

# Δίκτυα Υπολογιστών

## Εργαστήρια

---

Άσκηση 6<sup>η</sup>

Πολλαπλή Πρόσβαση με Ακρόαση Φέροντος (CSMA-CD)

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων  
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής  
Διδάσκων: Παπαπέτρου Ευάγγελος

## 1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας άσκησης είναι η μελέτη των πρωτοκόλλων ανταγωνισμού (contention-based protocols). Συγκεκριμένα η άσκηση ασχολείται με τον αλγόριθμο πρόσβασης με ακρόαση φέροντος (Carrier Sense Multiple Access, CSMA). Ο αλγόριθμος προδιαγράφει μια πιθανοτική μέθοδο πρόσβασης σε ένα κοινό κανάλι. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο κάθε κόμβος στηρίζεται στην ακρόαση του φέροντος σήματος για να ανιχνεύσει αν υπάρχουν πακέτα που μεταδίδονται στο κοινό μέσο. Η στρατηγική αυτή αποτελεί μια βελτίωση σε σχέση με τον αλγόριθμο Aloha όπου ο κόμβος αγνοεί το αν υπάρχει δραστηριότητα στο κανάλι. Σύμφωνα με τον επίμονο αλγόριθμο CSMA (persistent CSMA) αν ο κόμβος ανιχνεύσει δραστηριότητα, τότε αναμένει μέχρι να σταματήσει η δραστηριότητα και κατόπιν προχωρά στην προσπάθεια για να μεταδώσει. Ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν πολλοί κόμβοι είναι συνδεδεμένοι σε ένα κοινό κανάλι (π.χ. έναν ηλεκτρικό αγωγό) και στηρίζεται στο γεγονός ότι το σήμα που μεταδίδει κάθε κόμβος μπορεί να φτάσει σε όλους τους κόμβους που βρίσκονται συνδεδεμένοι στο κοινό μέσο. Ο αλγόριθμος αποτελεί τη βάση πολλών προτύπων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε πραγματικά δίκτυα, όπως τα πρότυπα IEEE802.3 και IEEE802.11.

## 2 Οδηγίες για την άσκηση

Για τις ανάγκες της άσκησης θα χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής ns. Επίσης σας παρέχεται το αρχείο προσομοίωσης lan-csma.tcl. Το δίκτυο που προσομοιώνει το αρχείο αυτό θα περιγραφεί στην επόμενη ενότητα. Για την εκτέλεση μιας προσομοίωσης θα πρέπει, από το φάκελο του λογαριασμού σας, να δώσετε την εντολή:

```
user@host:...$ ns lan-csma.tcl -donam
```

Μπορείτε, αν θέλετε, να παραλείψετε το τελευταίο όρισμα (-donam), οπότε και δεν θα εκτελεστεί το γραφικό περιβάλλον αναπαράστασης της προσομοίωσης. Η προσομοίωση lan-csma.tcl μετά το τέλος της αποθηκεύει σε ένα αρχείο κειμένου με το όνομα lan-csma.tr<sup>1</sup> δεδομένα σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου. Συγκεκριμένα, όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενη άσκηση, στο αρχείο αυτό αποθηκεύεται μια γραμμή για κάθε γεγονός (π.χ. εκπομπή πακέτου, σύγκρουση πακέτου, λήψη πακέτου, κλπ) που συνέβη στο δίκτυο. Για την επεξεργασία του αρχείου lan-csma.tr σας παρέχεται το εκτελέσιμο lan-csma.sh, το οποίο διαβάζει τα δεδομένα και εξάγει συγκεντρωτικά αποτελέσματα που αφορούν:

---

<sup>1</sup>Προσοχή: Το αρχείο αποθηκεύεται στο φάκελο μέσα από τον οποίο εκτελέσατε την προσομοίωση, ανεξάρτητα από το αν το εκτελέσιμο του ns βρίσκεται σε άλλο μονοπάτι. Επίσης λόγω του μεγάλου μεγέθους του αρχείου θα πρέπει να εξασφαλίσετε ότι υπάρχει σημαντικός διαθέσιμος χώρος στο λογαριασμό σας.

- το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων,
- το μέσο αριθμό συγκρούσεων που κάθε πακέτο υπέστη, και
- τη μέση καθυστέρηση των πακέτων

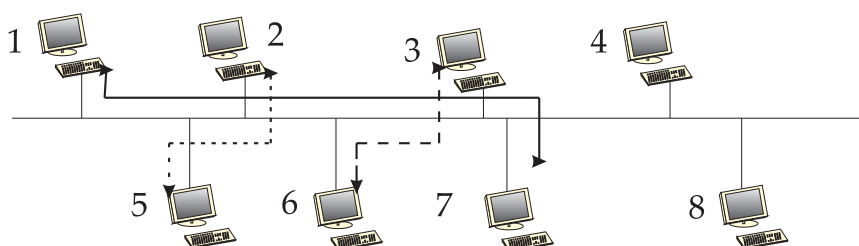
Για να χρησιμοποιήσετε το αρχείο `lan-csma.tr` και να λάβετε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα πρέπει να εκτελέσετε την εντολή:

```
user@host:...$ sh lan-csma.sh
```

Το αρχείο επεξεργασίας θα διαβάσει τα δεδομένα και θα τυπώσει στην οθόνη τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που αναφέρθηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά θα κληθείτε να καταγράψετε και να σχολιάσετε.

