

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε

Πτυχιακή Εργασία
Του Παπαστεργίου Αντώνη

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 10-100 Gb Ethernet

Επιβλέπων Καθηγητής: Στεργίου Ελευθέριος

Άρτα Νοέμβριος 2016





Περίληψη

Αυξημένη είναι τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη τόσο των υπολογιστών, όσο και των δικτύων. Τα δίκτυα αποτελούν σημαντικό κομμάτι των επικοινωνιών, καθώς είναι ο πυλώνας των επικοινωνιών. Η βασική τεχνολογία η οποία έχει αναπτυχθεί για την ευκολία στην επέκταση των δικτύων και της αύξησης της ταχύτητας, είναι το Gigabit Ethernet. Η αυξημένη ταχύτητα είναι σημαντικό κομμάτι καθώς αποτελεί το κύριο κριτήριο ανάπτυξης των δικτύων.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει τις νέες τεχνολογίες του Gigabit Ethernet διεξοδικά. Στο κείμενο που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους και αναλύονται οι λόγοι που οδήγησαν τους σχεδιαστές δικτύων και τους προγραμματιστές στην ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνολογιών. Ακόμη, στην αρχή του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι βασικοί ορισμοί του Ethernet με στόχο να καθοδηγήσουν τον αναγνώστη και να τον βοηθήσουν να εισαχθεί στις έννοιες των δικτύων. Οι κύριες τεχνολογίες που παρουσιάζονται είναι τα 10 και 100 Gigabit Ethernet, ωστόσο γίνεται εν μέρη παρουσίαση, ανάπτυξη και σύγκρισή τους και με άλλα πρότυπα.



Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Στεργίου Ελευθέριο ο οποίος μου εμπιστεύτηκε το συγκεκριμένο θέμα και με καθοδηγούσε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία με στήριξε και ήταν δίπλα μου σε όλα μου τα βήματα.

Ακόμη, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους φίλους μου, οι οποίοι με υποστήριξαν, με βοήθησαν και μου χάρισαν ωραίες στιγμές στην μέχρι τώρα πορεία μας.



Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Ευχαριστίες	6
Περιεχόμενα.....	8
Κατάλογος Πινάκων	11
Κατάλογος Εικόνων	13
Κεφάλαιο 1	15
Εισαγωγή	15
1.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας	15
1.2 Σύνοψη διπλωματικής εργασίας	16
1.3 Εισαγωγή στις τηλεπικοινωνίες	17
Κεφάλαιο 2	20
Βασικοί ορισμοί Ethernet	20
2.1 Ethernet	20
Τύποι Ethernet	21
Ονοματολογία φυσικών μέσων Ethernet	22
2.2 Εύρος ζώνης.....	24
2.3 CSMA/CD.....	25
2.4 Μορφοποίηση πλαισίου Ethernet	27
2.5 Αμφίδρομο (Duplex).....	27
Κεφάλαιο 3	30
10G Ethernet	30
3.1 10Gigabit Ethernet Project.....	31

3.2 Η Συμμαχία του 10 Gigabit Ethernet.....	32
3.3 10 Gbit Ethernet Standard.....	33
3.4 Διεπαφή ολοκληρωμένου κυκλώματος (XAUI).....	34
3.5 Εξαρτώμενο φυσικό μέσο (PMD)	36
3.6 Φυσικό επίπεδο (PHY)	37
3.7 Πρότυπα 10Gigabit Ethernet	39
3.8 Εφαρμογές του 10 Gigabit Ethernet	43
Κεφάλαιο 4	52
4.1 25G-40G-50G Ethernet.....	52
Χαρακτηριστικά πρότυπα 40Gigabit Ethernet	54
4.2 Αρχιτεκτονική 40G Ethernet	55
4.3 25G-50G Ethernet.....	57
Κεφάλαιο 5	60
100G Ethernet	60
5.1 Πρότυπα 100G Ethernet	62
100G Τύποι θυρών (Port types).....	63
5.2 Αρχιτεκτονική 100 Gigabit Ethernet	65
5.2.1 Υπό-επίπεδο φυσικής κωδικοποίησης (Physical Coding Sublayer, PCS).....	65
5.3 CAUI-PPI-PMD.....	69
Parallel Physical Interface (PPI)	70
Physical Media Dependent (PMD)	70
5.4 400-800 Gigabit Ethernet.....	71
Κεφάλαιο 6	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνες και διαγράμματα συγκρίσεων	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Συμπεράσματα	74
Βιβλιογραφία	76



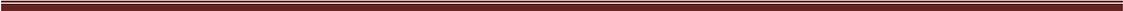
Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας Προτύπων Ethernet.....	23
Πίνακας 2: Πίνακας Προτύπων Fast Ethernet.....	23
Πίνακας 3: Πίνακας Προτύπων Gigabit Ethernet.....	24
Πίνακας 4: Εισαγωγή των PMDs που έχουν επιλεγεί για την επίτευξη των στόχων απόσταση της ειδικής ομάδας.....	37
Πίνακας 5: Πίνακας προτύπων 10 Gigabit Ethernet.....	40
Πίνακας 6: Μονάδες φυσικού στρώματος.....	41
Πίνακας 7: Πίνακας τύπος θυρών 100GbEthernet.....	64
Πίνακας 8 400GbE αποστάσεις.....	71



Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Επικοινωνία Ethernet.	21
Εικόνα 2: Τα συστατικά αρχιτεκτονικής του LAN και του WAN PHY.	34
Εικόνα 3: Λειτουργίες του XAUI σαν επέκταση της διεπαφής μεταξύ του MAC και PCS.	36
Εικόνα 4: Εννοιολογικό διάγραμμα των PHYs και PMDs.....	38
Εικόνα 5: Λεπτομερής επεξήγηση των PHY LAN και WAN και συναφών PMD.	39
Εικόνα 6: 2013 Gigabit Ethernet	44
Εικόνα 7 Κέρδος παρόχων από το Gigabit Ethernet	45
Εικόνα 8: Απεικόνιση του 10 χρήση Gigabit Ethernet σε περιβάλλοντα MAN.	48
Εικόνα 9: Χρήση των 10 Gigabit Ethernet σε Storage Area Networks.....	49
Εικόνα 10: Παράδειγμα του 10 Gigabit Ethernet σε εφαρμογές σε WAN.....	50
Εικόνα 11: Πλήθος εταιρειών που ζητούν αυξημένο bandwidth.	52
Εικόνα 12: Υπό-επίπεδα που περιλαμβάνονται στο PHY.	55
Εικόνα 13: PCS multilane για το 40Gbit Ethernet.....	56
Εικόνα 14: PCS λειτουργία σε πιο γρήγορες ταχύτητες.....	56
Εικόνα 15: Ραγδαία εξέλιξη του 25GbEthernet.....	57
Εικόνα 16: Πίνακας παράθεσης χαρακτηριστικών σε διάφορες τεχνολογίες Ethernet.	58
Εικόνα 17: Αντιστοιχία γραμμών με βάση το πρότυπο Ethernet που υπάρχει.....	59
Εικόνα 18: 100G στην αγορά	61
Εικόνα 19 Σύγκριση 40 και 100 Gigabit Ethernet.....	63
Εικόνα 20 Αρχιτεκτονική Επιπέδων 40GbE και 100GbE.....	65
Εικόνα 21: Κατανομή PCS πολλαπλών διαδρομών.	67
Εικόνα 22 Απεικόνιση αρχιτεκτονικών 100GBASE-R.....	68
Εικόνα 23:Κόστος θύρας 100Gigabit Ethernet.....	69
Εικόνα 24: Χαρακτηριστικά φυσικού επιπέδου	70
Εικόνα 25: Απο 10GbE σε 100GbE.....	71



Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια εισαγωγική προσέγγιση του θέματος της διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάζεται επίσης η σύνοψη των κεφαλαίων και γίνεται μια μικρή εισαγωγή στην ιστορία των τηλεπικοινωνιών. Η τελευταία αυτή παράγραφος χρησιμοποιείται σαν εισαγωγικό για την καλύτερη κατανόηση του θέματος.

1.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Οι τηλεπικοινωνίες αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη τόσο της τεχνολογίας όσο και της κοινωνίας. Με τον όρο τηλεπικοινωνίες χαρακτηρίζεται η κάθε μορφής ενσύρματη ή ασύρματη, ηλεκτρομαγνητική, ηλεκτρική, ακουστική και οπτική επικοινωνία που πραγματοποιείται ανεξαρτήτως απόστασης.

Τα τελευταία χρόνια ο τομέας των τηλεπικοινωνιών έχει γνωρίσει ραγδαία ανάπτυξη, καθώς οι απαιτήσεις των ανθρώπων εξελίσσονται και απαιτούν όλο και περισσότερα από την τεχνολογία. Οι ερευνητές προσπαθούν να αναπτύξουν πρωτόκολλα και αλγορίθμους για να καλύψουν τις ανάγκες των χρηστών. Για την κάλυψη των αναγκών αυτών έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνολογίες, όπως οι οπτικές ίνες, τα διάφορα δίκτυα και πιο συγκεκριμένα η τεχνολογία του Ethernet.

Στην παρούσα εργασία στόχος του συγγραφέα είναι να εισάγει τον αναγνώστη στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών, μέσα από την παρουσίαση των διαφόρων

τεχνολογιών που υπάρχουν. Μέχρι πρότινος έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνολογίες, ωστόσο θα σταθούμε ιδιαίτερα στην τεχνολογία του Ethernet και πιο συγκεκριμένα στο 10 και 100 Gbit Ethernet. Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα αναλυθούν οι διάφοροι αλγόριθμοι που υπάρχουν στις δύο αυτές τεχνολογίες και παράλληλα θα καταγραφούν οι περιπτώσεις χρήσεις τους.

1.2 Σύνοψη διπλωματικής εργασίας

Το κείμενο κατανέμεται ομοιόμορφα σε πέντε κεφάλαια καθένα από τα οποία έχει ως στόχο να εξηγήσει με ακρίβεια στον αναγνώστη το θέμα και τις διάφορες προσεγγίσεις του.

Στο εν λόγω κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο το οποίο πραγματεύεται η εργασία. Η παρουσίαση του αντικειμένου της εργασίας αποτελεί το πιο σημαντικό κομμάτι της εργασίας, καθώς πρέπει πρώτα να γίνουν αντιληπτοί οι στόχοι του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι τεχνολογίες και τα μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία, και δίνονται οι βασικοί ορισμοί του Ethernet. Από τον τίτλο του γίνεται κατανοητό πως στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η τεχνολογία του Ethernet, τα διάφορα επίπεδα τηλεπικοινωνιών, οι τεχνολογίες και οι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί.

Το τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τις κύριες τεχνολογίες της εργασίας αυτής, το 10 Gbit και 100 Gbit Ethernet, αντίστοιχα. Σε κάθε κεφάλαιο αναλύονται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να γνωρίσει ο χρήστης μέσα από την εργασία.

Τέλος, το τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζει όλα τα στοιχεία που έχουν παρουσιαστεί στην υπόλοιπη εργασία και καταγράφει τα συμπεράσματα στα οποία έχει οδηγηθεί ο συγγραφέας.

1.3 Εισαγωγή στις τηλεπικοινωνίες

Επικοινωνία χαρακτηρίζεται ως η μετάδοση μίας πληροφορίας από μία πηγή σε μία άλλη. Με τον όρο τηλεπικοινωνίες εννοούμε την μετάδοση σημάτων υποβοηθούμενα από τεχνικά μέσα (ενσύρματα, ασύρματα, ηλεκτρομαγνητικά, ακουστικά ή και οπτικά) που πραγματοποιείται σε κάποια απόσταση.

Οι πρώτες μορφές τηλεπικοινωνίας περιείχαν από σήματα καπνού για προειδοποίηση επιθέσεων, ζευγάρι από πυρσούς που αντικαθιστούσαν το κλασσικό αλφάβητο μέχρι και τύμπανα και ταχυδρομικά περιστέρια για τη μετάδοση πληροφορίας.

Ακολούθησε η μεταφορά πληροφορίες μέσω του ηλεκτρισμού όπως ο ηλεκτρικός τηλεγράφος, και το 1866 πραγματοποιήθηκε η πρώτη διατλαντική ζεύξη. Ακολουθεί η εφεύρεση του τηλεφώνου το 1876 από τους Bell και Grey με τα αμέσως επόμενα χρόνια να εγκαθίστανται τηλεφωνικές συσκευές σε όλες τις μεγάλες πόλεις.

Μεγάλη άνθηση στις τηλεπικοινωνίες έφερε η εφεύρεση της τριόδου ενισχυτή λυχνίας το 1906 που βοήθησε στην κατασκευή ενισχυτών σήματος και την μετάδοση των τηλεφωνικών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Το 1915 είχαμε τις πρώτες διηπειρωτικές τηλεφωνικές συνδέσεις.

Το 1918 ανακαλύφθηκε ο πρώτος υπερετερόδυνος δέκτης AM που βοήθησε πολύ στην υλοποίηση της ραδιοφωνίας AM. Το 1920 εγκαινιάστηκε στην Αμερική η πρώτη ραδιοφωνία AM. Το 1933 κατασκευάστηκε το πρώτο σύστημα επικοινωνίας FM. Επίσης το 1929 κατασκευάστηκε το πρώτο σύστημα τηλεόρασης και πάλι στην Αμερική.

Ακολούθησε μία περίοδος χωρίς μεγάλες αλλαγές μέχρι που το 1947 εφευρέθηκε το ημιαγωγικό τρανζίστορ που άνοιξε τον δρόμο για τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, με το πρώτο να υλοποιείται το 1958 και να βοηθάει στην δημιουργία πολύ μικρότερων και φθηνότερων τηλεπικοινωνιακών συσκευών.

Το 1962 εμφανίζονται οι πρώτες οπτικές ίνες με την παρουσίαση της ημιαγωγικής διόδου LASER, αυξάνοντας την ταχύτητα των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Την ίδια χρονιά επίσης εκτοξεύεται ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός

δορυφόρος για μετάδοση σήματος τηλεόρασης και μετά από τρία χρόνια εκτοξεύεται ο πρώτος εμπορικός τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος.

Όλα τα προηγούμενα οδήγησαν στην υλοποίηση του Internet Protocol (IP) το 1969, με το ARPANET να είναι το πρώτο δίκτυο μεταγωγής πακέτων. Ακολούθησε μεγάλη εξέλιξη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών φτάνοντας στην ανάπτυξη του ADSL και του Wi-Fi στις επόμενες δεκαετίες.



Κεφάλαιο 2

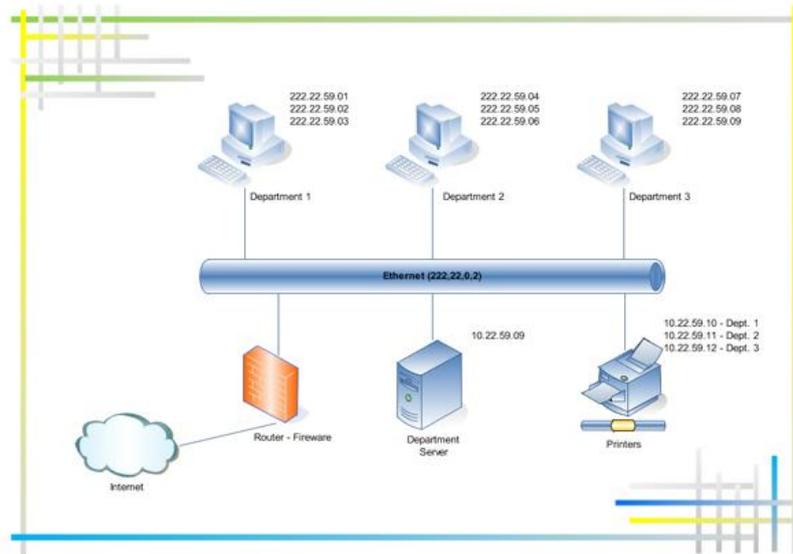
Βασικοί ορισμοί Ethernet

2.1 Ethernet

Το Ethernet είναι το πιο συνηθισμένο πρωτόκολλο ενσύρματης τοπικής δικτύωσης υπολογιστών που χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή. Η ανάπτυξη του έγινε τη δεκαετία του '70 από την εταιρεία Xerox, αλλά δημοφιλής έγινε όταν οι εταιρείες Digital Equipment Corporation και η Intel σε συνεργασία με την Xerox προχώρησαν στην προτυποποίηση του το 1980. Αργότερα το 1985 έγινε αποδεκτό από τον οργανισμό IEEE ως το πρότυπο 802.3 για ενσύρματα τοπικά δίκτυα (LAN).

Το πρώτο Ethernet είχε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 3Mbps. Η σύνδεση γινόταν με ένα ομοαξονικό καλώδιο το οποίο συνδεόταν σε όλους τους επιμέρους υπολογιστές (σύνδεση token ring). Η διασύνδεση γινόταν μέσω μιας κάρτας δικτύου Ethernet η οποία ήταν προσαρτημένη σε κάθε κόμβο του δικτύου. Κάθε κάρτα είχε μία μοναδική, εργοστασιακή 48-bit διεύθυνση MAC.

Σήμερα η σύνδεση token ring έχει εγκαταλειφθεί και κάθε κόμβος του δικτύου συνδέεται με μία ξεχωριστή θύρα ενός router ή διανομέα (hub). Οι νεότερες εκδόσεις του Ethernet χρησιμοποιούν καλώδια χαλκού με αθωράκιστα ή θωρακισμένα συνεστραμμένα ζεύγη αγωγών ή οπτικές ίνες. Τα standards του Ethernet εξελίσσονται ραγδαία καθώς πρέπει πλέον να μεταφέρουν νέα δεδομένα με υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης, και παράλληλα να υποστηρίξουν αλλαγές που συμβαίνουν στο περιεχόμενο του πλαισίου.



