

Hy335a

Λύσεις ασκήσεων πρώτης σειράς

Ερώτηση 1

Αναφέρετε τις διαφορές της στατιστικής πολυπλεξίας με την πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου.

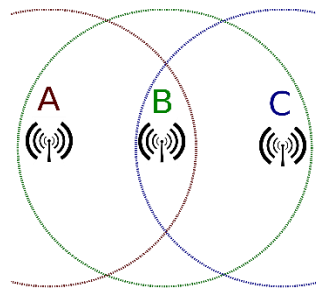
Η πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDMA) διαιρεί την πρόσβαση στο μέσο σε χρονοθυρίδες (timeslots) και αναθέτει σε κάθε κόμβο μια χρονοθυρίδα. Οι κόμβοι πρέπει να είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους, και κάθε κόμβος έχει δικαίωμα να εκπέμψει μόνο στην δική του χρονοθυρίδα. Αυτή η στατική δέσμευση πόρων συνεπάγεται εγγύηση στην ποιότητα υπηρεσίας, αλλά δεν είναι αποδοτική για εκρηκτική κίνηση (bursty traffic). Αντίθετα, στη στατιστική πολυπλεξία εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι η πιθανότητα να μεταδώσουν πολλά πακέτα αρκετοί κόμβοι ταυτόχρονα, ώστε να δημιουργηθεί συμφόρηση, είναι μικρή. Στην στατιστική πολυπλεξία δεν δεσμεύονται πόροι και οι συσκευές δεν είναι απαραίτητο να είναι συγχρονισμένες. Πακέτα από διαφορετικές πηγές μεταδίδονται στο μέσο, και εξυπηρετούνται με την σειρά άφιξής τους (first-come first-serve fashion). Έτσι, η στατιστική πολυπλεξία είναι πιο αποδοτική για εκρηκτική κίνηση, όμως απαιτεί buffers για την προσωρινή αποθήκευση των πακέτων.

Ερώτηση 2

Γιατί είναι απαραίτητη η τεχνική CSMA/CD σε ένα τοπικό δίκτυο; Ποιά είναι τα πιθανά προβλήματα του CSMA/CD σε ασύρματο περιβάλλον; Προτείνετε μία καινούρια τεχνική η οποία θα παρέχει την ίδια λειτουργία με το CSMA/CD.

Στόχος του CSMA/CD είναι η ελαχιστοποίηση των συγκρούσεων μεταξύ γειτονικών κόμβων που μεταδίδουν. Όταν δύο κόμβοι μεταδίδουν ταυτόχρονα, τα δεδομένα παραμορφώνονται με αποτέλεσμα κανένας παραλήπτης να μην είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει το σήμα του αποστολέα. Το CSMA/CD μειώνει τον αριθμό των συγκρούσεων, μειώνοντας την πιθανότητα δύο ή παραπάνω κόμβοι σε ένα δίκτυο να μεταδώσουν ταυτόχρονα. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση του window μετά από κάθε collision. Το βασικότερο πρόβλημα του CSMA/CD σε ασύρματο περιβάλλον έχει να κάνει με την αδυναμία κάθε κόμβου στο δίκτυο να ακούει όλους τους άλλους που βρίσκονται στο ίδιο τοπικό δίκτυο. Έτσι για παράδειγμα αν

δύο κόμβοι A και C δεν ακούν ο ένας τον άλλον, αλλά ο B ακούει και τους δύο, τότε αν οι A και C μεταδίδουν ταυτόχρονα στον B, ο τελευταίος δεν μπορεί να αποκωδικοποιήσει τα μηνύματα κανενός (Hidden node problem). Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι αν ένας κόμβος έχει μόνο μία κεραία τόσο για μετάδοση όσο και για λήψη, σε μία χρονική στιγμή μπορεί είτε να λαμβάνει, είτε να μεταδίδει, όχι και τα δύο, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ακούει το κανάλι για άλλες μεταδόσεις την ώρα που μεταδίδει εκείνος.



Hidden Node Problem

Ερώτηση 3

Αναφέρετε τους λόγους για τους οποίους χρησιμοποιούμε layers στο διαδίκτυο και το ρόλο που παίζει η χρησιμοποίηση IP διευθύνσεων στη λειτουργία του.

Τα layers στο διαδίκτυο βοηθούν προκειμένου να υποστηρίζονται διαφορετικές τεχνολογίες, διαφορετικές συσκευές (π.χ. ζεύξεις διάφορων τεχνολογιών) και διαφορετικές εφαρμογές οι οποίες το χρησιμοποιούν, προσφέρει δηλαδή *interoperability*. Κάθε layer υλοποιεί και μια διαφορετική λειτουργία του διαδικτύου ενώ πολλαπλά πρωτόκολλα υποστηρίζονται σε κάθε layer. Αυτή η τμηματοποίηση των λειτουργιών του διαδικτύου βοηθάει στην εξέλιξη της τεχνολογίας και στην υιοθέτηση καινούριων τεχνικών και πρακτικών, καθώς μιας και κάθε layer είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα, μπορεί να υφίσταται αλλαγές και να επεκτείνεται εύκολα, χωρίς να επηρεάζεται η δομή ολόκληρου του διαδικτύου. Επιπλέον κάθε layer κάνει *encapsulate* τα δεδομένα που το αφορούν μέσα στο πακέτο, προσφέροντας έτσι *abstraction* στα πρωτόκολλα και τις υπηρεσίες που εκτελούνται. Ο ρόλος του IP layer είναι η μετάδοση πακέτων από ένα τερματικό του διαδικτύου σε ένα άλλο. Για να φέρει εις πέρας αυτή τη

λειτουργία χρησιμοποιούνται οι IP διευθύνσεις, οι οποίες ανατίθενται σε κάθε host, και με βάση τις οποίες γίνεται η δρομολόγηση των πακέτων μέσα στο διαδίκτυο. Το IP layer ευνοεί στη δημιουργία της ιεραρχικής δομής που παρατηρείται στο διαδίκτυο, με την ύπαρξη δικτύων και υποδικτύων, και προσφέρει γρήγορη εύρεση διευθύνσεων στο ίντερνετ λόγω της δομής της IP διεύθυνσης.

Ερώτηση 4

Μόνο τα τερματικά χρηστών εφαρμόζουν την ενθυλάκωση/αποθυλάκωση στα πακέτα. Σωστό ή λάθος, δικαιολογήστε την απάντησή σας.

