



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υλοποίηση 5G δικτύου εντός ενός πλέγματος υπηρεσιών OpenShift υποδομής

**Implementation of a 5G network into a service mesh OpenShift
containerized platform**

ΕΛΕΝΗ ΦΡΑΓΚΟΥ

ΜΨΕ1908

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	7
5 ^Η ΓΕΝΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	7
1.1 Σύντομη Ανασκόπηση.....	7
1.2 Κύρια Χαρακτηριστικά Δικτύων 5 ^{ης} Γενιάς.....	9
1.3 Σενάρια Χρήσης	11
1.4 Βασικές Τεχνολογίες.....	13
1.4.1 Δικτύωση βασιζόμενη στο λογισμικό (SDN).....	13
1.4.2 Εικονικοποίηση Δικτυακών Λειτουργιών (NFV)	14
1.4.3 Τεμαχισμός δικτύου (Network Slicing)	14
1.4.4 C-RAN (Cloud/Centralized Radio Access Network).....	15
1.4.5 Φασματικό Εύρος	15
1.5 Τύποι λειτουργίας 5G	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	17
ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ CLOUD.....	17
2.1 Μοντέλα νεφοποίησης.....	17
2.2 Εικονικοποίηση.....	17
2.3 Containerization.....	19
2.4 Container Orchestration Framework.....	20
2.5 OpenShift Orchestration Platform.....	21
2.5.1 Βασική ορολογία.....	21
2.5.2 Αρχιτεκτονική.....	23
2.5.3 OpenShift SDN.....	25
2.6 Πλεγματοποίηση υπηρεσιών (service mesh)	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	30
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ Open5Gs ΚΑΙ UERANSIM ΣΕ OPENSIFT	30
3.1 Open5Gs.....	30
3.2. UERANSIM.....	32
3.3 Υλοποίηση.....	33
3.3.1 Εγκατάσταση OpenShift.....	33
3.3.2 Εγκατάσταση Service Mesh	40

3.3.3 Εγκατάσταση Open5GS.....	42
3.3.4 Δημιουργία UERANSIM.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	54
4.1 Μελλοντική Έρευνα και Κατευθύνσεις.....	54
4.2 Εθνικό Πλαίσιο Έρευνας.....	55
4.3 Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Έρευνας.....	56
4.4 Ανοιχτά Ερευνητικά Ζητήματα.....	56
ΠΗΓΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου, κύριο Κωσταντίνο Μαλιάτσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και για τη συμπαράστασή του και συνεχή του υποστήριξή του.

Επίσης θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την συμπαράστασή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ασύρματη δικτύωση βρίσκεται στο επίκεντρο της τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της ευελιξίας που προσφέρει στους χρήστες και στη πληθώρα των υποσχόμενων δυνατοτήτων που την αποτελούν.

Η πέμπτη γενιά κινητών τηλεπικοινωνιών (5G) αποτελεί μια επανάσταση στον κλάδο των Τηλεπικοινωνιών καθώς συγκεντρώνει πολλές νέες τεχνολογίες γύρω από το δίκτυο κορμού (core network), το δίκτυο πρόσβασης (access network) και την άκρη του δικτύου (edge network). Η συνδεσιμότητα του υπόσχεται σημαντικά υψηλότερη χωρητικότητα του δικτύου (network capacity) με αξιοσημείωτα μειωμένη καθυστέρηση μεταδόσεων.

Μια σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές είναι η υιοθέτηση λογισμικού για την υλοποίηση πολλών λειτουργιών του δικτύου (SDN – Software Defined Network). Η παραδοσιακή μονολιθική προσέγγιση του δικτύου που ακολουθούσαν στις προηγούμενες γενιές αντικαθίσταται με τον λογικό διαχωρισμό των διάφορων λειτουργιών του σε μικρές οντότητες (microservices) αποκλειστικά σχεδιασμένες η καθεμία να επιτύχει ένα συγκεκριμένο σκοπό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το δίκτυο πρόσβασης των χρηστών (radio access network), όπου μεγάλο μέρος της λειτουργίας των σταθμών βάσης που μέχρι και την τέταρτη γενιά αποτελούσε μέρος των σταθμών βάσης, θα υλοποιείται ως λογισμικό στο Cloud (C-RAN). Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να επιτευχθεί η ενσωμάτωση ετερογενών τεχνολογιών για την πρόσβαση των χρηστών στο δίκτυο.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει πως η πέμπτη γενιά (5G) μπορεί επιτυχώς να υλοποιηθεί με χρήση τεχνικών νεφοποίησης (cloud-native), στηριζόμενη στην ανάπτυξη του δικτύου πάνω σε OpenShift, μια από τις πιο διαδεδομένες enterprise container orchestration πλατφόρμας, και εμπεριέχει τα εξής κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή γύρω από την εξέλιξη των προηγούμενων γενεών και τις τεχνολογίες στις οποίες στηρίχθηκαν μέχρι σήμερα οι κινητές τηλεπικοινωνίες. Ακολουθεί μια ανάλυση γύρω από την Πέμπτη γενιά και τα κύρια μέρη που την αποτελούν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η τεχνολογία της εικονικοποίησης και η σύγκρισή της με την τεχνολογία των containers. Αναλύεται ωστόσο, η ανάπτυξη των containers πάνω σε μια OpenShift υποδομή καθώς και τα οφέλη της στο περιβάλλον του cloud.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικότερα η αρχιτεκτονική του 5G δικτύου κορμού (5G NR) και των δικτυακών λειτουργιών του, αλλά και το δίκτυο πρόσβασης RAN μέσω των έργων ανοιχτού λογισμικού Open5Gs και UERANSIM, τα οποία και αποτελούν την υλοποίηση ενός 5G core network αλλά και την προσωμοίωση ενός RAN που αποτελείται από τον σταθμό βάσης (gNB) και τον χρήστη (UE).

Επιπροσθέτως, συμπεριλαμβάνεται το πειραματικό μέρος της διπλωματικής, όπου περιγράφεται αναλυτικά η υλοποίηση της υποδομής, από την εγκατάσταση του OpenShift cluster έως και τις ενέργειες για την υλοποίηση του Open5Gs και UERANSIM εντός αυτού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, που αποτελεί και το τελευταίο της Διπλωματικής Εργασίας, αφορά την μελλοντική έρευνα και μελέτες γύρω από την τεχνολογία των Δικτύων Πέμπτης Γενιάς.

5^Η ΓΕΝΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

1.1 Σύντομη Ανασκόπηση

Ο κλάδος των Ασύρματων Επικοινωνιών έχει σημειώσει σημαντική εξέλιξη τις τελευταίες δεκαετίες. Εφαλτήριο έναρξης αποτέλεσε η ανάπτυξη της 1^{ης} Γενιάς, την δεκαετία του 1980, η οποία βασίστηκε αποκλειστικά στην αναλογική μετάδοση και την τεχνολογία AMPS (Advanced Mobile Phone System), σημειώνοντας ρυθμούς μετάδοσης ταχύτητας έως 2.4kbrs. Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών αυτής της γενιάς, παρόλο τις αυξημένες δυνατότητες για την εποχή τους, ήταν περιορισμένα σε υπηρεσίες φωνής και χωρίς περιθώρια βελτίωσης λόγω του περιορισμού των αναλογικών τεχνικών.

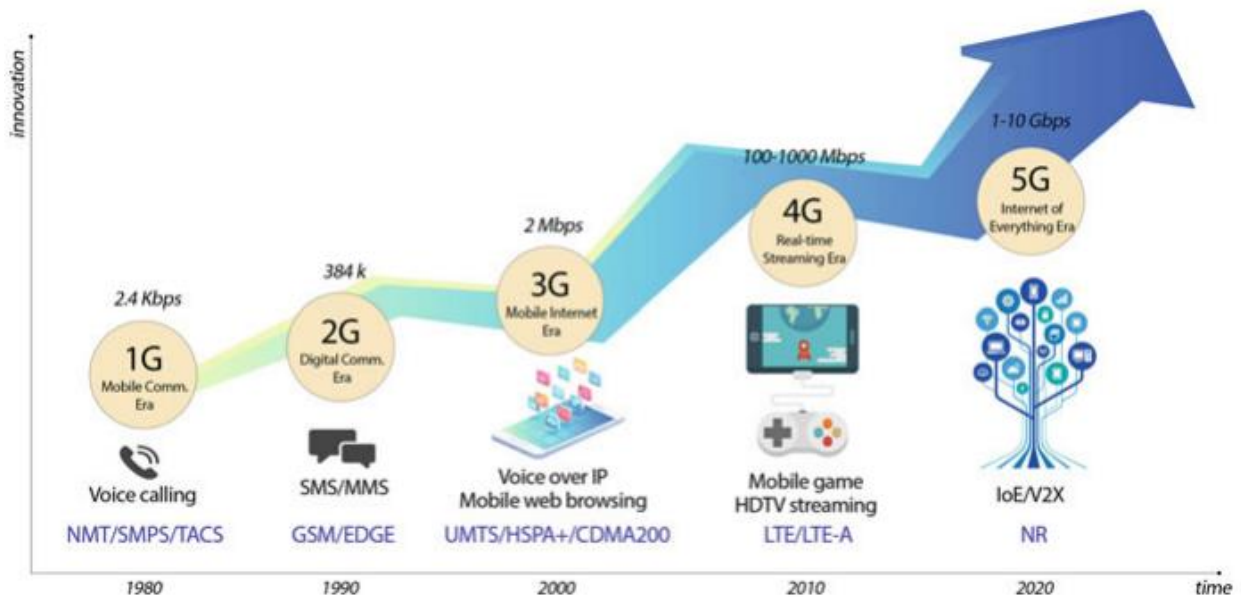
Η 2^η Γενιά, που εμφανίστηκε το 1990, αποτέλεσε την πρώτη τεχνολογία βασισμένη στην ψηφιακή μετάδοση. Βασικά της χαρακτηριστικά ήταν η δυνατότητα κρυπτογραφημένης επικοινωνίας, η ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων, η αποστολή μηνυμάτων κειμένου (SMS) αλλά και πολυμέσων. Το πρώτο 2G σύστημα που κυκλοφόρησε ήταν το GSM, που υποστήριξε ρυθμούς μετάδοσης έως και 9.6kbit/s. Τα πρότυπα που βασίστηκαν στο GSM υιοθέτησαν την μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης TDMA, κατά την οποία το συχνοτικό εύρος διαμοιράζεται ανάμεσα σε πολλαπλούς χρήστες ενώ ο χρόνος χωρίζεται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (time slots) το καθένα από τα οποία δεσμεύεται από ξεχωριστούς χρήστες.

Η εμφάνιση της 3^{ης} Γενιάς προτοπώρησε σε σχέση με την προγενέστερη όσον αφορά την μετάδοση βασισμένων σε πακέτα (packet-based). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης ήταν περίπου 2 Mbrs, περίπου 4 φορές ταχύτερος από τα 2G συστήματα. Μέσω της μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης CDMA επιτεύχθηκε η ταυτόχρονη μετάδοση πολλαπλών χρηστών οι οποίοι διαμοιράζονται το ίδιο συχνοτικό υποκανάλι αποφεύγοντας την μεταξύ τους παρεμβολή.

Η 4^η Γενιά έθεσε τους στόχους για ρυθμούς μετάδοσης σε πραγματικούς χρόνους (real-time streaming). Βασιζόμενη στην τεχνική OFDMA φανέρωσε ταχύτητες που άγγιζαν μέχρι και 200Mbrs. Μέσω αυτής της τεχνικής οι πόροι που αφορούν τα πεδία χρόνου και συχνότητας υποδιαιρούνται σε ακόμα μικρότερα χρονικά διαστήματα και υποφέροντα αντίστοιχα. Επικράτησε συγκριτικά με τις προηγούμενες γενιές καθώς επιτυγχάνει την υψηλότερη φασματική απόδοση.

Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς αποτελούν τη νεότερη γενιά δικτύων κινητής επικοινωνίας. Οι προηγούμενες γενιές είχαν συμβάλει κυρίως στην παροχή συνδεσιμότητας μεταξύ των συσκευών καταναλωτών όπως smartphones, tablets, laptops. Ωστόσο, με την εισαγωγή

των δικτύων της 5^{ης} γενιάς, η κινητή δικτύωση βρίσκει εφαρμογή σε μια πληθώρα διαφορετικών σεναρίων. Ο κύριος λόγος είναι οι διάφοροι παράγοντες που την χαρακτηρίζουν κατάλληλη, όπως οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, ο χαμηλός χρόνος απόκρισης, η υψηλή χωρητικότητα και την διαθεσιμότητα των υπηρεσιών που προσφέρει.



Διάγραμμα 1.1 – Εξέλιξη των Κινητών Συστημάτων Επικοινωνιών

1.2 Κύρια Χαρακτηριστικά Δικτύων 5^{ης} Γενιάς

Στις αρχές του 2012, ο τομέας Ραδιοεπικοινωνιών της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών ITU-R όρισε το Πρότυπο IMT-2020 με σκοπό την καθιέρωση των απαιτήσεων των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών για το 2020 και μετέπειτα. Σύμφωνα με το Πρότυπο IMT-2020 οι τεχνικές απαιτήσεις που ορίζονται γύρω από τα Δίκτυα 5G απεικονίζονται με βάση τον Πίνακα 1.

Metric	5G target	Usage scenario
Peak data rate	DL: 20 Gbps; UL: 10 Gbps	eMBB
Five percentile user experienced data rate	DL: 100 Mbps; UL: 50 Mbps	eMBB: dense urban
Peak spectral efficiency	DL: 30 bps/Hz; UL: 15 bps/Hz	eMBB
Five percentile user spectral efficiency	DL: 0.3 bps/Hz; UL: 0.21 bps/Hz	eMBB: indoor hotspot
	DL: 0.225 bps/Hz; UL: 0.15 bps/Hz	eMBB: dense urban
	DL: 0.12 bps/Hz; UL: 0.045 bps/Hz	eMBB: rural
Average spectral efficiency per transmission reception point	DL: 9 bps/Hz; UL: 6.75 bps/Hz	eMBB: indoor hotspot
	DL: 7.8 bps/Hz; UL: 5.4 bps/Hz	eMBB: dense urban
	DL: 3.3 bps/Hz; UL: 1.6 bps/Hz	eMBB: rural
Area traffic capacity	DL: 10 Mbps/m ²	eMBB: indoor hotspot
User plane latency	4 ms	eMBB
	1 ms	URLLC
Control plane latency	20 ms	eMBB/URLLC
Connection density	1,000,000 devices per km ²	mMTC
Success probability	99.999%	URLLC: urban macro
Normalized channel link data rate	UL: 1.5 bps/Hz for mobility speed up to 10 km/h	eMBB: indoor hotspot
	UL: 1.12 bps/Hz for mobility speed up to 30 km/h	eMBB: dense urban
	UL: 0.8 bps/Hz for mobility speed up to 120 km/h	eMBB: rural
	UL: 0.45 bps/Hz for mobility speed up to 500 km/h	eMBB: rural
Mobility interruption time	0 ms	eMBB/URLLC

Πίνακας 1.1 – Τεχνικές Απαιτήσεις 5G βάση IMT-2020

Οι βασικότερες μετρικές που αναφέρονται είναι οι εξής:

1. Peak data rate

Ορίζεται ως ο μέγιστος αριθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί υπό ιδανικές συνθήκες, χωρίς να ληφούν υπόψιν παράγοντες όπως απώλειες μετάδοσης ελευθερου χώρου (FSL). Εξαρτάται από το διαθέσιμο φάσμα

$$\text{Peak data rate} = \text{System bandwidth} * \text{Peak spectral efficiency}$$

Το όριο για το downlink θα πρέπει να είναι 20Gbps ενώ για το uplink 10Gbps.

2. User experienced data rate

Αποτελεί τον ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί σε μια περιοχή κάλυψης αποτελούμενη από πολλούς χρήστες.

Το όριο για το downlink θα πρέπει να είναι 100Mbps ενώ για το uplink 50Mbps.

3. Spectrum efficiency

Ορίζεται ως ο μέσος ρυθμός throughput ανά Hz φάσματος ανά κυψέλη (cell). Ο στόχος που τέθηκε είναι 3 φορές υψηλότερος συγκριτικά με το IMT-Advanced πρότυπο.

4. Area traffic capacity

Ορίζεται ως η ταχύτητα ανά γεωγραφική περιοχή, υπολογιζόμενη ως Mbps ανά τετραγωνικό μέτρο.

5. Network energy efficiency

Αφορά την κατανάλωση ενέργειας του RAN και θέτει έναν σημαντικό παράγοντα που πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Ο στόχος προδιαγράφει να είναι χαμηλότερη σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα, ενώ ταυτόχρονα να υποστηρίζει χαμηλή κατανάλωση σε χρονικά διαστήματα μη μετάδοσης πληροφορίας (sleep mode – ο σταθμός βάσης δεν στέλνει δεδομένα)

6. Latency

Ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ της εκπομπής του 1^{ου} bit ενός packet από τον πομπό έως της λήψης του τελευταίου bit του ίδιου πακέτου στον δέκτη. Υπολογίζεται ως 4ms για σενάρια eMBB και 1ms για URLLC.

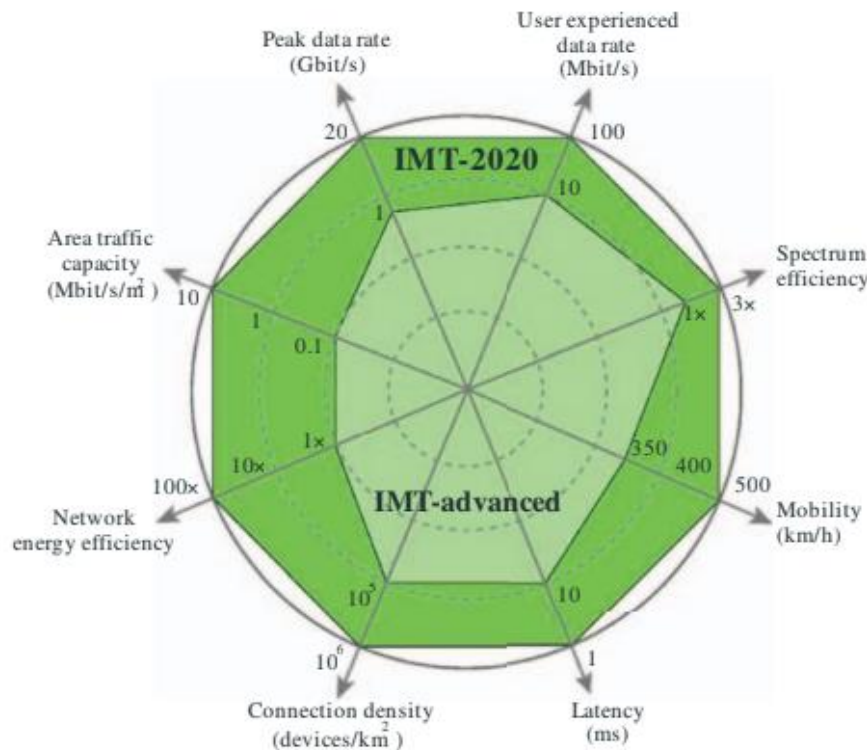
7. Mobility

Αποτελεί την μέγιστη ταχύτητα του mobile station κατά την οποία ένα ορισμένο QoS μπορεί να επιτευχθεί.

8. Connection density

Συνολικός αριθμός συνδεδεμένων συσκευών ανά km^2 . Ιδανικά 1 εκατομμύριο συσκευές ανά 1 km^2 .

Το ακόλουθο διάγραμμα 1.1 αποτελεί μια σύγκριση ανάμεσα στα πρότυπα IMT-2020 και IMT-Advanced (4G) όσον αφορά τις μετρικές που προαναφέρθηκαν.



