

# Δίκτυα Υπολογιστών I

## Εργαστήρια

---

Άσκηση 5<sup>η</sup>  
Δίκτυα Aloha

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

## 1 Εισαγωγή

Σκοπός της άσκησης είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά των πρωτοκόλλων ανταγωνισμού (contention-based protocols). Συγκεκριμένα, η άσκηση ασχολείται με ένα από τα πλέον αντιπροσωπευτικά πρωτόκολλα της κατηγορίας, το πρωτόκολλο Aloha. Το πρωτόκολλο Aloha αποτέλεσε ένα από τα πρώτα πρωτόκολλα δικτύωσης υπολογιστών και χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια του δικτύου ALOHAnet που υλοποιήθηκε στο University of Hawaii το 1970. Σκοπός του ALOHAnet ήταν να συνδέσει εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου που βρίσκονταν σε μεγάλες αποστάσεις με τη χρήση ασύρματων πομποδεκτών. Η αρχική τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε αποτελούνταν από έναν κεντρικό σταθμό και ένα πλήθος τερματικών που επικοινωνούσαν στην ίδια συχνότητα. Τα τερματικά απέστειλαν δεδομένα στον κεντρικό σταθμό, ο οποίος τα αναμετέδιδε απευθείας. Τα τερματικά σε περίπτωση αλλοίωσης των δεδομένων, λόγω σύγκρουσης πακέτων, περίμεναν ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και επαναλάμβαναν την εκπομπή. Η λειτουργία του δικτύου ALOHAnet ήταν σημαντική γιατί χρησιμοποιούσε ένα κοινό μέσο και ανέδειξε την ανάγκη για την εξεύρεση καλύτερων πρωτοκόλλων ανταγωνισμού σε κοινό μέσο. Ο αλγόριθμος Aloha ήταν εξαιρετικά απλός και για το λόγο αυτό η ρυθμιστική δομή που μπορούσαν να επιτύχουν τα τερματικά ήταν μόνο μερικοί χαρακτήρες το δευτερόλεπτο.

## 2 Οδηγίες για την άσκηση

Για τις ανάγκες της άσκησης θα χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής ns. Επίσης σας παρέχεται το αρχείο προσομοίωσης sat-aloha.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 sat-aloha.tcl
```

Η προσομοίωση sat-aloha.tcl μετά το τέλος της αποθηκεύει σε ένα αρχείο κειμένου με το όνομα sat-aloha.tr<sup>1</sup> δεδομένα σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου. Συγκεκριμένα 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 των δεδομένων του sat-aloha.tr σας παρέχεται το αρχείο sat-aloha.sh, το οποίο διαβάζει τα δεδομένα και εξάγει συγκεντρωτικά αποτελέσματα που αφορούν:

- το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων στον προορισμό τους,

---

<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 μέσο αριθμό συγκρούσεων, και
- τη μέση καθυστέρηση των πακέτων

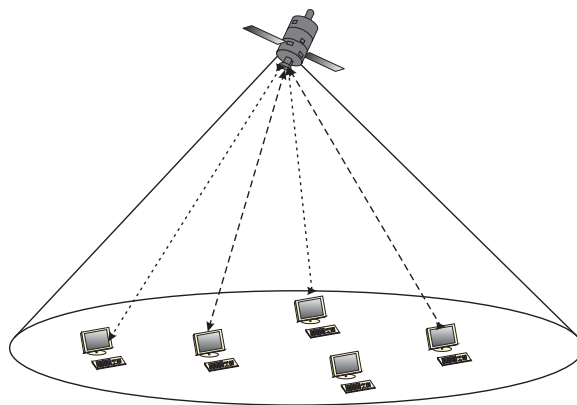
Για να χρησιμοποιήσετε το αρχείο `sat-aloha.tr` και να λάβετε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα πρέπει να εκτελέσετε την εντολή

