



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Data center Interconnects with optical fibers”

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: Γιαννακόπουλος Παναγιώτης ΑΜ:3109

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Πολίτη Χριστίνα

Πάτρα 2023

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
1. Εισαγωγή	
1.1 Ιστορική Αναδρομή	5
1.2 Ορισμός δικτύου υπολογιστών	6
1.2.1 Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων	6
1.3 Διασύνδεση Υπολογιστών – Δίκτυο	7
1.4 Αρχιτεκτονική Σημερινού Δικτύου	8
2. Οπτικά Δίκτυα	
2.1 Μετάδοση στα οπτικά δίκτυα	9
2.2 Οπτικές Ίνες	10
2.3 Μελέτη για την κατασκευή δικτύου οπτικών ινών	12
2.3.1 Κόστος κατασκευής	13
2.4 Εφαρμογές οπτικών δικτύων	13
2.5 Τεχνολογία_FTTH	14
3. Κέντρα Δεδομένων	
3.1 Εισαγωγή	15
3.1.1 Αναδρομή στα Κέντρα Δεδομένων	17
3.1.2 Σημερινά κέντρα δεδομένων	18
3.1.3 Google Data Centers	20
3.2 Βασικά Χαρακτηριστικά	
3.2.1 Δομή Κέντρου Δεδομένων	21
3.2.2 Απαιτήσεις Κέντρων Δεδομένων	22
3.3 Τεχνολογία οπτικών Κέντρων Δεδομένων	23
3.4 Κατανάλωση Ενέργειας στα Κέντρα δεδομένων	24
3.4.1 Οικολογικά Κέντρα Δεδομένων (Green Data Centers)	24
	2

3.5 Το Προφίλ ενός Ιδανικού Κέντρου Δεδομένων	25
4. Αρχιτεκτονικές Κέντρων Δεδομένων	
4.1 Αρχιτεκτονική c-Through	26
4.2 Αρχιτεκτονική Helios	27
4.3 Αρχιτεκτονική DOS	28
4.4 Αρχιτεκτονική Petabit	30
4.5 Αρχιτεκτονική E-RAPID	31
5. Προσομοίωση οπτικού δικτύου	
5.1 Εισαγωγή	33
5.1.1 Περίπτωση 1 ^η αρχιτεκτονικής και συμπεράσματα	33
5.1.2 Περίπτωση 2 ^η αρχιτεκτονικής και συμπεράσματα	36
Βιβλιογραφία	39

Περίληψη

Σε αυτή την εργασία θα κάνουμε μια γενική αναφορά στην σημερινή δομή των δικτύων και θα εμβαθύνουμε στα δίκτυα των οπτικών ινών, θα αναφερθούμε στην κατασκευή τους και τις λειτουργίες των δικτύων αυτών. Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με τα Κέντρα Δεδομένων των οπτικών δικτύων (Data Centers), τα χαρακτηριστικά τους, τα θετικά και τα αρνητικά τους και τις αρχιτεκτονικές τους. Θα αναλύσουμε κάποιες αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται περισσότερο σε κέντρα δεδομένων και θα τις συγκρίνουμε μεταξύ τους.

Τέλος, θα παρουσιάσουμε μια προσομοίωση ενός οπτικού δικτύου και κάνοντας ένα πείραμα θα βγάλουμε συμπεράσματα βάση των αποτελεσμάτων που βάση των αποτελεσμάτων.

1. Εισαγωγή

Με την ανάπτυξη του διαδικτύου στην σύγχρονη εποχή η χρήση του κέντρου δεδομένων έχει γίνει πανταχού παρούσα. Χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και επεξεργασία ιδιωτικών δεδομένων έγγραφων, οικονομικά και την υγειονομικά αρχεία, στα μέσα ενημέρωσης και τα παιχνίδια. Διευκολύνουν την αποθήκευση δεδομένων και υπολογισμούς, τις τηλεπικοινωνίες, την συνεργασία και την διασκέδαση. Οι παγκόσμιας κλίμακας online υπηρεσίες συνήθως λειτουργούν με εκατοντάδες χιλιάδες διακομιστές διασκορπισμένους σε δεκάδες κέντρα δεδομένων σε όλο τον κόσμο.

Η Google αναμένεται να κατέχουν πάνω από ένα εκατομμύριο διακομιστές (το 2009) ενώ το κέντρο δεδομένων της Microsoft στο Σικάγο μόνο , εκτιμάται ότι περιλαμβάνει πάνω από 300.000 διακομιστές. Οι κλίμακες αυτές θα αυξηθούν δραματικά όσο το μοντέλο του cloud computing ωριμάζει, και προσεγγίζει αυτό που πολλοί έχουν σαν όραμα για το μέλλον. Το κόστος της ενέργειας , καταλαμβάνει πλέον ένα σημαντικό τμήμα του κόστους ιδιοκτησίας των κέντρων δεδομένων.

Η κατανάλωση ενέργειας των κέντρων δεδομένων είναι επίσης μια σημαντική ανησυχία λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχει. Μελέτες δείχνουν ότι η συνδυασμένη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας (τόσο του δικτύου όσο και των τηλεπικοινωνιών) στο διαδίκτυο και το «νέφος» (cloud) βρίσκεται στην 5 θέση μεταξύ όλων των χωρών του κόσμου, και αυξάνεται ετησίως περίπου 12%. Τα κέντρα δεδομένων σε όλο τον κόσμο εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύουν πάνω από το 2% των παγκόσμιων εκπομπών που αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς και ένα σημαντικό τμήμα εξαρτάται από τον άνθρακα και την πλειοψηφία των ενεργειακών του αναγκών

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Τα Κέντρα Δεδομένων έχουν τις ρίζες τους στις τεράστιες αίθουσες ηλεκτρονικών υπολογιστών από τις αρχές της βιομηχανίας υπολογιστών. Τα πρώτα συστήματα υπολογιστών είχαν πολύπλοκη λειτουργία και συντήρηση , και απαιτούσαν ειδικό περιβάλλον για να λειτουργήσουν. Πολλά καλώδια ήταν απαραίτητα για να συνδεθούν όλα τα κομμάτια , και οι τρόποι για να τα οργανώσει και να τα χωρέσει επινοήθηκαν, όπως ήταν τα racks για την τοποθέτηση του εξοπλισμού , υπερυψωμένα δάπεδα και σχάρες καλωδίων. Η ασφάλεια ήταν σημαντικό . οι υπολογιστές ακριβοί και συχνά χρησιμοποιούνταν για στρατιωτικούς σκοπούς.

Κατά την διάρκεια της άνθησης της βιομηχανίας μικροϋπολογιστών, και ειδικά κατα την δεκαετία του 1980 , οι υπολογιστές άρχισαν να χρησιμοποιούνται παντού , σε πολλές περιπτώσεις με λίγη ή καθόλου ενδιαφέρον για τις λειτουργικές απαιτήσεις. Ωστόσο όσο η λειτουργίες της τεχνολογίας πληροφοριών ξεκίνησε να αυξάνει την πολυπλοκότητά της , μεγιστοποιήθηκε και η επίγνωση των επιχειρήσεων για τον έλεγχο των πόρων. Αυτά ονομάζονταν «servers» (διακομιστές) καθώς τα λειτουργικά συστήματα βασιζόνταν κυρίως στο μοντέλο πελάτη – εξυπηρετητή (client-Διακομιστής model) για να διευκολύνει την ανταλλαγή μοναδικών πόρων μεταξύ πολλαπλών χρηστών. Η διαθεσιμότητα ενός φθηνού εξοπλισμού δικτύωσης , σε συνδυασμό με τα νέα πρότυπα για το δίκτυο δομημένης καλωδίωσης , έκανε εφικτό ένα ιεραρχικό σχεδιασμό ο οποίος εγκαθιστά τους διακομιστές σε ένα συγκεκριμένο δωμάτιο μέσα στην επιχείρηση. Η χρήση του όρου Κέντρο Δεδομένων όπως εφαρμόζεται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους ηλεκτρονικών υπολογιστών , άρχισε να κερδίζει αναγνώριση. Η έκρηξη των Κέντρων Δεδομένων ήρθε λίγο αργότερα. Οι εταιρίες χρειάζονται πλέον γρήγορη σύνδεση στο Internet και ασταμάτητη λειτουργία για την ανάπτυξη συστημάτων και την δημιουργία παρουσίας στο διαδίκτυο. Η εγκατάσταση τέτοιου εξοπλισμού δεν ήταν βιώσιμη για πολλές μικρές εταιρίες. Πολλές εταιρίες ξεκίνησαν την οικοδόμηση μεγάλων εγκαταστάσεων , που ονομάζονται Internet Data Centers (IDCs), τα οποία παρείχαν στις επιχειρήσεις μια σειρά από λύσεις για ανάπτυξη συστημάτων και την λειτουργία τους. Νέες τεχνολογίες και πρακτικές σχεδιάστηκαν για να διαχειριστούν την κλίμακα και τις λειτουργικές απαιτήσεις τόσο μεγάλων σε έκταση λειτουργιών. Αυτές οι πρακτικές τελικά μεταφέρθηκαν προς τα ιδιωτικά Κέντρα Δεδομένων και αφομοιώθηκαν σε μεγάλο βαθμό λόγω των αποτελεσμάτων τους. Τα Data Centers για το cloud computing ονομάζονται Cloud Data Centers(CDCs). Στις μέρες μας αυτός ο διαχωρισμός των όρων έχει πλέον εκλείψει και όλα έχουν ενσωματωθεί στον όρο Κέντρα Δεδομένων.

1.2 Ορισμός δικτύου υπολογιστών

Δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών (Computer Network) καλούμε ένα σύνολο ανεξάρτητων διασυνδεδεμένων ηλεκτρονικών υπολογιστών και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών (εκτυπωτές, modem, plotters, κλπ) που είναι ικανές να ανταλλάξουν πληροφορίες. Τα δομικά στοιχεία ενός δικτύου είναι:

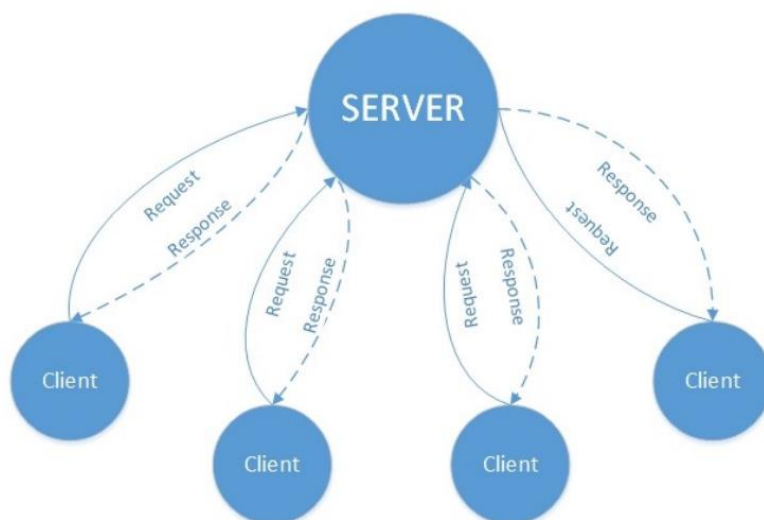
1. Υπολογιστικό σύστημα (host), όπως προσωπικοί υπολογιστές, σταθμοί εργασίας, εξυπηρετητές δικτύου (network servers).
2. Κόμβος (node), δηλαδή σημεία συνάντησης γραμμών επικοινωνίας (γραμμές μετάδοσης, κυκλώματα ζεύξης, κατανεμητές καλωδίων - hub, δρομολογητές).
3. Περιφερειακές συσκευές δικτύου (network peripherals), όπως εκτυπωτές, modem, plotters κ.ά.
4. Υποδίκτυο επικοινωνίας (communication subnet), που αφορά την καλωδίωση και τις γραμμές μετάδοσης.