Διάγραμμα 1.2 – Δυνατότητες IMT-2020 και IMT-Advanced ως απαιτήσεις στα συστήματα 5G και 4G

1.3 Σενάρια Χρήσης

Η έρευνα και μελέτη γύρω από τα δίκτυα της πέμπτης γενιάς έχει φανερώσει πως μπορεί να υποστηρίξει υψηλούς ρυμούς μετάδοσης, χαμηλότερη καθυστέρηση, υψηλότερη χωρητικότητα και αποδοτικότερη χρήση φάσματος. Μέσω αυτών των δυνατοτήτων η τεχνολογία 5^{ης} γενιάς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη ποικίλων περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών. Οι περιπτώσεις αυτές ταξινομούνται με βάση τις τρεις ακόλουθες βασικές κατηγορίες:

Enhanced mobile broadband (eMBB)

όπου ανήκουν όλες οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται σήμερα από τα υπάρχοντα δίκτυα 2G ως και 4G, αλλά με βελτιωμένη επίδοση και αδιάλειπτη εμπειρία για τους χρήστες τόσο ως προς την κάλυψη όσο και ως προς την κινητικότητα. Ενδεικτικά παραδείγματα υπηρεσιών που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία αποτελούν η εικονική πραγματικότητα (augmented and virtual reality), τα βίντεο 3D, η ζωντανή μετάδοση 4K.

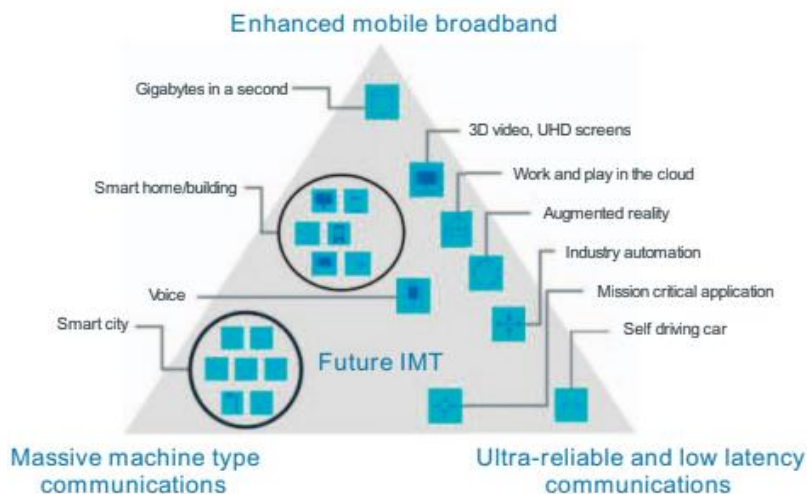
Ultra-reliable and low-latency communications (URLLC)

όπου ανήκουν οι υπηρεσίες με αυστηρές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση, την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα (π.χ. ευφυή συστήματα μεταφορών, συνδεδεμένα οχήματα, ασύρματος έλεγχος βιομηχανικών εγκαταστάσεων, κ.λπ.)

Massive machine type communications (mMTC)

όπου κυρίως ανήκουν οι IoT υπηρεσίες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ένα μεγάλο αριθμό συσκευών συνδεδεμένων μεταξύ τους. Σε αυτή την κατηγορία συνήθως δεν απαιτούνται υψηλοί αριθμοί μετάδοσης ούτε αυστηρές προδιαγραφές καθυστέρησης.

Η εικόνα που ακολουθεί αναπαριστά σχηματικά τις τρεις αυτές βασικές κατηγορίες σενάριων χρήσης. Ωστόσο, υπάρχουν και περιπτώσεις που δεν υπόκεινται απαραίτητα σε κάποια από τις προαναφερθείσες κατηγορίες, όπως η κινητή τηλεφωνία που αποτελεί μια σημαντική εφαρμογή στα κινητά συστήματα επικοινωνιών.

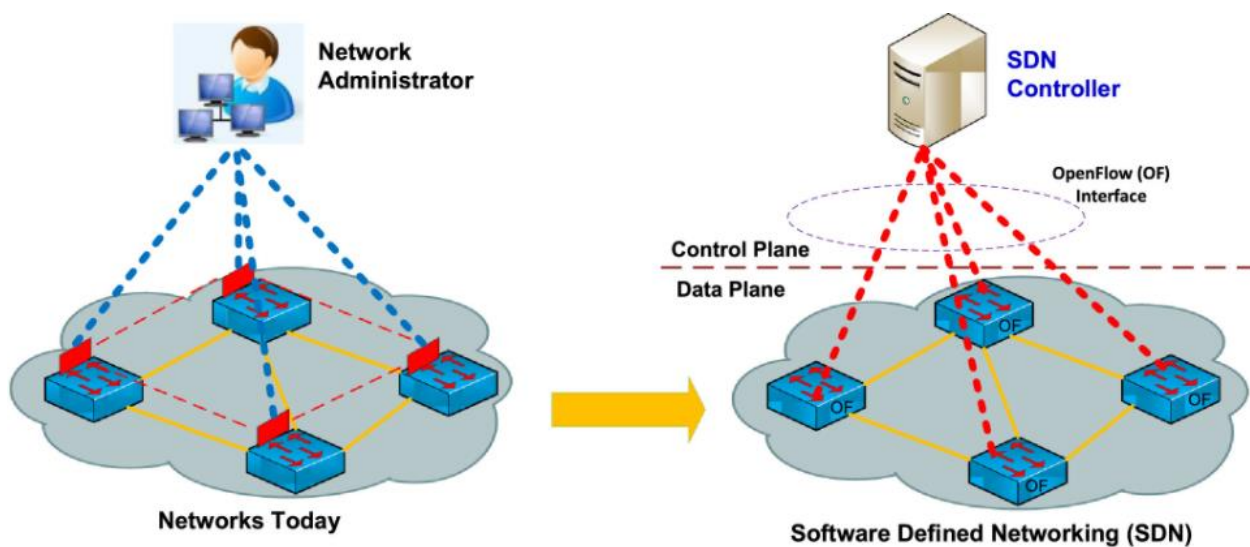


Εικόνα 1.3 – Σενάρια χρήσης IMT-2020

1.4 Βασικές Τεχνολογίες

1.4.1 Δικτύωση βασιζόμενη στο λογισμικό (SDN)

Η δικτύωση βασιζόμενη στο λογισμικό αποτελεί μια διαφορετική προσέγγιση στην υλοποίηση των δικτύων. Η λειτουργία της τεχνολογίας αυτής επιτυγχάνεται με τον διαχωρισμό του δικτύου σε δύο διαφορετικά επίπεδα, το επίπεδο ελέγχου (control plane) και το επίπεδο δεδομένων/προώθησης (data/forwarding plane) δημιουργώντας έτσι μια υποδομή που καθορίζεται από το λογισμικό. Ο διαχωρισμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα την ευελιξία και τον κεντρικοποιημένο έλεγχο μέσα από μια ολιστική εικόνα ολόκληρου του δικτύου.



Εικόνα 1.4 – Μετάβαση δικτύων με χρήση SDN

Με την υιοθέτηση της τεχνολογίας SDN, ο έλεγχος του δικτύου πραγματοποιείται προγραμματιστικά μέσω της χρήσης τυποποιημένων διεπαφών (SBI – Southbound Interfaces) που ορίζονται από συγκεκριμένα πρότυπα, όπως το OpenFlow, OpFlex και FoRCES. Αυτά τα πρότυπα ορίζουν την επικοινωνία μεταξύ συσκευών προώθησης στο επίπεδο δεδομένων και των στοιχείων στο επίπεδο ελέγχου και διαχείρισης.

Το control plane αποτελείται από έναν ή περισσότερους ελεγκτές (SDN controllers) που χαρακτηρίζονται ως ο “εγκέφαλος” του SDN δικτύου. Η διαχείριση και η παραμετροποίηση του δικτύου συγκαταλέγονται στις αρμοδιότητες των ελεγκτών, απλουστεύοντας και επιταχύνοντας τις διεργασίες του δικτύου.

1.4.2 Εικονικοποίηση Δικτυακών Λειτουργιών (NFV)

Η τεχνολογία εικονικοποίησης δικτυακών λειτουργιών έχει ως βασικό σκοπό την μετατροπή των δικτυακών συσκευών, όπως δρομολογητές, συσκευές για εξισορρόπηση φορτίου και τείχη προστασίας, από αποκλειστικές και εξειδικευμένες πλατφόρμες (dedicated hardware appliances) σε λογισμικό.

Η τεχνολογία αυτή στοχεύει στο να μεταμορφώσει τον τρόπο κατασκευής των δικτύων και την παροχή υπηρεσιών. Οποιαδήποτε επιχείρηση μπορεί να απλοποιήσει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών δικτύου, καθώς και να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα και να εισαγάγει νέες υπηρεσίες που δημιουργούν έσοδα γρηγορότερα και ευκολότερα. Το NFV προσφέρει ευελιξία στις υπηρεσίες με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων. Μειώνονται οι δαπάνες κεφαλαίου CapEx και οι δαπάνες λειτουργίας OpEx καθώς δεν χρειάζεται να προμηθευτούν καινούργιο εξοπλισμό δικτύου και να γίνονται περιττά έξοδα.

Το αρχιτεκτονικό μοντέλο που καθορίζει την πέμπτη γενιά βασίζεται στην υλοποίηση των δικτυακών λειτουργιών της ως πολλαπλές εικονικές λειτουργίες, δυνατότητα που θα είναι εφικτή μέσω της τεχνολογίας NFV. Παράλληλα, μέσω της τεχνολογίας NFV επιτρέπεται το κατανεμημένο cloud, βοηθώντας στη δημιουργία ευέλικτων και προγραμματιζόμενων δικτύων για τις ανάγκες του αύριο. Το NFV επιτρέπει την εικονικοποίηση 5G, ώστε το φυσικό δίκτυο να μπορεί να χωριστεί σε πολλαπλά εικονικά δίκτυα που μπορούν να υποστηρίξουν διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης (RAN) ή διάφορους τύπους υπηρεσιών. Τα τμήματα δικτύου θα απομονωθούν το ένα από το άλλο στο επίπεδο ελέγχου και στο επίπεδο χρήστη, οπότε η εμπειρία χρήστη θα είναι η ίδια σαν να ήταν ένα φυσικά ξεχωριστό δίκτυο. Τα μελλοντικά δίκτυα 5G θα προσφέρουν στους χειριστές δικτύων την ευελιξία να κατανέμουν ταχύτητα, χωρητικότητα και κάλυψη σε λογικά κομμάτια σύμφωνα με τις απαιτήσεις κάθε περίπτωσης χρήσης.

1.4.3 Τεμαχισμός δικτύου (Network Slicing)

Η τεχνική του «τεμαχισμού του δικτύου» αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της αρχιτεκτονικής του 5G. Η τεχνική αυτή επιτρέπει τη δημιουργία πολλών ανεξάρτητων λογικών δικτυακών τεμαχίων (network slices), πάνω από μία κοινή φυσική δικτυακή υποδομή. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν σε ένα δίκτυο να φιλοξενοούνται υπηρεσίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις. Για παράδειγμα, σε μία υπηρεσία eMBB με υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης μπορεί να απόδοθεί το αντίστοιχο δικτυακό slice ενώ ταυτόχρονα για μια άλλη υπηρεσία τύπου URLLC που απαιτεί υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση εξυπηρετείται μέσω ενός διαφορετικού network slice.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της τεχνολογίας είναι η απομόνωση (isolation) μεταξύ αυτών των τεμαχίων. Το καθένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά από έναν χρήστη ή μία εφαρμογή ή ακόμα και από μία ομάδα χρηστών/εφαρμογών αναλογα με τις απαιτήσεις τους. Ωστόσο, λόγω της απομόνωσης τους, η λειτουργικότητα του ενός δεν επηρεάζει την λειτουργικότητα των άλλων.

Με την χρήση αυτής της τεχνικής επιτυγχάνεται η βέλτιστη απόδοση των πόρων του δικτύου στους χρήστες του.

1.4.4 C-RAN (Cloud/Centralized Radio Access Network)

Πρόκειται για μια κεντροποιημένη αρχιτεκτονική βασισμένη στο cloud, που ενισχύει μέσω των τεχνικών εικονικοποίησης. Οι τεχνικές νεφοποίησης (cloudification) διευκολύνουν την διαχείριση των δικτυακών slices, ώστε να υποστηρίζουν ένα ευρύ Μέσω του συνδυασμού των τεχνολογιών SDN, NFV και network slicing, οι δικτυακές λειτουργίες που απαρτίζουν ένα 5G δίκτυο μπορούν εύκολα να αποτελούν μέρος μίας cloud υποδομής.

1.4.5 Φασματικό Εύρος

Το 5G NR σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε διάφορα φασματικά εύρη. Κάθε φασματική περιοχή έχει και τα δικά της χαρακτηριστικά. Διακρίνονται οι τρεις ακόλουθες φασματικές περιοχές:

- Low Band (<1GHz)

Αποτελούν τα φασματικά εύρη που χρησιμοποιούνται ήδη από τα LTE δίκτυα. Διακρίνονται από τις δυνατότητες υψηλής κάλυψης ειδικά σε περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου. Το εύρος ζώνης καναλιού είναι μικρό (περίπου 20MHz).

- Mid-Band (μεταξύ 1-7GHz)

Το εύρος ζώνης καναλιού κυμαίνεται μεταξύ 50-100MHz. Το εκτεταμένο εύρος ζώνης επιτρέπει δίκτυα υψηλής χωρητικότητας, με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλής καθυστέρησης. Συγκριτικά με τα υψηλά συχνοτικά εύρη, προσφέρουν μεγαλύτερη κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους.

- High-Band (>24Ghz)

Εδώ ανήκουν οι mmWave συχνοτικές περιοχές. Το εύρος ζώνης καναλιού είναι πολύ πιο υψηλό (400MHz και πάνω) γεγονός που προσφέρει τους μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης και τη μεγαλύτερη χωρητικότητα συγκριτικά με τις low-band και mid-band φασματικές περιοχές. Ωστόσο, οι προκλήσεις που εισάγονται με την

χρήση των υψηλών συχνοτήτων έγκεινται στις απώλειες μετάδοσης, γεγονός που καθιστά δύσκολη την χρήση τους για υψηλή κάλυψη σε ευρής περιοχές.

Προκειμένου να μπορούν να αξιοποιηθούν κατάλληλα τα χαρακτηριστικά των διάφορων φασματικών περιοχών, το 5G NR ανάλογα με το περιβάλλον και τις απαιτήσεις του θα μπορεί να χρησιμοποιεί όλες τις φασματικές περιοχές που αναφέρθηκαν, ξεκινώντας από χαμηλά συχνοτικά εύρη που έχουν ήδη προδιαγραφεί για την χρήση των προηγούμενων Γενιών μέχρι και πολύ υψηλότερα ειδικά σχεδιασμένα για την λειτουργία του (mmWave).

Ωστόσο η επίτευξη όλων των δυνατοτήτων που προσφέρει το 5G θα πραγματοποιηθεί μέσω του συνδυασμού χρήσης και των τριών διαφορετικών φασματικών περιοχών.

1.5 Τύποι λειτουργίας 5G

Ο σχεδιασμός γύρω από το NR (New Radio) βασίστηκε λαμβάνοντας υπόψιν τις ανάγκες ενσωμάτωσης με τα ήδη υπάρχοντα LTE δίκτυα, αλλά και την εξασφάλιση όλων των δυνατοτήτων που θα παρέχονται μέσα από το νέο δίκτυο ραδιοπρόσβασης.

Για αυτούς τους λόγους ορίζονται δύο διαφορετικοί τύποι λειτουργίας:

1. NSA (Non-Standalone)

Οι στάθμοι βάσης που αφορούν το 5G (gNBs) και εκείνου της 4^{ης} Γενιάς (ng-eNBs / new-generation eNBs) διαλειτουργούν μεταξύ τους και συνδέονται στο ίδιο core δίκτυο. Το core δίκτυο μπορεί να είναι είτε EPC (δηλαδή το υπάρχον LTE core δίκτυο) όπου σε αυτή την περίπτωση γίνεται αναφορά ως NSA με χρήση 4G RAN, είτε 5GC όπου αναφέρεται ως NSA με χρήση NG-RAN. Ο σκοπός αυτής της μεθόδου είναι να προσφέρει υψηλότερη ταχύτητα χάρη στη διπλή συνδεσιμότητα και στους παράλληλους ρόλους των gNB και ng-eNBs.

2. SA (Standalone)

Με τον standalone τρόπο, ο σταθμός βάσης gNB συνδέεται απευθείας στο 5G core δίκτυο (5GC). Αυτή την περίπτωση διακρίνεται ως «καθαρή» 5G. Αυτός ο τρόπος χαρακτηρίζεται ιδανικός ως ο διαμεσολαβητής της μετάβασης από τα LTE δίκτυα προς τα 5G, καθώς οι κατασκευαστές θα μπορούν να αξιοποιήσουν τις ήδη υπάρχοντες εγκαταστάσεις.

ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ CLOUD

2.1 Μοντέλα νεφοποίησης

Η χρήση του cloud παρέχει την δυνατότητα να δημιουργούνται κατά απαίτηση του χρήστη διάφορες υπηρεσίες, όπως εφαρμογές, πλατφόρμες, servers, δίκτυα. Με αυτόν τον τρόπο ο κάθε χρήστης μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του χωρίς να είναι απαραίτητη η αγορά του αντίστοιχου εξοπλισμού.

Διακρίνονται τρία βασικά μοντέλα ταξινόμησης των υπηρεσιών

1. Infrastructure as a Service (IaaS)

Παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να χρησιμοποιεί υπηρεσίες δικτύωσης, χώρο αποθήκευσης δεδομένων, εικονικές μηχανές. Σε όλες τις περιπτώσεις ο χρήστης είναι υπεύθυνος για την διαχείριση της υποδομής που χρησιμοποιεί (όπως αναβαθμίσεις λειτουργικού συστήματος). Παραδείγματα IaaS αποτελούν οι υπηρεσίες AWS, Microsoft Azure, GCE.

2. Platform as a Service (PaaS)

Προσφέρει στους χρήστες την δυνατότητα να αναπτύξουν και να διαχειριστούν τις εφαρμογές τους μέσα σε μία πλατφόρμα. Η δυνατότητα αυτή εξαλείφει την ανάγκη διαχείρισης της υποδομής, καθώς παρέχεται ως υπηρεσία από τον «cloud» πάροχο. Παραδείγματα αποτελούν οι managed containerized Orchestration πλατφόρμες όπως AKS, IBM ROKS.

3. Software as a Service (SaaS)

Σε αυτό το μοντέλο ο χρήστης χρησιμοποιεί κάποιες έτοιμες εφαρμογές ή υπηρεσίες που τρέχουν σε μια cloud υποδομή. Παραδείγματα αποτελούν εφαρμογές όπως Gmail, Dropbox.

