

### Άσκηση 1

Υπολογίστε τον συνολικό χρόνο που απαιτείται για την μετάδοση ενός αρχείου 1500KB πάνω από μια ζεύξη (Link), στις παρακάτω περιπτώσεις, θεωρώντας πως η καθυστέρηση μιας κατεύθυνσης (one way delay) προς κάθε κατεύθυνση είναι 40ms και ένας αρχικός χρόνος RTT απαιτείται για χειραψία (handshaking) πριν από την αποστολή των δεδομένων.

(σημειώστε πως  $1KB = 2^{10}$  bytes,  $1Mbps = 10^6$  bits/sec).

- (a) Το εύρος ζώνης (Bandwidth) είναι 1Mbps, το μέγεθος πακέτου συμπεριλαμβανομένης της επικεφαλίδας (header) είναι 1 KB εκ των οποίων τα 40 bytes είναι επικεφαλίδα, τα πακέτα στέλνονται συνεχόμενα και διαδοχικά(back to back) και δεν χάνονται.
- (b) Το ίδιο όπως στο a, αλλά μετά από την ολοκλήρωση της μετάδοσης ενός πακέτου πρέπει να περιμένουμε για χρόνο RTT πριν την μετάδοση του επόμενου πακέτου.

### Απάντηση

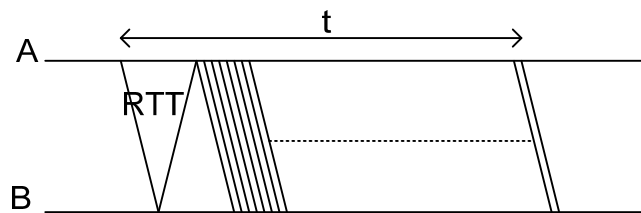
Εφόσον το κάθε πακέτο έχει μέγεθος  $1KB = 1024$  bytes συμπεριλαμβάνοντας την επικεφαλίδα των 40 bytes, μπορεί να φέρει 984bytes δεδομένων. Συνεπώς για να σταλούν 1500KB απαιτούνται

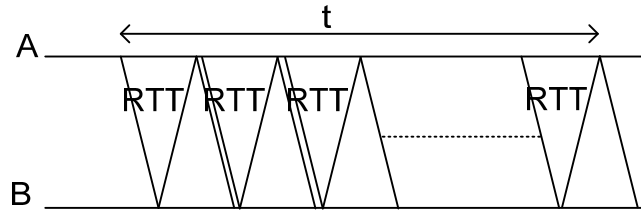
$$N_{packets} = \frac{1500 \cdot 1024}{984} = 1561 \text{ packets}$$

$$(a) \text{ Total Time} = RTT + N_{packets} \cdot (\text{Transmission Time}) = 80ms + 1561 \cdot \frac{1024 \text{ bytes}}{10^6 \text{ Mbps}} = 1678 \text{ ms}$$

$$(b) \text{ Total Time} = N_{packets} \cdot (RTT + (\text{Transmission Time})) = 1561 \cdot \left(80ms + \frac{1024 \text{ bytes}}{10^6 \text{ Mbps}}\right) = 133770,64 \text{ ms}$$

[Σημείωση: στους παραπάνω υπολογισμούς θεωρήσαμε την καθυστέρηση διάδοσης(propagation delay) αμελητέα, ή αλλιώς, απλά θεωρούμε ότι ο χρόνος της μετάδοσης ολοκληρώνεται όταν από την συσκευή A φύγει και το τελευταίο bit του αρχείου.]





## Άσκηση 2

Κάποιος ισχυρίζεται ότι όσο μεγαλώνει η γεωγραφική απόσταση δύο συσκευών, τόσο μεγαλώνει και η καθυστέρηση των πακέτων που στέλνονται από την μία συσκευή μέχρι να ληφθούν από την άλλη. Τι θα κάνατε για να δώσετε μία απάντηση στον παραπάνω ισχυρισμό που να στηρίζεται σε μετρήσεις και πραγματικά αποτελέσματα;