Εικόνα 1: Επικοινωνία Ethernet.

Τύποι Ethernet

Το Ethernet μπορεί να χωριστεί σε πολλές κατηγορίες με τις πιο βασικές να είναι Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet και 40-100 Gigabit Ethernet.

- **Ethernet:** Έχει ρυθμό μετάδοσης της τάξης των 10MBps και οι συνδέσεις που υποστηρίζουν είτε χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούν το πρότυπο 10BASE-T, ή οπτικές ίνες με το πρότυπο 10BASE-F (L). Η σύνδεση χαλκού είναι συμβατή και με εκείνη του Fast Ethernet.
- **Fast Ethernet:** Ο ρυθμός μετάδοσης του είναι της τάξης των 100MBps. Για τις συνδέσεις χαλκού έχει επικρατήσει το πρότυπο 100BASE-TX με τα πρότυπα 100BASE-T2 και 100BASE-T4 να έχουν εγκαταλειφτεί. Το καλώδιο χαλκού είναι κατηγορίας UTP με δύο ζεύγη αγωγών (ένα για την αποστολή και ένα για την λήψη δεδομένων) σε μήκη μέχρι 100μ. Στις συνδέσεις με οπτικές ίνες το πρότυπο που χρησιμοποιείται είναι το 100BASE-FX με τη δυνατότητα ανάχνευσης στο τέλος του καλωδίου ενός κυκλώματος 10BASE-T. Ωστόσο, υπάρχει μια αξιοσημείωτη υποβάθμιση της ταχύτητας στα 10MBps.

-
- **Gigabit Ethernet:** Ο ρυθμός μετάδοσης είναι της τάξης του 1Gbps. Για τις συνδέσεις χαλκού το κυρίαρχο πρότυπο είναι το 1000BASE-T. Το καλώδιο είναι κατηγορίας UTP με 4 ζεύγη αγωγών. Κάθε ζεύγος μεταφέρει δεδομένα προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα. Μία κάρτα Gigabit Ethernet μπορεί να ανιχνεύσει στο τέλος του καλωδίου την ύπαρξη κυκλώματος Fast Ethernet και να αλλάξει το πρωτόκολλο της σε 100BASE-TX. Στις οπτικές ίνες χρησιμοποιείται το πρότυπο 1000BASE-FX.
 - **10Gigabit Ethernet:** Ο ρυθμός μετάδοσης αυτού του τύπου είναι της τάξης των 10Gbps. Υποστηρίζεται μόνο διπλή μετάδοση για αυτό και δεν χρησιμοποιείται η τεχνική CSMA/CD. Η μεταφορά δεδομένων μπορεί να γίνει μόνο μέσα από οπτικές ίνες ή χάλκινα καλώδια όπως και οι προηγούμενες κατηγορίες, με τα χάλκινα καλώδια που χρησιμοποιούνται να είναι διαφορετικά και πιο εξελιγμένα λόγω της υψηλής απαίτησης σε εύρος ζώνης.
 - **40-100Gigabit:Ethernet:** Ο ρυθμός μετάδοσης στον τύπο αυτό είναι της τάξης των 40Gbps και 100Gbps, αντίστοιχα. Η τεχνολογία ορίστηκε για πρώτη φορά με το πρότυπο IEEE 802.3ba-2010.

Ονοματολογία φυσικών μέσων Ethernet

Η ονοματολογία στα διάφορα πρότυπα Ethernet που υπάρχουν είναι μία αναγνωριστική συντομογραφία που έχει δοθεί από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών. Η γενική ονοματολογία ακολουθεί κάποιους κανόνες. Το νούμερο που υπάρχει στην αρχή σημειώνει την ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων στο πρότυπο. Η λέξη BASE σημαίνει ότι από το μέσο μεταφέρονται μόνο σήματα Ethernet. Το αμέσως επόμενο γράμμα που ακολουθεί, εάν είναι T αντιπροσωπεύει το συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων, ενώ εάν είναι το F την οπτική ίνα. Το νούμερο στο τέλος αντιστοιχεί συνήθως το μήκος τμήματος του καλωδίου.

Πρότυπο	Ταχύτητα	Μέγιστη Απόσταση	Τύπος Μέσου
10BASE-2	10Mbps	185μ	RG-58 ομοαξονικό
10BASE-5	10Mbps	500μ	RG-58 ομοαξονικό
10BASE-T	10Mbps	100μ	Κατηγορία 3,4,5 UTP ή STP
10BASE-FL	10Mbps	Μέχρι 2χλμ	Οπτική ίνα

Πίνακας 1: Πίνακας Προτύπων Ethernet.

Πρότυπο	Ταχύτητα	Μέγιστη Απόσταση	Τύπος Μέσου
100BASET4	100Mbps	100μ	Κατηγορία 3,4,5 UTP ή STP
100BASETX	100Mbps	100μ	Κατηγορία 5 UTP ή STP
100BASEFX	100Mbps	412μ με ημί-διπλή MM οπτική ίνα	Οπτική ίνα
100BASEFX	100Mbps	10.000μ με πλήρη διπλή SM οπτική ίνα	Οπτική ίνα

Πίνακας 2: Πίνακας Προτύπων Fast Ethernet.

Πρότυπο	Ταχύτητα	Μέγιστη Απόσταση	Τύπος Μέσου
1000BASECX	1000Mbps ή 1Gpbs	25μ	Θωρακισμένο χάλκινο καλώδιο
1000BASESX	1000Mbps ή 1Gpbs	275μ με ημί-διπλή ή πλήρη διπλή οπτική ίνα 62.5micron MM	MM οπτική ίνα
1000BASESX	1000Mbps ή 1Gpbs	316μ με ημί-διπλή οπτική ίνα 50micron MM	MM οπτική ίνα

1000BASESX	1000Mbps ή 1Gpbs	550μ με πλήρη διπλή οπτική ίνα 50micron MM	MM οπτική ίνα
1000BASELX	1000Mbps ή 1Gpbs	275μ με ημί-διπλή ή πλήρη διπλή οπτική ίνα 62.5micron MM	MM ή SM οπτική ίνα
1000BASELX	1000Mbps ή 1Gpbs	316μ με ημί-διπλή οπτική ίνα 50micron MM	MM ή SM οπτική ίνα
1000BASELX	1000Mbps ή 1Gpbs	550μ με πλήρη διπλή οπτική ίνα 50micron MM	MM ή SM οπτική ίνα
1000BASELX	1000Mbps ή 1Gpbs	5000μ με πλήρη διπλή οπτική ίνα SM	MM ή SM οπτική ίνα

Πίνακας 3: Πίνακας Προτύπων Gigabit Ethernet.

2.2 Εύρος ζώνης

Το εύρος ζώνης είναι ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει φάσματα συχνοτήτων ηλεκτρικών σημάτων ή ακτινοβολιών. Το εύρος ζώνης του φάσματος συχνοτήτων ενός σήματος είναι η διαφορά της μεγαλύτερης από τη μικρότερη συχνότητα του. Η μαθηματική σχέση που το περιγράφει είναι η:

$$BW=f_{max}-f_{min}$$

Εύρος ζώνης συχνοτήτων μίας ηλεκτρονικής διάταξης ονομάζεται η περιοχή συχνοτήτων μέσα στην οποία το σήμα της εισόδου περνάει αναλλοίωτο στην έξοδο.

Η χωρητικότητα ενός μέσου μετάδοσης σχετίζεται στενά με το εύρος ζώνης του καναλιού και ορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα στην οποία η γραμμή μπορεί να μεταδώσει πληροφορίες. Πιο

συγκεκριμένα αυτά τα δύο μεγέθη είναι ανάλογα με την μαθηματική εξίσωση που τα συσχετίζει, η οποία είναι:

$$C = 2 * B * \log_2 M(1)$$

με το M να είναι ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων του σήματος- και πιο συγκεκριμένα το πλήθος των διαφορετικών σταθμών τάσης που το χαρακτηρίζει. Η χωρητικότητα του μέσου διάδοσης συμβολίζεται με το C , ενώ το εύρος ζώνης του καναλιού συμβολίζεται με το γράμμα B .

2.3 CSMA/CD

Το πρωτόκολλο CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) αποτελεί μέθοδο ελέγχου των μέσων πρόσβασης και χρησιμοποιήθηκε αρχικά πολύ στις πρώτες τεχνολογίες Ethernet. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί ένα σύστημα ανίχνευσης, στο οποίο ένας σταθμός εκπομπής ανιχνεύει συγκρούσεις με άλλους σταθμούς κατά την μετάδοση ενός πλαισίου και αμέσως διακόπτει την αποστολή. Αφού ανιχνευθεί η σύγκρουση ο σταθμός σταματάει να στέλνει πακέτα, στέλνει ένα σήμα εμπλοκής και περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να ξαναστείλει το πακέτο.

Η διαδικασία που ακολουθείται για να ξεκινήσει η αποστολή ενός πλαισίου είναι η εξής:

- Είναι το πλαίσιο έτοιμο για αποστολή; Εάν ναι προχωράει στο επόμενο βήμα.
- Είναι ο δίαυλος ανενεργός; Εάν όχι περιμένει μέχρι να είναι έτοιμος.
- Ξεκινάει η μετάδοση και ελέγχει για συγκρούσεις κατά την αποστολή.
- Υπήρξε σύγκρουση; Εάν ναι προχωράει στην διαδικασία εντοπισμένης σύγκρουσης.

-
- Επαναφορά μετρητή αναμετάδοσης και σταματάει η αποστολή πλαισίου.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν το πλαίσιο έχει αποσταλεί κανονικά ή έχει ανιχνευθεί σύγκρουση κατά την μετάδοση.

Η διαδικασία που ακολουθείται αφού έχει αναγνωριστεί σύγκρουση είναι η εξής:

- Συνεχίζει τη μετάδοση (με σήμα εμπλοκής αντί το κανονικό πλαίσιο) μέχρι να φτάσει τον ελάχιστο χρόνο πακέτου για να βεβαιωθεί ότι η σύγκρουση έχει ανιχνευθεί από όλους τους δέκτες.
- Αύξηση του μετρητή αναμετάδοσης.
- Έχουν φτάσει οι προσπάθειες αποστολής στο μέγιστο αριθμό; Εάν ναι γίνεται διακοπή της αποστολής.
- Υπολογισμός και αναμονή για κάποιο χρονικό διάστημα βασισμένο στον αριθμό των συγκρούσεων.
- Ξεκινάει από την αρχή της πρώτης διαδικασίας.

Οι μέθοδοι αναγνώρισης συγκρούσεων διαφέρουν ανάλογα με το μέσο μεταφοράς δεδομένων. Ωστόσο, σε ένα μέσο σαν το 10BASE5 ή 10BASE2 οι συγκρούσεις αναγνωρίζονται συγκρίνοντας τα δεδομένα που λήφθηκαν με αυτά που στάλθηκαν ή αναγνωρίζοντας υψηλότερο από το κανονικό πλάτος σήματος στην αρτηρία.

2.4 Μορφοποίηση πλαισίου Ethernet

Ένα πακέτο αποτελεί τη βασική μονάδα πληροφορίας που μεταφέρεται στα δίκτυα. Τα δεδομένα στα δίκτυα υπολογιστών δεν μεταφέρονται με τυχαία ακολουθία αλλά διαιρεμένα σε μικρές ενότητες που ονομάζονται πακέτα, τα οποία και στέλνονται μεμονωμένα.

Το πλαίσιο Ethernet αποτελείται και αυτό από ένα πακέτο δεδομένων. Πριν όμως το πακέτο χρειαστεί να μεταφερθεί μέσω του δικτύου Ethernet, πρέπει να ενθυλακωθεί μέσα σε ένα πλαίσιο Ethernet. Η μορφή αυτού του πλαισίου είναι η εξής.

1. **Διεύθυνση παραλήπτη:** η οποία έχει μέγεθος 6 byte και αντιστοιχεί στην φυσική διεύθυνση (MAC) του παραλήπτη.
2. **Διεύθυνση αποστολέα:** η οποία και αυτή έχει μέγεθος 6 byte και αντιστοιχεί στην φυσική διεύθυνση (MAC) του αποστολέα.
3. **Τύπος των δεδομένων** του πλαισίου με μέγεθος 2 byte.
4. **Δεδομένα** με μέγεθος που κυμαίνεται από 46 έως 1500 byte. Τα δεδομένα αυτά δεν είναι τα καθαρά δεδομένα του πακέτου αλλά περιέχουν και κεφαλίδες των ανώτερων επιπέδων.
5. **Έλεγχος σφαλμάτων ή CRC** με μέγεθος 4 byte και αντιστοιχεί στον έλεγχο ομαλής μετάδοσης των δεδομένων της κεφαλίδας.

2.5 Αμφίδρομο (Duplex)

Αμφίδρομο (Duplex) καλείτε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα σημείο προς σημείο το οποίο αποτελείται από δύο συνδεδεμένους κόμβους που μπορούν να επικοινωνήσουν ό ένας με τον άλλον αμφίδρομα. Έχει δύο σαφώς καθορισμένες

μεταδόσεις δεδομένων, με την κάθε μετάδοση να μεταφέρει δεδομένα μόνο προς μία κατεύθυνση (από τον Α κόμβο στον Β ή μία κατεύθυνση και από τον Β στον Α η άλλη). Υπάρχουν δύο ειδών duplex τηλεπικοινωνιακά συστήματα το πλήρη αμφίδρομο(full-duplex) και το ημί-αμφίδρομο(half-duplex).

1. Πλήρως αμφίδρομο

Στο πλήρως αμφίδρομο τηλεπικοινωνιακό σύστημα και οι δύο κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους συγχρόνως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι το τηλέφωνο.

2. Ημί-αμφίδρομο

Στο ημί-αμφίδρομο τηλεπικοινωνιακό σύστημα υπάρχουν δύο σαφώς καθορισμένα ξεχωριστά κανάλια και ο κάθε κόμβος μπορεί να επικοινωνήσει με τον άλλον αλλά όχι συγχρόνως, καθώς η επικοινωνία γίνεται μόνο από την μία πλευρά κάθε φορά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα Walkie-Talkie που ο κάθε κόμβος μπορεί είτε να ακούει είτε να μιλάει καθώς δεν γίνεται να μιλάνε και οι δύο συγχρόνως.



Κεφάλαιο 3

10G Ethernet

Το πρότυπο IEEE 802.3ae (10 Gigabit Ethernet πρότυπο) του 2002, διαφέρει από τα προηγούμενα πρότυπα Ethernet γιατί η μεταφορά δεδομένων γίνεται μόνο μέσω οπτικών ινών και η λειτουργία του είναι full-duplex (τα πρωτόκολλα ανίχνευσης σύγκρουσης είναι περιττά CSMA/CD). Υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης χάλκινων καλωδίων αλλά χρειάζονται καλώδια υψηλότερης ποιότητας, καθώς οι απαιτήσεις εύρους ζώνης είναι πολύ μεγάλες. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι της τάξης των 10Gbps και διατηρεί τις σημαντικές ιδιότητες του Ethernet, όπως η μορφή του πακέτου κάνοντας εύκολα μεταβιβάσιμες τις τρέχουσες δυνατότητες στο νέο πρότυπο.

Το 10 Gigabit Ethernet επεκτείνει το πρότυπο IEEE 802.3ae σε ενσύρματη ταχύτητα της τάξης των 10 Gbps και επιτρέπει το δίκτυο του Ethernet να χρησιμοποιηθεί σε WAN δίκτυα. Παρέχει αύξηση στο εύρος ενώ διατηρεί τη συμβατότητα με τις διεπαφές 802.3 που είναι ήδη εγκατεστημένες και διατηρεί τις αρχές της λειτουργίας και διαχείρισης δικτύου.

Η αρχιτεκτονική του Ethernet, σύμφωνα με το μοντέλο OSI είναι ουσιαστικά πρωτόκολλα του επιπέδου 1 και 2. Το 10G Ethernet διατηρεί τα σημαντικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής αυτής όπως το πρωτόκολλο MAC, τη μορφοποίηση του πλαισίου Ethernet, και το ελάχιστο και μέγιστο μέγεθος του πλαισίου. Επειδή όμως είναι τεχνολογία full-duplex μόνο δεν χρειάζεται το πρωτόκολλο CSMA/CD που χρησιμοποιούσαν οι παλαιότερες τεχνολογίες Ethernet.

Στο φυσικό επίπεδο (Επίπεδο 1) του μοντέλου OSI, μία φυσικού επιπέδου συσκευή (PHY), συνδέει την οπτική ίνα στο επίπεδο MAC μέσα από μία τεχνολογία συνδεσιμότητας. Η αρχιτεκτονική Ethernet χωρίζει περαιτέρω το φυσικό επίπεδο σε τρία υπό-επίπεδα: Physical Medium Dependent ή Φυσικό μέσο εξάρτησης (PMD), Physical Medium Attachment ή Φυσικό μέσο επισύναψης (PMA), και Physical Coding Sublayer ή Φυσικό επίπεδο κωδικοποίησης (PCS). Το PMD υπό-επίπεδο παρέχει την φυσική σύνδεση και τα σήματα στο μέσο (οι οπτικοί δέκτες είναι PMD). Το PCS αποτελείται από κωδικοποίηση (πχ 64B/66B) και από έναν serializer ή έναν πολυπλέκτη. Το πρότυπο IEEE 802.3ae καθορίζει δύο τύπους PHY, τον LAN PHY και τον WAN PHY. Οι δύο τύποι ουσιαστικά έχουν την ίδια λειτουργία με την διαφορά ότι οι WAN PHY έχουν εκτεταμένο σύνολο γνωρισμάτων που επιτρέπει την σύνδεση με δίκτυα SONET.

