpenFlow στον πυρήνα με 3 θύρες, συνδέει τον εικονικό διακόπτη με εικονικούς συνδέσμους, ρυθμίζει MAC και IP διευθύνσεις για κάθε κεντρικό υπολογιστή και στη συνέχεια διαμορφώνει το διακόπτη για να συνδεθεί σε ένα τηλεχειριστήριο. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ελεγκτής λειτουργεί τοπικά στο ίδιο υλικό που λειτουργεί ο προσομοιωτής Mininet.

4.1.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Αφού δημιουργηθούν τα στοιχεία και οι συνδέσεις μεταξύ τους, είναι σημαντικό να είμαστε σε θέση να εκτελέσουμε εντολές στους κεντρικούς υπολογιστές για να ελέγξουμε τη λειτουργικότητα του δικτύου και του διακόπτη. Για το σκοπό αυτό, το Mininet περιλαμβάνει μια διεπαφή γραμμής εντολών για να επιτρέπει στους προγραμματιστές να ελέγχουν και να διαχειρίζονται ένα ολόκληρο δίκτυο. Οι πληκτρολογημένες εντολές ερμηνεύονται από τον εξομοιωτή και εκτελούνται στο προσομοιωμένο περιβάλλον δικτύου.

Για παράδειγμα:

mininet > nodes : Εμφανίζει τη λίστα των διαθέσιμων κόμβων

mininet> help : Εμφανίζει τη λίστα διαθέσιμων εντολών δικτύου

mininet> h2 ifconfig : Εμφανίζει τη διεύθυνση IP του κεντρικού υπολογιστή (h2 στην περίπτωση αυτή)

mininet> h2 ping h1 : Στέλνει ένα πακέτο (ICMP REQUEST) από το *host2* στο *host1*

Αρκετά παραδείγματα και εργαλεία, όπως γραφήματα με βάση το κείμενο και γραφικές εφαρμογές, βρίσκονται στην εικονική μηχανή που περιέχει το Mininet. Δύο πολύ χρήσιμα εργαλεία για την παρακολούθηση και τη μέτρηση της λειτουργικότητας των δικτύων Mininet είναι το “*dpctl*” και το “*wireshark*”. Το *dpctl* είναι ένα εργαλείο που μπορεί να προβάλει και να ελέγξει τον πίνακα ροής των διακοπών. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον εντοπισμό σφαλμάτων, αφού επιτρέπει την προβολή της κατάστασης ροής των πακέτων. Οι περισσότεροι διακόπτες που εφαρμόζουν το OpenFlow να “ακούει” εντολές στη θύρα 6634 (από προεπιλογή), καθιστούν δυνατή την αλληλεπίδραση με τον διακόπτη χωρίς να χρειάζεται να προστεθεί κώδικας εντοπισμού σφαλμάτων στον ελεγκτή. Για παράδειγμα, η γραμμή εντολών “*dpctl dump-flows tcp:127.0.0.1:6634*” συνδέεται με το διακόπτη και εμφανίζει την εγκατεστημένη στήλη ροής. Είναι επίσης δυνατή η μη αυτόματη εισαγωγή των κανόνων στους πίνακες ροής των διακοπών. Η γραμμή εντολών, “*dpctl add-flow tcp: 127.0.0.1: 6634 in_port = 1, actions = output: 2*” δημιουργεί έναν κανόνα στον οποίο όλα τα πακέτα που φθάνουν στη θύρα 1 του διακόπτη θα προωθούνται στη θύρα 2. Το *wireshark* είναι ένα εργαλείο που συλλαμβάνει και αναλύει όλα τα πακέτα δεδομένων που μεταδίδονται από διεπαφές δικτύου. Αποκλειστικά για το Mininet, το *wireshark* έχει μια βιβλιοθήκη που ονομάζεται OpenFlow (of) που φιλτράρει όλα τα πακέτα OpenFlow, ώστε να επιτρέπει στα πακέτα που συλλαμβάνονται από μια τοπική διεπαφή του τρέχοντος υλικού να απομονώνονται από άλλα πακέτα εφαρμογών.

4.1.3 SDN ΚΑΙ MININET

Η αρχή SDN είναι η δυνατότητα ελέγχου της διαδικασίας προώθησης πακέτων μέσω μιας μοναδικής διεπαφής. Ο ελεγκτής μπορεί να κεντράρει όλες τις επικοινωνίες με τα προγραμματιζόμενα στοιχεία δικτύου και να παρέχει μια ενιαία εικόνα της κατάστασής του απομονώνοντας τις λεπτομέρειες κάθε στοιχείου. Ένα από τα πλεονεκτήματα του SDN είναι ακριβώς αυτή η συγκεντρωτική όψη του δικτύου που καθιστά δυνατή την ανάπτυξη λεπτομερούς ανάλυσης και τον καθορισμό του τρόπου λειτουργίας του συστήματος. Ο εξομοιωτής Mininet υλοποιεί τη σύνδεση μεταξύ διακοπών και διαφορετικών ελεγκτών, όπως για παράδειγμα NOX και Floodlight. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει στους προγραμματιστές που ενδιαφέρονται να δημιουργήσουν και να δοκιμάσουν τους πόρους του ελεγκτή ώστε να μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Mininet για να πραγματοποιήσουν τις προσομοιώσεις τους.

4.1.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ SDN ΣΤΟ MININET ΜΕ ΕΛΕΓΧΤΗ FLOODLIGHT

Το Floodlight [25] είναι ένας ελεγκτής OpenFlow για επιχειρηματικά δίκτυα που βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Java και διανέμεται υπό την άδεια Apache. Το πρώτο έργο προήλθε από τον ελεγκτή Beacon [26] και τώρα υποστηρίζεται από μια κοινότητα προγραμματιστών καθώς επίσης και από την «Big Switch Networks», μια νέα εταιρεία που παράγει εμπορικούς ελεγκτές υλικού. Οι πυρήνες και οι κύριες ενότητες είναι γραμμένες σε Java. Πρόσφατα, η γλώσσα προγραμματισμού Python συμπεριλήφθηκε στο έργο η οποία επιτρέπει ανάπτυξη σε Python. Όλη η επικοινωνία μεταξύ των ενοτήτων γίνεται μέσω υπηρεσιών. Η διεπαφή “*ItopologyService*” επιτρέπει την αυτόματη ανεύρεση της τοπολογίας

του δικτύου. Επιπλέον, μπορεί να ενσωματώνει μη OpenFlow δίκτυα και είναι συμβατό με το εργαλείο προσομοίωσης Mininet.

4.1.5 ΑΛΛΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Το IMUNES [27] πρόσθεσε εικονικές διεπαφές Ethernet και ένα χαρακτηριστικό παρόμοιο με τους χώρους ονομάτων δικτύου στον πυρήνα BSD. Επιτρέπει την ταχεία σύνταξη πρωτοτύπων, αλλά από μόνο του δεν παρέχει τα μέσα για την ανάπτυξη υλικού ή κάποιο μέσο διανομής και κοινής χρήσης. Το EMULAB [28] έλαβε μια άλλη τεχνολογία εικονικοποίησης εικονικού συστήματος σε επίπεδο OS, FreeBSD, και την τροποποίησε για να επιτρέψει πολλαπλές εικονικές διεπαφές ανά ομάδα διεργασιών, παρόμοια με τους χώρους ονομάτων δικτύου. Οι εικονικοί κόμβοι του EMULAB παρουσιάζουν διαφορετικό σχεδιασμό, εξομοιώνοντας 10 ή περισσότερους κόμβους σε ένα μόνο υπολογιστή. Παρά την εφαρμογή ελαφρών τεχνικών εικονικοποίησης, αυτά τα εργαλεία δεν υποστηρίζουν το πρωτόκολλο OpenFlow. Σήμερα, πολύ λίγοι προσομοιωτές δικτύου υποστηρίζουν το πρωτόκολλο OpenFlow. Το ένα είναι το ns-3 [29]. Το εργαλείο ns-3 προσομοιώνει τις λειτουργίες ενός OpenFlow διακόπτη με τη σύνταξη και τη σύνδεση μιας λειτουργικής μονάδας C++. Για να προσομοιωθεί ένας πραγματικός ελεγκτής OpenFlow, το ns-3 το υλοποιεί ως μονάδα C++ και το συνδέει με τον κώδικα προσομοίωσης. Υπάρχει ένα έργο του ns-3 για την υποστήριξη του πρωτοκόλλου OpenFlow, αλλά υποστηρίζεται μόνο η έκδοση 0.89 του πρωτοκόλλου OpenFlow, η οποία είναι πολύ παλιά καθώς η τελευταία έκδοση είναι ήδη 1.3.2. Ένας άλλος προσομοιωτής δικτύου και προσομοίωση του δικτύου OpenFlow είναι το EstiNet [30]. Το EstiNet χρησιμοποιεί μια μοναδική προσέγγιση για τον έλεγχο των λειτουργιών και των επιδόσεων των ελεγκτών OpenFlow. Χρησιμοποιώντας μια καινοτόμο μεθοδολογία προσομοίωσης, που ονομάζεται επανάληψη του πυρήνα [31], το EstiNet συνδυάζει τα πλεονεκτήματα τόσο της προσομοίωσης όσο και της προσέγγισης εξομοίωσης. Σε ένα δίκτυο που προσομοιώνεται από το EstiNet, κάθε προσομοιωμένος κεντρικός υπολογιστής μπορεί να τρέξει το πραγματικό λειτουργικό σύστημα Linux και κάθε πραγματικό πρόγραμμα εφαρμογής βασισμένο σε UNIX. Παρόλο που το EstiNet υποστηρίζει επίσης το πρωτόκολλο OpenFlow και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση SDNs, η εύκολη ανταλλαγή αποτελεσμάτων και εργαλείων με τους ερευνητές είναι ένα πλεονέκτημα του Mininet.

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αυτό το νέο πρότυπο που ονομάζεται Δίκτυα καθορισμένα από λογισμικό (SDN) έχει λάβει μεγάλη προσοχή από την επιστημονική κοινότητα και από τους κατασκευαστές συστημάτων διαχείρισης δικτύου. Το μοντέλο αυτό, που αποτελεί ένα τρέχον θέμα με καινοτόμες τάσεις και παρέχει διάφορες δυνατότητες εφαρμογής, ονομάζεται "Το μέλλον του Διαδικτύου" [32]. Ως εκ τούτου, πολλοί κατασκευαστές και ερευνητές εντάχθηκαν στην ιδέα μιας δικτυακής δομής που ορίζεται από ανεξάρτητες εφαρμογές υλικού και δεν βασίζεται πλέον μόνο στην αρχή της παραδοσιακής Δρομολόγησης IP.

4.2.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Ο σημαντικότερος περιορισμός του Mininet είναι η έλλειψη απόδοσης του, ιδιαίτερα σε υψηλά φορτία. Οι πόροι του CPU πολλαπλασιάζονται στο χρόνο σε σύγκριση με τον προεπιλεγμένο χρονοπρογραμματιστή, που δεν εγγυάται ότι ένας κεντρικός υπολογιστής που είναι έτοιμος να στείλει ένα πακέτο θα το κάνει αμέσως ή ότι όλοι οι διακόπτες θα προωθούν πακέτα με τον ίδιο ρυθμό [33]. Το Mininet τρέχει αυτήν τη στιγμή σε ένα μόνο μηχάνημα και εξομοιώνει όλους τους κεντρικούς υπολογιστές, τους διακόπτες και τους συνδέσμους σε ένα ενιαίο λειτουργικό σύστημα. Όλα αυτά τα στοιχεία μοιράζονται τους ίδιους πόρους υλικού, το οποίο είναι ένα μειονέκτημα για πειράματα μεγαλύτερης κλίμακας.

4.2.2 ΠΡΟΤΩΤΥΠΟ

Παρόλο που δεν είναι κατάλληλο για προσομοιώσεις μεγάλης κλίμακας που απαιτούν σημαντικές ποσότητες κόμβων, το Mininet είναι ένα εξαιρετικό λογισμικό για πρωτότυπα μικρών και μεσαίων δικτύων. Οι φοιτητές, οι ερευνητές, οι διαχειριστές δικτύων και άλλοι ενδιαφερόμενοι με ένα απλό φορητό υπολογιστή μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Mininet για την ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων μιας ιδέας SDN. Ο σύντομος χρόνος εκκίνησης και τα χαμηλά γενικά έξοδα επιτρέπουν την εξερεύνηση ενός χώρου σχεδιασμού και τη δημιουργία ενός συστήματος μεσαίου μεγέθους που λειτουργεί με μέτριο εξοπλισμό. Αρκετοί ερευνητές μπορούν να μοιράζονται σενάρια, διαμορφώσεις, τοπολογίες και να δουλεύουν σε πρωτότυπα ταυτόχρονα χωρίς παρεμβολές.

4.2.3 ΕΦΑΜΡΟΓΗ

Μία από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις για οποιοδήποτε λογισμικό εξομοιωτή είναι η δυνατότητα εφαρμογής. Σε αυτό το πλαίσιο, όλοι οι πόροι και οι ιδέες που υλοποιούνται σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης πρέπει να λειτουργούν σωστά σε πραγματικό περιβάλλον χωρίς σημαντικές αλλαγές. Το Mininet αποδεικνύει αυτή τη δυνατότητα, καθώς επιτρέπει σε εκείνες τις δοκιμές που εκτελούνται σε ένα προσομοιωμένο περιβάλλον να μπορούν εύκολα να μοιράζονται με άλλες δοκιμαστικές υποδομές ανεξάρτητα από το υλικό ή ακόμη και από ένα περιβάλλον παραγωγής.

4.2.4 ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ

Έτσι, η δυνατότητα να μοιραζόμαστε είναι ίσως ένα από τα ισχυρότερα σημεία του εξομοιωτή Mininet. Ένα έργο, μια τοπολογία ή ένας κώδικας δοκιμής μπορούν εύκολα να διανεμηθούν σε ολόκληρη την ερευνητική κοινότητα. Ο ίδιος ο εξομοιωτής, όταν τον κατεβάσουμε από τον επίσημο ιστότοπο [34], περιλαμβάνει στην εικονική μηχανή Mininet, μια ποικιλία διαφορετικών εργαλείων για την εκτέλεση και ανάλυση πρωτοτύπων SDN και ένα σύνολο δειγμάτων κώδικα που δημιουργούν διαφορετικές τοπολογίες SDN και διευκολύνουν την ανάπτυξη της έρευνας. Επιπλέον, είναι επίσης πιθανό οι ερευνητές που δημιουργούν πρόσθετα εργαλεία, κώδικες δειγμάτων και διαφορετικές ρυθμίσεις SDN να μπορούν να τα μοιράζονται με άλλους ερευνητές.

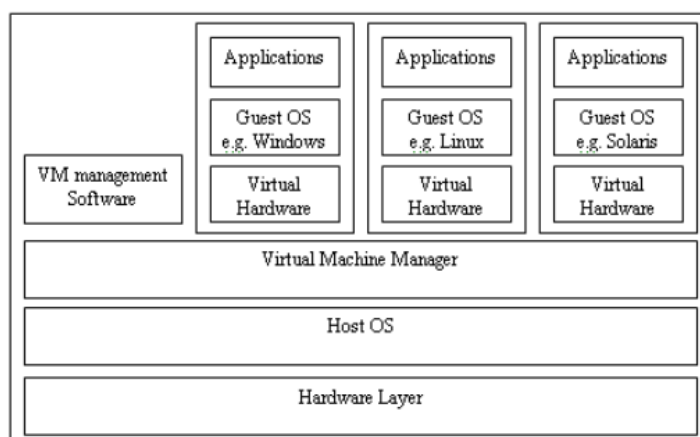
5 ΕΙΚΟΝΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η εικονικοποίηση είναι ένας όρος που αναφέρεται σε έναν μηχανισμό αφαίρεσης, στοχευμένο στην απόκρυψη λεπτομερειών της υλοποίησης και της κατάστασης ορισμένων υπολογιστικών πόρων από πελάτες των πόρων αυτών (π.χ. εφαρμογές, άλλα συστήματα, χρήστες κλπ). Ο σκοπός των εικονικών περιβαλλόντων πληροφορικής είναι η βελτίωση της αξιοποίησης των πόρων, παρέχοντας μια ενιαία ολοκληρωμένη πλατφόρμα λειτουργίας για χρήστες και εφαρμογές που βασίζονται στη συνάθροιση ετερογενών και αυτόνομων πόρων. Πιο πρόσφατα, η εικονικοποίηση σε όλα τα επίπεδα (σύστημα, αποθήκευση και δίκτυο) έγινε και πάλι σημαντική ως ένας τρόπος βελτίωσης της ασφάλειας, της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας του συστήματος, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία.

5.1 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΡΩΝ

5.1.1 ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

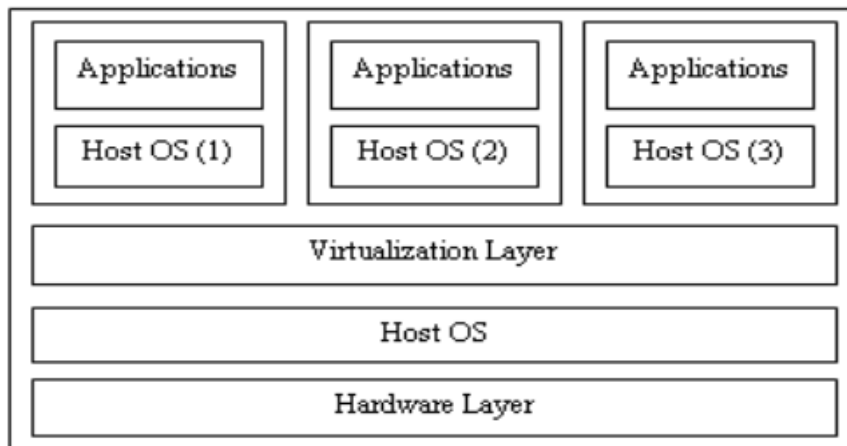
Σε αυτήν την προσέγγιση, το ΔΕΜ ονομάζεται επίσης διαχειριστής εικονικών μηχανών και τρέχει πάνω από ένα λειτουργικό σύστημα, συνήθως ως εφαρμογή στον χώρο του χρήστη. Το αποτέλεσμα είναι ότι, οι εικονικές μηχανές, οι εφαρμογές και το λειτουργικό σύστημα λειτουργούν πάνω από ένα εικονικό υλικό που παρέχεται από το ΔΕΜ. Ωστόσο, το περιβάλλον εικονικής μηχανής που παρέχει "επαρκή αναπαράσταση του υποκείμενου υλικού που επιτρέπει στα λειτουργικά συστήματα επισκέπτες να τρέχουν χωρίς τροποποίηση, μπορεί να θεωρηθεί ότι παρέχει "μία πλήρης εικονικοποίηση πόρων". Σε αυτό το είδος εικονικοποίησης, οι συσκευές Εισαγωγής/Εξαγωγής κατανέμονται στις μηχανές των επισκεπτών μιμώντας τις φυσικές συσκευές στην οθόνη του εικονικού μηχανήματος. Αλληλεπιδρούν με αυτές τις συσκευές στο εικονικό περιβάλλον όπου στη συνέχεια οι εντολές κατευθύνονται προς το πραγματικό φυσικό μηχάνημα από το πρόγραμμα οδήγησης του κεντρικού λειτουργικού συστήματος ή από τον "διαχειριστή εικονικών πόρων". Αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να παρατηρηθεί στο σχήμα 16.