1.2.1 Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων

1. Το μοίρασμα πόρων (resource sharing). Οι πιο συνηθισμένοι πόροι που μοιράζονται είναι αποθηκευτικός χώρος στο δίσκο, εκτυπωτές, λογισμικό, δεδομένα, υπολογιστική ισχύς και γενικότερα ακριβός εξοπλισμός.
2. Η παροχή πρόσβασης σε εξοπλισμό, δεδομένα και προγράμματα που βρίσκονται σε απόσταση από εμάς. Η εξ αποστάσεως εργασία και εκπαίδευση είναι δύο υπηρεσίες τις οποίες το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει ικανοποιητικά.
3. Η εξοικονόμηση χρημάτων, με το μοίρασμα ακριβού εξοπλισμού αλλά και η επίτευξη καλύτερης σχέσης απόδοσης/κόστους. Είναι σε όλους γνωστό πως σύστημα με διπλάσια υπολογιστική ισχύ από ένα άλλο κοστίζει πολύ περισσότερο από τα διπλάσια χρήματα. Με τη βοήθεια του δικτύου τη συνολικά απαιτούμενη ισχύ την αποκτούμε με ένα σύνολο συστημάτων που διαθέτουν καλή σχέση απόδοσης / κόστους.
4. Η αυξημένη αξιοπιστία, αφού έχουμε πολλούς σταθμούς εργασίας και πιθανότατα πολλά αντίγραφα του λογισμικού μας αλλά και των δεδομένων μας.
5. Η εξυπηρέτηση επικοινωνιακών αναγκών. Το δίκτυο είναι ισχυρότατο μέσο επικοινωνίας και παρέχει άμεση πληροφόρηση στους χρήστες. Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, τηλεφωνίας, τηλεδιασκέψεις κλπ., είναι από τις πλέον διαδεδομένες και συχνότερα χρησιμοποιούμενες.

1.3 Διασύνδεση Υπολογιστών - Δίκτυο

Δύο υπολογιστές θεωρούνται διασυνδεδεμένοι , αν μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορίες. Η σύνδεση δεν είναι απαραίτητο να είναι μέσω χάλκινου σύρματος, Οπτικές ίνες, μικροκύματα, υπέρυθρες και δορυφορικές επικοινωνίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα δίκτυα είναι σε πολλά μεγέθη , σχήματα και μορφές. Συνήθως μικρά δίκτυα συνδέονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν μεγαλύτερα δίκτυα , με το διαδίκτυο να αποτελεί το πιο γνωστό παράδειγμα δικτύου από δίκτυα. Τα δεδομένα ενός δικτύου αποθηκεύονται σε ισχυρούς υπολογιστές που ονομάζονται διακομιστές. Συχνά οι διακομιστές είναι εγκατεστημένοι κεντρικά και συντηρούνται από τους διαχειριστές του συστήματος. Σε αντίθεση, οι υπάλληλοι έχουν πιο απλούς υπολογιστές που ονομάζονται clients , με τους οποίους έχουν απομακρυσμένη πρόσβαση. Οι clients αλλά και οι διακομιστές (διακομιστές) συνδέονται με ένα δίκτυο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



1. Μοντέλο Πελάτη - Εξυπηρετητή

Αυτή η διάταξη ονομάζεται μοντέλο Πελάτη – διακομιστής. Χρησιμοποιείται ευρέως και αποτελεί την κύρια βάση του δικτύου. Η πιο δημοφιλής χρήση αυτού του μοντέλου είναι η υλοποίηση μια εφαρμογής Web, στην οποία ο διακομιστής παράγει ιστοσελίδες βασισόμενες στην βάση δεδομένων

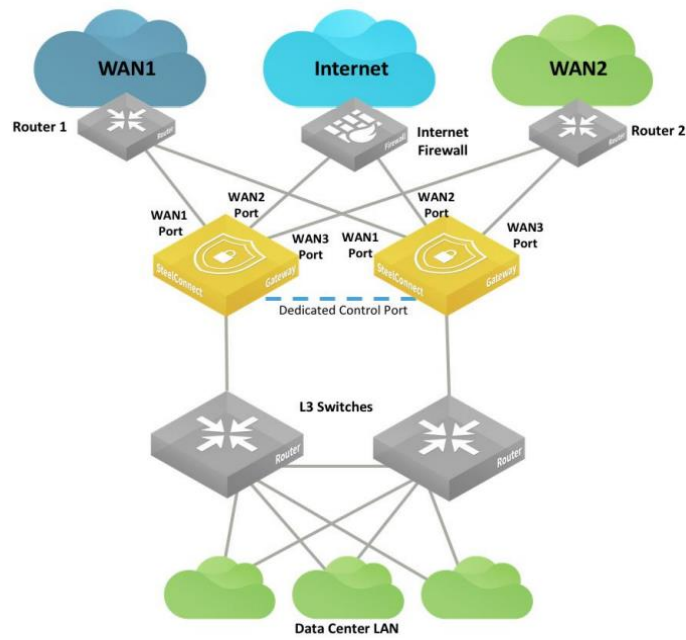
του προς απάντηση σε αιτήματα πελατών. Το μοντέλο client-διακομιστής είναι εφαρμόσιμο όταν ο πελάτης και ο διακομιστής είναι και οι δύο στο ίδιο κτήριο (και ανήκουν στην ίδια εταιρία) , αλλά επίσης και όταν είναι ξεχωριστά. Για παράδειγμα , όταν ένα άτομο στο σπίτι αποκτήσει πρόσβαση σε μια σελίδα του παγκόσμιου Ιστού , το ίδιο μοντέλο χρησιμοποιείται.

Εμεις στην συγκεκριμένη εργασία θα ασχοληθούμε για την σύνδεση υπολογιστών με την χρήση οπτικών ινών.

1.4 Αρχιτεκτονική Σημερινού Δικτύου

Τα δίκτυα υπολογιστών διαδραματίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στη σημερινή κοινωνία. Οι υπηρεσίες που προσφέρει το διαδίκτυο όπως είναι για παράδειγμα, οι μηχανές αναζήτησης, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης καθώς και υπηρεσίες ηλεκτρονικού εμπορίου φιλοξενούνται σε κέντρα δεδομένων. Εκεί εκατοντάδες υπολογιστές συνδέονται με μεγάλα δίκτυα δεδομένων. Τα κέντρα δεδομένων διασυνδέονται μεταξύ τους με δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) που καλύπτουν ολόκληρο τον πλανήτη. Οι τελικοί χρήστες χρησιμοποιώντας τους προσωπικούς τους υπολογιστές, τα κινητά τους τηλέφωνα αλλά και άλλες συσκευές επιζητούν πρόσβαση στις υπηρεσίες που προσφέρει το διαδίκτυο μέσω διαφορετικών τεχνολογιών. Τα τωρινά δίκτυα υπολογιστών αποτελούνται από συσκευές όπως οι δρομολογητές (routers), οι μεταγωγείς (switches), οι διακομιστές (servers) και ο λόγος χρήσης τους είναι η πραγματοποίηση συγκεκριμένων λειτουργιών σε ένα δίκτυο. Για παράδειγμα, ο router είναι υπεύθυνος για την δρομολόγηση της κίνησης μεταξύ δύο τοπικών δικτύων (LANs), το switch είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται κατά κόρον πλέον για την σύνδεση των τερματικών ενός LAN και οι υπηρεσίες που προσφέρει είναι η προώθηση της κίνησης εντός του δικτύου. Τέλος, οι servers(είτε πρόκειται για φυσική συσκευή υλικού, είτε για εικονικές μηχανές που λειτουργούν πάνω από ένα Server) είναι το μέρος όπου βρίσκεται μία ποικιλία εφαρμογών και υπηρεσιών και στις οποίες οι τελικοί χρήστες και οι δικτυακές συσκευές επιθυμούν να έχουν πρόσβαση .

οποίες οι τελικοί χρήστες και οι δικτυακές συσκευές επιθυμούν να έχουν πρόσβαση.



9

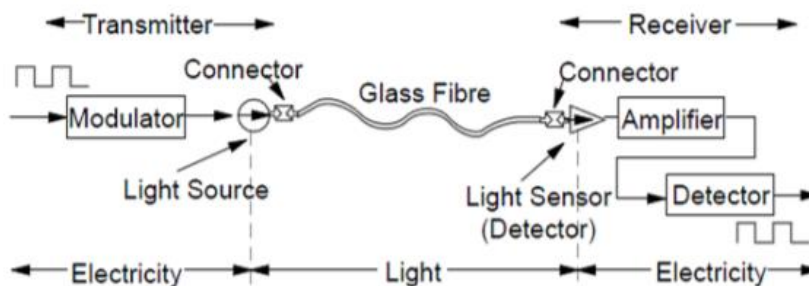
2. Οπτικά Δίκτυα

2.1 Μετάδοση στα οπτικά δίκτυα

Στην αρχή η τεχνολογία των οπτικών ινών χρησιμοποιήθηκε για την μετάδοση υπεραστικών και υπερατλαντικών σημάτων ταχύτητας έως 560 Mbps. Στη συνέχεια όμως η διεύθυνση των οπτικών ινών στα δίκτυα κορμού επιταχύνθηκε με την υλοποίηση των πρώτων οπτικών ενισχυτών, οι οποίοι επέτρεψαν την ενίσχυση σημάτων απευθείας σε οπτικό επίπεδο, κάτι που έδωσε την δυνατότητα υλοποίησης οπτικών δικτύων σε μεγάλες αποστάσεις. Σε ένα οπτικό σύστημα, η μεταδιδόμενη πληροφορία (φωνή, βίντεο ή άλλα δεδομένα) οδηγείται μέσω των ινών με τον εξής τρόπο: Η πληροφορία κωδικοποιείται σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία μετατρέπονται σε σήματα φωτός (οπτικά σήματα). Έπειτα, αυτά ταξιδεύουν στην οπτική ίνα μέχρι να συναντήσουν ένα ανιχνευτή (detector), ο οποίος τα μετατρέπει στην μορφή των αρχικών ηλεκτρικών σημάτων. Σε μερικά σημεία της διαδρομής είναι δυνατόν να δρομολογηθεί σε άλλα κανάλια εάν χρειάζεται, με τη βοήθεια διατάξεων

(κυκλωμάτων) μεταγωγής. Τέλος, τα ηλεκτρικά σήματα αποκωδικοποιούνται σε πληροφορία με μορφή φωνής, βίντεο ή άλλων δεδομένων. Στα πραγματικά συστήματα το οπτικό σήμα υφίσταται εξασθένιση κατά τη μετάδοση του, λόγω του ότι χρησιμοποιούνται ίνες μεγάλου μήκους. Τα βασικά συστατικά που διαμορφώνουν το οπτικό σύστημα συνοψίζονται ως:

- Πομπός (transmitter): Μετατρέπει την αρχική πληροφορία, όπως φωνή, δεδομένα ή βίντεο που κωδικοποιούνται με ηλεκτρικά σήματα σε σήματα φωτός και έπειτα τα στέλνει μέσω της οπτικής ίνας.
- Καλώδιο οπτικής ίνας: Το μέσο στο οποίο μεταδίδεται το σήμα.
- Δέκτης (receiver): Δέχεται το οπτικό σήμα και το μετατρέπει ξανά σε διαμορφωμένο ηλεκτρικό σήμα.



Εικόνα: Οπτική μετάδοση [Πηγή: Sura, 2002]

2.2 Οπτικές Ίνες

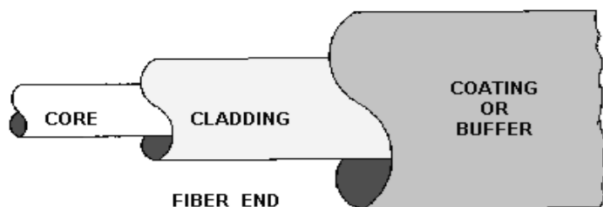
Η οπτική ίνα είναι μια εύκαμπτη, διαφανής ίνα κατασκευασμένη από γυαλί ή πλαστικό σε διάμετρο ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή της ανθρώπινης τρίχας. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται συχνότερα ως μέσο μετάδοσης του φωτός μεταξύ των δύο άκρων της ίνας και βρίσκουν ευρεία χρήση στις επικοινωνίες οπτικών ινών, όπου επιτρέπουν τη μετάδοση σε μεγαλύτερες αποστάσεις και με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης από τα ηλεκτρικά καλώδια. Οι ίνες χρησιμοποιούνται αντί των μεταλλικών καλωδίων λόγω μεγαλύτερης αξιοπιστίας, καθώς μεταφέρουν το σήμα πληροφορίας με λιγότερες απώλειες. Επιπλέον, οι ίνες είναι θωρακισμένες σε παρεμβολές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, ένα πρόβλημα στο οποίο τα μεταλλικά καλώδια είναι αρκετά ευάλωτα.

Γενικά, υπάρχουν τρεις τύποι καλωδίων οπτικών ινών: καλώδιο οπτικών ινών απλού τύπου (single mode), πολλαπλού τύπου (multi mode) και πλαστικές οπτικές ίνες (POF).