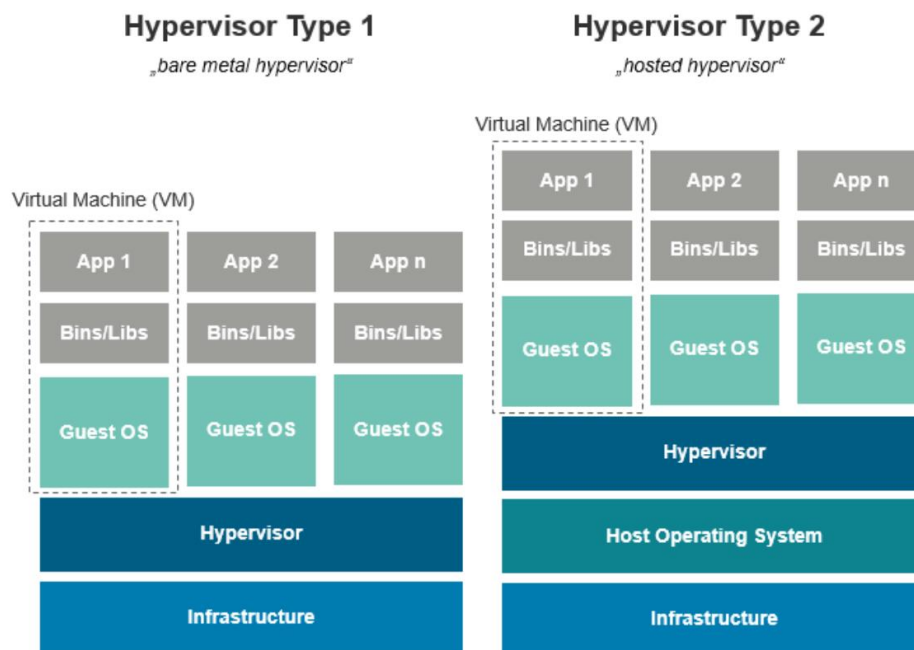
2.2 Εικονικοποίηση

Η τεχνική της εικονικοποίησης εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια στην επιστήμη της Πληροφορικής. Πρόκειται για την τεχνολογία που αποσκοπεί στον διαμερισμό ενός φυσικού συστήματος σε πολλαπλά απομονωμένα μεταξύ τους εικονικά περιβάλλοντα. Παρόλο που υπάρχουν διαφορετικοί τύποι εικονικοποίησης, σε αυτή την Διπλωματική με τον όρο «εικονικοποίηση» αναφερόμαστε συγκεκριμένα στον τύπο του «server virtualization». Κεντρική ιδέα της τεχνολογίας αυτής είναι ο διαμοιρασμός των πόρων

ενός φυσικού host σε διάφορες εικονικές μηχανές, οι οποίες λειτουργούν σαν αυτοτελής οντότητες, ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Η αρχική προσέγγιση στηριζόταν στην χρήση των εικονικών μηχανών (VMs). Μια εικονική μηχανή προσομοιώνει έναν ξεχωριστό υπολογιστή, με τα δικά του χαρακτηριστικά και λειτουργικό σύστημα. Σε αυτή την αρχιτεκτονική κεντρικό ρόλο αποτελεί η ύπαρξη ενός διαμεσολαβητή, του Hypervisor. Ο Hypervisor είναι ο συντονιστής του διαμοιρασμού των φυσικών πόρων (CPU, Memory) μία κοινής υποδομής ανάμεσα σε πολλαπλές εικονικές μηχανές.

Διακρίνονται δύο διαφορετικοί τύποι hypervisor. Ο πρώτος τύπος (type 1) είναι εκείνος του bare-metal και ο δεύτερος τύπος (type 2) είναι ο hosted. Η βασική τους διαφορά έγκειται στην ύπαρξη ή μη του λειτουργικού συστήματος. Στον Type 1 το επίπεδο εικονικοποίησης τρέχει άμεσα στο φυσικό hardware εξοπλισμό του host, χωρίς την διαμεσολάβηση του λειτουργικού συστήματος. Αντίθετα, στον type 2, η εγκατάσταση του hypervisor πραγματοποιείται πάνω από το επίπεδο του λειτουργικού συστήματος του κεντρικού host. Στην εικόνα [2.1] που ακολουθεί διακρίνονται οι 2 διαφορετικοί τύποι



Εικόνα 2.1 – Σύγκριση Hypervisors τύπου 1 (bare metal) και τύπου 2 (hosted)

Η περίπτωση του bare-metal έχει αποδειχθεί περισσότερη αποδοτική και ασφαλής σε σχέση με εκείνη του hosted. Αποδοτικότερη καθώς η ανάγκη ύπαρξης του λειτουργικού

συστήματος στον type 2 αυξάνει αναπόφευκτες καθυστερήσεις καθώς όλες οι λειτουργίες του hypervisor αλλά και των VMs που περιέχει διαπερνούν μέσα από το λειτουργικό σύστημα που μεσολαβεί της υποδομής. Ασφαλότερη καθώς όλες οι ευπάθειες

Χαρακτηριστικά παραδείγματα bare-metal αποτελούν οι VMware ESXI, Microsoft Hyper-V, Citrix , ενώ παραδείγματα hosted αποτελούν τα Oracle VM VirtualBox, VMware Workstation Pro.

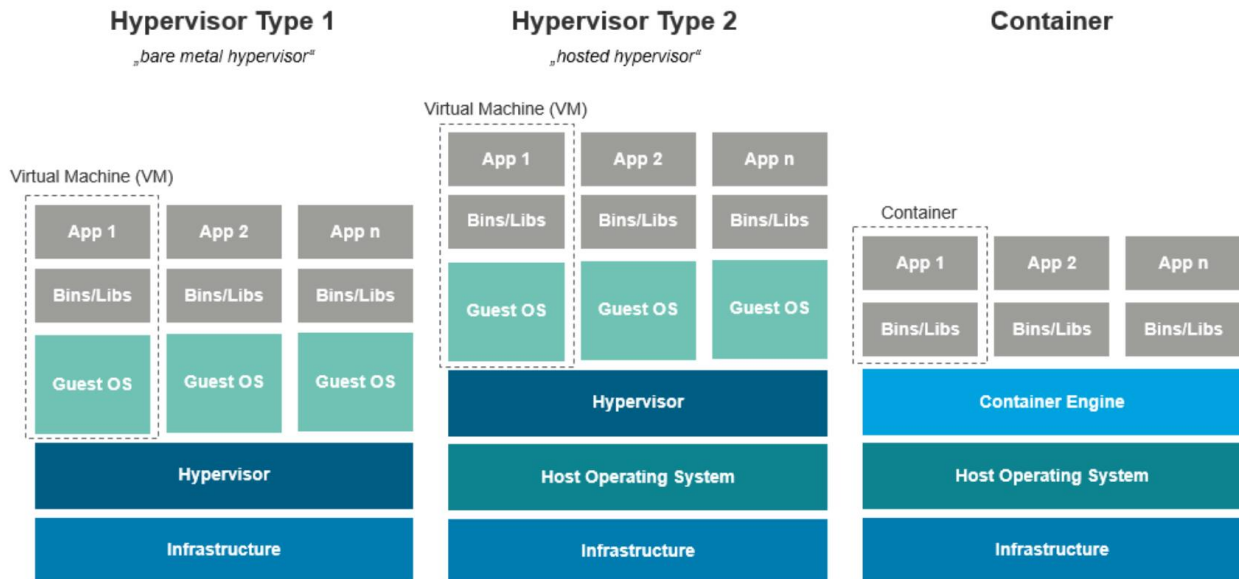
2.3 Containerization

Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογία, που στόχο είχε την αντικατάσταση των κλασικών VMs, εκείνη των containers. Με τον όρο «container» αναφερόμαστε σε μία ή ένα σύνολο διεργασιών που εκτελούνται σε ένα σύστημα, αλλά με το χαρακτηριστικό της απομόνωσης από τις διεργασίες του υπόλοιπου συστήματος.

Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι μπορούν να συνυπάρχουν σε μια εικονική μηχανή ή σε κάποιο φυσικό μηχανήμα, όπου διαμοιράζονται το ίδιο λειτουργικό σύστημα με εκείνο του μηχανήματος στο οποίο υπόκεινται. Ωστόσο, το κάθε container περιλαμβάνει τη δική του εφαρμογή με όλες τις εξαρτήσεις (dependencies) που χρειάζεται για να τρέξει, όπως binaries και βιβλιοθήκες λογισμικού (software libraries). Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης πλέον μπορεί να αναπτύξει διαφορετικές εφαρμογές σε πολλαπλά containers, χωρίς να λαμβάνει υπόψιν τη συμβατότητα ανάμεσα στις διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού.

Η προτίμηση τους οφείλεται κυρίως στην ευκολία και ταχύτητα της αναπτυξής τους, σε σύγκριση με την εικονική μηχανή. Παράλληλα, προσφέρουν προσαρμοστικότητα και φορητότητα, καθώς το ίδιο container μπορεί να εκτελεστεί σε οποιοδήποτε περιβάλλον ή υποδομή, ανεξαρτήτως λειτουργικού συστήματος. Η δημιουργία ενός container βασίζεται στην πληροφορία που περιέχεται στο «container image» το οποίο αποτελεί ένα στατικό αρχείο που διευκρινίζει με σειριακό τρόπο τις ενέργειες που χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο container.

Παρακάτω απεικονίζεται σχηματικά η σύγκριση των δύο τεχνολογιών μέσω της Εικόνας 2.2.



Εικόνα 2.2 – Σύγκριση VMs και Containers

Στην περίπτωση των containers εισάγεται ένα διαφορετικό επίπεδο, εκείνο του container engine. Πρόκειται για το λογισμικό που εγγυάται την δημιουργία και την εκτέλεση του κάθε container κάτω από ένα κοινό λειτουργικό σύστημα.

Το πιο δημοφιλές containerized λογισμικό αποτελεί το Docker, με την πρώτη επίσημη έκδοση το 2013. Η τεχνολογία docker χρησιμοποιεί τον Linux πυρήνα (linux kernel) και διάφορα χαρακτηριστικά του, όπως «cgroups» και namespaces για την απομόνωση των διεργασιών ώστε να τρέχουν ανεξάρτητα.

2.4 Container Orchestration Framework

Η ανάπτυξη και υλοποίηση «containerized» εφαρμογών έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια ως μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους σε cloud περιβάλλοντα.

Μια cloud εφαρμογή αποτελείται συνήθως από πολλά microservices, το κάθενα από τα οποία υλοποιείται με τη μορφή ενός container, αλλά και σε συστοιχίες από hosts (clusters). Σε ένα cluster, τρέχουν διάφορα containers, το καθένα από τα οποία εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο σκοπό. Η εσωτερική δικτυακή επικοινωνία μεταξύ των containers επιτυγχάνεται είτε εντός του ίδιου του host είτε και σε επίπεδο των διαφορετικών host. Η επιλογή των clusters σε μια containerized υποδομή εξυπηρετεί τις ανάγκες για High Availability των services.

Παρόλαυτά, η χρήση τους έχει παρουσιάσει διάφορα ζητήματα που καλούνται να αντιμετωπιστούν:

1. Η έλεγχος και συντονισμός των διάφορων containers
2. Η απόφαση για το που θα τρέξουν (σε ποιους hosts)
3. Πόσους πόρους (CPU, Memory) επιτρέπεται να καταναλώσουν
4. Πότε και υπό ποιες συνθήκες θα χρειαστεί να επαναξεκινήσουν
5. Αυξομοίωση αυτών βάσει των απαιτήσεων των κλήσεων

Για όλα τα παραπάνω η χρήση των containers διαμορφώνεται μέσω ενός Orchestrator. Διαδεδομένη επίλυση για πάνω από 10 χρόνια είναι η χρήση του «Kubernetes» orchestrator. Το Kubernetes είναι ένα open-source project και σκοπός του είναι να διαχειριστεί και να αυτοματοποιήσει διαδικασίες που αφορούν τα containers που τρέχουν σε αυτό.

Η διπλωματική αυτή εργασία επικεντρώνεται γύρω από το OpenShift, που αποτελεί μια enterprise λύση, βασισμένη στην open-source Kubernetes πλατφόρμα.

2.5 OpenShift Orchestration Platform

Το OpenShift είναι το PaaS μοντέλο που προσφέρει η Red Hat. Η τεχνολογία στον πυρήνα της χρησιμοποιεί τον Kubernetes κώδικα, εισάγωντας επιπρόσθετες ενσωματωμένες υπηρεσίες, όπως έναν συνδυασμό από εργαλεία για παρακολούθηση γεγονότων (monitoring stack), καταγραφή των logs (logging), ενημέρωση κατά την δημιουργία συμβάντων μέσω ορισμένων κανόνων (alerting/alerting rules).

2.5.1 Βασική ορολογία

Το Openshift ακολουθεί την ίδια ορολογία με τον κυβερνήτη (Kubernetes), οι παρακάτω έννοιες είναι κοινές και στα δύο προϊόντα:

Pod

Αποτελεί την μικρότερη διαχειριστική μονάδα πάνω στο cluster. Περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα containers, τα οποία διαμοιράζονται Απαραίτητες τιμές για την δημιουργία του αποτελούν το όνομα και το image που θα χρησιμοποιήσει.

ReplicaSet

Με τον όρο replicaset ορίζουμε την μονάδα εκείνη που διαχειρίζεται πολλαπλά instances του ίδιου pod ταυτόχρονα. Μέσω ενός ελεγκτή (replicaset controller) πραγματοποιείται ο έλεγχος ανάμεσα στον επιθυμητό και πραγματικό αριθμό (replicas) του ίδιου pod. Σε περίπτωση που ο επιθυμητός αριθμός είναι διαφορετικός από τον πραγματικό (είτε μικρότερος, είτε μεγαλύτερος) ο ελεγκτής θα δημιουργήσει νέα pods ή αντιστοίχα θα

σταματήσει ορισμένα μεχρις ότου ο επιθυμητός αριθμός να ταυτίζεται με τον πραγματικό.

Βασική προϋπόθεση είναι τα pods αυτά να είναι stateless, δηλαδή να μην διατηρούν την προηγούμενη κατάσταση τους έπειτα από την επανεκκίνηση τους.

Deployment

Έχει τον ίδιο σκοπό με τα replicasets, ωστόσο προτιμάται καθώς προσθέτει επιπλέον δυνατότητες. Μέσω του deployment controller μπορεί να διαχειριστεί τα διάφορα replicasets και παραλληλα να ακολουθήσει συγκεκριμένες rollout μεθοδολογίες. Για παράδειγμα, κατά την επανεκκίνηση ενός deployment, είναι εφικτό να οριστεί ο επιθυμητός αριθμός που πρέπει να είναι ενεργός καθόλη τη διάρκεια, χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία του.

StatefulSet

Έχει τον ίδιο ρόλο με το replicaset, προσθέτοντας τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Το κάθε instance ενός pod είναι αναγνωρίσιμο.
- Το κάθε instance διατηρεί την ξεχωριστή του κατάσταση

DaemonSet

Το daemonset είναι το resource εκείνο που διασφαλίζει ότι ένα pod τρέχει σε όλους τους nodes (ή σε επιλεγμένους). Στην περίπτωση που ένας νέος node εισαχθεί στο cluster, θα δημιουργηθεί ένα νέο pod που θα τοποθετηθεί σε αυτόν τον node. Διάφορα core plane services υλοποιούνται με την μορφή daemonset. Βασικό παράδειγμα αποτελεί το Openshift SDN, CoreDNS, το οποίο υλοποιεί τον εσωτερικό DNS server που εξυπηρετεί τις εσωτερικές DNS εγγραφές του cluster.

ConfigMap

Περιέχει πληροφορία η οποία είναι απαραίτητη για την παραμετροποίηση ενός service.

Secret

Όπως και το configmap, περιέχει πληροφορία. Ωστόσο, η διαφορά είναι ότι αποθηκεύεται σε encrypted μορφή. Χρησιμοποιείται κυριως για ευαίσθητη πληροφορία, όπως πιστοποιητικά (certificates) ή κωδικοί (passwords).

Service

Μέσω των services επιτυγχάνεται η πρόσβαση στα διάφορα containers. Ένα service μπορεί να παρομοιαστεί σαν ένας load balancer, ο οποίος στο backend pool του έχει τα

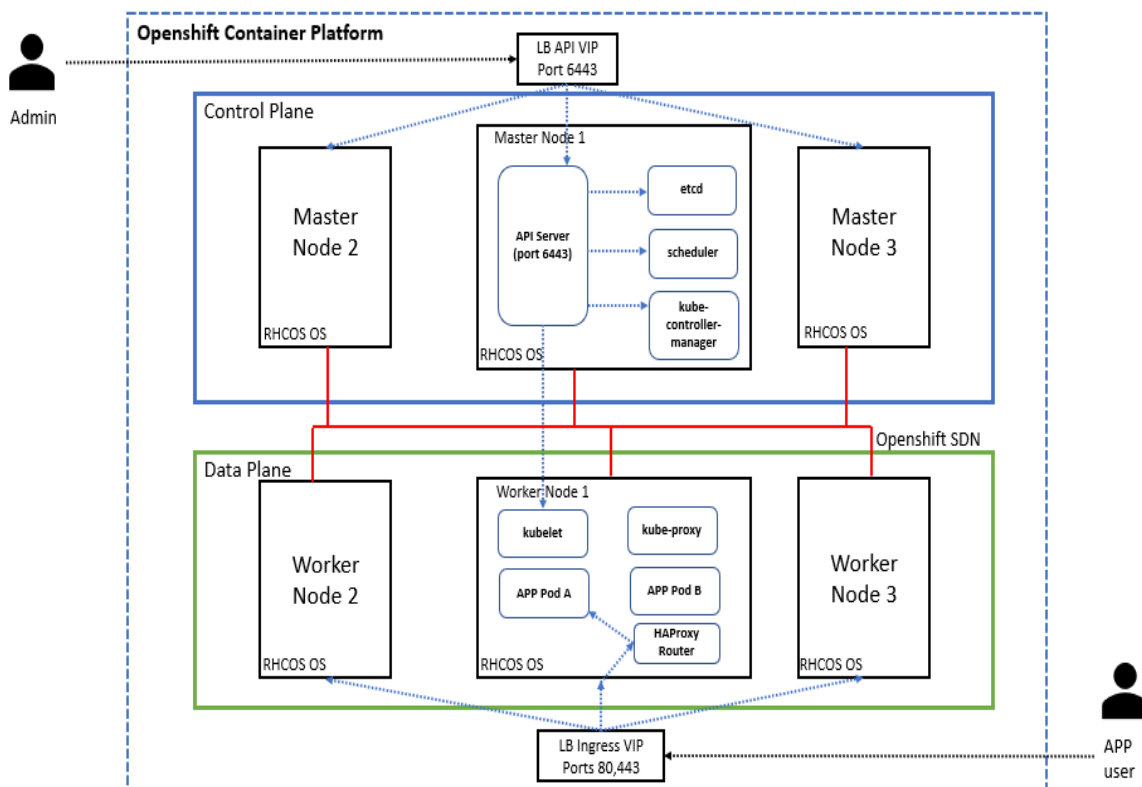
rods εκείνα που διαχειρίζεται. Μέσω των labeling τεχνικών που προσφέρονται, ένα service αναγνωρίζει ποια είναι εκείνα το pod που θα κάνει expose. Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται expose ένα pod, ορίζονται διαφορετικοί τύποι services. Στην περίπτωση που το pod γίνεται expose εσωτερικά (εντός του ίδιου του cluster) ο τύπος του service που χρησιμοποιείται είναι ClusterIP, ενώ στην περίπτωση που γίνεται expose εκτός του cluster, χρησιμοποιείται ο τύπος του NodePort. Στις cloud υποδομές υπάρχει η δυνατότητα της δημιουργίας service τύπου LoadBalancer.

2.5.2 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική ενός OpenShift cluster απαρτίζεται από ένα σύνολο hosts, βασισμένων στο RHCOS (Red Hat CoreOS) λειτουργικό σύστημα, χωριζόμενοι σε εκείνους που απαρτίζουν το control plane (control ή master nodes) και σε εκείνους που απαρτίζουν το data plane (data ή worker nodes).

