



Μάθημα 8.4: Πρότυπα CSMA/CD, IEEE 802.3 και Ethernet

8.4.1 Το πρότυπο CSMA/CD

Η βελτίωση που επέφερε το πρωτόκολλο CSMA στο ALOHA αποδείχτηκε ασφαλώς ευεργετική για την απόδοση των τοπικών δικτύων τόσο ως προς το ρυθμό διέλευσης όσο και ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων στο δίκτυο. Μια νέα βελτίωση του πρωτοκόλλου CSMA, που έγινε η απαρχή για την παραπέρα ανάπτυξη του και την εισαγωγή του στην ενσύρματη επικοινωνία, έδωσε τη δυνατότητα στους κόμβους να σταματούν τις μεταδόσεις τους, μόλις αντιληφθούν σύγκρουση στο κανάλι.

Για παράδειγμα, αν δύο ή περισσότεροι κόμβοι ανιχνεύοντας το κανάλι διαπιστώσουν ότι αυτό είναι σε αργία και αποφασίσουν να μεταδώσουν σχεδόν ταυτόχρονα, θα διαπιστώσουν σχεδόν ταυτόχρονα και τη σύγκρουση που θα συμβεί. Επομένως θα διακόψουν αμέσως τη μετάδοση των πακέτων τους, που έτσι κι αλλιώς σ' αυτή την περίπτωση είναι ανώφελη, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου όσον αφορά το ρυθμό διέλευσης και την καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων. Κάθε κόμβος που διαπιστώνει σύγκρουση αναβάλλει τη μετάδοση του πακέτου του, περιμένοντας για κάποιο χρονικό διάστημα, και επιχειρεί αργότερα, υποθέτοντας ότι στο διάστημα αυτό κανείς άλλος κόμβος δεν άρχισε να μεταδίδει. Το νέο βελτιωμένο πρωτόκολλο ονομάστηκε **πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αναγνώριση συγκρούσεων** (CSMA/CD: *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*).

Το CSMA/CD, όπως και πολλά από τα πρότυπα των τοπικών δικτύων, ακολουθούν τους γενικούς κανόνες που περιγράφηκαν στο Μάθημα 7.4. Το κανάλι είναι συγχρονισμένο σε κάθε χρονοθυρίδα και μπορεί να βρίσκεται σε μία από τις ακόλουθες τρεις καταστάσεις:

- ✓ **Κατάσταση αργίας.** Στην περίπτωση αυτή δεν επιχειρείται μετάδοση από κανέναν κόμβο του καναλιού. Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το κανάλι παραμένει σε αργία λέγεται **περίοδος αργίας**.
- ✓ **Κατάσταση μετάδοσης.** Το κανάλι είναι απασχολημένο από κάποια επιτυχημένη μετάδοση. Στην περίπτωση αυτή όλοι οι κόμβοι διαπιστώνουν ότι κάποιος άλλος κόμβος έχει δεσμεύσει το κανάλι και δεν επιχειρούν να μεταδώσουν. Αυτό το χρονικό διάστημα απασχόλησης του καναλιού λέγεται **περίοδος μετάδοσης**.
- ✓ **Κατάσταση ανταγωνισμού.** Το κανάλι είναι απασχολημένο από κάποια σύγκρουση. Στην περίπτωση αυτή όλοι οι κόμβοι διαπιστώνουν ή ότι έχουν οι ίδιοι εμπλακεί σε κάποια σύγκρουση και επομένως διακόπτουν τη συνέχιση της μετάδοσης του πακέτου τους ή ότι κάποιοι άλλοι κόμβοι έχουν εμπλακεί σε σύγκρουση και έχουν δεσμεύσει το κανάλι και επομένως δεν επιχειρούν να μεταδώσουν.

