



# Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

## Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Δικτυακές Υποδομές Υπολογιστικής Νέφους Networking Infrastructure in Cloud Computing
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Παντελιού Μαρία
Πατρώνυμο	Γεώργιος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ12056
Επιβλέπων	Χρήστος Δουληγέρης

Ημερομηνία Παράδοσης Οκτώβριος 2016

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Όνομα Επώνυμο  
Βαθμίδα

Όνομα Επώνυμο  
Βαθμίδα

Όνομα Επώνυμο  
Βαθμίδα

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δουληγέρη για τις παρατηρήσεις και πάντα εύστοχες επισημάνσεις του καθώς και την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου έχει δώσει όλα αυτά τα χρόνια.

## Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων.....	6
Περίληψη .....	8
Abstract.....	9
Εισαγωγή.....	10
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στο Υπολογιστικό Νέφος.....	11
1.1 Ορισμός cloudcomputing.....	11
1.2 Αρχιτεκτονική cloud computing.....	12
1.3 Χαρακτηριστικά cloud computing .....	13
1.4 Κατηγορίες cloud computing .....	15
1.5 Επίπεδα υπηρεσιών cloud computing.....	21
1.5.1 Infrastructure as a Service (IaaS) .....	22
1.5.2 Platform as a Service (PaaS).....	24
1.5.3 Software as a Service (SaaS) .....	25
Κεφάλαιο 2: Δίκτυα Υπολογιστών .....	27
2.1 Εισαγωγή.....	27
2.2 Πακέτα .....	28
2.3 Τοπολογίες δικτύων.....	29
2.3.1 Εισαγωγή.....	29
2.3.2 Τοπολογία Σημείου προς Σημείου (Point-to-Point).....	29
2.3.3 Τοπολογία Δίαυλου (Bus) .....	30
2.3.4 Τοπολογία Αστέρα (Star) .....	32
2.3.5 Τοπολογία Δακτυλίου (Ring).....	35
2.3.6 Τοπολογία Δένδρου (Tree) .....	36
2.3.7 Υβριδική Τοπολογία.....	37
2.4 TCP/IP δίκτυα.....	38
2.4.1 Εισαγωγή.....	38
2.4.2 Επίπεδα TCP / IP .....	39
Κεφάλαιο 3: InterconnectionNetworks .....	43
3.1 Εισαγωγή.....	43
3.2 Χαρακτηριστικά διασυνδεδεμένων δικτύων.....	44

3.2.1 Λειτουργία δικτύου .....	45
3.2.2 Μετάδοση δεδομένων.....	45
3.3 Τοπολογίες Διασυνδεδεμένων Δικτύων.....	49
3.3.1 Στατικές τοπολογίες δικτύων.....	51
3.3.2 Δυναμικές τοπολογίες δικτύων .....	62
Κεφάλαιο 4: Cloud Networking .....	68
4.1 Εισαγωγή.....	68
4.2 Αρχιτεκτονική CloudNetworking και κέντρα δεδομένων .....	72
4.3 Cloud-EnabledNetworking (CEN) .....	76
4.4 Cloud-Based Networking (CBN) .....	77
4.5 Σύγκριση Cloud-Enabled Networking και Cloud-Based Networking .....	78
4.6 Λειτουργικότητα .....	79
4.7 Τεχνολογίες NaaS.....	82
4.8 Πλεονεκτήματα του NaaS .....	87
4.9 Προκλήσεις – Μειονεκτήματα.....	91
4.10 Εξέλιξη του CloudNetworking.....	92
Συμπεράσματα – Μελλοντικές Κατευθύνσεις.....	94
Βιβλιογραφία .....	95

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Σύνδεση χρηστών στο υπολογιστικό νέφος .....	12
Εικόνα 2: Η αρχιτεκτονική πίσω από ένα cloudcomputing σύστημα .....	13
Εικόνα 3: Κατηγορίες Cloud σε σχέση με τις υποδομές .....	15
Εικόνα 4: Public Cloud. Πηγή: Tutorials Point.....	17
Εικόνα 5: Το ιδιωτικό νέφος χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο από μία επιχείρηση ή έναν οργανισμό. Πηγή: Cisco .....	18
Εικόνα 6: Hybrid cloud. Πηγή: nsk inc .....	19
Εικόνα 7: Community Cloud. Πηγή: Tutorials Point .....	21
Εικόνα 8: Υπηρεσίες cloud computing.....	22
Εικόνα 9: Μοντέλο Infrastructure as a Service. Πηγή: TutorialsPoint.....	23
Εικόνα 10: Μοντέλο Platform as a Service (PaaS). Πηγή: TutorialsPoint .....	24
Εικόνα 11: Μεταφοράπακέτων. Πηγή: Introduction to Networking, Charles Severance .....	28
Εικόνα 12: Η μορφή ενός πακέτου. Πηγή: An Introduction to Computer Networks, Peter L Dordal .....	29
Εικόνα 13: Τοπολογία διαύλου. Πηγή: Wikipedia .....	30
Εικόνα 14: Γραμμικός Δίαυλος. Πηγή: Buzzle.....	31
Εικόνα 15: Κατανεμημένος Δίαυλος. Πηγή: Buzzle. ....	32
Εικόνα 16: Τοπολογία αστερίου με 5 υπολογιστές. Πηγή: Wikipedia .....	33
Εικόνα 17: Τοπολογία Εκτεταμένου Αστήρα. Πηγή: DITEC. ....	34
Εικόνα 18: Τοπολογία Κατανεμημένου Αστήρα. Πηγή: Buzzle. ....	34
Εικόνα 19: Τοπολογία δακτυλίου. Πηγή: Wikipedia.....	35
Εικόνα 20: Τοπολογία δένδρου. Πηγή: Wikipedia.....	36
Εικόνα 21: Παράδειγμα Υβριδικής Τοπολογίας. Πηγή: ecomputernotes .....	37
Εικόνα 22: Σχέση μοντέλου OSI και TCP/IP .....	39
Εικόνα 23: Μοντέρνος πολυεπεξεργαστής. Πηγή: WayneStateUniversity .....	43
Εικόνα 24: Μορφήπακέτου. Πηγή: Carnegie Mellon University, School of Computer Science .....	46
Εικόνα 25: Store and Forward δρομολόγηση. Πηγή: McGill, School of Computer Science .....	47
Εικόνα 26: Flits (Flow Control digits). Πηγή: Massachusetts Institute of Technology.....	48
Εικόνα 27: Cut-through δρομολόγηση. Πηγή: McGill, School of Computer Science .....	48
Εικόνα 28: Στατικήτοπολογία. Πηγή: Massachusetts Institute of Technology.....	50
Εικόνα 29: Δυναμικήτοπολογία. Πηγή: Massachusetts Institute of Technology .....	50
Εικόνα 30: Στατική και δυναμική διάταξη διασυνδεδεμένων δικτύων. Πηγή: Wayne State University ...	51
Εικόνα 31: Διαμοιραζόμενος δίαυλος μεταξύ μηνμών και επεξεργαστών. Πηγή: CarnegieMellonUniversity, SchoolofComputerScience .....	52
Εικόνα 32: Δίκτυο βασισμένο σε διαμοιράζομενο δίαυλο. Πηγή: WayneStateUniversity .....	53
Εικόνα 33: Γραμμική διάταξη. Πηγή: SouthernIllinoisUnivercity .....	53
Εικόνα 34: Διάταξη δακτυλίου με 5 κόμβους. Πηγή: SouthernIllinoisUnivercity .....	54

Εικόνα 35: Διαδικό δέντρο. Πηγή: GameTheoryLab .....	55
Εικόνα 36: Fat Tree. Πηγή: Southern Illinois University .....	56
Εικόνα 37: Fat Tree. Πηγή: University of Michigan .....	57
Εικόνα 38: Δισδιάστατο πλέγμα με $N=36$ . Πηγή: Πηγή: Carnegie Mellon University, School of Computer Science .....	58
Εικόνα 39: Δρομολόγηση πακέτου σε διασδιάστατο πλέγμα με $N=16$ . Πηγή: Southern Illinois University .....	59
Εικόνα 40: Ένα Ιλλιας δίκτυο με $N = 16$ . Πηγή: SouthernIllinoisUniversity .....	59
Εικόνα 41: Torus $N = 16$ . Πηγή: Southern Illinois University .....	60
Εικόνα 42: Ένας τριών διαστάσεων κύβος. Πηγή: SouthernIllinoisUniversity .....	61
Εικόνα 43: 3-ary 3-cube δίκτυο. Πηγή: Southern Illinois University.....	62
Εικόνα 44: Crossbar δίκτυο. Πηγή: Southern Illinois University.....	63
Εικόνα 45: Δυναμικό ανάλογο ενός crossbar δικτύου. Πηγή: WayneStateUniversity.....	64
Εικόνα 46: Τέσσερεις πιθανοί τρόποι σύνδεσης. Πηγή: Southern Illinois University .....	65
Εικόνα 47: Μορφήμηνύματος. Πηγή: Philadelphia University.....	66
Εικόνα 48: Σχηματική αναπαράσταση multi-stage δικτύων. Πηγή: WayneStateUniversity.....	67
Εικόνα 49: Αφηρημένη αρχιτεκτονική CloudNetworking. Πηγή: HEAnet - Ireland's National Research & Education Network .....	72
Εικόνα 50: Αρχιτεκτονική ενός Υπολογιστικού Νέφους. Πηγή: HEAnet - Ireland's National Research & Education Network .....	73
Εικόνα 51: Βασικό μοντέλο CloudNetworking. Πηγή: HEAnet - Ireland's National Research & Education Network .....	80
Εικόνα 52: Αρχιτεκτονική NaaS σε ένα κέντρο δεδομένων. Πηγή: NaaS: Network-as-a-Service in the Cloud [31].....	84
Εικόνα 53: Μορφές LANaaS. Πηγή: Cisco .....	86
Εικόνα 54: Μορφές IWANAaaS. Πηγή: Cisco .....	87

## Περίληψη

Το cloud computing είναι μια τεχνολογία που έχει κάνει την εμφάνισή της τα τελευταία χρόνια και δίνει την δυνατότητα σε οργανισμούς και επιχειρήσεις να επεκτείνουν την τρέχουσα υποδομή τους χωρίς μεγάλο επιπλέον κόστος. Για παράδειγμα, προσφέρει λύσεις αποθήκευσης καθώς και το υλικό που απαιτείται για την ανάπτυξη της εφαρμογής.

Πρόσφατα, η χρήση του υπολογιστικού νέφους έχει επικρατήσει και στο χώρο των δικτύων. Έτσι, έχει προκύψει ο όρος cloud networking. Με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας, τα δίκτυα αποκτούν υψηλή ανθεκτικότητα, ενώ μπορούν να χρησιμοποιούνται από πολλαπλούς χρήστες. Τέλος οι επιχειρήσεις δεν χρειάζεται να επενδύσουν σε επιπλέον εξοπλισμό δικτύου.

Σε αυτή την διπλωματική εργασία, θα αναπτύξουμε όλα τα παραπάνω θέματα, θα αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά τους, την χρησιμοποιούμενη αρχιτεκτονική, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Για να υπάρχει μία πλήρης εικόνα, γίνεται αναφορά επίσης σε δίκτυα υπολογιστών και διασυνδεδεμένα δίκτυα.



## Abstract

The cloud computing is a new technology in the area of computers. This enables the organizations and the companies to expand their current infrastructure without any great additional cost. For example, the cloud computing offers storage solutions and all the materials needed to develop any application.

Recently, the use of the cloud computing has prevailed also in the networks. Thus, the term cloud networking has emerged. By using this technology, the networks acquire a high resistance, while supporting multi-tenancy. Finally, the companies do not need to invest in no extra network equipment.

In this thesis, we will analyze all of these aspects. We mention the characteristics of cloud computing and cloud networking. Also, we refer to the architecture used, their advantages and their disadvantages. In order to have a full scope, we refer to computer networks and interconnection networks.

## Εισαγωγή

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το υπολογιστικό νέφος και η παροχή δικτύων μέσω αυτού.

Για να αναπτυχθεί πλήρως αυτό το θέμα, αρχικά, αναφερόμαστε στο υπολογιστικό νέφος (cloud computing). Δίνουμε ένα πλήρη ορισμό και την αρχιτεκτονική του. Επιπλέον, αναφερόμαστε στα χαρακτηριστικά του και τις κατηγορίες του (δημόσιο, ιδιωτικό, υβριδικό και κοινοτικό νέφος). Τέλος, αναφέρουμε τρία διαφορετικά μοντέλα προσφερόμενων υπηρεσιών, τα οποία είναι IaaS, PaaS και SaaS, με τα πλεονεκτήματά τους και τα μειονεκτήματά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, κάνουμε μια αναφορά στα δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, αναλύουμε τη μεταφορά δεδομένων και τις τοπολογίες δικτύων. Τέλος αναφερόμαστε στα TCP / IP δίκτυα.

Στο επόμενο κεφάλαιο, αναπτύσσουμε τα διασυνδεδεμένα δίκτυα. Αρχικά, δίνουμε ένα σύντομο ορισμό και μελετάμε τη λειτουργία τους. Στη συνέχεια, αναφέρουμε τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Τέλος αναπτύσσουμε τις διαφορετικές τοπολογίες των διασυνδεδεμένων δικτύων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφερόμαστε στο cloud networking. Αναλύουμε την αρχιτεκτονική του και τα διαφορετικά είδη που υπάρχουν. Κάνουμε μια αναφορά σε τεχνολογίες που έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται. Καταλήγουμε με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του cloud networking αλλά και την μελλοντική του εξέλιξη.

Στο τέλος, παραθέτουμε συμπεράσματα και μελλοντικές κατευθύνσεις καθώς και όλες τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της εργασίας αυτής.

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στο Υπολογιστικό Νέφος

Η εισαγωγή της έννοιας του cloudcomputing στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών αποτελεί ίσως ένα από τα σημαντικότερα ορόσημα αυτού του κλάδου. Κατάφερε να μετατρέψει ένα μεγάλο μέρος της βιομηχανίας της πληροφορικής, καθιστώντας το λογισμικού (software) ως υπηρεσία ακόμα πιο ελκυστική, αλλά και να διαμορφώσει τον τρόπο που σχεδιάζεται και πωλείται το υλικό (hardware).

Το cloudcomputing αναμφίβολα χρησιμοποιείται τόσο από προγραμματιστές όσο και από τους απλούς χρήστες. Οι προγραμματιστές, από τη μία, μπορεί να αναπτύσσουν νέες ιδέες χωρίς να χρειάζεται να ανησυχούν για τα επιπλέον έξοδα λόγω του εξοπλισμού και τη σπατάλη πόρων, που μπορεί να συνεπάγεται η ανάπτυξη λογισμικού. Από την άλλη, οι απλοί χρήστες μπορεί για παράδειγμα, να αποθηκεύουν online τις φωτογραφίες τους στο cloudκαι να έχουν πρόσβαση σε αυτές από οπουδήποτε μέσω διαδικτύου.

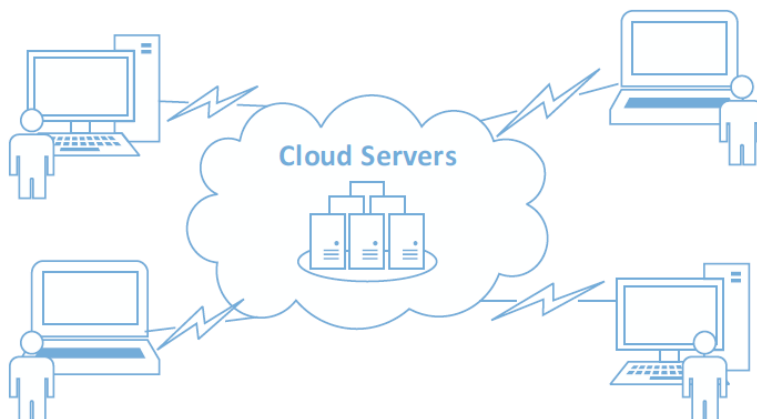
### 1.1 Ορισμός cloudcomputing

Σαν cloudcomputing αναφέρεται η κατ' απαίτηση χρήση εφαρμογών που παρέχονται σαν υπηρεσίες και η χρήση υπολογιστικών πόρων μέσω ενός δημόσιου δικτύου ή μέσω του Διαδικτύου. Συγκεκριμένα, το cloudcomputing επιτρέπει σε άτομα και επιχειρήσεις να χρησιμοποιούν λογισμικό και υλικό, από μία 'πηγή' κοινόχρηστων εύκολων προσαρμόσιμων πόρων, που μπορεί να διαχειρίζονται από τρίτους σε απομακρυσμένες περιοχές. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα cloudcomputing είναι η online αποθήκευση αρχείων, οι ιστότοποι κοινωνικής δικτύωσης, το webmail και η απευθείας πρόσβαση σε επιχειρηματικές εφαρμογές. Στο cloudcomputing επιτρέπεται η πρόσβαση σε πληροφορίες και πόρους ηλεκτρονικών υπολογιστών από οπουδήποτε είναι διαθέσιμη μία σύνδεση δικτύου.

Το κλειδί για τον ορισμό του cloudcomputing είναι η λέξη cloud. Με τη λέξη cloud εννοούμε μία μεγάλη ομάδα διασυνδεδεμένων υπολογιστών. Οι υπολογιστές του cloud, μπορεί να

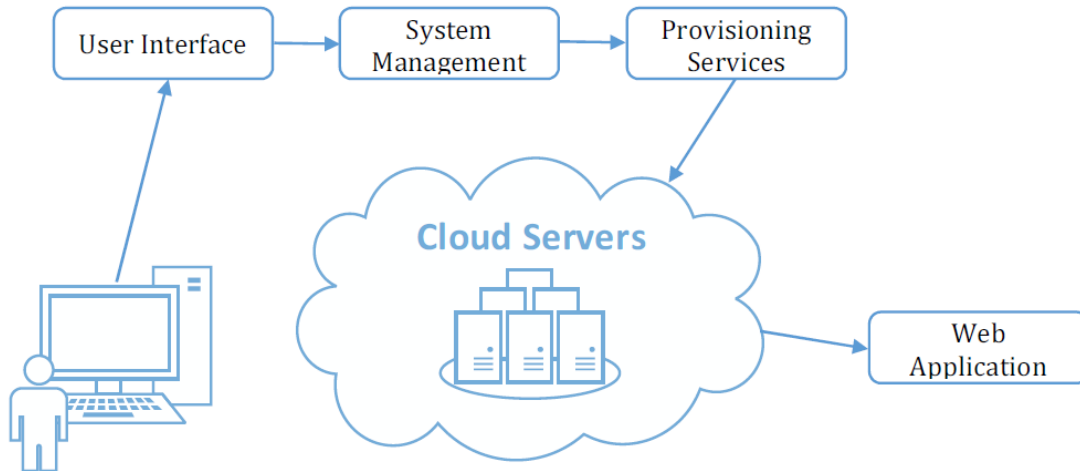
αποτελούνται από απλούς προσωπικούς υπολογιστές ή διακομιστές δικτύου που μπορεί να είναι είτε δημόσιοι είτε ιδιωτικοί.

## 1.2 Αρχιτεκτονική cloud computing



Εικόνα 1: Σύνδεση χρηστών στο υπολογιστικό νέφος

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, ανεξάρτητοι χρήστες μπορεί να συνδέονται στο cloud μέσω μίας υπολογιστικής μηχανής, όπως προσωπικοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, tablets κ.α. και του διαδικτύου. Οι χρήστες βλέπουν το νέφος σαν μια απλή εφαρμογή, ένα αρχείο ή μία συσκευή. Το υλικό και το λειτουργικό σύστημα που διαχειρίζεται την σύνδεση μεταξύ των διαφόρων συσκευών στο νέφος είναι αόρατο προς τον χρήστη. Αυτή η αρχιτεκτονική cloud είναι απληλά απλή, στην πραγματικότητα απαιτείται κάποια έξυπνη διαχείριση τόσο για την δισύνδεση των ηλεκτρονικών υπολογιστών μεταξύ τους αλλά και τη διαχείριση του πλήθους των χρηστών του cloud.



Εικόνα 2: Η αρχιτεκτονική πίσω από ένα cloud computing σύστημα

Σύμφωνα με την Εικόνα 2, όλα ξεκινούν με ένα περιβάλλον που παρουσιάζεται στους μεμονωμένους χρήστες (front-end). Μέσω αυτού, οι χρήστες επιλέγουν μια εργασία ή υπηρεσία. Το αίτημα του χρήστη, στη συνέχεια περνά από τη διαχείριση του συστήματος, η οποία βρίσκει τους σωστούς πόρους και καλεί τις κατάλληλες υπηρεσίες παροχής του συστήματος. Οι υπηρεσίες αυτές υποδεικνύουν τους αναγκαίους πόρους στο cloud και ξεκινούν την κατάλληλη εφαρμογή. Αν η εφαρμογή που έχει ζητηθεί, για παράδειγμα, είναι μια web εφαρμογή, όταν η εφαρμογή ξεκινάει, εκκινούν οι διαδικασίες παρακολούθησης και μέτρησης του συστήματος σχετικά με τη χρήση του cloud, έτσι ώστε οι σωστοί πόροι να κατανοηθούν και να αποδοθούν στους χρήστες. Όλα τα παραπάνω γίνονται μέσω την αυτοματοποίηση πολλών εργασιών διαχείρισης.

### 1.3 Χαρακτηριστικά cloud computing

Τα χαρακτηριστικά του cloud computing είναι τα ακόλουθα:

- Υπηρεσίες κατ' απαίτηση (on-demand self-service): κάθε πελάτης μπορεί να αλλάξει τις πληροφορίες που του παρέχονται αυτόματα, όπως για παράδειγμα, την ώρα του server ή τον διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση από τους

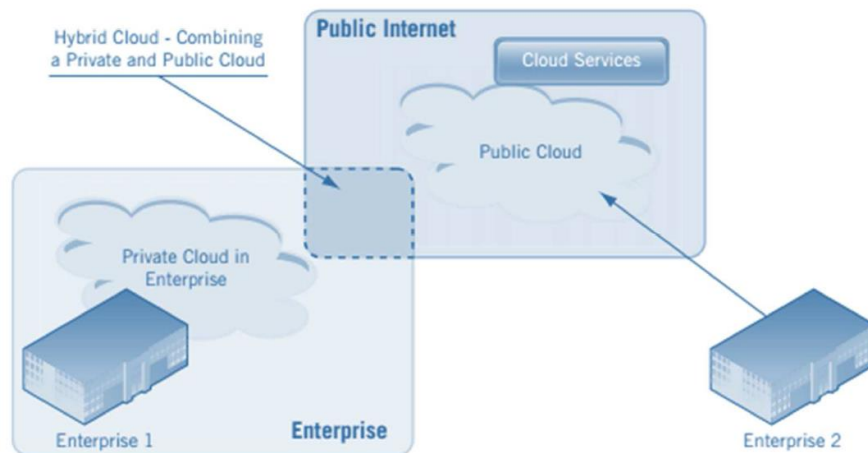
διαχειριστές του cloud. Επιπλέον, μπορεί να δεσμεύονται ή να αποδεσμεύονται διαθέσιμοι υπολογιστικοί και αποθηκευτικοί πόροι χωρίς επίσης να απαιτείται ανθρώπινη επέμβαση.

- Ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο (broadnetworkaccess): αρκετές δυνατότητες είναι διαθέσιμες μέσω του δικτύου χρησιμοποιώντας τυποποιημένους μηχανισμούς οι οποίοι είναι προσβάσιμοι από διαφορετικές πλατφόρμες όπως κινητά τηλέφωνα, tablets και φορητούς υπολογιστές.
- Διαμοιρασμός κοινόχρηστων πόρων (resourcepooling): οι υπολογιστικοί πόροι του παρόχου χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετήσουν πολλούς διαφορετικούς καταναλωτές ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας το μοντέλο πολλαπλής ενοικίασης (multi-tenant). Πολλαπλοί χρήστες δεσμεύουν και αποδεσμεύουν τους φυσικούς και εικονικούς πόρους δυναμικά ανάλογα με τις στιγμιαίες απαιτήσεις. Οι χρήστες, συχνά, δεν γνωρίζουν την ακριβή τοποθεσία των παρεχόμενων πόρων, αλλά μπορεί να είναι σε θέση να προσδιορίσει την τοποθεσία σε ένα υψηλό επίπεδο αφαίρεσης, όπως για παράδειγμα χώρα ή κράτος. Παραδείγματα διαθέσιμων πόρων περιλαμβάνουν την αποθήκευση, την επεξεργασία, τη μνήμη και το εύρος ζώνης του δικτύου. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα, αυτού του χαρακτηριστικού είναι ότι οι χρήστες δεν επιβαρύνονται με το αρχικό κόστος απόκτησης του υλικού αλλά πληρώνουν μόνο για όσους πόρους χρειάζονται. Από την άλλη, ο πάροχος έχει μεγαλύτερα κέρδη προσφέροντας χαμηλότερες τιμές και δίνοντας κοινούς πόρους σε πολλούς πελάτες.
- Άμεση διαβάθμιση πόρων (rapidelasticity): δίνεται η δυνατότητα αύξησης ή μείωσης των χρησιμοποιούμενων πόρων, σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτόματα, για γρήγορη κλιμάκωση ανάλογα με τη ζήτηση. Από τη μεριά του πελάτη, οι διαθέσιμες δυνατότητες για τροφοδότηση πόρων συχνά φαίνονται απεριόριστες αφού μπορεί να διατίθενται σε οποιαδήποτε ποσότητα ανά πάσα στιγμή.
- Μετρήσιμες υπηρεσίες (measuredservices): στο cloudcomputingεπιτρέπεται ο αυτόματος έλεγχος και η βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων μέσω της δυνατότητας μέτρησης. Η μέτρηση είναι σε πολλές περιπτώσεις αφαιρετική ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας (π.χ. αποθήκευση, επεξεργασία, εύρος ζώνης και ενεργοί λογαριασμοί χρηστών). Η χρησιμοποίηση των πόρων μπορεί να παρακολουθείται τόσο από τον πάροχο όσο και από τον καταναλωτή, ώστε να υπάρχει διαφάνεια.

- Πληρωμή σύμφωνα με τη χρήση (metered billing): όλο το κόστος του αρχικού εξοπλισμού και των υποδομών επιβαρύνει τον πάροχο. Ο χρήστης πληρώνει ανάλογα με τη χρήση που κάνει και εξαρτάται από το είδος των δραστηριοτήτων και το είδος των διαθέσιμων υποδομών που χρησιμοποιεί.
- Εικονικοποίηση (virtualization): Επιτρέπει την κοινή χρήση των servers και των συσκευών αποθήκευσης και την αύξηση ή μείωση με βάση τις απαιτήσεις. Οι εφαρμογές μπορεί εύκολα να μεταφερθούν από ένα φυσικό server στον άλλο.

## 1.4 Κατηγορίες cloud computing

Στη συνέχεια, θα γίνει η κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών cloud ανάλογα με τις υποδομές που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα εντοπίζονται τέσσερα είδη cloud computing, το public cloud, το private cloud, το community cloud και το hybrid cloud, το οποίο αποτελεί ένα συνδυασμό των δύο πρώτων.



Εικόνα 3: Κατηγορίες Cloud σε σχέση με τις υποδομές

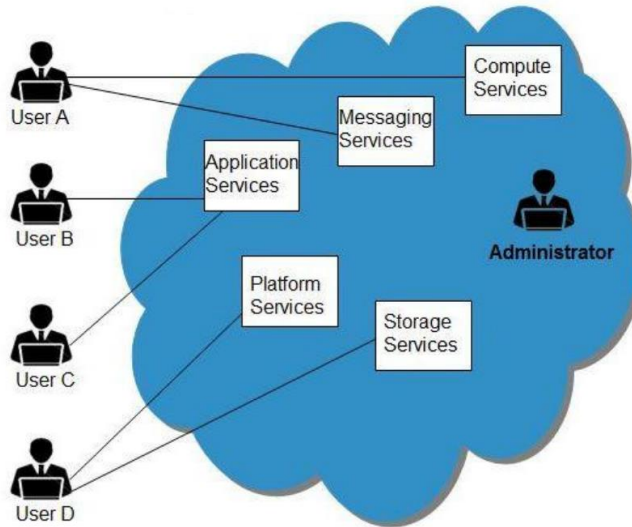
## Δημόσιο νέφος (Publiccloud)

Η υποδομή και τα μηχανήματα σε αυτό το μοντέλο cloud είναι ελεύθερα να χρησιμοποιηθούν από το ευρύ κοινό με τη χρήση απλά και μόνο μίας σύνδεσης διαδικτύου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν μία υπηρεσία e-mail ή μια σελίδα κοινωνικής δικτύωσης (facebook, twitter). Οι υπηρεσίες μπορεί να παρέχονται ή όχι δωρεάν, ενώ μπορεί να ανήκουν, να διαχειρίζονται και να λειτουργούν σε μια επιχείρηση, έναν ακαδημαϊκό ή κρατικό φορέα, ή ακόμα και σε ένα συνδυασμό αυτών των δύο. Οι υποδομές βρίσκονται στις εγκαταστάσεις του παρόχου. Μερικά παραδείγματα του δημόσιου νέφους περιλαμβάνουν το AmazonElasticComputeCloud (EC2), το BlueCloud της IBM, το SunCloud, το GoogleAppEngine και το WindowsAzureServicesPlatform.

Κάποια από τα οφέλη του μοντέλου αυτού είναι αρχικά το χαμηλό κόστος (costeffective) από τον διαμοιρασμό των κοινών πόρων σε πολλούς πελάτες. Επιπλέον, προσφέρει αξιοπιστία (reliability), καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελείται από μεγάλο αριθμό πόρων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία. Ως αποτέλεσμα, εάν κάποιος από τους πόρους αποτύχει, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος από τους υπόλοιπους. Παρέχει, επίσης, ευελιξία (flexibility), αφού όπως θα δούμε στη συνέχεια μπορεί να συνδυαστεί αποτελεσματικά με το μοντέλο του ιδιωτικού νέφους, προσφέροντας στους καταναλωτές μια ευέλικτη προσέγγιση. Δεδομένου ότι οι υπηρεσίες του publiccloud παρέχονται μέσω του Διαδικτύου, δεν εξαρτώνται από την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται (ανεξάρτητο τοποθεσίας - locationindependent). Προσφέρει κοστολόγηση με βάση τη χρήση (utilitystylecosting), αφού βασίζεται στο μοντέλο pay-per-use και οι πόροι είναι προσβάσιμοι οπότε απαιτούνται από τον πελάτη. Τέλος, προσφέρει υψηλή επεκτασιμότητα (highscalability) αφού οι πόροι διατίθενται κατά παραγγελία από ένα σύνολο διαθέσιμων πόρων, δηλαδή, μπορεί να αυξηθούν ή να μειωθούν σύμφωνα με τις ανάγκες του πελάτη.

Βασικό μειονέκτημα αυτού του μοντέλου είναι η μικρή ασφάλεια που προσφέρει καθώς τα δεδομένα φιλοξενούνται μακριά από τον χρήστη τους, ενώ, όπως είπαμε και παραπάνω, οι πόροι του διαμοιράζονται σε πολλούς χρήστες.





Εικόνα4: Public Cloud. Πηγή: Tutorials Point

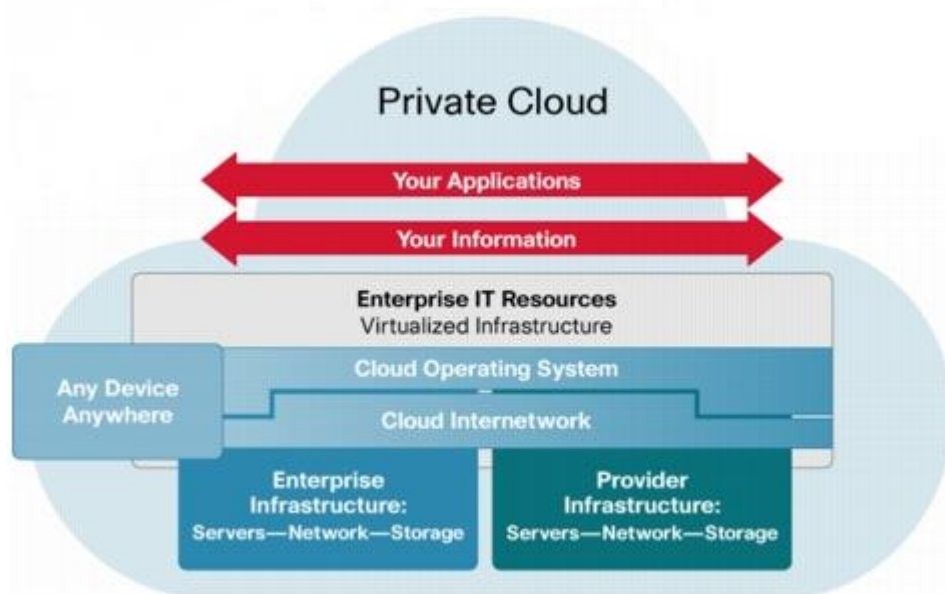
### **Ιδιωτικόνέφος (Privatecloud)**

Σε ένα ιδιωτικό νέφος, η υποδομή αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο από μία επιχείρηση ή έναν οργανισμό, που μπορεί να περιλαμβάνουν πολλαπλούς χρήστες. Χρησιμοποιείται από χρήστες εντός της εκάστοτε επιχείρησης ή του οργανισμού και περιορίζει την πρόσβαση σε αυτή την ομάδα χρηστών και μόνο, οπότε καταλαβαίνουμε ότι είναι πιο ασφαλές μοντέλο σε σχέση με το δημόσιο. Μπορεί να ανήκει, να διαχειρίζεται και να λειτουργεί από τον οργανισμό, από έναν τρίτο ή από κάποιο συνδυασμό αυτών, ενώ μπορεί να τοποθετείται ή όχι στις εγκαταστάσεις του οργανισμού. Ένα παράδειγμα ιδιωτικού νέφους είναι το oneServer της NIRIX που παρέχει αποκλειστικούς εξυπηρετητές (servers) στους πελάτες του.