Υποστηρίζει τρεις master nodes και τουλάχιστον δύο worker nodes με σκοπό το διαθεσιμότητα των εφαρμογών ακόμα και σε περίπτωση αδυναμίας κάποιου host.

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει την αρχιτεκτονική της πλατφόρμας



Εικόνα 2.3 - OpenShift Αρχιτεκτονική

Το control plane είναι ο εγκέφαλος της πλατφόρμας καθώς λαμβάνει αποφάσεις για την διαχείριση των containers αλλά και ανταποκρίνεται αντιστοίχως σε συμβάντα που αφορούν την ίδια την πλατφόρμα ή τα containers που την αποτελούν. Αποτελείται από τα ακόλουθα components:

etcd

Είναι η βάση που περιέχει όλη εκείνη την πληροφορία που αφορά την κατάσταση της πλατφόρμας, όπως πόσα services της απαρτίζουν και που τρέχουν αυτά τα services. Βασισμένη στον Raft consensus algorithm

API Server

Ο API Server αποτελεί το κεντρικό σημείο όλων των επικοινωνιών του control plane. Οποιαδήποτε κλήση προς το cluster διαπερνά μέσω αυτού. Με την λήψη της κλήσης, API server θα την επιτρέψει ή θα την απορρίψει λαμβάνοντας υπόψιν του διάφορες παραμέτρους, όπως την αυθεντικότητα του client που πραγματοποιεί την κλήση αλλά και αν έχει την εξουσιοδότηση να πραγματοποιήσει αυτή την ενέργεια.

kube-scheduler

Ο scheduler controller είναι υπεύθυνος για την τοποθέτηση των containers στους hosts. Ο αλγόριθμος απόφασης που χρησιμοποιεί βασίζεται στις απαιτήσεις της εφαρμογής και στην διαθεσιμότητα των πόρων (cpu, memory) των hosts που μπορούν να την υποστηρίξουν. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν κανόνες που να περιορίζουν την τοποθέτηση των container workloads κάτω από συγκεκριμένους nodes.

kube-controller-manager

Ο kube-controller-manager περιέχει διάφορους controllers μεταξύ των οποίων είναι οι ακόλουθοι:

- **Node controller**
ο οποίος εντοπίζει σφάλματα που μπορεί να παρουσιαστούν στους nodes και πυροδοτεί τις αντίστοιχες ενέργειες
- **Replication controller**
Διασφαλίζει ότι ο σωστός αριθμός των pods είναι σε running state.
- **Endpoint controller**
Διαχειρίζεται τα endpoints που συσχετίζονται μεταξύ των pods και των services.

Τα παραπάνω components απαρτίζουν, όπως προαναφέρθηκε το control plane και τρέχουν αποκλειστικά στους master nodes. Ωστόσο, υπάρχουν και επιπρόσθετα components που τρέχουν σε όλους τους nodes. Αυτά είναι τα εξής:

kubelet

Αποτελεί έναν agent ο οποίος είναι υπεύθυνος για όλα τα containers που τρέχουν εντός ενός node. Υλοποιείται με την μορφή ενός linux systemd service. Οι βασικές του λειτουργίες αποτελούνται από:

- Καταγραφή ενός node όταν εκείνος εισαχθεί στο cluster, δημιουργώντας την αντίστοιχη εγγραφή στον API Server
- Επαναλαμβανόμενη παρακολούθηση μέσω του API Server για τα pods που τρέχουν στον συγκεκριμένο node.
- Εκκίνηση των containers που ανήκουν σε ένα pod, χρησιμοποιώντας το container runtime.
- Παρακολούθηση της κατάστασης των containers, των resources που καταναλώνουν και σχετική ενημέρωση του API Server.
- Επανεκκίνηση των containers αν κάποια συγκεκριμένη συνθήκη που εξασφαλίζει την λειτουργία της εφαρμογής αποτύχει. Με αυτόν τον τρόπο, σταματά το συγκεκριμένο container, ενημερώνει τον API Server για το συμβάν και επαναξεκινεί το συγκεκριμένο container.

Service proxy

Αποτελεί έναν proxy που διασφαλίζει την επικοινωνία είτε μεταξύ των pods, είτε μεταξύ των containers, είτε μεταξύ των nodes που αποτελούν το cluster. Παρακολουθεί οποιεσδήποτε αλλαγές υπόκεινται στο επίπεδο των services και των pods ούτως ώστε να διαφυλλάσει ενημερωμένη την διαμόρφωση του δικτύου. Οι δικτυακές αλλαγές που πραγματοποιεί υλοποιούνται μέσω την ενημέρωση iptables κανόνων.

2.5.3 OpenShift SDN

Το OpenShift χρησιμοποιεί ένα Software Defined Δίκτυο για τις εσωτερικές επικοινωνίες αλλά και για να δρομολογήσει τις την κίνηση εκτός του cluster.

Κάθε pod και service αποκτά μία IP διεύθυνση, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία με τα διάφορα άλλα Pods ή services ή ακόμα και εξωτερικά συστήματα. Σε ένα OpenShift cluster υλοποιούνται 2 εικονικά δίκτυα, το ClusterNetwork που αφορά το δίκτυο εκείνο στο οποίο αποδίδονται οι IP διευθύνσεις των Pods και το ServiceNetwork που αφορά το δίκτυο εκείνο στο οποίο αποδίδονται οι IP διευθύνσεις των services. Τα

δίκτυα αυτά είναι εσωτερικά εντός του cluster και είναι άγνωστα στα εξωτερικά συστήματα. Η υλοποίηση και διαχείριση αυτών των δικτύων πραγματοποιείται μέσω του Openshift SDN, το οποίο δημιουργεί ένα overlay δίκτυο χρησιμοποιώντας το Open vSwitch (OVS).

Σε κάθε node αποδίδεται ένα /23 CIDR υποδίκτυο εντός του ClusterNetwork μέσα από το οποίο αποδίδονται οι IPs των pods που τρέχουν σε αυτόν. Το Openshift SDN δημιουργεί ορισμένες διεπαφές στον κάθε node που ανήκει στο cluster. Εκτός από την loopback και το physical interface, ο κάθε node φέρει και τις ακόλουθες διεπαφές:

- **br0 (bridge interface)**

Μία OVS bridge interface με την οποία όλες οι SDN interfaces συσχετίζονται. Το OVS δημιουργεί αυτή την διεπαφή όταν ένας node προστίθεται στο cluster

- **tun0 (tun interface)**

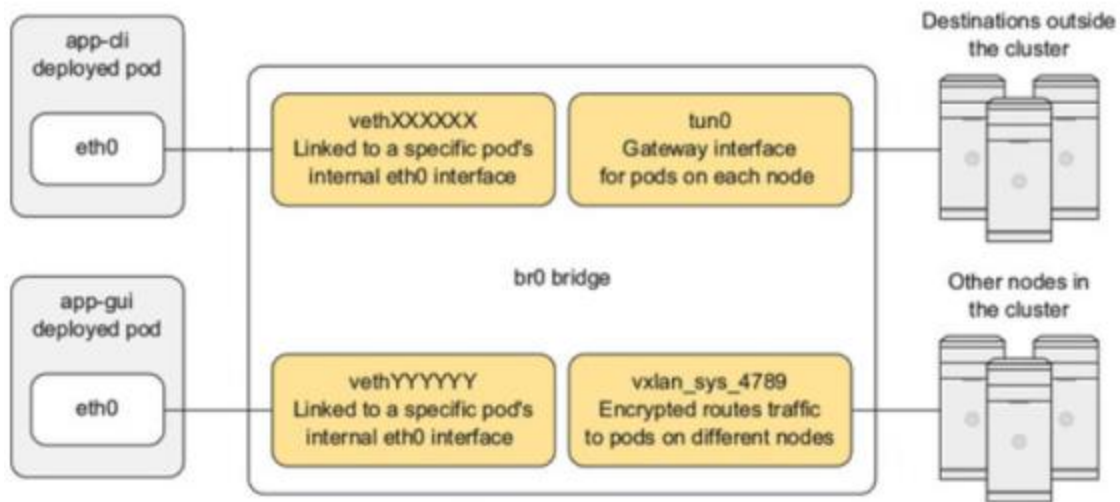
Συνδέεται με την br0 διεπαφή και λειτουργεί ως προεπιλεγμένος gateway για τον κάθε node. Η εισερχόμενη και εξερχόμενη κίνηση από τον node δρομολογείται μέσω αυτού του interface.

- **vxlan_sys_4789**

Συνδέεται επίσης με την br0 διεπαφή. Αποτελεί μία κρυπτογραφημένη VXLAN (virtual extensible local area network) και χρησιμοποιείται για την δρομολόγηση της κίνησης μεταξύ των containers και των nodes εντός του cluster.

Η eth0 διεπαφή του κάθε pod συνδέεται με μία εικονική διεπαφή (veth) του ίδιου του host. Όλη η κίνηση που διαπερνά εντός και εκτός του pod διέρχεται από την αντίστοιχη veth. Η κίνηση εκτός του cluster δρομολογείται μέσω του tun0 interface, ενώ η κίνηση των pods ανάμεσα στους nodes δρομολογείται μέσω του vxlan_sys_4789 interface.

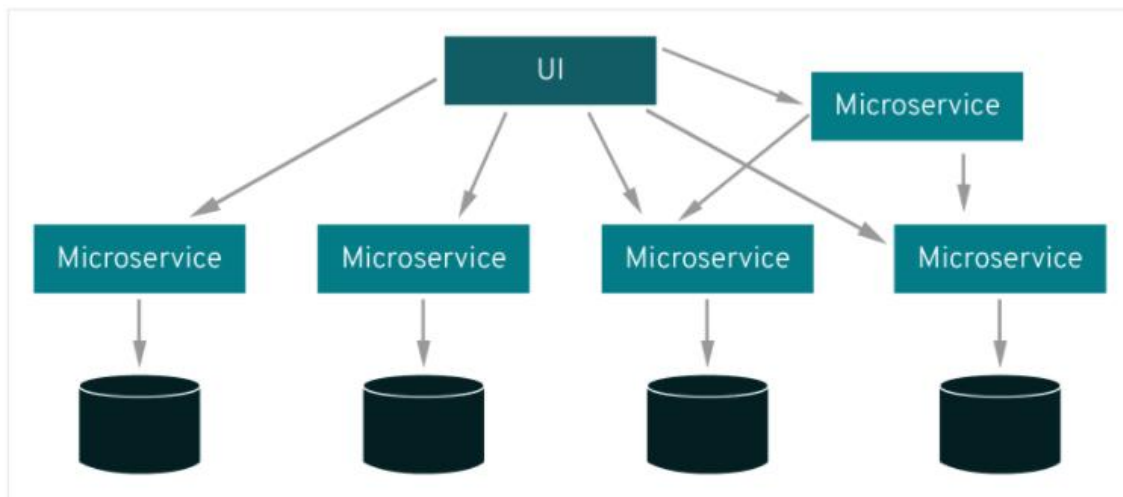
Η εικόνα 2.4 αναπαριστά την συσχέτιση των διεπαφών και τον ρόλο τους στην κάθε περίπτωση:



Εικόνα 2.4 – Σχέση των network interfaces που δημιουργούνται μέσω του OpenShift SDN

2.6 Πλεγματοποίηση υπηρεσιών (service mesh)

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των εφαρμογών λογισμικού ακολουθεί μια διαφορετική αρχιτεκτονική προσέγγιση. Το γνωστό «μονολιθικό» μοντέλο ανάπτυξης έχει αντικατασταθεί με την χρήση πολλών ξεχωριστών και μη άρρηκτα συνδεδεμένων services, γνωστή και ως μέθοδος χρήσης «microservices». Τα οφέλη της παρουσιάζονται κυρίως στην ευελιξία της διαχείρισης των services, καθώς κάθε service είναι ανεξάρτητο από τα άλλα. Η ιδιότητά τους αυτή επιτρέπει στο κάθε service να αναπτυχθεί ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τα δικά του εργαλεία και libraries, και να ακολουθήσει τον δικό του κύκλο ανάπτυξης.



Εικόνα 2.6 – Σχηματική αναπαράσταση microservices

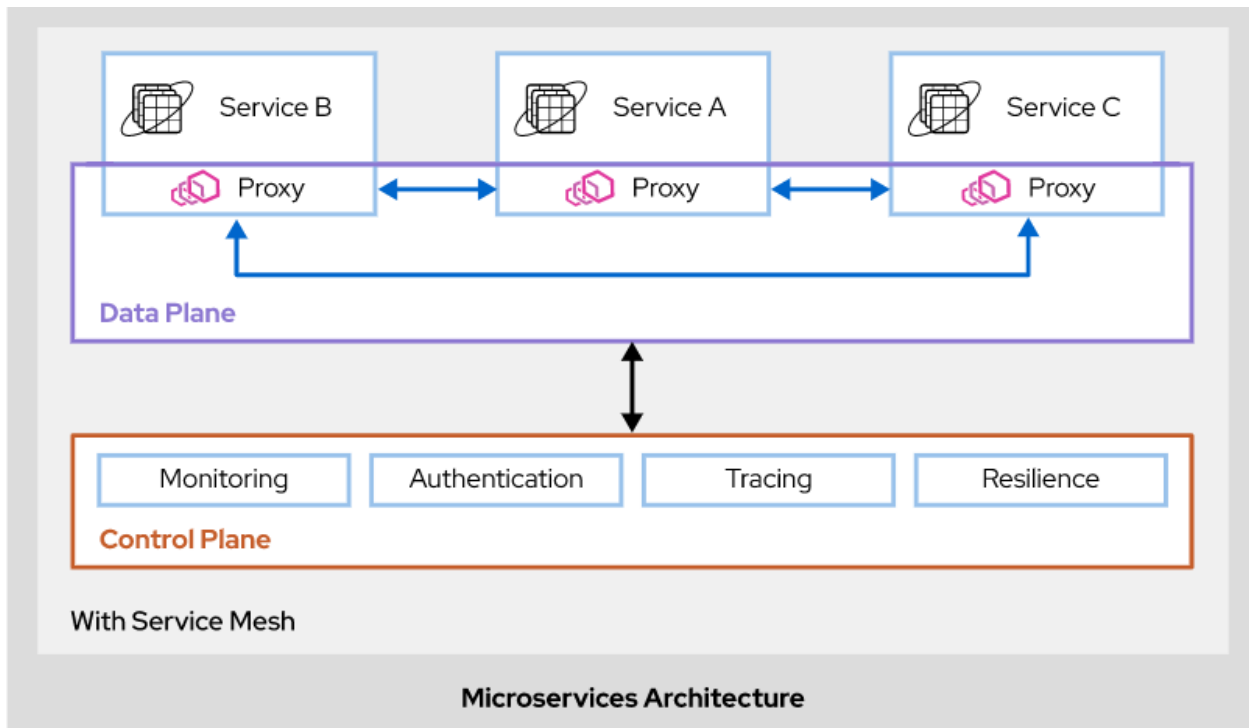
Ωστόσο, η ανάπτυξη μίας εφαρμογής που αποτελείται από πολλά microservices συναντά διαφορετικές απαιτήσεις που καλούνται να αντιμετωπιστούν. Οι απαιτήσεις αυτές διευρύνονται:

- Στο επίπεδο της ασφάλειας: Οι επικοινωνίες μεταξύ των διάφορων services πρέπει να πραγματοποιούνται μέσω της χρήσης ενός ασφαλές πρωτοκόλλου.
- Στο επίπεδο της ανθεκτικότητας: Τα services πρέπει να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε η απώλεια του ενός να μην συνεπάγει την απώλεια της εφαρμογής.
- Στο επίπεδο της διαχείρισης: Κεντρική παρακολούθηση συμβάντων (monitoring) και γεγονότων (logging), καταγραφή της κίνησης (tracing).

Η πλεγματοποίηση υπηρεσιών (service mesh) αποτελεί μια τεχνολογία που σχεδιάστηκε για να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις που εισάγονται μέσω των «microservices». Αποτελείται από δύο λογικά μέρη, ένα σύστημα ελέγχου (control plane) μέσω του οποίου πραγματοποιείται ο έλεγχος των χαρακτηριστικών του κάθε service και το data plane. Το control plane αλληλεπιδρά με το data plane το οποίο απαρτίζεται από έναν

εξειδικευμένο μεσολαβητή (εννογ proxy). Κάθε εσωτερική ή εξωτερική κλήση που πραγματοποιείται προς ή από ένα service περνάει μέσα από αυτόν τον proxy. Στη συνέχεια, ανάλογα με την παραμετροποίηση που control plane, ο proxy θα επιτρέψει ή θα κόψει την κλήση. Σε μία OpenShift υποδομή, όπου κάθε service αναπτύσσεται με την χρήση ενός Pod, ο εννογ proxy υλοποιείται ως ένα sidecar container.

Στην εικόνα που ακολουθεί αναπαρίσταται η αρχιτεκτονική του service mesh.



Εικόνα 2.7 - Αρχιτεκτονική Service Mesh

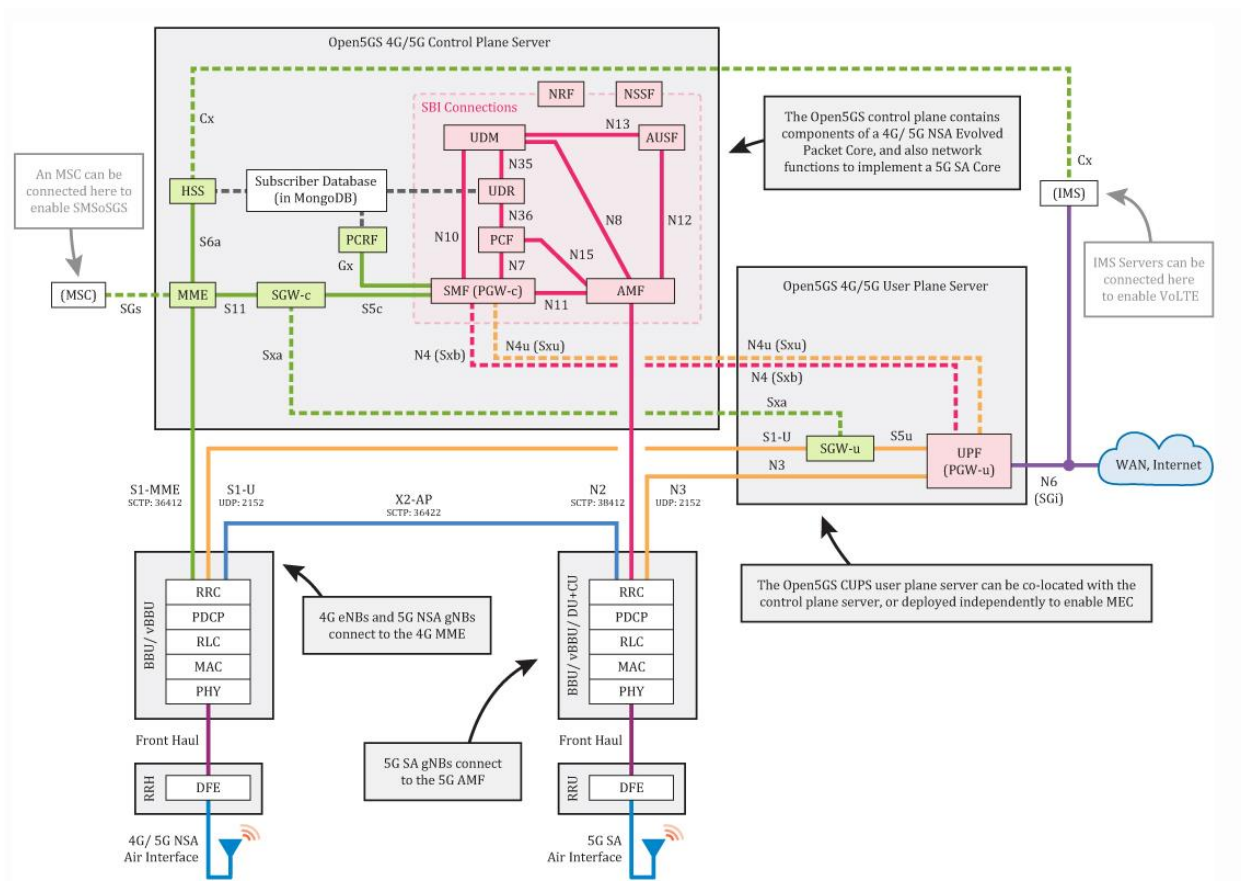
Το control plane εκτός από την διαχείριση και παραμετροποίηση του data plane παρέχει και επιπρόσθετες λειτουργίες, σημαντικότερες εκ των οποίων είναι η παρακολούθηση γεγονότων, η καταγραφή της κίνησης μιας κλήσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ Open5Gs ΚΑΙ UERANSIM ΣΕ OPENSHIFT

3.1 Open5Gs

Το έργο γύρω από τον κώδικα ανοιχτού λογισμικού «Open5Gs» ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 2017. Γραμμένο στην γλώσσα προγραμματισμού C υλοποιεί τις δικτυακές λειτουργίες ενός 4G/5G NSA και 5G SA δικτύου ακολουθώντας την 3GPP πρωτοτυποποίηση Release 16. Η αρχιτεκτονική που ακολουθεί παρατίθεται στο ακόλουθο σχήμα



Εικόνα 3.1 Αρχιτεκτονική Open5Gs

Η 5G SA υλοποίηση ακολουθεί το μοντέλο αρχιτεκτονικής SBA (Service based Architecture). Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, το δίκτυο αποτελείται από διάφορες δικτυακές λειτουργίες οι οποίες διαχωρίζονται σε εκείνες που αποτελούν το control plane και το data plane. Όσον αφορά το data plane η δικτυακή λειτουργία που το αποτελεί είναι η UPF, ενώ το control plane απαρτίζεται από τις AMF, SMF, AUSF, NRF, UDM, UDR, PCF, NSSF, BSF. Ο 5G SA gNB συνδέεται με το control plane του core δικτύου

(AMF NF) μέσω του N2 interface (πρωτόκολλο SCTP – πόρτα 38412). Η σύνδεσή του με το user plane γίνεται μέσω του N3 interface (πρωτόκολλο UDP – πόρτα 2152). Η δικτυακή λειτουργία UPF απεικονίζεται ξεχωριστά από το control plane για να υποστηρίξει τα σενάρια MEC (Multi-Access Edge Networking). Ωστόσο, στην υλοποίηση που πραγματοποιήθηκε σε αυτήν την Διπλωματική η UPF βρίσκεται εντός των ίδιων nodes που υλοποιούνται οι υπόλοιπες control plane λειτουργίες.

