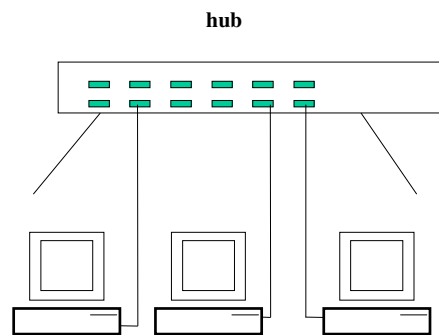


Κεφάλαιο 4

Διασύνδεση τοπικών δικτύων

Εισαγωγή

Με την επέκταση των τοπικών δικτύων εντός των οργανισμών ετέθη επιτακτικά το θέμα της διασύνδεσης αυτών για αύξηση της χρησιμότητάς τους. Παρότι, όπως έχει εξηγηθεί στο 3^ο κεφάλαιο, η αρχή λειτουργίας των τοπικών δικτύων δεν είναι κατάλληλη για μεγάλες αποστάσεις, υπάρχουν τρόποι να αυξηθεί σημαντικά η εμβέλειά τους χωρίς φυσικά και πάλι να ξεφεύγουν από τον τοπικό χαρακτήρα. Σε αργά δίκτυα τύπου Ethernet το πρωτόκολλο MAC μπορεί να λειτουργήσει μέχρι 2.5km αλλά το φυσικό στρώμα δεν μπορεί να οδηγήσει το σήμα για περισσότερο από 500 μέτρα. Μία απλή λύση γι' αυτό το πρόβλημα είναι οι επαναλήπτες (Repeaters) οι οποίοι ενισχύουν το σήμα ενός κλάδου αυξάνοντας την εμβέλεια του δικτύου. Ο επαναλήπτης είναι συσκευή που λειτουργεί στο πρώτο στρώμα επιτρέποντας να συνδεθούν και κάποια τερματικά που βρίσκονται σε ένα πιο μακρινό παράρτημα πέρα από το κυρίως κτίριο. Μια μορφή επαναλήπτη είναι και η πλήμνη (hub) μόνο που έχει πολλές εισόδους και εξόδους και ευρύτερη λειτουργικότητα. Δηλαδή εκτός από την ενίσχυση του σήματος το διαδίδει σε όλες τις εξόδους εκτός αυτής από την οποία αφίχθη επιτρέποντας την λειτουργία του Ethernet σε τοπολογία αστέρα με στριμμένα ζεύγη (ιδέ σχήμα 4-1). Η πλήμνη πέραν της αύξησης της εμβέλειας άλλαξε και την όλη τοπολογική διάταξη του Ethernet. Συνήθως εγκαθίσταται μία πλήμνη σε κάθε αίθουσα ή ομάδα αιθουσών και οι υπολογιστές συνδέονται προς αυτή, αντί για ένα ομοαξονικό καλώδιο να πηγαίνει από το ένα στον άλλο.



Σχήμα 4-1 Πλήμνη τοπικού δικτύου

Ωστόσο τρία σημαντικά μειονεκτήματα περιορίζουν την αποτελεσματικότητα των επαναληπτών:

- Δεν μπορούμε να διασυνδέσουμε με επαναλήπτες τοπικά δίκτυα διαφορετικής τεχνικής (π.χ. 10BASET, 100BASET, 10BASE5, δακτυλίου σκυτάλης κτλ)
- Σε ήδη μεγάλα δίκτυα τα οποία βρίσκονται στα όρια επιτρεπόμενων αποστάσεων ή συνολικού φόρτου δεν είναι δυνατή (περαιτέρω) διασύνδεση με επαναλήπτες.

- Το σπουδαιότερο ίσως μειονέκτημα είναι ωστόσο ότι στην κοινή περίπτωση δικτύων Ethernet ή CSMA/CD, το δημιουργούμενο ενωμένο τοπικό δίκτυο αποτελεί μία ενιαία επικράτεια συγκρούσεων (collision domain).

Τα δύο πρώτα είναι προφανή. Δεν είναι δυνατόν ένας σταθμός που εκτελεί ένα πρωτόκολλα να χειριστεί εκπομπές ενός άλλου που εκτελεί άλλο πρωτόκολλο. Εξ' άλλου όπως γνωρίζουμε από τη μελέτη των πρωτοκόλλων MAC, η αύξηση των αποστάσεων και του πλήθους των διασυνδεδεμένων υπολογιστών, περιορίζει την συνολική παροχέτευση πέραν από τον μειωμένο μέσο όρο διαθέσιμου ρυθμού για κάθε υπολογιστή. Ιδιαίτερα στην περίπτωση του Ethernet ή CSMA/CD, εκτός του ότι περισσότεροι υπολογιστές καλούνται να διαμοιραστούν το ίδιο κανάλι, οι αυξημένες πιθανότητες συγκρούσεων περιορίζουν περαιτέρω, και μάλιστα κατά μη γραμμικό τρόπο, την πραγματική διαπερατότητα που απολαμβάνει κάθε σταθμός, οδηγώντας σε ραγδαία πτώση την απόδοση πέραν κάποιου ορίου.

Αξίζει να σταθούμε στο τρίτο μειονέκτημα. Όταν ξεκίνησε το Ethernet κάθε τοπικό δίκτυο αυτού του τύπου αποτελούσε μια επικράτεια συγκρούσεων, δηλαδή προσέφερε ένα κοινόχρηστο 'αιθέρα' τον οποίο όλοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο εφόσον δεν τυχαίνει να θέλει ταυτόχρονα να τον χρησιμοποιήσει και κάποιος άλλος σταθμός. Στην αντίθετη περίπτωση θα προκύψει σύγκρουση λόγω του μη προελεγχόμενου τρόπου πρόσβασης. Οι συγκρούσεις είναι παράγων πολύ περιοριστικός για την αποδοτικότητα του δικτύου αλλά αναπόφευκτες αν θέλουμε να κρατήσουμε τον έλεγχο της πρόσβασης κατανεμημένο και απλό. Όταν πρωτο-εισήχθη το δίκτυο αυτού του τύπου δεν χρησιμοποιείτο συχνά ο όρος επικράτεια συγκρούσεων, επειδή ήταν αυτονόητο, δηλαδή η επικράτεια συγκρούσεων ήταν ταυτόσημη με αυτή του υποδικτύου Ethernet (ή CSMA/CD) και άρα περιττή. Όμως η επέκταση των διασυνδέσεων τοπικών δικτύων δια μέσου μεταγωγέων έφερε στο προσκήνιο και τον διαχωρισμό μεταξύ των ομάδων υπολογιστών των συνδεδεμένων σε διαφορετικές πόρτες ενός μεταγωγέα (ή μιας γέφυρας). Λόγω του τρόπου λειτουργίας του μεταγωγέα, οι εκπομπές αυτών των υπολογιστών δεν μπορούν να συγκρουστούν μεταξύ τους παρότι οι ίδιοι ανήκουν στο ίδιο τοπικό δίκτυο, άρα ανήκουν σε διαφορετικές επικράτειες συγκρούσεων που είναι ένα νέο σημαντικό πλεονέκτημα.

