

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2021-2022

ΜΑΘΗΜΑ «ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ»

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΟΗΘΟΙ: ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΔΑΜΑΣΙΩΤΗΣ, ΙΑΚΩΒΟΣ ΠΙΤΤΑΡΑΣ, ΘΕΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

1^η Σειρά Ασκήσεων¹

Ημερομηνία Παράδοσης: 3 Απριλίου 2022

Σκοπός

Εξοικείωση με το Wireshark, ένα εργαλείο ανάλυσης πρωτοκόλλων σε γραφικό περιβάλλον, καθώς και εφαρμογή του για την άντληση πληροφοριών για το πλαίσιο Ethernet.

Γενικές πληροφορίες

Η εργασία θα πρέπει να εκπονηθεί σε ομάδες των τριών (3) ατόμων. Για την παράδοση της εργασίας θα ετοιμάσετε σύντομη αναφορά με τις απαντήσεις σας και με τεκμηρίωση (screen shots), την οποία θα υποβάλλετε ηλεκτρονικά μέσω **e-class**. Για απορίες απευθυνθείτε στον βοηθό κ. Δαμασιώτη στο email: diondam@gmail.com

(Για την πραγματοποίηση κάποιων από τις επιμέρους ασκήσεις θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε έναν υπολογιστή συνδεδεμένο σε ενσύρματο τοπικό δίκτυο Ethernet).

1. Βασικά χαρακτηριστικά των καρτών δικτύωσης

Η κάρτα δικτύου συνδέει τον υπολογιστή σας στο τοπικό δίκτυο του εργαστηρίου ή του σπιτιού και επιτρέπει την επικοινωνία με άλλους υπολογιστές. Για τον σκοπό αυτό παράγει και λαμβάνει μηνύματα που τα αποκαλούμε πλαίσια (frames). Τα πλαίσια ακολουθούν είτε το πρότυπο Ethernet (Σχήμα 1.1) είτε το IEEE 802.3. Κάθε πλαίσιο αρχίζει με ένα *Preamble* (Προοίμιο) που επιτρέπει το συγχρονισμό του δέκτη με τον αποστολέα. Το πλαίσιο περιέχει δύο διευθύνσεις 6 byte, μία για τον προορισμό και μία για την πηγή. Ακολουθεί το πεδίο *Type* (Τύπος) ή το πεδίο *Length* (Μήκος), ανάλογα με το κατά πόσο πρόκειται για πλαίσιο Ethernet ή IEEE 802.3, αντίστοιχα. Ο *Τύπος* δείχνει το πρωτόκολλο του ανώτερου στρώματος, συνήθως, το πρωτόκολλο IP. Το μήκος δηλώνει πόσα byte βρίσκονται στο πεδίο δεδομένων, από ένα ελάχιστο 0 μέχρι ένα μέγιστο 1500 byte. Το πεδίο δεδομένων ακολουθείται από το πεδίο *CRC* (Άθροισμα Ελέγχου) μήκους 4 byte, που ελέγχεται στον δέκτη και αν ανιχνευθεί σφάλμα το πλαίσιο απορρίπτεται. Ένα έγκυρο πλαίσιο έχει μήκος τουλάχιστον 64 byte, από τη διεύθυνση προορισμού μέχρι το άθροισμα ελέγχου. Εάν το τμήμα δεδομένων ενός πλαισίου είναι μικρότερο από 46 byte, το πεδίο παραγεμίζεται (pad) μέχρι το ελάχιστο μέγεθος. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται παραστατικά ένα πλαίσιο Ethernet.

Προοίμιο (8 byte)	Διεύθυνση παραλήπτη (6 byte)	Διεύθυνση αποστολέα (6 byte)	Τύπος (2 byte)	Δεδομένα (46 -1500 byte)	CRC (4 byte)
----------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------	-----------------------------	-----------------

0x800	Πακέτο IP (46 -1500 byte)
-------	------------------------------

0x806	Πακέτο ARP (28 byte)	PAD (18 byte)
-------	-------------------------	------------------

Σχήμα 1.1: Ethernet frame.

¹ Οι εργαστηριακές ασκήσεις στο Wireshark έχουν βασιστεί σε υλικό από το εργαστήριο του μαθήματος Δίκτυα Υπολογιστών της ΣΗΜΜΥ του ΕΜΠ (2013-2014). Οι ασκήσεις και ερωτήσεις γενικού σκοπού βασίζονται σε υλικό των μαθημάτων Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών του τμήματος ΗΜΤΥ του Πανεπιστημίου Πατρών και Δίκτυα Υπολογιστών του τμήματος ΕΥ του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Κάθε κάρτα δικτύου διαθέτει μια φυσική διεύθυνση, αυτήν του υποστρώματος MAC. Έχει μήκος 48 bit και η δομή της ορίζεται στο πρότυπο IEEE 802. Το υψηλότερης τάξης bit (47^ο), που είναι και το πρώτο bit της διεύθυνσης που μεταδίδεται, ορίζει το κατά πόσο πρόκειται για Ομαδική (τιμή 1) ή για Ατομική (τιμή 0) διεύθυνση. Όταν ένα πλαίσιο στέλνεται σε ομαδική διεύθυνση, το λαμβάνουν όλες οι κάρτες δικτύου της ομάδας. Αυτή η αποστολή ονομάζεται πολλαπλή διανομή (multicast). Το πλαίσιο που περιέχει μόνο 1 στο πεδίο προορισμού (δηλαδή “11...1”) υποδηλώνει εκπομπή (broadcast) και λαμβάνεται από όλες τις κάρτες του τοπικού δικτύου.