Σχήμα 16: Πλήρης Εικονικοποίηση

5.1.2 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Αυτή η προσέγγιση είναι επίσης γνωστή ως Εικόνα Ενιαίου Πυρήνα (ΕΕΠ) ή εικονικοποίηση με βάση το κοντέινερ, η οποία υλοποιεί αυτή την ιδέα εικονικοποίησης, εκτελώντας περισσότερες εικόνες του ίδιου λειτουργικού συστήματος παράλληλα. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι το υλικό αλλά το λειτουργικό σύστημα του κεντρικού υπολογιστή αυτό που είναι εικονικοποιημένο. Οι παραγόμενες εικονικές μηχανές χρησιμοποιούν όλες την ίδια εικόνα λειτουργικού συστήματος. Αυτή η αρχιτεκτονική παρουσιάζεται στο σχήμα 17.

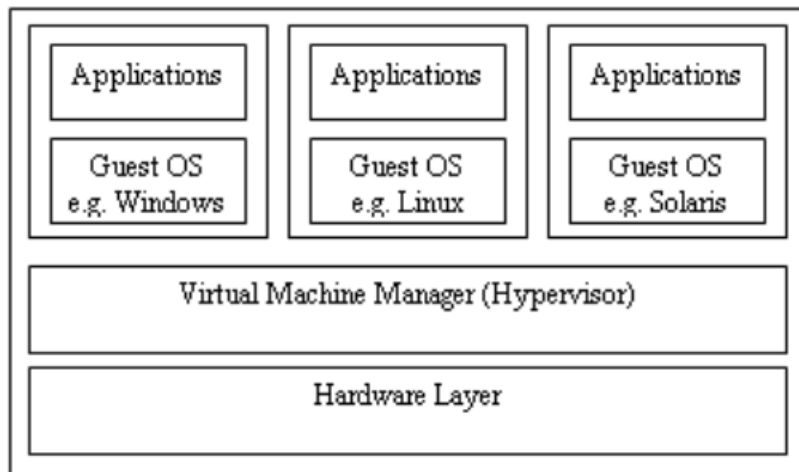


Σχήμα 17: Εικονικοποίηση επιπέδου λειτουργικού συστήματος

Εδώ, η εικόνα λειτουργικού συστήματος ονομάζεται στρώμα εικονικοποίησης. Αυτή η λεπτή αρχιτεκτονική διευκολύνει τη διαχείριση του συστήματος, επιτρέποντας στους διαχειριστές συστημάτων να αναθέτουν πόρους όπως η μνήμη, η επεξεργαστική ισχύς και ο χώρος στο δίσκο τόσο κατά τη δημιουργία μίας εικονικής μηχανής, όσο και δυναμικά κατά το χρόνο εκτέλεσής της. Σε σύγκριση με άλλες λύσεις εικονικοποίησης διακομιστών, η εικονικοποίηση των επιπέδων λειτουργικών συστημάτων τείνει να είναι πιο αποδοτική καθώς αποτυγχάνει να παράσχει την ίδια απομόνωση όσο στις άλλες αρχιτεκτονικές. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή έχει ένα μεγάλο μειονέκτημα: δεδομένου ότι οι εικονικές μηχανές χρησιμοποιούν τον ίδιο πυρήνα με το λειτουργικό σύστημα κεντρικού υπολογιστή, το λειτουργικό σύστημα επισκέπτη πρέπει να είναι το ίδιο με το κεντρικό λειτουργικό σύστημα (και έτσι δεν είναι δυνατή η εκτέλεση π.χ. των Windows πάνω από το Linux).

5.1.3 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΛΙΚΟΥ - HARDWARE

Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται συνήθως στην αγορά διακομιστών λόγω της υψηλής απομόνωσης και της απόδοσης της εικονικής μηχανής. Εδώ, ο διαχειριστής εικονικών μηχανών τρέχει απευθείας στο υλικό, συγχρονίζοντας την πρόσβαση των λειτουργικών συστημάτων επισκεπτών στους πόρους του υλικού. Το σχήμα 18 απεικονίζει αυτή την αρχιτεκτονική.



Σχήμα 18: Εικονικοποίηση σε επίπεδο υλικού

5.1.4 ΠΑΡΑ-ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Παρα-εικονικοποίηση είναι η τεχνική που χρησιμοποιείται από το Xen, η οποία παρέχει μια διεπαφή εικονικής μηχανής που αντιπροσωπεύει ένα ελαφρώς τροποποιημένο αντίγραφο του υποκείμενου υλικού, όπου τα μη βιώσιμα τμήματα του αρχικού συνόλου εντολών x86 αντικαθίστανται με εικονικά ισοδύναμα.

Σε αντίθεση με την πλήρη εικονικοποίηση, στην παρα-εικονικοποίηση το λειτουργικό σύστημα επισκέπτη θα πρέπει να τροποποιηθεί για να λειτουργήσει στο εικονικό περιβάλλον. Η παρα-εικονικοποίηση είναι ένα υποσύνολο του εικονικοποιημένου διακομιστή, η οποία παρέχει μια λεπτή διεπαφή λογισμικού μεταξύ του υλικού υποδοχής και του τροποποιημένου λειτουργικού συστήματος επισκέπτη. Ένα ενδιαφέρον γεγονός σε αυτή την προσέγγιση είναι ότι οι μηχανές φιλοξενίας γνωρίζουν ότι τρέχουν σε ένα εικονικό περιβάλλον. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής είναι ότι η οθόνη εικονικής μηχανής είναι απλή που επιτρέπει απόδοση πλησιέστερα στο μη εικονικοποιημένο υλικό. Η αλληλεπίδραση συσκευών στο παρα-εικονικοποιημένο περιβάλλον είναι πολύ παρόμοια με την αλληλεπίδραση συσκευών σε πλήρη εικονικό περιβάλλον.

5.1.5 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Στην εικονικοποίηση εφαρμογών, ο χρήστης είναι σε θέση να εκτελέσει μια εφαρμογή διακομιστή τοπικά χρησιμοποιώντας τους τοπικούς πόρους χωρίς να χρειάζεται την πολυπλοκότητα της πλήρους εγκατάστασης αυτής της εφαρμογής στον υπολογιστή του/της. Αυτές οι εφαρμογές εικονικοποίησης έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε ένα μικρό εικονικό περιβάλλον το οποίο περιέχει μόνο τους πόρους που απαιτούνται για την εκτέλεση της εκάστοτε εφαρμογής. Έτσι, στην εικονικοποίηση εφαρμογών, κάθε χρήστης ουσιαστικά έχει ένα απομονωμένο περιβάλλον εφαρμογής. Αυτό το μικρό απομονωμένο εικονικό περιβάλλον λειτουργεί ως στρώμα μεταξύ της εφαρμογής και του λειτουργικού συστήματος.

5.1.6 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Η εικονικοποίηση αποθηκευτικού χώρου είναι μια μορφή εικονικοποίησης πόρων, όπου δημιουργείται μια λογική αποθήκευση αφαιρώντας όλους τους φυσικούς πόρους αποθήκευσης που είναι διασκορπισμένοι στο δίκτυο. Αρχικά, οι φυσικοί πόροι αποθήκευσης συγκεντρώνονται για να σχηματίσουν μια ομάδα αποθήκευσης που στη συνέχεια σχηματίζουν τη λογική αποθήκευση. Αυτή η λογική αποθήκευση που είναι η συνάθροιση των διασκορπισμένων φυσικών πόρων παρουσιάζεται ως μια μοναδική μονολιθική συσκευή αποθήκευσης για τον χρήστη.

5.2 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

5.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ;

Η λειτουργία εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV) (γνωστή επίσης ως λειτουργία εικονικού δικτύου (VNF)) προσφέρει έναν νέο τρόπο σχεδιασμού, ανάπτυξης και διαχείρισης υπηρεσιών δικτύωσης. Το NFV αποσυνδέει τις λειτουργίες του δικτύου, όπως η μετάφραση διεύθυνσης δικτύου (NAT), το Firewall, η ανίχνευση εισβολών, η υπηρεσία ονόματος τομέα (DNS) και η προσωρινή αποθήκευση, έτσι ώστε να μπορούν να τρέχουν σε λογισμικό.

Έχει σχεδιαστεί για να ενοποιήσει και να παραδώσει τα στοιχεία δικτύωσης που απαιτούνται για την υποστήριξη μιας πλήρως εικονικοποιημένης υποδομής - συμπεριλαμβανομένων των εικονικών διακομιστών, αποθήκευσης, ακόμη και άλλων δικτύων. Χρησιμοποιεί τις τυπικές τεχνολογίες εικονικοποίησης τεχνολογιών πληροφορικής (IT), οι οποίες εκτελούνται σε μεγάλης κλίμακας υπηρεσίες, διακόπτες και αποθηκευτικό υλικό για τη δημιουργία εικονικών λειτουργιών δικτύου. Ισχύει για κάθε λειτουργία επεξεργασίας επιπέδου δεδομένων ή επιπέδου ελέγχου, τόσο σε ενσύρματες όσο και σε ασύρματες υποδομές δικτύου.

5.2.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η ιδέα προέρχεται από παρόχους υπηρεσιών που επιδίωξαν να επιταχύνουν την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών δικτύου για να υποστηρίξουν τους στόχους εσόδων και ανάπτυξης. Οι περιορισμοί των συσκευών με βάση το υλικό, τους οδήγησαν να εφαρμόσουν στα δίκτυά τους τις τυποποιημένες τεχνολογίες εικονικοποίησης. Για να επιταχυνθεί η πρόοδος προς την κατεύθυνση αυτού του κοινού στόχου, αρκετοί πάροχοι συσκέφθηκαν και δημιούργησαν το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI). Η Ομάδα Προδιαγραφών Βιομηχανίας ETSI για την εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύου (ETSI ISG NFV), είναι μια ομάδα που είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη και υλοποίηση των απαιτήσεων και της αρχιτεκτονικής, για την εικονικοποίηση διαφόρων λειτουργιών εντός τηλεπικοινωνιακών δικτύων, καθώς όπως και πρότυπα όπως το NFV MANO [35]. Το ETSI [36] συμβάλλει επίσης σε έργα [37]συνεργασίας όπως το πρόσφατα ανακοινωθέν OPNFV [38].

5.2.1.2 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Το NFV εικονικοποιεί τις υπηρεσίες δικτύου μέσω λογισμικού για να επιτρέψει στους χειριστές να:

1. **Μειώσουν το CapEx:** Μείωση στην ανάγκη αγοράς νέου υλικού.
2. **Μειώσουν το OpEx:** Μείωση στις απαιτήσεις για χώρο, ισχύ και ψύξη του εξοπλισμού και απλουστεύοντας την ανάπτυξη και τη διαχείριση των υπηρεσιών δικτύου.
3. **Επιταχύνουν το χρόνο προς την αγορά:** Μείωση του χρόνου ανάπτυξης νέων υπηρεσιών δικτύωσης για την υποστήριξη των μεταβαλλόμενων επιχειρησιακών απαιτήσεων, αξιοποίηση νέων ευκαιριών στην αγορά και βελτίωση της απόδοσης των επενδύσεων νέων υπηρεσιών. Μείωση επίσης στους κινδύνους που συνδέονται με την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών, επιτρέποντας στους παρόχους να δοκιμάζουν εύκολα και να εξελίσσουν υπηρεσίες για να καθορίσουν ποια είναι η καλύτερη δυνατή κάλυψη των αναγκών στους πελάτες.
4. **Παρέχουν ευκινησία και ευελιξία:** Γρήγορη κλιμάκωση υπηρεσιών προς τα πάνω ή προς τα κάτω για την αντιμετώπιση των μεταβαλλόμενων αιτημάτων. Υποστήριξη της καινοτομίας, επιτρέποντας την παράδοση των υπηρεσιών μέσω λογισμικού σε οποιοδήποτε βιομηχανικό εξοπλισμό.

5.2.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) μερικές φορές εμφανίζεται από ένα άλλο όνομα στη βιομηχανία - λειτουργία εικονικού δικτύου (VNF). Συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά, και οι δύο εστιάζουν κυρίως στη βελτιστοποίηση των υπηρεσιών δικτύου [39], σε αντίθεση με το δίκτυο που ορίζεται από λογισμικού (SDN), το οποίο διαχωρίζει το επίπεδο ελέγχου και προώθησης για μια κεντρική προβολή του δικτύου. Η λειτουργία εικονικού δικτύου έχει σχεδιαστεί για την ενοποίηση και την παράδοση των στοιχείων δικτύωσης που είναι απαραίτητα για την υποστήριξη ενός πλήρως εικονικού περιβάλλοντος.

Ωστόσο, σε ένα περιβάλλον NFV, μια λειτουργία εικονικού δικτύου (ή VNF [40]) αναλαμβάνει την ευθύνη του χειρισμού συγκεκριμένων λειτουργιών δικτύου που εκτελούνται σε μία ή περισσότερες εικονικές μηχανές (VM) πάνω από την υποδομή υλικού δικτύου - δρομολογητές, διακόπτες κ.λπ. Οι λειτουργίες εικονικού δικτύου μπορούν να συνδεθούν ή να συνδυαστούν ως δομικά στοιχεία για να προσφέρουν μια υπηρεσία πλήρους επικοινωνίας.

5.2.3 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ NFV MANO;

Η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) έπρεπε να διαχειριστεί σωστά από τα αρχικά της στάδια - για αυτό το λόγο σχεδιάστηκε το NFV MANO. Το NFV MANO είναι μια ομάδα ατόμων (WG) της Ομάδας Προδιαγραφών του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI ISG NFV). Πρόκειται για το καθορισμένο από το ETSI πλαίσιο για τη διαχείριση και εντοπισμό όλων των πόρων του κέντρου δεδομένων σε ένα σύννεφο. Αυτό περιλαμβάνει πόρους υπολογιστών, δικτύωσης, αποθήκευσης και εικονικής μηχανής (VM). Η κύρια εστίαση του NFV MANO είναι να επιτρέψει την ευέλικτη επιβίβαση και να παρακάμψει το χάος που μπορεί να συσχετιστεί με την γρήγορη περιστροφή των στοιχείων του δικτύου.

Το NFV MANO χωρίζεται σε τρία λειτουργικά τμήματα:

NFV Ενορχηστρωτής: Υπεύθυνος για την εγκατάσταση των νέων υπηρεσιών δικτύου (NS) και των πακέτων εικονικών δικτύων (VNF). Διαχείριση του κύκλου ζωής των υπηρεσιών δικτύου, διαχείριση των πόρων υποδομής, και την επικύρωση και την εξουσιοδότηση στις αιτήσεις πόρων.

VNF Διαχειριστής: Παρακολουθεί τη διαχείριση του κύκλου ζωής των VNF. Εκτελεί ρόλο συντονισμού και προσαρμογής για τη διαμόρφωση και την αναφορά συμβάντων μεταξύ του NFVI και του E/NMS.

Εικονικοποιημένος διαχειριστής υποδομής (VIM): Ελέγχει και διαχειρίζεται τους πόρους υπολογισμού, αποθήκευσης και δικτύου.

Για να λειτουργήσει σωστά και αποτελεσματικά η αρχιτεκτονική NFV MANO, πρέπει να ενσωματωθεί με μια ανοικτή διεπαφή (API) στα υπάρχοντα συστήματα. Το στρώμα MANO λειτουργεί με πρότυπα για τυπικά VNFs και δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα επιλογής από υπάρχοντες πόρους NFVI για την ανάπτυξη της πλατφόρμας.

5.2.4 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ NFV

Στοιχεία εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV) (ή στοιχεία NFV) είναι οι διακριτές απαιτήσεις υλικού και λογισμικού που διαχειρίζονται σε μια εγκατάσταση NFV για την παροχή νέων υπηρεσιών επικοινωνιών και εφαρμογών. Οι υπηρεσίες NFV αναπτύσσονται σε εμπορική πλατφόρμα υλικού COTS (off-the-shelf), τυπικά λειτουργούν σε υλικό βασισμένο σε Intel X86 και σε βασικό εξοπλισμό μεταγωγής πακέτων. Το πρώιμο μοντέλο του NFV, ETSI MANO, είναι μια κοινή αρχιτεκτονική αναφορά. Η αρχιτεκτονική NFV που αναπτύχθηκε από το ETSI MANO περιλαμβάνει συστήματα διαχείρισης στοιχείων (EMS), τα οποία περιγράφουν τον τρόπο διαχείρισης των επιμέρους VNFs σε μια πλατφόρμα υλικού.

5.2.4.1 ΤΑΧΥΤΕΡΗ ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης του NFV για την ανάπτυξη στοιχείων δικτύου και λειτουργιών εικονικού δικτύου (VNFs) είναι ότι οι υπηρεσίες μπορούν να ξεκινήσουν πιο γρήγορα, εγκαθιστώντας λογισμικό σε μια τυποποιημένη πλατφόρμα υλικού. Αυτό είναι παρόμοιο με τον τρόπο που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και να ξεκινήσουν οι εφαρμογές λογισμικού για την πλατφόρμα υπολογιστών όταν εμφανίστηκε για πρώτη φορά. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι οι χαμηλότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες, καθώς οι τυποποιημένες πλατφόρμες υλικού τείνουν να μειώσουν το κόστος αγοράς και συντήρησης. Το μοντέλο NFV προσθέτει επίσης ευελιξία, επιτρέποντας στους παρόχους υπηρεσιών να ξεκινήσουν, βελτιώνοντας και βελτιστοποιώντας σταδιακά τις υπηρεσίες τους χρησιμοποιώντας ενημερώσεις λογισμικού αντί για αντικατάσταση του υλικού.

5.2.4.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΙΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, τα στοιχεία του δικτύου ορίζονται ως λογικά συστήματα, συνήθως συνδεδεμένα με συγκεκριμένο φυσικό υλικό ή εγκαταστάσεις, που χρησιμοποιούνται για την παροχή υπηρεσίας. Στο NFV, αυτά τα στοιχεία γίνονται εικονικά, καθώς οι εγκαταστάσεις λογισμικού τοποθετούνται σε υλικό βασικών προϊόντων.