Αναφορικά με τον ρόλο που επιτελεί η κάθε δικτυακή λειτουργία του core δικτύου παρατίθενται οι ακόλουθες περιγραφές:

AMF: Access and Mobility Management Function

Η AMF αναλαμβάνει διάφορες λειτουργίες όπως τη διαχείριση της κινητικότητας (mobility management), τη διαχείριση εγγραφής (registration management), τη διαχείριση του δικτύου (network management) και άλλες.

AUSF: Authentication Server Function

Επιτρέπει στην AMF να αυθεντικοποιήσει την γνησιότητα του χρήστη (UE)

NRF: NF Repository Function

Διατηρεί μία λίστα από όλες τις δικτυακές λειτουργίες και τα προφίλ τους. Εφαρμόζει την εγγραφή και την εύρεση μίας υπηρεσίας ούτως ώστε όλες οι δικτυακές λειτουργίες να μπορούν να επικοινωνήσουν μέσω των APIs.

NSSF: Network Slice Selection Function

Διατηρεί μία λίστα όλων των δικτυακών τεμαχίων «slices» που έχουν οριστεί στο δίκτυο. Η λειτουργία AMF εξουσιοδοτεί την χρήση των δικτυακών τεμαχίων βάση της πληροφορίας που περιέχεται στο UDM ή μπορεί να υποβάλλει την ερώτηση στην NSSF λειτουργία ώστε να εξουσιοδοτήσει την χρήση ενός δικτυακού τεμαχίου με βάση τις απαιτήσεις της υπηρεσίας. Στη συνέχεια η NSSF ανακατευθύνει την κίνηση στο επιθυμώμενο δικτυακό slice.

PCF: Policy and Charging Function

Η PCF υποστηρίζει ένα πλαίσιο πολιτικής ελέγχου βάση του οποίου εφαρμόζει πολιτικές αποφάσεις που σκοπό έχουν την διαχείριση της συμπεριφοράς του δικτύου. Συγκριτικά με το 4G EPC, οι λειτουργίες της αφορούν

SMF: Session Management Function

Η SMF αναλαμβάνει λειτουργίες όπως την απόδοση IP διεύθυνσης στον χρήστη (UE)

UDM: Unified Data Management

UDR: Unified Data Repository

UPF: User Plane Function

Ο ρόλος αυτής της λειτουργίας είναι η μεταφορά της κίνησης δεδομένων (data traffic) μεταξύ του UE και των εξωτερικών δικτύων. Αναλαμβάνει λειτουργίες όπως η διατήρηση της PDU session σύνδεσης, δρομολόγηση και προώθηση των πακέτων, έλεγχος των πακέτων, διαχείριση QoS.

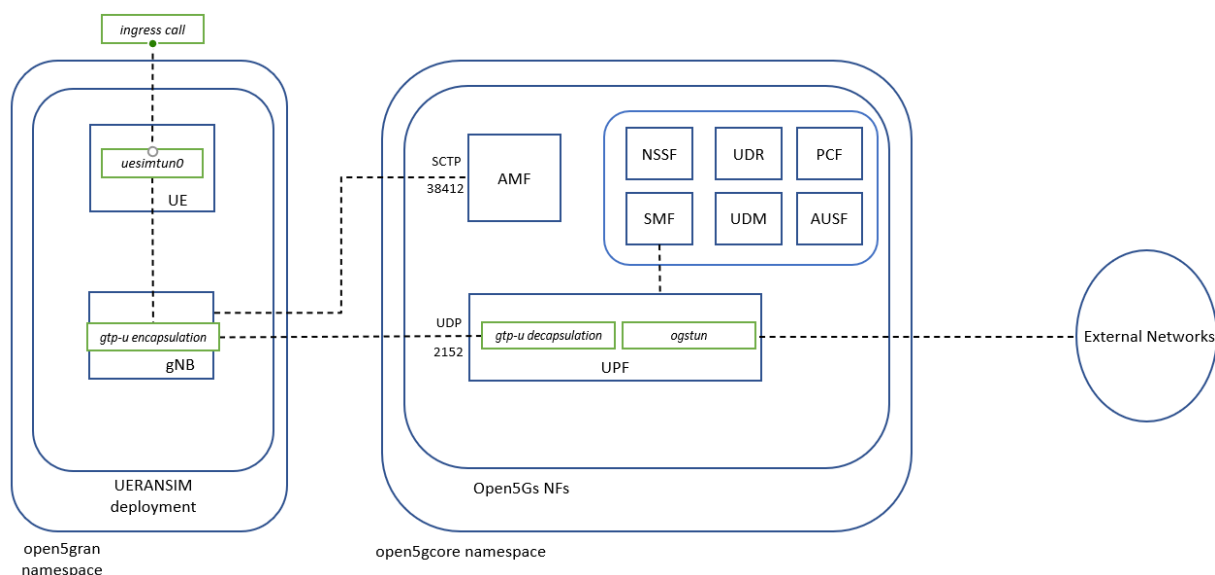
BSF: Binding Support Function

3.2. UERANSIM

Το λογισμικό ανοιχτού κώδικα UESRANSIM αποτελεί μια προσωμοίηση του RAN (Radio Access Network). Υλοποιεί τον σταθμό βάσης (gNB) και τον χρήστη (UE) που επικοινωνούν με το 5G δίκτυο κορμού.

Κατά την σύνδεση του UERANSIM με το core δίκτυο, δημιουργείται μια PDU session και μια νέα δικτυακή διεπαφή, η «uesimtun0». Ο σταθμός βάσης gNB είναι υπεύθυνος για την καθιέρωση της σύνδεσης με το δίκτυο κορμού και όταν αυτή πραγματοποιηθεί επιτυχώς, η δρομολόγηση των πακέτων που αφορούν το control plane γίνεται μεταξύ του gNB και της AMF NF μέσω του NG-c interface, ενώ η κίνηση των πακέτων που αφορούν το data-plane γίνεται μεταξύ του gNB και της UPF NF.

Ακολουθεί μία σχηματική αναπαράσταση της κίνησης από τον UE προς τα εξωτερικά δίκτυα (internet)



Εικόνα 3.2 – Σύνδεση του UERANSIM με το Open5Gs δίκτυο

3.3 Υλοποίηση

3.3.1 Εγκατάσταση OpenShift

Το περιβάλλον έχει στηθεί σε μια VMWare υποδομή, μέσω της IPI (installer provisioned) μεθόδου. Για την εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον 2 ξεχωριστά VMs εκτός του cluster. Το ένα VM είναι εκείνο από το οποίο αποκτάται πρόσβαση εντός του cluster και το άλλο τρέχει εξωτερικά DNS, DHCP services που είναι απαραίτητα για το cluster.

Προετοιμασία DNS

Αρχικά με την εγκατάσταση των πακέτων bind, dhcp υλοποιήθηκαν οι DNS και DHCP αντιστοίχως. Οι DNS εγγραφές που πρέπει να περαστούν είναι οι εξής:

DNS record	Points to	Type
api.openshift.example.com	<IP address for API load balancer>	A
*.apps.openshift.example.com	<IP address for application ingress load balancer>	A
<reserve IP address for API load balancer>	api.openshift.example.com	PTR

Το πακέτο bind προσφέρει το named service που χρησιμοποιήθηκε ως DNS server.

Το configuration στο οποίο εισάγονται οι DNS ζώνες βρίσκεται κάτω από το /etc/named.conf. Σε αυτό το αρχείο προστέθηκαν οι ζώνες που αφορούν το cluster.

```
zone "example.com." {
    type master;
    file "db.example.com";
};

zone "example.com IN-ADDR.ARPA." IN {
    type master;
    file "example.com.db";
};
```

Το configuration της κάθε ζώνης βρίσκεται κάτω από το /var/named/db.<zone-name>

Σε αυτό το αρχείο εισάγουμε τις DNS εγγραφές που χρειαζόμαστε

```
[root@os-bs01 ~]# cat /var/named/db. | grep -v ';'
$TTL 1W
@      IN      SOA     ns.                root (
      IN      NS     ns.
ns     IN      A      .
$ORIGIN openshift.
api IN 1H A
$ORIGIN apps.openshift.
* IN 1H A
```

Για να περαστεί το configuration που έχουμε ορίσει χρειάζεται restart του named service.

```
systemctl restart named
```

```
[root@os-bs01 ~]# systemctl status named
● named.service - Berkeley Internet Name Domain (DNS)
   Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/named.service; enabled; vendor preset: disabled)
   Active: active (running) since Mon 2022-02-07 19:48:33 EET; 35s ago
```

Προετοιμασία DHCP

Για τον DHCP server χρησιμοποιήθηκε το linux πακέτο dhcp. Ο dhcp είναι απαραίτητος καθώς οι IPs των nodes αποδόθηκαν δυναμικά.

Το configuration βρίσκεται κάτω από το /etc/dhcp/dhcpd.conf

Η πληροφορία που περιέχεται περιλαμβάνει το δίκτυο στο οποίο θα τοποθετηθεί το cluster

```
subnet netmask {
    option routers ;
    option broadcast-address ;
    option subnet-mask ;
    option domain-name-servers ;
    option domain-name " ";
    range 1 ;
}
```

Με την ολοκλήρωση του configuration απαιτείται restart του dhcpd service.

Προετοιμασία bastion server

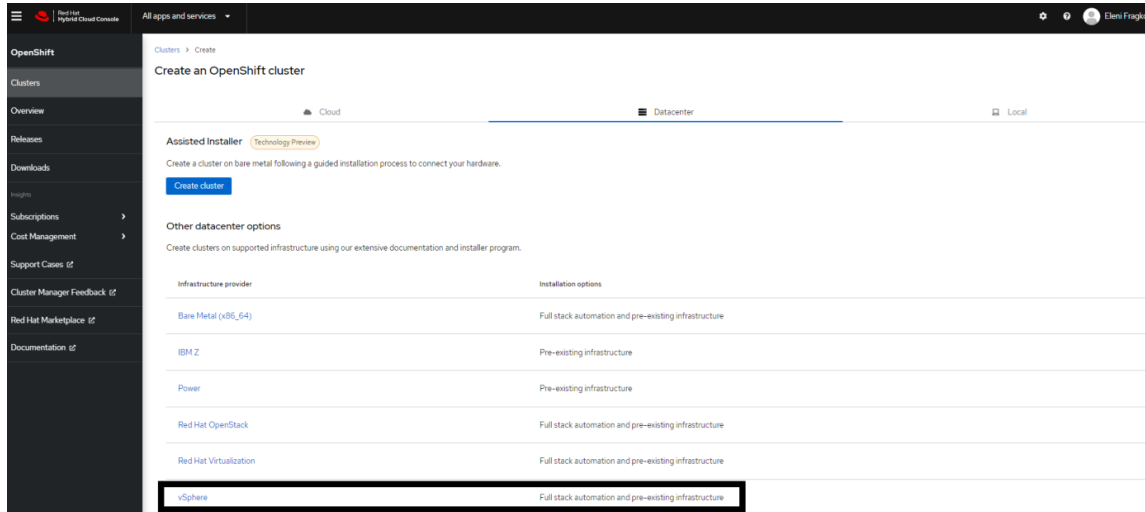
Για την εγκατάσταση χρειαζόμαστε να κατεβάσουμε τα εξής:

- Openshift installer
- Openshift client

- Pull secret

Όλα τα παραπάνω είναι διαθέσιμα από το red hat site

<https://cloud.redhat.com/openshift>



Clusters > Create > VMware vSphere > Installer-provisioned infrastructure

Install OpenShift on vSphere with installer-provisioned infrastructure

- 1 What you need to get started**

OpenShift installer

Download and extract the install program for your operating system and place the file in the directory where you will store the installation configuration files. Note: The OpenShift install program is only available for Linux and macOS at this time.

Linux x86_64 **Download installer** 1

[Developer Preview](#) [Download pre-release builds](#)

Pull secret

Download or copy your pull secret. You'll be prompted for this information during installation.

2 **Download pull secret** [Copy pull secret](#)

Command line interface

Download the OpenShift command-line tools and add them to your PATH.

Windows x86_64 **Download command-line tools** 3

When the installer is complete you will see the console URL and credentials for accessing your new cluster. A `kubeconfig` file will also be generated for you to use with the `oc` CLI tools you downloaded.

Στο VM από το οποίο θα τρέξουμε το installation χρειάζεται να δημιουργήσουμε έναν νέο φάκελο μέσω της εντολής

```
mkdir ocpinst/
```

Τα αρχεία που κατεβάσαμε, τα παίρνουμε στο ίδιο VM κανοντάς extract τα «openshift-install-linux.tar.gz» και « openshift-client-linux.tar.gz » μέσω των εντολών

```
tar xvf openshift-install-linux.tar.gz
```

```
tar xvf openshift-client-linux.tar.gz
```

Τους client “oc” και “kubectl” τους παίρνουμε μέσα στο PATH

```
echo $PATH
```

```
mv oc kubectl /usr/local/bin/
```

Στη συνέχεια δημιουργούμε ένα ssh-key pair με το οποίο θα μπορούμε να κάνουμε login στους nodes του cluster χρησιμοποιώντας τον χρήστη core.

```
ssh-keygen -t ed25519 -N '' -f ocpinst/core
```

Μέσω της προηγούμενης εντολής δημιουργούνται το private key «core» και το public key «core.pub»

Τρέχουμε τον ssh-agent ως background process

```
[root@os-bs02 ~]# eval "$(ssh-agent -s)"  
Agent pid 29064
```

Και εισάγουμε το private key

```
Agent pid 29064  
[root@os-bs02 ~]# ssh-add ocpinst/core  
Identity added: ocpinst/core (root@os-bs02)
```

Για την επικοινωνία με το vCenter χρειάζεται να περάσουμε τα vCenter root CA πιστοποιητικά στο trust store του VM.

```
[root@os-bs02 ~]# tree download  
download  
├── certs  
│   ├── lin  
│   │   ├── [redacted].0  
│   │   └── [redacted].rl  
│   ├── mac  
│   │   ├── [redacted].0  
│   │   └── [redacted].rl  
│   └── win  
│       ├── [redacted].0.crt  
│       └── [redacted].rl.crl  
4 directories, 6 files
```

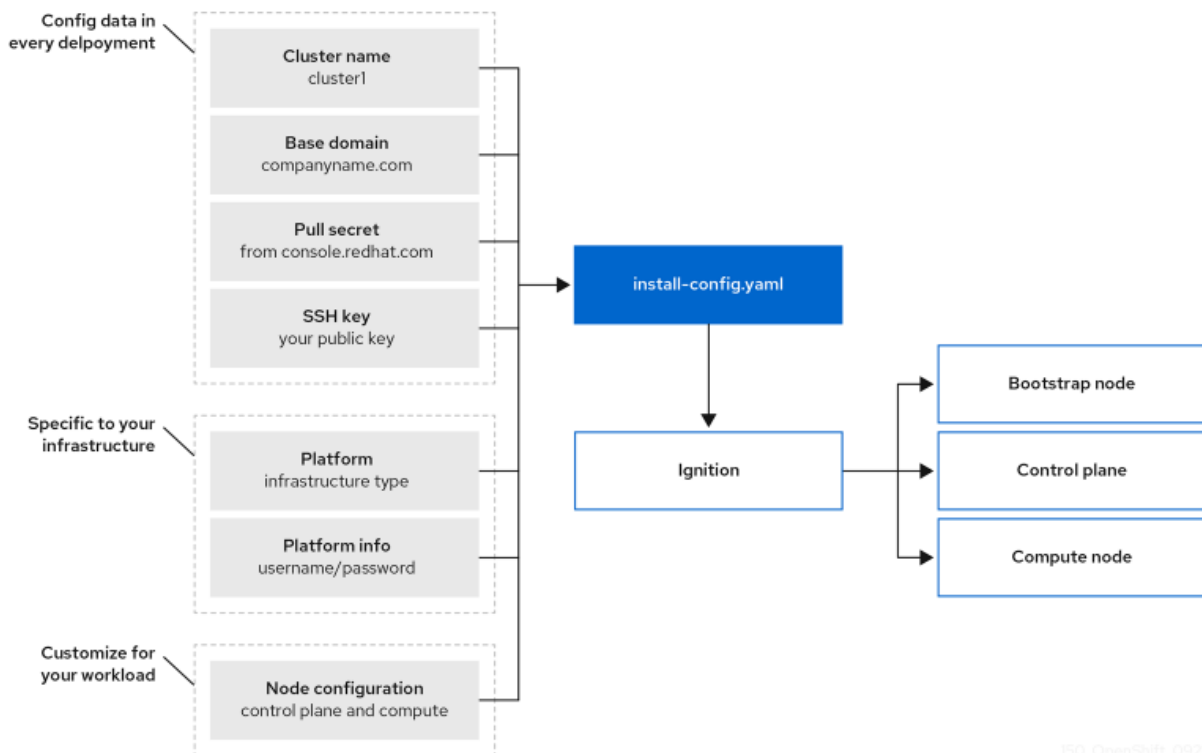
```
cp download/certs/lin/* /etc/pki/ca-trust/source/anchors
```

```
update-ca-trust extract
```

Actual installation

Η παραμετροποίηση του cluster γίνεται μέσω του αρχείου `install-config.yaml`

Η διαδικασία που ακολουθεί απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα



Στο αριστερό μέρος απεικονίζονται οι παράμετροι που απαρτίζουν.

