



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών

Ειδίκευση Λογισμικού και Πληροφοριακών Συστημάτων,

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Διαχωρισμός Οπτικών Κέντρων Δεδομένων»

**Λάζαρος Καλδάνης
Α.Μ. 20015**

Εισηγητής: Δρ. Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής

(Κενό φύλλο)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διαχωρισμός Οπτικών Κέντρων Δεδομένων

**Λάζαρος Καλδάνης
Α.Μ. 20015**

Εισηγητής:

Δρ. Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:

Βασίλειος Μάμαλης, Καθηγητής

Νικόλαος Ψαρράς, Λέκτορας

Ημερομηνία εξέτασης 10/02/2023

(Κενό φύλλο)

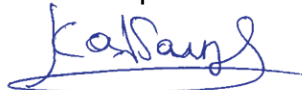
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Λάζαρος Καλδάνης του Αποστόλου, με αριθμό μητρώου 20015 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου». Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι την απόκτηση του πτυχίου μου και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών



(Κενό φύλλο)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον επιβλέποντα μου καθηγητή κ. Αντώνιο Μπόγρη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή στήριξη της όλα αυτά τα χρόνια σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο 21ος αιώνας είναι μια ακμάζουσα εποχή της ψηφιακής τεχνολογίας. Είναι επίσης η εποχή του cloud computing όπου τα δεδομένα που βασίζονται στο διαδίκτυο διαχειρίζονται από απομακρυσμένα μέρη. Τα δεδομένα εισάγονται, αποθηκεύονται, επεξεργάζονται και δημιουργούνται αντίγραφα ασφαλείας στην κεντρική πληροφοριακή υποδομή που βρίσκεται σε συγκεκριμένα κτίρια που ονομάζουμε δωμάτια πληροφορικής ή κέντρο δεδομένων (data center). Το κέντρο δεδομένων είναι ένας χώρος όπου συγκεντρώνονται όλοι οι διακομιστές τεχνολογίας πληροφοριών, οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δικτύου, όπου ο εξοπλισμός απαιτεί συνεχή λειτουργία. Τα κέντρα δεδομένων γίνονται εξίσου σημαντικό μέρος των επιχειρηματικών λειτουργιών όπως τα γραφεία, τα λιανικά και τα βιομηχανικά περιουσιακά στοιχεία. Σήμερα, υπάρχουν τέσσερα ρεύματα: Τα μεγάλα δεδομένα (big data), το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of things), η επανάσταση του Industry 4.0 και οι έξυπνες πόλεις είναι όλες οι τάσεις που θα αυξήσουν τη ζήτηση για υπολογιστική ισχύ, και επομένως κέντρα δεδομένων, σε εκθετική και όχι γραμμική κλίμακα. Ωστόσο, έχουμε ορισμένους περιορισμούς σχετικά με τη γνώση στην αρχιτεκτονική υποδομή ενός κέντρου δεδομένων, ειδικά στην εφαρμογή και στο σχεδιασμό υποδομής αυτών σε μια τυπική περιοχή ή τομέα. Η παρούσα διατριβή σκοπεύει να παρουσιάσει μια περιεκτική βιβλιογραφική ανασκόπηση που λαμβάνει υπόψη τους ορισμούς, τις βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού εννοιών, τις εφαρμογές και την τοπολογία της υποδομής στα κέντρα δεδομένων.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Αρχιτεκτονική Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κέντρο δεδομένων, Υπολογισμός νέφους, Τοπολογία

ABSTRACT

The 21st century is a booming age of digital technology. It is also the era of cloud computing where internet based data is managed from remote places. Data is entered, stored, processed and backed up in the central information infrastructure located in specific buildings that we used to call IT rooms or data centers. The data center is a place where all information technology servers, storage and network facilities are gathered, where the equipment requires continuous operation. Data centers are becoming as important a part of business operations as office, retail and industrial assets. Today, there are four currents: Big data, the Internet of things, the Industry 4.0 revolution and smart cities are all trends that will increase the demand for computing power, and therefore data centers, on an exponential rather than a linear scale. However, we have some limitations regarding knowledge in the architectural infrastructure of a data center, especially in their implementation and infrastructure design in a typical region or domain. This thesis intends to present a comprehensive literature review that takes into account definitions, basic conceptual design requirements, applications and infrastructure topology in data centers.

Keywords: Data center, Cloud computing, Topology.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ABSTRACT.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	14
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CLOUD COMPUTING	14
1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ CLOUD COMPUTING	15
1.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ CLOUD COMPUTING	21
1.4 ΕΞΕΛΙΞΗ CLOUD COMPUTING.....	23
1.5 CLOUD COMPUTING ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	27
2.1 ΔΙΚΤΥΑ ΣΕ DATA CENTERS.....	27
2.1.1 SWITCHES.....	31
2.1.2 INTERCONNECTS.....	32
2.1.3 400G ETHERNET	33
2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ DATA CENTER	33
2.3 ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ DATA CENTER	35
2.4 ΤΑ RACKS IT.....	37
2.5 ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	42
3.1 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	42
3.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	50
3.3 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	54
3.4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ DATA CENTER.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	62
4.1 ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ DISAGGREGATION	62
4.2 ΔΙΚΤΥΟ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΕ TDM-WDM	65
4.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗΣ	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	73

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δομή Cloud Computing	17
Εικόνα 2: NIST Οπτικό μοντέλο Cloud Computing [10]	21
Εικόνα 3: Κέντρο δεδομένων συμβατό με TIA-942 που δείχνει βασική λειτουργική περιοχή (πηγή: http://www.tia-942.org)	29
Εικόνα 4: Κρίσιμη υποδομή ενός κέντρου δεδομένων	36
Εικόνα 5: Rack διανομής (NetRack)	37
Εικόνα 6: Εσωτερικό rack διανομής (NetRack).....	38
Εικόνα 7: Τρύπες rack για τοποθέτηση	39
Εικόνα 8: Διακομιστές racks και το μέγεθός τους [20].....	40
Εικόνα 9: Διακομιστές Blade και η κατανάλωση ενέργειας τους [20].....	41
Εικόνα 10: Σύγκριση μοντέλου OSI με μοντέλο TCP/IP	43
Εικόνα 11: Μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου στο επίπεδο 4 έως το επίπεδο 1	44
Εικόνα 12: Τυπική αρχιτεκτονική δρομολογητή δικτύου	45
Εικόνα 13: Τύποι δρομολογητών με βάση το μέγεθος δικτύου	46
Εικόνα 14: Τυπικό λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα μεταγωγέα	47
Εικόνα 15: Υπερυψωμένο πάτωμα στο κέντρο δεδομένων [51]	50
Εικόνα 16: Κέντρο δεδομένων σε ένα δίκτυο	51
Εικόνα 17: Τοπολογία σχεδίασης τριών επιπέδων.....	53
Εικόνα 18: Το στρώμα πυρήνα και το στρώμα συνάθροισης συμπύσσονται σε ένα σχέδιο.....	53
Εικόνα 19: Τοπολογία κορυφής rack	55
Εικόνα 20: Τοπολογία τέλους γραμμής	56
Εικόνα 21: Τοπολογία μέσης γραμμής	57
Εικόνα 22: Τοπολογίες διαφορετικών συστημάτων επιπέδων [57, 58]	59
Εικόνα 23: Πρότυπο ANSI/TIA-942 για καλωδίωση [56]	60
Εικόνα 24: Αρχιτεκτονική δικτύου συνάθροισης (aggregation) με εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου.	62
Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική δικτύου οπτικής συνάθροισης.....	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τεχνική σύγκριση Grid & Cloud Computing [11]	24
Πίνακας 2: Μερικά τυπικά Data Center – Top 5 μεγαλύτερα στον κόσμο 2019 [30]	30
Πίνακας 3: Ταξινομήσεις μεγέθους κέντρου δεδομένων κατά αριθμό rack και χώρο θέσης	34
Πίνακας 4: Βαθμίδες ταξινόμησης υποδομής κέντρων δεδομένων.....	34
Πίνακας 5: Στοιχεία Data center.....	36
Πίνακας 6: Μοντέλο OSI που απεικονίζει τα επτά επίπεδα του με παραδείγματα αντικειμένων σε κάθε επίπεδο, καθώς και τις μονάδες δεδομένων και τη λειτουργία τους [42].....	43
Πίνακας 7: Επισκόπηση των τύπων καλωδίωσης του κέντρου δεδομένων [50]	49
Πίνακας 8: Μετρήσεις απόδοσης DCN	51
Πίνακας 9: Πρότυπο τοπολογίας (UPTIME και TIA-942).....	61

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

IaaS	Infrastructure as a Service
IT	Information Technology
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service
VPN	Virtual Private Network

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CLOUD COMPUTING

Τα τελευταία χρόνια, το διαδίκτυο έχει αναπτυχθεί ταχέως σε ένα ευρύ φάσμα και έχει γίνει διαθέσιμο και προσβάσιμο σε όλους. Ωστόσο, άλλα ζητήματα όπως το μέγεθος αποθήκευσης, η ισχύς που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό και το κόστος υλικού αυξάνονται συνεχώς. Ο αποθηκευτικός χώρος στο κέντρο δεδομένων δεν ανταποκρίνεται πλέον στις αυξανόμενες απαιτήσεις. Η καινοτομία του Cloud Computing εμφανίστηκε σε μια προσπάθεια επίλυσης αυτών και άλλων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Αυτό άλλαξε τη φάση της βιομηχανίας της Πληροφορικής (IT-Information Technology)¹, καθιστώντας το λογισμικό ακόμα πιο ελκυστικό ως υπηρεσία και διαμορφώνοντας τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζεται και αγοράζεται το υλικό πληροφορικής.

Το Cloud Computing έχει γίνει δημοφιλές στον κλάδο της πληροφορικής και είναι ένας εικονικός διακομιστής που διατίθεται μέσω Διαδικτύου, όπου επιτρέπει στον χρήστη να έχει πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους και υπηρεσίες, ανεξαρτήτως χρόνου ή τόπου. Οι γνωστοί πάροχοι Cloud Computing περιλαμβάνουν τις υπηρεσίες Web Amazon (AWS), τα Microsoft Windows Azure και το Google AppEngine.

¹ Η τεχνολογία πληροφοριών (Information technology - IT) είναι η χρήση οποιωνδήποτε υπολογιστών, αποθήκευσης, δικτύωσης και άλλων φυσικών συσκευών, υποδομών και διαδικασιών για τη δημιουργία, επεξεργασία, αποθήκευση, ασφάλεια και ανταλλαγή όλων των μορφών ηλεκτρονικών δεδομένων.

Στη δεκαετία του 1960, ο John McCarthy εισήγαγε τη θεμελιώδη έννοια του Cloud Computing και υποστήριξε ότι «ο υπολογισμός μπορεί κάποια μέρα να οργανωθεί ως δημόσια χρησιμότητα» [1]. Ο όρος σύννεφο προήλθε από τον κόσμο των τηλεπικοινωνιών, όπου οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών άρχισαν να προσφέρουν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες εικονικού ιδιωτικού δικτύου (VPN²) με πολύ χαμηλότερο κόστος [1]. Χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες VPN, αυτές οι εταιρείες μπορούν να αλλάξουν την κίνηση σε ισορροπημένη χρήση του συνολικού δικτύου. Παράλληλα, το Cloud Computing επεκτείνει αυτή τη διαδικασία για να καλύψει διακομιστές και υποδομές δικτύου.

Η προέλευση του όρου «Cloud Computing» είναι ασαφής. Οι Bento et al. δήλωσαν ότι ο συγκεκριμένος όρος εμφανίστηκε το 2006 ή το 2007, αλλά υπάρχουν αναφορές που χρονολογούνται από πολύ παλιότερα. Για παράδειγμα, ένα έγγραφο από το MIT³ του 1997 έδειχνε μια εικόνα σχετικά με τη προσέγγιση του Διαδικτύου, με τη σχεδίαση ενός νέφους (με την ένδειξη «σύννεφο» ενδιάμεσων δικτύων), στο οποίο τα δίκτυα προέλευσης και λήψης συνδέονταν μέσω δρομολογητών [3].

Σύμφωνα με τον Schmidt [4], χρησιμοποίησε τον όρο «Cloud Computing» σε ένα συνέδριο μηχανών αναζήτησης το 2006 για να περιγράψει τι έκαναν με την έννοια του Software as Service (SaaS). Εβδομάδες αργότερα, η Amazon χρησιμοποίησε τη λέξη «cloud» όταν κυκλοφόρησε τις υπηρεσίες EC2 “elastic computing cloud” και ο όρος εισήλθε στην πλατφόρμα [2].

Παρόλα τα πλεονεκτήματα της χρήσης του Cloud Computing, υπάρχουν ορισμένες απειλές και κίνδυνοι. Αυτά τα ζητήματα μπορούν να μειώσουν την εμπιστοσύνη στη χρήση αυτής της νέας καινοτομίας, ειδικά μεταξύ μεμονωμένων χρηστών και μικρών επιχειρήσεων, οργανισμών και επιχειρήσεων.

1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ CLOUD COMPUTING

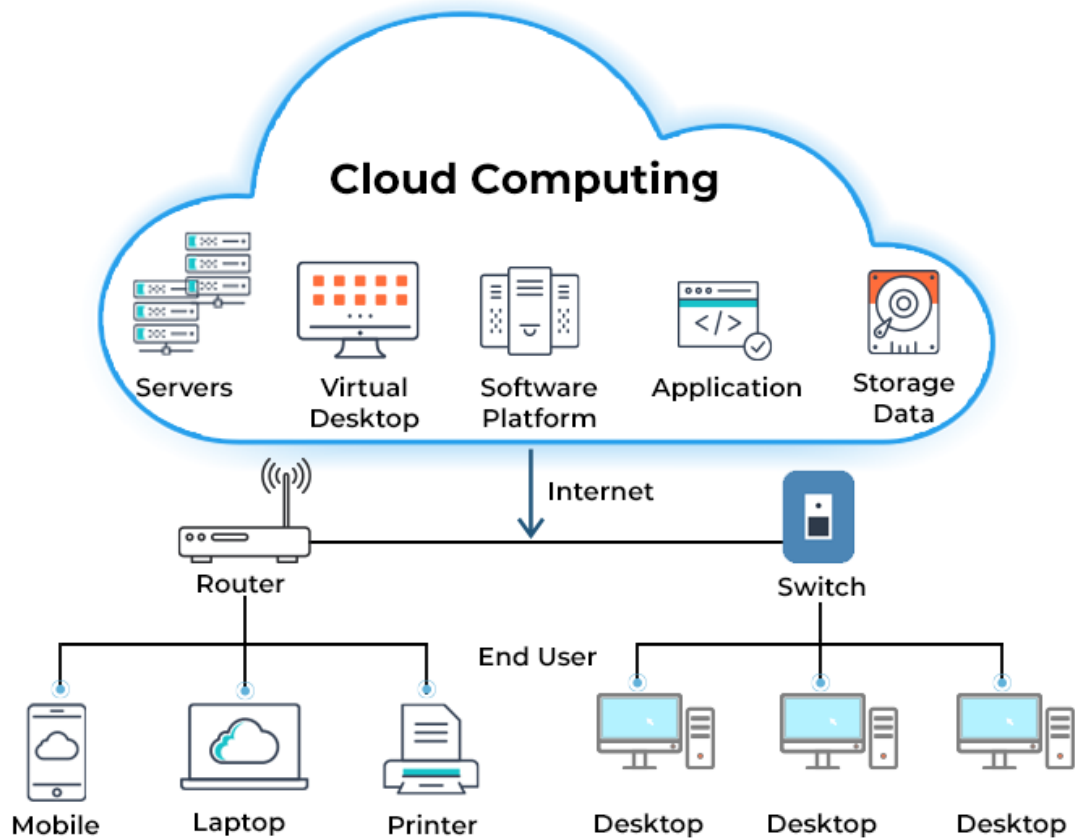
Το Cloud Computing (υπολογιστικό νέφος) είναι η διάθεση υπολογιστικών πόρων μέσω διαδικτύου, από κεντρικά συστήματα που βρίσκονται απομακρυσμένα από

² Ένα VPN (Virtual private network) είναι μια υπηρεσία που δημιουργεί μια ασφαλή, κρυπτογραφημένη σύνδεση στο διαδίκτυο.

³ Το MIT Media Lab ξεπερνά τα γνωστά όρια και τους κλάδους προωθώντας ενεργά μια μοναδική, αντιεπιστημονική κουλτούρα που ενθαρρύνει τη μη συμβατική ανάμειξη και αντιστοίχιση φαινομενικά ανόμοιων ερευνητικών περιοχών.

τον τελικό χρήστη, τα οποία τον εξυπηρετούν αυτοματοποιώντας διαδικασίες, παρέχοντας ευκολίες και ευελιξία σύνδεσης. Το Cloud Computing αντιπροσωπεύει τη σύγκλιση δύο βασικών τάσεων στην τεχνολογία της πληροφορίας, πρώτον την αποδοτικότητα της πληροφορικής, με την οποία η ισχύς των σύγχρονων υπολογιστών χρησιμοποιείται αποτελεσματικότερα μέσω υλικού και λογισμικού υψηλής κλιμάκωσης πόρων και (β) επιχειρηματική ευελιξία, σύμφωνα με την οποία η πληροφορική μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανταγωνιστικό εργαλείο μέσω ταχείας ανάπτυξης, παράλληλη μαζική επεξεργασία, χρήση υπολογιστικών αναλυτικών στοιχείων και διαδραστικών εφαρμογών για κινητές συσκευές που ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο για τις απαιτήσεις των χρηστών [5].

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι το Cloud Computing προσφέρει τεράστιες ευκαιρίες στον κλάδο της πληροφορικής, η ανάπτυξη της τεχνολογίας Cloud Computing βρίσκεται επί του παρόντος σε πρώιμο στάδιο, με πολλά ζητήματα που πρέπει ακόμη να αντιμετωπιστούν [6]. Ειδικότερα, το Cloud Computing καθιστά διαθέσιμα δεδομένα και εφαρμογές μέσω του Διαδικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα και οι εφαρμογές είναι προσβάσιμα από παντού. Το Cloud Computing δεν είναι μια νέα τεχνολογία ή μια νέα συσκευή, αλλά ένας νέος τρόπος χρήσης αυτών. Με το Cloud Computing γίνεται ευκολότερη η πρόσβαση σε δεδομένα με πολλές συσκευές. Ειδικά για κινητές συσκευές αυτό μπορεί να είναι πραγματικά χρήσιμο, καθώς το μόνο πράγμα που απαιτείται είναι σύνδεση στο Διαδίκτυο. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα μιας λύσης που βασίζεται στο cloud, όπου απεικονίζει διαφορετικές συσκευές όπως φορητούς υπολογιστές, επιτραπέζιους υπολογιστές, smartphone, tablet, διακομιστές και βάσεις δεδομένων που είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Η αποθήκευση δεδομένων και η εκτέλεση εφαρμογών θα γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο.



Εικόνα 1: Δομή Cloud Computing

Ειδικότερα, ο χρήστης αντί να αποθηκεύει αρχεία σε συσκευή αποθήκευσης ή σκληρό δίσκο, μπορεί να τα αποθηκεύσει στο cloud, καθιστώντας δυνατή την πρόσβαση στα αρχεία από οπουδήποτε, εφόσον έχουν πρόσβαση στον Ιστό. Οι υπηρεσίες που φιλοξενούνται στο cloud μπορούν γενικά να χωριστούν σε υποδομή ως υπηρεσία (IaaS), πλατφόρμα ως υπηρεσία (PaaS) και λογισμικό ως υπηρεσία (SaaS). Με βάση το μοντέλο ανάπτυξης, το cloud μπορεί επίσης να ταξινομηθεί ως δημόσιο, ιδιωτικό και υβριδικό cloud. Περαιτέρω, το cloud μπορεί να χωριστεί σε δύο διαφορετικά επίπεδα, δηλαδή, front-end και back-end. Το επίπεδο με το οποίο αλληλεπιδρούν οι χρήστες ονομάζεται επίπεδο front-end. Αυτό το επίπεδο επιτρέπει σε έναν χρήστη να έχει πρόσβαση στα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί στο cloud μέσω λογισμικού υπολογιστικού νέφους.

Σύμφωνα με τους Reid et al. [7], υπάρχουν τρεις κύριες τάσεις που δημιούργησαν το Cloud Computing:

1. *Βιομηχανική πληροφορική*, μέσω της αυξημένης εμπορευματοποίησης, τυποποίησης, ενοποίησης και παγκοσμιοποίησης. Συνεπώς, το ίδιο λογισμικό

χρησιμοποιείται από ολοένα και περισσότερους χρήστες/οργανισμούς που μεταδίδονται σε όλο τον κόσμο.

2. *Τεχνολογικός λαϊκισμός*, μια λαϊκή κουλτούρα όπου η τεχνολογία καταναλώνεται και επικεντρώνεται στους τελικούς καταναλωτές και δεν είναι το αποκλειστικό πεδίο των οργανωτικών αγοραστών. Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο οι οργανισμοί αγοράζουν την τεχνολογία, αλλά στις μέρες μας πολλοί άνθρωποι αγοράζουν/χρησιμοποιούν λογισμικό για προσωπική χρήση.

3. *Τεχνολογία* που ενσωματώνεται στην επιχείρηση ή στην επιχειρηματική τεχνολογία, αντί για τεχνολογία πληροφοριών. Αυτό σημαίνει ότι οι επιχειρήσεις έχουν περισσότερες γνώσεις σχετικά με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στον οργανισμό τους από ότι μπορούν να έχουν οι άνθρωποι της πληροφορικής. Η επιχείρηση έχει γνώση σχετικά με τις διαδικασίες μέσα σε έναν οργανισμό και ως εκ τούτου θα πρέπει να είναι σε θέση να εφαρμόσει κάποια πράγματα, αντί για τους ανθρώπους της πληροφορικής που δεν έχουν αυτή τη γνώση.

Το Cloud Computing προωθήθηκε στον πραγματικό κόσμο λόγω της πίεσης από την IT για εξοικονόμηση χρημάτων [8]. Στο παρελθόν, το κόστος συντήρησης συνέχιζε να αυξάνεται με αποτέλεσμα ο προϋπολογισμός για καινοτομία να μειώνεται, καθώς ο συνολικός προϋπολογισμός δεν μεταβαλλόταν. Το Cloud Computing θα αλλάξει τον ρόλο των υπευθύνων λήψεων αποφάσεων με τρόπο μη αναμενόμενο.

Το cloud θα πρέπει να χρησιμοποιείται για να ξεπερνά τον ανταγωνισμό. Ο μεγαλύτερος αντίκτυπος για τον πάροχο Cloud Computing δεν είναι να αυξήσει το χρόνο στην αγορά και την ευελιξία, που είναι σημαντικοί στόχοι για έναν οργανισμό (και για τον καταναλωτή υπηρεσιών cloud), αλλά ότι μεταμορφώνει τα επιχειρηματικά μοντέλα. Επομένως, ένας οργανισμός που θέλει να παρέχει και υπηρεσίες cloud θα πρέπει να εξετάσει ένα άλλο επιχειρηματικό μοντέλο, επειδή δεν θα πουλά πλέον προϊόντα, αλλά μια υπηρεσία, η οποία απαιτεί άλλο επιχειρηματικό μοντέλο. Η σημερινή οικονομία έχει αλλάξει από ένα πρότυπο προβλέψιμων κύκλων σε μια κατάσταση όπου υπάρχουν υψηλές και χαμηλές κορυφές. Σύμφωνα με τον Carr στην επόμενη δεκαετία η εταιρική πληροφορική θα αλλάξει υπέρ των πόρων cloud [9]. Παράλληλα, η πληροφορική μετατρέπεται σε βοηθητικό πρόγραμμα και τα αποτελέσματα αυτής της μετάβασης θα αλλάξουν τελικά την κοινωνία τόσο ολοκληρωτικά όσο η έλευση της φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας [9].

Όπως αναφέρθηκε ήδη, ένα άλλο αποτέλεσμα του Cloud Computing είναι ότι τα προϊόντα γίνονται υπηρεσίες. Αυτό είναι κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη σχέση μεταξύ πωλητή και πελάτη. Εφόσον το προϊόν έχει γίνει υπηρεσία, είναι εύκολο για τον πελάτη να σταματήσει να χρησιμοποιεί αυτήν την υπηρεσία και να μεταβεί σε άλλον προμηθευτή. Η πληροφορική δεν είναι στόχος από μόνη της. Βοηθά μια εταιρεία να γίνει μέρος του τρέχοντος οικοσυστήματος. Μια άποψη που συμμερίζονται πολλοί άνθρωποι είναι ότι όταν ένας οργανισμός που αγνοεί το Cloud Computing, δεν θα πάρει την επιχείρηση και όταν ο οργανισμός δεν διατηρεί καλές σχέσεις με τους πελάτες του, θα χάσει μερίδιο αγοράς. Δεν έχει λοιπόν νόημα να αντισταθούμε σε αυτό το νέο είδος οικοσυστήματος καθώς το Cloud Computing είναι το μέλλον.