Μια τυπική οπτική ίνα αποτελείται από τα εξής :

1. Πυρήνας (core): Ο πυρήνας είναι η κεντρική περιοχή της οπτικής ίνας μέσα από την οποία το φως ταξιδεύει και μεταφέρει την πληροφορία. Κατασκευάζεται από γυαλί ικανό να μεταφέρει φωτεινή δέσμη συγκεκριμένου μήκους κύματος με πολύ λίγες απώλειες.
2. Επένδυση (cladding): Την οπτική ίνα περιβάλλει ειδική επίστρωση υλικού, το οποίο ονομάζεται cladding ή buffer. Είναι φτιαγμένο από γυαλί αλλά έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα. Αυτό αναγκάζει το φως να μην περνάει την επένδυση και να μένει στην περιοχή του πυρήνα, καθώς το υλικό συμβάλλει στη συνεχή ανάκλαση της φωτεινής δέσμης, η οποία θα πέσει μέσα στην οπτική ίνα.
3. Επίστρωση (coating): Το επίστρωση είναι το εξωτερικό στρώμα της ίνας, που περιβάλλει τη δέσμη των συνθετικών ινών. Αποτελείται από πλαστικό και προστατεύει την ίνα από την υγρασία και τις 22 ζημιές, όπως πιθανά τραβήγματα, όπου είναι επικίνδυνο να σπάσει το γυαλί της ίνας.

ίνα. κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, το επίστρωση απομακρύνεται από την επένδυση για να επιτρέψει την κατάληξή του σε ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης. Τα τυπικά μεγέθη επιστρώματος είναι 250 μm ή 900 μm.



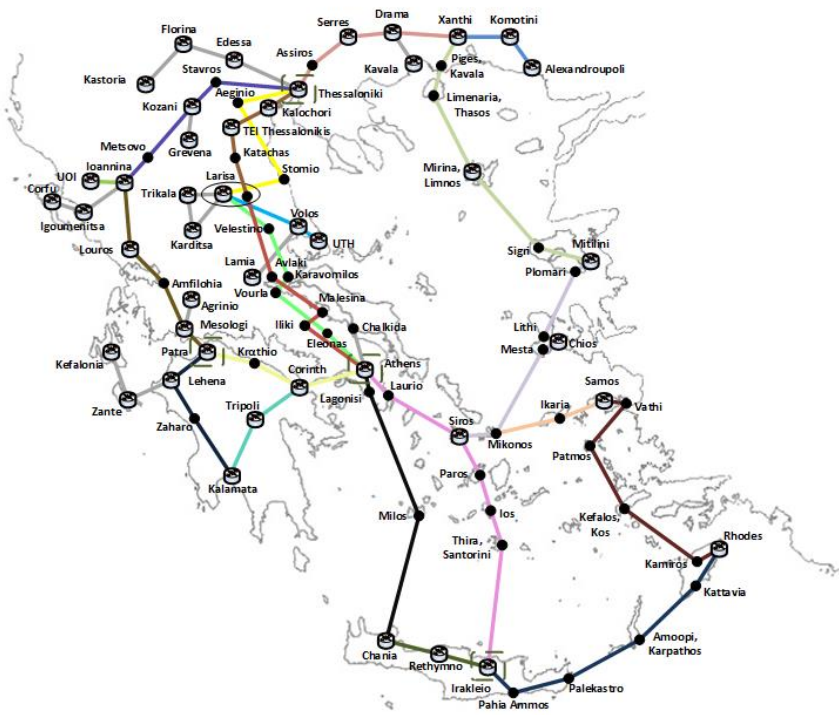
Εικόνα 2: Δομή οπτικής ίνας (Πηγή: Naval, 1998)

Εικόνα: Δομή οπτικής ίνας (Πηγή: Naval, 1998)

Εν κατακλείδι, η τεχνολογία που προσφέρουν οι οπτικές ίνες καθιστά εφικτή την οπτική διασύνδεση σε όλα τα είδη δικτύων, παρέχοντας τεράστιους ρυθμούς μετάδοσης και κοινή υποδομή για μια μεγάλη γκάμα υπηρεσιών.

2.3 Μελέτη για την κατασκευή δικτύου οπτικών ινών

Η σχεδίαση ξεκινάει από τον καθορισμό των κομβικών σημείων προς σύνδεση. Στην συνέχεια με τη μελέτη χαρτών για την προεπιλογή κατάλληλων διαδρομών που καλύπτουν τις απαιτήσεις. Ακολουθεί αυτοψία, για επιτόπου εποπτεία και εντοπισμό πιθανών δυσκολιών (π.χ. κάθετες διαβάσεις κεντρικών αρτηριών, διέλευση σιδηροδρομικών γραμμών, ποταμών, γεφυρών, ειδικές εργασίες για είσοδο στα κτήρια και τα πεζοδρόμια κλπ). Εν συνεχεία εντοπίζονται τα όρια των Δήμων από τους οποίους διέρχεται η διαδρομή και προτάθηκαν εναλλακτικές διαδρομές σε σχέση με την κατασκευαστικές απαιτήσεις τους αλλά και το ενδεικτικό κόστος τελών χρήσης κοινόχρηστων χώρων, αποκατάσταση ασφαλοτάτητα κλπ. Πραγματοποιείτε η μέτρηση του μήκους των διαδρομών και χαρτογράφηση τους με GPS. Όπου χρειάστηκε έγινε τυπογραφική απεικόνιση τμημάτων της διαδρομής που παρουσίασαν ιδιαιτερότητες. Στη συνέχεια γίνεται καθορισμός των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε διαδρομή. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν είναι σημαντικά γιατί από τη στιγμή που θα εγκατασταθούν και το δίκτυο θα τεθεί σε λειτουργία είναι σχεδόν αδύνατο να αντικατασταθούν με άλλα καθώς τέτοια ενέργεια θα επηρεάσει την λειτουργία του δικτύου. Επόμενο βήμα είναι η επιλογή όλων των εξαρτημάτων του δικτύου. Τέλος καθορίζονται οι φάσεις του έργου και εκδίδεται χρονοδιάγραμμα εργασιών.



Η τοπολογία των οπτικών ινών σε επίπεδο χώρας παρουσιάζονται στο παραπάνω χάρτη . (Πηγή <https://gmet.gr/infrastructure/network-and-topology/>)

2.3.1 Κόστος κατασκευής δικτύου

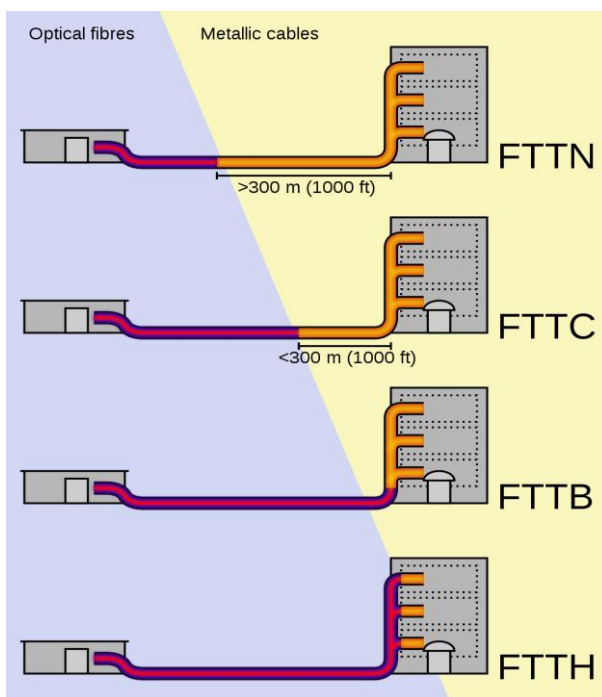
Φυσικά το μεγαλύτερο κομμάτι του κόστους κατασκευής σε ένα δίκτυο FTTx οφείλεται στα έργα εκσκαφής και αποκατάστασης σε δημόσιους κοινόχρηστους χώρους. Περίπου το 75% του προϋπολογισμού του έργου οφείλετε στο κόστος εκσκαφής και αποκατάστασης. Ως εκ τούτου, η εύρεση μεθόδων οι οποίες μπορούν να μειώσουν το εν λόγω κόστος επιφέρει σημαντική μείωση του κόστους κατασκευής ολόκληρου του οπτικού δικτύου πρόσβασης.

2.4 Εφαρμογές οπτικών δικτύων

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται στα τοπικά δίκτυα για επικοινωνίες δεδομένων μεγάλων ταχυτήτων (Local Area Networks – LANs). Τα LANs διασυνδέουν χρήστες σε περιορισμένες περιοχές, όπως δωμάτια, διαμερίσματα, κτίρια, γραφεία, χώρους εργοστασίου και άλλους χώρους με κοντινό εύρος κάλυψης. Αυτό συμβαίνει, διότι η ίνα εξοικονομεί χώρο διότι μια ενιαία ίνα μπορεί να μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα ενιαίο ηλεκτρικό καλώδιο. Επιπλέον, γίνεται πλέον χρήση τους και στα Νέα Αστικά Δίκτυα που αναπτύσσονται τελευταία και καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές από ένα τοπικό δίκτυο και μπορούν να καλύπτουν κτίρια που βρίσκονται σε διάφορα οικοδομικά τετράγωνα μιας πόλης ή και της περιοχής που περιβάλλει την πόλη. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιούνται στις συνδέσεις που πραγματοποιούνται σε βιομηχανικές περιοχές με υψηλό επίπεδο ηλεκτρομαγνητικών θορύβων. Οι οπτικές ίνες δεν επηρεάζονται από ηλεκτρικές παρεμβολές, αποτρέποντας έτσι την εμφάνιση φαινομένων crosstalk και την παρεμβολή περιβαλλοντικού θορύβου. Αντίστοιχα, επειδή οι ίνες, δεν αφήνουν τα δεδομένα να διαρρεύσουν, αφού υπάρχουν συγκεντρωτικές διπλού πυρήνα ομόκεντρες, η υποκλοπή πληροφοριών (wiretapping) είναι πιο δύσκολη σε σύγκριση με τις ηλεκτρικές συνδέσεις. Κατά συνέπεια, τα δίκτυα οπτικών ινών χρησιμοποιούνται σε μεταδόσεις με υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας, που απαιτούν για παράδειγμα οι κρατικές υπηρεσίες πληροφοριών, οι στρατιωτικές εφαρμογές κλπ.

2.5 Τεχνολογία FTTH

Οι ανάγκες των χρηστών δικτυακών υπηρεσιών και Διαδικτύου, σε ταχύτητα (εύρος ζώνης), διαρκώς αυξάνουν καθώς οι πάροχοι προσφέρουν νέες υπηρεσίες, όπως παρακολούθηση ταινιών (IPTV), και άλλες υπηρεσίες υψηλών απαιτήσεων σε ταχύτητες και μειωμένες καθυστερήσεις. Οι διασύρματες τηλεφωνικές γραμμές αδυνατούν να υποστηρίξουν σε όλο το μήκος τους τόσο υψηλές ταχύτητες. Το φυσικό μέσο το οποίο διαθέτει εξαιρετικά μεγάλο εύρος ζώνης με μικρή εξασθένηση και υποστηρίζει αποστάσεις χιλιομέτρων είναι η **οπτική ίνα**. Οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί ήδη χρησιμοποιούν οπτικές ίνες στα δίκτυα κορμού και στα κέντρα δεδομένων τους (data centers). Αν μπορούσαν να φτάσουν μέχρι τον τελικό συνδρομητή με οπτική ίνα, τότε θα μπορούσε να του διατεθεί υψηλή ταχύτητα πρόσβασης στις παρεχόμενες υπηρεσίες και δυνατότητα παροχής νέων. Η τάση είναι να φτάσει η οπτική ίνα από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο στο σπίτι του συνδρομητή ή όπως λέγεται Fiber



(Πηγή Wikipedia)

To The Home (FTTH) με δυνατότητα παροχής ταχύτητας καλύτερης από 50Mbps και τυπικό στόχο τα 100-200Mbps προς τον συνδρομητή.

FTTN (= Fiber To The Node): Η ίνα τερματίζει στην τηλεπικοινωνιακή καμπίνα που εξυπηρετεί μια γειτονιά και ο συνδρομητής συνδέεται με ομοαξωνικό ή δισύρματο καλώδιο. Η περιοχή κάλυψης έχει ακτίνα συνήθως μικρότερη των 1500 μέτρων και μπορεί να εξυπηρετήσει εκατοντάδες συνδρομητές. Η υλοποίηση αυτή είναι πιο οικονομική χρησιμοποιώντας την προϋπάρχουσα υποδομή προς τον τελικό συνδρομητή

FTTC (= Fiber To The Curb): Αποτελεί παραλαγή και τοποθετείται πιο κοντά στον συνδρομητή από το FTTN αλλά και αυτό αντιμετωπίζει τα προβλήματα ταχύτητας του FTTN μιας και χρησιμοποιεί και αυτό το last mile (καλώδιο χαλκού) του συνδρομητή.