Το 46^ο bit (γειτονικό του bit υψηλότερης τάξης και δεύτερο σε σειρά μετάδοσης) διαχωρίζει τις τοπικές (τιμή 1) από τις παγκόσμιες (τιμή 0) διευθύνσεις. Οι τοπικές διευθύνσεις εκχωρούνται από τον διαχειριστή του τοπικού δικτύου και δεν έχουν σημασία έξω από το τοπικό δίκτυο. Οι μοναδικές (παγκόσμιες) διευθύνσεις εκχωρούνται από το IEEE ως εξής: τα επόμενα 22 bit της διεύθυνσης προσδιορίζουν τον κατασκευαστή της κάρτας και τα τελευταία 24 bit είναι ο αύξων αριθμός της κάρτας. Έτσι εξασφαλίζεται ότι δεν υπάρχουν δυο υπολογιστές οπουδήποτε στον κόσμο με την ίδια παγκόσμια διεύθυνση.

Χρησιμοποιώντας το γραφικό περιβάλλον της κάρτας δικτύωσης του υπολογιστή σας, να βρείτε και να καταγράψετε:

- 1.1. Την ταχύτητα σύνδεσης
- 1.2. Τη διεύθυνση IP της κάρτας δικτύου (network adapter), την προεπιλεγμένη πύλη (default gateway) και τον διακομιστή DNS (DNS server).
- 1.3. Τη φυσική διεύθυνση (MAC address) σε δεκαεξαδική μορφή.
- 1.4. Τα συνδεδεμένα με αυτήν πρωτόκολλα δικτύωσης.
- 1.5. Τον κατασκευαστή της κάρτας δικτύωσης.
- 1.6. Τη θέση της στο PCI bus του υπολογιστή.
- 1.7. Την έκδοση του οδηγού (driver) της κάρτας και το όνομα του σχετικού αρχείου.
- 1.8. Τη διακοπή (interrupt – IRQ) που χρησιμοποιεί.

2. Αρχική Χρήση Αναλυτή Πρωτοκόλλων Wireshark

Η άσκηση αυτή αποτελεί εισαγωγή στη χρήση του αναλυτή πρωτοκόλλων Wireshark, του οποίου οι βασικές λειτουργίες είναι οι εξής: α) καταγραφή – σύλληψη (capture) και β) ανάλυση της δικτυακής κίνησης του υπολογιστή. Το πρόγραμμα Wireshark² είναι ένας ανιχνευτής πακέτων³ (packet sniffer) που διατίθεται ως ανοικτό λογισμικό (<https://www.wireshark.org/>) για πληθώρα λειτουργικών συστημάτων. Η βασική του λειτουργία έγκειται στη σύλληψη των μηνυμάτων που στέλνονται ή λαμβάνονται από τον υπολογιστή σας. Τα περιεχόμενα των διαφόρων πεδίων των μηνυμάτων εμφανίζονται στην οθόνη αποκωδικοποιημένα. Ο ρόλος ενός ανιχνευτή πακέτων είναι παθητικός, με την έννοια ότι απλά παρατηρεί τα μηνύματα που στέλνονται και λαμβάνονται από την κάρτα δικτύωσης, χωρίς ο ίδιος να παράγει δικτυακή κίνηση. Πιο συγκεκριμένα, ο ανιχνευτής πακέτων παίρνει ένα αντίγραφο όλων των πλαισίων που στέλνονται/λαμβάνονται προς/από τις διάφορες εφαρμογές και πρωτόκολλα του υπολογιστή όπου εκτελείται. Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται η δομή ενός ανιχνευτή πακέτων.

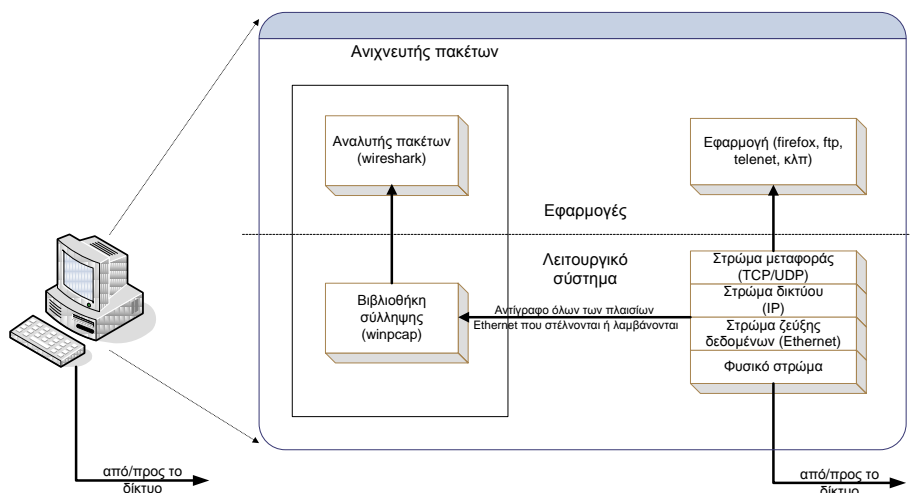
Στο Σχήμα 2.1 βλέπουμε τη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP, καθώς επίσης, και διάφορες συνήθεις δικτυακές εφαρμογές που εκτελούνται σε ένα υπολογιστή, όπως ένας πλοηγός ιστού ή πελάτης FTP. Ο ανιχνευτής πακέτων, που παριστάνεται με το διαγραμμισμένο πλαίσιο στο σχήμα, είναι μια προσθήκη στο λογισμικό του συστήματος όπου εκτελείται και αποτελείται από δύο τμήματα: α) τη βιβλιοθήκη σύλληψης πακέτων και β) τον αναλυτή πακέτων.

Η βιβλιοθήκη σύλληψης πακέτων λαμβάνει ένα αντίγραφο κάθε πλαισίου που στέλνεται ή λαμβάνεται από την κάρτα δικτύωσης. Τα πλαίσια αυτά ανήκουν στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων του προτύπου OSI και περιέχουν ενθυλακωμένα τα διάφορα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των πρωτοκόλλων ανώτερων στρωμάτων. Το παραπάνω σχήμα αφορά την περίπτωση του Ethernet όπου το φυσικό επίπεδο μετάδοσης των πλαισίων είναι το καλώδιο Ethernet. Το δεύτερο τμήμα του ανιχνευτή πακέτων, δηλαδή, ο α-

² Το Wireshark είναι μετονομασία του λογισμικού Ethereal[®].