Η μετατόπιση από τα προϊόντα που μετατρέπονται σε υπηρεσίες έχει ως αποτέλεσμα τη διάκριση μεταξύ ιδιοκτησίας και χρήσης περιουσιακών στοιχείων πληροφορικής. Όταν ένας οργανισμός παρέχει λύσεις cloud έχει ένα πλεονέκτημα επειδή μπορεί να πραγματοποιήσει οικονομίες κλίμακας και να τυποποιήσει προϊόντα. Ωστόσο, εισάγει ορισμένες ερωτήσεις για τον πελάτη, όπως [8]:

- Πώς να εγγυηθεί την ασφάλεια και την αξιοπιστία;
- Πώς να ενσωματώσετε τα εξωτερικά και εσωτερικά στοιχεία σε μια χρησιμοποιήσιμη λύση;
- Πώς οργανώνονται τα αντίγραφα ασφαλείας;
- Πώς οργανώνεται η ασφάλεια;
- Πώς οργανώνεται το απόρρητο;
- Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ιδιωτικό ή δημόσιο cloud;
- Πού αποθηκεύονται τα δεδομένα;
- Ποιος είναι ο κάτοχος των δεδομένων αφού αποθηκευτούν;
- Θα υπάρχει πρόσβαση στα δεδομένα όταν ο πάροχος χρεοκοπήσει;
- Ποιος είναι ο χρόνος λειτουργίας και η διαθεσιμότητα της υπηρεσίας;
- Ποιο είναι το κόστος επέκτασης της χωρητικότητας και της λειτουργικότητας;
- Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της μετάβασης σε μια λύση cloud;

Επιπλέον, είναι σημαντικό να ξεκινήσει ένα όραμα προσανατολισμένο στη διαδικασία, προκειμένου να δημιουργηθούν οι σωστές διαδικασίες για γρήγορες απαντήσεις, αποτρέποντας ταυτόχρονα τα μελλοντικούς κινδύνους που προκύπτουν από μια σειρά γρήγορων λύσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι επιχειρηματικές

διαδικασίες μέσα σε έναν οργανισμό, αντί για τις τεχνολογικές δυνατότητες, θα πρέπει να καθοδηγούν τον σχεδιασμό μιας υποδομής cloud. Με αυτόν τον τρόπο, η υποδομή θα βελτιώσει τις επιχειρηματικές διαδικασίες από τις οποίες μπορεί να επωφεληθεί ολόκληρος ο οργανισμός. Συνεπώς, είναι σημαντικό να υπάρχουν ορισμένοι σαφείς λόγοι, εκτός από το ότι είναι τεχνικά εφικτό, γιατί πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια λύση cloud. Συγχρόνως, είναι σημαντικό να δημιουργηθεί μια αρχιτεκτονική διακυβέρνησης και επιχείρησης που δημιουργείται από την προοπτική του καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση πελατών αντί από τη σκοπιά της διαχείρισης κινδύνου [8]. Μια άλλη πτυχή στην οποία ένας οργανισμός πρέπει να εστιάσει, είναι ο τρόπος με τον οποίο πρόκειται να κερδίσει χρήματα. Μπορεί να είναι μέσω ενός μοντέλου πληρωμής ανά χρήση ή να βασίζεται στην τιμή Xed⁴ ανά χρονική θυρίδα. Για έναν προμηθευτή λογισμικού, το μοντέλο cloud έχει ορισμένα πλεονεκτήματα:

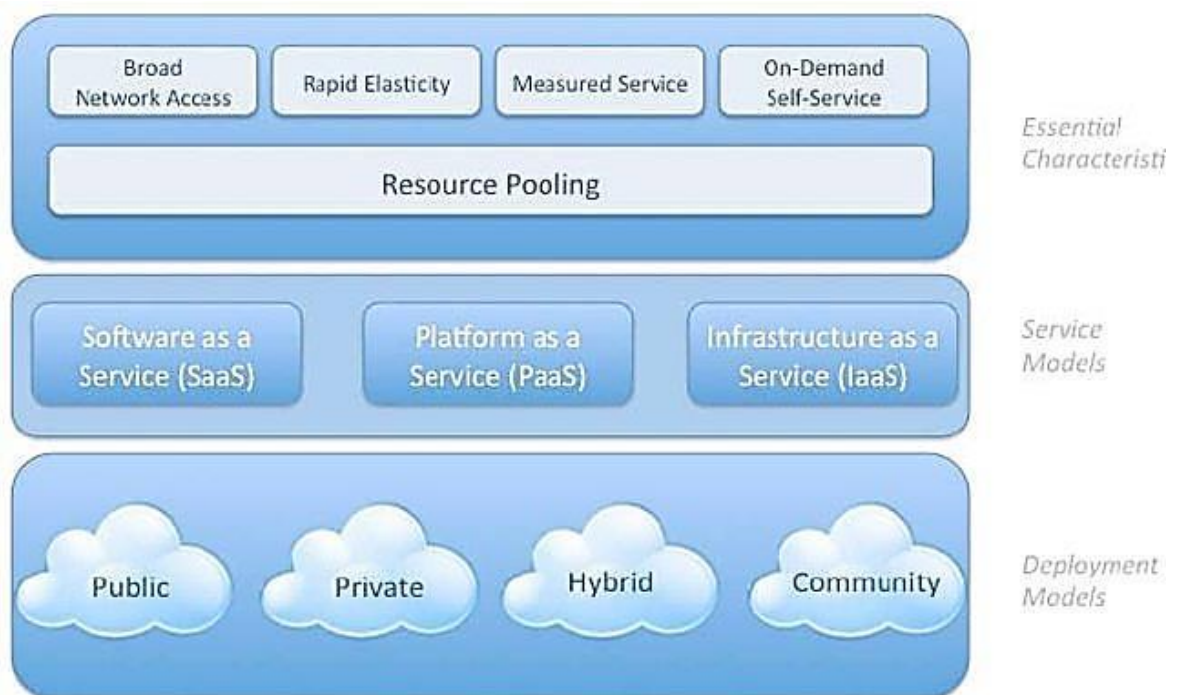
1. Δημιουργεί έναν νέο τρόπο πώλησης του λογισμικού του.
2. Δημιουργεί μια σταθερή ροή εσόδων.
3. Παρέχει νέους τρόπους για να κλειδώσεις τους χρήστες σε μια πλατφόρμα ή σε μια μορφή δεδομένων.

Ορισμένοι προμηθευτές φοβούνται ότι τα περιθώρια κέρδους τους θα μειωθούν και ότι θα παράσχουν εισόδο στην αγορά για νέους ανταγωνιστές. Είναι σημαντικό να εστιαστεί στο μέλλον η χρήση του μοντέλου cloud, εάν βραχυπρόθεσμα θα κοστίζει τελικά σε έναν οργανισμό περισσότερο από ό,τι θα επιστρέψει. Όταν οι άνθρωποι μιλούν για το «σύννεφο», αυτό συνήθως αναφέρεται σε μια λύση σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Δεδομένου ότι αυτές οι ξεχωριστές λύσεις μπορούν να έχουν τις δικές τους εφαρμογές, μπορεί να είναι δύσκολο να συνδυαστούν. Δεν αρκεί μόνο η παροχή υπηρεσιών cloud, αλλά είναι σημαντικό να επανεξεταστεί το επιχειρηματικό μοντέλο κατά την έναρξη της παροχής αυτών των υπηρεσιών. Όταν αυτό δεν γίνει, υπάρχει ο κίνδυνος απώλειας χρημάτων. Έτσι, ένας οργανισμός πρέπει να έχει ένα σαφές όραμα για το πώς θα κερδίσει χρήματα σε αυτή την κατάσταση [8].

⁴ Το Exeedme (XED) Price είναι μια πλατφόρμα που βασίζεται σε blockchain παιχνίδι-για-κέρδους που επιτρέπει στους παίκτες όλων των επιπέδων δεξιοτήτων να δημιουργούν έσοδα από τις δεξιότητές τους. Η πλατφόρμα επιδιώκει να αναπτύξει μια οικονομία blockchain που βασίζεται σε δεξιότητες που επιτρέπει στους προγραμματιστές και τους διοργανωτές να δημιουργούν ανταγωνιστικά οικοσυστήματα παιχνιδιών για κάθε παιχνίδι.

1.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ CLOUD COMPUTING

Το NIST (National Institute of Standards and Technology) είναι ένα καλά αποδεκτό ίδρυμα σε όλο τον κόσμο για το έργο του στον τομέα της Πληροφορικής. Το NIST ορίζει την αρχιτεκτονική του Cloud Computing περιγράφοντας πέντε βασικά χαρακτηριστικά, τρία μοντέλα υπηρεσιών cloud και τέσσερα μοντέλα ανάπτυξης cloud (Εικόνα 2) [10].



Εικόνα 2: NIST Οπτικό μοντέλο Cloud Computing [10]

Βασικά χαρακτηριστικά του Cloud Computing

Υπάρχουν πέντε βασικά χαρακτηριστικά του Cloud Computing που εξηγούν τη σχέση και τη διαφορά τους από τον παραδοσιακό υπολογισμό.

- *On-demand-self-service*

Ο καταναλωτής μπορεί να παρέχει ή να μη παρέχει τις υπηρεσίες όταν χρειάζεται, χωρίς την ανθρώπινη αλληλεπίδραση με τον πάροχο υπηρεσιών.

- *Broad Network Access*

Διαθέτει δυνατότητες μέσω του δικτύου και πρόσβαση μέσω τυπικού μηχανισμού.

- *Resource Pooling*

Οι υπολογιστικοί πόροι του παρόχου συγκεντρώνονται για να εξυπηρετούν πολλούς καταναλωτές που χρησιμοποιούν ένα μοντέλο πολλαπλών μισθωτών, με διάφορους φυσικούς και εικονικούς πόρους που έχουν εκχωρηθεί δυναμικά, ανάλογα με τη ζήτηση των καταναλωτών.

- *Rapid Elasticity*

Οι υπηρεσίες Rapid Elasticity μπορούν να παρέχονται γρήγορα και ελαστικά.

- *Measured Service*

Τα συστήματα Cloud Computing ελέγχουν και βελτιστοποιούν αυτόματα τη χρήση των πόρων παρέχοντας μια δυνατότητα μέτρησης για τον τύπο των υπηρεσιών (π.χ. αποθήκευση, επεξεργασία, εύρος ζώνης ή ενεργούς λογαριασμούς χρηστών) [10].

Μοντέλα Υπηρεσιών Cloud

Υπάρχουν 3 Μοντέλα Υπηρεσιών Cloud και αυτές οι 3 βασικές ταξινομήσεις αναφέρονται συχνά ως «μοντέλο SPI», δηλαδή λογισμικό, πλατφόρμα ή υποδομή ως υπηρεσία.

- *Cloud Software ως υπηρεσία*

Αυτή είναι μια δυνατότητα στην οποία ο καταναλωτής μπορεί να χρησιμοποιήσει τις εφαρμογές του παρόχου που εκτελούνται στο cloud.

- *Cloud Platform ως υπηρεσία*

Σε αυτόν τον τύπο υπηρεσίας, ο καταναλωτής μπορεί να αναπτύξει, ο καταναλωτής δημιουργήσει ή απέκτησε εφαρμογές που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού ή εργαλεία που παρέχονται από τον πάροχο, στην υποδομή cloud.

- *Cloud Infrastructure ως υπηρεσία*

Αυτή είναι μια δυνατότητα που παρέχεται στον καταναλωτή μέσω της οποίας μπορεί να παρέχει επεξεργασία, αποθήκευση, δίκτυα και άλλους βασικούς υπολογιστικούς πόρους όπου οι καταναλωτές μπορούν να αναπτύξουν και να εκτελέσουν το λογισμικό (δηλ. λειτουργικά συστήματα, εφαρμογές) [10].

Μοντέλα ανάπτυξης Cloud

- *Public Cloud*

Η υποδομή cloud είναι διαθέσιμη στο ευρύ κοινό.

- *Private Cloud*

Ο τύπος του cloud, που είναι διαθέσιμος αποκλειστικά για έναν οργανισμό.

- *Community Cloud*

Σε αυτόν τον τύπο μοντέλου ανάπτυξης cloud, η υποδομή του cloud είναι κοινή από πολλούς οργανισμούς και υποστηρίζει μια συγκεκριμένη κοινότητα με κοινές ανησυχίες.

- *Hybrid Cloud*

Αυτή είναι μια υποδομή cloud που αποτελείται από δύο ή περισσότερα cloud, δηλαδή ιδιωτικά, κοινοτικά ή δημόσια [10].

1.4 ΕΞΕΛΙΞΗ CLOUD COMPUTING

Υπήρχε πάντα μια συζήτηση για την εξέλιξη του Cloud Computing και το πιο σημαντικό σημείο σε αυτό είναι το Grid Computing. Αρκετά άτομα αποκαλούν το Cloud Computing και το Grid Computing τα ίδια φαινόμενα, ενώ άλλοι αποκαλούν το Cloud Computing μια επέκταση του Grid Computing. Εξειδικεύοντας, το Grid Computing είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο που έχει εξελιχθεί μέσω προηγούμενων μετεξελίξεων παράλληλα κατανεμημένων και σε διάσταση HPC (High Performance Computing) [12] [13]. Ένας από τους πρώτους ορισμούς του Grid computing ήταν από τους Foster et al. [14], όπου “ένα υπολογιστικό πλέγμα είναι μια υποδομή υλικού και λογισμικού που παρέχει αξιόπιστη, συνεπή, διάχυτη και φθηνή πρόσβαση σε υπολογιστικές δυνατότητες υψηλής ποιότητας”.

Στη συνέχεια, η ανάπτυξη υποστήριξης για κοινή χρήση πόρων πληροφορικής γενικής χρήσης, άρχισε να υπολογίζεται ως το πραγματικό πρόβλημα για την Grid. Ο Foster υποστήριξε πως “το πραγματικό και συγκεκριμένο πρόβλημα που βασίζεται στην έννοια του Grid είναι η συντονισμένη κοινή χρήση πόρων και η επίλυση προβλημάτων σε δυναμικούς, πολυθεσμικούς εικονικούς οργανισμούς. Η

κοινή χρήση που μας απασχολεί δεν είναι πρωτίστως η ανταλλαγή αρχείων, αλλά μάλλον η άμεση πρόσβαση σε υπολογιστές, λογισμικό, δεδομένα και άλλους πόρους, όπως απαιτείται από μια σειρά από συνεργατικές στρατηγικές επίλυσης προβλημάτων και διαμεσολάβησης πόρων που αναδύονται στη βιομηχανία, την επιστήμη και τη μηχανική” [14].

Οι εικονικοί οργανισμοί σε αυτόν τον ορισμό αποτελούν τη δυναμική ομάδα ατόμων, ομάδων ή οργανισμού που θέτουν τις προϋποθέσεις και τους κανόνες για την κοινή χρήση πόρων [15]. Ορισμένοι από τους οργανισμούς έχουν ορίσει το Grid computing σε σχέση με τα χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με την IBM, “το Grid Computing επιτρέπει να ενώσετε ομάδες διακομιστών, συστημάτων αποθήκευσης και δικτύων σε ένα ενιαίο μεγάλο σύστημα, ώστε να μπορείτε να παραδώσετε την ισχύ των πόρων πολλαπλών συστημάτων σε ένα μόνο σημείο χρήστη για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Για έναν χρήστη, ένα αρχείο δεδομένων ή μια εφαρμογή, το σύστημα φαίνεται να είναι ένα ενιαίο τεράστιο εικονικό υπολογιστικό σύστημα” [11].

Επομένως το Cloud Computing και το Grid Computing έχουν πολλές ομοιότητες κάτι που οδηγεί σε ανάλυση σχετικά με τις διαφορές αυτών των δύο τεχνολογιών. Ο παρακάτω Πίνακας 1 δείχνει τις τεχνικές διαφορές μεταξύ του Cloud Computing και του Grid Computing [11].

Πίνακας 1: Τεχνική σύγκριση Grid & Cloud Computing [11]

	Grid Computing	Cloud Computing
Μέσα χρήσης [17]	Κατανομή πολλαπλών διακομιστών σε μια μεμονωμένη εργασία.	Εικονικοποίηση διακομιστών, όπου ένας διακομιστής υπολογίζει πολλές εργασίες ταυτόχρονα.
Τυπικό μοτίβο χρήσης [18]	Συνήθως χρησιμοποιείται για μια εργασία, δηλαδή την εκτέλεση ενός προγράμματος σε περιορισμένο χρόνο.	Πιο συχνά χρησιμοποιείται σε υποστήριξη μακροχρόνιων υπηρεσιών.
Επίπεδο αφαίρεσης [19]	Εκθέτει υψηλού επιπέδου λεπτομέρειες.	Παρέχει αφαιρέσεις υψηλού επιπέδου.

Το σημείο που κάνει το Cloud Computing να διαφέρει από το Grid computing είναι η "εικονικότητα". Το Cloud Computing αξιοποιεί την εικονικοποίηση για να μεγιστοποιήσει την υπολογιστική ισχύ. Η εικονικοποίηση, διαχωρίζοντας το λογικό από το φυσικό, επιλύει ορισμένες από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο υπολογισμός πλέγματος [16]. Ενώ το Grid Computing επιτυγχάνει υψηλή χρήση με

την κατανομή πολλών διακομιστών σε μια μεμονωμένη εργασία, η εικονικοποίηση διακομιστών στο Cloud Computing επιτυγχάνει υψηλή χρήση επιτρέποντας σε έναν διακομιστή να υπολογίζει πολλές εργασίες ταυτόχρονα [17].

Μαζί με τις διαφορές στην τεχνολογία μεταξύ του Grid computing και του Cloud Computing, τα πρότυπα χρήσης είναι επίσης διαφορετικά μεταξύ τους. Το Grid χρησιμοποιείται συνήθως για την εκτέλεση εργασιών, ενώ τα clouds (σύννεφα) χρησιμοποιούνται συχνότερα για την υποστήριξη μακροχρόνιων υπηρεσιών [18].

Αρκετοι υποστηρίζουν ότι το Cloud Computing έχει εξελιχθεί από το Grid Computing και ότι το Grid Computing είναι το θεμέλιο για το Cloud Computing [14]. Ειδικότερα, περιγράφουν τη σχέση μεταξύ Grid και Cloud Computing ως εξής: *“το Cloud Computing όχι μόνο επικαλύπτεται με το Grid Computing, αλλά είναι πράγματι εξελισσόμενο από το Grid Computing και βασίζεται σε αυτό ως τη ραχοκοκαλιά και την υποδομή του. Η εξέλιξη ήταν αποτέλεσμα μιας μετατόπισης της εστίασης από μια υποδομή που παρέχει αποθήκευση και υπολογισμούς πόρων (όπως συμβαίνει στα Grids), σε μια υποδομή που βασίζεται στην οικονομία με στόχο την παροχή πιο αφηρημένων πόρων και υπηρεσιών (όπως είναι η περίπτωση στο Cloud)”* [14].

Συνεπώς μπορούμε να συνοψίσουμε ότι το Grid Computing είναι το σημείο εκκίνησης και η βάση για το Cloud Computing. Το Cloud Computing ουσιαστικά αντιπροσωπεύει την αυξανόμενη τάση προς την εξωτερική ανάπτυξη πόρων πληροφορικής, όπως υπολογιστική ισχύ, αποθήκευση ή επιχειρηματικές εφαρμογές, και απόκτησή τους ως υπηρεσίες [11].

1.5 CLOUD COMPUTING ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ

Το Cloud Computing αφορά επίσης τον τρόπο παροχής και χρήσης της πληροφορικής, και όχι μόνο τις τεχνολογικές βελτιώσεις των κέντρων δεδομένων [20]. Οι επιχειρήσεις πρέπει να εξετάσουν τα οφέλη, τα μειονεκτήματα και τις επιπτώσεις του Cloud Computing στις ίδιες, καθώς και τις πρακτικές χρήσης τους, προτού το υιοθετήσουν και το χρησιμοποιήσουν [21]. Στις επιχειρήσεις η υιοθέτηση του Cloud Computing εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ωριμότητα των οργανωτικών και πολιτισμικών διαδικασιών ως εκσυγχρονισμού της τεχνολογίας [22]. Κάποιοι προβλέπουν ότι η υιοθέτηση του Cloud Computing δεν πρόκειται να

γίνει σύντομα, αλλά θα χρειαστούν 10-15 χρόνια για μια τυπική επιχείρηση [23]. Επομένως, οι εταιρείες βρίσκονται στην αρχή μιας μεταβατικής περιόδου, κατά την οποία πρέπει να ληφθούν αρκετές αποφάσεις σχετικά με την υιοθέτηση του Cloud Computing.

Η απόφαση για την υιοθέτηση του Cloud Computing είναι προκλητική λόγω της σειράς πρακτικών και κοινωνικοπολιτικών λόγων. Είναι αδύνατον όλες οι επιχειρήσεις να αναθέτουν το σύνολο των απαιτήσεων back end υπολογιστών σε παρόχους cloud. Ο λόγος είναι ότι θα δημιουργήσουν ένα ετερογενές υπολογιστικό περιβάλλον που θα βασίζεται σε αποκλειστικούς διακομιστές, οργανωτικά νέφη και πιθανώς περισσότερους από έναν δημόσιους παρόχους cloud. Ο τρόπος διαχείρισης της υιοθέτησης στο Cloud Computing δεν εξαρτάται μόνο από τεχνικά ζητήματα αλλά και από κοινωνικοτεχνικούς παράγοντες (δηλαδή κόστος, εμπιστευτικότητα και έλεγχος), τον αντίκτυπο στις εργασιακές πρακτικές και περιορισμούς που προκύπτουν από τα υπάρχοντα επιχειρηματικά μοντέλα. Συνοψίζοντας, οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι επιχειρήσεις πριν από την υιοθέτηση του Cloud Computing είναι: i) να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με το κόστος της υιοθέτησης του cloud, ii) υποστήριξη της διαχείρισης κινδύνου και iii) να διασφαλιστεί ότι οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να προβούν σε ενημερωμένους συμβιβασμούς μεταξύ των οφελών και των κινδύνων [21].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