## Απάντηση

Ο παραπάνω ισχυρισμός δεν ευσταθεί για τον εξής λόγο: Η συνολική καθυστέρηση των πακέτων που στέλνονται από την μια συσκευή στην άλλη είναι:

$$Total\ Delay = D_{prop} + D_{trans} + D_{proc} + D_{queue}$$

Μεγαλώνοντας την γεωγραφική απόσταση των δύο συσκευών θα μεγαλώσει σίγουρα το  $D_{prop}$ , παρόλα αυτά δεν συνεπάγεται ότι δυο συσκευές με μικρότερη γεωμετρική απόσταση θα έχουν μικρότερη καθυστέρηση. Μπορεί δυο συσκευές που συνδέονται στα γεωγραφικά πλαίσια μιας πόλης να υπόκεινται σε πολύ μεγάλη καθυστέρηση λόγω υψηλής συμφόρησης στους ενδιάμεσους δρομολογητές (υψηλό  $D_{queue}$ ), ενώ αντιθέτως δύο συσκευές σε διαφορετικές ηπείρους μπορεί να διασυνδέονται με δίκτυο όπου οι καθυστερήσεις  $D_{proc}$ ,  $D_{queue}$  είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Συνεπώς σε κάθε περίπτωση ασφαλή συμπεράσματα για την συνολική καθυστέρηση μπορούν να προκύψουν μετά την στατιστική ανάλυση και με επαναλαμβανόμενες πειραματικές μετρήσεις σε διάφορα χρονικά διαστήματα μέσα στο 24ώρο.

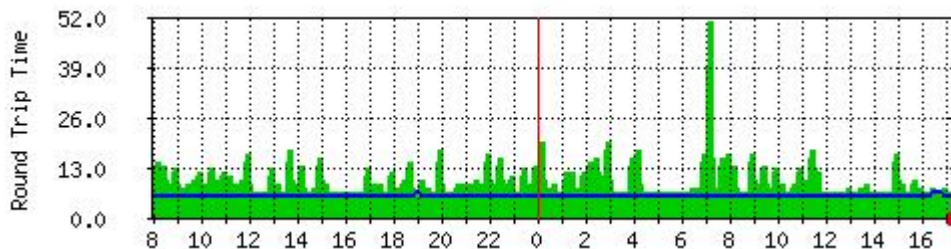


Figure 1: GRNET – University of Crete

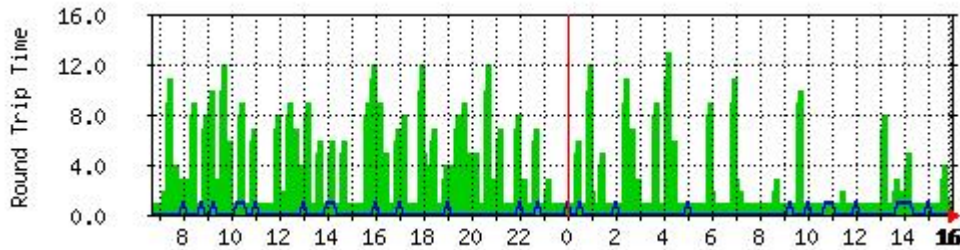


Figure 2: GRNET - University of Athens

Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν την καθυστέρηση (RTT) μεταξύ ΕΔΕΤ και πανεπιστημίου Αθηνών καθώς και ΕΔΕΤ με πανεπιστήμιο Κρήτης. Παρατηρούμε πως παρόλο της μεγάλης διαφοράς σε γεωγραφική απόσταση η μέσες καθυστερήσεις είναι σχεδόν ίδιες.