³ Οι όροι «πλαίσιο» (frame) και «πακέτο» (packet), δεν είναι ταυτόσημοι και χρησιμοποιούνται λανθασμένα συχνά ο ένας αντί του άλλου.

ναλυτής πακέτων, εμφανίζει τα περιεχόμενα όλων των πεδίων που περιέχονται σε ένα μήνυμα. Για τον σκοπό αυτό, πρέπει να γνωρίζει τη δομή των μηνυμάτων όλων των πρωτοκόλλων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός μηνύματος HTTP, απαιτείται, κατ' αρχήν, γνώση της δομής των πλαισίων Ethernet, ώστε ο αναλυτής πρωτοκόλλων να είναι σε θέση να αναγνωρίσει το πακέτο IP που έχει ενθυλακωθεί στο πλαίσιο Ethernet. Επιπλέον, δεδομένης της δομής ενός πακέτου IP, μπορεί να αναλυθεί το τμήμα (segment) TCP που εμπεριέχεται μέσα στο IP. Ομοίως, η δομή του τεμαχίου TCP επιτρέπει την αποκωδικοποίηση του μηνύματος HTTP, ενώ περαιτέρω ανάλυση οδηγεί στο συγκεκριμένο τύπο του μηνύματος HTTP, δηλαδή GET, POST κ.ά.



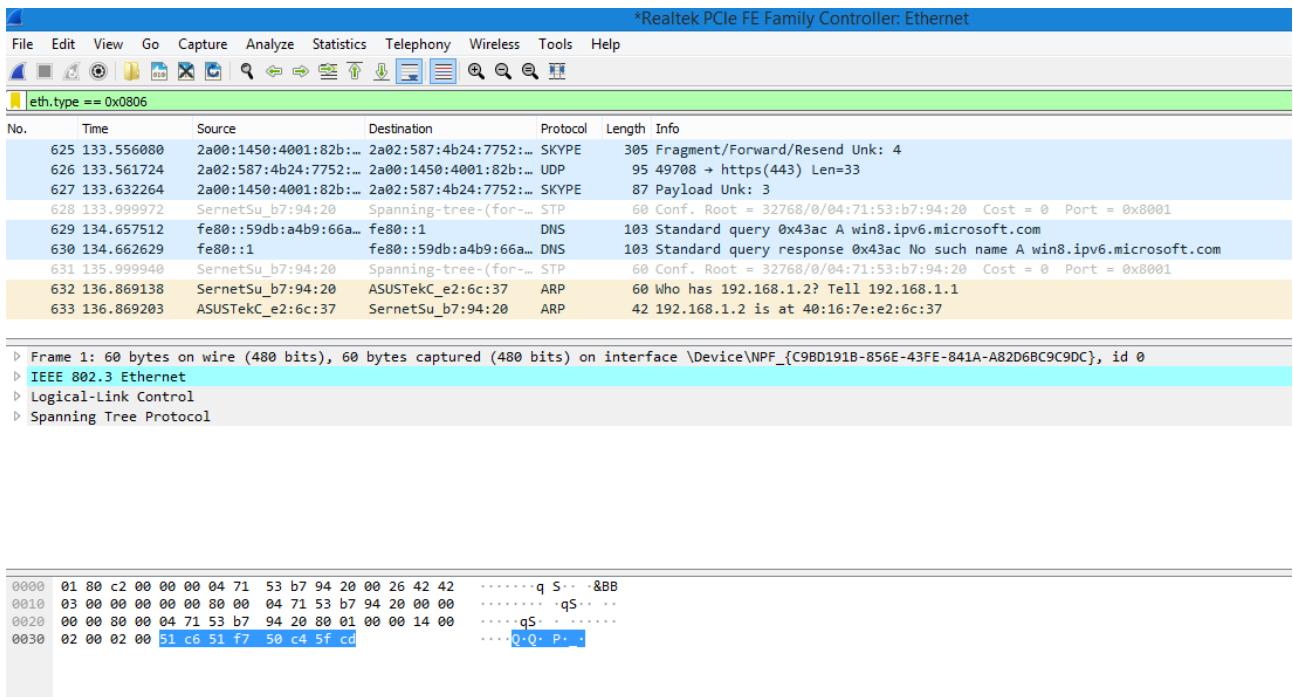
Σχήμα 2.1: Ανιχνευτής πακέτων.

Το Wireshark υπάρχει εγκατεστημένο σε όλους τους υπολογιστές του CSLAB. Μπορείτε όμως για εξάσκηση να το εγκαταστήσετε και στον προσωπικό σας υπολογιστή κατεβάζοντας, ανάλογα με το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείτε, το αντίστοιχο αρχείο από την ιστοσελίδα <https://www.wireshark.org/download.html>. Για να λειτουργήσει το Wireshark απαιτείται η ύπαρξη της βιβλιοθήκης σύλληψης πακέτων libpcap. Για τα συστήματα Windows η βιβλιοθήκη ονομάζεται WinPcap και εγκαθίσταται μαζί με το πρόγραμμα. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον αναλυτή πρωτοκόλλων Wireshark μπορείτε να βρείτε στη σελίδα <https://www.wireshark.org/docs/> όπου υπάρχουν σύνδεσμοι για το εγχειρίδιο χρήσης σε διάφορες μορφές καθώς και στην σελίδα ερωτήσεων-απαντήσεων <https://www.wireshark.org/faq.html>

Για κάθε λειτουργία ο χρήστης μπορεί να ορίσει κατάλληλα φίλτρα καταγραφής/ανάλυσης τα οποία περιορίζουν την κίνηση που καταγράφεται/αναλύεται σύμφωνα με τα κριτήριά του. Έτσι, σύμφωνα με την ορολογία του Wireshark διακρίνουμε τα *capture* και τα *display filters* αντίστοιχα, τα οποία θα αναλυθούν στις επόμενες σειρές ασκήσεων. Το γραφικό περιβάλλον του Wireshark φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