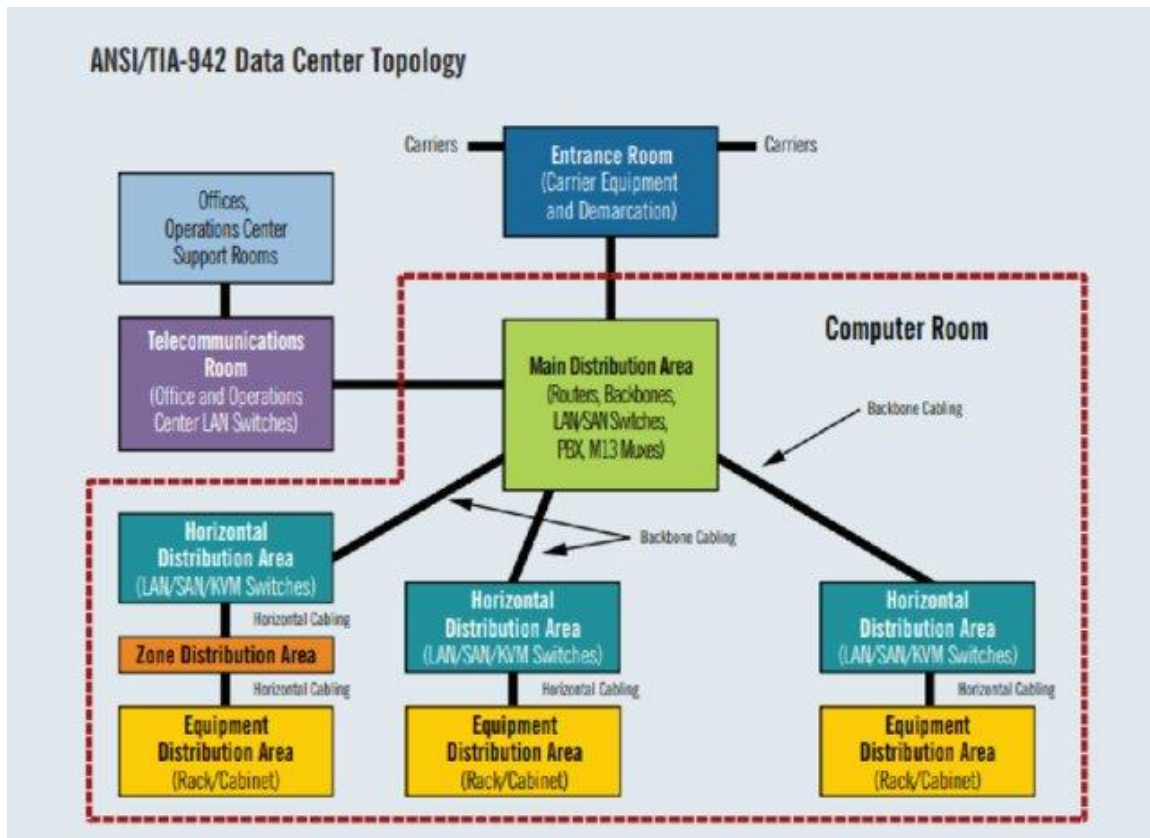
2.1 ΔΙΚΤΥΑ ΣΕ DATA CENTERS

Το Data Center (DC) (Κέντρο δεδομένων) έχει πολλούς ορισμούς. όλοι προσπαθούν να περιγράψουν τις λειτουργίες και τα στοιχεία ενός DC. Η Cisco [24] περιγράφει ένα DC ως μια φυσική εγκατάσταση που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί για να στεγάσουν τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα τους. Ο σχεδιασμός ενός κέντρου δεδομένων βασίζεται σε ένα δίκτυο πόρων υπολογιστών και αποθήκευσης που επιτρέπουν την παράδοση κοινών εφαρμογών και δεδομένων. Τα βασικά στοιχεία του σχεδιασμού ενός κέντρου δεδομένων περιλαμβάνουν δρομολογητές, μεταγωγείς, τείχη προστασίας, συστήματα αποθήκευσης, διακομιστές και ελεγκτές παράδοσης εφαρμογών. Σύμφωνα με το Rong et al. [25], τα κέντρα δεδομένων είναι αποθήκες υπολογιστών που αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων και καλύπτουν τις καθημερινές ανάγκες επεξεργασίας συναλλαγών διαφορετικών επιχειρήσεων. Περιέχουν διακομιστές για τη συλλογή δεδομένων και υποδομής δικτύου για τη χρήση και αποθήκευση των δεδομένων. Οι Oró et al. [6] προσπάθησαν να δώσουν έναν ολοκληρωμένο ορισμό: *“Ένα κέντρο δεδομένων είναι ένας φυσικός χώρος που ελέγχεται περιβαλλοντικά με καθαρή ηλεκτρική ενέργεια και συνδεσιμότητα δικτύου που είναι βελτιστοποιημένη για φιλοξενία διακομιστών. Η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος του κέντρου δεδομένων ελέγχονται για να καταστεί δυνατή η σωστή λειτουργία του εξοπλισμού και η εγκατάσταση είναι φυσικά ασφαλισμένη για να αποφευχθεί η σκόπιμη ή τυχαία ζημιά στον φυσικό εξοπλισμό. Αυτή η εγκατάσταση θα έχει μία ή περισσότερες συνδέσεις στο δημόσιο διαδίκτυο, συχνά μέσω περιττών και φυσικά διαχωρισμένων καλωδίων σε περιττούς δρομολογητές. Πίσω από τους δρομολογητές θα υπάρχουν εφαρμογές ασφαλείας, όπως τείχη προστασίας ή στοιχεία βαθιάς επιθεώρησης πακέτων, για την επιβολή μιας περιμέτρου ασφαλείας που προστατεύει τους διακομιστές στο κέντρο δεδομένων. Πίσω από τις συσκευές ασφαλείας υπάρχουν συχνά εξισορροπητές φορτίου που κατανέμουν την κυκλοφορία σε διακομιστές διεπαφής, όπως διακομιστές ιστού. Συχνά υπάρχουν ένα ή δύο επίπεδα διακομιστή πίσω από το μπροστινό μέρος της εφαρμογής, όπως διακομιστές δεύτερης*

βαθμίδας που εφαρμόζουν τη λογική της εφαρμογής ή της επιχείρησης και μια τρίτη βαθμίδα διακομιστών βάσεων δεδομένων. Η δημιουργία και λειτουργία μιας παραδοσιακής εγκατάστασης κέντρου δεδομένων - συμπεριλαμβανομένων των δρομολογητών IP⁵ και της υποδομής, των εφαρμογών ασφαλείας, των εξισορροπητών φορτίου, των συστημάτων αποθήκευσης και υποστήριξης διακομιστών - απαιτεί μεγάλη δαπάνη κεφαλαίου και σημαντικά έξοδα λειτουργίας, όλα για την υποστήριξη λογισμικού εφαρμογών που συχνά έχει πολύ διαφορετικό φορτίο, ενώ μεγάλο μέρος της χωρητικότητας των πόρων συχνά υποχρησιμοποιείται". Σύμφωνα με τους Arregoces & Portolani [27] τα κέντρα δεδομένων στεγάζουν κρίσιμους υπολογιστικούς πόρους σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα και υπό κεντρική διαχείριση, που επιτρέπουν επιχειρήσεις να λειτουργούν όλο το εικοσιτετράωρο ή σύμφωνα με τις επιχειρηματικές τους ανάγκες. Αυτοί οι υπολογιστικοί πόροι περιλαμβάνουν κεντρικούς υπολογιστές, διακομιστές Ιστού και εφαρμογών, διακομιστές αρχείων και εκτυπώσεων, διακομιστές μηνυμάτων, λογισμικό εφαρμογών και τα λειτουργικά συστήματα που τα εκτελούν, υποσυστήματα αποθήκευσης και την υποδομή δικτύου, είτε IP είτε δίκτυο χώρου αποθήκευσης (SAN-Storage area network). Οι εφαρμογές κυμαίνονται από εσωτερικούς οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους έως εφαρμογές εξωτερικού ηλεκτρονικού εμπορίου και από επιχείρηση σε επιχείρηση. Επιπλέον, ένας αριθμός διακομιστών υποστηρίζει λειτουργίες δικτύου και εφαρμογές που βασίζονται σε δίκτυο. Οι εφαρμογές λειτουργίας δικτύου περιλαμβάνουν το πρωτόκολλο ώρας δικτύου (NTP-Network Time Protocol), TN3270 (terminal emulation), FTP-File Transfer Protocol, Σύστημα ονομάτων τομέα (DNS-Domain Name System), πρωτόκολλο δυναμικής διαμόρφωσης κεντρικού υπολογιστή (DHCP-Dynamic Host Configuration Protocol), απλό πρωτόκολλο διαχείρισης δικτύου (SNMP-Simple Network Management Protocol), TFTP- Trivial File Transfer Protocol, σύστημα αρχείων δικτύου (NFS-Network File System), καθώς και εφαρμογές που βασίζονται σε δίκτυο, συμπεριλαμβανομένης της τηλεφωνίας IP, της ροής βίντεο μέσω IP, της τηλεδιάσκεψης IP και ούτω καθεξής. Συνοψίζοντας ένα κέντρο δεδομένων ορίζεται ως μια υποδομή πόρων που συλλέγει, αποθηκεύει, διαχειρίζεται και διανέμει μια μεγάλη ποσότητα κρίσιμης

⁵ Ο όρος διεύθυνση IP σημαίνει διεύθυνση πρωτοκόλλου Internet. Μια διεύθυνση πρωτοκόλλου Διαδικτύου είναι ένα μοναδικό αριθμητικό όνομα που έχει κάθε ηλεκτρονική συσκευή που είναι συνδεδεμένη σε δίκτυο υπολογιστών.

βάσης δεδομένων με βάση τις απαιτήσεις και τα διεθνή πρότυπα. Αποτελείται από όλα τα απαραίτητα στοιχεία εγκαταστάσεων (χώρος, ισχύς, ψύξη) καθώς και στοιχεία πληροφορικής (διακομιστής, αποθήκευση, δίκτυο). Ένα τυπικό κέντρο δεδομένων σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό ακολουθεί την τοπολογία που δείχνει τη βασική λειτουργική περιοχή όπως στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Κέντρο δεδομένων συμβατό με TIA-942 που δείχνει βασική λειτουργική περιοχή (πηγή: <http://www.tia-942.org>)

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές του Data Center. Η κρισιμότητα των κέντρων δεδομένων τροφοδοτείται κυρίως από δύο πτυχές. Πρώτον, η συνεχής αυξανόμενη ζήτηση για υπολογισμό, επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων από μια ποικιλία υπηρεσιών cloud μεγάλης κλίμακας, όπως το Google, το Facebook και η Amazon, από φορείς τηλεπικοινωνιών, από τράπεζες και κυβερνητικούς οργανισμούς, όπου είχε ως αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό μεγάλων κέντρων δεδομένων με χιλιάδες ή εκατομμύρια διακομιστές, CPU (Central Processing Unit). Μια μελέτη της International Data Corporation για την EMC υπολόγισε ότι το 2011 δημιουργήθηκαν 1,8 τρισεκατομμύρια gigabyte (GB) ή περίπου 1,8 zettabytes (ZB) ψηφιακών

πληροφοριών [28]. Ο όγκος δεδομένων το 2012 ήταν περίπου 2,8 ZB και αναμένεται να αυξηθεί στα 40 ZB μέχρι το έτος 2020 [28]. Δεύτερον, η απαίτηση για υποστήριξη μιας τεράστιας ποικιλίας εφαρμογών που κυμαίνονται από αυτές που εκτελούνται για λίγα δευτερόλεπτα έως εκείνες που εκτελούνται επίμονα σε κοινόχρηστες πλατφόρμες υλικού έχει προωθήσει τη δημιουργία υπολογιστικών υποδομών μεγάλης κλίμακας. Σαν αποτέλεσμα, τα κέντρα δεδομένων έχουν διαφημιστεί ως οι βασικές τεχνολογίες για την αναπτυσσόμενη βιομηχανία της πληροφορικής, ενώ το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς αυτών αναμένεται να φτάσει σε έσοδα περίπου τα 174 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2023 [29]. Τέλος, υπάρχουν εκατοντάδες κέντρα δεδομένων σε όλο τον κόσμο, η πλειοψηφία των οποίων είναι σχετικά μικρή, με μέσο μέγεθος περίπου 100.000 τετραγωνικά πόδια. Παράλληλα όμως, υπάρχουν και τα μεγάλα κέντρα δεδομένων που καταναλώνουν τόση ενέργεια όσο μια μικρή πόλη με μερικές χιλιάδες κατοίκους (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Μερικά τυπικά Data Center – Top 5 μεγαλύτερα στον κόσμο 2019 [30]

N°	Data Center Company	Facility Location	Area
1	Range International Information Group	Langfang, China	6,300,000 million Sq. Ft
2	Switch SuperNAP	Nevada, USA	3,500,000 million Sq. Ft
3	DuPont Fabros Technology	Virginia, USA	1,600,000 million Sq. Ft
4	Utah Data Centre	Utah, USA	1,500,000 million Sq. Ft
5	Microsoft Data Centre	Iowa, USA	1,200,000 million Sq. Ft

Τα κέντρα δεδομένων έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν επιχειρηματικές εφαρμογές και ερευνητικές δραστηριότητες που περιλαμβάνουν: (1) Email και κοινή χρήση αρχείων, τα οποία πρέπει να αποθηκεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα. (2) Η διαχείριση πελατειακών σχέσεων διευθετεί όλες τις σχέσεις και τις αλληλεπιδράσεις της εταιρείας με υποψήφιους πελάτες και μη. Τα δεδομένα πελατών μεταφορτώνονται και αποθηκεύονται σε ένα Data Center που επιτρέπει στις εταιρείες να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα των πελατών τους οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε. (3) Μεγάλα δεδομένα (Big data)⁶, τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση που απαιτεί αποθήκευση, επεξεργασία μεγάλου όγκου

⁶ Ο όρος Μεγάλα δεδομένα ή Μεγα-δεδομένα (Big data), χρησιμοποιείται για να περιγράψει σύνολα δεδομένων τόσο μεγάλα ή σύνθετα που ξεφεύγουν από τις δυνατότητες καταγραφής, αποθήκευσης και ανάλυσης των παραδοσιακών τεχνικών επεξεργασίας δεδομένων

δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα. (4) Εικονικοί επιτραπέζιοι υπολογιστές, υπηρεσίες επικοινωνίας και συνεργασίας.

2.1.1 SWITCHES

Ένας μεταγωγέας δικτύου (network switch) (ονομάζεται επίσης διανομέας μεταγωγής, διανομέας γεφύρωσης και, από το IEEE, γέφυρα MAC[76]) είναι υλικό δικτύωσης που συνδέει συσκευές σε ένα δίκτυο υπολογιστών χρησιμοποιώντας μεταγωγή πακέτων για λήψη και προώθηση δεδομένων στη συσκευή προορισμού.

Ένας μεταγωγέας δικτύου είναι μια γέφυρα δικτύου πολλαπλών θυρών που χρησιμοποιεί διευθύνσεις MAC για την προώθηση δεδομένων στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (επίπεδο 2) του μοντέλου OSI. Ορισμένοι μεταγωγείς μπορούν επίσης να προωθήσουν δεδομένα στο επίπεδο δικτύου (επίπεδο 3) ενσωματώνοντας επιπλέον λειτουργίες δρομολόγησης. Τέτοιοι μεταγωγείς είναι κοινώς γνωστοί ως μεταγωγείς στρώματος 3 ή μεταγωγείς πολλαπλών επιπέδων [75].

Οι μεταγωγείς για Ethernet είναι η πιο κοινή μορφή μεταγωγής δικτύου. Η πρώτη γέφυρα MAC [76] εφευρέθηκε το 1983 από τον Mark Kempf, μηχανικό στην ομάδα Networking Advanced Development της Digital Equipment Corporation. Το πρώτο προϊόν Bridge 2 θυρών (LANBridge 100) παρουσιάστηκε από αυτήν την εταιρεία λίγο αργότερα. Στη συνέχεια, η εταιρεία παρήγαγε μεταγωγείς πολλαπλών θυρών τόσο για Ethernet όσο και για FDDI όπως το GigaSwitch. Η Digital αποφάσισε να αδειοδοτήσει το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας MAC Bridge σε μια βάση χωρίς δικαιώματα, χωρίς διακρίσεις που επέτρεπε την τυποποίηση IEEE. Αυτό επέτρεψε σε ορισμένες άλλες εταιρείες να παράγουν μεταγωγείς πολλαπλών θυρών, συμπεριλαμβανομένης της Kalpana [77]. Το Ethernet ήταν αρχικά ένα μέσο κοινόχρηστης πρόσβασης, αλλά η εισαγωγή της γέφυρας MAC άρχισε να μετασχηματίζεται στην πιο κοινή του μορφή από σημείο σε σημείο χωρίς πεδίο σύγκρουσης. Υπάρχουν επίσης μεταγωγείς για άλλους τύπους δικτύων, όπως το Fiber Channel, τη λειτουργία Asynchronous Transfer Mode και το InfiniBand.

Σε αντίθεση με τους διανομείς επαναλήπτη, που εκπέμπουν τα ίδια δεδομένα από κάθε θύρα και αφήνουν τις συσκευές να διαλέξουν τα δεδομένα που τους απευθύνονται, ένας μεταγωγέας δικτύου μαθαίνει τις ταυτότητες των συνδεδεμένων

συσκευών και στη συνέχεια προωθεί μόνο δεδομένα στη θύρα που είναι συνδεδεμένη στη συσκευή στην οποία βρίσκεται απευθύνεται [77].

2.1.2 INTERCONNECTS

Στα ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC), οι διασυνδέσεις είναι δομές που συνδέουν δύο ή περισσότερα στοιχεία κυκλώματος μεταξύ τους ηλεκτρικά. Ο σχεδιασμός και η διάταξη των διασυνδέσεων σε ένα IC (Integrated Circuit) είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή λειτουργία, την απόδοση, την απόδοση ισχύος, την αξιοπιστία και την απόδοση κατασκευής του. Η διασύνδεση υλικού από την οποία γίνεται εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η χημική και μηχανική συμβατότητα με το υπόστρωμα ημιαγωγών και το διηλεκτρικό μεταξύ των επιπέδων διασύνδεσης είναι απαραίτητο, διαφορετικά χρειάζονται στρώματα φραγμού [78]. Απαιτείται επίσης καταλληλότητα για κατασκευή. Ορισμένες χημείες και διαδικασίες εμποδίζουν την ενσωμάτωση υλικών και διεργασιών μονάδων σε μια μεγαλύτερη τεχνολογία για την κατασκευή IC. Κατά την κατασκευή, οι διασυνδέσεις σχηματίζονται στη διάρκεια του back-end-of-line μετά την κατασκευή των τρανζίστορ στο υπόστρωμα [78].

Οι διασυνδέσεις ταξινομούνται ως τοπικές ή καθολικές, ανάλογα με την απόσταση μετάδοσης του σήματος που μπορεί να υποστηρίξει. Το πλάτος και το πάχος της διασύνδεσης, καθώς και το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται, είναι μερικοί από τους σημαντικούς παράγοντες που καθορίζουν την απόσταση που μπορεί να διαδοθεί ένα σήμα [79]. Οι τοπικές διασυνδέσεις συνδέουν στοιχεία κυκλώματος που είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, όπως τρανζίστορ που χωρίζονται από δέκα περίπου άλλα συνεχόμενα διατεταγμένα τρανζίστορ. Οι παγκόσμιες διασυνδέσεις μπορούν να μεταδίδουν περαιτέρω, όπως σε υποκυκλώματα μεγάλης περιοχής. Κατά συνέπεια, οι τοπικές διασυνδέσεις μπορούν να σχηματιστούν από υλικά με σχετικά υψηλή ηλεκτρική αντίσταση όπως το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (μερικές φορές πυριτιούχο για να επεκτείνει το εύρος του) ή το βολφράμιο. Για να επεκταθεί η απόσταση που μπορεί να φτάσει μια διασύνδεση, διάφορα κυκλώματα, όπως buffers ή αποκαταστάτες, μπορούν να εισαχθούν σε διάφορα σημεία κατά μήκος μιας μεγάλης διασύνδεσης [79].

2.1.3 400G ETHERNET

Το Terabit Ethernet ή TbE είναι Ethernet με ταχύτητες άνω των 100 Gigabit Ethernet. Παράλληλα εγκρίθηκαν πρότυπα 400 Gigabit Ethernet (400G, 400GbE) και 200 Gigabit Ethernet (200G, 200GbE) [80] που αναπτύχθηκαν από την Task Force IEEE P802.3bs χρησιμοποιώντας γενικά παρόμοια τεχνολογία με το 100 Gigabit Ethernet [80,81]. Το 2016, αρκετοί προμηθευτές εξοπλισμού δικτύωσης προσέφεραν ήδη αποκλειστικές λύσεις για 200G και 400G [81,82].

Ο οδικός χάρτης τεχνολογίας της Ethernet Alliance για το 2022 αναμένει ταχύτητες 800 Gbit/s και 1,6 Tbit/s να γίνουν πρότυπο IEEE μεταξύ 2023 και 2025 περίπου [81,82]. Ο διπλασιασμός στα 800 GbE αναμένεται να συμβεί αφού γίνουν διαθέσιμα τα SerDe 112 Gbit/s. Το Optical Internetworking Forum (OIF) έχει ήδη ανακοινώσει πέντε νέα έργα στα 112 Gbit/s, τα οποία θα καταστήσουν επίσης δυνατές συνδέσεις 100 GbE 4ης γενιάς (μονής λωρίδας) [81,82].

2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ DATA CENTER

Τα κέντρα δεδομένων μπορούν να ταξινομηθούν με τους ακόλουθους τρόπους: Ιδιοκτήτης και σκοπός παροχής υπηρεσιών, ενώ κατατάσσονται σύμφωνα με τον αριθμό των υλικών αποθήκευσης (storage) (ή τον αριθμό του εξοπλισμού πληροφορικής), καθώς και με τα πρότυπα αξιολόγησης του Uptime Institute⁷.

Δύο κύριοι τύποι ιδιοκτησίας κέντρων δεδομένων είναι η επιχείρηση και η συνεγκατάσταση. Τα κέντρα δεδομένων επιχειρήσεων κατασκευάζονται και ανήκουν σε μεγάλες εταιρείες τεχνολογίας (όπως η Amazon, το Facebook, η Google, η Microsoft, η Yahoo, καθώς και κυβερνητικές υπηρεσίες, χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, ασφαλιστικές εταιρείες, λιανοπωλητές και διάφορες εταιρείες σε όλους τους κλάδους). Τα κέντρα δεδομένων επιχειρήσεων υποστηρίζουν υπηρεσίες που σχετίζονται με τον ιστό για τους οργανισμούς, τους συνεργάτες και τους πελάτες τους. Τα κέντρα δεδομένων συντοπισμού συνήθως κατασκευάζονται, ανήκουν και διαχειρίζονται παρόχους υπηρεσιών κέντρων

⁷ Το Uptime Institute είναι ένας πρότυπος φορέας για την απόδοση της ψηφιακής υποδομής.

δεδομένων κατά σειρά, όπως Coresite, CyrusOne, Digital Realty Trust, DuPont Fabros και QTS. Αυτοί οι πάροχοι υπηρεσιών κέντρων δεδομένων δεν χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες οι ίδιοι, αλλά εκμισθώνουν τον χώρο σε έναν ή περισσότερους ενοικιαστές [31].

Το Ινστιτούτο Κέντρου Δεδομένων⁸ ταξινομεί τα κέντρα δεδομένων σε έξι ομάδες μεγέθους (Πίνακας 3), μετρώντας με βάση το διάστημα ή τον αριθμό των racks [31, 32]. Το Uptime Institute δημιούργησε ένα τυπικό Σύστημα Ταξινόμησης Επιπέδων (

Πίνακας 4) που έχει τέσσερα επίπεδα για να αξιολογεί με συνέπεια την απόδοση της υποδομής ή το χρόνο λειτουργίας των κέντρων δεδομένων [33].

Πίνακας 3: Ταξινομήσεις μεγέθους κέντρου δεδομένων κατά αριθμό rack και χώρο θέσης

Size	Number of racks	Computer space (m2)
Mini - data center	1-10	2.6-26
Small - data center	11-200	28.6-520
Medium - data center	201-800	522.6-2080
Large - data center	801-3,000	2082.6-7800
Massive- data center	3,001-9,000	7802.6-23400
Mega - data center	More than 9,000	More than 23,400

Πίνακας 4: Βαθμίδες ταξινόμησης υποδομής κέντρων δεδομένων

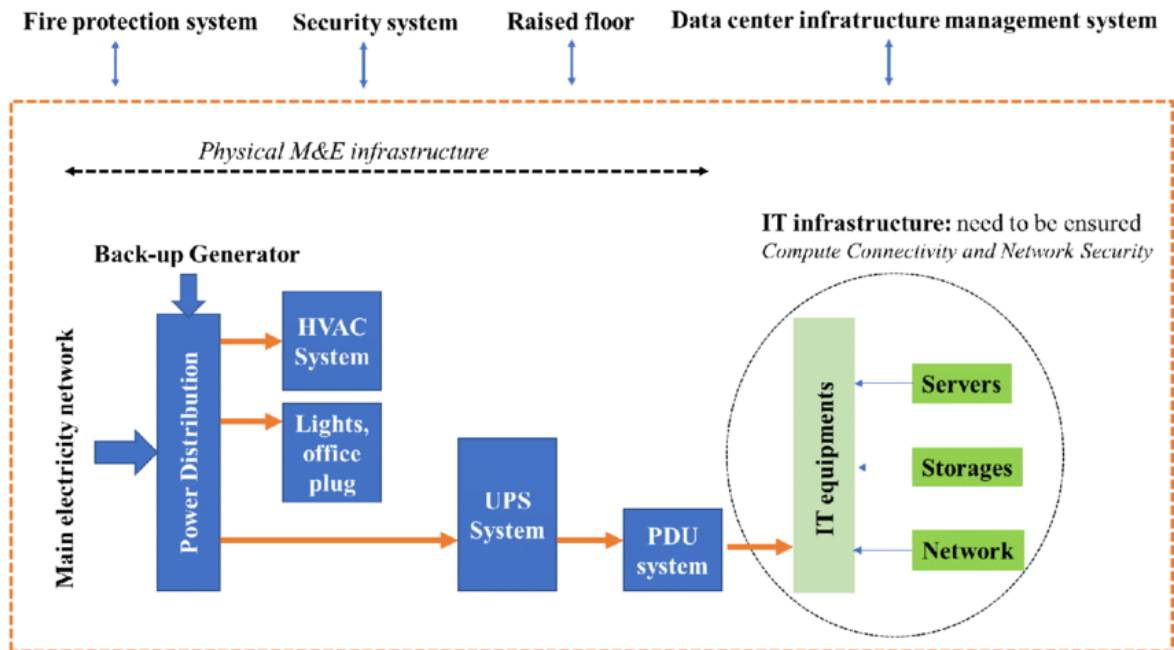
Βαθμίδες	Περιγραφή	Χρόνος λειτουργίας	Χρόνος διακοπής ανά έτος
Βαθμίδα 1 – Βασική χωρητικότητα	Τα κέντρα δεδομένων παρέχουν αποκλειστική υποδομή τοποθεσίας για την υποστήριξη IT πέρα από ένα περιβάλλον γραφείου, συμπεριλαμβανομένου ενός ειδικού χώρου για συστήματα πληροφορικής, με αδιάλειπτη παροχή ρεύματος, αποκλειστικού εξοπλισμού ψύξης που δεν κλείνει στο τέλος του κανονικού ωραρίου γραφείου και μιας γεννήτριας κινητήρα για την προστασία του IT που λειτουργεί σε περίπτωση διακοπών ρεύματος.	99,671%	28,8 Ωρες

⁸ Η πηγή για την πιστοποίηση βιομηχανικής βαθμίδας στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία κέντρων δεδομένων.