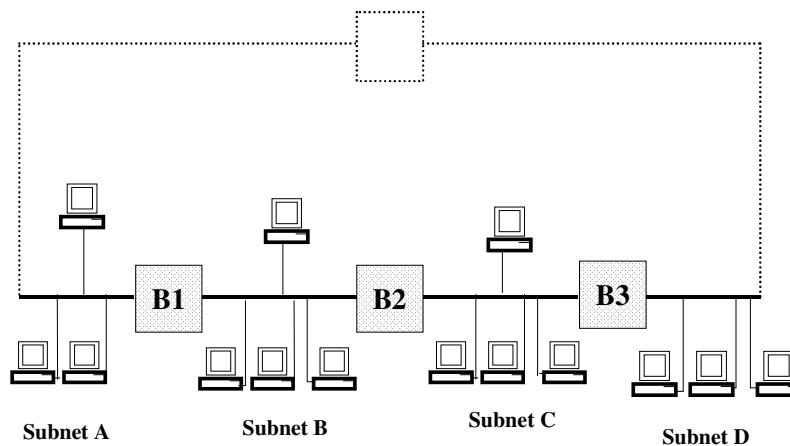
Το όφελος φαίνεται εύκολα αν σκεφθούμε ότι σε μία διασύνδεση μέσω επαναληπτών ή πλημνών, ενώ πριν την διασύνδεση τα δύο δίκτυα είχαν $2 \times 10 = 20$ Mbps (ονομαστική χωρητικότητα δικτύου) διαθέσιμα, τώρα έχουν μόνο 10 Mbps συνολικά. Το καθαρό μετά τις συγκρούσεις μπορεί να έπεσε από $2 \times 4 = 8$ Mbps στα 3 Mbps κατά μέσο όρο τις ώρες αιχμής. Βέβαια, σε δίκτυα μικρής κίνησης (πολύ συνηθισμένο) η δυνατότητα προσπέλασης δικαιολογεί την διασύνδεση αλλά όσο μεγαλώνει το δίκτυο γρήγορα φθάνει σε κορεσμό.

Στη συνέχεια θα δούμε πως λειτουργούν και οι μεταγωγείς που επιτρέπει να γίνει η διασύνδεση διατηρώντας χωριστές τις επικράτειες συγκρούσεων.

Γέφυρες (bridges) και Μεταγωγείς (routers) τοπικών δικτύων

Όπως εξηγήθηκε ανωτέρω, οι συσκευές που απλώς επαναλαμβάνουν τα bits δεν μπορούν να βοηθήσουν ιδιαίτερα την αποτελεσματική διασύνδεση των τοπικών δικτύων. Χρειάζεται κάποια επεξεργασία των δεδομένων για αύξηση της αποδοτικότητας. Το επόμενο βήμα σε αυτή την κατεύθυνση είναι οι γέφυρες οι οποίες δεν λειτουργούν στο φυσικό επίπεδο των bits, αλλά λαμβάνουν το κάθε πλήρες πλαίσιο, ελέγχουν την ορθότητα του και το αποθηκεύουν προσωρινά. Ακολουθώντας αφού εξετάσουν την διεύθυνση προορισμού MAC που φέρει το πλαίσιο, το προωθούν μόνο στις πόρτες που οδηγούν στον συγκεκριμένο προορισμό. Η πόρτα μετά το προωθεί στο άλλο δίκτυο όταν τις το επιτρέπει το πρωτόκολλο πρόσβασης στο άλλο μέσο δηλ. το MAC που μπορεί να είναι το ίδιο με αυτό του δικτύου προέλευσης ή διαφορετικό. Οι γέφυρες λειτουργούν λοιπόν στο δεύτερο επίπεδο και εκτελούν το πρωτόκολλο MAC θεωρώντας την κάθε πόρτα τους σταθμό του αντίστοιχου τοπικού δικτύου προς το οποίο είναι συνδεδεμένη. Δηλαδή στην περίπτωση π.χ. του CSMA/CD, η πόρτα παρακολουθεί το μέσο και τις επισυμβαίνουσες συγκρούσεις όπως κάθε σταθμός του δικτύου τηρώντας τον αλγόριθμο επίλυσης συγκρούσεων και όλα τα άλλα επιτάγματα του πρωτοκόλλου MAC κάθε τμήματος. Έτσι μπορεί να διασυνδέει και διαφορετικά είδη τοπικών δικτύων με μια πόρτα σε δακτύλιο σκυτάλης και την άλλη σε CSMA/CD.

Η γέφυρα μπορεί να ξεπερνά τους περιορισμούς απόστασης επιτρέποντας σε διαδοχικούς κλάδους να συνδέονται με τη μία γέφυρα μετά την άλλη, όπως π.χ. φαίνεται στο σχήμα 4-2.



Σχήμα 4-2 Διασύνδεση «κλασσικού» ΤΔ μέσω γεφυρών

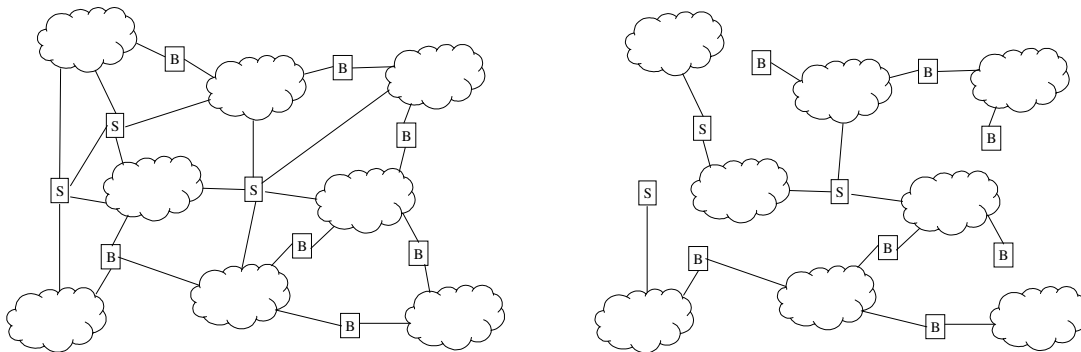
Στην πράξη αυτή δεν είναι καλή στρατηγική διότι δεν αφήνει εφεδρικές διαδρομές και δεν αντιμετωπίζει ικανοποιητικά τις βλάβες κλάδων. Γι' αυτό η συνήθης πρακτική είναι να γίνονται περισσότερες από τις απολύτως απαραίτητες διασυνδέσεις δημιουργώντας και πλεονασματικές διαδρομές, π.χ. τοποθετώντας άλλη μια γέφυρα μεταξύ πρώτου και τελευταίου υποδικτύου όπως φαίνεται με διακεκομμένες γραμμές στο σχήμα 4-2.

Σε αυτή τη διάταξη καμία διακοπή κλάδου κορμού δεν θα διακόψει την επικοινωνία, οι δε βλάβες γεφυρών δεν μπορούν να επηρεάσουν άλλους πλην των σταθμών που υποστηρίζονται από την χαλασμένη γέφυρα, διότι οι βλάβες ανιχνεύονται και παρακάμπτονται με το μηχανισμό του ελαχίστου επικαλύπτοντος δένδρου (minimum spanning tree) που εξετάζεται στη συνέχεια.

Εφεδρικοί δρόμοι και τα τοπολογικά προβλήματα τους

Είναι συνήθης πρακτική όταν διασυνδέονται δίκτυα να μην δημιουργείται μια μοναδική διαδρομή εξυπηρέτησης της κίνησης διότι σε περίπτωση βλάβης της συσκευής διασύνδεσης (γέφυρας ή μεταγωγέα) ή διακοπής του καλωδίου θα αποκόπτονται μεγάλες ομάδες υπολογιστών. Δημιουργούνται λοιπόν δύο ή περισσότερες εναλλακτικές διαδρομές όπως π.χ. έγινε στο σχήμα 4-2. Είναι όμως προφανές ότι αυτό δημιουργεί ένα νέο πρόβλημα με τους μεταγωγείς και τις γέφυρες που μπορεί να αρχίζουν να δρομολογούν κυκλικά πλαίσια αενάως στους κλειστούς βρόχους που δημιουργούνται από τις εναλλακτικές πλεονασματικές διαδρομές.