3.1 10Gigabit Ethernet Project

Ο σκοπός του 10 Gigabit Ethernet προτύπου που προτάθηκε, ήταν να επεκτείνει το 802.3 πρωτόκολλο σε λειτουργικές ταχύτητες των 10Gbps και να επεκτείνει τις εφαρμογές Ethernet ώστε να περιλαμβάνουν και συνδέσμους WAN. Αυτό θα παρέχει σημαντική αύξηση στο εύρος διατηρώντας όμως τη μέγιστη δυνατή συμβατότητα με τις είδη εγκατεστημένες διεπαφές, τις προηγούμενες επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη και τις αρχές της λειτουργίας και διαχείρισης του δικτύου. Για να μπορέσει να υιοθετηθεί σαν πρότυπο ο οργανισμός IEEE 802.3ae πρότεινε 5 κριτήρια τα οποία το νέο 10Gigabit Ethernet P πρότυπο θα πρέπει να τηρεί:

- Θα πρέπει να απευθύνεται σε διευρυμένες αγορές, να υποστηρίζει μία ευρεία σειρά εφαρμογών, με πολλαπλούς προμηθευτές να το υποστηρίζουν και πολλές κατηγορίες πελατών.
- Θα πρέπει να είναι συμβατό με τα είδη υπάρχοντα 802.3 πρότυπα πρωτοκόλλων, όπως επίσης και με τις προδιαγραφές διαχείρισης τόσο του

Open Systems Interconnection (OSI) όσο και με το Simple Network Management Protocol (SNMP).

- Θα πρέπει να διαφέρει από τα άλλα 802.3 πρότυπα, κάνοντας το ξεχωριστή λύση για κάποιο πρόβλημα και όχι εναλλακτική λύση.
- Θα πρέπει να έχει αποδείξει την τεχνική σκοπιμότητα του πριν από την τελική επικύρωση του.
- Τέλος θα πρέπει να είναι οικονομικά εφικτό για τους πελάτες να το χρησιμοποιήσουν, παρέχοντας λογικό κόστος, συμπεριλαμβανομένου του κόστους εγκαταστάσεις και διαχείρισης, για την αναμενόμενη αύξηση των επιδόσεων.

3.2 Η Συμμαχία του 10 Gigabit Ethernet

Η συμμαχία του 10 Gigabit Ethernet (10GEA) ιδρύθηκε με σκοπό την προώθηση της τεχνολογίας 10 Gigabit Ethernet και να ενθαρρύνει την εφαρμογή της ως βασική τεχνολογία δικτύωσης για τη σύνδεση διαφόρων υπολογιστών, δεδομένων και τηλεπικοινωνιακών συσκευών.

Ο καταστατικός χάρτης της ανωτέρω συμμαχίας περιλαμβάνει:

- Στήριξη της προσπάθειας που διεξήχθη από την ομάδα εργασίας της IEEE 802.3, για τα πρότυπα 10 Gigabit Ethernet.
- Συμβολή πόρων για τη διευκόλυνση της σύγκλισης και της συναίνεσης σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές.
- Προώθηση της επίγνωσης της βιομηχανίας, της αποδοχής και εξέλιξης του προτύπου 10 Gigabit Ethernet.
- Επιτάχυνση της υιοθέτησης και χρήσης των προϊόντων και υπηρεσιών του 10 Gigabit Ethernet.

-
- Παροχή πόρων για τη δημιουργία, και επίδειξη της διαλειτουργικότητας για πολλαπλούς προμηθευτές, και γενικά να ενθαρρύνει και να προωθήσει τη διαλειτουργικότητα και κάνει εκδηλώσεις.

Προώθηση της επικοινωνίας μεταξύ των προμηθευτών και των χρηστών της τεχνολογίας και των προϊόντων του 10 Gigabit Ethernet.

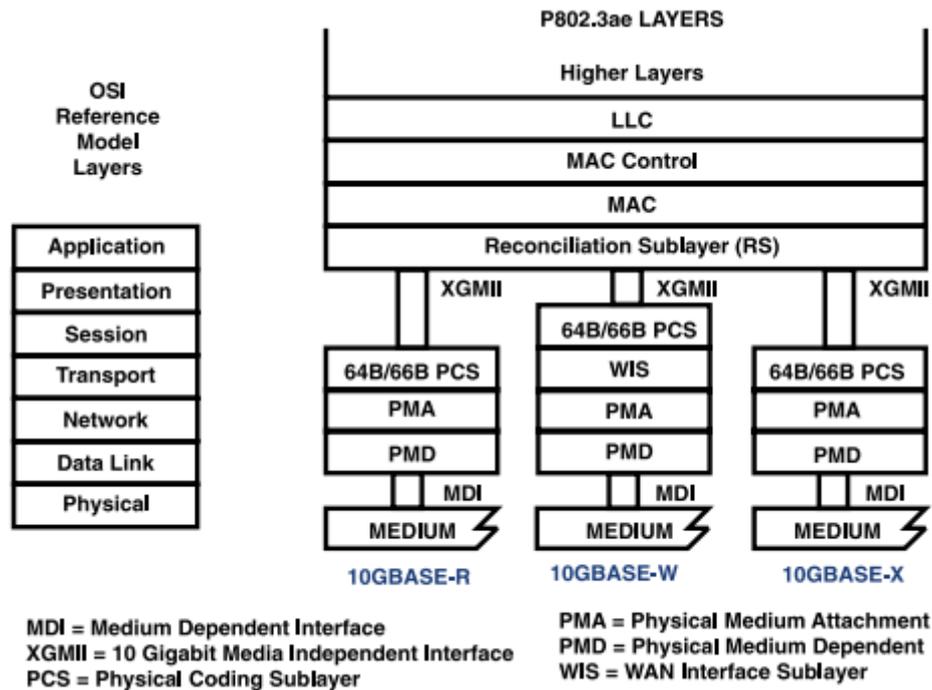
3.3 10 Gbit Ethernet Standard

Κατά το μοντέλο του ISO για τις διασυνδέσεις των ανοιχτών συστημάτων (OSI), το Ethernet αποτελεί ένα πρωτόκολλο επιπέδου 2. Το 10 Gigabit Ethernet χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IEEE 802.3 Ethernet Media Access Control (MAC), τη δομή πλαισίου Ethernet IEEE 802.3 και το μέγιστο και ελάχιστο IEEE 802.3 μέγεθος πλαισίου.

Όπως τα 1000BASE-X και 1000BASE-T παρέμειναν πιστά στο μοντέλο του Ethernet κατά την ανάπτυξή τους, έτσι και το 10Gigabit Ethernet συνεχίζει τη φυσική εξέλιξη αυτού τόσο σε ταχύτητα, όσο και σε απόσταση. Παρόλο που αποτελεί μια full-duplex και fiber-only τεχνολογία, δεν χρειάζεται κάποιο carrier-sensing πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση συγκρούσεων (CSMA/CD) το οποίο να καθορίζει τις πιο αργές, half-duplex τεχνολογίες Ethernet. Από κάθε άποψη, το 10 Gigabit Ethernet παραμένει πιστό στο αρχικό και παραδοσιακό μοντέλο του Ethernet.

Η συσκευή του φυσικού επιπέδου Ethernet (PHY), η οποία αντιστοιχεί στο Επίπεδο 1 του μοντέλου OSI, συνδέεται με κάποιο μέσο (οπτικό ή χαλκού) με το επίπεδο MAC, το οποίο αντιστοιχεί στο Επίπεδο 2 του μοντέλου OSI. Η αρχιτεκτονική του Ethernet χωρίζει το PHY (Επίπεδο 1) σε Εξαρτώμενο Φυσικό Μέσο (PMD) και σε Φυσικό Υπόστρωμα Κωδικοποίησης (PCS), για παράδειγμα, οι οπτικοί πομποδέκτες είναι PMD. Τα PCS απαρτίζονται από κωδικοποιητή και από σειριακές συναρτήσεις ή από πολυπλέκτες.

Οι προδιαγραφές του 802.3ae ορίζουν δύο τύπους του PHY, το LAN PHY και το WAN PHY. Ο δεύτερος τύπος φέρει ένα εκτεταμένο σύνολο χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, οι οποίες έχουν προστεθεί στα χαρακτηριστικά του LAN PHY. Τα εν λόγω PHY διακρίνονται αποκλειστικά από τα PCS. Όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί, υπάρχει ένας αριθμός PCS, όπως και PMD τύπων.



Εικόνα 2: Τα συστατικά αρχιτεκτονικής του LAN και του WAN PHY.

3.4 Διεπαφή ολοκληρωμένου κυκλώματος (XAUI)

Ανάμεσα στις πολλές καινοτομίες της ομάδας του 10 Gigabit Ethernet είναι και η διεπαφή με το όνομα XAUI. Το κομμάτι 'AUI' από το όνομα της είναι από το Ethernet Attachment Unit Interface και το 'X' αντιπροσωπεύει το ρωμαϊκό αριθμητικό 10 και συμβολίζει 10 gigabit ανά δευτερόλεπτο. Έχει σχεδιαστεί ως μία προέκταση διεπαφής, και η διεπαφή που επεκτείνει είναι η XGMII, η οποία είναι η ανεξάρτητη διεπαφή μέσου του 10 Gigabit. Η διεπαφή XGMII είναι μία διεπαφή με εύρος 72 σημάτων (Διαδρομές 32-bit δεδομένων για κάθε εκπομπή και λήψη), που

μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσάρτηση του Ethernet MAC στο PHY του. Το XAUI μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για το XGMII ή σαν επέκτασή του, σε εφαρμογές chip-to-chip, που είναι χαρακτηριστικό των περισσότερων διασυνδέσεων Ethernet MAC σε PHY.

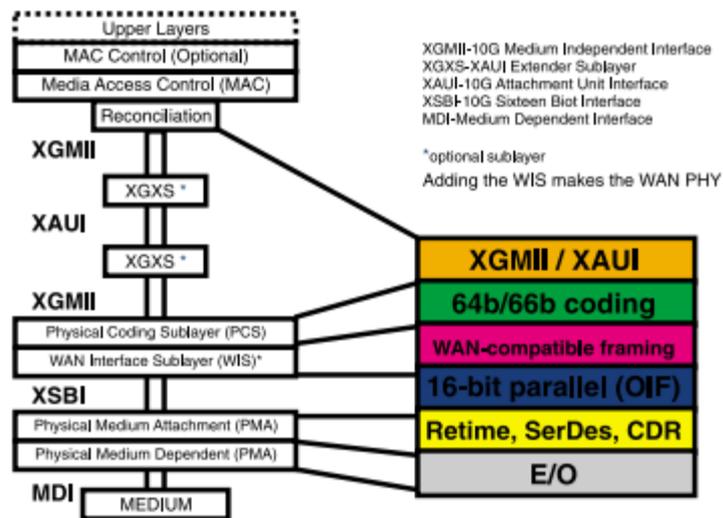
Το κύκλωμα XAUI έχει εξελιχθεί άμεσα από το Gigabit Ethernet 1000BASE-X PHY και είναι αυτό-συγχρονισμένος δίαυλος, με χαμηλό αριθμό pin και ταχύτητα διασύνδεσης 2,5 φορές μεγαλύτερη από αυτή του 1000BASE-X. Τοποθετώντας κατάλληλα τέσσερις σειριακές γραμμές, η 4-bit διεπαφή XAUI υποστηρίζει την δεκαπλάσια ταχύτητα που απαιτείται από το 10 Gigabit Ethernet.

Το κύκλωμα XAUI χρησιμοποιεί την ίδια ισχυρή μετάδοση 8B/10B του 1000BASE-X για να παρέχει υψηλό επίπεδο ακεραιότητας του σήματος μέσα στο χάλκινο καλώδιο που είναι χαρακτηριστικό στις chip-to-chip μεταδόσεις. Πρόσθετα οφέλη της τεχνολογίας περιλαμβάνουν χαμηλές παρεμβολές EMI(ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές) λόγω του ότι είναι αυτό-χρονισμένο, επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερη απόσταση στη διόρθωση σφαλμάτων και απομόνωσης των λαθών, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, και τέλος δίνει τη δυνατότητα να ενσωματωθεί ή έξοδος ή η είσοδος του XAUI εντός των ευρέως χρησιμοποιούμενων διαδικασιών CMOS.

Ένα πλήθος από κατασκευαστές έχουν ήδη ανακοινώσει τη διαθεσιμότητα της διεπαφής XAUI σε αυτόνομα κυκλώματα, προσαρμοσμένο ASIC (συγκεκριμένη εφαρμογή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων), ακόμα και σε FPGA(προγραμματιζόμενες συστοιχίες πυλών). Η τεχνολογία XAUI του 10 Gigabit Ethernet είναι όμοια ή ισοδύναμη με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε άλλα βασικά πρότυπα του κλάδου όπως η InfiniBand(TM), 10 Gigabit Fiber Channel, και γενικής χρήσης διασυνδέσεις χαλκού και οπτικών ινών. Αυτό εξασφαλίζει το χαμηλότερο δυνατό κόστος για 10 Gbps συνδέσεις, μέσα από τον υγιή ανταγωνισμό της ελεύθερης αγοράς.

Συγκεκριμένα, οι στοχευμένες XAUI εφαρμογές περιλαμβάνουν MAC σε κυκλώματα φυσικού επιπέδου συνδέσεις και MAC σε οπτικό πομποδέκτη διασύνδεση. Η διεπαφή XAUI είναι η προτεινόμενη διεπαφή για το 10 Gigabit Pluggable οπτικό module, που ονομάζεται XGP. Ολοκληρωμένες λύσεις XAUI μαζί

με το XGP επιτρέπουν χαμηλό κόστος στο 10 Gigabit Ethernet και άμεση διασύνδεση πολλών θυρών MAC με την οπτική μονάδα.



Εικόνα 3: Λειτουργίες του XAUI σαν επέκταση της διεπαφής μεταξύ του MAC και PCS.

3.5 Εξαρτώμενο φυσικό μέσο (PMD)

Η ομάδα δημιουργίας του IEEE 802.3ae ανέπτυξε ένα σχέδιο προτύπων που παρέχει ένα φυσικό στρώμα που υποστηρίζει τις αποστάσεις συνδέσεων για οπτική ίνα ως μέσο. Για την επίτευξη αυτών των αποστάσεων-στόχων, επιλέχθηκαν 4 εξαρτώμενα φυσικά μέσα(PMD). Για να εκπληρώσει τους στόχους των 2χλμ και 10χλμ επιλέχθηκε μία μονότροπη οπτική ίνα 1310 nm σειριακή. Για την απόσταση των 40χλμ επιλέχθηκε μία σειριακή 1550 nm μονότροπη οπτική ίνα. Η υποστήριξη αποστάσεων 40 χιλιομέτρων είναι ένα επίτευγμα του Gigabit Ethernet που έχει εγκατασταθεί με μεγάλη επιτυχία σε μητροπολιτικά και ιδιωτικά δίκτυα και σε εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων. Για την απόσταση των 65 μέτρων επιλέχθηκε πολύτροπη οπτική ίνα 850 nm. Επιπλέον επιλέχθηκαν δύο εκδοχές πολυπλεξίας διαίρεσης πλάτους κύματος, και μονότροποι οπτική ίνα 1310 nm για αποστάσεις 10χλμ, και πολύτροπη οπτική ίνα 1310 nm για την απόσταση των 300 μέτρων.

PMD (οπτικός πομπός)	Είδος οπτικής ίνας	Απόσταση (m)
850 nm σειριακά	Πολύτροπη	65
1310 nm WWDM	Πολύτροπη	300
1310 nm WWDM	Μονότροπη	10.000
1310 nm σειριακά	Μονότροπη	10.000
1550 nm σειριακά	Μονότροπη	40.000

Πίνακας 4: Εισαγωγή των PMDs που έχουν επιλεγεί για την επίτευξη των στόχων απόσταση της ειδικής ομάδας.

3.6 Φυσικό επίπεδο (PHY)

Το φυσικό επίπεδο LAN και το φυσικό επίπεδο WAN λειτουργούν στα κοινά PMDs, ως εκ τούτου υποστηρίζουν τις ίδιες αποστάσεις. Αυτά τα PHY διακρίνονται μόνο από το υπό-επίπεδο της φυσικής κωδικοποίησης(PCS). Το φυσικό επίπεδο LAN του 10 Gigabit Ethernet έχει ως στόχο να υποστηρίζει τις ήδη υπάρχοντες Gigabit εφαρμογές με δέκα φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης, με την πιο αποδοτική λύση. Για λόγους συμβατότητας με τα ήδη υπάρχοντα WAN δίκτυα το WAN PHY του 10 Gigabit υποστηρίζει συνδέσεις με υπάρχουσες και μελλοντικές εγκαταστάσεις του SONET/SDH. Το WAN PHY διαφέρει από το LAN PHY συμπεριλαμβάνοντας ένα απλοποιημένο πλαίσιο SONET/SDH στο υπό-επίπεδο της WAN διεπαφής(WIS). Επειδή ο ρυθμός γραμμής του SONET OC-192 /SDH STM-64 είναι μέσα σε ένα μικρό ποσοστό των 10 Gbps, είναι σχετικά απλή η εφαρμογή ενός MAC που μπορεί να λειτουργήσει με ένα LAN PHY στα 10 Gbps ή με ένα WAN PHY με ωφέλιμο φορτίο περίπου στα 9.29 Gbps.

