

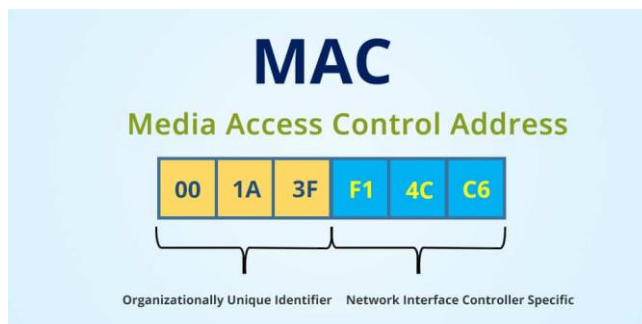
# ΕΝΟΤΗΤΑ IV

## 7. ΕΠΙΠΕΔΟ ΖΕΥΞΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ETHERNET

### 7.1 Γενικά για το επίπεδο ζεύξης δεδομένων

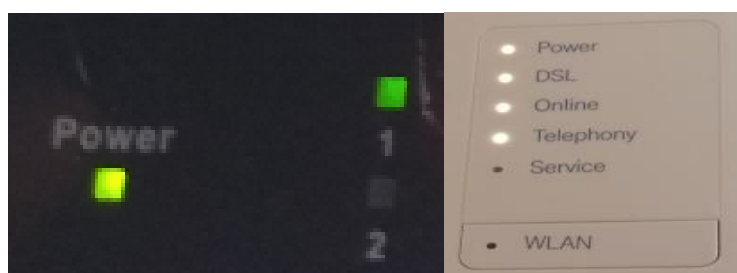
#### 7.1.1 Διευθύνσεις Medium Access Control (MAC)

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων ή data link layer (L2) δέχεται τα πακέτα IP από το επίπεδο δικτύου (L3) και τα εγκιβωτίζει μέσα σε πλαίσια ώστε να μεταδοθούν στο φυσικό μέσο. Αντιστρόφως παραλαμβάνει από το φυσικό μέσο πλαίσια από τα οποία μεταφέρει το εγκιβωτισμένο φορτίο (payload) στο L3. Στο L2 κάθε NIC έχει μια μοναδικά αναγνωρίσιμη **διεύθυνση MAC** (MAC address) ή αλλιώς **φυσική διεύθυνση** (physical address), η οποία αποτελείται από 6 bytes γραμμένα στο δεκαεξαδικό, χωρισμένα με παύλες ή άνω και κάτω τελεία. Για παράδειγμα: **00-1A-3F-F1-4C-C6** το οποίο είναι ίδιο με το **00:1A:3F:F1:4C:C6**



**Εικόνα 7.1:** Δομή διεύθυνσης Media Access Control (MAC). Τα 3 πρώτα bytes είναι αναγνωριστικά ενός διεθνούς κατασκευαστή τα 3 επόμενα ένας μοναδικός αριθμός για τον NIC μέσα σε αυτόν τον κατασκευαστή.