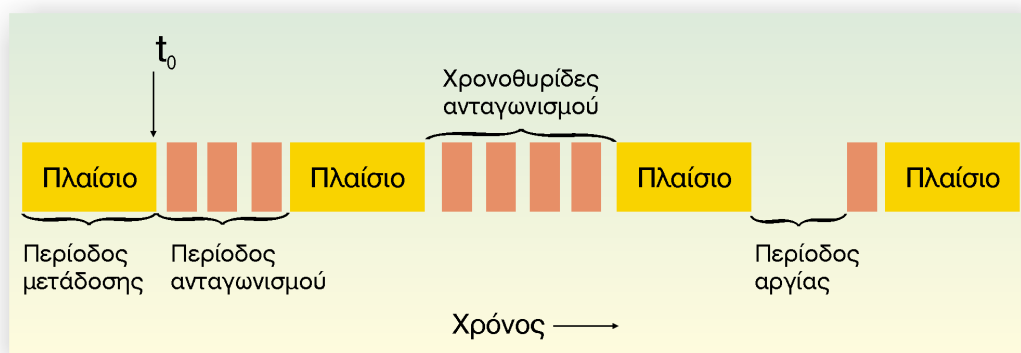


Αυτό το χρονικό διάστημα απασχόλησης του καναλιού λέγεται **περίοδος ανταγωνισμού**. Σημειώνεται ότι η περίοδος ανταγωνισμού περιλαμβάνει το χρόνο που απαιτείται προκειμένου το κανάλι να επιλύσει τις συγκρούσεις και να καταστεί και πάλι έτοιμο για μετάδοση.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.7, τη χρονική στιγμή t_0 ο κόμβος έχει τερματίσει τη μετάδοση του πλαισίου του και επομένως όλοι οι κόμβοι που είναι έτοιμοι για μετάδοση μπορούν τώρα να επιχειρήσουν να μεταδώσουν το πλαίσιο τους. Αν όμως δύο ή περισσότεροι κόμβοι επιχειρήσουν να μεταδώσουν την ίδια χρονική στιγμή t_0 , θα συμ-



Ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την αναγνώριση μιας σύγκρουσης ισούται με το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να μεταδοθεί από τον έναν κόμβο στον άλλο.



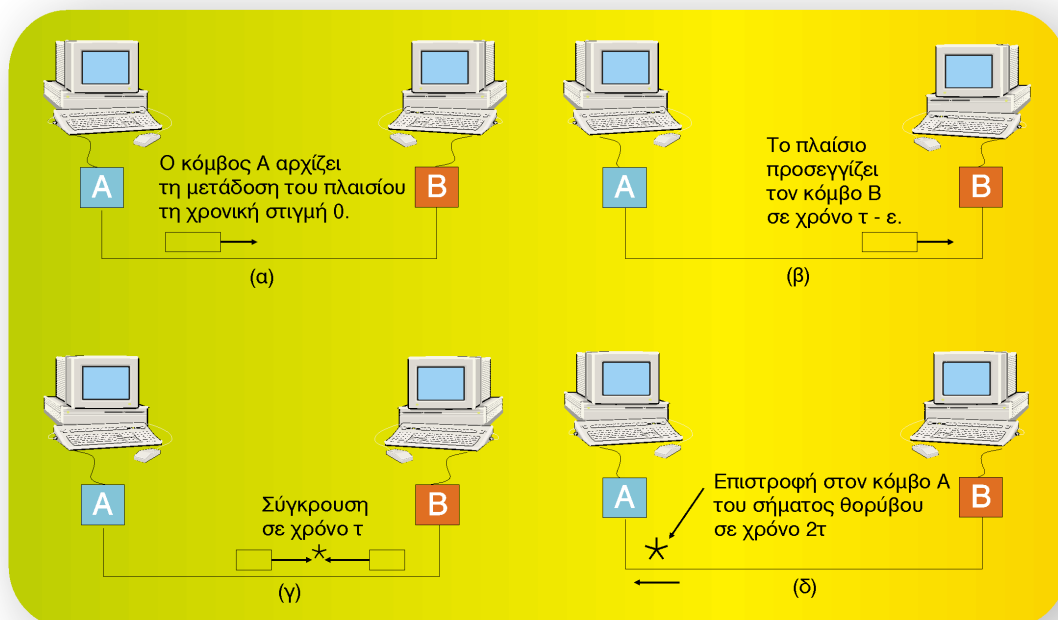
Σχήμα 8.7: Το CSMA/CD μπορεί να βρίσκεται είτε σε κατάσταση αργίας είτε σε κατάσταση ανταγωνισμού ή σε κατάσταση μετάδοσης.



Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, σε αντιδιαστολή με τα πρωτόκολλα ALOHA και CSMA που έχουν εφαρμογή στην ασύρματη επικοινωνία, η ικανότητα της αναγνώρισης των συγκρούσεων αφορά τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης και επομένως το νέο πρωτόκολλο έχει εφαρμογή στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Λόγω της επιτυχίας του CSMA/CD έγιναν αρκετές προσπάθειες προσαρμογής του στο περιβάλλον της ασύρματης επικοινωνίας, οι οποίες όμως δεν καρποφόρησαν.

βεί σύγκρουση. Άρα το κρίσιμο ερώτημα αφορά τη διάρκεια της περιόδου ανταγωνισμού και ειδικότερα το χρόνο που απαιτείται για την αναγνώριση μιας σύγκρουσης. Σ' ένα δίκτυο εκπομπής βασικής ζώνης ο χρόνος αναγνώρισης μιας σύγκρουσης είναι διπλάσιος από την καθυστέρηση διάδοσης του σήματος στο καλωδιακό μέσο. Σημειώνεται ότι η καθυστέρηση αυτή, που συμβολίζεται με τ , αφορά το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να μεταδοθεί μεταξύ των πιο απομακρυσμένων κόμβων του δικτύου. Επομένως η διάρκεια μετάδοσης κάθε πλαισίου θα πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει την αναγνώριση των συγκρούσεων πριν από το τέλος της μετάδοσής του, δηλαδή τουλάχιστον 2τ (σχήμα 8.8), διαφορετικά οι συγκρούσεις δε θα αναγνωρίζονται έγκαιρα, με συνέπεια η απόδοση του προτύπου CSMA/CD να είναι ανάλογη με αυτήν του CSMA. Το άμεσο συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι το μήκος του καλωδίου δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο, ώστε οι συγκρούσεις να μπορούν να αναγνωρίζονται. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένα ομοαξονικό καλώδιο μήκους 1 km έχει καθυστέρηση διάδοσης σήματος $\tau = 5 \mu\text{sec}$.

Η αναγνώριση των συγκρούσεων είναι μια διαδικασία κατά την οποία ο κόμβος παρακολουθεί, μέσω κάποιας διάταξης, το καλωδιακό μέσο σε όλη τη διάρκεια της μετάδοσης. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο κόμβος συγκρίνει την ισχύ ή το πλάτος του παλμού του σήματος που λαμβάνει με αυτό που έστειλε. Αν το σήμα που θα λάβει ο κόμβος είναι διαφορετικό από αυτό που έστειλε, τότε διαπιστώνει ότι συνέβη σύγκρουση. Το σχήμα κωδικοποίησης των σημάτων πρέπει να επιτρέπει την αναγνώριση των συγκρούσεων. Για παράδειγμα, η σύγκρουση δύο σημάτων τάσης 0 Volt είναι πολύ



Σχήμα 8.8: Η αναγνώριση της σύγκρουσης μπορεί να έχει μέγιστη διάρκεια 2τ .

(α) Τη χρονική στιγμή 0 ο κόμβος A στέλνει ένα πλαίσιο.

(β) Το πλαίσιο προσεγγίζει τον κόμβο B σε χρόνο $\tau - \epsilon$.