<p>Βαθμίδα 2 – Εξαρτήματα πλεονάζουσας χωρητικότητας</p>	<p>Τα κέντρα δεδομένων περιλαμβάνουν πλεονάζοντα κρίσιμα εξαρτήματα ισχύος και ψύξης για την παροχή επιλεγμένων ευκαιριών συντήρησης, και αυξημένο περιθώριο ασφάλειας έναντι διαταραχών της διαδικασίας πληροφορικής που θα προέκυπταν από αστοχίες εξοπλισμού υποδομής του χώρου. Τα περιττά εξαρτήματα περιλαμβάνουν εξοπλισμό τροφοδοσίας και ψύξης.</p>	<p>99,749%</p>	<p>22 Ωρες</p>
<p>Βαθμίδα 3 – Συντήρηση ταυτόχρονη</p>	<p>Τα κέντρα δεδομένων δεν έχουν τερματισμό λειτουργίας για αντικατάσταση και συντήρηση εξοπλισμού. Μια περιττή διαδρομή παράδοσης για τροφοδοσία και ψύξη προστίθεται στα πλεονάζοντα κρίσιμα στοιχεία της βαθμίδας 2, έτσι ώστε κάθε στοιχείο που απαιτείται για την υποστήριξη του περιβάλλοντος επεξεργασίας IT να μπορεί να τερματιστεί και να διατηρηθεί χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία IT.</p>	<p>99,982%</p>	<p>1,6 Ωρες</p>
<p>Βαθμίδα 4 – Ανοχή σε σφάλματα</p>	<p>Η υποδομή τοποθεσίας βασίζεται στη βαθμίδα 3, προσθέτοντας την έννοια της ανοχής σφαλμάτων στην τοπολογία υποδομής τοποθεσίας. Η ανοχή σφαλμάτων σημαίνει ότι όταν συμβαίνουν μεμονωμένες αστοχίες εξοπλισμού ή διακοπές διαδρομής διανομής, τα αποτελέσματα των γεγονότων σταματούν λιγότερο από τις λειτουργίες IT.</p>	<p>99,995%</p>	<p>26,3 λεπτά</p>

2.3 ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ DATA CENTER

Τα εξαρτήματα υλικού μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: υποδομή τεχνολογίας πληροφοριών (διακομιστής, συστήματα καλωδίωσης) και φυσική υποδομή (μηχανικός και ηλεκτρικός εξοπλισμός) (Εικόνα 4) [34]. Τα μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα (M&E) αποτελούν περισσότερο από το 60% του συνολικού κόστους ανάπτυξης, ενός νέου κέντρου δεδομένων και επομένως αποτελεί σημαντικό στοιχείο κόστους. Τα συστήματα M&E περιλαμβάνουν ηλεκτρικούς υποσταθμούς, ψυκτικά συγκροτήματα, εφεδρικές γεννήτριες, τροφοδοτικά αδιάλειπτης ισχύος (UPS) και μονάδες κλιματισμού δωματίου υπολογιστών (CRAC-Computer Room Air Conditioning). Ο Πίνακας 5 δείχνει τη λίστα των κύριων εξαρτημάτων μέσα σε ένα DC.



Εικόνα 4: Κρίσιμη υποδομή ενός κέντρου δεδομένων

Πίνακας 5: Στοιχεία Data center

Είδη	Συστατικά	Περιγραφή
	Hardware	
IT εγκαταστάσεις πληροφορικής	Racks διακομιστή	Για στέγαση συσκευών διακομιστή
	Racks δικτύου	Για συσκευή δικτύου
	Racks αποθήκευσης	Για αποθήκευση δεδομένων
	Συστήματα καλωδίωσης	Για επικοινωνία εντός DC
Ενεργειακές εγκαταστάσεις	Ηλεκτρικό δίκτυο	Για την παροχή ρεύματος
	Γεννήτρια (GEN)	Για να εγγυηθεί μια αξιόπιστη παροχή ρεύματος
	Αδιάλειπτη τροφοδοσία (UPS) και αποθήκευση μπαταρίας	Για να εγγυηθεί μια αξιόπιστη παροχή ρεύματος
	Κύρια μονάδα διανομής και διανομής ισχύος (PDU), rack και επίπεδα διακομιστή	Για την παροχή ρεύματος σε rack, εξοπλισμό...
Μηχανολογικές εγκαταστάσεις	Θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός - HVAC	Να παρέχει τη συνολική ικανότητα ψύξης και τον καταναμημένο αέρα στον εξοπλισμό πληροφορικής

	Σύστημα ψύκτη	Εξωτερική ανταλλαγή θερμότητας ή μεταφορά
Άλλες εγκαταστάσεις	Υπερυψωμένο δάπεδο	Για καλωδίωση
	Πυροπροστασία	Διεθνές πρότυπο για το κέντρο δεδομένων (NFPA 75 και NFPA 76)
	Σύστημα ασφαλείας	Κάμερα παρακολούθησης

2.4 ΤΑ RACKS IT

Τα εξαρτήματα ενός τυπικού ικριώματος (rack) φαίνονται στην Εικόνα 5 και στην Εικόνα 6 :



Εικόνα 5: Rack διανομής (NetRack)



Εικόνα 6: Εσωτερικό rack διανομής (NetRack)

Ένα ικρίωμα (rack) κέντρου δεδομένων (DC) είναι ένας τύπος φυσικού χάλυβα και ηλεκτρονικών περιβλημάτων που έχουν σχεδιαστεί για να φιλοξενούν διακομιστές, συσκευές δικτύωσης, καλώδια και άλλο εξοπλισμό υπολογιστικών κέντρων δεδομένων. Αυτή η φυσική δομή παρέχει τοποθέτηση και ενορχήστρωση εξοπλισμού μέσα σε μια εγκατάσταση κέντρου δεδομένων. Κάθε rack είναι γενικά προκατασκευασμένο με υποδοχές για τη σύνδεση ηλεκτρικών καλωδίων, καλωδίων δικτύωσης και διαδικτύου. Τα racks κέντρων δεδομένων δημιουργούνται χρησιμοποιώντας συστηματικό σχεδιασμό και ταξινομούνται με βάση τη χωρητικότητά τους, καθώς και την ποσότητα του εξοπλισμού πληροφορικής που μπορούν να χωρέσουν. Μπορούν να οριστούν ως δύο τύποι χώρου ισχύος για ένα rack στο Data Center [35, 36]. Το τυπικό πλάτος του περισσότερου εξοπλισμού πληροφορικής και του τυπικού πλαισίου ή περιβλήματος για την τοποθέτηση πολλαπλών δομοστοιχείων εξοπλισμού είναι 19 ίντσες πλάτος, συμπεριλαμβανομένων των άκρων ή των αυτιών που προεξέχουν σε κάθε πλευρά, και που επιτρέπουν τη στερέωση της μονάδας στο πλαίσιο του rack με βίδες [37]. Το πρότυπο rack 19 ιντσών καθιερώθηκε από την Electronic Industry Alliance (EIA)⁹. Τα συγκεκριμένα πρότυπα είναι το πρότυπο EIA-310-D, ντουλάπι, rack, πάνελ και σχετικός εξοπλισμός, και το αντίστοιχο πρότυπο IEC 60297-3-100, με

⁹ Τα πρότυπα της Electronic Industries Alliance (EIA) χρησιμοποιούνται για την άμεση σήμανση εξαρτημάτων, τη μοντελοποίηση δεδομένων, τη χρωματική κωδικοποίηση και τα υλικά συσκευασίας.

24/7 χωρίς σχεδόν κανένα χρόνο διακοπής. Συνήθως, οι διακομιστές του κέντρου δεδομένων χωρίζονται σε δύο κύριους τύπους: (1) rack σχάρα/rack διακομιστή, και (2) διακομιστές blade.

Ένας διακομιστής τοποθετημένος σε rack ή ένας τυπικός διακομιστής rack ή απλά ένας διακομιστής rack είναι το τυπικό πλαίσιο διακομιστή που μπορεί να χωρέσει σε ένα τυποποιημένο rack πλάτους 19 ιντσών. Το ύψος ενός διακομιστή rack μπορεί να ποικίλλει από 1 μονάδα rack (RU), έως 2 RU, 4 RU ή ακόμα και 8 RU (ένα RU 5 1,75 ίντσες 5 44,45 mm) (Εικόνα 8). Γενικά, οι διακομιστές υψηλής τεχνολογίας είναι ισχυροί και δαπανηροί [40] και τοποθετούνται παράλληλα με το έδαφος.



Εικόνα 8: Διακομιστές racks και το μέγεθός τους [20]

Οι διακομιστές Blade από την άλλη έχουν την προσέγγιση διάταξης κάθετης τοποθέτησης στην πλειονότητα σε σύγκριση με διακομιστές rack (Εικόνα 9). Είναι πιο συμπαγείς και έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα, επομένως πιο κατάλληλοι και πολύ πιο αποτελεσματικοί για κέντρα δεδομένων μεγάλης κλίμακας ή τύπου αποθήκης [40]. Από την άλλη πλευρά, λόγω της υψηλής φυσικής πυκνότητας των εσωτερικών στοιχείων και του ανεπαρκούς χώρου για τη ροή του αέρα, η ψύξη είναι δύσκολη και πιο ακριβή στους διακομιστές blade σε σύγκριση με τους διακομιστές rack [41].



Εικόνα 9: Διακομιστές Blade και η κατανάλωση ενέργειάς τους [20]

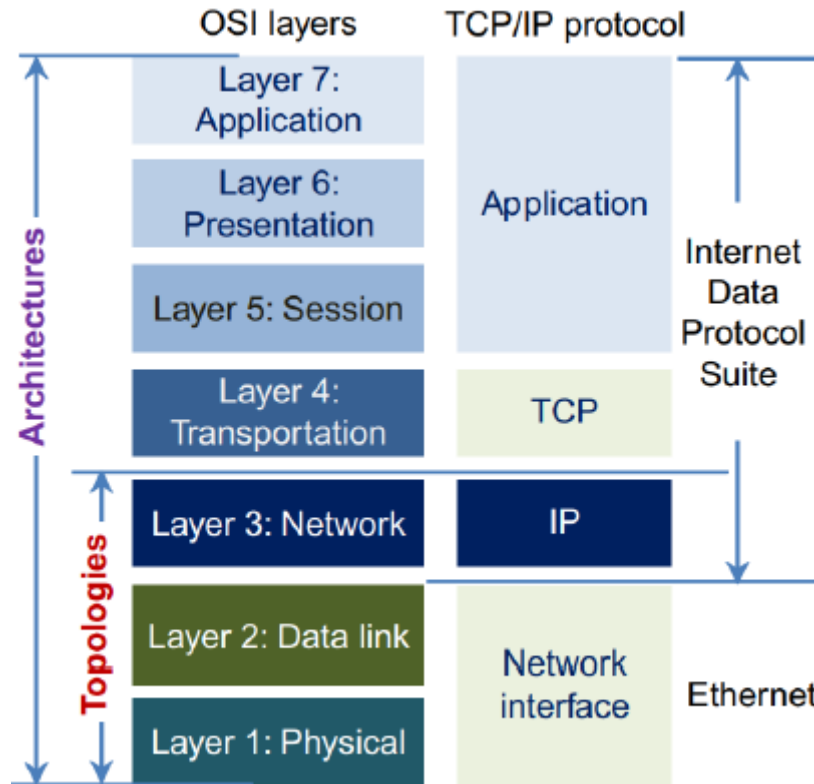
β) Σύστημα αποθήκευσης

Με τον ατελείωτο και συνεχώς αυξανόμενο όγκο δεδομένων, η ζήτηση για αποθήκευση αυξάνεται κατά 50-70% ετησίως. Τα στατιστικά στοιχεία μεταφόρτωσης βίντεο στο YouTube δείχνουν ότι 100 ώρες βίντεο ανεβαίνουν στον ιστότοπο κάθε λεπτό (Youtube, n.d.). Ομοίως, τα δεδομένα του Facebook δείχνουν ότι το σύστημά του επεξεργάζεται 2,5 δισεκατομμύρια κομμάτια περιεχομένου (πάνω από 500 terabytes δεδομένων) σε καθημερινή βάση [21]. Επί του παρόντος, οι μονάδες σκληρού δίσκου (HDD-hard disk drive) και οι μονάδες στερεάς κατάστασης (SSD- solid-state drive) είναι δύο εξέχοντα στοιχεία υλικού αποθήκευσης μέσα σε ένα DC, με το HDD να είναι η πιο δημοφιλής και οικονομικά αποδοτική λύση. Όσον αφορά τα συστήματα αποθήκευσης επιχειρηματικών δεδομένων, οι κύριες επιλογές είναι η άμεση σύνδεση αποθήκευσης (DAS-Direct-attached storage), η συνδεδεμένη με το δίκτυο αποθήκευση (NAS-Network Attached Storage) και τα δίκτυα περιοχής αποθήκευσης (SAN- Storage Area Network).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ακολουθώντας το μοντέλο στοίβας πρωτοκόλλου OSI ή TCP/IP, είναι πολύ εύκολο να γίνει κατανοητή η λειτουργία κάθε τύπου συσκευής υλικού δικτύου σε μια τοπολογία DC (Εικόνα 10). Τα δεδομένα κανονικά δημιουργούνται, κωδικοποιούνται και συμπιέζονται στα επίπεδα 6 και 7, ο έλεγχος ταυτότητας και η εξουσιοδότηση πρόσβασης σε διακομιστή εκτελούνται στο επίπεδο 5, στο επίπεδο 4 τα δεδομένα προορίζονται για τμηματοποίηση, όπου διαιρούνται τα δεδομένα σε τμήματα και στη συνέχεια στέλνονται αυτά τα τμήματα σε πολλά δίκτυα στο επίπεδο 3 σε μορφή πακέτων. Όταν τα πακέτα φτάνουν στο δίκτυο προορισμού, τα πακέτα μεταδίδονται μεταξύ συσκευών μέσα σε ένα LAN στο επίπεδο 2 αφού διαμορφωθούν σε πλαίσια και στη συνέχεια περνούν κατά μήκος του καλωδίου ως BIT (Πίνακας 6, Εικόνα 10 και Εικόνα 11).

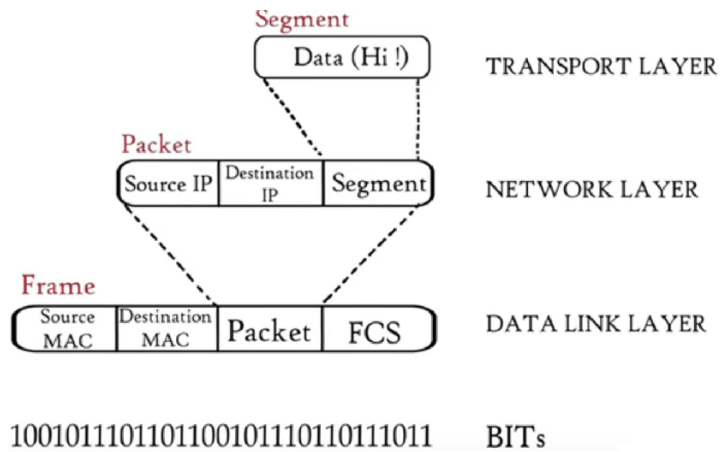


Εικόνα 10: Σύγκριση μοντέλου OSI με μοντέλο TCP/IP

Πίνακας 6: Μοντέλο OSI που απεικονίζει τα επτά επίπεδα του με παραδείγματα αντικειμένων σε κάθε επίπεδο, καθώς και τις μονάδες δεδομένων και τη λειτουργία τους [42]

Στρώμα	Μονάδα Δεδομένων	Λειτουργία	Παράδειγμα
7. Εφαρμογή	Δεδομένα	API υψηλού επιπέδου, συμπεριλαμβανομένων των πόρων κοινή χρήση, απομακρυσμένη πρόσβαση αρχείων, κατάλογος υπηρεσίες και εικονικά τερματικά.	HTTP, FTP, SMTP
6. Παρουσίαση		Μετάφραση δεδομένων μεταξύ υπηρεσίας δικτύωσης και μιας εφαρμογής· συμπεριλαμβανομένης της κωδικοποίησης χαρακτήρων, δεδομένων συμπίεση και κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση.	ASCII, EBCDIC, JPEG
5. Συνεδρία		Διαχείριση συνεδριών επικοινωνίας, δηλαδή συνεχής ανταλλαγή πληροφοριών σε τη μορφή πολλαπλών μπρος-πίσω μεταδόσεις μεταξύ δύο κόμβων.	RPC, PAP
4. Μεταφορές	Τμήματα	Αξιόπιστη μετάδοση τμημάτων δεδομένων	TCP, UDP

		μεταξύ σημείων σε ένα δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων τμηματοποίηση, αναγνώριση και πολυπλεξία.	
3. Δίκτυο	Πακέτο/ Datagram	Δόμηση και διαχείριση ενός πολυκόμβου δίκτυο, συμπεριλαμβανομένης της διεύθυνσης, της δρομολόγησης και τον έλεγχο της κυκλοφορίας.	IPv4, IPv6, IPsec, AppleTalk
2. Σύνδεσμος δεδομένων	Bit/Πλαίσιο	Αξιόπιστη μετάδοση πλαισίων δεδομένων μεταξύ δύο κόμβων που συνδέονται με μια φυσική στρώση.	IEEE 802.3/802.2
1. Φυσική	Bit	Μετάδοση και λήψη ακατέργαστου bit ροές σε φυσικό μέσο.	Ίνα, Χάλκινα συνεστραμμένα ζεύγη

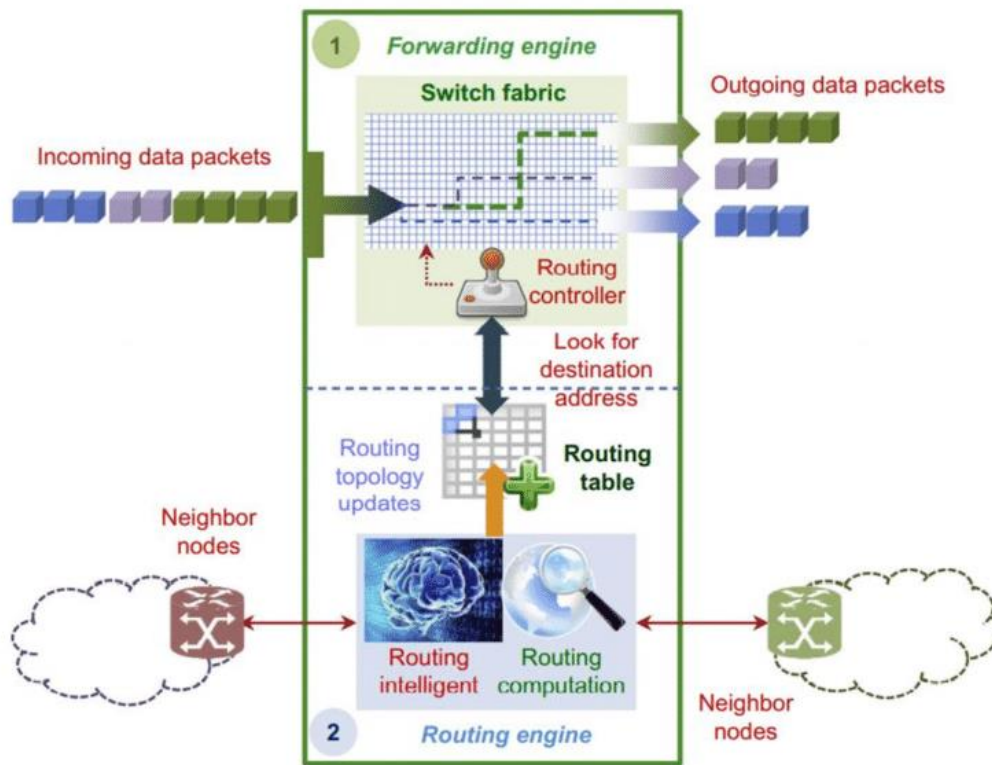


Εικόνα 11: Μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου στο επίπεδο 4 έως το επίπεδο 1

α) Δρομολογητής

Ένας δρομολογητής είναι η πρώτη γραμμή σε ένα δίκτυο και για την επίλυση των προβλημάτων επικοινωνίας του επιπέδου 3, απαιτείται δρομολογητής δικτύου. Ο δρομολογητής ενώνει διαφορετικούς τύπους δικτύων (LAN/WAN). Ο τρόπος με τον οποίο ένας δρομολογητής κατευθύνει την κυκλοφορία δικτύου βασίζεται σε IP πακέτα (λογικές διευθύνσεις) και όχι σε MAC (φυσικές διευθύνσεις). Διαβάζει όλες τις λογικές διευθύνσεις των εισερχόμενων πακέτων δεδομένων και στη συνέχεια βασίζεται στον δικό του πίνακα δρομολόγησης για να προωθήσει αυτά τα εισερχόμενα πακέτα δεδομένων στους προορισμούς τους. Οι δρομολογητές είναι σαν μικροί υπολογιστές που έχουν σχεδιαστεί και διαμορφωθεί ειδικά για σκοπούς δρομολόγησης. Ένας τυπικός δρομολογητής έχει CPU, RAM, διεπαφές I/O και λειτουργικό σύστημα (OS). Για παράδειγμα, οι δρομολογητές Cisco έχουν ένα

λειτουργικό σύστημα που ονομάζεται Internetwork Operating System (IOS) [40, 43]. Αυτό το υλικό και το λογισμικό είναι τα δύο βασικά στοιχεία ενός δρομολογητή: η μηχανή προώθησης και η μηχανή δρομολόγησης (Εικόνα 12).



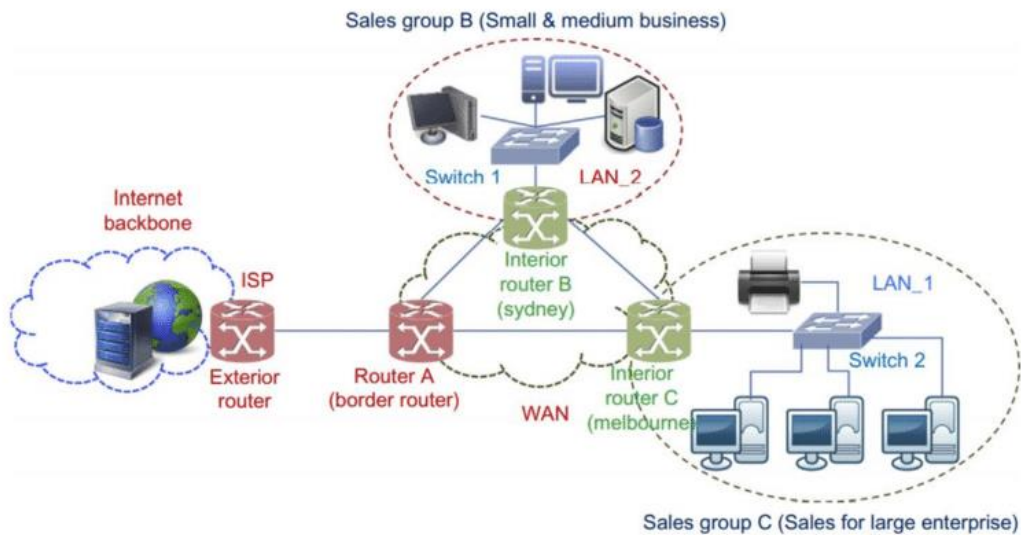
Εικόνα 12: Τυπική αρχιτεκτονική δρομολογητή δικτύου

Οι εργασίες της μηχανής προώθησης και της μηχανής δρομολόγησης σύμφωνα με τους Wu & Buyya [40] είναι: Διασύνδεση με διαφορετικούς τύπους δικτύου, όπως ενσύρματο και ασύρματο, και αποδοχή εισερχόμενων πακέτων δεδομένων από διαφορετικές πηγές δικτύου (μηχανή προώθησης).