FTTB (= Fiber To The Building) : Οι ίνες φτάνουν εντός του κτιρίου, όπως το υπόγειο σε μια πολυκατοικία, με την τελική σύνδεση με τον επιμέρους χώρο να γίνεται μέσω εναλλακτικών μέσων, παρόμοια με τις τεχνολογίες συγκράτησης ή πόλων.

3. Κέντρα Δεδομένων

3.1 Εισαγωγή

Αξίζει να σημειωθεί ότι η χώρα μας είναι η πρώτη στην ευρύτερη περιοχή της Νοτιοανατολικής Ευρώπης που αποκτά data center region και πρόκειται για ένα σύμπλεγμα τριών εγκαταστάσεων datacenter. Μέχρι τώρα η Microsoft διατηρεί σε λειτουργία datacenters σε 4 χώρες της Ε.Ε., τη Γερμανία, τη Γαλλία, την Ολλανδία και την Ιρλανδία. Ακόμη, υπό κατασκευή βρίσκονται σε άλλες 3, την Πολωνία, την Ιταλία και την Ισπανία.

Σημειώνεται ότι πέρα από τις θέσεις εργασίας μέσω αυτών των τεχνολογιών αυξάνεται ο δείκτης ανθεκτικότητας (από το αγγλικό resilience). Δηλαδή οι πληροφορίες που θα αποθηκεύονται στο cloud θωρακίζονται τόσο από τους πολύ αυστηρούς κανόνες που θέτει η ίδια η Microsoft όσο και από το θεσμικό πλαίσιο του GDPR, που διασφαλίζει την ιδιωτικότητα στη διακίνηση προσωπικών δεδομένων.

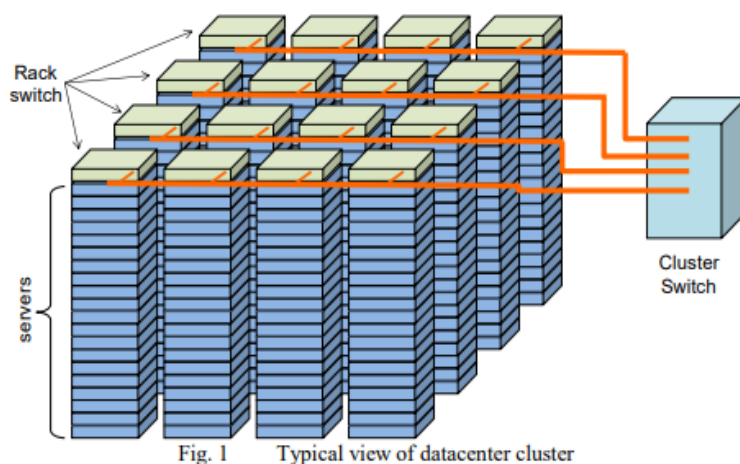
Επιπλέον αυξάνεται η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων που επιτρέπει την ανάπτυξη νέων τεχνολογικών εφαρμογών και την αύξηση της παραγωγικότητας συνολικά για την ελληνική οικονομία.

Να σημειωθεί ότι στη χώρα data centers λειτουργεί ο ΟΤΕ αλλά και η Sparkle. Μάλιστα η τελευταία, θυγατρική της TIM, θεμελίωσε στη Μεταμόρφωση, τον περασμένο Γενάρη το πρώτο «πράσινο» Κέντρο Δεδομένων στη χώρα. Το όλο έργο που εντάσσεται σε ένα επενδυτικό πλάνο 20 εκατομμυρίων της εταιρίας για την επόμενη τριετία. Ήδη στα 20 χρόνια παρουσίας στην Ελλάδα η εταιρία έχει επενδύσει πάνω από 100 εκατομμύρια ευρώ, σύμφωνα με πρόχειρες εκτιμήσεις, σε ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών, data centers κτλ.

Πηγή: **Reporter.gr**

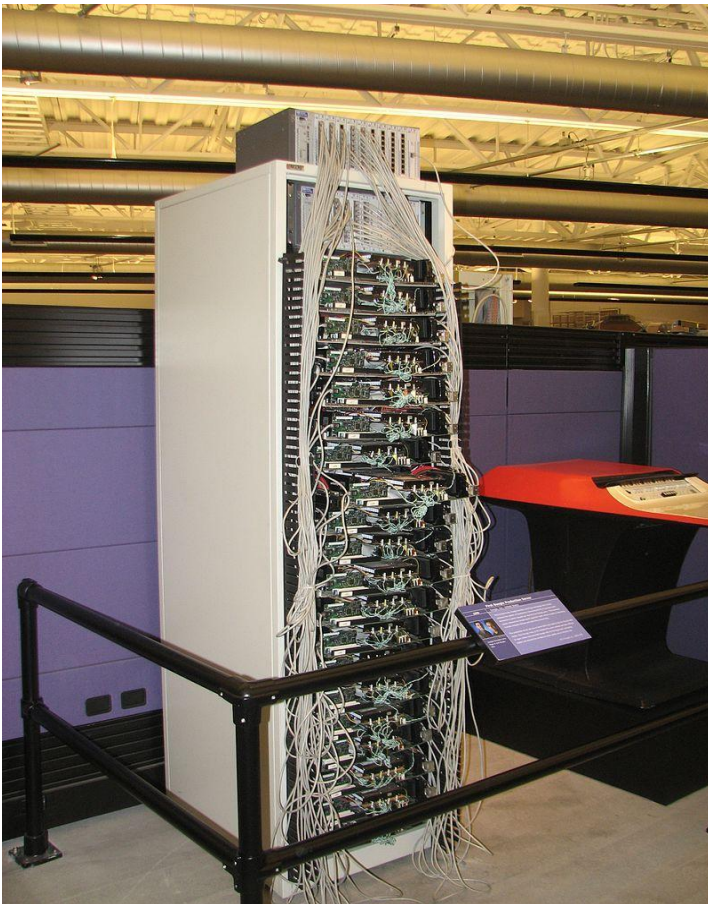
Τα Κέντρα Δεδομένων είναι φυσική ή εικονική υποδομή που χρησιμοποιείται από τις επιχειρήσεις για να στεγάσει τους υπολογιστές, διακομιστές ή ακόμα και συστήματα δικτύων και εξαρτήματα για τις τεχνολογικές ανάγκες της εταιρίας, οι οποίες συνήθως περιλαμβάνουν την αποθήκευση, επεξεργασία και διάθεση μεγάλων ποσοτήτων κρίσιμων δεδομένων σε πελάτες μέσω του μοντέλου αρχιτεκτονικής πελάτη-εξυπηρετητή.

Ένα κέντρο δεδομένων περιέχει χιλιάδες servers οι οποίοι είναι συμβιβασμένοι σε clusters και κάθε cluster αποτελείται από 20 έως 40 servers. Ο cluster αποτελείται από στρώματα που συνδέονται και επικοινωνούν μεταξύ τους (βλ σχ.1) τα οποία στην συνέχεια συνδέονται με ρουτερ των κέντρων δεδομένων. Οι ρουτερς με την σειρά τους συνδέονται με το υπόλοιπο διαδίκτυο μέσω points δικτύου (POPs) όπου ρέει η κυκλοφορία από τα κέντρα δεδομένων προς τους χρήστες και αντίστροφα.



3.1.1 Αναδρομή

Από την προβολή ενός κέντρου δεδομένων, το δίκτυο ξεκινά στο επίπεδο της βάσης, όπου τα ράφια είναι ειδικά κατασκευασμένα και περιέχουν 40 έως 80 servers. Οι διακομιστές συνδέονται στην κορυφή του διακόπτη rack (TOR). Στη συνέχεια, οι διακόπτες TOR συνδέονται με έναν διακόπτη συμπλέγματος. Οι ίδιοι οι διακόπτες συμπλέγματος αλληλοσυνδέονται και σχηματίζουν το ύφασμα διασύνδεσης κέντρου δεδομένων.

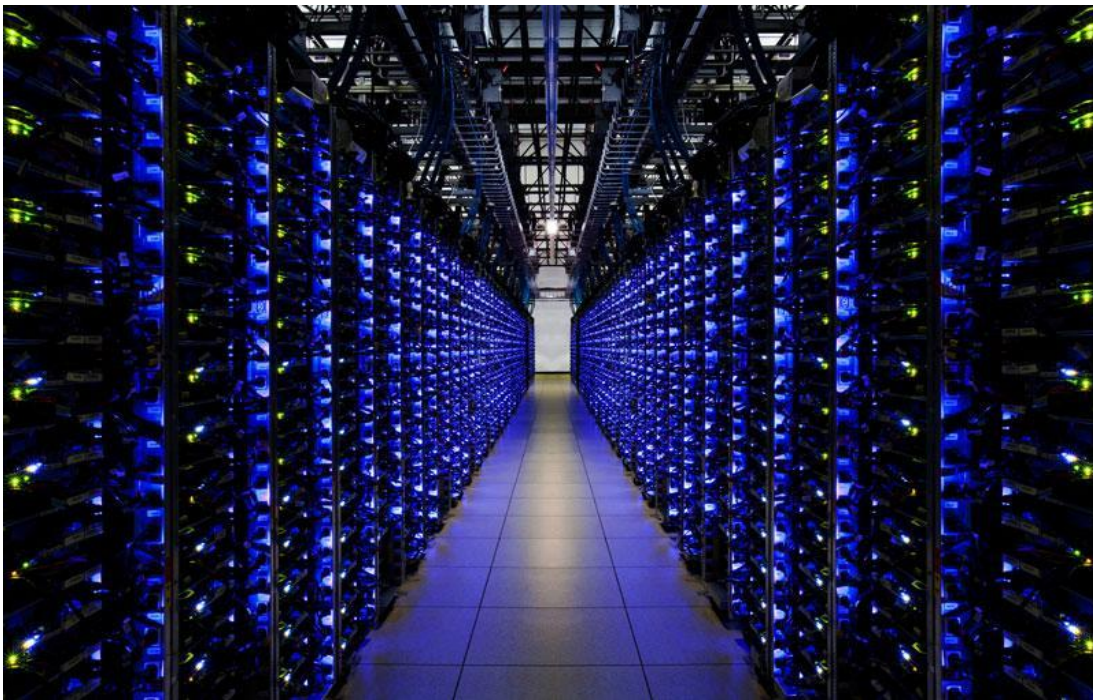


Το πρώτο ράφι server παραγωγής της Google, περίπου το 1998, πηγή Wikipedia

3.1.2 Σημερινά κέντρα δεδομένων

Ας δούμε και κάποιες φωτογραφίες από το εσωτερικό των σημερινων κέντρων δεδομένων

1.Douglas County, Georgia, USA



Τα μπλε LEDs σε αυτή τη σειρά των servers ενημερώνουν ότι όλα κυλούν ομαλά. Η Google χρησιμοποιεί LEDs επειδή είναι ενεργειακά αποδοτικά, μακράς διάρκειας και ιδιαίτερα φωτεινά.

2.Mayes County, Oklahoma



Κάθε ένα από τα racks των servers έχει τέσσερα switches, συνδεδεμένα με διαφορετικά, χρωματιστά καλώδια. Τα καλώδια αυτά έχουν ίδια χρώματα σε όλο το data center, ώστε να αντικαθιστώνται με ευκολία σε περίπτωση που κάποιο χαλάσει.

3.1.3 Google Data Centers

Τα κέντρα δεδομένων της Google είναι μεγάλες εγκαταστάσεις για την παροχή των κατάλληλων υπηρεσιών συνδυάζοντας μεγάλες μονάδες δίσκων, κόμβους υπολογιστών οργανωμένους σε τεράστιους διαδρόμους, εσωτερική και εξωτερική δικτύωση, περιβαλλοντικούς ελέγχους και λογισμικό λειτουργίας για τον όγκο του φορτίου και την αντιμετώπιση σφαλμάτων. Δεν υπάρχουν επίσημα δεδομένα σχετικά με τον αριθμό των servers στα κέντρα δεδομένων της Google αλλά σε μια έκθεση τον Ιούλιο του 2016 υπολογίστηκε ότι η Google είχε τότε 2,5 εκατομμύρια servers. Αυτός ο αριθμός όμως αλλάζει συνεχώς καθώς η εταιρία επεκτείνει την χωρητικότητά της και ανανεώνει το υλικό της.