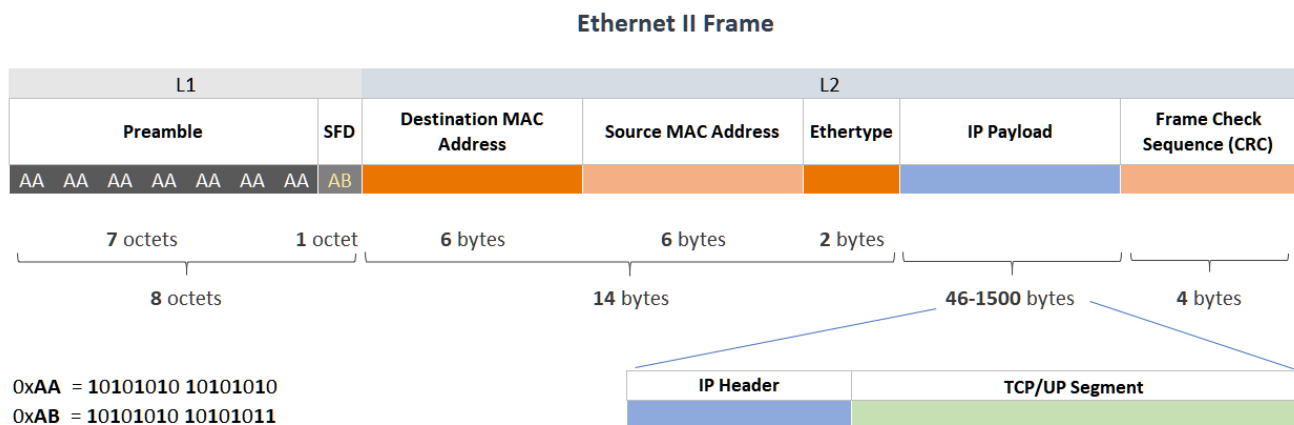
Μετά την σύνδεση δύο άκρων η ζεύξη γίνεται ως εξής: Αρχικά υπάρχει μια διαδικασία χειραψίας (handshaking) όπου τα δύο σημεία συνεννοούνται για να επιτευχθεί ζεύξη. Μόλις αυτή έχει ολοκληρωθεί η ενδεικτική λυχνία led που συνήθως υπάρχει ανάβει. Ένα παράδειγμα handshaking είναι κατά την διάρκεια του συγχρονισμού της πολυσυσκευής ευρυζωνικής σύνδεσης, η led με τίτλο DSL που αναβοσβήνει και κατόπιν παραμένει ανοικτή όταν έχει επιτευχθεί ζεύξη. Στο επόμενο βήμα προσπαθεί να συνδεθεί στο επίπεδο δικτύου με τον πάροχο, με ανάθεση της εξωτερικής διεύθυνση IP, όπου αναβοσβήνει το LED Online.



**Εικόνα 7.2:** Αριστερά: Ζεύξη Ethernet 1000BaseT στην πρώτη θύρα ενός switch, δεξιά: Ζεύξη DSL και ανάθεση διεύθυνσης IP από τον πάροχο σε πολυσυσκευή ευρυζωνικής σύνδεσης.

### 7.1.2 Τα πλαίσια του πρωτοκόλλου Ethernet II

Το PDU στο επίπεδο ζεύξης L2 είναι το πλαίσιο, τα bytes του οποίου βρίσκονται μέσα στον απομονωτή εισόδου (input buffer) ή εξόδου (output buffer) ενός network interface controller. Στο φυσικό επίπεδο L1, κάθε πλαίσιο προηγείται από ένα μοτίβο bit που εναλλάσσεται το 1 και το 0, το οποίο τερματίζεται όταν λαμβάνονται δύο διαδοχικά 1. Στο φυσικό επίπεδο δεν έχουμε αποθήκευση σε μνήμη οπότε η ορολογία byte, που είναι η μικρότερη μονάδα μέτρησης μνήμης, αντικαθίσταται με την octet, δηλαδή οκτάδες από σύμβολα (symbols) που αντιστοιχούν σε bits. Οι πρώτες επτά octets που μεταδίδονται στο φυσικό μέσο ονομάζονται **preamble**, ενώ η τελευταία octet **start of frame delimiter (SFD)**. Επίσης για αποσαφήνιση του όρου Ethernet packet που θα δείτε συχνά στην βιβλιογραφία και σε εφαρμογές, θεωρήστε στο L1 ένα πακέτο από bits οργανωμένα σε octets ως τμήμα της ροής bits, ενώ στο L2 έχουμε το πλαίσιο από bytes αποθηκευμένο σε κάποιο στοιχείο μνήμης.



**Εικόνα 7.3:** Δομή του πλαισίου Ethernet και bytes για τα πεδία και το εγκιβωτισμένο πακέτο IP, συν τις octets από bits που προηγούνται στο φυσικό μέσο, το preamble και το start of frame delimiter (SFD).

## 7.2 Σύνδεση Ethernet σημείου-προς-σημείο (point-to-point).

### 7.2.1 Προσομοίωση λειτουργίας επιπέδου 2 για σημείου-προς-σημείου διάταξη με την εφαρμογή Netiee.

Η εφαρμογή Netiee είναι ένας καινούργιος προσομοιωτής δικτύου που φτιάχτηκε για τις ανάγκες της απομακρυσμένης διδασκαλίας του εργαστηρίου. Κατεβάστε το αρχείο εγκατάστασης της δοκιμαστικής έκδοσης (beta version) για την εφαρμογή **Netiee** από τον ιστότοπο του εργαστηρίου και ακολουθήστε τα απλά βήματα για την εγκατάσταση της σε λειτουργικό Windows. Προαπαιτούμενο για την λειτουργία του είναι η εγκατάσταση της Anaconda Python που είναι διαθέσιμη στο <https://www.anaconda.com/>.