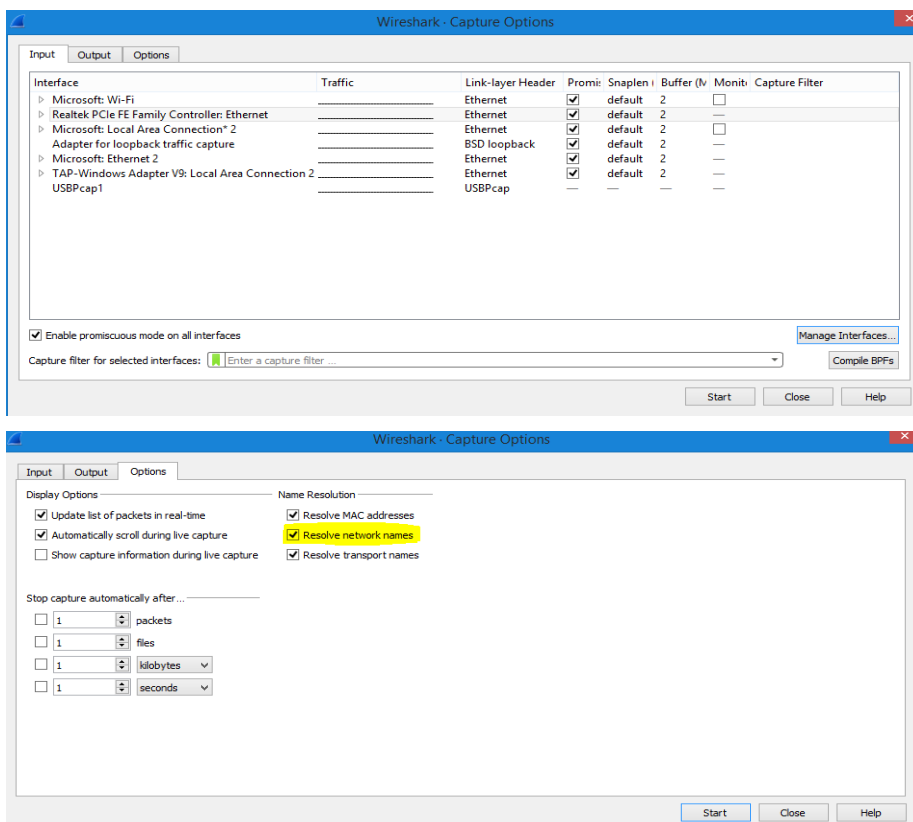
Μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερα βασικά μέρη:

- Το πεδίο όπου μπορούν να οριστούν τα **φίλτρα ανάλυσης**.
- Το παράθυρο με τη **λίστα καταγεγραμμένων πακέτων** και περιληπτικές πληροφορίες για το καθένα. Αυτές περιλαμβάνουν τον αύξοντα αριθμό πλαισίου κατά την καταγραφή, το χρόνο καταγραφής, τη διεύθυνση αποστολέα (source) και παραλήπτη (destination), το πρωτόκολλο, καθώς και σύντομες πληροφορίες σχετικές με αυτό.
- Το παράθυρο με τις **λεπτομέρειες επικεφαλίδας** του επιλεγμένου από τη λίστα των καταγεγραμμένων πακέτων. Περισσότερες πληροφορίες για τα περιεχόμενα κάθε επικεφαλίδας μπορούν να αντληθούν πατώντας το αντίστοιχο '+ '.
- Το παράθυρο με τα **περιεχόμενα** του επιλεγμένου πλαισίου σε δεκαεξαδική μορφή και ASCII.



Σχήμα 2.2: Γραφικό περιβάλλον Wireshark.

Ως εισαγωγικό παράδειγμα θα παρατηρήσετε την κίνηση που παράγεται από την επίσκεψη μιας ιστοσελίδας. Ανοίξτε πρώτα τον browser και μετά ξεκινήσετε το Wireshark. Οι διάφορες επιλογές που αφορούν τη λειτουργία της καταγραφής ρυθμίζονται ακολουθώντας από το μενού επιλογών τη διαδρομή *Capture* → *Option*. Στα παράθυρα που εμφανίζονται (Σχήμα 2.3) βεβαιωθείτε ότι στο πεδίο *Interface* αναφέρεται το όνομα της κάρτας δικτύου του υπολογιστή σας και επιπλέον ότι η επιλογή *Resolve network-layer names* είναι ενεργοποιημένη.

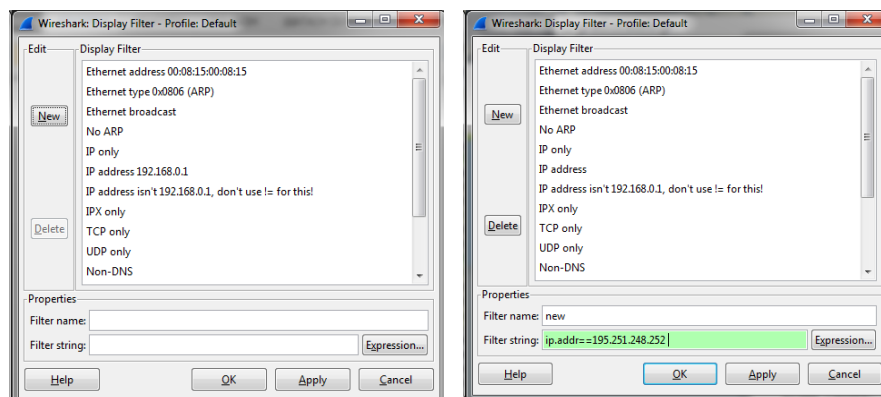


Σχήμα 2.3: Επιλογές καταγραφής.