PHY (chipsets)	Serial LAN	Serial WAN	4-Lane LAN	
	64/66	64/66		XAUI
		WIS		
	SerDes			
PMD (optics)	Serial 850nm (mmf 65m) 1310nm (smf 10km) 1550nm (smf 40km)		WWDM 1310nm (mmf 300m) 1310nm (smf 10km)	

Εικόνα 4: Εννοιολογικό διάγραμμα των PHYs και PMDs.

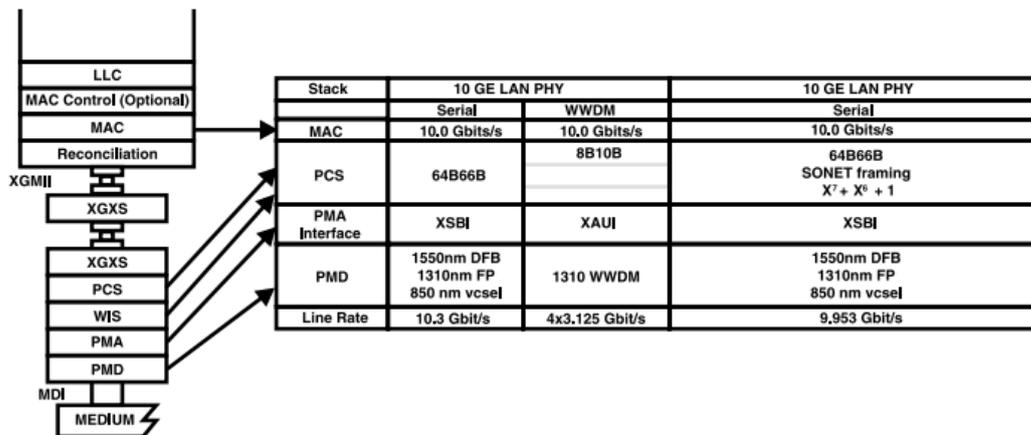
Προκειμένου να καταστούν δυνατές χαμηλού κόστους WAN PHY υλοποιήσεις, απορρίφθηκαν συμμορφώσεις με το SONET/SDH όπως ορισμένες οπτικές προδιαγραφές. Το WAN PHY είναι ουσιαστικά μία οικονομικά αποδοτική σύνδεση που χρησιμοποιεί τα PMD του Ethernet για να παρέχει πρόσβαση στην υποδομή SONET, δίνοντας έτσι την δυνατότητα προσάρτησης διακοπών βασισμένων σε πακέτα IP/Ethernet στο δίκτυο SONET/SDH και στις υποδομές πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου. Αυτό επιτρέπει στο Ethernet να χρησιμοποιεί το SONET/SDH για μεταφορές του πρώτου επιπέδου στο δίκτυο μεταφορών του WAN.

Επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το Ethernet παραμένει ένα πρωτόκολλο ασύγχρονης σύνδεσης. Όπως σε κάθε δίκτυο Ethernet έτσι και στο 10 Gigabit Ethernet, ο χρονισμός και ο συγχρονισμός πρέπει να διατηρηθεί μέσα σε κάθε χαρακτήρα στη σειρά των bit δεδομένων, αλλά ο αποδέκτης διακόπτης, διανομέας ή δρομολογητής, μπορεί να αλλάξει τον χρονισμό και να επανασυγχρονήσει τα δεδομένα. Σε αντίθεση τα συγχρονισμένα πρωτόκολλα, όπως το SONET/SDH, απαιτούν κάθε συσκευή να έχει το ίδιο ρολόι συστήματος για να αποφευχθεί η μετατόπιση χρονισμού μεταξύ μετάδοσης και απόδοσης.

Το WAN PHY συνδέει εξοπλισμό δεδομένων όπως δρομολογητές ή διακόπτες σε ένα SONET/SDH ή οπτικό δίκτυο. Αυτό επιτρέπει την απλή επέκταση των Ethernet συνδέσεων σε αυτά τα δίκτυα. Έτσι δύο δρομολογητές μπορούν να

συμπεριφερθούν σαν είναι συνδεδεμένοι απευθείας μεταξύ τους μέσω μίας ενιαίας σύνδεσης Ethernet. Δεδομένου ότι δεν χρειάζονται συσκευές, όπως αποθήκευσης προς τα εμπρός, ή γέφυρες, όλα τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας IP για διαφοροποιημένες υπηρεσίες, λειτουργούν πάνω από το εκτεταμένο δίκτυο 10 Gigabit Ethernet που συνδέει τους δύο δρομολογητές.

Για την απλοποίηση της διαχείρισης των εκτεταμένων 10 Gigabit Ethernet συνδέσεων, το WAN PHY παρέχει τις περισσότερες από τις πληροφορίες διαχείρισης του SONET/SDH, επιτρέποντας στον διαχειριστή του δικτύου να βλέπει όλες τις συνδέσεις Ethernet WAN PHY σαν να είναι συνδέσεις SONET/SDH. Είναι δυνατόν στη συνέχεια να γίνει παρακολούθηση της απόδοσης του δικτύου και η απομόνωση σφαλμάτων σε ολόκληρο το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων και των 10 Gigabit Ethernet WAN συνδέσεων από το σταθμό διαχείρισης του SONET/SDH.



Εικόνα 5: Λεπτομερής επεξήγηση των PHY LAN και WAN και συναφών PMD.

3.7 Πρότυπα 10Gigabit Ethernet

Με την πάροδο των χρόνων το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) έχει δημοσιεύσει αρκετά πρότυπα που αφορούν το 10Gigabit Ethernet.

Πρότυπο	Έτος δημοσίευσης	Περιγραφή
802.3ae	2002	10 Gbit/s για LAN (10GBASE-SR, 10GBASE-ER, 10GBASE-LX4) και για WAN (10GBASE-SW, 10GBASE-LW, 10GBASE-EW) μέσω οπτικής ίνας.
802.3ak	2004	10GBASE-CX4 με ταχύτητα 10Gbit/s μέσω ομοαξονικού καλωδίου.
802.3-2005	2005	Αναθεώρηση των προτύπων που ενσωματώνουν 802.3ae και 802.3ak.
802.3an	2006	10GBASE-T με ταχύτητα 10Gbits/s μέσω συνεστραμμένου καλωδίου.
802.3ap	2007	1 και 10Gbit/s μέσω κυκλωμάτων πλακετών(10GBASE-KR και 10GBASE-KX4).
802.3aq	2006	10GBASE-LRM 10Gbit.s μέσω πολύτροπης οπτικής ίνας με ενισχυμένη εξίσωση.
802.3-2008	2008	Αναθεώρηση των βασικών προτύπων που ενσωματώνουν τις 802.3an/ap/aq/as τροποποιήσεις με δύο διορθώσεις.
802.3av	2009	10GBASE-PR με ταχύτητα 10Gbit/s PHY
802.3-2015	2015	Η τελευταία έκδοση του βασικού προτύπου.
802.3bz	2016	2.5 και 5 Gigabit μέσω συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίων, 2.5GBASE-T και 5GBASE-T.

Πίνακας 5: Πίνακας προτύπων 10 Gigabit Ethernet.

Σύνδεση	Σύνδεση	Μέσο	Είδος μέσου	Μήκος Κύματος	Μέγιστη απόσταση
10GBASE- USR	Πολύ μικρής εμβέλειας	X2, SFP+	Ίνα	Σειριακή πολύτροπη	850nm 100 ή 150 m
10GBASE- SR	Μικρής εμβέλειας	XENPAK , X2, XFP, SFP+	Ίνα	Σειριακή πολύτροπη	850 nm 300 m -400 m
10GBASE- LR	Μεγάλης εμβέλειας	XENPAK , X2, XFP, SFP+	Ίνα	Σειριακή μονότροπη	1310 nm 10χλμ
10GBASE- ER	Εκτεταμένης Εμβέλειας	XENPAK , X2,	Ίνα	Σειριακή μονότροπη	1550 nm 40χλμ

		XFP, SFP+				
10GBASE-ZR		XENPAK , X2, SFP+	Ίνα	Σειριακή μονότροπη	1550 nm	80χλμ
10GBASE LX4		XENPAK , X2, SFP+	Ίνα	WDM μονότροπη ή πολύτροπη	1310 nm	300 m (μονότροπη)- 10χλμ (πολύτροπη)
10GBASE-LRM	Μεγάλης εμβέλειας πολύτροπη	XENPAK , X2, SFP+	Ίνα	Σειριακή πολύτροπη	1310 nm	220 m
10GBASE-CX4		XENPAK , X2	Χαλκός	InfiBand 4X ομοαξονικό 8 ζευγών		15 m
SFP+Direct Attach		SFP+	Χαλκός	Ομοαξονικό 2 ζευγών		15 m
10GBASE-T		8P8C	Χαλκός	Καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους		55 m -100 m
10GBASE-KX4	802.3ap		Χαλκός	PCB		1m
10GBASE-KR	802.3ap		Χαλκός	PCB		1 m
10GBASE-PR	802.3av		Ίνα	Οπτικό δίκτυο	1270 nm /1577 nm	20χλμ

Πίνακας 6: Μονάδες φυσικού στρώματος.

Παρακάτω αναλύονται οι πιο σημαντικοί τύποι θύρας:

1. Οπτική ίνα

10GBASE-SR

Τύπος θύρας μικρής εμβέλειας, για πολύτροπες ίνες που χρησιμοποιεί laser 850nm. Μεταδίδει δεδομένα με ταχύτητα 10.3125Gbit/s. Η μέγιστη απόσταση εξαρτάται από το είδος οπτικής ίνας που χρησιμοποιείται και κυμαίνεται από 25 μέτρα μέχρι 400.

10GBASE-LR

Τύπος θύρας μεγάλης εμβέλειας για μονότροπες ίνες που χρησιμοποιεί laser 1310nm. Η ταχύτητα μετάδοσης φτάνει τα 10.315Gbd.

10GBASE-LRM

Εκτεταμένης εμβέλειας θύρα για μονότροπη ίνα που χρησιμοποιεί 1550nm laser. Η ταχύτητά της φτάνει τα 10.3125Gbit/s. Η μέγιστη απόσταση της είναι τα 40χλμ πάνω από μηχανικούς συνδέσμους.

10GBASE-ZR

Σχεδιάστηκε αποκλειστικά για απόσταση 80 χιλιομέτρων και το PHY της δεν περιλαμβάνεται στο IEEE 802.3ae. Οι σχεδιαστές βασίστηκαν στα δικά τους χαρακτηριστικά για να πετύχουν αυτή την απόσταση.

10GBASE-LX4

Θύρα και για τα δύο είδη οπτικών ινών. Χρησιμοποιεί τέσσερα ξεχωριστά laser που λειτουργούν με ταχύτητα 3.125Gbit/s το καθένα. Επιτρέπει αποστάσεις από 300 μέτρα μέχρι 10χιλιόμετρα με την χρήση μονότροπης ίνας.

2. Χαλκός

10GBASE-CX4

Το πρώτο πρότυπο που δημοσιεύτηκε και μπορεί να λειτουργήσει μέχρι 15 μέτρα απόσταση. Αποτελείται από 4 γραμμές και κάθε γραμμή ξεχωριστά μεταφέρει 3.125Gbd εύρος σήματος. Έχει το πλεονέκτημα χαμηλής κατανάλωσης, μικρού κόστους, αλλά είναι μεγαλύτερο σε μέγεθος με περισσότερα καλώδια από τις νεότερες εκδόσεις και έχει πολύ μικρότερη απόσταση λειτουργίας από την ίνα ή το 10GBASE-T.

10GBASE-T

Παρέχει 10 Gbit/s συνδέσεις πάνω από αθωράκιστα ή θωρακισμένα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών σε αποστάσεις μέχρι 300μ.

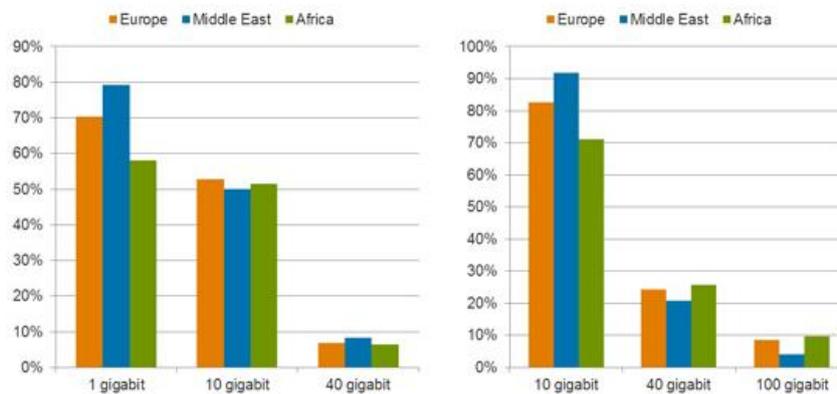
3.8 Εφαρμογές του 10 Gigabit Ethernet

Η αυξανόμενη κίνηση και οι απαιτήσεις των ανθρώπων για αυξημένη παροχή για δίκτυο, οδηγεί τους παρόχους δικτύου και τις ανάλογες εταιρίες να ερευνήσουν την ύπαρξη τεχνολογιών για πιο αυξημένη ταχύτητα, ώστε να καλυφθεί η ζήτηση και να λυθούν προβλήματα, όπως η αυξημένη ζήτηση bandwidth. Οι περισσότεροι χρήστες σήμερα χρησιμοποιούν την τεχνολογία του Ethernet. Παρόλο που τα περισσότερα δίκτυα αντιμετωπίζουν δυσκολίες και προβλήματα, το 10 Gigabit Ethernet φέρει αρκετά χαρακτηριστικά και κριτήρια για πιο αποτελεσματικά και αποδοτικά δίκτυα υψηλών ταχυτήτων:

- Εύκολη και απλή μετάβαση σε δίκτυα υψηλότερων αποδόσεων χωρίς διακοπή

- Χαμηλότερο κόστος έναντι των εναλλακτικών τεχνολογιών συμπεριλαμβανομένων τόσο των δαπανών απόκτησης όσο και της υποστήριξης.
- Γνωστά εργαλεία διαχείρισης.
- Δυνατότητα υποστήριξης νέων εφαρμογών και τύπων δεδομένων.
- Ευελιξία στο σχεδιασμό του δικτύου.
- Αποδεδειγμένη διαλειτουργικότητα.

Η χρήση του 10 gigabit Ethernet ήταν πολύ μεγάλη καθώς εκείνη την εποχή είχε το χαμηλότερο κόστος και ο ρυθμός μετάδοσης αρκετός για να καλύψει της ανάγκες των περισσότερων μεγάλων εταιρειών.

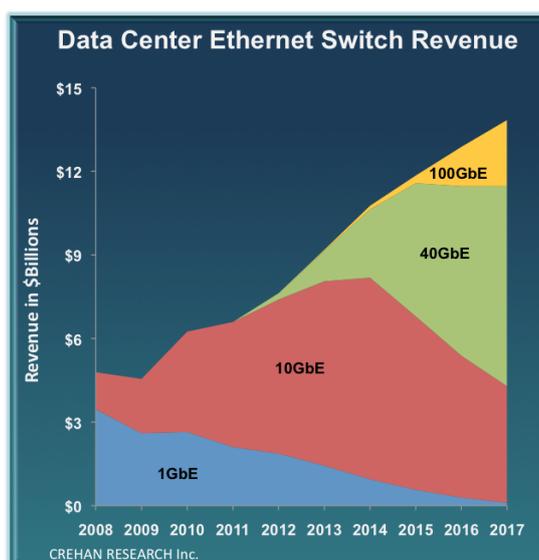


Εικόνα 6: 2013 Gigabit Ethernet

Οι διευθυντές των επιχειρήσεων και οι εταιρείες παροχής υπηρεσιών δικτύων πρέπει να κάνουν πολλές επιλογές όταν σχεδιάζουν δίκτυα. Έχουν πολλαπλά μέσα, τεχνολογίες και διασυνδέσεις για να επιλέξουν και να οικοδομήσουν μεγάλες συνδέσεις: Ethernet (100, 1000, και 10.000 Mbps), OC-12 (622 Mbps) και OC-48 (2.488 Gbps). Ο σχεδιασμός της τοπολογίας του δικτύου και η λειτουργία του έχει αλλάξει από την έλευση των έξυπνων switch Gigabit Ethernet πολλαπλών στρώσεων. Στα τοπικά δίκτυα, η βασική τεχνολογία του δικτύου παρουσιάζει ραγδαία μετατόπιση στο Gigabit Ethernet, ενώ υπάρχει μια αυξανόμενη τάση προς τα Gigabit δίκτυα Ethernet που μπορεί να λειτουργήσει σε μητροπολιτικές περιοχές.

Οι πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές του 10 Gigabit Ethernet είναι σε τοπικά δίκτυα LAN, MAN και WAN. Με την αυξανόμενη ανάγκη σε εύρος ζώνης αλλά και

την ανάγκη για συνδέσεις με μικρότερο κόστος το 10 Gigabit Ethernet μπορεί να ομαδοποιήσει πολλαπλές ροές Gigabit Ethernet σε ένα μοναδικό σύνδεσμο με κόστος κάτω του μισού από ότι χρειαζόταν για τις δέκα ξεχωριστές Gigabit συνδέσεις. Αποτελεί επίσης δίκτυο ραχοκοκαλιάς (Backbone) για τη σύνδεση πολλών περιοχών σε ένα κέντρο δεδομένων. Σε δίκτυα MAN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δικτυακή σύνδεση ανάμεσα σε απομακρυσμένες γεωγραφικά περιοχές.