Ο σκοπός της χρήσης μιας πλατφόρμας NFV είναι να φιλοξενήσει διάφορα VNFs. Μερικά από τα VNF και τα πιθανά στοιχεία περιλαμβάνουν τα εξής:

- Επιτάχυνση εφαρμογής
- Ελεγκτές παράδοσης εφαρμογών/Εξισορροπητές φορτίου
- Προστασία από επιθέσεις DDoS [41]
- Έλεγχος πακέτων
- Εξέλιξη λειτουργιών πακέτου πυρήνα (EPC)
- Πρόληψη εισβολής μη εξουσιοδοτημένων ατόμων
- Διαχείριση πολιτικής
- Εικονικά τείχη προστασίας
- Εικονική δρομολόγηση

5.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ / ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

5.3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ

- Η **ευελιξία** παρέχεται με διάφορους τρόπους. Μπορεί κανείς να εκτελέσει περισσότερες από μία εικόνες ενός λειτουργικού συστήματος ενός υπολογιστή, καθώς επίσης είναι δυνατό να μεταναστεύσει μια εικονικοποιημένη παρουσία σε έναν άλλο φυσικό υπολογιστή και οι εικονικές μηχανές να περιγράφονται από το λειτουργικό σύστημα υποδοχής με χαρακτηριστικά όπως “παύση”, “επαναφορά”, “κλείσιμο” και “εκκίνηση”. Δίνεται επίσης η δυνατότητα να αλλάζονται οι προδιαγραφές των εικονικών υπολογιστών ενώ εκτελούνται, για παράδειγμα το μέγεθος μνήμης, το μέγεθος του σκληρού δίσκου κτλ.
- Προστίθεται η **διαθεσιμότητα** επειδή μπορούμε να διατηρήσουμε τις εικονικές μηχανές να εκτελούνται ακόμη και αν ο φυσικός κόμβος πρέπει να τερματιστεί, δηλαδή για αναβάθμιση ή συντήρηση υλικού. Αυτό γίνεται με την προσωρινή μετεγκατάσταση των εικονικών μηχανών σε άλλον υπολογιστή και με τη μετεγκατάστασή τους όταν ολοκληρωθεί η συντήρηση και ο κύριος υπολογιστής είναι έτοιμος να εξυπηρετήσει. Επίσης, το υλικό μπορεί να αλλάξει, να αναβαθμιστεί, να συντηρηθεί και να επισκευαστεί χωρίς διακοπή στις υπηρεσίες.
- Προστίθεται **δυνατότητα κλιμάκωσης** καθώς είναι πολύ εύκολο να προστεθούν ή να αφαιρεθούν κόμβοι. Αν η ζήτηση για χωρητικότητα αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, είναι πολύ εύκολο να εισαγάγουμε έναν φυσικό κόμβο με τη βασική εγκατάσταση συμπλέγματος και αμέσως θα συμβάλλει στη λειτουργία των υπάρχοντων εικονικών μηχανών που εκτελούν υπηρεσίες. Με αυτόν τον τρόπο, το σύμπλεγμα θα κλιμακωθεί με την εταιρεία καθώς επεκτείνεται.
- Η **χρησιμοποίηση του υλικού** αυξάνεται πιθανότατα εάν φιλοξενούνται ταυτόχρονα περισσότερα από ένα λειτουργικά συστήματα. Αυτό συμβαίνει επειδή οι εικονικές μηχανές χρησιμοποιούν πόρους υλικού που παραμένουν αδρανείς από το λειτουργικό σύστημα του κεντρικού υπολογιστή.
- Η **ασφάλεια** προστίθεται επειδή εισάγεται μεγαλύτερος διαχωρισμός των υπηρεσιών. Χρησιμοποιώντας πολλαπλές εικονικές μηχανές, είναι δυνατός ο διαχωρισμός των υπηρεσιών εκτελώντας μια υπηρεσία σε κάθε εικονική μηχανή. Εάν διακυβεύεται μία

υπηρεσία, οι άλλες υπηρεσίες δεν επηρεάζονται. Χρησιμοποιώντας την εικονικοποίηση, ο διακομιστής θα περιέχει μια ελάχιστη εγκατάσταση που θα μπορούσε να φιλοξενήσει διάφορες εικονικές μηχανές. Κάθε εικονική μηχανή αποτελείται από μια ελάχιστη εγκατάσταση του λειτουργικού συστήματος και μία υπηρεσία, για παράδειγμα τον εξυπηρετητή ιστού. Ας πούμε ότι ο διακομιστής ιστού έχει εκτεθεί από μια επίθεση. Οι φιλοξενούμενες ιστοσελίδες δεν θα είναι αξιόπιστες, αλλά οι υπόλοιπες τρέχουσες υπηρεσίες δεν επηρεάζονται.

- **Κόστος:** Είναι δυνατή η μείωση του κόστους με την ενοποίηση μικρότερων εξυπηρετητών σε πιο ισχυρούς διακομιστές. Οι μειώσεις κόστους προέρχονται από μειώσεις κόστους υλικού (οικονομίες κλίμακας που παρατηρούνται σε γρηγορότερους διακομιστές), μειώσεις κόστους από πλευράς προσωπικού, χώρου δαπέδου και άδειες λογισμικού.
- **Προσαρμοστικότητα** στις παραλλαγές του φόρτου εργασίας: Οι μεταβολές των επιπέδων έντασης φόρτου εργασίας μπορούν εύκολα να αντιμετωπισθούν μεταβάλλοντας τους πόρους και την κατανομή προτεραιοτήτων μεταξύ των εικονικών μηχανών. Αυτόνομες τεχνικές κατανομής πόρων βασισμένες σε υπολογιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δυναμική μετακίνηση επεξεργαστών από μια εικονική μηχανή σε άλλη.
- **Εξισορρόπηση φορτίου:** Δεδομένου ότι η κατάσταση του λογισμικού μιας ολόκληρης εικονικής μηχανής είναι εντελώς ενσωματωμένη από τον διαχειριστή εικονικών μηχανών, είναι σχετικά εύκολο να μεταφερθούν οι εικονικές μηχανές σε άλλες πλατφόρμες, προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση μέσω καλύτερης αντιστάθμισης φορτίου.
- **Εφαρμογές παλαιού τύπου:** Ακόμη και αν ένας οργανισμός αποφασίσει να μεταναστεύσει σε ένα διαφορετικό λειτουργικό σύστημα, είναι πιθανό να συνεχίσει να εκτελεί εφαρμογές παλαιού τύπου στο παλιό λειτουργικό σύστημα που λειτουργεί ως λειτουργικό σύστημα σε μία εικονική μηχανή.

5.3.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η εικονικοποίηση έχει προφανώς πολλά πλεονεκτήματα, αλλά έχει και μειονεκτήματα:

- Η **επιβάρυνση** που προκαλεί μειωμένη απόδοση ήταν το μεγαλύτερο μειονέκτημα της εικονικοποίησης. Η απόδοση συχνά διακυβεύεται λόγω της ευελιξίας. Οι προγραμματιστές εργάστηκαν σκληρά για να μειώσουν τα γενικά έξοδα, καθώς και για να τα φέρουν πολύ κοντά στην απόδοση ενός αυτόνομου φυσικού υπολογιστή.
- Το **ΕΣΑ** (ενιαίο σημείο αποτυχίας) στο υλικό εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα. Παρόλο που η εικονική μηχανή αποσυνδέεται από το υλικό, εξακολουθεί να εξαρτάται από την εργασία υλικού. Η αποτυχία του υλικού πιθανότατα θα οδηγήσει σε αποτυχία στην εικονική μηχανή, η οποία θα αναγκάσει ακόμη και την παύση λειτουργίας της.
- Η **διεπαφή διαχείρισης** συνδέεται στενά με την πλατφόρμα εικονικοποίησης. Αυτό μπορεί να είναι ένα πρόβλημα καθώς επιβαρύνει την ενοποίηση διάφορων πλατφόρμων στο ίδιο περιβάλλον

6 ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

Το 5G δεν αποσκοπεί μόνο στην αύξηση της χωρητικότητας και στην μείωση της καθυστέρησης, αλλά και στην αύξηση του προγραμματισμού, του ελέγχου και της ευελιξίας για την ικανοποίηση των απαιτήσεων από τις καινοτόμες περιπτώσεις χρήσης. Ωστόσο, πρέπει να ξεπεραστούν αρκετές δυσκολίες για την καλύτερη υιοθέτηση της τεχνολογίας αυτής. Για να μειωθεί ο χρόνος προς την αγορά, και να μειωθεί το εμπόδιο εισόδου σε τρίτους κατασκευαστές VNF και υπηρεσιών δικτύου, η μεθοδολογία (DevOps) είναι ένας υποσχόμενος τρόπος. Μία από τις μεγαλύτερες όμως προκλήσεις στη μεθοδολογία αυτή, είναι η επικύρωση και επαλήθευση (V&V) μεμονωμένων VNF ή και υπηρεσιών δικτύου (VNF γράφων) έτσι ώστε οι παρόχοι να μπορούν να είναι σίγουροι για τη συμπεριφορά τους στο περιβάλλον παραγωγής (Production Environment).

6.1 Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ V&V

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στα επικείμενα 5G περιβάλλοντα [42] είναι η επικύρωση και επαλήθευση (V&V) των λειτουργιών εικονικού δικτύου (VNFs) και των υπηρεσιών δικτύου (NSs) έναντι διαφορετικών πλατφορμών εκτέλεσης, έτσι ώστε οι πάροχοι υπηρεσιών να μπορούν να είναι βέβαιοι ότι οι VNF και οι NS συμπεριφέρονται όπως πρέπει αμέσως μετά την σχεδίαση και την υλοποίησή τους. Μια τέτοια διαδικασία επικύρωσης και επαλήθευσης περιλαμβάνει όχι μόνο λειτουργικές δοκιμές σε VNFs και NSs, αλλά και μη λειτουργικές δοκιμές, όπως μετρήσεις απόδοσης για την απόκτηση γνώσεων σχετικά με τις απαιτήσεις των πηγών για την εκπλήρωση συμφωνιών επιπέδου υπηρεσιών (SLA) και την παροχή της αναμενόμενης ποιότητας εμπειρίας (QoE) [43]. Για να ταιριάζουν όμως απρόσκοπτα στην προβλεπόμενη ροή εργασίας DevOps, όλες αυτές οι διαδικασίες πρέπει να είναι πλήρως αυτοματοποιημένες και να είναι σε θέση να εξυπηρετούν κάθε VNF ή υπηρεσία χωρίς περαιτέρω ανθρώπινη αλληλεπίδραση.

Παρόλο που υπάρχουν ήδη πολλές πλατφόρμες NFV που υποστηρίζουν την ταχεία ανάπτυξη νέων υπηρεσιών δικτύου [44], [45], οι ροές εργασίας και τα εργαλεία δημιουργίας και αυτόματης ανίχνευσης τέτοιων υπηρεσιών εξακολουθούν να είναι πολύ περιορισμένα ή να λείπουν εντελώς. Ορισμένες αρχικές προσεγγίσεις για αυτό το λόγο έχουν παρουσιαστεί από το ευρωπαϊκό έργο SONATA [46], το οποίο παρέχει ένα εργαλείο ανάπτυξης υπηρεσιών (SDK) που υποστηρίζει τους προγραμματιστές ως προς την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και υπηρεσιών δικτύου. Αυτό το SDK προσφέρει επίσης λειτουργίες επικύρωσης περιγραφικών στοιχείων που υπερβαίνουν τους απλούς ελέγχους σύνταξης, π.χ. την αυτόματη ανίχνευση βρόχων στα γραφήματα προώθησης λειτουργιών δικτύου (VNFFG) [47]. Ωστόσο, όλες αυτές οι δοκιμές γίνονται με στατικούς τρόπους οπότε δεν είναι δυνατή η δημιουργία και εκτέλεση λειτουργικών και μη λειτουργικών δοκιμών έναντι των VNF ή Ns. Συνεπώς, απαιτούνται ακόμη πολλές χειροκίνητες δοκιμές από προγραμματιστές και φορείς υπηρεσιών ώστε να είναι σίγουροι για τη σωστή λειτουργία της πλατφόρμας τους. Άλλα εργαλεία για δοκιμές SDN και NFV παρέχουν εκτεταμένες λειτουργίες εντοπισμού σφαλμάτων, αλλά εστιάζουν στην αρχική φάση ανάπτυξης παρά στην αυτόματη κατάρτιση των VNF και των υπηρεσιών δικτύου [48], [49].

Για να ξεπεραστούν τα παραπάνω εμπόδια, στο έργο 5GTANGO, προτείνεται μία πλατφόρμα επικύρωσης και επαλήθευσης που θα επιτρέπει σε όλα τα εμπλεκόμενα μέρη να εξετάσουν, να επικυρώσουν και να επαληθεύσουν τις λειτουργίες ενός δικτύου ή ολόκληρες τις υπηρεσίες

δικτύου πριν προχωρήσουν στην παραγωγή τους. Η προτεινόμενη πλατφόρμα V&V αποτελεί μια ευέλικτη πλατφόρμα δοκιμών που είναι σε θέση να χειριστεί τόσο γενικές τυποποιημένες δοκιμαστικές περιπτώσεις, όσο και εξειδικευμένες δοκιμαστικές περιπτώσεις που προσαρμόζονται για να επικυρώσουν π.χ. τη συμβατότητα μιας υπηρεσίας με μια συγκεκριμένη πλατφόρμα προορισμού.

6.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΓΟΥ 5GTANGO

Στο παραπάνω πλαίσιο, το 5GTANGO, έργο 5GPPP για την καινοτομία της δεύτερης φάσης, εισάγει τεχνολογίες DevOps σε SDN/NFV λύσεις, προσφέροντας ευέλικτο προγραμματισμό δικτύων 5G με:

- “Κιτ” ανάπτυξης υπηρεσιών (SDK).
- Πλατφόρμα καταλόγου με προηγμένους μηχανισμούς επικύρωσης και επαλήθευσης για την πιστοποίηση VNF/NS (συμπεριλαμβανομένων των συνεισφορών τρίτων) · και
- Μια πλατφόρμα εξυπηρέτησης (SP) με έναν καινοτόμο εντοπιστή, προκειμένου να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ των επιχειρησιακών αναγκών και των λειτουργικών συστημάτων διαχείρισης δικτύων.

Οι στόχοι του έργου περιλαμβάνουν επίσης:

1. Να μειωθεί ο χρόνος προς την αγορά για δικτυακές υπηρεσίες από τη μείωση του κύκλου ανάπτυξης υπηρεσιών και την εξειδίκευση των υπηρεσιών δικτύου που πρόκειται να υιοθετηθούν.
2. Να επιτρέψει νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες με την προσαρμογή του δικτύου στις απαιτήσεις νέων επερχόμενων εφαρμογών.
3. Μείωση του φραγμού εισόδου σε τρίτους προγραμματιστές και - υποστήριξη της δημιουργίας και της σύνθεσης των VNF ως "Υπηρεσίες δικτύου".
4. Επιτάχυνση της υιοθέτησης του NFV στη βιομηχανία μέσω ενός "εκτεταμένου" μοντέλου DevOps.

6.3 5G ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕ V&V

6.3.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

Κύριος στόχος είναι η βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών δικτύου και της διαθεσιμότητάς τους, εισάγοντας πλατφόρμες επαλήθευσης και επικύρωσης (V&V) αλλά και καταλόγους. Αυτή διαδικασία V&V εκτελείται από τους ακόλουθους τέσσερις ρόλους:

- Προγραμματιστής: Αναπτύσσει, δοκιμάζει, δημοσιεύει τις υπηρεσίες δικτύου του.
- Πάροχος Υπηρεσιών: Επιλέγει, δοκιμάζει, αναπτύσσει τις υπάρχουσες υπηρεσίες δικτύου.
- Πλατφόρμα V&V: Παρέχει περιβάλλον δοκιμών, αναπτύσσει και εκτελεί δοκιμές, εκδίδει ψηφιακά υπογεγραμμένα αποτελέσματα δοκιμών.
- Κατάλογος: Αποθηκεύει υπηρεσίες δικτύου και μεταδεδομένα (συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων των δοκιμών), προσφέρει υποστήριξη λήψης αποφάσεων.

Επιπλέον, θα υπάρχουν δημόσιες και ιδιωτικές πλατφόρμες V&V. Οι δημόσιες πλατφόρμες V&V μπορούν να φιλοξενούνται από διαφορετικά τρίτα πρόσωπα και να προσφέρουν

διαφορετικά περιβάλλοντα δοκιμών. Αυτές οι πλατφόρμες V&V διαφέρουν στις δοκιμές που προσφέρουν (π.χ. λειτουργικές ή μη λειτουργικές) και την υποδομή που χρησιμοποιούν. Είναι κατανοητό ότι ορισμένες πλατφόρμες V&V προσφέρουν δοκιμές γενικής πιστοποίησης (π.χ. απόδοσης), ενώ άλλες εστιάζουν και ειδικεύονται σε ορισμένα σενάρια ή υποδομές, π.χ. για έξυπνη κατασκευή. Λαμβάνοντας υπόψη μια υπηρεσία δικτύου και την αντίστοιχη πληρωμή (εάν απαιτείται), μια πλατφόρμα V&V εκτελεί ένα σύνολο δοκιμών, αρχειοθετεί τα αποτελέσματα και υπογράφει ψηφιακά επιστρέφοντας το αποτέλεσμα σε αυτόν που ζήτησε τις δοκιμές.

Οι προγραμματιστές που χρησιμοποιούν το 5GTANGO μπορούν να συνθέσουν πολλαπλές VNFs σε μια υπηρεσία δικτύου. Πριν από τη δημοσίευση της υπηρεσίας δικτύου, οι προγραμματιστές χρησιμοποιούν μια τοπική πλατφόρμα V&V για να δοκιμάσουν την υπηρεσία δικτύου τους. Μόλις ικανοποιηθούν με τα τοπικά αποτελέσματα, οι προγραμματιστές μπορούν να εκτελέσουν πρόσθετες δοκιμές χρησιμοποιώντας δημόσιες πλατφόρμες V&V. Οι προγραμματιστές μπορούν να δημοσιεύσουν την υπηρεσία δικτύου μαζί με τα αποτελέσματα των δοκιμών από τέτοιες δημόσιες και αξιόπιστες πλατφόρμες V&V σε έναν ή περισσότερους καταλόγους. Περισσότερες δοκιμές μπορούν να προστεθούν αργότερα για να αυξηθεί η εμπιστοσύνη των πελατών στην αναπτυγμένη υπηρεσία δικτύου.

Ένας πάροχος υπηρεσιών που επιθυμεί να αναπτύξει μια συγκεκριμένη υπηρεσία δικτύου μπορεί να την αναζητήσει στους διάφορους διαθέσιμους καταλόγους. Μετά την επιλογή μιας υπηρεσίας δικτύου, ο πάροχος υπηρεσιών μπορεί να εκτελέσει πρόσθετες δοκιμές χρησιμοποιώντας είτε μια πλατφόρμα V&V ή άλλες δημόσιες πλατφόρμες V&V που φιλοξενούνται από τρίτα μέρη. Εναπόκειται στον χειριστή να μοιράζεται ή όχι τα πρόσθετα αποτελέσματα των δοκιμών που έχουν ληφθεί αποθηκεύοντας τα σε έναν κατάλογο. Εάν ο χειριστής είναι ικανοποιημένος με τα αποτελέσματα των δοκιμών, η υπηρεσία δικτύου μπορεί να αναπτυχθεί στην υποδομή των φορέων παροχής υπηρεσιών.