- Εξετάστε την IP προορισμού (μηχανή δρομολόγησης).
- Βρείτε την καλύτερη δυνατή διαδρομή προς τον προορισμό του πακέτου (μηχανή δρομολόγησης).
- Προωθήστε τη ροή δεδομένων ή το πακέτο στον κόμβο προορισμού (μηχανή προώθησης).
- Εάν η κύρια διαδρομή είναι αποκλεισμένη ή μειωμένη, βρείτε μια εναλλακτική διαδρομή εάν είναι διαθέσιμη και επαναμεταδώστε πακέτα

δεδομένων στον κόμβο προορισμού (τόσο οι μηχανές δρομολόγησης όσο και οι μηχανές προώθησης).

Οι δρομολογητές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις τύπους (Εικόνα 13): εσωτερικό, εξωτερικό και συνόρων (ή πύλη). Ένας εσωτερικός δρομολογητής συνδέει πολλά αυτόνομα LAN σε όλη την τοποθεσία, παρά τη γεωγραφία. Ο εξωτερικός δρομολογητής συνδέεται στο διαδίκτυο ως ραχοκοκαλιά. Ο δρομολογητής συνόρων ή πύλης είναι η συσκευή δικτύου που συνδέει εσωτερικούς και εξωτερικούς δρομολογητές. Οι δρομολογητές εσωτερικού ή συνόρων (πύλης) είναι αυτοί που πρέπει να βρίσκονται σε ένα κέντρο δεδομένων.

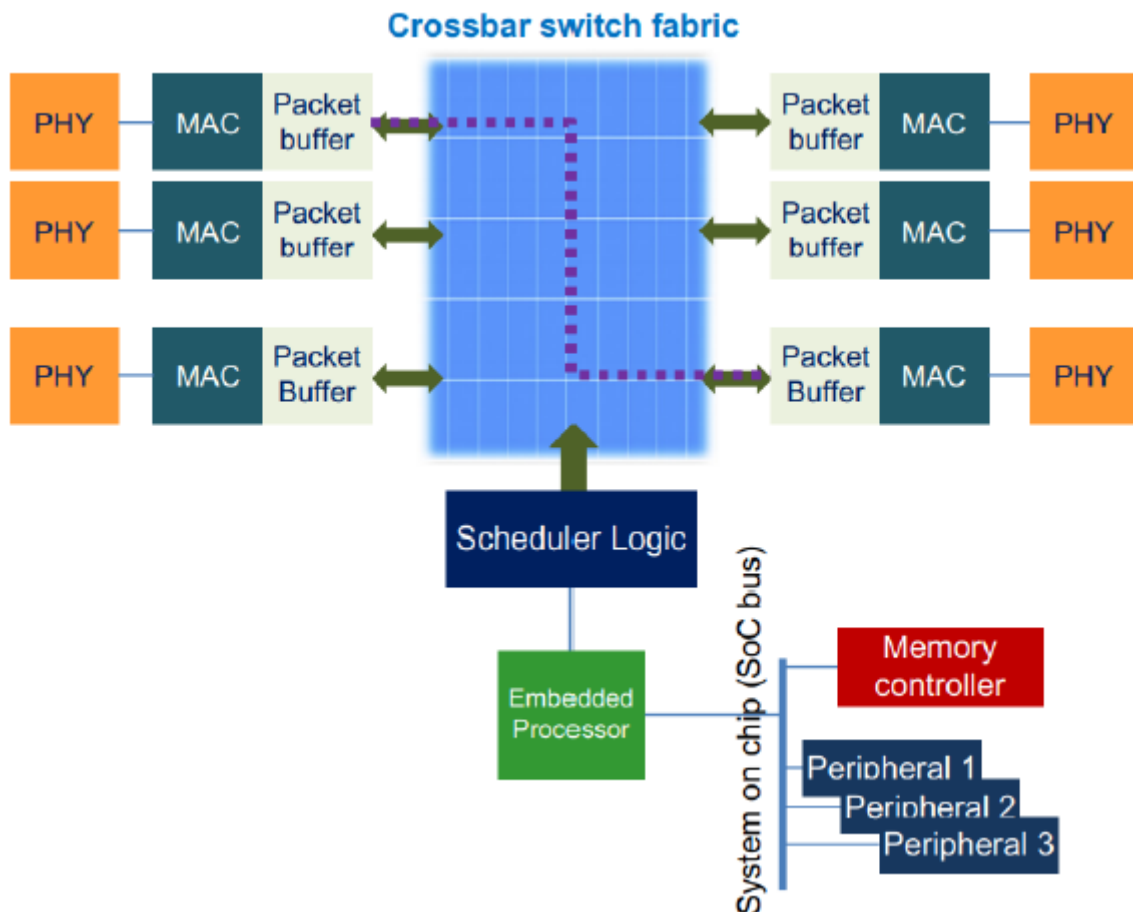


Εικόνα 13: Τύποι δρομολογητών με βάση το μέγεθος δικτύου

β) Μεταγωγέας

Εάν ο δρομολογητής είναι αυτός που συνδέει LAN/WAN στο επίπεδο 3, τότε ο μεταγωγέας είναι ένα στοιχείο που επιτρέπει την επικοινωνία του επιπέδου 2 και σχηματίζει LAN/WAN. Ο μεταγωγέας ενώνει όλες τις συσκευές υπολογιστή μαζί για να μοιράζεται πληροφορίες και πόρους. Σε ένα δίκτυο πλήρους μεταγωγής, η μεταγωγή επιτρέπει στο δίκτυο να διατηρεί Ethernet full-duplex. Πριν από αυτό, τα δεδομένα μπορούσαν να μεταδοθούν μόνο προς μία κατεύθυνση κάθε φορά ή ημι-αμφίδρομα. Με ένα δίκτυο πλήρως μεταγωγής, κάθε κόμβος επικοινωνεί μόνο με το μεταγωγέα, και όχι απευθείας με άλλους κόμβους. Οι πληροφορίες μπορούν να ταξιδεύουν από συσκευές σε μεταγωγέα και από μεταγωγέα σε συσκευές ταυτόχρονα, υπό την προϋπόθεση ότι οι μεταγωγείς μπορούν να επιτρέπουν την

αποστολή και λήψη δεδομένων ταυτόχρονα [44, 40]. Ο μεταγωγέας διαχειρίζεται τη μεταφορά δεδομένων αντιμετωπίζοντας MAC ή φυσική διεύθυνση μέσα στο NIC (Κάρτα Διασύνδεσης Δικτύου) της συσκευής στην οποία συνδέθηκε (Εικόνα 14). Όταν μια συσκευή είναι συνδεδεμένη στο μεταγωγέα, ο μεταγωγέας θυμάται τη διεύθυνση MAC αυτής της συσκευής και ποια θύρα χρησιμοποίησε η συσκευή για τη σύνδεση και θα την τοποθετήσει στον πίνακα MAC. Η διαδρομή δεδομένων στο πλαίσιο μέσω του μεταγωγέα περιέχει τη διεύθυνση MAC τόσο της πηγής, όσο και του προορισμού. Ο μεταγωγέας συγκρίνει τη διεύθυνση MAC του προορισμού με τον πίνακα MAC και στη συνέχεια προωθεί το πλαίσιο στη θύρα που ταιριάζει.



Εικόνα 14: Τυπικό λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα μεταγωγέα

γ) Τείχος προστασίας και εξισορρόπηση φορτίου

Το τείχος προστασίας είναι μια συσκευή ασφαλείας δικτύου που παρακολουθεί την εισερχόμενη και εξερχόμενη κίνηση του δικτύου και αποφασίζει εάν θα επιτρέψει ή θα αποκλείσει συγκεκριμένη κίνηση με βάση ένα καθορισμένο σύνολο

κανόνων ασφαλείας. Λειτουργεί σαν ένα φράγμα μεταξύ του LAN και της εισερχόμενης κίνησης από εξωτερικές πηγές (όπως το διαδίκτυο) προκειμένου να αποκλείσει την κακόβουλη κυκλοφορία, από ιούς και χάκερς. Ένα τείχος προστασίας μπορεί να είναι είτε υλικό, λογισμικό ή και τα δύο [45,46]. Η φυσική τοποθέτηση συσκευών τείχους προστασίας στην υποδομή δικτύου του κέντρου δεδομένων είναι μία από τις πιο σημαντικές αποφάσεις που πρέπει να λάβουν οι αρχιτέκτονες δικτύου και ασφάλειας. Υπάρχουν κυρίως δύο επιλογές για την τοποθέτηση τείχους προστασίας [47]:

- Φυσικά ενσωματωμένα (στη διαδρομή κίνησης μεταξύ του πυρήνα και του διακομιστή).
- Λογικά σε ευθυγράμμιση με τον ένα βραχίονα του τείχους προστασίας φυσικά συνδεδεμένο με τον πυρήνα του δικτύου

Οι εξισορροπητές φορτίου διαχειρίζονται τη ροή δικτύου μεταξύ των διακομιστών και των συσκευών τελικού σημείου. Κατανέμουν την κυκλοφορία δικτύου σε πολλούς διακομιστές και διασφαλίζουν ότι κανένας διακομιστής δεν χειρίζεται πάρα πολλά αιτήματα. Με την ομοιόμορφη κατανομή της εργασίας, η ανταπόκριση της εφαρμογής είναι βελτιωμένη. Το πρόγραμμα εξισορρόπησης φορτίου βοηθά τους διακομιστές να μεταφέρουν δεδομένα αποτελεσματικά, βελτιστοποιεί τους πόρους παράδοσης εφαρμογών και αποτρέπει την υπερφόρτωση διακομιστή. Εάν ένας διακομιστής είναι εκτός λειτουργίας, το πρόγραμμα εξισορρόπησης φορτίου ανακατευθύνει την κυκλοφορία στους υπόλοιπους διαθέσιμους διακομιστές. Όταν εμφανίζεται ένας νέος διακομιστής στην ομάδα διακομιστών, το πρόγραμμα εξισορρόπησης φορτίου θα αρχίσει να στέλνει αυτόματα αιτήματα σε αυτόν [48, 49]. Όπως το τείχος προστασίας, οι εξισορροπητές φορτίου συνήθως αναπτύσσονται είτε σε ενσωματωμένο, είτε σε ένα βραχίονα.

δ) Καλώδιο και ανύψωση δαπέδου

Τα καλώδια δικτύου χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση και τη μεταφορά δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ υπολογιστών, δρομολογητών, μεταγωγέων και δικτύων περιοχών αποθήκευσης. Αυτά τα καλώδια είναι ουσιαστικά ο φορέας ή το μέσο μέσω του οποίου ρέουν τα δεδομένα. Ο χαλκός και οι οπτικές ίνες είναι δύο κοινές λύσεις για το καλώδιο στο κέντρο δεδομένων. Ενώ το καλώδιο οπτικών ινών είναι καλύτερο από το καλώδιο χαλκού από πολλές απόψεις, λόγω του υψηλού

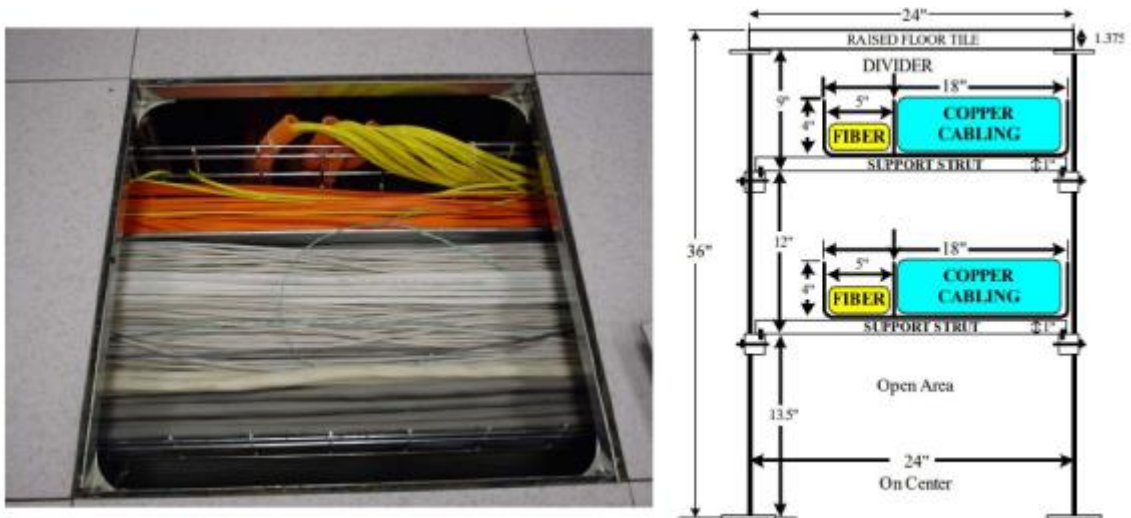
αρχικού και λειτουργικού κόστους, τα περισσότερα κέντρα δεδομένων χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό καλωδίου χαλκού και οπτικών ινών (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Επισκόπηση των τύπων καλωδίωσης του κέντρου δεδομένων [50]

Επικοινωνία Τυπική	Εφαρμογή	Τύπος καλωδίου	Τύπος σύνδεσης
10/100Mbps	(100Base-TX) Ethernet	Cat 5e, Cat 6, Cat 6a, Cat7, Cat 7a	RJ45
1000Mbps (Gigabit or 1000Base-T)	Gigabit Ethernet	Cat 5e, Cat 6, Cat 6a, Cat7, Cat 7a	RJ45
10Gbps (10GBase- T)	10Gig Ethernet	Cat 6, Cat 6a, Cat7, Cat 7a	RJ45, GG45, TERA
40 or 100Gbps	40 or 100Gig Ethernet	Cat 7a	GG45, TERA
Fiber Channel	High Speed Ethernet	Twinaxial or Fiber	Infiniband, QSFP, SFP+, 10G - CX4, LC, SC, ST
Fiber Optic	High-Speed Ethernet	Multimode (High- bandwidth, Short Distance) Single Mode (High- speed, Long Distance)	LC, SC, ST, FDDI, MTP, MTRJ, FC, etc.

Το υπερυψωμένο δάπεδο εξασφαλίζει υποστήριξη υψηλού φορτίου, εύκολη πρόσβαση, συντήρηση του εξοπλισμού δαπέδου, καθαρισμό και ασφάλεια. Ευέλικτη μονάδα για σύστημα διανομής κρύου αέρα για ψύξη εξοπλισμού πληροφορικής, σε ίχνη, αγωγούς ή στηρίγματα για καλωδίωση δεδομένων, θέση για καλωδίωση ρεύματος, πλέγμα χάλκινης γείωσης για γείωση εξοπλισμού, θέση για ροή κρύου νερού ή άλλες σωληνώσεις κοινής ωφέλειας. Σύμφωνα με το Rasmussen [51], το υπερυψωμένο δάπεδο αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε ως σύστημα που προορίζεται να παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες (Εικόνα 15):

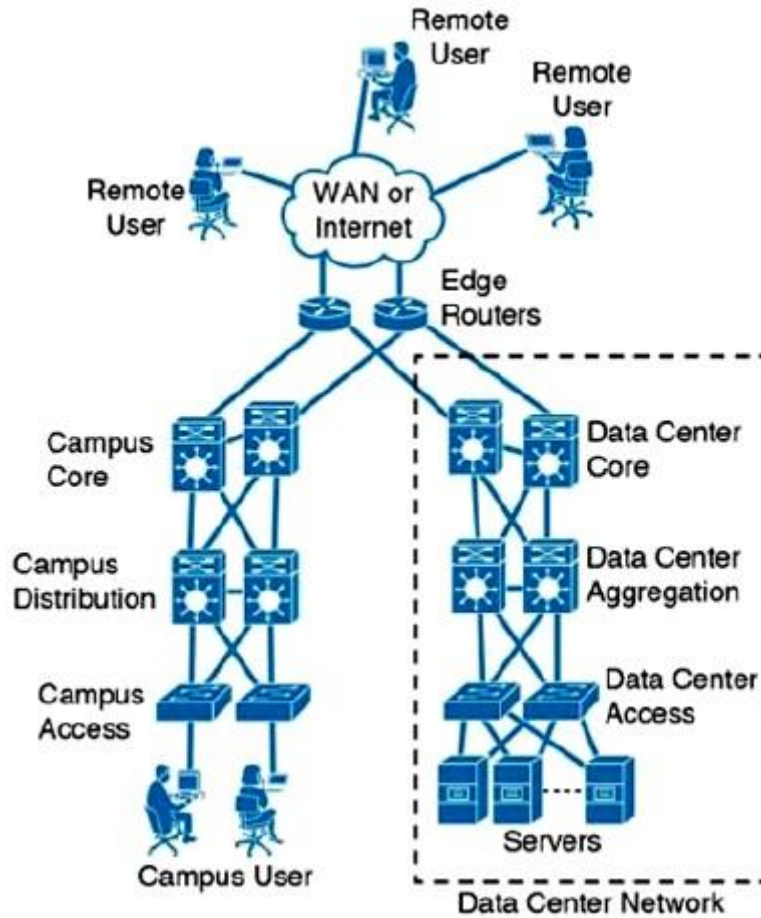
- Σύστημα διανομής ψυχρού αέρα για ψύξη εξοπλισμού πληροφορικής.
- Ίχνη, αγωγοί ή υποστηρίγματα για καλωδίωση δεδομένων.
- Θέση για καλωδίωση ισχύος.
- Ένα χάλκινο πλέγμα γείωσης για τη γείωση του εξοπλισμού.
- Μια θέση για τη ροή κρύου νερού ή άλλες σωληνώσεις κοινής ωφέλειας.



Εικόνα 15: Υπερυψωμένο πάτωμα στο κέντρο δεδομένων [51]

3.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Με βάση το μοντέλο OSI ή TCP/IP, το δίκτυο κέντρων δεδομένων (DCN) είναι ένα δίκτυο επιπέδου 2 και επιπέδου 3, καθώς λειτουργεί μεταξύ αυτών των δύο επιπέδων (Εικόνα 16). Η τοπολογία DCN σχεδιάζεται για να συνδέει αποτελεσματικά όλα τα στοιχεία δικτύου μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων (μεταγωγείς, δρομολογητές, εξισορροπητές φορτίου, τείχη προστασίας, στοιχείο αποθήκευσης). Ο αντίκτυπος της τοπολογίας δικτύου μέσα σε ένα DC μπορεί να φανεί στην απόδοση της κίνησης δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει τη δρομολόγηση πακέτων δεδομένων, την αξιοπιστία DCN, την επεκτασιμότητα, την απόδοση, την καθυστέρηση και την ευελιξία (Πίνακας 8) [40].



Εικόνα 16: Κέντρο δεδομένων σε ένα δίκτυο

Πίνακας 8: Μετρήσεις απόδοσης DCN

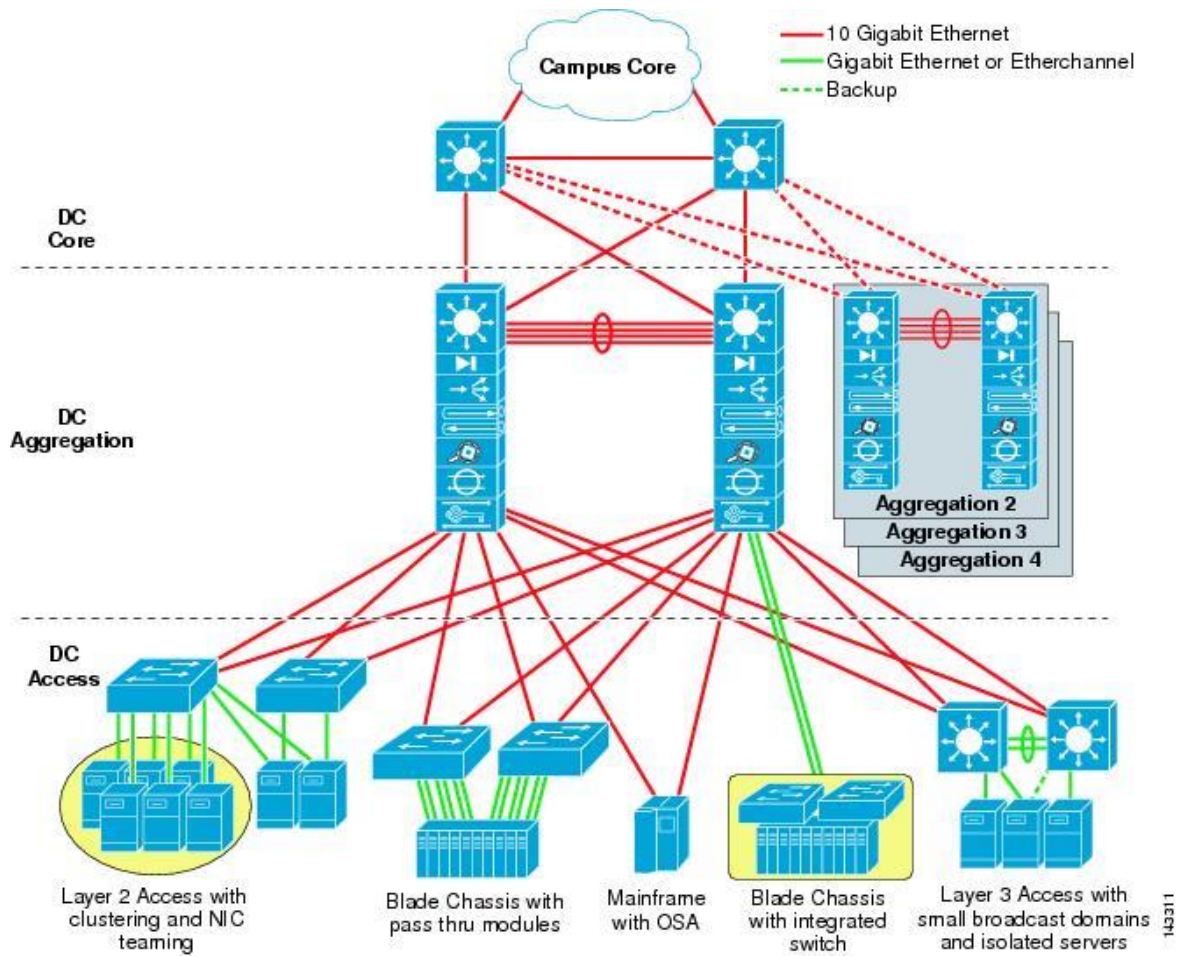
1. Επεκτασιμότητα	2. Παροχή συνάθροισης	3. Αξιοπιστία
4. Αυξητική επεκτασιμότητα	5. Υπερεγγραφή	6. Ασφάλεια
7. Πολυπλοκότητα καλωδίωσης ή συνδεσιμότητας	8. Ανοχή σφαλμάτων	9. Καθυστέρηση
10. Εύρος ζώνης διχοτόμησης	11. Κατανάλωση ενέργειας	12. TCO/ROI

Υπάρχουν πολλοί τύποι τοπολογιών δικτύου και δεν είναι όλοι για DCN. Το πρόβλημα είναι ότι διαφορετικές τοπολογίες δικτύου έχουν αναπτυχθεί για διαφορετικούς σκοπούς και διαφορετικά κριτήρια. Ένα συγκεκριμένο DC θα αντιμετωπίσει πολλά προβλήματα εάν επιλέξει μια ακατάλληλη τοπολογία για το

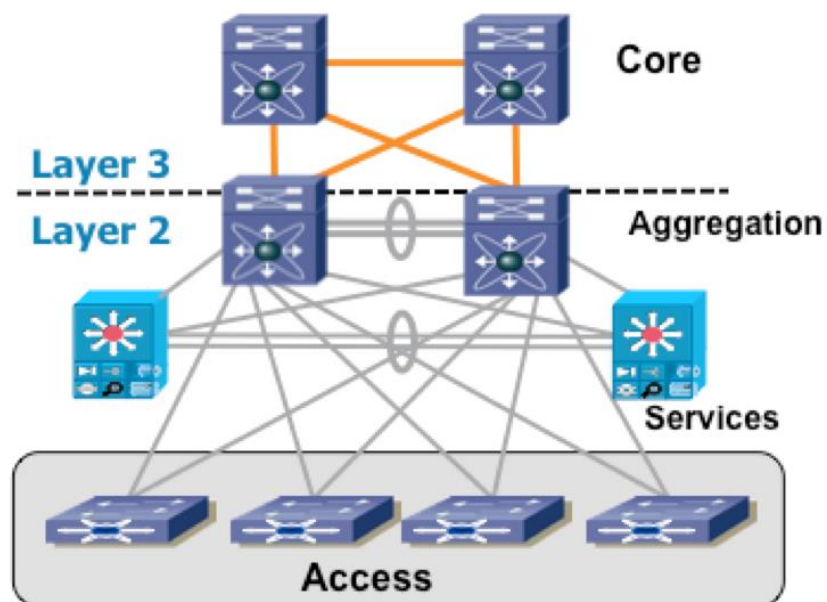
σκοπό DC. Απαιτείται η ταξινόμηση όλων αυτών των τοπολογιών στη σωστή κατηγορία και στη συνέχεια, η εξέταση κάθε τοπολογίας για να φανεί εάν είναι κατάλληλη για σκοπούς DCN.