### Άσκηση 3

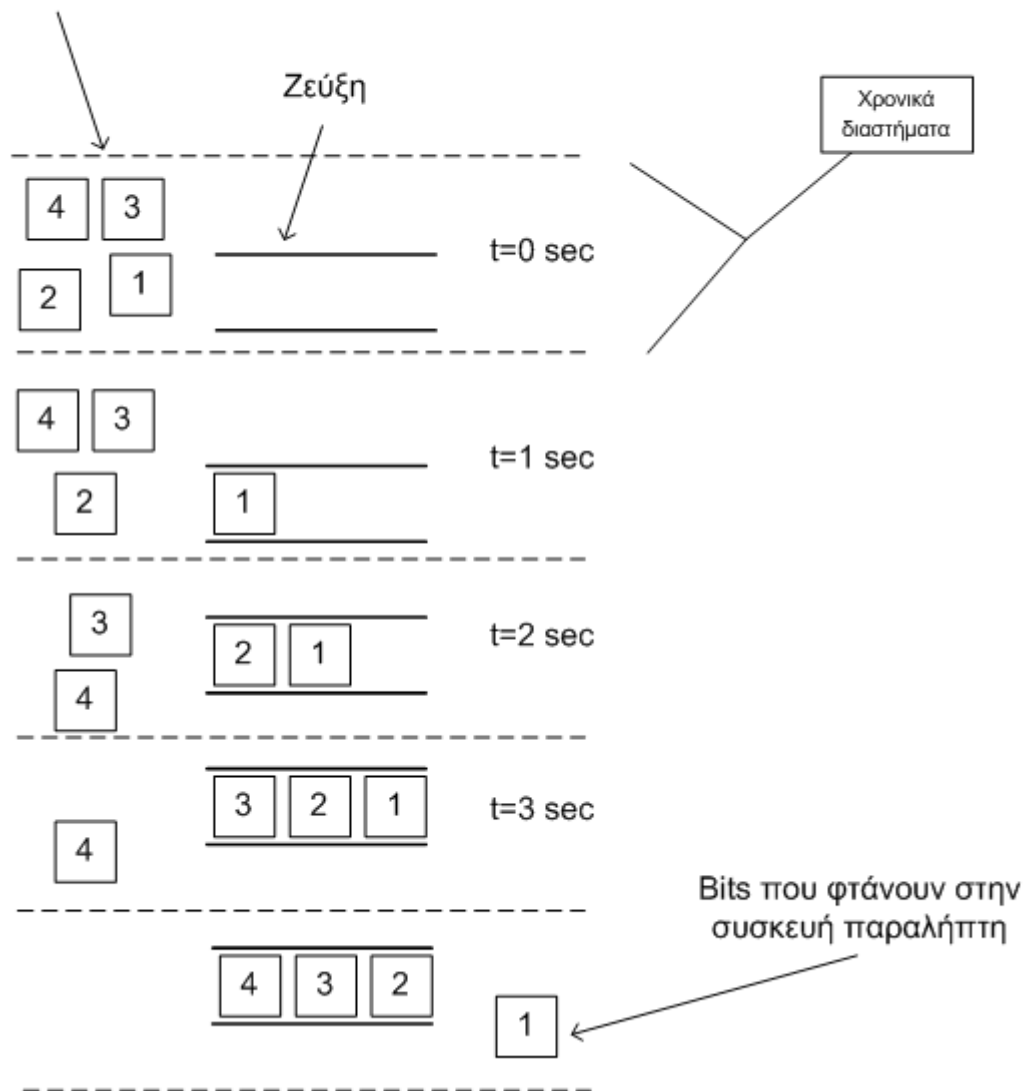
Κάποιος ισχυρίζεται ότι η καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου μεταξύ δυο συσκευών που συνδέονται με μία ζεύξη είναι πάντα μεγαλύτερη από την καθυστέρηση διάδοσης σε μία ζεύξη, ανεξαρτήτου της τεχνολογίας του μέσου και της απόστασης των δύο συσκευών που συνδέονται. Είναι σωστό;