Ένας κατάλογος περιέχει και διατηρεί τα υποβληθέντα VNFs/NSs και τα αντίστοιχά τους μεταδεδομένα. Με βάση αυτά τα μεταδεδομένα, ο κατάλογος μπορεί να προσφέρει υποστήριξη λήψης αποφάσεων που υπερβαίνει την απλή λειτουργία αναζήτησης και φιλτραρίσματος. Μέσω συνεχιζόμενων δοκιμών ή παρακολούθησης ήδη αναπτυγμένων υπηρεσιών δικτύου και ανάλυσης αποτελεσμάτων, οι κατάλογοι μπορούν να ενημερώνουν συνεχώς το αποθετήριο τους, να συσχετίζουν τις διαθέσιμες πληροφορίες, να προσφέρουν τις καλύτερες και καταλληλότερες υπηρεσίες δικτύου στους φορείς εκμετάλλευσης και να παρέχουν ανατροφοδότηση στους προγραμματιστές. Τα αποκτηθέντα αποτελέσματα αναφοράς μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν από ένα πλαίσιο διαχείρισης πολιτικής για την παροχή εγγυήσεων ποιότητας. Παρόμοια με τις πλατφόρμες V&V, μπορεί να υπάρχουν και πολλοί κατάλογοι που φιλοξενούνται από διαφορετικά τρίτα μέρη. Οι κατάλογοι αυτοί μοιράζονται την κύρια ιδέα, αλλά ενδέχεται να διαφέρουν ως προς το πεδίο εφαρμογής και την παρεχόμενη λειτουργικότητα. Μπορούν επίσης να έχουν διαφορετικούς περιορισμούς ή κανονισμούς σχετικά με τις δημοσιευμένες υπηρεσίες δικτύου και τα συναφή αποτελέσματα δοκιμών για την επιβολή συγκεκριμένου επιπέδου ποιότητας.

6.3.2 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ V&V

Οι πιστοποιήσεις οργανώνονται σε όλο τον κόσμο, και αφορούν κυρίως όλους τους βιομηχανικούς τομείς καθώς και οργανισμούς με εθελοντική δράση. Σκοπός της διαδικασίας

πιστοποίησης είναι να εξακριβωθεί η συμμόρφωση που ορίζεται ως το γεγονός ότι ένα προϊόν, ένα σύστημα, ένας οργανισμός ή ακόμη και ένα πρόσωπο πληρεί συγκεκριμένες απαιτήσεις [50] και μπορεί να βελτιώσει τα επιχειρηματικά συμφέροντα όσον αφορά τα προϊόντα, τα αγαθά και τις υπηρεσίες. Η πλατφόρμα V&V στο έργο 5GTANGO υιοθετεί μια προσέγγιση διαδικασίας πιστοποίησης, όπου εξετάζει μόνο κατά πόσον πληρούνται οι απαιτήσεις (τι πρέπει να εκτελεστεί σε κάθε VNF/NS).

Η αρχή πιστοποίησης, συγκεντρώνει τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές ως αντικείμενο πιστοποίησης και ορίζει τα εργαλεία και τις διαδικασίες για τη διεξαγωγή της πιστοποίησης. Η πλατφόρμα πιστοποίησης εφαρμόζει τις δοκιμές για να ελέγξει τη συμμόρφωση με τα καθορισμένα εργαλεία και διαδικασίες. Μόλις ο αιτών υποβάλει το προϊόν του (δηλαδή μια συσκευή, ένα κομμάτι του λογισμικού, μια υπηρεσία), εκτελείται ένα σύνολο δοκιμών πάνω στο προϊόν σε ένα ελεγχόμενο και αξιόπιστο περιβάλλον. Το αποτέλεσμα της δοκιμής επιστρέφεται στην πλατφόρμα πιστοποίησης, η οποία δηλώνει τη συμμόρφωση του προϊόντος, εάν το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό. Στη συνέχεια, μπορεί να εκδοθεί πιστοποιητικό από την εκάστοτε αρχή. Επίσης, μια ομάδα ενδιαφερόμενων, συμπεριλαμβανομένων των παρόχων υποδομής και των παρόχων υπηρεσιών, είναι υπεύθυνοι για τον ορισμό των προδιαγραφών και των απαιτήσεων που πρέπει να πληρούν τα VNFs/NSs. Ο πάροχος της πλατφόρμας V&V αναπτύσσει δοκιμαστικές περιπτώσεις και σειρές δοκιμών, πιθανώς με τη συμβολή προγραμματιστών και άλλων ενδιαφερόμενων και παρέχει ένα περιβάλλον δοκιμών αναφοράς για την εκτέλεση των δοκιμών αυτών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών συλλέγονται και μεταφέρονται στον κατάλογο με βασική επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένου του μετασχηματισμού σε συγκεκριμένη μορφή και προσάρτηση των ψηφιακών υπογραφών. Εάν τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά για να συμπεράνουν τη συμμόρφωση των VNF/NS, λαμβάνετε ένα ψηφιακά υπογεγραμμένο σύνολο μεταδεδομένων το οποίο χρησιμεύει ως μια ψηφιακή πιστοποίηση.

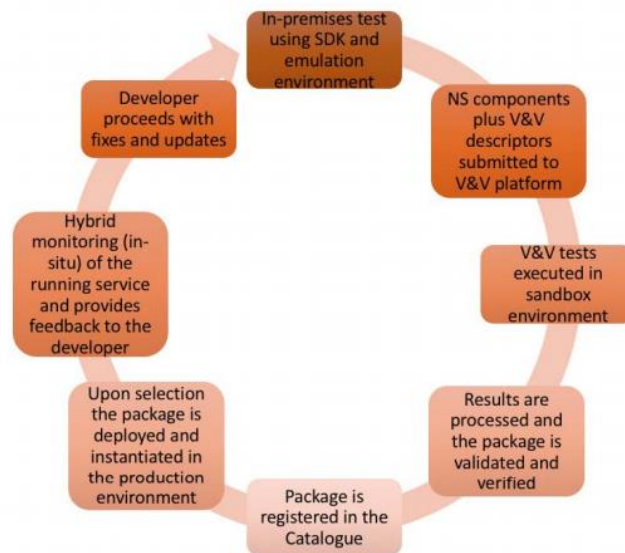
6.4 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ V&V

Ο κύριος στόχος της πλατφόρμας V&V είναι να εκτελεί ένα σύνολο δοκιμών στα προκείμενα VNFs/NSs τα οποία θα στοχεύουν μια υποδομή 5G, καθώς επίσης και την αποθήκευση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που έχουν υπογραφεί ψηφιακά και περιλαμβάνουν όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες.

6.4.1 ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ V&V

Ο κύριος χρήστης της πλατφόρμας V&V στο έργο 5GTANGO είναι ο προγραμματιστής. Ο προγραμματιστής της δικτυακής υπηρεσίας δημιουργεί ή επαναχρησιμοποιεί τα διαθέσιμα VNFs για να παράγει ένα NS. Το NS περιλαμβάνει τα VNF, τη διαχείριση του κύκλου ζωής τους που είναι ενσωματωμένα με τα δικά τους συστατικά, συσκευασμένα μαζί με τις περιγραφές για την ανάπτυξη και διαμόρφωση των VNFs. Η πλατφόρμα V&V που αναπτύσσεται στο 5GTANGO επιτρέπει την ομαδοποίηση συγκεκριμένων δοκιμών μαζί με το πακέτο υπηρεσιών. Αυτές οι δοκιμές εκτελούνται από την πλατφόρμα V&V σε ένα περιβάλλον SandBoxed που λειτουργεί υπό τον έλεγχο της πλατφόρμας V&V, έτσι ώστε να αποκτώνται λειτουργικές και μη λειτουργικές μετρήσεις που οδηγούν στην επαλήθευση και επικύρωση του υποκειμένου NS. Αυτές οι μετρήσεις αποθηκεύονται στη συνέχεια μαζί με τη συσκευασία στον

κατάλογο. Επιπλέον, το SDK στο 5GTANGO παρέχει την ικανότητα (από πλευράς βιβλιοθηκών και βοηθητικών λειτουργιών) στους προγραμματιστές να σχεδιάσουν και να περιγράψουν τις δοκιμές με βάση τις πραγματικές δυνατότητες της υποδομής. Συνοπτικά, ο κύκλος ζωής της επικύρωσης και επαλήθευσης της υπηρεσίας απεικονίζεται στο σχήμα 19.



Σχήμα 19: Κύκλος ζωής επικύρωσης και επαλήθευσης

Η προσέγγιση DevOps που ακολουθήθηκε προβλέπει πολλαπλές πλατφόρμες V&V. Αυτές οι πλατφόρμες μπορεί να παρέχουν συμπληρωματικά ή μερικώς επικαλυπτόμενα περιβάλλοντα για την εκτέλεση συγκεκριμένων δοκιμών επικύρωσης και ελέγχου. Για παράδειγμα, μια πλατφόρμα V&V που συνδέεται με μια πραγματική βιομηχανική εγκατάσταση θα είναι σε θέση να επαληθεύσει τις υπηρεσίες για το συγκεκριμένο περιβάλλον. Με βάση αυτή τη συγκεκριμένη εξειδίκευση, οι πλατφόρμες V&V μπορούν επίσης να διαθέτουν τυποποιημένες δοκιμές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μερική ή πλήρη επικύρωση του NS ή των συστατικών του. Παράδειγμα δοκιμών μπορεί να περιλαμβάνει, για παράδειγμα, μεθοδολογία συγκριτικής αξιολόγησης RFC 1944 για συσκευές διασύνδεσης δικτύου, μεθοδολογία συγκριτικής αξιολόγησης RFC 2889 για συσκευές εναλλαγής LAN, μεθοδολογία συγκριτικής αξιολόγησης RFC 3511 για την απόδοση τείχους προστασίας κ.λπ.

6.5 Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ V&V

Στην προκειμένη περίπτωση, το Σύστημα Υπό Εξέταση (SUT) μπορεί να οριστεί είτε ως ένα μεμονωμένο VNF είτε ως αρκετές αλυσίδες VNF, ορίζοντας έτσι ένα NS. Έτσι, τα δεδομένα παρακολούθησης πρέπει να συλλέγονται είτε από μεμονωμένα VNF είτε από τα NS, ως μέρος της ανάπτυξης του NS στην υποδομή δοκιμών για τους σκοπούς της διαδικασίας V&V. Ωστόσο, η επαλήθευση της λειτουργικότητας ενός μόνο VNF απαιτεί διαφορετικά κριτήρια και περιλαμβάνει διαφορετικές διεργασίες από την επαλήθευση της λειτουργικότητας σε

επίπεδο υπηρεσιών. Ανάλογα με τις λειτουργίες που παρέχονται από τα VNF ή NS, πρέπει να εκτελούνται διάφορα σενάρια δοκιμών, με βάση τις αντίστοιχες τυποποιημένες προσεγγίσεις και μεθοδολογίες δοκιμών. Με αυτόν τον τρόπο, το 5GTANGO V&V θα γίνει ένα στοιχείο πολλαπλών πλατφορμών για εφαρμογές σε MANO και NFVI.

Επιπλέον όμως, η πληθώρα των VNFs και η αλυσίδα τους για την παροχή ενός συγκεκριμένου NS που θα υποστηρίζεται από το οικοσύστημα 5GTANGO, υπαγορεύει την παροχή εργαλείων που θα επιτρέψουν τη συλλογή πρόσθετων μετρήσεων (ακόμη και εξειδικευμένων προγραμματιστών) ακόμη και στα OSI επίπεδα 2-5. Από την άποψη αυτή, ενδέχεται να απαιτούνται ειδικά εργαλεία για ορισμένες δοκιμές VNF/NS και παρακολούθηση επιδόσεων, π.χ. iperf ή άλλες δέσμες ενεργειών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα εργαλεία παρακολούθησης (που αναφέρονται επίσης ως ανιχνευτές παρακολούθησης) θα εγκαθίστανται αυτοματοποιημένα. Ανάλογα με τις δοκιμές που πρέπει να εκτελεστούν, μπορεί να υπάρξει ανάγκη είτε για την ανάπτυξη ενός βοηθητικού στοιχείου (π.χ. γεννήτρια κίνησης) όσο και για τις μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν στο SUT ή για την ανάπτυξη δύο βοηθητικών εξαρτημάτων, όπου το δεύτερο θα συλλέγει δεδομένα που διέρχονται από το SUT. Αυτά τα βοηθητικά εξαρτήματα μπορούν να θεωρηθούν ως ελαφριά VM ή κοντέινερς που δεν ανήκουν στο ίδιο το NS αλλά πρέπει να αναπτυχθούν στο περιβάλλον SandBox μόνο για σκοπούς των δοκιμών του V&V.

6.6 ΕΝΑ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ V&V

Με την εμφάνιση του παραδείγματος του υπολογιστικού νέφους, και την ευρέως διαδεδομένη υιοθέτηση της εικονικοποίησης σε κέντρα δεδομένων, οι περισσότεροι διακομιστές στα κέντρα αυτά είναι εικονικοποιημένοι. Κάθε υποεξυπηρετητής σε ένα εικονικοποιημένο εξυπηρετητή προσθέτει ένα άλλο στρώμα δικτύου με τη μορφή ενός εικονικού διακόπτη. Συνειδητοποιώντας τη σημασία της παρακολούθησης των κατανεμημένων δικτύων σε όλο το δίκτυο, οι πωλητές Hypervisor προσθέτουν όλο και περισσότερο την υποστήριξη για παρακολούθηση του δικτύου εντός του εικονικού διακόπτη.

Στη γενική περίπτωση, μια υπηρεσία δικτύου μπορεί να αποτελείται από δύο VNFs που αναπτύσσονται σε δύο απομακρυσμένα σημεία παρουσίας (PoPs). Τα VNFs μπορούν επίσης να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας αρκετές πρόσφατες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των εικονικών μηχανών και/ή του Linux ή του Docker Containers. Κάθε ομάδα λογισμικού έχει δύο κάρτες διασύνδεσης δικτύου (NIC), μία συνδεδεμένη σε δημόσιο δίκτυο που χρησιμοποιείται ως δίκτυο διαχείρισης, ενώ το δεύτερο NIC χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των δύο VNF που περιλαμβάνουν την υπηρεσία δικτύου ή ένα VNF με βοηθητική λειτουργία/υπηρεσία (ενότητα λογισμικού) που αναπτύσσεται αποκλειστικά για τους σκοπούς της δοκιμής (π.χ. όταν δοκιμάζεται η πρόσβαση σε εξυπηρετητή ιστού μέσω δοκιμών ping). Τα NICs τελικά συνδέονται μέσω κατάλληλου δικτύου LAN/WAN.

Επιπλέον, μπορούν να υποστηριχθούν πρωτόκολλα παρακολούθησης δικτύου που υπάρχουν ήδη στους δρομολογητές. Για παράδειγμα, το OVS (Open vSwitch) υποστηρίζει ήδη NetFlow και SFlow. Επίσης, εγκαθίστανται αυτόματα εργαλεία για τη συλλογή δοκιμών και τη συλλογή μετρήσεων παρακολούθησης ή ανήκουν ήδη στα εξεταζόμενα λειτουργικά συστήματα (όπως iperf, ping κ.λπ.).

7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Η ανάπτυξη του 5G, του IoT και της προχωρημένης ανάλυσης δεδομένων πρόκειται να διαταράξει το οικοσύστημα της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών. Το συνδυασμένο αποτέλεσμα αυτών των τεχνολογιών θα ανοίξει το δρόμο για νέα επιχειρηματικά μοντέλα, τεχνολογική καινοτομία και μυριάδες ευκαιρίες για εφαρμογές σε όλες τις βιομηχανικές κατακόρυφες περιοχές που βασίζονται στις υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής. Το 5G υπόσχεται να επιτρέψει έξυπνες υπηρεσίες δικτύου και εφαρμογών με συνδεσιμότητα από απομακρυσμένους αισθητήρες, τεράστιες ποσότητες δεδομένων IoT και μετάδοσης δεδομένων χαμηλής ευκρίνειας. Η ανάλυση δεδομένων όμως δεν θα είναι πια μια σκέψη και θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των προτύπων 5G που θα επιτρέπουν την ευφυΐα στο δίκτυο, τις εφαρμογές και τις επιχειρήσεις. Ακολουθώντας, θα εξετάσουμε το ρόλο των αναλυτών στο πλαίσιο των 5G δεδομένων, τις βασικές τεχνολογικές τάσεις και επιχειρηματικών οδηγιών, τα τεχνικά εμπόδια σε αυτό το μονοπάτι και τέλος, στο επόμενο κεφάλαιο, ένα προτεινόμενο μοντέλο ανάλυσης των δεδομένων αυτών.

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αντίθεση με την 4G/LTE γενιά, το 5G θα είναι κάτι περισσότερο από ένα σωλήνα και θα αντιπροσωπεύει μια τεχνολογία που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει τις συνδεδεμένες συσκευές καθώς και τα συστήματα αυτοματισμού. Με πολλούς τρόπους, το 5G θα είναι ένας διευκολυντής και ένας επιταχυντής της επόμενης βιομηχανικής επανάστασης, που συχνά αναφέρεται ως «Industry 4.0». Το 5G υπόσχεται να παρέχει υψηλές ταχύτητες δεδομένων (με εύρος Gbps) με εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση (καθυστέρηση μικρότερη από χιλιοστά του δευτερολέπτου) για εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού, ρομποτικής, εικονικής πραγματικότητας, κ.λπ.

Η **ανάλυση δεδομένων** βρίσκεται στο σημείο όπου τα πλεονεκτήματα των δικτύων 5G, όπως το υψηλό εύρος ζώνης, η ελάχιστη καθυστέρηση και η κινητή υπολογιστική άκρη, αξιοποιούνται πλήρως. Η δυνατότητα του 5G να υποστηρίζει μαζική συνδεσιμότητα σε διάφορες συσκευές (αισθητήρες/πύλες/ελεγκτές), υποστηριζόμενη από τις καταναεμημένες υπολογιστικές αρχιτεκτονικές, δημιουργεί τη δυνατότητα μεταφοράς των μεγάλων δεδομένων σε κατάσταση ηρεμίας και των δεδομένων σε κίνηση σε πραγματικό χρόνο. Η ανάλυση δεδομένων όμως θα διαδραματίσει ένα διπλό ρόλο στο πλαίσιο του 5G. Από τη μία πλευρά, οι αναλυτικές θα συνεχίσουν να υποστηρίζουν διάφορες επιχειρηματικές εφαρμογές/περιπτώσεις χρήσης σε δίκτυα 5G, αλλά από την άλλη πλευρά, θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του ίδιου του 5G και των λειτουργιών δικτύου.

Έξυπνες Εφαρμογές: Το φάσμα χρήσης 5G για εφαρμογές θα είναι πολύ ευρύ, συμπεριλαμβανομένων των φορητών συσκευών, του έξυπνου σπιτιού, των έξυπνων πόλεων, των αυτόνομων αυτοκινήτων και της αυτοματοποίησης της βιομηχανίας. Το IoT και το «Industry 4.0» θα είναι οι μεγαλύτεροι οδηγοί για εφαρμογές 5ης γενιάς. Ως εκ τούτου, το «Context Aware Engine» (CAE) θα αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος του 5G ώστε τα υποκείμενα περιβάλλοντα να κατανοήσουν και να γνωρίσουν αρκετά τα δίκτυα ώστε να παρέχουν έξυπνες εμπειρίες για έναν μεμονωμένο συνδρομητή στο δίκτυο με καλύτερες αποφάσεις διαχείρισης ροής δεδομένων.

