

4 ΥΠΟΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΜΕΣΟΥ

4.1 IEEE PROJECT 802

Όλα τα πρωτόκολλα επιπέδου σύνδεσης δεδομένων, που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, και ιδιαίτερα το πρότυπο HDLC, δε μπορούν να υποστηρίξουν συστήματα (LAN και MAN) πολλών ισοδύναμων σταθμών συνδεδεμένων σε multipoint τοπολογίες. Αυτού του είδους τα συστήματα είναι γνωστά ως συστήματα ανταγωνισμού (contention systems). Οι χρήστες συναγωνίζονται για την πρόσβασή τους στο μοναδικό κανάλι επικοινωνίας και αυτό οδηγεί πολλές φορές σε συγκρούσεις (collisions) πλαισίων, αφού δεν υπάρχει ο primary σταθμός για να ελέγξει και να διαχειριστεί το κανάλι.

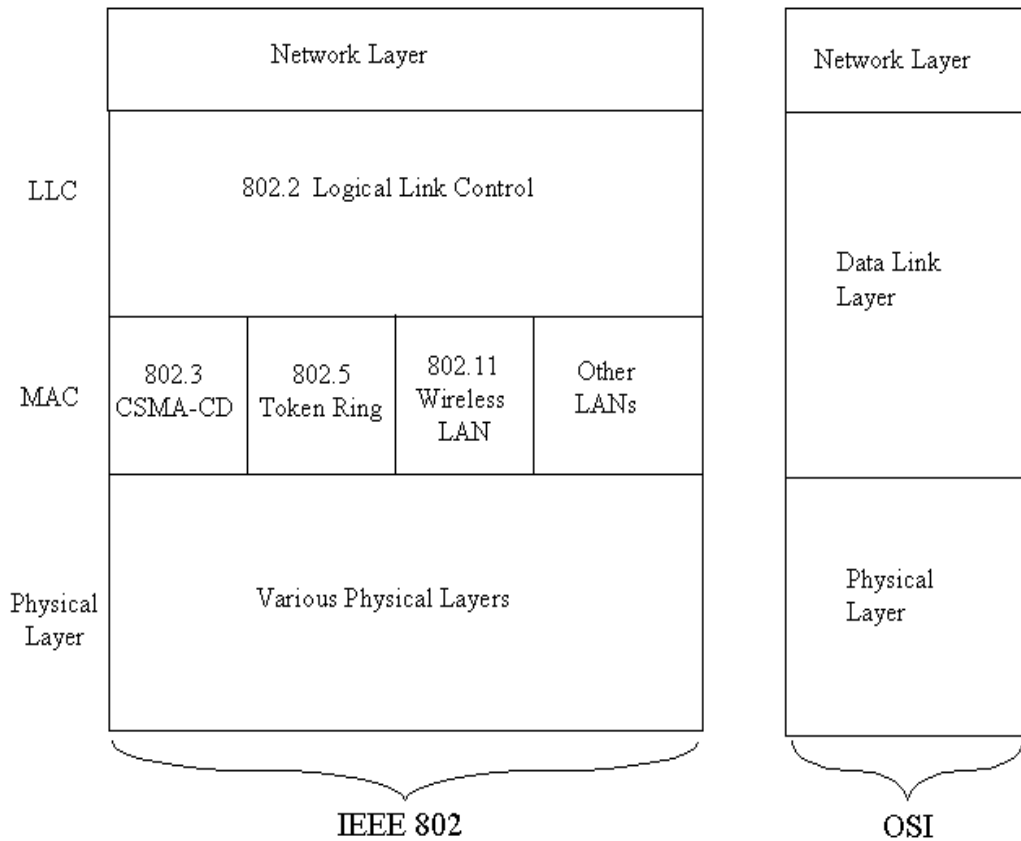
Έτσι, η συνεχής ανάπτυξη και αύξηση της πολυπλοκότητας των τοπικών δικτύων (LANs), αλλά και των μητροπολιτικών (MANs), οδήγησε στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων που να μπορούν να διαχειρίζονται τις γραμμές επικοινωνίας κάτω από συνθήκες που περιγράφηκαν στην παραπάνω παράγραφο. Ένας πρόδρομος αυτών των πρωτοκόλλων είναι το σύστημα Aloha, το οποίο εξετάζεται στην συνέχεια. Σταθμό στην ανάπτυξη τους αποτέλεσε το project 802 της IEEE, το οποίο ξεκίνησε το 1985.

Το project 802 διέσπασε το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων σε δύο υποεπίπεδα, το LLC (Logical Link Control) και το MAC (Medium Access Control). Το υποεπίπεδο LLC (IEEE 802.2) καλύπτει όλες εκείνες τις απαραίτητες λειτουργίες, που 'κληρονομήθηκαν' από το πρότυπο HDLC. Είναι σταθερό και ανεξάρτητο από το πρωτόκολλο του MAC. Το πλαίσιο δεδομένων (Frame) που χρησιμοποιεί είναι παρόμοιο με αυτό του πρωτοκόλλου HDLC και περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη μεταφορά πλαισίων διαμέσου πολλαπλών LANs (π.χ. από Ethernet σε Token Ring).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι, το πρότυπο IEEE 802.1 καθορίζει τις λειτουργίες διαδικτύωσης, δηλαδή, τις λειτουργίες του ανωτέρου επιπέδου (Network Layer).

4.2 ΥΠΟΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΜΕΣΟΥ (MAC SUBLAYER)

Το υποεπίπεδο προσπέλασης μέσου καθορίζει τον τύπο, τη λειτουργία και τη συμπεριφορά του δικτύου (LAN ή MAN), ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί. Τα διάφορα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί είναι το Ethernet (IEEE 802.3), Token Bus (IEEE 802.4), Token Ring (IEEE 802.5), DQDB (Distributed Queue Dual Bus – IEEE 802.6), FDDI (ITU-T X.3, όχι πρότυπο της IEEE), και άλλα.



Εικόνα 4.1: Αντιπαράθεση του IEEE 802 με το μοντέλο OSI

4.2.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ALOHA

Το σύστημα Aloha αναπτύχθηκε στη Χαβάη, από τον Norman Abramson, το 1970. Είχε ως στόχο, την δικτυακή διασύνδεση όλων των εγκαταστάσεων του πανεπιστημίου της Χαβάης, με τον κεντρικό υπολογιστή της πανεπιστημιούπολης.

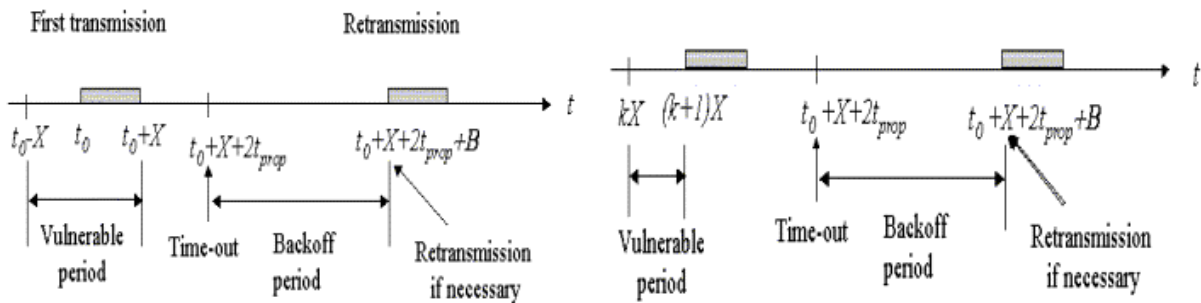
Η λειτουργία του συστήματος είναι πολύ απλή: όποτε ο χρήστης έχει δεδομένα, μπορεί να τα προωθεί αμέσως στο μοναδικό κανάλι, αδιαφορώντας για τυχόν μεταδόσεις από άλλους χρήστες. Έτσι, το σύστημα εξασφαλίζει τη μικρότερη δυνατή καθυστέρηση, αλλά αυτή η 'αναρχία' των εκπομπών οδηγεί σε μεγάλο αριθμό συγκρούσεων πακέτων (collisions) και επομένως αναμεταδόσεων. Για να αποφευχθούν δυσάρεστα φαινόμενα συγχρονισμένων συγκρούσεων πακέτων, οι αναμεταδόσεις γίνονται σε τυχαία χρονικά σημεία, για τον κάθε χρήστη. Χρησιμοποιώντας ένα υποθετικό μοντέλο Poisson για τη μελέτη του συστήματος Aloha, ο Abramson κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο μέγιστος

ρυθμός εξυπηρέτησης (Throughput) του συστήματος είναι μόλις το 18.4 % της διαθέσιμης χωρητικότητας. Δηλαδή, η υπόλοιπη χωρητικότητα του καναλιού ξοδεύεται για αναμεταδόσεις κατεστραμμένων πακέτων.

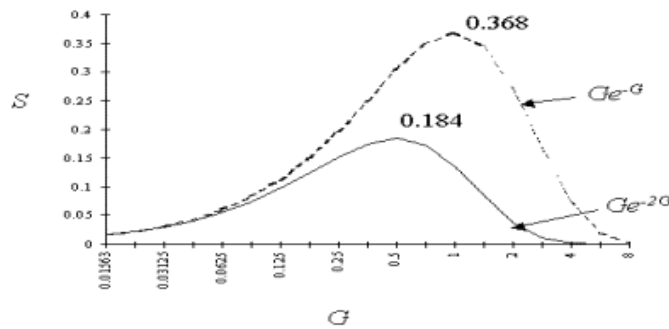
Το 1972, ο Roberts βελτίωσε το σύστημα του Abramson (pure Aloha – καθαρό Aloha) διπλασιάζοντας το μέγιστο ρυθμό εξυπηρέτησης στο 36.8% της ολικής χωρητικότητας του καναλιού. Το σύστημα του Roberts ονομάστηκε Aloha με σχισμές (Slotted Aloha) εξαιτίας της σύγχρονης δομής με σχισμές (Time Slots) που χρησιμοποιούσε. Έτσι, στο Slotted Aloha οι συγκρούσεις μεταξύ των πακέτων περιορίζονται στο να συμβούν εντός της ίδιας χρονικής σχισμής.

ALOHA Random Access Scheme

Slotted ALOHA



Throughput for ALOHA and Slotted ALOHA



Εικόνα 4.2: α) Καθαρό ALOHA (pure ALOHA). β) ALOHA με σχισμές (Slotted ALOHA). γ) Σύγκριση του καθαρού ALOHA και του ALOHA με σχισμές, με βάση τις επιδόσεις τους

4.2.1.1 Μαθηματική Ανάλυση του Aloha

Έστω S ο ρυθμός αφίξεων νέων πακέτων στο σύστημα. Αν όλα τα νέα πακέτα καταφέρουν να φθάσουν στον προορισμό χωρίς καμία σύγκρουση, το S αποτελεί το ρυθμό εξυπηρέτησης του συστήματος. Συμβολίζουμε με G τον ολικό φόρτο του συστήματος, δηλαδή το ρυθμό εισαγωγής πακέτων στο σύστημα. Προφανώς, το G αφορά τόσο τα νέα πακέτα όσο και τα πακέτα που αναμεταδίδονται λόγω προηγούμενων συγκρούσεων.

Ο Abramson έκανε την υπόθεση ότι ο διαδικασία αφίξεων πακέτων στο σύστημα περιγράφεται από μια κατανομή Poisson, με μέση τιμή $2G/2X$. Επομένως, η πιθανότητα να πραγματοποιηθούν k μεταδόσεις πακέτων εντός χρονικού διαστήματος $2X$, είναι και η κρίσιμη χρονική περίοδος (Vulnerable Period), είναι:

$$P_k = \frac{(2G)^k}{k!} e^{-2G}, k = 0,1,2,\dots$$

Ο ρυθμός εξυπηρέτησης θα δίνεται από τη σχέση $S = GP_0$. Επομένως, με περαιτέρω ανάλυση προκύπτει ότι $S = Ge^{-2G}$. Η γραφική παράσταση του S συναρτήσει του G φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Το S δε μπορεί να ξεπεράσει το όριο $1/2e = 0.184$.

Ο αναμενόμενος αριθμός μεταδόσεων ανά πακέτο (έστω E) δίνεται από τον

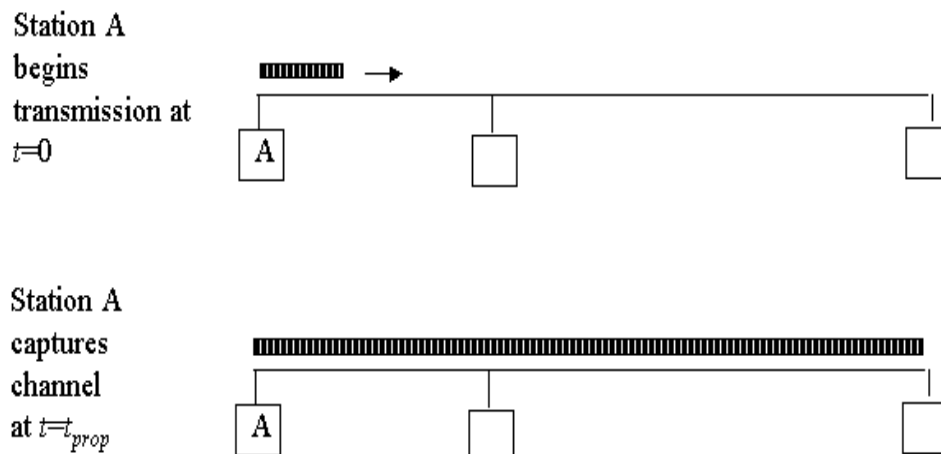
παρακάτω τύπο:
$$E = \sum_{k=1}^{\infty} kP_k = \sum_{k=1}^{\infty} ke^{-2G} (1 - e^{-2G})^{k-1} = e^{2G}.$$

Όσον αφορά το Aloha με σχισμές ο κρίσιμος χρόνος στον οποίο πραγματοποιούνται οι συγκρούσεις μειώνεται στο μισό, από $2X$ σε X . Επομένως, με την ίδια υπόθεση της κατανομής Poisson του συνολικού φόρτου, η μέση τιμή είναι G/X . Η σχέση που δίνει το ρυθμό εξυπηρέτησης ως προς το φόρτο είναι η ακόλουθη: $S = Ge^{-G}$. Επομένως, το S δεν μπορεί να υπερβεί το όριο $1/e = 0.368$. Ο αναμενόμενος αριθμός μεταδόσεων ανά πακέτο είναι: $E = e^G$.