Το μοντέλο αυτό, σε σχέση με το δημόσιο νέφος παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια και ιδιωτικότητα. Αυτό συμβαίνει καθώς οι πόροι δεν είναι διαθέσιμοι πέρα από τα πλαίσια της επιχείρησης. Επιπλέον, παρέχεται περισσότερος έλεγχος (control) αφού οι πόροι και το υλικό είναι προσβάσιμα μόνο στα στενά σύνορα ενός οργανισμού. Υπάρχει, όμως, μεγαλύτερο κόστος για τις υποδομές και το υλικό σε σχέση με το δημόσιο νέφος αλλά είναι περισσότερο αποδοτικό ενεργειακά (energyefficiency).

Το private cloud είναι περιορισμένο στο χώρο της επιχείρησης (restricted area) και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπλέον, η επιχείρηση επιβαρύνεται με όλο το αρχικό κόστος του νέου υλικού (inflexible pricing) ενώ θα πρέπει να περιλαμβάνει στο ενεργητικό της άτομα με εκπαίδευση και εμπειρία ώστε να μπορεί να το διαχειριστούν. Τέλος υπάρχει περιορισμός ως προς την επεκτασιμότητα, αφού μπορεί να κλιμακωθεί μόνο στο πλαίσιο των διαθέσιμων πόρων.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5, το ιδιωτικό νέφος λειτουργεί στα πλαίσια μίας επιχείρησης. Οι εφαρμογές και τα δεδομένα της επιχείρησης είναι προσβάσιμα μέσω του νέφους. Η διαχείριση του υπολογιστικού νέφους μπορεί να γίνεται από την ίδια την επιχείρηση είτε από κάποιον τρίτο.



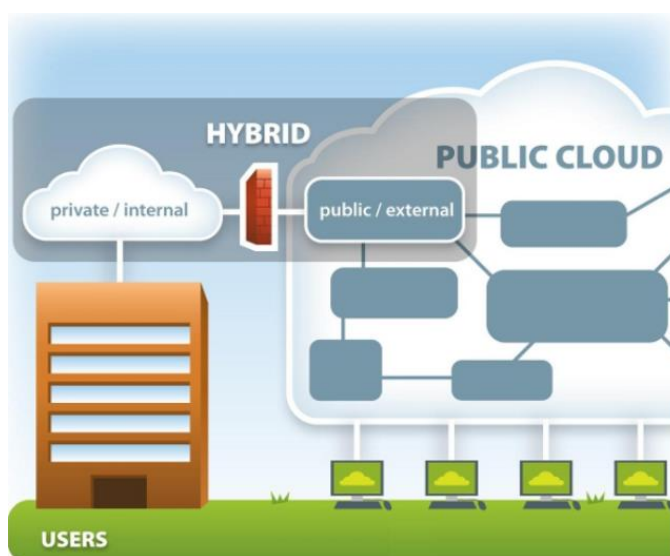
Εικόνα5: Το ιδιωτικό νέφος χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο από μία επιχείρηση ή έναν οργανισμό. Πήγη: Cisco

### Υβριδικό νέφος (Hybridcloud)

Το υβριδικό νέφος αποτελεί συνδυασμό δύο ή περισσότερων διαφορετικών υποδομών cloud (ιδιωτική ή δημόσια). Σε ένα μοντέλο hybridcloud, για παράδειγμα, οι εργαζόμενοι μίας επιχείρησης έχουν πρόσβαση τόσο στο «εσωτερικό» (private) cloud της εταιρείας, όσο και στο δημόσιο (public), με το τελευταίο να είναι προσβάσιμο από πελάτες, συνεργάτες και προμηθευτές. Χρησιμοποιούνται κυρίως τα χαρακτηριστικά του ιδιωτικού cloud σε κρίσιμες δραστηριότητες, ενώ διαφορετικά γίνεται χρήση των χαρακτηριστικών του δημόσιου cloud. Παραδείγματα εταιριών που χρησιμοποιούν υβριδικό νέφος είναι οι AdobeCreativeCloudκαι η Sage 200 online.

Γενικά συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των άλλων τύπων νέφους και έχει ανοχή σε σφάλματα (fault-tolerant). Προσφέρει επεκτασιμότητα (scalability) και ευελιξία (flexibility) αφού εξασφαλίζει την ασφάλεια (security) του privatecloud και την κλιμάκωση των πόρων του publiccloud. Τέλος, εξοικονομείται αρκετό κόστος σε σχέση με το privatecloud.

Ανάμεσα στα μειονεκτήματα αυτού του μοντέλου είναι τα πιθανά προβλήματα στο δίκτυο, όπως για παράδειγμα μη επαρκές εύρος ζώνης, χαμηλή ταχύτητα, κ.α., λόγω της παρουσίας του private και του publiccloud. Επιπλέον, η ασφάλεια (security) θα πρέπει να καθορίζεται με βάση τις απαιτήσεις και την πολιτική απορρήτου του οργανισμού. Τέλος, είναι άμεσα συνδεδεμένο με την υποδομή που χρησιμοποιείται από τον οργανισμό.



Εικόνα5: Hybrid cloud. Πηγή: nsk inc

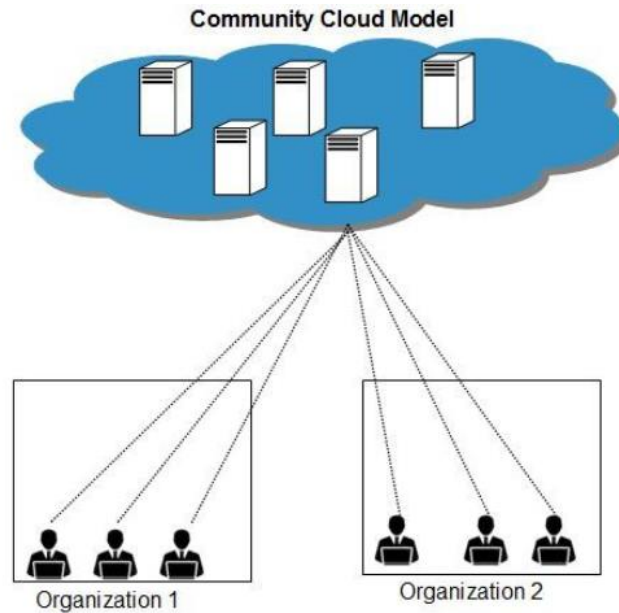
## **Κοινοτικόνέφος (Communitycloud)**

Το κοινοτικό νέφος είναι ιδανικό για την αποκλειστική χρήση από μια συγκεκριμένη κοινότητα καταναλωτών οι οποίοι μοιράζονται κοινές ανησυχίες και προβληματισμούς και τις ίδιες απαιτήσεις ως προς την ασφάλεια, τη διαχείριση, τη συντήρηση, τους κανονισμούς που ακολουθούνται κ.α.. Μπορεί να ανήκει και να διαχειρίζεται από ένα ή περισσότερους οργανισμούς που ανήκουν σε μία κοινότητα ή ακόμα και από κάποιον τρίτο. Ενώ μπορεί να τοποθετείται στα όρια ή όχι ενός οργανισμού. Παράδειγμα εταιρίας που χρησιμοποιεί υβριδικό νέφος είναι η IBM.

Για παράδειγμα, σε ένα κοινοτικόνέφος σχετικό με την υγεία, θα μπορούσε να παρέχεται ειδική ασφάλεια και ρυθμίσεις που είναι συμβατά με αυστηρά πρότυπα για την προστασία των δεδομένων που αφορούν την υγεία. Στην περίπτωση του κοινοτικόνέφουςμιαςεπιχείρησης του οικονομικού τομέα, το κοινοτικό νέφος θα μπορούσε να προσφέρει αυστηρές υπηρεσίες ασφάλειαςώστε να είναι δυνατό για τους χρηματιστές να εκτελούν οικονομικές συναλλαγές.

Ένα από τα οφέλη αυτού του είδους είναι ο διαμοιρασμός του αρχικού κόστους μεταξύ των διάφορων οργανισμών. Στην ουσία προσφέρει τα ίδια οφέλη με το privatecloud με μικρότερο κόστος ενώ δίνει την δυνατότητα ανταλλαγής υποδομών μεταξύ των οργανισμών. Τέλος, παρέχει περισσότερη ασφάλεια (security) σε σχέση με το publiccloud.

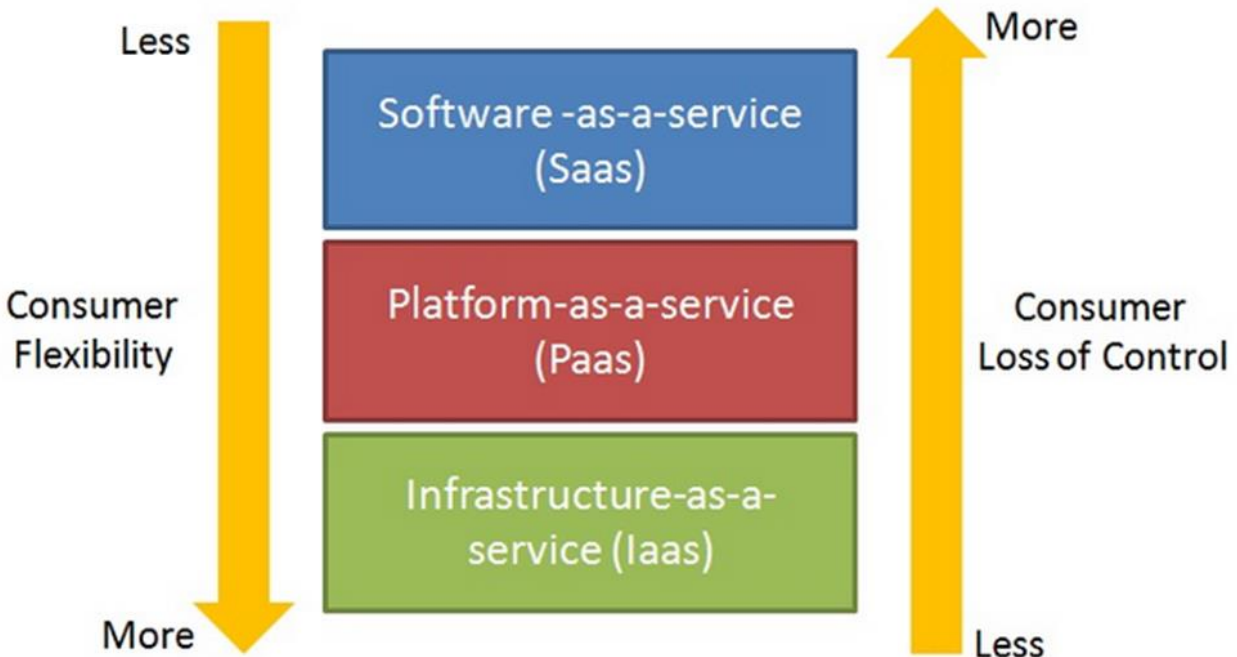
Ωστόσο, μπορεί να προκύψουν διάφορα θέματα σχετικά με την αποθήκευση και την προσβασιμότητα των δεδομένων αφού όλα φιλοξενούνται σε ένα κοινό σημείο και θα μπορούσαν να είναι προσβάσιμα και από άλλους. Ως αποτέλεσμα, εγείρονται δυσκολίες σχετικά με την κατανομή των ευθυνών στη διαχείρησή του, την ασφάλεια και το κόστος.



Εικόνα6: Community Cloud. Πηγή: Tutorials Point

## 1.5 Επίπεδα υπηρεσιών cloud computing

Τα επίπεδα υπηρεσιών του cloudκατηγοριοποιούνται με βάση την πρόσβαση των χρηστών στους υπολογιστικούς πόρους. Οι πάροχοι cloudcomputingπροσφέρουν τις υπηρεσίες τους, σύμφωνα με τα ακόλουθα μοντέλα: υποδομές ως υπηρεσία (Infrastructureas a Service - IaaS), πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platformas a Service - PaaS), και λογισμικό ως υπηρεσία (Softwareas a Service-SaaS), όπου το επίπεδο IaaS είναι το πιο αφαιρετικό και κάθε υψηλότερο επίπεδο θεωρεί δεδομένα τα στοιχεία των επιπέδων κάτω από αυτό. Πιο συγκεκριμένα, κάθε επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση, την υπολογιστική ισχύ και την ασφάλεια του ακριβώς από πάνω του επιπέδου. Όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 8, όσο προχωράμε προς τα πάνω, ο χρήστης έχει όλο και λιγότερο έλεγχο και ευελιξία.



Εικόνα 7: Υπηρεσίες cloud computing

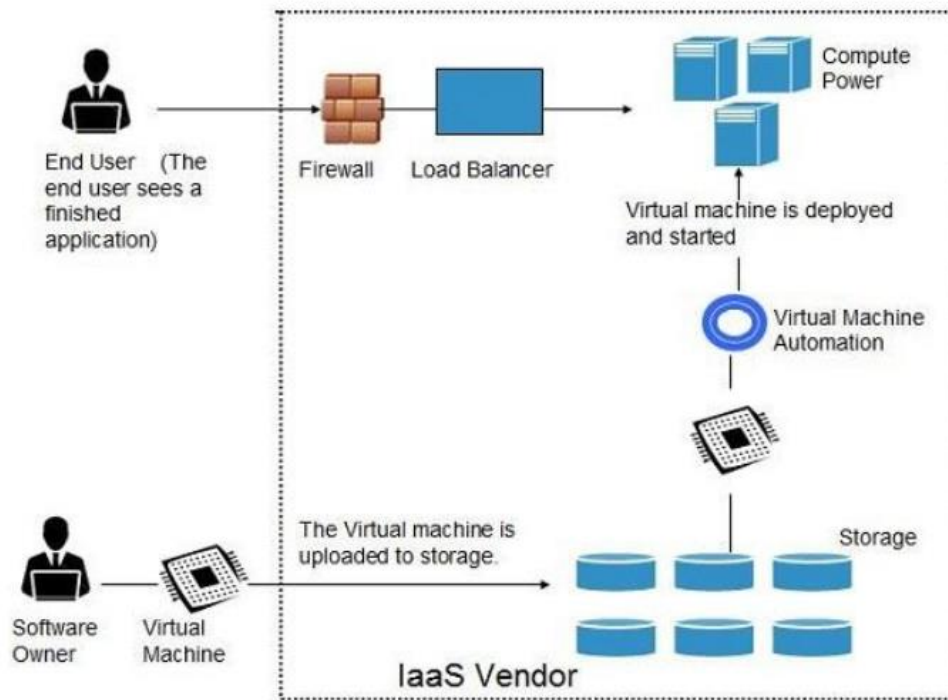
Υπάρχουν αρκετά μοντέλα υπηρεσιών τα οποία μπορεί να λάβουν τη μορφή XaaS, όπου με το X δηλώνεται οτιδήποτε ως υπηρεσία. Έτσι, μπορεί να έχουμε το δίκτυο ως υπηρεσία (Network as a Service), την επιχείρηση ως υπηρεσία (Business as a Service) ή μία βάση δεδομένων ως υπηρεσία (Database as a Service).

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε με λεπτομέρεια τα τρία βασικά επίπεδα υπηρεσιών.

### 1.5.1 Infrastructure as a Service (IaaS)

Το επίπεδο αυτό αποτελεί το πιο βασικό μοντέλο cloud υπηρεσιών αφού παρέχει πρόσβαση σε θεμελιώδεις υπολογιστικούς πόρους και πόρους ασφαλείας, όπως φυσικές ή εικονικές μηχανές ενώ προσφέρει εικονική αποθήκευση. Επιπλέον, στη διάθεση του τελικού χρήστη μπορεί να προσφέρονται εικονικά τοπικά δίκτυα (VLAN), εξισορροπητές φορτίου, διευθύνσεις IP και πακέτα λογισμικού. Όλοι οι παραπάνω πόροι, μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τους πελάτες σαν να είναι δικό τους χρησιμοποιώντας απλά μία σύνδεση διαδικτύου. Η χρήση των πόρων αυτών

γίνονται «on-demand» ανάλογα με τις ανάγκες του τελικού χρήστη. Ο χρήστης πληρώνει με βάση το χρονικό διάστημα που διατηρεί έναν πόρο καθώς και τον τύπο του πόρου.



Εικόνα8: Μοντέλο Infrastructure as a Service. Πηγή: TutorialsPoint

Ο χρήστης σε αυτή την περίπτωση μπορεί να αναπτύξει και να εκτελέσει οποιοδήποτε λογισμικό επιθυμεί, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργικά συστήματα και εφαρμογές. Ο χρήστης δεν διαχειρίζεται ούτε ελέγχει τις παρεχόμενες υποδομές αλλά μπορεί να επιδρά στο λειτουργικό σύστημα ή και στις εγκατεστημένες εφαρμογές.

Για να έχει ο χρήστης πλήρη έλεγχο των υπολογιστικών πόρων θα πρέπει να έχει πρόσβαση διαχειριστή (admin) στις εικονικές μηχανές. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης μπορεί να τρέχει τις εικονικές μηχανές, να αποθηκεύει δεδομένα, να εκτελεί εντολές σε αυτές καθώς και να εγκαθιστά νέες εφαρμογές.

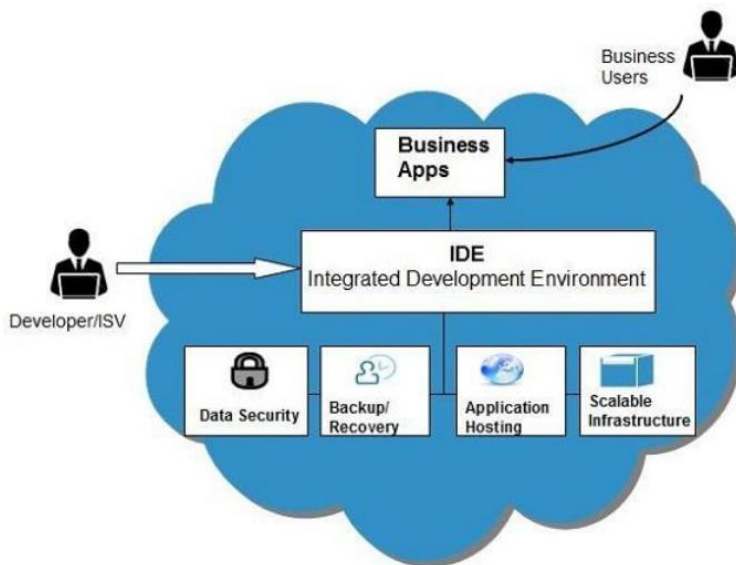
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το cloud IaaS εκτελείται με την χρήση του διαδικτύου. Αυτό μπορεί να εγκυμονεί κινδύνους για το λογισμικό και τα δεδομένα του χρήστη. Επιπλέον, μπορεί να απαιτούνται συχνά ενημερώσεις σχετικά με τις εικονικές μηχανές, όπως για

παράδειγμαενημερώσεις ασφαλείας. Κάτι τέτοιο τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο και πολύπλοκο.

Τέλος, οι εικονικές μηχανές χρησιμοποιούν κοινούς πόρους, όπως για παράδειγμα τη μνήμη, με τους άλλους πελάτες. Έτσι, όταν ο καταναλωτής απελευθερώνει κάποιους πόρους, ο πάροχος cloud θα πρέπει να διασφαλίσει ότι ο επόμενος καταναλωτής που θα χρησιμοποιήσει τους ίδιους πόρους, δεν θα έχει πρόσβαση στα προηγούμενα δεδομένα.

### 1.5.2 Platform as a Service (PaaS)

Σε αυτή την περίπτωση, ο πάροχος cloud προσφέρει ένα περιβάλλονruntime για εφαρμογές. Στις περισσότερες περιπτώσεις η παρεχόμενη υπολογιστική πλατφόρμα περιλαμβάνει και το λειτουργικό σύστημα, τη βάση δεδομένων, τα εργαλεία ανάπτυξης και εκτέλεσης λογισμικού και εφαρμογών και τον εξυπηρετητή Ιστού. Το PaaS προσφέρει API και προγραμματιστικά εργαλεία στον χρήστη. Ως αποτέλεσμα, οι προγραμματιστές εφαρμογών μπορεί να αναπτύξουν και να τρέξουν το λογισμικό τους σε μια πλατφόρμα cloudχωρίς το κόστος και την πολυπλοκότητα της αγοράς και τη διαχείριση του υλικού και του λογισμικού υποστρώματος.



Εικόνα9: Μοντέλο Platform as a Service (PaaS). Πηγή: TutorialsPoint



Η υπολογιστική δύναμη και ο χώρος αποθήκευσης κλιμακώνεται αυτόματα για να ταιριάζει με τη ζήτηση από την εφαρμογή έτσι ώστε ο χρήστης να μην χρειάζεται να επέμβει χειροκίνητα. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του μοντέλου αυτού είναι ότι ο χρήστης δεν χρειάζεται να αγοράσει ακριβό υλικό, servers καθώς και υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους. Τέλος, είναι ευθύνη του παρόχου να διατηρεί αναβαθμισμένο το εγκατεστημένο λογισμικό.

Ένα από τα βασικά προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι ότι οι τυπικές γλώσσες και οι εφαρμογές που παρέχονται μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των διαφόρων πλατφόρμων. Έτσι πολλές φορές είναι δύσκολο να μεταφερθεί ο φόρτος εργασίας από μία πλατφόρμα σε μια άλλη. Τέλος και το PaaS εξαρτάται από το δίκτυο, οπότε πρέπει να χρησιμοποιούνται κρυπτογραφικά εργαλεία ώστε να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ασφάλεια.

### **1.5.3 Software as a Service (SaaS)**

Στο SaaS παρέχεται η ικανότητα στον καταναλωτή/ πελάτη να χρησιμοποιεί εφαρμογές που εκτελούνται στην υποδομή cloud ενός παρόχου. Για παράδειγμα, οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε λογισμικό εφαρμογών και βάσεων δεδομένων. Οι εφαρμογές είναι προσβάσιμες από διάφορες συσκευές με τη χρήση μίας σύνδεσης διαδικτύου, όπως για παράδειγμα, μέσω ενός προγράμματος περιήγησης διαδικτύου (ηλεκτρονικό ταχυδρομείο – e-mail) ή μια προγραμματιστική διεπαφή. Ο καταναλωτής δεν διαχειρίζεται και δεν ελέγχει την πλατφόρμα και την cloud υποδομή, η οποία περιλαμβάνει το δίκτυο, εξυπηρετητές (servers), το λειτουργικό σύστημα, την μνήμη ή ακόμη και δυνατότητες της εφαρμογής. Για αυτό είναι υπεύθυνος ο πάροχος του cloud. Σε κάποιες περιπτώσεις, βέβαια, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να πειράξει ορισμένες μόνο ρυθμίσεις. Πολλές φορές απαιτείται από τον πελάτη η εγκατάσταση και η εκτέλεση της εφαρμογής στον υπολογιστή του, το οποίο απλοποιεί τη συντήρηση και την υποστήριξή της. Στις περισσότερες μάλιστα περιπτώσεις, δεν απαιτείται καμία συντήρηση του συστήματος, διατήρηση backups ή αναβάθμιση του υλικού από τον τελικό χρήστη αφού οι εφαρμογές SaaS αναβαθμίζονται αυτόματα, κάτι το οποίο τις καθιστά αρκετά οικονομικές.

Το SaaS αναφέρεται ως μοντέλο διαμοιρασμού δεδομένων (shared data model). Ως αποτέλεσμα, πολλαπλοί χρήστες μπορεί να διαμοιράζονται ένα μοναδικό στιγμιότυπο, χωρίς να απαιτείται αντιγραφή της λειτουργικότητας σε ξεχωριστούς χρήστες. Παράλληλα, όλοι οι χρήστες τρέχουν την ίδια έκδοση λογισμικού. Επίσης δεν χρειάζεται καμία εγκατάσταση λογισμικού από τη μεριά του χρήστη. Με τη χρήση του SaaS μειώνεται το κόστος διανομής, η πολυπλοκότητα των πιθανά απαιτούμενων πακέτων λογισμικού αλλά και οι κίνδυνοι για την παραμετροποίηση από τη πλευρά του χρήστη. Τα δεδομένα αποθηκεύονται από τον πάροχο του cloud σε μία κεντρική βάση δεδομένων. Σε κάποιες περιπτώσεις, οι πάροχοι μπορεί να αποθηκεύουν τα δεδομένα ακολουθώντας έναν μη κεντρικοποιημένο μοντέλο ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος απώλειας και να αυξηθεί η αξιοπιστία.

Το SaaS ορισμένες φορές αναφέρεται ως «on-demand λογισμικό» και συνήθως τιμολογείται με pay-per-use τρόπο, δηλαδή είναι μία κλιμακούμενη χρέωση. Οι παροχείς SaaS γενικά τιμολογούν τις εφαρμογές χρησιμοποιώντας μια μηνιαία ή ετήσια συνδρομή.

Κατά την εκτέλεση των εφαρμογών cloud, αυτές μπορεί να επεκταθούν και να γίνει κλωνοποίηση των διεργασιών τους σε πολλαπλές εικονικές μηχανές. Εξισορροπητές φορτίου διανέμουν την εργασία στο σύνολο των εικονικών μηχανών. Αυτή η διαδικασία είναι διαφανής για το χρήστη cloud, ο οποίος βλέπει μόνο ένα ενιαίο σημείο πρόσβασης.

Όσον αφορά την άδεια χρήσης λογισμικού, απαιτείται μία μοναδική άδεια για πολλαπλούς υπολογιστές ακόμα και αν βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες. Επιπλέον, δεν απαιτείται άδεια για τους servers καθώς αυτοί παρέχονται από τη μεριά του παρόχου.

Ωστόσο, μπορεί να προκύπτουν και διάφορα προβλήματα ασφάλειας κυρίως επειδή οι εφαρμογές SaaS είναι διαθέσιμες μέσω διαδικτύου. Το χρησιμοποιούμενο δίκτυο θα πρέπει να είναι αξιόπιστο τόσο από τη μεριά του χρήστη όσο και από τη μεριά του παρόχου. Για παράδειγμα, αν ο χρήστης επισκέπτεται «μολυσμένες» ιστοσελίδες τότε μπορεί να βλάψει τα δεδομένα του. Για την αποφυγή τέτοιων κινδύνων, ενώ οι χρήστες μπορεί να χρησιμοποιούν παραπάνω από ένα φυλλομετρητή ιστού (browsers), ένας από αυτούς θα πρέπει να χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για την πρόσβαση του SaaS.

## Κεφάλαιο 2: Δίκτυα Υπολογιστών

### 2.1 Εισαγωγή

Ένα δίκτυο υπολογιστών διευκολύνει τη διαπροσωπική επικοινωνία των χρηστών αφού τους επιτρέπει να επικοινωνούν αποτελεσματικά και εύκολα με διάφορους τρόπους: όπως με e-mail, ανταλλαγή μηνυμάτων, chatrooms, τηλέφωνο, κλήσεις βίντεο και τηλεδιασκέψεις. Η πρόσβαση σε πληροφορίες και σε κοινές συσκευές αποθήκευσης είναι ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό πολλών δικτύων. Ένα δίκτυο επιτρέπει το διαμοιρασμό αρχείων, δεδομένων, και άλλων τύπων πληροφοριών δίνοντας σε εξουσιοδοτημένους χρήστες τη δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε άλλους υπολογιστές στο δίκτυο. Ένα δίκτυο επιτρέπει τον διαμοιρασμό των δικτυακών και υπολογιστικών πόρων. Οι χρήστες μπορεί να έχουν πρόσβαση και να χρησιμοποιούν τους πόρους που παρέχονται από τις συσκευές του δικτύου, όπως η εκτύπωση ενός εγγράφου σε έναν κοινόχρηστο εκτυπωτή δικτύου. Κατανεμημένα υπολογιστικά συστήματα μπορεί να χρησιμοποιούν τους υπολογιστικούς πόρους ενός δικτύου για την εκτέλεση εργασιών.

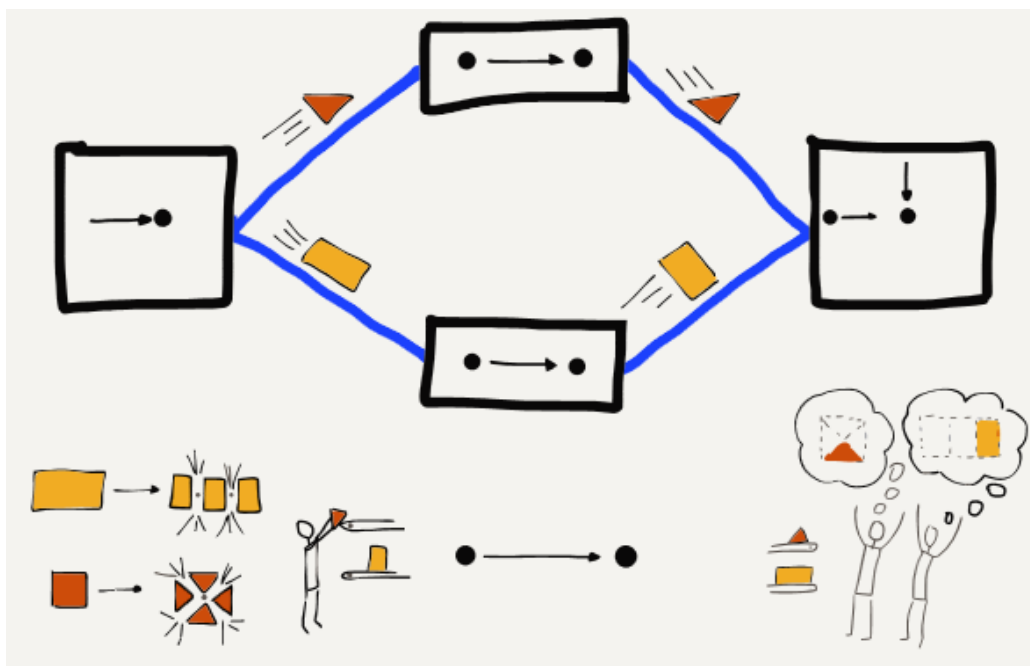
Με τον όρο δίκτυο υπολογιστών εννοούμε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που επιτρέπει στους υπολογιστές να ανταλλάσσουν δεδομένα. Στα δίκτυα υπολογιστών, οι συνδεδεμένοι υπολογιστές επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους κατά μήκος των συνδέσεων του δικτύου. Οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων ενός δικτύου μπορεί να είναι γίνονται ενσύρματα είτε ασύρματα. Το πιο γνωστό δίκτυο υπολογιστών είναι το Διαδίκτυο.

Οι κόμβοι ενός δικτύου που παράγουν και δρομολογούν τα μεταδιδόμενα δεδομένα ονομάζονται κόμβοι του δικτύου. Οι κόμβοι αυτοί μπορεί να αποτελούνται από προσωπικούς υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, servers, καθώς και προηγμένο δικτυακό εξοπλισμό. Τέτοιες συσκευές θα πρέπει να είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους, με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι σε θέση να ανταλλάσσουν πληροφορίες.

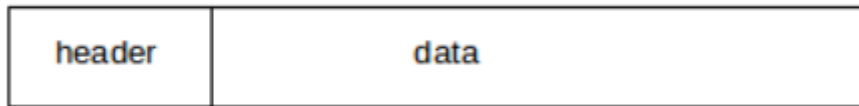
Τα δίκτυα υπολογιστών υποστηρίζουν λειτουργίες, όπως η πρόσβαση στον Παγκόσμιο Ιστό (WorldWideWeb), η κοινή χρήση εφαρμογών, η αποθήκευση σε servers και η χρήση συσκευών όπως εκτυπωτές και συσκευές φαξ.