Έξυπνα Δίκτυα: Τα δίκτυα 5G θα είναι εγγενώς πολύπλοκα με πολλαπλά στρώματα εικονικών λειτουργιών, εικονικά και φυσικά περιουσιακά στοιχεία, χρήση φάσματος, κατανομημένους κόμβους υπολογιστών και με βάση τις έννοιες SDN/NFV. Επομένως, οι αναλύσεις δικτύων θα καταστούν πολύ σημαντικές για την οικοδόμηση ενός εύκαμπτου δικτύου 5G απλοποιώντας έτσι της ανάπτυξη και τις λειτουργίες δικτύου. Ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση του δικτύου για να αποφασιστεί πού να κλιμακωθούν συγκεκριμένες λειτουργίες δικτύου και υπηρεσίες εφαρμογών θα βασιστεί σε αλγόριθμους μηχανικής μάθησης που θα αναλύουν πιο λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά χρήσης του δικτύου και τα δεδομένα κίνησης. Εν ολίγοις, τα Συστήματα Λειτουργίας και Υποστήριξης Επιχειρήσεων (ΣΛΥ/ΥΕ) θα έχουν ενσωματωμένα τα αναλυτικά στοιχεία και θα ενσωματωθούν στη σειρά εργαλείων τους, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα, όπου μέχρι σήμερα η ανάλυση των δεδομένων ήταν μια σκέψη.

7.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΙ ΟΔΗΓΟΙ

Η ανάλυση δεδομένων είναι εγγενώς συνεργιστικό με άλλες τάσεις της τεχνολογίας 5G όπως SDN/NFV και MEC. Ακολουθούν οι βασικές τάσεις και οι επιχειρηματικοί οδηγοί που θα διαμορφώσουν τον χάρτη πορείας των αναλύσεων δεδομένων στο 5G:

- **Mobile Cloud / Edge Computing:** Τα Μεγάλα Δεδομένα και τα Δίκτυα 5G καθιστούν έναν έξυπνο κόσμο. Οι εφαρμογές κρίσιμης σημασίας όπως η δημόσια ασφάλεια και ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης θα χρειαστούν αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο. Χάρη στην ιεράρχηση της κυκλοφορίας που βασίζεται σε τεμαχισμό, στις τοπικές αναλύσεις που βασίζονται στο MEC ή στις βελτιώσεις λανθάνουσας κατάστασης που υποσχέθηκαν με τη νέα διεπαφή 5G, κάπως έτσι θέτονται τα θεμέλια για την υποστήριξη αναλύσεων ακριβείας και εφαρμογών άμεσης πρόσβασης στο διαδίκτυο. Το 5G καθιστά επίσης δυνατή όχι μόνο την ανίχνευση και την ανάλυση δεδομένων στην άκρη του δικτύου, αλλά ενεργοποιεί και τις ενέργειες απόκρισης μέσα σε κλάσμα δευτερολέπτων και όλα τα δεδομένα μετακινούνται απρόσκοπτα από το σύννεφο σε μια πληθώρα τελικών σημείων και αντίστροφα.
- **Το IoT πάνω από τα 5G δίκτυα:** Η μαζική ποσότητα πληροφοριών που δημιουργείται από το IoT έχει τη δύναμη να φέρει επανάσταση σε όλα, από τη μεταποίηση έως την υγειονομική περίθαλψη έως τη διάταξη και τη λειτουργία των έξυπνων πόλεων, επιτρέποντάς τους να εργάζονται αποδοτικότερα και οικονομικότερα από ποτέ. Μια εταιρεία διαχείρισης στόλου, για παράδειγμα, διαπίστωσε ότι ήταν σε θέση να μειώσει το κόστος διαχείρισης του στόλου της με 180.000 φορτηγά από 15 Σεντ ανά μίλι σε μόλις 3 Σεντ.
- **Νομιματοποίηση των δεδομένων:** Οι παρόχοι μέχρι και τα 4G/ LTE χρησιμοποιούν τα δεδομένα τους μόνο για τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών και της εμπειρίας των πελατών τους. Ωστόσο, με τις πολλές δυνατότητες των υπηρεσιών δικτύου 5G σε συνδυασμό με το IoT&AI, θα διερευνήσουν νέα επιχειρηματικά μοντέλα δημιουργίας εσόδων, όπως οι έξυπνες υπηρεσίες εφαρμογών για επιχειρήσεις. Για τους παρόχους υπηρεσιών, οι επιχειρηματικές ευκαιρίες δεν θα περιορίζονται μόνο στη δημιουργία εσόδων αλλά και στην αξία που θα παρέχεται στις επιχειρήσεις μέσω των εφαρμογών και των δικτύων πληροφοριών.

- **Προγνωστική Συντήρηση:** Η Προγνωστική Συντήρηση είναι η κορυφαία περίπτωση του «Industry 4.0». Σύμφωνα με μια έκθεση έρευνας αγοράς, η προβλεπτική συντήρηση αποτελεί μια ευκαιρία αγοράς της τάξης των 11 δισεκατομμυρίων δολαρίων στις ΗΠΑ για τα επόμενα 5 χρόνια. Η προληπτική συντήρηση βοηθά στην πρόβλεψη αποτυχιών προτού προκύψουν με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνητή νοημοσύνη αναμένεται να έχει όλο και μεγαλύτερο ρόλο στην τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών και θα ενσωματωθεί γρήγορα σε πολλές πτυχές της επικοινωνίας, των εφαρμογών, του περιεχομένου και του εμπορίου. Ο κύκλος διαφημίσεων της Gartner των αναδυόμενων τεχνολογιών το 2017 προσθέτει για πρώτη φορά το 5G και τη μηχανική μάθηση.
- **Γνωστικές αναλύσεις:** Η ανάλυση δεδομένων στα 5G θα μεταμορφωθεί σε μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης αλλά και μηχανικής μάθησης αντί των παραδοσιακών περιγραφικών αναλυτικών με βασικές αναφορές. Η αναλυτική στα 5G θα εξελιχθεί σε βαθμό που θα μαθαίνει από το περιβάλλον, θα προβλέπει τι θα συμβεί στη συνέχεια, θα καθορίζει την επόμενη βέλτιστη ενέργεια ή βήμα, και θα μαθαίνει από τα προηγούμενα μοντέλα συμπεριφοράς ώστε να παίρνει την βέλτιστη απόφαση.

7.3 5G ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ANALYTICS

Τα αναλυτικά στοιχεία που βασίζονται στο IoT θα αποτελέσουν ένα μεγάλο μέρος των περιπτώσεων χρήσης στα 5G και όπως εξηγήθηκε παραπάνω, η ανάλυση δεδομένων θα εξελίσσεται συνεχώς [51]. Στο σχήμα 20 φαίνονται τα κορυφαία παραδείγματα χρήσης κατά μοντέλο ωριμότητας σε βασικά κατακόρυφα τμήματα.

	Smart City	Smart Healthcare	Connected Automobile	Industry 4.0
Context-Sensitive	Digital Shopping Experiences, Mobile Broadband, City Transportation	Wearables, Digital Medical History	Driver Behavior, On-board Diagnostics Service Reminders , Tiretronics	Asset Management
Predictive	Traffic Management Waste Management Banking/Insurance	Advanced Diagnostics Predictive Alerts	Insurance Premium Estimation Predictive OBD Alerts	Predictive Maintenance, Output Forecasting, Revenue Forecasting
Prescriptive	Public Safety, Home Safety / Surveillance	Preventive HealthCare	Breakdown Fix, Intelligent Routing Fleet Management	Energy Efficiency Supply Chain Optimization Job Scheduling
Cognitive	Urban Infrastructure Planning Emergency Response Systems City upkeep Bots	Remote Trauma Care	Autonomous/Driverless Cars	Control & Automation

Σχήμα 20: Περιπτώσεις χρήσης 5G

7.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑ 5G

- **Υψηλή ταχύτητα δεδομένων σε κίνηση:** Οι βιομηχανικές τεχνολογίες IoT, οι έξυπνες πόλεις και τα αυτόνομα αυτοκίνητα μεγάλης κλίμακας μπορούν να αντλούν τεράστιες

ποσότητες δεδομένων σε λίγα λεπτά. Η συνδεσιμότητα στα 5G και η μετάδοση με χαμηλή καθυστέρηση θα προστεθούν σε αυτή τη ροή δεδομένων. Επίσης, προηγμένη υποστήριξη υποδομής ομίχλης/νέφους θα χρειαστούν ώστε να υποστηρίξουν την ανάγνωση/εγγραφή με αστραπιαίες ταχύτητες σε αρχιτεκτονικές υπολογισμών και αποθήκευσης νέφους.

- **Υποστήριξη εφαρμογών και δικτύωσης:** Τα δίκτυα 5G θα πρέπει να είναι πολύ περισσότερο από ένα σωλήνα για μεγάλα δεδομένα. Οι αρχιτεκτονικές 5G πρέπει να οριστούν και να οικοδομηθούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα μεγάλα δεδομένα να αλληλοσυνδέονται με την υποστήριξη των υλικών και των αναλυτικών στοιχείων που υπάρχουν για τις κατανεμημένες περιπτώσεις χρήσης δικτύων και εφαρμογών.
- **Ασφάλεια από άκρο σε άκρο:** Τα μεγάλα δεδομένα εγείρουν πολλές ερωτήσεις ασφαλείας, όπως συμβαίνει σήμερα με όλες τις εφαρμογές. Επομένως, είναι σημαντικό να προστατεύεται το απόρρητο ή τα επιχειρησιακά δεδομένα του χρήστη χωρίς κανένα συμβιβασμό. Η οικοδόμηση μιας ισχυρής ασφαλούς υποδομής από συστήματα σε εφαρμογές θα είναι κρίσιμη για το σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική των 5G δικτύων.

7.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

7.5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι μέθοδοι ποσοτικής ανάλυσης βασίζονται στην ικανότητα ακριβούς καταμέτρησης και ερμηνείας δεδομένων βάσει σκληρών γεγονότων. Τρεις μέθοδοι ανάλυσης ποσοτικών δεδομένων είναι οι ακόλουθοι:

1. **Ανάλυση Παλινδρόμησης:** Η ανάλυση παλινδρόμησης [52] χρησιμοποιείται για τη μελέτη της σχέσης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών. Επιπλέον, η τεχνική παλινδρόμησης χρησιμοποιείται για την παρατήρηση αλλαγών στην εξαρτημένη μεταβλητή με αλλαγές στις ανεξάρτητες μεταβλητές. Οι παράμετροι στην εξίσωση παλινδρόμησης λαμβάνονται με τη χρήση μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων.
2. **Δοκιμή υποθέσεων:** Η δοκιμή υποθέσεων [53] είναι η στατιστική διαδικασία για την αποδοχή ή την απόρριψη των στατιστικών υποθέσεων. Η στατιστική υπόθεση είναι μια παραδοχή που γίνεται στην πληθυσμιακή παράμετρο. Στη στατιστική, η ανάλυση πρέπει να γίνει εξετάζοντας ολόκληρο τον πληθυσμό. Όμως, καθώς αυτό θα ήταν πρακτικά δύσκολο, εξετάζεται ένα τυχαίο δείγμα από τον πληθυσμό. Αν τα δεδομένα δείγματος δεν συμφωνούν με τις στατιστικές υποθέσεις, η υπόθεση απορρίπτεται.
3. **Προσομοίωση “Monte Carlo”:** Οι μέθοδοι του Monte Carlo [54] (ή τα πειράματα Monte Carlo) είναι μια ευρεία κατηγορία υπολογιστικών αλγορίθμων που βασίζονται σε επαναλαμβανόμενες τυχαίες δειγματοληψίες για την επίτευξη αριθμητικών αποτελεσμάτων. Η βασική τους ιδέα είναι να χρησιμοποιηθούν τυχαίες λύσεις για την επίλυση προβλημάτων που μπορεί να είναι προκαθορισμένα. Συχνά χρησιμοποιούνται σε φυσικά και μαθηματικά προβλήματα και είναι πολύ χρήσιμα όταν είναι δύσκολο ή αδύνατο να χρησιμοποιηθούν άλλες προσεγγίσεις. Οι μέθοδοι Monte Carlo χρησιμοποιούνται κυρίως σε τρεις κατηγορίες προβλημάτων: βελτιστοποίηση, αριθμητική ολοκλήρωση και δημιουργία ισοπαλικών από μια κατανομή πιθανότητας.

7.5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε αντίθεση με τα ποσοτικά δεδομένα, οι ποιοτικές πληροφορίες απαιτούν απομάκρυνση από καθαρά στατιστικά στοιχεία και προς πιο υποκειμενικές προσεγγίσεις. Ωστόσο, μπορούμε ακόμα να εξάγουμε χρήσιμα δεδομένα χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές ανάλυσης δεδομένων ανάλογα με τις απαιτήσεις μας. Μερικές τεχνικές που επικεντρώνονται σε ποιοτικά δεδομένα είναι:

1. **Ανάλυση περιεχομένου [55]:** Η ανάλυση περιεχομένου έχει οριστεί ως μια συστηματική, αναπαραγόμενη τεχνική για τη συμπίεση πολλών λέξεων κειμένου σε λιγότερες κατηγορίες περιεχομένου βάσει ρητών κανόνων [56]. Ο Holsti (1969) προσφέρει ένα ευρύ ορισμό της ανάλυσης περιεχομένου ως "οποιαδήποτε τεχνική για την πραγματοποίηση συμπερασμάτων με αντικειμενική και συστηματική αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών". Σύμφωνα με τον ορισμό του Holsti, η τεχνική της ανάλυσης περιεχομένου δεν περιορίζεται στον τομέα της κλασσικής ανάλυσης αλλά μπορεί να εφαρμοστεί σε άλλους τομείς, όπως η κωδικοποίηση των μαθησιακών σχεδίων [57] ή στην κωδικοποίηση των ενεργειών που παρατηρούνται στο [58].
2. **Αφηγηματική Ανάλυση:** Αυτό το είδος ανάλυσης επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο οι ιστορίες και οι ιδέες μεταδίδονται σε μια επιχείρηση και μπορούν να βοηθήσουν να κατανοηθεί καλύτερα η οργανωτική κουλτούρα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ερμηνεία του τρόπου με τον οποίο οι εργαζόμενοι αισθάνονται για τη δουλειά τους, τον τρόπο με τον οποίο οι πελάτες αντιλαμβάνονται έναν οργανισμό και τον τρόπο προβολής των επιχειρησιακών διαδικασιών.

8 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ

8.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κυκλοφορία στο Διαδίκτυο αναμένεται να αυξηθεί σταθερά κατά περίπου 25% ετησίως έως το 2020, ως αποτέλεσμα των απαιτήσεων των νέων εφαρμογών όπως το Cloud, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και η αναμενόμενη άφιξη των 5G κινητών δικτύων. Συγκεκριμένα, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας συμβάλλουν περισσότερο στην προβλεπόμενη αύξηση της κυκλοφορίας και επιβαρύνουν σοβαρά τις τεχνολογικές εξελίξεις. Επομένως, με εστίαση στην παραγόμενη κυκλοφορία, αυτή που παράγεται από τις εφαρμογές 5G, η ανάγκη για ανάλυση δεδομένων και εκτίμηση των επιδόσεων καθίσταται απαραίτητη, προκειμένου να ενισχυθεί η επικύρωση και επαλήθευση (V&V) διαφόρων υπηρεσιών δικτύου (NS) σε ετερογενείς πλατφόρμες. Πιο κάτω, θα εστιάσουμε στην ανάλυση των παραγόμενων δεδομένων παρακολούθησης, τα οποία παράγονται από τις υπηρεσίες δικτύου που λειτουργούν σε ένα δίκτυο καθορισμένο από λογισμικό (SDN). Επιπλέον, θα παρουσιαστεί μια προσέγγιση όπου οι υπεύθυνοι ανάπτυξης υπηρεσιών θα επωφεληθούν από όλα τα βασικά στοιχεία για να κατανοήσουν τη συμπεριφορά της υπηρεσίας και να βελτιστοποιήσουν τις δοκιμές στο V&V πριν από την αποστολή της υπηρεσίας δικτύου προς το περιβάλλον παραγωγής.

8.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πρόσφατες εξελίξεις στα δίκτυα ορισμένα από λογισμικό και στην λειτουργία εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου, θα προσφέρουν τη δυνατότητα στους τομείς των τηλεπικοινωνιών να μετασχηματίζουν σημαντικά τα δίκτυά τους [59]. Αυτό το είδος μετασχηματισμού σημαίνει ότι θα τεθούν οι επιχειρηματικοί στόχοι πρώτοι και οι τεχνολογικές επιλογές θα γίνουν δεύτερες, καθώς και θα καταστούν οι διαδικασίες των υπηρεσιών δικτύου πιο αποτελεσματικές μέσω της αυτοματοποίησης. Πολλά ερευνητικά ινστιτούτα έχουν παράσχει μια πρόβλεψη ότι μέχρι το 2020, τα δίκτυα θα μεταφέρουν 120 Exabytes κυκλοφορίας από 25 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές. Μια τέτοια εκρηκτική αύξηση της κυκλοφορίας θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση του δικτύου [60]. Ως εκ τούτου, υπάρχει μια κρίσιμη ανάγκη να υιοθετηθούν οι τεχνολογίες SDN και NFV, προκειμένου να αυξηθεί το επίπεδο προγραμματισμού, ο έλεγχος και η ευελιξία των δικτύων, μειώνοντας παράλληλα το κόστος λειτουργίας του δικτύου. Αυτό θα επιτρέψει να αντιμετωπιστεί ο τεράστιος όγκος κυκλοφορίας, να επιταχυνθεί η εξυπηρέτηση, να μειωθεί ο χρόνος στην αγορά των υπηρεσιών και να επιτευχθεί αποδοτικότερη παροχή υπηρεσιών [61]. Επομένως, το σύστημα ενορχηστρώσεως (NFV-MANO) στο κάτω μέρος του δικτύου, χρειάζεται γνώση σχετικά με τις VNF που παρέχονται από τους αντίστοιχους περιγραφείς. Τα προαναφερθέντα VNF, αποτελούν μια υπηρεσία δικτύου (NS). Όπως ορίζεται από την Ομάδα Προδιαγραφών Βιομηχανίας NFV ETSI (ISG) στην Ορολογία NFV για κύριες έννοιες στο NFV, μια υπηρεσία δικτύου είναι μια σύνθεση των λειτουργιών του δικτύου και ορίζεται από τις λειτουργικές και συμπεριφορικές προδιαγραφές της [62].