Πατώντας το *Start* αρχίζει η καταγραφή. Τα πακέτα που συλλαμβάνονται εμφανίζονται σε πραγματικό χρόνο υπό τη μορφή κυλιόμενης λίστας στο παράθυρο με τη λίστα καταγεγραμμένων πακέτων. Μπορείτε να σταματήσετε την καταγραφή ακολουθώντας από το μενού επιλογών τη διαδρομή *Capture → Stop...*

Επισκεφτείτε με τον browser την ιστοσελίδα <http://grad.cs.aueb.gr/> και μόλις φορτωθεί πλήρως η σελίδα σταματήστε την καταγραφή. Στο κύριο παράθυρο του Wireshark, όπου φαίνεται η καταγεγραμμένη δικτυακή κίνηση, μπορεί ενδεχομένως να παρατηρήσετε κίνηση που δε σχετίζεται με την επίσκεψη της ιστοσελίδας. Η ζητούμενη κίνηση μπορεί να απομονωθεί με την εφαρμογή φίλτρου παρατήρησης ως εξής: πηγαίνετε *Analyze → Display Filters* και πατήστε το πλήκτρο *Expression*. Από το πεδίο *Field name* βρείτε την επιλογή IP, πατήστε το +, διαλέγετε την επιλογή *ip.addr*, από το πεδίο *Relation* διαλέξτε το *=*, στο πεδίο *Value (IPv4 address)* **πληκτρολογήστε 195.251.248.252** και πατήστε *OK*. Το φίλτρο ενεργοποιείται με το πάτημα του *Apply* (Σχήμα 2.4).

Κλείνοντας το παράθυρο διαλόγου (με *OK*) θα διαπιστώσετε ότι η κίνηση είναι ενδεχομένως περιορισμένη σε σχέση με την παρατήρηση χωρίς φίλτρο. Στη λίστα των καταγεγραμμένων πακέτων, και κάτω από την επικεφαλίδα *Protocol*, εμφανίζεται το εκάστοτε πρωτόκολλο υψηλότερου στρώματος που περιέχει το πλαίσιο.



Σχήμα 2.4: Ρύθμιση φίλτρων παρατήρησης.

Για να επισκεφθεί ο χρήστης μια ιστοσελίδα χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο στρώματος εφαρμογής HTTP (hypertext transfer protocol). Το HTTP μεταφέρει πόρους (resources). Πόρος είναι ένα κομμάτι πληροφορίας που προσδιορίζεται μοναδικά από ένα URL. Η πιο κοινή περίπτωση πόρου είναι το αρχείο. Όμως, ένας πόρος μπορεί να δημιουργείται δυναμικά ως αποτέλεσμα εντολών (π.χ. ένα PHP script), είτε να είναι έγγραφο διαθέσιμο σε πολλές γλώσσες ή οτιδήποτε άλλο. Σε κάθε ιστοθέση (web site) υπάρχει μία διεργασία εξυπηρετητή (web server), η οποία παρακολουθεί την TCP θύρα (port) 80 περιμένοντας εισερχόμενες συνδέσεις από πελάτες πλοηγούς (web clients). Μόλις εδραιωθεί η σύνδεση, ο πελάτης στέλνει μία αίτηση (HTTP request) και ο εξυπηρετητής στέλνει μία απάντηση (HTTP response) που περιέχει διάφορα αντικείμενα. Μετά η σύνδεση απελευθερώνεται, δηλαδή, το HTTP δε διατηρεί πληροφορία κατάστασης (stateless) μεταξύ διαδοχικών δοσοληψιών (transactions).

Εντοπίστε το πρώτο μήνυμα HTTP GET που έστειλε ο υπολογιστής σας για να κατεβάσει τη σελίδα και την αντίστοιχη απόκριση HTTP του εξυπηρετητή. Με βάση τα στοιχεία της καταγραφής σας απαντήστε τις επόμενες ερωτήσεις και συγκρίνετε τις απαντήσεις για τα ερωτήματα 2.3 και 2.4 με τις αντίστοιχες της άσκησης 1:

- 2.1 Ποια είναι η διεύθυνση IP του εξυπηρετητή που «φιλοξενεί» το <http://grad.cs.aueb.gr/>;
- 2.2 Ποια είναι η διεύθυνση IP του υπολογιστή σας;
- 2.3 Ποια είναι η διεύθυνση MAC του υπολογιστή σας σε δεκαεξαδική μορφή;
- 2.4 Ποιος είναι ο κατασκευαστής της κάρτας δικτύου;

Κάνοντας κλικ στην επικεφαλίδα *Protocol* του παράθυρου με τη λίστα καταγεγραμμένων πακέτων, τα πλαίσια θα ταξινομηθούν ανά είδος πρωτοκόλλου.

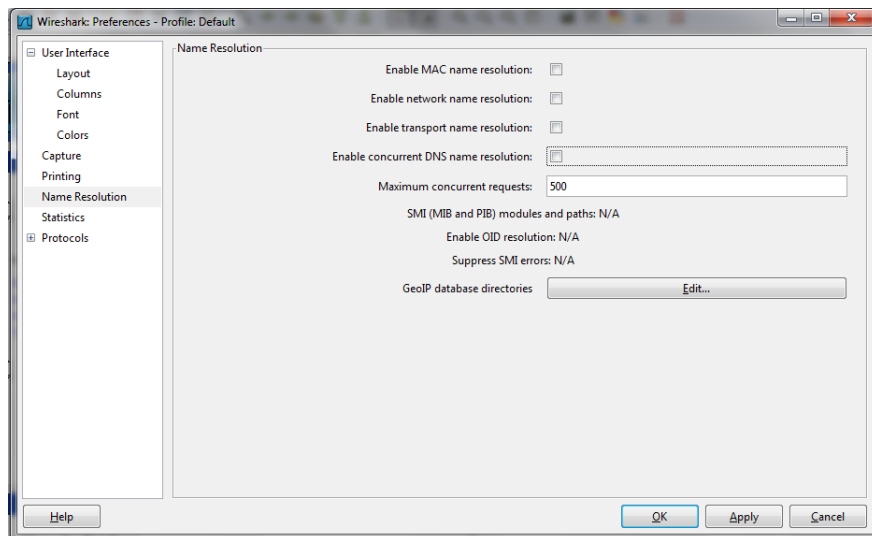
- 2.5 Να καταγράψετε τα πρωτόκολλα που παρατηρείτε ότι χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με την ιστοσελίδα.