(γ) Ακριβώς πριν το πλαίσιο του κόμβου A φθάσει στον κόμβο B, αυτός αρχίζει τη μετάδοση του δικού του πλαισίου. Όταν ο κόμβος B διαπιστώσει ότι έλαβε περισσότερη ισχύ σήματος από αυτήν που έστειλε, αντιλαμβάνεται ότι έχει εμπλακεί σε σύγκρουση, οπότε σταματά τη μετάδοσή του και στέλνει αμέσως ένα σήμα θορύβου 48 bits στους άλλους κόμβους.

(δ) Το σήμα θορύβου φθάνει στον κόμβο A σε χρόνο 2τ , οπότε αυτός σταματά τη μετάδοσή του.

πιθανό να μην μπορεί να αναγνωριστεί.

Ένα σημείο που πρέπει να υπολογιστεί, αφού αφορά την απόδοση του δικτύου CSMA/CD, είναι η διάρκεια αποχής ενός κόμβου που ανίχνευσε μια σύγκρουση. Είναι φυσικό η διάρκεια αυτή να διαφέρει από κόμβο σε κόμβο, ώστε να μην επαναλαμβάνονται μεταδόσεις που καταλήγουν σε συνεχόμενες συγκρούσεις. Επίσης πρέπει να υπολογιστεί η πιθανότητα συμμετοχής κάποιου κόμβου σε επανειλημμένες συγκρούσεις και να λαμβάνονται μέτρα, ώστε η συμμετοχή του στον ανταγωνισμό να είναι ανάλογη του αριθμού των συγκρούσεων στις οποίες έχει εμπλακεί. Γι' αυτούς τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται ο **δυναδικός αλγόριθμος εκθετικής αποχής** (binary exponential backoff algorithm), σύμφωνα με τον οποίο η διάρκεια αποχής μετριέται σε χρονοθυρίδες (σχήμα 8.7). Έτσι, μετά από μια σύγκρουση, ο χρόνος χωρίζεται σε χρονοθυρίδες διάρκειας 2τ (μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης σήματος με επιστροφή). Για παράδειγμα, στο καθορισμένο από το πρωτόκολλο 802.3 τοπικό δίκτυο των 10 Mbps, μέγιστης απόστασης 2,5 km και 4 επαναληπτών, η χρο-



νοθυρίδα έχει διάρκεια 51,2 μsec . Μετά από k συγκρούσεις στις οποίες έχει εμπλακεί ένας κόμβος, ο αριθμός των χρονοθυρίδων που παραλείπει επιλέγεται τυχαία από το διάστημα 0 έως $2^k - 1$. Έτσι:

Αριθμός συγκρούσεων k	Διάστημα χρονοθυρίδων καθυστέρησης (0 έως $2^k - 1$)	Πιθανότητα να ξανασυμβεί σύγκρουση
1	0, 1	0,5
2	0, 1, 2, 3	0,25
3	0, 1, 2...7	0,125
4	0, 1, 2...15	0,0625
5	0, 1, 2...31	0,03125
6	0, 1, 2...63	0,015625
7	0, 1, 2...127	0,0078125
8	0, 1, 2...255	0,0039062
9	0, 1, 2...511	0,0019531
10	0, 1, 2...1023	0,0009765