Μόλις αναπτυχθούν με επιτυχία οι υπηρεσίες δικτύου, θα διαρκέσουν για μια χρονική περίοδο και θα δοθεί λιγότερη προσοχή στην μετέπειτα απόδοση τους. Μια τέτοια κατάσταση γίνεται ακόμα πιο δύσκολη στα δίκτυα μεγάλης κλίμακας, όπου το σύστημα ενορχήστρωσης δεν μπορεί να ανταποκριθεί σωστά. Σε αυτό το εικονικό περιβάλλον, πρέπει να προβλεφθεί και να

διατεθεί το σωστό ποσό πόρων σε κάθε VNF, έτσι ώστε η εγγυημένη ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) να μην υπερβαίνει τους περιορισμούς χωρητικότητας της υποκείμενης υποδομής. Επιπλέον, οι απαιτήσεις πόρων και οι επιδόσεις ενός VNF εξαρτώνται από τους πόρους που διατίθενται και τις επιδόσεις άλλων VNF, καθώς και από την τρέχουσα κατάσταση της υποδομής. Ως εκ τούτου, καθώς οι 5G υπηρεσίες δικτύου και οι εφαρμογές κερδίζουν δημοτικότητα σε επιχειρησιακούς τομείς, οι καταναλωτές VNF/NS εξακολουθούν να μην διαθέτουν εργαλεία για να επαληθεύσουν ότι οι υπηρεσίες τους λειτουργούν όπως αναμενόταν. Τα εργαλεία αυτά πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ιδιότητες όπως η λειτουργική ορθότητα, η διαθεσιμότητα υπηρεσιών, η αξιοπιστία, οι επιδόσεις και οι εγγυήσεις ασφάλειας. Η στενή αλληλεπίδραση μεταξύ των VNF και των γραφημάτων προώθησης (VNF-FG), με τα λειτουργικά τους περιβάλλοντα (NFV / MEC Infrastructures), δίνει υψηλή προτεραιότητα στην κατανόηση και ικανοποίηση τόσο των λειτουργικών όσο και των μη λειτουργικών απαιτήσεων τους [63]. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις όπως η πρόβλεψη και η διασφάλιση της συνολικής συμπεριφοράς των υπηρεσιών στη δικτύωση 5G, θα πρέπει να εφαρμοστούν δοκιμαστικές μονάδες που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να συμβάλουν στην ανάπτυξη, τυποποίηση και δοκιμή των δικτύων.

Μια πολύ ελπιδοφόρα λύση αυτής της πρόκλησης είναι η Επαλήθευση και Επικύρωση (V&V) των VNFs και NSs, έναντι διαφορετικών πλατφορμών εκτέλεσης, ώστε οι φορείς εκμετάλλευσης υπηρεσιών να είναι βέβαιοι ότι οι υπηρεσίες τους συμπεριφέρονται όπως αναμένεται αμέσως μετά την ανάπτυξη και την παραγωγή τους [64]. Σε αυτή την περίπτωση, μαζί με τα δεδομένα που παράγονται από τις δοκιμές απόδοσης, ο προσδιορισμός της επίδρασης μιας παραμέτρου απόδοσης φαίνεται να έχει ζωτική σημασία. Επιπλέον, προκύπτουν δύο ερωτήματα. Τι δοκιμές ταιριάζουν καλύτερα σε μία υπηρεσία δικτύου; Τι είδους μετρήσεις επιδόσεων χρειάζεται κάποιος να δοκιμάσει για να αποκτήσει γνώσεις σχετικά με τις απαιτήσεις πόρων;

Για να αντιμετωπιστούν οι προαναφερθείσες προκλήσεις, θεωρείτε ότι το κλειδί είναι η πρόβλεψη των σχέσεων μεταξύ των απαιτήσεων πόρων των VNF (π.χ. `cpu_percentage`, `memory_usage`) και των στοχευμένων τιμών των μετρήσεων απόδοσης που διαφέρουν σε κάθε VNF. Στο παρόν κεφάλαιο προτείνεται ένας μηχανισμός εκτίμησης της απόδοσης, βασισμένο σε υπολογισμούς των συσχετίσεων στις VNFs, ο οποίος αναλύει τα δεδομένα παρακολούθησης και τις πληροφορίες απόδοσης, προκειμένου να εντοπίσει εξαρτήσεις μεταξύ των ορισμένων μετρικών τους. Αυτή είναι στην πραγματικότητα μια διαδικασία ηλεκτρονικής μάθησης που ενημερώνει και δυναμικά εξελίσσει τη διαδικασία ελέγχου του V&V.

Το υπόλοιπο κεφάλαιο είναι δομημένο ως εξής: Το υποκεφάλαιο 8.3 παρουσιάζει το ιστορικό υπόβαθρο και το κίνητρο αυτής της εργασίας, ενώ στο υποκεφάλαιο 8.4 γίνεται μια προκαταρκτική αναφορά στο ΚΙΤ ανάπτυξης λογισμικού στο οποίο επισυνάπτεται ο προτεινόμενος μηχανισμός. Το υποκεφάλαιο 8.5 εισάγει τη γενική προσέγγιση της εκτίμησης της απόδοσης.

8.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

8.3.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Για την εκτίμηση απόδοσης λογισμικού παρέχονται πολλά ακαδημαϊκά και εμπορικά εργαλεία, ωστόσο εξακολουθεί να είναι ένα ανοιχτό ερευνητικό θέμα. Αρχικά, οι συγγραφείς του [65] πρότειναν μια λύση για να μειωθεί η πολυπλοκότητα του ταυτόχρονου σχεδιασμού

λογισμικού και υλικού. Για να διεξάγουν την σχεδιαστική εξερεύνηση του χώρου (DSE), εκτίμησαν τον χρόνο εκτέλεσης μιας λειτουργικότητας του λογισμικού που βασίζεται στην περιγραφή του επιπέδου μητρώου μεταφοράς (RTL). Για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα, καθόρισαν πρώτα τις απαιτήσεις, καθώς στη συνέχεια προχώρησαν στην εξαγωγή των λειτουργικών διαδικασιών από τον κώδικα του RTL. Τέλος, εξέτασαν την εκτίμηση της ροής ελέγχου που ήταν απαραίτητη για την εκτίμηση της απόδοσης του λογισμικού. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [66], στο περιοδικό Systems and Software, περιέγραψαν μια αποτελεσματική μέθοδο για την αξιόπιστη εκτίμηση της απόδοσης του λογισμικού. Για να αντιμετωπίσουν την αναποτελεσματικότητα που διαπιστώθηκε σε διάφορες προσεγγίσεις, χρησιμοποίησαν την πολυώνυμη τεχνολογία «Chaos Ex-Pansion» (PCE) ως μέθοδο για την εξάπλωση της αβεβαιότητας και την περαιτέρω επέκταση της χρήσης της σε μια ισχυρή αξιολόγηση επιδόσεων λογισμικού. Ο στόχος είναι να εκτιμηθεί εάν το σύστημα λογισμικού είναι ισχυρό (δηλαδή μπορεί να αντέξει τις πιθανές αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων και να συνεχίσει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις απόδοσης). Επιπλέον, στο [67], εισάγεται ένα εργαλείο που εκτιμά την απόδοση των συστημάτων λογισμικού. Χρησιμοποιώντας μοντέλα Unified Modeling Language (UML), οι συγγραφείς μετασχηματίζουν τα μοντέλα σε δίχτυα Petri, όπου η απόδοση υπολογίζεται με βάση τον υπολογισμό των ανώτερων ορίων παραγωγής. Αξίζει να σημειωθεί επίσης η εργασία που έγινε στο [68], όπου οι συγγραφείς πρότειναν μια μεθοδολογία που βασίζεται σε τεχνικές γρήγορης προσομοίωσης και αναλυτικά εργαλεία που δημιουργούν προγνωστικά μοντέλα για την εκτίμηση των χρόνων εκτέλεσης των στοιχείων σε μια στοχευμένη αρχιτεκτονική με ελάχιστες λεπτομέρειες, προκειμένου να ξεπεραστεί η πρόκληση της ενοποίησης ενός πολύπλοκου συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, μόλις εφαρμοστούν οι υπηρεσίες - εφαρμογές, δίνεται λιγότερη προσοχή στην επακόλουθη επίβλεψη της απόδοσής τους, η οποία μπορεί να επηρεαστεί από τη δυναμική μεταβολή των συνθηκών του δικτύου. Έτσι, οι συγγραφείς στο [69], πρότειναν ένα πλαίσιο για να εγγραφούν την απόδοση των υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, η εκτίμηση της απόδοσης της υπηρεσίας υλοποιείται με βάση τη θεωρία ελάχιστης-μέγιστης άλγεβρας και η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο προσεγγίσεων μετανάστευσης VNF με βάση την ισορροπία φορτίου. Επιπλέον, στο [70], οι συγγραφείς θεωρούν την εκτίμηση απόδοσης του διακόπτη SDN και του ελεγκτή. Διεξάγουν συγκριτική αξιολόγηση για τον διακόπτη και τον ελεγκτή, αποδεικνύοντας ότι οι μη εικονικοποιημένοι διακόπτες χαρακτηρίζονται από υψηλότερες επιδόσεις από τους εικονικοποιημένους. Η έρευνά τους περιλάμβανε ανάλυση του Open-vSwitch σε διάφορα σενάρια και επίσης έθετε σε εφαρμογή συγκριτική αξιολόγηση. Αλλάζοντας τις παραμέτρους και τους κανόνες σε διαφορετικούς πίνακες ροής, μάζεψαν αποτελέσματα όπου κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σε τέτοια σενάρια είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείτε ένας ή δύο αποκλειστικοί διακομιστές με ειδικό λογισμικό όπου θα λειτουργούν ως εξισορροπητές φορτίου.

8.3.2 ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

Καθώς οι υπηρεσίες και οι εφαρμογές δικτύου 5G κερδίζουν δημοτικότητα σε επιχειρησιακούς τομείς, οι καταναλωτές των VNF/NS εξακολουθούν να μην διαθέτουν εργαλεία για να επαληθεύσουν ότι οι υπηρεσίες αυτές λειτουργούν όπως αναμένεται. Τα εργαλεία αυτά πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ιδιότητες όπως η λειτουργική ορθότητα, η διαθεσιμότητα υπηρεσιών, η αξιοπιστία, οι επιδόσεις και οι εγγυήσεις ασφάλειας. Όπως αναφέρθηκε στο [71], το 5G στοχεύει στην επίλυση πολλών προκλήσεων όσον αφορά τη ζήτηση ραδιοφάσματος και τη

σύγκλιση των διαφόρων υπηρεσιών ασύρματης επικοινωνίας. Προκειμένου να αντιμετωπίσουν προκλήσεις όπως η πρόβλεψη και η διασφάλιση της συνολικής συμπεριφοράς των υπηρεσιών στο SDN, πρέπει να εφαρμοστούν δοκιμαστικές μονάδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συμβάλουν στην ανάπτυξη, τυποποίηση και δοκιμή των δικτύων. Τα προαναφερθέντα στάδια της φάσης δοκιμών των υπηρεσιών ονομάζονται επικύρωση. Όπως επισημάνθηκε στο [72], πολλές μέθοδοι για την επικύρωση και την επαλήθευση των εικονικοποιημένων υπηρεσιών έχουν ήδη εφαρμοστεί και δοκιμαστεί. Ωστόσο, η διαδικασία επικύρωσης και επαλήθευσης στις υπηρεσίες 5G δεν έχει ανακαλυφθεί πλήρως. Το πρόγραμμα 5G-Monarch [73], ένα χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ πρόγραμμα, περιγράφει τη μεθοδολογία των διαδικασιών επικύρωσης και επαλήθευσης σε αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου. Ο τύπος της ανάλυσης στη συνολική διαδικασία θα είναι τριών τύπων:

1. **Αναλυτική αξιολόγηση:** Η διαδικασία επαλήθευσης θα πραγματοποιείται μέσω αναλυτικής αξιολόγησης με βάση τις θεωρητικές υποθέσεις και τις αξίες του εξεταζόμενου συστήματος.
2. **Προσομοίωση:** Η διαδικασία επαλήθευσης θα πραγματοποιείται μέσω προσομοίωσης του εξεταζόμενου συστήματος που θα διαμορφώνεται σύμφωνα με τους στόχους της επαλήθευσης.
3. **Μέτρηση του εξεταζόμενου συστήματος:** Η διαδικασία επαλήθευσης θα πραγματοποιείται μέσω πειραματικών μετρήσεων κατά τη διάρκεια δοκιμών στα δοκιμαστικά συστήματα. Τα δεδομένα θα συλλέγονται και υποβάλλονται σε στατιστική επεξεργασία σύμφωνα με τους στόχους της επαλήθευσης. Τα δεδομένα μπορούν να είναι αντικειμενικά (συλλεχθέντα από το σύστημα) ή υποκειμενικά (συλλεχθέντα από τους χρήστες).

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω έρευνες, πιο αποτελεσματικά εργαλεία για τον χαρακτηρισμό των μετρήσεων απόδοσης του δικτύου θα παρέχουν σε ανεξάρτητους προγραμματιστές και σε προγραμματιστές δοκιμών V&V, καθώς και ολοκληρωτές συστημάτων, την ικανότητα να παράγουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας με πιο στοχευμένες δοκιμές που να ικανοποιούν τις ανάγκες του δικτύου. Επίσης, όπως αναφέρει ο Watts Humphrey, "Όταν η ποιότητα είναι ζωτικής σημασίας, απαιτούνται ανεξάρτητοι έλεγχοι, όχι επειδή οι άνθρωποι είναι αναξιόπιστοι αλλά επειδή οι εφαρμογές γράφτηκαν από ανθρώπους" [74].

8.4 ΚΙΤ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ 5GTANGO

Το 5GTANGO είναι ένα πρόγραμμα χρηματοδοτημένο από την Ευρωπαϊκή Ένωση, το οποίο επιτρέπει τον ευέλικτο προγραμματισμό δικτύων 5G καθώς προσφέρει: α) ένα SDK με δυνατότητες NFV, β) μια πλατφόρμα επικύρωσης και επαλήθευσης για την πιστοποίηση των υπηρεσιών και γ) μια πλατφόρμα υπηρεσιών με έναν καινοτόμο ενορχηστρωτή. Λεπτομερέστερα, το SDK παρέχει μια συλλογή εργαλείων που εξουσιοδοτούν τον υπεύθυνο ανάπτυξης υπηρεσιών να δημιουργήσει γρήγορα, να επικυρώσει και να δοκιμάσει τις υπηρεσίες NFV. Παρόλο που πολλά εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μόνα τους,

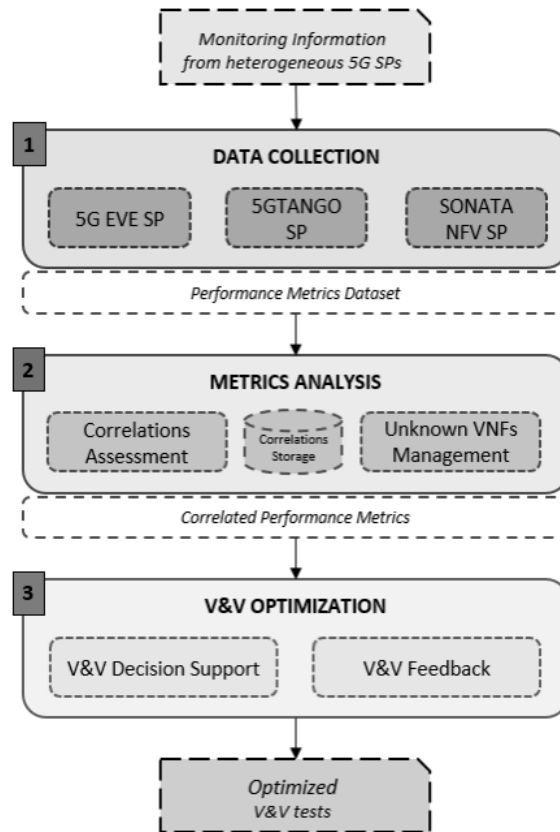
το SDK επιτρέπει μια τυπική ροή εργασίας για προγραμματιστές που υποστηρίζει τη δημιουργία ενός απομονωμένου χώρου εργασίας και περιβάλλοντος έργου, τη δημιουργία και επικύρωση περιγραφών, τη συσκευασία και την επιβίβαση, καθώς και τη δοκιμή και την εξομοίωση σε τοπικό περιβάλλον ανάπτυξης [75]. Επιπλέον, ο Μηχανισμός Εκτίμησης Επιδόσεων προστίθεται ως ένα επιπλέον εργαλείο δημιουργίας προφίλ, προκειμένου να υποστηρίξει το χαρακτηρισμό των VNFs, με στόχο τη διευκόλυνση της καθοριστικής και επαναλαμβανόμενης ανάλυσης, υποστηρίζοντας τις διαδικασίες δοκιμής στην πλατφόρμα V&V.

8.5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Η προτεινόμενη προσέγγιση λαμβάνει υπόψη δεδομένα σχετικά με την απόδοση ενός VNF και την σύνταξη του όσον αφορά τη χρήση των πόρων, μαζί με τον εντοπισμό των κύριων μετρήσεων απόδοσης που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του συγκεκριμένου VNF. Ο στόχος του προαναφερθέντος μηχανισμού είναι να προσφέρει στον εξεταστή δοκιμής μια εσωτερική γνώση των ανεπτυγμένων VNF και, συνεπώς, να εφαρμόσει σε αυτά πιο στοχευμένες δοκιμές.

Η προτεινόμενη προσέγγιση αποτελείται από τρεις φάσεις, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 21. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης, πραγματοποιείται μια μαθησιακή διαδικασία, καθώς ο μηχανισμός συγκεντρώνει δεδομένα παρακολούθησης για διαφορετικά VNF, με τη μορφή συνόλων δεδομένων από διαφορετικές πλατφόρμες 5G (π.χ 5GTANGO [22], SONATA - NFV [22], MATILDA [22], 5G EVE [22]).

Στη συνέχεια, στη δεύτερη φάση, πραγματοποιείται ανάλυση των μετρήσεων απόδοσης των συγκεντρωμένων VNFs, όπου ο συσχετισμός μεταξύ των μετρήσεων αυτών υπολογίζεται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο ανάλυσης δεδομένων. Ακολούθως, το αποτέλεσμα αποθηκεύεται σε μια τοπική βάση δεδομένων NoSQL [76]. Από την άλλη πλευρά, στην τρίτη φάση, ο εξεταστής μπορεί να επωφεληθεί από τις συσχετίσεις και να ενεργοποιήσει βελτιστοποιημένες δοκιμές επικύρωσης και επαλήθευσης, αλλάζοντας τις διαμορφώσεις και τις παραμέτρους στο NS μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στις επόμενες υποενότητες θα περιγραφούν οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του προτεινόμενου μηχανισμού.