Παρακάτω ακολουθεί μια εξωτερική φωτογραφία από ένα κέντρο δεδομένων στην κομητεία Mayes στην Οκλαχόμα.



3.2 Τα Βασικά Χαρακτηριστικά ενός Κέντρου Δεδομένων

1. Διαχειρισιμότητα: Ένα Κέντρο δεδομένων θα πρέπει να παρέχει εύκολη και ολοκληρωμένη διαχείριση όλων των στοιχείων του με την μείωση της ανθρώπινης παρέμβασης σε κοινές εργασίες
2. Διαθεσιμότητα: Ένα Κέντρο δεδομένων θα πρέπει να εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητα των πληροφοριών, όταν απαιτείται. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αργίες.
3. Ασφάλεια: Όλα τα στοιχεία και τα έγγραφα θα πρέπει να είναι ασφαλισμένα και να απαιτείται η έγκυρη εξουσιοδότηση για την χρησιμοποίησή τους.
4. Επεκτασιμότητα: Η δημιουργία μιας υποδομής που μπορεί να αναπτυχθεί. Η ανάπτυξη των επιχειρήσεων σχεδόν πάντα απαιτεί την ανάπτυξη περισσότερων διακομιστών, νέων εφαρμογών, επιπρόσθετων βάσεων δεδομένων κτλ.
5. Επιδόσεις: Η διαχείριση των επιδόσεων αφορά την βεβαιότητα ότι όλα τα στοιχεία του κέντρου δεδομένων παρέχουν τη βέλτιστη απόδοση στα απαιτούμενα επίπεδα εξυπηρέτησης.
6. Χωρητικότητα: Όταν μια επιχείρηση μεγαλώνει απαιτείται και αύξηση της χωρητικότητά της. Το κέντρο δεδομένων πρέπει να παρέχει πρόσθετη χωρητικότητα χωρίς να διακόπτει τη διαθεσιμότητά του ή έστω αυτό να πραγματοποιείται με την ελάχιστη δυνατή αναστάτωση.
7. Αναφορά: Είναι η αναπαράσταση πόρων, χωρητικότητας και χρηστικότητας για συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

3.2.1 Δομή Κέντρου Δεδομένων

Η βασική δομή των κέντρων δεδομένων αποτελείται από τρία επίπεδα, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

1) Το επίπεδο πυρήνα αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του δικτύου και περιέχει του τελικούς μεταγωγείς και μεγάλης ταχύτητας καλώδια όπως είναι οι οπτικές ίνες. Το επίπεδο αυτό δεν καθορίζει ούτε διευθύνει την κυκλοφορία του LAN. Αντίθετα, το επίπεδο αυτό συνδέεται με την ταχύτητα και εξασφαλίζει την αξιόπιστη μεταφορά των πακέτων. Μερικά συστατικά του επιπέδου αυτού είναι οι

μεταγωγείς για χρήση WAN-LAN, frame-relay συνδέσεις, ATM δίκτυα και Switched Multimanaged Data Services (SMDS).

2) Το επίπεδο συνάθροισης περιλαμβάνει δρομολογητές και μεταγωγείς που βασίζονται σε LAN τριών επιπέδων. Το επίπεδο αυτό εξασφαλίζει ότι τα πακέτα διευθετούνται σωστά ανάμεσα στα υποδίκτυα και στα VLANs της επιχείρησης και προσφέρει υπηρεσίες όπως:

-Qos

-firewalling

-Έλεγχο μετάδοσης (broadcast-multicast)

3) Το επίπεδο πρόσβασης αποτελείται από διανομείς και μεταγωγείς και εστιάζει στη σύνδεση των κόμβων. Το επίπεδο αυτό εξασφαλίζει ότι τα πακέτα διανέμονται στους τελικούς χρήστες-υπολογιστές. Αποτελείται από υπολογιστές (desktops και laptops) και εξυπηρετητές όπως web servers, ftp servers, database servers κλπ.

3.2.2 Απαιτήσεις Κέντρων Δεδομένων

Οι λειτουργίες των υπολογιστών είναι η πιο κρίσιμη πτυχή των οργανωτικών λειτουργιών. Εάν κάποιο σύστημα δεν είναι πλέον διαθέσιμο, οι λειτουργίες της εταιρίας μπορεί να μειωθούν ή και να σταματήσουν εντελώς. Είναι αναγκαίο να παρέχεται μια αξιόπιστη υποδομή για τις IT λειτουργίες, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η οποιαδήποτε πιθανότητα διακοπής. Η ασφάλεια των συστημάτων και η ασφάλεια των πληροφοριών είναι επίσης σημαντικές, για τον λόγο αυτό ένα κέντρο δεδομένων πρέπει να προσφέρει ένα ασφαλές περιβάλλον που να ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες παραβίασης της ασφάλειας. Επομένως ένα κέντρο δεδομένων πρέπει να διατηρεί υψηλά πρότυπα για το υπολογιστικό περιβάλλον που φιλοξενεί. Η αποτελεσματική λειτουργία ενός κέντρου δεδομένων απαιτεί την ισορροπημένη επένδυση τόσο στις εγκαταστάσεις όσο και την στέγαση του εξοπλισμού.

3.3 Τεχνολογία οπτικών Κέντρων Δεδομένων

Αυτή η ενότητα περιγράφει τις βασικές οπτικές μονάδες που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση των οπτικών διασυνδέσεων στα κέντρα δεδομένων:

- **Splitter – Combiner** : Ο διαχωριστής οπτικών ινών είναι μια συσκευή που μπορεί να καταναίμει το οπτικό σήμα (ισχύς) από μία ίνα μεταξύ δύο ή περισσότερων ινών. Ένας combiner από την άλλη πλευρά χρησιμοποιείται για να συνδυάσει οπτικό σήμα από δύο ή περισσότερες ίνες σε μια ενιαία ίνα.
- **Micro-Electro-Mechanical Systems Switches (MEMSswitch)**: Τα switch MEMS είναι μηχανικές συσκευές που ανακατευθύνουν τη δέσμη λέιζερ για να δημιουργήσουν μια σύνδεση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου. Επειδή βασίζονται σε μηχανικά συστήματα, ο χρόνος επαναδιαμόρφωσης είναι της τάξης των λίγων χιλιοστών του δευτερολέπτου. Επί του παρόντος διατίθενται στο εμπόριο switch MEMS με 32 θύρες εισόδου/εξόδου.
- **Ζεύξη**: Είναι μια παθητική συσκευή που χρησιμοποιείται για το συνδυασμό και το διαχωρισμό σημάτων σε ένα οπτικό δίκτυο, αλλά μπορεί να έχει πολλαπλές εισόδους και εξόδους. Για παράδειγμα, μια ζεύξη 2x2 παίρνει ένα μέρος της ισχύος από την πρώτη είσοδο και το τοποθετεί στην έξοδο 1 και την υπόλοιπη στην έξοδο 2 (ομοίως για τη δεύτερη είσοδο).
- **Arrayed – Waveguide Grating (AWG)**: Τα AWG είναι οπτικές συσκευές δρομολογούν κάθε μήκος κύματος μιας εισόδου σε διαφορετική έξοδο . Στα συστήματα επικοινωνίας WDM όπου πολυπλέκονται πολλαπλά μήκη κύματος, τα AWG χρησιμοποιούνται ως αποπολυπλέκτες για να διαχωριστούν τα μεμονωμένα μήκη κύματος ή ως πολυπλέκτης για να τα συνδυάσουν.
- **Semiconductor Optical Amplifier (SOA)**: Είναι οπτικοί ενισχυτές. Το φως ενισχύεται μέσω διεγερμένης εκπομπής όταν διαδίδεται μέσω της ενεργού περιοχής . Τα SOA γενικά προτιμώνται έναντι άλλων ενισχυτών λόγω του γρήγορου χρόνου μεταγωγής τους
- **Tunable Wavelength Converters (TWC)**: Ένα TWC δημιουργεί ένα διαμορφώσιμο μήκος κύματος για ένα εισερχόμενο οπτικό σήμα. Περιλαμβάνει ένα λέιζερ, ένα SOA, η μετατροπή

εκτελείται από το SOA που λαμβάνει ως είσοδο το συντονιζόμενο μήκος κύματος λέιζερ και τα δεδομένα και εξάγει τα δεδομένα στο επιλεγμένο μήκος κύματος.

3.4 Κατανάλωση Ενέργειας στα Κέντρα δεδομένων

Η χρήση της ενέργειας είναι ένα κεντρικό ζήτημα για τα Κέντρα Δεδομένων. Η κατανάλωση Ισχύος στα Data Centers κυμαίνεται μεταξύ μερικών KW για ένα Rack από διακομιστές και μερικών δεκάδων MW για μεγάλες εγκαταστάσεις. Ορισμένες εγκαταστάσεις έχουν πυκνότητες ισχύος πάνω από 100 φορές ενός τυπικού γραφείου. Για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις πυκνότητας ισχύος, το κόστος ηλεκτρισμού είναι το κυρίαρχο λειτουργικό έξοδο και υπολογίζεται πάνω από το 10% του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας του Data Center.

3.4.1 Οικολογικά Κέντρα Δεδομένων (Green Data Centers)

Το κόστος που σχετίζεται με την ενέργεια έχει πλέον γίνει ένας σημαντικός οικονομικός παράγοντας για τις υποδομές πληροφορικής και τα κέντρα δεδομένων, λόγω της κλιμάκωσης των τιμών της ενέργειας. Οι εταιρείες πλέον επικεντρώνονται περισσότερο από ποτέ στην ανάγκη να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση. Μια νέα πρόκληση έχει εμφανιστεί εκτός από τη μείωση του κόστους της ενέργειας, αυτή είναι η μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα λόγω πολλών κανονισμών και εκστρατείες από επιχειρήσεις με περιβαλλοντικό χαρακτήρα. Η εμπορική κατανάλωση ενέργειας συμβάλει σημαντικά στην αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα και τα κέντρα δεδομένων αποτελούν μια από τις κύριες αιτίες του προβλήματος. Το κόστος της ενέργειας αυξάνεται, ενώ ο εξοπλισμός των κέντρων δεδομένων απαιτεί περισσότερη ενέργεια και υποδομές ψύξης. Για το λόγο αυτό στις μέρες μας υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για κέντρα δεδομένων με περιβαλλοντολογικό χαρακτήρα (Green Data Centers). Στο τομέα αυτό, η ερευνητική κοινότητα έχει προκληθεί ώστε να επανασχεδιάσει κέντρα δεδομένων, προσθέτοντας την απόδοση της ενέργειας σε μια λίστα σημαντικών λειτουργικών παραμέτρων, τα οποία ήδη περιλαμβάνουν, την διαθεσιμότητα των υπηρεσιών, την αξιοπιστία και την απόδοση. Μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων για εξοικονόμηση ενέργειας έχουν παρουσιαστεί στην πρόσφατη βιβλιογραφία. Δύο από τις πιο αντιπροσωπευτικές μεθόδους, η ενοποίηση του φόρτου εργασίας και η χρήση κοινόχρηστων διακομιστών, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας. Η ενοποίηση των διακομιστών συνεπάγεται τον συνδυασμό φόρτου εργασίας από διαφορετικά μηχανήματα και διασπούν τις εφαρμογές σε μικρότερο αριθμό συστημάτων. Αυτή η προσέγγιση λύνει κάποιες

ενδιαφέρουσες προκλήσεις, απαιτείται λιγότερο υλικό, λιγότερη κατανάλωση ισχύος για να την ηλεκτροδοτήσει, και λιγότερος φυσικός χώρος. Επίσης το κλείσιμο των διακομιστών που δεν χρησιμοποιούνται είναι ένας προφανής τρόπος για να ελαττώσουμε το κόστος και της ενέργειας και της ψύξης ενώ παράλληλα να διατηρήσουμε καλά επίπεδα απόδοσης

3.5 Το Προφίλ ενός Ιδανικού Κέντρου Δεδομένων

Ένα κέντρο Δεδομένων στην ιδανική περίπτωση λειτουργίας του θα έπρεπε να χρειάζεται να καταναλώσει μόνο όση ενέργεια απαιτούνταν για να γίνει η επεξεργασία των αιτημάτων που είχε παραλάβει. Στην πραγματικότητα όμως, η επεξεργασία αιτημάτων συνεπάγεται επιπλέον έξοδα σε ενέργεια, όπως π.χ. η ενέργεια που καταναλώνετε από πόρους που βρίσκονται σε αδράνεια, από τα μέσα ψύξης ώστε να λειτουργεί αποδοτικά το σύστημα, καθώς και σπατάλη ενέργειας η οποία προκύπτει από την αναποτελεσματική παροχή ρεύματος στους servers. Το ποσό αυτών των επιπλέον εξόδων εξαρτάται από την αποδοτικότητα ή μη του Κέντρου Δεδομένων. Ένα Κέντρο Δεδομένων σε ιδανικές συνθήκες θα ελαχιστοποιούσε αυτά τα επιπλέον έξοδα. Δυο είναι οι βασικοί στόχοι ενός κέντρου δεδομένων ώστε να επιτύχει κάτι τέτοιο:

1. Η Ενέργεια Ανάλογη των Εργασιών: Εκτελώντας μια εισερχόμενη εργασία να καταναλώνεται η ελάχιστη ποσότητα υπολογιστικής ενέργειας, ανεξαρτήτως του χρόνου που θα χρειαστεί για να ολοκληρωθεί. Η ενέργεια που καταναλώνεται από τους πόρους να είναι ανάλογη με την εργασία και όχι με το χρόνο. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό μόνο αν η βασική κατανάλωση ισχύος (όταν δηλαδή είναι σε κατάσταση αδράνειας) είναι 0. Συνεπώς ο στόχος είναι ότι οι server σε κατάσταση αδράνειας πρέπει να έχουν μηδενική κατανάλωση.
2. Η Αποδοτικότητα Χρήσης Ενέργειας (PUE) να πλησιάζει την τιμή 1: Η σταθερά της αναλογικότητας που αφορά την ενέργεια που καταναλώνεται σε ένα ωφέλιμο έργο θα πρέπει να είναι κοντά στο 1. Ο τύπος που αφορά την σταθερά PUE δίνεται από την σχέση :

ότητας που αφορά την ενέργεια που καταναλώνεται να είναι κοντά στο 1. Ο τύπος που αφορά την σταθε

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Power}}{\text{IT Equipment Power}}$$

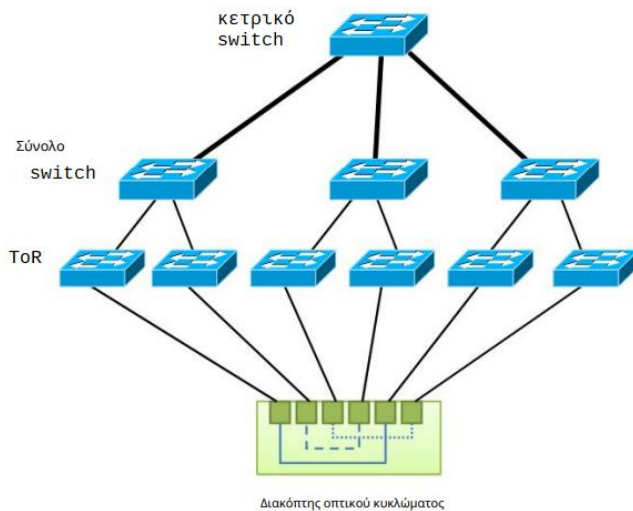
ερά PUE θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο)
ενέργεια που καταναλώνεται σε ένα κέντρο δεδ
διακομιστών. της ύψους αλλά και των υπολοίπων σι

Αν μπορέσουν να επιτευχθούν αυτοί οι 2 στόχοι μαζί τότε μπορούν να εγγυηθούν ότι η ενέργεια που καταναλώνεται από ένα Κέντρο Δεδομένων είναι η ελάχιστη για το φορτίο. Η χαμηλή τιμή PUE για ένα Κέντρο Δεδομένων συνδέει την κατανάλωση ενέργειας στενά με τα ωφέλιμα φορτία , ενώ ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας από τον εξοπλισμό υποστήριξης , τα οποία βρίσκονται σε αδράνεια.

4. Αρχιτεκτονικές στα Κέντρα Δεδομένων

4.1 c-Through: Οπτική μερικής απασχόλησης

Η αρχιτεκτονική του c-Through απεικονίζεται και παρουσιάζεται ως βελτίωση στα τρέχοντα δίκτυα κέντρων δεδομένων. Οι διακόπτες ToR συνδέονται τόσο με ένα δίκτυο βασισμένο σε ηλεκτρικά πακέτα (π.χ. Ethernet) όσο και σε ένα δίκτυο που βασίζεται σε οπτικό κύκλωμα. Απαιτείται ένα σύστημα παρακολούθησης της κυκλοφορίας που τοποθετείται στους κεντρικούς υπολογιστές και μετρά τις απαιτήσεις εύρους ζώνης με τους άλλους κεντρικούς υπολογιστές. Ένας διαχειριστής οπτικής διαμόρφωσης συλλέγει αυτές τις μετρήσεις και καθορίζει τη διαμόρφωση του οπτικού διακόπτη με βάση τις απαιτήσεις κυκλοφορίας. Μετά τη διαμόρφωση του διακόπτη οπτικού κυκλώματος, ο οπτικός διαχειριστής ενημερώνει τους διακόπτες ToR προκειμένου να δρομολογηθούν τα πακέτα ανάλογα. Η κίνηση στους διακόπτες ToR αποπολυπλέκεται χρησιμοποιώντας μια δρομολόγηση που βασίζεται σε VLAN. Χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά VLAN, ένα για το δίκτυο που βασίζεται σε ηλεκτρικά πακέτα και ένα για το δίκτυο που βασίζεται σε οπτικό κύκλωμα. Εάν τα πακέτα προορίζονται σε έναν διακόπτη ToR που είναι συνδεδεμένος στην πηγή ToR μέσω του οπτικού κυκλώματος, τα πακέτα προορίζονται για το δεύτερο VLAN. Στο παρακάτω σχήμα η απεικόνιση της αρχιτεκτονικής c-Through:

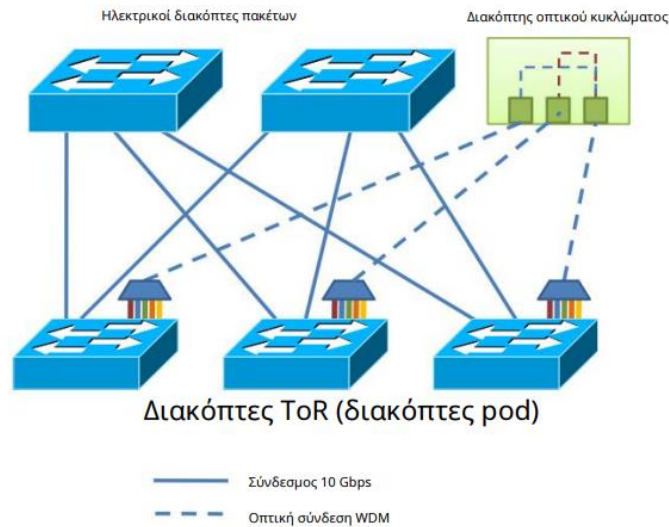


4.2 Helios: Ένας υβριδικός οπτικός ηλεκτρικός διακόπτης

Αποτελείται από διακόπτες ToR (που ονομάζονται pod switches) και core switches. Οι διακόπτες Pod είναι συνηθισμένοι ηλεκτρικοί διακόπτες πακέτων, ενώ οι core switches μπορεί να είναι είτε ηλεκτρικοί διακόπτες (electrical switches) πακέτων είτε διακόπτες οπτικού κυκλώματος (optical switches). Οι ηλεκτρικοί διακόπτες πακέτων χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία όλων προς όλους των διακοπτών pod, ενώ οι διακόπτες οπτικού κυκλώματος χρησιμοποιούνται για υψηλού εύρους ζώνης αργά μεταβαλλόμενη (συνήθως μεγάλης διάρκειας) επικοινωνία μεταξύ διακοπτών. Ως εκ τούτου, η αρχιτεκτονική Helios προσπαθεί να συνδυάσει το καλύτερο από το οπτικό και το ηλεκτρικό δίκτυο.

Το κύριο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής Helios είναι ότι βασίζεται σε άμεσα διαθέσιμες οπτικές μονάδες και πομποδέκτες που χρησιμοποιούνται ευρέως σε οπτικά δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

Το κύριο μειονέκτημα του προτεινόμενου σχήματος είναι ότι βασίζεται σε MEMS switches, επομένως οποιαδήποτε αναδιαμόρφωση του διακόπτη κυκλώματος απαιτεί αρκετά χιλιοστά του δευτερολέπτου. Έτσι, αυτό το σχήμα είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου οι συνδέσεις μεταξύ ορισμένων κόμβων διαρκούν περισσότερο από μερικά δευτερόλεπτα, προκειμένου να αντισταθμιστεί η επιβάρυνση της αναδιαμόρφωσης.



4.3 DOS: Ένας επεκτάσιμος οπτικός διακόπτης

- Περιγραφή:

Το optical switch αποτελείται από μια σειρά από συντονίσιμους μετατροπείς μήκους κύματος (ένα TWC για κάθε κόμβο), ένα AWGR και ένα κοινόχρηστο buffer loopback. Κάθε κόμβος μπορεί να έχει πρόσβαση σε οποιονδήποτε άλλο κόμβο μέσω του AWGR διαμορφώνοντας το μήκος κύματος εκπομπής του TWC. Το ύφασμα διακόπτη διαμορφώνεται από το επίπεδο ελέγχου που ελέγχει το TWC και τους εξαγωγείς ετικετών (LEs). Το επίπεδο ελέγχου χρησιμοποιείται για την ανάλυση διαμάχης και τον συντονισμό TWC. Όταν ένας κόμβος μεταδίδει ένα πακέτο στο μεταγωγέα, οι εξαγωγείς ετικετών χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν την ετικέτα από το οπτικό ωφέλιμο φορτίο. Η οπτική ετικέτα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα από ένα O/E που μετατρέπεται μέσα στη μονάδα επιπέδου ελέγχου και προωθείται στη μονάδα διαιτησίας. Η ετικέτα περιλαμβάνει τόσο τη διεύθυνση προορισμού όσο και το μήκος του πακέτου. Αυτή η ετικέτα αποθηκεύεται στον επεξεργαστή ετικετών και αυτός ο επεξεργαστής στέλνει ένα αίτημα στη μονάδα διαιτησίας για επίλυση περιεχομένου. Με βάση την απόφαση της μονάδας διαιτησίας, το επίπεδο ελέγχου διαμορφώνει το TWC. Ως εκ τούτου, με βάση τα χαρακτηριστικά δρομολόγησης AWGR, το μεταδιδόμενο πακέτο φτάνει στην προορισμένη έξοδο.

- Συμφόρηση δικτύου:

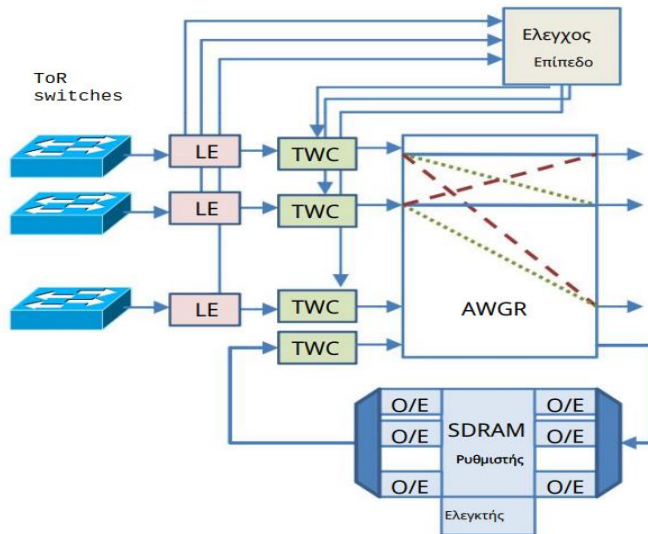
Σε περίπτωση που ο αριθμός των δεκτών εξόδου είναι μικρότερος από τον αριθμό των κόμβων που θέλουν να εκπέμψουν σε αυτή τη θύρα, δημιουργείται διαμάχη σύνδεσης. Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιείται μια κοινόχρηστη προσωρινή μνήμη SDRAM για την προσωρινή αποθήκευση των μεταδιδόμενων πακέτων. Τα μήκη κύματος που αντιμετωπίζουν τη διαμάχη δρομολογούνται στο SDRAM μέσω ενός οπτικο-ηλεκτρικού μετατροπέα (O/E). Στη συνέχεια, τα πακέτα αποθηκεύονται σε SDRAM και χρησιμοποιείται ένας κοινός ελεγκτής buffer για να χειριστεί αυτά τα πακέτα. Αυτός ο ελεγκτής στέλνει τα αιτήματα των πακέτων προσωρινής αποθήκευσης στο επίπεδο ελέγχου και περιμένει για επιχορήγηση. Όταν ληφθεί η επιχορήγηση, το πακέτο ανακτάται από το SDRAM, στη συνέχεια μετατρέπεται ξανά σε οπτικό σήμα μέσω ενός ηλεκτρικού-οπτικού μετατροπέα και στη συνέχεια προωθείται στο ύφασμα μεταγωγής μέσω ενός TWC.