Εικόνα 7 Κέρδος παρόχων από το Gigabit Ethernet

Το επόμενο βήμα για τις επιχειρήσεις και παροχής υπηρεσιών δικτύων είναι ο συνδυασμός του εύρους ζώνης πολλαπλών gigabit με ευφυή υπηρεσίες, έχοντας ως αποτέλεσμα ένα κλιμακούμενο έξυπνο δίκτυο πολλαπλών gigabit δίκτυα με υποδομή (backbone) και συνδέσεις server που κυμαίνονται έως και 10 Gbps. Σε απάντηση στις τάσεις της αγοράς, αυτή τη στιγμή έχουν αναπτυχθεί πάνω από δεκάδες χιλιόμετρα σε ιδιωτικά δίκτυα Gigabit Ethernet. Με το 10 Gigabit Ethernet, η βιομηχανία έχει αναπτύξει έναν τρόπο για να αυξηθεί όχι μόνο η ταχύτητα του 10 Gbps Ethernet, αλλά και για την επέκταση της απόστασης λειτουργίας και της διασυνδεσιμότητας. Μελλοντικά, οι διαχειριστές του δικτύου θα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν το 10 Gigabit Ethernet ως ακρογωνιαίο λίθο για ένα αρχιτεκτονικό δίκτυο που θα περιλαμβάνει και τοπικά δίκτυα, όπως MAN και WANs, χρησιμοποιώντας το Επίπεδο 2 του Ethernet ως βασικό λίθο.

Το εύρος ζώνης του Ethernet μπορεί να κλιμακωθεί από 10 Mbps έως 10 Gbps - μια αναλογία 1 προς 1000 - χωρίς συμβιβασμούς με ευφυείς υπηρεσίες δικτύου, όπως η δρομολόγηση του Επιπέδου 3, 4 και 7, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS), της κατηγορίας υπηρεσιών (CoS), της εξισορρόπησης του φορτίου στο server, την ασφάλεια και την πολιτική καθώς και τις δυνατότητες δικτύωσης που υπάρχουν. Λόγω της φύσης των ενιαίων Ethernet σε όλα τα περιβάλλοντα, όταν IEEE 802.3ae έχει αναπτυχθεί, οι υπηρεσίες αυτές μπορούν να παραδοθούν σε αυξημένους ρυθμούς και να στηρίζονται πάνω από όλες τις υποδομές φυσικού δικτύου στο LAN, MAN και WAN. Σε εκείνο το σημείο, η σύγκλιση της φωνής και των δεδομένων, γίνεται μια πραγματική επιλογή. Και, όπως το TCP / IP ενσωματώνει βελτιωμένες υπηρεσίες και χαρακτηριστικά, όπως σε πακέτα φωνής και βίντεο, το εν λόγω Ethernet μπορεί επίσης να φέρει τις υπηρεσίες αυτές χωρίς τροποποίηση.

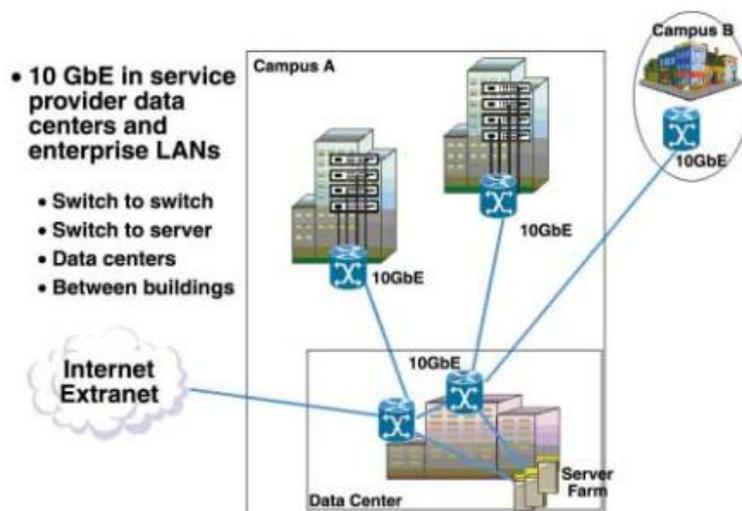
Το Ethernet ακόμη είναι εύκολα κατανοήσιμο, βρίσκεται παντού σχεδόν σε όλα τα δίκτυα και έχει την δυνατότητα ανάποδης συμβατότητας. Ένα πακέτο μπορεί να φύγει από μία θύρα 10 Gigabit Ethernet, να περάσει ένα δίκτυο πολυπλεξίας διαίρεσης κύματος και να φτάσει σε έναν προσωπικό υπολογιστή χωρίς να χρειαστεί να αλλάξουν τα πρωτόκολλα ούτε και η μορφή του πλαισίου. Το 10 Gigabit διατηρεί αυτή την απλότητα στην μετάβαση δεδομένων και πλέον με τις μεγάλες ταχύτητες μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τοπικά δίκτυα LAN, MAN και WAN με μεγάλες απαιτήσεις, αλλά και σε δίκτυα αποθήκευσης.

Ακόμα το 10 Gigabit Ethernet δεν μεγαλώνει μόνο τις ταχύτητες μεταφοράς των δεδομένων αλλά επεκτείνει και τη συνδεσιμότητα και τη λειτουργική απόσταση του μέχρι τα 40 χιλιόμετρα. Όπως και το Gigabit Ethernet υποστηρίζει μονότροπες και πολύτροπες οπτικές ίνες. Ωστόσο η απόσταση για τις μονότροπες οπτικές ίνες έχει αυξηθεί από τα 5 χιλιόμετρα στα 40 σε σχέση με το Gigabit Ethernet. Αυτό δίνει τη δυνατότητα σε εταιρείες που διαχειρίζονται τα δικά τους δίκτυα να μεταφέρουν τα κέντρα δεδομένων τους σε μία πιο αποδοτική θέση έως και 40 χιλιόμετρα μακριά από τα κεντρικά τους γραφεία και επιτρέπει την ύπαρξη πολλαπλών τέτοιων θέσεων μέσα σε αυτή την απόσταση.

Εκτός των υπολοίπων πλεονεκτημάτων του στην αγορά, οι 10 Gbps επικοινωνίες έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά το κόστος ανάπτυξης των νέων τεχνολογιών. Σε αντίθεση με τις 10 Gbps τηλεπικοινωνίες που χρησιμοποιούν laser, η

10 Gigabit Ethernet σύντομες συνδέσεις - λιγότερο από 40 χιλιόμετρα πάνω από μονότροπες ίνες - θα είναι σε θέση να χρησιμοποιούν χαμηλότερο κόστος, με οπτική ίνα και, σε ορισμένες περιπτώσεις, η κάθετη κοιλότητα της επιφάνειας εκπομπής laser (VCSEL), τα οποία έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν το κόστος του PMD. Επιπλέον, η βιομηχανία υποστηρίζεται από μια επιθετική αγορά κυκλωμάτων όπου παρέχονται εξαιρετικά ολοκληρωμένες λύσεις πυριτίου. Επιπροσθέτων, η αγορά του Ethernet τείνει να γίνεται άκρως ανταγωνιστική για νεοσύστατες επιχειρήσεις, φέροντας τη νέα γενιά της τεχνολογίας αντιμέτωπη με τους καθιερωμένους παρόχους Ethernet.

Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή υπολογιστική απόδοση όπως οι υπέρ-υπολογιστές η ομάδα από υπέρ-υπολογιστές. Αυτή η ομάδα μπορεί να αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό επεξεργαστών που λειτουργούν μαζί και αυτό απαιτεί συνδέσεις με πολύ μεγάλο εύρος και πολύ μικρό χρόνο απόκρισης. Μία ακόμα χρησιμότητα του 10Gigabit Ethernet είναι για την IP αποθήκευση, λόγω του πολύ μικρού χρόνου απόκρισης, του μεγάλου εύρους και της επεκτασιμότητας του

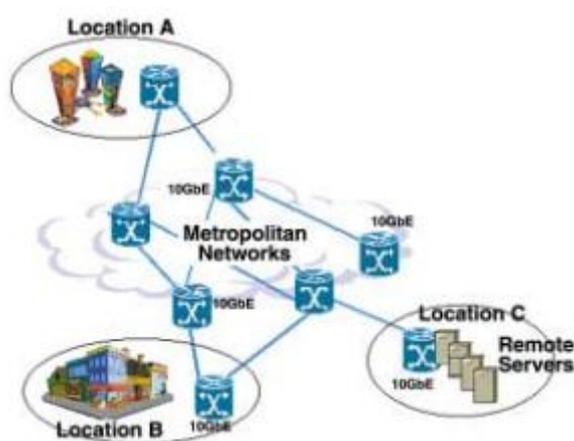


Εικόνα 7: Απεικόνιση του 10 χρήση Gigabit Ethernet σε περιβάλλοντα LAN.

Με εγκατεστημένα δίκτυα 10 Gigabit Ethernet, οι εταιρίες θα έχουν την δυνατότητα να παρέχουν Gigabit Ethernet σε σταθμούς εργασίας και στη συνέχεια σε κάθε ξεχωριστό υπολογιστή, για την υποστήριξη εφαρμογών, όπως streaming βίντεο, ιατρικές απεικονίσεις, συγκεντρωτικές εφαρμογές και υψηλά γραφικά. Επίσης θα παρέχει χαμηλότερη καθυστέρηση δικτύου εξαιτίας της ταχύτητας της σύνδεσης και

του μεγάλου εύρους ζώνης που αντισταθμίζει την εκρηκτική φύση των δεδομένων στις εφαρμογές των επιχειρήσεων. Επιπροσθέτως το περιβάλλον LAN πρέπει να αλλάζει συνεχώς για να μπορεί να συμβαδίσει με την ανάπτυξη του Διαδικτύου.

Οι προμηθευτές και οι χρήστες συμφωνούν γενικά ότι το Ethernet είναι φθηνό, κατανοητό, ευρέως διαδεδομένο και με ανάστροφη συμβατότητα από το Gigabit μέχρι το 10 Megabit. Σήμερα ένα πακέτο μπορεί να φύγει από έναν διακομιστή μέσω μιας θύρας Gigabit Ethernet, να ταξιδέψει μέσω ενός δικτύου πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου και να φτάσει στον προορισμό του σε έναν υπολογιστή μέσω ενός ομοαξονικού καλωδίου χωρίς να χρειαστεί να διαμορφωθεί ή να αλλάξει το πακέτο. Το Ethernet είναι κυριολεκτικά παντού και το 10 Gigabit Ethernet διατηρεί αυτήν την απρόσκοπτη μετάβαση στη λειτουργικότητα.



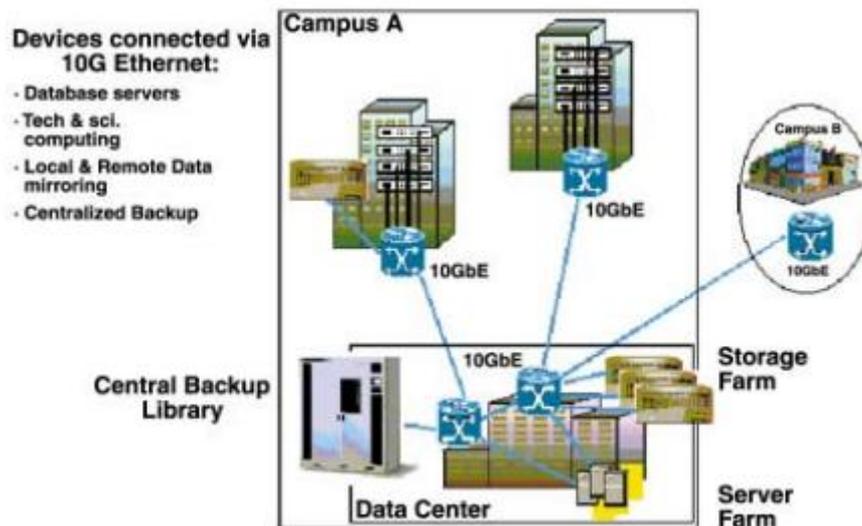
Εικόνα 8: Απεικόνιση του 10 χρήση Gigabit Ethernet σε περιβάλλοντα MAN.

Το 10 Gigabit Ethernet έχει ήδη εγκατασταθεί ως τεχνολογία backbone για μητροπολιτικά δίκτυα. Με τις κατάλληλες 10 Gigabit Ethernet διεπαφές, οπτικούς πομποδέκτες και μονότροπες οπτικές ίνες, οι πάροχοι υπηρεσιών θα είναι σε θέση να κάνουν συνδέσεις που φτάνουν ή και υπερβαίνουν τα 40 χιλιόμετρα.

Επιπλέον το 10 Gigabit Ethernet παρέχει υποδομές τόσο για την αποθήκευση στο δίκτυο(NAS) όσο και για δίκτυα αποθήκευσης(SAN). Πριν την εμφάνιση του 10 Gigabit Ethernet ορισμένοι παρατηρητές λέγανε ότι το Ethernet δεν είχε την δύναμη να μεταφέρει τεράστια δεδομένα. Με την έλευση του 10 Gigabit Ethernet μπορεί

πλέον να προσφέρει ισοδύναμη αν όχι ανώτερες δυνατότητες μεταφοράς δεδομένων με παρόμοια καθυστέρηση με τις άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης δικτύων όπως τα 1 Gigabit Fiber Channel, Ultra160 ή 320 SCSI, ATM OC-3 και HIPPI(High Performance Parallel Interface). Υπάρχουν πολλές εφαρμογές για 10 Gigabit Ethernet στα δίκτυα αποθήκευσης σήμερα που περιλαμβάνουν

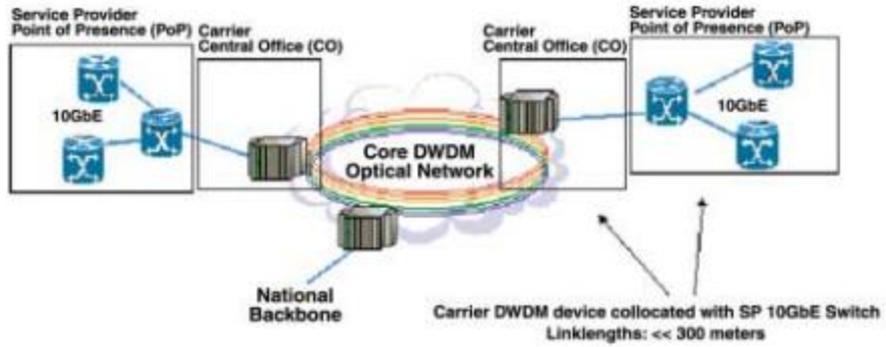
- Αποκατάσταση καταστροφών σε επιχειρήσεις.
- Απομακρυσμένη δημιουργία αντιγράφων.
- Αποθήκευση κατά ζήτηση.
- Streaming πολυμέσων.



Εικόνα 9: Χρήση των 10 Gigabit Ethernet σε Storage Area Networks.

Το 10 Gigabit Ethernet έχει επιτρέψει στους πάροχους υπηρεσιών διαδικτύου (ISP) και στους παρόχους υπηρεσιών δικτύου(NSP) να δημιουργήσουν συνδέσεις με πολύ υψηλή ταχύτητα και πολύ μικρό κόστος. Επίσης έγινε εφικτή η κατασκευή ευρυζωνικών δικτύων που συνδέουν γεωγραφικά διεσπαρμένα δίκτυα LAN μεταξύ τους πάνω από τα υπάρχοντα δίκτυα SONET/SDH/TDM.

- Attachment to the optical cloud
- Compatibility with the installed base of SONET OC-192



Εικόνα 10: Παράδειγμα του 10 Gigabit Ethernet σε εφαρμογές σε WAN.

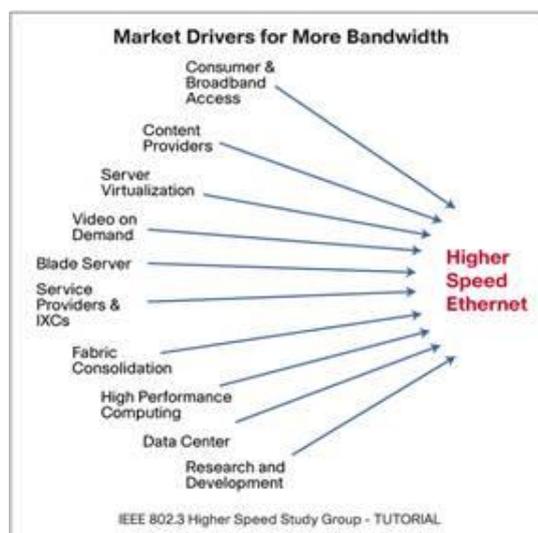


Κεφάλαιο 4

4.1 25G-40G-50G Ethernet

Η ανάγκη για μεγαλύτερη ταχύτητα και χωρητικότητα δεν σταματάει ποτέ. Πάρα πολλές εταιρείες έχουν εγκαταστήσει εισάγει συνδέσεις 10Gigabit Ethernet, αλλά ακόμα και με 10Gbps ταχύτητα. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν εταιρείες, Πανεπιστήμια ή άλλοι οργανισμοί οι οποίοι έχουν τη σύνδεση αυτή, ωστόσο η ταχύτητα δεν τους αρκεί και υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη και αποδοτικότερη ταχύτητα.