3. Το πλαίσιο Ethernet

Σε αυτή την άσκηση θα καταγραφούν τα πλαίσια του Ethernet που παράγονται κατά την επίσκεψη μιας ιστοσελίδας. Οι απαντήσεις, στις ερωτήσεις αυτής και της επόμενης άσκησης, προϋποθέτουν γνώση της θεωρίας που παρουσιάστηκε στην Εργαστηριακή Άσκηση 1 και ειδικά της δομής των πλαισίων Ethernet. Υπενθυμίζεται ότι το αρχικό πρότυπο για ταχύτητα 10 Mbps ορίζει ότι το ελάχιστο μήκος πλαισίου Ethernet είναι 64 byte⁴. Εάν το πακέτο που ενθυλακώνεται στο πλαίσιο έχει πολύ μικρό μήκος, τότε θα παραγεμισθεί με μηδενικά ώστε το μεταδιδόμενο πλαίσιο να αποκτήσει το ελάχιστο μήκος 64 byte. Το ίδιο πρότυπο ορίζει ότι το μέγιστο μήκος πλαισίου Ethernet είναι 1.518 byte, οπότε τα πολύ μεγάλα πακέτα θα πρέπει να τεμαχιστούν πριν τη μετάδοσή τους⁵.

Προτού αρχίσετε την καταγραφή φροντίστε να αδειάσετε την προσωρινή μνήμη (cache) του πλοηγού. Στον Internet Explorer επιλέξτε *Tools* → *Internet Options*, στην πινακίδα (tab) *General* πιέστε το κουμπί *Delete Files*, επιβεβαιώστε την πρόθεσή σας, περιμένετε να ολοκληρωθεί η διαγραφή και κλείστε το παράθυρο διαλόγου. Στον Mozilla Firefox επιλέξτε *Tools* → *Clear Private Data*, επιλέξτε το cache στον πίνακα που θα εμφανισθεί, επιβεβαιώστε την πρόθεσή σας, περιμένετε να ολοκληρωθεί η διαγραφή και κλείστε το παράθυρο διαλόγου.

Αφού ξεκινήσετε το Wireshark, ακολουθήστε από το μενού του κεντρικού παραθύρου, τη διαδρομή *Edit* → *Preferences...* και από τη λίστα επιλογών στα αριστερά διαλέγετε το *Name Resolution*. Βεβαιωθείτε ότι κανένα τετραγωνάκι στα δεξιά δεν είναι επιλεγμένο και πατήστε *OK* (Σχήμα 3.1).

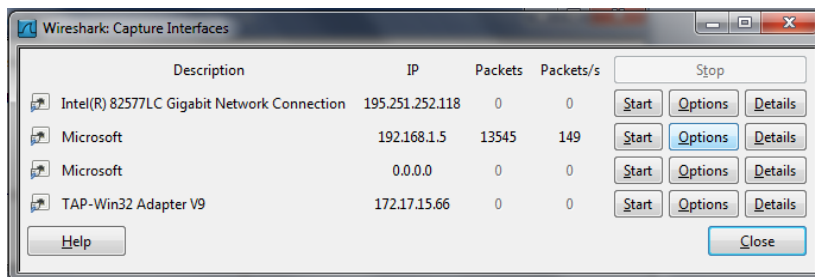


Σχήμα 3.1: Παράθυρο ρυθμίσεων Name Resolution.

Για τη διαδικασία της καταγραφής ακολουθούμε από το μενού επιλογών τη διαδρομή *Capture* → *Interfaces...* Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 3.2) θα δείτε όλες τις διαθέσιμες κάρτες δικτύου του υπολογιστή σας, την IP διεύθυνση τους και μια ένδειξη για το πλήθος και ρυθμό πακέτων (εφόσον υπάρχει τηλεπικοινωνιακή κίνηση). Επιλέξτε την κάρτα δικτύου του υπολογιστή σας μέσω της οποίας θα γίνει η σύλληψη των πακέτων και πιέστε το κουμπί *Options* που της αντιστοιχεί.

⁴ Το προοίμιο δε συμπεριλαμβάνεται στη μέτρηση όταν αναφερόμαστε σε μήκος πλαισίου (ενώ το CRC περιλαμβάνεται). Τα πρώτα 56 bit του προοιμίου είναι εναλλαγές του 1 και του 0 για να επιτευχθεί συγχρονισμός. Χρησιμοποιούν ώστε τα ηλεκτρονικά στοιχεία να προλάβουν να ανιχνεύσουν την ύπαρξη σήματος και να αρχίσουν να “διαβάζουν” προτού αρχίσει η μετάδοση του πλαισίου. Τα επόμενα 8 bit είναι 10101011 και υποδεικνύουν την αρχή του πλαισίου. Παρατηρείστε ότι μόνο το τελευταίο bit αποτελεί παραβίαση του κανόνα εναλλαγής και αυτό είναι που πραγματικά δείχνει την αρχή.