Πλεονεκτήματα:

Το κύριο πλεονέκτημα του σχήματος DOS είναι ότι η καθυστέρηση είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τον αριθμό των θυρών εισόδου και παραμένει χαμηλή ακόμη και σε υψηλά φορτία εισόδου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα πακέτα πρέπει να διέρχονται μόνο μέσω ενός οπτικού διακόπτη και αποφεύγουν την καθυστέρηση των buffer του ηλεκτρικού διακόπτη.

Μειονεκτήματα:

Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα του σχήματος DOS είναι ότι είναι βασισμένο σε ηλεκτρικά buffer για τη διαχείριση συμφόρησης με τους μετατροπείς ηλεκτρικού σε οπτικό και οπτικό σε ηλεκτρικό, αυξάνοντας έτσι τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και την καθυστέρηση των πακέτων. Επιπλέον, η αρχιτεκτονική DOS χρησιμοποιεί συντονιζόμενους πομποδέκτες μήκους κύματος που είναι αρκετά ακριβοί σε σύγκριση με τους οπτικούς πομποδέκτες εμπορευμάτων που χρησιμοποιούνται σε διακόπτες ρεύματος. Ωστόσο, το DOS παραμένει ελκυστικό υποψήφιο για δίκτυα κέντρων δεδομένων όπου το μοτίβο κίνησης είναι γεμάτο με υψηλές προσωρινές κορυφές.



Αρχιτεκτονική DOS

4.4 Αρχιτεκτονική Petabit

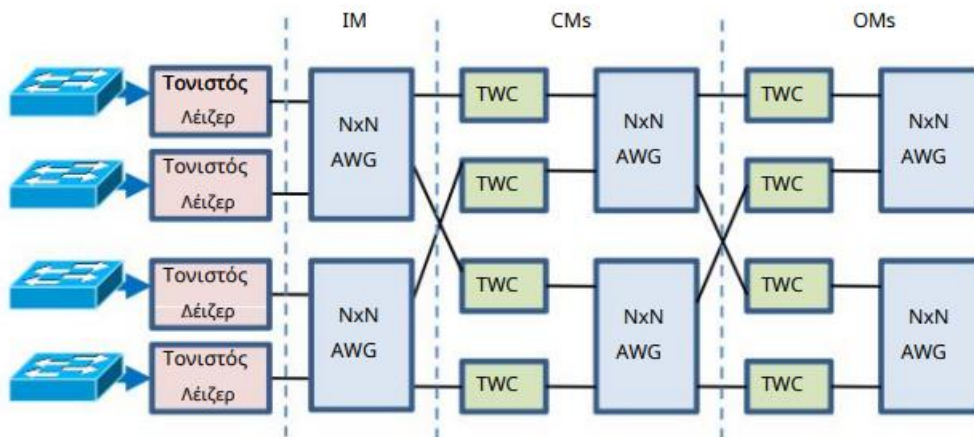
Η αρχιτεκτονική Petabit υιοθετεί ένα δίκτυο Clos τριών σταδίων και κάθε στάδιο αποτελείται από μια σειρά AGWR που χρησιμοποιούνται για την παθητική δρομολόγηση πακέτων. Στο πρώτο στάδιο, τα συντονίσιμα λέιζερ χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση των πακέτων μέσω των AWGRs, ενώ στο δεύτερο και στο τρίτο στάδιο χρησιμοποιείται το TWC για τη μετατροπή του μήκους κύματος και τη δρομολόγηση των πακέτων στη θύρα προορισμού. Η κύρια διαφορά σε σύγκριση με την αρχιτεκτονική DOS είναι ότι ο διακόπτης Petabit δεν χρησιμοποιεί buffer μέσα στο ύφασμα του διακόπτη (αποφεύγοντας έτσι τη μετατροπή E/O και O/E που απαιτεί ενέργεια). Αντίθετα, η διαχείριση συμφόρησης εκτελείται χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά buffer στις κάρτες Γραμμής και έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο προγραμματισμού. Κάθε κάρτα γραμμής που είναι συνδεδεμένη στη θύρα εισόδου του μεταγωγέα Petabit φιλοξενεί ένα buffer στο οποίο αποθηκεύεται το πακέτο πριν από τη μετάδοση. Τα πακέτα ταξινομούνται σε διαφορετικές ουρές εικονικής εξόδου (VOQ) με βάση τη διεύθυνση προορισμού.

Χρησιμοποιώντας έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο προγραμματισμού και κάποια επιτάχυνση, η Petabit μπορεί να επιτύχει 100% απόδοση. Ο προγραμματιστής χρησιμοποιείται για την εύρεση μιας διμερούς αντιστοίχισης από τη θύρα εισόδου στη θύρα εξόδου και για την εκχώρηση ενός CM (το κεντρικό στάδιο του υφάσματος του διακόπτη) για κάθε αντιστοίχιση. Χρησιμοποιώντας τον διμερή

προγραμματισμό αντιστοίχισης, δεν υπάρχει συμφόρηση των πακέτων στο ύφασμα μεταγωγής, επομένως η προσωρινή μνήμη που χρησιμοποιείται σε άλλα σχήματα (π.χ. στην αρχιτεκτονική DOS) εξαλείφεται.

4.5. Αρχιτεκτονική E-RAPID

Αυτό το σχήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπολογιστές υψηλής απόδοσης, ενώ θα μπορούσε



Η αρχιτεκτονική Petabit

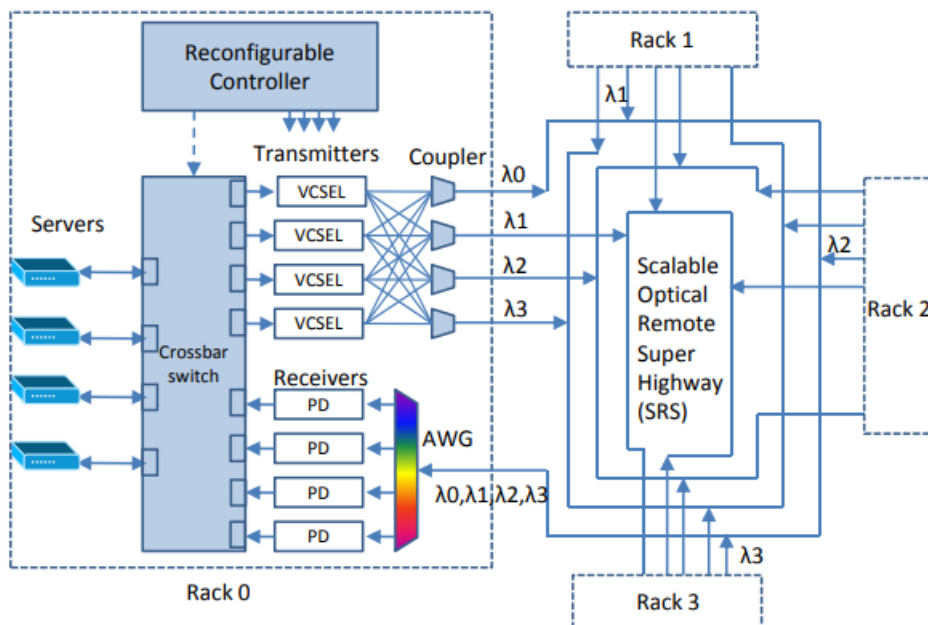
επίσης να αναπτυχθεί σε δίκτυα κέντρων δεδομένων. Κάθε ενότητα (δηλ. rack) φιλοξενεί αρκετούς κόμβους (δηλαδή blade servers) και αρκετούς πομπούς που βασίζονται σε λέιζερ VCSEL. Ένας ελεγκτής με δυνατότητα επαναδιαμόρφωσης χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του διακόπτη crossbar και για την κατανομή των κόμβων σε ένα συγκεκριμένο λέιζερ VCSEL. Σε κάθε δεδομένη στιγμή μόνο ένα λέιζερ VCSEL είναι ενεργό σε κάθε μήκος κύματος. Ένας συζεύκτης για κάθε μήκος κύματος χρησιμοποιείται για την επιλογή του VCSEL που θα προωθήσει το πακέτο στον δακτύλιο Scalable Optical Remote Super Highway (SRS). Αυτός ο αυτοκινητόδρομος SRS αποτελείται από πολλούς οπτικούς δακτυλίους, ένα για κάθε rack. Στη διαδρομή του δέκτη, ένα AWG χρησιμοποιείται για την αποπολυπλεξία των μηκών κύματος που δρομολογούνται σε μια σειρά δεκτών. Στη συνέχεια, το crossbar switch χρησιμοποιείται για την προώθηση των πακέτων από κάθε δέκτη στον κατάλληλο κόμβο στον πίνακα. Στο επίπεδο ελέγχου χρησιμοποιείται ένας διαχειριστής στατικής δρομολόγησης και εκχώρησης μήκους κύματος (RWA) για τον έλεγχο των πομπών και των δεκτών. Ένας αναδιαμορφώσιμος ελεγκτής (RC) φιλοξενείται σε κάθε μονάδα που ελέγχει τους πομπούς και τους δέκτες αυτής της μονάδας. Ο επαναδιαμορφώσιμος ελεγκτής χρησιμοποιείται

επίσης για τον έλεγχο του διακόπτη crossbar που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των κόμβων με τον κατάλληλο οπτικό πομποδέκτη.

Το κύριο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής E-RAPID είναι ότι η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να ρυθμιστεί με βάση τον κυκλοφοριακό φόρτο. Το E-RAPID βασίζεται σε πομπούς VCSEL στους οποίους το ρεύμα τροφοδοσίας ρυθμίζεται με βάση το κυκλοφοριακό φόρτο.

Με βάση το παρακάτω σχήμα με την απεικόνιση της αρχιτεκτονικής E-RAPID μπορούμε να δούμε και ένα παράδειγμα.

Εάν ένας διακομιστής από το Rack 0 χρειάζεται να στείλει ένα πακέτο στο Rack 3, τότε ο επαναδιαμορφώσιμος ελεγκτής ρυθμίζει τον διακόπτη crossbar για να συνδέσει τον διακομιστή με ένα από τα λέιζερ VCSEL συντονισμένα σε μήκος κύματος λ_1 . Το VCSEL μεταδίδει το πακέτο χρησιμοποιώντας τον δεύτερο ζεύκτη που είναι συνδεδεμένος με τον εσωτερικό δακτύλιο SRS (λ_1). Ο εσωτερικός δακτύλιος SRS πολυπλέκει όλα τα μήκη κύματος που προορίζονται για το Rack 3. Στο Rack 3 το AWG χρησιμοποιείται για την αποπολυπλέξη των μηκών κύματος και στη συνέχεια τη δρομολόγηση του πακέτου στον διακομιστή χρησιμοποιώντας το crossbar switch.⁵ Προσομοίωση οπτικού δικτύου



5.1 Εισαγωγή

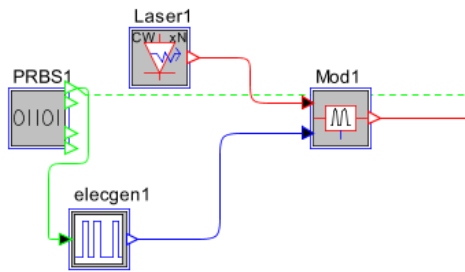
Σκοπός μας σε αυτό το κεφάλαιο είναι η παρουσίαση μιας προσομοίωσης ενός οπτικού δικτύου από έναν Transmitter σε ένα Receiver μέσω οπτικής ίνας. Με δεδομένο ότι στην απόσταση μεταξύ των δύο θα υπάρχουν κάποιες απώλειες, εμείς θα συγκρίνουμε το Bit Error Rate (BER) σε διαφορετικές ισχύς εκπομπής του δέκτη σε δυο διαφορετικές αρχιτεκτονικές οπτικών δικτύων. Το BER χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό ενός καναλιού που μεταφέρει δεδομένα μετρώντας τον ρυθμό σφαλμάτων, έτσι όσο μικρότερο είναι το BER τόσο πιο λίγα σφάλματα υπάρχουν και το κανάλι είναι πιο αξιόπιστο. Για τον υπολογισμό του μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τον παρακάτω τύπο:

$$\text{BER} = \text{Number of errors} / \text{Total number of bits sent}$$

5.1.1 Περίπτωση 1η

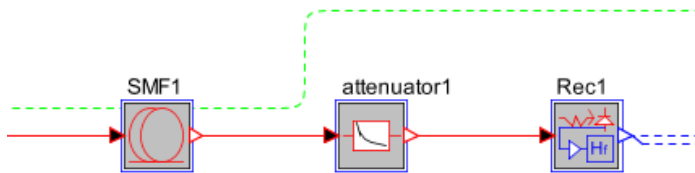
Στο πρώτο μας σύστημά μας θα χρησιμοποιήσουμε την αρχιτεκτονική c-Through και στο παρακάτω σχήμα 10 έχουμε:

- Τον πομπό (PRBS) ο οποίος εκπέμπει ηλεκτρικό σήμα μέσω του elecgen και μέσω του μετατροπέα (Modulation) μετατρέπει το σήμα σε οπτικό.