### 3 Περιγραφή της προσομοίωσης

Το αρχείο `lan-csma.tcl` προσομοιώνει ένα τοπικό δίκτυο με 8 κόμβους, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Στο δίκτυο αυτό οι κόμβοι χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο CSMA/ CD για να μεταδώσουν στο κοινό κανάλι. Στο παράδειγμα υπάρχουν 3 ζεύγη κόμβων που επικοινωνούν μεταξύ τους. Για κάθε σύνδεση (ζεύγος επικοινωνιών), ένας κόμβος αποστέλλει πακέτα στον άλλο κόμβο, ο οποίος και τα καταναλώνει. Κάθε κόμβος-αποστολέας δημιουργεί πακέτα σταθερού μεγέθους `packetSize = 200` (σε bytes), με σταθερό ρυθμό ίσο με ένα πακέτο ανά `interval = 0.002 ms`. Επίσης κάθε τερματικό διατηρεί μια ουρά εξόδου (output buffer) όπου αποθηκεύει πακέτα που αναμένουν προς μετάδοση. Ο κόμβος προχωρά στη μετάδοση ενός πακέτου που βρίσκεται στην ουρά μόνο αν τελειώσει τη μετάδοση (με επιτυχία ή απώλεια) του προηγούμενου πακέτου. Το μέγεθος της ουράς εξόδου στο παράδειγμά μας είναι 100. Σε περίπτωση που το όριο αυτό ξεπεραστεί τότε τα πακέτα απορρίπτονται από το τέλος της ουράς (Droptail). Όπως αναφέρθηκε, κάθε κόμβος που επιθυμεί να μεταδώ-



Σχήμα 1: Η τοπολογία του δικτύου στο οποίο θα υλοποιηθεί ο αλγόριθμος

σει χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο CSMA/CD. Σε περίπτωση σύγκρουσης ο κόμβος χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης για να καθορίσει το χρονικό διάστημα αναμονής μέχρι την επόμενη προσπάθεια. Η αποστολή ενός πακέτου από έναν κόμβο μπορεί να ολοκληρωθεί με επιτυχία (έστω και μετά

από πολλαπλές προσπάθειες) ή να καταλήξει σε απόρριψη του πακέτου. Αυτό συμβαίνει όταν για το συγκεκριμένο πακέτο ο αριθμός των προσπαθειών ξεπεράσει τον αριθμό 16. Στην περίπτωση απώλειας ενός πακέτου ο κόμβος συνεχίζει με το επόμενο πακέτο στην ουρά εξόδου.

Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων στο κανάλι καθορίζεται από τη μεταβλητή `bw` και έχει τεθεί στην τιμή 10Mbps. Επίσης για κάθε μετάδοση στο κανάλι υπάρχει καθυστέρηση διάδοσης ίση με 1 ms (`opt(delay)=1ms`).

## 4 Μεθοδολογία

Οι τιμές των παραμέτρων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα είναι οι προκαθορισμένες τιμές (default values) που θα χρησιμοποιούνται για όλες τις παραμέτρους εκτός αυτής που θα μεταβάλλεται. Για τις ανάγκες του εργαστηρίου θα πρέπει να πραγματοποιηθούν **δύο πειράματα**. Στο πρώτο πείραμα θα μελετηθεί η επίδραση της παραμέτρου `packetSize`, δηλαδή του μεγέθους των πακέτων που αποστέλλονται. Στο δεύτερο πείραμα θα μελετηθεί η επίδραση της παραμέτρου `interval`, δηλαδή του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί μεταξύ της δημιουργίας δύο διαδοχικών πακέτων. Όπως αναφέρθηκε, η απόδοση του συστήματος θα αξιολογηθεί με τις μετρικές που εξάγει το αρχείο `lan-cma.sh` και οι οποίες είναι: το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων, ο μέσος αριθμός συγκρούσεων και η μέση καθυστέρηση των πακέτων.

Όπως επίσης αναφέρθηκε στην προηγούμενη άσκηση, για να ελαχιστοποιήσουμε την επίδραση της τυχαιότητας, τα αποτελέσματα που θα καταγράψετε θα πρέπει να είναι οι **μέσοι όροι από τουλάχιστον 5 προσομοιώσεις**. Ωστόσο ο αριθμός των προσομοιώσεων που τελικά θα χρησιμοποιηθούν **θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα**. Για τις ανάγκες του εργαστηρίου αυτού, σας παρέχεται επίσης και το αρχείο `experiment.sh`, το οποίο αναλαμβάνει να εκτελέσει τον προσομοιωτή καθώς και το αρχείο δέσμης εξαγωγής στατιστικών τόσες φορές όσες καθορίζεται από την μεταβλητή `NUM_ITERATIONS` που ορίζεται στην αρχή του και να υπολογίσει, για κάθε μετρική ενδιαφέροντος, τα βασικά στατιστικά μεγέθη της (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, 95% confidence interval). Για να το εκτελέσετε, γράφετε:

```
user@host:...$ sh experiment.sh
```