Η απάντηση που δόθηκε στις εταιρίες που επιζητούσαν αυξημένη ταχύτητα είναι το 40 Gbit/s Ethernet. Η πρώτη συζήτηση για την οπτική ίνα των 40 Gbit/s Ethernet έγινε τον Ιανουάριο του 2010 και το Μάρτιο της ίδιας χρονιάς καθιερώθηκε το πρότυπο.



Εικόνα 11: Πλήθος εταιρειών που ζητούν αυξημένο bandwidth.

Η αγορά των Ethernet switch έφτασε τα 25 δισεκατομμύρια το 2016 με την αγορά των 40 και 100 Gbps να φτάνει τα 3 δισεκατομμύρια σε πωλήσεις. Η μεγάλη και ραγδαία αύξηση της ταχύτητας οφείλεται κυρίως στα μεγάλα κέντρα δεδομένων και στην αύξηση των υπηρεσιών cloud και των χώρων αποθήκευσης που παρείχαν.

Η ομαδοποίηση πολλών συνδέσεων 10Gigabit, ήταν ένα σημαντικό εργαλείο για χρόνια στα χέρια των μηχανικών δικτύων. Όσο περνάει ο καιρός όμως η ομαδοποίηση σταματάει να είναι πρακτική και χρειάζεται η μετάβαση σε επόμενες γενιές Ethernet. Πολλές εταιρείες που η όλη λειτουργία τους βασίζεται στην απόδοση του δικτύου φτάσανε στο σημείο να χρειαστεί να αναβαθμίσουν υποχρεωτικά τις συνδέσεις τους καθώς η ομαδοποίηση πολλών 10Gigabit συνδέσεων δεν ήταν πρακτική. Υπάρχει ένα όριο το οποίο θέτει το όριο των συνδέσεων 10 gigabit μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Υπάρχει ένας μηχανισμός που διαμοιράζει την κίνηση μεταξύ όλων των συνδέσεων όσο πιο δίκαια γίνεται. Ωστόσο, δεν γίνεται όμως πάντα σωστός διαμοιρασμός, με αποτέλεσμα να προτείνεται κάποια αλλαγή σε μία σύνδεση 40 Gigabit, καθώς οι αλγόριθμοι διαμοιρασμού δεν παίζουν κανένα ρόλο.

Όπως συμβαίνει με κάθε επόμενης γενιάς πρότυπο Ethernet, η μετάβαση από το 10GbE στο 40GbE δεν είναι δύσκολη καθώς, τα πρωτόκολλα TCP, UDP, Layer2 και 3 παραμένουν αμετάβλητα. Η μόνη αλλαγή που απαιτείται αφορά τα καλώδια και τα οπτικά μέσα που βρίσκονται και στις δύο άκρες της σύνδεσης. Συγκεκριμένα για συνδέσεις μέχρι 100 μέτρα η οπτική ίνα που απαιτείται είναι OM3 και OM4, ενώ χρησιμοποιείται οπτική ίνα SMF (duplex single-mode fiber) για συνδέσεις μέχρι 10 χιλιομέτρων. Επίσης νέοι πομποδέκτες πρέπει να τοποθετηθούν είτε είναι SR4 ή LR4.

Η ανοχή απώλειας σήματος στις συνδέσεις 40 GbE είναι πολύ μικρότερη από αυτή των συνδέσεων 10GbE και χρειάζεται πολύ καλή τοποθέτηση των καλωδίων και δομή της δικτύωσης. Η τοποθέτηση καλωδίων χωρίς έλεγχο και ο μη καθαρισμός τους, παρόλο που επιτρέπει την λειτουργία των 40GbE συνδέσεων, μπορεί να επιφέρει πολλά λάθη καθώς τα δεδομένα καταστρέφονται.

Με την αύξηση της ταχύτητας στα 40Gbps αυξήθηκαν και οι απαιτήσεις των συσκευών στα επίπεδα 4-7, όπως οι ελεγκτές παράδοσης, τα firewalls, ή οι ελεγκτές βελτιστοποίησης WAN, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στην αυξημένη

ταχύτητα. Ένα αρνητικό της αυξημένης ταχύτητας είναι ότι καθώς ο έλεγχος των πακέτων γίνεται λαμβάνοντας δείγματα από τα πακέτα που περνάνε, είναι δύσκολο να αναγνωριστεί μια επίθεση ενός οι μερικών πακέτων.

Χαρακτηριστικά πρότυπα 40Gigabit Ethernet

40GBASE-SR4	
Οπτική διεπαφή	Multimode
Πρότυπο	IEEE 802.3ba-2010
Μέγιστη απόσταση	OM3 MMF cable, 100m OM4 MMF cable, 150m

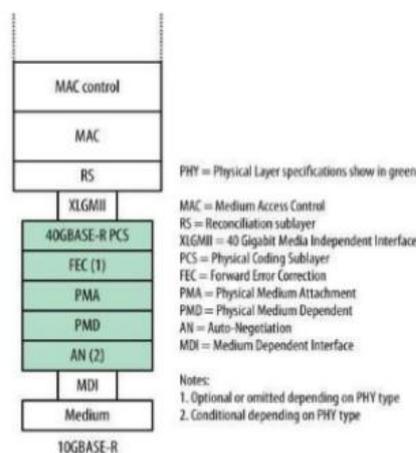
40GBASE-LX4			
Τύπος ίνας	SMF	MMF	MMF
Μέγεθος πυρήνα	9/125μm	50/125μm	50/125μm
Είδος ίνας	OS1	OM3	OM4
Απόσταση λειτουργίας	2km	100m	150m

40GBASE-LR4	
Οπτική διεπαφή	Single mode
Πρότυπο	IEEE 802.3ba-2010
Μέγιστη απόσταση	9/125 SMF cable:10km

40GBASE-ER4	
Οπτική διεπαφή	Single mode
Πρότυπο	IEEE 802.3bm-2015
Μέγιστη απόσταση	9/125 SMF cable:40km

4.2 Αρχιτεκτονική 40G Ethernet

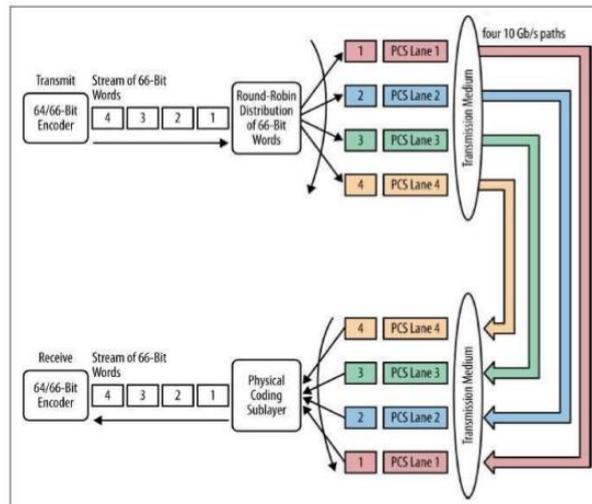
Το σύστημα μετάδοσης του 40Gigabite Ethernet καθορίζει ένα φυσικό επίπεδο (PHY) που αποτελείται από ένα σετ υπό-επιπέδων IEEE. Η Εικόνα 12 δείχνει τα υπό-επίπεδα που περιλαμβάνονται στο PHY. Το πρότυπο περιλαμβάνει μία λογική διεπαφή XLGMII με τα ρωμαϊκά γράμματα XL να χαρακτηρίζουν τα 40 Gb/s. Η διεπαφή αυτή περιλαμβάνει ένα μονοπάτι μεγέθους 64bit πάνω από το οποίο τα δεδομένα πλαισίου στέλνονται στο PCS (Physical Coding Sublayer).



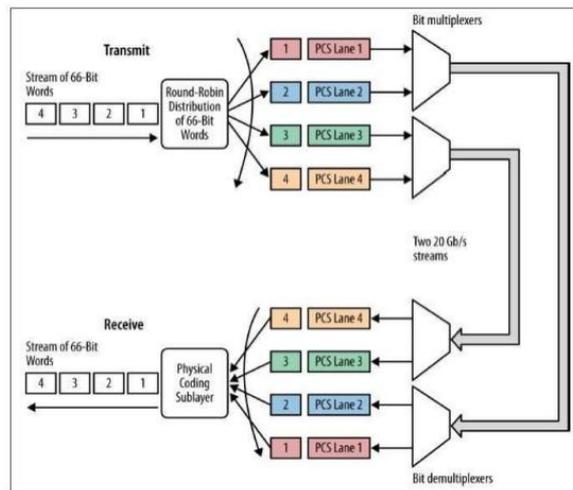
Εικόνα 12: Υπό-επίπεδα που περιλαμβάνονται στο PHY.

Για να μπορέσουν οι μηχανικοί να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν με τη ροή δεδομένων στο 40Gigabit Ethernet, παρείχαν ένα σύστημα διανομής πολλαπλών καναλιών για τα δεδομένα μέσα από το υποεπίπεδο PCS της διεπαφής Ethernet. Το PCS μεταφράζει μεταξύ της ανεξάρτητης διεπαφής του μέσου (MII) για κάθε ροή, και του υποεπιπέδου PMA. Το PCS είναι υπεύθυνο για την κωδικοποίηση των bit δεδομένων σε ομάδες προκειμένου να επιτευχθεί η μετάδοση μέσω του PMA. Έπειτα επακολουθεί η αποκωδικοποίηση αυτών των ομάδων από το PMA. Δημιουργήθηκε ένα σχήμα διανομής πολλαπλών γραμμών για το 40 Gigabit Ethernet με χαμηλό overhead. Το σχήμα αυτό σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει όλους τους τύπους PHY για το 40Gigabit Ethernet και το 100 Gigabit Ethernet. Κύριο πλεονέκτημά του αποτελεί η ευελιξία καθώς υποστηρίζει όλα τα

μελλοντικά PHY που μπορεί να αναπτυχθούν, βασισμένα σε μελλοντικές επεκτάσεις, στην ηλεκτρική και οπτική μετάδοση.



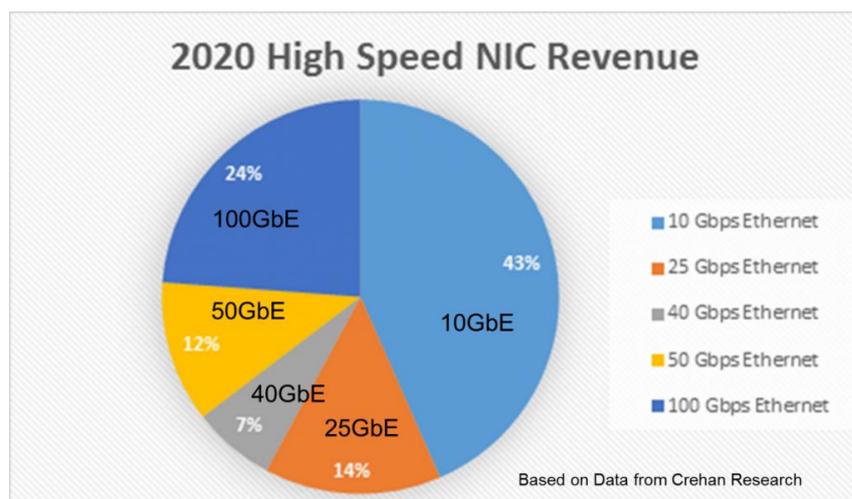
Εικόνα 13: PCS multilane για το 40Gbit Ethernet.



Εικόνα 14: PCS λειτουργία σε πιο γρήγορες ταχύτητες.

4.3 25G-50G Ethernet

Το 2016 εμφανίστηκαν οι πρώτες συνδέσεις 25Gb Ethernet (GbE), με τους αναλυτές να λένε ότι οι πωλήσεις του 25GbE θα είναι ταχύτερες. Μέχρι το 2020 οι συνδέσεις 25, 40, 50 και 100 GbE θα έχουν ξεπεράσει το 57% όλων των συνδέσεων υψηλών ταχυτήτων σε μία αγορά που αγγίζει τα 1.8 δισεκατομμύρια δολάρια.



Εικόνα 15: Ραγδαία εξέλιξη του 25GbEthernet.

Ο λόγος που κάποιος θα προτιμήσει τις δύο νέες ταχύτητες των 25GbE και 50GbE έναντι των ταχυτήτων που ήδη υπάρχουν των 40GbE και 100GbE, είναι το κόστος και η απόδοση.

Ταχύτητα	Γραμμές	Καλώδια/Ινα	Έτος προτύπου	Έτος πρώτου προϊόντος
1GbE	1x1	2	IEEE 1999	2000
10GbE	1x10	2	IEEE 2002	2003
25GbE	1x25	2	IEEE αναμένεται	2015
40GbE	4x10	8*	IEEE 2010	2011

50GbE	2x25	4	IEEE αναμένεται	2015
100GbE	10x10	20*	IEEE 2010	2015
100GbE	4x25	8*	IEEE 2010	2015

Εικόνα 16: Πίνακας παράθεσης χαρακτηριστικών σε διάφορες τεχνολογίες Ethernet.

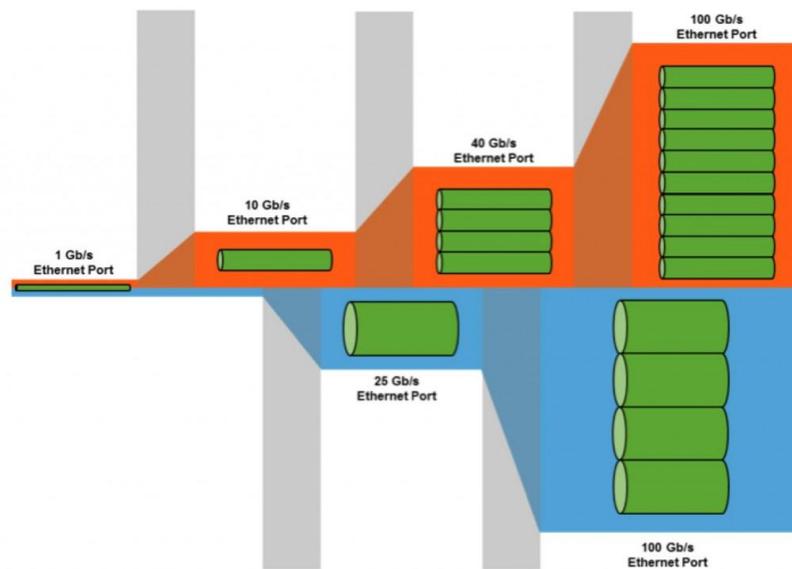
Οι οπτικές συνδέσεις μπορούν να εμπεριέχουν πολλαπλές γραμμές σε μία ίνα με πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος(WDM), έτσι στις συνδέσεις 40GbE και 100GbE (4x25) η οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε 8 ίνες χωρίς WDM, ή 2 ίνες με WDM.

Οι server γίνονται γρηγορότεροι, όπως παραδείγματος χάρι ένας server μεσαίου μεγέθους μπορεί να δώσει ταχύτητες 20Gb/s, με τους τελευταίους τεχνολογίας server να μπορούν να φτάσουν 40, 50 ή ακόμα και 80Gb/s. Τα μέσα αποθήκευσης γίνονται γρηγορότερα με την εμφάνιση των SSD, με ταχύτητες διαβάσματος 24Gb/s ή και 32Gb/s. Όλο και περισσότερες ταινίες γυρίζονται σε ανάλυση 4K (3840x2160 ή 4096x2160). Το μη συμπιεσμένο βίντεο χρειάζεται εύρος 12 έως 26Gb/s για streaming (ανάλογα το βάθος χρώματος), οπότε το 10GbE δεν είναι αρκετό. Μέχρι το 2020 θα υπάρχει βίντεο 6K και 8K. Για όλους τους παραπάνω λόγους το 25GbE είναι ιδανικό για server, SSD αλλά και Ultra High Definition βίντεο.

Αρκετοί εξυπηρετητές ή πελάτες χρειάζονται περισσότερο από 10Gb/s, αλλά λιγότερο από 25Gb/s. Μία λύση θα μπορούσε να είναι η χρήση 2x10GbE ή 4x10GbE. Όμως η χρήση 25GbE, που παρέχει εύρος 2,5 φορές μεγαλύτερο, είναι πιο οικονομική κατά 40% σε σχέση με το εύρος ζώνης και το κόστος που έχει το 10 GbE, ενώ σύμφωνα με σχετικές προβλέψεις το 2019 το 25GbE θα φτάσει σε κόστος το 10GbE.

Όσον αφορά καταναλωτές που χρειάζονται περισσότερο από 25Gb/s υπάρχει πάντα το 40GbE (8 καλώδια/ίνες) που αναπτύσσεται ραγδαία στο cloud και σε μεγάλα κέντρα δεδομένων. Υπάρχει όμως και η επιλογή του 50GbE που παρέχει 25% μεγαλύτερο εύρος με περίπου το ίδιο κόστος. Το πιο μεγάλο όμως πλεονέκτημα στη χρήση του 25GbE και του 50GbE είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η σηματοδότηση. Το 10GbE και το 25GbE χρησιμοποιούν μία γραμμή (2 καλώδια ή

ίνες), το 50GbE χρησιμοποιεί 2 γραμμές με το 40GbE και το 100GbE να χρησιμοποιούν 4 γραμμές (οχτώ καλώδια ή ίνες στις περισσότερες περιπτώσεις). Όσο περισσότερες είναι οι γραμμές τόσο μεγαλύτερη η κατανάλωση ρεύματος στον adapter και τον switch, μπορείς να χωρέσεις λιγότερες θύρες σε ένα switch και είναι και πιο ακριβή η καλωδίωση. Για παράδειγμα μια θύρα switch 100GbE μπορεί να υποστηρίξει μία σύνδεση 40GbE ή 100GbE, ενώ μπορεί να υποστηρίξει δύο συνδέσεις 25GbE ή 50GbE. Επειδή η 25, η 50 και η 100GbE στέλνουν και δέχονται περισσότερα δεδομένα από κάθε γραμμή σε σχέση με τις 10 και 40GbE, κάνουν την δικτύωση πιο αποτελεσματική με μικρότερο κόστος.