Σχήμα 21: Αρχιτεκτονική εργαλείου

8.5.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Κατά την πρώτη φάση του μηχανισμού, λαμβάνει χώρα η συλλογή δεδομένων παρακολούθησης. Σε όλα τα εργαλεία και τους μηχανισμούς ανάλυσης δεδομένων, όπου η ανάγκη δεδομένων είναι υποχρεωτική, η έλλειψη αυτών το καθιστά πρόκληση. Έτσι, για να αποφευχθεί η πρόκληση αυτή, θα έπρεπε να εξεταστούν διαφορετικές πηγές για την παροχή δεδομένων στον μηχανισμό μας. Το σημείο εκκίνησης που εξετάστηκε ήταν οι ήδη διαθέσιμες πλατφόρμες 5G οι οποίες είναι έτοιμες να παρέχουν σε κάποιον δεδομένα παρακολούθησης από τα τρέχοντα VNF τους. Τέτοιες πλατφόρμες 5G που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι α) το 5GTANGO, β) το SONATA - NFV, γ) το MATILDA και δ) το 5G EVE. Ως πρώτο βήμα, πραγματοποιήθηκε η τοπική εγκατάσταση των παραπάνω 5G λύσεων μαζί με τα διαθέσιμα VNFs τους. Στη συνέχεια, τα παρεχόμενα VNFs αναπτύχθηκαν και στρεσαριστηκαν προκειμένου να παράσχουν δεδομένα παρακολούθησης στο εκάστοτε πλαίσιο παρακολούθησης. Τα δεδομένα αυτά, αφορούν στοιχεία υποδομής (φυσικά ή εικονικά στοιχεία ή λειτουργίες, συσκευές τελικού χρήστη, τερματικά, ανιχνευτές κ.λπ.) ή στοιχεία διαχείρισης (π.χ. NFVO, VNMF κ.λπ.). Ακολουθώντας, μέσω των API που παρέχονται από τα προαναφερθέντα πλαίσια παρακολούθησης, ο μηχανισμός μας ζητά ένα δείγμα από τα συλλεχθέντα δεδομένων που έχουν παράσχει τα αναπτυσσόμενα VNFs. Στη συνέχεια ενεργοποιείται μια εσωτερική λειτουργία, η οποία μετατρέπει αυτά τα πρωτογενή δεδομένα σε ένα σύνολο δεδομένων τύπου .csv [77] Το αντίστοιχο σύνολο δεδομένων στη συνέχεια αποθηκεύεται στην τοπική βάση δεδομένων NoSQL του προτεινόμενου μηχανισμού. Ένα παράδειγμα ενός παραγόμενου συνόλου δεδομένων απεικονίζεται στο σχήμα 22.

	T:0	T:1	T:2	T:3
End_to_end_latency	5718.017	1,3230.168	2,7557.772	3,6555.19
Throughput	1.56E+11	1.85E+12	8.50E+10	1.19E+12
Cpu_usage	11213.08	21130.63	13804.15	7549.844
Number_of_streams	7425.427	12649.21	9134.78	2475.142
Number_of_users	9680.359	8052.298	1246.713	5177.525
Ping	7120126	20757859	10789524	799551

Σχήμα 22: Παράδειγμα συνόλου δεδομένων

8.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΙΚΩΝ VNF

Στη δεύτερη φάση της προτεινόμενης προσέγγισης, διεξάγεται ανάλυση και προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο η συμπεριφορά των αναπτυσσόμενων VNFs επηρεάζουν τη συνολική απόδοση υπηρεσίας δικτύου. Αναλυτικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό παραγόντων βάρους σε συγκεκριμένες μετρήσεις παρακολούθησης, με βάση τις παρεχόμενες πληροφορίες που εξάγονται από τα VNFs.

8.6.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ:

Αρχικά, η συσχέτιση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών είναι οποιαδήποτε στατιστική σχέση, αιτιώδης ή μη, μεταξύ των τιμών των μεταβλητών αυτών. Από τη μία πλευρά, ο συσχετισμός είναι οποιαδήποτε από ένα ευρύ φάσμα κατηγοριών μιας στατιστικής σχέσης που περιλαμβάνει εξάρτηση. Γενικότερα, ο συσχετισμός μεταξύ μεταβλητών αναφέρεται στην ύπαρξη μιας γραμμικής σχέσης μεταξύ τους. Ορισμένα παραδείγματα εξαρτώμενων φαινομένων είναι η συσχέτιση μεταξύ της φυσικής κατάστασης των γονέων και των απογόνων τους ή ακόμη και της συσχέτισης μεταξύ της ζήτησης για ένα προϊόν σε σύγκριση με την αξία του. Στην περίπτωσή μας, στόχος μας ήταν να υπολογίσουμε και να ορίσουμε τη σημασία μιας μεταβλητής – μετρική απόδοσης σε ένα VNF. Για να γίνει αυτό, και ενώ σε άτυπη γλώσσα η σημασία είναι συνώνυμη με τη συσχέτιση, χρησιμοποιήσαμε τον συντελεστή συσχέτισης Pearson [78]. Η συσχέτιση του Pearson είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα μέτρα γραμμικής εξάρτησης, καθώς μετρά τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ συνεχών μεταβλητών. Με άλλα λόγια, αυτός ο παράγοντας ποσοτικοποιεί την έκταση στην οποία η σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών μπορεί να περιγραφεί από μια γραμμή. Είναι αξιοσημείωτο ότι ενώ ο συσχετισμός μπορεί να έχει πολλές ερμηνείες, ο ίδιος τύπος που αναπτύχθηκε από τον Karl Pearson πριν από 120 χρόνια εξακολουθεί να είναι ο πλέον διαδεδομένος σήμερα. Έτσι, ο προτεινόμενος Μηχανισμός Εκτίμησης Επιδόσεων χρησιμοποιεί τον αρχικό τύπο συσχέτισης του Pearson για να υπολογίσει τον συσχετισμό, ο οποίος χρησιμοποιεί ακατέργαστα δεδομένα δύο μεταβλητών παρακολούθησης, X και Y. Ο τύπος που εμφανίζεται στο σχήμα 23 δείχνει πώς η σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών μπορεί να εκτιμηθεί και στη συνέχεια να υπολογιστεί πόσο ισχυρή είναι η τελική τιμή συντελεστή. Η τιμή του παράγοντα μπορεί να είναι μεταξύ -1,00 και 1,00.

$$\rho_{X, Y} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Σχήμα 23: Τύπος συσχέτισης Pearson

Αν η τιμή του συντελεστή βρίσκεται στο αρνητικό εύρος, τότε η σχέση μεταξύ των μεταβλητών είναι αρνητικά συσχετισμένη, πράγμα που σημαίνει ότι, καθώς μια τιμή αυξάνεται, η άλλη μειώνεται. Αντίθετα, εάν η τιμή βρίσκεται στο θετικό εύρος, τότε η σχέση μεταξύ των μεταβλητών συσχετίζεται θετικά ή και οι δύο έχουν την ίδια αντίδραση. Ένα παράδειγμα μιας πιθανής εξόδου του μηχανισμού μας απεικονίζεται στο σχήμα 25. Συμπερασματικά, όπως φαίνεται στο σχήμα, καταλαβαίνουμε ότι το χρώμα είναι λευκό όταν δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών (η τιμή συσχετισμού είναι ίση με 0 ή συγκλίνει στο 0). Όταν το χρώμα είναι βαθύ μαύρο, αυτό σημαίνει ότι ο μηχανισμός μας έχει υπολογίσει μια αρκετά μεγάλη θετική συσχέτιση, ενώ το βαθύτερο γκρι χρώμα δείχνει ότι υπάρχει μια μεγάλη αρνητική συσχέτιση. Κατά τον υπολογισμό της συσχέτισης μεταξύ όλων των μεταβλητών, ο μηχανισμός μας δεν αποκλείει τον υπολογισμό της συσχέτισης κάθε μετρικής με τον εαυτό της, ο οποίος προφανώς ισοδυναμεί με την τιμή 1. Επομένως, στο σχήμα 24 υπάρχει πάντα μια νοητή γραμμή από την αριστερή κορυφή προς τη κάτω δεξιά κορυφή του σχήματος. Τα υπόλοιπα τετράγωνα, δείχνουν τη συσχέτιση μεταξύ των διαφορετικών μετρήσεων. Για παράδειγμα, η μετρική "number_of_streams" με τη μέτρηση "ping" σχετίζεται άμεσα σε μεγάλο βαθμό.

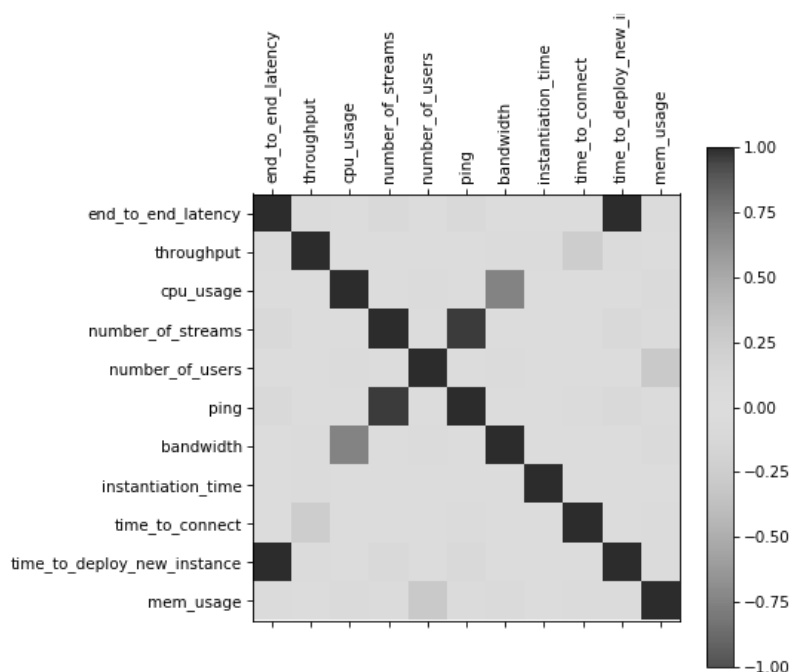
```
[
  {
    "_id": "5c179dae1e16324f4449aaaa",
    "vnf": {
      "vnf_id": "vpn_vnf"
    },
    "correlations": [
      {
        "level_0": "end_to_end_latency",
        "level_1": "time_to_deploy_new_instance",
        "values": 0.9999978642
      },
      {
        "level_0": "number_of_streams",
        "level_1": "ping",
        "values": 0.9683217364
      },
      {
        "level_0": "cpu_usage",
        "level_1": "bandwidth",
        "values": 0.7045926301
      },
      {
        "level_0": "number_of_users",
        "level_1": "mem_usage",
        "values": 0.2736615039
      },
      {
        "level_0": "throughput",
        "level_1": "time_to_connect",
        "values": 0.235993478
      }
    ]
  }
]
```

Σχήμα 24: Παράδειγμα αποτελέσματος εργαλείου σε μορφή Json

8.6.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ

Δεδομένου του μεγάλου όγκου των δεδομένων που δημιουργήθηκαν και αναλύθηκαν στον προτεινόμενο μηχανισμό εκτίμησης επιδόσεων, εισήχθη ένα εσωτερικό αποθετήριο, προκειμένου να αποθηκευτούν και να διαχειριστούν όλες οι παραγόμενες συσχετίσεις, μεταξύ των μετρήσεων απόδοσης του κάθε VNF. Το γεγονός ότι δεν απαιτείται σχήμα δεδομένων σε βάσεις δεδομένων NoSQL, μας οδήγησε στη χρήση μιας τέτοιας βάσης. Ένα παράδειγμα ενός εγγράφου για το αποτέλεσμα του μηχανισμού μας απεικονίζεται επίσης στο σχήμα 24.

Όπως φαίνεται στο προαναφερθέν σχήμα, ένα έγγραφο JSON παράγεται και αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Ένα πεδίο "id" ρυθμίζεται αυτόματα από το σύστημα βάσης δεδομένων ενώ ένα πεδίο "vnf" με το "vnf_id" περιγράφει το είδος του VNF στο έγγραφο. Σε χαμηλότερο επίπεδο του JSON, το πεδίο "συσχετίσεις" περιγράφει τους πέντε κορυφαίους συσχετισμούς μεταξύ των αναλυόμενων μετρήσεων του εκάστοτε VNF.



Σχήμα 25: Παράδειγμα αποτελέσματος εργαλείου με μορφή σχήματος

8.6.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΓΝΩΣΤΩΝ VNF

Κατά την εφαρμογή του προτεινόμενου μηχανισμού προέκυψε μια πρόκληση. Ο προτεινόμενος μηχανισμός δεν μπορεί να έχει αρχική γνώση για όλα τα είδη των VNF. Επομένως, ο μηχανισμός θεωρεί τα "άγνωστα" VNF ως ένα μαύρο κουτί. Για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα, μια λίστα των μη γνωστών VNFs αποθηκεύεται σε μια ξεχωριστή συλλογή της προαναφερθείσας βάσης δεδομένων NoSQL. Ως επόμενο βήμα, τα "άγνωστα" VNF αναπτύσσονται στην πλατφόρμα υπηρεσιών. Στη συνέχεια, ζητούνται δεδομένα παρακολούθησης από το πλαίσιο παρακολούθησης για τα αντίστοιχα VNFs και ακολούθως εκτελούνται τα βήματα υπολογισμού των συσχετίσεων στις μετρικές των VNF καθώς και στην αποθήκευση του αποτελέσματος. Τελικά, ο προτεινόμενος μηχανισμός θα

επωφεληθεί από αυτή τη διαδικασία εκμάθησης, προκειμένου να ανταποκριθεί σε μελλοντικά αιτήματα.

8.6.4 ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΑ API

Ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να λειτουργήσει ως εφαρμογή ιστού, παρέχοντας κλήσεις σε REST APIs [79] τα οποία χρησιμοποιούνται για τη κατανάλωση των λειτουργιών που παρέχονται. Τα παρεχόμενα APIs απεικονίζονται και επεξηγούνται στο σχήμα 26. Αρχικά, περιγράφεται ένα σημείο για την ανάκτηση της συσχέτισης των μετρήσεων για τα VNFs σε ένα NS. Επίσης, ένα νέο σύνολο δεδομένων για ένα πρόσφατα προστεθέν VNF μπορεί να μεταφορτωθεί για ανάλυση χρησιμοποιώντας άλλο ένα τελικό σημείο του μηχανισμού. Παρέχονται επίσης τελικά σημεία διαχείρισης για την ανάκτηση των VNF που υποστηρίζονται - έχουν αναλυθεί επί του παρόντος, καθώς και των "αγνώστων" VNFs για τα οποία ο μηχανισμός έχει ζητηθεί να δώσει αποτέλεσμα χωρίς να είναι ήδη εκπαιδευμένος.

Λειτουργία	Μέθοδος HTTP	Τελικό Σημείο
Κατανάλωση συσχετίσεων από VNFs σε μία NS	GET	curl -X GET -H "Content-type:application/json" http://localhost:8080/tng-sdk-analyze-weight/api/weight/v1/"nsd_uuid"
Μεταφόρτωση νέου συνόλου δεδομένων για έναν νέο τύπο VNF	POST	curl -X POST -H "Content-type:application/json" http://localhost:8080/tng-sdk-analyze-weight/api/weight/v1/train/new/vnf/"vnf_type"
Κατανάλωση συσχετίσεων σε μορφή JSON εγγράφου σε μία λίστα από υποστηριζόμενα VNFs	GET	curl -H "Content-type:application/json" http://localhost:8080/tng-sdk-analyze-weight/api/weight/v1/vnftype?vnf_type=?,?,?,?,?
Κατανάλωση λίστας των υποστηριζόμενων τύπων VNF	GET	curl -X GET http://localhost:8080/tng-sdk-analyze-weight/api/weight/v1/mgmt/knownvnfs
Κατανάλωση λίστας των μη υποστηριζόμενων τύπων VNF	GET	curl -X GET http://localhost:8080/tng-sdk-analyze-weight/api/weight/v1/mgmt/unknownvnfs
Κατανάλωση σχήματος συσχετίσεων για ένα τύπο VNF	GET	curl -X GET http://localhost:8080/tng-sdk-analyze-weight/api/weight/v1/mgmt/"vnf_type"

Σχήμα 26: Υποστηριζόμενα APIs εργαλείου

8.7 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας φάσης, το όραμα της προτεινόμενου εργαλείου, είναι η βελτιστοποίηση της επαλήθευσης και επικύρωσης των δικτυακών υπηρεσιών σε ετερογενείς υποδομές 5G (π.χ 5GTANGO, MATILDA, 5G EVE κλπ.). Ο κύριος στόχος της φάσης αυτής είναι να επεξεργαστούν αποτελεσματικά οι συσχετισμένες μετρήσεις απόδοσης των διαφορετικών VNF, προκειμένου να υποστηριχτεί η ανατροφοδότηση επικύρωσης από τους προγραμματιστές δοκιμών κατά την επαλήθευση των στοχευμένων KPIs. Ως αποτέλεσμα, οι

παρεχόμενοι συσχετισμοί και οι εκτιμήσεις απόδοσης θα βελτιώσουν τις δοκιμές επικύρωσης παρέχοντας τις βέλτιστες επιλογές ανάπτυξης (π.χ. όσον αφορά τη συνύπαρξη τεχνολογιών) όπως επίσης επισημαίνεται στο [80]. Με στόχο τη συνεχή βελτιστοποίηση, η προτεινόμενη προσέγγιση εισάγει την ιδέα ενός μηχανισμού υποστήριξης αποφάσεων, ο οποίος θα λαμβάνει όλες τις αποφάσεις διαχείρισης σε όλα τα στρώματα για να πραγματοποιήσει τη βελτιστοποίηση με αποδοτικό τρόπο. Επίσης, εκμεταλλεύεται διάφορους αλγόριθμους εξόρυξης και επεξεργασίας δεδομένων ως συνεισφορά στις λειτουργίες μετα-μάθησης και βελτιστοποίησης προκειμένου να παρέχει αυτοματοποιημένη αναφορά προστιθέμενης αξίας των δοκιμών του V&V. Ως εκ τούτου, υποστηριζόμενος από μια σειρά δοκιμασμένων και υψηλής ποιότητας διαδικασιών, ο μηχανισμός θα διασφαλίσει ότι κάθε δοκιμή V&V εκτελείται σύμφωνα με τα απαιτούμενα πρότυπα.

9 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ

9.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΟΔΗΓΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΗΣ

Το εργαλείο ανάλυσης δεδομένων του 5GTANGO `tng-analyze-weight-tool`, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι μέρος του SDK στο έργο 5GTANGO. Είναι μια εφαρμογή βασισμένη στη γλώσσα προγραμματισμού Python που χρησιμοποιεί βιβλιοθήκες ανάλυσης δεδομένων για να αναλύσει τις μετρήσεις απόδοσης των αλυσιδωτών λειτουργιών εικονικού δικτύου (VNFs) σε μια υπηρεσία δικτύου (NS). Ξεκινώντας μια διαδικασία εκμάθησης εκτός σύνδεσης με δεδομένα που συλλέγονται από τις δοκιμές απόδοσης ενός NS ή ακόμα και από το περιβάλλον παραγωγής, υπολογίζει και αποθηκεύει τις εξαρτήσεις μεταξύ των μετρήσεων παρακολούθησης των VNF σε μια βάση δεδομένων NoSQL. Στη συνέχεια, παρέχοντας APIs καθώς και γραφικό περιβάλλον, ο τελικός χρήστης μπορεί να ζητήσει και να πάρει τις εξαρτήσεις των μετρικών στα VNFs, αποκτώντας έτσι μια εσωτερική γνώση της συμπεριφοράς απόδοσης της NS. Μεταξύ άλλων, ο τελικός χρήστης μπορεί επίσης να ζητήσει εξαρτήσεις μιας λίστας VNF, ενώ εκείνες που είναι ακόμα άγνωστες στο εργαλείο αποθηκεύονται σε άλλη συλλογή της βάσης δεδομένων.