Λάθος. Υπάρχουν ενδιάμεσες συσκευές μέσα σε ένα δίκτυο, οι οποίες εκτός από το φυσικό επίπεδο υλοποιούν και πρωτόκολλα ανώτερων επιπέδων (π.χ., μεταγωγέας: φυσικό και ζεύξης, δρομολογητής: φυσικό, ζεύξης, και δικτύου). Έτσι, υπάρχουν και ενδιάμεσες συσκευές που εφαρμόζουν ενθυλάκωση. Για παράδειγμα, ένας δρομολογητής μπορεί να ενθυλακώνει IP datagrams μέσα σε Ethernet frames και ένας μεταγωγέας μετατρέπει το ethernet frame σε ένα stream από bits.

Ερώτηση 5

Σε ποιές περιπτώσεις θα χρησιμοποιούσατε hub σε ένα δίκτυο; Σε ποιές switch και σε ποιές router; Αναφέρετε τις λειτουργίες που θα έφερνε εις πέρας κάθε συσκευή ανάλογα με τον λόγο χρήσης της.

Το hub είναι ένα σημείο επικοινωνίας μεταξύ **συσκευών** σε ένα δίκτυο. Χρησιμοποιείται για να ενώσει κομμάτια(ή όπως ονομάζονται, **segments**) ενός LAN δικτύου. Περιλαμβάνει πολλαπλά ports και η λειτουργία του είναι πως όταν έρθει ένα πακέτο σε μία πόρτα, τότε αυτό αντιγράφεται σε όλα τα ports έτσι ώστε όλα τα LAN segments που είναι συνδεδεμένα στο hub να λάβουν αυτό το πακέτο. Το hub είναι συσκευή φυσικού επιπέδου(physical layer), καθώς δεν εξετάζει καθόλου τα πακέτα παρά μόνο τα αντιγραφεί σε όλα τα ports του. Έτσι το hub είναι ιδανικό για ένα δίκτυο στο οποίο θέλουμε όλες οι συσκευές μας να ακούν όλες τις υπόλοιπες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, έχουμε αυξημένες πιθανότητες λόγω της ύπαρξης πολλών συσκευών να υπάρξουν συγκρούσεις, καθώς όπως είπαμε το hub απλά αναπαράγει ότι έρχεται σε μία είσοδό του, σε όλες τις άλλες

εξόδους του, χωρίς να κάνει κάποιου είδους έλεγχο. Το switch είναι συσκευή επιπέδου ζεύξης (MAC layer). Αυτό γιατί σε αντίθεση με το hub εξετάζει το MAC header των πακέτων τα οποία λαμβάνει και αποθηκεύει σε μία δομή τα MAC addresses και τα ports από τα οποία έρχονται τα πακέτα με τις αντίστοιχες MAC addresses έτσι ώστε να ανακατευθύνει τα πακέτα που λαμβάνει με βάση το destination MAC address στην κατάλληλη πόρτα. Κάνει δηλαδή **filtering** των πακέτων που έρχονται. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η αντιγραφή όλων των πακέτων που έρχονται σε όλες τις πόρτες, μειώνοντας έτσι παράλληλα και των αριθμό των συγκρούσεων που θα δημιουργούνταν. Το switch είναι συσκευή επιπέδου δικτύου (IP layer). Δρομολογεί πακέτα μεταξύ διαφορετικών **δικτύων**. Η κύρια λειτουργία του είναι η δρομολόγηση πακέτων από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Οι routers τοποθετούνται συνήθως στις άκρες (edges) του δικτύου και λειτουργούν σαν **gateways**, σημεία δηλαδή που ενώνουν δύο ή παραπάνω δίκτυα. Διαβάζοντας τους IP headers των πακέτων και διατηρώντας **forwarding tables** τα οποία ανανεώνουν τακτικά για το ποιο δίκτυο υπάρχει σε κάθε πόρτα τους, οι routers βρίσκουν το καλύτερο μονοπάτι για να προωθήσουν το πακέτο.

Ερώτηση 6

Συμφωνείτε με τη δήλωση ότι όσο μεγαλώνει η γεωγραφική απόσταση τόσο αυξάνεται και η καθυστέρηση των πακέτων ώστε να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους; Εξηγείστε.

Όταν αυξάνει η γεωγραφική απόσταση μεταξύ δύο συσκευών, υπάρχει ένα ενδεχόμενο να έχουμε περισσότερους δρομολογητές να «συμμετέχουν» στο μονοπάτι αλλά δεν είναι απαραίτητο ότι η συνολική end-to-end καθυστέρηση θα μεγαλώνει γιατί εξαρτάται από πολλούς στατικούς και δυναμικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, εξαρτάται από την συμφόρηση (μέγεθος της ουράς) που θα υπάρχει στον κάθε δρομολογητή (πχ r_i), τη στιγμή που εισέρχεται στην ουρά το πακέτο από αυτόν τον δρομολογητή r_i . Η συμφόρηση στο δίκτυο είναι ένα καθαρά δυναμικό φαινόμενο. Επίσης το συγκεκριμένο μονοπάτι δρομολόγησης που τελικά θα ακολουθηθεί επιλέγεται δυναμικά και έτσι υπάρχει το ενδεχόμενο να μην είναι το πιο σύντομο, κάποιοι δρομολογητές να είναι πολύ αργοί (και επομένως να “συνεισφέρουν” σε μεγάλη processing καθυστέρηση), ή να είναι mis-configured (και ο αλγόριθμος δρομολόγησης να μην τρέχει σωστά ή το routing table να μην είναι σωστά συμπληρωμένο) ή/και το πακέτο να οδηγηθεί σε “loops”, καθώς επίσης να συμβεί απώλεια του πακέτου στη ζεύξη λόγω της ποιότητας του

καναλιού της ζεύξης. Αυτή η απώλεια μπορεί να οδηγήσει σε αναμεταδόσεις του πακέτου. Οι αναμεταδόσεις που μπορεί να γίνουν εξαρτώνται από τα πρωτόκολλα που τρέχουν στα υψηλότερα επίπεδα. Τέλος, σε μία ζεύξη μπορεί να υπάρχουν πολλές απώλειες πακέτων ή καθυστερήσεις λόγω δυναμικών φαινομένων όπως *shadowing* ή *multi-path*, φαινόμενα τα οποία συμβάλλουν στην αύξηση της συνολικής καθυστέρησης ενός πακέτου. Άλλοι (στατικοί) παράγοντες είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα *inks*/συνδέσεις του μονοπατιού, το οποίο μπορεί να επηρεάσει τόσο την καθυστέρηση μετάδοσης όσο και την καθυστέρηση διάδοσης. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε τη συσκευή s' που είναι σε πολύ μεγαλύτερη γεωγραφική απόσταση από την d από ότι είναι η s από την d , αλλά το μονοπάτι από τον s' στον d να αποτελείται από συνδέσεις υψηλών ταχυτήτων (πχ *Gbit links*) ενώ το μονοπάτι από τον s στον d από συνδέσεις με πολύ χαμηλές ταχύτητες. Τότε η συνολική καθυστέρηση μετάδοσης (*transmission delay*) στο $s' \rightarrow d$ θα είναι πολύ μικρότερη από ότι στο $s \rightarrow d$ και αυτό μπορεί να επηρεάσει και τη συνολική *end-to-end* καθυστέρηση του πακέτου.