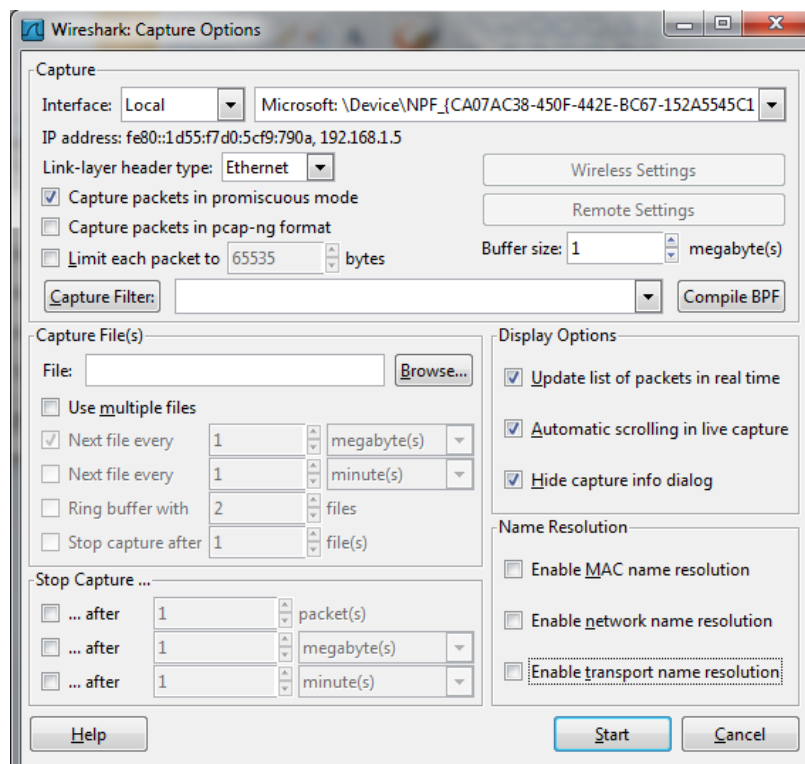
⁵ Το νεότερο πρότυπο The IEEE 802.3ac του 1998 επέκτεινε το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος πλαισίου στα 1522 byte ώστε να υπάρξει χώρος για την εισαγωγή ετικετών “VLAN tag” μήκους 4 byte στο πλαίσιο Ethernet (αμέσως μετά τις διευθύνσεις MAC και πριν το πεδίο Τύπος/Μήκος).



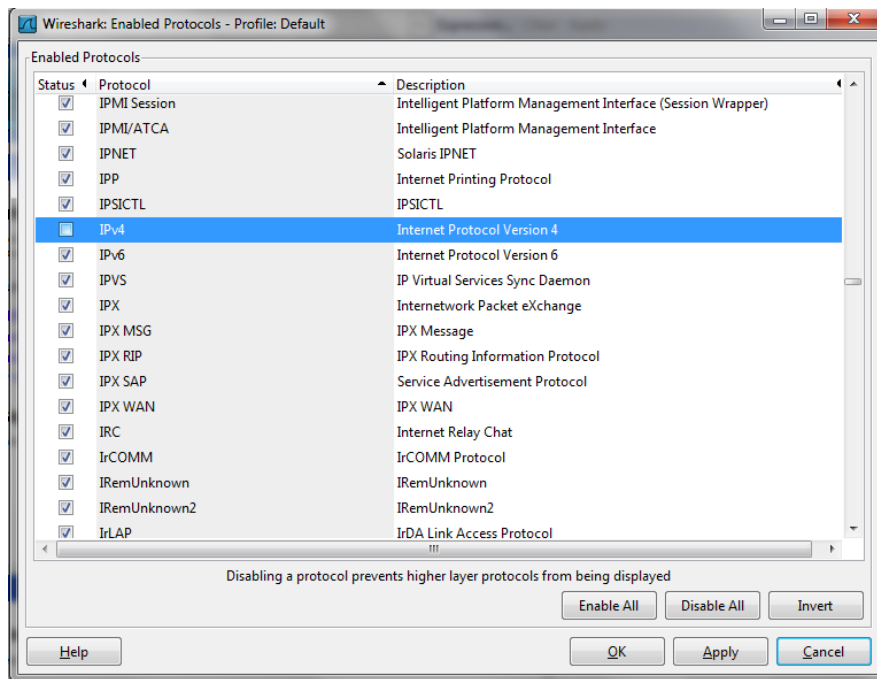
Σχήμα 3.2: Ρύθμιση κάρτας δικτύου υπό παρακολούθηση.

Στο επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 3.3), μπορείτε να ορίσετε επιλογές σχετικές με τη διαδικασία σύλληψης, όπως, φίλτρα, διάρκεια σύλληψης, και τον τρόπο εμφάνισης των αποτελεσμάτων σύλληψης, όπως, εμφάνιση σε πραγματικό χρόνο. Βεβαιωθείτε ότι καμιά από τις επιλογές της κατηγορίας *Name Resolution* δεν είναι ενεργοποιημένη. Πατώντας το κουμπί *Start* αρχίζει η καταγραφή.

Στη συνέχεια επισκεφτείτε την ιστοσελίδα <http://grad.cs.aueb.gr> που φιλοξενείται στον υπολογιστή με διεύθυνση IP 195.251.248.252. Μόλις φορτωθεί πλήρως η σελίδα πατήστε το *Stop* για να σταματήσει η καταγραφή. Επειδή στην άσκηση αυτή δεν θα ασχοληθείτε με το IP και πρωτόκολλα ανωτέρων στρωμάτων, θα αλλάξετε την εμφάνιση του παραθύρου λίστας καταγεγραμμένων πακέτων, ώστε να μη δείχνει πληροφορία για πρωτόκολλα πάνω από το IP. Πηγαίνετε *Analyze* → *Enabled protocols* και, αφού βρείτε τη γραμμή για το IP με κλικ στο αντίστοιχο τετράγωνο, απενεργοποιείτε την ανάλυση του πρωτοκόλλου IP (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.3: Ρυθμίσεις διαδικασίας καταγραφής.



Σχήμα 3.4: Απενεργοποίηση ανάλυσης πρωτοκόλλου IP.

Θα βασίσετε τις απαντήσεις σας για τις επόμενες ερωτήσεις στα στοιχεία της καταγραφής και ειδικότερα στις πληροφορίες που αποτυπώνονται στα παράθυρα με τις λεπτομέρειες της επικεφαλίδας και το περιεχόμενο των πλαισίων. Υπενθυμίζουμε ότι τα πακέτα IP και ARP ενθυλακώνονται σε πλαίσια Ethernet.