4.2.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ-CARRIER SENSE PROTOCOLS

Τα πρωτόκολλα ανίχνευσης φέροντος αναπτύχθηκαν ώστε να εμποδίσουν το φαινόμενο των συχνών συγκρούσεων πακέτων, το οποίο εμφανίζεται σε μεγάλη συχνότητα στο σύστημα Aloha. Στόχος τους είναι να ακούν το μέσο μετάδοσης για τυχόν ύπαρξη φέροντος και να δρουν ανάλογα. Έτσι, η πρόσβαση των σταθμών στο μέσο δεν είναι με εντελώς τυχαίο τρόπο, όπως στο Aloha. Τα κυριότερα πρωτόκολλα ανίχνευσης φέροντος είναι τα ακόλουθα:

CSMA Random Access Scheme



Εικόνα 4.3: Η τυχαία προσπέλαση καναλιού με χρήση πρωτοκόλλου CSMA

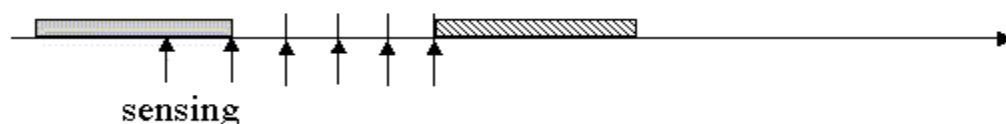
4.2.2.1 1 – επίμονο CSMA (1 – Persistent CSMA)

Όταν κάποιος σταθμός θέλει να στείλει δεδομένα, ακούει με προσοχή το κανάλι εκπομπής για να δει μήπως μεταδίδει κάποιος άλλος. Αν το κανάλι είναι απασχολημένο, ο σταθμός περιμένει μέχρι να ελευθερωθεί (idle). Όταν το κανάλι ελευθερωθεί, ο σταθμός μεταδίδει ένα πλαίσιο (frame). Αν διαπιστωθεί σύγκρουση, ο σταθμός αναμένει για κάποιο τυχαίο χρονικό διάστημα και μετά αρχίζει πάλι από την αρχή. Η ονομασία του πρωτοκόλλου πηγάζει από το γεγονός ότι ο σταθμός μεταδίδει με πιθανότητα 1, όποτε διαπιστώνει ότι το κανάλι είναι αδρανές.

4.2.2.2 Μη – Επίμονο CSMA (Non – Persistent CSMA)

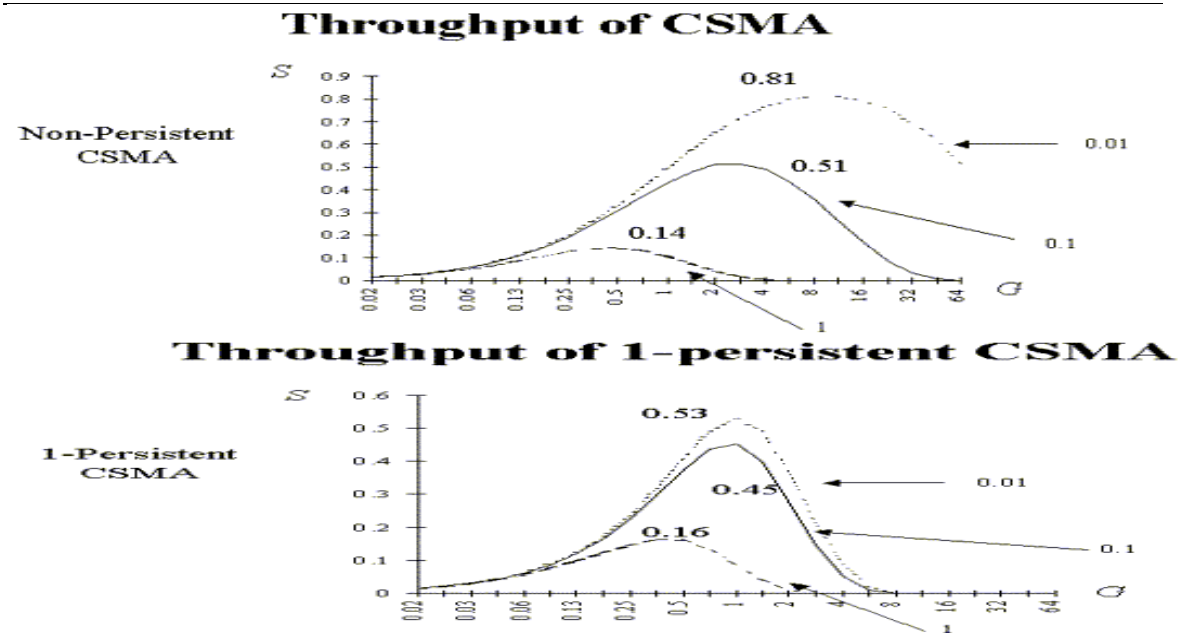
Ο σταθμός που θέλει να στείλει πλαίσιο, ελέγχει το κανάλι για τυχόν ύπαρξη κάποιου φέροντος. Αν διαπιστώσει ότι δεν εκπέμπει κάποιος άλλος, τότε αρχίζει εκείνος. Αν όμως το κανάλι χρησιμοποιείται, ο σταθμός δεν το ανιχνεύει συνέχεια με σκοπό να το χρησιμοποιήσει αμέσως μόλις το τέλος της προηγούμενης μετάδοσης. Αντίθετα, περιμένει μια τυχαία χρονική περίοδο και στη συνέχεια επαναλαμβάνει το αλγόριθμο.

P-Persistent CSMA Scheme



4.2.2.3 p – Επίμονο CSMA (p – Persistent CSMA)

Το πρωτόκολλο αυτό εφαρμόζεται σε κανάλια με σχισμές (Slots) και λειτουργεί ως εξής: όταν ένας σταθμός είναι έτοιμος για αποστολή, ανιχνεύει το κανάλι. Αν αυτό είναι ελεύθερο, ο σταθμός μεταδίδει με πιθανότητα p , ενώ με πιθανότητα $1 - p$ περιμένει μέχρι την επόμενη σχισμή. Αν αυτή η σχισμή είναι επίσης ελεύθερη, είτε μεταδίδει είτε καθυστερεί, πάλι με τις ίδιες πιθανότητες (p και $1 - p$, αντίστοιχα). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου είτε να μεταδοθεί το πλαίσιο είτε να αρχίσει να μεταδίδει κάποιος άλλος σταθμός.



Εικόνα 4.5: Σύγκριση των επιδόσεων του μη-επίμονου CSMA και του 1-επίμονου CSMA. Οι τρεις διαφορετικές καμπύλες αντιστοιχούν σε διαφορετικές καθυστερήσεις διάδοσης σήματος. S: Throughput, G: Load

4.2.2.4 CSMA / CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)

Το πρωτόκολλο αυτό εφαρμόζεται στα τοπικά δίκτυα τύπου Ethernet (IEEE 802.3) και αποτελεί εξέλιξη των επίμονων και μη-επίμονων πρωτοκόλλων. Ο σταθμός ακούει το κανάλι για να διαπιστώσει πότε είναι ελεύθερο. Όταν αντιληφθεί τη αδράνεια του καναλιού, μεταδίδει το πλαίσιο του. Αν όμως, κατά τη διάρκεια της μετάδοσης διαπιστώσει ότι το πλαίσιο του συγκρούεται με κάποιο άλλο πλαίσιο, σταθμού που μεταδίδει ταυτόχρονα, τότε και οι 2 σταθμοί διακόπτουν απότομα τη μετάδοση.

4.2.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ / ΠΡΟΤΥΠΙΑ LANs

4.2.3.1 3.2.3.1. Το Ethernet (IEEE 802.3)

Το πρότυπο IEEE 802.3, που αντιστοιχεί στο Ethernet, περιγράφει, όπως και όλα τα άλλα πρότυπα της σειράς, τη λειτουργία του Ethernet τόσο σε επίπεδο MAC, όσο και σε φυσικό επίπεδο, δεδομένου ότι το project 802 δεν ακολουθεί επακριβώς το μοντέλο OSI.

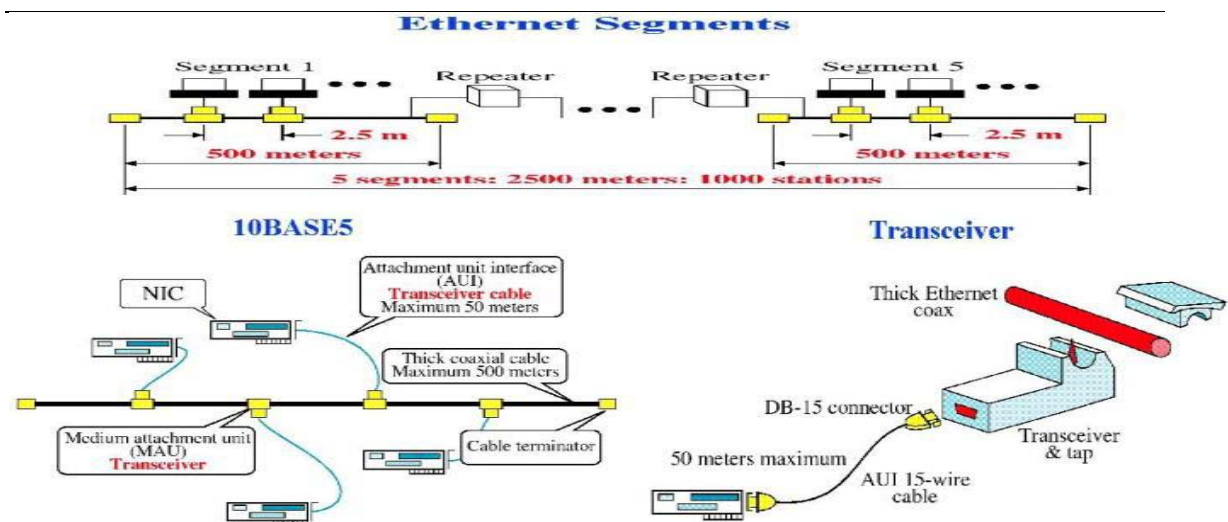
Το 802.3 περιγράφει συγκεκριμένα πρότυπα Ethernet – 5 βασικής ζώνης (baseband) και 1 ευρείας ζώνης (broadband) – τα ονόματα των οποίων δηλώνουν το ρυθμό μετάδοσης (σε Mbps) δεδομένων, αν τα μεταδιδόμενα σήματα είναι ψηφιακά (baseband) ή αναλογικά (broadband) και κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά των καλωδιώσεων (τύπος ή μήκος καλωδίων). Αυτά τα πρότυπα έχουν οδηγήσει και σε παραπέρα εξέλιξη του Ethernet, με την ανάπτυξη κάποιων επιπλέον συστημάτων, όπως το Switched Ethernet και το Gigabit Ethernet.

Γενικά, οι κυριότεροι τύποι Ethernet είναι οι παρακάτω:

4.2.3.1.1 10Base5: Thick Ethernet

Έχει τοπολογία διαύλου. Οφείλει το όνομά του στο εξαιρετικά μεγάλο πάχος των ομοαξονικών καλωδίων του κεντρικού άξονα. Η ανάγκη για ελάττωση των συγκρούσεων περιορίζουν το μέγιστο μέγεθός του σε 5 τμήματα, τα οποία συνδέονται με επαναλήπτες για την ενίσχυση του σήματος.

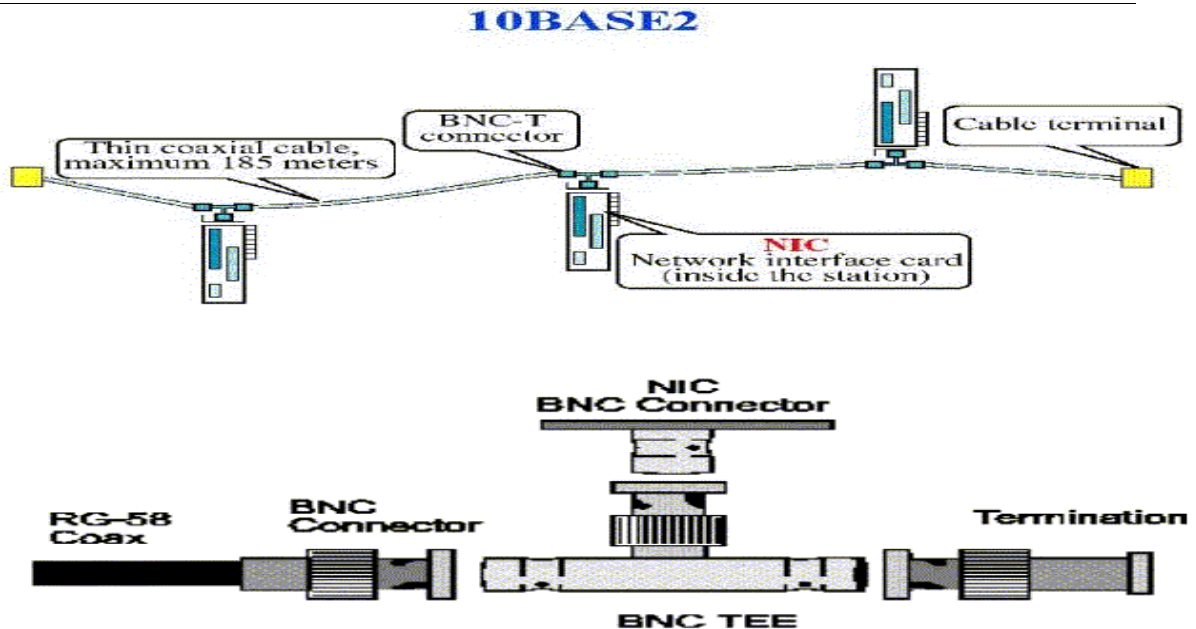
Ο κεντρικός άξονας των τμημάτων έχει μέγιστο μήκος 500 μέτρων και για την αποφυγή των συγκρούσεων, οι σταθμοί απέχουν τουλάχιστον 2,5 μέτρα μεταξύ τους. Επομένως, ο μέγιστος αριθμός σταθμών που επιτρέπει το δίκτυο είναι 1000 σταθμοί. Εξαιτίας του πάχους του καλωδίου, η σύνδεση των περιφερειακών συσκευών με τον κεντρικό άξονα μπορεί να γίνει μόνο με ‘Διακλάδωση του βρικόλακα (vampire tap)’.