## 2.2 Πακέτα

Παλιότερα η επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών δεν γίνονταν με τη χρήση πακέτων, αλλά μέσω τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων σημείο-προς-σημείο (point-to-point), οι οποίες απλά μεταδίδαν τα δεδομένα σαν ένα ρεύμα δυαδικών ψηφίων, δηλαδή τα δεδομένα μεταδίδονταν σειριακά. Ωστόσο, οι περισσότερες πληροφορίες στα σύγχρονα δίκτυα υπολογιστών μεταδίδονται σε πακέτα. Ένα πακέτο δικτύου είναι μια διαμορφωμένη μονάδα δεδομένων που μεταφέρεται κατά μήκος ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων. Το μέγεθος ενός πακέτου δεν είναι συγκεκριμένο και καθορίζεται από το δίκτυο που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, σε ένα Ethernet δίκτυο επιτρέπεται ένα μέγιστο μέγεθος των 1500 bytes δεδομένων ενώ τα πακέτα TCP/IP συχνά έχουν μέγεθος 512 bytes δεδομένων.



Εικόνα10: Μεταφορά πακέτων. Πηγή: Introduction to Networking, Charles Severance



Εικόνα 11: Η μορφή ενός πακέτου. Πηγή: An Introduction to Computer Networks, Peter L Dordal

## 2.3 Τοπολογίες δικτύων

### 2.3.1 Εισαγωγή

Με τον όρο τοπολογία δικτύου ορίζεται η διάταξη των διαφόρων στοιχείων που το αποτελούν, όπως οι κόμβοι και οι συνδέσεις μεταξύ τους. Η τοπολογική διάταξη ενός δικτύου μπορεί να απεικονίζεται φυσικά ή λογικά. Κατά την φυσική διάταξη ενός δικτύου περιγράφονται οι διάφορες συνιστώσες που το αποτελούν όπως οι θέσεις των συσκευών (κόμβων) και η εγκατάσταση των καλωδίων (διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων).

Αντίθετα, κατά την λογική διάταξη περιγράφεται η ροή των δεδομένων και των σημάτων μέσα στο δίκτυο, ανεξάρτητα από το σχεδιασμό του καθώς και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται. Δηλαδή, δεν λαμβάνεται υπόψη η φυσική διασύνδεση των συσκευών. Η λογική διάταξη ενός δικτύου δεν είναι απαραίτητα η ίδια με τη φυσική διάταξή του.

Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε στις βασικές τοπολογίες ενός δικτύου.

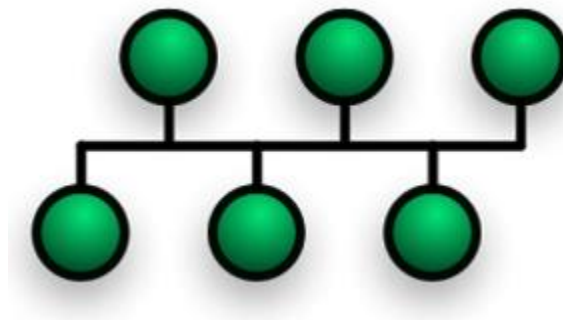
### 2.3.2 Τοπολογία Σημείου προς Σημείου (Point-to-Point)

Η τοπολογία σημείο προς σημείο είναι η πιο απλή μορφή τοπολογίας. Διαθέτει μια μοναδική σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων, η οποία αποσκοπεί στην μεταξύ τους επικοινωνία. Η σύνδεση μεταξύ των δύο τελικών σημείων μπορεί να είναι είτε προσωρινή είτε μόνιμη. Τόσο στην τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος όσο και στη μεταγωγή πακέτων, μία σύνδεση μεταξύ δύο σημείων μπορεί να δημιουργηθεί δυναμικά και να καταστραφεί όταν δεν χρειάζεται πλέον. Ένα

χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας τοπολογίας είναι το βασικό μοντέλο της συμβατικής τηλεφωνίας στο οποίο χρησιμοποιούνται προσωρινές συνδέσεις.

### 2.3.3 Τοπολογία Διάυλου (Bus)

Κάθε κόμβος συνδέεται με ένα μοναδικό καλώδιο σε ένα κεντρικό διαμοιραζόμενο μέσο μετάδοσης. Το κεντρικό καλώδιο είναι η ραχοκοκαλιά του δικτύου για αυτό ονομάζεται διάυλος. Επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία κατά μήκος του. Κάθε υπολογιστής είναι παραλήπτης και αποστολέας ταυτόχρονα, ενώ κάθε σήμα στέλνεται και προς τις δύο κατευθύνσεις της πηγής προς όλους τους κόμβους μέχρι να βρει τον τελικό αποδέκτη. Στο κάθε άκρο του διαύλου υπάρχει μια τερματική αντίσταση (terminator), η οποία απορροφά τα σήματα που μεταδίδονται από τους σταθμούς απομακρύνοντάς τα από το δίκτυο.

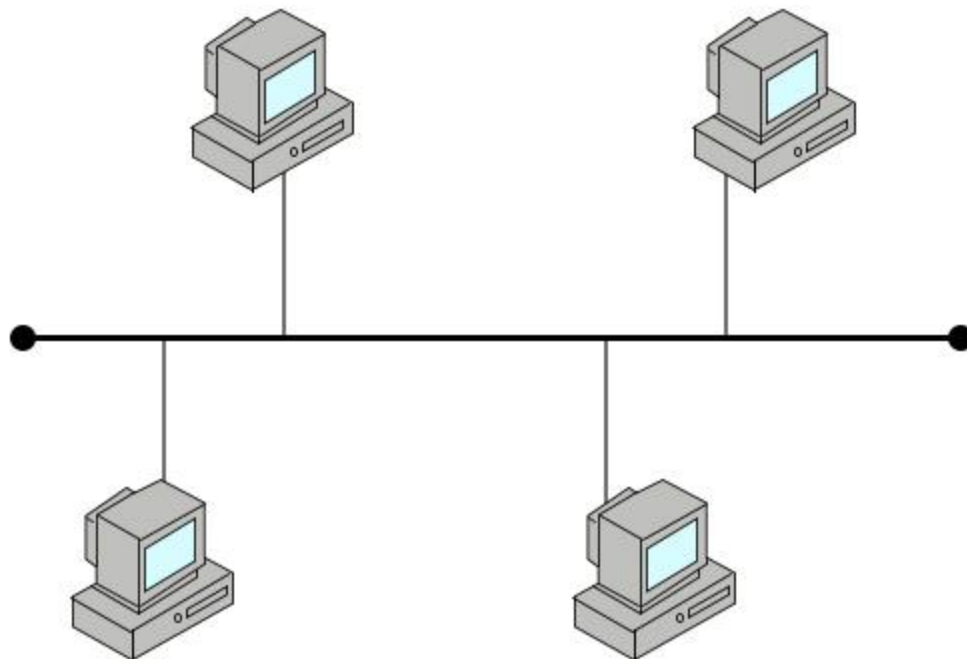


Εικόνα 12: Τοπολογία διαύλου. Πηγή: Wikipedia

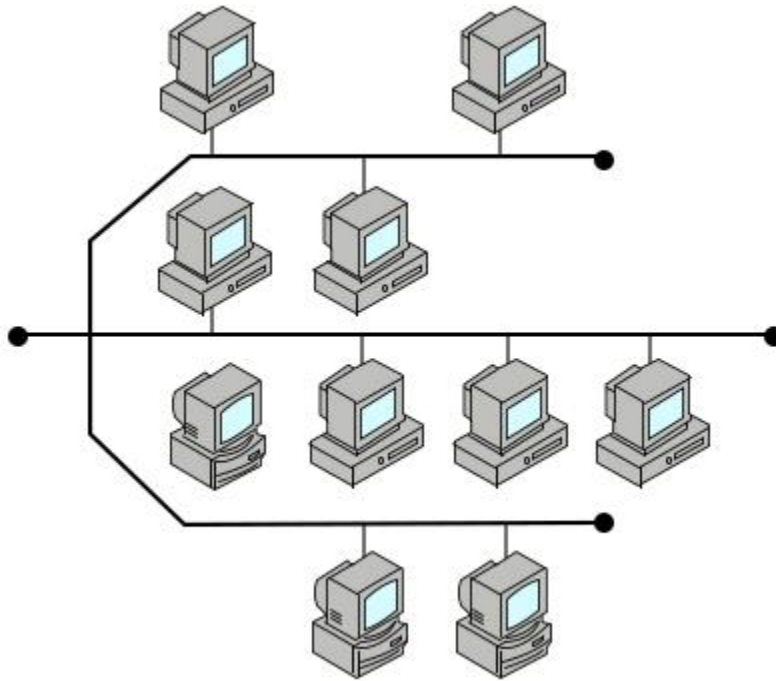
Η τοπολογία διαύλου αποτελείται από ένα μοναδικό καλώδιο, οπότε είναι αρκετά φτηνή σε σχέση με άλλες τοπολογίες αλλά και εύκολη να επεκταθεί. Η τοπολογία αυτή, είναι αρκετά αξιόπιστη ενώ το μοναδικό σημείο αποτυχίας, μπορεί να είναι το καλώδιο. Ωστόσο, απαιτείται υψηλό κόστος διαχείρισης του δικτύου. Για τους παραπάνω λόγους, χρησιμοποιείται κυρίως σε τοπικά δίκτυα. Επιπλέον, τα δίκτυα αυτού του τύπου, αποτελούν καλή επιλογή όταν ο αριθμός

των κόμβων που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο είναι μικρός ή η κυκλοφορία του δικτύου είναι μικρή.

Υπάρχουν δύο ειδών δίαυλοι, ο γραμμικός και ο καταναμημένος. Ο γραμμικός δίαυλος, που είναι και ο πιο απλός, αποτελείται από ένα κοινό μέσο μετάδοσης στον οποίο συνδέονται όλοι οι κόμβοι και έχει ακριβώς δύο άκρα. Όλα τα δεδομένα που στέλνονται παραλαμβάνονται από όλους τους κόμβους του δικτύου ταυτόχρονα. Στον καταναμημένο δίαυλο, όλοι οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται σε ένα κοινό μέσο το οποίο έχει δύο ή περισσότερα τελικά σημεία. Στις εικόνες 14 και 15, φαίνονται σχήματα γραμμικών και καταναμημένων διαύλων.



Εικόνα 13: Γραμμικός Δίαυλος. Πηγή: Buzzle.



Εικόνα 14: Κατανεμημένος Δίαυλος. Πηγή: Buzzle.

### 2.3.4 Τοπολογία Αστέρα (Star)

Στην τοπολογία αστέρα, όλες οι συσκευές συνδέονται με σύνδεση σημείο-προς-σημείο με ένα κεντρικό σημείο που ονομάζεται πλήμνη (hub, router ή switch). Σαν αποτέλεσμα, όλες οι συσκευές συνδέονται έμμεσα μέσω της πλήμνης, ενώ όλη η κίνηση που διασχίζει το δίκτυο περνά από αυτό τον κεντρικό κόμβο. Σε πολλές περιπτώσεις η πλήμνη είναι ο server και τα περιφερειακά είναι οι πελάτες.

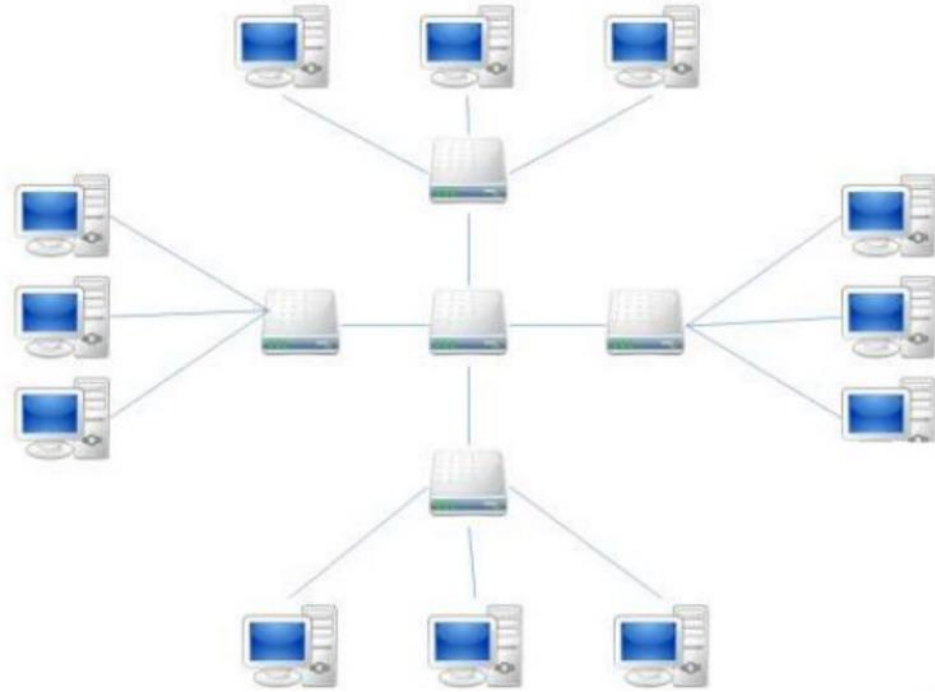




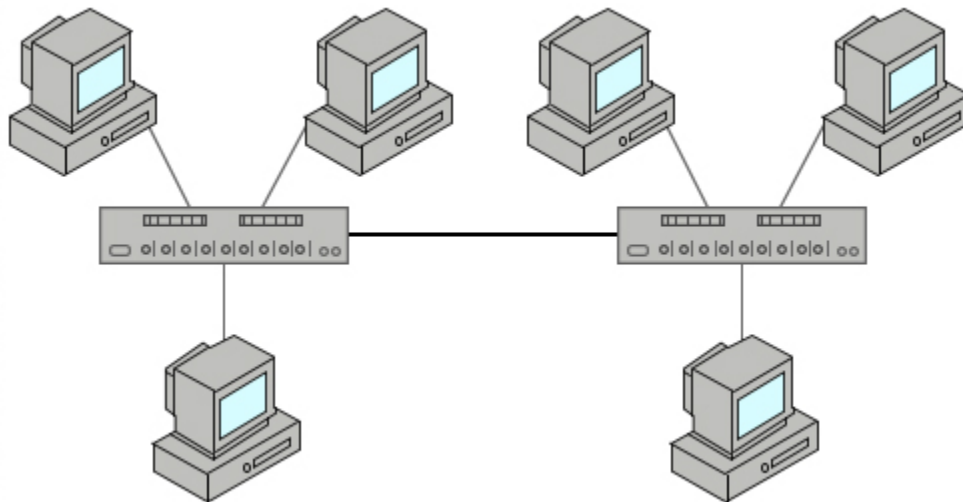
Εικόνα 15: Τοπολογία αστεριού με 5 υπολογιστές. Πηγή: Wikipedia

Η τοπολογία αστέρα θεωρείται η ευκολότερη τοπολογία να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί καθώς είναι απλή η προσθήκη νέων κόμβων. Ο κεντρικός κόμβος προσφέρει τη δυνατότητα κεντρικής παρακολούθησης και διαχείρισης. Το κύριο μειονέκτημα της τοπολογίας αστέρα είναι ότι ο κεντρικός κόμβος αντιπροσωπεύει ένα μοναδικό σημείο αποτυχίας.

Υπάρχουν δύο τύποι τοπολογίας αστέρα, ο εκτεταμένος και ο κατανεμημένος. Η τοπολογία εκτεταμένου αστέρα είναι ένα δίκτυο που βασίζεται στη φυσική τοπολογία αστεριού και έχει έναν ή περισσότερους επαναλήπτες μεταξύ του κεντρικού κόμβου και των περιφερειακών. Η χρήση των επαναληπτών γίνεται για την μεγιστοποίηση της απόστασης μετάδοσης μεταξύ των σημείο-προς-σημείο κόμβων. Η κατανεμημένη τοπολογία αστέρα αποτελείται από επιμέρους δίκτυα που βασίζονται στη φυσική τοπολογία αστέρα. Τα επιμέρους δίκτυα συνδέονται με γραμμικό τρόπο. Στις εικόνες 17 και 18 φαίνονται η τοπολογία εκτεταμένου και ο κατανεμημένου αστέρα αντίστοιχα.



Εικόνα 16: Τοπολογία Εκτεταμένου Αστέρα. Πηγή: DITEC.

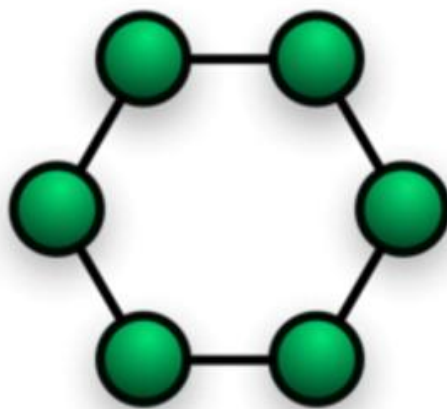


Εικόνα 17: Τοπολογία Κατανεμημένου Αστέρα. Πηγή: Buzzle.

### 2.3.5 Τοπολογία Δακτυλίου (Ring)

Στην τοπολογία δακτυλίου, οι συσκευές ακολουθούν κυκλική διάταξη και σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο. Έτσι, τα δεδομένα ταξιδεύουν κυκλικά προς μια κατεύθυνση. Επιπλέον, κάθε συσκευή συνδέεται άμεσα με δύο άλλες συσκευές, μία από κάθε πλευρά. Κάθε συσκευή στο δακτύλιο δρα ως επαναλήπτης με σκοπό να παραμείνει το σήμα ισχυρό. Κάθε συσκευή ενσωματώνει ένα δέκτη και έναν πομπό στο εισερχόμενο μήνυμα για την αποστολή των δεδομένων στην επόμενη συσκευή. Όλοι οι κόμβοι λειτουργούν ως server, ενώ δεν απαιτείται διακομιστής.

Η τοπολογία δακτυλίου είναι σχετικά ακριβή και δύσκολο να εγκατασταθεί, αλλά προσφέρει υψηλό εύρος ζώνης και μπορεί να εκταθεί σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, οι επιδόσεις του δικτύου είναι ομοιόμορφες ανεξάρτητα από το πλήθος των χρηστών. Το μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ότι αν κάποιος κόμβος σταματήσει να λειτουργεί, το σύνολο του δικτύου επηρεάζεται σε σημείο που μπορεί να διακοπεί η λειτουργία του. Ο εντοπισμός ενός προβλήματος μπορεί να είναι πολύ δύσκολος, ενώ σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η αναδιευθέτηση του δικτύου και η διακοπή της λειτουργίας του. Παραδείγματα τέτοιων τοπολογιών αποτελούν το token ring και το FDDI.

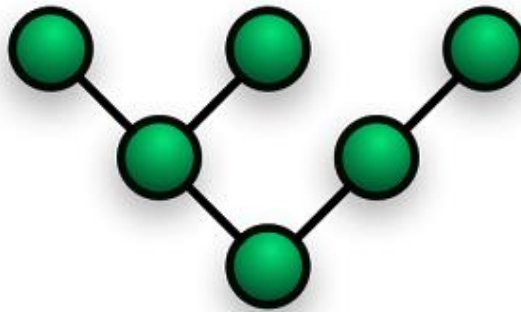


Εικόνα 18: Τοπολογία δακτυλίου. Πηγή: Wikipedia

### 2.3.6 Τοπολογία Δένδρου (Tree)

Πρόκειται για ένα συνδυασμό της τοπολογίας διαύλου και αστέρα. Οι κόμβοι της τοπολογίας διαύλου αντικαθίστανται με αυτόνομα δίκτυα αστέρα. Πιο συγκεκριμένα, πολλά δίκτυα τοπολογίας αστέρα συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια γραμμικού διαύλου. Η τοπολογία δέντρου αποτελείται από ένα κόμβο ρίζα, ενδιάμεσους κόμβους, και τελικούς κόμβους. Έτσι δημιουργείται μία ιεραρχική δομή και κάθε ενδιάμεσος κόμβος μπορεί να έχει οποιοδήποτε αριθμό κόμβων παιδιών. Η ύπαρξη διαφορετικών επιπέδων, καθιστά το δίκτυο διαχειρίσιμο και είναι πιο εύκολος ο εντοπισμός σφαλμάτων, ειδικά όταν το δίκτυο εκτείνεται σε μία μικρή περιοχή.

Στην τοπολογία δένδρου, δεν υπάρχουν βρόχοι, οπότε μπορούμε να περιγράψουμε το δίκτυο σαν ένα άκυκλο γράφημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, υπάρχει μια μοναδική διαδρομή μεταξύ κάθε ζεύγους κόμβων. Ο αλγόριθμος προώθησης, που χρησιμοποιείται, πρέπει μόνο να βεβαιωθεί για την ύπαρξη κάποιου προορισμού και όχι να επιλέξει μεταξύ εναλλακτικών διαδρομών.



Εικόνα 19: Τοπολογία δένδρου. Πηγή: Wikipedia

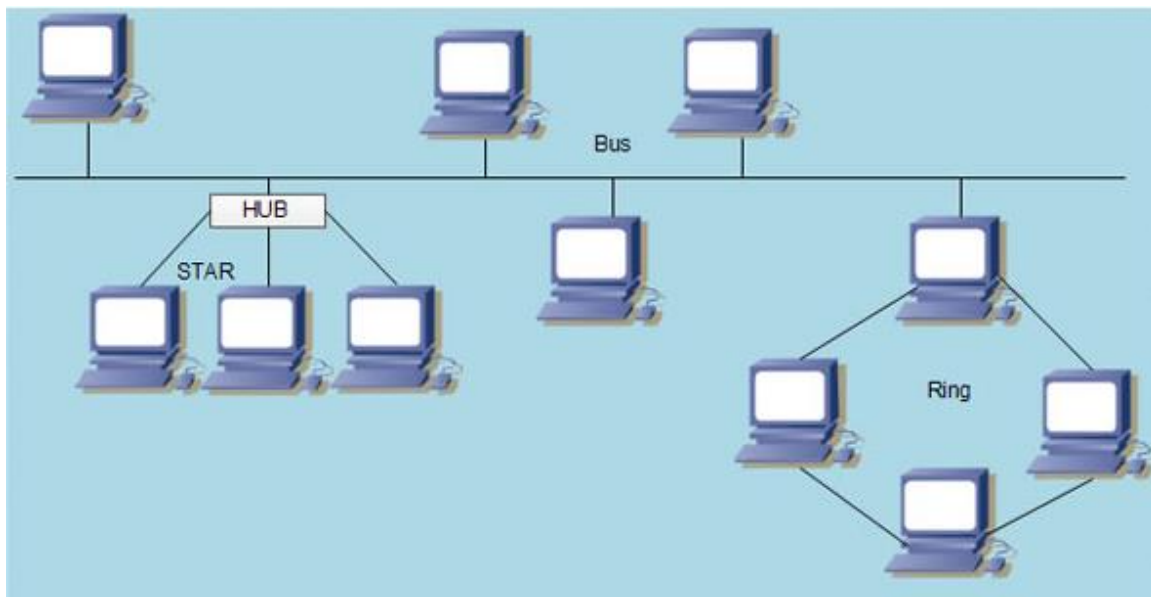
Η τοπολογία δένδρου έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και από τα δύο είδη τοπολογίας. Για παράδειγμα, εάν η σύνδεση μεταξύ δύο δικτύων αστέρα σπάσει λόγω ενός κόμβου στο κεντρικό δίαυλο, τότε οι δύο αυτές ομάδες δεν μπορεί να επικοινωνούν. Ωστόσο, οι κόμβοι που αποτελούν μία τοπολογία αστέρα θα συνεχίσουν να επικοινωνούν αποτελεσματικά μεταξύ τους.

Μπορεί να επεκταθεί όσο επιθυμούμε, συνδέοντας δευτερεύοντες κόμβους στο κεντρικό κόμβο. Επιπλέον οι συσκευές έχουν σύνδεση σημείο-προς-σημείο.

### 2.3.7 Υβριδική Τοπολογία

Τα υβριδικά δίκτυα χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό οποιονδήποτε δύο ή περισσότερων βασικών τοπολογιών, από αυτές που περιγράψαμε παραπάνω, έτσι ώστε να προκύπτει μία νέα τοπολογία διαφορετική από τις βασικές. Ένα παράδειγμα υβριδικής τοπολογίας είναι αυτή που συνδυάζει την τοπολογία αστέρα και δακτυλίου.

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα υβριδικής τοπολογίας που περιλαμβάνει μία τοπολογία διαύλου, αστέρα και δακτυλίου.



Εικόνα 20: Παράδειγμα Υβριδικής Τοπολογίας. Πηγή: ecomputernotes

## 2.4 TCP/IP δίκτυα

### 2.4.1 Εισαγωγή

Με τον όρο TCP/IP αναφερόμαστε σε μια συλλογή πρωτοκόλλων επικοινωνίας στα οποία βασίζεται το Διαδίκτυο. Η ονομασία TCP/IP αυτή έχει προκύψει από τα δύο κυριότερα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι το TCP (Transmission Control Protocol, Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης) και το IP (Internet Protocol, Πρωτόκολλο Διαδικτύου).

Το πρωτόκολλο μεταφοράς TCP είναι η βασική γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ δύο υπολογιστών. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε ένα ιδιωτικό δίκτυο όπως για παράδειγμα intranet και extranet. Σε κάθε περίπτωση, οι υπολογιστές που θέλουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους θα πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με ένα αντίγραφο των πρωτοκόλλων TCP / IP. Άλλωστε, η επικοινωνία με τα πρωτόκολλα TCP / IP αποτελεί επικοινωνία σημείο-προς-σημείο. Το TCP / IP χρησιμοποιεί το μοντέλο πελάτη / εξυπηρετητή (client / server). Σε αυτή την περίπτωση, ο ένας υπολογιστής (client) κάνει αίτηση για κάποια υπηρεσία, όπως για παράδειγμα, για την αποστολή μιας ιστοσελίδας, σε έναν άλλο υπολογιστή (server) στο δίκτυο. Τέλος, το πρωτόκολλο TCP / IP θεωρείται stateless, το οποίο σημαίνει ότι κάθε αίτημα ενός πελάτη θεωρείται σαν μια νέα αίτηση, ανεξάρτητη από όλες τις προηγούμενες.

Το μοντέλο TCP / IP είναι οργανωμένο σε τέσσερα επίπεδα (layers). Στην ουσία αποτελεί εξέλιξη του μοντέλου OSI, το οποίο παραμένει έως και σήμερα θεωρητικό και οργανώνεται σε επτά στρώματα. Το κάθε επίπεδο έχει συγκεκριμένη λειτουργία και παρέχει μία καθορισμένη υπηρεσία στα υψηλότερα στρώματα. Τα ανώτερα επίπεδα είναι πιο κοντά στη λογική του χρήστη και εξετάζουν πιο αφηρημένα δεδομένα, στηριζόμενα σε πρωτόκολλα χαμηλότερων στρωμάτων για να μεταφράσουν δεδομένα σε μορφές που μπορεί να διαβιβαστούν με φυσικά μέσα. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η σχέση των δύο μοντέλων.



Εικόνα 21: Σχέση μοντέλου OSI και TCP/IP

## 2.4.2 Επίπεδα TCP / IP

### 2.4.2.1 Επίπεδο Πρόσβασης Δικτύου

Το επίπεδο αυτό αποτελεί το χαμηλότερο επίπεδο λειτουργικότητας και παρέχει πρόσβαση στο φυσικό μέσο όπου η πληροφορία μεταδίδεται με τη μορφή πακέτων. Όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 22, το επίπεδο αυτό, αντιστοιχεί στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων του μοντέλου του OSI.

Το επίπεδο αυτό επικοινωνεί απευθείας με το δίκτυο και παρέχει την διασύνδεση μεταξύ της αρχιτεκτονικής του δικτύου (π.χ. Ethernet) και του επιπέδου του δικτύου. Το TCP / IP είναι σχεδιασμένο ανεξάρτητα από το υλικό και δεν υπάρχει κάποιο σαφώς καθορισμένο χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο. Έτσι διαφέρει από υπολογιστή σε υπολογιστή και από δίκτυο σε δίκτυο. Σε αυτό το επίπεδο, περιέχονται όλα τα φυσικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη μεταφορά των πακέτων όπως καλώδια, κάρτες δικτύου, πρωτόκολλα πρόσβασης τοπικών δικτύων. Σαν αποτέλεσμα, το πρωτόκολλο TCP / IP μπορεί να εφαρμοστεί πάνω από σχεδόν οποιοδήποτε υλικό μέσο. Το μόνο που απαιτείται από αυτό το επίπεδο, είναι να αποστέλλονται και να λαμβάνονται πακέτα IP.

Το επίπεδο πρόσβασης παρέχει υπηρεσίες στο αμέσως ανώτερο επίπεδο, το επίπεδο δικτύου. Η κύρια λειτουργία του επιπέδου αυτού είναι η μετακίνηση πακέτων μεταξύ δύο υπολογιστών ενός δικτύου. Για τον έλεγχο της μετάδοσης των πακέτων, προστίθεται κεφαλίδα στα πακέτα και στη συνέχεια, διαβιβάζονται πάνω από το φυσικό μέσο. Σε αυτό το επίπεδο, επιλέγεται επίσης το πώς θα σταλθεί ένα πακέτο.

#### 2.4.2.2 Επίπεδο Δικτύου

Το επίπεδο δικτύου ή διαφορετικά επίπεδο διαδικτύου είναι το δεύτερο επίπεδο του μοντέλου και χρησιμοποιεί αρκετά πρωτόκολλα για τη δρομολόγηση και παράδοση των πακέτων. Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση στο φυσικό δίκτυο των πακέτων που δημιουργούνται από τα πρωτόκολλα TCP και UDP που βρίσκονται στο αμέσως ανώτερο επίπεδο (μεταφοράς). Τα πακέτα μεταδίδονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο προς τον προορισμό τους και μπορεί να φτάνουν με διαφορετική σειρά από αυτή με την οποία ξεκίνησαν από τον αποστολέα τους.

Το στρώμα δικτύου είναι υπεύθυνο για την αποστολή πακέτων σε πολλαπλά δυνητικά δίκτυα. Έτσι, καθίσταται δυνατή η διασύνδεση δικτύων με διαφορετικές διευθύνσεις IP, και επιτρέπει τη λειτουργία του διαδικτύου. Το επίπεδο δικτύου εκτελεί δύο βασικές λειτουργίες. Αρχικά είναι υπεύθυνο για τη διευθυνσιοδότηση και ταυτοποίηση των υπολογιστών ενός δικτύου. Για να το πετύχει αυτό, χρησιμοποιεί τις διευθύνσεις IP. Επιπλέον, είναι αρμόδιο για τη δρομολόγηση των πακέτων από την πηγή στον προορισμό στέλνοντάς τα στον δρομολογητή του δικτύου που βρίσκεται πιο κοντά στον τελικό προορισμό.

Υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα στο επίπεδο αυτό όπως για παράδειγμα, το Address Resolution Protocol (ARP), το Internet Control Message Protocol (ICMP) και το IP. Το πιο σημαντικό όμως είναι το πρωτόκολλο μεταγωγής πακέτων IP που είναι υπεύθυνο για τη παγκόσμια διασυνδεσιμότητα και την επιλογή του δρομολογίου κάθε πακέτου. Βασικός στόχος του είναι να μεταδίδει τα πακέτα στον προορισμό τους, όσο το δυνατόν πιο γρήγορα και αποφεύγοντας τις συμφορήσεις του δικτύου.



### 2.4.2.3 Επίπεδο Μεταφοράς

Το επίπεδο μεταφοράς είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση και τη διατήρηση συνδέσεων μεταξύ των υπολογιστών ενός δικτύου, χρησιμοποιώντας θύρες(ports). Είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο ροής, τον έλεγχο σφαλμάτων, τον έλεγχο συμφόρησης, την κατάτμηση και τελικά την τοποθέτηση των πακέτων στη σωστή σειρά, ώστε πληροφορία να λαμβάνεται τελικά ακέραια και ορθή. Χειρίζεται επίσης και τις αναμεταδόσεις των πακέτων. Το TCP παρέχει τις υπηρεσίες του στο αμέσως ανώτερο επίπεδο (Εφαρμογής).

Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το επίπεδο είναι τα TCP(πρωτόκολλο με σύνδεση) και UDP (πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση). Το TCP δημιουργεί αξιόπιστες ταυτόχρονες συνδέσεις διπλής κατεύθυνσης. Με τον όρο αξιόπιστες εννοούμε ότι το TCP αναλαμβάνει να διορθώσει τα λάθη που τυχόν παρουσιάζονται κατά τη μετάδοση. Για παράδειγμα, επαναλαμβάνεται η μετάδοση πακέτων που χάθηκαν ή αλλοιώθηκαν. Καθώς θεωρείται ότι οι συνδέσεις που παρέχει είναι αξιόπιστες, τα προγράμματα στο επίπεδο εφαρμογής δεν κάνουν κανένα έλεγχο για ορθότητα των δεδομένων που προέρχονται από το TCP. Με τον όρο ταυτόχρονες συνδέσεις, εννοούμε ότι ένας υπολογιστής μπορεί σε μια δεδομένη στιγμή να διατηρεί πλήθος διαφορετικών συνδέσεων TCP οι οποίες να λειτουργούν όλες μαζί αλλά καμία να μην επηρεάζει την άλλη. Ενώ ο όρος επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης σημαίνει ότι μέσω μιας σύνδεσης μπορεί ταυτόχρονα να μεταδίδονται και να λαμβάνονται δεδομένα.