Εικόνα 17: Αντιστοιχία γραμμών με βάση το πρότυπο Ethernet που υπάρχει.

Κεφάλαιο 5

100G Ethernet

Το 2006 η ομάδα της IEEE 802.3 δημιούργησε την Ομάδα για τη μελέτη υψηλών ταχυτήτων (Higher Speed Study Group, HSSG), και κατάλαβε ότι χρειαζόταν ταχύτητες μεγαλύτερες από την 10 Gigabit Ethernet. Η αύξηση του εύρους ζώνης για εφαρμογές δικτύου ξεπερνούσε τις δυνατότητες των δικτύων που χρησιμοποιούσαν 10 Gigabit Ethernet. Η ομάδα HSSG μετά από την ανάλυση του ανωτέρω προβλήματος διαπίστωσε ότι οι εφαρμογές υπολογιστών και δικτύων αναπτυσσόταν με διαφορετικούς ρυθμούς, με αποτέλεσμα να προσδιοριστούν δύο νέες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, η 40 Gigabit ανά δευτερόλεπτο για servers και εφαρμογές υπολογιστών και η 100 Gigabit ανά δευτερόλεπτο για εφαρμογές δικτύου.

Οι ομάδες που θα προσπαθούσαν να σχεδιάσουν τα standard του 40 και 100 Gigabit Ethernet δημιουργήθηκαν το 2008. Κύριο κομμάτι για την προσπάθεια σχεδιασμού των βασικών χαρακτηριστικών ήταν η ανάπτυξη των προδιαγραφών του φυσικού επιπέδου για την επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη, τόσο μέσω χάλκινου καλωδίου, πολυτροπικής ίνας, όσο και απλής ίνας. Το 2010 μετά από συνεχείς προσπάθειες εγκρίθηκε το πρότυπο standard IEE Std 802.3ba-2010 για 40Gb/s και IEEE Std 802.3-2008 για 100Gb/s.

Ενώ το πρότυπο ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 2011 στην αγορά, το πραγματικά κομβικό σημείο ήταν το 2012 όπου οι συνδέσεις δεν ανήκαν πια στους κατασκευαστές, αλλά μεταφέρθηκαν και σε παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου, με

αποτέλεσμα το 100GbE να γίνεται όχι είδος πολυτελείας αλλά ένα απαραίτητο εργαλείο για όλους τους χρήστες και παρόχους.

Χαρακτηριστικά είναι τα ευρήματα από την Cisco για την ανάγκη μεγάλου εύρους συνδέσεων στο διαδίκτυο.

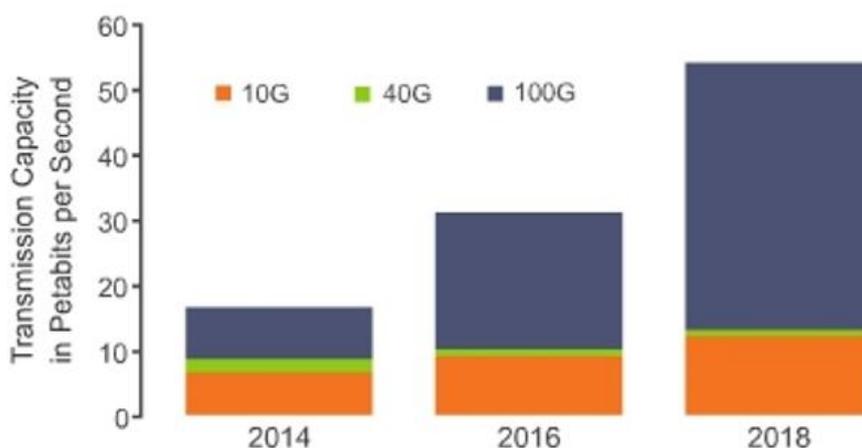
-Το 2013 οι χρήστες παρήγαγαν παραπάνω από 3 τρισεκατομύρια λεπτά βίντεο στο διαδίκτυο, που μεταφράζεται σε 6 εκατομμύρια χρόνια βίντεο το μήνα, 1, 2 εκατομμύρια βίντεο κάθε δευτερόλεπτο ή πάνω από 2 χρόνια βίντεο κάθε δευτερόλεπτο.

-Το 2017 πάνω από το 68% της κίνησης στο διαδίκτυο παράγεται από Wi-Fi και κινητές συσκευές.

-Το 2017 θα παραχθεί κίνηση στο διαδίκτυο περισσότερη από το άθροισμα της κίνησης που «ταξίδεψε» στο διαδίκτυο από το 1984 μέχρι το 2012.

Λόγω των μεγάλων αλλαγών στο απαιτούμενο εύρος ζώνης οι 100GbE συνδέσεις θα υπερिशύσουν των 10 και 40.

100G will account for over half of all bandwidth deployed in carrier networks in 2014, growing rapidly through 2018



© Infonetics Research, 10G/40G/100G Optical Transceivers: Biannual Market Size, and Forecasts: November 2014

Εικόνα 18: 100G στην αγορά

5.1 Πρότυπα 100G Ethernet

Η ομάδα IEE 802.3 ασχολείται με την συντήρηση και την επέκταση του προτύπου δεδομένων επικοινωνίας Ethernet. Το 802.3ba είναι η ονομασία που δόθηκε στην ομάδα εργασίας που ήταν υπεύθυνη για την τροποποίηση του προτύπου 802.3 για την υποστήριξη ταχυτήτων μεγαλύτερων των 10Gbit/s. Οι ταχύτητες που επιλέχθηκαν ήταν οι 40 και 100Gbit/s, για την υποστήριξη τόσο των αναγκών του τελικού σημείου όσο και τη συνάθροιση των συνδέσεων. Ήταν η πρώτη φορά που ένα πρότυπο είχε καθοριστεί για δύο διαφορετικές ταχύτητες. Η απόφαση να συμπεριληφθούν δύο ταχύτητες σε ένα πρότυπο, ήρθε εξαιτίας της πίεσης για υποστήριξη 40Gbit/s ρυθμό για τοπικές εφαρμογές διακομιστή και 100Gbit/s ρυθμό για δίκτυα ραχοκοκαλιάς. Το πρότυπο ανακοινώθηκε το 2007 και επικυρώθηκε το 2010.

Τα πρότυπα 40 και 100 Gigabit Ethernet περιλαμβάνουν ένα αριθμό διαφορετικών προδιαγραφών φυσικού επιπέδου Ethernet (PHY). Μία συσκευή δικτύωσης μπορεί να υποστηρίζει διάφορους τύπος PHY. Τα οπτικά modules δεν έχουν τυποποιηθεί από κανέναν επίσημο οργανισμό πιστοποίησης, αλλά έχουν τυποποιηθεί από συμφωνία μεταξύ διάφορων πηγών (MSAs). Μία συμφωνία η οποία υποστηρίζει το 40 και το 100Gigabit Ethernet είναι το C Form-factor Pluggable (CFP) που υιοθετήθηκε για αποστάσεις άνω των 100 μέτρων. Οι υποδοχές QSFP και CXP υποστηρίζουν μικρότερες αποστάσεις.

Τα πρότυπα υποστηρίζουν μόνο πλήρη αμφίδρομη λειτουργία. Άλλοι ηλεκτρικοί στόχοι περιλαμβάνουν:

- Διατήρηση της μορφοποίησης πλαισίου 802.3/ Ethernet χρησιμοποιώντας 802.3 MAC.
- Διατήρηση του ελάχιστου και μέγιστου μεγέθους του πλαισίου του προτύπου 802.3.
- Υποστήριξη ποσοστού σφάλματος bit καλύτερου ή ίσου με 10-12 στη διεπαφή της MAC/PLS υπηρεσίας.
- Πλήρη υποστήριξη για OTN.

-Υποστήριξη ρυθμού δεδομένων MAC της τάξης των 40 και 100 Gbit/s.

-Παροχή προδιαγραφών φυσικού επιπέδου για λειτουργία πάνω από οπτικές ίνες single mode (SMF), οπτικές ίνες multi-mode με βελτιστοποιημένο laser (MMF), OM3 και OM4, καλώδια χαλκού και backplane.

Παροχή προδιαγραφών για το φυσικό στρώμα που υποστηρίζουν ταχύτητες 100 Gbit/s με λειτουργία πάνω από:

-τουλάχιστον 40 χιλιόμετρα σε SMF

-τουλάχιστον 10 χιλιόμετρα σε SMF

-τουλάχιστον 100 μέτρα σε OM3 MMF

-τουλάχιστον 7 μέτρα σε χάλκινο καλώδιο

	40 Gigabit Ethernet	100 Gigabit Ethernet
At least 1m backplane	✓	
At least 7m copper cable	✓	✓
At least 100m OM3 MMF	✓	✓
At least 150m OM4 MMF	✓	✓
At least 10km SMF	✓	✓
At least 40km MMF		✓

Εικόνα 19 Σύγκριση 40 και 100 Gigabit Ethernet

100G Τύποι θυρών (Port types)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στοιχεία των εκάστοτε θυρών σύμφωνα με το πρότυπο 100G Ethernet. Στον πίνακα αυτό πέρα από τα χαρακτηριστικά της κάθε θύρας παρουσιάζονται και οι τύποι καλωδίων που υπάρχουν για τη σύνδεση μεταξύ των δικτύων.

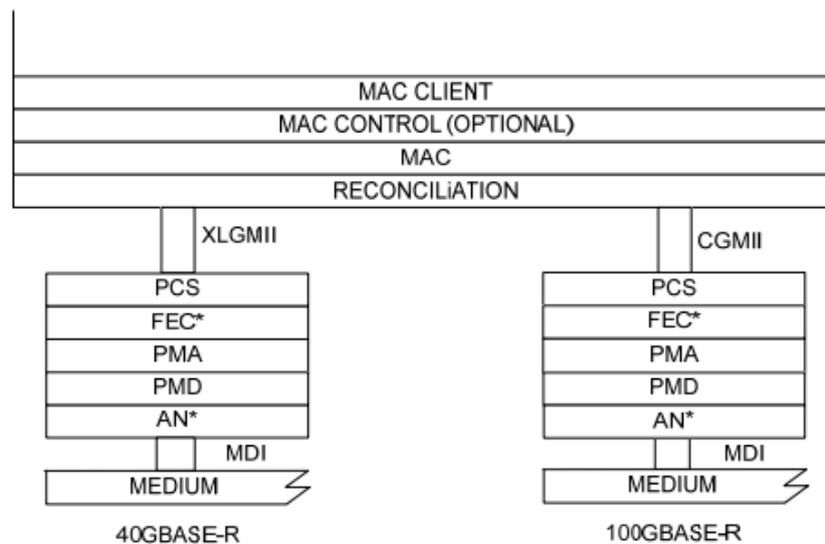
Name	Clause	Media	Notes
100GBASE-CR10	85 (802.3ba)	Διπλό καλώδιο χαλκού	CXR συνδέτης, χρησιμοποιεί 10 από τα 12 κανάλια

100GBASE-CR4	92 (802.3bj)	Διπλό καλώδιο χαλκού	
100GBASE-SR10	86 (802.3ba)	Πολύτροπη ίνα, 850mm	MPO/MTP συνδέτης, χρησιμοποιεί 10 από τα 12 κανάλια
100GBASE-SR4	95 (802.3bm)	Πολύτροπη ίνα, 850mm	
100GBASE-LR4	88 (802.3ba)	Μονότροπη ίνα, WDM	Μέχρι 10km
100GBASE-ER4	Non-IEEE	Μονότροπη ίνα, WDM	Μέχρι 30-40 km
100GBASE-CWDM4	Non-IEEE	Μονότροπη ίνα, WDM	2km εμβέλεια
100GBASE-PSM4	Non-IEEE	4 Μονότροπες ίνες	500m εμβέλεια
100GBASE-ZR	Non-IEEE	Μονότροπη ίνα	80+km εμβέλειας με non-IEEE προτυποποίηση
100GBASE-KR4	93 (802.3bj)	Χάλκινο δίκτυο	
100GBASE-KP4	94 (802.3bj)	Χάλκινο δίκτυο	Επιπλέον τέσσερα επίπεδα διαμόρφωσης πλάτους

Πίνακας 7: Πίνακας τύπος θυρών 100Gb Ethernet.

5.2 Αρχιτεκτονική 100 Gigabit Ethernet

Η τροποποίηση του IEEE Std 802.3ba-2010 διευκρινίζει μια ενιαία αρχιτεκτονική που φαίνεται στην κάτωθι εικόνα. Στην εικόνα απεικονίζεται τόσο η αρχιτεκτονική του 40GbE, όσο και του 100GbE και όλες οι προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου. Το στρώμα MAC το οποίο αντιστοιχεί στο δεύτερο στρώμα του μοντέλου OSI, είναι συνδεδεμένο με το μέσο (οπτικό ή χάλκινο), μίας συσκευής PHY Ethernet, η οποία αντιστοιχεί στο στρώμα ένα του ίδιου μοντέλου. Η συσκευή PHY αποτελείται από ένα υπό-επίπεδο φυσικού μέσου (PMD), ένα υπό-επίπεδο φυσικού μέσου προσάρτησης, και ένα υπό-επίπεδο φυσικής κωδικοποίησης (PCS) Το backplane και η χάλκινη καλωδίωση του PHY μέσου, περιλαμβάνουν επίσης ένα επίπεδο αυτόματης διόρθωσης λάθους.



Εικόνα 20 Αρχιτεκτονική Επιπέδων 40GbE και 100GbE

5.2.1 Υπό-επίπεδο φυσικής κωδικοποίησης (Physical Coding Sublayer, PCS)

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το PCS αποτελεί συνδετικό κρίκο μεταξύ της ανεξάρτητης διεπαφής του ανεξάρτητου μέσου (MII), για κάθε ρυθμό με το υπόστρωμα PMA. Το PCS είναι υπεύθυνο για την κωδικοποίηση των δυαδικών

ψηφίων δεδομένων σε ομάδες κώδικα για μετάδοση μέσω του PMA και την επακόλουθη αποκωδικοποίηση των εν λόγω ομάδων κώδικα από το PMA.

Το κοινό σύστημα που έχει σχεδιαστεί τόσο για το 40GbE όσο και για το 100GbE υποστηρίζει όλους τους τύπους PHY και για τις δύο κατηγορίες. Είναι ευέλικτο, έχει αυξημένη επεκτασιμότητα και υποστηρίζει αρκετούς μελλοντικούς τύπους PHY οι οποίοι μπορούν να αναπτυχθούν βασισμένοι σε μελλοντικές ηλεκτρικές προόδους και οπτικές μεταδόσεις.

Ακόμη κάποιες λειτουργίες οι οποίες εκτελούνται από το PCS είναι οι ακόλουθες:

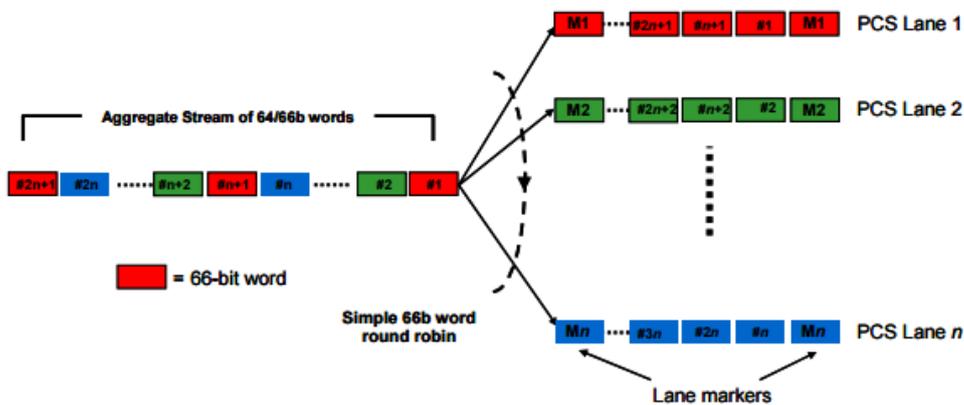
- Οριοθέτηση των πλαισίων
- Μεταφορά των σημάτων ελέγχου
- Εξασφάλιση την αναγκαία μετάβαση του ρολογιού που απαιτείται από την φυσική οπτική και ηλεκτρική τεχνολογία
- Διαχωρίζει και επανατοποθετεί τις πληροφορίες σε πολλαπλές διαδρομές.

Το PCS αξιοποιεί το σύστημα κωδικοποίησης 64B / 66B που χρησιμοποιήθηκε στο 10 Gigabit Ethernet. Παρέχει έναν αριθμό χρήσιμων ιδιοτήτων συμπεριλαμβανομένων των χαμηλών γενικών εξόδων και επαρκή χώρο και κώδικα για τη στήριξη των απαραίτητων λέξεων κώδικα του 10 Gigabit Ethernet.