Επί παραδείγματι στο σχήμα 4-2 έχουμε δύο εναλλακτικούς δρόμους από το υποδίκτυο Α στο C για ασφάλεια. Όταν οι πίνακες είναι κενοί και φθάσει ένα πλαίσιο στη γέφυρα τότε αυτή θα το μεταδώσει και στις δύο πόρτες οπότε θα φθάσει στις άλλες γέφυρες οι οποίες θα το μεταδώσουν πίσω και έτσι θα ξαναέλθει στην πρώτη ο οποία ξανά θα κάνει το ίδιο με αποτέλεσμα συνεχή κυκλοφορία του πλαισίου επ' αόριστον. Λόγω της εκθετικής αύξησης των πλαισίων έχουμε κατάρρευση του δικτύου.

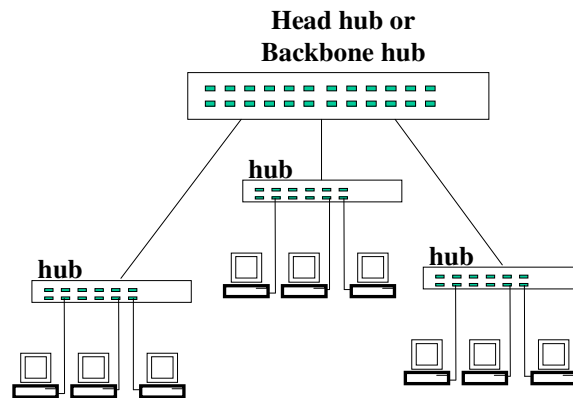


Σχήμα 4-3 Επικαλύπτον δένδρο

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τον εντοπισμό και χρήση ενός νοητού επικαλύπτοντος δένδρου (spanning tree). Το επικαλύπτον δένδρο ενός δικτύου κόμβων και ζεύξεων που τους συνδέουν είναι ένα υποσύνολο που περιέχει όλους τους κόμβους αλλά μόνο όσες ζεύξεις απαιτούνται για να διασυνδέσουν όλους τους κόμβους με ένα μοναδικό δρόμο (δηλ. χωρίς κανένα κλειστό βρόχο). Λέγεται έτσι γιατί η τοπολογία επικαλύπτεται πλήρως (δηλ. όλοι οι κόμβοι καλύπτονται) χωρίς κλειστούς βρόχους και κατά συνέπεια η τοπολογία έχει περιορισθεί σε δενδροειδή. Προκειμένου λοιπόν να αποφύγουν τις κλειστές διαδρομές, οι γέφυρες/μεταγωγείς επικοινωνούν μεταξύ τους και εκτελούν ένα αλγόριθμο που τους επιτρέπει να προσδιορίσουν ένα τέτοιο επικαλύπτον δένδρο. Ακολούθως απενεργοποιούν όλες εκείνες τις πόρτες που δεν περιλαμβάνονται στο δένδρο αποκόπτοντας τους κλειστούς βρόχους. Οι υπόλοιπες πόρτες θα ξανα-ενεργοποιηθούν μόνο εφόσον ανιχνευθεί βλάβη πόρτας ή διακοπή ζεύξης οπότε ξανατρέχουν τον αλγόριθμο και προσδιορίζουν ένα νέο δένδρο.

Ένα παράδειγμα διασυνδεδεμένων με πολλαπλές διαδρομές υπο-δικτύων φαίνεται στο σχήμα 4-3A ενώ ένα από τα δυνατά επικαλύπτοντα δένδρα δίδεται στο επόμενο σχήμα 4-3B . Παρατηρούμε ότι τώρα έχει μείνει μόνο μια δυνατή διαδρομή ενεργή για προσπέλαση οποιουδήποτε υποδικτύου. Το μειονέκτημα της λύσης αυτής είναι ότι δεν αξιοποιούνται οι εναλλακτικές διαδρομές όσο δεν υπάρχουν βλάβες και παραμένουν σε εφεδρεία ενώ θα μπορούσαν να ελαττώσουν τις καθυστερήσεις παρέχοντας επί πλέον ρυθμοδότηση, (πράγμα που επιτυγχάνεται με τη χρήση δρομολογητών για τις εφεδρικές διαδρομές, που όμως κοστίζουν περισσότερο).

Με την εισαγωγή των πλημνών η δημιουργία κυκλικού δικτύου κορμού διασύνδεσης των υποδικτύων υποκαταστάθηκε από ένα ιεραρχημένο σύστημα πλημνών όπου η ανώτερη έπαιξε το ρόλο του κορμού διασυνδέοντας τις πλήμνες των κατώτερων ιεραρχικά επιπέδων όπως φαίνεται στο σχήμα 4-4 (συγκρίνατε με το σχ. 4-2).



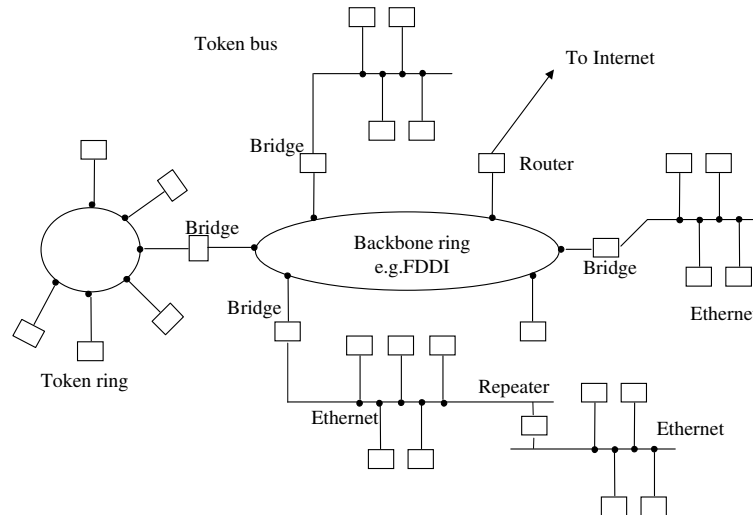
Σχήμα 4-4 Ιεραρχία πλημνών

Συνήθως μπορούμε να συνεχίσουμε έτσι μέχρι 4, 5 ιεραρχικά επίπεδα αν και συνήθως μετά τα τρία αρχίζει να έχουμε πολλούς υπολογιστές στην επικράτεια συγκρούσεων και δημιουργείται μεγάλη συγκέντρωση κίνησης που αποτρέπει την συνέχιση σε περισσότερα επίπεδα. Σε μικρά συστήματα αυτή η αρχιτεκτονική επαρκεί, σε μεγαλύτερα οι επικεφαλής πλήμνες διασυνδέονται μέσω μεταγωγέων. Αυτή η αρχιτεκτονική λύση έγινε ασυναγώνιστη μετά την εισαγωγή των δικτύων Ethernet υψηλής ταχύτητας αλλά κυρίως μετά την υποκατάσταση των πλημνών με μεταγωγείς, και είναι η επικρατούσα σήμερα.

Προτού όμως φθάσουμε στις σύγχρονες αρχιτεκτονικές διασύνδεσης τοπικών δικτύων ας δούμε πώς ήταν μια ολοκληρωμένη λύση όταν τα διαθέσιμα στοιχεία διασύνδεσης ήταν μόνο επαναλήπτες και γέφυρες.