**Εικόνα 7.4:** Αριστερά: Αντικείμενο Desktop PC, δεξιά: συνδέσεις χάλκινων καλωδίων και οπτικής ίνας.

Μπορούμε να σχεδιάσουμε μια προσομοίωση ενός δικτύου σημείου-προς-σημείο (point-to-point) πολύ εύκολα επιλέγοντας τον υπολογιστή από την κορδέλα (ribbon) ο οποίος θα δημιουργηθεί απευθείας στον ελεύθερο χώρο της σχεδίασης. Κατόπιν μπορούμε να σύρουμε τον υπολογιστή από το εικονίδιο του στην επιθυμητή θέση. Για να συνδέσουμε τους υπολογιστές επιλέγουμε μια καλωδιακή σύνδεση από την κορδέλα, αριστερό κλικ στον πρώτο υπολογιστή και κατόπιν στον δεύτερο ώστε να ενωθούν τα εκατέρωθεν NIC τους.

### 7.2.1 Παράμετροι παραγωγής κίνησης και γενικές ρυθμίσεις προσομοίωσης.



**Εικόνα 7.5:** Καρτέλα με αντικείμενα προσομοίωσης

Το πιο βασικό αντικείμενο στον σχεδιασμό της προσομοίωσης με το NetSim είναι το **Traffic Generator**. Αυτό θα προστεθεί σε έναν σταθμό ως εξής: Επιλέγουμε έναν υπολογιστή με δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο του. Κατόπιν επιλέγουμε τον Traffic Generator από την κορδέλα και τον βλέπουμε να τοποθετείται στα αριστερά από το εικονίδιο του υπολογιστή. Παρακάτω είναι οι παράμετροι παραγωγής κίνησης που υπάρχουν για τον Traffic Generator:

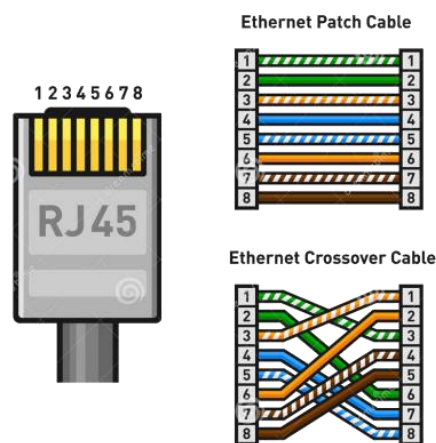
- **Start Time:** Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα κατά τον οποίο ένας σταθμός ξεκινάει τη δημιουργία κίνησης προς το NIC που αποστέλλεται στο φυσικό μέσο. Αντιστοιχεί στην ιδιότητα **StartTime**.
- **Stop Time:** Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα κατά τον οποίο ένας σταθμός σταματάει να παράγει και να αποστέλλει κίνηση προς το NIC του. Αντιστοιχεί στην ιδιότητα **EndTime**.
- **Link ON State Duration (Time):** Η χρονική διάρκεια σε δευτερόλεπτα κατά την οποία ένας σταθμός είναι σε κατάσταση αποστολής, δηλαδή αποστέλλει τα πλαίσια ως πακέτα από bits στο φυσικό μέσο. Π.χ. κατά τη διάρκεια μίας κλήσης VoIP, ένας σταθμός είναι ενεργός για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μιλάει ο χρήστης και ανενεργός για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο χρήστης δεν μιλάει αλλά μόνο ακούει. Ένα διάστημα ON ακολουθείται από ένα διάστημα OFF. Η χρονική διάρκεια της κατάστασης ON είναι σταθερή. Αντιστοιχεί στην ιδιότητα **LinkOnStateDuration**.