Το πρωτόκολλο αυτοδύναμων πακέτων UDP δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που η αξιοπιστία δεν είναι κρίσιμη και δεν είναι επιθυμητή η χρήση του TCP. Για παράδειγμα, όταν δεν απαιτείται παράδοση των πακέτων με τη σωστή σειρά ή ο έλεγχος ροής που πραγματοποιείται με την χρήση του TCP. Σε αυτή την περίπτωση, οι εφαρμογές παρέχουν δικούς τους μηχανισμούς μεταφοράς όπου η άμεση παράδοση κρίνεται πιο σημαντική από την ορθή (χωρίς λάθη) παράδοση του TCP. Παράδειγμα τέτοιων εφαρμογών είναι οι εφαρμογές που σχετίζονται με τη μετάδοση φωνής ή video.

#### 2.4.2.4 Επίπεδο Εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής παρέχει τις εφαρμογές (προγράμματα) που χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς και είναι το σημείο που ο τελικός χρήστης έρχεται σε επαφή με την στοίβα πρωτοκόλλων της τεχνολογίας TCP/IP. Το επίπεδο εφαρμογής είναι το υψηλότερο επίπεδο του μοντέλου και περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από τις περισσότερες εφαρμογές για την παροχή υπηρεσιών στους χρήστες ή για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των εφαρμογών. Κάποια πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το επίπεδο είναι τα: Hypertext Transfer Protocol (HTTP), το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP), το πρωτόκολλο Simple Mail Transfer Protocol (SMTP), το πρωτόκολλο telnet και το πρωτόκολλο Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP). Τα πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου χρησιμοποιούνται επίσης στο αντίστοιχο επίπεδο του OSI. Τα πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου, συνδέονται με συγκεκριμένες εφαρμογές client-server, ενώ πολλά έχουν γνωστό αριθμό θύρας. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο HypertextTransferProtocol χρησιμοποιεί τη θύρα 80 ενώ το Telnet τη θύρα 23.

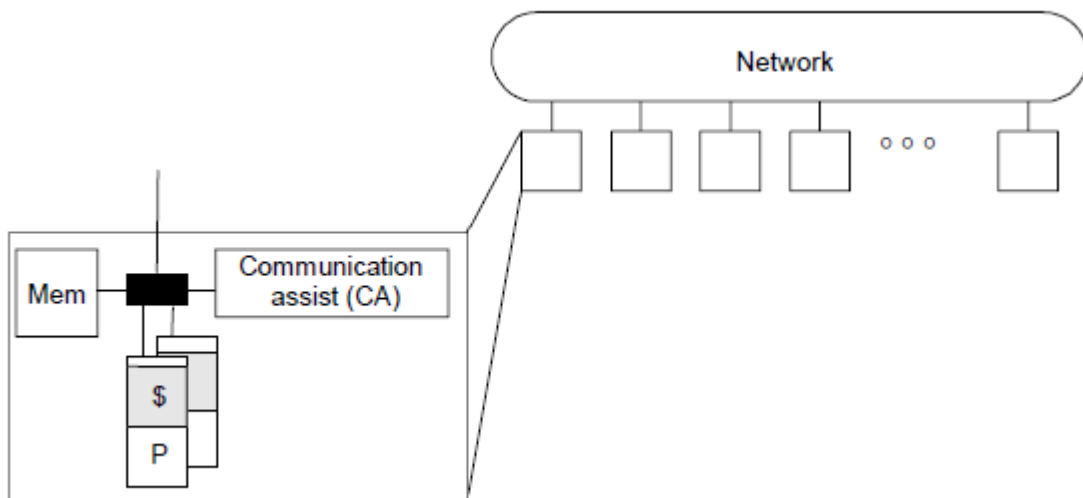
Το βασικό μοντέλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές TCP/IP είναι το μοντέλο πελάτη- εξυπηρετητή (client - server). Ο εξυπηρετητής είναι μια διεργασία (πρόγραμμα) η οποία εκτελείται σε ένα υπολογιστή (server) και ελέγχει τις εισερχόμενες αιτήσεις πελατών για να δει αν κάποια απευθύνεται προς αυτήν. Αν υπάρχει κάποια τέτοια αίτηση, ο εξυπηρετητής αναλαμβάνει να βρει τα δεδομένα που ζητούνται με σκοπό να τα στείλει στον πελάτη. Ο πελάτης είναι πάλι αντίστοιχα το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται (συνήθως από τον τελικό χρήστη) για να ζητήσει τα δεδομένα από τον εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετητής στέλνει την αντίστοιχη αίτηση και περιμένει να λάβει τα δεδομένα που ζήτησε. Με το τέλος της εξυπηρέτησης ενός πελάτη, ο εξυπηρετητής επιστρέφει ξανά σε κατάσταση αναμονής, περιμένοντας νέα αίτηση (τυπικά ένας εξυπηρετητής είναι σε θέση να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα περισσότερες από μια αιτήσεις).

## Κεφάλαιο 3: Interconnection Networks

### 3.1 Εισαγωγή

Τα διασυνδεδεμένα δίκτυα (interconnection network) προέκυψαν από την εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών και τις απαιτήσεις για τη βελτίωση της απόδοσης των υπολογιστικών συστημάτων. Στις μέρες μας είναι δυνατόν να δημιουργήσουμε ένα σύστημα πολλαπλών επεξεργαστών με τη διασύνδεση ενός μεγάλου αριθμού αυτόνομων επεξεργαστών και μονάδων μνήμης. Τέτοια συστήματα είναι απαραίτητα, καθώς όλο και περισσότερες εφαρμογές αναπτύσσονται με αυξημένες απαιτήσεις για υπολογιστή ισχύ.

Στην Εικόνα 23 βλέπουμε ένα μοντέρνο πολύ-επεξεργαστή. Αποτελείται από κόμβους, οι οποίοι μπορεί να είναι ένας ή περισσότεροι επεξεργαστές, σύστημα μνήμης, καθώς και σύστημα επικοινωνίας. Το σύστημα επικοινωνίας είναι απαραίτητο για τον έλεγχο της επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Το δίκτυο της εικόνας αποτελεί ένα κλιμακούμενο δίκτυο, καθώς μπορούμε να το προσαρμόσουμε στο επιθυμητό μέγεθος.



Εικόνα 22: Μοντέρνος πολυεπεξεργαστής. Πηγή: WayneStateUniversity

Η διασύνδεση αυτόνομων υπολογιστικών συστημάτων και, κατ' επέκταση, η διασύνδεση των δικτύων, που αναφέραμε παραπάνω, είναι απαραίτητες κυρίως για δύο λόγους. Αρχικά στο άμεσο μέλλον, η απόδοση των υπολογιστών θα μπορεί να αυξηθεί μόνο μέσω της παράλληλης επεξεργασίας καθώς η ταχύτητα των υπολογιστών έχει ένα όριο. Δεύτερον, πολλές ομάδες υπαρχόντων προβλημάτων απαιτούν την εκτέλεση ενός εκατομμυρίου εντολών ανά δευτερόλεπτο. Κάτι τέτοιο είναι πολύ μακριά από τις σημερινές δυνατότητες των υπολογιστικών συστημάτων.

Παραδείγματα εφαρμογών με μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους είναι σχετικές με την πρόβλεψη του καιρού, την επεξεργασία σήματος, την παρακολούθηση ραντάρ και την επεξεργασία εικόνας. Αυτές οι εφαρμογές, υπερβαίνουν κατά πολύ τις δυνατότητες των αρχιτεκτονικών μονού επεξεργαστή, ενώ ο χρόνος επεξεργασίας τους μειώνεται σημαντικά με τη χρήση παράλληλων επεξεργαστών.

Οποιοδήποτε παράλληλο σύστημα που χρησιμοποιεί περισσότερους από έναν επεξεργαστή για την επεξεργασία κάποιας εφαρμογής πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε οι επεξεργαστές του να έχουν την ικανότητα να επικοινωνούν αποτελεσματικά μεταξύ τους. Διαφορετικά, τα πλεονεκτήματα της παράλληλης επεξεργασίας μπορεί να αναιρεθούν από την αναποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των επεξεργαστών. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι οι υπερυπολογιστές όπου απαιτείται η σύνδεση επεξεργαστών και συστάδων μηχανημάτων. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τη σημασία των διασυνδεδεμένων δικτύων για τη συνολική παράλληλη απόδοση του συστήματος. Για παράδειγμα, σε προτεινόμενες ή υφιστάμενες παράλληλες αρχιτεκτονικές επεξεργασίας, η διασύνδεση με το δίκτυο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των επεξεργαστών και των μονάδων μνήμης.

### **3.2 Χαρακτηριστικά διασυνδεδεμένων δικτύων**

Για την σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών που λειτουργούν παράλληλα είναι απαραίτητη η εξεύρεση ενός δικτύου διασύνδεσης που προσφέρει γρήγορη και αποτελεσματική επικοινωνία με λογικό κόστος. Έτσι, κατά τον σχεδιασμό ενός δικτύου θα πρέπει να επιλέγεται η αρχιτεκτονική του, ο τρόπος διασύνδεσης, η λειτουργία και η τοπολογία του.

### 3.2.1 Λειτουργία δικτύου

Η λειτουργία ενός δικτύου διασύνδεσης μπορεί να είναι σύγχρονη, ασύγχρονη ή ένας συνδυασμός αυτών.

Τα σύγχρονα δίκτυα χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται η σύγχρονη ροή εντολών και δεδομένων. Για να είναι εφικτό αυτό, είναι απαραίτητη η δημιουργία συγχρονισμένων διόδων επικοινωνίας για το χειρισμό των εντολών και των δεδομένων.

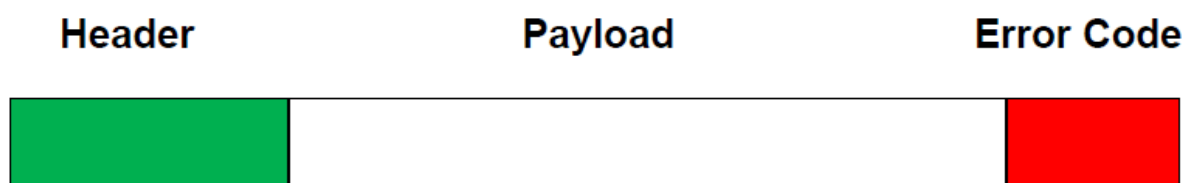
Ένα ασύγχρονο σύστημα επικοινωνίας χρησιμοποιείται όταν οι αιτήσεις σύνδεσης σε ένα δίκτυο εκδίδονται δυναμικά. Σε αυτή την περίπτωση, δεν είναι προβλέψιμα τα αιτήματα δρομολόγησης και το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να χειριστεί τέτοια αιτήματα ανά πάσα στιγμή.

### 3.2.2 Μετάδοση δεδομένων

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι μεταγωγής δεδομένων σε ένα δίκτυο. Οι τύποι αυτοί είναι η μεταγωγή κυκλώματος, η μεταγωγή πακέτου, και η ολοκληρωμένη μεταγωγή.

Στην μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching) εγκαθίσταται μια πλήρης διαδρομή μεταξύ πηγής και προορισμού. Η διαδρομή αυτή παραμένει μέχρι να ολοκληρωθεί η μεταφορά όλων των δεδομένων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της μεταγωγής κυκλώματος είναι η υλοποίηση ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου, όπου δύο κόμβοι του δημιουργούν ένα αποκλειστικό κανάλι επικοινωνίας (κύκλωμα) στο δίκτυο μέσω του οποίου μπορεί να επικοινωνούν. Αυτός ο τρόπος αποστολής δεδομένων είναι ο καταλληλότερος για τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων συνεχών δεδομένων, αφού εξασφαλίζεται το πλήρες εύρος ζώνης. Επιπλέον, το κύκλωμα δεν μπορεί να υποβαθμιστεί από ανταγωνιστές, επειδή δεσμεύεται μέχρι το τέλος της επικοινωνίας. Το μειονέκτημα της μεταγωγής πακέτου είναι ότι μπορεί να είναι αναποτελεσματική καθώς η σύνδεση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλες συνδέσεις στο ίδιο δίκτυο.

Σε αντίθεση με τη μεταγωγή κυκλώματος, στη μεταγωγή πακέτου (packet-switching) δεν χρησιμοποιείται κάποια συγκεκριμένη διαδρομή μεταξύ πηγής και προορισμού. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται κυρίως για τη μετάδοση σταθερής ποσότητας δεδομένων. Στη μεταγωγή πακέτων, τα δεδομένων που στέλνονται, σπάνε σε πακέτα σταθερού μεγέθους. Κάθε πακέτο έχει μια επικεφαλίδα με πληροφορίες για τη δρομολόγησή του. Στην ακόλουθη εικόνα, βλέπουμε τη μορφή ενός πακέτου. Στην επικεφαλίδα (header), περιέχει πληροφορίες για την δρομολόγηση και τον έλεγχο του πακέτου. Στη συνέχεια, ακολουθεί ένα κομμάτι (payload) όπου μεταφέρονται τα δεδομένα. Τα δεδομένα δεν περιέχουν πληροφορίες σχετικές με το υλικό. Τέλος στην ουρά (errorcode) του πακέτου, υπάρχει κώδικας για τον έλεγχο λαθών.

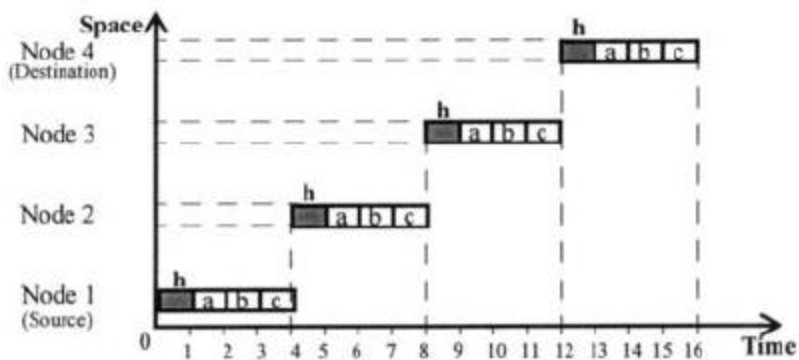


Εικόνα23: Μορφήπακέτου. Πηγή: Carnegie Mellon University, School of Computer Science

Το πακέτο με την παραπάνω μορφή, μπορεί να κινείται μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Τα πακέτα μεταδίδονται μέσω ενός μέσου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλαπλές ταυτόχρονες συνόδους επικοινωνίας. Σαν αποτέλεσμα, με την μεταγωγή πακέτων αυξάνει η απόδοση του δικτύου και επιτρέπεται η τεχνολογική σύγκλιση πολλών εφαρμογών που λειτουργούν στο ίδιο δίκτυο. Για να το πετύχει αυτό, υπάρχει η δυνατότητα σε κάθε κόμβο αποθήκευσης και τοποθέτησης των πακέτων σε ουρές. Βασικό μειονέκτημα της μεταγωγής πακέτου είναι η απώλεια της ποιότητας των υπηρεσιών σε σχέση με τις αντίστοιχες της μεταγωγή κυκλώματος, καθώς μπορεί να προκληθούν ποικίλες και ενδεχομένως επ' αόριστον μεγάλες καθυστερήσεις στη μεταφορά πακέτων.

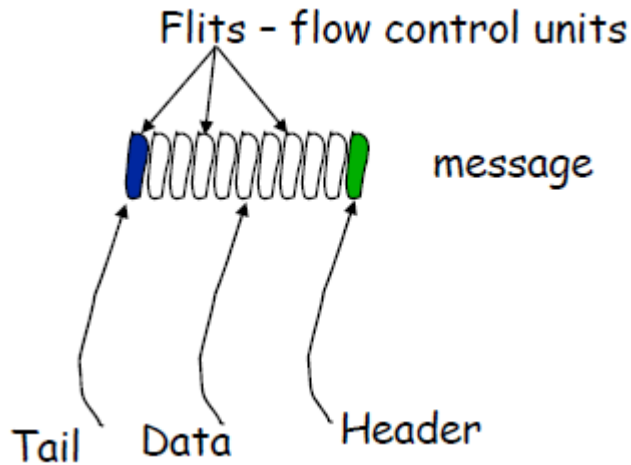
Στην μεταγωγή πακέτου χρησιμοποιούνται δύο τρόποι δρομολόγησης των πακέτων. Ο πρώτος τρόπος χρησιμοποιεί την αποθήκευση και την προώθηση (StoreandForward - SF) των πακέτων. Σε αυτή την περίπτωση, ολόκληρο το πακέτο μετακινείται κατά ένα hop προς τον προορισμό

του. Το κάθε πακέτο πάντα αποθηκεύεται πλήρως σε κάθε κόμβο, ακόμη και εάν η έξοδος του κόμβου είναι ελεύθερη και στη συνέχεια το πακέτο στέλνεται στον επόμενο κόμβο. Τα πακέτα στέλνονται διαδοχικά χωρίς να υπάρχουν επικαλύψεις στο χρόνο.



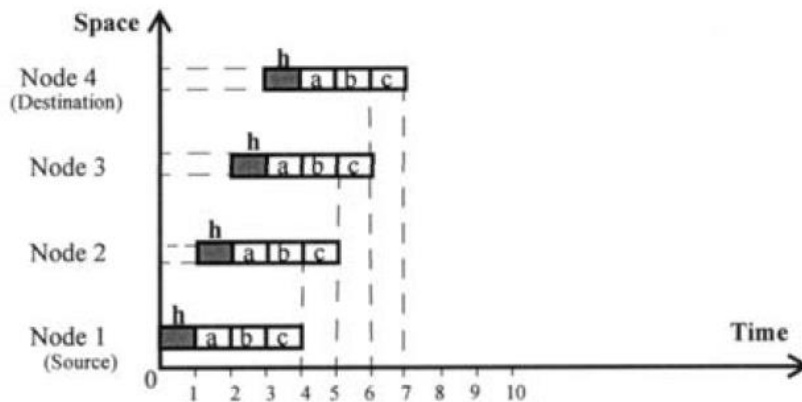
Εικόνα25: StoreandForwardδρομολόγηση. Πηγή: McGill, School of Computer Science

Ο επόμενος τρόπος ονομάζεται cut-throughδρομολόγηση. Εδώ, κάθε πακέτο διασπάται σε καθορισμένου μεγέθους μονάδες που ονομάζονται flowcontroldigits (flits). Τα flits δεν περιέχουν καμία πληροφορία δρομολόγησης, ενώ ακολουθούν το ίδιο μονοπάτι που εγκαθίσταται από την κεφαλίδα. Μπορούμε να δούμε την μορφή ενός πακέτου το οποίο είναι χωρισμένο σε flits στην Εικόνα 26.



Εικόνα24: Flits (Flow Control digits). Πηγή: Massachusetts Institute of Technology

Σε αυτού του είδους τη δρομολόγηση, κάθε κόμβος χρησιμοποιεί ένα ενταμιευτή (buffer) για την αποθήκευση ενός μόνο flit κάθε φορά. Το μήνυμα αποθηκεύεται στον κόμβο μόνο όταν η έξοδος από τον κόμβο δεν είναι ελεύθερη.



Εικόνα25: Cut-through δρομολόγηση. Πηγή: McGill, School of Computer Science

Η ολοκληρωμένη μεταγωγή, αποτελεί ένα συνδυασμό της μεταγωγής κυκλώματος και πακέτου. Αποτελεί μια τεχνολογία που ονομάζεται ATM (Asynchronous Transfer Mode). Προσπαθεί να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων. Έχει εγγυημένη παράδοση, χαρακτηριστικό

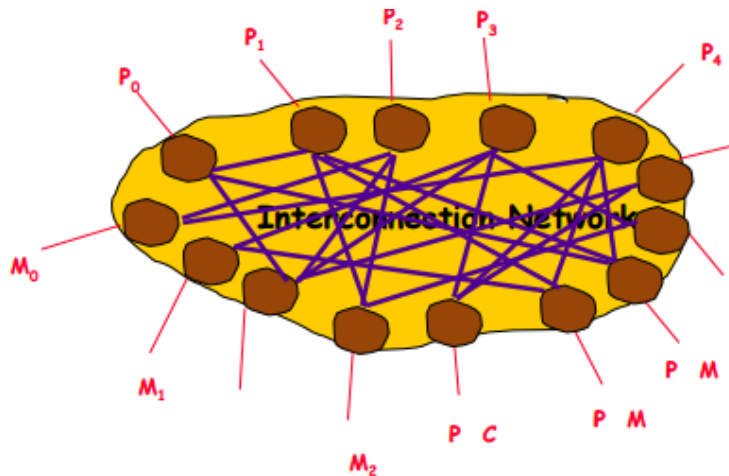


των δικτύων μεταγωγής και ευκαμψία, χαρακτηριστικό των δικτύων μεταγωγής πακέτων. Σαν αποτέλεσμα, μεγάλες ποσότητες δεδομένων μπορούν να κινηθούν γρήγορα σε μία φυσική διαδρομή, ενώ μικρά πακέτα πληροφοριών διαβιβάζονται μέσω του δικτύου. Η ολοκληρωμένη μεταγωγή χρησιμοποιείται σε δίκτυα PSTN (public switched telephone network) καθώς και ISDN (Integrated Services Digital Network).

### 3.3 Τοπολογίες Διασυνδεδεμένων Δικτύων

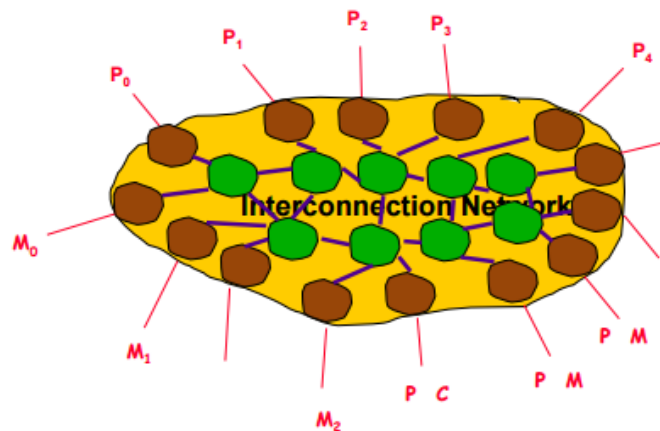
Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε τις τοπολογίες των διασυνδεδεμένων δικτύων. Δηλαδή θα αναφερθούμε στις διατάξεις των δεσμών και των μεταγωγών (switch) έτσι ώστε να δημιουργηθούν διασυνδέσεις. Οι σύνδεσμοι μεταξύ των μεταγωγών είναι φυσικά καλώδια ή κανάλια, ενώ οι μεταγωγείς είναι συσκευές που συνδέουν τους συνδέσμους εισόδου με τους συνδέσμους εξόδου.

Οι τοπολογίες δικτύων μπορεί να χωριστούν σε δύο ομάδες: τη στατική (static network) και τη δυναμική (dynamic network). Τα στατικά δίκτυα παρέχουν σταθερές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων. Με τον όρο κόμβο εννοούμε έναν επεξεργαστή, μία μονάδα μνήμης, μία συσκευή εισόδου / εξόδου (I / O) ή οποιοδήποτε συνδυασμό αυτών. Έτσι, για παράδειγμα, μιλάμε για συνδέσεις μεταξύ των επεξεργαστών. Στα στατικά δίκτυα, οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων είναι αμετάβλητες και δεν μπορεί να τροποποιηθούν εύκολα. Παραδείγματα στατικών δικτύων είναι η σύνδεση αστέρα, η γραμμική διάταξη, το δαχτυλίδι, το πλέγμα και ο υπερκύβος.



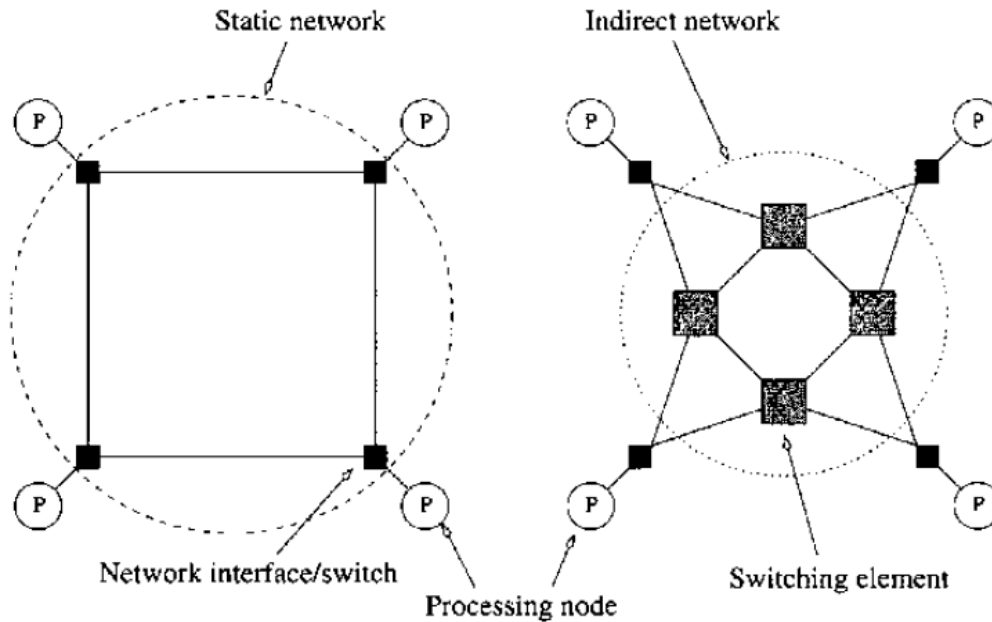
Εικόνα26: Στατικήτοπολογία. Πηγή: Massachusetts Institute of Technology

Τα δυναμικά δίκτυα παρέχουν ρυθμιζόμενες συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, κάτι το οποίο αποτελεί βασική συνιστώσα της δυναμικότητας του δικτύου. Παραδείγματα τοπολογιών δυναμικών δικτύων είναι τα crossbar, οι τοπολογίες βασισμένες σε δίαυλο (bus) και οι τοπολογίες πολλών βαθμίδων (multistage).



Εικόνα27: Δυναμικήτοπολογία. Πηγή: Massachusetts Institute of Technology

Στην Εικόνα 30 μπορούμε να δούμε σχηματικά τις διαφορές μεταξύ της στατικής και της δυναμικής τοπολογίας.



Εικόνα 28: Στατική και δυναμική διάταξη διασυνδεδεμένων δικτύων. Πηγή: Wayne State University

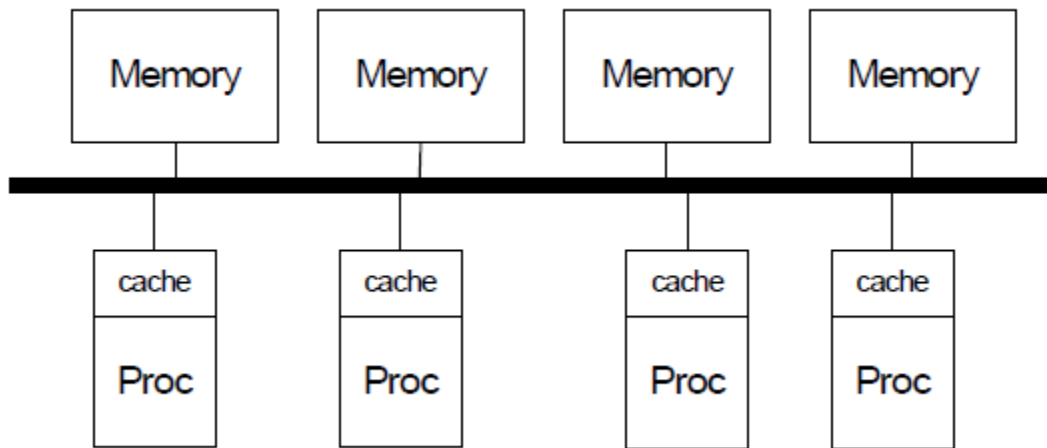
### 3.3.1 Στατικές τοπολογίες δικτύων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι στατικών δικτύων, τα οποία χαρακτηρίζονται από τον βαθμό των κόμβων τους. Με τον όρο βαθμός κόμβου εννοούμε τον αριθμό των συνδέσμων (ακμές) που συνδέονται σε ένα κόμβο. Στην περίπτωση των στατικών δικτύων, οι κόμβοι συνδέονται άμεσα μεταξύ τους. Οι κόμβοι του δικτύου χρησιμοποιούνται μόνο για δρομολόγηση ενώ απαιτείται μεγάλος αριθμός υλικού.

Μια διαφορετική μονάδα μέτρησης, είναι η διάμετρος. Η διάμετρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει τις σχετικές επιδόσεις των διάφορων δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, η διάμετρος ενός δικτύου ορίζεται ως η μεγαλύτερη ελάχιστη απόσταση μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους κόμβων. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ ενός ζεύγους κόμβων είναι ο ελάχιστος αριθμός βημάτων (hops) που πρέπει να πραγματοποιηθούν από τα δεδομένα μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους. Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε μερικά γνωστά στατικά δίκτυα.

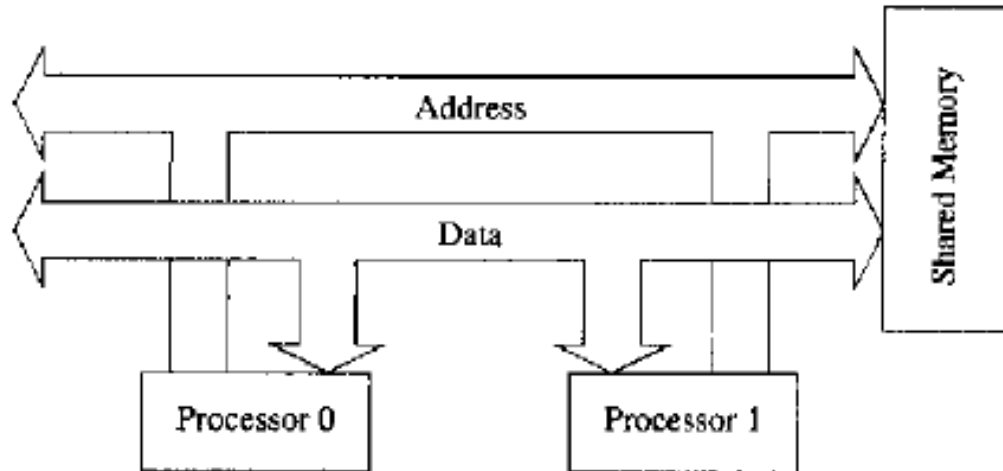
### Κοινόχρηστος δίαυλος (Sharedbus)

Ο διαμοιραζόμενος δίαυλος, ο οποίος πολλές φορές ονομάζεται και κοινός δίαυλος, αποτελεί την πιο απλή μορφή στατικού δικτύου. Αυτός ο τύπος δικτύου έχει βαθμό 1, καθώς στον κοινόχρηστο δίαυλο συνδέονται όλοι οι κόμβοι, με αποτέλεσμα να μοιράζονται μια κοινή σύνδεση επικοινωνίας. Αποτελεί την πιο φτηνή διάταξη ενώ μπορεί εύκολα να προστεθούν νέοι ή να αφαιρεθούν υπάρχοντες κόμβοι. Η τοπολογία αυτή λειτουργεί αποδοτικά για μικρό αριθμό κόμβων. Ωστόσο, απαιτείται ένας μηχανισμός για την αντιμετώπιση των συγκρούσεων, όταν αρκετοί κόμβοι θέλουν να χρησιμοποιήσουν τον δίαυλο ταυτόχρονα. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να επιτευχθεί μέσω ενός ελεγκτή διαύλου, που δίνει πρόσβαση στο δίαυλο είτε με την τεχνική first-come, first-served ή μέσω ενός σχήματος προτεραιότητας. Το βασικό μειονέκτημα της τοπολογίας αυτής είναι ότι δεν είναι εύκολα επεκτάσιμη ενώ παρέχει χαμηλό εύρος ζώνης στους συνδεδεμένους κόμβους.



Εικόνα 29: Διαμοιραζόμενος δίαυλος μεταξύ μνημών και επεξεργαστών. Πηγή: CarnegieMellonUniversity, SchoolofComputerScience

Κάθε δίκτυο που χρησιμοποιεί ένα διαμοιραζόμενο δίαυλο, αποτελείται ένα σύνολο καλωδίων, που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση πολλαπλών στοιχείων επεξεργασίας (όπως για παράδειγμα μνήμη και επεξεργαστές).