Στο σχήμα 4-5 βλέπουμε διαγραμματικά μια τυπική εγκατάσταση που καλύπτει πολλά κτίρια ενός οργανισμού (π.χ. ένα διωλιστήριο, ή ένα Πανεπιστήμιο). Ένα Token ring που πιθανώς βρίσκεται στο τμήμα παραγωγής, ένα Token bus στο λογιστήριο και Ethernet στα γραφεία, διασυνδέονται μέσω γεφυρών. Οι γέφυρες, ο δρομολογητής που διασυνδέει την εταιρεία με τα εξωτερικά δίκτυα ευρείας περιοχής και ίσως μερικοί ισχυροί υπολογιστές που τρέχουν κρίσιμες

εφαρμογές διασυνδέονται μέσω ενός δικτύου κορμού (π.χ. FDDI). Κάτω δεξιά βλέπουμε ένα απομακρυσμένο τμήμα (π.χ. το ζυγιστήριο των βυτιοφόρων στο φυλάκιο εισόδου) να είναι προσκολλημένο μέσω επαναλήπτη σε ένα άλλο υποδίκτυο. Αυτή η διάταξη ήταν τυπική στις αρχές της δεκαετίας του 1990 πριν να αλλάξουν κάπως τα πράγματα με την εξάπλωση των πλημνών και των μεταγωγέων ζήτημα που θα εξετάζουμε στη συνέχεια.



Σχήμα 4-5 Σύστημα διασυνδεδεμένων ΤΔ

Ο μεταγωγέας (LAN switch)

Την ριζική επικράτηση του Ethernet με την Αρχιτεκτονική μορφή του αστέρα (λογικού και φυσικού) έφερε ο μεταγωγέας Ethernet (Ethernet switch). Ο μεταγωγέας τοπικού δικτύου είναι μια συσκευή συγγενής προς τη γέφυρα που εκμεταλλευόμενος την εξέλιξη της ηλεκτρονικής προς φθηνά πολύπλοκα ψηφιακά κυκλώματα γνώρισε από τα μέσα της δεκαετίας του 90 μεγάλη διάδοση. Ο μεταγωγέας μπορεί να θεωρηθεί σαν γέφυρα με μεγάλο αριθμό θυρών (π.χ. 8, 12, ή 24). Μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα είχαμε μια μικρή επανάσταση στα τοπικά δίκτυα αφ' ενός με την διάδοση της αστεροειδούς τοπολογίας του 10BASET με χρήση καλωδίων UTP και πλημνών και αφ' ετέρου των μεταγωγέων για διασύνδεση των πλημνών. Η εξέλιξη προς τη μείωση των συγκρούσεων που προκάλεσε ο μεταγωγέας, διευκόλυνε και την μετάβαση στις υψηλότερες ταχύτητες του 100BASET και αργότερα του Gigabit-Ethernet. Αυτή η αρχιτεκτονική λύση έχει πλέον κυριαρχήσει εκτοπίζοντας σε παλιές και ειδικές εγκαταστάσεις τις άλλες τεχνολογίες (δακτυλίου σκυτάλης, αρτηρίας σκυτάλης, Broadband Ethernet, αλλά και του 10BASE5 με τα ομοαξονικά του καλώδια).

Λόγω της σπουδαιότητας αυτής της τεχνολογίας ας εξετάσουμε λίγο περισσότερο τις αρχιτεκτονικές δυνατότητες και τις ιδιομορφίες της αρχίζοντας από την παρουσίαση του μεταγωγέα που είναι το στοιχείο που δίνει την μεγάλη ευελιξία.

Ο μεταγωγέας παρότι διαδόθηκε μόλις πρόσφατα κατά τα τελευταία 5 χρόνια του αιώνα δεν βασίζεται σε καμιά νέα επαναστατική ιδέα αφού δεν κάνει τίποτε άλλο από το να αποθηκεύει και προωθεί (store-and-forward) πλαίσια στις κατάλληλες πόρτες βάσει των διευθύνσεων 2ου επιπέδου (διευθύνσεις MAC) όπως και μια γέφυρα. Ενώ όμως η γέφυρα είχε αρχικά μόνο δύο πόρτες (δηλ. ήταν ένας πιο έξυπνος επαναλήπτης), ο μεταγωγέας έχει πολλές διεπαφές και οι

αλγόριθμοι ταυτόχρονης μεταγωγής από τις εισόδους στις εξόδους είναι πολύ απαιτητικοί δημιουργώντας ένα ιδιαίτερα υψηλής επίδοσης σύστημα. Πριν τις τελευταίες ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στα VLSI δεν θα μπορούσε κανείς να συναντήσει συσκευές τέτοιων επιδόσεων παρά μόνο στους μεταγωγείς των δημοσίων δικτύων που βεβαίως κόστιζαν πολλά εκατομμύρια για να χρησιμοποιηθούν σε τοπικά δίκτυα.

Βασικό χαρακτηριστικό των γεφυρών και μεταγωγέων είναι ότι δεν απαιτούν κανένα προγραμματισμό από μέρος του διαχειριστή δικτύου, είναι δηλαδή συσκευές plug-and-play (έτοιμες μόλις πάρουν ρεύμα). Έχουν δηλαδή την ικανότητα να δημιουργούν μόνες τους, τους πίνακες δρομολόγησης στους οποίους βασίζεται η λειτουργία τους. Οι πίνακες αντιστοιχίζουν διευθύνσεις MAC σε διεπαφές (δηλ. τις αντίστοιχες πόρτες) και περιλαμβάνουν τον χρόνο της τελευταίας εμφάνισης πλαισίου φέροντος την εν λόγω διεύθυνση. Το τελευταίο στοιχείο χρησιμοποιείται για την απαλοιφή της εγγραφής του πίνακα μόλις εκπνεύσει ο χρόνος ζωής της (που είναι 10-20 λεπτά).

Διεύθυνση MAC	Πόρτα	Χρόνος
55-A2-44-3B-67-00-00	1	8:22
7F-6A-85-46-55-00-71	2	8:27
2B-42-44-3B-67-00-31	1	8:11
...		
77-B3-42-44-3B-67-01	21	8:25

Μόλις ληφθεί ένα πλαίσιο η γέφυρα (ή ο μεταγωγέας) αναζητεί στον πίνακα την διεύθυνση προορισμού και εάν την βρει διαβάσει την αντιστοιχούσα πόρτα στην οποία και το προωθεί.

Για να μπορούν να λειτουργούν αμέσως μόλις τροφοδοτηθούν η γέφυρα ή ο μεταγωγέας (και χωρίς να χρειάζεται να προγραμματισθούν από τον διαχειριστή) έχουν την ικανότητα της αυτομάθησης για την δημιουργία του πίνακα. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι τα πλαίσια φέρουν και την διεύθυνση πηγής εκτός του προορισμού. Έτσι μόλις λάβει ένα πλαίσιο ο μεταγωγέας σημειώνει την πόρτα από την οποία ήλθε δίπλα σε νέα εγγραφή με την διεύθυνση πηγής. Έτσι σιγά-σιγά δημιουργεί ένα μεγάλο πίνακα με τις πιο πολλές διευθύνσεις των υπολογιστών που διαθέτει το υπο-δίκτυο που υποστηρίζεται από την κάθε πόρτα.