```
user@host:...$ sh sat-aloha.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 `sat-aloha.tcl` προσομοιώνει την πρόσβαση ενός αριθμού `num_nodes` τερματικών (στο παράδειγμά μας 60) σε ένα γεωστατικό δορυφόρο, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Unslotted Aloha, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Τα τερματικά επικοινωνούν ανά δύο μέσω του δορυφόρου, ο οποίος και αναμεταδίδει τα δεδομένα που λαμβάνει. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων στο δορυφορικό κανάλι καθορίζεται με τις μεταβλητές `bw_up` και `bw_down` (σε Mbps), όπου η πρώτη τιμή αναφέρεται στην κατεύθυνση από τα τερματικά προς τον δορυφόρο ενώ η δεύτερη στην κατεύθυνση από τον δορυφόρο προς τα τερματικά. Για τις ανάγκες της άσκησης και οι δύο παράμετροι έχουν την τιμή των 2Mbps. Κάθε



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

τερματικό δημιουργεί πακέτα χρησιμοποιώντας μια On/Off Exponential διεργασία. Κατά τη διεργασία αυτή ένα τερματικό αποστέλλει συνεχώς δεδομένα με σταθερό ρυθμό για κάποια χρονικά διαστήματα (on periods) ενώ για κάποια άλλα απλώς σιωπά (off periods). Κάθε τερματικό διατηρεί μια ουρά εξόδου (output buffer) όπου αποθηκεύει πακέτα που αναμένουν προς μετάδοση. Το μέγεθος της ουράς εξόδου στο παράδειγμά μας είναι 10 (παράμετρος `qlim`). Σε περίπτωση που το

όριο αυτό ξεπεραστεί τότε τα πακέτα απορρίπτονται από το τέλος της ουράς (Droptail).

Σχετικά με την υλοποίηση του αλγόριθμου Unslotted Aloha, κάθε τερματικό εκπέμπει και αναμένει την επιβεβαίωση του πακέτου που απέστειλε για χρονικό διάστημα `send_timeout`, το οποίο στην προσομοίωση έχει την τιμή 270 msecs. Σε περίπτωση σύγκρουσης το τερματικό υπολογίζει ένα χρόνο αναμονής μέχρι να ξαναπροσπαθήσει. Ο χρόνος αναμονής υπολογίζεται από μια εκθετική κατανομή με μέση τιμή `mean_backoff`, που στο παράδειγμά μας έχει την τιμή 1 sec. Αντίθετα με τη θεωρητική περιγραφή του αλγόριθμου Unslotted Aloha, στην προσομοίωσή μας κάθε τερματικό προσπαθεί να στείλει ένα πακέτο για `rtx_limit=3` φορές κατά το μέγιστο. Με άλλα λόγια αν το πακέτο συγκρουστεί `rtx_limit` φορές τότε απορρίπτεται και ο κόμβος προχωρά στη μετάδοση του επόμενου πακέτου που αναμένει στην ουρά εξόδου.

## 4 Μεθοδολογία

Για τις ανάγκες του εργαστηρίου θα πρέπει να πραγματοποιηθούν **δύο πειράματα**. Στο πρώτο πείραμα θα μελετηθεί η επίδραση της παραμέτρου `mean_backoff`, δηλαδή του μέσου χρόνου που ένα τερματικό αναμένει μέχρι να επαναλάβει την προσπάθειά του για εκπομπή. Στο δεύτερο πείραμα θα μελετηθεί η επίδραση της παραμέτρου `rtx_limit`. 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.

### 4.1 Τυχειότητα αποτελεσμάτων

Κατά την εκτέλεση των προσομοιώσεων θα παρατηρήσετε ότι αν επαναλάβετε μια προσομοίωση με τις ίδιες παραμέτρους δύο φορές τότε πιθανόν τα αποτελέσματα να είναι διαφορετικά. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες τυχειότητας (π.χ. η άφιξη νέων πακέτων) που υπάρχουν στο δίκτυο. Η τυχειότητα αυτή είναι παρούσα σε πραγματικά συστήματα (για διάφορους λόγους) και επομένως είναι επιθυμητή και στην προσομοίωση ώστε αυτή να είναι ρεαλιστική. Ωστόσο για να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα θα πρέπει να καταγράφουμε την απόδοση των πρωτοκόλλων σε μέσες τιμές και όχι για μια και μόνη προσομοίωση. Επομένως η σωστή μεθοδολογία είναι να επαναλάβουμε μια προσομοίωση με τις ίδιες παραμέτρους έστω  $k$  φορές και να καταγράφουμε την μέση τιμή της απόδοσης του πρωτοκόλλου. Έστω π.χ. ότι επιθυμούμε να μετρήσουμε τη ρυθμαπόδοση που επιτυγχάνει ένα πρωτόκολλο. Έστω επίσης ότι εκτελούμε μια προσομοίωση (με συγκεκριμένες παραμέτρους λειτουργίας του