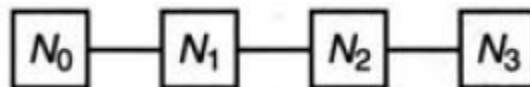


Εικόνα 30: Δίκτυο βασισμένο σε διαμοιράζομενο δίκτυο. Πηγή: WayneStateUniversity

Βασικό μειονέκτημα, ενός τέτοιου δικτύου είναι ότι το εύρος ζώνης δεν αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των επεξεργαστών.

### Γραμμική διάταξη (Lineararray)

Η γραμμική διάταξη έχει βαθμό 2, καθώς κάθε κόμβος συνδέεται με δύο γειτονικούς κόμβους (εκτός από τους δύο ακριανούς). Αν και ο σχεδιασμός της γραμμικής διάταξης είναι σχετικά απλός, μπορεί να υπάρχουν μεγάλες καθυστερήσεις στην επικοινωνία, ιδίως μεταξύ των απομακρυσμένων κόμβων των δύο άκρων. Αυτό συμβαίνει καθώς κάθε πακέτο που εισέρχεται στο δίκτυο από το ένα άκρο πρέπει να περάσει μέσα από μια σειρά κόμβων, ώστε να φτάσει στο άλλο άκρο του δικτύου. Κάθε γραμμική διάταξη των  $N$  κόμβων έχει διάμετρο  $N-1$ .

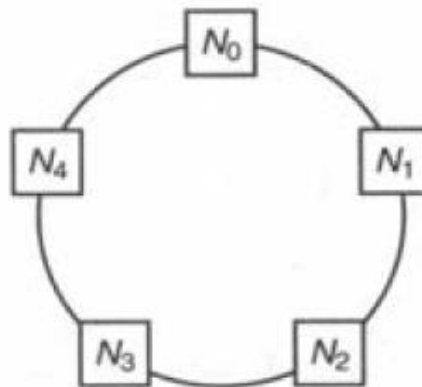


Εικόνα 31: Γραμμική διάταξη. Πηγή: SouthernIllinoisUniversity

### Δακτύλιος (Ring)

Μια άλλη απλή διάταξη δικτύου είναι ο δακτύλιος. Ο δακτύλιος έχει βαθμός 2, καθώς όλοι οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται με τους δύο γειτονικούς τους. Ένα δίκτυο δακτυλίου μπορεί να είναι μονόδρομο ή αμφίδρομο. Στο μονόδρομο δακτύλιο, τα δεδομένα μπορεί να ταξιδέψουν προς μία μόνο κατεύθυνση, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Σε αυτή την περίπτωση, ένας δακτύλιος έχει διάμετρο  $N-1$ , όπως ακριβώς και η γραμμική διάταξη. Στον αμφίδρομο δακτύλιο, που τα δεδομένα μπορεί να ταξιδέψουν και προς στις δύο κατευθύνσεις, η διάμετρος μειώνεται κατά έναν παράγοντα 2. Οπότε έχουμε διάμετρο  $\lfloor N / 2 \rfloor$ . Παρότι, η διάμετρος του δακτυλίου είναι καλύτερη σε σχέση με τη γραμμική διάταξη, υπάρχουν μεγάλες καθυστερήσεις για μεγάλες τιμές του  $N$ .

Στην περίπτωση του αμφίδρομου δακτυλίου, έχουμε μεγαλύτερη αξιοπιστία. Ακόμα και αν χαθεί η σύνδεση προς μία κατεύθυνση, θα παραμείνει η σύνδεση προς την άλλη κατεύθυνση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ολοκληρωθεί η μετάδοση ενός μηνύματος.

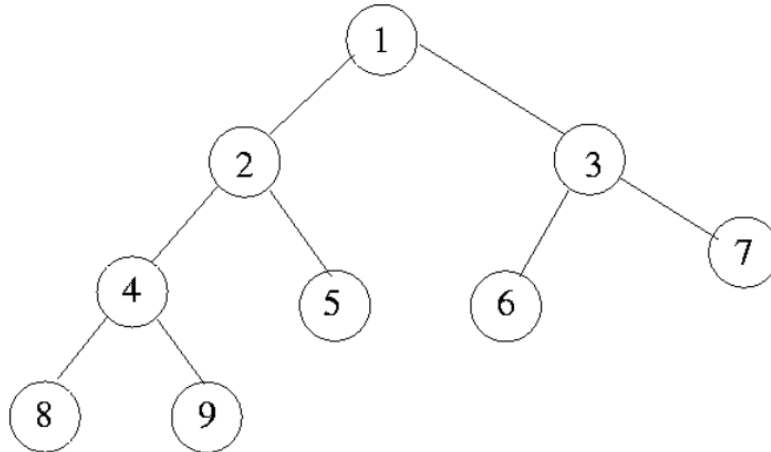


Εικόνα 32: Διάταξη δακτυλίου με 5 κόμβους. Πηγή: SouthernIllinoisUniversity

### Δυαδικό δένδρο (Binary Tree)

Σε κάθε δένδρο, ο κόμβος στην κορυφή ονομάζεται ρίζα (root) και οι κόμβοι στο τέλος του δέντρου, φύλλα (leaf). Οι υπόλοιποι κόμβοι ονομάζονται ενδιάμεσοι κόμβοι. Σε ένα δίκτυο, με τη μορφή δυαδικού δέντρου, κάθε ενδιάμεσος κόμβος έχει δύο παιδιά. Η ρίζα έχει διεύθυνση 1,

ενώ, τα παιδιά του κόμβου  $x$  ονομάζονται  $2x$  και  $2x + 1$ . Ένα δυαδικό δένδρο με  $N$  κόμβους έχει διάμετρο  $2(h-1)$ , όπου  $h = \lceil \log_2 N \rceil$  είναι το ύψος του δέντρου. Ένα παράδειγμα, ενός δυαδικού δέντρου, μπορούμε να δούμε στην Εικόνα 35.



Εικόνα 33: Δυαδικό δέντρο. Πηγή: GameTheoryLab

Το δυαδικό δένδρο έχει σχετικά απλή υλοποίηση και μπορεί να επεκταθεί. Ωστόσο, μπορεί να υπάρξουν μεγάλες καθυστερήσεις κατά την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων φύλλων, καθώς κάθε μήνυμά τους θα πρέπει να περάσει από τη ρίζα.

Επιπλέον, τα δεδομένα μπορεί να δρομολογηθούν μεταξύ των κόμβων με σχετικά απλό τρόπο, αφού κάθε πακέτο έχει στην κεφαλίδα του πληροφορίες σχετικές με τη διεύθυνση πηγής και προορισμού του. Έτσι κάθε πακέτο δρομολογείται ως την ρίζα και στη συνέχεια οδηγείται στον κόμβο προορισμού του.

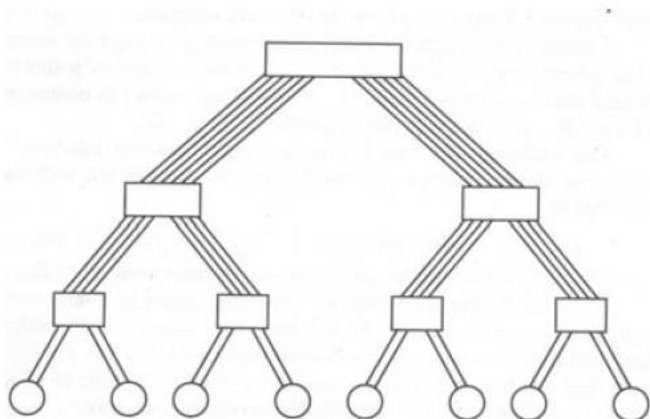
### *Fattree*

Ένα πρόβλημα του δυαδικού δέντρου είναι ότι υπάρχει μεγάλη κυκλοφορία στην ρίζα του, η οποία είναι το σημείο σύνδεσης μεταξύ του αριστερού και του δεξιού υποδένδρου. Για να ξεπεραστεί, αυτό το πρόβλημα, ο Charles E. Leiserson, καθηγητής στο Πανεπιστήμιο MIT, το 1985, πρότεινε το *fattree*. Ένα τέτοιο δέντρο προσομοιώνει ένα αληθινό δέντρο στο οποίο, τα

κλαδιά είναι πιο πυκνά κοντά στον κορμό. Έτσι προχωρώντας από τα φύλλα προς τη ρίζα, αυξάνεται ο αριθμός των συνδέσμων επικοινωνίας. Τα κλαδιά πιο κοντά στην ρίζα είναι «παχύτερα» σε σχέση με τα κλαδιά σε χαμηλότερα επίπεδα. Όσο περισσότερα είναι τα κλαδιά σε ένα επίπεδο τόσο μεγαλύτερο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Η αύξηση του εύρους ζώνης συνεπάγεται την αύξηση του αναμενόμενου αριθμού αιτήσεων που μπορεί να εξυπηρετηθούν ανά μονάδα χρόνου. Ένα τέτοιο δέντρο, φαίνεται στην Εικόνα 36.

Η δομή του fattree βασίζεται στο δυαδικό δένδρο. Κάθε ακμή του δυαδικού δένδρου αντιστοιχεί σε δύο κανάλια στο fattree. Ένα κανάλι χρησιμοποιείται για την επικοινωνία από το γονέα στο παιδί, και το άλλο από παιδί στο γονέα. Ο αριθμός των ακμών αυξάνεται καθώς ανεβαίνουμε το δέντρο από τα φύλλα προς τη ρίζα.

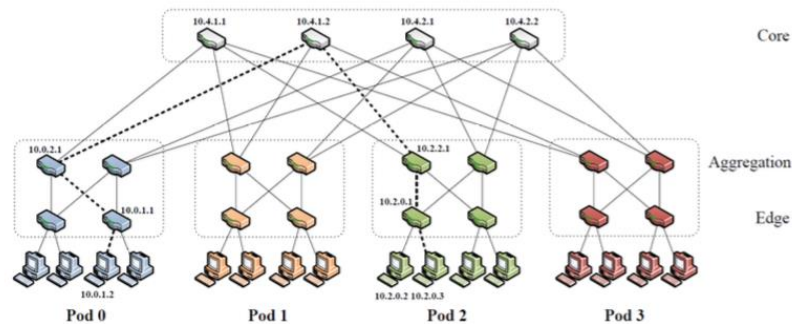
Στο fattree οι επεξεργαστές συνδέονται στο κατώτατο επίπεδο. Κάθε κόμβος έχει ίδιο αριθμό εισερχόμενων και εξερχόμενων συνδέσεων. Ως εκ τούτου, οι συνδέσεις γίνονται «παχύτερες» προς την ρίζα του δένδρου. Επίσης, η ρίζα του δένδρου έχει τις περισσότερες συνδέσεις σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο κόμβο σε χαμηλότερο επίπεδο.



Εικόνα34: FatTree. Πηγή: Southern Illinois University



## Fat-tree Topology with k = 4



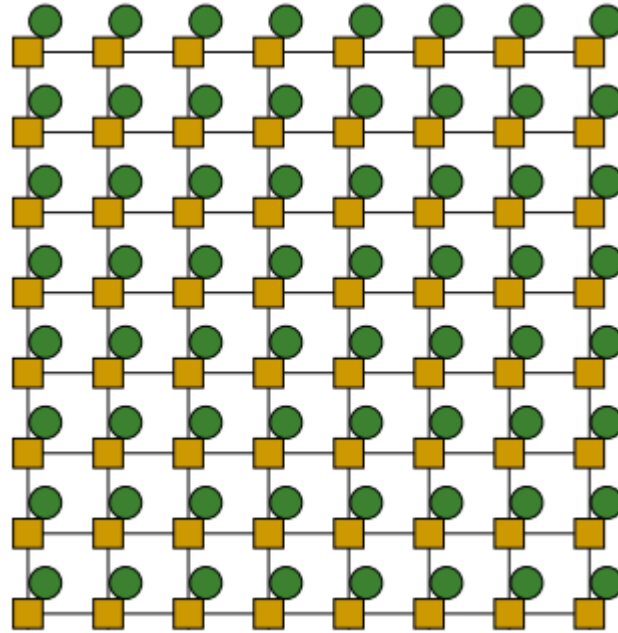
Εικόνα35: FatTree. Πηγή: University of Michigan

Στην εικόνα 37 βλέπουμε την τοπολογία ενός Fat-tree με  $k=4$  PoDs (Points of Delivery). Το δένδρο αυτό αποτελείται από 3 επίπεδα: Το Edge, το Aggregation και το Core. Κάθε ένα από τα 4 PoDs αποτελείται από  $(k/2)^2=4$  hosts καθώς και 2 επίπεδα (Edge και Aggregation) τα οποία έχουν  $k/2=2$  switches (μεταγωγείς) το καθένα. Κάθε edge switch συνδέεται με  $k/2=2$  hosts και  $k/2=2$  switches από το επίπεδο Aggregation. Κάθε switch του επιπέδου Aggregation συνδέεται με  $k/2=2$  switches από το επίπεδο Edge και με  $k/2=2$  switches από το επίπεδο Core. Το επίπεδο Core περιλαμβάνει  $k=4$  switches καθένα από τα οποία συνδέεται με  $k=4$  PoDs. Το συγκεκριμένο δέντρο λοιπόν μπορεί να υποστηρίξει μέχρι και  $k^3/4=16$  hosts.

### Πλέγμα δύο διαστάσεων (Two - dimensional mesh)

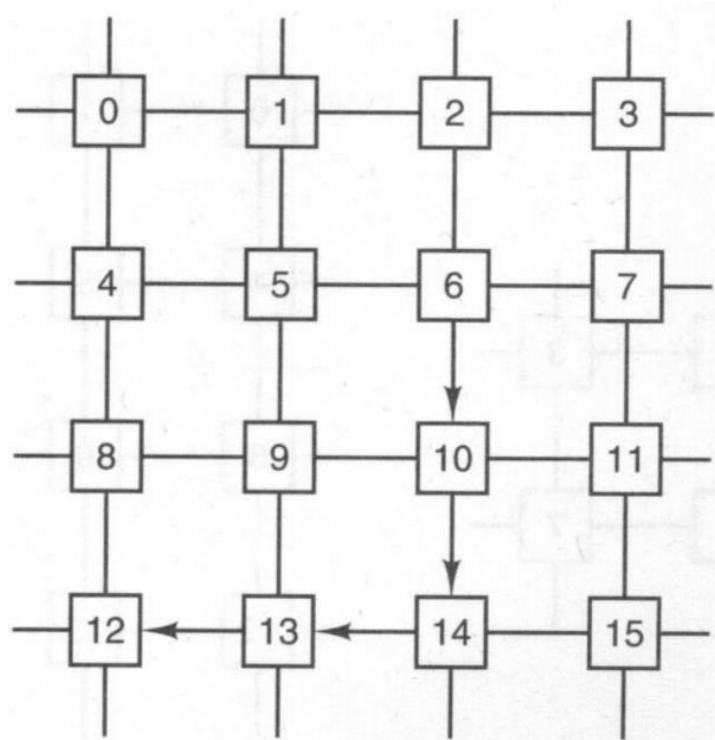
Ένα διδιάστατο πλέγμα αποτελείται από  $k_i * k_j$  κόμβους, όπου  $k_i, k_j \geq 2$  και τα  $k_i, k_j$  δηλώνουν τον αριθμό των κόμβων στις διαστάσεις  $i, j$ . Σε ένα διδιάστατο πλέγμα, κάθε κόμβος συνδέεται με τους τέσσερις γείτονές του. Πιο συγκεκριμένα, ο κόμβος  $(i, j)$  συνδέεται με τους κόμβους  $(i-1, j)$ ,  $(i+1, j)$ ,  $(i, j-1)$ , και  $(i, j+1)$ . Οι κόμβοι στην άκρη του δικτύου έχουν μόνο δύο ή τρεις γείτονες. Η διάμετρος ενός τέτοιου δικτύου είναι ίση με την απόσταση μεταξύ των κόμβων στις αντίθετες γωνίες. Έτσι, η διάμετρος του πλέγματος είναι  $(k_i - 1) + (k_j - 1)$ .

Συχνά, χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ενός συνόλου επεξεργαστών ένα δισδιάστατο πλέγμα με ίσο αριθμό κόμβων και στις δύο διαστάσεις ( $i=j$ ). Σε αυτή την περίπτωση εννοούμε ένα πλέγμα δύο διαστάσεων με  $k_i = k_j = n$ , και συνήθως αναφέρεται ως πλέγμα με  $N$  κόμβους, όπου  $N = n^2$ .



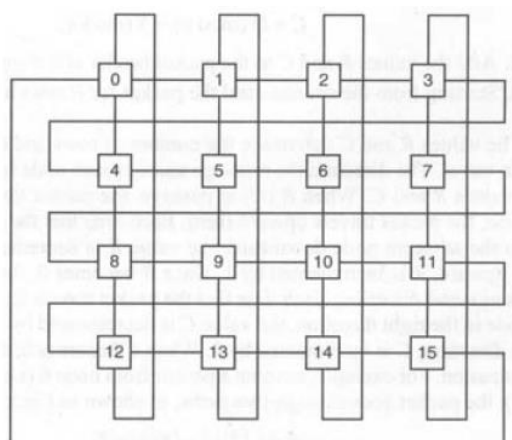
Εικόνα36: Δισδιάστατο πλέγμα με  $N=36$ . Πηγή: Πηγή: Carnegie Mellon University, School of Computer Science

Για την δρομολόγηση ενός πακέτου, σε ένα δισδιάστατο πλέγμα, αρχικά ονομάζουμε κάθε κόμβο με ένα ζεύγος ακεραίων  $(i, j)$ . Κάθως όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους, υπάρχουν διαφορετικές διαδρομές τις οποίες μπορεί να ακολουθήσει ένα πακέτο. Συνήθως, κάθε μήνυμα, αρχικά δρομολογείται οριζόντια (κατά μήκος της διάστασης  $X$ ) έως ότου φθάσει στην στήλη προορισμού του και στη συνέχεια κατά μήκος της στήλης προορισμού του. Ένα παράδειγμα δρομολόγησης φαίνεται στην Εικόνα 39.



Εικόνα37: Δρομολόγηση πακέτου σε διασδιάστατο πλέγμα με N=16. Πηγή: Southern Illinois University

Στον παραπάνω τύπο δικτύου, οι ακριανοί κόμβοι δεν ενώνονται μεταξύ τους. Όταν υπάρχουν τέτοιες συνδέσεις, προκύπτει ένα νέο είδος δικτύου που ονομάζεται διασδιάστατο πλέγμα περιτύλιξης, ή δίκτυο Illiac. Ένα τέτοιο δίκτυο φαίνεται στην Εικόνα 40.

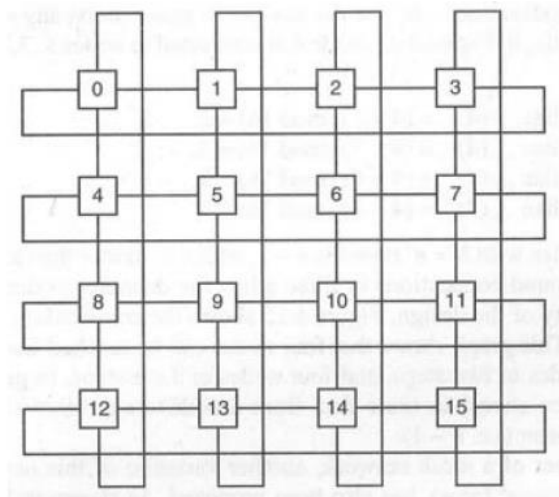


Εικόνα38: Ένα Illiac δίκτυο με N = 16. Πηγή: Southern Illinois University

Η διάμετρος ενός δικτύου Πλας με  $N = n^2$  κόμβους είναι  $n-1$ . Παρότι, η διάμετρος είναι μικρότερη σε σχέση με το πλέγμα, αυξάνεται η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού.

Για να μειωθεί η διάμετρος του δικτύου πλέγματος, έχει προταθεί μία ακόμα παραλλαγή αυτού του δικτύου, που ονομάζεται torus. Η διάμετρος ενός torus  $N = n^2$  κόμβων είναι  $\lfloor 2n / 2 \rfloor$ , η οποία είναι η απόσταση μεταξύ των γωνιακών κόμβων και αυτού του κέντρου. Όπως βλέπουμε, η διάμετρος του δικτύου έχει μειωθεί ακόμα περισσότερα σε σχέση με τα προηγούμενα είδη δικτύων.

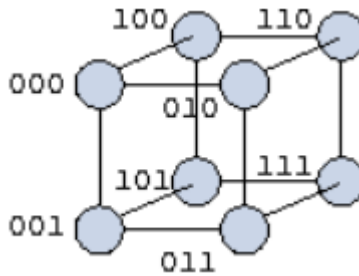
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 41, το torus είναι ένας συνδυασμός του δακτυλίου και των δικτύων πλέγμα (mesh).



Εικόνα 39: Torus  $N = 16$ . Πηγή: Southern Illinois University

### Υπερκύβος (Hypercube / n-cube)

Ένας υπερκύβος αποτελείται από  $N = 2^n$  κόμβους, όπου με  $n$  συμβολίζεται η διάσταση του υπερκύβου. Σε αυτή την περίπτωση, κάθε κόμβος του δικτύου συνδέεται με τους  $n$  γείτονες του. Κάθε κόμβος έχει μοναδικό όνομα που αποτελείται από μια σειρά των  $n$  δυαδικών ψηφίων που κυμαίνονται από το 0 έως το  $N-1$ . Έτσι, κάθε κόμβος με δυαδική διεύθυνση  $d$ , συνδέεται με όλους τους κόμβους των οποίων οι δυαδικές διευθύνσεις διαφέρουν από το  $d$  σε ακριβώς 1 bit.



Εικόνα40: Ένας τριών διαστάσεων κύβος. Πηγή: SouthernIllinoisUniversity

Κατά την δρομολόγηση ενός πακέτου, σε κάθε βήμα  $i$ , στέλνουμε το πακέτο στον κόμβο που το  $i$ -οστό του δυαδικό ψηφίο είναι το αποτέλεσμα της πράξης xor, μεταξύ των  $i$ -οστών ψηφίων της διεύθυνσης του αποστολέα και του παραλήπτη. Για παράδειγμα, κατά την αποστολή ενός πακέτου από τον κόμβο 000 στον κόμβο 101 θα έχουμε  $000 \oplus 101 = 101$ . Οπότε κατά το πρώτο βήμα το πακέτο θα σταλθεί από τον κόμβο 000 στον κόμβο 100 κ.ο.κ..

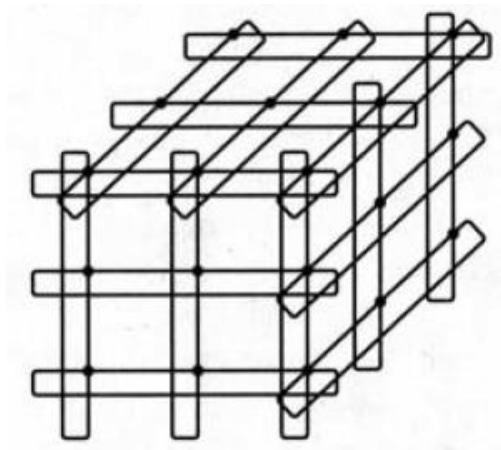
Το δίκτυο  $n$ -κύβος έχει πολλά χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανικό για εφαρμογές παράλληλου υπολογισμού. Παράδειγμα τέτοιων εφαρμογών είναι η ταξινόμηση (sorting), η συγχώνευση (merging) και ο ταχύς μετασχηματισμός Fourier (fastFouriertransform - FFT). Αρχικά, όλοι οι κόμβοι συμπεριφέρονται το ίδιο, και κανένας κόμβος δε χρειάζεται κάποια ειδική μεταχείριση. Επίσης, όλα τα πακέτα μπορεί να παραδοθούν από την πηγή στον προορισμό τους μέσα σε  $n$  βήματα. Αυτή η ικανότητα του να παρέχει  $n$  εναλλακτικές διαδρομές μεταξύ δύο οποιωνδήποτε κόμβων, καθιστά το δίκτυο  $n$ -κύβος αξιόπιστο, αφού δεν επηρεάζεται από το ανμία (ή περισσότερες) διαδρομές έχουν κάποια βλάβη. Τέλος, διαφορετικά δίκτυα, όπως το δισδιάστατο πλέγμα και το δυαδικό δέντρο, μπορεί να μετατραπούν σε ένα δίκτυο  $n$ -κύβος.

Παρά το γεγονός, ότι τα δίκτυα τύπου  $n$ -κύβος μπορεί να εκτελέσουν παράλληλους αλγορίθμους σε  $n$  βήματα, απαιτούν  $n$  συνδέσεις για κάθε κόμβο. Αυτό τα καθιστά δύσκολα στον σχεδιασμό και την επέκτασή τους.

### *k*-Ary *n*-cube

Ένα δίκτυο τύπου *k*-ary *n*-cube αποτελείται από  $k^n$  κόμβους και έχει *k* κόμβους σε κάθε διάσταση. Κάθε κόμβος προσδιορίζεται από *n* συντεταγμένες,  $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_0$ , όπου  $0 \leq x_i \leq k - 1$  για  $0 \leq i \leq n - 1$ . Δύο κόμβοι *X*, *Y* λέγονται γειτονικοί αν και μόνο αν  $y_i = x_i$  για κάθε *i*,  $0 \leq i \leq n - 1$ , εκτός από ένα *j*, όπου θα ισχύει  $y_j = (x_j + 1) \bmod k$  ή  $y_j = (x_j - 1) \bmod k$ . Δηλαδή, ένα δίκτυο *k*-ary *n*-cube έχει συμμετρική τοπολογία και όλοι οι κόμβοι έχουν ίσο αριθμό γειτόνων. Το δίκτυο *k*-ary *n*-cube έχει διάμετρο  $n \lfloor k / 2 \rfloor$ .

Ένα δίκτυο *n*-cube είναι μια ειδική περίπτωση ενός *k*-ary *n*-cube. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί ένα 2-ary *n*-cube. Παραδείγματα άλλων τέτοιων τοπολογιών είναι ο δακτύλιος *n* κόμβων, το οποίο είναι ένα *k*-ary 1-cube και ένα δισδιάστατο torus  $n \times n$ , το οποίο είναι ένα *k*-ary 2-cube. Στην Εικόνα 39, βλέπουμε ένα 3-ary 3-cube δίκτυο.



Εικόνα 41: 3-ary 3-cube δίκτυο. Πηγή: Southern Illinois University

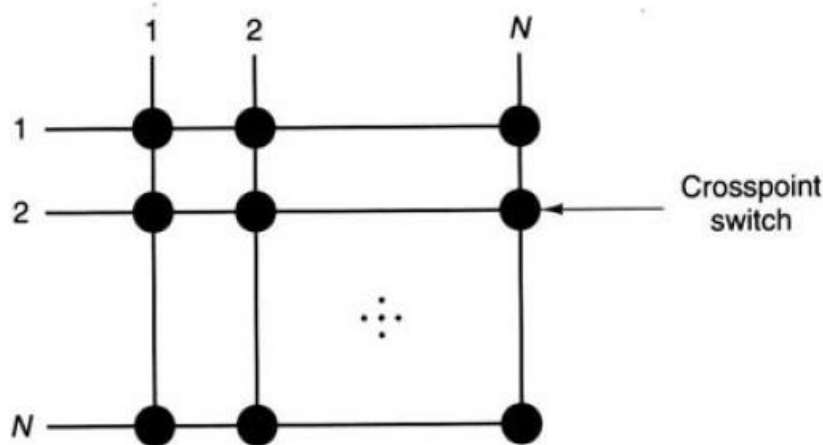
### 3.3.2 Δυναμικές τοπολογίες δικτύων

Οι δυναμικές τοπολογίες δικτύων δίνουν την δυνατότητα διαμόρφωσης των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων ανάλογα με τις ανάγκες. Η τοπολογία ενός δυναμικού δικτύου, αναπαριστά την

φυσική δομή ενός δικτύου, όπως καθορίζεται από τους μεταγωγείς (switch) και τις διασυνδέσεις μεταξύ τους. Δεδομένου ότι οι μεταγωγείς είναι το βασικό συστατικό κάθε δικτύου, το κόστος του (σε hardware) συνίσταται από τον αριθμό των απαιτούμενων μεταγωγέων.

### Crossbar

Το crossbar δίκτυο χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ενός συνόλου κόμβων εισόδου σε ένα σύνολο κόμβων εξόδου. Κάθε κόμβος εισόδου μπορεί να συνδεθεί με οποιοδήποτε κόμβο εξόδου. Στην πραγματικότητα, κάθε κόμβος συνδέεται με οποιοδήποτε άλλο κόμβο στο δίκτυο. Έτσι, παρέχονται όλες οι δυνατές μεταθέσεις και εξασφαλίζεται η υψηλή απόδοση του συστήματος (ο μη αποκλεισμός - non-blocking). Το crossbar δίκτυο αποτελεί το απλούστερο και πιο ευέλικτο δυναμικό δίκτυο. Σχηματίζεται από μια σειρά κάθετων και οριζόντιων δεσμών που συνδέονται μεταξύ τους με ένα μεταγωγέα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 44 όπου συνδέονται οι  $N$  οριζόντιοι και κάθετοι κόμβοι. Για κάθε δίκτυο  $N$  εισόδων και  $N$  εξόδων, είναι δυνατόν να εγκατασταθούν μέχρι και  $N$  συνδέσεις, οι οποίες μπορεί να είναι ενεργές ή όχι.

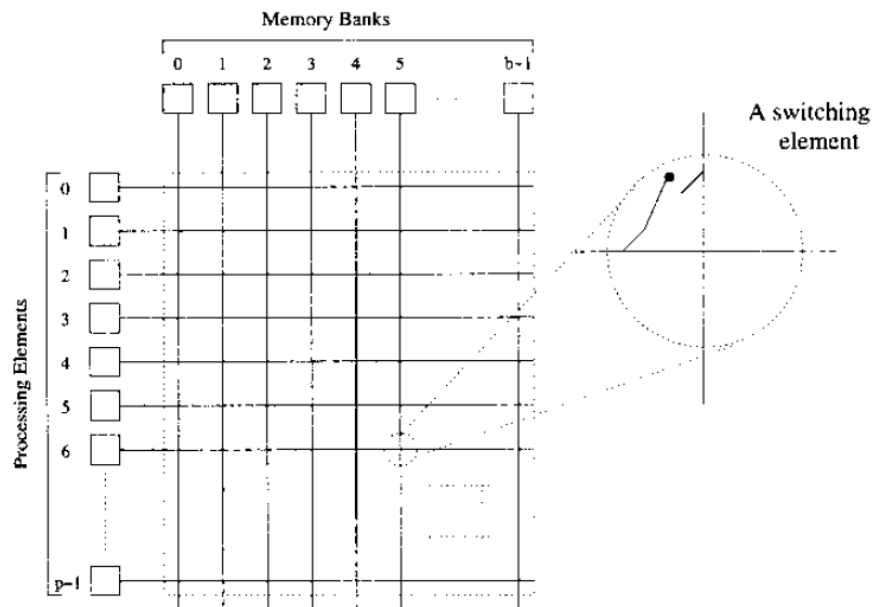


Εικόνα 42: Crossbar δίκτυο. Πηγή: Southern Illinois University

Ο διακόπτης μπορεί να είναι ενεργοποιημένος ή απενεργοποιημένος ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Υπάρχουν  $N^2$  διακόπτες, έτσι ώστε να παρέχονται όλες οι απαιτούμενες συνδέσεις

μεταξύ των κόμβων. Τέτοια δίκτυα είναι ιδανικά για μικρό αριθμό  $N$ , καθώς σε αντίθετες περιπτώσεις (για μεγάλα  $N$ ), το δίκτυο γίνεται πολύπλοκο και ακριβό.

Στη συνέχεια, μπορούμε να δούμε ένα ψηφιακό ανάλογο ενός crossbar δικτύου. Σε αυτή την εικόνα, επιτρέπεται η σύνδεση οποιουδήποτε από τους επεξεργαστές σε κάθε μία από τις  $b$  μονάδες μνήμης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου επεξεργαστή είναι ο Sun Ultra HPC1000.