Η τοπολογία που βασίζεται σε δέντρα είναι μια από τις πιο ευρέως διαδεδομένες λύσεις για το DCN. Συνήθως αποτελείται από τρία επίπεδα: πυρήνα, συνάθροιση (ή κατανομή) και άκρη (ή πρόσβαση) (Εικόνα 17). Κάθε επίπεδο αντιστοιχεί είτε στο επίπεδο 2 είτε στο 3 ή και στα δύο επίπεδα του μοντέλου OSI ή TCP/IP. Το στρώμα πυρήνα παρέχει συνδεσιμότητα όπου συνδέονται άλλες συσκευές (Εικόνα 16). Το επίπεδο συνάθροισης είναι το όριο του επιπέδου 3 και του επιπέδου 2 στο DCN, συγκεντρώνει συνδέσεις και ροές κυκλοφορίας από μεταγωγείς πολλαπλών επιπέδων πρόσβασης, για να παρέχει συνδεσιμότητα με τον πυρήνα LAN ή τους μεταγωγείς στρώσης ακμής WAN [52]. Σε κοινά σχέδια, το επίπεδο συνάθροισης παρέχει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, όπως εξισορρόπηση φορτίου διακομιστή, τείχος προστασίας και εκφόρτωση SSL στους διακομιστές και στους μεταγωγείς του επιπέδου πρόσβασης [53, 54]. Σε ένα δίκτυο κέντρων δεδομένων μικρού ή μεσαίου μεγέθους, ο πυρήνας και η συνάθροιση ενδέχεται να συμπτυχθούν σε ένα ενιαίο επίπεδο που αξιοποιεί τη δυνατότητα ενοποίησης των πλαισίων της εικονικής συσκευής (Εικόνα 18) [55]. Το επίπεδο πρόσβασης είναι το χαμηλότερο από τα τρία επίπεδα της αρχιτεκτονικής, όπου όλοι οι διακομιστές συνδέονται φυσικά στο δίκτυο. Μια τοπολογία που βασίζεται σε δέντρα (κοινά τρία επίπεδα) έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Επεκτασιμότητα
- Προσβασιμότητα για αντιμετώπιση προβλημάτων
- Ευκολότερη στην ανάπτυξη
- Οικονομικά αποδοτική
- Καλύτερη για την τοπική κυκλοφορία
- Χαμηλότερη καθυστέρηση



Εικόνα 17: Τοπολογία σχεδίασης τριών επιπέδων



Εικόνα 18: Το στρώμα πυρήνα και το στρώμα συνάθροισης συμπύσσονται σε ένα σχέδιο

3.3 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

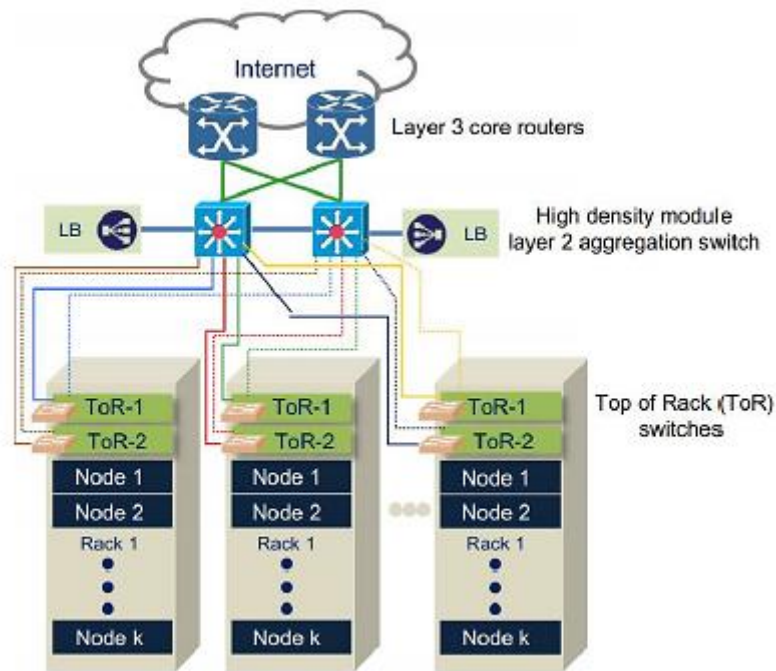
α) *To Top of Rack (ToR)*

Το ToR είναι ένα από τα δημοφιλή σχέδια DCN που βασίζεται σε δέντρα. Οι διακομιστές συνδέονται με έναν ή δύο μεταγωγείς πρόσβασης Ethernet που είναι εγκατεστημένοι στο rack σε επίπεδο πρόσβασης (Εικόνα 19). Φυσικά, οι μεταγωγείς δεν χρειάζεται να τοποθετηθούν κυριολεκτικά στην κορυφή για να συνδεθούν με όλους τους μεταγωγείς μέσα στο rack. Άλλες θέσεις μεταγωγέων θα μπορούσαν να είναι στο κάτω μέρος του rack ή στο μέσο του rack, ωστόσο το πάνω μέρος του rack είναι πιο συνηθισμένο λόγω της ευκολότερης προσβασιμότητας και της καθαρότερης διαχείρισης καλωδίων. Όλοι οι μεταγωγείς πρόσβασης είναι συνδεδεμένοι στο μεταγωγέα συνάθροισης. Απαιτείται μόνο μια μικρή ποσότητα καλωδίων για την εκτέλεση από το rack του διακομιστή στο rack της συνάθροισης, αλλά στο μεγάλο κέντρο δεδομένων, ο αριθμός των racks θα αποδειχθεί ενοχλητικός. Σύμφωνα με τους Wu & Buyya [40], τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του TOR είναι τα εξής: Πλεονεκτήματα:

- Ευέλικτη και αρθρωτή ρύθμιση με χρήση ανά rack.
- Οι βάσεις μπορούν εύκολα να μετατοπιστούν ή να αναβαθμιστούν ή να αλλάξουν.
- Οι χάλκινες καλωδιώσεις περιορίζονται στο rack.
- Μείωση δαπάνη καλωδίωσης.
- Έτοιμη για μελλοντική υποδομή καλωδίων οπτικών ινών.
- Δεν απαιτείται μεγάλη υποδομή χάλκινων καλωδίων.
- Λιγότερη αντίσταση ροής κρύου αέρα και μείωση του ανυψωμένου ύψους δαπέδου.

Μειονεκτήματα:

- Λογική συμφόρηση χωρητικότητας VLAN.
- Περισσότεροι μεταγωγείς L2 για διαχείριση.
- Πιθανά ζητήματα επεκτασιμότητας φυσικής θύρας σε επίπεδο μεταγωγέα συνάθροισης.



Εικόνα 19: Τοπολογία κορυφής rack

β) Τέλος σειράς (EoR) και μέση σειράς (MoR)

Για ένα DC που διαθέτει μεγάλο αριθμό rack για διαχείριση και θέλει να χρησιμοποιήσει μια τοπολογία βάσης δέντρου, μια εναλλακτική λύση είναι η υιοθέτηση μιας λύσης τέλους γραμμής (EoR) (Εικόνα 20), που συνδέει όλους τους διακομιστές σε μια σειρά rack σε ένα μεταγωγέα σε επίπεδο πρόσβασης. Δεν είναι απαραίτητο η θέση του μεταγωγέα να βρίσκεται στο τέλος της σειράς. Μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε θέση της σειράς αρκεί να βρίσκεται μέσα στη σειρά. Μία από τις δημοφιλείς λύσεις είναι η τοποθέτηση racks μεταγωγέων στη μέση της σειράς (MoR) (Εικόνα 21). Η χρήση εξαιρετικά μακριού χάλκινου καλωδίου μπορεί να αποφευχθεί, εάν η σειρά racks είναι αρκετά μεγάλη με τη χρήση MoR. Η λύση EoR ή MoR παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα που είναι σχεδόν αντίθετα από τη λύση ToR. Τα μειονεκτήματα του ToR γίνονται πλεονεκτήματα του EoR και αντίστροφα [40]:

Πλεονεκτήματα

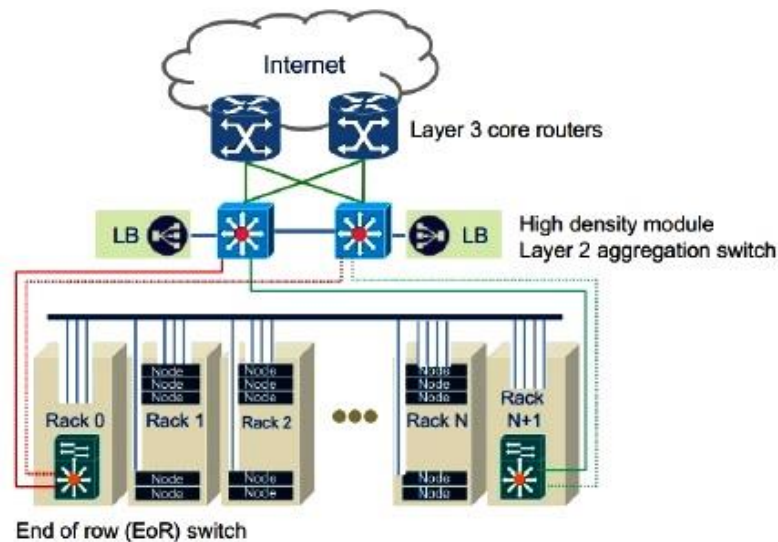
- Λιγότεροι μεταγωγείς για διαχείριση.
- Πιο αξιόπιστο DCN.
- Μείωση κεφαλαίου μεταγωγέα.

Διαχωρισμός Οπτικών Κέντρων Δεδομένων

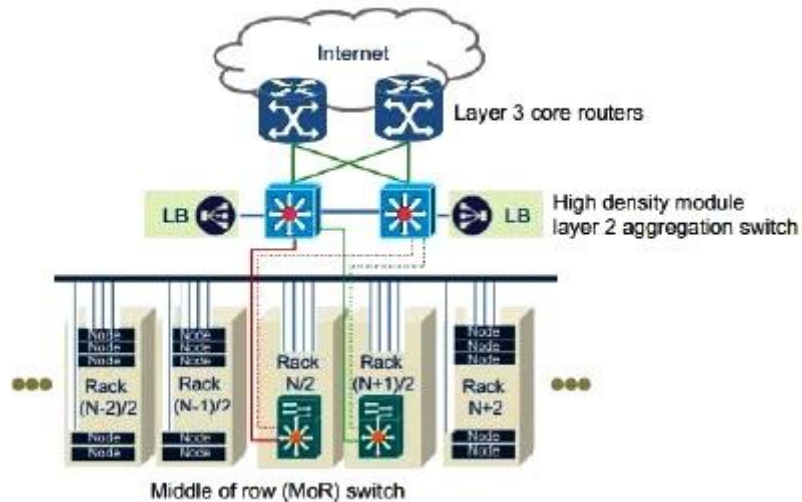
- Χαμηλότερο κόστος συντήρησης.
- Λιγότερες θύρες συνάθροισης.
- Λιγότερες παρουσίες SFP στον τομέα του επιπέδου 2.

Μειονεκτήματα:

- Όλο και μεγαλύτερα χάλκινα καλώδια τρέχουν.
- Λιγότερο ευέλικτη από τη λύση ToR με προσέγγιση αυξητικής επένδυσης.
- Μελλοντικές προκλήσεις για τη λύση καλωδίων οπτικών ινών.
- Ψηλότερο υπερυψωμένο δάπεδο για να φιλοξενήσει τον όγκο των καλωδίων από χαλκό.



Εικόνα 20: Τοπολογία τέλους γραμμής



Εικόνα 21: Τοπολογία μέσης γραμμής

3.4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ DATA CENTER

Ο σχεδιασμός ενός κέντρου δεδομένων είναι μια τεράστια εργασία που απαιτεί πολύ χρόνο, προσπάθεια και έξοδα. Όταν γίνει σωστά, μια εγκατάσταση κέντρου δεδομένων μπορεί να στεγάσει διακομιστές και άλλο εξοπλισμό πληροφορικής για δεκαετίες στο μέλλον. Είτε πραγματοποιείται ο σχεδιασμός μιας μέτριας εγκατάστασης για μια συγκεκριμένη εταιρεία, είτε μια τεράστια εγκατάσταση, πλεονάζον εκατομμυρίων τετραγωνικών μέτρων για τεχνολογίες cloud, είναι πολύ σημαντικό να γίνουν όλα σωστά. Ειδικότερα, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα σημεία κατά την εξέταση των αναγκών σχεδιασμού ενός Κέντρου Δεδομένων [56].

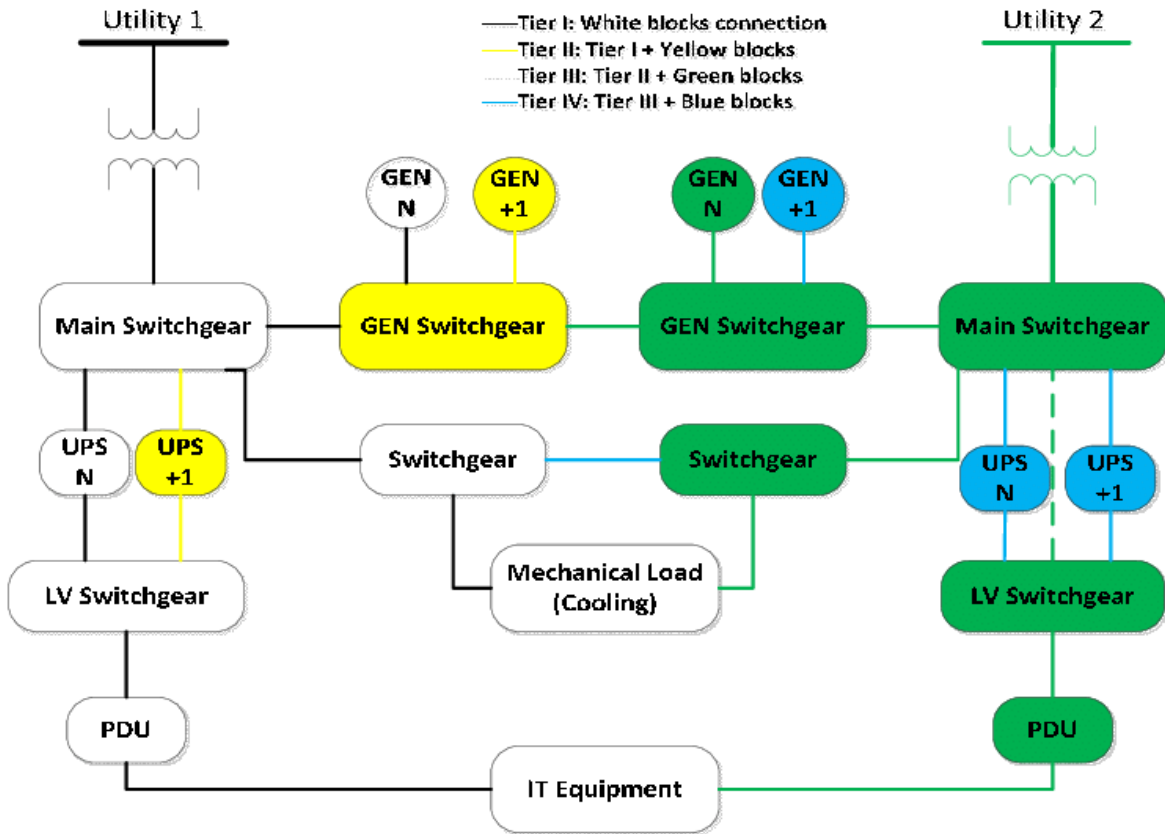
- Χώρος δαπέδου – Πόσα τετραγωνικά πόδια επιφάνειας δαπέδου χρειάζονται σήμερα; Αναμένοντας ότι αυτό θα αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου; Είναι πολύ λιγότερο ακριβό να κατασκευαστεί αυτό που χρειάζεται τώρα από το ανακαινιστεί μελλοντικά.
- Απαιτήσεις ισχύος – Οι ηλεκτρικές ανάγκες ενός κέντρου δεδομένων μπορεί να είναι αρκετά τεράστιες. Απαιτείται χρόνο για να σχεδιαστούν οι ανάγκες του σήμερα και οι πιθανές μελλοντικές απαιτήσεις.
- Απαιτήσεις ψύξης – Καθώς προστίθεται όλο και περισσότερο υλικό σε ένα κέντρο δεδομένων, η θερμότητα που παράγεται θα πρέπει να εξαλειφθεί. Οι

νέες μονάδες ψύξης είναι εξαιρετικά δαπανηρές, επομένως η επένδυση στις κατάλληλες εκ των προτέρων είναι απαραίτητη.

- Χώρος διακομιστή – Η επιλογή των σωστών racks διακομιστή επιτρέπει στεγαστεί σωστά ο εξοπλισμός, αφήνοντας παράλληλα χώρο για ανάπτυξη. Πολλά νέα κέντρα δεδομένων έχουν σειρές άδειων racks που βοηθούν στη διευκόλυνση της σωστής ροής αέρα μέχρι να γεμίσουν.

Υπάρχουν δύο διεθνή πρότυπα που αναφέρονται στην υποδομή σχεδιασμού του Data Center, όπως το Uptime και το ANSI/TIA-942 [56, 57], που αποτελούνται από απαιτήσεις εγκατάστασης για τροφοδοσία, ψύξη και δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας, οι οποίες μετρούν τον πιθανό χρόνο λειτουργίας ενός κέντρου δεδομένων. Αρχικά το πρότυπο Uptime του Uptime Institute, το οποίο είναι ένας συμβουλευτικός οργανισμός που εστιάζει στη βελτίωση της απόδοσης, της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας του Data Center. Το Uptime Institute καλύπτει το ηλεκτρικό μέρος, το μηχανικό μέρος και τα βοηθητικά εξαρτήματα, (Εικόνα 22), (γεννήτρια κινητήρα, σύστημα καυσίμου, σύστημα νερού αναπλήρωσης, σύστημα αυτοματισμού κτιρίου). Το Uptime Institute ορίζει τέσσερις βαθμίδες τοπολογίες συστημάτων για την περιγραφή της διαθεσιμότητας συστημάτων όπως φαίνεται στην Εικόνα 22. Δεύτερον το διεθνές πρότυπο ANSI/TIA-942 είναι ένα πρότυπο που εκδίδεται από έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό, και το TIA είναι διαπιστευμένο από το ANSI. Το πρότυπο είναι δημοσίως διαθέσιμο και οδηγεί σε μεγάλη διαφάνεια. Το πρότυπο καλύπτει όλες τις πτυχές του φυσικού κέντρου δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της τοποθεσίας, της αρχιτεκτονικής, της ασφάλειας, της πυρόσβεσης, των ηλεκτρικών, των μηχανικών και των τηλεπικοινωνιών. Η περίληψη των απαιτήσεων για το σχεδιασμό του κέντρου δεδομένων χωρίζεται σε 4 επίπεδα και απεικονίζεται στον

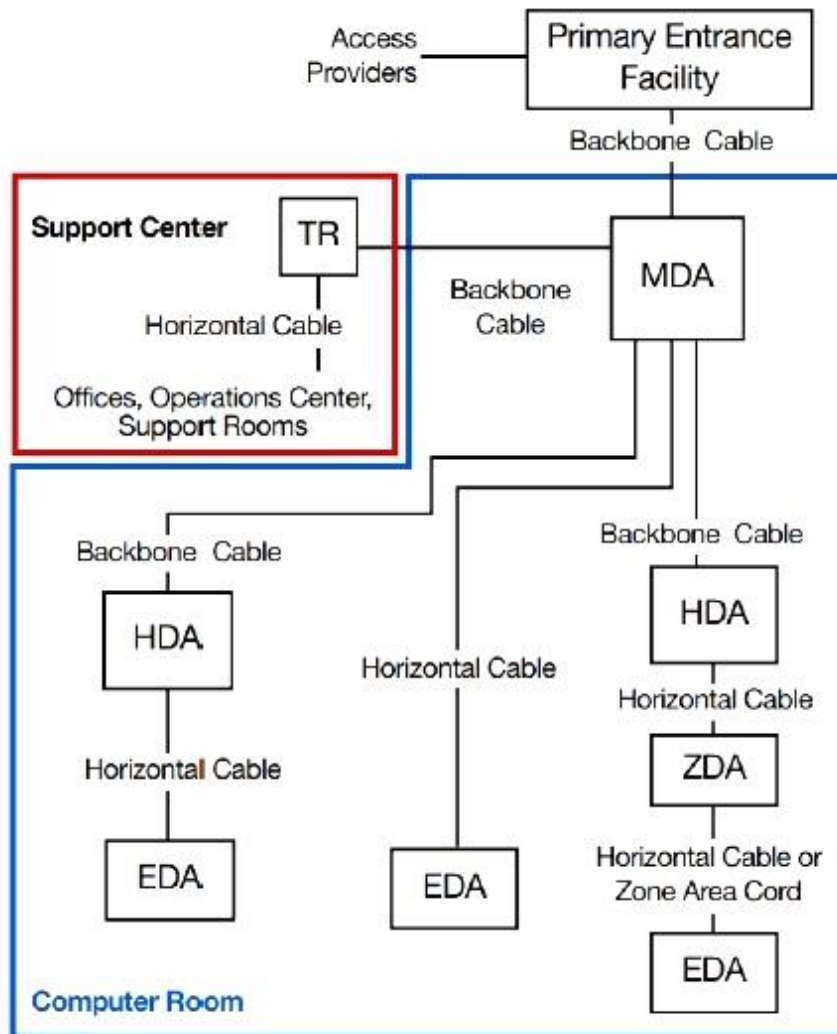
Πίνακας 9.



Εικόνα 22: Τοπολογίες διαφορετικών συστημάτων επιπέδων [57, 58]

Το TIA-942 είναι το πρότυπο για τον προγραμματισμό κέντρων δεδομένων, αιθουσών υπολογιστών, δωματίων διακομιστών και παρόμοιων χώρων [56]. Η Εικόνα 22 και η Εικόνα 23 δείχνουν την τοπολογία των προτύπων λεπτομερών κατευθυντήριων γραμμών ANSI/TIA-942 για τους πέντε βασικούς χώρους: Η αίθουσα εισόδου (Entrance Room-ER) για τη στέγαση των διεπαφών μεταξύ της καλωδίωσης μεταξύ κτιρίων και του συστήματος δομημένης καλωδίωσης του κέντρου δεδομένων. Η Main Distribution Area (MDA) για τη στέγαση των βασικών δρομολογητών και μεταγωγέων για το τοπικό δίκτυο, δίκτυο ευρείας περιοχής και δίκτυο περιοχής αποθήκευσης. Η οριζόντια περιοχή διανομής (Horizontal Distribution Area-HDA) για την υποστήριξη καλωδίωσης στις περιοχές εξοπλισμού όπου βρίσκονται οι πραγματικές υπολογιστικές συσκευές. Η περιοχή διανομής εξοπλισμού (Equipment Distribution Area-EDA) για επιδαπέδιο υπολογιστικό εξοπλισμό σπιτιών, καθώς και συσκευές τοποθετημένες σε rack και ντουλάπι, όπως οι διακομιστές και άλλο υλικό επικοινωνιών. Η Zone Distribution Area (ZDA) για την υποδοχή καλωδίωσης διασύνδεσης και τερματισμού σε εναέριους χώρους ή κάτω από τα δάπεδα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, δεν πρέπει να

χρησιμοποιούνται όλοι αυτοί οι πέντε καθορισμένοι χώροι, αλλά όλες οι επιλογές για την προσαρμογή της μελλοντικής ανάπτυξης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων (Εικόνα 23) [56].