Μπορεί να δημιουργηθεί μέσω της εντολής

```
[root@os-bs02 ocpinst]# ./openshift-install create install-config --dir=.
```

Στη συνέχεια παραμετροποιούμε το αρχείο ως ακολούθως

```

apiVersion: v1
baseDomain: example.com
compute:
- architecture: amd64
  hyperthreading: Enabled
  name: worker
  platform:
    vsphere:
      cpus: 2
      coresPerSocket: 2
      memoryMB: 8196
      osDisk:
        diskSizeGB: 120
  replicas: 3
controlPlane:
  architecture: amd64
  hyperthreading: Enabled
  name: master
  platform:
    vsphere:
      cpus: 2
      coresPerSocket: 2
      memoryMB: 8196
      osDisk:
        diskSizeGB: 120
  replicas: 3
metadata:
  name: openshift
networking:
  clusterNetwork:
  - cidr: 10.128.0.0/14
    hostPrefix: 23
  machineNetwork:
  - cidr: 10.0.0.0/16
  networkType: OpenShiftSDN
  serviceNetwork:
  - 172.30.0.0/16
platform:
  vsphere:
    apiVIP: <API_VIP>
    cluster: <CLUSTER_NAME_VSPHERE>
    datacenter: <DATACENTER_NAME>
    defaultDatastore: <DATASTORE_NAME>
    ingressVIP: <INGRESS_VIP>
    network: <NETWORK_NAME>
    password: <PASSWORD>
    username: <USERNAME>
    vCenter: <VCENTER_FQDN>
publish: External
pullSecret: <ENTER PULL SECRET THAT WAS DOWNLOADED BEFORE>
sshKey: <SSH KEY>

```

Το sizing που επιλέχθηκε είναι:

Role	Count	CPU	RAM	Disk
Masters	3	2	8	120
Workers	3	2	8	120

Αφότου ολοκληρωθεί η παραμετροποίηση του αρχείου, η δημιουργία του cluster πραγματοποιείται μέσω της επόμενης εντολής









```
[root@os-bs02 ocpinst]# ./openshift-install create cluster --dir=. --log-level=info
```

Η IPI διαδικασία ελαχιστοποιεί τις διαχειριστικές ενέργειες.

Η επιτυχής εγκατάσταση παρουσιάζεται μέσα από τα παρακάτω logs

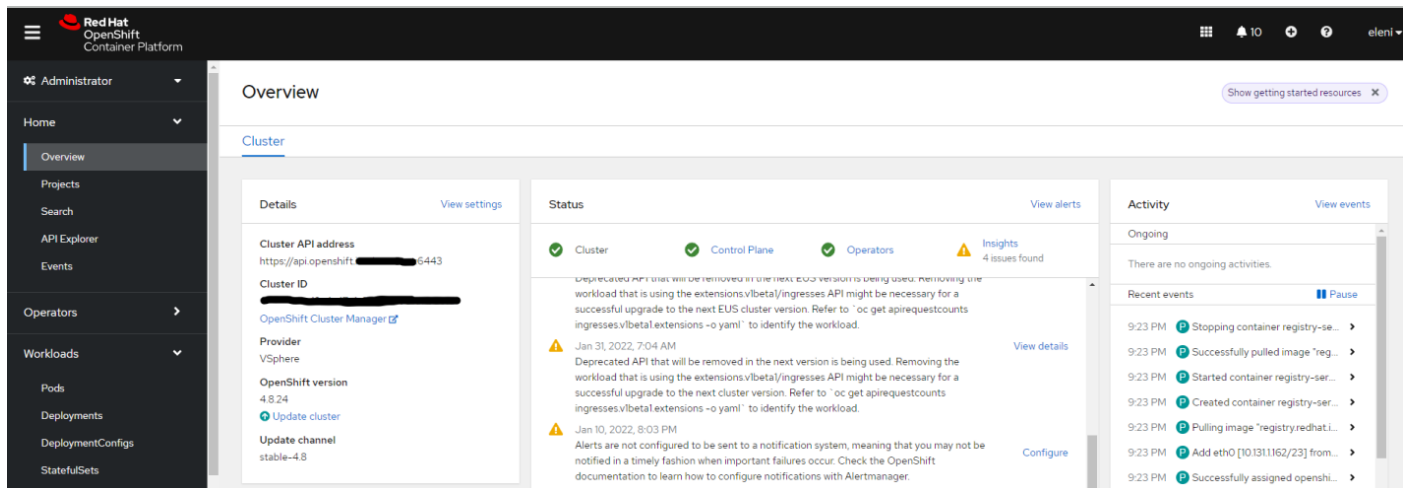
```
level=debug msg="Cluster is initialized"
level=info msg="Waiting up to 10m0s for the openshift-console route to be created..."
level=debug msg="Route found in openshift-console namespace: console"
level=debug msg="OpenShift console route is admitted"
level=info msg="Install complete!"
level=info msg="To access the cluster as the system:admin user when using 'oc', run 'export KUBECONFIG=...' "
level=info msg="Access the OpenShift web-console here: https://console-openshift-console.apps.openshift. ..."
level=info msg="Login to the console with user: \"kubeadmin\", and password: \"...\""
level=debug msg="Time elapsed per stage:"
level=debug msg="  Infrastructure: 2m2s"
level=debug msg="Bootstrap Complete: 16m2s"
level=debug msg="  API: 2m39s"
level=debug msg=" Bootstrap Destroy: 15s"
level=debug msg=" Cluster Operators: 18m7s"
level=info msg="Time elapsed: 43m25s"
```

Και την δημιουργία των OpenShift nodes

- ▼  openshift-grg6q
 -  openshift-grg6q-master-0
 -  openshift-grg6q-master-1
 -  openshift-grg6q-master-2
 -  openshift-grg6q-rhcos
 -  openshift-grg6q-worker-69m6x
 -  openshift-grg6q-worker-glwk4
 -  openshift-grg6q-worker-x6jzg

Το OpenShift UI είναι προσβάσιμο κάτω από το URL

<https://console-openshift-console.apps.openshift.<DOMAIN>/>



Μέσα από το UI έχουμε μια κεντρική εικόνα που αφορά το cluster και μπορούμε να εκτελέσουμε διάφορες διαχειριστικές ενέργειες.

Ακολουθεί η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για την δημιουργία του Service Mesh.

3.3.2 Εγκατάσταση Service Mesh

Η υλοποίηση service mesh παρέχεται μέσω των παρακάτω operators

- **Red Hat Service Mesh**
Υπευθυνος για το control plane του service mesh
- **Red Hat OpenShift distributed tracing platform**
Υπεύθυνος για tracing σκοπούς μέσω του Jaeger
- **Kiali Operator**
Χρησιμοποιείται για visualization σκοπούς.
- **OpenShift Elasticsearch Operator**
Δημιουργεί μια Elasticsearch βάση που χρησιμοποιείται ως storage για τον Jaeger (η εγκατάσταση του είναι προερατική)

Η εγκατάστασή τους πραγματοποιείται μέσα από το OpenShift UI

Installed Operators

Installed Operators are represented by ClusterServiceVersions within this Namespace. For more information, see the [Understanding Operators documentation](#). Or create an Operator and ClusterServiceVersion using the [Operator SDK](#).

Name	Managed Namespaces	Status	Last updated	Provided APIs
OpenShift Elasticsearch Operator 5.3.2-20 provided by Red Hat	All Namespaces	✔ Succeeded Up to date	🕒 Jan 10, 2022, 8:03 PM	Elasticsearch Kibana
Red Hat OpenShift distributed tracing platform 1.28.0 provided by Red Hat	All Namespaces	✔ Succeeded Up to date	🕒 Jan 10, 2022, 7:56 PM	Jaeger
Kiali Operator 1.36.7 provided by Red Hat	All Namespaces	✔ Succeeded Up to date	🕒 Jan 13, 2022, 7:55 PM	Kiali Monitoring Dashboard
Red Hat OpenShift Service Mesh 2.11-0 provided by Red Hat, Inc.	All Namespaces	✔ Succeeded Up to date	🕒 Jan 13, 2022, 7:55 PM	Istio Service Mesh Control Plane Istio Service Mesh Member Istio Service Mesh Member Roll

Στην συνέχεια δημιουργούμε το control plane του service mesh που θα βρίσκεται κάτω από το namespace istio-system.

```
vim istio-servicemeshcontrolplane.yaml
```

```
apiVersion: maistra.io/v2
kind: ServiceMeshControlPlane
metadata:
  namespace: istio-system
  name: basic
  labels:
    app: open5score
spec:
  tracing:
    sampling: 10000
    type: None
  policy:
    type: Istiod
  addons:
    grafana:
      enabled: false
    jaeger:
      install:
        storage:
          type: Memory
    kiali:
      enabled: true
    prometheus:
      enabled: true
  version: v2.0
  telemetry:
    type: Istiod
```

Η επιτυχής εγκατάσταση του control plane ολοκληρώνεται όταν τα pods που το απαρτίζουν βρίσκονται σε running status.

```
[root@os-bs02 ocpopen5gs]# oc get po -n istio-system
```

NAME	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
grafana-64b4c89ffd-nnmzw	2/2	Running	0	3d18h
istio-egressgateway-7bd88577bd-nbdm5	1/1	Running	0	4d5h
istio-ingressgateway-b5d4b99cc-2wkw2	1/1	Running	0	4d5h
istiod-basic-6985d799ff-ddkdm	1/1	Running	0	4d5h
jaeger-7b74fffd75-4fjzj	2/2	Running	0	3d18h
kiali-599bd85d74-hgq4c	1/1	Running	0	3d17h
prometheus-b9bf5cd69-lgcqv	3/3	Running	0	4d5h

Αλλά και από το servicemeshcontrolplane resource

```
[root@os-bs02 cnvopen5gcore]# oc get servicemeshcontrolplanes.maistra.io -n istio-system
```

NAME	READY	STATUS	PROFILES	VERSION	AGE
basic	9/9	ComponentsReady	["default"]	2.0.8	27d

Στην συνέχεια δημιουργούμε το project (ή namespace) open5gcore

```
oc new-project open5gcore
```

και εφαρμόζουμε το ακόλουθο ServiceMeshMemberRoll ούτως ώστε να συμπεριλάβουμε σαν μέλος του servicemesh το namespace που θα ανήκει το core network.

```
vim istioservicemeshcontrolplane.yaml
```

```
apiVersion: maistra.io/v1
kind: ServiceMeshMemberRoll
metadata:
  name: default
  namespace: istio-system
  finalizers:
    - maistra.io/istio-operator
  labels:
    app: open5gcore
spec:
  members:
    - open5gcore
```

3.3.3 Εγκατάσταση Open5GS

Για την σύνδεση του gNB με την AMF χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο επικοινωνίας SCTP. Το πρωτόκολλο αυτό καθώς δεν είναι διαθέσιμο εξ αρχής, το ενεργοποιήσουμε εφαρμόζοντας το ακόλουθο machineconfig στους worker nodes.

```
$ vim load-sctp-module.yaml
```

```

apiVersion: machineconfiguration.openshift.io/v1
kind: MachineConfig
metadata:
  labels:
    machineconfiguration.openshift.io/role: worker
  name: load-sctp-module
spec:
  config:
    ignition:
      version: 3.2.0
    storage:
      files:
        - contents:
            source: data:,
            mode: 420
            overwrite: true
            path: /etc/modprobe.d/sctp-blacklist.conf
        - contents:
            source: data:text/plain;charset=utf-8,sctp
            mode: 420
            overwrite: true
            path: /etc/modules-load.d/sctp-load.conf

```

\$ oc create -f load-sctp-module.yaml

Στο σημείο αυτό ο machineconfig operator θα εντοπίσει την αλλαγή και θα κάνει restart έναν προς έναν τους workers.

Αφότου ολοκληρωθεί το restart των workers, μπορούμε να ελεγχουμε το status του worker pool μετά την εφαρμογή της αλλαγής

```

[root@os-bs02 cnvopen5gcore]# oc get mcp

```

NAME	CONFIG	UPDATED	UPDATING	DEGRADED	MACHINECOUNT	READYMACHINECOUNT	UPDATEDMACHINECOUNT	DEGRADEDMACHINECOUNT
master	rendered-master-7b8e449567013970040bf1856f86f9df	True	False	False	3	3	3	0
worker	rendered-worker-39aac450b189ca40f7a4e451466b11f1	True	False	False	3	3	3	0

Στη συνέχεια, με την χρήση του ακόλουθου script κάνουμε deploy το Open5Gs

```

#!/usr/bin/env bash
echo -e "Configuring privileged access...\n"
echo
oc adm policy add-scc-to-user anyuid -z default
oc adm policy add-scc-to-user hostaccess -z default
oc adm policy add-scc-to-user hostmount-anyuid -z default
oc adm policy add-scc-to-user privileged -z default
current_dir=$PWD
oc create secret generic mongodb-ca --from-file=$current_dir/5gcore/ca-tls-certificates/rds-combined-ca-bundle.pem
oc get secret
cd 5gcore
echo "Deploying Open5G Core"
helm install -f values.yaml 5gcore ./
echo "Enjoy The Open 5G Core!"

```

Το 5G Core υλοποιείται με την χρήση ενός helm chart.

Έπειτα υλοποιούμε το ακόλουθο network-attachment-definition, το οποίο χρησιμοποιεί το multus CNI για να εισάγει ένα δεύτερο network interface στα pods.

```
vim 5gcore/templates/macvlan-multus-static.yaml

kind: NetworkAttachmentDefinition
metadata:
  name: macvlan-multus
spec:
  config: '{ "type": "macvlan", "mode": "bridge", "master": "ens192", "ipam": { "type": "static" } ;
```

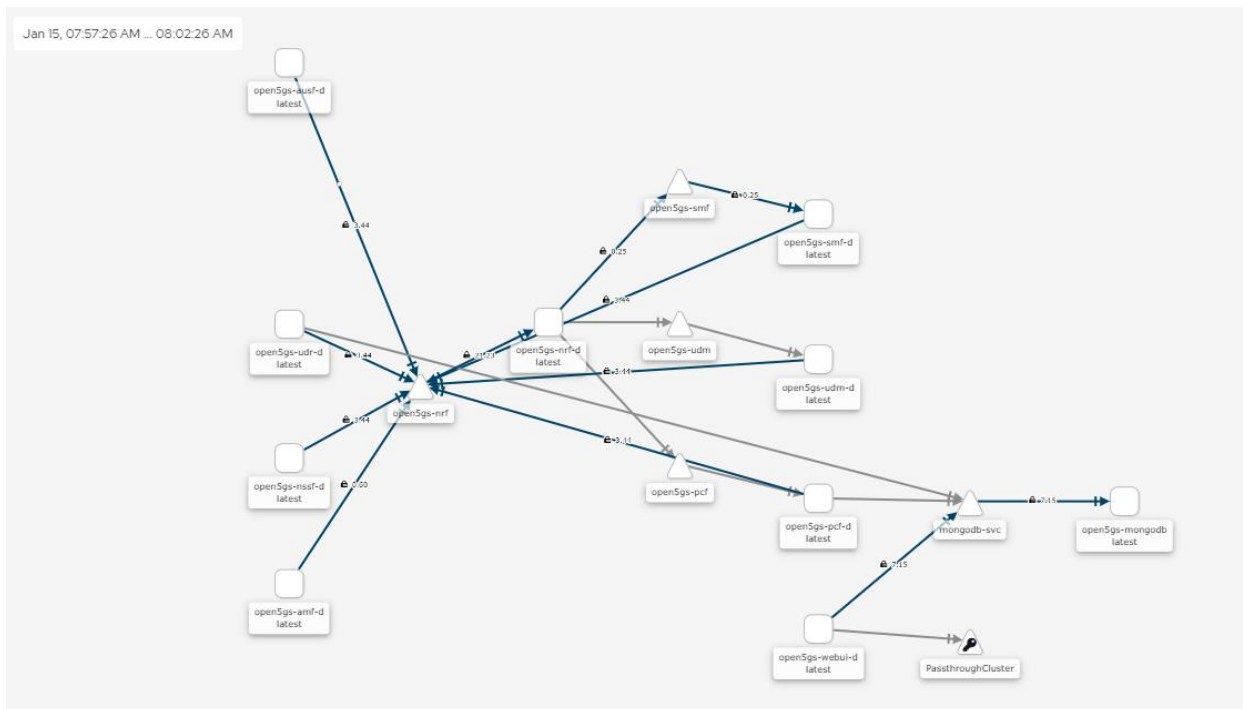
Η εγκατάσταση του Open5Gs ολοκληρώνεται όταν όλα τα pods κάτω από το open5gcore namespace είναι σε running κατάσταση.

Project: open5gcore

debug-app-5c485dcd46-pjlzq	Running	1/1	0	debug-app-5c485dcd46	2.2 MiB	0.000 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-amf-d-67f554c48f-wnh6t	Running	2/2	0	open5gs-amf-d-67f554c48f	92.7 MiB	0.003 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-ausf-d-7f8bff95d5-6wd94	Running	2/2	0	open5gs-ausf-d-7f8bff95d5	81.6 MiB	0.003 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-mongodb-d-6b8cd79bfc-xbZsj	Running	2/2	0	open5gs-mongodb-d-6b8cd79bfc	130.2 MiB	0.006 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-nrf-d-75bd845cfb-9mgcn	Running	2/2	0	open5gs-nrf-d-75bd845cfb	88.3 MiB	0.003 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-nssf-d-6696699744-fcixr	Running	2/2	0	open5gs-nssf-d-6696699744	79.9 MiB	0.002 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-pcf-d-6955d7bff-75j7j	Running	2/2	3	open5gs-pcf-d-6955d7bff	88.4 MiB	0.002 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-smf-d-5b75c68474-vxqdn	Running	2/2	0	open5gs-smf-d-5b75c68474	114.1 MiB	0.003 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-udm-d-59894d49f4-k6jvc	Running	2/2	0	open5gs-udm-d-59894d49f4	79.7 MiB	0.003 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-udr-d-6865df4c67-26wz5	Running	2/2	3	open5gs-udr-d-6865df4c67	76.0 MiB	0.003 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-upf-d-7f98ddc46-xv8xx	Running	2/2	0	open5gs-upf-d-7f98ddc46	94.0 MiB	0.003 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM
open5gs-webui-d-6f99d7c975-6zsfw	Running	2/2	0	open5gs-webui-d-6f99d7c975	93.8 MiB	0.003 cores	Feb 5, 2022, 9:41 AM

Κάτω από το ίδιο namespace μπορούμε να διακρίνουμε τα διάφορα NFs, την mongodb, και ένα Web UI (γραμμένο σε nodejs) το οποίο γίνεται exposed μέσω της χρήσης του gateway resource.

Μέσω του Kiali, παρέχεται η δυνατότητα να απεικονιστεί γραφικά η επικοινωνία μεταξύ των containers εντός του πλέγματος.



Σε αυτό το σημείο μπορούμε να κάνουμε login στο Web UI και να δημιουργήσουμε τον πρώτο subscriber.

Username

Password

Login

Για την δημιουργία του subscriber θα χρειαστεί να ορίσουμε την τιμή IMSI: 208930000000001 και οι υπολοιπες παραμένουν ως default.