Δικαιολογήστε την απάντησή σας

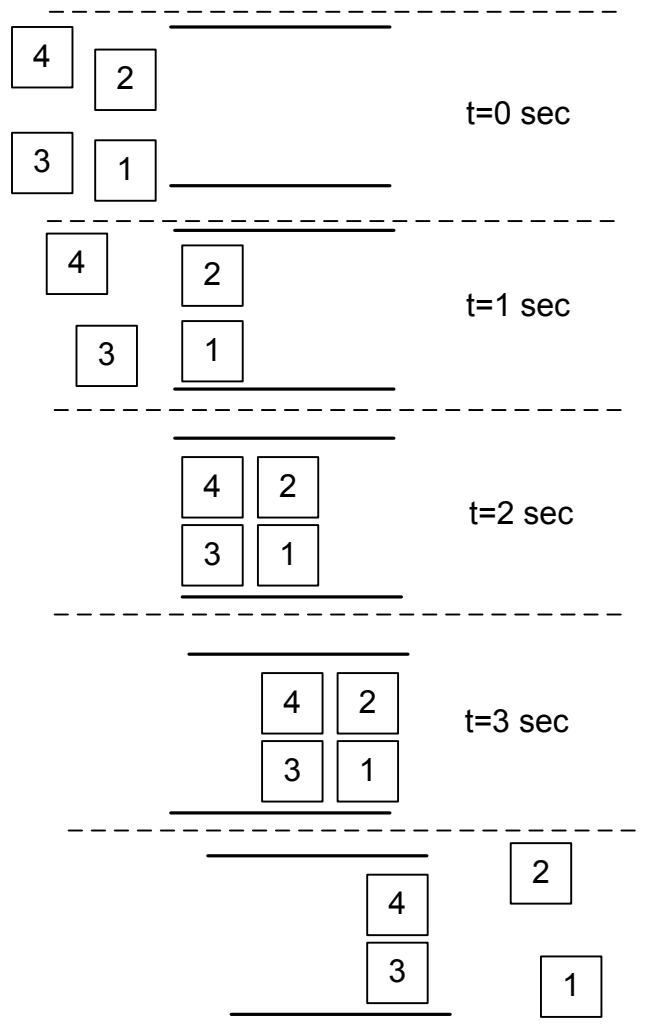
### Απάντηση

Η καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου μεταξύ δυο συσκευών που συνδέονται με μια ζεύξη δεν είναι πάντα μεγαλύτερη από την καθυστέρηση διάδοσης αλλά εξαρτάται από την τεχνολογία του μέσου που χρησιμοποιούμε. Έτσι είναι δυνατόν να έχουμε ένα μέσο όπου  $D_{prop} > D_{trans}$ . Όπου ουσιαστικά σημαίνει πως κάποια στιγμή όπου θα έχουν φύγει όλα τα bits του πακέτου από την μία συσκευή και δεν θα έχουν φτάσει στην άλλη, όλο το πακέτο θα βρίσκεται πάνω στην ζεύξη. Έστω ότι έχω για απλότητα μια ζεύξη που έχει ρυθμό 1 bit/sec, και έστω ότι η ταχύτητα διάδοσης του μέσου είναι 1m/s και το μήκος της ζεύξης είναι 3m. Έτσι έχω μια καθυστέρηση διάδοσης 3 sec. Αν θέλω να στείλω 4 bit τότε η χρόνος μετάδοσης θα είναι 4 sec.

Bits που βρίσκονται στην συσκευή αποστολέα και περιμένουν να σταλούν



Στην περίπτωση όμως που το μέσο είχε ρυθμό 2 bits/sec τότε η καθυστέρηση διάδοσης θα ήταν πάλι 3sec ενώ ο χρόνος μετάδοσης θα είναι 2 sec όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



#### **Άσκηση 4**

Έστω ένα μικρό δίκτυο που συνδέει τους δύο υπολογιστές A και B, με τρεις δρομολογητές, P1, P2, και P3. Ένα πακέτο που στέλνει ο υπολογιστής A, θα περάσει πρώτα από τον P1, ο P1 θα το προωθήσει στον P2, κι ο P2 στον P3, κι αυτός μετά στον B. Γράψετε τον γενικό τύπο που να υπολογίζει την συνολική καθυστέρηση των πακέτων που στέλνονται από τον A μέχρι να τα λάβει ο B.

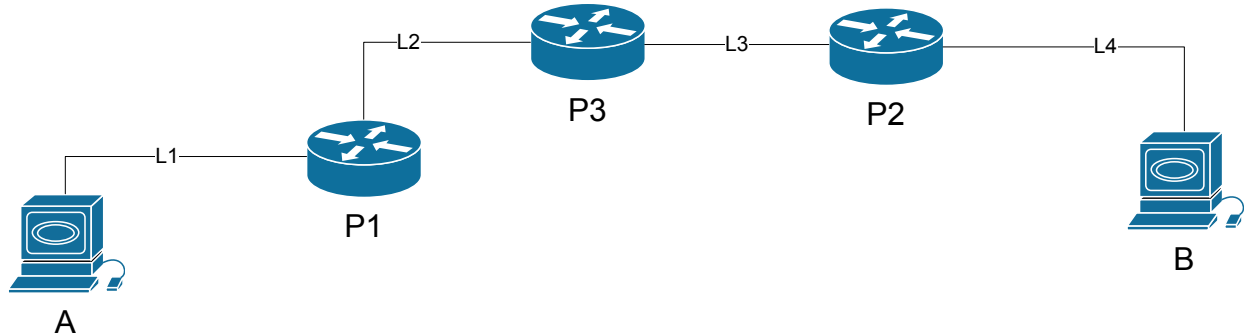
- i) θεωρήσετε ότι η κάθε ζεύξη είναι της ίδιας τεχνολογίας
- ii) θεωρήσετε ότι οι ζεύξεις είναι διαφορετικής τεχνολογίας.