Εικόνα 23: Πρότυπο ANSI/TIA-942 για καλωδίωση [56]

Πίνακας 9: Πρότυπο τοπολογίας (UPTIME και TIA-942)

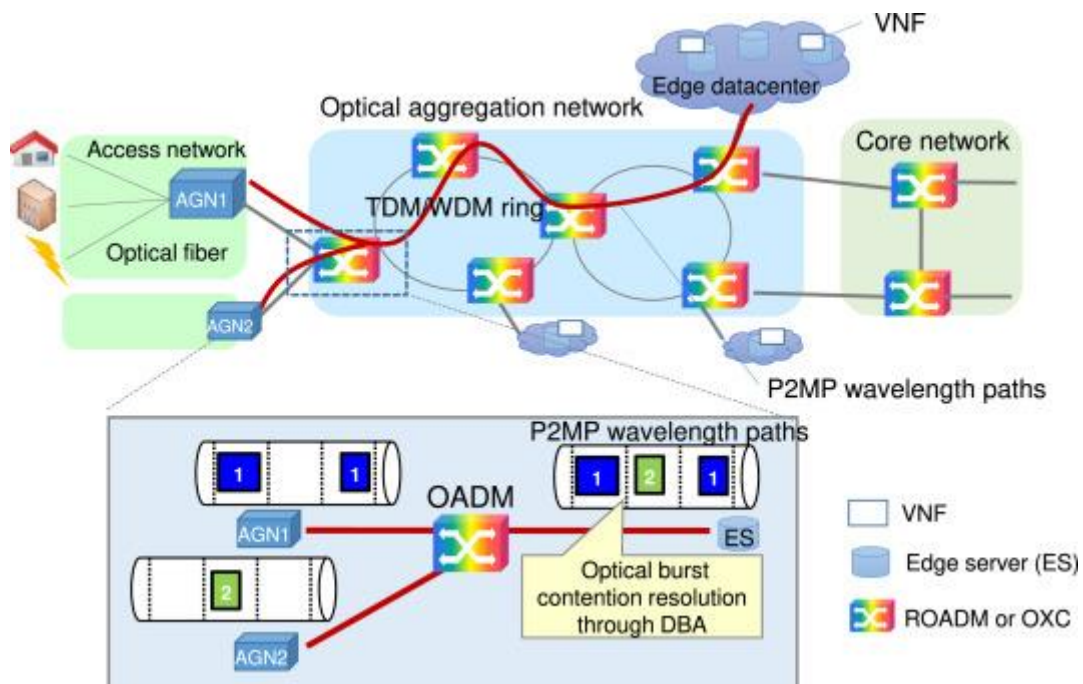
Απαιτήσεις	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4
Στοιχεία ενεργής χωρητικότητας για υποστήριξη του φορτίου IT	N	N+1	N+1	N+N
Διαδρομές Διανομής	1	1	1 Ενεργός & 1 Εναλλακτικό	2 (Και τα δύο ενεργά)
Ταυτόχρονα Διατηρήσιμο	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
Ανοχή σε σφάλματα	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι
Διαμερισματοποίηση	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
Συνεχής Ψύξη	Όχι	Όχι	Όχι εάν [Μέσος όρος < 5 KW] Ναι [Μέσος όρος > 5 KW]	Ναι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ DISAGGREGATION

Ένα δίκτυο οπτικής συνάθροισης συνδέει έναν διακομιστή που φιλοξενεί λειτουργίες εικονικού δικτύου (VNF-Virtual network functions) με κόμβους πύλης πρόσβασης (AGN) μέσω μιας διαδρομής μήκους κύματος από σημείο σε πολλαπλό σημείο (P2MP) που βασίζεται σε χρονική διαίρεση για τη συνάθροιση κίνησης από γεωγραφικά κατανομημένο άκρο χρήστες σε κέντρα δεδομένων cloud [59].

Για να συνδέσουν τελικούς χρήστες, συμπεριλαμβανομένων κέντρων δεδομένων εσωτερικής εγκατάστασης, σε κέντρα δεδομένων άκρης για ένα δημόσιο cloud, οι πάροχοι cloud πρέπει να συγκεντρώνουν αραιοκατανομημένη κυκλοφορία χρηστών μέσω κόμβων πύλης πρόσβασης (AGNs-Access Gateway Nodes) ενός παρόχου, και να μεταφέρουν τέτοια κίνηση σε κέντρα δεδομένων ακραίων, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 24. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να κατασκευάσουν ένα εικονικό δίκτυο συνάθροισης που συνδέει κόμβους πύλης πρόσβασης (AGN) με SDDC (Software-defined data center).



Εικόνα 24: Αρχιτεκτονική δικτύου συνάθροισης (aggregation) με εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου.

Η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV-Network functions virtualization) επιτρέπει τη μετεγκατάσταση λειτουργιών δικτύου από αποκλειστικό υλικό σε κατανεμημένες ομάδες διακομιστών εμπορευμάτων [60]. Με την εισαγωγή των NFV και SDDC στη δικτύωση cloud, οι πάροχοι cloud μπορούν να κατασκευάσουν τα δικά τους εικονικά δίκτυα για πρόσβαση στο cloud. Αυτό βελτιώνει την QoS (Quality of service) των υπηρεσιών cloud, ενώ χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τους πόρους του δικτύου για την κατασκευή τέτοιων δικτύων. Λόγω του σκληρού ανταγωνισμού και του αυξανόμενου όγκου κίνησης δεδομένων, οι πάροχοι cloud πρέπει να μειώσουν την κατανάλωση φυσικών πόρων δικτύου για να συνδέσουν τα κέντρα δεδομένων αιχμής, με τα AGN ενός παρόχου.

Το κλειδί σε αυτό βρίσκεται στον τρόπο σχεδίασης της χαρτογράφησης ενός εικονικού δικτύου, ενός παρόχου cloud στη φυσική υποδομή δικτύου και ενός παρόχου. Η ενσωμάτωση εικονικού δικτύου είναι μία από τις κύριες ανησυχίες στη δικτύωση cloud. Η πρόκληση στην ενσωμάτωση εικονικού δικτύου είναι η αποτελεσματική αντιστοίχιση εικονικών κόμβων και εικονικών συνδέσεων, σε φυσικούς πόρους δικτύου [61]. Για να μειώσουν το κόστος του δικτύου, οι πάροχοι cloud πρέπει να σχεδιάσουν χαρτογράφηση ελάχιστου κόστους, του δικού τους εικονικού δικτύου, σε φυσική υποδομή δικτύου. Οι τρόποι χαρτογράφησης εικονικών δικτύων σε φυσικά δίκτυα έχει διερευνηθεί εκτενώς [62]. Για την εξυπηρέτηση ενός αυξανόμενου όγκου κίνησης δεδομένων, τα κέντρα δεδομένων διασυνδέονται επί του παρόντος με τη χρήση οπτικών συστημάτων μεταφοράς. Οι Lin et al. διερεύνησαν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την τοποθέτηση της λειτουργίας εικονικού δικτύου (VNF) πάνω από δίκτυα οπτικών μεταφορών [62]. Επικεντρώθηκαν στη δημιουργία ενός εικονικού βασικού δικτύου που διασυνδέει κατανεμημένα κέντρα δεδομένων για ένα σύννεφο. Υπέθεσαν ένα δίκτυο διαδρομής δρομολογημένου μήκους κύματος από σημείο σε σημείο (P2P- Peer-to-peer), ως υποκείμενο φυσικό δίκτυο. Ωστόσο, η αρχιτεκτονική δικτύου με δρομολόγηση μήκους κύματος P2P δεν είναι κατάλληλη για ένα δίκτυο συνάθροισης, λόγω του περιορισμένου αριθμού οπτικών ινών του. Αν και ο όγκος της κίνησης από κάθε AGN είναι σχετικά χαμηλός, πρέπει να συγκεντρωθεί αποτελεσματικά η κίνηση από πολλά AGN σε ένα κέντρο δεδομένων με περιορισμένο μήκος κύματος και πόρους οπτικών ινών [63,64]. Η μέθοδός τους δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά πόρους μήκους κύματος, ενώ καταναλώνει πάρα πολλούς από

αυτούς, καθώς χρησιμοποιεί μια αποκλειστική διαδρομή μήκους κύματος P2P που συνδέει απευθείας πολλά AGN με ένα κέντρο δεδομένων [64]. Για οικονομικά αποδοτική δικτύωση cloud από άκρο σε άκρο, πρέπει να βρεθεί χαρτογράφηση ελάχιστου κόστους που συγκεντρώνει αποτελεσματικά την κυκλοφορία από πολλά AGN σε κέντρα δεδομένων, ενώ μειώνει την κατανάλωση πόρων μήκους κύματος. Οι πάροχοι cloud πρέπει να βρουν τρόπους για να ενσωματώσουν αποτελεσματικά μονοπάτια point-to-multipoint (P2MP), όπου συνδέουν πολλά AGN με κέντρα δεδομένων. Ωστόσο, λίγες μελέτες έχουν διερευνήσει προβλήματα ενσωμάτωσης εικονικών δικτύων, ενώ εξετάζουν την αποτελεσματική συνάθροιση κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας διαδρομές P2MP.

Ο σχεδιασμός τοποθέτησης VNF ανεξάρτητα από μια τοπολογία οπτικού δικτύου αυξάνει την κατανάλωση μονοπατιών μήκους κύματος λόγω της χαμηλότερης χρήσης των διαδρομών. Οι αρχιτεκτονικές οπτικών δικτύων, δηλαδή μετρό/πρόσβαση που χρησιμοποιούν μονοπάτια μήκους κύματος P2MP έχουν διερευνηθεί εντατικά, αλλά προηγούμενες μελέτες [64] επικεντρώθηκαν κυρίως στην ανάπτυξη και επίδειξη αρχιτεκτονικών δικτύων και συστημάτων, και λίγες είχαν διερευνήσει το σχεδιασμό δικτύων οπτικής συνάθροισης για βελτιστοποίηση πόρων δικτύου. Κάθε VNF πρέπει να τοποθετηθεί σε έναν κατάλληλο διακομιστή λαμβάνοντας υπόψη την αποτελεσματικότητα των μονοπατιών μήκους κύματος για τη μείωση του κόστους δικτύου.

Σύμφωνα με τους Lin et al. [74], προτείνουν τον αλγόριθμο τοποθέτησης VNF με βάση την αποσύνθεση (DVA), ο οποίος είναι ένας ευρετικός αλγόριθμος σχεδιασμού που μπορεί να βρει σχεδόν βέλτιστες λύσεις, όσον αφορά το κόστος του δικτύου και την ευρωστία, ενώ μειώνει την υπολογιστική επιβάρυνση για επεκτασιμότητα. Η βασική ιδέα του DVA είναι να αναλύσει ολόκληρο το πρόβλημα του σχεδιασμού του δικτύου, και ειδικότερα σε πρώτη φάση την τοποθέτηση VNF και σε δεύτερη τον υπολογισμό διαδρομής P2MP για τη μείωση των υπολογιστικών επιβαρύνσεων. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος συνεισφέρει στην εύρεση κατά προσέγγιση λύσεων επαρκούς ποιότητας με πρακτικό χρόνο υπολογισμού και ποσοτική αξιολόγηση της απόδοσης του, σε σύγκριση με αυτές της βέλτιστης λύσης και άλλων συμβατικών αλγορίθμων από πλευράς δικτύου, κόστους και στιβαρότητας [59].

4.2 ΔΙΚΤΥΟ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΕ TDM-WDM

Οι αναδυόμενες εφαρμογές δικτύου, όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων¹⁰ και η επικοινωνία μεταξύ οχήματος, επιβάλλουν απρόβλεπτες διακυμάνσεις της κυκλοφορίας στα δίκτυα συνάθροισης μετρό που συνδέουν κέντρα δεδομένων με AGN. Έτσι, τα δίκτυα συνάθροισης πρέπει να μεταφέρουν αποτελεσματικά μεγάλο όγκο κίνησης και να προσαρμοστούν σε μια τέτοια απρόβλεπτη κίνηση [65]. Σε ένα δίκτυο συνάθροισης, οι τεχνολογίες διασύνδεσης πολυπλεξίας παλαιού τύπου χρονικής διαίρεσης χαμηλής ταχύτητας (TDM¹¹), όπως το SONET/SDH¹², χρησιμοποιήθηκαν για τη συνάθροιση φωνητικής κίνησης [66]. Ένα δίκτυο συνάθροισης δίνει τη δυνατότητα να μεταφερθεί αποτελεσματικά η κυκλοφορία χρησιμοποιώντας πολυπλεξία γραμμής μεταξύ AGN που βρίσκονται σε δίκτυα πρόσβασης και δρομολογητές ακμών, που παρέχουν λειτουργίες ακμής δικτύου, στην άκρη των βασικών δικτύων. Τα AGN περιλαμβάνουν τερματικά οπτικής γραμμής (OLT) και ραδιοφωνικούς σταθμούς βάσης 4G/5G (RBS). Επί του παρόντος, η πλειονότητα της κίνησης βασίζεται σε πακέτα, επομένως ηλεκτρικοί μεταγωγείς Layer 2 με συστήματα μετάδοσης πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος (WDM¹³) χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συνάθροιση αυτής της κίνησης [67]. Το δίκτυο συνάθροισης χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς μεταγωγείς Layer 2 για να συγκεντρώσει κίνηση βασισμένη σε πακέτα χαμηλής ταχύτητας από πολλά AGN. Αυτό αυξάνει το κόστος του δικτύου, καθώς και την κατανάλωση ενέργειας επειδή απαιτούνται αναμεταδότες WDM σε συνδυασμό με ηλεκτρικούς μεταγωγείς σε κάθε κόμβο διέλευσης [68]. Η σύγκλιση του δικτύου συνάθροισης και του δικτύου

¹⁰ Το διαδίκτυο των πραγμάτων ή Ίντερνετ των πραγμάτων (Internet of things) αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικείμενου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο ώστε να επιτρέπει η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων.

¹¹ Το TDM είναι μια τεχνική μετάδοσης που επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να στέλνουν σήματα μέσω ενός κοινού καναλιού εκχωρώντας σταθερή χρονοθυρίδα για κάθε χρήστη.

¹² Η σύγχρονη οπτική δικτύωση (SONET-Synchronous optical networking) και η σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία (SDH-synchronous digital hierarchy) είναι τυποποιημένα πρωτόκολλα που μεταφέρουν πολλαπλές ροές ψηφιακών bit συγχρονισμένα μέσω οπτικής ίνας χρησιμοποιώντας λέιζερ ή εξαιρετικά συνεκτικό φως από διόδους εκπομπής φωτός (LED-light-emitting diode).

¹³ Το WDM είναι μια τεχνική μετάδοσης που διαμορφώνει πολυάριθμες ροές δεδομένων, οπτικά σήματα φέροντος ποικίλου μήκους κύματος σε μία μόνο δέσμη φωτός μέσω μιας μοναδικής οπτικής ίνας.

πρόσβασης είναι μια από τις πιο σημαντικές πρόσφατες τάσεις. Ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (PON- Passive optical network) [69] έχει αναπτυχθεί ευρέως σε δίκτυα πρόσβασης. Έχουν γίνει εκτενείς έρευνες για την επέκταση της δυνατότητας εφαρμογής των τεχνολογιών που βασίζονται σε PON. Οι Russell et al. [70] παρουσίασαν τεχνολογίες PON μεγάλης εμβέλειας που επεκτείνουν την εμβέλεια ενός PON, χρησιμοποιώντας οπτικούς ενισχυτές. Η έννοια του PON μεγάλης απόστασης είναι να απλοποιήσει μια αρχιτεκτονική δικτύου, σχετικά με την πρόσβαση και να μειώσει το κόστος του δικτύου, εξαλείφοντας τους μεταγωγείς ηλεκτρονικής συνάθροισης. Για την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης δικτύου του PON, τεχνολογίες PON που βασίζονται σε WDM έχουν αναπτυχθεί και είναι ήδη διαθέσιμες στο εμπόριο. Επί του παρόντος, ένα PON που βασίζεται σε TDM-WDM έχει τυποποιηθεί ως NG-PON2 για να επιτυγχάνει απόδοση 40 Gbps [71]. Την τελευταία δεκαετία, οι αρχιτεκτονικές δικτύων με το μετρό/πρόσβασης που βασίζονται σε TDM-WDM έχουν διερευνηθεί εκτενώς με βάση τις αναδυόμενες τεχνολογίες που βασίζονται σε PON [68]. Οι Kotsugai et al. [72] ανέπτυξαν μια εξαιρετικά αποδοτική αρχιτεκτονική δικτύου οπτικής πρόσβασης/συνάθροισης που βασίζεται σε TDM με βάση τεχνολογίες μήκους κύματος μεταβλητού εύρους ζώνης. Οι Ruffini et al. [68] πρότειναν μια δυναμικά επαναδιαμορφώσιμη αρχιτεκτονική δακτυλίου που βασίζεται σε TDM-WDM χρησιμοποιώντας τεχνολογίες PON. Για την αποτελεσματική διευθέτηση της εκρηκτικής κίνησης από πολλά AGN, αυτές οι αρχιτεκτονικές δικτύου συνάθροισης επιτρέπουν την κοινή χρήση ενός καναλιού κοινού μήκους κύματος από πολλαπλά AGN μέσω οπτικών τεχνολογιών TDM, όπως η δυναμική κατανομή εύρους ζώνης (DBA- Dynamic bandwidth allocation) που χρησιμοποιούνται στο PON. Σε αυτές τις αρχιτεκτονικές, μια λογική διάταξη είναι βασικά μια τοπολογία δέντρου που κατασκευάζεται πάνω από φυσικά δίκτυα που βασίζονται σε δακτύλιο. Έτσι, μια τοπολογία διαδρομής σε τέτοια δίκτυα σχηματίζει συνδεσιμότητα P2MP. Η αρχιτεκτονική είναι κατάλληλη για συνάθροιση κίνησης, επειδή ένα κοινό κανάλι μήκους κύματος μπορεί να είναι κοινόχρηστο από πολλά AGN, γεγονός που μπορεί να μειώσει το κόστος του δικτύου.

4.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗΣ

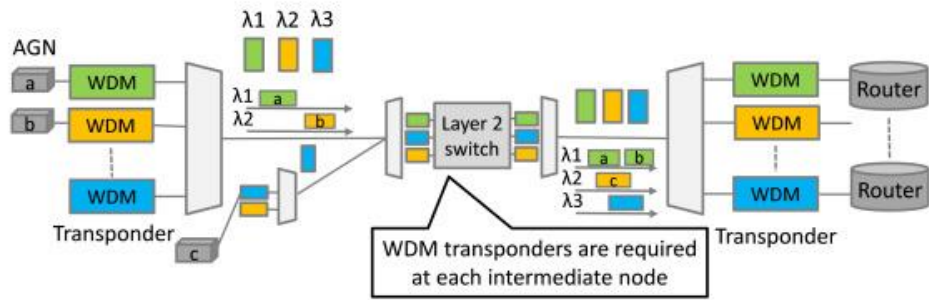
Στη συνέχεια περιγράφεται μια αρχιτεκτονική δικτύου οπτικής συνάθροισης με VNF για SDDC. Το σημαντικό χαρακτηριστικό ενός δικτύου οπτικής συνάθροισης έγκειται στην εξαιρετικά αποδοτική δρομολόγηση μήκους κύματος που εξαλείφει τη μετατροπή ηλεκτρικού σε οπτικό και τους αναμεταδότες WDM σε ενδιάμεσους κόμβους, καθώς και τις ευέλικτες τοπολογίες δικτύου που μπορούν να προσαρμοστούν σε απροσδόκητες διακυμάνσεις της ζήτησης κυκλοφορίας. Η προτεινόμενη διαμόρφωση δικτύου απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 25. Σε ένα συμβατικό δίκτυο συνάθροισης, οι μεταγωγείς ηλεκτρικού στρώματος σχηματίζουν σταθερή τοπολογία δικτύου και κάθε δρομολογητής ακμών φιλοξενεί μια ομάδα AGN. Ένας δρομολογητής άκρων παρέχει διάφορες λειτουργίες ακμής δικτύου, όπως λειτουργίες διακομιστή ευρυζωνικής πρόσβασης και ελεγκτή περιγράμματος συνεδρίας και διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών. Δύο γειτονικοί κόμβοι (π.χ. μεταγωγείς AGN και layer 2) συνδέονται με μια σύνδεση WDM. Οι μεταγωγείς επιπέδου 2 δεν μπορούν να αλλάξουν με διαφάνεια διαδρομές μήκους κύματος, επομένως πρέπει να αναπτύξουμε έναν αναμεταδότη WDM σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο. Αυτό αυξάνει το κόστος του δικτύου και την κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, κάθε δρομολογητής ακμών φιλοξενεί μια σταθερή ομάδα AGN, τα οποία βασικά καθορίζονται από τη γεωγραφική θέση. Ωστόσο, λόγω της προσθήκης ή της απόσυρσης συνδρομητών, ορισμένοι δρομολογητές ακραίων δρομολογητών έχουν μεγάλη συμφόρηση, ενώ άλλοι υποχρησιμοποιούνται στο ίδιο δίκτυο.

Σύμφωνα με τους Miyamura et al. [59], στο δίκτυο οπτικής συνάθροισης οι δρομολογητές ακμών αντικαθίστανται με διακομιστές ακμών (ES) που διαθέτουν VNF. Το δίκτυο αποτελείται από AGN, οπτικό πολυπλέκτη προσθήκης/απόθεσης με δυνατότητα πολλαπλής διανομής (m-OADM) και ES. Κάθε VNF μπορεί να εκτελεστεί σε οποιονδήποτε διακομιστή εμπορευμάτων σε ένα δίκτυο, έτσι ώστε να μπορεί να μεταφερθεί ζωντανά από έναν υπερφορτωμένο διακομιστή σε έναν υποχρησιμοποιούμενο ως απόκριση σε απρόβλεπτες αλλαγές ζήτησης κίνησης [59]. Επομένως, οι πόροι του διακομιστή ανακατανέμονται σύμφωνα με τη

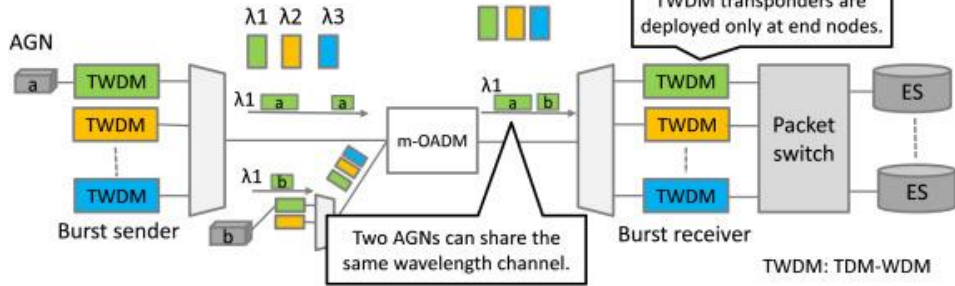
διακύμανση της ζήτησης εύρους ζώνης κάθε AGN. Το σημαντικό εδώ είναι ότι κάθε ES πρέπει να διατηρεί αρκετούς υπολειπόμενους πόρους για να διασφαλίσει στιβαρότητα έναντι απρόβλεπτων αλλαγών ζήτησης. Η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου μας δίνει τη δυνατότητα να αντιμετωπίζουμε αποτελεσματικά απρόβλεπτες αλλαγές ζήτησης με περιορισμένους πόρους δικτύου.

Για την τοποθέτηση VNF, υποθέτουμε ότι κάθε VNF έχει αντιστοιχία ένα προς ένα με ένα συγκεκριμένο AGN. Η αρχιτεκτονική απαιτεί έναν μηχανισμό για την παροχή συνδεσιμότητας μεταξύ ενός ES που φιλοξενεί ένα VNF και ενός αντίστοιχου AGN. Οι Miyamura et al. [59], εξέτασαν ένα κοινό δίκτυο διαδρομής μήκους κύματος P2MP που απαιτεί μόνο ένα σύνολο μονάδων m-OADM για έναν ενδιάμεσο κόμβο. Μια ομάδα m-OADM αποτελείται από μια τοπολογία δακτυλίου και κάθε μήκος κύματος στο δίκτυο σχηματίζει μια διαδρομή μήκους κύματος P2MP που μοιράζεται από πολλά AGN που έχουν τον ίδιο στόχο ES, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 25. Το εύρος ζώνης κάθε διαδρομής μήκους κύματος P2MP μπορεί να είναι κοινόχρηστο από πολλά AGN σύμφωνα με το DBA. Έτσι, μπορούμε να βελτιώσουμε τη χρήση πόρων κάθε καναλιού μήκους κύματος μέσω στατιστικής πολυπλεξίας. Η ανάλυση αντιπαράθεσης οπτικής ριπής στο ίδιο κανάλι μήκους κύματος εκτελείται μέσω ενός μηχανισμού DBA. Τέτοιοι μηχανισμοί εφαρμόζονται σε αποστολείς/δέκτες ριπής σε ES και AGN. Οι τεχνολογίες που επιτρέπουν τέτοια δίκτυα κοινής διαδρομής μήκους κύματος που βασίζονται σε TDM αναπτύχθηκαν από τους Hattori et al. [64] και Carey et al. [73]. Από την άποψη του κόστους του δικτύου και της ευρωστίας έναντι των απρόβλεπτων αλλαγών της ζήτησης κυκλοφορίας, είναι σημαντικό να τοποθετείτε κάθε VNF σε ένα κατάλληλο ES μεταξύ των ομάδων διακομιστών, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις απαιτήσεις εύρους ζώνης και την κατανάλωση πόρων στο δίκτυο δακτυλίου TDM-WDM [59].