Create Subscriber

Subscriber Configuration

IMSI*
208930000000001

Subscriber Key (K)*
465B5CE8 B199B49F AA5F0A2E E238A6BC

Authentication Management Field (AMF)*
8000

USIM Type
OPc

Operator Key (OPc/OP)*
E8ED289D EBA952E4 283B54E8 8E6183CA

UE-AMBR Downlink*
1




Unit
Gbps

UE-AMBR Uplink*
1


Unit
Gbps


Slice Configurations

CANCEL SAVE

208930000000001   

Subscriber Configuration

 465B5CE8 B199B49F AA5F0A2E E238A6BC ... K
E8ED289D EBA952E4 283B54E8 8E6183CA ... OPc
8000 ... AMF

 1 Gbps ... DL
1 Gbps ... UL

SST:1 (Default S-NSSAI)

DNN/APN	Type	5QI/QCI	ARP	Capability	Vulnerability	MBR DL/UL	GBR DL/UL
internet	IPv4v6	9	8	Disabled	Disabled	1 Gbps / 1 Gbps	

Μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την δημιουργία του subscriber μέσα από την mongo

```
> show dbs;
admin 0.000GB
config 0.000GB
local 0.000GB
open5gs 0.000GB
> use open5gs
switched to db open5gs
> show collections
accounts
sessions
subscribers
> db.subscribers.find()
{"_id": ObjectId("6216b34f9b7d5b0019004fcc"), "imsi": "20893000000001", "subscribed_rau_tau_timer": 12, "network_access_mode": 2, "subscriber_status": 0, "access_restriction_data": 32, "slice": [{"_sst": 1, "default_indicator": true, "_id": ObjectId("6216b34f9b7d5b0019004fcc"), "session": [{"name": "Internet", "type": 3, "_id": ObjectId("6216b34f9b7d5b0019004fcc")}], "pcc_rule": [{"_id": "ambn": {"uplink": {"value": 1, "unit": 3}, "downlink": {"value": 1, "unit": 3}}, "qos": {"index": 9, "arp": {"priority_level": 8, "preemption_capability": 1, "preemption_vulnerability": 1}}]}, "ambn": {"uplink": {"value": 1, "unit": 3}, "downlink": {"value": 1, "unit": 3}}, "security": {"k": "46585CE8 B199849F A55F0A2E E238A6BC", "anf": "8800", "op": null, "opc": "E8ED289D EB4952E4 283854E8 8E6183CA", "sqn": NumberLong(64)}, "schema_version": 1, "_v": 0}
>
```

Το Open 5g Core Network είναι έτοιμο και μπορούμε να συνεχίσουμε με τον UERANSIM (RAN simulator)

3.3.4 Δημιουργία UERANSIM

Για την υπολοίηση του UERANSIM χρειάστηκε η δημιουργία του Container Image (build) και η αποθήκευση του στο docker image registry.

```
[root@openshift-nfs UERANSIM]# docker tag ueransim:latest docker4eleni/ueransim:latest
[root@openshift-nfs UERANSIM]# docker images
REPOSITORY          TAG          IMAGE ID          CREATED          SIZE
docker4eleni/ueransim latest       1747d7003970     4 days ago      142MB
```

```
[root@openshift-nfs UERANSIM]# docker push docker4eleni/ueransim:latest
The push refers to repository [docker.io/docker4eleni/ueransim]
a56e20534866: Pushed
51ccbb15e4b9: Pushed
04513a3ca017: Pushed
a94bfb105a58: Pushed
9722f00819ec: Pushed
8d7e3c0c2f33: Pushed
40a154bd3352: Mounted from library/ubuntu
latest: digest: sha256:7eabe07bf9eccd575e97526f565c5c8b38a66ff7bf9066baee7e27f017515055 size: 1781
```

Ακολουθούν τα βήματα που είναι απαραίτητα για την προετοιμασία του UERANSIM στο cluster

1. Δημιουργία «open5gran» namespace και εξουσιοδότηση του “default” service account μέσω των ακόλουθων security context constraints (scc)

```
oc new-project open5gran
oc adm policy add-scc-to-user anyuid -z default -n open5gran
oc adm policy add-scc-to-user hostaccess -z default -n open5gran
oc adm policy add-scc-to-user hostmount-anyuid -z default -n open5gran
oc adm policy add-scc-to-user privileged -z default -n open5gran
```

2. Παραμετροποίηση του gNB και του UE μέσω των αντίστοιχων config maps

```
kind: ConfigMap
apiVersion: v1
metadata:
  name: 5gran-gnb-config
data:
  5gran-gnb-configmap.yaml: |
    mcc: '208'           # Mobile Country Code value
    mnc: '93'           # Mobile Network Code value (2 or 3 digits)
    nci: '0x000000001'  # NR Cell Identity (36-bit)
    idLength: 32       # NR gNB ID length in bits [22...32]
    tac: 7              # Tracking Area Code
    linkIp: 0.0.0.0
    ngapIp: 0.0.0.0
    gtpIp: 0.0.0.0
    # List of AMF address information
    amfConfigs:
      - address: 172.16.27.62
        port: 30412
    # List of supported S-NSSAIs by this gNB
    slices:
      - sst: 1
        sd: 1
    # Indicates whether or not SCTP stream number errors should be ignored.
    ignoreStreamIds: true
```



```

kind: ConfigMap
apiVersion: v1
metadata:
  name: 5gran-ue-config
data:
  5gran-ue-configmap.yaml: |
    # IMSI number of the UE. IMSI = [MCC|MNC|MSISDN] (In total 15 or 16 digits)
    supi: 'imsi-208930000000001'
    # Mobile Country Code value of HPLMN
    mcc: '208'
    # Mobile Network Code value of HPLMN (2 or 3 digits)
    mnc: '93'

    # Permanent subscription key
    key: '465B5CE8B199B49FAA5F0A2EE238A6BC'
    # Operator code (OP or OPC) of the UE
    op: 'E8ED289DEBA952E4283B54E88E6183CA'
    # This value specifies the OP type and it can be either 'OP' or 'OPC'
    opType: 'OPC'
    # Authentication Management Field (AMF) value
    amf: '8000'
    # IMEI number of the device. It is used if no SUPI is provided
    imei: '356938035643801'
    # IMEISV number of the device. It is used if no SUPI and IMEI is provided
    imeiSv: '4370816125816151'

    # List of gNB IP addresses for Radio Link Simulation
    gnbSearchList:
      - 0.0.0.0

    # Initial PDU sessions to be established
    sessions:
      - type: 'IPv4'
        apn: 'internet'
        slice:
          sst: 1
          sd: 1
        emergency: false

    # Configured NSSAI for this UE by HPLMN
    configured-nssai:
      - sst: 1
        sd: 1

    # Default Configured NSSAI for this UE
    default-nssai:
      - sst: 1
        sd: 1

    # Supported encryption algorithms by this UE
    integrity:
      IA1: true
      IA2: true
      IA3: true

    # Supported integrity algorithms by this UE
    ciphering:
      EA1: true
      EA2: true
      EA3: true

    # Integrity protection maximum data rate for user plane
    integrityMaxRate:
      uplink: 'full'
      downlink: 'full'

```

3. Δημιουργία του αντίστοιχου deployment που περιλαμβάνει τα εξής containers:
- gNB
 - UE
 - uebinder : Επιβεβαιώνει την εξωτερική επικοινωνία μέσω του διεπαφής που δημιουργείται από το 5G core δίκτυο, χρησιμοποιώντας το nr-binder utility

```
apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  labels:
    epc-mode: 5gran
  name: 5gran-2
  namespace: open5gran
spec:
  replicas: 1
  selector:
    matchLabels:
      epc-mode: 5gran
  template:
    metadata:
      annotations:
        sidecar.istio.io/inject: "false"
      labels:
        epc-mode: 5gran
    spec:
      containers:
        - command:
            - /bin/sh
            - -c
            - ./nr-gnb -c /open5gs/config-map/5gran-gnb-configmap.yaml
          image: docker4eleni/ueransim:latest
          name: gnb
          volumeMounts:
            - mountPath: /open5gs/config-map/5gran-gnb-configmap.yaml
              name: 5gran-gnb-config
              subPath: 5gran-gnb-configmap.yaml
        - command:
            - /bin/sh
            - -c
            - ./nr-ue -c /open5gs/config-map/5gran-ue-configmap.yaml
          image: docker4eleni/ueransim:latest
          name: ue
          securityContext:
            privileged: true
          volumeMounts:
            - mountPath: /open5gs/config-map/5gran-ue-configmap.yaml
              name: 5gran-ue-config
              subPath: 5gran-ue-configmap.yaml
        - command:
            - /bin/sh
            - -c
            - sh nr-binder 10.45.0.2 ping www.google.com
          image: docker4eleni/ueransim:latest
          imagePullPolicy: IfNotPresent
          name: uebinder
          securityContext:
            privileged: true
      volumes:
        - configMap:
            defaultMode: 420
            name: 5gran-gnb-config
            name: 5gran-gnb-config
        - configMap:
            defaultMode: 420
            name: 5gran-ue-config-2
            name: 5gran-ue-config
```

Με την δημιουργία του deployment ξεκινούν και τα containers που περιέχονται σε αυτό. Ακολουθούν τα logs που αφορούν τον gNB

Project: open5gran

Pods > Pod details

5gran-f5d795d49-kmnbx Running Actions

Details Metrics YAML Environment Logs Events Terminal

Log streaming... gnb Current log Show in Kibana Wrap lines Raw Download Expand

```
13 lines
UERANSIM v3.1.7
[2022-02-23 22:22:40.883] [sctp] [info] Trying to establish SCTP connection... (172.16.27.62:30412)
[2022-02-23 22:22:40.888] [sctp] [info] SCTP connection established (172.16.27.62:30412)
[2022-02-23 22:22:40.888] [sctp] [debug] SCTP association setup asCID[26]
[2022-02-23 22:22:40.888] [ngap] [debug] Sending NG Setup Request
[2022-02-23 22:22:40.989] [ngap] [debug] NG Setup Response received
[2022-02-23 22:22:40.989] [ngap] [info] NG Setup procedure is successful
[2022-02-23 22:22:41.180] [rls] [debug] New UE signal detected, total [1] UEs in coverage
[2022-02-23 22:22:41.182] [rrc] [info] RRC Setup for UE[1]
[2022-02-23 22:22:41.182] [ngap] [debug] Initial NAS message received from UE[1]
[2022-02-23 22:22:41.414] [ngap] [debug] Initial Context Setup Request received
[2022-02-23 22:22:41.711] [ngap] [info] PDU session resource(s) setup for UE[1] count[1]
```

Και τα αντίστοιχα logs από τον UE

Project: open5gran

Pods > Pod details

5gran-f5d795d49-kmnbx Running Actions

Details Metrics YAML Environment Logs Events Terminal

Log streaming... ue Current log Show in Kibana Wrap lines Raw Download Expand

```
21 lines
UERANSIM v3.1.7
[2022-02-23 22:22:41.180] [nas] [info] UE switches to state [MM-DEREGISTERED/PLMN-SEARCH]
[2022-02-23 22:22:41.182] [rls] [debug] Coverage change detected. [1] cell entered, [0] cell exited
[2022-02-23 22:22:41.182] [nas] [info] Serving cell determined [UERANSIM-gnb-208-93-0]
[2022-02-23 22:22:41.182] [nas] [info] UE switches to state [MM-DEREGISTERED/NORMAL-SERVICE]
[2022-02-23 22:22:41.182] [nas] [debug] Sending Initial Registration
[2022-02-23 22:22:41.182] [nas] [info] UE switches to state [MM-REGISTER-INITIATED/NA]
[2022-02-23 22:22:41.182] [rrc] [debug] Sending RRC Setup Request
[2022-02-23 22:22:41.182] [rrc] [info] RRC connection established
[2022-02-23 22:22:41.182] [nas] [info] UE switches to state [CM-CONNECTED]
[2022-02-23 22:22:41.331] [nas] [debug] Security Mode Command received
[2022-02-23 22:22:41.331] [nas] [debug] Selected integrity[2] ciphering[0]
[2022-02-23 22:22:41.415] [nas] [debug] Registration accept received
[2022-02-23 22:22:41.415] [nas] [info] UE switches to state [MM-REGISTERED/NORMAL-SERVICE]
[2022-02-23 22:22:41.415] [nas] [info] Initial Registration is successful
[2022-02-23 22:22:41.415] [nas] [info] Initial PDU sessions are establishing [1#]
[2022-02-23 22:22:41.415] [nas] [debug] Sending PDU Session Establishment Request
[2022-02-23 22:22:41.711] [nas] [debug] PDU Session Establishment Accept received
[2022-02-23 22:22:41.711] [nas] [info] PDU Session establishment is successful PSI[1]
[2022-02-23 22:22:41.843] [app] [info] Connection setup for PDU session[1] is successful, TUN interface[uesintun0, 10.45.0.2] is up.
```

Η επιτυχία σύνδεσης του UE με το δίκτυο διακρίνεται μέσω του νέου interface που έχει δημιουργηθεί και του έχει αποδοθεί μια IP διεύθυνση, η 10.24.0.2 από το υποδίκτυο 10.45.0.0/24.

Μέσω του ue-binder utility μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την επικοινωνία με τα εξωτερικά δίκτυα.



Log stream paused.

uebinder

Current log

93 lines

```
PING www.google.com (216.58.214.132) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from sof02s42-in-f4.1e100.net (216.58.214.132): icmp_seq=1 ttl=112 time=22.5 ms  
64 bytes from sof02s42-in-f4.1e100.net (216.58.214.132): icmp_seq=2 ttl=112 time=21.1 ms  
64 bytes from sof02s42-in-f4.1e100.net (216.58.214.132): icmp_seq=3 ttl=112 time=21.2 ms
```

Όσον αφορά το 5G core Network, η πραγματοποίηση της σύνδεσης υποδεικνύεται μέσω των logs που απεικονίζονται ακολούθως

AMF Logs

```
Open5GS daemon v2.2.2  
[32m02/23 21:59:32.563[0m: [0[33mapp[0m] [1;32mINFO[0m: Configuration: '/open5gs/config-map/amf.yaml' (./lib/app/ogs-init.c:129)  
[32m02/23 21:59:32.571[0m: [0[33mapp[0m] [1;32mINFO[0m: AMF initialize...done (./src/amf/app.c:33)  
[32m02/23 21:59:32.571[0m: [0[33msbi[0m] [1;32mINFO[0m: nhttp2_server() [0.0.0.0]:80 (./lib/sbi/nhttp2-server.c:144)  
[32m02/23 21:59:32.573[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: ngap_server() [10.129.2.194]:38412 (./src/amf/ngap-sctp.c:55)  
[32m02/23 21:59:32.574[0m: [0[33msbi[0m] [1;36mWARNING[0m: [7] Failed to connect to 172.30.197.235 port 80: Connection refused (./lib/sbi/client.c:465)  
[32m02/23 21:59:43.584[0m: [0[33mamf[0m] [1;36mWARNING[0m: [e1aa825c-94f3-41ec-bf37-d31d2ba57289] Retry to registration with NRF (./src/amf/nf-sm.c:161)  
[32m02/23 21:59:43.602[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [e1aa825c-94f3-41ec-bf37-d31d2ba57289] NF registred [Heartbeat:10s] (./src/amf/nf-sm.c:198)  
[32m02/23 21:59:43.623[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [e1adeaf0-94f3-41ec-8498-a5604ae4df78] (NRF-notify) NF registered (./src/amf/nrf-handler.c:179)  
[32m02/23 21:59:43.624[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [e1adeaf0-94f3-41ec-8498-a5604ae4df78] (NRF-notify) NF Profile updated (./src/amf/nrf-handler.c:198)  
[32m02/23 22:00:17.479[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [fc69faf0-94f3-41ec-8770-a9c2f2f5f7c5] (NRF-notify) NF registered (./src/amf/nrf-handler.c:179)  
[32m02/23 22:00:17.479[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [fc69faf0-94f3-41ec-8770-a9c2f2f5f7c5] (NRF-notify) NF Profile updated (./src/amf/nrf-handler.c:198)  
[32m02/23 22:22:40.888[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: gNB-S1 accepted[10.129.2.1]:25697 in ng-path module (./src/amf/ngap-sctp.c:107)  
[32m02/23 22:22:40.888[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [Added] Number of gNBs is now 1 (./src/amf/context.c:865)  
[32m02/23 22:22:41.183[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: InitialUEMessage (./src/amf/ngap-handler.c:349)  
[32m02/23 22:22:41.183[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [Added] Number of gNB-UEs is now 1 (./src/amf/context.c:1829)  
[32m02/23 22:22:41.183[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: RAN_UE_NGAP_ID[1] AMF_UE_NGAP_ID[1] TAC[7] CellID[0x1] (./src/amf/ngap-handler.c:480)  
[32m02/23 22:22:41.184[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [suci-0-208-93-0000-0-0-0000000001] Unknown UE by SUCI (./src/amf/context.c:1302)  
[32m02/23 22:22:41.184[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [Added] Number of AMF-UEs is now 1 (./src/amf/context.c:1119)  
[32m02/23 22:22:41.184[0m: [0[33mgmm[0m] [1;32mINFO[0m: Registration request (./src/amf/gmm-sm.c:131)  
[32m02/23 22:22:41.332[0m: [0[33mapp[0m] [1;36mWARNING[0m: [suci-0-208-93-0000-0-0-0000000001] SUCI (./src/amf/gmm-handler.c:72)  
[32m02/23 22:22:41.332[0m: [0[33mamf[0m] [1;36mWARNING[0m: Try to discover [UDM] (./lib/sbi/path.c:108)  
[32m02/23 22:22:41.334[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [e17cfd5a-94f3-41ec-b07f-77880798a78c] (NF-discover) NF registered (./src/amf/nrf-handler.c:332)  
[32m02/23 22:22:41.334[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [e17cfd5a-94f3-41ec-b07f-77880798a78c] (NF-discover) NF Profile updated (./src/amf/nrf-handler.c:391)  
[32m02/23 22:22:41.618[0m: [0[33mgmm[0m] [1;32mINFO[0m: [imsi-208930000000001] Registration complete (./src/amf/gmm-sm.c:916)  
[32m02/23 22:22:41.618[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [imsi-208930000000001] Configuration update command (./src/amf/nas-path.c:349)  
[32m02/23 22:22:41.618[0m: [0[33mgmm[0m] [1;32mINFO[0m: UTC [2022-02-23T22:22:41] Timezone[0]/DST[0] (./src/amf/gmm-build.c:508)  
[32m02/23 22:22:41.618[0m: [0[33mgmm[0m] [1;32mINFO[0m: LOCAL [2022-02-23T22:22:41] Timezone[0]/DST[0] (./src/amf/gmm-build.c:513)  
[32m02/23 22:22:41.618[0m: [0[33mamf[0m] [1;32mINFO[0m: [Added] Number of AMF-Sessions is now 1 (./src/amf/context.c:1841)  
[32m02/23 22:22:41.618[0m: [0[33mgmm[0m] [1;32mINFO[0m: UE SUPI[imsi-208930000000001] DNN[internet] S_NSSAI[SST:1 SD:0xfffff] (./src/amf/gmm-handler.c:821)
```