Το σύστημα διανομής πολλαπλών διαδρομών αναπτύχθηκε για τις PCS και βασίζεται σε μία διαγράμμιση των 66-bit μπλοκ σε πολλαπλές διαδρομές. Η χαρτογράφηση των λωρίδων στα φυσικά ηλεκτρικά και οπτικά κανάλια τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε εφαρμογή, είναι περίπλοκη καθώς δεν είναι απαραίτητη η σύζευξη δύο διεπαφών. Οι τεχνολογική ανάπτυξη είτε για τη διεπαφή chip είτε για μία οπτική διεπαφή δεν είναι πάντα συνδεδεμένες. Επομένως είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί μία αρχιτεκτονική που θα επιτρέψει την αποσύζευξη μεταξύ της εξέλιξης τους πλάτους στις οπτικές διεπαφές και την εξέλιξη του πλάτους των ηλεκτρικών διεπαφών.

Τα PCS εκπομπής ως εκ τούτου εκτελούν την αρχική 64B/66B κωδικοποίηση και κρυπτογράφηση για το συνολικό κανάλι(40Gb/s και 100 Gb/s), πριν από την κατανομή των 66 bit μπλοκ με βάση τον αλγόριθμο round robin, στις πολλαπλές διαδρομές. Το σύστημα πολλαπλών διαδρομών παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Ο αριθμός των PCS διαδρομών οι οποίες χρειάζονται είναι το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο των αναμενόμενων πλατών από τις οπτικές και ηλεκτρικές διεπαφές. Για το 100 Gigabit Ethernet έχουν επιλεγεί 20 PCS διαδρομές. Ο αριθμός του πλάτους των οπτικών ή ηλεκτρονικών διεπαφών στην αρχιτεκτονική αυτή είναι ίσος με τον αριθμό των παραγόντων που υπάρχουν στις συνολικές PCS διαδρομές. Ως εκ τούτου οι 20 PCS διαδρομές υποστηρίζουν πλάτος διεπαφής 1, 2, 4, 5, 10, και 20 καναλιών ή μηκών κύματος.



Εικόνα 21: Κατανομή PCS πολλαπλών διαδρομών.

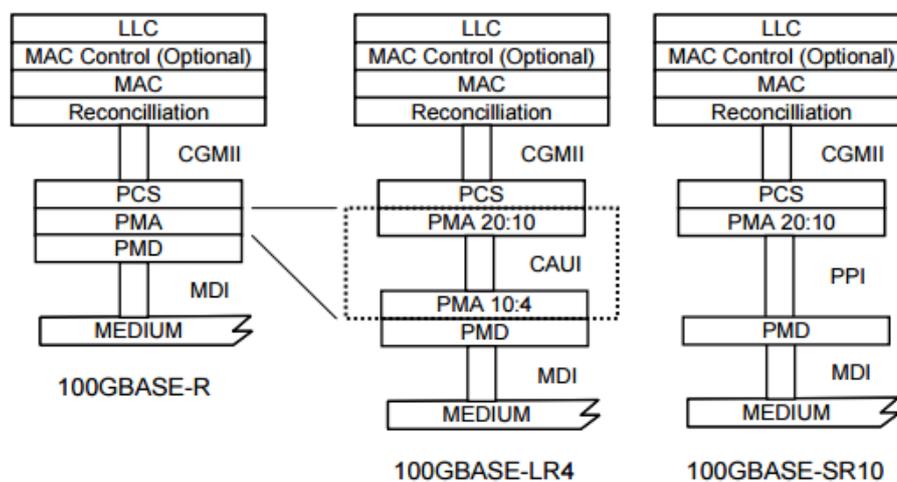
Μόλις δημιουργηθούν οι διαδρομές PCS μπορούν να πολυπλεχθούν σε οποιοδήποτε από τα υποστηριζόμενα πλάτη διεπαφής. Κάθε διαδρομή PCS έχει ένα μοναδικό δείκτη ο οποίος εισάγεται μία φορά κάθε 16.384 μπλοκ. Η πολυπλεξία γίνεται σε επίπεδο bit. Η πολυπλεξία round-robin επιπέδου bit μπορεί να οδηγήσει σε πολλαπλές PCS διαδρομές οι οποίες πολυπλέκονται στο ίδιο φυσικό κανάλι. Η μοναδική ιδιότητα των PCS διαδρομών είναι ότι δεν έχει σημασία το ποσοστό πολυπλεξίας, αλλά το ότι όλα τα bits από την ίδια διαδρομή PCS ακολουθούν το ίδιο φυσικό μονοπάτι ανεξάρτητα από το πλάτος και την φυσική διεπαφή. Αυτό επιτρέπει στον δέκτη να είναι σε θέση να επανασυναρμολογήσει το μήνυμα και να επανευθυγραμμίσει τις PCS διαδρομές. Το εύρος ζώνης του κάθε δείκτη διαδρομής (ο δείκτης που ορίζεται σε κάθε διαδρομή είναι μοναδικός) δημιουργείται περιοδικά διαγράφοντας τα κενά μεταξύ πακέτων.

Ο PCS δέκτης ευθυγραμμίζει ξανά τις πολλαπλές γραμμές χρησιμοποιώντας τους δείκτες και μετά τοποθετεί τις γραμμές στην αρχική τους σειρά και δημιουργεί το

αρχικό σήμα. Η κάτωθι εικόνα παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του 100 Gigabit Ethernet όπως επίσης και δύο παραδείγματα αρχιτεκτονικής υλοποίησης:

100GBASE-LR4: που χαρακτηρίζεται από 4 μήκη κύματος στα 25 gigabit το δευτερόλεπτο για κάθε μήκος κύματος σε μονότροπη οπτική ίνα.

100GBASE-SR10: που χαρακτηρίζεται από 10 μήκη κύματος από 10 παράλληλα οπτικά μονοπάτια στα 10 gigabit το δευτερόλεπτο σε πολύτροπη οπτική ίνα.



Εικόνα 22 Απεικόνιση αρχιτεκτονικών 100GBASE-R.

Οι τύποι υποδοχών για τα καλώδια που υπάρχουν είναι οι εξής:

QSFP+: η υποδοχή αυτή έχει σχεδιαστεί για χρήση με την 40GBASE-CR4/SR4, μπορεί να είναι χάλκινο καλώδιο ή οπτική ίνα. Επίσης μπορεί να ρυθμιστεί για να παρέχει τέσσερις ανεξάρτητες θύρες για 10 gigabit Ethernet.

MPO: το 40GBASE-SR4 και το 100GBASE-SR10 PHY χρησιμοποιούν multiple fiber push on/pull off(MPO).

5.3 CAUI-PPI-PMD

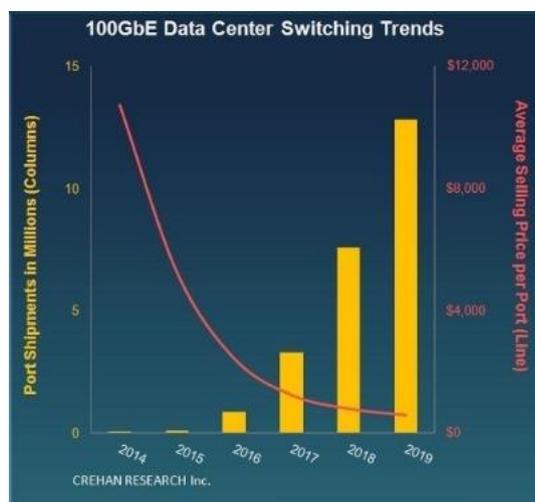
Το CAUI αποτελεί φυσική διεπαφή που επιτρέπει τον διαχωρισμό μεταξύ του MAC και το υπό-επιπέδων που σχετίζονται με το PHY, ακριβώς όπως κάνει και το XAUI στο 10 Gigabit Ethernet. Είναι αυτόνομα, με πολλαπλές διαδρομές, με σειριακές ενώσεις και χρησιμοποιούν κωδικοποίηση 64B/66B. Κάθε διαδρομή λειτουργεί με ταχύτητα 10 gigabit το δευτερόλεπτο, στην οποία μετά την κωδικοποίηση έχει ως αποτέλεσμα ρυθμό μετάδοσης στα 10.3125 gigabaud το δευτερόλεπτο.

Οι διαδρομές χρησιμοποιούν ισορροπημένη διαφορική AC low swing σηματοδότηση σε απόσταση περίπου 25cm. Στην περίπτωση του CAUI υπάρχουν 10 διαδρομές μετάδοσης και 10 διαδρομές λήψης με ρυθμό τα 10 gigabit ανά δευτερόλεπτο, έχοντας ως αποτέλεσμα 20 ζευγάρια ή 40 σήματα. Αυτές οι διεπαφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως chip to chip διεπαφές. Χαρακτηριστικά chip to chip module interfaces είναι τα εξής:

-CAUI-10 is a 100 Gbit/s 10 lane electrical interface defined in 802.3ba.

-CAUI-4 is a 100 Gbit/s 4 lane electrical interface defined in 802.3bm

Με το πέρας των χρόνων οι πάροχοι άρχισαν να πουλάνε όλο και περισσότερες θύρες 100 Gigabit Ethernet με το κόστος να πέφτει κατακόρυφα.



Εικόνα 23:Κόστος θύρας 100Gigabit Ethernet

Parallel Physical Interface (PPI)

Το PPI είναι μία φυσική διεπαφή για μικρές αποστάσεις μεταξύ των υποεπιπέδων PMA και PMD. Είναι κοινό και για το 40 Gigabit Ethernet και για το 100 Gigabit Ethernet ωστόσο η διαφορά τους βρίσκεται στον αριθμό των διαδρομών. Το PPI, είναι αυτοχρονισμένο και διαθέτει πολλαπλές διαδρομές και σειριακές συνδέσεις χρησιμοποιώντας 64B/66B κωδικοποίηση. Στην περίπτωση του 40 Gigabit Ethernet υπάρχουν 4 διαδρομές για την αποστολή και 4 για την λήψη των δεδομένων με ταχύτητα 10 gigabit ανά δευτερόλεπτο. Στην περίπτωση του 100 Gigabit Ethernet υπάρχουν 10 διαδρομές για την αποστολή και 10 για την λήψη των δεδομένων με αντίστοιχο ρυθμό μετάδοσης.

Physical Media Dependent (PMD)

Έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές προδιαγραφές φυσικού μέσου κάθε περίπτωση. Για παράδειγμα για εφαρμογές υπολογιστών το φυσικό μέσο καλύπτει αποστάσεις μέχρι και 100 μέτρα για ένα πλήρες φάσμα παραγόντων όπως διακομιστή. Για εφαρμογές συνάθροισης δικτύου το φυσικό μέσο καλύπτει αποστάσεις και μέσα για την κατάλληλη δικτύωση ενός κέντρου δεδομένων. Μία σύνοψη των χαρακτηριστικών του φυσικού επιπέδου φαίνεται στην κάτωθι εικόνα.

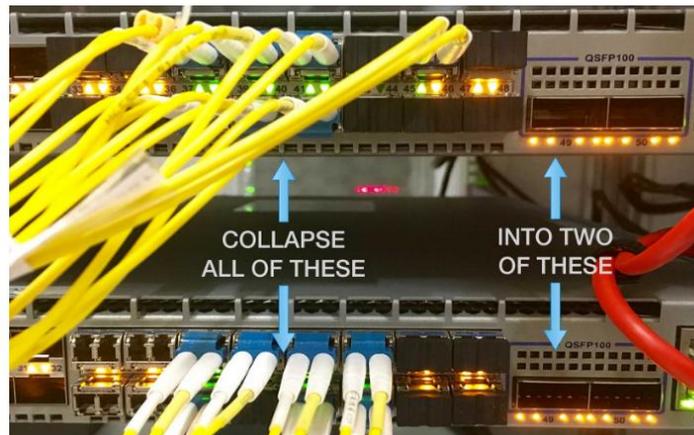
	40 Gigabit Ethernet	100 Gigabit Ethernet
At least 1m backplane	40GBASE-KR4	
At least 7m copper cable	40GBASE-CR4	100GBASE-CR10
At least 100m OM3 MMF	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10
At least 150m OM4 MMF	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10
At least 10km SMF	40GBASE-LR4	100GBASE-LR4
At least 40km SMF		100GBASE-ER4

Εικόνα 24: Χαρακτηριστικά φυσικού επιπέδου

Η κύρια χρησιμότητα του 100GbE σύμφωνα με την IEEE είναι για μεταγωγή και δρομολόγηση σε κέντρα δεδομένων. Σε σημεία ανταλλαγής διαδικτύου. Σε σημεία

ανταλλαγής παρόχου υπηρεσίας και σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλό εύρος όπως το video on demand και η υψηλής απόδοσης computing(HPC).

Ευκολία στην χρήση αφού μειώνονται τα καλώδια αλλά και μείωση στο κόστος αφού αντί για 20 10GbE καλώδια και συντηρήσεις απαιτείται η χρήση 2 καλωδίων 100GbE



Εικόνα 25: Απο 10GbE σε 100GbE

5.4 400-800 Gigabit Ethernet

Αν και ακόμα σε πρώιμο στάδιο και με τιμές που ξεπερνούν τη δυνατότητα αγοράς από μεμονωμένες εταιρείες οι Ethernet συνδέσεις 400GbE και 800TbE είναι πραγματικότητα.

400GbE	
100m	16 πολύτροπες ίνες κάθε μία 25Gbps
500m	4 μονότροπες ίνες κάθε μία 100Gbps
2km	Μία ίνα 8 μήκη κύματος κάθε ένα 50Gbps
10km	Μία ίνα 8 μήκη κύματος κάθε ένα 50Gbps

Πίνακας 8 400GbE αποστάσεις

Με το 400Gigabit Ethernet να είναι ο άμεσος στόχος και το 800 Gigabit Ethernet να ακολουθεί, μεγάλες εταιρείες όπως το Facebook και η Google ζήτησαν TbE. Με την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε σήμερα όμως μπορούμε να σκεφτόμαστε στο άμεσο μέλλον ταχύτητες μέχρι 800GbE σύμφωνα με την IEEE. Ταχύτητες Terabit Ethernet μπορούν να αρχίσουν να υλοποιούνται από το 2020 και μετά.



Συμπεράσματα

Η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη αποτελεί κάτοπτρο της ανάπτυξης της κοινωνίας. Η κοινωνία προχωρά και μαζί της αυξάνονται και οι απαιτήσεις για τα βασικά αγαθά. Στην κατηγορία αυτή τα τελευταία χρόνια έχουν ενταχθεί τα δίκτυα και γενικότερα η δικτύωση και η επικοινωνία μεταξύ των ατόμων και των επιχειρήσεων. Πλέον βασικό κομμάτι τις καθημερινότητας αποτελεί η ανταλλαγή απόψεων, μηνυμάτων αλλά και εργασιών μέσα από το διαδίκτυο.

Το διαδίκτυο και η υποδομή των δικτύων γενικότερα παρουσιάζουν παράλληλη ανάπτυξη με εκείνη των δικτύων. Στόχος των προγραμματιστών και των σχεδιαστών δικτύων είναι η παροχή αυξημένου εύρους ζώνης σε όσο το δυνατόν περισσότερες και πιο απομακρυσμένες περιοχές γίνεται. Η ανάγκη για υψηλές ταχύτητες στο διαδίκτυο εγείρει την ανάγκη για ανάπτυξη νέων υποδομών και αλγορίθμων. Όπως παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία η ανάγκη για αυξημένη ταχύτητα, καλύτερες και πιο βελτιστοποιημένες υποδομές είναι εκείνη που βοήθησε στην ανάπτυξη των τεχνολογιών που περιγράφηκαν.

Οι τεχνολογίες Ethernet μπορεί να μοιάζουν για μερικούς αναγνώστες παλαιωμένες, ωστόσο αποτελούν ένα σύγχρονο και άμεσα εξελισσόμενο περιβάλλον. Το Ethernet δεν παύει να είναι ένα πρωτόκολλο, το οποίο υποστηρίζει την επικοινωνία άμεσα, χωρίς κανένα πρόβλημα και με υψηλές ταχύτητες τώρα πια. Κάνοντας μια μικρή αναδρομή στο παρελθόν μπορεί κανείς να δει τις τεχνολογίες τις οποίες χρησιμοποιούνταν για την ανάπτυξη ενός δικτύου.

Η μελέτη που παρουσιάστηκε παραπάνω, αναφέρει τις δυνατότητες τόσο του Gigabit Ethernet. Η ανάγκη για βελτιστοποίηση των δικτύων οδήγησε στην ανάπτυξη περαιτέρω πρωτοκόλλων και αλγορίθμων οι οποίοι συντέλεσαν στην μαζική

ανάπτυξη της επικοινωνίας. Επιπλέον, ο υγιής ανταγωνισμός ο οποίος επικρατεί μεταξύ των εταιρειών που παρέχουν τα πρότυπα αυτά, βοήθησε στην ανάπτυξη τους, στη διόρθωση τους και στην μεταγενέστερη εξέλιξή τους. Άλλωστε, σκοπός της επικοινωνίας είναι να εξελίξει τόσο το άτομο, όσο και το δίκτυο και τις δομές που υπάρχουν.

Βιβλιογραφία

1. John D’Ambrosia, David Law, Mark Nowell, “40 Gigabit Ethernet and 100 Gigabit Ethernet Technology Overview”, Ethernet Alliance, June 2010
2. https://en.wikipedia.org/wiki/100_Gigabit_Ethernet
3. Άρης Αλεξόπουλος, Γιώργος Λαγογιάννης, «Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών - 9η Έκδοση», Εκδόσεις γιαλός, 9^η έκδοση, 2015.
4. Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, “Computer Networks”, PEARSON Publications, 5th edition, 2010.