Ερώτηση 7

Σε ποιές περιπτώσεις φορτίου των κόμβων σε ένα LAN το TDMA είναι πιο αποδοτικό από το Ethernet; Αν σε ένα LAN υπάρχει μόνο ένας κόμβος που μεταδίδει, ποιο από τα δύο πρωτόκολλα είναι το αποδοτικότερο; (Ως αποδοτικότητα εδώ θεωρείστε το ποσοστό του χρόνου που δεν μένει ανεκμετάλλευτο, δηλαδή όσο λιγότερο μένει *idle* το κανάλι τόσο πιο αποδοτικό είναι το πρωτόκολλο)

Αρχικά ας ορίσουμε την αποδοτικότητα ως το ποσοστό του χρόνου όπου το κανάλι δεν είναι *idle* και γίνονται επιτυχημένες μεταδόσεις. Το TDMA από άποψη εκμετάλλευσης όλου του διαθέσιμου χρόνου είναι πιο αποδοτικό από το Ethernet όταν υπάρχουν πολλοί κόμβοι στο δίκτυο οι οποίοι θέλουν να μεταδώσουν, και αυτό διότι το TDMA θα χωρίσει τον χρόνο σε *timeslots* και θα αναθέσει για κάθε μονάδα χρόνου, ένα σε κάθε έναν κόμβο. Αυτό σημαίνει ότι όσο έχουν πακέτα να μεταδίδουν, όλοι οι κόμβοι θα μεταδίδουν σε κάθε μονάδα χρόνου, για το χρόνο τον οποίο τους έχει ανατεθεί, ενώ ταυτόχρονα όλα τα *timeslots* θα χρησιμοποιούνται, μην αφήνοντας έτσι καθόλου χρόνο ανεκμετάλλευτο. Από την

άλλη, το Ethernet δεν θα είναι το ίδιο αποδοτικό, καθώς το πότε θα μεταδώσει κάθε κόμβος εξαρτάται από το backoff το οποίο διαλέγει μετά από κάθε collision. Έτσι, υπάρχει πάντα πιθανότητα να μείνει χρόνος ανεκμετάλλευτος, αν οι κόμβοι διαλέγουν μεγάλα backoffs. Εάν υπάρχουν πολλοί κόμβοι σε ένα δίκτυο αλλά μόνο ένας μεταδίδει, τότε το TDMA θα είναι πολύ λιγότερο αποδοτικό από πλευράς αξιοποιήσιμου χρόνου, καθώς αυτός ο κόμβος θα στέλνει μόνο στο timeslot που του έχει ανατεθεί, ενώ όλα τα υπόλοιπα timeslots των υπόλοιπων κόμβων θα μένουν ανεκμετάλλευτα. Αντίθετα το Ethernet θα είναι πολύ πιο αποδοτικό καθώς αφού υπάρχει μόνο ένας κόμβος με δεδομένα για μετάδοση, αυτός θα μεταδίδει συνεχώς μιας και δεν θα υπάρχουν συγκρούσεις με άλλους κόμβους.

Ερώτηση 8

Το διαδίκτυο στη σημερινή του μορφή είναι packet switched. Σκεφτείτε και αναφέρετε πώς θα μπορούσε να λειτουργήσει ως circuit switched καθώς και τα προβλήματα που θα προέκυπταν. Πώς θα εξοπλίζατε επιπρόσθετα τους κόμβους (switches,routers) στο διαδίκτυο; Τι ενέργειες θα έπρεπε να κάνουν τα τερματικά; Ποια προβλήματα θα δημιουργούνταν σε συνθήκες μεγάλης κίνησης;

Η έννοια του circuit switching δικτύου περιλαμβάνει την εγκαθίδρυση ενός μονοπατιού από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Για να λειτουργήσει το διαδίκτυο με αυτό τον τρόπο, όταν ένα τερματικό θέλει να επικοινωνήσει με κάποιο άλλο τερματικό στο ίντερνετ, θα έπρεπε πρώτα να εγκαθιδρύσει ένα μονοπάτι προς αυτό. Ένας τρόπος θα ήταν να έστελνε αρχικά ο αποστολέας ένα setup πακέτο, το οποίο θα έφτανε μέσω packet switching μεθόδου στον παραλήπτη, και το οποίο θα ενημέρωνε όλα τα routers στο μονοπάτι για τους κόμβους στους οποίους θα δρομολογούν τα πακέτα του συγκεκριμένου αποστολέα. Αυτό θα σήμαινε ότι θα έπρεπε να προστεθεί επιπλέον λειτουργικότητα στους routers του διαδικτύου, όπως περισσότερη μνήμη προκειμένου να κρατούν την πληροφορία για όλα τα ενεργά μονοπάτια τα οποία εξυπηρετούν σε κάθε χρονική στιγμή, καθώς και περισσότερη επεξεργαστική ισχύς. Και επειδή οι πόροι ενός router δεν μπορεί να είναι ανεξάντλητοι, ο αριθμός των μονοπατιών που μπορεί να αποθηκεύσει στη μνήμη του (και άρα τα μονοπάτια τα οποία μπορεί να εξυπηρετήσει), είναι περιορισμένος, κάτι που σημαίνει πως από ένα σημείο και μετά ένας router δεν θα μπορεί να εξυπηρετήσει επιπλέον κόμβους, οι οποίοι μπορεί να καταλήξουν να μην εξυπηρετούνται καθόλου, ή να

εξυπηρετηθούν μετά από πολλή ώρα εάν υπάρχει μεγάλη κίνηση στο διαδίκτυο.
Για περισσότερες πληροφορίες: ATM protocol

Ερώτηση 9

Για ποιο λόγο είναι απαραίτητη η χρήση του πρωτοκόλλου ARP σε ένα τοπικό δίκτυο; Αναφέρετε κάποιους εναλλακτικούς τρόπους με τους οποίους θα μπορούσε να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα.