- **Link OFF State Duration (Time):** Η χρονική διάρκεια σε δευτερόλεπτα κατά την οποία ένας σταθμός είναι σε κατάσταση αναμονής, δηλαδή δεν αποστέλλει αλλά "ακούει" την κατάσταση του φυσικού μέσου. Ένα διάστημα OFF ακολουθείται από ένα διάστημα ON. Η χρονική διάρκεια της κατάστασης OFF είναι σταθερή. Αντιστοιχεί στην ιδιότητα **LinkOffStateDuration**.
- **Max L1 Frame (Packet) Size:** Το μέγεθος σε bytes των πλαισίων Ethernet στο L1 (πακέτων bit στο L1) που δημιουργούνται στο φυσικό μέσο κατά την περίοδο που ένας σταθμός είναι σε κατάσταση ON. Το μέγεθος των πακέτων μπορεί να είναι σταθερό ή να ακολουθεί μία τυχαία κατανομή που προσομοιώνει πλησιέστερα την εκάστοτε εφαρμογή. Αντιστοιχεί στην ιδιότητα **MaxL1FrameSizeInBytes**.
- **Frame Inter-Arrival Time:** Το χρονικό διάστημα  $T_{iat} = T_2 - T_1$  μεταξύ της στιγμής  $T_1$  που δημιουργείται ένα πλαίσιο στον απομονωτή (buffer) του NIC και της στιγμής που δημιουργείται το επόμενο πλαίσιο  $T_2$ . Ο χρόνος αυτός θεωρείται σταθερός για τις ανάγκες της προσομοίωσης αλλά είναι γενικά μη-ντετερμινιστικός καθώς οποιαδήποτε εφαρμογή μπορεί να έχει δικτυακή δραστηριότητα που παράγει πλαίσια. Αντιστοιχεί στην ιδιότητα **FrameInterArrivalTime**.

### ΑΣΚΗΣΗ 7.1: Δημιουργία μιας σύνδεσης σημείου-προς-σημείο μεταξύ δύο υπολογιστών και αναγνώριση ιδιοτήτων των συνδέσεων.

Για κάθε μια από τις παρακάτω εργασίες, προσθέστε δύο υπολογιστές και την αντίστοιχη σύνδεση μεταξύ τους στο ίδιο design. Μπορείτε να το αποθηκεύσετε και να το φορτώσετε ξανά από την καρτέλα home.

1. Συνδέστε δύο υπολογιστές με χάλκινο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους (twisted pair) κατηγορίας **Cat 3**. Το καλώδιο αυτό είναι *crossover* ώστε υλοποιεί την σημείου-προς-σημείο σύνδεση μεταξύ των δύο υπολογιστών, χωρίς την διαμεσολάβηση κάποιου μεταγωγού επιπέδου ζεύξης (switch).
  - α) Ποια είναι η ταχύτητα διάδοσης σε Km/sec.
  - β) Ποιο είναι το υποστηριζόμενο πρότυπο Ethernet του φυσικού επιπέδου για αυτήν την ζεύξη;
  - γ) Ποια είναι η χωρητικότητα ζεύξης (link capacity)
2. Προσθέστε δύο επιπλέον υπολογιστές με χάλκινο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους κατηγορίας **Cat 5** και απαντήστε για αυτήν την περίπτωση:
  - α) Ποια είναι η ταχύτητα διάδοσης σε Km/sec.
  - β) Ποιο είναι το υποστηριζόμενο πρότυπο Ethernet του φυσικού επιπέδου για αυτήν την ζεύξη;
  - γ) Ποια είναι η χωρητικότητα ζεύξης (link capacity)
3. Προσθέστε δύο επιπλέον υπολογιστές με χάλκινο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους κατηγορίας **Cat 5e** και απαντήστε για αυτήν την περίπτωση:
  - α) Ποια είναι η ταχύτητα διάδοσης σε Km/sec.
  - β) Ποιο είναι το υποστηριζόμενο πρότυπο Ethernet του φυσικού επιπέδου για αυτήν την ζεύξη;
  - γ) Ποια είναι η χωρητικότητα ζεύξης (link capacity)



**Εικόνα 7.4:** Συνδεσμολογία (pinout) για straight through (patch) καλώδιο και crossover καλώδιο.

## ΑΣΚΗΣΗ 7.2: Εκτέλεση προσομοίωσης με τις υποδεικνυόμενες ρυθμίσεις, συλλογή αποτελεσμάτων, αναγνώριση χρονοσφραγγίδων πλαισίων.