Η σειρά ενεργειών με την λήψη ενός εισερχόμενου πλαισίου είναι η εξής. Η συσκευή διαβάσει τις διευθύνσεις MAC προορισμού και προέλευσης και αναζητά τυχόν εγγραφές στον πίνακα δρομολόγησης με αυτή της τιμή. Ακολουθώς:

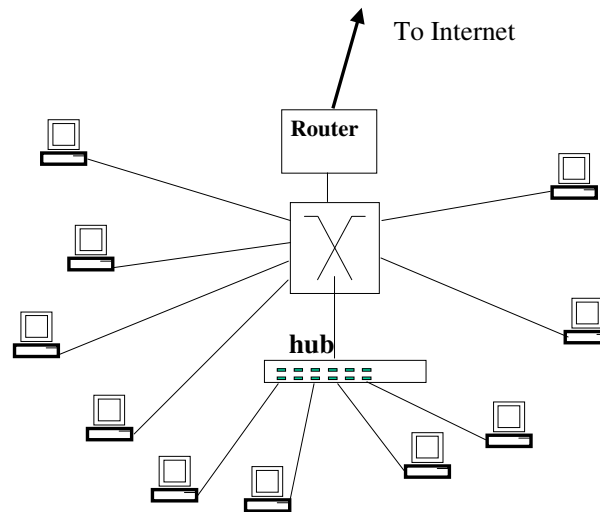
- Εάν οι διευθύνσεις MAC προέλευσης και προορισμού βρεθούν στον πίνακα και αντιστοιχούν στην ίδια διεπαφή τότε διαγράφει το πλαίσιο και ενημερώνει (ανανεώνει) τον χρόνο στην εγγραφή που αντιστοιχεί στην διεύθυνση προέλευσης εφόσον αυτός ο σταθμός εξακολουθεί να βρίσκεται πίσω από την συγκεκριμένη διεπαφή.
- Εάν είναι διαφορετικές τότε προωθεί το πλαίσιο στην διεπαφή (πόρτα) που αντιστοιχεί στην διεπαφή προορισμού και επίσης ενημερώνει τον χρόνο στην εγγραφή που αντιστοιχεί στην διεύθυνση προέλευσης.
- Εάν η διεύθυνση προορισμού δεν βρεθεί στον πίνακα χρησιμοποιεί πλημμυρίδα (ιδέ κατωτέρω) για την δρομολόγηση. Εάν ούτε η διεύθυνση προέλευσης δεν βρίσκεται στον

πίνακα τότε δημιουργεί μια νέα εγγραφή για την διεύθυνση προέλευσης αντιστοιχίζοντας την διεπαφή απ' όπου εμφανίστηκε (για να είναι δυνατή η δρομολόγηση τυχόν απάντησης πίσω προς αυτό τον σταθμό χωρίς εκ νέου χρήση πλημμυρίδας). Εάν ωστόσο η διεύθυνση προέλευσης βρεθεί, τότε απλά ενημερώνει τον χρόνο στην εγγραφή που της αντιστοιχεί.

Αξίζει να προσθέσουμε μία παρατήρηση για την πρώτη ανωτέρω περίπτωση. Εφόσον η γέφυρα διαπιστώνει ότι αμφότερες οι εγγραφές των σταθμών προέλευσης και προορισμού βρίσκονται πίσω από την ίδια πόρτα πρόκειται για τερματικούς σταθμούς που ανήκουν στην ίδια επικράτεια συγκρούσεων και η γέφυρα/μεταγωγέας δεν χρειάζεται να κάνει τίποτα περαιτέρω ή ότι το πλαίσιο έχει ήδη προωθηθεί στο υποδίκτυο προορισμού από άλλη γέφυρα/μεταγωγέα π.χ. στο σχήμα 4-2 θα δει η αριστερή γέφυρα B1 ίδιες διευθύνσεις για ένα πλαίσιο που προωθήθηκε από το από το υποδίκτυο C στο υποδίκτυο B μέσω της γέφυρας B2. Όσον λοιπόν αφορά την γέφυρα B1 και οι δύο σταθμοί βρίσκονται πίσω από την ίδια πόρτα χωρίς να μπορεί να ξεχωρίσει ότι βρίσκονται σε διαφορετικά υποδίκτυα, (ωστόσο αυτό το γνωρίζει η γέφυρα B2 διότι στις εγγραφές της οι δύο σταθμοί εμφανίζονται πίσω από διαφορετικές διεπαφές).

Παραμένει όμως το πρόβλημα πώς να χειριστούν οι συσκευές διασύνδεσης ένα πλαίσιο που φθάνει μόλις ξεκινήσει η λειτουργία όταν ο πίνακας είναι άδειος (διότι ναι μεν θα ενημερώσει το πίνακα με την διεύθυνση πηγής και την πόρτα άφιξης για μελλοντική δρομολόγηση προς αυτό τον προορισμό αλλά για το τρέχοντα προορισμό του πρώτου αφιχθέντος πλαισίου δεν υπάρχει τίποτα στον πίνακα. (το ίδιο συμβαίνει συχνά και μετά από ώρες λειτουργίας του μεταγωγέα (ή της γέφυρας) διότι κάποιος υπολογιστής μπορεί να άλλαξε θέση ή να προστέθηκε κάποιος νέος ή να έχει περάσει περισσότερη ώρα αδράνειας κάποιου σταθμού από τον χρόνο ζωής της εγγραφής στον πίνακα οπότε αυτή διαγράφεται. Στην περίπτωση λοιπόν που δεν βρεθεί εγγραφή με την διεύθυνση προορισμού οι μεταγωγείς/γεφυρες χρησιμοποιούν την τεχνική της πλημμυρίδας (flooding), δηλαδή προωθούν το πλαίσιο σε όλες τις πόρτες. Αυτό είναι μια σίγουρη μέθοδος για να φθάσει το πλαίσιο στον προορισμό, αλλά σπάταλη σε δικτυακούς πόρους αφού σε όλα εκτός από ένα από τα υποδίκτυα που θα το δεχθούν θα δημιουργήσει κίνηση χωρίς ωφέλιμο αποτέλεσμα. Ευτυχώς αυτό χρειάζεται να γίνεται σε ασήμαντα μικρό ποσοστό των πλαισίων. Το όφελος από την άλλη είναι η ευκολία της εγκατάστασης τύπου plug-and-play. Ομοίως για την ευελιξία στην αναδιοργάνωση που είναι συνήθης στους οργανισμούς που χρησιμοποιούν τα δίκτυα έχει προβλεφθεί και η μη απεριόριστη διάρκεια ζωής των εγγραφών των πινάκων. Έτσι επιτυγχάνεται η αναδιάταξη των υπολογιστών χωρίς κανένα αναπρογραμματισμό των συσκευών διασύνδεσης αφού θα εκπνεύσουν οι παλιές συσχετίσεις και θα δημιουργηθούν νέες.

Πολλοί μεταγωγείς διαθέτουν διεπαφές πλήρως αμφίδρομης λειτουργίας ενώ άλλοι έχουν χωριστά θύρες εισόδου και θύρες εξόδου.



Σχήμα 4-6 Σύνδεση απ' ευθείας ή μέσω πλήμνης

Στο σχήμα 4-6 βλέπουμε ότι μπορούμε να συνδέσουμε υπολογιστές και κατευθείαν σε πόρτες (διεπαφές) του μεταγωγός και όχι μόνο μέσω πλήμνης. Μια τέτοια λύση επιτρέπει στον σταθμό να έχει αφοσιωμένη σε αυτόν όλη την διεπαφή και το διαθέσιμο εύρος ζώνης (π.χ. 10 Mbps) αντί να το μοιράζεται με όλους τους άλλους που είναι συνδεδεμένοι σε μια πλήμνη που οδηγείται στην ίδια διεπαφή. Ωστόσο αν γενικεύσουμε αυτή τη στρατηγική θα δούμε ότι το κόστος δικτύωσης ανά υπολογιστή θα είναι αρκετά ψηλότερο γι' αυτό κατά κανόνα η σύνδεση γίνεται μέσω πλήμνης.