Το ARP πρωτόκολλο δουλεύει ως εξής: Ο κόμβος που αναζητά τη MAC διεύθυνση που αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη IP διεύθυνση περνά ένα πακέτο ARP ερωτήματος στον προσαγωγέα μαζί με μία ένδειξη ότι ο προσαρμογέας πρέπει να στείλει το πακέτο στη διεύθυνση εκπομπής MAC, δηλαδή στην FF-FF-FF-FF-FF-FF. Ο προσαρμογέας ενθυλακώνει το πακέτο ARP μέσα σε ένα πλαίσιο ζεύξης δεδομένων, χρησιμοποιεί την διεύθυνση εκπομπής για τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου και εκπέμπει το πλαίσιο μέσα στο υποδίκτυο. Το πλαίσιο που περιέχει το ερώτημα ARP λαμβάνεται από όλους τους άλλους προσαρμογείς στο LAN και (λόγω της διεύθυνσης εκπομπής) κάθε προσαρμογέας περνά το πακέτο ARP μέσα στο πλαίσιο, σε μια μονάδα ARP στον κόμβο του. Κάθε κόμβος ελέγχει ώστε να δει αν η διεύθυνση IP του ταιριάζει με τη διεύθυνση IP μέσα στο πακέτο ARP. Ο κόμβος που ταιριάζει περισσότερο στέλνει πίσω στον κόμβο που έκανε το ερώτημα ένα πακέτο ARP απόκρισης με την επιθυμητή αντιστοίχιση. Ο κόμβος που έκανε το ερώτημα μπορεί κατόπιν να ενημερώσει τον πίνακα του ARP και να στείλει το δεδομένογραμμα IP, ενθυλακωμένο μέσα σε ένα πλαίσιο επιπέδου ζεύξης, η διεύθυνση MAC του οποίου είναι η διεύθυνση του κόμβου που αντιστοιχεί στο προηγούμενο ερώτημα ARP.

Μία εναλλακτική υλοποίηση η οποία θα απέφευγε τη χρήση broadcast μηνυμάτων τα οποία βλέπουν όλοι οι κόμβοι, θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη χρήση multicast πακέτων, δηλαδή πακέτων τα οποία θα πήγαιναν μόνο σε ένα συγκεκριμένο group κόμβων κάποιος εκ των οποίων θα ήταν ο ζητούμενος. Για περισσότερες πληροφορίες : IPv6 neighbour solicitation

Άσκηση 1

α) Θεωρείστε δύο κόμβους Α και Β οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με μία απευθείας σύνδεση και βρίσκονται σε απόσταση 800 χλμ. Ο Α στέλνει στον Β ένα πακέτο μεγέθους 1200 bytes. Ο ρυθμός με τον οποίο στέλνονται δεδομένα πάνω από τη σύνδεση είναι 3 Mbps. Πόσος χρόνος θα χρειαστεί ώστε να φτάσει όλο το πακέτο στον Β;

Απ:

$$t = d_{prop} + d_{trans}$$

$$t = \frac{800000}{3 \cdot 10^8} + \frac{1200 \cdot 8}{3 \cdot 10^6}$$

$$t = 0.0026 + 0.0032 = 6ms$$

β) Έστω ότι ο Α θέλει να στείλει ένα αρχείο μεγέθους 20 MB στον Β. Το αρχείο μεταδίδεται σε πακέτα των 1050 bytes εκ των οποίων τα 50 bytes είναι header.

1) Πόσος χρόνος απαιτείται ώστε να φτάσει ολόκληρο το αρχείο στον Β;

2) Υπολογίστε το goodput από τον Α στον Β.

Απ 1:

Θα χρειαστούν 20000 πακέτα για τη μεταφορά του αρχείου, άρα

$$t = d_{prop} + d_{trans} \cdot 20000$$

$$t = 0.00266 + 20000 \cdot \left(\frac{1050 \cdot 8}{3 \cdot 10^6} \right)$$

$$t = 56.0026s$$

Απ 2:

Ξέρουμε ότι Rate= 3Mbps, δηλαδή σε 1 second 3000000 bits μεταδίδονται.

Πόσα πακέτα των 1050 bytes περιέχονται σε αυτά τα 3000000 bits?

$$packets = \frac{3000000}{1050 \cdot 8} = 357.14$$

Πόσο είναι το payload αυτών των πακέτων;

$$payload = 357.14 \cdot 1000 \cdot 8 = 2850000 \text{ bits}$$

Άρα $goodput = 2.85Mbps$

γ) Έστω τώρα ότι ο Α θέλει να στείλει το ίδιο αρχείο με το ερώτημα β, αλλά ο Β μόλις λάβει ένα πακέτο και αφού το επεξεργαστεί για 1 ms αποστέλλει στον Α ένα πακέτο αναγνώρισης (acknowledgment) μεγέθους 30 bytes. Σε πόσο χρόνο από την έναρξη της αποστολής θα λάβει ο Α το acknowledgment του τελευταίου πακέτου που έστειλε;

Απ:

Ο χρόνος που χρειάζεται το ack για να φτάσει από τον Β στον Α είναι:

$$d_{ack} = d_{prop} + d_{trans}$$

$$0.00266 + \frac{30 \cdot 8}{3 \cdot 10^6}$$

$$0.00274s$$

Ας προσθέσουμε και το χρόνο επεξεργασίας 1ms:

$$d_{ack} = 0.00374s$$

Για ένα πακέτο ο Α παίρνει ACK μετά από χρόνο (d_{trans} και d_{prop} είναι αυτά του προηγούμενου ερωτήματος αφού μιλάμε για τα ίδια πακέτα):

$$t = d_{prop} + d_{trans} + d_{ack}$$

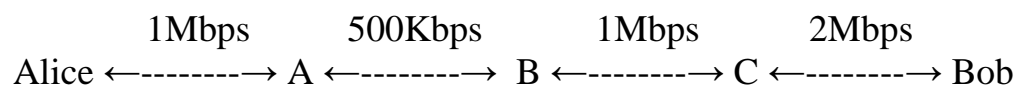
$$0.0026 + 0.0028 + 0.00374$$

$$0.00914s$$

Έχουμε 20000 πακέτα, άρα ο συνολικός ζητούμενος χρόνος θα είναι:

$$t_{total} = 20000 \cdot 0.00914 = 182.8s$$

Άσκηση 2



Έστω το παραπάνω δίκτυο στο οποίο η Alice και ο Bob συνδέονται μεταξύ τους μέσω τριών ενδιάμεσων κόμβων με το bandwidth καθενός από τα λινκ να

φαίνονται στο σχήμα. Θεωρείστε ότι ο χρόνος διάδοσης για 1 πακέτο σε κάθε link είναι 2ms.