Εισαγάγετε όσα σύμβολα χρειάζεστε.

- iii) Έστω ότι το ζεύξη από το A στον P1 τα πακέτα χάνονται με πιθανότητα  $\pi_1$ , από τον P1 στον P2 με πιθανότητα  $\pi_2$ , από το P2 στον P3, με πιθανότητα  $\pi_3$ , και από τον P3 στον B με πιθανότητα  $\pi_4$ . Έστω ότι οι απώλειες που συμβαίνουν στην κάθε ζεύξη είναι ανεξάρτητες

μεταξύ τους. Με ποιά πιθανότητα θα φτάσουν τα πακέτα από τον A στον B ? Εάν ο A στείλει N πακέτα, πόσα από αυτά θα ληφθούν από τον B?

### Απάντηση



Οι τύποι των καθυστερήσεων που υφίστανται στο παραπάνω δίκτυο είναι:

$D_{prop}$  : καθυστέρηση διάδοσης – propagation delay

$D_{proc}$  : καθυστέρηση επεξεργασίας – processing delay

$D_{trans}$  : καθυστέρηση μετάδοσης – transmission delay

$D_{queue}$  : καθυστέρηση αναμονής – queuing delay

[Σημείωση 1<sup>η</sup>: ως καθυστέρηση αναμονής ορίζουμε την καθυστέρηση που υφίσταται ένα πακέτο σε κάποια ουρά/μνήμη ενός δρομολογητή. Η καθυστέρηση αυτή δεν είναι ίδια για όλα τα πακέτα, κάθε πακέτο υπόκειται σε διαφορετική καθυστέρηση. Όταν στέλνουμε ένα πακέτο το  $D_{queue}$  αναφέρεται στην καθυστέρηση του πακέτου, όταν όμως στέλνουμε πολλά πακέτα το  $D_{queue}$  εκφράζει την **μέση καθυστέρηση** των πακέτων. Το πότε η καθυστέρηση αυτή θεωρείται μεγάλη η αμελητέα εξαρτάται παρά πολύ από τον ρυθμό με τον οποίο φτάνουν τα πακέτα, τον ρυθμό της ζεύξης από την οποία εξέρχονται καθώς και την φύση της κίνησης (αν είναι σποραδική, περιοδική η συνεχόμενη).]

[Σημείωση 2<sup>η</sup>: Καθυστέρηση επεξεργασίας ορίζουμε μόνο για τους δρομολογητές, οι οποίοι πρέπει να επεξεργαστούν τις επικεφαλίδες των πακέτων και να αποφασίσουν σε ποία ουρά/σε ποία ζεύξη πρέπει να στείλουν το πακέτο. Παρόλα αυτά, καθυστέρηση επεξεργασίας υπάρχει και στην συσκευή αποστολέα καθώς πρέπει να μεταφερθούν τα προς αποστολή δεδομένα από την εφαρμογή στην μνήμη της κάρτας δικτύου και να αποσταλούν. Αυτό περιορίζεται και ποικίλει ανάλογα του αριθμού των άλλων εφαρμογών που τρέχουν, τις δυνατότητες μεταφοράς από την μια μνήμη στην άλλη καθώς και άλλους παράγοντες. Στο ερώτημα αυτό θεωρούμε αμελητέα την καθυστέρηση επεξεργασίας στην συσκευή. ]

- (i) Εφόσον κάθε ζεύξη είναι της ίδιας τεχνολογίας, τα  $D_{prop}$  και  $D_{trans}$  είναι ίδια για όλες τις ζεύξεις. Τα  $D_{proc}$  και  $D_{queue}$  θεωρούμε ότι είναι επίσης ίδια. Τότε:

$$Total\ Delay = 4 \cdot (D_{prop} + D_{trans}) + 3 \cdot (D_{proc} + D_{queue})$$