Εικόνα43: Δυναμικό ανάλογο ενός crossbar δικτύου. Πηγή: WayneStateUniversity

### Δίκτυα μοναδικού σταδίου (single stage)

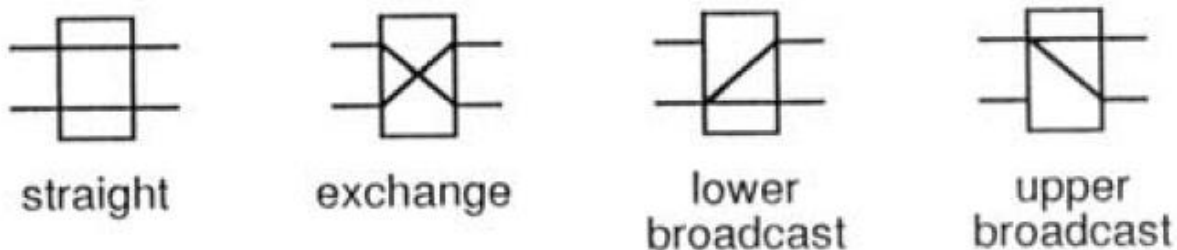
Στα single-stage δίκτυα υπάρχει ένα μοναδικό στάδιο των στοιχείων μεταγωγής (switching elements - SEs) ανάμεσα στις εισόδους και τις εξόδους του δικτύου. Τα single-stage δίκτυα, ονομάζονται επίσης και δίκτυα ανατροφοδότησης. Στα δίκτυα αυτά, απαιτείται η χρήση αλγορίθμων δρομολόγησης για την μετακίνηση των δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Σαν αποτέλεσμα, μπορεί να δημιουργηθούν διάφορες συνδέσεις.

Το απλούστερο στοιχείο μεταγωγής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι ο  $2 \times 2$  μεταγωγέας. Κάθε στοιχείο μεταγωγής έχει δύο εισόδους, δύο εξόδους, και τέσσερις πιθανές καταστάσεις



σύνδεσης, όπως φαίνονται στην Εικόνα 46. Για την επιλογή κάποιου είδους σύνδεσης, χρησιμοποιούνται ετικέτες δρομολόγησης (routingtags). Οι πιθανές ετικέτες δρομολόγησης είναι:

- Ευθεία (straight): Η άνω είσοδος μεταφέρεται στην άνω έξοδο και η κάτω είσοδος μεταφέρεται στην κάτω έξοδο.
- Ανταλλαγή (exchange): Η άνω είσοδος μεταφέρεται στην κάτω έξοδο και η κάτω είσοδος μεταφέρεται στην άνω έξοδο.
- Άνω εκπομπή (upperbroadcast): Η άνω είσοδος μεταδίδεται τόσο στην άνω όσο και στην κάτω έξοδο.
- Κάτω εκπομπή (lowerbroadcast): Η κατώτερη είσοδος μεταδίδεται τόσο στην άνω όσο και στην κάτω έξοδο.

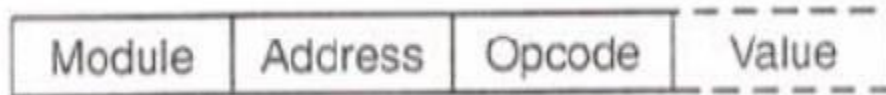


Εικόνα44: Τέσσερις πιθανοί τρόποι σύνδεσης. Πηγή: Southern Illinois University

Τα μηνύματα που φθάνουν σε κάθε μεταγωγέα αποτελούνται από τέσσερα μέρη. Τα τέσσερα μέρη κάθε μηνύματος είναι τα:

- Module: Η μνήμη που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί
- Address: Εξετάζεται από το μεταγωγέα για να καθοριστεί το είδος της δρομολόγησης που πρόκειται να ακολουθηθεί.
- Opcode: Καθορίζει τη λειτουργία που πρόκειται να εκτελεστεί (READ/ WRITE)
- Value: Περιέχει μία τιμή, όπως για παράδειγμα μία λέξη 32-bit που πρόκειται να γραφτεί κατά την λειτουργία WRITE.

Η μορφή κάθε μηνύματος φαίνεται στην Εικόνα 47.



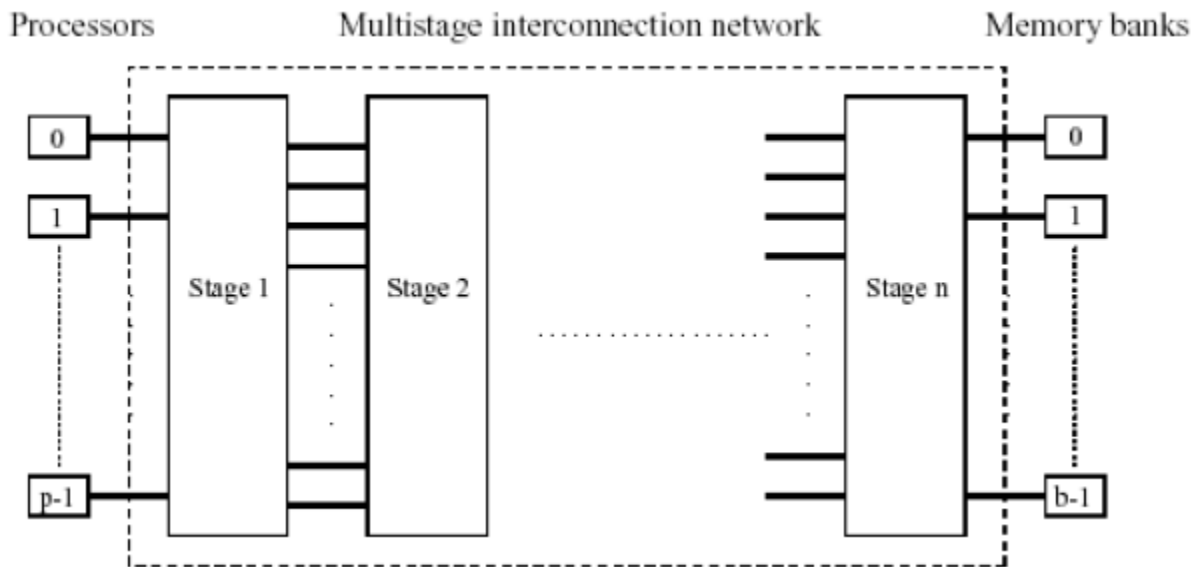
Εικόνα45: Μορφήμηνύματος. Πηγή: Philadelphia University

### *Δίκτυα multi-stage*

Τα δίκτυαπολλαπλών σταδίων (multi-stage)αποτελούνται από πολλαπλά επίπεδα διασυνδεδεμένων μεταγωγέων μεταξύ των άκρων ενός δικτύου.Τα δίκτυαπολλαπλών σταδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μνήμη-προς-επεξεργαστή ή επεξεργαστή-προς-επεξεργαστήδίκτυα διασύνδεσης. Είναι γνωστά ως αντίστροφα n-cubεδίκτυα και αποτελούν μία δυναμική τοπολογία για ένα δίκτυο n-cube.Λόγω της τοπολογίας τους, τα δίκτυα πολλαπλών σταδίων είναι πιο περίπλοκα όσον αφορά το υλικό που διαθέτουν.Αντίθετα, όμως, η δρομολόγηση των δεδομένων είναι απλούστερη λόγω των μόνιμων συνδέσεων μεταξύ των μονάδων του δικτύου. Σε πολλές περιπτώσεις, μάλιστα, χρησιμοποιούνται απλούστεροι αλγόριθμοι δρομολόγησης.Για παράδειγμα, ένα δίκτυοπολλαπλών σταδίων, διαθέτει περισσότεραswitch με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός των πιθανών μεταθέσεων. Στην πραγματικότητα, αυτά τα δίκτυα αποτελούν το βέλτιστο συνδυασμό κόστους και απόδοσης. Μπορεί να επεκταθούν σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τα crossbar δίκτυα και έχουν καλύτερη απόδοση σε σχέση με τον δίαυλο. Μερικά παραδείγματα δικτύων πολλαπλών σταδίωνείναι τα Omega, Butterfly, Benes, Banyan κ.α..

Ένα δίκτυο πολλαπλών σταδίων αποτελεί ένα δίκτυο διασύνδεσης επεξεργαστών και μνημών και αποτελείται από  $n = \log_2 N$ στάδια, όπου  $N$  είναι ο αριθμός των εισόδων / εξόδων. Εναλλακτικά, ένα τέτοιο δίκτυο είναι ένα  $N \times N$  δίκτυο. Οι εξοδοί κάθε σταδίου είναι συνδεδεμένοι με τις εισόδους του επόμενου σταδίου, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ταυτόχρονων συνδέσεων. Κάθε στάδιο του δικτύου αποτελείται από  $N/2$  μεταγωγείς. Όπως και στην περίπτωση των single-stageδικτύων, οι μεταγωγείς έχουν δύο εισόδους, δύο εξόδους, και τέσσερις πιθανές καταστάσεις σύνδεσης.

Στην εικόνα 48 βλέπουμε ένα multi-stage δίκτυο για την σύνδεση επεξεργαστών και μονάδων μνήμης.



Εικόνα46: Σχηματική αναπαράσταση multi-stage δικτύων. Πηγή: WayneStateUniversity

Για την δρομολόγηση δεδομένων σε ένα δίκτυο πολλαπλών σταδίων χρησιμοποιείται είτε μεταγωγή κυκλώματος είτε μεταγωγή πακέτου. Στην μεταγωγή κυκλώματος, όλα τα switch ενός σταδίου λειτουργούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Κατά την μεταγωγή πακέτου, κάθε πακέτο δρομολογείται με βάση μία ετικέταδρομολόγησης που διαθέτει στην κεφαλίδα του. Σε αυτή την περίπτωση, η δρομολόγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα καταναμημένο τρόπο.

Κατά την unicast δρομολόγηση (δρομολόγηση μεταξύ ενός αποστολέα και ενός παραλήπτη) υλοποιείται η λογική πράξη XOR μεταξύ των δύο ετικετών δρομολόγησης. Εάν χρησιμοποιείται μεταγωγή κυκλώματος, στο στάδιο  $i$  ορίζεται ο ευθύς (straight) τρόπος σύνδεσης εφόσον το αποτέλεσμα της πράξης XOR είναι 0, διαφορετικά, επιλέγεται ο τρόπος σύνδεσης ανταλλαγής (exchange). Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μεταγωγή πακέτων, σε κάθε switch επιλέγεται ένας τρόπος σύνδεσης που ορίζεται από την επικεφαλίδα του πακέτου. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε στάδιο, ελέγχεται ένα bit (ξεκινώντας από το περισσότερο σημαντικό στο λιγότερο

σημαντικό) της διεύθυνσης πηγής και προορισμού. Αν το bit της διεύθυνσης προορισμού είναι 0 επιλέγεται η άνω έξοδος του switch, διαφορετικά επιλέγεται η κάτω. Αν τα δύο ελεγχόμενα bits είναι τα ίδια, το μήνυμα περνάει στο επόμενο στάδιο.

## Κεφάλαιο 4: Cloud Networking

### 4.1 Εισαγωγή

Το δίκτυο είναι θεμελιώδους σημασίας στην υποδομή πληροφορικής μιας επιχείρησης και στις περισσότερες περιπτώσεις, παραμένει αμετάβλητο, αφού είναι δύσκολο να αλλάξει. Η σύγχρονη κοινωνία διαθέτει πολλαπλές συσκευές σύνδεσης, όπως υπολογιστές, tablets και κινητά, για την πρόσβαση πόρων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Οι παραδοσιακές δικτυακές υποδομές δεν έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίξουν μια τέτοια δραστική αλλαγή.

Σαν αποτέλεσμα, για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων έχει προταθεί η υπηρεσία cloud networking. Μέσω του cloud, κάθε επιχείρηση οποιουδήποτε μεγέθους μπορεί να υιοθετήσει και να χρησιμοποιήσει εργαλεία δικτύου, αποφεύγοντας το κόστος, την πολυπλοκότητα και τους περιορισμούς των παραδοσιακών δικτύων. Το cloud networking εισάγει ένα νέο τρόπο σχετικά με την ανάπτυξη, τη λειτουργία και τη διαχείριση των κατακεκμημένων δικτύων των επιχειρήσεων, αφού οι χρήστες του, έχουν άμεση και ασφαλή πρόσβαση στην υποδομή του δικτύου. Προσφέρει ένα σύνολο δυνατοτήτων μέσω των υποδομών cloud, το οποίο απαιτεί ελάχιστες ή καθόλου επενδύσεις σε επιπλέον υλικό και πόρους.

Ο όρος cloud networking αποτελεί ένα θεμελιώδη κομμάτι των υπηρεσιών νέφους και αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό τρόπο με τον οποίο παρέχονται οι υπηρεσίες στον τελικό χρήστη. Στην πραγματικότητα, αποτελεί μια υποδομή από εικονικά δίκτυα υπολογιστών. Πιο συγκεκριμένα, οι χρήστες επωφελούνται από την on-demand παροχή υπολογιστικών πόρων, σύμφωνα με το μοντέλο «πληρωμή με βάση την χρήση» (pay-per-use) ενώ παράλληλα δεν απαιτείται αγορά και συντήρηση νέου υλικού. Αυτό συμβαίνει αφού για να είναι εφικτές απλές εργασίες, μπορεί να απαιτούνται αυξημένοι πόροι δικτύου.

Μέχρι πρόσφατα, οι εταιρείες ανέπτυσαν και συντηρούσαν τις δικτυακές εφαρμογές τους, όπως για παράδειγμα το λογισμικό διαχείρισης δικτύου. Ωστόσο, οι σύγχρονες εφαρμογές απαιτούν συχνά την αγορά επιπλέον υλικού, όπως servers. Αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα, όχι μόνο επιπλέον έξοδα της εταιρείας, αλλά και αυξημένο χρόνο υποστήριξης που πρέπει να αφιερωθεί από το IT τμήμα της εταιρίας.

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακές λύσεις που στηρίζονται στο υλικό, με τη χρήση του cloud networking αυτοματοποιούνται εξαιρετικά πολύπλοκες εργασίες, ενώ παράλληλα γίνονται ιδιαίτερα απλές. Για παράδειγμα, η δημιουργία και λειτουργία ενός κατακευματισμένου δικτύου απαιτεί μόνο μερικά λεπτά μέσω των υποδομών cloud. Ταυτόχρονα, παρέχεται κεντρικός έλεγχος και δυνατότητα προβολής του δικτύου. Συνήθως οι υπηρεσίες cloud λειτουργούν με συνδρομές, με αποτέλεσμα, να μειώνουν το αρχικά απαιτούμενο κεφαλαίο.

Θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε, το cloud network με ένα εικονικό ιδιωτικό δίκτυο (virtualprivatenetwork - VPN), επειδή δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες του να έχουν ασφαλή πρόσβαση σε αρχεία, εκτυπωτές, εφαρμογές, κλπ από οποιοδήποτε μέρος στον κόσμο, σε οποιαδήποτε συσκευή. Ωστόσο, τα cloud networks είναι πολλαπλών χρηστών-ενοικιαστών (multi-tenant) ιδιωτικά εικονικά cloud δίκτυα που επικαλύπτουν το Διαδίκτυο. Με άλλα λόγια, κάθε εικονικό cloud δίκτυο λειτουργεί σαν ένα LAN δίκτυο που παρέχει πλήρη μεταγωγή και συνδεσιμότητα μεταξύ servers, υπολογιστών και φορητών συσκευών από οποιοδήποτε σημείο.

Το υπολογιστικό νέφος, προσφέρει δυνατότητα multi-tenancy ή διαφορετικά πολλαπλής μίσθωσης, έτσι ώστε να διαμοιράζονται οι διαθέσιμοι υπολογιστικοί πόροι αποτελεσματικά και με ασφάλεια. Για να κατανοήσουμε πλήρως την έννοια του multi-tenancy, μπορούμε να την παρομοιάσουμε με μία πολυκατοικία, όπου οι πολλαπλοί ένοικοι μοιράζονται αποτελεσματικά την κοινή υποδομή του κτιρίου, αλλά διαθέτουν τοίχους και πόρτες που εξασφαλίζουν την προστασία της ιδιωτικής τους ζωής από τους άλλους ενοίκους. Παρόμοια στο cloud network, χρησιμοποιείται η multi-tenant τεχνολογία για το μοίρασμα των πόρων με ασφάλεια μεταξύ πολλαπλών εφαρμογών και χρηστών (επιχειρήσεις, οργανισμούς, κ.λπ.) που χρησιμοποιούν το cloud.

Τέλος το cloud networking αποτελεί και ένα νέο τρόπο λειτουργίας των κατακευματισμένων δικτύων σε μία επιχείρηση που δίνει διάφορες δυνατότητες, όπως υψηλή ανθεκτικότητα και multi-

tenantta οποία δεν απαιτούν επένδυση κεφαλαίου για εξοπλισμό δικτύωσης. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές λύσεις που βασίζονται στο υλικό, το cloud networking είναι εξαιρετικά απλό και επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αναπτύξουν μέσα σε λίγο χρόνο και να λειτουργήσουν ένα κατακεντρωμένο δίκτυο, ενώ διατηρούν τον κεντρικό έλεγχο και την προβολή του δικτύου. Οι υπηρεσίες αυτές, χρεώνονται επίσης με βάση τη χρήση.

Το cloud networking αποτελεί ένα νέο πρότυπο δικτύωσης για την δημιουργία και τη διαχείριση ασφαλών ιδιωτικών δικτύων με τη χρήση του Διαδικτύου, αξιοποιώντας κάποια παγκόσμια υποδομή cloud. Στο cloud networking όλες οι λειτουργίες και υπηρεσίες του δικτύου, όπως η συνδεσιμότητα, η ασφάλεια, η διαχείριση και ο έλεγχος, παρέχονται από το cloud και δίνονται ως υπηρεσία.

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα cloudnetworking. Τα οποία θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια με λεπτομέρειες.

1. Network-as-a-Service (NaaS): Αποτελεί μια διαχειριζόμενη υπηρεσία δικτύου που παρέχεται κατ' απαίτηση (on-demand) του πελάτη και έχει τη μορφή υπηρεσίας. Αυτή η μορφή δικτύωσης μπορεί ή όχι να βασίζεται στο cloud. Αυτό εξαρτάται από τις απαιτήσεις της κάθε επιχείρησής. Το NaaS εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Για παράδειγμα, οι εταιρείες [Aryaka](#) και [Pertino](#) προσφέρουν WAN δίκτυο και Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα (VirtualPrivateNetwork - VPN) με τη μορφή υπηρεσιών. Η [Akamai](#) προσφέρει CDN ως υπηρεσία.
2. Cloud-based networking: Αποτελεί ένα εικονικό (virtualized) δίκτυο που βασίζεται στο cloud. Όλες οι υποδομές και οι υπηρεσίες παρέχονται από το cloud, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης του δικτύου, καθώς και της προώθησης, δρομολόγησης και μεταγωγής των δεδομένων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης του cloud-based networking είναι η διασύνδεση μεταξύ των εικονικών μηχανών που δημιουργούνται και αναπτύσσονται σε ένα κοινό νέφος.
3. Cloud-enabled networking: Σε αυτόν τον τύπο δικτύωσης, η διαχείριση του δικτύου πραγματοποιείται στο cloud, ωστόσο τα δεδομένα δεν είναι αποθηκευμένα σε αυτό, ενώ όλες οι ενέργειες εκτελούνται τοπικά μέσω μιας εφαρμογής ή από τον πελάτη. Για παράδειγμα, οι εταιρίες [Aerohive Cloud Services](#) και [HiveManager Online](#) παρέχουν

μέσω cloud όλα τα χαρακτηριστικά και τη λειτουργικότητά του είναι απαραίτητα κατά την διαχείριση του δικτύου που βρίσκεται πίσω από το τείχος προστασίας (firewall).

Η διάδοση του διαδικτύου, το ηλεκτρονικό εμπόριο, και οι εξατομικευμένες υπηρεσίες cloud-based που παρέχονται από τα κέντρα δεδομένων σε ένα συνεχώς αυξανόμενο μέγεθος πελατών έχουν αυξήσει τις ανάγκες σε υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους αλλά και σε εύρος ζώνης. Παράλληλα, τα σύγχρονα κέντρα δεδομένων, δημόσια και εικονικά, παρέχουν εφαρμογές και πλατφόρμες στις οποίες είναι δυνατή η σύνδεση μέσω διαδικτύου ή με τη χρήση εικονικών ιδιωτικών δικτύων.

Τα κέντρα δεδομένων μπορεί να είναι τριών τύπων, ιδιωτικό (private), δημόσιο (public), ή εικονικά ιδιωτικό (virtually private). Τα ιδιωτικά κέντρα δεδομένων χρησιμοποιούνται στα πλαίσια μίας επιχείρησης, και μπορεί να υποστηρίξουν πολλαπλούς χρήστες (multi-tenant) εντός αυτής. Συνήθως, στο ιδιωτικό cloud networking ακολουθείται μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και παρέχονται υπηρεσίες σε ένα περιορισμένο αριθμό χρηστών. Αυτοί οι χρήστες μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους, πάνω από το ιδιωτικό ή εικονικά ιδιωτικό δίκτυο της επιχείρησης. Οι προσφερόμενες υπηρεσίες στα πλαίσια του ιδιωτικού κέντρου δεδομένων παραμένουν ιδιωτικές και οι χρήστες μπορεί να συνδεθούν σε αυτές μέσω διαδικτύου με τη χρήση gateways. Για παράδειγμα, μια εταιρεία χρησιμοποιεί μια ιδιόκτητη υποδομή cloud, η οποία φιλοξενεί εφαρμογές μέσω του δικού τους ιδιωτικού δικτύου και τις προσφέρει στους χρήστες της.

Στα δημόσια κέντρα δεδομένων, οι χρήστες τους μπορεί να συνδεθούν σε αυτά με τη χρήση του διαδικτύου και συχνά χρησιμοποιούνται σε υπηρεσίες που βασίζονται στο διαδίκτυο. Έτσι ένας πάροχος cloud μπορεί να προσφέρει εφαρμογές δικτύου μέσω του διαδικτύου, με τους χρήστες αυτών, να ασχολούνται ελάχιστα με την δημιουργία και τη συντήρησή τους. Τα δίκτυα αυτά παρέχουν multi-tenant και εμπορικές υπηρεσίες. Τέλος, οι προσφερόμενες υπηρεσίες χρεώνονται με βάση τη χρήση (pay-per-use μοντέλο).

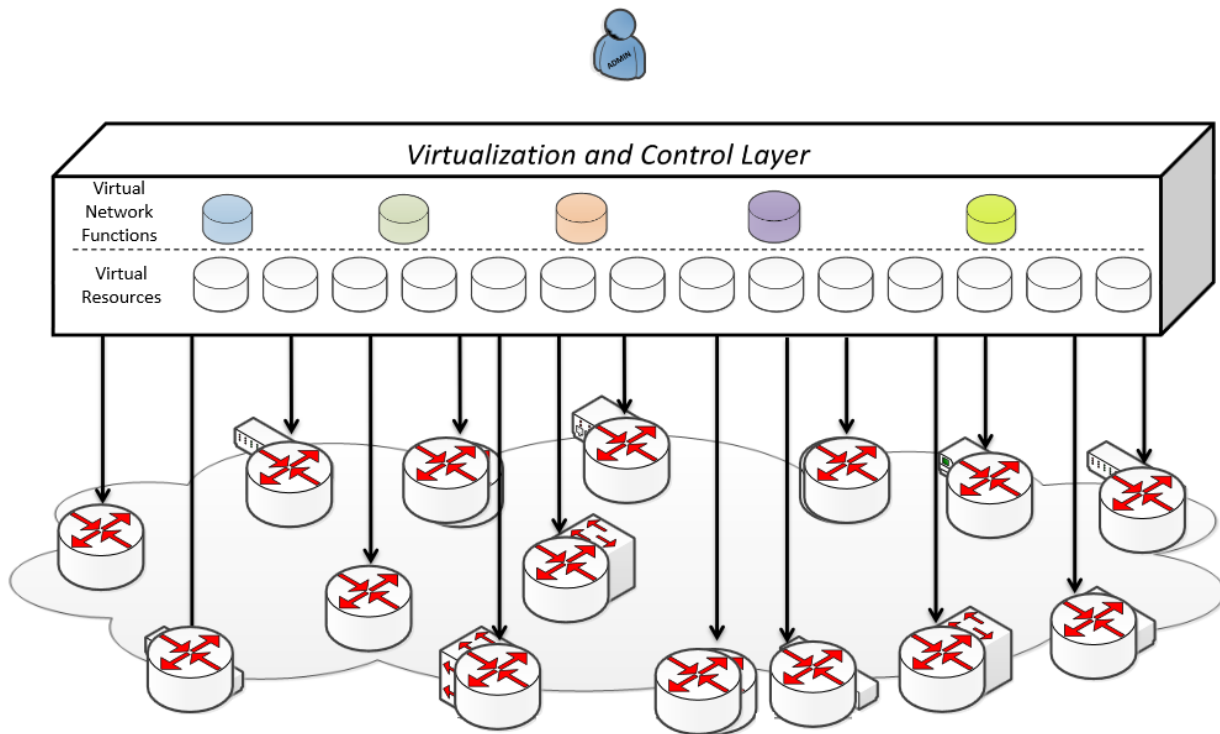
Τα εικονικά ιδιωτικά κέντρα δεδομένων είναι χτισμένα χρησιμοποιώντας μια κοινή υποδομή κέντρων δεδομένων και είτε παρέχονται από έναν πάροχο κέντρων δεδομένων ή έναν πάροχο cloud, με τη μορφή της υποδομής σαν υπηρεσία (IaaS). Το χρησιμοποιούμενο δίκτυο παρέχει

απομόνωση των χρηστών του και των δεδομένων τους. Οι υπηρεσίες του cloud παρέχονται μέσω διασύνδεσης των κέντρων δεδομένων και αξιοποιώντας τους κοινόχρηστους πόρους.

## 4.2 Αρχιτεκτονική CloudNetworking και κέντρα δεδομένων

Η έννοια των εικονικών υπολογιστών και των αποθηκευτικών πόρων δίνει την δυνατότητα χρήσης τους από πολλαπλούς χρήστες ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, οι διαφορετικοί χρήστες μπορεί να αντιστοιχούν σε διαφορετικές επιχειρήσεις.

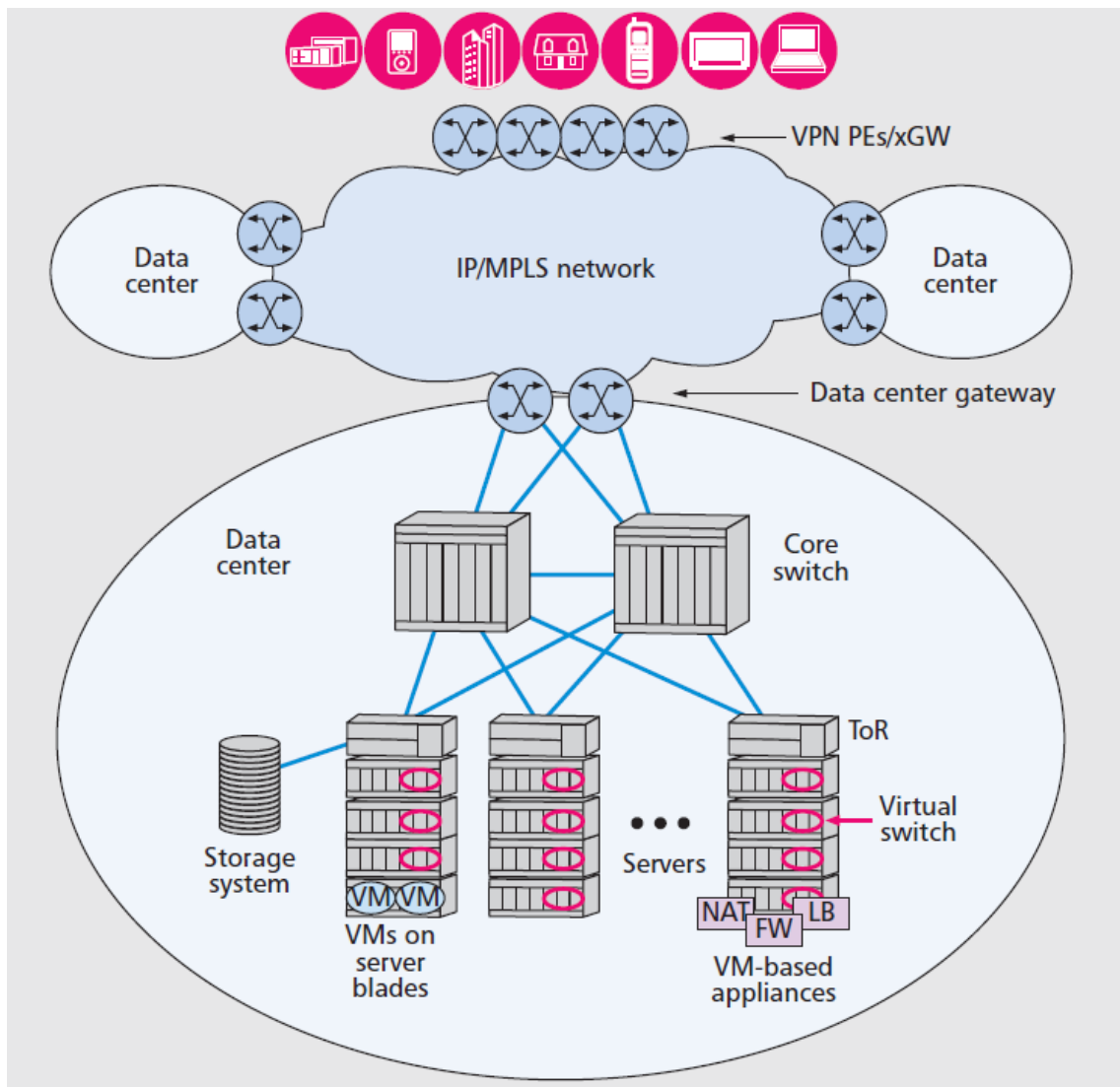
Μια αφαιρετική μορφή του cloudnetworking φαίνεται στην Εικόνα 49, όπου ο διαχειριστής έχει πρόσβαση στις εικονικές λειτουργίες και στους πόρους του δικτύου. Αυτά με τη σειρά τους επικοινωνούν με τους αντίστοιχους φυσικούς πόρους.



Εικόνα 47: Αφηρημένη αρχιτεκτονική CloudNetworking. Πηγή: HEAnet - Ireland's National Research & Education Network



Στην εικόνα 50 φαίνεται η βασική αρχιτεκτονική ενός cloudnetworking, το οποίο αποτελείται από πολλά κέντρα δεδομένων.



Εικόνα 48: Αρχιτεκτονική ενός Υπολογιστικού Νέφους. Πηγή: HEAnet - Ireland's National Research & Education Network

Υπάρχουν πολλές παραδοχές για την παραπάνω αρχιτεκτονική, ωστόσο, αυτή η αρχιτεκτονική είναι κοινή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά.

Αρχικά θα περιγράψουμε σύντομα την παραπάνω αρχιτεκτονική. Σε κάθε κέντρο δεδομένων, οι εικονικές μηχανές αρχικοποιούνται εντός ενός server σε ένα rack και συνδέονται μέσω εικονικών καρτών Ethernet (virtual Ethernet Network Interface cards - vNICs) σε ένα εικονικό switch (virtual switch - vSW) στο μηχάνημα. Στη συνέχεια ενώνονται σε VLANs με τη χρήση ενός Ethernet switch στο επόμενο επίπεδο, ο οποίος μπορεί να είναι τοποθετημένος σε κάποιο τοποθέτημα του rack (ToR). Το ToR συχνά υποστηρίζει εικονική γεφύρωση μέσω Ethernet, ενώ μπορεί να υποστηρίζει και δρομολόγηση. Παραδοσιακά, οι φυσικοί ή εικονικοί δρομολογητές, χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση πακέτων πολλαπλών χρηστών και το διαχωρισμό μεταξύ των IP πεδίων. Κάθε βασικός κόμβος του κέντρου δεδομένων προσφέρει υπηρεσίες γεφύρωσης Ethernet, IP δρομολόγησης ή άλλες υπηρεσίες. Η σύνδεση μεταξύ VLANs ή IP συχνά μπορεί να περιλαμβάνει επιπλέον ενδιάμεσο υλικό, όπως firewalls, το οποίο μπορεί να είναι φυσικό ή εικονικό.