1) Conventional Layer-2 switch-based aggregation network



2) Proposed TDM-WDM-based optical aggregation network



Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική δικτύου οπτικής συνάθροισης

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός της υποδομής για το κέντρο δεδομένων είναι περίπλοκος και πρέπει να βασίζεται σε σχετικά διεθνή πρότυπα σχεδιασμού, όπως ηλεκτρική υποδομή, σύστημα παροχής ψυχρού αέρα που χρησιμοποιείται για εξοπλισμό πληροφορικής που ψύχεται για μεγάλο χρονικό διάστημα με το σχεδιασμό του δικτύου. Ο σχεδιασμός του δικτύου βασίζεται στην υπόθεση ότι το κέντρο δεδομένων έχει σταθερή τροφοδοσία 24/7 από το σύστημα UPS με θερμοκρασία 22°C, σχετική υγρασία 50% από ένα σύστημα κλιματισμού ακριβείας με την εφαρμογή ψύξης σε σειρά.

Τα τελευταία χρόνια, το cloud computing έχει αποκτήσει μεγάλη δημοτικότητα στον κλάδο της πληροφορικής. Το ισχυρό χαρακτηριστικό του cloud computing είναι ότι δεν απαιτούνται ειδικές συσκευές ή λογισμικό για τη λήψη της υπηρεσίας. Το cloud computing φέρνει ευκαιρίες και προκλήσεις. Το μειωμένο κόστος, η ταχύτητα ανάπτυξης, η επεκτασιμότητα, οι λιγότερες απαιτήσεις για τη λειτουργία λειτουργιών IT και άλλα περιβαλλοντικά οφέλη, όπως λιγότερος φυσικός χώρος, είναι μεταξύ των πλεονεκτημάτων που παρέχει το cloud computing. Ωστόσο, ένας μεγάλος αριθμός οργανισμών και χρηστών γενικά δεν χρησιμοποιούν ή υιοθετούν αυτή τη νέα τεχνολογία κυρίως λόγω ανησυχιών για την ασφάλεια και χαμηλής εμπιστοσύνης. Για να αποτραπεί η εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων με την πτυχή της ασφάλειας του υπολογιστικού νέφους, προτείνεται ένα πλαίσιο διαχείρισης κινδύνου που μπορεί να εφαρμοστεί για αυτόν τον σκοπό. Οι κύριοι στόχοι είναι να αυξηθεί η εμπιστοσύνη μεταξύ παρόχων και χρηστών και να αυξηθεί ο αριθμός των χρηστών και που υιοθετούν το cloud computing.

Αυτό το πλαίσιο διαχείρισης κινδύνων αποτελείται από έξι στάδια και συγκεκριμένα (1) κατανοεί το επιχειρηματικό πλαίσιο, (2) προσδιορίζει τον τεχνικό κίνδυνο της επιχείρησης, (3) συνθέτει και ιεραρχεί τον κίνδυνο, (4) καθορίζει τη στρατηγική μετριασμού του κινδύνου, (5) εκτελεί τις απαιτούμενες λύσεις και επικυρώνει ότι έχουν επιλυθεί και (6) ότι η συνολική αξιολόγηση και παρακολούθηση του συστήματος είναι μια νέα ιδέα για την αποτελεσματικότερη αξιολόγηση και καταπολέμηση των απειλών τόσο από κακόβουλες και μη πηγές. κινδύνους ασφαλείας. μπορεί να εφαρμοστεί σε καταστάσεις εκτός λογισμικού.

Μια λογική επέκταση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα είναι η πραγματική εφαρμογή του συστήματος σε ένα υπάρχον σύστημα για την αξιολόγηση της απόδοσης. Επίσης, μπορεί να σχεδιαστεί μια καλή μέτρηση απόδοσης για την αξιολόγηση του συστήματος. Μια ολοκληρωμένη σύγκριση αυτής της προσέγγισης με τα υπάρχοντα RMF's (Risk Management Framework) θα βοηθήσει επίσης να τονιστούν τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία αυτής της προσέγγισης. Επιπλέον, η αναζήτηση άλλων λόγων που μειώνουν την εμπιστοσύνη και την προσαρμογή της τεχνολογίας cloud computing μπορεί να επεκτείνει αυτήν την εργασία. Η πρόταση άλλων λύσεων και συστημάτων μπορεί να είναι ένας καλός τρόπος για να αυξηθεί η εμπιστοσύνη και η προσαρμογή μεταξύ των χρηστών και των παρόχων. Ένας άλλος τρόπος επέκτασης αυτής της έρευνας είναι να δοθούν στους παρόχους cloud computing δοκιμασμένες και αποδεδειγμένες λύσεις που μπορούν να προσελκύσουν χρήστες, επιχειρήσεις και οργανισμούς στο να προσαρμόσουν τις υπηρεσίες τους.

Από τη βιβλιογραφία διαπιστώσαμε ότι οι οργανισμοί πληροφορικής που χρησιμοποιούν cloud computing θα είναι σε θέση να αποδίδουν καλύτερα, πιο γρήγορα, πιο ευέλικτα και να έχουν χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με την παραδοσιακή πληροφορική. Από τη βιβλιογραφία μπορούμε να πούμε ότι η ευελιξία και η απόδοση αυξάνονται σε σύγκριση με την παραδοσιακή πληροφορική. Αυτό συμβαίνει επειδή το cloud computing κατανέμει τις υπηρεσίες όπου χρειάζεται, επομένως κάθε φορά που ένας πελάτης ζητά περισσότερη επεξεργαστική ισχύ, το cloud του αναθέτει αυτήν.

Όταν ένας οργανισμός θέλει να επεκταθεί, δεν υπάρχουν δυσκολίες στην προσθήκη πρόσθετων υπηρεσιών. Ο πάροχος cloud απλώς ανακατανέμει τις νέες υπηρεσίες. Με αυτόν τον τρόπο ο πάροχος είναι σε θέση να παρέχει συγκεκριμένη απόδοση και ευελιξία. Το χαμηλότερο κόστος επιτυγχάνεται λόγω του συστήματος Pay-As-You-Go (πληρώνεις ό,τι χρησιμοποιείς). Επομένως, στην αιχμή της χρήσης, ο χρήστης πληρώνει περισσότερα, και σε χαμηλούς χρόνους χρήσης, ο χρήστης πληρώνει λιγότερα. Εκτός από την ευελιξία και την απόδοση, το cloud παρέχει επίσης εύκολα αντίγραφα ασφαλείας που αποθηκεύονται σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Συνεπώς, κάθε φορά που κάτι δεν πάει καλά με τα δεδομένα σε έναν οργανισμό, υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε αντίγραφα ασφαλείας.

Οι κίνδυνοι είναι ωστόσο επίσης σημαντικοί, παρόλο που τα οφέλη τους υπερτερούν. Το πιο σημαντικό μέτρο για τη διαχείριση των κινδύνων είναι η Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσιών. Αυτή είναι μια συμφωνία που έχει ο χρήστης με τον πάροχο. Ειδικότερα, δηλώνει όλες τις λεπτομέρειες για το cloud και πρέπει να γίνει αποδεκτό και από τα δύο μέρη. Με το SLA (Service-level agreement), ως πελάτης του cloud computing, μπορεί να είναι σίγουρος ότι δεν θα εκτεθεί σε κινδύνους.

Συνοψίζοντας, η πληροφορική είναι αναπόσπαστο μέρος πλέον μιας επιχείρησης και χρειάζεται για την υποστήριξη ή τη βελτίωση των οικονομικών διαδικασιών. Προτού υιοθετηθεί το cloud, η εταιρεία θα πρέπει να μελετήσει τις διαδικασίες της και να αξιολογήσει τους κινδύνους και τα πλεονεκτήματα που επιφέρει σε αυτήν. Δεδομένου ότι οι μικρές και μεσαίες εταιρείες έχουν λιγότερο περίπλοκες διαδικασίες, θα πρέπει να είναι η πρώτη κατηγορία επιχειρήσεων που θα χρησιμοποιεί υπηρεσίες cloud computing. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που προσφέρει το cloud computing είναι το μειωμένο κόστος. Σε σχέση με τις αρχές διακυβέρνησης IT, θα πρέπει πρώτα να μελετήσει την αξία που προσφέρουν οι υπηρεσίες cloud στον ίδιο τον οργανισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Y. Jadeja, & K. Modi, “Cloud Computing-concepts, architecture and challenges”, Paper presented at the Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET), International Conference, 2012.
- [2] AL. Bento, & R. Bento, “Cloud Computing: A New Phase in Information Technology Management. Journal of Information Technology Management, vol. 22, no. 1, 39-46, 2011.
- [3] S. E. Gillett, & M. Kapor, The Self-Governing Internet: Coordination by Design, In Coordinating the Internet, 1997.
- [4] E. Schmidt & J. Cohen, The New Digital Age: Reshaping the Future of People, Nations and Business, Publisher: Knopf; 1st edition, 2013.
- [5] W. Kim, “Cloud Computing: Today and Tomorrow”, Journal of Object Technology, vol. 8, no.1, pp 65–72, 2009.
- [6] M. G. Avram, “Advantages and Challenges of Adopting Cloud Computing from an Enterprise Perspective”, Procedia Technology, vol.12, pp. 529-534, 2014.
- [7] S. Ried, H. Kisker, and P. Matzke. The evolution of Cloud Computing markets. Technical report, Forrester Research, 2010.
- [8] E. van Ommeren, M. van den Berg, Seize the Cloud: A Manager's Guide to Success with Cloud Computing, Publisher: Sogeti; 1st edition, 2011.
- [9] N. Carr, The Big Switch: Rewiring the World, from Edison to Google, Publisher: W. W. Norton & Company; Reprint edition, 2013.
- [10] Cloud Security Alliance, Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing v4.0, Working Group: Security Guidance, 2017.
- [11] K. Stanoevska-Slabeva, T. Wozniak, S. Ristol. "Grid and Cloud Computing: A Business Perspective on Technology and Applications", Publisher: Springer, 2010
- [12] Weishäupl T., Donno F., Schikuta E., Stockinger H., Wanek H. (2005). “Business In the Grid: The BIG Project”. In: Proceedings of the 2nd International Workshop on Grid Economics and Business Models GECON, 2005.
- [13] U. Harms, H-J. Rehm, T. Rueter, H. Wittmann, “Grid Computing für virtualisierte Infrastrukturen”. In: Barth T, Schüll A (eds) Grid Computing: Konzepte, Technologien, Anwendungen, pp. 1-15. Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2006.

- [14] I. Foster, Y. Zhao, I. Raicu and S. Lu, "Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared," 2008 Grid Computing Environments Workshop, pp. 1-10, 2008.
- [15] J. Joseph, M. Ernest, and C. Fellenstein, "Evolution of Grid Computing Architecture and Grid Adoption Models". IBM Syst. J., vol 43, no.4, pp. 624-644, 2004.
- [16] M. Lynch, "The Cloud Wars: \$100+ billion at stake. Merrill Lynch research note". Available at: from <http://web2.sys-con.com/node/604936> [accessed 31/10/2022], 2008.
- [17] D. Harris. "Why 'Grid' Doesn't Sell. On-Demand Enterprise blog", Available at: <http://www.on-demandenterprise.com/blogs/26058979.html>. [accessed 1/10/2022], 2009.
- [18] EGEE. An EGEE Comparative Study: Grids and Clouds – Evolution or Revolution? Enabling Grids for E-sciencE (EGEE) report, Available at: <https://edms.cern.ch/document/925013/> [accessed 31/10/2022], 2008.
- [19] A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies", in IEEE Access, vol. 3, pp. 1206-1232, 2015.
- [20] M. Creeger., "CTO Roundtable: Cloud Computing". Commun. ACM, vol. 52, pp.50–56, 2009.
- [21] A. Khajeh-Hosseini, D. Greenwood and I. Sommerville. "Cloud Migration: A Case Study of Migrating an Enterprise IT System to IaaS", 2010 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing, pp. 450-457, 2010.
- [22] W. Fellowes, Partly Cloudy, Blue-Sky Thinking About Cloud Computing. Whitepaper. 451 Group, 2008.
- [23] T. Sullivan, "The ways cloud computing will disrupt IT", Available at: http://www.cio.com.au/article/296892/nick_carr_ways_cloud_computing_will_disrupt_it [accessed 31/10/2022], 2009.
- [24] Cisco Systems, Inc: "What Is a Data Center", Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center-virtualization/what-is-a-data-center.html> [accessed 7/11/2022], 2022.
- [25] Rong, H.; Zhang, H.; Xiao, S.; Li, C.; Hu, C, "Optimizing energy consumption for data centres", Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 58, pp. 674–691, 2016.

[26] E.; Oró, V.; Depoorter, A.; Garcia, & J, Salom, “Energy efficiency and renewable energy integration in data centres. Strategies and modelling review”, *Renew.Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 429–445, 2015.

[27] M. Arregoces, & M. Portolani, *Data center fundamentals*. Published by: Cisco Press, 2004.

[28] Data Science Series, "Digital universe will grow to 40ZB in 2020, with a 62% share for emerging markets." Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-universe-mayur-agnihotri> [accessed 7/11/2022], 2015.

[29] Arizton: “Data Center Market - Global Outlook and Forecast 2018-2023”, Available at: <https://www.arizton.com/market-reports/global-data-center-market/snapshots> [accessed 7/11/2022].

[30] ICT Price: “Top 10 biggest data centres from around the world”, Available at: <http://ict-price.com/top-10-biggest-data-centres-from-around-the-world/> [accessed 7/11/2022], 2020.

[31] D. Tim & D. N. Pham, “Data Centers: Jobs and Opportunities in Communities Nationwide”, U.S. Chamber of Commerce Technology Engagement Center, 2017.

[32] A., Mike, “Data Center Standards: Size and Density,” The Strategic Directions Group Pty Ltd. *Apple Facilities: Environmental Footprint Report*, 2014.

[33] M. Stansberry, “Explaining the Uptime Institute’s Tier Classification System”, Uptime Institute, Available at: <https://journal.uptimeinstitute.com/explaining-uptime-institutes-tier-classification-system> [accessed 7/11/2022], 2016.

[34] J. Mitchell Jackson, J.G. Koomey, B. Nordman & M. Blazek, “Data center power requirements: measurements from Silicon Valley”, *Energy-Int. J.*, vol. 28, pp. 837-850, 2003.

[35] Align. “Evaluating Data Center Cabinet Power Density (Part 1)”, Available at: <https://www.align.com/blog/evaluating-data-center-power-density-part-1>, [accessed 9/11/2022], 2022.

[36] K. Brown, W. Torell, V. Avelar, “Choosing the Optimal Data Center Power Density”, White paper, n. 156, Schneider Electric, 2014.

49

[37] Silverback. “Data center rack standards, 19-Inch Rack” Available at: <https://teamsilverback.com/knowledge-base/data-center-rack-standards> [accessed 9/11/2022],, 2022.

- [38] P. Hu & W. Zhou, “How to Choose an IT Rack”, White Paper 201, Schneider Electric, 2015.
- [39] Rack solutions, “Server Rack Sizes: Understanding the Differences” Available at: <https://www.racksolutions.com/news/blog/server-rack-sizes> accessed 8/11/2022], 2020.
- [40] C. Wu, & R. Buyya, Cloud Data Centers and Cost Modeling: A Complete Guide To Planning, Designing and Building a Cloud Data Center, Publisher: Morgan Kaufmann; 1st edition, 2015.
- [41] SK. Uzaman, J. Shuja, T. Maqsood, F. Rehman, & S. Mustafa, “A Systems Overview of Commercial Data Centers: Initial Energy and Cost Analysis”, International Journal of Information Technology and Web Engineering (IJITWE), vol. 14, n. 1, pp. 42-65, 2019.
- [42] F.A. Feltus, et al. “The Widening Gulf between Genomics Data Generation and Consumption: A Practical Guide to Big Data Transfer Technology.” Bioinformatics and biology insights, vol. 9, n. 1, pp. 9-19, 2015.
- [43] T.Fisher, "What Is a Router and How Does It Work? Everything to know about setting up your residential gateway", Available at: <https://www.lifewire.com/what-is-a-router-2618162> [accessed 12/11/2022], 2021.
- [44] J.Tyson, “How LAN Switches Work”, Available at: <https://computer.howstuffworks.com/lan-switch.htm> [accessed 12/11/2022], 2022.
- [45] C. L., Schuba, Addressing Weaknesses in the Domain Name System Protocol, Purdue University, Department of Computer Sciences, 1994.
- [46] A. Voronkov, “Usability of Firewall Configuration Making the Life of System Administrators Easier”, DOCTORAL THESIS, Karlstad University, Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1397771/FULLTEXT02.pdf> [accessed 14/11/2022], 2020.
- [47] Juniper Networks,” Integrating firewall services in the data center network architecture using SRX series services gateway”, Available at: https://supportportal.juniper.net/s/article/INTEGRATING-FIREWALL-SERVICES-IN-THE-DATA-CENTER-NETWORK-ARCHITECTURE-USING-SRX-SERIES-SERVICES-GATEWAY?language=en_US [accessed 14/11/2022], 2009.
- [48] S. Yang, “LOAD BALANCING IN SWITCH NETWORKS”, DOCTORAL THESIS, Georgia Institute of Technology, 2018.

- [49] I. Keslassy, "THE LOAD-BALANCED ROUTER", DOCTORAL THESIS, Stanford University, 2004.
- [50] Belden, "Data Center Cabling Guide", Available at: https://beldensolutions.com/en/Solutions-Markets-temp/Data_Centers_New/Main_Distribution/DataCenterCablingGuide/index.phtml [accessed 14/11/2022], 2022.
- [51] N. Rasmussen, "Raised Floors vs Hard Floors for Data Center Applications", White Paper 19, Schneider Electric, 2014.
- [52] Juniper Networks, "Data Center LAN Connectivity Design Guide: Design Considerations for the High-performance Enterprise Data Center LAN", Available at: http://docs.media.bitpipe.com/io_10x/io_105187/item_544348/Data%20Center%200LAN%20Connectivity%20Design%20Guide.pdf [accessed 14/11/2022], 2011.
- [53] Cisco Systems, Inc., "Datacenter Core and Aggregation Design", Available at: <https://community.cisco.com/t5/data-center-and-cloud-knowledge-base/datacenter-core-and-aggregation-design/ta-p/3135946> [accessed 14/11/2022], 2012.
- [54] Cisco Systems, Inc., "Data Center Infrastructure 2.5 Design Guide", Available at: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Data_Center/DC_Infra2_5/DCI_SRND_2_5a_book.html [accessed 14/11/2022], 2011.
- [55] Cisco Systems, Inc., "Collapsed Data Center and Campus Core Deployment Guide, Cisco Nexus 7000 Supplemental", Available at: https://www.cisco.com/c/dam/global/en_ca/solutions/strategy/docs/sbaGov_nexus7000Dguide_new.pdf [accessed 14/11/2022], 2010.
- [56] C. DiMinico, "Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers - ANSI/TIA-942." IEEE 802.3 HSSG, Available at: https://www.ieee802.org/3/hssg/public/nov06/diminico_01_1106.pdf. [accessed 14/11/2022], 2013.
- [57] V. Avelar, "Guidelines for Specifying Data Center Criticality / Tier Levels", White Paper 122, APC (Schneider Electric), 2007.
- [58] S. Chalise, A., Golshani, S. R., Awasthi, S., Ma, B. R., Shrestha, L., Bajracharya, W. Sun, & R. Tonkoski, "Data Center Energy Systems: Current Technology and Future Direction", Conference: IEEE Power & Energy Society General Meeting, Denver, CO, 2015.

- [59] T. Miyamura, A. Misawa, & J. Kane, "Resource optimization of optical aggregation network for efficient software-defined datacenters", *Optical Switching and Networking*, Vol. 32, pp. 41-50, 2019.
- [60] R. Mijumbi, J. Serrat, J. Gorricho, N. Bouten, F. De Turck, R. Boutaba, "Network function virtualization: state-of-the-art and research challenges", *Commun. Surv. Tutorials*, IEEE, pp. 236-262, 2015.
- [61] M. M. Kabir Chowdhury, M. Raihan Rahman, R. Boutaba, "Virtual network embedding with coordinated node and link mapping", *Proc. INFOCOM 2009*, pp. 783-791, 2009.
- [62] A. Thyagaturu, A. Mercian, M. P. McGarry, M. Reisslein, "Wolfgang Kellerer, Software defined optical networks (SDONs): a comprehensive survey", *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, 18 (4), pp. 2738-2786, 2016.
- [63] R. P. Davey, D. B. Grossman, M. Rasztoivits-Wiech, D. B. Payne, D. Nessel, A.E. Kelly, A. Rafel, S. Appathurai, S. Yang, "Long-reach passive optical networks", *IEEE J. Lightwave Technol.*, 27 (3), pp. 273-291, 2009.
- [64] K. Hattori, T. Homemoto, M. Nakagawa, N. Kimishima, M. Katayama, A. Misawa, "Optical layer 2 switch network with bufferless optical TDM and dynamic bandwidth allocation", *IEICE Trans. Electron.*, E99.C (2), pp. 189-202, 2016.
- [65] E. Yetginer, E. Karasan, "Dynamic wavelength allocation in IP/WDM metro access networks", *IEEE J. Sel. Area. Commun.* 26 (3), 13–27, 2008.
- [66] P.J. Urban, B. Huiszoon, R. Roy, M.M. de Laat, F.M. Huijskens, E.J. Klein, G.D. Khoe, A.M.J. Koonen, H. deWaardt, "High-bit-rate dynamically reconfigurable WDM-TDM access network", *J. Opt. Commun. Netw.* 1 (2), 2009.
- [67] Cristina Rottondi, Massimo Tornatore, Giancarlo Gavioli, "Optical ring metro networks with flexible grid and distance-adaptive optical coherent transceivers", *Bell Labs Tech. J.* 18 (3), 95–110, 2013.
- [68] M. Ruffini, et al., "Access and metro network convergence for flexible end-to-end network design", *J. Opt. Commun. Netw.* 9 (6) (Jun. 2017).
- [69] IEEE P802.3av "Task Force, 10Gb/s Ethernet Passive Optical Network", <http://www.ieee802.org/3/av/>.
- [70] Russell, P. Davey, Daniel B. Grossman, Michael Rasztoivits-Wiech, David B. Payne, Derek Nessel, A.E. Kelly, Albert Rafel, Shamil Appathurai, Sheng-Hui Yang, "Long-reach passive optical networks", *IEEE J. Lightwave Technol.* 27 (3), 273–291, 2009.

- [71] R. Ahlswede, Ning Cai, Shuo-Yen Robert Li, Raymond W. Yeung, "Network information flow", *IEEE Trans. Inf. Theor.* 46 (4),2000.
- [72] A. Kotsugai, T. Sato, H. Takeshita, S. Okamoto, N. Yamanaka, "TDMA-based OLT sharing method to improve disaster tolerance in Elastic Lambda Aggregation Network", in: *Proc. ECOC 2014*, pp. 1–3, 2014.
- [73] D. Carey, N. Brandonisio, S. Porto, A. Naughton, P. Ossieur, N. Parsons, G. Talli, P. Townsend, "Dynamically reconfigurable TDM-DWDM PON ring architecture for efficient rural deployment", in: *Proc. ECOC 2016*.
- [74] T. Lin, Z. Zhou, M. Tornatore, B. Mukherjee, "Demand-Aware network function placement", *IEEE Lightwave Technol. J.* 34, 2590–2600, 2016.
- [75] T. Sridhar., "Layer 2 and Layer 3 Switch Evolution". *cisco.com. The Internet Protocol Journal. Cisco Systems*, 1998.
- [76] W. Hawe, A. Kirby, A. Lauck, "An Architecture for Transparently Interconnecting IEEE 802 Local Area Networks", technical paper submitted to the IEEE 802 committee, document IEEE-802.85*1.96, SanDiego CA, 1984.
- [77] R. J. Kohlhepp (2000-10-02). " The 10 Most Important Products of the Decade Number 5: Kalpana EtherSwitch. Available at: https://web.archive.org/web/20100105152318/http://www.networkcomputing.com/1119/1119f1products_5.html [accessed 22/11/2022], 2000.
- [78] ISCAS Atlanta, "1996 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Circuits and Systems Connecting the World. ISCAS 96," 1996 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=541536&isnumber=11197> [accessed 22/11/2022,1996.
- [79] N. Weste, D. Harris (Author) *CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective* (4 ed.), Publisher : Pearson; 4th edition, 2010.
- [80] IEEE 802.3 NGOATH SG, Adopted Changes to 802.3bs Project Objectives, Available at: https://www.ieee802.org/3/bs/NGOATH_3bs_Objectives_16_0122.pdf [accessed 22/11/2022].
- [81] P. C. Jain, "Recent trends in next generation terabit Ethernet and gigabit wireless local area network". 2016 International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC). IEEE. pp. 106–110.

doi:10.1109/ICSPCom.2016.7980557. ISBN 978-1-5090-2684-5. S2CID
25506683, 2016.

[82] M. Feldman, "Facebook Dreams of Terabit Ethernet". HPCwire. Tabor
Communications, Inc., 2010.