Δρομολογητές σε τοπικά δίκτυα

Ο δρομολογητής (router) είναι επίσης μια συσκευή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διασυνδέσει κλάδους τοπικών δικτύων. Βεβαίως ο δρομολογητής δεν περιορίζεται στα τοπικά δίκτυα όπως οι γέφυρες αλλά η αρχική του χρήση έγινε στα δίκτυα πακέτων ευρείας ζώνης σε αυτό που εξελίχθηκε στο γνωστό και πανταχού παρόν Διαδίκτυο. Είναι μια συσκευή που λειτουργεί στο 3^ο στρώμα σε αντίθεση με τους επαναλήπτες που λειτουργούν στο 1^ο και τις γέφυρες και τους μεταγωγείς που λειτουργούν στο 2^ο στρώμα. Χρησιμοποιεί για την δρομολόγηση την διεύθυνση IP και συνεπώς είναι πολύ διαφορετικός από τις άλλες συσκευές διασύνδεσης τοπικών δικτύων. Ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει δύο υποδίκτυα Ethernet αντί για μια γέφυρα με τον ίδιο τρόπο που οι δρομολογητές διασυνδέουν τα δίκτυα δύο διαφορετικών εταιρειών. Η σύνδεση μέσω δρομολογητή θα επιτρέψει στα δύο αυτά τμήματα του ΤΔ εταιρείας να επικοινωνούν και φυσικά θα κρατήσει χωριστά τις δύο επικράτειες συγκρούσεων με τα ανάλογα πλεονεκτήματα στην επίδοση. Από την άλλη μεριά είναι ακριβότερη λύση και συνολικά σαν λύση διασύνδεσης τοπικών δικτύων παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα έναντι των γεφυρών και μεταγωγέων.

Ο τρόπος που δημιουργούν πίνακες δρομολόγησης είναι πολύ διαφορετικός και χειρίζονται καλύτερα τα προβλήματα πλεονασματικών διαδρομών. Δεν είναι συσκευές που χρειάζονται απλά και μόνο τροφοδοσία για να λειτουργήσουν (plug-and-play) αλλά χρειάζονται κάποια πιο πολύπλοκη διαχείριση. Επίσης έχουν μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας διότι πρέπει να επεξεργαστούν τρία στρώματα και το κόστος ανά παροχετευόμενη πληροφορία είναι μεγαλύτερο από τον μεταγωγέα Ethernet. συνήθως είναι ακριβότεροι για την ίδια επίδοση ταχύτητας. Παρότι υπάρχουν σήμερα πολύ ισχυροί δρομολογητές με επεξεργασία βασισμένη σε ειδικά κυκλώματα υψηλής ολοκλήρωσης (VLSI) και πολλές πόρτες (αλλά κατάλληλοι μόνο για μεγάλους παροχείς υπηρεσιών Διαδικτύου λόγω κόστους), αυτοί που χρησιμοποιούνται στα τοπικά δίκτυα είναι βασισμένοι σε υπολογιστές εμπλουτισμένους με λίγες πόρτες E/E και η επεξεργασία γίνεται από λογισμικό.

Απέναντι στα ανωτέρω μειονεκτήματα πρέπει να παρατεθούν και σημαντικά πλεονεκτήματα. Λόγω της ιεραρχικής φύσης των διευθύνσεων IP, τα πακέτα δεν κάνουν κύκλους ακόμα και όταν υπάρχουν πλεονασματικές ζεύξεις που δημιουργούν κλειστούς βρόχους. Εξάλλου οι δρομολογητές δεν χρησιμοποιούν πλημμυρίδα όταν έχουν άδειους πίνακες αλλά αναζητούν πληροφορίες δρομολόγησης από γειτονικούς δρομολογητές χρησιμοποιώντας ειδικά πρωτόκολλα για να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Ακόμη και αν κάποιο πακέτο αρχίσει να κάνει κύκλους λόγω κάποιου σφάλματος στον πίνακα δρομολόγησης, υπάρχει ειδικό πεδίο στο πακέτο IP (time to live) που προκαλεί την απόρριψη ενός τέτοιου πακέτου μετά μερικούς κύκλους προτού προκαλέσει προβλήματα στο δίκτυο.

Απηλλαγμένοι απ' αυτό το πρόβλημα οι δρομολογητές δεν περιορίζονται στη χρήση μόνο κάποιου υποσυνόλου διαδρομών όπως του επικαλύπτοντος δένδρου αλλά μπορούν να μοιράζουν την κίνηση ανάμεσα στις εναλλακτικές διαδρομές επιταχύνοντας την διαβίβαση της κίνησης χρησιμοποιώντας ειδικούς αλγορίθμους επιλογής της καταλληλότερης ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες συμφόρησης. Μόνο όταν συμβεί βλάβη ή αποκοπή κλάδου περιορίζουν την δρομολόγηση στις υγιείς διαδρομές και διεπαφές. Σε αυτή την ιδιότητα οφείλεται η πλούσια τοπολογία του Διαδικτύου (Internet) με τις πολλαπλές ενεργές ζεύξεις ανάμεσα στα δίκτυα κορμού που το υποστηρίζουν όπως. Επί παραδείγματι μεταξύ Ευρώπης και Αμερικής δεν έχουμε

μία σύνδεση αλλά πολλές που είναι όλες ενεργές (δηλαδή φέρουν κίνηση ανα πάσα στιγμή και δεν είναι απλά εφεδρικές).

Φυσικά όταν μιλάμε για τοπικά δίκτυα και οι ζευξείς και οι συσκευές δικαιολογούν πολύ μικρότερο κόστος αλλά οι μικροί δρομολογητές δεν παύουν να αποτελούν την καταλληλότερη λύση για την πολλαπλή εναλλακτική διασύνδεση δύο μεγάλων υποδικτύων. Ένα άλλο τους πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα δημιουργίας “πυρίμαχων τοίχων” (firewalls) για βελτιωμένη προστασία ασφαλείας. Οι πύρινοι τοίχοι είναι λογισμικό που προβαίνει σε διάφορους ελέγχους στην διερχόμενη κίνηση αποτρέποντας πολλαπλασιασμό μηνυμάτων κοινοποίησης (broadcast storms) αλλά και μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε πόρους του δικτύου ή κακοπροαίρετες επιθέσεις στο δίκτυο και τα περιεχόμενα των βάσεων δεδομένων.

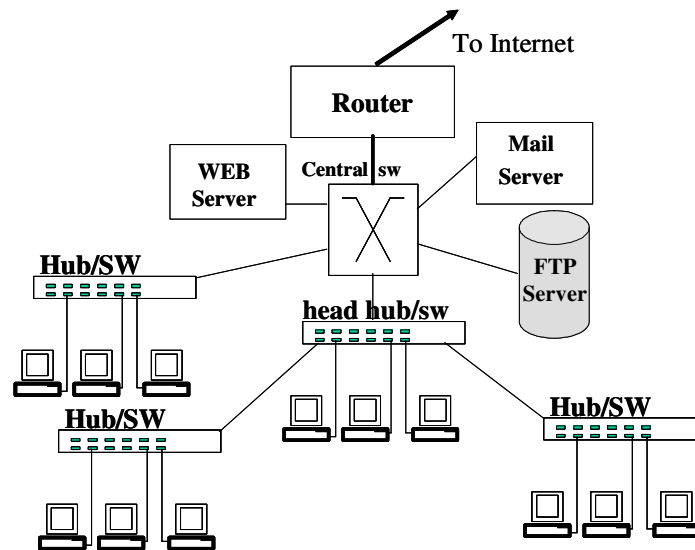
Ένα πολύ μεγάλο ΤΔ αρχίζει να έχει πρόβλήματα με την γεωμετρικά αυξανόμενο πλήθος μηνυμάτων κοινοποίησης (π.χ. αρχική πλημμυρίδα των μεταγωγέων, μηνύματα ARP –address resolution Protocol, κτλ). Με τον διαχωρισμό του σε υποδίκτυα μέσω δρομολογητών ελαττώνονται τα μηνύματα multicast/broadcast και ανακουφίζεται το δίκτυο από την έξτρα κίνηση που δημιουργούν αυτά. (Βέβαια το ίδιο μπορεί να επιτευχθεί με χρήση εικονικών δικτύων τα οποία εξετάζονται σε χωριστό τμήμα). Εν κατακλείδι, η χρήση δρομολογητών σε ένα ΤΔ έχει νόημα μόνο σε πολύ μεγάλα δίκτυα και κυρίως για χωρισμό σε υποδίκτυα και διαχείριση εφεδρικών (πλεονασματικών) διαδρομών.