πρωτοκόλλου)  $k$  φορές και λαμβάνουμε για τη ρυθμαπόδοση του πρωτοκόλλου τις τιμές  $R_1, R_2, \dots, R_k$ . Τότε, η ρυθμαπόδοση για τις συγκεκριμένες παραμέτρους λειτουργίας είναι η μέση τιμή των τιμών που καταγράψαμε. Δηλαδή η τιμή  $\bar{R} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{n=1}^k (R_n)$ .

Πολλές φορές είναι επίσης χρήσιμο να γνωρίζουμε κατά πόσο οι τιμές που καταγράψαμε, δηλαδή οι  $R_1, R_2, \dots, R_k$  είναι ικανοποιητικές στο πλήθος και επομένως δεν χρειάζεται να εκτελέσουμε άλλες επαναλήψεις. Αυτό συμβαίνει όταν οι τιμές αυτές προσφέρουν μια αξιόπιστη μέση τιμή. Για να αποφασίσουμε αν αυτό συμβαίνει συνήθως χρησιμοποιούμε την έννοια του  $a\%$  confidence interval. Το  $a\%$  confidence interval μετρά κατά πόσο οι τιμές που έχουν καταγραφεί από  $k$  επαναλήψεις δίνουν μια αξιόπιστη μέση τιμή. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του confidence interval τόσο πιο αξιόπιστη η μέση τιμή που έχει υπολογιστεί. Συγκεκριμένα, αν υπολογίσουμε ότι για τις  $k$  τιμές το  $a\%$  confidence interval =  $b$ , αυτό σημαίνει ότι αν επαναλάβουμε πολλές φορές την προσομοίωση (δηλαδή πάρουμε επιπλέον τιμές) και κάθε φορά επαναλάβουμε τον υπολογισμό της μέσης τιμής, τότε αυτή θα βρίσκεται στο πεδίο τιμών  $(\bar{R} - b, \bar{R} + b)$  σε  $a\%$  των περιπτώσεων. Το ποσοστό  $a\%$  ονομάζεται επίπεδο εμπιστοσύνης. Στην πράξη συνήθως χρησιμοποιείται το 95% confidence interval. Ένας προσεγγιστικός τρόπος υπολογισμού του 95% confidence interval δίνεται από τη σχέση:  $95\% \text{ confidence interval} = \frac{1.96 \cdot SD}{\sqrt{k}}$ , όπου  $SD$  η τυπική απόκλιση των δειγμάτων  $R_1, R_2, \dots, R_k$  και  $k$  το πλήθος τους.

## 4.2 Εκτέλεση προσομοιώσεων

Όπως αναφέρθηκε, η απόδοση του συστήματος θα αξιολογηθεί με τις μετρικές που εξάγει το αρχείο `sat-aloah.sh` και οι οποίες είναι: το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων, ο μέσος αριθμός συγκρούσεων και η μέση καθυστέρηση των πακέτων. Για να ελαχιστοποιήσουμε την επίδραση της τυχαιότητας, **τα αποτελέσματα που θα καταγράψετε θα πρέπει να είναι οι μέσοι όροι από 5 προσομοιώσεις**. Για τον λόγο αυτό, σας παρέχεται επίσης και το αρχείο `experiment.sh`, το οποίο θα πρέπει να αντιγράψετε στον ίδιο φάκελο με τα `sat-aloah.tcl` και `sat-aloah.sh`. Έτσι, αντί να εκτελείτε κάθε φορά τον `ns` και κατόπιν το `sat-aloah.sh`, θα εκτελείτε απλά την εντολή:  
`user@host:...$ sh experiment.sh`  
και το `experiment.sh` θα εκτελεί την προσομοίωση τον απαιτούμενο αριθμό επαναλήψεων και θα υπολογίζει αυτόματα τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση και το 95% διάστημα εμπιστοσύνης κάθε μετρικής.