Δημιουργήστε ένα νέο σχέδιο προσομοίωσης με χρήση της εντολής New. Προσθέστε δύο υπολογιστές και μετονομάστε τους σε Source και Destination, με αλλαγή της ιδιότητας **Caption**. Για εμφάνιση των ιδιοτήτων ενός υπολογιστή κάντε δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο του.

1. Οι υπολογιστές έχουν μεταξύ τους απόσταση 30 Km. Συνδέστε τους υπολογιστές με μια οπτική ίνα και αναθέστε στην αντίστοιχη ιδιότητα την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων.
2. Ποια είναι η ταχύτητα διάδοσης σε Km/sec για την οπτική ίνα; Τι παρατηρείτε σε σχέση με τις αντίστοιχες ταχύτητες στην άσκηση 7.1 (με τα χάλκινα καλώδια);
3. Για τον υπολογιστή source δημιουργήστε ένα παραγωγό κίνησης - Traffic Generator, όπως περιγράφεται στην αρχή την παραγράφου 7.2.1.
4. Επιλέξτε Run Simulation από την καρτέλα Simulation για να τρέξετε την προσομοίωση και να συλλέξετε τα δεδομένα.
5. Στο κάτω μέρος της εφαρμογής εμφανίζονται τα πλαίσια που προσομοιώθηκε η μετάδοση τους από τον Source προς τον Destination μέσω της σύνδεσης σημείου-προς-σημείο. Με την χρήση του πλήκτρου Export Results Μπορείτε να εξαγάγετε τον πίνακα σε μορφή .csv για να τον φορτώσετε στο Excel / Libre Office.
6. Παρατηρήστε τις γραμμές του πίνακα αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Εντοπίστε την στήλη **FrameTimeInMicroSeconds** με τις χρονοσφραγγίδες (timestamps), των πλαισίων. Αναγνωρίστε τις δύο διαφορετικές γραμμές συμβάντων για το πλαίσιο.
7. Οι γραμμές με τιμή στην στήλη Node Type ίση με "TRANSMITTER\_BUFFER" αντιστοιχούν στο συμβάν ότι το πλαίσιο με αναγνωριστικό ID μπήκε στο buffer του NIC του αποστολέα υπολογιστή Source. Σε αυτές με "RECEIVER\_BUFFER" εμφανίζεται το ίδιο πλαίσιο (παρατηρήστε την στήλη ID) αφού έχει παραληφθεί στο buffer του NIC στον παραλήπτη Destination. Παρατηρήστε την διαφορά των χρονικών στιγμών μεταξύ των δύο συμβάντων αποστολής και παραλαβής για την οπτική ίνα.

## ΑΣΚΗΣΗ 7.3: Κατανόηση ιδιοτήτων προσομοίωσης και πληροφοριών στα αποτελέσματα.

1. Ανοίξτε τις ρυθμίσεις της προσομοίωσης από το General Settings. Ποιος είναι ο χρόνος για τον οποίο τρέχει η προσομοίωση;
2. Παρατηρώντας την πρώτη και την τελευταία γραμμή στον πίνακα: Ποιος είναι ο πραγματικός χρόνος κατά τον οποίο μεταδόθηκαν πλαίσια, δηλαδή παρατηρήθηκε δικτυακή δραστηριότητα;
3. Ανοίξτε τις ρυθμίσεις της παραγωγής κίνησης με δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο με τον του Traffic Generator. Πόσα πλαίσια εισέρχονται το λεπτό (frames/sec) στο buffer του NIC στον Source, σύμφωνα με την τιμή του FrameInterArrivalTime;
4. Από την απάντηση 3 σε συνδυασμό την ρύθμιση **MaxL1FrameSizeInBytes** που δείχνει σε bytes το μέγιστο μέγεθος του πλαισίου Ethernet στο φυσικό επίπεδο, υπολογίστε τα bits/sec.
5. Παρατηρήστε τα αποτελέσματα και απαντήστε ποιος είναι ο ρυθμός σε bits/sec με τον οποίο παραλαμβάνονται τα πλαίσια στο buffer του NIC στον Destination;