9.1.1 ΚΥΡΙΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

- Κατανάλωση συσχετίσεων από VNFs σε μία NS
- Μεταφόρτωση νέου συνόλου δεδομένων για έναν νέο τύπο VNF
- Κατανάλωση συσχετίσεων σε μορφή JSON εγγράφου σε μία λίστα από υποστηριζόμενα VNFs
- Κατανάλωση λίστας των υποστηριζόμενων τύπων VNF
- Κατανάλωση λίστας των μη υποστηριζόμενων τύπων VNF
- Κατανάλωση σχήματος συσχετίσεων για ένα τύπο VNF

9.1.2 ΕΞΑΡΤΗΣΕΙΣ

9.1.2.1 ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Το `tng-sdk-analyze-weight` έχει προγραμματιστεί χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού Python 3.7. Χρησιμοποιεί κυρίως το Microframework το Flask που επιτρέπει την αλληλεπίδραση με αυτό χρησιμοποιώντας APIs. Επίσης, μέρος του εργαλείου είναι μια εφαρμογή Web, σχεδιασμένη με τεχνολογίες HTML/CSS/JAVASCRIPT.

9.1.2.2 ΠΛΑΙΣΙΑ

- Flask - Python Microframework

9.1.2.3 ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΕΣ

- Pandas : v0.23.4 (Apache 2.0)
- Matplotlib: v3.0.2 (Apache 2.0)
- Pymongo: 3.7.2 (Apache 2.0)
- Logmatic-Python: 0.1.7 (Apache 2.0)

9.2 ΤΟΠΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (ΜΕ ΧΡΗΣΗ DOCKER CONTAINERS)

```
git clone https://github.com/sonata-nfv/tng-sdk-analyze-weight
cd tng-sdk-analyze-weight
docker-compose up
```

9.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Οι παρακάτω διαμορφώσεις που ορίζονται στο Dockerfile του εργαλείου απεικονίζονται στο σχήμα 27:

```
# Use an official Python runtime as a parent image
FROM python:3.7-slim

# Copy the current directory contents into the container at /app
ADD . /app

# Set the working directory to /app
WORKDIR /app

# Set Mongo Instance Environment Variables
ENV DATABASE_HOST mongo
ENV DATABASE_NAME tng-sdk-analyze-weight
ENV DATABASE_PORT 27017

# Set Catalogue Environment Variables
ENV CATALOGUES_URL http://tng-cat:4011/catalogues/api/v2/

# Set MONITORING URL Environment Variables
ENV MONITORING_URL http://son-monitor-manager:8000/api/v1/

# Set Db/Collections Environment Variables
ENV DICT_COLL dictionaries
ENV UNK_COLL unknown_vnfs
ENV ENC_FIGS_COLL encoded_figs

#Set Log Level Environment Variable
ENV LOG_LEVEL INFO

# Install any needed packages specified in requirements.txt
RUN pip install --trusted-host pypi.python.org -r requirements.txt

# Make port 8084 available to the world outside this container
EXPOSE 8084

# Run app.py when the container launches
CMD ["python", "main.py"]
```

Σχήμα 27: Διαμορφώσεις εγκατάστασης Dockerfile

9.4 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η MongoDB χρησιμοποιείται ως βάση δεδομένων καθώς περιλαμβάνει τις ακόλουθες συλλογές:

- **dictionaries:** Αποθηκεύει τις συσχετίσεις για κάθε μετρική κάθε VNF
- **unknown_vnfs:** Αποθηκεύει τα VNFs τα οποία ο μηχανισμός δεν είναι ακόμα εκπαιδευμένος να δώσει αποτέλεσμα.
- **encoded_figs:** Αποθηκεύει το σχήμα συσχετίσεων σε μορφή base64, το οποίο μπορεί εύκολα να παρουσιαστεί σε μία δικτυακή εφαρμογή.

9.5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΧΡΗΣΗΣ

Η βιβλιοθήκη logging-python 0.1.7 χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή στοιχείων καταγραφής σε μορφή JSON. Παράδειγμα ενός στοιχείου καταγραφής φαίνεται πιο κάτω.

```
{
  "asctime": "2018-02-16T09:51:31Z",
  "name": "test", "processName": "MainProcess",
  "filename": "write_in_console.py",
  "funcName": "<module>",
  "levelname": "INFO",
  "lineno": 20,
  "module": "write_in_console",
  "threadName": "MainThread",
  "message": "classic message",
  "special": "value",
  "run": 12,
  "timestamp": "2016-02-16T09:51:31Z",
  "hostname": "<your_hostname>"
}
```

9.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε μια προσέγγιση εκτίμησης της απόδοσης των λειτουργιών δικτύου 5ης γενιάς, με στόχο τις στοχευμένες δοκιμές επικύρωσης και επαλήθευσης σε διαφορετικές πλατφόρμες 5G. Ο προτεινόμενος μηχανισμός είναι μέρος του 5GTANGO SDK και στοχεύει στη βελτιστοποίηση του V&V, παρέχοντας συσχετισμούς των μετρήσεων απόδοσης, εξετάζοντας πληροφορίες παρακολούθησης από ετερογενείς υποδομές 5G. Όπως είδαμε, πέραν από την κατανόηση της συμπεριφοράς ενός NS, η προτεινόμενη προσέγγιση έχει σημαντικό αντίκτυπο και στο πεδίο της επαλήθευσης και επικύρωσης των NSs. Ωστόσο, συνειδητοποιούμε ότι ο κόσμος δεν παραμένει ακίνητος, καθώς η τεχνολογία και οι κανονισμοί, μεταξύ άλλων, εξελίσσονται νέες τεχνικές και προκλήσεις, πιέζοντας νέες αλλαγές και όρια.

Επί του παρόντος, εργαζόμαστε για την αξιολόγηση της προτεινόμενης προσέγγισης, συγκεντρώνοντας πληροφορίες ανάπτυξης από διαφορετικές δοκιμαστικές μονάδες 5G και πιο

περίπλοκες NS. Το μελλοντικό μας έργο περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός μηχανισμού που θα χρησιμοποιεί διαφορετικούς αλγορίθμους ταξινόμησης για να αναγνωρίσει τους άγνωστους τύπους VNFs και να τις ταξινομήσει σύμφωνα με τον τύπο τους, με αποτέλεσμα την καλύτερη λύση εκτίμησης συσχετισμού, ακόμη και αν έχουμε περιορισμένη γνώση για τα αντίστοιχα VNFs. Επίσης, στοχεύουμε στην υλοποίηση περισσότερων προσεγγίσεων αναγνώρισης συσχετίσεων μεταξύ των μετρικών απόδοσης των VNF με στόχο την αποτελεσματικότητα ελαστικότητα κτλ.

10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Cisco white paper: "Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2015-2020," Cisco, 2016.
- [2] Alcatel Lucent – Bell Labs white paper, "Metro network traffic growth: an architecture impact study", 2013.
- [3] V. Lopez, L. Velasco, "Elastic Optical Networks. Architectures, Technologies, and Control", Springer 2016.
- [4] Y. Pointurier, "Design of Low-Margin Optical Networks", IEEE/OSA Journal Optical Communications and Networking, 2017.
- [5] O. Gerstel, C. Filsfilis, T. Telkamp, M. Gunkel, M. Horneffer, V. Lopez, A. Mayoral, "Multi-layer capacity planning for IP-optical networks", IEEE Communications Magazine, 2014.
- [6] White paper: "Transforming Margin into Capacity with Liquid Spectrum", Ciena, 2016.
- [7] P. Soumplis, K. Christodouloupoulos, M. Quaqlioti, A. Paggano, E. Varvarigos, "Actual Margins Algorithm for Multiperiod Planning", Optical Fiber Communications Conference, 2017.
- [8] P. Papanikolaou, K. Christodouloupoulos, E. Varvarigos, "Joint Multi-layer Survivability Techniques for IP-Over-Elastic-Optical-Networks", IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2017.
- [9] A. Basta, W. Kellerer, M. Hoffmann, H. J. Morper, K. Hoffmann, "Applying NFV and SDN to LTE Mobile Core Gateways, the Functions Placement Problem", All Things Cellular, 2014.
- [10] J. Liu, Z. Jiang, N. Kato, O. Akashi; A. Takahara, "Reliability evaluation for NFV deployment of future mobile broadband networks", IEEE Wireless Communications, 2016.
- [11] K. Kerpez, et. al., "Software-Defined Access Networks," IEEE Communications Magazine, 2014
- [12] T. Benson, A. Akella, and D. Maltz, "Unraveling the complexity of network management," in Proc. 6th USENIX Symp. Networked Syst. Design Implement., 2009, pp. 335–348.
- [13] B. Raghavan et al., "Software-defined internet architecture: Decoupling architecture from infrastructure," in Proc. 11th ACM Workshop Hot Topics Netw., 2012, pp. 43–48.
- [14] A. Ghodsi et al., "Intelligent design enables architectural evolution," in Proc. 10th ACM Workshop Hot Topics Netw., 2011, pp. 3:1–3:6.
- [15] "Openflow", Online: <http://flowgrammable.org/sdn/openflow/>
- [16] P. Newman, G. Minshall, and T. L. Lyon, "IP switching VATM under IP," IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 6, no. 2, pp. 117–129, Apr. 1998.
- [17] N. Gude et al., "NOX: Towards an operating system for networks," Comput. Commun. Rev., vol. 38, no. 3, pp. 105–110, 2008.
- [18] H. Jamjoom, D. Williams, and U. Sharma, "Don't call them middle-boxes, call them middlepipes," in Proc. 3rd Workshop Hot Topics Softw. Defined Netw., 2014, pp. 19–24.
- [19] S. Schenker, "The future of networking, the past of protocols," Oct. 2011. [Online]. Available: <http://www.youtube.com/watch?v=YHeyuD89n1Y>.
- [20] H. Alkhatib et al., "IEEE CS 2022 Report (Draft)," IEEE Computer Society, Tech. Rep., Feb. 2014.
- [21] <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>
- [22] <https://bscw.5g-ppp.eu/pub/bscw.cgi/d257916/Euro%205G%20Annual%20Journal%202018-v1.1.pdf>

- [23] https://5gcar.eu/wp-content/uploads/2017/05/5GCAR_D2.1_v1.0.pdf
- [24] Mininet. (2013, Mar). An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC). [Online]. Available: <http://mininet.org/>
- [25] Floodlight. (2013, Mar). Open Source Software for Building SoftwareDefined Networks. [Online]. Available: <http://www.projectfloodlight.org/floodlight/>
- [26] OpenFlow (2013, Jul). OpenFlow 1.3.2 Specification. [Online]. Available: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/openflow/openflow-spec-v1.3.2.pdf>
- [27] M. Zec and M. Mikuc. Operating system support for integrated network emulation in imunes. In Proc. of the 1st Workshop on Operating System and Architectural Support for the on-demand IT InfraStructure (OASIS), 2004
- [28] M. Hibler et al., Large-scale virtualization in the emulab network testbed. In USENIX 2008 Annual Technical Conference. USENIX, 2008, pp. 113-128
- [29] T. R. Henderson et al., “Network Simulations with the ns-3 Simulator,” ACM SIGCOMM ’08, Seattle, WA, Aug. 17–22, 2008.
- [30] EstiNet 8.0 OpenFlow Network Simulator and Emulator, EstiNet Technologies Inc., <http://www.estinet.com>.
- [31] S. Y. Wang and H. T. Kung, “A Simple Methodology for Constructing Extensible and High-Fidelity TCP/IP Network Simulators,” IEEE INFOCOM ’99, New York, Mar.21–25, 1999.
- [32] D. D. M. Marcelo et al., “Internet do futuro: Um Novo Horizonte,” in Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 2009, pp. 1-59
- [33] L. Bob et al., “A network in a laptop: rapid prototyping for softwaredefined networks.” In Proceedings of the Ninth ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks, Hotnets, vol. 10, no. 19, pp. 1-6, Oct. 2010
- [34] Mininet. (2013, Mar). An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC). [Online]. Available: <http://mininet.org/>
- [35] <https://www.sdxcentral.com/nfv/mano/>
- [36] <https://www.etsi.org/>
- [37] <https://www.sdxcentral.com/directory/projects/>
- [38] <https://www.sdxcentral.com/nfv/definitions/opnfv/>
- [39] <https://www.sdxcentral.com/directory/services/>
- [40] <https://www.sdxcentral.com/reports/nfv-vnf-download-2018/>
- [41] <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/what-is-a-ddos-attack/>
- [42] H. Karl, S. Draxler, M. Peuster, A. Galis, M. Bredel, A. Ramos, J. Mar- ´at, M. S. Siddiqui, S. van Rossem, W. Tavernier et al., “DevOps for network function virtualisation: an architectural approach,” Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, vol. 27, no. 9, pp. 1206– 1215, 2016.
- [43] M. Peuster and H. Karl, “Understand Your Chains: Towards Performance Profile-based Network Service Management,” in 5th European Workshop on Software Defined Networks (EWSDN’16). IEEE, 2016.
- [44] “Osm release two: A technical overview,” ETSI, Tech. Rep., 2017.
- [45] G. Xilouris, E. Trouva, F. Lobillo, J. Soares, J. Carapinha, M. J. McGrath, G. Gardikis, P. Paglierani, E. Pallis, L. Zuccaro et al., “TNOVA: A marketplace for virtualized network functions,” in Networks and Communications (EuCNC), 2014 European Conference on. IEEE, 2014, pp. 1–5.
- [46] SONATA Consortium, “SONATA Project,” <http://sonata-nfv.eu>, 2017.
- [47] W. Tavernier et al., “D3.3. SONATA SDK final release,” <http://sonata-nfv.eu/sites/default/files/sonata/public/content-files/>

- deliverables/SONATA%20D3.3%20SDK%20final%20release.pdf, SONATA Project, Tech. Rep., 2017.
- [48] I. Pelle, T. Levai, F. Németh, and A. Gulyás, “One Tool to Rule Them All: A Modular Troubleshooting Framework for SDN (and Other) Networks,” in Proceedings of the 1st ACM SIGCOMM Symposium on Software Defined Networking Research, ser. SOSR ’15. New York, NY, USA: ACM, 2015, pp. 24:1–24:7. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2774993.2775014>
- [49] M. Peuster, H. Karl, and S. van Rossem, “MeDICINE: Rapid prototyping of production-ready network services in multi-PoP environments,” in 2016 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), Nov 2016, pp. 148–153.
- [50] “ISO/IEC Guide 2:2004, Standardization and related activities – General vocabulary,” ISO/IEC, Tech. Rep., 2004.
- [51] <https://www.sisense.com/blog/5-techniques-take-data-analysis-another-level/>
- [52] <https://www.chegg.com/homework-help/definitions/linear-regression-31>
- [53] <https://www.chegg.com/homework-help/definitions/hypothesis-testing-31>
- [54] https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method
- [55] Stemler, S. (2001). An overview of content analysis. Practical assessment, research & evaluation, 7(17), 137-146.
- [56] Berelson, B. (1952). Content Analysis in Communication Research. Glencoe, Ill: Free Press.
- [57] <http://www.tcrecord.org/Content.asp?ContentID=10634>
- [58] Stigler, J.W., Gonzales, P., Kawanaka, T., Knoll, S. & Serrano, A. (1999). The TIMSS Videotape Classroom Study: Methods and Findings from an Exploratory Research Project on Eighth-Grade Mathematics Instruction in Germany, Japan, and the United States. U.S. Department of Education National Center for Educational Statistics: NCES 99-074. Washington, D.C.: Government Printing Office.
- [59] “NFV and SDN technology benefits drive telecom changes”, Online: <https://searchnetworking.techtarget.com/opinion/NFV-and-SDN-technology-benefits-drive-telecom-changes>
- [60] “<https://www.infosys.com/industries/communication-services/white-papers/Documents/software-defined-network.pdf>”, Online: <https://www.infosys.com/industries/communication-services/white-papers/Documents/software-defined-network.pdf>
- [61] “New telecom transformation goals require service automation”, Online: <https://searchnetworking.techtarget.com/tip/New-telecom-transformation-goals-require-service-automation>
- [62] “Network Function Virtualization (NFV); Terminology for Main Concepts in NFV”, Online: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/003/01.01.01_60/gs_NFV003v010101p.pdf
- [63] Tsvetkov, et al. “A configuration management assessment method for SON verification.”, in 11th IEEE International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS), 2014.
- [64] M. Zhao et al., "Verification and validation framework for 5G network services and apps," IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), Berlin, pp. 321-326, 2017.
- [65] H. Puttnies, C. Niemann, S. Rohde, D. Timmermann and J. Schacht, "Towards software performance estimation based on register-transfer level descriptions," in IEEE Nordic

- Circuits and Systems Conference (NORCAS): NORCHIP and International Symposium of System-on-Chip (SoC), Linkoping, pp. 1-6, 2017
- [66] A. Aleti, C. Trubiani, A. van Hoorn, P. Jamshidi, "An efficient method for uncertainty propagation in robust software performance estimation", *Journal of Systems and Software*, vol. 138, pp. 222 - 235, 2018
- [67] Rodríguez, R. J. A, "Petri net tool for software performance estimation based on upper throughput bounds. *Automated Software Engineering*", 24(1), 73-99, 2017.
- [68] Hafnaoui, Imane, et al. "A simulation-based model generator for software performance estimation." *Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference*. Society for Computer Simulation International, 2016.
- [69] Yi, B., Wang, X., & Huang, M. SDN/NFV-enabled performance estimation framework for SFC optimization. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 7, pp. 29, 2018.
- [70] M. Beshley, M. Seliuchenko, O. Panchenko, O. Zyuzko and I. Kahalo, "Experimental performance analysis of software-defined network switch and controller," 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, 2018, pp. 282-286, 2018.
- [71] Kalliovaara, J., Ekman, R., Paavola, J., Jokela, T., Hallio, J., Auranen, J., ... & Kokkinen, H, "Designing a Testbed Infrastructure for Experimental Validation and Trialing of 5G Vertical Applications." *International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks*. Springer, Cham, 2017.
- [72] "Methodology for verification and validation of 5G-MoNArch architectural innovations", Online: https://5g-monarch.eu/wp-content/uploads/2018/07/5G-MoNArch_761445_D6.2_Methodology_for_verification_and_validation_architectural_innovations_v1.0.pdf
- [73] "Documentation of Requirements and KPIs and Definition of Suitable Evaluation Criteria", Online: http://sinakhatibi.com/wp-content/uploads/2017/11/5G-MoNArch_761445_D6.1_Documentation_of_Requirements_and_KPIs_and_Definition_of_Suitable_Evaluation_Criteria_v1.0.pdf
- [74] "Notes from Managing the Software Process, by Watts Humphrey", Online: <http://ebooks.bharathuniv.ac.in/gdlc1/gdlc1/Software%20Engineering/Managing%20the%20Software%20Process%20-%20Watts%20Humphrey.pdf>
- [75] "5GTANGO Architecture", Online: <https://5gtango.eu/about-5g-tango/architecture.html>
- [76] "MongoDB: Open Source Document Database", Online: <https://www.mongodb.com/>
- [77] Shafranovich, Y. "Common format and MIME type for comma separated values (CSV) files", 2005.
- [78] Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), pp. 1763-1768, 2018
- [79] <https://www.smashingmagazine.com/2018/01/understanding-using-rest-api/>
- [80] "The 5G Infrastructure Association 07/11/2017 1 Recommendation by 5G Infrastructure Association (5G-IA) Phase 3(. I) Pre-Structuring Model (PSM) Version 2.0", Online: <https://5g-ppp.eu/wpcontent/uploads/2017>