SMF Logs

```
Open5GS daemon v2.2.2

[32m02/23 21:59:32.053[0m: [33mapp[0m] [1;32mINFO[0m: Configuration: '/open5gs/config-map/smf.yaml' (./lib/app/ogs-init.c:129)
[32m02/23 21:59:32.083[0m: [33mmsmf[0m] [1;36mWARNING[0m: No diameter configuration (./src/smf/fd-path.c:1067)
[32m02/23 21:59:32.084[0m: [33mapp[0m] [1;32mINFO[0m: SMF initialize...done (./src/smf/app.c:31)
[32m02/23 21:59:32.084[0m: [33mgtp[0m] [1;32mINFO[0m: gtp_server() [10.131.1.4]:2123 (./lib/gtp/path.c:31)
[32m02/23 21:59:32.084[0m: [33mgtp[0m] [1;32mINFO[0m: gtp_server() [10.131.1.4]:2152 (./lib/gtp/path.c:31)
[32m02/23 21:59:32.084[0m: [33mpfcp[0m] [1;32mINFO[0m: pfcp_server() [10.131.1.4]:8805 (./lib/pfcp/path.c:31)
[32m02/23 21:59:32.085[0m: [33mpfcp[0m] [1;32mINFO[0m: ogs_pfcp_connect() [172.30.206.209]:8805 (./lib/pfcp/path.c:59)
[32m02/23 21:59:32.087[0m: [33msbi[0m] [1;32mINFO[0m: nhttp2_server() [0.0.0.0]:80 (./lib/sbi/nhttp2-server.c:144)
[32m02/23 21:59:32.089[0m: [33msbi[0m] [1;36mWARNING[0m: [7] Failed to connect to 172.30.197.235 port 80: Connection refused (./lib/sbi/client.c:465)
[32m02/23 21:59:37.093[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: PFCP associated (./src/smf/pfcp-sm.c:174)
[32m02/23 21:59:43.094[0m: [33msmf[0m] [1;36mWARNING[0m: [e15d7b74-94f3-41ec-8caf-4d7645bba1d2] Retry to registration with NRF (./src/smf/nf-sm.c:161)
[32m02/23 21:59:43.107[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [e15d7b74-94f3-41ec-8caf-4d7645bba1d2] NF registered [Heartbeat:10s] (./src/smf/nf-sm.c:199)
[32m02/23 21:59:43.308[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [e17cfd5a-94f3-41ec-b07f-77880798a78c] (NRF-notify) NF registered (./src/smf/nrf-handler.c:177)
[32m02/23 21:59:43.308[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [e17cfd5a-94f3-41ec-b07f-77880798a78c] (NRF-notify) NF Profile updated (./src/smf/nrf-handler.c:196)
[32m02/23 21:59:43.601[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [e1aa825c-94f3-41ec-bf37-d31d2ba57289] (NRF-notify) NF registered (./src/smf/nrf-handler.c:177)
[32m02/23 21:59:43.601[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [e1aa825c-94f3-41ec-bf37-d31d2ba57289] (NRF-notify) NF Profile updated (./src/smf/nrf-handler.c:196)
[32m02/23 22:00:17.479[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [fc69faf0-94f3-41ec-8770-a9c2f2f5f7c5] (NRF-notify) NF registered (./src/smf/nrf-handler.c:177)
[32m02/23 22:00:17.479[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [fc69faf0-94f3-41ec-8770-a9c2f2f5f7c5] (NRF-notify) NF Profile updated (./src/smf/nrf-handler.c:196)
[32m02/23 22:22:41.647[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [Added] Number of SMF-UEs is now 1 (./src/smf/context.c:779)
[32m02/23 22:22:41.647[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: [Added] Number of SMF-Sessions is now 1 (./src/smf/context.c:2454)
[32m02/23 22:22:41.689[0m: [33msmf[0m] [1;32mINFO[0m: UE SUP1[imsi-208930000000001] DNN[internet] IPv4[10.45.0.2] IPv6[] (./src/smf/npcf-handler.c:414)
[32m02/23 22:22:41.690[0m: [33mgtp[0m] [1;32mINFO[0m: gtp_connect() [10.129.2.199]:2152 (./lib/gtp/path.c:58)
```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών 5^{ης} γενιάς απολαμβάνουν θετικής αποδοχής από όλους τους συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας με όφελος τη γρήγορη και αναβαθμισμένη ταχύτητα, και παρόλο που εμφανίστηκε μέσα σε ένα πανδημικό περιβάλλον, αναβάθμισε τεχνολογικά τον τρόπο ζωής μας θέτοντας τη συνδεσιμότητα της κινητής τηλεφωνίας να έχει δομικό ρόλο, ο βαθμός και το επίπεδο τεχνογνωσίας των καταναλωτών δικτύων 5G είναι σε πρώιμα στάδια.

Η εγκατάσταση υποδομών δικτύου 5G έχουν κεντρικό ρόλο για την ανταγωνιστικότητα των Ευρωπαϊκών χωρών καθότι αναμένεται να αποτελέσουν βάση για τον ψηφιακό και τον πράσινο μετασχηματισμό.

Οι προσδοκίες που υπάρχουν όμως δημιουργούν και προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ώστε η εξελιγμένη τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης 5G να μπορεί να ανταποκριθεί στις εξατομικευμένες ανάγκες των συνδρομητών και καταναλωτών 5G υπηρεσιών αντίστοιχα, με απώτερο στόχο την αναβάθμιση της ποιότητας της καθημερινής μας ζωής και διαδικτυακών εμπειριών των χρηστών.

4.1 Μελλοντική Έρευνα και Κατευθύνσεις

Όπως παρουσιάσαμε έμπρακτα στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, η ανάπτυξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών 5^{ης} γενιάς, πέρα από τις πρωτόγνωρες επιδόσεις και νέες εφαρμογές που υπόσχονται, αποτελούν και μια καινοτόμο και ριζοσπαστική εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών υποδομών με μεγάλο θετικό οικονομικό αντίκτυπο, διότι το 5G προσφέρει ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα ικανά να μεταμορφώσουν σημαντικά το ηλεκτρονικό-επιχειρείν τα προσεχή χρόνια.

Ήδη, στην Ελλάδα, ο διαγωνισμός για τη χορήγηση φάσματος συχνοτήτων 5G έχει πραγματοποιηθεί από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) και οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι τροποποιούν και αναβαθμίζουν συνεχώς τις υποδομές τους για την καλύτερη υποστήριξη του 5G δικτύου.

Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών 5^{ης} γενιάς, αναβαθμίζονται συνεχώς σε τέτοιο βαθμό που μπορούν να λειτουργήσουν όπως παρουσιάσαμε ως προγραμματιζόμενες πλατφόρμες με παροχή σύγχρονων και καινοτόμων υπηρεσιών, πέρα από απλά δίκτυα πρόσβασης (access networks).

Επιπροσθέτως, οι πλατφόρμες αυτές έχουν τη δυνατότητα και τις προοπτικές, πέραν την παροχή νέων υπηρεσιών, να δημιουργήσουν και νέες ροές εσόδων αναπτύσσοντας πρωτότυπα συνεργατικά επιχειρηματικά μοντέλα στις "κάθετες" αγορές (B2B Verticals)

όπως είναι η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυσιπλοΐα και η θαλάσσια βιομηχανία, τα δίκτυα υποδομών/ενέργειας και η υγεία.

Η συνεισφορά των δικτύων κινητών επικοινωνιών 5^{ης} γενιάς, κρίνεται τόσο σημαντικός, καθότι είναι ο κινητήριος μοχλός ενεργοποίησης μεγάλων επενδύσεων από πλευράς των παροχών τηλεπικοινωνιών, του ψηφιακού μετασχηματισμού πολλών κλάδων της οικονομίας με κύριο αυτό της πληροφορικής και της δυνατότητας εκμετάλλευσης των big data analytics που προσφέρει οδηγώντας στην πράξη τη μετάβαση στην 4η βιομηχανική επανάσταση.

4.2 Εθνικό Πλαίσιο Έρευνας

Στα πλαίσια Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών στον Ελλαδικό χώρο με στόχο την αξιοποίηση των ανταγωνιστικών τεχνολογικών πλεονεκτημάτων των δικτύων 5^{ης} γενιάς και τη διαμόρφωση νέων επιχειρηματικών μοντέλων από τους παρόχους δικτύων 5^{ης} γενιάς σε συνεργασία με τις καθετοποιημένες αγορές (λ.χ. η αυτοματοποίηση εργοστασίων), έχει ξεχωρίζει το ερευνητικό πρόγραμμα EVOLVED-5G (ΕΚΕΦΕ-ΔΗΜΟΚΡΙΟΣ με Ι.Π.ΤΗΛ.-Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών).

Στόχος του προγράμματος, όπως και της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των δυνατοτήτων προγραμματισμού του δικτύου 5G διαμέσου εφαρμογών της κάθετης αγοράς (Industry 4.0) με σκοπό:

- τη σημαντική αναβάθμιση στην απόδοση των δικτύων 5^{ης} γενιάς,
- τη προσθήκη νέων "έξυπνων" δυνατοτήτων,
- την απόκρισή τους σε πολυπλοκότερα σενάρια χρήσης (τα οποία μέχρι σήμερα δεν ήταν εφικτό να υποστηριχθούν με την υπάρχουσα τεχνολογία),
- τη διασύνδεση και τη μετάδοση δεδομένων με διευρυμένες προγραμματιστικές δυνατότητες στους μηχανικούς λογισμικού,
- την ενοποίησή του με εφαρμογές που δημιουργούν ένα καινοτόμο προγραμματιστικό περιβάλλον λήψης και ανάλυσης πληροφοριών (εφαρμογής και χρήση),
- αναβάθμισης του επιπέδου της ποιότητας και εξατομίκευσης του δικτύου για προσφορά και βελτιστοποιημένης υπηρεσίας (λ.χ. network slice).

Επίσης, στα ερευνητικά πλαίσια του Πανεπιστημίου Πειραιώς καθώς και της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας που απορρέει υπό τις κατευθύνσεις του ακαδημαϊκού ιδρύματος, σκοπός της μελέτης των δικτύων 5^{ης} γενιάς είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων ενοποίησης ετερογενών φυσικών και εικονικών στοιχείων δικτύου 5^{ης} γενιάς σε ένα πειραματικό προγραμματιστικό πλαίσιο συντονισμού (orchestration

platform), εφαρμόζοντας δοκιμές και σενάρια, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για ανάπτυξη και καινοτομία στον τεχνολογικό κλάδο και στις τεχνολογικές επιχειρήσεις.

4.3 Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Έρευνας

Για την περίοδο 2015-2020, το συνολικό κόστος χρηματοδότησης από την Ευρωπαϊκή Ένωση για έργα σχετικά με την ανάπτυξη των δικτύων 5^{ης} γενιάς για ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση υπερέβη τα 4 δισεκατομμύρια ευρώ.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στο σχέδιο δράσης σχετικά με την ανάπτυξη του 5G στην Ε.Ε. που κατάρτισε το 2016, σύστησε προθεσμίες όπου τα κράτη μέλη έπρεπε:

- Να θέσουν σε λειτουργία τα πρώιμα δίκτυα 5G έως τα τέλη του 2018,
- να δρομολογήσουν πλήρως εμπορικές υπηρεσίες 5G σε τουλάχιστον μία μεγάλη πόλη τους έως τα τέλη του 2020
- να διασφαλίσουν την αδιάλειπτη κάλυψη με 5G έως το 2025 τόσο των αστικών περιοχών όσο και των μείζονων διαδρομών μεταφορών,

Στα τρέχοντα ζητήματα που θέτει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή από το 2020 έως το 2030 συμπεριλαμβάνονται οι κάτωθι υποχρεώσεις (ενδεικτικά) των Μελών Κρατών που αφορούν:

- αφορά την κάλυψη με 5G όλων των κατοικημένων περιοχών έως το 2030,
- την παροχή καθολικής ευρυζωνικότητας και συνδεσιμότητας μικρού λανθάνοντα χρόνου σε μεμονωμένους χρήστες και σε συνδεδεμένες συσκευές
- τη σύνδεση στο διαδίκτυο-των-πραγμάτων (Internet-of-Things) των περισσότερων συσκευών που βρίσκουν εφαρμογή στους τέσσερις (4) νευραλγικούς από στρατηγική άποψη κλάδους της βιομηχανίας (στην αυτοκίνηση, στην υγεία, στις μεταφορές και στην ενέργεια),
- την ασφάλεια στην παγκόσμια κατανάλωση των δεδομένων που αναμένεται να εκτοξευθεί από τα 12 exabytes κινητών δεδομένων που κυκλοφορούσαν μηνιαίως το 2017 σε πάνω από 5000 exabytes έως το 2030.

4.4 Ανοιχτά Ερευνητικά Ζητήματα

Δεδομένου ότι τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς, ήδη έχουν ξεκινήσει να αποτελούν τη ραχοκοκαλιά ενός ευρέος φάσματος υπηρεσιών και εφαρμογών, η διαθεσιμότητα των δικτύων αυτών αποτελεί μείζονα πρόκληση για την ασφάλεια τόσο σε εθνικό όσο και σε ενωσιακό επίπεδο.

ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ	ΚΙΝΔΥΝΟΙ
<p>+ Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών από τις επιχειρήσεις</p>	<p>- Κίνδυνοι για την ιδιωτική ζωή</p>
<p>+ Αυξημένη κινητικότητα και εκουγχρονισμός του συστήματος μεταφορών</p>	<p>- Απειλές για την εθνική ασφάλεια</p>
<p>+ Περαιτέρω διευκόλυνση της διασυνδεσιμότητας των φυσικών αντικειμένων καθημερινής χρήσης</p>	<p>- Εξάρτηση από την αλυσίδα εφοδιασμού</p>
<p>+ Βελτίωση της χρήσης ηλεκτρονικών διαδικασιών στην υγειονομική περίθαλψη (ηλεκτρονική υγεία)</p>	<p>- Κυβερνοεπιθέσεις</p>
<p>+ Ενίσχυση της ασφάλειας των πολιτών</p>	<p>- Επιπτώσεις στην υγεία</p>
<p>+ Υποστήριξη των αλλαγών στη χρήση των μέσων επικοινωνίας που συντελούνται στην κοινωνία</p>	<p>- Απώλεια θέσεων εργασίας λόγω της βελτίωσης της αποδοτικότητας</p>
<p>+ Πρωώθηση της δημιουργίας θέσεων εργασίας σε πολλούς τομείς και μετασχηματισμός της αγοράς εργασίας</p>	
<p>+ Ενίσχυση της δημοκρατίας</p>	
<p>+ Μείωση του ψηφιακού χάσματος</p>	

Πηγή: ΕΕΣ, βάσει της Υπηρεσίας Έρευνας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου – Ευρωπαϊκού κόμβου επιστημονικών μέσων ενημέρωσης.

Εικόνα 4.1 -

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα ερευνητικά δεδομένα και δρώμενα, καθώς και τις χρηματοδοτήσεις και κατευθυντήριες γραμμές, σημαντικά ερευνητικά ερωτήματα διεγείρονται και πρόσφορο ερευνητικό έδαφος σχετικά με την εξέλιξη των δικτύων 5^{ης} γενιάς, όπως:

(α) το σχέδιο δράσης όπου η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συστήνει στα κράτη μέλη να έχουν δρομολογήσει «πλήρως εμπορικές» υπηρεσίες 5G στην Ευρώπη, δεν προσδιορίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επιδόσεων των υπηρεσιών των δικτύων 5^{ης} γενιάς αναφορικά με την κατώτατη ταχύτητα και τον ανώτατο λανθάνοντα χρόνο.

(β) Ο κίνδυνος κυβερνοεπιθέσεων στα συστήματα τηλεπικοινωνιών υπήρχε πάντοτε, έτσι και το ζήτημα της κυβερνοασφάλειας των δικτύων 5^{ης} γενιάς λόγω της εξάρτησής τους από λογισμικά, τα οποία προσφέρουν ευρύτερο πεδίο επίθεσης σε σύγκριση με τα βασιζόμενα σε 3G ή 4G συστήματα τηλεπικοινωνιών, επιβάλλουν την ύπαρξη μίας σειράς στρατηγικών, τεχνικών και υποστηρικτικών μέτρων για την αντιμετώπιση των επερχόμενων απειλών, και είναι ζωτικής ερευνητικής σημασίας.

(γ) Μια ακόμη πρόκληση σχετικά με την ομοιόμορφη προώθηση και έγκαιρη ανάπτυξη δικτύων 5G εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με την κατασκευή αλλά και με τη λειτουργία των δικτύων 5^{ης} γενιάς (οικονομικού-βιομηχανικού ενδιαφέροντος αλλά και καινοτόμου έρευνας) είναι η κρισιμότητα του ρόλου που διαδραματίζει ο περιορισμένος αριθμός προμηθευτών εξοπλισμού, η αξιολόγηση του προφίλ επικινδυνότητας των προμηθευτών ως εθνική αρμοδιότητα για κάθε μέλος-κράτος,

(δ) Τέλος, είναι απόλυτα αντιληπτό ότι ο αντίκτυπος μη ύπαρξης ισχυρής προτυποποίησης βασικών δεικτών επιδόσεων του εξοπλισμού των προμηθευτών και των μεταξύ τους αποκλίσεων, δύναται τόσο να επηρεάσουν την αποτελεσματική λειτουργία της ενιαίας αγοράς, όσο και την έκθεση της ασφάλεια των δικτύων 5^{ης} γενιάς σε ενδεχόμενη διατάραξη του εφοδιασμού.

Ολοκληρώνοντας την μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, είναι εμφανές ότι το φάσμα και εύρος της έρευνας στον τομέα των δικτύων κινητών επικοινωνιών 5ης γενιάς καθώς και των εξαρτώμενων λογισμικών που χρησιμοποιούνται, είναι ανάλογης της ζήτησης ικανοποίησης των αναγκών των χρηστών, δίνοντας δυνατότητα ερευνητικής καινοτομίας δίχως περιορισμούς στον τηλεπικοινωνιακό, βιομηχανικό και προγραμματιστικό τομέα της επιστήμης της πληροφορικής.

ΠΗΓΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A Survey of 5G Network: Architecture & Emerging Technologies, DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2461602
- [2] Adebusola, J. A., Ariyo, A. A., Elisha, O. A., Olubunmi, A. M., & Julius, O. O. (2020). An Overview of 5G Technology. 2020 International Conference in Mathematics, Computer Engineering and Computer Science (ICMCECS)
- [3] 5G and Beyond. Fundamentals and Standards, Xingqin Lin & Namyoon Lee
- [4] 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology, by Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold
- [5] 5G network slicing using SDN and NFV: A survey of taxonomy, architectures and future challenges, Alcardo Alex Barakabitz, Arslan Ahmad, Rashid Mijumbic, Andrew Hines
- [6] Identification and quantification of key socio-economic data to support strategic planning for the introduction of 5G in Europe, Φεβρουάριος 2017.
- [7] Accenture Strategy, The Impact of 5G on the European Economy, Φεβρουάριος 2021 (https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-144/Accenture-5G-WP-EU-Feb26.pdf)
- [8] Statista, Number of internet of things (IoT) connected devices worldwide in 2018 – 2030. (<https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>)
- [9] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017-2022, Φεβρουάριος 2019. (<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>)
- [10] Ομάδα συνεργασίας NIS, EU coordinated risk assessment of the cybersecurity of 5G networks, 9.10.2019. (<https://www.politico.eu/wp-content/uploads/2019/10/Report-EU-risk-assessment-final-October-9.pdf>)
- [11] Report on Member States' Progress in Implementing the EU Toolbox on 5G Cybersecurity, Ιούλιος 2020. (<https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/member-states-report-on-eu-5g-toolbox-released-today>)
- [12] Open5Gs Open-Source Documentation (<https://open5gs.org/>)
- [13] Open5Gs Github Repo (<https://github.com/open5gs/open5gs>)
- [14] UERANSIM Github Repo (<https://github.com/algungr/UERANSIM>)
- [15] An Overview of 5G Advanced Evolution in 3GPP Release 18, Xingqin Lin, Ericsson
- [16] 5G wireless access: an overview, White Paper Ericsson (<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/5g-wireless-access-an-overview>)