α) Αν η Alice στείλει τέσσερα πακέτα από 1000 bytes, το ένα ακριβώς μετά το άλλο, υπολογίστε το χρόνο που θα χρειαστεί μέχρι να φτάσουν όλα στον Bob.

Απ:

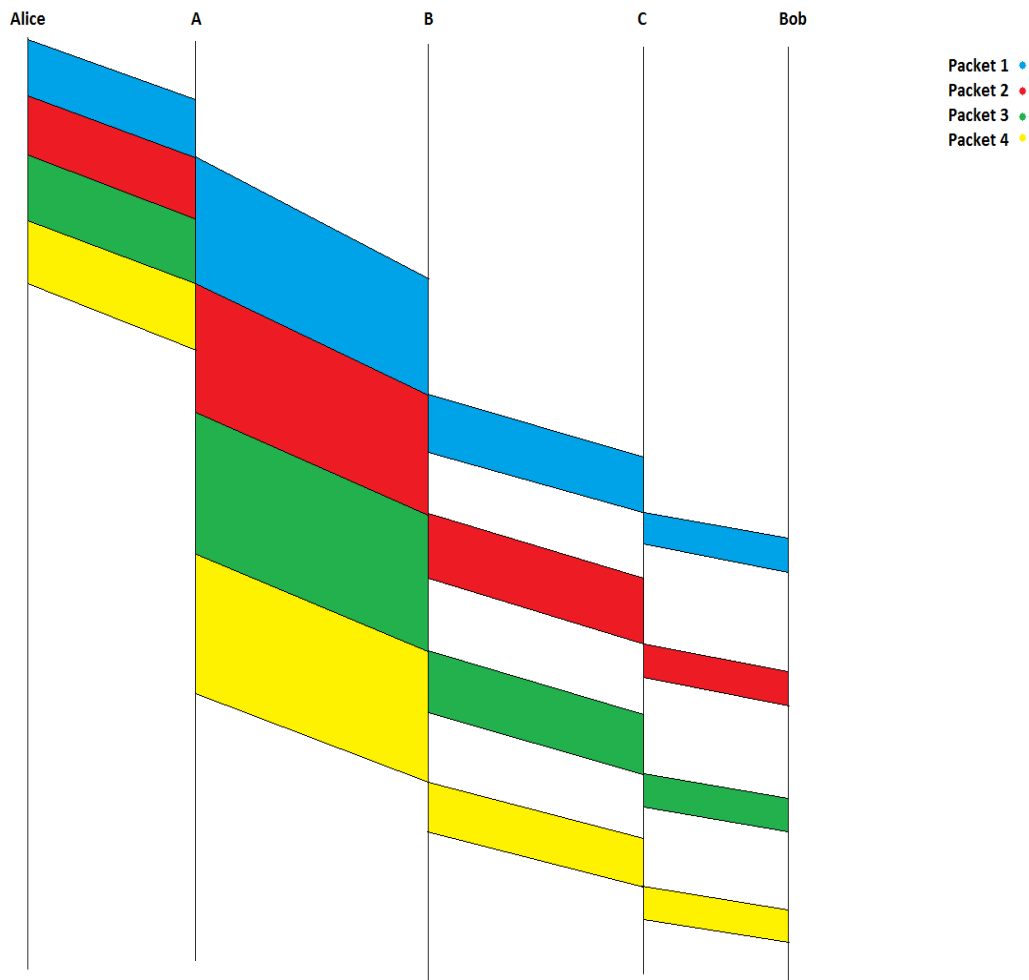
Αρχικά ας υπολογίσουμε τα d_{trans} για όλα τα links:

$$d_{trans}^{Alice \rightarrow A} = \frac{1000 * 8}{10^6} = 8ms$$

$$d_{trans}^{A \rightarrow B} = \frac{1000 * 8}{5 * 10^5} = 16ms$$

$$d_{trans}^{B \rightarrow C} = \frac{1000 * 8}{10^6} = 8ms$$

$$d_{trans}^{C \rightarrow Bob} = \frac{1000 * 8}{2 * 10^6} = 4ms$$



Από το παραπάνω σχεδιάγραμμα βλέπουμε ότι ο ζητούμενος χρόνος ισούται με τη χρονική στιγμή στην οποία το τελευταίο πακέτο φτάνει στον Bob. Όπως βλέπουμε, το τελευταίο πακέτο δεν έχει αναμονή σε κανένα κόμβο εκτός του A, στον οποίο περιμένει καθώς η επόμενη ζεύξη είναι πιο αργή από αυτή από την οποία ήρθε. Για να βρούμε λοιπόν το ζητούμενο χρόνο, αρκεί να βρούμε τη χρονική στιγμή την οποία ξεκινάει να στέλνεται, το χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο χωρίς καθυστερήσεις ώστε να πάει από την Alice στο Bob, και την καθυστέρηση που έχει το τελευταίο πακέτο στον A. Θεωρούμε ότι το πρώτο πακέτο ξεκινάει να στέλνεται τη χρονική στιγμή $\tau = 0$. Ας βρούμε αρχικά το χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να πάει από την Alice στο Bob:

$$t = d_{trans}^{Alice \rightarrow A} + d_{trans}^{A \rightarrow B} + d_{trans}^{B \rightarrow C} + d_{trans}^{C \rightarrow Bob} + 4 * d_{prop}$$

$$t = 8 + 16 + 8 + 4 + 8 = 44ms$$

Ο χρόνος στον οποίο το τελευταίο πακέτο ξεκινάει να στέλνεται από την Alice, ισούται με το d_{trans} των τριών πρώτων πακέτων, άρα