Αρχιτεκτονικές λύσεις για συμπλέγματα τοπικών δικτύων.

Εξετάσαμε τα διάφορα δομικά στοιχεία των τοπικών δικτύων, ας δούμε τώρα πώς συνδυάζονται για να δημιουργήσουν ορθολογισμένες αρχιτεκτονικές λύσεις. Είδαμε ότι υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις για τα διάφορα προβλήματα π.χ. να χρησιμοποιήσουμε πλήμνες ή μεταγωγείς για την σύνδεση των σταθμών (υπολογιστών) μας; για την διασύνδεση να προτιμήσουμε πολλές γέφυρες ή μερικούς μεταγωγείς ή δρομολογητές; να δημιουργήσουμε δίκτυο κορμού που να σαρώνει όλα τα τοπικά δίκτυα ενός οργανισμού (εταιρείας, Πανεπιστημίου, τράπεζας κτλ.) ή να επιλέξουμε ad hoc διασυνδέσεις με γέφυρες, μεταγωγείς και δρομολογητές;

Υπάρχουν μερικοί κανόνες που οδηγούν σε σωστές και αποτελεσματικές αρχιτεκτονικές. Κατ’ αρχάς υιοθετείται μια ιεράρχηση στο δίκτυο που βοηθά στη λήψη μέτρων αποτροπής τηλεπικοινωνιακής συσκότισης (black out). Πρέπει να προστατευθούν έστω και με μεγαλύτερο κόστος οι πιο κρίσιμες διασυνδέσεις. Προφανώς δεν είναι τόσο κρίσιμο αν αποκοπεί μία αίθουσα όσο ένα ολόκληρο κτίριο. Αρχίζοντας από τα χαμηλά επίπεδα, ομάδες υπολογιστών ανά αίθουσα οδηγούνται σε μία πλήμνη ενώ οι έξοδοι από αυτές τις πλήμνες που ανήκουν σε μια πτέρυγα ενός κτιρίου ή έχουν μία διοικητική εξάρτηση π.χ. όσοι είναι σε ένα εργαστήριο ή ένα τμήμα προμηθειών, λογιστήριο κτλ. οδηγούνται στις πόρτες 10Mbps ενός μεταγωγέα ή μιας πλήμνης 2ου επιπέδου. Ειδικοί σταθμοί που τρέχουν κρίσιμες εφαρμογές μπορεί να έχουν δική τους αφοσιωμένη σύνδεση σε πόρτα 2ου ιεραρχικού επιπέδου ή σε αποκλειστική πόρτα του μεταγωγέα για να μην εμποδίζονται από την ανταγωνιστική κίνηση (π.χ. ένας σταθμός στην αίθουσα τηλεδιασκέψεων). Η κίνηση που κατ’ αυτόν τον τρόπο συγκεντρώνεται από πολλά τέτοια συγκροτήματα (τυπικώς ανά κτίριο) διασυνδέεται προς ένα δίκτυο κορμού υψηλής ταχύτητας που σαρώνει τα κτίρια. Το ρόλο του κορμού διασύνδεσης μπορεί να παίζει ένας δακτύλιος FDDI ή (πιο σύνηθες στις αρχές του 21^{ου} αιώνα) ένας μεταγωγέας Gigabit Ethernet σε μεγάλα δίκτυα ή απλά ένας μεταγωγέας με πόρτες των 100Mbps σε μικρότερα υποδίκτυα. Στον

κορμό επισυνάπτεται και ο δρομολογητής που αποτελεί την πύλη διόδου (gateway) του οργανισμού προς τον έξω κόσμο και την διασύνδεση προς το Διαδίκτυο. Εάν υπάρχουν μικρά παραρτήματα π.χ. ένας μετεωρολογικός σταθμός ή ένα αστεροσκοπείο μία αποθήκη κτλ σε μεγάλη απόσταση, αυτός θα συνδεθεί μέσω μόντεμ ή ISDN (εάν η αναμενόμενη κίνηση είναι μικρή) ή μέσω μισθωμένης γραμμής της απαιτούμενης χωρητικότητας (64kbps, 2Mbps, 34Mbps κτλ φυσικά και το μίσθωμα που θα καταβάλλεται στο ΟΤΕ εξαρτάται από την ταχύτητα).



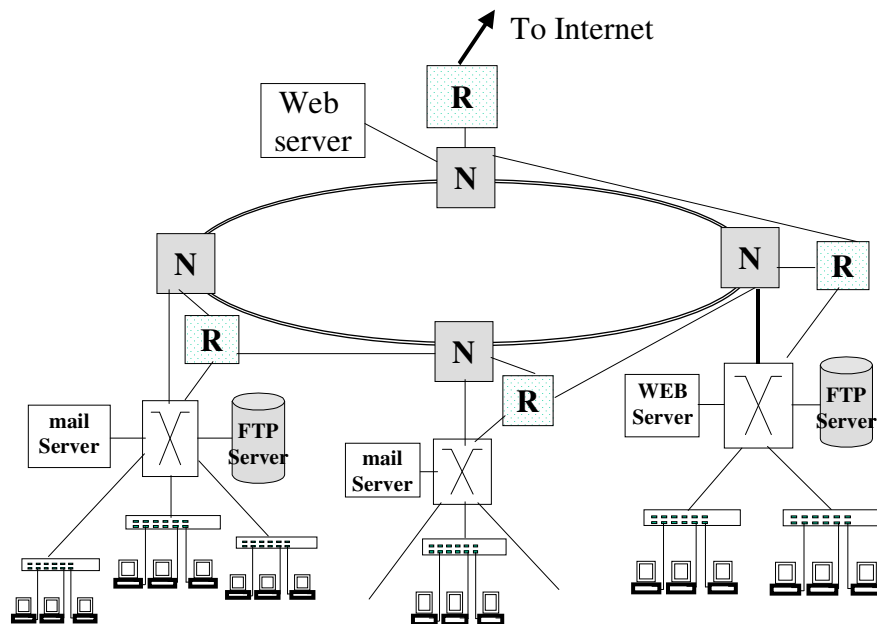
Σχήμα 4-8 Σύγχρονη αρχιτεκτονική μικρού συγκροτήματος ΤΔ

Σε μικρά δίκτυα όπως αυτό του σχήματος, 4-8 σε μια πόρτα του κεντρικού μεταγωγέα κορμού (κατά προτίμηση υψηλότερης ταχύτητας) “κρεμίζεται” ο εξυπηρετητής αρχείων όπου τηρούνται οι βάσεις δεδομένων (π.χ. οι εφαρμογές αποθήκης ενός σουπερμάρκετ, ή το πελατολόγιο ενός μαγαζιού χονδρεμπορίου) καθώς και τυχόν web servers που μπορεί να έχει η εταιρεία ή ο οργανισμός.