- (ii) Στην περίπτωση αυτή έχουμε διαφορετικά για κάθε ζεύξη,  $D_{prop}$  και  $D_{trans}$  όπως και διαφορετικά  $D_{queue}$  στους δρομολογητές (ο ρυθμός άφιξης θα είναι διαφορετικός από τον ρυθμό αναχώρησης σε κάθε δρομολογητή)

$$Total Delay = (D_{propL1} + D_{transL1}) + (D_{propL2} + D_{transL2}) + (D_{propL3} + D_{transL3}) \\ + (D_{propL4} + D_{transL4}) + (D_{procP1} + D_{queueP1}) + (D_{procP2} + D_{queueP2}) + (D_{procP3} \\ + D_{queueP3})$$

- (iii) Η Πιθανότητα να μεταδοθεί σωστά ένα πακέτο στη ζεύξη L1 είναι  $(1-\pi_1)$ , ομοίως για τις ζεύξεις L2,L3,L4 είναι  $(1-\pi_2),(1-\pi_3),(1-\pi_4)$  αντίστοιχα. Η πιθανότητα να σταλεί σωστά ένα πακέτο από τον A στον B είναι:

$$(1 - \pi_1) \cdot (1 - \pi_2) \cdot (1 - \pi_3) \cdot (1 - \pi_4)$$

Συνεπώς ο αριθμός  $N'$  των πακέτων που θα ληφθούν σωστά από τον B αν ο A στείλει  $N$  πακέτα είναι:

$$N' = (1 - \pi_1) \cdot (1 - \pi_2) \cdot (1 - \pi_3) \cdot (1 - \pi_4) \cdot N$$

### Άσκηση 5

Υποθέστε ότι δυο συσκευές συνδέονται με μια ζεύξη με ρυθμό μετάδοσης  $R$  (link),  $m$  μέτρα και ότι η ταχύτητα διάδοσης(propagation speed) στη ζεύξη είναι  $s$  meters/second. Η συσκευή A πρόκειται να στείλει  $L$  bits στην συσκευή B.

- Εκφράστε την καθυστέρηση μετάδοσης (Propagation Delay),  $D_{prop}$  συναρτήσει των  $m$  και  $s$ .
- Προσδιορίστε τον χρόνο διάδοσης ενός πακέτου,  $D_{trans}$  συναρτήσει των  $L$  και  $R$
- Αγνοώντας την καθυστέρηση της ουράς (queuing delay) και την καθυστέρηση επεξεργασίας (processing delay), βρείτε τον τύπο που εκφράζει την καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (end-to-end delay)  $D_{end-to-end}$ .
- Υποθέστε πως η συσκευή A ξεκινά την μετάδοση ενός πακέτου στον χρόνο  $t=0$ . Υπολογίστε που βρίσκεται το τελευταίο bit του πακέτου την χρονική στιγμή  $t= D_{trans}$ .
- Υποθέστε ότι  $D_{prop} > D_{trans}$ . Υπολογίστε που βρίσκεται το πρώτο bit του πακέτου την χρονική στιγμή  $t= D_{trans}$ .
- Υποθέστε ότι  $D_{prop} \leq D_{trans}$ . Υπολογίστε που βρίσκεται το πρώτο bit του πακέτου την χρονική στιγμή  $t= D_{trans}$ .
- Εάν  $s=2.5 \cdot 10^8$ ,  $L = 100$  bits και  $R = 28$ kbps. Υπολογίστε την απόσταση  $m$  ώστε  $D_{prop} = D_{trans}$ .

### Απάντηση

$$(a) D_{prop} = \frac{\text{μήκος ζεύξης}}{\text{ταχύτητα διάδοσης μέσου}} = \frac{m}{s} \text{ seconds}$$

$$(b) D_{trans} = \frac{\text{μέγεθος πακέτου}}{\text{Ρυθμός ζεύξης}} = \frac{L}{R} \text{ seconds}$$

$$(c) D_{end-to-end} = D_{trans} + D_{prop} = \frac{m}{s} + \frac{L}{R} \text{ seconds}$$

(d) Εφόσον ο χρόνος μετάδοσης είναι

$D_{trans}$ , το τελευταίο bit μόλις που φεύγει από την συσκευή A

(e) το πρώτο bit βρίσκεται επάνω στην ζεύξη και δεν έχει φτάσει ακόμα στην συσκευή B

(f) το πρώτο έχει φτάσει στην συσκευή B

(g) Θέλουμε  $\frac{m}{s} = \frac{L}{R} \Leftrightarrow m = s \cdot \frac{L}{R} = 100 \cdot 2,5 \cdot \frac{10^8}{28 \cdot 10^3} = 892857$