Εικόνα 4.6: α) Το 10Base5 σε πλήρη ανάπτυξη. β) Αναλυτική παρουσίαση ενός τμήματος του 10Base5. γ) Σύνδεση της κάρτας διασύνδεσης δικτύου με τον κεντρικό διάυλο του 10Base5, με χρήση διακλάδωσης ‘βρικόλακα’

4.2.3.1.2 10Base2: Thin Ethernet

Αποτελεί μια φθηνότερη παραλλαγή του 10Base5. Έχει τοπολογία διαύλου, αλλά όπως φαίνεται και από το όνομά του, το ομοαξονικό καλώδιο του κεντρικού άξονα είναι πολύ λεπτότερο. Έτσι, η σύνδεση των περιφερειακών συσκευών με τον κεντρικό άξονα μπορεί να γίνει με μια ένωση **T** (ένωση τύπου BNC-T). Η μείωση του κόστους έχει ως συνέπεια την μείωση της χωρητικότητας του δικτύου, σε σταθμούς, αφού το μέγιστο μήκος κεντρικού άξονα δεν ξεπερνά τα 185 μέτρα.



Εικόνα 4.7: α) Λεπτομερής παρουσίαση ενός τμήματος του 10Base2. β) Η ένωση BNC-T (διακλάδωση τύπου T) που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της κάρτας δικτύου με της κεντρική αρτηρία του 10Base2

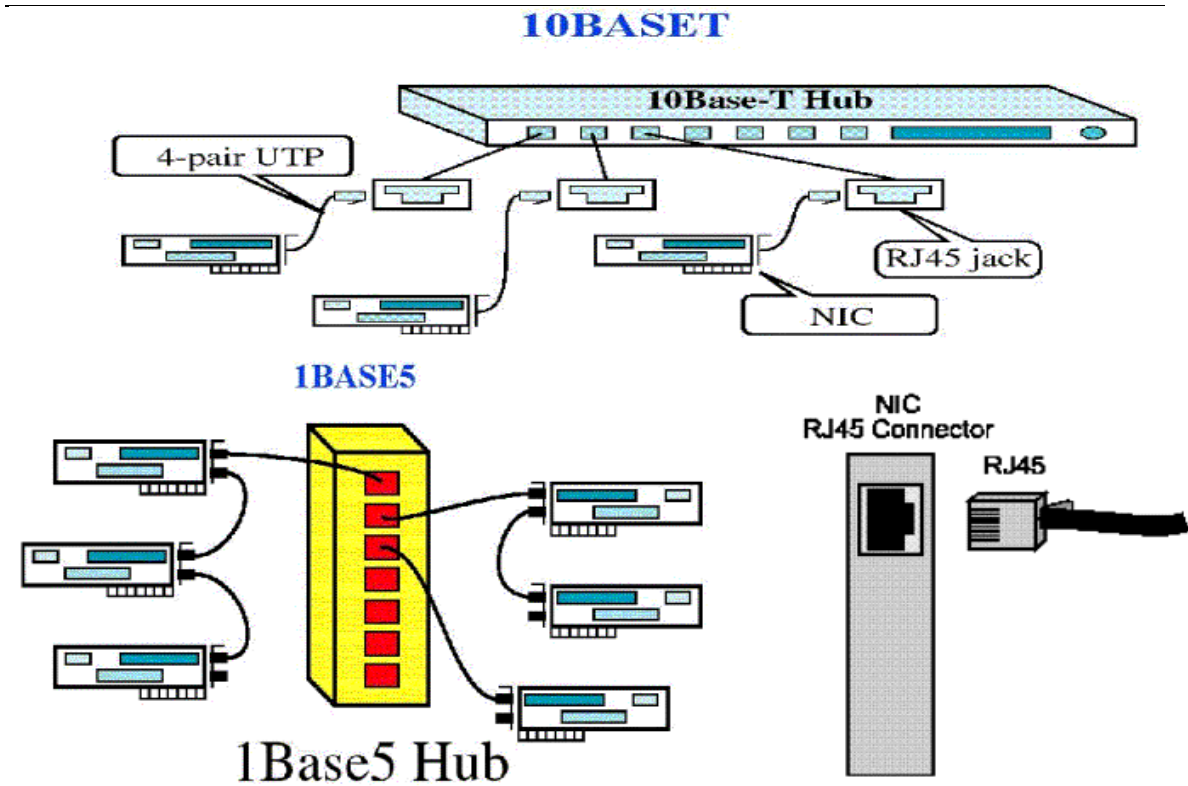
4.2.3.1.3 10Base-T: Twisted Pair Ethernet

Στο 10Base-T, υπάρχει ένας κεντρικός διανομέας (hub), ο οποίος φέρει υποδοχές για την σύνδεση των περιφερειακών συσκευών. Η σύνδεση αυτή πραγματοποιείται με χρήση συνεστραμμένων ζευγών καλωδίων (UTP). Επομένως, η τοπολογία του δικτύου αυτού είναι αστέρα, αλλά η λογική παραμένει ίδια με αυτή του διαύλου. Δηλαδή, όταν ο διανομέας δέχεται κάποιο πλαίσιο από έναν σταθμό, το διαβιβάζει σε όλους τους σταθμούς, αλλά μόνο αυτός που αναγνωρίζει τη διεύθυνσή του μπορεί να το διαβάσει. Οι διευθύνσεις των σταθμών είναι γραμμένες πάνω στην κάρτα δικτύου αυτών (NIC – Network Interface Card). Το μέγιστο μήκος ανάμεσα στο διανομέα και σε κάποιον σταθμό δεν ξεπερνά τα 100 μέτρα.

4.2.3.1.4 1Base5: StarLAN

Αναπτύχθηκε από τη AT&T. Λόγω του χαμηλού ρυθμού του (1 Mbps) είναι εξαιρετικά δύσχηστο. Ακολουθεί τοπολογία αστέρα, με ένα κεντρικό διανομέα, όπως

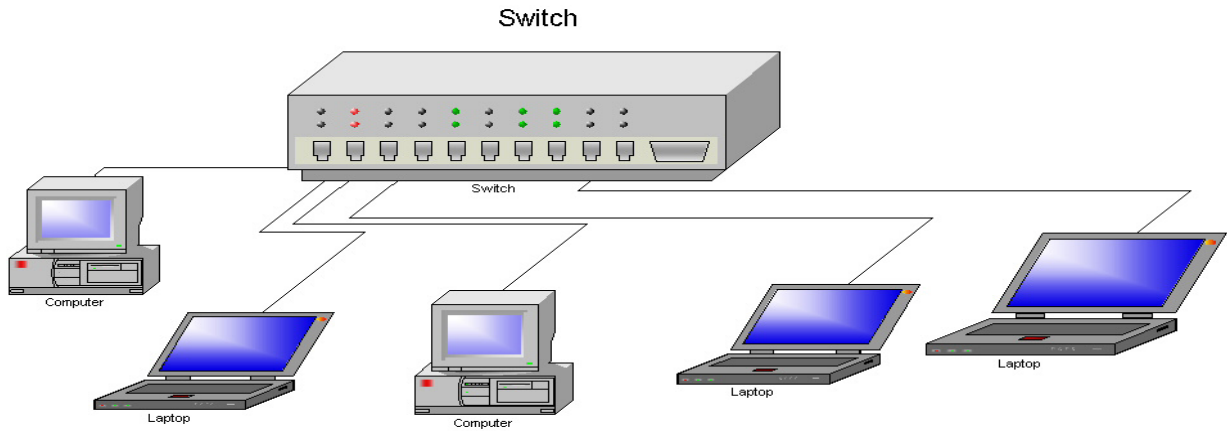
και στην περίπτωση του 10Base-T. Το starLAN διαφέρει γιατί επιτρέπει μέχρι και 10 περιφερειακούς σταθμούς να συνδέονται μεταξύ τους. Μόνο ένας από αυτούς συνδέεται απευθείας με τον διανομέα.



Εικόνα 4.8: α) Διαμόρφωση του 10Base-T Ethernet. β) Διαμόρφωση του 1Base5 Ethernet. γ) Η ένωση τύπου RJ-45 για τη σύνδεση της κάρτας δικτύου με τον διανομέα (hub), η οποία χρησιμοποιείται στα πρότυπα 10Base-T και 1Base5

4.2.3.1.5 Switched Ethernet

Αποτελεί το αποτέλεσμα μιας προσπάθειας να βελτιωθεί η επίδοση του 10Base-T Ethernet. Αντί για έναν κεντρικό διανομέα, το switched Ethernet χρησιμοποιεί έναν μεταγωγέα (switch), όπως άλλωστε δηλώνει και το όνομά του. Ο μεταγωγέας από τη φύση του μπορεί να δρομολογεί το κάθε πλαίσιο απευθείας στον προορισμό του, με αποτέλεσμα να μην καταναλώνεται όλο το κανάλι στη διανομή του πλαισίου σε όλους τους σταθμούς. Έτσι, το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους από έναν σταθμό.



Εικόνα 4.9: Διαμόρφωση του Switched Ethernet

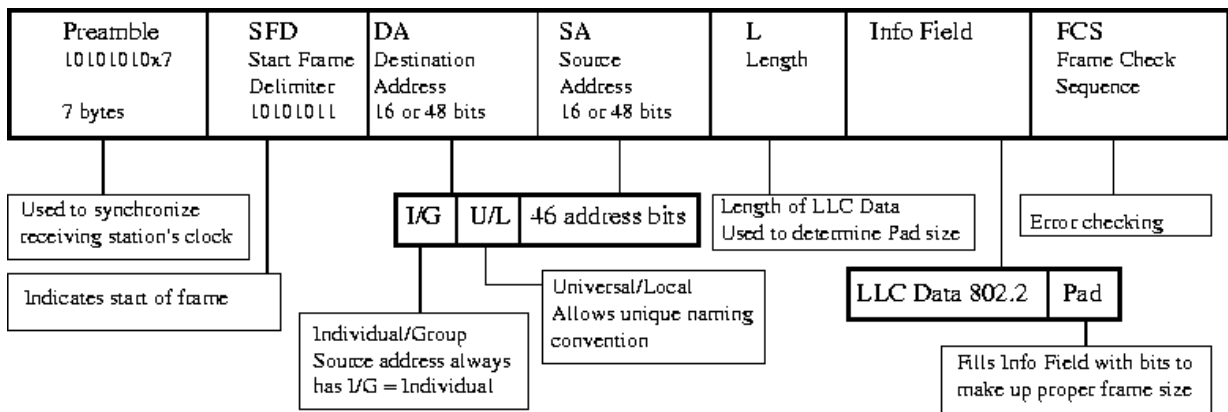
4.2.3.1.6 *Fast Ethernet*

Το Fast Ethernet δημιουργήθηκε από την ανάγκη να υποστηριχθούν εφαρμογές που απαιτούν υψηλές ταχύτητες, όπως είναι για παράδειγμα οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real – time). Η λογική είναι απλή. Τα περισσότερα τοπικά δίκτυα είναι περιορισμένης εμβέλειας, πολύ μικρότερης από 2500 m. Η δυνατότητα χρήσης διανομέων περιορίζει το μέγεθός τους στα 250 m, το πολύ. Αυτός ο υπο-δεκαπλασιασμός του μεγέθους, σε συνδυασμό με το σταθερού μεγέθους πλαίσιο (minimum: 72 bytes = 576 bits), οδηγεί σε δεκαπλασιασμό του ρυθμού μετάδοσης πλαισίων (δηλαδή, από 10 Mbps σε 100 Mbps).

Υπάρχουν διάφορα είδη Fast Ethernet, τα κυριότερα των οποίων είναι τα: 100Base-TX, 100Base-FX, 100Base-T4.

4.2.3.1.7 *Gigabit Ethernet*

Το Gigabit Ethernet ακολουθεί την ίδια λογική με το Fast Ethernet. Η διαφορά είναι ότι χρησιμοποιεί κυρίως συστήματα οπτικών ινών, χωρίς βέβαια να αποκλείει τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων. Το Gigabit Ethernet χρησιμοποιείται κυρίως ως δίκτυο κορμού για την σύνδεση διαφόρων Fast Ethernets.



4.2.3.2 Αρτηρία με κουπόνι (Σκυτάλη) – Token Bus (IEEE 802.4)

Συνδυάζουν την φυσική τοπολογία αρτηρίας του Ethernet με την χρήση κουπονιών που διασχίζουν το σύστημα με λογική δακτυλίου (όπως στην περίπτωση δακτυλίου με κουπόνι, παρακάτω). Αυτού του είδους τα δίκτυα βρίσκουν εφαρμογή σε αυτοματοποιημένα συστήματα παραγωγής και δεν είναι εμπορικά αξιοποιήσιμα στην επικοινωνία και μεταφορά δεδομένων.