Οι εικονικοί υπολογιστικοί πόροι παρέχονται μέσω εικονικών μηχανών (virtual machine - VM). Κάθε εικονική μηχανή έχει τη δική της ειδική CPU, μνήμη και αποθηκευτικό χώρο. Κάθε server μπορεί να αποτελείται από πολλαπλές εικονικές μηχανές που ανήκουν σε διαφορετικούς χρήστες. Ενώ σε κάθε ενοικιαστή μπορεί να παρέχεται μια ομάδα εικονικών μηχανών, οι οποίες μπορεί να βρίσκονται στο ίδιο ή σε διαφορετικά κέντρα δεδομένων. Μερικά από τα κέντρα δεδομένων μπορεί να είναι ιδιωτικά και να χρησιμοποιούνται από κάποια επιχείρηση, η οποία έχει πρόσβαση σε αυτά χρησιμοποιώντας την IP του cloud ή μέσω πολλαπλών πρωτοκόλλων μεταγωγής σήματος (Multi Protocol Label Switching - MPLS). Για να είναι δυνατή η υποστήριξη πολλαπλών χρηστών και η δικτύωσή τους στους εικονικούς υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους, χρησιμοποιείται μία αρχιτεκτονική που παρέχει την προβολή του δικτύου σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Η υποδομή του δικτύου, θα πρέπει να παρέχει:

- Μεγάλο αριθμό χρηστών με αλληλο-επικάλυψη στον εικονικό χώρο φυσικών διεύθυνσεων (MAC) και IP
- Ανάπτυξη μεγάλου εύρους ζώνης (bandwidth)
- Κινητικότητα των εικονικών μηχανών
- Ευελιξία του δικτύου

- Αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων

Η χρήση του cloudnetworking από κάποιον χρήστη, μπορεί να αποτελεί ένα εικονικό Ethernetτοπικό δίκτυο (LAN), μία IP ενός εικονικού ιδιωτικού δικτύου (VPN), ή υπηρεσίες διαδικτύου. Άλλες υπηρεσίες δικτύου που μπορεί να προσφέρονται σε έναν χρήστη του, είναι υπηρεσίες ασφάλειας, όπως firewalling(FW), εξισορρόπησηφορτίου υπηρεσιών (loadbalancing-LB) και λειτουργία NetworkAddressTranslation (NAT). Τέλος αυτές οι υπηρεσίες δικτύου μπορεί να αρχικοποιούνται ανά χρήστη στις φυσικές συσκευές του ή στις αντίστοιχες εικονικές, δηλαδή να υλοποιείται στις εικονικές μηχανές και να συνδέεται με ένα χρήστη στο εικονικό δίκτυο.

Τέλος, στην παραπάνω εικόνα, φαίνονται η χρήση εικονικώνswitches, top-of-rack μεταγωγέων (ToR), και coreswitches σε διαφορετικές βαθμίδες της ιεραρχίας του δικτύου. Το εικονικό switch (vSW) είναι ένας μεταγωγέας Ethernet, η λειτουργία του οποίου βασίζεται σε λογισμικό που τρέχει σε έναν hostserver. Αυτό μπορεί να υποστηρίζει υπηρεσίες Ethernet και IP, ενώ παρέχει μεταγωγή και δρομολόγησήτου περιεχομένουμεταξύ των διάφορων χρηστών σε έναν server. Οι επιμέρους εικονικές μηχανές τοποθετούνται σε εικονικούς μεταγωγείς (vSW) ως hostIP και συνδέονται μέσω εικονικών διεπαφών Ethernet. Κάθε vSW μπορεί να είναι αυτόνομο ή να συνδέεται σε ToR μέσω συνδέσεων Ethernet.Κάθε ToRείναι ένα στοιχείο δικτύου που υποστηρίζει εικονικέςυπηρεσίες Ethernet LAN (VLAN)και απλή IP δρομολόγηση. Σε άλλα μοντέλα ανάπτυξης μπορεί να χρησιμοποιήθουνend-of-rowswitch(EoR) για την παροχή αντίστοιχης λειτουργικότητας σε έναToR, με μεγαλύτερο, όμως αριθμόφυσικών θυρών και μεγαλύτερη χωρητικότητα μεταγωγής.Στα ToR και ταEoR συγκεντρώνονται οισυνδέσεις Ethernetτων servers. Τα coreswitches, με τη σειρά τους, συγκεντρώνουν πολλαπλά ToR ήEoR, και μπορεί να υποστηρίξουνμεγάλη κλίμακαεικονικών υπηρεσιών LAN και απλή IPδρομολόγηση. Ανάλογα με το μέγεθος του κέντρου δεδομένων, μπορεί να υπάρχουν δύο ή περισσότερα coreswitches, τα οποία να σχηματίζουν μία ιεραρχία με περισσότερα από ένα στρώματα.

Οι χρήστες του κέντρου δεδομένων μπορεί να συνδεθούν είτε με τη χρήση του διαδικτύουείτε με τη χρήση VPN. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μίας ενιαίας πύλης(gateway - GW) ή με ξεχωριστές GW για κάθε ένα απότους διαφορετικούς τύπους σύνδεσης. Τέλος η πύλη(gateway) μπορεί να προσφέρει εικονική δρομολόγηση και μεταγωγή.

Μια σύνδεση Ethernet μεταξύ δύο οποιωνδήποτε κόμβων μεταγωγής μπορεί να είναι είτε από χαλκό είτε απόοπτικές ίνες. Σε άλλες περιπτώσεις, και ειδικά σε WAN, μπορεί να υπάρχουν διάφορα στοιχεία δικτύου για τις μεταφορές στο επίπεδο Ethernet. Επιπλέον, μπορεί να υπάρξουν μεταγωγείς οπτικών ινών που δίνουν τη δυνατότητα αναδιαμόρφωσης στις θύρες Ethernet μεταξύ των διάφορων στοιχείων του δικτύου.

### 4.3 Cloud-Enabled Networking (CEN)

Το cloud networking χωρίζεται σε δύο υπο-κατηγορίες οι οποίες είναι οι Cloud-Enabled Networking (CEN) και Cloud-Based Networking (CBN).

Το CEN χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η χρήση του cloud computing σχετίζεται με τον έλεγχο εφαρμογών και υπηρεσιών αλλά και τη διαχείριση ή / και τη λειτουργία ενός δικτύου υπολογιστών. Παρότι, η διαχείριση και ορισμένες πτυχές του ελέγχου εκτελούνται από το cloud, διατηρείται η συνδεσιμότητα και οι λειτουργίες των πακέτων –όπως η δρομολόγηση, η μεταγωγή και οι υπηρεσίες ασφαλείας - τοπικά και συχνά εκτελούνται από το υλικό. Συνήθως, σε ένα CEN, η υποδομή του δικτύου, η προώθηση και η δρομολόγηση πακέτων, καθώς και άλλες υπηρεσίες δικτύωσης παραμένουν στο φυσικό δίκτυο. Σε αυτό το είδος cloud networking, επιτρέπεται η μετάβαση ορισμένων ή όλων των διαδικασιών διαχείρισης του δικτύου μεταξύ των cloud υπηρεσιών. Παράδειγμα τέτοιου είδους cloud networking παρέχεται από τις εταιρείες [Meraki](#) και [Aerohive](#), οι οποίες έχουν αναπτύξει ένα ασύρματο LAN δίκτυο που απλοποιεί δραματικά τη διαχείριση.

Ωστόσο, η διαχείριση, η παρακολούθηση, η συντήρηση, η ασφάλεια, καθώς και άλλες διαδικασίες του δικτύου εκτελούνται και ενεργοποιούνται μέσω του cloud. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας, είναι η χρήση ενός firewall με τη μορφή μίας υπηρεσίας SaaS, που χρησιμοποιείται για την προστασία ενός δικτύου υπολογιστών που δεν είναι στο cloud.

## 4.4 Cloud-Based Networking (CBN)

Από την άλλη, στο CBN όλες οι βασικές λειτουργίες δικτύωσης, συμπεριλαμβανομένων της διευθυνσιοδότησης και της δρομολόγησης ενός πακέτου καθώς και η διαχείριση και ο χειρισμός των δεδομένων του δικτύου παρέχονται στο cloud, μειώνοντας την ανάγκη για οποιοδήποτε τοπικό υλικό πέρα από αυτό που παρέχεται μέσω της σύνδεσης διαδικτύου. Οι λειτουργίες αυτές παρέχονται μέσω ενός εικονικού δικτύου με τη χρήση εικονικών υπηρεσιών δικτύου. Αυτή η δεύτερη κατηγορία, συχνά αναφέρεται ως Network-as-a-Service (NaaS), διότι ακολουθεί το ίδιο μοντέλο συνδρομής και παράδοσης όπως το Software-as-a-Service (SaaS). Παραδείγματα παροχής αυτού του δεύτερου είδους υπηρεσίας παρέχεται από τις εταιρίες [Pertino](#) και [Aryaka](#).

Τα CBN χρειάζονται μόνο μια σύνδεση Διαδικτύου και μπορεί να υλοποιηθούν με τη χρήση μίας οποιασδήποτε φυσικής υποδομής, όπως ενσύρματων ή ασύρματων, δημόσιων ή ιδιωτικών. Επιπλέον, δεν απαιτείται κανένα πρόσθετο υλικό πέρα από αυτό που απαιτείται για τη σύνδεση στο διαδίκτυο. Τα περισσότερα δίκτυα cloud αυτού του είδους χρησιμοποιούν τιμολόγηση ανά χρήστη ή ανά συνδρομή, οπότε υπάρχει μικρό αρχικό κόστος και η χρέωση γίνεται με βάση τη χρήση.

Ωστόσο, έχει δημιουργηθεί μία νέα γενιά cloud-based NaaS, η οποία χρησιμοποιεί παγκόσμια cloud κέντρα δεδομένων, Software Defined Networks (SDN) και εικονικές μηχανές με σκοπό να παρέχουν μία ελαστική και ανθεκτική υπηρεσία NaaS που μπορεί να φιλοξενήσει μια πληθώρα εικονικών υπηρεσιών δικτύου. Από την άλλη, άλλοι πάροχοι NaaS διαθέτουν τον εξοπλισμό του δικτύου ή εικονικές συσκευές και νοικιάζουν την πρόσβαση, τη διαχείριση και την εξυπηρέτηση.

Το κύριο πλεονέκτημα του CBN είναι ότι δεν απαιτείται κανένα πρόσθετο υλικό πέρα από αυτό που είναι απαραίτητο για τη σύνδεση στο διαδίκτυο και η πληρωμή των χρηστών γίνεται με το μοντέλο pay-as-you-grow, οπότε δεν υπάρχει αρχικό κόστος.

Μερικές από τις λειτουργίες που παρέχονται στο μοντέλο CBN είναι οι ακόλουθες:

- Τοπολογίες: mesh, ιεραρχική, δρομολόγηση, μεταγωγή και μέθοδος πρόσβασης της θέσης των σημείων στο cloud.

- Διευθυνσιοδότηση: χώρος διευθύνσεων, διαχείριση IPv4/IPv6, DHCP, DNS, localname, ανάλυση (resolution) και μετάφρασης διευθύνσεων δικτύου (NetworkAddressTranslation - NAT).
- Χωρητικότητα: hVPNtunnel, μέγιστη χρήση χωρητικότητας, βελτιστοποίησηεπίδοσης καιfailover.
- Authentication: multi-factor, διαχείριση κλειδιών, αρχή πιστοποίησης, και πρόσβαση σε λίστες ελέγχου.
- Ασφάλεια: address obfuscation, κρυπτογράφηση, firewall, καιπρόληψη DDoS.

Έτσι με την χρήση μίας υπηρεσίας NaaS, όλες οι παραδοσιακές λειτουργίες μίας επιχείρησης σχετικά με τη διαχείριση ενός VPN, όπως η τοπολογία, η κίνηση, η σχεδίαση της χωρητικότητας, η διαθεσιμότητα, και το κέντρο λειτουργίας του δικτύου (NetworkOperationCenter - NOC), εκτελούνται από τον πάροχο cloud και όχι από τον πελάτη.

#### 4.5 Σύγκριση Cloud-Enabled Networking και Cloud-Based Networking

Σε υψηλό επίπεδο, το cloud networking επιτρέπει στους χρήστες του, να έχουν πρόσβαση στα αρχεία, στις εφαρμογές, και σε άλλους πόρους, όπως για παράδειγμα, σε εκτυπωτές, με ασφάλεια, από οπουδήποτε στον κόσμο. Ωστόσο, η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία cloud και η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται μπορεί να τα διαφοροποιήσει. Στο μοντέλο CEN χρησιμοποιείται ένα μοντέλο SaaS για την διαχείριση του υλικού. Αντίθετα, το CBN παρομοιάζεται με ένα VPN, όπου υπάρχουν ιδιωτικά, πολλαπλών χρηστών εικονικά δίκτυα οποία είναι προσβάσιμα μέσω του διαδικτύου, χρησιμοποιώντας, το cloud κέντρο δεδομένων ως κόμβο σύνδεσης. Κάθε εικονικό δίκτυο λειτουργεί σαν ένα Layer-3 VLAN στο cloud, που παρέχει οποιαδήποτε συνδεσιμότητα μεταξύ των συσκευών που μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε στηνγκόσμο.

## 4.6 Λειτουργικότητα

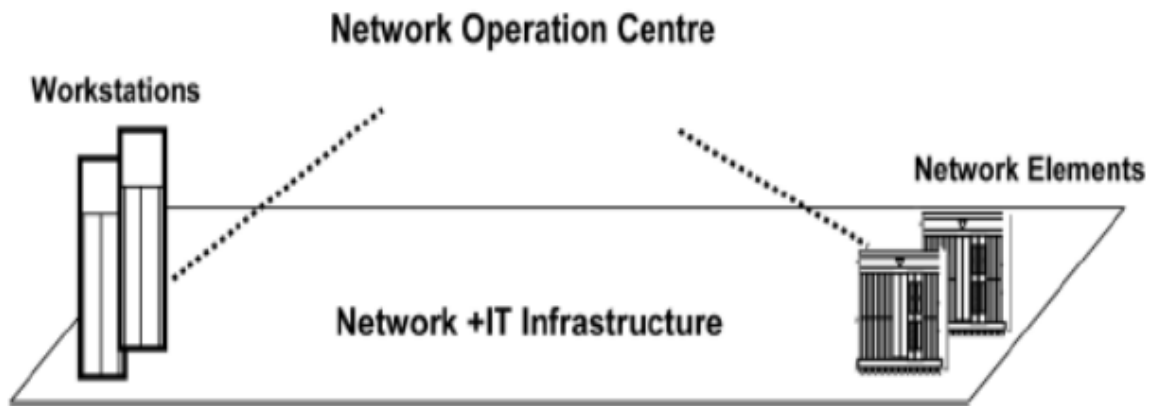
Οι περισσότερες εφαρμογές cloud κάνουν αυξημένη χρήση του δικτύου για να εκτελούν τις λειτουργίες τους. Ωστόσο, παρότι, οι χρήστες τους μπορεί να τροποποιήσουν το μέγεθος των υπολογιστικών πόρων, δεν έχουν άμεση πρόσβαση στη διαχείριση του δικτύου (routers ή switches). Ως αποτέλεσμα, όλη η επεξεργασία των πακέτων πρέπει να γίνεται στον προορισμό.

Το NaaS αποτελεί ένα μοντέλο cloud για την παροχή υπηρεσιών δικτύου, είτε μέσω συνδρομής είτε με το μοντέλο "pay as you use". Μέσω του NaaS, το μόνο που απαιτείται από τον πελάτη είναι ένας υπολογιστής με σύνδεση στο διαδίκτυο ώστε να έχει πρόσβαση στο NaaS που του παρέχεται από κάποιο πάροχο cloud. Το NaaS αποτελεί μια απλοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου μέσω εικονικοποίησης (virtualization).

Στόχος του μοντέλου NaaS είναι να επιτρέψει στους χρήστες του να χρησιμοποιούν την υποδομή του δικτύου σε ένα κέντρο δεδομένων (datacenter) περισσότερο αποτελεσματικά. Για παράδειγμα, οι χρήστες μπορεί να παίρνουν αποφάσεις σχετικά με την προώθηση των πακέτων, την εξισορρόπηση του φορτίου κ.α., σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Ένα κοινό πρόβλημα μεταξύ των εταιρειών που δεν χρησιμοποιούν cloud, είναι η λειτουργία και διαχείριση του δικτύου τους, το οποίο μπορεί να προκαλέσει απώλεια χρόνου και υπηρεσιών. Στο cloud networking, ο χειρισμός των λειτουργιών και της διαχείρισης του δικτύου μπορεί να γίνεται από τον πάροχο του cloud. Σε αυτή την ενότητα, θα περιγράψουμε τη βασική λειτουργικότητα και τη διαχείριση του δικτύου που προσφέρεται μέσω του NaaS.

Η εικόνα 51 δείχνει ένα βασικό μοντέλο cloud, όπου χρησιμοποιούνται στοιχεία του δικτύου, σταθμοί εργασίας, υποδομή δικτύου, καθώς και το κέντρο λειτουργίας δικτύου (Network Operations Center - NOC). Οι χρήστες του cloud αντιπροσωπεύονται από τους σταθμούς εργασίας.



Εικόνα 49: Βασικό μοντέλο CloudNetworking. Πηγή: HEAnet - Ireland's National Research & Education Network

Η πρώτη λειτουργία που παρέχεται είναι η προβολή του δικτύου (networkvisibility). Η λειτουργία πολλών εφαρμογών βασίζεται σε επικαλυπτόμενα δίκτυα. Σαν αποτέλεσμα, απαιτείται η αντιστοίχιση μεταξύ λογικών και φυσικών τοπολογιών, το οποίο απαιτεί μεγάλη προσπάθεια. Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας μπορεί να έχει οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση στην απόδοση. Για παράδειγμα, η [Orchestra](#), χρησιμοποιεί ένα εξελιγμένο πρωτόκολλο ομαδοποίησης για τον εντοπισμό της τοπολογίας κάποιου κέντρου δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να είναι διαθέσιμες στους χρήστες του κέντρου δεδομένων χωρίς επιπλέον κόστος, επιτρέποντας τους να αυξάνουν τον αριθμό των εικονικών μηχανών.

Η προβολή του δικτύου βελτιώνει σημαντικά την επίδοση κυρίως αλληλοεξαρτώμενων εφαρμογών, καθώς επιτρέπει τον έλεγχο της προώθησης των πακέτων μεταξύ των μεταγωγέων (customforwarding). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εφαρμογή εξατομικευμένων πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Για παράδειγμα, δημιουργούνται δίκτυα με βάση το περιεχόμενο των πακέτων, τα firewalls των tenants, τον προγραμματισμό πακέτων και το απαιτούμενο φορτίο.

Τέλος, ένα από τα κύρια οφέλη του NaaS είναι η δυνατότητα επεξεργασίας των πακέτων στο δίκτυο (in-networkingprocessing). Για παράδειγμα, καταναμημένες υπολογιστικές πλατφόρμες, όπως το [MapReduce](#) και το [Dryad](#), αλλά και συστήματα πραγματικού χρόνου και μηχανές αναζήτησης, που χειρίζονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων, συχνά επεμβαίνουν σε διάφορα στάδια. Έτσι, είναι δυνατόν να μειωθεί συνολική κίνηση στο δίκτυο, και σαν αποτέλεσμα, και ο



χρόνος εκτέλεσης. Τέλος, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι πολλές από αυτές τις λειτουργίες δεν μπορεί να εφαρμοστούν στα παραδοσιακά δίκτυα.

Μια άλλη λειτουργία που προσφέρεται από το NaaS, είναι η υπηρεσίακατανεμημένης προσωρινής αποθήκευσης, η οποία είναι παρόμοια με το mem-cached. Το mem-cachedείνει ένα σύστημα αποθήκευσης κατανεμημένης μνήμης γενικής χρήσης. Χρησιμοποιείταιγια την πιο γρήγορη ανάκτηση δυναμικών ιστοσελίδων της βάσης δεδομένων με γνώμονα την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων και αντικειμένων στη μνήμη RAM. Έτσι, μειώνεται ο αριθμός των φορών που μια εξωτερική πηγή δεδομένων (όπως για παράδειγμα μια βάση δεδομένων ή ένα API) πρέπει να διαβαστεί. Ως αποτέλεσμα, είναι δυνατόν να εφαρμοστείπεριστασιακό caching με βάση το πόσες φορές ένα πακέτο (ή μια συλλογή από πακέτα που αντιπροσωπεύουν ένα δεδομένο) περνά από ένα συγκεκριμένο switch.

Η διαχείριση σφαλμάτων (faultmanagement), γίνεται για την ανακάλυψησφαλμάτων ή προβλημάτων στο δίκτυο και τη διόρθωσή τους, με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκατασταθούν οι υπηρεσίες δικτύου και η αποτροπή παρόμοιων περιστατικών στομέλλον. Η ανοχή σε σφάλματα (faulttolerance) είναι ζωτικής σημασίας τόσο στο cloud όσο και σε διάφορα άλλα συστήματα.Με τον τρόπο αυτό, οι επιχειρήσεις είναι σε θέση να εξασφαλίσουντον ελάχιστο χρόνο downtime και τις βέλτιστες λειτουργικές ενημερώσεις. Η ανίχνευση και επίλυση σφαλμάτων μιας εταιρείας που χρησιμοποιεί cloudnetworkingγίνεται από το IT κομμάτι του παρόχου.

Η διαμόρφωση του δικτύου (configurationmanagement) μιας επιχείρησης ή οργανισμού, της δίνει την δυνατότητα να ελέγχει όλες τις λειτουργίες του δικτύου της. Στο cloud computing,ο πάροχος είναι υπεύθυνος για όλες τιςαναβαθμίσεις στο λογισμικό, τη διαμόρφωση του υλικού, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει την αγορά νέου υλικού και λογισμικού, τροποποιήσεις σε υφιστάμενα συστήματα αλλά και την κατάργηση παρωχημένων προγραμμάτων καισυστημάτων. Οι χρήστες του cloudnetworkingδεν συμμετέχουν στηδιαμόρφωση του υλικού και του λογισμικού που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο.

Η βελτίωση της απόδοσης και η διαχείριση της επίδοσης(performancemanagement) του δικτύου μπορεί να επιτευχθεί με την μετάβαση του δικτύου της εταιρείας στο cloud.Μέσω του cloudnetworking εξασφαλίζεται το μέγιστο δυνατό throughput ενώ μπορεί να προσδιοριστούν πιθανά σημεία συμφόρησης του δικτύου. Αυτό συνεπάγεται ότι ο πάροχος του cloud

είναι υπεύθυνος να γνωρίζει πιθανές τεχνικές βελτίωσης του δικτύου που έχουν στόχο την αύξηση της απόδοσης του δικτύου του πελάτη τους.

Ο πάροχος του cloudnetworking εξασφαλίζει ότι οι πελάτες του επωφελούνται από τους διαθέσιμους κατανεμημένους πόρους (accounting management). Σαν αποτέλεσμα, μέσω του cloudnetworking, η επιχείρηση μπορεί αποτελεσματικά και αποδοτικά να μειώσει το λειτουργικό της κόστος και να επωφεληθεί από την διαθεσιμότητα του δικτύου. Η ομάδα του cloudnetworking διασφαλίζει ότι οι χρήστες του, τιμολογούνται σωστά ανάλογα με τη χρήση τους (payperuse model).

Η διαχείριση της ασφάλειας (security management) περιλαμβάνει την προστασία των εταιρικών δικτύων μέσω διάφορων τρόπων. Αυτό μπορεί να σημαίνει άρνηση παροχής υπηρεσιών (Denial of Service - DoS), επιθέσεις, ηλεκτρονικό και φυσικό σαμποτάζ, και τέλος απόρριψη μη νόμιμων και εξουσιοδοτημένων χρηστών που έχουν πρόσβαση στο cloud. Ωστόσο, εξασφαλίζονται και άλλα μέτρα, όπως για παράδειγμα, σχετικά με την παράνομη πρόσβαση σε νόμιμους πόρους στο cloud από μη εξουσιοδοτημένο προσωπικό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί διασφαλίζοντας ότι εμπιστευτικές πληροφορίες σχετικά με τους χρήστες, δεν είναι κοινές και ότι μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες του δικτύου και στον διαθέσιμο εξοπλισμό.

## 4.7 Τεχνολογίες NaaS

Για τη λειτουργία ενός NaaS σε ένα κέντρο δεδομένων, πρέπει να πληρούνται κάποιες βασικές προϋποθέσεις.

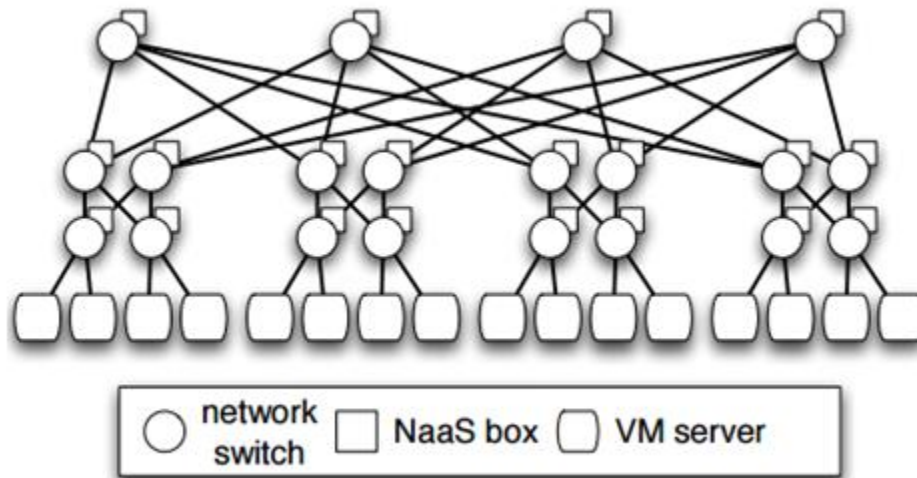
Αρχικά θα πρέπει να γίνει ενοποίηση με το τρέχον υλικό του κέντρου δεδομένων. Συνήθως, σε υπάρχοντα κέντρα δεδομένων, το υλικό που υπάρχει και χρησιμοποιείται αποτελεί μια μεγάλη και σημαντική επένδυση για την εταιρεία. Έτσι, για να μειωθεί το κόστος των μεγάλων κέντρων δεδομένων, χρησιμοποιείται εξοπλισμός δικτύωσης, που δεν ενσωματώνει λειτουργίες προγραμματισμού. Από την άλλη τα NaaS, για να είναι επιτυχημένα, χρησιμοποιούν φτηνό, μη-εμπορεύσιμο, υλικό δικτύωσης. Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι η κοινή χρήση του

τρέχοντος εξοπλισμού ενός κέντρου δεδομένων και αυτού του NaaS, μπορεί να είναι μια επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία.

Κάθε υπηρεσία NaaS θα πρέπει να χρησιμοποιεί κάποιο μοντέλο προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα από τους προγραμματιστές λογισμικού, καθώς αποτελείται από εύκολα κατανοητές εντολές. Αυτό επίσης, θα έχει σαν αποτέλεσμα να "κρύβονται" οι περιττές λεπτομέρειες χαμηλού επιπέδου σχετικά με την επεξεργασία των πακέτων δικτύου και να αποκρύπτεται όλη η πολυπλοκότητα της φυσικής τοπολογίας του δικτύου στο κέντρο δεδομένων.

Τέλος οι υπηρεσίες NaaS, θα πρέπει να εξασφαλίζουν επεκτασιμότητα και απομόνωση μεταξύ των πολλαπλών χρηστών-ενοικιαστών. Για παράδειγμα, το NaaS, θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξει πολλές διαφορετικές εφαρμογές, οι οποίες ανήκουν σε διαφορετικούς οργανισμούς και επιχειρήσεις, εκτελούνται ταυτόχρονα και δεν γνωρίζουν η μία για την άλλη. Ως αποτέλεσμα, για να είναι επιτυχημένο ένα μοντέλο NaaS, θα πρέπει να παρέχει απομόνωση μεταξύ των διαφορετικών πόρων του δικτύου που προσφέρονται στους διάφορους χρήστες (tenants).

Στην εικόνα 52, απεικονίζεται μία βασική αρχιτεκτονική ενός NaaS. Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα κέντρα δεδομένων, στο NaaS είναι απαραίτητο, οι συσκευές δικτύου να μπορεί να εκτελούν αποτελεσματικά τον κώδικα των διάφορων χρηστών. Για να διαχωρίσει λογικά η λειτουργικότητα της παραδοσιακής μεταγωγής πακέτων σε σχέση με το NaaS, η εκτέλεση του κώδικα κάθε χρήστη γίνεται από ένα ξεχωριστό συστατικό που ονομάζεται NaaSbox και φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα. Στην πραγματικότητα, κάθε NaaSbox είναι μία ξεχωριστή συσκευή δικτύου που είτε συνδέεται στους μεταγωγείς χρησιμοποιώντας υψηλό εύρος ζώνης είτε ενσωματώνεται στον ίδιο τον μεταγωγέα.



Εικόνα 50: Αρχιτεκτονική NaaS σε ένα κέντρο δεδομένων. Πηγή: NaaS: Network-as-a-Service in the Cloud [31]

Κάθε συσκευή NaaSbox διαθέτει και εκτελεί συγκεκριμένες εφαρμογές επεξεργασίας πακέτων σχετικές με τα πακέτα που περνούν από αυτές. Ως αποτέλεσμα, για μία συγκεκριμένη εφαρμογή ενός χρήστη, ένα υποσύνολο των NaaSbox εκτελεί την ίδια εφαρμογή. Το υποσύνολο αυτό, αποτελείται από τα NaaSbox που βρίσκονται κατά μήκος της διαδρομής που ακολουθούν τα πακέτα στις φυσικές μηχανές (VMs) του χρήστη στη φυσική τοπολογία του δικτύου.

Τα NaaSbox θα μπορούσαν να υλοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιούν OpenFlow μεταγωγείς. Οι OpenFlow μεταγωγείς δίνουν την δυνατότητα στους ελεγκτές του δικτύου να καθορίσουν την πορεία των πακέτων μεταξύ των μεταγωγέων. Οι ελεγκτές αυτοί συνήθως είναι ξεχωριστοί από τα switches. Με το διαχωρισμό αυτό, είναι πιο εύκολη η διαχείριση της κυκλοφορίας σε σχέση με τη χρήση λιστών ελέγχου πρόσβασης (Access Control List - ACL) και πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Τέλος τα OpenFlow switches διαθέτουν διασυνδέσεις (interfaces) ενώ επιτρέπουν τον προγραμματισμό ώστε να είναι διαχειρίσιμοι εξ' αποστάσεως χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο, ανοικτό πρωτόκολλο.

Ωστόσο, τα OpenFlow switches θεωρούν ότι μόνο ένα μικρό μέρος των πακέτων, για παράδειγμα, μόνο τα SYN πακέτα, επεξεργάζονται μέσω του λογισμικού. Σαν αποτέλεσμα, τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα switches υποστηρίζουν πολύ χαμηλό εύρος ζώνης για τους μεταγωγείς OpenFlow. Επίσης, τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται από τα OpenFlow είναι πολύ περιορισμένα για να υποστηρίξουν πολύπλοκα ταιριάσματα όπως αυτά που απαιτούνται στη

δικτύωση με βάση το περιεχόμενο. Τέλος, η χρήση τους συνήθως περιορίζεται μόνο σε κεφαλίδες πακέτων.

Μία άλλη προσέγγιση θα μπορούσε να είναι με τη χρήση NetFPGA. Το NetFPGA επιτρέπει την ανάπτυξη ανοικτού κώδικα (opensource) υλικού και λογισμικού για την ταχεία προτυποποίηση των συσκευών δικτύου υπολογιστών και παρέχει υψηλή επεξεργασία πακέτων. Από τη μία, με την αξιοποίηση του υλικού μέσω του προγραμματισμού (VHDL ή Verilog), το NetFPGA μπορεί να επεξεργαστεί γρήγορα ένα πακέτο. Από την άλλη, οι χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού έχουν αρκετά χαμηλό επίπεδο και απαιτούν σημαντική τεχνογνωσία για την υλοποίηση προκειμένου να επιτευχθεί υψηλής απόδοσης επεξεργασία πακέτων. Το μεγάλο εμπόδιο σε αυτή την προσέγγιση είναι ότι ο διαμοιρασμός FPGAs μεταξύ των χρηστών δεν υποστηρίζεται προς το παρόν.

Μια πιο πολλά υποσχόμενη τεχνολογία είναι αυτή των δρομολογητών λογισμικού (software routers). Οι δρομολογητές λογισμικού εκτελούν τα ίδια καθήκοντα με τους συνηθισμένους δρομολογητές, μιμούμενοι τη λειτουργία του υλικού μέσω του λογισμικού. Μπορεί να υποστηρίξουν ρυθμό δεκάδων Gbps και μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε αυτόνομα είτε αντικαθιστώντας το παραδοσιακό υλικό είτε ένα συνδυασμό αυτών. Στο NaaS, αυτές οι συσκευές θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξουν έως και δύο τάξεις μεγέθους περισσότερες εφαρμογές ανά χρήστη ενοικιαστή. Ενώ θα πρέπει να θυμόμαστε ότι οι εφαρμογές διαφορετικών χρηστών, ανταγωνίζονται μεταξύ τους για πόρους.