## 7.2 Καθυστερήσεις μετάδοσης και διάδοσης.

### 7.2.1 Θεωρία

Στο βιβλίο της θεωρίας, στα 1.4.1, 1.4.2 και 1.4.3 γίνεται ανάλυση όλων των τύπων καθυστέρησης (delay) σε ένα δίκτυο. Ο στόχος του εργαστηρίου είναι η εξοικείωση με τις βασικές ποσοτικές μετρικές απόδοσης μίας επικοινωνιακής ζεύξης μόνο. Συγκεκριμένα θα μελετηθούν σε μία απλή επικοινωνιακή διάταξη σημείου-προς-σημείο τα ακόλουθα ποσοτικά χαρακτηριστικά:

- Καθυστέρηση (χρόνος) μετάδοσης (transmission delay)
- Καθυστέρηση (χρόνος) διάδοσης (propagation delay)

Η καθυστέρηση (ή χρόνος) διάδοσης (propagation) είναι ο χρόνος που απαιτείται για να διαδοθεί/ταξιδέψει/μεταφερθεί από την πηγή στον προορισμό, ένα ηλεκτρομαγνητικό ή οπτικό σήμα στο μέσο μετάδοσης. Πρακτικά ταυτίζεται με το χρόνο που περνάει από τη στιγμή που αποστέλλεται το πρώτο bit από την πηγή στο μέσο μετάδοσης μέχρι τη στιγμή που φθάνει το πρώτο bit (ενός πλαισίου) στον προορισμό. Η ταχύτητα διάδοσης  $u$  (propagation speed) έχει τιμές κοντά με την ταχύτητα του φωτός για χάλκινα καλώδια  $u_{copper}=200.000 \text{ Km/s}$ . Για οπτικές ίνες την θεωρούμε ίση με την ταχύτητα του φωτός  $u_{fiber} = 300.000 \text{ K/s}$ . Έτσι ο χρόνος διάδοσης δεν έχει σημαντικές διαφορές από μέσο σε μέσο και εξαρτάται αποκλειστικά από την απόσταση  $S$  του αποστολέα και του παραλήπτη:

$$T_{\text{διάδοσης}} = \frac{S}{u} \quad (1)$$

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι ο χρόνος διάδοσης είναι ανάλογος της απόστασης μεταξύ των δύο σημείων, και έχει επίδραση σε μεγάλες αποστάσεις, πχ επικοινωνία Ελλάδας-Αυστραλίας ή επικοινωνία μέσω δορυφόρου.

Η καθυστέρηση (ή χρόνος) μετάδοσης (transmission) είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο πομπός για να εισάγει την πληροφορία (ενός πλαισίου) στο μέσο μετάδοσης. Πρακτικά ταυτίζεται με το χρόνο που περνάει από τη στιγμή που ο πομπός διαμορφώνει και εισάγει στο μέσο μετάδοσης το πρώτο bit μέχρι τη στιγμή που διαμορφώνει και εισάγει στο μέσο μετάδοσης το τελευταίο bit. Σε μία ζεύξη που υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταδοθούν τα 1000000 bits είναι 1 sec. Ο χρόνος μετάδοσης  $T_{\text{μετάδοσης}}$  εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το πλήθος των bits  $L_{\text{bits}} = L_{\text{bytes}} * 8$ , που στέλνουμε για ένα πλαίσιο στο φυσικό μέσο και την χωρητικότητα  $C$  της ζεύξης, ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$T_{\text{μετάδοσης}} = \frac{L_{\text{bits}}}{C} + T_{\text{κενό\_μεταξύ\_πακέτων}} \quad (2)$$

Για την απλοποίηση την παραπάνω σχέσης, θεωρούμε για τον χρόνο κατά τον οποίο γίνεται αναμονή μεταξύ διαδοχικών πακέτων  $T_{\text{κενό\_μεταξύ\_πακέτων}} = 0$ .