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 `sat-ahoha.tcl` θα πρέπει όπως αναφέρθηκε να εκτελέσετε δύο πειράματα και να απαντήσετε σε ορισμένες ερωτήσεις:

- 1ο πείραμα: Μεταβάλλετε το μέγεθος της παραμέτρου `mean_backoff` στις τιμές {1, 3, 6.5, 15.5} ενώ όλες οι άλλες παράμετροι θα έχουν τις προκαθορισμένες τιμές. Για κάθε τιμή της παραμέτρου `mean_backoff` υπολογίστε τα τρία μεγέθη για την αξιολόγηση των πρωτοκόλλων, χρησιμοποιώντας το αρχείο `experiment.sh`, και καταγράψτε σε γραφικές παραστάσεις τις μέσες τιμές τους και το 95% confidence interval, σε σύνολο 5 προσομοιώσεων. Τί συμβαίνει στο σύστημα για μικρές τιμές της παραμέτρου `mean_backoff` και τι για μεγάλες και γιατί; Είναι η μεταβολή των μετρικών αυτή που αναμένετε; Συμφωνούν τα αποτελέσματα με τη θεωρητική ανάλυση του αλγόριθμου; Εξηγήστε που κατά τη γνώμη σας οφείλονται πιθανές αποκλίσεις.
- 2ο πείραμα: Μεταβάλλετε το μέγεθος της παραμέτρου `rtx_limit` στις τιμές {1, 2, 6} ενώ όλες οι άλλες παράμετροι θα έχουν τις προκαθορισμένες τιμές. Για κάθε τιμή της παραμέτρου `rtx_limit` υπολογίστε τα τρία μεγέθη για την αξιολόγηση των πρωτοκόλλων, χρησιμοποιώντας το αρχείο `experiment.sh`, και καταγράψτε σε γραφικές παραστάσεις τις μέσες τιμές τους και το 95% confidence interval, σε σύνολο 5 προσομοιώσεων. Τί συμβαίνει στο σύστημα για μικρές τιμές της παραμέτρου `rtx_limit` και τι για μεγάλες και γιατί; Είναι η μεταβολή των μετρικών αυτή που αναμένετε; Συμφωνούν τα αποτελέσματα με τη θεωρητική ανάλυση του αλγόριθμου; Εξηγήστε που κατά τη γνώμη σας οφείλονται πιθανές αποκλίσεις.
- 1η ερώτηση: Ποιό σκοπό κατά τη γνώμη σας εξυπηρετεί η ύπαρξη της παραμέτρου `rtx_limit`;
- 2η ερώτηση: Με βάση ποιούς παράγοντες θα επιλέγατε την κατάλληλη τιμή για την παράμετρο `rtx_limit`; Εξηγήστε την απάντησή σας.
- 3η ερώτηση: Εάν η τιμή της παραμέτρου `rtx_limit` τείνει στο άπειρο, ποιά θα είναι η επίδραση στο ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων; Εξηγήστε την απάντησή σας.

- 4η ερώτηση: Με βάση ποιούς παράγοντες θα επιλέγατε την κατάλληλη τιμή για την παράμετρο `mean_backoff`; Εξηγήστε την απάντησή σας.
- 5η ερώτηση: Ποιός είναι ο μέσος χρόνος που μεσολαβεί από τη δημιουργία έως την απόρριψη ενός πακέτου; Δώστε ένα τύπο για τον υπολογισμό συναρτήσει των παραμέτρων `rtx_limit` και `mean_backoff`. Εξηγήστε την απάντησή σας.
- 6η ερώτηση: Ποιά είναι η μέση καθυστέρηση επιτυχούς παράδοσης ενός πακέτου έπειτα από `k` συγκρούσεις; Δώστε ένα τύπο για τον υπολογισμό συναρτήσει της παραμέτρου `mean_backoff`. Εξηγήστε την απάντησή σας.