Οι μετρικές που θα καταγράφονται θα πρέπει να αναπαρασταθούν σε γραφικές παραστάσεις. Είναι κατανοητό ότι χρειάζεται μια γραφική παράσταση για κάθε μετρική, όπου στον άξονα  $x$  θα υπάρχουν οι τιμές της παραμέτρου που μεταβάλλεται στο συγκεκριμένο πείραμα. Επίσης κάθε γραφική παράσταση θα πρέπει να συνοδεύεται από έναν πίνακα όπου θα καταγράφεται το 95% confidence interval για κάθε τιμή. Για τη δημιουργία των γραφικών παραστάσεων μπορείτε να χρησιμοποιήσετε όποιο εργαλείο επιθυμείτε, όπως π.χ. `matlab`,

xgraph, openoffice spreadsheets, κλπ.

## 5 Παραδείγματα ζητούμενων

Αφού μελετήσετε το αρχείο `lan-csma.tcl` θα πρέπει όπως αναφέρθηκε να εκτελέσετε δύο πειράματα και να απαντήσετε σε ορισμένες ερωτήσεις.

- 1ο πείραμα: Μεταβάλλετε το μέγεθος της παραμέτρου `packetSize` στις τιμές {210, 600, 1000} ενώ όλες οι άλλες παράμετροι θα έχουν τις προκαθορισμένες τιμές. Για κάθε τιμή της παραμέτρου `packetSize` υπολογίστε τα τρία μεγέθη για την αξιολόγηση του πρωτοκόλλου, χρησιμοποιώντας το αρχείο `experiment.sh`, και καταγράψτε σε γραφικές παραστάσεις τις μέσες τιμές τους στο σύνολο όλων των προσομοιώσεων και σε πίνακες το 95% confidence interval. Τί συμβαίνει στο σύστημα για μικρές τιμές της παραμέτρου `packetSize` και τι για μεγάλες και γιατί; Είναι η μεταβολή των μετρικών αυτή που αναμένετε; Συμφωνούν τα αποτελέσματα με τη θεωρητική ανάλυση του αλγόριθμου; Εξηγείστε που κατά τη γνώμη σας οφείλονται πιθανές αποκλίσεις.
- 2ο πείραμα: Μεταβάλλετε το μέγεθος της παραμέτρου `interval` στις τιμές {0.004, 0.001, 0.0006} ενώ όλες οι άλλες παράμετροι θα έχουν τις προκαθορισμένες τιμές. Για κάθε τιμή της παραμέτρου `interval` υπολογίστε τα τρία μεγέθη για την αξιολόγηση του πρωτοκόλλου, χρησιμοποιώντας το αρχείο `experiment.sh`, και καταγράψτε σε γραφικές παραστάσεις τις μέσες τιμές τους στο σύνολο όλων των προσομοιώσεων και σε πίνακες το 95% confidence interval. Τί συμβαίνει στο σύστημα για μικρές τιμές της παραμέτρου `interval` και τι για μεγάλες και γιατί; Είναι η μεταβολή των μετρικών αυτή που αναμένετε; Συμφωνούν τα αποτελέσματα με τη θεωρητική ανάλυση του αλγόριθμου; Εξηγείστε που κατά τη γνώμη σας οφείλονται πιθανές αποκλίσεις.
- 1η ερώτηση: Ποιά νομίζετε ότι είναι η επίδραση της αύξησης του bandwidth στο πλήθος των συγκρούσεων; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- 2η ερώτηση: Ποιά νομίζετε ότι είναι η επίδραση της αύξησης της καθυστέρησης διάδοσης στο πλήθος των συγκρούσεων; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- 3η ερώτηση: Τί αντίκτυπο θα έχει στο πλήθος των συγκρούσεων η αύξηση του πλήθους των κόμβων που εκπέμπουν πακέτα; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

- 4η ερώτηση: Το γινόμενο  $packet\ size * (1/interval)$  καθορίζει το εισερχόμενο στο δίκτυο τηλεπικοινωνιακό φορτίο. Αν μεταβάλλετε τις παραμέτρους αυτές ώστε το γινόμενο να παραμένει κάθε φορά σταθερό η συμπεριφορά του συστήματος θα παραμένει ίδια ή όχι; Εξηγήστε την απάντησή σας.
- 5η ερώτηση: Ποιά νομίζετε ότι είναι η επίδραση της αύξησης του bandwidth στην καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- 6η ερώτηση: Ποιά νομίζετε ότι είναι η επίδραση της αύξησης της καθυστέρησης διάδοσης στην καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- 7η ερώτηση: Τί αντίκτυπο θα έχει στην καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων η αύξηση του πλήθους των κόμβων που εκπέμπουν πακέτα; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- 8η ερώτηση: Πως νομίζετε ότι θα μεταβληθεί το πλήθος των συγκρούσεων αν οι υπολογιστές του δικτύου βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.