Για να μειώσουμε το χρόνο μετάδοσης, θα πρέπει είτε:

- Να αυξήσουμε τη χωρητικότητα της ζεύξης μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη, αναβαθμίζοντας τα χάλκινα καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους (twisted pair) με νέα που πιστοποιούνται στα σύγχρονα πρότυπα (π.χ. Cat 5, Cat 6 για) ή αντικατάσταση του με ομοαξονικό και ακόμη καλύτερα με οπτική ίνα.
- Να μειώσουμε το μέγεθος της πληροφορίας που αποστέλλεται με
  - Χρήση αλγορίθμων συμπίεσης πολυμέσων, φωτογραφιών (π.χ. jpeg), βίντεο (π.χ. mpeg), ήχου (π.χ. mp3),
  - Αφαίρεση κενών από αρχεία web (minified),
  - Χρήση δομημένης διαμόρφωσης JSON για δεδομένα web αντί για XML.
  - Χρήση πρωτοκόλλου μεταφοράς UDP αντί για TCP για ροές υψηλού όγκου όπως HD video streaming.

7.2.1 Παράδειγμα υπολογισμού συνολικής καθυστέρησης (χρόνου) αποστολής. Πόσος χρόνος χρειάζεται για την αποστολή μίας φωτογραφίας μεγέθους 8 KBytes μέσω ζεύξης 10Mbps από τη Θεσσαλονίκη στο Βερολίνο (απόσταση 2000Km);

Ο χρόνος αποστολής είναι:

$$T_{\text{αποστολής}} = T_{\text{διάδοσης}} + T_{\text{μετάδοσης}} = \frac{S}{u} + \frac{L}{C}$$

$$T_{\text{THESSALONIKI\_BERLIN}} = \frac{2\,000\text{ Km}}{200\,000\text{ Km/s}} + \frac{8 \cdot 8 \cdot 10^3 \text{ bits}}{10 \cdot 10^6 \text{ bits/s}} = 0,0100\text{ s} + 0,0064\text{ s} = 0,0164\text{ s}$$

Για να κατανοήσετε την παρέλευση του χρόνου αποστολής, που αρχίζει με την μετάδοση των bit του πλαισίου από το buffer του Sender NIC στο φυσικό μέσο και κατόπιν γίνεται διάδοση του σήματος μέχρι τον NIC του Receiver, χρησιμοποιήστε την παρακάτω κινούμενη γραφική απεικόνιση (animation):

<https://computerscience.unicam.it/marcantoni/reti/applet/TransmissionVsPropagationDelay/tr aProp.html>

## 7.2.2 Συλλογή και ανάλυση δεδομένων προσομοίωσης

### **ΑΣΚΗΣΗ 7.4: Υπολογισμός καθυστερήσεων και μέγεθος πληροφοριών ελέγχου του Ethernet.**

Δύο σημεία που απέχουν μεταξύ τους 20 Km ενώνονται με χάλκινο καλώδιο το οποίο έχει χωρητικότητα της ζεύξης 10 Mbps. Τα πλαίσια έχουν μέγεθος 500 bytes στο φυσικό επίπεδο.

1. Υπολογίστε θεωρητικά με εφαρμογή των τύπων, την καθυστέρηση διάδοσης για την απόσταση.
2. Υπολογίστε θεωρητικά με εφαρμογή των τύπων, την καθυστέρηση μετάδοσης για τα bits ενός πλαισίου.
3. Δημιουργήστε και τρέξτε μια προσομοίωση για την επιβεβαίωση των παραπάνω αποτελεσμάτων. Εμφανίστε τα στατιστικά. Τι παρατηρείτε συγκρίνοντας τη θεωρητική με την πειραματική μέγιστη τιμή για μέγιστο μέγεθος πακέτου 500 bytes;
4. Ποιος είναι ο θεωρητικός ρυθμός (ταχύτητα) μετάδοσης του μέσου, σύμφωνα με τα δεδομένα που δόθηκαν για την ζεύξη πηγής-προορισμού;
5. Με χρήση της γνώσης στην εικόνα 7.3 και δεδομένου του μεγέθους του πλαισίου στο L1 επίπεδο υπολογίστε ποιο είναι το μέγεθος του στο L2 επίπεδο και ποιο το μέγεθος του εγκιβωτισμένου PDU στο L3.
6. Επιβεβαιώστε τον υπολογισμό σας από τις ιδιότητες που μπορείτε να βρείτε στο Netiiee.