Για δημιουργία ενός δικτύου ανθεκτικού σε βλάβες πρέπει να δημιουργηθούν εναλλακτικές διαδρομές που να διασυνδέουν υποδίκτυα. Αυτό γίνεται κατά προτίμηση με χρήση δρομολογητών λόγω των πλεονεκτημάτων που περιγράφηκαν πιο πάνω οι οποίοι δημιουργούν εναλλακτικές διασυνδέσεις με στοιχεία του δικτύου που βρίσκονται υψηλά στην ιεραρχία. Βλάβες στα στοιχεία που βρίσκονται χαμηλά δεν δημιουργούν τόσα προβλήματα στην λειτουργία του οργανισμού που να δικαιολογεί το επί πλέον κόστος της πλεονασματικότητας. (Π.χ. η βλάβη μιας πόρτας μιας πλήμνης ή όλης της πλήμνης θα έχει επίπτωση μόνο σε ένα ή λίγους σταθμούς και αντιμετωπίζεται εύκολα εάν μετακινηθούν οι χρήστες σε ένα διπλανό σταθμό ή ακόμα και δωμάτιο. Εάν τυχόν σε κάποιο σταθμό γίνεται μια κρίσιμη για τη επιχείρηση λειτουργία δεν αποκλείεται φυσικά να επιλεγεί κάποια εφεδρική υποστήριξη αλλά κατά κανόνα αυτό δεν είναι απαραίτητο.

Ο δακτύλιος σαν αρχιτεκτονική κορμού επιλέγεται διότι προσφέρει ακριβώς την στιβαρότητα που απαιτείται χωρίς διπλασιασμό των επενδύσεων. Όποιος κλάδος και να κοπεί όλα συνεχίζουν να λειτουργούν ενώ εάν χαλάσει ένας κόμβος του δακτυλίου θα χάσουμε μόνο τους σταθμούς που υποστηρίζει ο κόμβος ενώ όλο το υπόλοιπο δίκτυο θα συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά.

Αλλά ούτε η υποστήριξη των υπολογιστών που προσκολλώνται στο χαλασμένο κόμβο θα διακοπεί εάν έχουμε φροντίσει να χρησιμοποιήσουμε εναλλακτικές διασυνδέσεις μέσω δρομολογητών όπως φαίνεται στο σχήμα 4-9. Το μόνο που θα αντιληφθούν οι χρήστες είναι μια ελάττωση της απόκρισης του δικτύου λόγω συμφόρησης και αυτό μόνο εάν στην διαστασιολόγηση του δικτύου οι δρομολογητές έπαιρναν και πριν την βλάβη σημαντικό φόρτο και δεν υποχρησιμοποιούνται (οπότε ήσαν ουσιαστικά σε εφεδρεία εν λειτουργία)



Σχήμα 4-9 Σύγχρονη αρχιτεκτονική μεγάλου συγκροτήματος ΤΔ

Αξίζει να προσεχθεί η διαφορά αρχιτεκτονικής ανάμεσα στο σχήμα 4-5 που δείχνει μια τυπικά λύση της εποχής του 1990 με αυτή των σχημάτων 4-8 και 4-9 που δείχνουν την σημερινή αρχιτεκτονική

Προτού κλείσουμε το ζήτημα της διασύνδεσης των δικτύων πρέπει να αναφέρουμε ότι για την διασύνδεση προς τα δημόσια δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN=(Wide Area Networks) με τα οποία γίνεται η επικοινωνία με τον έξω κόσμο, δηλαδή το IP ο δρομολογητής είναι η μόνη επιλογή, διότι η διασύνδεση δεν μπορεί να λάβει χώρα πιο κάτω από το στο τρίτο επίπεδο. Στο πρώτο επίπεδο μπορούμε να διασυνδέσουμε μόνο δίκτυα της ίδιας απολύτως τεχνολογίας (π.χ. 10baseT) ώστε ο τελικός δέκτης να βρει ακριβώς το ίδιο σήμα σαν να μην είχε παρεμβληθεί ο επαναλήπτης, αλλά επί πλέον το στρώμα MAC στο οποίο θα παραδοθεί το πλαίσιο να καταλαβαίνει και να εκτελεί το ίδιο πρωτόκολλο.

Για να διασυνδέσουμε δίκτυα διαφορετικού φυσικού στρώματος (π.χ 10baseT με 10base5) ή διαφορετικού στρώματος MAC (π.χ. CSMA/CD με Token ring) πρέπει η σύνδεση να γίνει στο

2ο στρώμα ή πιο πάνω (δηλ. με γέφυρα, μεταγωγέα ή δρομολογητή). Η μια πόρτα θα πρέπει να διαθέτει κάρτα με διεπαφή για τον ένα τύπο δικτύου και η άλλη για τον άλλο τύπο ώστε κάθε πλευρά να μπορεί να εκτελέσει το σωστό πρωτόκολλο πρόσβασης στο μέσο (MAC). Όταν συνδέεται το τοπικό δίκτυο προς ένα δίκτυο με διαφορετικό 2ο στρώμα τότε πρέπει να φθάσουμε στο τρίτο στρώμα για την διασύνδεση. Εννοείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις στα τερματικά πρέπει να είναι κοινά και όλα τα ανώτερα πρωτόκολλα. Έτσι στην πολύ κοινή περίπτωση της διασύνδεσης στο Internet οι τερματικοί υπολογιστές διαθέτουν TCP και IP ή IPX και βεβαίως κοινή εφαρμογή (Browser, FTP, Telnet κτλ.) αλλιώς δεν θα ήταν αποτελεσματική η χρήση του δρομολογητή.

Προτού κλείσουμε είναι ευκαιρία να παρουσιάσουμε και την σημαντική δικτυακή έννοια της **συγκέντρωσης κίνησης** την οποία επιτελούν συσκευές όπως η πλήμνη, ο μεταγωγέας αλλά και ολόκληρο το ΤΔ σε σχέση με τον έξω κόσμο. Δηλαδή ενώ ως προς την εσωτερική κίνηση έχουμε ένα δίκτυο που δρομολογεί την κίνηση από οποιοδήποτε τερματικό σε οποιοδήποτε άλλο, για την κίνηση προς τον έξω κόσμο το ΤΔ πολυπλέκει όλα τα πακέτα και τα εξάγει από μια (και ίσως άλλη μια εφεδρική για λόγους ασφαλείας) πόρτα όπου έχει «συγκεντρωθεί» όλη η τηλεπικοινωνιακή κίνηση του οργανισμού. Παρατηρούμε ότι κάθε μεταγωγέας στην τυπική αρχιτεκτονική του ΤΔ έχει μια πόρτα (uplink) που έχει διαφορετικό ρόλο από τις άλλες, η οποία μπορεί επίσης να είναι υψηλότερης ταχύτητας από τις άλλες και η οποία συγκεντρώνει την κίνηση και την προωθεί προς την επόμενη ανώτερη ιεραρχικά συσκευή. Αυτό συμβαίνει στην περιφέρεια των δικτύων με στόχο να απαιτούνται όλο και λιγότερες πόρτες με όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα για λόγους οικονομίας. Αυτή η συγκέντρωση κίνησης συνεχίζεται και εκτός των ΤΔ στα δίκτυα των παρόχων οι οποίοι επίσης προσπαθούν να συγκεντρώσουν την κίνηση σε λίγες ζεύξεις/πόρτες υψηλής ταχύτητας προς τα δικά τους δίκτυα κορμού και από εκεί στους παρόχους άλλων χωρών ή και ηπείρων. Από εκεί και πέρα αρχίζει η αντίστροφη πορεία (αποκέντρωση) προς αναζήτηση του τελικού τερματικού-στόχου ενός πακέτου στο ΤΔ προορισμού του. Παρόμοια πορεία ακολουθεί και ένα αυτοκίνητο που ξεκινά από π.χ. τα στενά της Αθήνας για να βρεί την εθνική οδό υψηλής ταχύτητας (όπου συγκεντρώνονται και πολλά άλλα αυτοκίνητα με τα οποία θα μοιραστεί μόνο το κοινό μέρος της διαδρομής) και μετά να ξαναμπει στα στενά π.χ. της Θεσσαλονίκης προς αναζήτηση της οικίας προορισμού.