- 3.1 Να βρείτε και να επιλέξετε το πλαίσιο Ethernet που περιέχει το πρώτο μήνυμα HTTP GET και προσδιορίστε τη διεύθυνση MAC του υπολογιστή σας. [Υπόδειξη: Ακολουθήστε τη διαδρομή *Edit* → *Find Packet...* και στο παράθυρο που θα εμφανιστεί επιλέξτε *String*. Στο πλαίσιο *Filter*: πληκτρολογήστε "GET", χωρίς τα εισαγωγικά, και πατήστε το κουμπί *Find*. Εν ανάγκη συνεχίστε την αναζήτηση από την αρχή της καταγραφής].
- 3.2 Ποια είναι η διεύθυνση MAC του προορισμού του πλαισίου;
- 3.3 Να επιβεβαιώσετε ότι η παραπάνω διεύθυνση MAC δεν αλλάζει αν επισκεφθείτε μια άλλη ιστοσελίδα. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι όπως θα διδαχθείτε στο μάθημα αργότερα πρόκειται για την διεύθυνση MAC του gateway.
- 3.4 Ποια είναι η δεκαεξαδική τιμή του πεδίου *Τύπος* (Type) του παραπάνω πλαισίου και ποιο πρωτόκολλο υποδεικνύει; [Υπόδειξη: αναπτύξτε την επικεφαλίδα του πλαισίου Ethernet κάνοντας κλικ στο σύμβολο + ώστε να εμφανισθούν όλα τα πεδία].
- 3.5 Ποιο είναι το μήκος του πλαισίου σε byte;
- 3.6 Πόσα byte του πλαισίου Ethernet προηγούνται του χαρακτήρα ASCII "G" της λέξης GET; [Υπόδειξη: επιλέξτε το πεδίο *δεδομένων* του προηγούμενου αναπτύγματος ώστε να εμφανισθούν στο παράθυρο με τα περιεχόμενα τα αντίστοιχα byte δεδομένων].

4. Γενικές Ερωτήσεις και Ασκήσεις

- 4.1 Όταν αυξάνει η γεωγραφική απόσταση δύο κόμβων αυξάνει αναλογικά η συνολική καθυστέρηση ενός πλαισίου, από τη στιγμή που θα αρχίσει η αποστολή του από τον ένα κόμβο μέχρι τη στιγμή που θα παραληφθεί από τον άλλο κόμβο. Σωστό ή Λάθος? Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας. Επίσης, όταν αυξάνει το μήκος ενός πλαισίου αυξάνει αναλογικά η συνολική καθυστέρηση του από τη στιγμή που θα αρχίσει η αποστολή του μέχρι τη στιγμή που θα παραληφθεί από τον άλλο κόμβο? Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
- 4.2 Έστω ότι εγκαθίσταται ανάμεσα στη Γη και ένα πλανητικό όχημα στον Άρη ένας σύνδεσμος από σημείο σε σημείο στα 128 Kbps. Η απόσταση ανάμεσα στη Γη και στον Άρη (όταν βρίσκονται στο

κοντινότερο σημείο μεταξύ τους) είναι περίπου 55 Gm ($=55 \cdot 10^9$ m) και τα δεδομένα ταξιδεύουν μέσω του συνδέσμου με την ταχύτητα του φωτός ($=3 \cdot 10^8$ m/s).

- a) Να υπολογίσετε τον χρόνο RTT για το σύνδεσμο.
- b) Μία κάμερα στο πλανητικό όχημα φωτογραφίζει τον περιβάλλοντα χώρο του και στέλνει τις φωτογραφίες στη Γη. Από τη στιγμή λήψης της φωτογραφίας, πόσο γρήγορα μπορεί να φτάσει στο κέντρο ελέγχου αποστολής στη Γη? Να υποθέσετε ότι η κάθε εικόνα έχει μέγεθος 5Mbits.
- c) Τι ποσοστό του χρόνου αυτού αποτελεί ο χρόνος μετάδοσης της φωτογραφίας.

4.3 Απαιτείται επιλογή πρωτοκόλλου επανεκπομπής για επικοινωνία μεταξύ επίγειου σταθμού και τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου σε απόσταση 57.600 χιλιόμετρα από τη γη. Η ταχύτητα επικοινωνίας είναι 10.000.000 bits/sec, ενώ ο ρυθμός σφαλμάτων (packet error rate) θεωρείται αρχικά ότι είναι μηδενικός 0. Τα πλαίσια δεδομένων είναι μεγέθους 10.000 bits, ενώ τα πλαίσια επιβεβαίωσης 1.000bits. Η ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι $3 \cdot 10^8$ m/s.

- a) Να υπολογίσετε την απόδοση του πρωτοκόλλου Stop and Wait, θεωρώντας (όπως στην θεωρία) ότι ο χρόνος προθεσμίας είναι ίσος με το χρόνο μετάδοσης, μετάβασης και επιστροφής.
- b) Αν από τα 10.000 bits των πλαισίων δεδομένων τα 200 bits είναι κεφαλίδα, ποιος είναι ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας ο οποίος επιτυγχάνεται;
- c) Να υπολογίσετε το μέγεθος παραθύρου που θα έδινε μέγιστη απόδοση σε πρωτόκολλο GBN ή SRP (έχοντας υποθέσει ότι δεν συμβαίνουν σφάλματα). Ποια θα ήταν η απόδοση αυτή;
- d) Να υπολογίσετε την απόδοση του πρωτοκόλλου Stop and Wait στη δορυφορική ζεύξη θεωρώντας ότι υφίστανται σφάλματα με ρυθμό(πιθανότητα ανά πλαίσιο, δηλ. packet error rate) ίσο με 10^{-3} .
- e) Πώς πρέπει να γίνεται η αρίθμηση των πλαισίων και των επιβεβαιώσεων σε κάθε ένα από τα πρωτόκολλα και τι απαιτήσεις σε ενταμιευτές (buffers) υπάρχουν σε κάθε περίπτωση;
- f) Ποιο από τα τρία πρωτόκολλα θα προτεινάτε και γιατί;