$$t_{start} = 24ms$$

Για να βρούμε την καθυστέρηση του πακέτου στον A, αρκεί να παρατηρήσουμε ότι το link A->B έχει το υποδιπλάσιο rate, που σημαίνει ότι και το d_{trans} των πακέτων είναι διπλάσιο. Τη στιγμή λοιπόν που φτάνει το τελευταίο πακέτο στον A, βλέπουμε από το σχεδιάγραμμα ότι ο A είναι στη μέση της μετάδοσης του 2^{ου} πακέτου, άρα για να ξεκινήσει να μεταδίδει το τρίτο θα περάσει χρόνος ίσος με $1.5 d_{trans}^{A \rightarrow B}$ (όσο δηλαδή χρειάζεται για να μεταδοθεί το μισό δεύτερο πακέτο και όλο το 3^ο), άρα έχουμε ότι

$$t_{wait} = 1.5 * 16 = 24ms$$

Ο συνολικός χρόνος λοιπόν που απαιτείται ώστε να φτάσει το τελευταίο πακέτο στο Bob είναι:

$$t_{total} = t + t_{start} + t_{wait} = 92ms$$

β) Υποθέστε τώρα ότι κάθε ένας ενδιάμεσος κόμβος έχει buffers οι οποίοι κρατάνε μέχρι 5 πακέτα. Αν ένα πακέτο έρθει και ο buffer έχει γεμίσει, τότε το πακέτο αγνοείται και δεν συνεχίζει μέχρι τον προορισμό. Αν ένα το πρώτο bite ενός πακέτου αρχίσει να μεταδίδεται, τότε το πακέτο θεωρούμε ότι έχει φύγει από τον buffer, άρα σε κάθε χρονική στιγμή μπορούν στον κόμβο να βρίσκονται 6 πακέτα: 5 στον buffer και ένα που μεταδίδεται. Με βάση τα παραπάνω, υπολογίστε τη μέγιστη καθυστέρηση ενός πακέτου 1500 bytes από την Alice στον Bob και το αντίστροφο.

Απ:

Αρχικά και πάλι ας υπολογίσουμε τα d_{trans} για όλα τα links:

$$d_{trans}^{Alice \rightarrow A} = \frac{1500 * 8}{10^6} = 12ms$$

$$d_{trans}^{A \rightarrow B} = \frac{1500 * 8}{5 * 10^5} = 24ms$$

$$d_{trans}^{B \rightarrow C} = \frac{1500 * 8}{10^6} = 12ms$$

$$d_{trans}^{C \rightarrow Bob} = \frac{1500 * 8}{2 * 10^6} = 6ms$$

και ο συνολικός χρόνος για ένα πακέτο να φτάσει από την Alice στο Bob ή αντίστροφα είναι:

$$t_{packet} = d_{trans}^{Alice \rightarrow A} + d_{trans}^{A \rightarrow B} + d_{trans}^{B \rightarrow C} + d_{trans}^{C \rightarrow Bob} + 4 * d_{prop} = 62ms$$

Η συνολική καθυστέρηση ενός πακέτου χωρίς κίνηση στο δίκτυο είναι η ίδια τόσο από την Alice στο Bob όσο και το αντίστροφο. Η σημαντική παρατήρηση εδώ είναι ότι όταν υπάρχει κίνηση στο δίκτυο, οι μόνοι buffers που μπορούν να γεμίσουν είναι αυτοί στους οποίους η εισερχόμενη ζεύξη είναι πιο γρήγορη από την εξερχόμενη. Στο μονοπάτι από την Alice στο Bob ο μόνος κόμβος στον οποίο έχουμε buffering είναι ο A καθώς είναι ο μόνος που έχει εισερχόμενη ζεύξη πιο γρήγορη από εξερχόμενη. Αντίθετα, στο μονοπάτι από το Bob στην Alice υπάρχουν δύο κόμβοι στους οποίους υπάρχει αυτό το φαινόμενο: ο C και ο B. Άρα οι ζητούμενες καθυστερήσεις είναι οι εξής:

$$d_{Alice \rightarrow Bob} = t_{packet} + 5 * d_{trans}^{A \rightarrow B} = 182ms$$

$$d_{Bob \rightarrow Alice} = t_{packet} + 5 * d_{trans}^{C \rightarrow B} + 5 * d_{trans}^{B \rightarrow A} = 242ms$$

$$\text{όπου } d_{trans}^{X \rightarrow Y} = d_{trans}^{Y \rightarrow X}$$

Ερώτηση 3

Υποθέστε ότι η Alice και ο Bob συνδέονται μεταξύ τους με ένα μονοπάτι που περιλαμβάνει 10 links και άρα 9 switches καθένα με capacity B bps και έστω ότι το propagation delay σε κάθε ζεύξη είναι 2ms. Το μέγιστο μέγεθος πακέτου που

μπορεί να μεταφερθεί είναι D bits, εκ των οποίων h είναι το μέγεθος του header. Το M διαιρείται ακέραια από το p . Έστω ότι η Alice θέλει να στείλει ένα αρχείο μεγέθους M bits στον Bob.

α) Βρείτε μία εξίσωση που περιγράφει το χρόνο που θα χρειαστεί το αρχείο της Alice για να φτάσει στο Bob, υποθέτοντας ότι το δίκτυο είναι packet-switched με store and forward switches (δηλαδή το switch περιμένει να του έρθουν όλα τα bits του πακέτου προτού ξεκινήσει να το στέλνει στην επόμενη ζεύξη), και εξηγήστε τη.

Απ:

Το αρχείο θα χωριστεί σε N πακέτα όπου $N = \frac{M}{P}$.

Η καθυστέρηση μετάδοσης σε κάθε λινκ είναι $d_{trans} = \frac{D}{B}$

Ο χρόνος που χρειάζεται το πρώτο πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του ισούται με $\frac{10 * D}{B} + 10 * 0.002$

Ο χρόνος που χρειάζεται από κει και μετά για να ληφθεί όλο το αρχείο ισούται με

$$\frac{\left(\frac{M}{P} - 1\right) * D}{B}$$

Άρα τελικά η ζητούμενη εξίσωση είναι:

$$\frac{10 * D}{B} + \frac{\left(\frac{M}{P} - 1\right) * D}{B} + 10 * 0.002$$

β) Υποθέστε τώρα ότι τα switches δεν είναι store and forward, αλλά περιμένουν να καταφτάσουν h bits τα οποία και στέλνουν στη ζεύξη απευθείας, χωρίς να περιμένουν δηλαδή για όλο το πακέτο. Βρείτε και πάλι μια συνάρτηση που δίνει το χρόνο που χρειάζεται το παραπάνω αρχείο M bits για να φτάσει στο Bob και εξηγήστε.