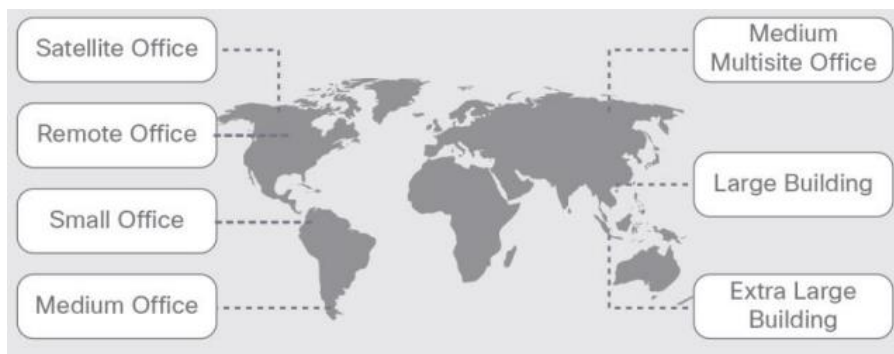
Αυτό είναι πολύ σημαντικό, διότι, σε αντίθεση με τις προηγούμενες προτάσεις που θεωρούν τις υπηρεσίες συνεργαζόμενες μεταξύ τους και αξιόπιστες, στο μοντέλο NaaS, οι χρήστες μπορεί να επεξεργαστούν το δίκτυο όπως επιθυμούν. Με τη χρήση των δρομολογητών λογισμικού, είναι δυνατή η εκτέλεση κακόβουλου λογισμικού χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση των άλλων χρηστών.

Όσον αφορά την τοπολογία του δικτύου, τα switches του δικτύου, διασυνδέονται χρησιμοποιώντας μία τοπολογία fat-tree, όπως έχουμε περιγράψει στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η επιλογή του fat-tree έγινε διότι παρέχει πλήρες εύρος ζώνης και χρησιμοποιείται ευρέως στα κέντρα δεδομένων. Επιπλέον, η τοπολογία αυτή, απαιτεί μόνο 1 Gbps switches με περιορισμένο

αριθμό θυρών. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, γιατί στη χειρότερη περίπτωση, η ταχύτητα επεξεργασίας που υποστηρίζουν τα NaaSbox περιορίζεται σε δεκάδες (αντί εκατοντάδες) Gbps.

Άλλες προτεινόμενες τεχνολογίες είναι οι LANaaS Service (LANaaS) και IWANaaS Service (IWANaaS), που παρέχονται από την [Cisco](#). Στη συνέχεια θα γίνει μία σύντομη αναφορά για κάθε μία από αυτές.

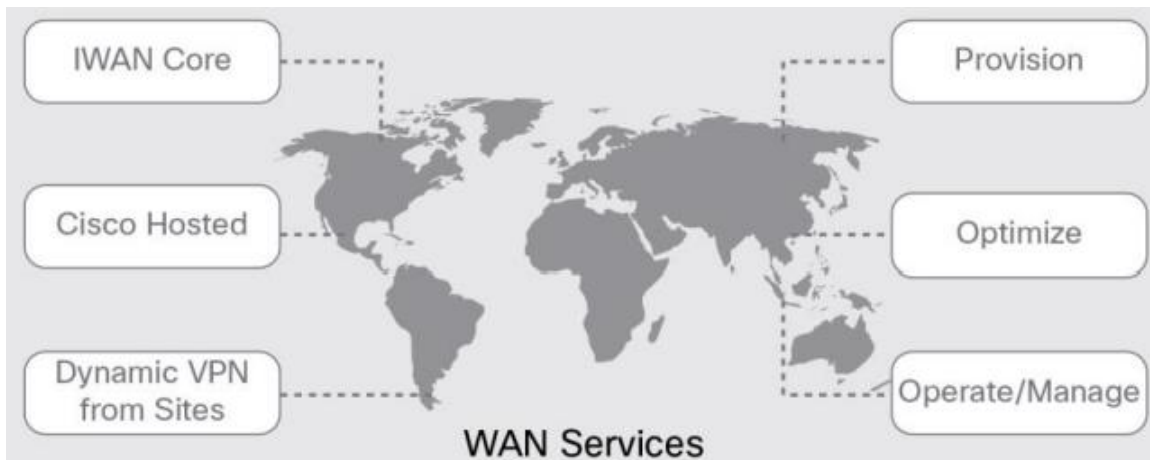
Το LANaaS Service (LANaaS) χρησιμοποιείται για την αποφόρτιση του τοπικού δικτύου (LAN) μίας επιχείρησης με σχετικά χαμηλό κόστος. Το LANaaS μπορεί να παρέχει ενσύρματες ή ασύρματες συσκευές LAN και υπηρεσίες εγκατάστασης, υποστήριξης και διαχείρισης ανεξάρτητα από το μέγεθος και τις απαιτήσεις του δικτύου. Η τιμολόγηση της κάθε επιχείρησης γίνεται με βάση τη χρήση (pay-as-you-grow) με τη μορφή ενός μηνιαίου παγίου. Ως αποτέλεσμα, η εταιρεία απαλλάσσεται από το αρχικό κόστος αγοράς του εξοπλισμού, την εγκατάσταση, την αναβάθμιση και την ασφαλείας του δικτύου. Στην Εικόνα 53 φαίνονται οι διαφορετικές υλοποιήσεις ενός LANaaS.



Εικόνα 51: Μορφές LANaaS. Πηγή: Cisco

Το IWANaaS Service (IWANaaS) σχετίζεται με την υλοποίηση ενός Intelligent WAN δικτύου μέσω cloud και τη χρήση της υποδομής του υπάρχοντος δικτύου. Αποσκοπεί στην βελτιστοποίηση και την καλύτερη διαχείριση του εύρους ζώνης του WAN. Επιπλέον, προσφέρει προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, επιτάχυνση στην εκτέλεση των εφαρμογών, βελτίωση της απόδοσης δρομολόγησης των δεδομένων και της διαχείριση του εύρους ζώνης. Ως αποτέλεσμα,

βελτιώνεται ο χρόνος απόκρισης των εφαρμογών των χρηστών και μειώνεται οι δαπάνες του WAN της επιχείρησης.



Εικόνα 52:Μορφές IWANaaS. Πηγή: Cisco

Συνοψίζοντας, δεδομένου των απαιτήσεων υψηλής κλιμάκωσης που είναι απαραίτητες στο cloudnetworking, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν παραδοσιακές τεχνολογίες εικονικοποίησης. Χρειάζεται η ανάπτυξη πιο ελαφρών και επεκτάσιμων λύσεων, ενδεχομένως σε συνδυασμό με μηχανισμούς απομόνωσης του δικτύου.

#### 4.8 Πλεονεκτήματα του NaaS

Το cloudnetworking εμφανίζει αρκετά οφέλη για όλα τα μεγέθη επιχειρήσεων. Η απλότητα, η αξιοπιστία και η ευελιξία που προσφέρει, μπορεί να μειώσει το κόστος εγκατάστασης και της διαχείρισης του δικτύου. Αρκεί να σκεφτούμε μόνο ότι τα δίκτυα μπορεί να χρειαστούν εβδομάδες ή ακόμα και μήνες για να σχεδιαστούν, αγοραστούν, διαμορφωθούν και στηθούν. Με τη χρήση του cloudnetworking, αυτές οι εργασίες μπορεί να διαρκέσουν μόνο λίγα λεπτά. Σαν αποτέλεσμα, το τμήμα πληροφορικής της επιχείρησης, μπορεί να αφιερώσει χρόνο σε άλλες εργασίες. Με την εμφάνιση του cloudnetworking, θα υπάρξουν νέοι τρόποι δημιουργίας και διαχείρισης των δικτύων.

Στο cloud networking εμφανίζονται πολλά από τα οφέλη, που υπάρχουν και σε άλλες υπηρεσίες cloud. Παράδειγμα τέτοιων οφελών είναι η γρήγορη ανάπτυξη και η εύκολη διαχείριση. Επιπλέον δεν απαιτείται η αγορά νέου υλικού και η ενημέρωση και η συντήρηση του λογισμικού. Άλλα οφέλη σχετίζονται με την επεκτασιμότητα τόσο του δικτύου όσο και των υπολογιστικών πόρων, τον αποθηκευτικό χώρο και το εύρος ζώνης. Τέλος, ο χρήστης πληρώνει με βάση την χρήση, ενώ δίνεται η δυνατότητα κλιμάκωσης και μείωσης των πόρων οπουδήποτε και οποτεδήποτε απλά με τη χρήση μίας σύνδεσης διαδικτύου. Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε αναλυτικά σε όλα τα οφέλη που προσφέρονται με τη χρήση του cloud networking.

- Μείωση κόστους: Αυτός είναι ο κύριος λόγος που οι περισσότερες ιδιωτικές και δημόσιες εταιρείες επιλέγουν την τεχνολογία cloud. Αυτό συμβαίνει, καθώς απαιτείται χαμηλό κεφάλαιο, χωρίς να είναι αναγκαίο το υψηλό κόστος αγοράς του εξοπλισμού δικτύωσης αλλά και η απαίτηση για συνεχείς αναβαθμίσεις και τη συντήρησή του. Στον απαιτούμενο εξοπλισμό περιλαμβάνονται φυσικοί servers, δρομολογητές, switches, κ.α. που είναι απαραίτητα για την οικοδόμηση ενός δικτύου. Επιπλέον υπάρχει κέρδος από τις εφαρμογές διαχείρισης του δικτύου. Τέλος, δεν απαιτείται υψηλό κόστος για το ανθρώπινο δυναμικό της επιχείρησης και τη διαχείριση του δικτύου. Οι χρήστες πληρώνουν με βάση τη χρήση ενώ ο πάροχος του cloud είναι υπεύθυνος για την αγορά του υλικού και την αναβαθμίσή του. Το cloud networking αποτελεί μία πράσινη λύση, επιτρέποντας στο κόστος του εξοπλισμού να μειωθεί σημαντικά.
- Καμία απαίτηση για υλικό: Ειδικά στην περίπτωση του Cloud-Based Networking, όλες οι υπηρεσίες δικτύου παρέχονται εξ' ολοκλήρου από το cloud. Σαν αποτέλεσμα, δεν απαιτείται επιπλέον υλικό, εκτός αυτού για τη βασική σύνδεση στο διαδίκτυο. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες λειτουργούν άψογα και με τον παραδοσιακό εξοπλισμό δικτύωσης, διευκολύνοντας τη χρήση του cloud.
- Γρήγορη ανάπτυξη και χρήση υπηρεσιών: Τα δίκτυα είναι πολύπλοκα και έχουν πολλά κινούμενα μέρη. Οι χρήστες του cloud μπορεί γρήγορα να αναπτύξουν το δίκτυο τους και να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του μέσα σε λίγα μόνο λεπτά, ώρες ή ημέρες σε αντίθεση με τις παραδοσιακές λύσεις δικτύων.

Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο CEN η διοίκηση και διαχείριση γίνονται από τον πάροχο του cloud για να επιτυγχάνεται κεντρική πρόσβαση και απλοποιημένος έλεγχος. Το μοντέλο CBN προχωράει ακόμα πιο πολύ, και αναλαμβάνει την διαδικασία οικοδόμησης



ενός ασφαλούς VPN στο cloud. Σαν αποτέλεσμα, απλοποιείται η διαδικασία κατασκευής και διαχείρισης του δικτύου.

- **Σύνδεση παρόμοια με LAN:** Με τη χρήση του μοντέλου CBN, οι χρήστες νιώθουν ότι συνδέονται σε ένα δίκτυο LAN, καθώς έχουν πρόσβαση σε εφαρμογές, αρχεία και πόρους που χρειάζονται. Δεν χρειάζεται να θυμούνται κωδικούς πρόσβασης και να φορτώσουν κάποιο προφίλ. Τέλος, δεν χρειάζεται διαμόρφωση τοπικών ή απομακρυσμένων δρομολογητών ή τειχών προστασίας (firewalls).
- **Απλοποιημένη διαχείριση:** Είτε η διαχείριση του δικτύου γίνεται εντός είτε εκτός του χώρου μίας επιχείρησης, με το cloud καθίσταται μία εύκολη διαδικασία. Με την εξάλειψη μεγάλου μέρους του υλικού και της υποδομής του δικτύου, το τμήμα πληροφορικής μπορεί να αφοσιωθεί στην αλληλεπίδραση των χρηστών με την υποδομή αυτή. Παλιότερα, αντίστοιχες λύσεις, απαιτούσαν αλλαγές σε πολλαπλά συστήματα, ενώ τώρα πραγματοποιούνται με ένα μόνο click.
- **Βελτίωση της παραγωγικότητας:** Με τη χρήση του cloud networking, το προσωπικό IT της εταιρείας δεν είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία και διαχείριση του δικτύου και έχει χρόνο να επικεντρωθεί σε άλλες εργασίες, αφού όπως έχουμε ήδη αναφέρει, όλες οι εργασίες στο cloud networking πραγματοποιούνται από τον πάροχο του cloud.
- **Καλύτερη υποστήριξη κινητικότητας:** οι λύσεις cloud networking είναι προσβάσιμες μέσω διαδικτύου, επιτρέποντας στους χρήστες του να έχουν πρόσβαση σε αυτό από οπουδήποτε, οποιαδήποτε στιγμή απλά έχοντας μια σύνδεση στο διαδίκτυο. Αυτό προάγει την έννοια του "Bring Your Own Device" (BYOD), δίνοντας τη δυνατότητα στους εργαζομένους της επιχείρησης να χρησιμοποιούν τις προσωπικές τους κινητές συσκευές μέσω των οποίων θα έχουν πρόσβαση στις εφαρμογές του cloud. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της παραγωγικότητας της εταιρείας, καθώς οι εργαζόμενοι είναι ελεύθεροι να εργαστούν από οπουδήποτε.
- **Άμεση επεκτασιμότητα:** Το cloud networking δίνει την δυνατότητα άμεσης επεκτασιμότητας στο δίκτυο μέσα σε λίγα λεπτά χωρίς την αγορά επιπλέον εξοπλισμού δικτύωσης, την εγκατάσταση, και τη διαμόρφωσή του. Με το μοντέλο CBN, είναι δυνατή η δημιουργία ενός εικονικού δικτύου cloud μέσα σε λίγα λεπτά, παρέχοντας στους χρήστες του, τους πόρους που χρειάζονται από οπουδήποτε υπάρχει μια σύνδεση στο internet, χωρίς να απαιτείται επιπλέον αγορά υλικού και εγκατάστασή του. Στη συνέχεια,

όταν οι επιπλέον πόροι δεν είναι χρήσιμοι, μπορεί να αποδεσμευτούν γρήγορα και ο χρήστης να πληρώσει μόνο για ό,τι πραγματικά χρησιμοποίησε.

- Αναβάθμιση από τον πάροχο: Στο cloudnetworking, οι απαιτούμενες αναβαθμίσεις και λειτουργίες του δικτύου παρέχονται από τον πάροχο του cloud.
- Ασφάλεια: Στο cloudnetworking, ο πάροχος του cloudπαρέχει αυστηρές πολιτικές ασφαλείας στους πελάτες του. Η ασφάλεια σχετίζεται με την πρόληψη απώλειας των δεδομένων, χρήση τείχους προστασίας (firewall), κρυπτογράφηση και έλεγχο ταυτότητας. Για παράδειγμα, θα πρέπει να διασφαλίζει ότι ο χρήστης έχει πρόσβαση σε ορισμένα δεδομένα τα οποία μπορεί να τροποποιήσει. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα για τη φυσική ασφάλεια των κέντρων δεδομένων και πιο συγκεκριμένατην προστασία τους από ιούς.
- Πρόσβαση από οπουδήποτε: Όπως και με το SaaS, έτσι και στο cloudnetworking, οι προσφερόμενες υπηρεσίες είναι προσβάσιμες από οπουδήποτε στον κόσμοχρησιμοποιώντας απλά μία οποιαδήποτε δημόσια ή ιδιωτική σύνδεση στο Internet, όπως για παράδειγμα, ευρυζωνική, Wi-Fi ή 3G / 4G. Οι υπηρεσίες αυτές προσφέρουν αξιοπιστία και υψηλή απόδοση. Ακόμα και σε περίπτωση σφάλματος στο σημείο πρόσβασης του χρήστη στο cloud,οι χρήστες χρησιμοποιούν άλλο σημείο σύνδεσης αυτόματα, χωρίς να το γνωρίζουν και να το αντιλαμβάνονται.
- Ιδανικά για κινητές συσκευές: Το cloud είναι ιδανικό για τις κινητές συσκευές, όπως για παράδειγμα, tablets, smartphones, readers, οι οποίες όλο και περισσότερο εμφανίζονται στα επιχειρηματικά δίκτυα. Χρησιμοποιώντας υπηρεσίες εικονικού δικτύου, είναι δυνατόν να διασφαλίζουν λειτουργίες πιστοποίησης της ταυτότητας του χρήστη και κατ' επέκταση ασφάλεια.
- Εξυπηρέτηση από το cloud: Η προσθήκη υπηρεσιών βασισμένων στο cloud, στο υπάρχον δίκτυο μίας επιχείρησης, χρησιμοποιώντας παραδοσιακές λύσεις, όπως το VPN μπορεί να είναι μία δύσκολη και χρονοβόρα εργασία. Συχνά, μάλιστα, θέτει σε κίνδυνο την ελαστικότητα και τα προσφερόμενα οφέλη του cloud. Με την χρήση ενός μοντέλουCBN, είναι εύκολο να αναπτυχθεί ένα δίκτυο σε cloud, σε έναν ή περισσότερους παρόχους μέσα σε λίγα μόνο λεπτά. Ως αποτέλεσμα, το δίκτυο είναι εύκολο να μεταφερθεί σε οποιοδήποτε server σε ένα ή πολλαπλά κέντρα δεδομένων (datacenter).

## 4.9 Προκλήσεις - Μειονεκτήματα

Όπως και σε όλες τις υπηρεσίες έτσι και σε αυτές που βασίζονται στο cloud, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί, τους οποίους κάθε χρήσης πρέπει να γνωρίζει. Επειδή οι υπηρεσίες cloudnetworking έχουν εμφανιστεί πρόσφατα, αναμένεται να εξελιχθούν ταχέως. Στη συνέχεια θα παραθέσουμε ορισμένα από τα προβλήματα αυτά.

- Εξάρτηση από τρίτη εταιρεία: Όπως και στην περίπτωση των υπηρεσιών SaaS και του cloud computing, έτσι και στο cloudnetworking, η φιλοξενία του δικτύου μίας επιχείρησης στο cloud αφαιρεί ένα μεγάλο μέρος από την συντήρηση, την ασφάλεια και τον άμεσο έλεγχο της υποδομής του δικτύου.
- Λειτουργικότητα: Επειδή η τεχνολογία cloudnetworking είναι σχετικά καινούρια και κάποιες εφαρμογές σχετίζονται με το λογισμικό του πελάτη, ορισμένα λειτουργικά συστήματα ή λογισμικά, ειδικά κάποια παρωχημένα, όπως για παράδειγμα τα firewalls, μπορεί να μην υποστηρίζονται ή να δουλεύουν, όπως αναμενόταν.
- Νομικά ζητήματα: Πολλές εταιρείες πρέπει να συμμορφώνονται με συγκεκριμένους κανονισμούς που ορίζονται από το νόμο. Σε αυτή την περίπτωση, ο παρόχος cloud πρέπει να παρέχει διαφανείς μεθόδους κρυπτογράφησης καθώς και δυνατότητες ανίχνευσης της τοποθεσίας των δεδομένων.
- Απόδοση: Δεν είναι δυνατόν όλες οι προσφερόμενες υπηρεσίες NaaS να δημιουργηθούν με τον ίδιο τρόπο. Ορισμένες εξαρτώνται από το υλικό και σχετίζονται άμεσα με το VPN ή το MPLS που συνδέονται. Άλλες εξαρτώνται πλήρως από το cloud από όπου παρέχεται ελαστικότητα και πραγματικός χρόνος προβλέψεων. Ως αποτέλεσμα, η πραγματική απόδοση ενός δικτύου μπορεί να διαφέρει.
- Απρόβλεπτες συνέπειες: Επειδή το μοντέλο CBN έχει ως στόχο την αποτελεσματική επέκταση του δικτύου LAN στο εικονικό δίκτυο cloud θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η πολιτική διαμοιρασμού των ατομικών αρχείων και φακέλων, έχει ρυθμιστεί σωστά για όλους τους χρήστες του cloud. Θα πρέπει, τέλος, να εξασφαλιστεί ότι οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε συγκεκριμένες εφαρμογές και υπηρεσίες στο cloud.

- **Ιδιωτικότητα:** Η διατήρηση της ιδιωτικότητας των δεδομένων κάθε επιχείρησης αποτελεί μια επιπλέον ανησυχία. Κάθε επιχείρηση, πρέπει να διασφαλίσει ότι τα δεδομένα της, δεν είναι προσβάσιμα τόσο από τον πάροχο του cloud ή από τους άλλους χρήστες αυτού. Χρησιμοποιώντας τεχνικές ελέγχου ταυτότητας και μεθόδους κρυπτογράφησης, αυτός ο κίνδυνος μπορεί να μειωθεί.

#### 4.10 Εξέλιξη του Cloud Networking

Εξετάζοντας τα οφέλη και τα μειονεκτήματα σχετικά με το cloud networking, βλέπουμε ότι υπερτερούν τα οφέλη, ειδικά στους τομείς της ανεξαρτησίας και της ανθεκτικότητας. Παρόλα αυτά, δεν πρέπει να παραλήψουμε πιθανές λειτουργικές συνέπειες που μπορεί να εμφανιστούν, ειδικά, κατά τη μετάβαση από την παρούσα υποδομή δικτύου στο cloud. Αυτή η παράμετρος, είναι αρκετά σημαντική και πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το κλείσιμο της συμφωνίας με τον πάροχο cloud.

Από την άλλη, οι υφιστάμενες τεχνολογίες δικτύωσης που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή λύσεων πολλαπλών χρηστών cloud networking, έχουν κατασκευαστεί κυρίως για στατικά περιβάλλοντα. Υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί προς αυτή την κατεύθυνση, όπως αδυναμία υποστήριξης των δυναμικά μεταβαλλόμενων κέντρων δεδομένων πολλαπλών χρηστών, της χρήσης υπολογιστικών και αποθηκευτικών πόρων ανά χρήστη, της αρχικοποίησης και της δυναμικής τροποποίησης των εικονικών δικτύων (Virtual Networks–VNs). Μερικά ακόμα ζητήματα που προκύπτουν σε ένα δυναμικό περιβάλλον είναι η γρήγορη ανάπτυξη μιας εικονικής μηχανής και η προσβασιμότητά της στο δίκτυο, η εύρεση της νέας θέσης της εικονικής μηχανής όταν υποστηρίζεται κινητικότητα, η βελτιστοποίηση της δρομολόγησης των πακέτων με βάση την τρέχουσα θέση μιας εικονικής μηχανής όσο το δυνατόν γρηγορότερα και, τέλος, η ελαχιστοποίηση της απώλειας κυκλοφορίας σε μία εικονική μηχανή όταν υποστηρίζεται κινητικότητα.

Σαν αποτέλεσμα, οι προτεινόμενες λύσεις θα πρέπει να μπορεί να βελτιστοποιήσουν την αξιοποίηση των πόρων και του εύρους ζώνης του δικτύου, με σκοπό την αποτελεσματική εξισορρόπηση του φορτίου. Αυτό αποτελεί ένα βασικό μειονέκτημα σε δίκτυα που

αναπτύσσονται με τη μορφή δέντρου. Θα πρέπει επίσης να βελτιστοποιηθεί ο έλεγχος των διαθέσιμων πόρων ώστε να είναι δυνατή η αύξηση ή μείωση του μεγέθους του δικτύου ανάλογα με τις απαιτήσεις. Για να είναι δυνατός ο έλεγχος αυτός από τη μεριά του δικτύου, θα πρέπει οι προτεινόμενες λύσεις να ακολουθούν ιεραρχική σχεδίαση δικτύωσης, ώστε οι πληροφορίες σχετικά με τον χρήστη να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στα τελικά σημεία, όπως για παράδειγμα στους servers και να μπορεί να ελεγχθεί αποτελεσματική η διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα πακέτα. Για να είναι εφικτό ένα τέτοιο δυναμικό περιβάλλον, απαιτείται δυναμικός συντονισμός των διαθέσιμων υπηρεσιών.

## Συμπεράσματα – Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία σχετίζεται με το υπολογιστικό νέφος και τη χρήση του cloudnetworking. Όπως προκύπτει από τα όσα έχουμε αναφέρει, η χρήση του υπολογιστικού νέφους για την παροχή υπηρεσιών, πρόκειται να κυριαρχήσει σε όλες τις πτυχές της πληροφορικής στο μέλλον. Όλο και περισσότερες εταιρίες και οργανισμοί κινούνται προς αυτή τη κατεύθυνση με βάση τις απαιτήσεις και τις ανάγκες τους. Ωστόσο όπως κάθε νέα τεχνολογία έτσι και το υπολογιστικό νέφος και το cloudnetworking εγκυμονούν κινδύνους, οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη.

Όσον αφορά στις μελλοντικές κατευθύνσεις, ένα σοβαρό θέμα το οποίο πρέπει να μελετηθεί είναι η ασφάλεια που παρέχεται στο cloud computing και στο cloud networking καθώς και βρεθούν λύσεις σχετικά με πιθανά προβλήματα που μπορεί να υπάρχουν. Επίσης θα μπορούσε να δοθεί έμφαση στη πραγματική χρήση του υπολογιστικού νέφους από διάφορες επιχειρήσεις και οργανισμούς με σκοπό τη βελτιστοποίηση. Ακόμα, μία πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση θα ήταν η ανάπτυξη κάποιας εφαρμογής σε υπολογιστικό νέφος και η μέτρηση της απόδοσής της σε σχέση σε αντίστοιχες κλασσικές εφαρμογές.

## Βιβλιογραφία

### 1. Βιβλία – Άρθρα - Δημοσιεύσεις

[1] Chuan-lin Wu. (1981), Interconnection Networks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://www.computer.org/csdl/mags/co/1981/12/01667195.pdf>

[2] Armbrust Michael, Fox Armando, Griffith Rean, Joseph Anthony, Katz Randy, Konwinski Andy, Lee Gunho, Patterson David, Rabkin Ariel, Stoica Ion, Zaharia Matei, (2010). A View of Cloud Computing. Communications of the ACM, CACM Homepage archive. v. 53(4). pp. 50-58

[3] Khan Shakir, Al-Mogren Ahmad, AlAjmi Mohamed, (2015). Using Cloud Computing to Improve Network Operations and Management, Information Technology: Towards New Smart World (NSITNSW), 2015 5th National Symposium on. pp. 1-6.

[4] Bitar Nabil, Gringeri Steven, Xia Tiejun, (2013). Technologies and Protocols for Data Center and Cloud Networking, IEEE Communications Magazine. v. 51(9). pp. 24-31.

[5] Bitar Nabil, (2013). Multi-Tenant Data Center and Cloud Networking Evolution, Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC), 2013. pp. 1-3.

[6] M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A. D. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica and M. Zaharia, Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing, UC Berkeley Reliable Adaptive Distributed Systems Laboratory, 2009. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-28.pdf>

### 2. Πηγές από το διαδίκτυο

[7] Introduction to Cloud Computing. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://www.priv.gc.ca/resource/fs-fi/02\\_05\\_d\\_51\\_cc\\_e.pdf](https://www.priv.gc.ca/resource/fs-fi/02_05_d_51_cc_e.pdf)

[8] The NIST Definition of Cloud Computing. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[http://www.seu.ac.lk/careerguidanceunit/freedownload/0000%20The%20NIST%20Definitio  
n%20of%20Cloud%20Computing.pdf](http://www.seu.ac.lk/careerguidanceunit/freedownload/0000%20The%20NIST%20Definitio<br/>n%20of%20Cloud%20Computing.pdf)

[9] Cloud Computing Tutorial, Simply Easy Learning. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[http://www.tutorialspoint.com/cloud\\_computing/cloud\\_computing\\_tutorial.pdf](http://www.tutorialspoint.com/cloud_computing/cloud_computing_tutorial.pdf)

[10] Computer network. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_network)

[11] Introduction to Networking. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[http://do1.dr-chuck.com/net-intro/EN\\_us/net-intro.pdf](http://do1.dr-chuck.com/net-intro/EN_us/net-intro.pdf)

[12] An Introduction to Computer Networks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://intronetworks.cs.luc.edu/current/ComputerNetworks.pdf>

[13] Network topology. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_topology](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_topology)

[14] Δίκτυα υπολογιστών. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://sites.google.com/site/eisagogestadiktyaypologiston1/architektonike-  
diktyou/topologies-diktyon](https://sites.google.com/site/eisagogestadiktyaypologiston1/architektonike-<br/>diktyou/topologies-diktyon)

[15] TCP/IP. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://el.wikipedia.org/wiki/TCP/IP>

[16] TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) definition. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://searchnetworking.techtarget.com/definition/TCP-IP>

[17] Internetprotocolsuite. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:



[https://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_protocol\\_suite](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite)

[18] Το Πρωτόκολλο TCP (Transmission Control Protocol). Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο

[http://cgi.di.uoa.gr/~shadj/PLH36/tcp\\_chapter.pdf](http://cgi.di.uoa.gr/~shadj/PLH36/tcp_chapter.pdf)

[19] InterconnectionNetworks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://www2.cs.siu.edu/~cs401/Textbook/ch5.pdf>

[20] InterconnectionNetworks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[http://www.ece.eng.wayne.edu/~czxu/ece7660\\_f05/network.pdf](http://www.ece.eng.wayne.edu/~czxu/ece7660_f05/network.pdf)

[21] Omeganetwork. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Omega\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Omega_network)

[22] InterconnectionNetworks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[http://www.cs.mcgill.ca/~cs535/lect\\_notes/Lecture13-InterconNetworks.pdf](http://www.cs.mcgill.ca/~cs535/lect_notes/Lecture13-InterconNetworks.pdf)

[23] Packetswitching. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Packet\\_switching](https://en.wikipedia.org/wiki/Packet_switching)

[24] Circuit switching. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Circuit\\_switching](https://en.wikipedia.org/wiki/Circuit_switching)

[25] Interconnection networks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://web.mit.edu/6.173/www/currentsemester/handouts/L14-interconnect-1.pdf>

[26] Interconnection Networks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15418-s12/www/lectures/18\\_interconnects.pdf](http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15418-s12/www/lectures/18_interconnects.pdf)

[27] Interconnection Networks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[http://booksite.elsevier.com/9780123838728/references/appendix\\_f.pdf](http://booksite.elsevier.com/9780123838728/references/appendix_f.pdf)

[28] Cloud-based networking. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud-based\\_networking](https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud-based_networking)

[29] Cloud Enabled Networking. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://www.techopedia.com/definition/30219/cloud-enabled-networking>

[30] Cloud Networking Defined: Cloud-Based vs. Cloud-Enabled. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://pertino.com/blog/cloud-networking-defined-cloud-based-vs-cloud-enabled/>

[31] NaaS: Network-as-a-Service in the Cloud. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://research.microsoft.com/en-us/um/people/pcosta/papers/costa12naas.pdf>

[32] The Force.com Multitenant Architecture. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[https://developer.salesforce.com/page/Multi\\_Tenant\\_Architecture](https://developer.salesforce.com/page/Multi_Tenant_Architecture)

[33] OpenFlow. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://en.wikipedia.org/wiki/OpenFlow>

[34] NaaS: Networking as a Service, a new business model. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://www.linkedin.com/pulse/20140731111223-18143148-naas-networking-as-a-service-a-new-business-model>

[35] NaaS is the future of networking cloud based. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://www.cloudcomputingadmin.com/articles-tutorials/naas/naas-future-networking-cloud-based.html>

[36] CloudNetworkingGuide. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

[http://pertino.com/assets/client\\_files/images/Cloud%20Networking%20Guide.pdf](http://pertino.com/assets/client_files/images/Cloud%20Networking%20Guide.pdf)

[37] Why would we treat theNetwork as a Service?. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://www.heanet.ie/conferences/2013/files/78/Eduard%20Escalona,%20Dave%20Wilson%20-%20Why%20Would%20we%20Treat%20the%20Network%20as%20a%20Service.pdf>

[38] What's the Difference Between Cloud-Based Networking and Cloud-Enabled Networking?.

Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://www.youtube.com/watch?v=q4y3HREeeyg>

[39] CloudNetworkingIntroduction. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://www.youtube.com/watch?v=U7h2Pharcas>

[40] Fat-TreeDesign. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://clusterdesign.org/fat-trees/>

[41] Cisco Network as a Service:Pay-As-You-Go LANs and WAN Optimization. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/solution-overview-c22-733648.pdf>

[42] Memcached. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Memcached>

[43] Switch-Based Dynamic InterconnectionNetworks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://www.uotechnology.edu.iq/ce/lecture14/forth%20class/distributed%20system%20lecturers/L4.pdf>

[44] Switch-Based InterconnectionNetworks. Διαθέσιμο από το διαδικτυακό τόπο:

<http://www.philadelphia.edu.jo/academics/kaubaidy/uploads/ACA-Lect16.pdf>