### **ΑΣΚΗΣΗ 7.5: Υπολογισμός ποσοστού του πακέτου που έχει αποσταλεί για αργούς ρυθμούς αποστολής**

Χρησιμοποιήστε τα δεδομένα και τα αποτελέσματα που βρήκατε στην 7.3 ώστε να απαντήσετε στα παρακάτω:

1. Τι ολοκληρώνεται πιο σύντομα από τα δύο; Η αποστολή ενός bit του πλαισίου από τον αποστολέα A στον παραλήπτη B, ή η εισαγωγή όλων των bit του πλαισίου στο φυσικό μέσο από τον A;
2. Ποιο ποσοστό του πλαισίου έχει εισάγει ο αποστολέας A στο φυσικό μέσο, όταν το πρώτο bit έχει φτάσει στον παραλήπτη B;
3. Απαντήστε στα 1 και 2 για την περίπτωση που η απόσταση θα ήταν 2 Km.
4. Απαντήστε στα 1 και 2 για την περίπτωση που η απόσταση θα ήταν 200 Km. Τι παρατηρείτε σε σχέση με τις μικρότερες αποστάσεις των 20Km και 2Km;



### **ΑΣΚΗΣΗ 7.6: Χρήση οπτικής ίνας για μεγάλες αποστάσεις και video streaming.**

Μια υπηρεσία μετάδοσης ροής video (video streaming) έχει τοποθετήσει μια οπτική ίνα μεταξύ Θεσσαλονίκης και Μονάχου, μήκους 1200Km. Η κάμερα συλλαμβάνει 25 καρέ εικόνας (image frames) το δευτερόλεπτο, 25 fps, τα οποία εγκιβωτίζονται σε πακέτα IP μεγέθους 1500 byte, τα οποία σε πλαίσια που δημιουργούνται στο NIC.

1. Σχεδιάστε την αντίστοιχη προσομοίωση.
2. Με χρήση του Nettie βρείτε το μέγεθος του πλαισίου σε bits στο L1.
3. Ορίστε στις ρυθμίσεις του Traffic Generator το κατάλληλο Frame Inter-Arrival Time για τα χαρακτηριστικά της ροής video.
4. Υπολογίστε θεωρητικά με χρήση του τύπου την καθυστέρηση διάδοσης από την Θεσσαλονίκη μέχρι το Μόναχο.
5. Τρέξτε την προσομοίωση και συγκρίνετε με τον θεωρητικό υπολογισμό.
6. Με τι ρυθμό fps μπορούμε να έχουμε video σε πραγματικό χρόνο στον υπολογιστή του Μονάχου;

### **ΑΣΚΗΣΗ 7.7: Αναβάθμιση χωρητικότητας ζεύξης και επανυπολογισμός καθυστερήσεων.**

Για τα ίδια δεδομένα της άσκησης 7.4 (απόσταση 20Km, μέγεθος πλαισίου 500 byte στο L1), το χάλκινο καλώδιο αναβαθμίστηκε ώστε να υποστηρίζει χωρητικότητα της ζεύξης 5 Gbps.

1. Υπολογίστε θεωρητικά την καθυστέρηση διάδοσης για την απόσταση.
2. Υπολογίστε θεωρητικά την καθυστέρηση μετάδοσης για τα bits ενός πλαισίου.
3. Τι διαφορά παρατηρείτε από την αναβάθμιση της χωρητικότητας ζεύξης και τι παραμένει το ίδιο.
4. Επαληθεύστε με μια προσομοίωση τα παραπάνω αποτελέσματα.
5. Υπολογίστε τον συνολικό χρόνο αποστολής και συγκρίνετε τον με αυτούς που εμφανίζονται στον προσομοιωτή ως συνολική καθυστέρηση.
6. Με τα αποτελέσματα για τις 1-3 υπολογίστε το μέγεθος της πληροφορίας ελέγχου (26 bytes ), δηλαδή των κεφαλίδων του Ethernet. Τι παρατηρείτε σε σχέση με το αποτέλεσμα της 7.2/3;
7. Με τα αποτελέσματα για τις 1-3 υπολογίστε θεωρητικά την ρυθμοαπόδοση (throughput) της ζεύξης (σε Kbps) a) Χωρίς να συνυπολογίσετε την κεφαλίδα Ethernet b) Συνυπολογίζοντας την κεφαλίδα.
8. Με αυτά που βρήκατε στο 6 υπολογίστε το ποσοστό αξιοποίησης της ζεύξης.