Απ:

Επειδή πλέον οι κόμβοι δεν περιμένουν για όλο το πακέτο να έρθει προτού ξεκινήσουν να το μεταδίδουν, αλλά περιμένουν μόνο τα h πρώτα bits, μας

ενδιαφέρει πλέον το dtrans όχι για όλο το πακέτο D αλλά για το h. Ο χρόνος από τη στιγμή που θα έρθει το πρώτο bit του πρώτου πακέτου στον προορισμό, μέχρι το τελευταίο bit του τελευταίου πακέτου, ισούται με

$$\frac{\frac{M}{P} * D}{B}$$

Ο χρόνος από τη στιγμή που ξεκινάει να στέλνεται το πρώτο πακέτο από την πηγή μέχρι να φτάσει το πρώτο bit του στον προορισμό ισούται με

$$10 * 0.002 + \frac{9 * h}{B}$$

Άρα η ζητούμενη εξίσωση είναι:

$$\frac{\frac{M}{P} * D}{B} + \frac{9 * h}{B} + 10 * 0.002$$

γ) Ας δούμε τώρα πώς συμπεριφέρεται ένα circuit-switching δίκτυο. Όταν η Alice θελήσει να στείλει το αρχείο στον Bob, του στέλνει πρώτα ένα setup πακέτο μεγέθους k bits, το οποίο λέει σε όλα τα switch στη διαδρομή ότι τα δεσμεύει για αποκλειστική της χρήση, ζητώντας έτσι το μέγιστο capacity που μπορούν να διαθέσουν. Μέχρι το πακέτο να φτάσει στον Bob τα switches λειτουργούν κανονικά σαν store and forward switches όπως στο πρώτο ερώτημα. Μόλις ο Bob λάβει το πακέτο αυτό, τα switches σταματούν να κάνουν store and forward: πλέον κάθε bitto οποίο φτάνει στην είσοδό τους, βγαίνει απευθείας στην έξοδο. Ο Bob λοιπόν στέλνει πίσω στην Alice αυτό το k-length πακέτο για να την ενημερώσει ότι το μονοπάτι έχει εγκαθιδρυθεί, και η Alice ξεκινάει να στέλνει το αρχείο χωρίς να προσθέτει headers αφού πλέον δε χρειάζονται μιας και το μονοπάτι προς τον Bob είναι δικό της. Βρείτε και πάλι μια εξίσωση που περιγράφει πόσο χρόνο θα χρειαστεί η Alice για να στείλει το πακέτο στο Bob, ξεκινώντας από την αρχή της διαδικασίας (μην ξεχάσετε να συμπεριλάβετε το setup πακέτο στους υπολογισμούς σας).

Απ:

Ο χρόνος που χρειάζεται το setup πακέτο για να πάει από την Alice στο Bob είναι

$$10 * 0.002 + \frac{10 * k}{B}$$

Στην επιστροφή του, και με τα switches να μην είναι store and forward αλλά κάθε bit τους έρχεται να το στέλνουν στην έξοδο, ο χρόνος που κάνει το setup πακέτο είναι

$$10 * 0.002 + \frac{k}{B}$$

Στη συνέχεια ξεκινάει να στέλνεται το αρχείο, το οποίο θα έχει φτάσει στο Bob σε χρόνο

$$10 * 0.002 + \frac{M}{B}$$

Άρα η τελική συνάρτηση προσθέτοντας όλες τις προηγούμενες είναι

$$\frac{11 * k}{B} + \frac{M}{B} + 30 * 0.002$$

δ) Αν $k=200$ bytes, $Z=10$, $B=30$ Mbps, $D=1550$ bytes και $h=50$ bytes

1) Ποιό από τα παραπάνω δίκτυα θα μεταφέρει πιο γρήγορα ένα αρχείο 3000 bytes?

2) Ποιό από τα παραπάνω δίκτυα θα μεταφέρει πιο γρήγορα ένα αρχείο 30MB?

Απ:

Απλή αντικατάσταση στους παραπάνω τύπους

Άσκηση 4

Οι συσκευές A και B είναι συνδεδεμένες στο Ethernet και έχουν **δύο** πακέτα να στείλουν η κάθε μια. Υποθέτουμε ότι τα πακέτα είναι ίδιου μεγέθους, τέτοιου ώστε η μετάδοση τους μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε τ ms. Δεν υπάρχουν άλλες συσκευές στο Ethernet στο οποίο είναι συνδεδεμένες που να θέλουν να στείλουν εκείνη την περίοδο. Ας υποθέσουμε ότι τη χρονική στιγμή T οι δύο αυτές συσκευές στέλνουν *ταυτόχρονα* το πακέτο και *υπάρχει σύγκρουση* (packet collision). Ας θεωρήσουμε ότι η λέξη “slot” αναφέρεται στην ελάχιστη χρονική περίοδος που χρειάζεται για την μετάδοση του πακέτου. Με ποιά πιθανότητα ο B θα έχει ολοκληρώσει τις μεταδόσεις του πριν την χρονική στιγμή $T + 4\tau$;

Απ:

Υπάρχουν δύο σενάρια τα οποία οδηγούν στο να στείλει ο B και τα δύο πακέτα πριν τη χρονική στιγμή $T+4t$

Το πρώτο,

	Θυρίδα 0	Θυρίδα 1	Θυρίδα 2	Θυρίδα 3
A	Μετάδοση A1	αναμονή	Μετάδοση A1	αναμονή
B	Μετάδοση B1	Μετάδοση B1	Μετάδοση B2	Μετάδοση B2
Γεγονός, & Λειτουργία του κάθε κόμβου μετά το γεγονός	Σύγκρουση A: backoff{0,1} -> επιλογή 1 B: backoff {0,1} -> Επιλογή 0	Επιτυχημένη μετάδοση	Σύγκρουση A: backoff {0,1,2,3} Επιλογή 1 ή 2 ή 3. B: backoff {0,1}, Επιλογή 0	Επιτυχημένη μετάδοση

Στη θυρίδα 0 η πιθανότητα ο A να διαλέξει 1 από το backoff window του είναι $\frac{1}{2}$ και η πιθανότητα ο B να επιλέξει 0 είναι επίσης $\frac{1}{2}$ (από δύο πιθανές επιλογές επιλέγουν μία με ίση πιθανότητα). Στη θυρίδα 2 η πιθανότητα ο A να διαλέξει 1,2 ή 3 είναι $\frac{3}{4}$ ενώ η πιθανότητα ο B να διαλέξει 0, είναι $\frac{1}{2}$. Άρα η συνολική πιθανότητα είναι:

$$P(\Sigma_1) = \frac{1}{2} * \frac{1}{2} * \frac{1}{2} * \frac{3}{4}$$

Το δεύτερο σενάριο είναι το εξής:

	Θυρίδα 0	Θυρίδα 1	Θυρίδα 2	Θυρίδα 3
A	Μετάδοση A1	Μετάδοση A1	αναμονή	αναμονή
B	Μετάδοση B1	Μετάδοση B1	Μετάδοση B1	Μετάδοση B2
Γεγονός, & Λειτουργία του κάθε κόμβου μετά το γεγονός	Σύγκρουση A: backoff{0,1} -> επιλογή 0 B: backoff {0,1} -> Επιλογή 0	Σύγκρουση A: backoff {0,1,2,3} Επιλογή 2 ή 3. B: backoff {0,1,2,3} Επιλογή 0	Επιτυχημένη μετάδοση	Επιτυχημένη μετάδοση

Όπου με παρόμοιο τρόπο βρίσκουμε οτι

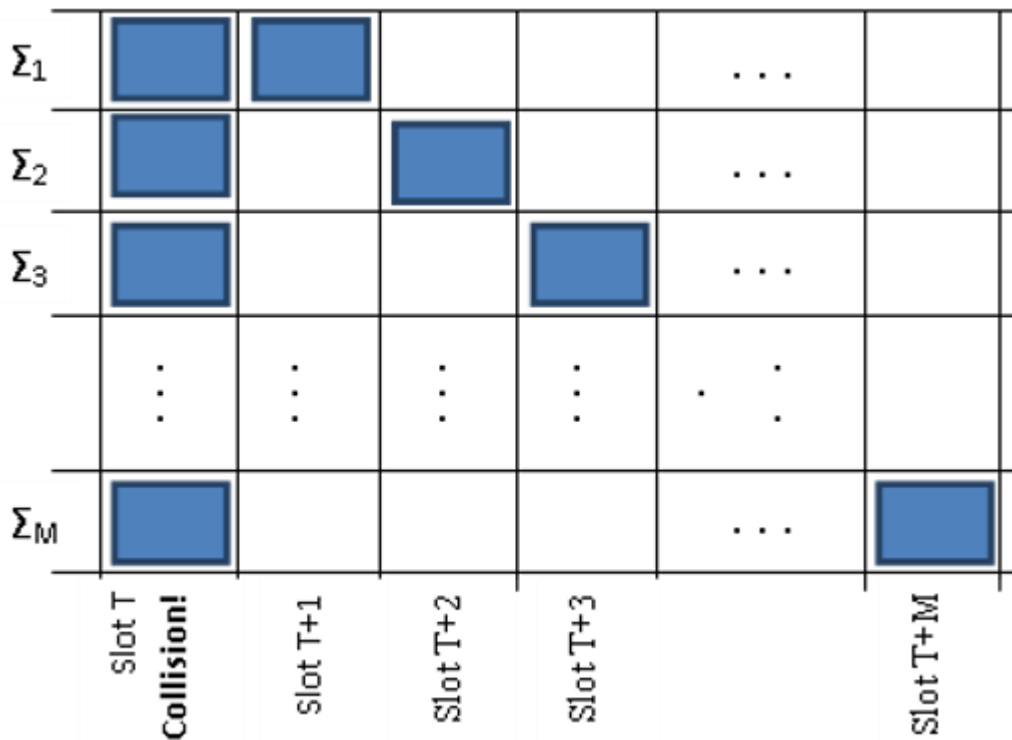
$$P(\Sigma_2) = \frac{1}{2} * \frac{1}{2} * \frac{2}{4} * \frac{1}{4}$$

Άρα η συνολική πιθανότητα είναι

$$P(\Sigma) = P(\Sigma_1) + P(\Sigma_2)$$

Άσκηση 5

Έχετε μια ζεύξη που τρέχει το slotted Aloha στο οποίο M συσκευές $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_M$, προσπαθούν να στείλουν η κάθε μια ένα πακέτο τη χρονική θυρίδα T . Η κάθε συσκευή έχει ακριβώς ένα πακέτο να στείλει, και μόλις το στείλει με επιτυχία, γίνεται «ανενεργή/σιωπηλή» (idle) για πάντα. Υπολογίσετε την πιθανότητα για την οποία η **κάθε** συσκευή Σ_i να στείλει επιτυχημένα το πακέτο της την χρονική στιγμή $T+i$, **για κάθε** $i=1, \dots, M$, αντίστοιχα.



Ψάχνουμε την πιθανότητα ο πρώτος κόμβος να μεταδώσει στο slot 1 ο δεύτερος στο slot 2 κ.ο.κ. Ορίζουμε ως p την πιθανότητα ένας κόμβος να μεταδώσει και ως $(1-p)$ την πιθανότητα να μην μεταδώσει. Θέλουμε ο κόμβος να μεταδώσει στο πρώτο slot. Αυτό θα γίνει με πιθανότητα p . Στη συνέχεια θέλουμε ο δεύτερος κόμβος να μεταδώσει στο slot 2, δηλαδή να μην μεταδώσει στο πρώτο και να μεταδώσει στο δεύτερο. Αυτό γίνεται με πιθανότητα $(1-p)*p$. Με παρόμοιο τρόπο, θέλουμε ο τρίτος να μεταδώσει στο τρίτο slot, δηλαδή να μην μεταδώσει στα δύο πρώτα και να μεταδώσει στο τρίτο, και αυτό θα γίνει με πιθανότητα

$(1-p) \cdot (1-p) \cdot p$. Από αυτά βλέπουμε ότι η πιθανότητα ένας κόμβος i να μεταδίδει στο slot i είναι :

$$P(E_i) = p \cdot (1 - p)^{i-1}$$

Έτσι η συνολική πιθανότητα είναι:

$$\begin{aligned} P &= \prod_{i=1}^M P(E_i) \\ P &= p(1-p)^0 \cdot p(1-p)^1 \cdot \dots \cdot p(1-p)^{M-1} \\ P &= p^M (1-p)^{0+1+2+\dots+(M-1)} \\ P &= p^M (1-p)^{\sum_{i=1}^M (i) - M} \\ P &= p^M (1-p)^{\frac{M(1+M)}{2} - M} \\ P &= p^M (1-p)^{\frac{1}{2}M(M-1)} \end{aligned}$$