Ο αλγόριθμος σε κάθε χρονοθυρίδα προσπαθεί να βρει τον κατάλληλο αριθμό των κόμβων που είναι πιθανό να συμμετέχουν στον ανταγωνισμό, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι συγκρούσεις. Όμως παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Όταν ο αριθμός των κόμβων είναι μικρός και ο αριθμός των συγκρούσεων με τις οποίες επιβαρύνονται οι κόμβοι μεγάλος, τότε η πιθανότητα να ξανασυμβεί σύγκρουση των πακέτων τους είναι μικρή, όμως ο χρόνος επαναμετάδοσής τους είναι μεγάλος. Για παράδειγμα, 2 κόμβοι με 9 ή 10 συγκρούσεις ο καθένας είναι επόμενο να έχουν πολύ μικρή πιθανότητα να συγκρουστούν και πάλι, όμως η καθυστέρηση προκειμένου να επιχειρήσουν επαναμετάδοση είναι μεγάλη.
- ✓ Όταν ο αριθμός των κόμβων είναι μεγάλος και ο αριθμός των συγκρούσεων με τις οποίες επιβαρύνονται οι κόμβοι μικρός, τότε η πιθανότητα να ξανασυμβεί σύγκρουση των πακέτων τους είναι μεγάλη, όμως ο χρόνος επαναμετάδοσής τους είναι μικρός. Για παράδειγμα, 100 κόμβοι με 2 ή 3 συγκρούσεις ο καθένας είναι επόμενο να έχουν πολύ μεγάλη πιθανότητα να συγκρουστούν και πάλι, όμως η καθυστέρηση προκειμένου να επιχειρήσουν επαναμετάδοση είναι μικρή.

8.4.2 Το πρότυπο IEEE 802.3 και το Ethernet

Το πρότυπο **IEEE 802.3** αντιπροσωπεύεται από το 1-επιμέμον CSMA/CD. Στο πρότυπο αυτό ο κόμβος που πρόκειται να μεταδώσει ανιχνεύει το κανάλι και, αν διαπιστώσει



ότι είναι απασχολημένο, περιμένει, μέχρι αυτό να περιέλθει σε κατάσταση αργίας. Διαφορετικά, αν διαπιστώσει ότι είναι σε αργία, μεταδίδει αμέσως. Αν δύο ή περισσότεροι κόμβοι αρχίσουν ταυτόχρονα τη μετάδοση των πακέτων τους σε ένα κανάλι που βρίσκεται σε κατάσταση αργίας, θα γίνει σύγκρουση. Μόλις οι κόμβοι διαπιστώσουν τη σύγκρουση στην οποία ενεπλάκησαν, σταματούν τη μετάδοση των πακέτων τους και περιμένουν κάποιο χρονικό διάστημα προκειμένου να επαναλάβουν την όλη διαδικασία.

Η δημιουργία του προτύπου *IEEE 802.3* στηρίχθηκε στα πρωτόκολλα *ALOHA* και *CSMA*, τα οποία εφαρμόστηκαν στη ραδιοεπικοινωνία. Αργότερα η εταιρεία *XEROX PARK* ενσωμάτωσε το *CSMA/CD*, προκειμένου να κατασκευάσει το σύστημα *2.94 Mbps CSMA/CD*, το οποίο υλοποίησε σε μια εγκατάσταση σύνδεσης 100 ηλεκτρονικών υπολογιστών με ένα καλώδιο 1 km. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε **Ethernet** και αποτέλεσε τη βάση επάνω στην οποία οι εταιρείες *DEC* και *INTEL* κατασκεύασαν το γνωστό πρότυπο *10 Mbps IEEE 802.3*. Σημειώνεται ότι το πρότυπο *IEEE 802.3* περιγράφει όλη την οικογένεια των προτύπων *1-επιμένον CSMA/CD* και συμπεριλαμβάνει το *Ethernet*, το οποίο είναι συγκεκριμένο προϊόν που υλοποιεί αρκετά καλά το πρότυπο *IEEE 802.3*.



Η αρχική έκδοση του προτύπου *IEEE 802.3* για εκπομπή βασικής ζώνης αναπτύχθηκε από την εταιρεία *XEROX* και χρησιμοποιήθηκε ως τμήμα του τοπικού δικτύου της, που έγινε γνωστό ως *Ethernet*. Η επέκταση του προτύπου για εκπομπή ευρείας ζώνης έγινε από την εταιρεία *MITRE* στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Από το 1980 και μετά πολλές εταιρείες παρουσίασαν διάφορα συστήματα βασισμένα στο πρότυπο αυτό.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αναγνώριση συγκρούσεων (*CSMA/CD*), *Ethernet*, δυαδικός αλγόριθμος εκθετικής αποχής.