4.2.3.3 Δακτύλιος με Κουπόνι (Σκυτάλη) – Token Ring (IEEE 802.5)

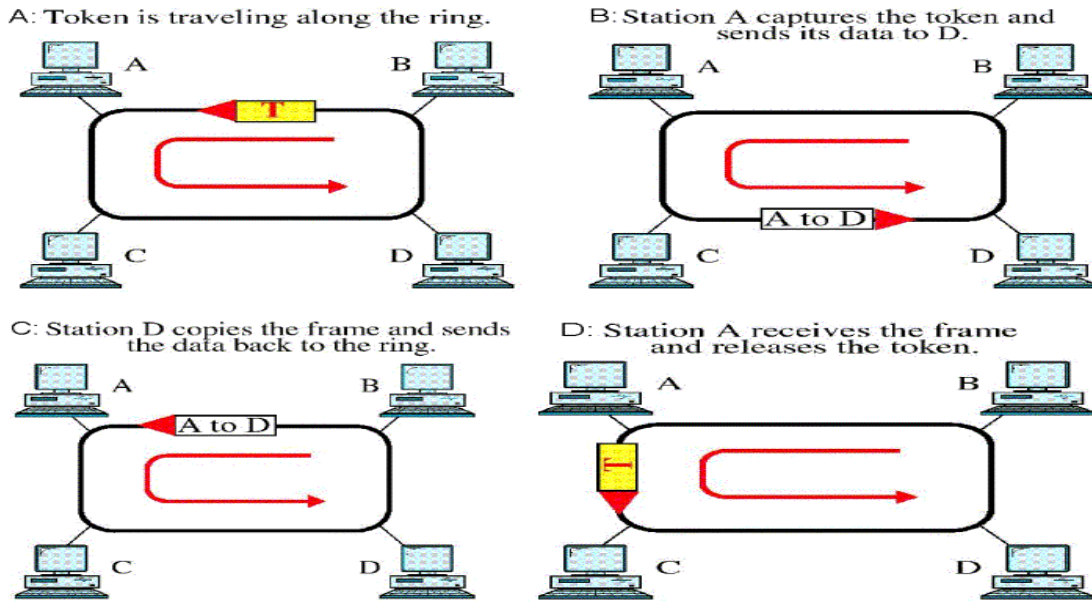
Όπως φαίνεται, η τοπολογία του όλου συστήματος είναι δακτύλιος (ring). Ο τρόπος λειτουργίας είναι πολύ απλός:

Όταν το δίκτυο ξεκινάει τη λειτουργία του, μια ακολουθία από bits, το κουπόνι (token), αφήνεται στο δίκτυο και το διασχίζει, περνώντας από σταθμό σε σταθμό, για όσο χρόνο το δίκτυο είναι αδρανές (idle). Το κουπόνι παίζει το ρόλο σκυτάλης, οπότε για να στείλει ένας σταθμός κάποιο πλαίσιο, πρέπει πρώτα να το δεσμεύσει και να ενσωματώσει σε αυτό, το πλαίσιο. Τότε, κανένας άλλος σταθμός δεν μπορεί να μεταδώσει. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται ένας μηχανισμός πρόσβασης στο δίκτυο για όλους τους σταθμούς, ο οποίος δεν οδηγεί σε συγκρούσεις πακέτων, όπως γίνεται με τον μηχανισμό CSMA/CD, στο Ethernet.

Όταν κάποιο πλαίσιο δεδομένων φθάνει στον προορισμό του, ο δέκτης επεμβαίνοντας στο τελευταίο πεδίο του πλαισίου, ενημερώνει για τη σωστή λήψη του (εφόσον δεν υπάρχουν σφάλματα) τον αποστολέα. Το πλαίσιο γυρίζει στον αποστολέα, ο οποίος ελευθερώνει το κουπόνι. Έτσι, το κουπόνι συνεχίζει από το σημείο όπου σταμάτησε.

Με την παραπάνω διαδικασία, εάν υπάρχουν n σταθμοί και το κάθε πλαίσιο μεταδίδεται σε T χρονικές μονάδες, κανένα πλαίσιο δε θα χρειαστεί ποτέ να περιμένει παραπάνω από nT χρονικές μονάδες ώστε να έχει μια ευκαιρία να μεταδοθεί.

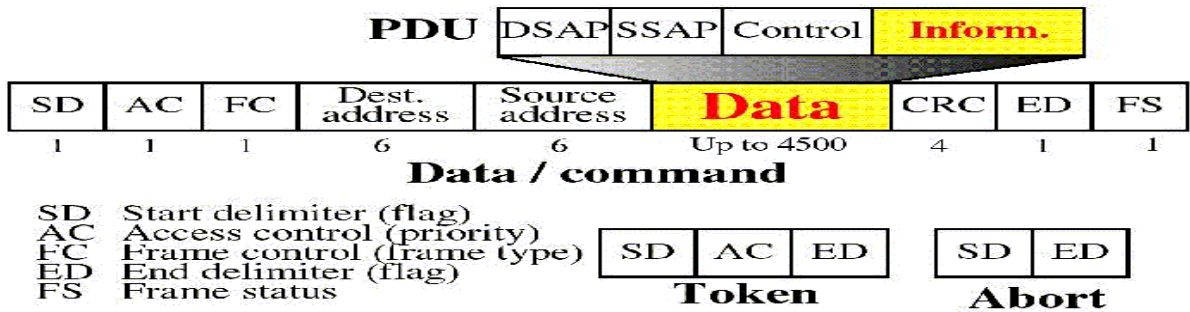
Το σύστημα υποστηρίζει και περιπτώσεις όπου οι σταθμοί έχουν διάφορες προτεραιότητες μέσα στο δίκτυο. Τότε, ο σταθμός που θέλει να μεταδώσει, καθώς περνάει το πλαίσιο, εισάγει τον κώδικα προτεραιότητάς του, στο πεδίο AC (Access Control) του κουπονιού, που παραμένει ενσωματωμένο στο πλαίσιο δεδομένων. Όταν, λοιπόν, το κουπόνι ελευθερωθεί, πηγαίνει στο σταθμό με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα.



Εικόνα 4.11: Η λειτουργία του πρωτοκόλλου IEEE 802.5 (Token Ring – Δακτύλιος με Κουπόνι)

Για την ομαλή λειτουργία του δικτύου, υπάρχει ένας σταθμός παρακολούθησης. Ο ρόλος του είναι να εξασφαλίζει πάντοτε την ύπαρξη του κουπονιού, να εμποδίζει την συνεχόμενη διέλευση του ίδιου πλαισίου, να χρονομετρεί και να θέτει χρονικούς φραγμούς στην μετάδοση των σταθμών, ώστε να μην μονοπωλούν το δίκτυο, κ.α.

Token Ring Frame



Εικόνα 4.12: Το πλαίσιο του IEEE 802.5

Το παραπάνω σύστημα, όπως περιγράφηκε, μπορεί να πραγματοποιεί ρυθμούς μετάδοσης από 4 Mbps έως 16 Mbps και χρησιμοποιεί διαφορετική Manchester κωδικοποίηση. Επίσης, για τη δημιουργία του δακτυλίου, χρησιμοποιούνται κυρίως συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων, με ασπίδα προστασίας. Το μόνο μειονέκτημα είναι η αδυναμία του δακτυλίου, όταν κάποιος από τους σταθμούς αποχωρήσει ή παρουσιάσει λειτουργικό πρόβλημα. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση κάποιου μεταγωγέα (switch) που αντικαθιστά το σταθμό, κλείνοντας το δακτύλιο.

4.2.3.4 FDDI (Fiber Distributed Data Interface – ITU-T X.3)

Πρόκειται για ένα σύστημα τοπικού δικτύου που είναι τυποποιημένο από τις ANSI και ITU – T (ITU – T X.3). Υποστηρίζει ρυθμούς της τάξεως των 100 Mbps, κάνοντας χρήση συστημάτων οπτικών ινών. Η τοπολογία του FDDI (Fiber Distributed Data Interface – Οπτική Διασύνδεση Κατανεμημένων Δεδομένων) είναι διπλός δακτύλιος, ώστε το σύστημα να μπορεί να ανακάμπτει όποτε ο πρωτεύον δακτύλιος παθαίνει βλάβη.

Η πρόσβαση στο δίκτυο ρυθμίζεται με τη χρήση κουπονιού. Τα πλαίσια δεδομένων διακρίνονται σε 2 ειδών: τα σύγχρονα (Synchronous) για κυκλοφοριακό τύπου real-time και τα ασύγχρονα (Asynchronous). Ο κάθε σταθμός έχει στη διάθεσή του συγκεκριμένο χρονικό διάστημα για να στείλει δεδομένα. Πρώτα στέλνει τα σύγχρονα πλαίσια (S-frames) και ύστερα τα ασύγχρονα (A-frames).

Ο διαχειριστής του συστήματος καθορίζει 3 παραμέτρους. Αυτές είναι οι εξής:

- SA (Synchronous Allocation): Το χρονικό διάστημα στο οποίο ο κάθε σταθμός μπορεί να στέλνει σύγχρονα πλαίσια (S-frames). Διαφέρει από σταθμό σε σταθμό.
- TTRT (Target Token Rotation Time): είναι ο μέσος χρόνος περιστροφής του κουπονιού στον δακτύλιο.
- AMT (Absolute Maximum Time): Είναι διπλάσιος του TTRT και καθορίζει πότε κάποιος σταθμός μονοπωλεί ή όχι το δίκτυο.

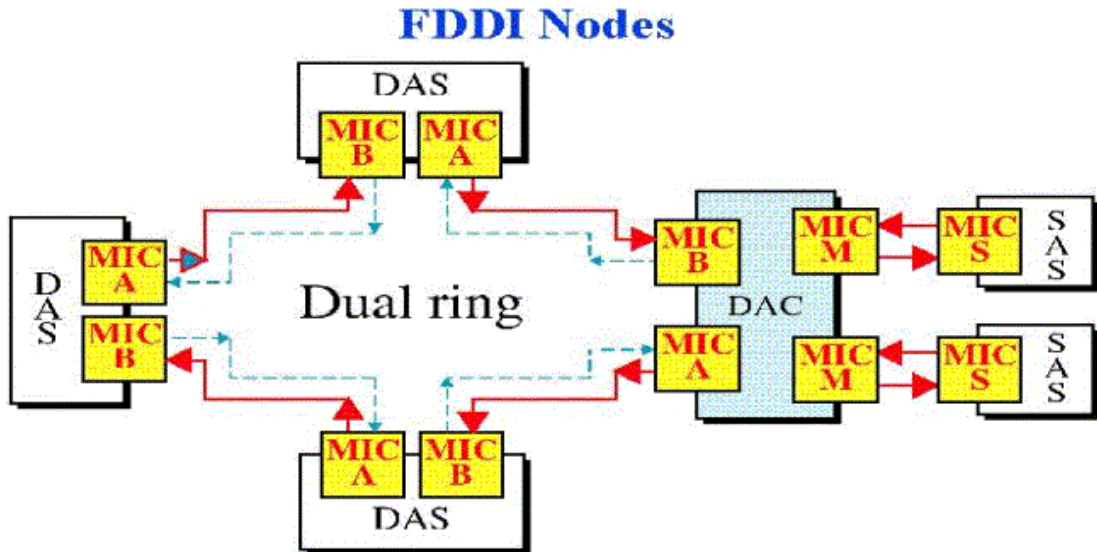
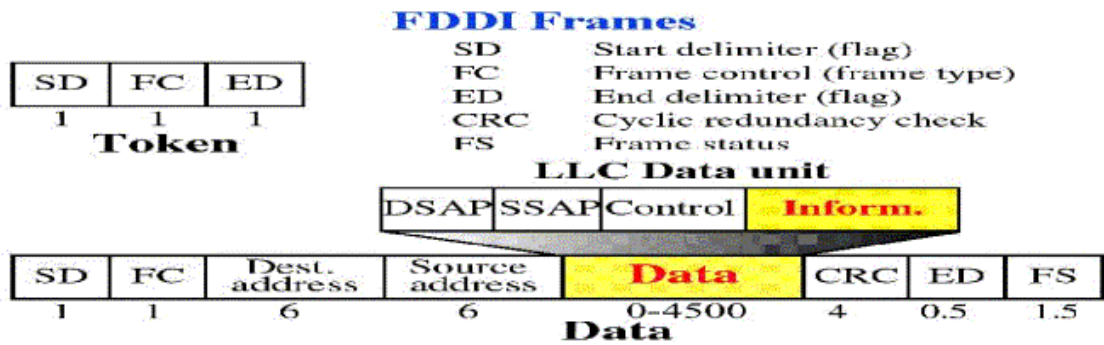
Ο κάθε σταθμός διαθέτει 2 χρονόμετρα:

- TRT (Token Rotation Timer): Μετράει το χρόνο περιστροφής του κουπονιού στο δακτύλιο.
- THT (Token Holding Timer): Μετράει το χρονικό διάστημα για το οποίο ο σταθμός δεσμεύει το κουπόνι. Ο ρόλος του είναι να δείξει πόσος χρόνος παρέμεινε για την αποστολή ασύγχρονων πακέτων, αφού τελειώσει η μετάδοση των σύγχρονων.

Όταν ο σταθμός δέχεται το κουπόνι, υπολογίζει το THT ($THT = TTRT - TRT$), μηδενίζει το TRT ($TRT = 0$). Έπειτα, αν $THT > 0$, στέλνει για κάποιο χρονικό διάστημα σύγχρονα πλαίσια και αφαιρεί το διάστημα αυτό από το THT. Στη συνέχεια, αν πάλι $THT > 0$, μεταδίδει ασύγχρονα πλαίσια.

Το FDDI χρησιμοποιεί ένα είδος κωδικοποίησης γραμμής που ονομάζεται 4B/5B, NRZ-I. Σε αυτή, η κάθε ακολουθία των 4 bit μετατρέπεται σε μια ακολουθία των 5 bit, στην οποία μόνο 2 μηδενικά bits επιτρέπεται να βρίσκονται δίπλα-δίπλα. Έτσι, ξεπερνιέται το πρόβλημα συγχρονισμού για τις μεγάλες ακολουθίες από '0', που παρουσιάζεται κατά την NRZ-I κωδικοποίηση.

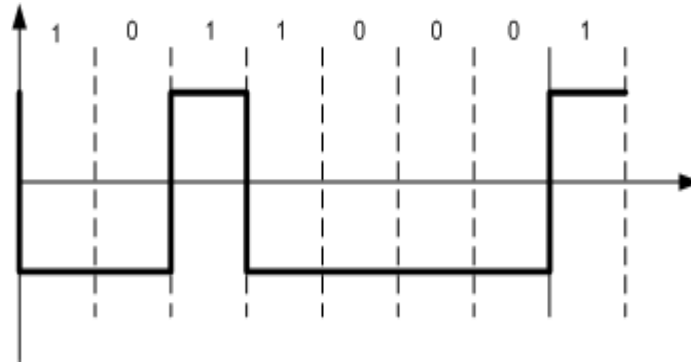
Η χρήση των οπτικών ινών και ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης κάνουν το FDDI πολύ χρήσιμο ως δίκτυο κορμού, στο οποίο μπορούν να συνδεθούν άλλα δίκτυα LANs (π.χ. Ethernet). Το FDDI μπορεί να απλωθεί ακόμα και σε αποστάσεις της τάξεως των 200 Km.



Εικόνα 4.13: α) Τα πλαίσια (κουπόνι και πλαίσιο δεδομένων) που χρησιμοποιεί το FDDI. β) Υλοποίηση του FDDI με χρήση του δυαδικού δακτυλίου. Υπάρχουν 3 είδη κόμβων: οι κόμβοι DAS (Dual Attachment Station), οι SAS (Single Attachment Station) και ένας κόμβος DAC (Dual Attachment Concentrator). MIC: Media Interface Connector

4.2.3.4.1 Κωδικοποίηση 4B/5B

Πρόκειται για το είδος κωδικοποίησης σήματος σε δίκτυα FDDI. Σύμφωνα με αυτή κάθε 4 bit σήματος αντικαθίστανται από 5 bit, τα οποία στη συνέχεια κωδικοποιούνται με βάση τη μέθοδο NRZ-I. Υπενθυμίζεται ότι, η μέθοδος NRZ-I που χρησιμοποιείται αντιστρέφει την τάση κάθε φορά που συναντάει το '1' (Βλέπε εικόνα).



Εικόνα 4.14: Μέθοδος κωδικοποίησης NRZ-I

Με αυτό τον τρόπο αποφεύγετε η περίπτωση η διαδικασία να συναντήσει μεγάλες σειρές από '0' με αποτέλεσμα να χαθεί ο συγχρονισμός μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Η κωδικοποίηση 4B/5B εξασφαλίζει ότι η διαδικασία συναντάει το πολύ 2 διαδοχικά '0'. Ο τρόπος μετατροπής των 4 bit σε 5 έχει επιλεγεί έτσι ώστε να αποφεύγονται μεγάλες ακολουθίες από '0' (Βλέπε πίνακα 4.1)

Ακολουθία Δεδομένων	Ακολουθία Κωδικοποίησης	Ακολουθία Δεδομένων	Ακολουθία Κωδικοποίησης
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Πίνακας 4.1: Μετατροπές των 4 bit σε 5 bit

Σημείωση: Το FDDI μπορεί να λειτουργήσει και με χρήση χάλκινων καλωδίων για την υλοποίηση του δακτυλίου. Τότε, ονομάζεται CDDI (Copper Distributed Data Interface – Χάλκινη Διασύνδεση Κατανεμημένων Δεδομένων). Η ύπαρξη, όμως, προβλημάτων θορύβου περιορίζει αισθητά τη λειτουργικότητα του CDDI.

4.2.3.5 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LANs) & IEEE 802.11

Το πρότυπο IEEE 802.11 αναφέρεται στην ανάπτυξη και υλοποίηση ασύρματων τοπικών δικτύων. Η τεχνολογία των δικτύων αυτών είναι πολύ πολύπλοκη, εξαιτίας της ιδιομορφίας που παρουσιάζει το μέσο διάδοσης. Οι σταθμοί δεν συναγωνίζονται για να αποκτήσουν πρόσβαση σε κάποιο χάλκινο καλώδιο, αλλά σε μία ζώνη συχνοτήτων, για ασύρματη μετάδοση. Στις παρακάτω παραγράφους θα γίνει μια προσπάθεια ώστε να

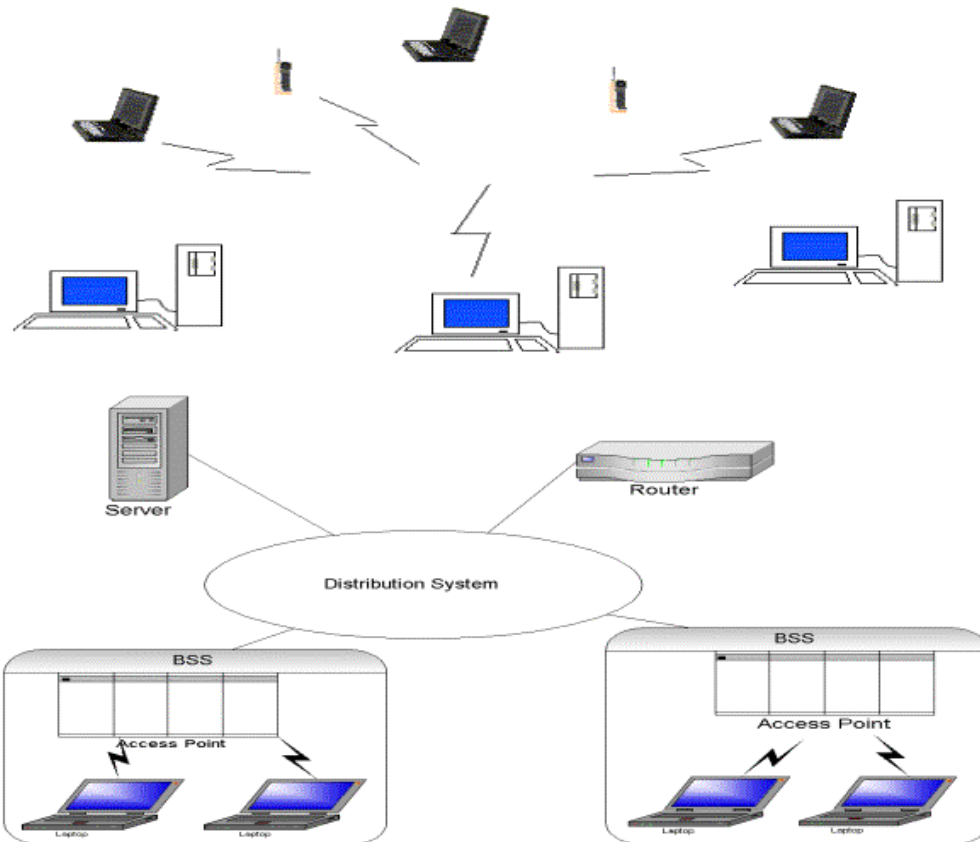
δοθεί μια γενική εικόνα του IEEE 802.11, αφού μια λεπτομερέστερη ανάλυση ξεφεύγει πολύ από τις ανάγκες και το αντικείμενο του παρόντος.

Το 802.11 προσδιορίζει δύο διαμορφώσεις της Ομάδας Παροχής Βασικών Υπηρεσιών (Basic Service Set - BSS). Η πρώτη περιλαμβάνει έναν αριθμό σταθμών που βρίσκονται αρκετά κοντά, ώστε να επικοινωνούν ασύρματα, χωρίς παρεμβολές (ad hoc Network).

Η δεύτερη διαμόρφωση BSS, που είναι και σημαντικότερη, περιλαμβάνει ένα σύνολο σταθμών που μπορούν να επικοινωνούν είτε μεταξύ τους, είτε με ένα τοπικό δίκτυο κορμού. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται ένας κεντρικός σταθμός για την πρόσβαση με το δίκτυο κορμού, ο οποίος είναι γνωστός ως Σημείο Πρόσβασης (Access Point - AP). Το τοπικό δίκτυο κορμού – που πολλές φορές αναφέρεται και με τον όρο Σύστημα Κατανομής (Distribution System) – μπορεί να είναι ενσύρματο ή ασύρματο. Το σύνολο των BSS που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο κορμού, καθώς και όλες οι άλλες συσκευές που αποτελούν το δίκτυο κορμού αποτελεί την Ομάδα Παροχής Εκτεταμένων Υπηρεσιών (Extended Service Set – ESS).

Υπάρχουν τριών ειδών πλαίσια (Frames): Τα Πλαίσια Διαχείρισης (Management Frames), τα Πλαίσια Ελέγχου (Control Frames) και τα Πλαίσια Δεδομένων (Data Frames).

1. Πλαίσια Διαχείρισης (Management Frames): Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των σταθμών με τον κεντρικό σταθμό πρόσβασης (AP). Παρέχουν υπηρεσίες σύνδεσης και αποσύνδεσης με τον AP, διαδικασίες αυθεντικοποίησης (Authentication), χρονισμού (Timing) και συγχρονισμού (Synchronization), και άλλες. Η αυθεντικοποίηση και όλα τα άλλα μέτρα ασφάλειας είναι απαραίτητα, δεδομένου ότι το μέσο διάδοσης, εκ φύσεως, αδυνατεί να παρεμποδίσει φαινόμενα παρεμβολής, αλλοίωσης και υποκλοπής των πλαισίων.
 2. Πλαίσια Ελέγχου (Control Frames): Χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία αποστολής δεδομένων. Σκοπός τους είναι η ταυτοποίηση πομπού και δέκτη (Handshaking), η μεταφορά των σημάτων επιβεβαίωσης λήψης (ACK) και άλλα.
 3. Πλαίσια Δεδομένων (Data Frames): Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την μεταφορά των δεδομένων των διαφόρων χρηστών.
-



Εικόνα 4.15: α) Ένα απλό ασύρματο δίκτυο, όπου οι σταθμοί πρέπει να βρίσκονται αρκετά κοντά ώστε να επικοινωνούν. Πρόκειται για ένα ‘ad hoc’ ασύρματο BSS (Basic Service Set). β) Η διαμόρφωση ενός ESS (Extended Service Set)

Για τον έλεγχο της πρόσβασης των σταθμών στο μέσο μετάδοσης, το IEEE 802.11 προσδιορίζει 2 βασικές λειτουργίες. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- **DCF (Distributed Coordination Function):** Αυτή η λειτουργία είναι υποχρεωτική και είναι εγκατεστημένη σε όλους τους σταθμούς που χρησιμοποιούν το πρότυπο IEEE 802.11. Υπό την λειτουργία DCF, το μέσο μετάδοσης λειτουργεί σε μια κατάσταση ανταγωνισμού. Στην κατάσταση αυτή, όλοι οι σταθμοί ανταγωνίζονται μεταξύ τους για να έχουν πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης.
- **PCF (Point Coordination Function):** Αυτή η λειτουργία είναι προαιρετική και πραγματοποιείται από τους κεντρικούς σταθμούς πρόσβασης (Access Point). Υπό την PCF, το δίκτυο μπορεί να εναλλάσσεται ανάμεσα στην περίοδο ανταγωνισμού (Contention Period), κατά την οποία οι σταθμοί βρίσκονται σε κατάσταση ανταγωνισμού, και στην περίοδο μη-ανταγωνισμού (Contention-free Period). Στην περίοδο αυτή, ο σταθμός AP ελέγχει το μέσο μετάδοσης, όπως γίνεται στο πρωτόκολλο HDLC, με τους primary και secondary σταθμούς.

4.2.3.5.1 Το πρωτόκολλο CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance)

Το πρωτόκολλο αυτό ενεργοποιείται, όταν οι σταθμοί ανταγωνίζονται μεταξύ τους για πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης, δηλαδή στη ζώνη συχνοτήτων εκπομπής. Το πρωτόκολλο αυτό, όπως και το CSMA/CD για την περίπτωση του Ethernet, επιτρέπει στους σταθμούς να ανιχνεύουν το μέσο μετάδοσης, προτού στείλουν δεδομένα, έτσι ώστε να αποφεύγεται η σύγκρουση πλαισίων. Το γεγονός ότι το μέσο μετάδοσης δεν είναι κάποιο χάλκινο καλώδιο κάνει του σταθμούς να μην μπορούν να αντιληφθούν τις συγκρούσεις πλαισίων, οπότε αυτές λαμβάνουν χώρα. Επομένως, αυτό που ενδιαφέρει στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων είναι η βελτίωση της λογικής CSMA, ώστε να αποφεύγονται όσο το δυνατόν τα φαινόμενα συγκρούσεων. Έτσι, αναπτύχθηκε το CSMA/CD.

Σε γενικές γραμμές, κάποια από τα προληπτικά μέτρα του CSMA/CA για την αποφυγή των συγκρούσεων είναι τα ακόλουθα:

- Όταν τελειώνει με επιτυχία μια μετάδοση, όλοι οι σταθμοί περιμένουν για κάποιο χρονικό διάστημα (IFS: InterFrame Space). Το διάστημα αυτό κυμαίνεται ανάλογα με την περίπτωση μεταξύ τριών βαθμίδων, των: SIFS (Short InterFrame Space), PIFS (PCF InterFrame Space) και DIFS (DCF InterFrame Space).
- Μετά το πέρας του IFS, ενεργοποιείται στον κάθε σταθμό μια τυχαία διαδικασία αναμονής, μετά την οποία ο σταθμός ελέγχει αν το κανάλι είναι αδρανές, ώστε να μεταδώσει.
- Οι σταθμοί που αργούν να μεταδώσουν ευνοούνται, συγκριτικά με αυτούς που έχουν κάποια επιτυχή μετάδοση.
- Ο πομπός ενημερώνεται από τον δέκτη για κάποια επιτυχή μετάδοση, με χρήση πλαισίων ACK. Ο πομπός διαθέτει χρονόμετρο και υπολογίζει πόσο πρέπει να περιμένει για τη λήψη των ACKs. Αν περάσει το χρονικό περιθώριο, αναμεταδίδει πάλι το πλαίσιο δεδομένων, ακολουθώντας πάλι την διαδικασία που του επιβάλλει το πρωτόκολλο CSMA/CA.
- Αντί για απευθείας αποστολή πλαισίων δεδομένων, πολλές φορές ο πομπός στέλνει στον δέκτη ένα πλαίσιο RTS (Request to Send) και ο δέκτης απαντά με ένα CTS (Clear to Send), αν μπορεί να δεχθεί δεδομένα. Είναι προτιμότερη μια σύγκρουση μεταξύ τόσων μικρών πλαισίων (RTS: 20 bytes, CTS: 14 bytes), παρά μια μεταξύ πλαισίων δεδομένων (MPDU: 2300 bytes). Και στην περίπτωση αυτή, ο πομπός περιμένει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα την λήψη κάποιου CTS, μετά το πέρας του οποίου αναμεταδίδει το RTS.
- Οι άλλοι σταθμοί μπορούν να ενημερώνονται, διαβάζοντας τα RTS και CTS, για το χρονικό διάστημα που πρέπει να περιμένουν (Διάβασμα του Duration Field).

4.2.3.6 Ασύρματα Δίκτυα Bluetooth

Το πρότυπο ασυρμάτου δικτύου Bluetooth αναπτύχθηκε από συνεργασία των εταιρειών Ericsson, Nokia, Intel, Toshiba, IBM και Motorola. Πάνω από 1500 εταιρείες παράγουν προϊόντα που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο αυτό. Οι συσκευές που μπορεί να

επικοινωνούν ασύρματα μπορεί να είναι κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές, συσκευές fax, εκτυπωτές κτλ. Η πολύ μικρή εμβέλεια του Bluetooth (περίπου 10 μέτρα) έχει εισάγει ένα καινούργιο είδος δικτύου, που ακούει στο όνομα **PAN (Personal Area Networks: Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής)**. Ο χώρος που καλύπτεται από ένα τέτοιο δίκτυο είναι υπερβολικά μικρός για να ενταχθεί αυτό στην κατηγορία **τοπικών δικτύων (LAN: Local Area Network)**.

Κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του Bluetooth είναι τα ακόλουθα: Η κατανάλωση σε ενέργεια είναι εξαιρετικά μικρή και το κόστος είναι περιορισμένο. Η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων φθάνει το 1 Mbps. Η ταυτόχρονη υποστήριξη του ήχου μαζί με τα υπόλοιπα δεδομένα είναι πραγματικότητα. Η συχνότητα στην οποία εκπέμπονται τα δεδομένα είναι τα 2,4 GHz. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι 10 εκατοστά, ενώ η μέγιστη είναι 10 μέτρα. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί την **τεχνική εναλλαγής συχνότητας (Frequency Hopping)**, σύμφωνα με την οποία ο κάθε πομποδέκτης αλλάζει συχνότητα μετά την αποστολή ή λήψη ενός πακέτου δεδομένων. Αυτό προφυλάσσει το δίκτυο από τη δημιουργία παρασίτων.

Το Bluetooth μπορεί να υποστηρίξει, τόσο επικοινωνία **πολλαπλών σημείων (multipoint)**, όσο και επικοινωνία **σημείο-προς-σημείο (Point-to-point)**. Ένα δίκτυο Bluetooth μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 8 υπολογιστές, όμως η τεχνική της εναλλαγής συχνότητας μπορεί να επιτρέψει την ύπαρξη πολλών δικτύων ταυτόχρονα, μέσα στον ίδιο χώρο.

Όσο αφορά την ασφάλεια στην επικοινωνία μέσω του Bluetooth, δεν έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες. Αυτό οφείλεται στη εξαιρετικά μικρή εμβέλεια του πρωτοκόλλου.

Τη στιγμή αυτή, το πρωτόκολλο Bluetooth χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές παλάμης πολλών εταιρειών, όπως είναι η Microsoft, η Nokia και άλλες. Έτσι, το Bluetooth αποτελεί το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας και αυτό οφείλεται στο χαμηλό του κόστος.

Σημείωση: Για να κατανοηθεί καλύτερα η έννοια του BSS (Basic Service Set), πρόκειται για έννοια αντίστοιχη με την έννοια της κυψέλης (Cell), στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Ο κάθε συνδρομητής κινητής τηλεφωνίας πρέπει να βρίσκεται σε μια γεωγραφική περιοχή, εντός των ορίων μίας κυψέλης, ώστε να μπορεί να επικοινωνεί. Έτσι και ο σταθμός θα πρέπει να βρίσκεται εντός μιας περιοχής BSS, ώστε να χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες ασύρματου δικτύου.

4.2.4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ / ΠΡΟΤΥΠΑ MANs

4.2.4.1 Διπλή Αρτηρία Κατανεμημένης Ουράς (Distributed Queue Dual Bus - DQDB)

Πρόκειται για το πρότυπο IEEE 802.6, το οποίο, αν και αναπτύχθηκε ως πρότυπο τοπικού δικτύου, βρίσκει πρακτική εφαρμογή στη διασύνδεση τοπικών δικτύων με

κάποιο δημόσιο, μητροπολιτικό δίκτυο (κυρίως, το SMDS: Switched Multimegabit Data Services).

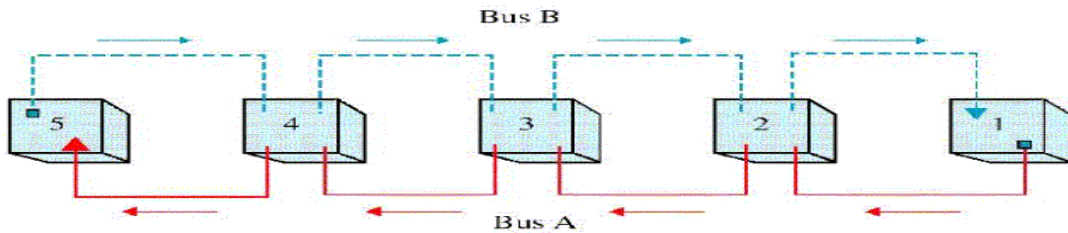
Η τοπολογία του DQDB είναι διπλή αρτηρία, δηλαδή όλοι οι σταθμοί είναι συνδεδεμένοι με 2 αρτηρίες. Το κυκλοφοριακό στις 2 αρτηρίες έχει αντίθετη κατεύθυνση. Οι δύο σταθμοί στα άκρα του DQDB έχουν ιδιαίτερη σημασία. Ανάλογα με την κατεύθυνση του κυκλοφοριακού, παίζουν το ρόλο κεφαλής και ουράς. Ο σταθμός της κεφαλής (head) είναι ο υπεύθυνος για την παραγωγή κουπονιών των 53 bytes, τα οποία είναι φορείς των πλαισίων δεδομένων. Ο σταθμός στο τέλος της κάθε αρτηρίας είναι υπεύθυνος για την καταστροφή των πλαισίων δεδομένων. Αν κάποιος από τους σταθμούς θέλει να στείλει δεδομένα, ελέγχει την διεύθυνση του παραλήπτη, ώστε να επιλέξει ποια από τις δύο αρτηρίες πρέπει να χρησιμοποιήσει. Στην συνέχεια, ο αποστολέας περιμένει για άδεια κουπόνια, πάνω στα οποία στέλνει τα πλαίσια δεδομένων του.

Η παραπάνω διαδικασία, όπως περιγράφηκε, είναι άδικη και μπορεί να οδηγήσει σε μονοπώλιο κάποιας αρτηρίας από έναν σταθμό. Για το λόγο αυτό, το όλο σύστημα δουλεύει με κρατήσεις κουπονιών από τους σταθμούς. Έτσι, αν κάποιος σταθμός θέλει να στείλει ένα πλαίσιο δεδομένων χρησιμοποιώντας κάποια αρτηρία (έστω, την αρτηρία A), πρέπει να 'παραγγείλει' από την κεφαλή της αρτηρίας (δηλ. της A) κάποιο κουπόνι. Η 'παραγγελία' αυτή αποστέλλεται με χρήση της άλλης αρτηρίας (έστω B), επειδή το κυκλοφοριακό της έχει την κατάλληλη φορά. Ταυτόχρονα, ο σταθμός ελέγχει τις παραγγελίες και των άλλων σταθμών, που προηγήθηκαν της δικιάς του, και οι οποίες περνάνε από μπροστά του (μέσω της αρτηρίας B). Για κάθε μία από αυτές, κρατάει ένα νοητό κουπόνι σε μια ουρά που αφορά το κυκλοφοριακό στην πρώτη αρτηρία (A). Στην ίδια ουρά κρατάει ένα νοητό κουπόνι που αντιστοιχεί στη δική του κράτηση. Για κάθε άδειο κουπόνι που περνά από το σταθμό μέσω της αρτηρίας (A), αυτός αφαιρεί και ένα νοητό κουπόνι από την ουρά. Όταν φθάσει στο δικό του νοητό κουπόνι, ο σταθμός ξέρει ότι το επόμενο άδειο κουπόνι θα αντιστοιχεί στην κράτησή του.

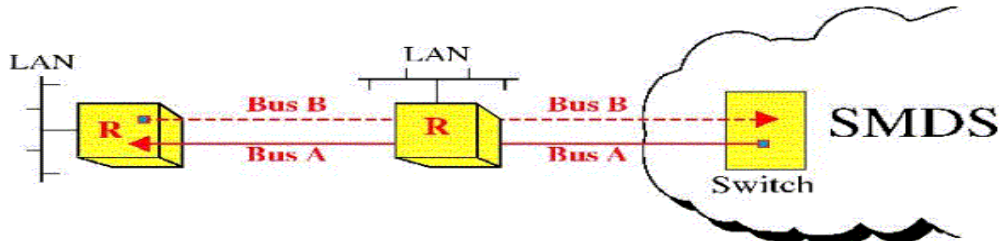
Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται και για αποστολή των δεδομένων μέσω της άλλης αρτηρίας (B). Δηλαδή, ο κάθε σταθμός κρατάει 2 ουρές με εικονικά πακέτα, μια για την κάθε αρτηρία.

Τα δίκτυα DQDB μπορεί να υλοποιούνται και σε τοπολογίες δακτυλίου, η οποία πλεονεκτεί στο ότι, αν κάποιος σταθμός πάθει βλάβη, το δίκτυο μπορεί πολύ εύκολα να ανακάμψει.

DQDB Buses and Nodes



Use of DQDB, Multiple LANs



Εικόνα 4.16: α) Η διαμόρφωση του DQDB. Οι αρτηρίες με το διαφορετικό χρώμα δηλώνουν τις αντίθετες φορές. β) Χρήση του DQDB για σύνδεση των διαφόρων LAN σε ένα μητροπολιτικό δίκτυο, τύπου SMDS

4.2.5 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ X.25

Το πρωτόκολλο X.25 καθορίζει την διεπαφή μεταξύ των συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο και του δικτύου. Είναι ένα πρότυπο του ITU-T και ορίζει την «διεπαφή μεταξύ ενός συστήματος υποδοχέα και ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων. Το X.25 έχει τρία επίπεδα: Το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο σύνδεσης και το επίπεδο πακέτου.

Το φυσικό επίπεδο παρέχει την φυσική διεπαφή μεταξύ της συνδεδεμένης συσκευής (απλού τερματικού ή κανονικού υπολογιστή) και της σύνδεσης που συνδέει το σταθμό αυτό με τον κόμβο του δικτύου. Χρησιμοποιεί το πρότυπο X.21 για την διεπαφή της **συσκευής τερματισμού δεδομένων (DTE: Data Terminal Equipment)** και της τοπικής **συσκευής σύνδεσης δεδομένων (DCE: Data Connecting Equipment)**, που συνήθως ανήκει στον τοπικό τηλεπικοινωνιακό φορέα.

Το επίπεδο σύνδεσης παρέχει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων στα δύο άκρα ενός φυσικού συνδέσμου επικοινωνίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται ως μια σειρά από πλαίσια, ενώ το επίπεδο σύνδεσης εξασφαλίζει τον έλεγχο λαθών. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι γνωστό σαν **LAPB (Link Access Protocol - Balanced: Πρωτόκολλο Πρόσβασης Σύνδεσης – Ισορροπημένο)**. Το επίπεδο σύνδεσης συνδέει το DTE με την αντίστοιχη τοπική **συσκευή μεταγωγής πακέτων (DSE: Packet Switching Equipment)**.

Το επίπεδο πακέτου παρέχει μεταγωγή **νοητού κυκλώματος (virtual circuit)**. Αυτή η υπηρεσία παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας λογικών συνδέσεων, οι οποίες είναι γνωστές ως νοητές συνδέσεις. Οι νοητές συνδέσεις έχουν διαφορετικές ταυτότητες γνωστές ως **προσδιοριστές νοητού κυκλώματος (VCI: Virtual Circuit Identifier)**.

Το επίπεδο πακέτου ενδιαφέρεται για την αξιόπιστη μεταφορά των μηνυμάτων του επιπέδου μεταφοράς – γνωστών ως **Μονάδες Δεδομένων Επιπέδου Μεταφοράς (TDPU: Transport Protocol Data Units)** και με την πολύπλεξη ενός ή περισσοτέρων

λογικών κλήσεων σε ένα φυσικό σύνδεσμο επικοινωνίας που παρέχεται από το επίπεδο δικτύου.

4.2.6 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

4.2.6.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο ασύγχρονου τρόπου μετάδοσης (ATM: Asynchronous Transfer Mode) τυποποιήθηκε τα 1991 και είναι αναγνωρισμένο από τον οργανισμό ITU-T ως ένα πρότυπο δικτύου για την υποστήριξη του B-ISDN. Τα δίκτυα ATM ανήκουν στην κατηγορία των δικτύων υψηλών ταχυτήτων και μπορούν να υποστηρίξουν όλων των τύπων τις εφαρμογές όσο απαιτητικές και αν είναι (π.χ. εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως οι πολυμεσικές εφαρμογές).

Η μονάδα πληροφορίας που διακινείται σε ένα δίκτυο ATM ονομάζεται **κελί (cell)**, εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους της. Αποτελείται από μόλις 53 bytes δεδομένων, από τα οποία τα πρώτα 5 είναι τα bytes της επικεφαλίδας, δηλαδή χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετήσουν τις λειτουργικές ανάγκες του δικτύου. Τα υπόλοιπα 48 bytes είναι η καθαρή πληροφορία των χρηστών.

Τα δίκτυα ATM δημιουργήθηκαν με την προοπτική να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένους σκοπούς. Οι κυριότεροι λόγοι που οδήγησαν στην δημιουργία τους είναι οι παρακάτω:

- Η καλύτερη αξιοποίηση των μέσων μετάδοσης υψηλών ταχυτήτων και κυρίως των οπτικών ινών. Τα πακέτα που διακινούνται από τα άλλα πρότυπα δικτύων είναι σχετικά μεγάλα και σε γενικές γραμμές το μέγεθός τους είναι κυμαινόμενο. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε μειωμένη εκμετάλλευση των γραμμών επικοινωνίας. Αντίθετα, τα πακέτα ATM είναι μικρά και σταθερά με αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση. Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό, αναφέρουμε ένα απλό παράδειγμα ενός σακιού. Το σακί έχει μια μέγιστη χωρητικότητα (το αντίστοιχο του εύρους ζώνης μιας γραμμής μετάδοσης). Τη χωρητικότητα του σακιού την εκμεταλλευόμαστε καλύτερα αν το γεμίσουμε με ελιές, παρά αν το γεμίσουμε με πορτοκάλια.
- Η ανάγκη για ένα σύστημα το οποίο να μπορεί να συνδέσει άλλα υπάρχοντα συστήματα. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο ATM εξαιτίας των μεγάλων ταχυτήτων που αναπτύσσει μπορεί να χρησιμοποιείται και ως κόμβος μεταγωγής σε περιπτώσεις γραμμών πολύ μεγάλων ταχυτήτων. Κάτι τέτοιο αποτελεί πραγματικότητα στην περίπτωση του Διαδικτύου, όπου στα υψηλότερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής του η μεταγωγή γίνεται με χρήση δικτύων ATM.
- Η ανάγκη για ένα δίκτυο του οποίου οι υπηρεσίες να είναι σχετικά φθηνές, ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τα υπάρχοντα δίκτυα τηλεπικοινωνιών.
- Η ανάγκη για ύπαρξη υπηρεσιών **συνδεδεσμένου χαρακτήρα (connection-oriented)** σε επίπεδο δικτύου, σε αντίθεση με τις υπηρεσίες του πρωτοκόλλου IP. Έτσι, το ATM μπορεί να εγγυηθεί την σίγουρη παράδοση των δεδομένων σε καθορισμένο χρονικό διάστημα.

4.2.6.2 Ιστορία

Για να κατανοήσουμε τις ανάγκες που οδήγησαν στη γέννηση του ATM, πρέπει να κάνουμε μια σύντομη αναφορά στο πρόγονό του **STM (Synchronous Transfer Mode)**. Το STM χρησιμοποιείται στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα υποδομής (backbone) για τη μεταφορά πακέτων δεδομένων και φωνής σε μακρινές αποστάσεις. Είναι ένας μηχανισμός μεταγωγής κυκλώματος στον οποίο μια σύνδεση αρχίζει μεταξύ δύο τελικών σημείων, ακολουθεί η μεταφορά δεδομένων και στο τέλος η σύνδεση μεταξύ των δύο αυτών σημείων κλείνει. Κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας, το εύρος ζώνης έχει προκαθοριστεί και παραμένει κατειλημμένο καθ' όλη τη διάρκεια της σύνδεσης, ανεξάρτητα με το αν διακινείται ή όχι πληροφορία. Το συνολικό εύρος ζώνης διαιρείται σε **στοιχειώδη κομμάτια χρόνου** (time-slots ή buckets) και τα πακέτα των δεδομένων οργανώνονται σε μια ουρά που περιέχει ένα σταθερό αριθμό πακέτων. Ένα bucket περιέχει N πακέτα, ένα για κάθε σύνδεση, και υπάρχουν M διαφορετικά buckets που επαναλαμβάνονται κάθε T δευτερόλεπτα. Έτσι, ο ολικός αριθμός συνδέσεων που μπορεί να εξυπηρετήσει ικανοποιητικά ένα STM τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι $N \cdot M$, και βέβαια στην ιδανικότερη περίπτωση, αφού το γεγονός ότι κάθε σύνδεση καταλαμβάνει "a priori" ένα πακέτο σε κάθε bucket δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι θα χρησιμοποιηθεί για μεταφορά χρήσιμων δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι μια σύνδεση που δεν χρησιμοποιεί όλο το εύρος που της προσφέρεται δεν μπορεί να «δανείσει» το περισευούμενο εύρος σε μια άλλη σύνδεση που παρουσιάζει συμφόρηση και έχει άμεση ανάγκη από εύρος.

Σε ένα σύνδεσμο STM, μία σύνδεση έχει μια καθορισμένη θέση πακέτου, 1 έως N , σε ένα καθορισμένο bucket, 1 έως M . Εάν ανάμεσα στα δύο άκρα της σύνδεσης μεσολαβούν δύο ή περισσότεροι σύνδεσμοι STM, οι αριθμοί αυτοί αλλάζουν από κόμβο σε κόμβο, αλλά δεν παύουν να δεσμεύουν ένα στοιχειώδες κομμάτι χρόνου (timeslot) σε κάθε M buckets για κάθε σύνδεση. Όπως γίνεται φανερό, η συμπεριφορά ενός συστήματος STM είναι γενικά προβλέψιμη, εφόσον κάθε σύνδεση έχει καταλάβει ένα μέρος του διαθέσιμου εύρους, και δεν την απελευθερώνει για όλη τη διάρκεια της σύνδεσης.

Οι αριθμοί N και M γενικά διαφέρουν από υλοποίηση σε υλοποίηση, αλλά η χρονική περίοδος T είναι ίδια, μιας και προέρχεται από το θεώρημα του Nyquist για τη μη απώλεια πληροφορίας για δειγματοληπτημένο σήμα φωνής συχνότητας μέχρι και 4 kHz: $1/(2 \cdot 4000) = 125 \mu\text{sec}$. (Αυτή η περίοδος είναι μία από τις πιο ουσιώδεις στη θεωρία τηλεπικοινωνιών και δεν αναμένεται να αλλάξει για πολλά χρόνια ακόμα.)

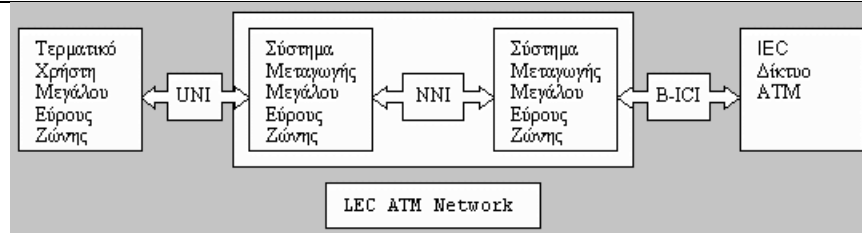
Το γεγονός από τη μια ότι μία σύνδεση STM δεν κατανέμει δίκαια το διαθέσιμο εύρος στις επιμέρους συνδέσεις και δεν επιδέχεται παραπάνω από $N \cdot M$ ταυτόχρονες συνδέσεις, και από την άλλη ότι η μορφή των δεδομένων που διακινούνται στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα αλλάζει σταδιακά από φωνή και μονόδρομα κινούμενη εικόνα (τηλεόραση) σε ένα μίγμα από φωνή, δεδομένα υπολογιστών, video και audio-on-demand, web σελίδες πλούσιες σε γραφικά κ.λ.π., ωθούν στην ανάγκη εύρεσης ενός νέου προτύπου.

4.2.6.3 Κύριοι Οργανισμοί που Ωθούν Την Έρευνα στο ATM

Έτσι γεννήθηκε το ATM. Αρχικά προτάθηκε σαν πρότυπο από την Bellcore, τη ερευνητικό τμήμα της AT&T, αλλά και από άλλες μεγάλες Ευρωπαϊκές τηλεπικοινωνιακές εταιρείες, και γ'αυτό μπορεί να μιλάμε για δύο πιθανές προτυποποιήσεις στο μέλλον. Στην Ευρώπη, το ATM υποστηρίζεται και εξελίσσεται από το ETSI (European Telecommunications Standard Institute), η οποία είναι υποεπιτροπή της ITU-T (πρώην CCITT - ευρωπαϊκή επιτροπή τηλεπικοινωνιακών προτύπων). Η ITU-T αρχικά όρισε το ATM σαν μέρος του φακέλου συστάσεων για το B-ISDN (Broadband ISDN).

Στις Ην. Πολιτείες ο υπεύθυνος οργανισμός για την προτυποποίηση του ATM είναι μια υποεπιτροπή του γνωστού ANSI (American National Standards Institute), την T1S1, που είναι υπεύθυνη για νέα πρότυπα τηλεπικοινωνιών. Ίσως όμως το πιο σημαντικό γκρουπ στο ATM αυτή τη στιγμή να είναι το ATM Forum που συνίσταται από πολλές εταιρείες κατασκευής υλικού (hardware) και παροχής υπηρεσιών (service providers), το οποίο αν και δεν είναι επίσημος οργανισμός προτυποποίησης καθοδηγεί τις εξελίξεις στο νέο και ταχύτατα αναπτυσσόμενο τομέα του ATM.

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν μικρές διαφορές ανάμεσα στις προτυποποιήσεις που προτείνουν αυτές οι δύο επιτροπές, αλλά οι διαφορές είναι μικρές και το πιθανότερο είναι κάποια συγχώνευση των σε ένα ενιαίο standard.



Εικόνα 4.17: Δομή ενός δικτύου ATM

4.2.6.4 Δομή Δικτύων ATM

Οι προδιαγραφές του ATM εστιάζονται σε τρεις **διασυνδέσεις (interfaces)** (Βλέπε Εικόνα 4.17):

- **Η διεπαφή Χρήστη - Δικτύου (UNI : User-Network Interface)** καθορίζει ένα σύνολο από υπηρεσίες που θα παρέχονται από το δίκτυο ATM στο πελάτη - χρήστη, καθώς και τους κανόνες που διέπουν τη μορφοποίηση των δεδομένων προς αποστολή από τους χρήστες και τη διαπραγμάτευση του δικτύου με το χρήστη για τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών που απαιτεί.
- **Η διεπαφή κόμβου δικτύου (NNI : Network Node Interface)** ορίζει πως θα επικοινωνούν οι διάφοροι κόμβοι μέσα στο τοπικό (LEC : Local Exchange Carrier) δίκτυο ενός τηλεπικοινωνιακού φορέα. Ο σκοπός της προτυποποίησης στο επίπεδο αυτό είναι η αποφυγή του περιορισμού χρήσης μεταγωγέων από ένα μόνο κατασκευαστή.
- **Η διεπαφή μεγάλου εύρους μεταξύ πολλών φορέων (B-ICI : Broadband Inter-Carrier Interface)** ορίζει τις παραμέτρους διασύνδεσης ανάμεσα σε ένα τοπικό (LEC) κέντρο και ένα κομβικό (IEC : Interexchange Carrier's Network) κέντρο.

Με τον όρο **τελικά σημεία (end points)** καλούμε όλες τις συσκευές των χρηστών που επιδιώκουν την επικοινωνία σε ένα δίκτυο ATM. Η γραμμή επικοινωνίας που συνδέει ένα τελικό σημείο με έναν μεταγωγέα ATM είναι γνωστή με τον όρο **μονοπάτι μετάδοσης (Transmission Path)**. Το κάθε μονοπάτι μετάδοσης χωρίζεται σε **νοητά μονοπάτια (Virtual Paths)**. Τα νοητά μονοπάτια φέρουν έναν αριθμό ταυτότητας για να ξεχωρίζουν, ο οποίος ονομάζεται **προσδιοριστής νοητού μονοπατιού (VPI: Virtual Path Identifier)**.

Το κάθε νοητό μονοπάτι χωρίζεται με τη σειρά του σε **νοητά κυκλώματα (Virtual Circuits)**. Το κάθε νοητό κύκλωμα, μέσα σε ένα νοητό μονοπάτι, ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα με τη χρήση του **προσδιοριστή νοητού κυκλώματος (VCI: Virtual Circuit Identifier)**.

Η μετάδοση των κελιών ATM γίνεται διαμέσου των νοητών κυκλωμάτων. Προτού ξεκινήσει η επικοινωνία μεταξύ των δύο τελικών σημείων, ο αποστολέας στέλνει ένα ειδικό πακέτο, το οποίο επιφορτίζεται με την διαδικασία της εγκατάστασης μιας σύνδεσης. Με τον τρόπο αυτό προετοιμάζονται όλοι οι ενδιάμεσοι μεταγωγείς και επιλέγονται τα νοητά κυκλώματα κατά μήκος της σύνδεσης. Η σύνδεση μπορεί μεταξύ δύο τελικών σημείων μπορεί να είναι είτε **μόνιμη (PVC: Permanent Virtual Circuit)**, είτε **προσωρινή (SVC: Switched Virtual Circuit)**.

Οι ενδιάμεσοι μεταγωγείς ανήκουν σε δύο κατηγορίες:

- **Μεταγωγείς νοητών μονοπατιών (Virtual Path Switches)**. Αυτοί μπορούν να προωθούν τα κελιά από τη γραμμή εισόδου προς τη γραμμή εξόδου, κάνοντας χρήση μόνο του προσδιοριστή νοητού μονοπατιού (VPI).
- **Μεταγωγείς νοητού μονοπατιού και κυκλώματος (Virtual Path and Circuit Switches)**. Χρησιμοποιούν τόσο τον προσδιοριστή νοητού μονοπατιού (VPI), όσο και τον προσδιοριστή νοητού κυκλώματος (VCI).

4.2.6.5 Υπηρεσίες ATM

Ο ευρωπαϊκός οργανισμός ITU-T (πρώην CCITT) έχει χωρίσει σε τέσσερις μεγάλες κλάσεις (ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους) τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει το ATM. Συγκεκριμένα:

- **Κλάση Α'** : Υπηρεσίες με σύνδεση, ευαίσθητες σε χρονικές καθυστερήσεις με σταθερό ρυθμό ροής δεδομένων, όπως φωνή, εξομοίωση κλειστού κυκλώματος γενικά και video σταθερού ρυθμού ροής. Οι υπηρεσίες αυτής της κλάσης είναι γνωστές ως υπηρεσίες **σταθερού ρυθμού δεδομένων (CBR: Constant Bit Rate)**.
- **Κλάση Β'** : Υπηρεσίες με σύνδεση, ευαίσθητες σε χρονικές καθυστερήσεις με μεταβλητό ρυθμό ροής δεδομένων, όπως video μεταβαλλόμενου ρυθμού ροής (λόγω συμπίεσης). Οι υπηρεσίες αυτές είναι γνωστές ως υπηρεσίες **μεταβλητού ρυθμού δεδομένων (VBR: Variable Bit Rate)**.
- **Κλάση Γ'** : Υπηρεσίες με σύνδεση, αναίσθητες σε χρονικές καθυστερήσεις με μεταβλητό ρυθμό ροής δεδομένων, όπως συνδέσεις X.25 ή αναμετάδοση πλαισίου (frame relay). Οι υπηρεσίες της κλάσεως αυτής ονομάζονται και υπηρεσίες **διαθέσιμου ρυθμού δεδομένων (ABR: Available Bit Rate)**.
- **Κλάση Δ'** : Υπηρεσίες χωρίς σύνδεση, αναίσθητες σε χρονικές καθυστερήσεις με μεταβλητό ρυθμό ροής δεδομένων, όπως συνδέσεις SMDS ή εξομοίωση

πρωτοκόλλων ανωτέρου επιπέδου (TCP/IP). Αυτές η υπηρεσίες ονομάζονται και υπηρεσίες **απροσδιόριστου ρυθμού δεδομένων (UPR: Unspecified Bit Rate)**.

Στα δίκτυα STM, η θέση των πακέτων σε ένα bucket μπορεί να αλλάζει καθώς το πακέτο μεταπηδάει από κάποιο ενδιάμεσο σύνδεσμο (link) σε ένα άλλο. Κατ' αντιστοιχία, σε ένα δίκτυο ATM, το περιεχόμενο της επικεφαλίδας αναγνωριστικού εικονικής σύνδεσης (VCI) αλλάζει καθώς ένα πακέτο ATM μεταπηδά από τη μία πλευρά ενός κόμβου ATM σε μία άλλη. Για την ομαλή διεξαγωγή της δρομολόγησης, σε κάθε κόμβο υπάρχουν πίνακες αντιστοιχίσεως, που κάνουν ότι ακριβώς υπονοεί το όνομά τους, δηλ. Αντιστοιχίζουν τα VCI των εισερχομένων πακέτων με τα VCI των εξερχόμενων.

Ένα παράδειγμα : Ας υποθέσουμε ένα δίκτυο ATM με κόμβους στην Αθήνα, την Κόρινθο, τη Τρίπολη, τη Καλαμάτα και τη Πάτρα. Έστω τώρα ότι ο Γιάννης και το τερματικό του βρίσκονται στην Πάτρα (Π) και θέλει να επικοινωνήσει με τον κεντρικό υπολογιστή της εταιρείας του που βρίσκεται στην Αθήνα (ΑΘ). Η αίτηση από τον υπολογιστή του πηγαίνει στο αντίστοιχο κομβικό κέντρο και γίνεται μια ανταλλαγή παραμέτρων σύνδεσης (όπως η διεύθυνση προορισμού, το είδος των πακέτων, μέγιστο εύρος ζώνης, μέσο αναμενόμενο εύρος ζώνης, ελάχιστη ποιότητα υπηρεσιών όπως ανοχή σε καθυστερήσεις και σε απώλειες πακέτων κ.λ.π.). Στο κομβικό κέντρο αντίστοιχα, αντίστοιχο λογισμικό αποφασίζει τη βέλτιστη διαδρομή (η τουλάχιστον ποια θα έπρεπε να είναι αυτή), και στέλνει σε όλα τα κομβικά κέντρα πάνω στο επιλεγμένο μονοπάτι, αίτηση εγκατάστασης επικοινωνίας.

Ας υποθέσουμε ότι π.χ. λόγω ταχύτητας απόκρισης επελέγη η διαδρομή Πάτρα-Καλαμάτα-Κόρινθος-Αθήνα (γιατί η γραμμή με τη Τρίπολη έχει μεγάλη καθυστέρηση ή γιατί έχει συμφόρηση). Ο καθένας από τους τέσσερις κόμβους αναθέτει κάποιο από το αχρησιμοποίητο αναγνωριστικό εικονικής σύνδεσης και το διαθέτει για τη σύνδεση με τον επόμενο κόμβο και ταυτόχρονα αντιστοιχεί αυτό το αναγνωριστικό με αυτό από το προηγούμενο κόμβο, αν υπάρχει. Για παράδειγμα, ο κόμβος της Πάτρας αναθέτει το αναγνωριστικό εικονικής σύνδεσης VC1, ο κόμβος της Καλαμάτας αναθέτει το αναγνωριστικό εικονικής σύνδεσης VC2 και ο κόμβος της Κόρινθου αναθέτει το αναγνωριστικό εικονικής σύνδεσης VC3. Όταν ένα πακέτο με αναγνωριστικό VC2 φτάσει στην Κόρινθο από τη Καλαμάτα, αυτό αλλάζει αναγνωριστικό (σε VC3) και μεταπηδάει στην Αθήνα. Μόλις εξασφαλιστεί το μονοπάτι από όλους του κόμβους και φτιαχτούν τα (προσωρινά) routing tables, τότε επιβεβαιώνεται το τερματικό του Γιάννη ότι όλα είναι καλά και ότι μπορεί να αρχίσει η μεταφορά των δεδομένων. Μόλις ο Γιάννης τερματίσει τη σύνδεση, τότε τα αναγνωριστικά VCI σε κάθε κόμβο γίνονται διαθέσιμα για άλλες συνδέσεις και οι σχετικές εγγραφές στο πίνακα δρομολόγησης (routing table) σβήνονται.

Είναι δυνατό ορισμένα VCI να είναι δεσμευμένα για κοινές υπηρεσίες, κατ' αντιστοιχία με τους τριψήφιους αριθμούς του ΟΤΕ (π.χ. 141 για την ώρα) ή με τα δεσμευμένα κατά IETF (Internet Engineering Task Force) port numbers στα πρωτόκολλα TCP/UDP (π.χ. TCP port 80 για WWW servers). Εδώ όμως πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει κάτι το αντίστοιχο με τη δυναμική ανάθεση ports στο TCP/IP (όπως π.χ. στις συνδέσεις client/server) για τις επικεφαλίδες VCI, και αυτό γιατί σε κάθε σύνδεση ATM πρέπει να υπάρχει κάποια ισότητα ανάμεσα σε όσους τη μοιράζονται για το διαθέσιμο εύρος ζώνης, και γιατί αλλιώς θα γινόταν πραγματικός πόλεμος για τη διεκδίκηση κάποιων επικεφαλίδων VCI που γρήγορα θα προκαλούσε την εξάντληση των διαθέσιμων επικεφαλίδων VCI. Εξαίρεση μπορεί να γίνει ειδικά στη περίπτωση του ίδιου του

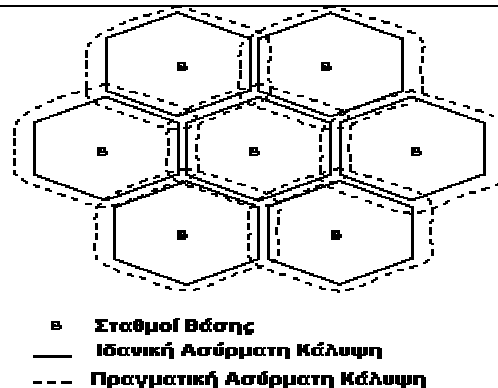
τηλεπικοινωνιακού οργανισμού που κάνει αίτηση για επικεφαλίδες VCI έτσι ώστε να τις χρησιμοποιήσει για κρίσιμες συνδέσεις (π.χ. έλεγχος απομακρυσμένων κόμβων από κεντρικό σημείο).

4.3 ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

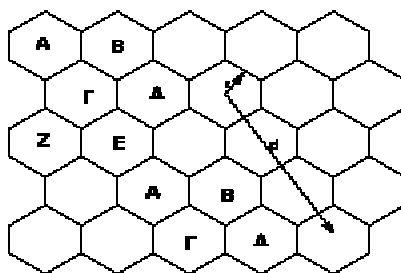
Τα δίκτυα της κινητής τηλεφωνίας είναι γνωστά και με τον όρο **δίκτυα κυψελών (Cellular Networks)**. Αυτό το όνομα οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο είναι δομημένα και ο οποίος πηγάζει από τη βασική αρχή που διέπει τα δίκτυα αυτά. Η αρχή αυτή είναι η επαναλαμβανόμενη χρησιμοποίηση των συχνοτήτων ενός συγκεκριμένου και σχετικά περιορισμένου **εύρους ζώνης (Bandwidth)**.

Ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι χωρισμένο σε διάφορες **γεωγραφικά τμήματα (γνωστά ως Location Areas)**. Το κάθε γεωγραφικό τμήμα χωρίζεται σε **κυψέλες (cells)**. Η κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί ένα δικό της υποσύνολο συχνοτήτων για επικοινωνία, σε σχέση με τις γειτονικές της. Στο κέντρο της κάθε κυψέλης υπάρχει ο **σταθμός βάσης (Base Station)**. Ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί μια **κεραία (antenna)** και μπορεί να επικοινωνεί με τα κινητά τηλέφωνα, τα οποία στην βιβλιογραφία αποκαλούνται με τον όρο **κινητοί σταθμοί (mobile stations)**.



Εικόνα 4.18: Χρήση των κυψελών για γεωγραφική κάλυψη δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Για την επικοινωνία μεταξύ κινητών σταθμών και σταθμού βάσης χρησιμοποιούνται δύο κανάλια επικοινωνίας: Για την μετάδοση σημάτων από τον σταθμό βάσης προς τους κινητούς σταθμούς χρησιμοποιείται το **προωστικό κανάλι (forward channel)** επικοινωνίας ενώ για τη μετάδοση από τον κινητό σταθμό προς το σταθμό βάσης χρησιμοποιείται το **αντίστροφο κανάλι (reverse channel)**. Οι συχνότητες στις οποίες εκπέμπουν τα δύο κανάλια είναι κατά πολύ διαφορετικές ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των σημάτων από και προς τους κινητούς σταθμούς.



Εικόνα 4.19: Η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων σε κυψέλες

Ο σταθμός βάσης επικοινωνεί είτε ασύρματα (με μικροκύματα) είτε ενσύρματα με το τοπικό **τηλεφωνικό κέντρο μεταγωγής**. Το κέντρο αυτό είναι επίσης γνωστό ως **Κινητό Κέντρο Μεταγωγής (MSC: Mobile Switching Center)** ή **Κινητό Τηλεφωνικό Γραφείο Μεταγωγής (Mobile Telephone Switching Office)**. Ο ρόλος του MSC είναι να υποστηρίζει την επικοινωνία ανάμεσα στους σταθμούς βάσης και στο **δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN: Public Switched Telephone Network)**.

Ο κάθε κινητός σταθμός στέλνει συνεχώς πληροφορίες για το γεωγραφικό τμήμα στο οποίο βρίσκεται. Έτσι το δίκτυο ξέρει σε που θα διαβιβάσει τις κλήσεις που τον αφορούν. Επιπλέον, στις κυψέλες, κάποια κανάλια συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση και απεγκατάσταση των κλήσεων. Τα κανάλια αυτά είναι γνωστά ως **κανάλια εγκατάστασης (Setup Channels)**.

Τα βασικότερα πρωτόκολλα υποστήριξης δικτύων κινητής τηλεφωνίας είναι το Ευρωπαϊκό **GSM (Global System for Mobile Communication)** και το Αμερικάνικο **IS-41 (Interim Standard 41)**.

4.3.2 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Ας υποθέσουμε ότι ένας κινητός σταθμός (δηλαδή, κινητό τηλέφωνο) επιθυμεί να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο.

Για την αρχικοποίηση της κλήσης το ο κινητός σταθμός στέλνει, διαμέσου του αντιστρόφου καναλιού εγκατάστασης (Reverse Setup Channel) τον αριθμό τηλεφώνου του, τον αριθμό του τηλεφώνου του κινητού σταθμού που επιθυμεί να καλέσει και κάποια στοιχεία για αυθεντικοποίηση (π.χ. ένα συνθηματικό), τα οποία υπάρχουν αναγραμμένα στην κάρτα **SIM (Subscriber Identity Module)** του. Ο σταθμός βάσης προωθεί τα στοιχεία προς το κεντρικό κινητό κέντρο μεταγωγής (MSC). Το MSC επιβεβαιώνει την ταυτότητα του σταθμού και ελέγχει σε ποιο γεωγραφικό τμήμα βρίσκεται ο καλούμενος κινητός σταθμός. Στη συνέχεια δρομολογεί την αίτηση προς το MSC που αντιστοιχεί στο γεωγραφικό τμήμα του καλούμενου σταθμού. Ταυτόχρονα, ο καλών κινητός σταθμός έρχεται σε συμφωνία με τον σταθμό βάσης, σχετικά με το προωστικό και το αντίστροφο κανάλι που θα χρησιμοποιηθούν.

Το MSC στο γεωγραφικό τμήμα του καλούμενου προωθεί το σήμα κλήσης στους σταθμούς βάσης όλων των κυψελών του τμήματος. Οι σταθμοί βάσης **εκπέμπουν (broadcast)** την κλήση, διαμέσου όλων των **προωστικών καναλιών εγκατάστασης (Forward Setup Channels)**, προς όλους τους κινητούς σταθμούς του γεωγραφικού τμήματος. Ο κινητός σταθμός που αναγνωρίζει το νούμερό του απαντάει χρησιμοποιώντας σε κάποιο αντίστροφο κανάλι εγκατάστασης. Διαπραγματεύεται με τον

αντίστοιχο σταθμό βάσης το προωστικό και αντίστροφο κανάλι στο οποίο θα γίνει η επικοινωνία.

Προφανώς, όλα τα παραπάνω κανάλια (εγκατάστασης ή επικοινωνίας, προωστικά ή αντίστροφα) που αναφέρθηκαν, εκπέμπουν σε τέτοιες συχνότητες ώστε μεταξύ σταθμών βάσης και κινητών σταθμών να υπάρχει το καθαρότερο δυνατό σήμα.

Το ερώτημα που τίθεται στο σημείο αυτό είναι το εξής: τι γίνεται αν κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας μεταξύ των δύο κινητών σταθμών, ο ένας από τους δύο αλλάξει ή τείνει να κυψέλη (cell);

Ο κάθε σταθμός βάσης ελέγχει το σήμα επικοινωνίας και αν αυτό πέσει κάτω από ένα όριο, τότε το αρμόδιο MSC ειδοποιεί όλους τους γειτονικούς σταθμούς βάσης να εκπέμπουν σε ένα συγκεκριμένο κανάλι εγκατάστασης προς τον κινητό σταθμό που αντιμετωπίζει το πρόβλημα. Έτσι, το MSC καταλαβαίνει σε ποια κυψέλη μεταφέρεται ο κινητός σταθμός και δίνει την εντολή στον αντίστοιχο σταθμό βάσης να διαπραγματευθεί με τον κινητό σταθμό καινούργια κανάλια επικοινωνίας (εννοείται προωστικό και αντίστροφο). Όταν ο σταθμός βάσης και ο κινητός σταθμός συμφωνήσουν στα κανάλια που θα χρησιμοποιηθούν, η επικοινωνία διακόπτεται στιγμιαία μέχρις και γίνεται μέσω των καινούργιων συχνοτήτων.