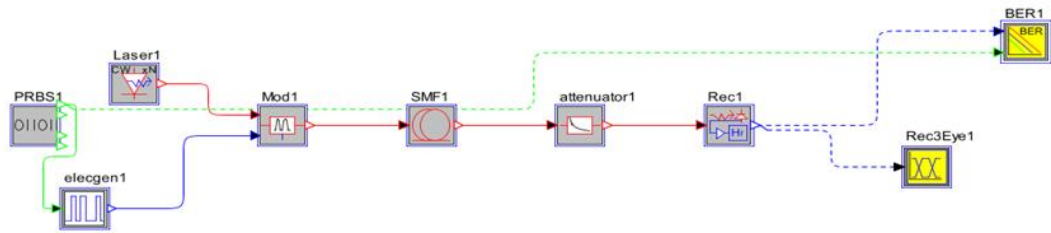
Σχημα10

- Στην συνέχεια στο σχήμα11, έχουμε την οπτική ίνα (SMF) η οποία εισέρχεται στο Attenuator (ένα block που δημιουργεί απώλειες στο σήμα μας τις οποίες συναντάμε σε φυσικά οπτικά κυκλώματα) και τελειώνουμε με τον receiver, τον δέκτη του κυκλώματος



Σχημα11

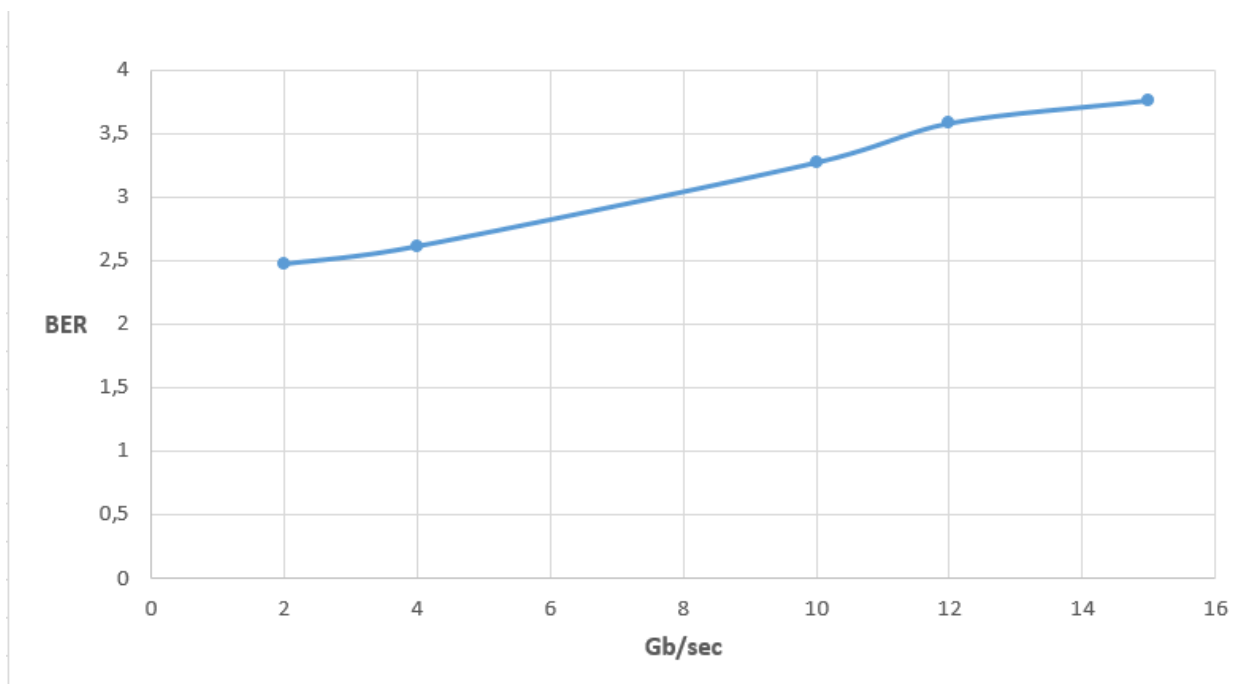
Ολοκληρωτικά το σύστημά μας είναι στο σχήμα 12



Σχημα12

Αποτελέσματα και συμπεράσματα προσομοίωσης 1^{ης} περίπτωσης

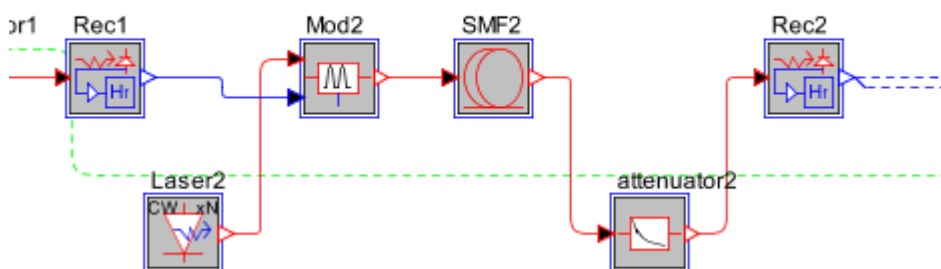
Αλλάζοντας την ισχύ του πομπού σε διάφορες τιμές (2x10 Gb/sec, 4x10 Gb/sec, 10x10 Gb/sec, 12x10 Gb/sec και 15x10 Gb/sec) η τιμή του BER διαφοροποιείται ανάλογα όπως αποτυπώνεται στο σχημα13:



Συμπερασματικά στην πρώτη περίπτωση της αρχιτεκτονικής c-Through, από το γράφημα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε την ισχύ που εκπέμπει ο πομπός και κρατώντας σταθερό το μήκος της οπτικής ίνας, ο ρυθμός σφαλμάτων στην διάδοση του οπτικού κύματος αυξάνεται.

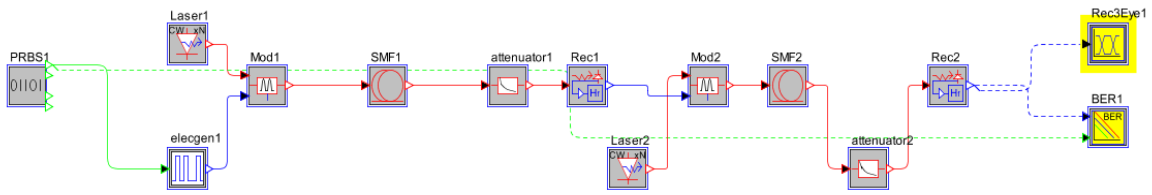
5.1.2 Περίπτωση 2η

Στην δεύτερη περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε την Dos αρχιτεκτονική για το κύκλωμά μας. Το οπτικό μας κύκλωμα μέχρι τον receiver της περίπτωσης 1^{ης} είναι ίδιο και προσθέτουμε άλλον έναν 2ο receiver. Συνεχίζει δηλαδή το σήμα και αφού μετατραπεί πάλι σε οπτικό μέσω του Modulation2, γιατί από τον receiver1 το σήμα βγαίνει ηλεκτρικό, και αφού περάσει από ένα block απωλειών (attenuator2) να καταλήξει στον 2^ο receiver. Βλ.σχημα14



Σχημα14

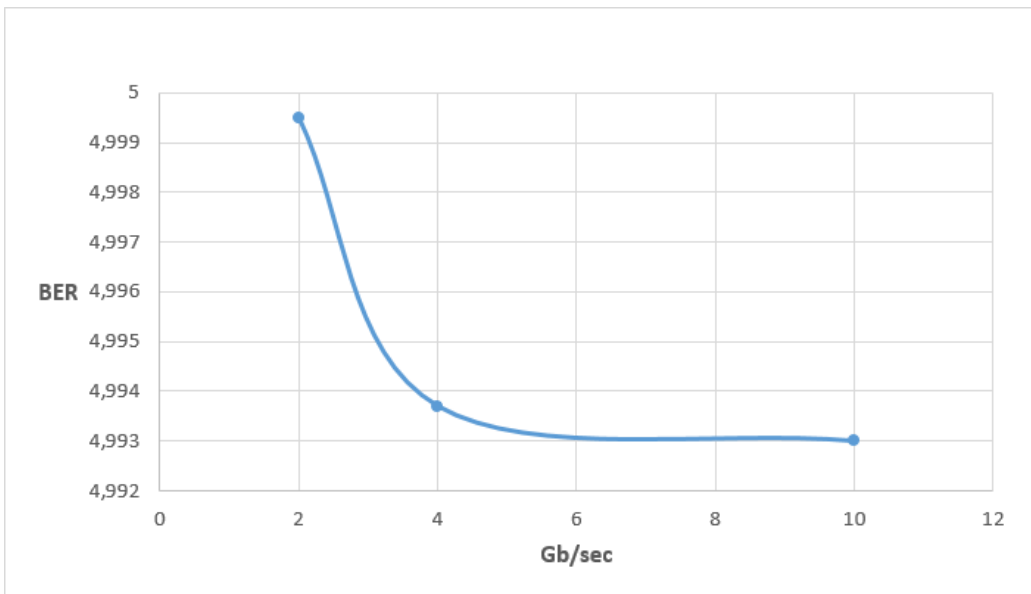
Ολοκληρωτικά το οπτικό μας κύκλωμα αποτυπώνεται στο σχήμα 15



Σχημα15

Αποτελέσματα και συμπεράσματα προσομοίωσης 2^{ης} περίπτωσης

Αλλάζοντας την ισχύ του πομπού σε διάφορες τιμές (2x10 Gb/sec, 4x10 Gb/sec, 10x10 Gb/sec) η τιμή του BER διαφοροποιείται ανάλογα όπως αποτυπώνεται στο σχημα16:



Σχημα16

Συμπερασματικά σε αυτήν την περίπτωση της αρχιτεκτονικής Dos, από το γράφημα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε την ισχύ που εκπέμπει ο πομπός και κρατώντας σταθερό το μήκος της οπτικής ίνας, ο ρυθμός σφαλμάτων στην διάδοση του οπτικού κύματος μειώνεται.

Ολοκληρωτικό συμπέρασμα

Έτσι ολοκληρώνοντας και τις δύο προσομοιώσεις, με διαφορετικές αρχιτεκτονικές παρατηρήσαμε ότι βρήκαμε διαφορετική μεταβολή του ρυθμού σφαλμάτων στα οπτικά μας σύστημα. Αρχικά μεταβολή σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά αφού αυξάναμε την εκπομπή ισχύος του δέκτη και διαμορφωνόταν ανάλογα το BER, αλλά και συνολικά των δύο συστημάτων αφού στην 1^η περίπτωση ο ρυθμός σφαλμάτων αυξανόταν ενώ στην 2^η είχαμε μείωση, με καλύτερη απόδοση οπτικού συστήματος στην δεύτερη περίπτωση.

Το κύριο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής DOS είναι ότι η καθυστέρηση είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τον αριθμό των θυρών εισόδου και παραμένει χαμηλή ακόμη και σε υψηλά φορτία εισόδου.

Βιβλιογραφία

- A Survey on Optical Interconnects for Data Centers, Christoforos Kachris and Ioannis Tomkos
- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%A E_%CE%AF%CE%BD%CE%B1
- <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center-virtualization/what-is-a-data-center.html>
- <https://www.google.com/about/datacenters/>
- <https://www.reporter.gr>
- <https://grnet.gr/infrastructure/network-and-topology>
- <https://www.fiber-optic-tutorial.com/what-is-data-center-architecture.html>
- “Διασύνδεση σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας με το δίκτυο μέσω Fiber to the BTS site”, πτυχιακή εργασία του φοιτητή Κεφαλά Βασίλειου (2016), ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος