



UNIVERSITY OF  
**PATRAS**  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**

*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*

**ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ**

---

---

**PACKET SWITCHING**

---

---

**ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ ΡΑΓΚΑΒΑΝΗΣ**

**5884**

*ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ*

**ΠΑΤΡΑ 2017**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

|   |    |
|---|----|
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....   | 2  |
| ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ .....   | 4  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....                        | 5  |
| 1.1 ΑΡΧΗ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ.....                                   | 5  |
| 1.2 ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ .....                             | 8  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: CIRCUIT VS PACKET SWITCHING .....             | 11 |
| 2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ CIRCUIT SWITCHING .....                   | 11 |
| 2.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ PACKET SWITCHING .....                    | 13 |
| 2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΛΟΓΟΙ ΧΡΗΣΗΣ PACKET SWITCHING ..... | 14 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΟΙ ΜΕΤΑΓΩΓΕΙΣ ΠΑΚΕΤΩΝ.....    | 15 |
| 3.1 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΝΙΚΟΥ PACKET SWITCH.....        | 15 |
| 3.2 ETHERNET SWITCH.....                                  | 16 |
| 3.3 INTERNET ROUTER .....                                 | 17 |
| 3.4 LOOKUP ADDRESS OPERATION .....                        | 17 |
| 3.4.1 ETHERNET SWITCH.....                                | 17 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.4.2 INTERNET ROUTER .....</b>                                  | <b>18</b> |
| <b>3.5 FORWARDING OPERATION .....</b>                               | <b>20</b> |
| <b>3.5.1 OUTPUT QUEUEING .....</b>                                  | <b>20</b> |
| <b>3.5.2 INPUT QUEUEING .....</b>                                   | <b>21</b> |
| <b>3.5.3 VIRTUAL OUTPUT QUEUEING .....</b>                          | <b>22</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΓΩΓΕΩΝ .....</b>    | <b>25</b> |
| <b>4.1 ΚΑΘΗΣΤΕΡΗΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ .....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>4.2 ΚΑΘΗΣΤΕΡΗΣΗ ΠΑΚΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ .....</b> | <b>25</b> |
| <b>4.2.1 PACKETIZATION DELAY .....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>4.2.2 END TO END DELAY .....</b>                                 | <b>26</b> |
| <b>4.2.3 ARRIVAL PROCESSES OF QUEUES .....</b>                      | <b>27</b> |
| <b>4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ PLAYBACK BUFFER .....</b>                         | <b>28</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>  | <b>28</b> |

# ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

---

ARP = Address Resolution Protocol

BM = Buffer Memory

CERN = European Organization for Nuclear Research

DA = Destination Address

DARPA= Defense Advances Research Projects Agency

EL = Egress Link

FT = Forwarding Table

IP = Internet Protocol

LA = Lookup Address

MIT = Massachousete Institute of Technology

QR = Queue Packet

TCAM = Ternary Content Addressable Memory

TCP = Transmission Control Protocol

TTL = Time To Live

UCLA = University of California Los Angeles

UCSB = University of California Santa Barbara

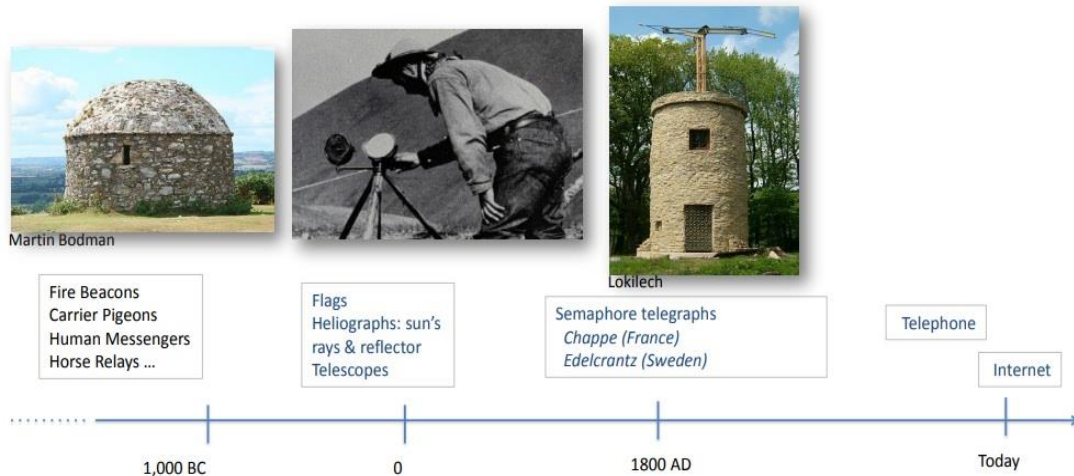
UDP = User Datagram Protocol

UH = Update Header

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

## 1.1 Αρχή της δικτύωσης

Ας αρχίσουμε λοιπόν με το πώς μεταδίδονταν τα μηνύματα σε μεγάλες αποστάσεις από την πρώτη μας κίολας αποδεδειγμένη επικοινωνία τέτοιου είδους. Η πρώτη καταγεγραμμένη επικοινωνία μεγάλης απόστασης ήταν το 1000 π.Χ όταν για σκοπούς μετάδοσης αμυντικών ή επιθετικών σημάτων εν καιρούς πολέμων, χρησιμοποιούνταν πύρινοι πυρσοί μεγάλου μεγέθους. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχανόταν η σήμανση για ενδεχόμενη επίθεση εχθρών, την άφιξη εχθρικών στρατευμάτων ή την συγχρονισμένη επίθεση κατά του εχθρού.

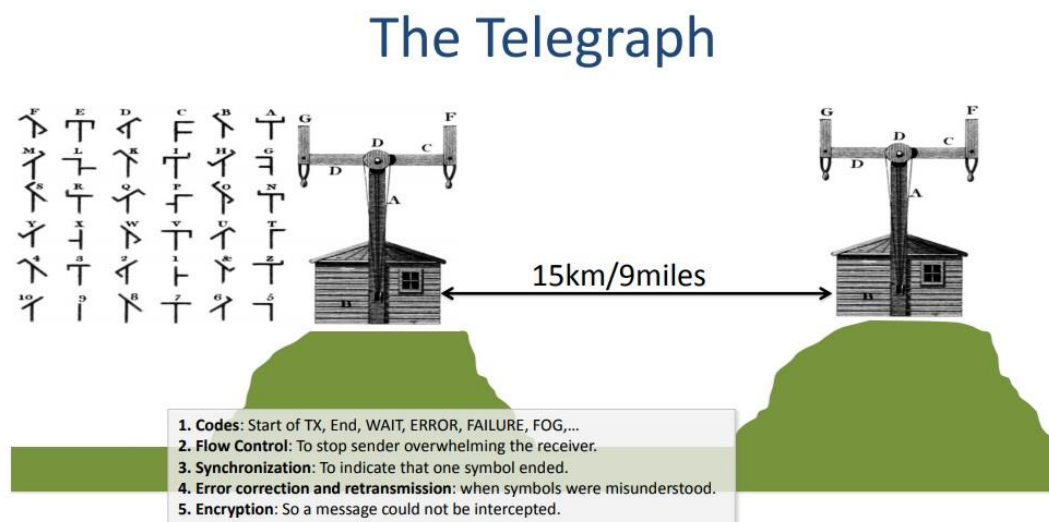


εικόνα 1

Ο τρόπος αυτός αποδείχθηκε ιδιαίτερα γρήγορος, αφού γίνεται η χρήση του φωτός ως μέσο μετάδοσης. Ταυτοχρόνως είναι εξαιρετικά αποτελεσματικός στην διάρκεια της νύχτας αλλά ελάχιστα πληροφοριακός αφού ο πυρσός μπορεί να είναι ή αναμένος ή σβηστός. Στην συνέχεια κατά τα χρόνια έγινε χρήση τρόπων όπως τα περιστέρια και ανθρώπων οι οποίοι μετέφεραν οι ίδιοι την πληροφορία προς μετάδοση με χρήση αλόγων ή άλλων τέτοιων μέσων. Όμως οι τρόποι αυτοί

αποδείχθηκαν ως περισσότερο πληροφοριακοί μιας και μεταδίδοταν περισσότερη πληροφορία αλλά πολύ πιο αργοί ή πιο ανασφαλείς. Τα πιο παλαιά συστήματα μετάδοσης ήταν άλογα στην Αίγυπτο και στην Κίνα 2 με 3 χιλιάδες χρόνια πριν τα οποία όμως χρησιμοποιήθηκαν για πάρα πολλά χρόνια. Κατά τον 13<sup>ο</sup> αιώνα ο Μάρκο Πόλο περιέγραψε πως ο Μόγγολος Αρχιστράτηγος Kublai Khan χρησιμοποίησε σταθμούς αλόγων. Ο στρατός του διέθετε σταθμούς κάθε 40 χιλιόμετρα και είχε στο σύνολό του 400 άλογα και ιππείς έτοιμους για αποστολές. Μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ο τρόπος αυτός χρησιμοποιήθηκε από τις υπηρεσίες παράδοσης δεμάτων και γραμμάτων στις ΗΠΑ. Άρα βλέπουμε κάποιους περιορισμούς που προέκυπταν είτε από μικρή μεταδιδόμενη πληροφορία και μικρή απόσταση στην περίπτωση των πυρσών, είτε ασφάλειας και ταχύτητας στην περίπτωση των περιστεριών, τον αγγελιοφόρων αλλά και στην χρήση αλόγων.

Ίσως η μεγαλύτερη προόδος στις τηλεπικοινωνίες οπτικών μέσων έγινε στην Γαλλία κατά την Γαλλική Επανάσταση το 1793 όταν ο Claude Chappe εφευήρε και ξεκίνησε την δημιουργία ενός δικτύου τηλεγράφων.



εικόνα 2

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα οι τηλεγράφοι αυτοί διέθεταν μεγάλους οριζόντιους δοκούς (regulators) και μικρότερους κατακόρυφους που ονομάζονταν indicators. Με τον τρόπο αυτό φαινόταν λες και ένας άνθρωπος έδινε σήματα σε έναν άλλο και κάθε θέση των δοκών αντιστοιχούσε σε έναν χαρακτήρα όπως φαίνεται στον πίνακα της παραπάνω εικόνας. Σαν πρώτος κώδικας του είδους του περιήχε αρκετές καινοτομίες όπως η ύπαρξη ειδικών χαρακτήρων εκτός των χαρακτήρων της

αλφαβήτου. Κυριότεροι ήταν της έναρξης επικοινωνίας, λήξης επικοινωνίας, λάθος χαρακτήρας (ακύρωση τελευταίου μεταδιδόμενου χαρακτήρα), αντίθεση, αποτυχία πύργου και χαρακτήρας άσχημου καιρού που απέτρεπε την επικοινωνία. Υπήρχαν και επιπλέον μηνύματα και υλοποιημένες ιδέες όπως μείωση ρυθμού αποστολής χαρακτήρων επειδή ο παραλήπτης δεν μπορούσε να συμβαδίσει με τον αποστολέα, συγχρονισμός καθώς και επαναμετάδοση ή διόρθωση λαθών. Τέλος εκτός όλων αυτών των εννοιών που παρήχε αυτό το σύστημα έδινε και μια τελευταία δυνατότητα. Αυτή της κρυπτογράφησης των μηνυμάτων καθώς οι πληροφορίες που μεταδίδονταν δεν ήταν μόνο ειδησεογραφικού περιεχομένου αλλά και στρατιωτικού ή επιστημονικού. Μέχρι το 1930 το δίκτυο αυτό είχε εξαπλωθεί στο μεγαλύτερο μέρος της Γαλλίας.

## Chappe Network in France (c 1830)



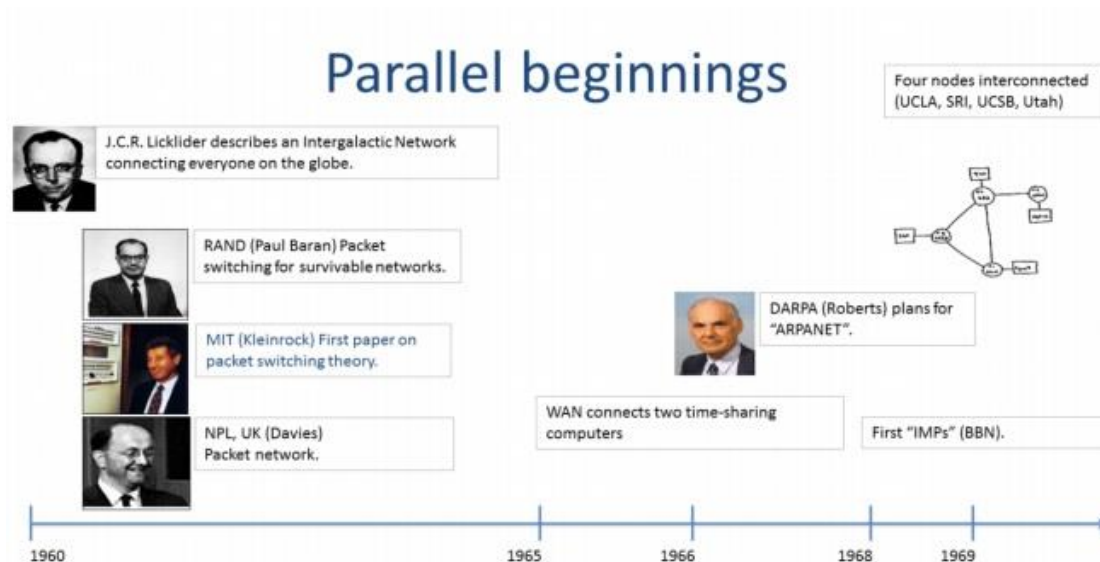
εικόνα 3

Προφανώς υπήρξε ένα τεράστιο άλμα στις τηλεπικοινωνίες όταν στο τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα έγινε η εφεύρεση του τηλεφώνου. Για αρκετό καιρό είχαν υπάρξει προσπάθειες να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου των τηλεγράφων που τώρα πια ένωναν πολλές πόλεις των ΗΠΑ. Ο Alexander Graeme Bell ένας σκωτσέζος εφευρέτης ήταν ο πρώτος που το 1876 πραγματοποίησε την πρώτη κλήση με τον συναδελφό του Thomas Watson και ενώ η πατέντα του αμφισβητήθηκε πολλές φορές ιδιαίτερος από τον εφευρέτη Elisha Gray ο Alexander Graeme Bell δικαιώθηκε από τα δικαστήρια και η εφεύρεση δόθηκε στο όνομα του Bell. Μέσα στα επόμενα 10 χρόνια περισσότεροι από 150.000 άνθρωποι είχαν στην κατοχή τους τηλέφωνο και το

1915 έγινε η πρώτη πανηπειρωτική κλήση μεταξύ της πόλης San Fransisco και της πόλης New York.

## 1.2 Αρχή του Ίντερνετ-Διαδικτύου

Τα γεγονότα και οι εξελίξεις που οδήγησαν στο διαδίκτυο ξεκίνησαν το 1960.

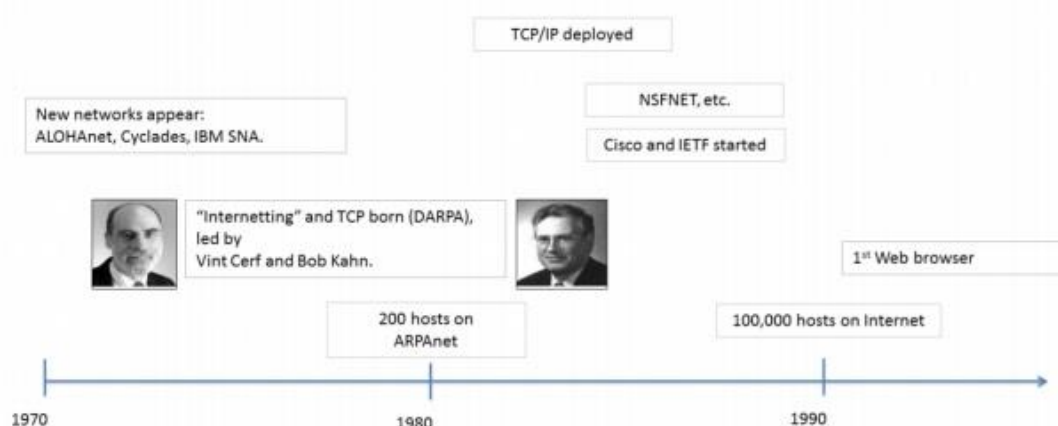


Εικόνα 4

Καθώς το 1962 ο J.C.R Licklider στο MIT έδωσε τις πρώτες ιδέες για ένα σύστημα που θα κάλυπτε όλοι την γη και ο κάθε άνθρωπος θα ήταν συνδεδεμένος με αυτό ενώ θα είχε πρόσβαση σε δεδομένα και προγράμματα από οπουδήποτε. Μάλιστα αυτές θεωρούνται ευρέως ότι είναι οι πρώτες καταγεγραμμένες διατυπωμένες ιδέες που αφορούν ένα δίκτυο τόσο μεγάλο,αποδοτικό και διαδεδωμένο όπως το σύγχρονο internet. Ο Licklider έγινε ο διευθυντής του προγράμματος έρευνας υπολογιστών στο DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency το 1962. Όσο βρισκόταν στο DARPA έπεισε τους Ivan Sutherland, Bob Taylor, και τον ερευνητή του MIT Lawrence G. Roberts για την σημαντικότητα του νέου σχεδίου του διαδुकτύου, οι οποίοι και εξέλιξαν τις ιδέες αυτές όταν ανέλαβαν με την σειρά τους τα καθήκοντα διευθυντή στο DARPA.Το 1964 ο ερευνητής Paul Baran συνένταξε αυτό που πλέον θεωρείται το πρώτο ακαδημαϊκό paper που αφορούσε ένα μεγάλο δίκτυο επικοινωνίας.Η εργασία αυτή είχε τίτλο “On Data Communication Networks”. Την ίδια χρονική περίοδο ο Leonard Kleinrock δημοσίευσε την πτυχιακή εργασία του στην θεωρία αναμονής (queueing theory).Ο Donald Davies εργαζόταν σε παρόμοιες ιδέες στο National Physical Laboratory στο Ηνωμένο Βασίλειο.Το 1965 ο Larry



Roberts σε συνεργασία με τον Thomas Merrill συνέδεσαν τον TX-2 υπολογιστή στη Μασσαχουσέτη με τον Q-32 στην Καλιφόρνια με τηλεφωνική γραμμή χαμηλής συχνότητας δημιουργώντας έτσι το πρώτο ευρύς περιοχής δίκτυο υπολογιστών. Ο Larry Roberts το 1966 εντάχθηκε στον οργανισμό DARPA για να συμβάλει στην ανάπτυξη των πρώτων σχεδίων του ARPANET, τα οποία δημοσιεύθηκαν το 1967. Το 1969 οι πρώτοι τέσσερις κόμβοι αυτού εγκαταστάθηκαν στο UCLA, SRI, UCSB και το πανεπιστήμιο UTAH, και τα πρώτα μηνύματα στάλθηκαν. Αυτή λοιπόν ήταν η εικόνα του Internet μέχρι το 1969 που μέχρι τότε ονομαζόταν ARPANET και επρόκειτο για ένα κλειστό και ιδιόκτητο δίκτυο.



εικόνα 5

Μέχρι τις αρχές του 1970 διάφορα μοντέλα για μετάδοση πακέτων άρχισαν να εμφανίζονται. Το 1971 το πρώτο ραδιοφωνικό δίκτυο φτιάχτηκε στα νησιά της Χαβάης που ονομάστηκε AlohaNet. Οι μηχανισμοί που δημιουργήθηκαν για αυτό το δίκτυο επηρέασαν κατά πολύ κάθε ασύρματο δίκτυο που δημιουργήθηκε και λειτούργησε από τότε. Το 1971 το Cyclades δίκτυο έρευνας δημιουργήθηκε στην Γαλλία και ήταν το πρώτο που έδωσε στους hosts την υπευθυνότητα για αξιόπιστη επικοινωνία και το οποίο επηρέασε σοβαρά με την σειρά του το Internet. Το 1974 η IBM εισήγαγε ένα ολόκληρο σύστημα για συσσώρευση δεδομένων που ονομάστηκε SNA-Systems Network Architecture, του οποίου ο στόχος ήταν να μειώσει το κόστος της δημιουργίας μεγάλων υπολογιστικών μονάδων με πολλά τερματικά, αντί των μηχανημάτων με τις διάτριτες κάρτες. Ο οργανισμός DARPA προώθησε την ενασχόληση με το Internet ώστε να δημιουργήσει το πρώτο «Δίκτυο των δικτύων» για να συνδέσει στην ουσία όλα τα επιμέρους δίκτυα ανά τον κόσμο. Τα πρωτόκολλα που ήταν αναγκαία περιγράφηκαν αρχικά από τον Vint Cerf του πανεπιστημίου Stanford και του Bob Kahn σε μία πλέον γνωστή εργασία με τίτλο “A Protocol for

Packet Network Intercommunication” το 1974. Μέχρι το τέλος του 1970 το TCP και το IP ήταν ανεξάρτητα και ξεχωριστά μεταξύ τους και έτσι δώθηκε ο χώρος να δημιουργηθεί το UDP και να προσθεθεί ως μία μη αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς και να χρησιμοποιηθεί στην μεταφορά φωνητικών πακέτων. Το TCP ως αξιόπιστη και εν-σειρά μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιήθηκε στο επίπεδο των δικτύων, ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια που δεν υπήρχαν έννοιες όπως έλεγχος συμφόρησης και μάλιστα προστέθηκε στο Internet 15 χρόνια αργότερα. Ο Vint Cerf ως βοηθός καθηγητή μετακινήθηκε στο DARPA το 1976 για να βοηθήσει στην δημιουργία του νέου Internet project και μαζί με τον Bob Kahn που ήδη δούλευε στο DARPA όταν γράφτηκε η εργασία αυτή, θεωρούνται σήμερα οι «πατέρες» του Internet. Το 1983 το TCP/IP αναπτύχθηκε σε όλο το δίκτυο ARPAnet και όλοι οι οποίοι συμμετείχαν αναβάθμισαν και χρησιμοποίησαν τα νέα πρωτόκολλα. Εώς το 1986 το NSFNET δημιουργήθηκε από το US National Science Foundation για να επικοινωνήσουν οι «υπερυπολογιστές» των πανεπιστημίων σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής με χρήση συνδέσμων (links) που λειτουργούσαν στα 56kb/s. Ταυτόχρονα επιπλέον μικρότερα δίκτυα ξεκίνησαν να ξεπροβάλλουν τα οποία συνδέονταν στο Internet. Μέρι το τέλος της δεκαετίας του 80 περίπου 100,000 διακομιστές είχαν συνδεθεί. Τότε το 1990 ο Tim Berners-Lee στο CERN δημιούργησε τον παγκόσμιο ιστό με τους πρώτους browsers να εμφανίζονται το 1993, με πιο σημαντικό τον Mosaic που είχε γραφθεί από τον Marc Andreessen. Πριν το τέλος της δεκαετίας του 90 η Yahoo, Google, Amazon και το eBay θα ήταν μεγάλες εταιρίες με κύκλο εργασιών το Internet.

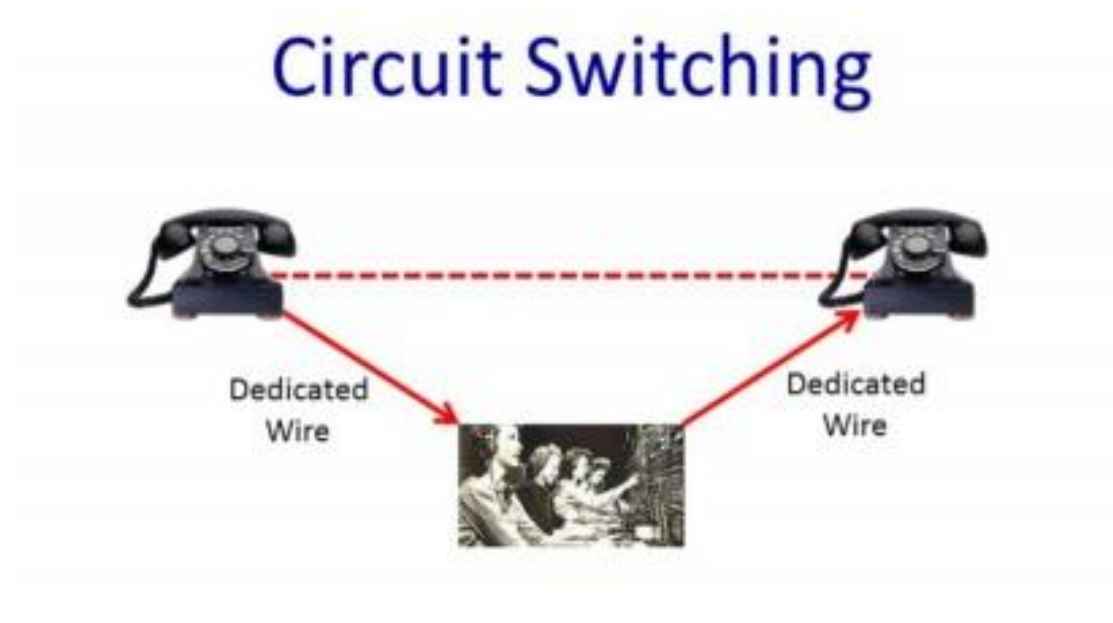
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: CIRCUIT VS PACKET SWITCHING

---

---

## 2.1 Τι είναι το Circuit Switching

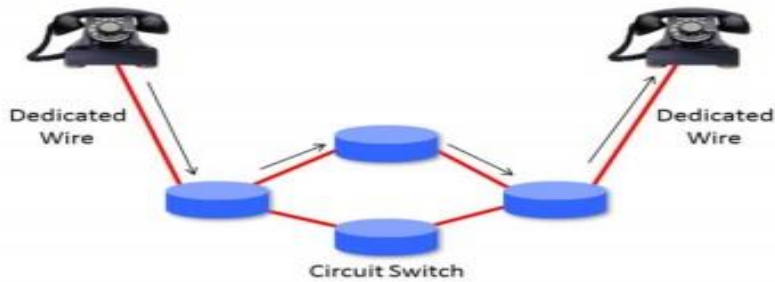
Η πιο κοινή χρήση των αλλαγών σε επίπεδο κυκλωμάτων είναι τα παραδοσιακά δίκτυα των ενσύρματων τηλεφωνικών κέντρων όπου για να πραγματοποιηθεί μια κλήση πρέπει να συνδεθούν οι επιμέρους απομονωμένες γραμμές καλωδίων.



εικόνα 6

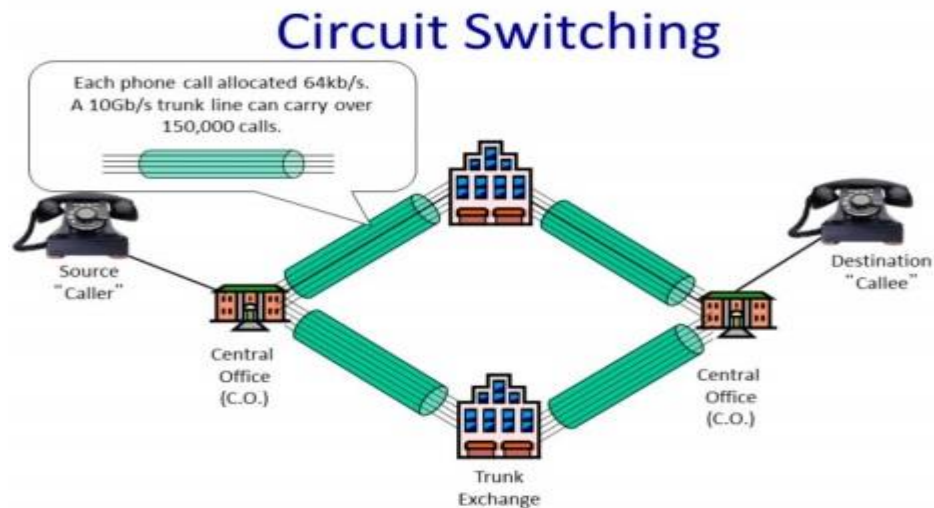
Τα τηλέφωνα λοιπόν είναι συνδεδεμένα με ένα μεμονωμένο καλώδιο στο τοπικό δίκτυο. Όμως στις αρχικές υλοποιήσεις ένα δωμάτιο γεμάτο με υποδοχές για την αντίστοιχη ζητούμενη γραμμή απαιτούνταν για να συνδεθούν μεταξύ τους οι δύο επιμέρους τοπικές συσκευές. Βέβαια τα συστήματα αυτά εξελίχθηκαν σε δίκτυα πολλών σταθμών οι οποίοι ένωσαν αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Ακολουθεί μια αναπαράσταση ενός τέτοιου δικτύου.

## Circuit Switching



εικόνα 7

Φυσικά στην σύγχρονη εποχή δεν εφαρμόζονται τέτοιου είδους τεχνικές, αντιθέτως υπάρχουν αυτόματοποιημένα κυκλώματα που μας συνδέουν με το επιθυμητό τηλέφωνο τα οποία ακολουθούν τις εξής επιμέρους φάσεις. Αρχικά σηκώνουμε την τηλεφωνική συσκευή στην συνέχεια πληκτρολογούμε τον αριθμό που θέλουμε να καλέσουμε, το οποίο δημιουργεί μια μεμονωμένη σύνδεση μεταξύ των δύο γραμμών. Κάθε διακόπτης διατηρεί την κατάλληλη καταστασή ώστε να οδηγηθεί η κλήση στη σωστή γραμμή εξόδου. Στην δεύτερη φάση λαμβάνει μέρος η κλήση και η μεταφορά φωνητικών δεδομένων, ενώ λαμβάνει μέρος η δειγματοληψία, η ψηφιοποίηση της φωνής μας και η αποστολή της με 64kb/s. Η σύνδεση αυτή είναι συνεχής από το ένα άκρο στο άλλο και δεν διακόπτεται από κανένα άλλο ενδιάμεσο μέσο απλά το σήμα από τις τηλεφωνικές συσκευές κατευθύνεται μέσα από αυτόματους διαχειριστές-διαμοιραστές. Τέλος όταν μία από τις δύο συσκευές τερματίσει την κλήση το μεμονωμένο αυτό κύκλωμα αφαιρείται λεγόμενο και ως “tear down” και όλοι οι «διακόπτες» στην διαδρομή που είχε δημιουργηθεί επαναφέρονται στην αρχική κατάσταση ώστε να δεχθούν και να διαχειριστούν την επόμενη κλήση.



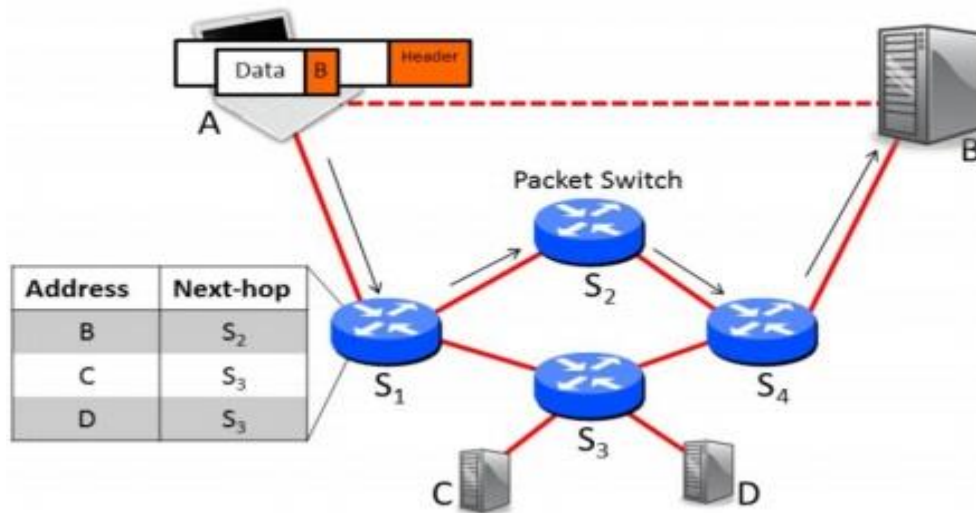
εικόνα 8

Τα μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι ότι είναι μη αποδοτική αφού η επικοινωνία των υπολογιστών τείνει να χαρακτηρίζεται από εκρηκτικές και απότομες αλλαγές στις απαιτήσεις μεταφοράς δεδομένων και ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το άνοιγμα πολλών ιστοσελίδων ταυτόχρονα. Δεύτερο αρνητικό είναι το γεγονός ότι ένα σύστημα που βασίζεται στο circuit switching δεν μπορεί να υποστηρίξει πολλούς διαφορετικούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων αφού στην ουσία μιλάμε για συστήματα που διαθέτουν και λειτουργούν σε συγκεκριμένους ρυθμούς. Τρίτο μειονέκτημα αποτελεί η διαχείριση της εκάστοτε κατάστασης αφού η κάθε κλήση απαιτεί την χειροκίνητες αλλαγές.

## 2.2 Τι είναι το Packet Switching

Το packet switching αφορά μια μέθοδο που δεν απαιτεί κανένα μεμονωμένο κύκλωμα ή σύνδεση, αντίθετα στέλνονται blocks ή αλλιώς κομμάτια δεδομένων προσθέτοντας στην αρχή κάθε πακέτου μία επικεφαλίδα. Η επικεφαλίδα αυτή περιέχει την διεύθυνση προορισμού και άλλες πληροφορίες που καθορίζει όπως ένας φάκελος το που πηγαίνει το πακέτο. Η υπηρεσία αυτή αποτελείται από τελικούς κόμβους χρηστών και εξυπηρετητών, συνδέσμους και διαχειριστές/διαμοιραστές πακέτων. Όταν στέλνουμε ένα πακέτο αυτό δρομολογείται από router σε router μέχρι να φτάσει στον τελικό προορισμό. Κάθε διαχειριστής πακέτου ψάχνει την διεύθυνση στην επικεφαλίδα του πακέτου στον τοπικό πίνακα προώθησης (forwarding table).

# Packet Switching



εικόνα 8

Να σημειωθεί ότι όταν αναφέρουμε τον όρο διαχειριστή πακέτου (packet switch) εννοούμε είτε έναν router είτε ένα Ethernet switch.

## 2.3 Πλεονεκτήματα Packet Switching

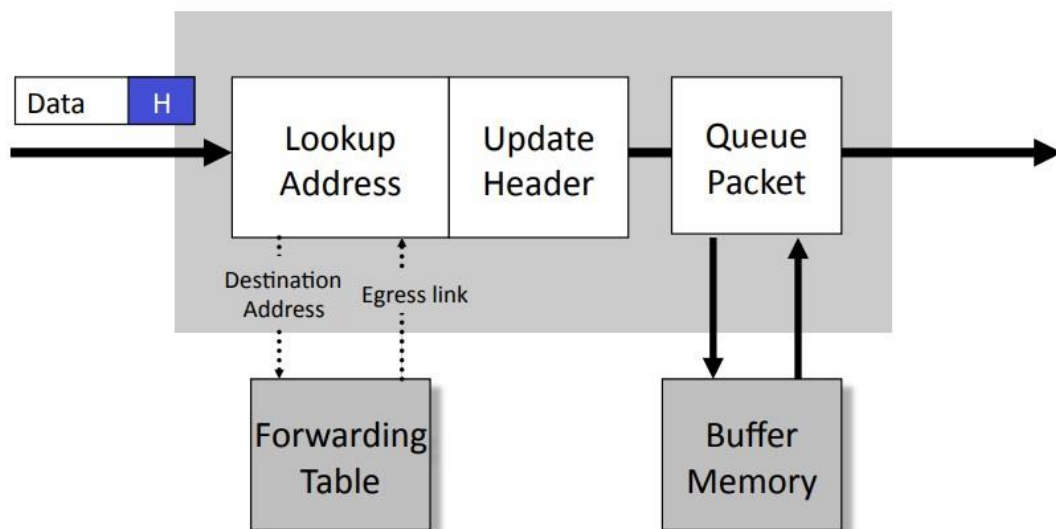
Το πρώτο βασικό πλεονέκτημα είναι ότι οι σύνδεσμοι (links) χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά καθώς πολλές ροές δεδομένων μπορούν να τα χρησιμοποιούν ταυτόχρονα, έτσι μπορούμε να κάνουμε καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης. Δεύτερο και εξίσου σημαντικό είναι η ανεκτικότητα σε αποτυχίες των συνδέσμων και των δρομολογητών. Έαν ένα link ή router αποτύχει να λειτουργήσει σωστά, η μέθοδος αυτή πρόκειται να βρεί εναλλακτικές διαδρομές αυτόματα ώστε το πακέτο να φτάσει στον προορισμό που ορίζει η επικεφαλίδα του. Επίσης η κατάσταση των ενδιάμεσων δρομολογητών δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου το σύστημα δηλαδή δεν είναι αναγκαίο να το αλλάζω συνεχώς αναλόγως του προορισμού ή του πακέτου.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΟΙ ΜΕΤΑΓΩΓΕΙΣ ΠΑΚΕΤΩΝ

## 3.1 Δομή και λειτουργία γενικού packet switch

Αρχικά πρέπει να δούμε από τι αποτελείται ένα γενικό και βασικό μοντέλο ενός μεταγωγέα πακέτων που δέχεται ως είσοδο ένα πακέτο δεδομένων συνοδευόμενο από μια επικεφαλίδα (header) και έχει ως έξοδο την αποστολή του πακέτου αυτού προς το προορισμό του.

### Generic Packet Switch



εικόνα 9

Γίνεται αντιληπτό λοιπόν πρέπει να ερευνήσουμε τα επιμέρους τμήματα ώστε να κατανοήσουμε πλήρως την λειτουργία και τις δυνατότητες των μεταγωγέων. Από

την παραπάνω φωτογραφία μπορούν να γίνουν διακριτά τα εξής: αναζήτηση διεύθυνσης(lookup address), πίνακας προώθησης(forwarding table), ενημέρωση επικεφαλίδας(update header), ουρά πακέτων(queue packet) και μνήμη προσωρινής αποθήκευσης. Πρώτα λοιπόν αναζητούμε την διεύθυνση προορισμού για να δούμε για να προσδιορίσουμε το προς τα που πρέπει το πακέτο να αποσταλεί.Στέλνουμε την διεύθυνση προορισμού(destination address) στον πίνακα προώθησης από το οποίο θα λάβουμε την απάντηση σε ποιον σύνδεσμο(link) ή πα θύρα(port) εξόδου πρέπει να προωθηθεί το πακέτο. Το επόμενο βήμα που μπορεί να χρειάζεται να εκτελεστεί είναι η ανανέωση της επικεφαλίδας που στην περίπτωση των δρομολογητών(internet routers) είναι να μειώσουμε το πεδίο TTL (time to live) του πακέτου και να ενημερωθεί και το checksum. Τέλος αυτό που πρέπει να γίνει είναι να βάλουμε στην ουρά αναμονής για αποστολή το πακέτο αφού μπορεί για το ίδιο link να προσπαθούν να προωθηθούν πολλά πακέτα μαζί και πρέπει με κάποιο τρόπο να έχουμε έλεγχο συμφόρησης(congestion control).Άρα χρησιμοποιούμε έναν καταχωρητή προσωρινής αποθήκευσης(buffer memory) για να αποθηκεύσουμε τα πακέτα προς αποστολή.

### **3.2 Ethernet Switch**

Ένα είδος μεταγωγέων είναι οι Ethernet switches οι οποίοι χειρίζονται Ethernet frames και πιο συγκεκριμένα ακολουθούν τα εξής βήματα. Πρώτα εξετάζουν την επικεφαλίδα του πλαισίου(frame) που καταφθάνει σε αυτά, στην συνέχεια αν η διεύθυνση προορισμού Ethernet (Ethernet destination address) βρεθεί στον πίνακα προώθησης τότε το πλαίσιο προωθείται στην σωστή έξοδο. Αν όχι μεταδίδεται το πλαίσιο σε όλες τους συνδέσμους/ πύλες (links/ports), δηλαδή γίνεται το λεγόμενο broadcasting του frame ώστε να διαδωθεί σε κάθε πιθανή διαδρομή με την ελπίδα ότι θα φτάσει στον προορισμό του στην περίπτωση που τουλάχιστον ένα από τα Ethernet switches που θα το παραλάβουν θα γνωρίζει που να το αποστείλει. Στην συνέχεια πρέπει να αναφερθεί ότι το forwarding table γεμίζει με καταχωρήσεις με τον τρόπο της εκμάθησης δηλαδή στην αρχή επειδή οι πίνακες προώθησης είναι άδειοι λειτουργούμε μόνο με την τεχνική του broadcast αλλά όσο μεταδίδουμε πλαίσια και λαμβάνουμε απαντήσεις, εξετάζουμε τον προορισμό αυτών των απαντήσεων και γνωρίζουμε την επόμενη φορά που θα θέλουμε να αποστείλουμε αντίστοιχο πλαίσιο προς τα που πρέπει να το κατευθύνουμε για να ξαναφτάσει στον προορισμό του.



### **3.3 Internet Routers**

Σε αντίθεση με τους Ethernet διαμοιραστές οι δρομολογητές(internet routers) χειρίζονται IP διευθύνσεις, τα οποία ενθυλακώνονται μέσα σε Ethernet πακέτα. Αρχικά ελέγχουν αν η Ethernet διεύθυνση προορισμού του εισερχόμενου πλαισίου ανήκει στο συγκεκριμένο router. Αν ναι τότε γίνεται η αποδοχή του αλλιώς απορρίπτεται. Στην συνέχεια ελέγχεται ή έκδοση της κωδικοποίησης(IPv4,IPv6) καθώς και το μήκος του datagram που έχει ληφθεί. Μειώνεται το TTL(time to live) και ενημερώνεται το checksum στην επικεφαλίδα (header) του datagram. Αφού ενημερώθηκε το TTL τότε ελέγχεται αν είναι ίσο με το 0 και αν ναι απορρίπτεται το πακέτο , αλλιώς συνεχίζει με την προώθησή του στο επόμενο hop δηλαδή το επόμενο router ή τελικό host. Αν η διεύθυνση προορισμού ip είναι στον πίνακα προώθησης προωθούμε το πακέτο στα κατάλληλα ports προς τον επόμενο δρομολογητή. Αφού γνωρίζουμε την πύλη(port) από την οποία πρέπει να αποχωρήσει το πακέτο ενθυλακώνει το ip datagram ,που ποια είναι ενημερωμένο στην επικεφαλίδα, στο Ethernet frame ώστε να εντοπιστεί ο επόμενος προορισμός Ethernet για το επόμενο hop. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ως διαδικασία ARP(Address resolution protocol). Έτσι λοιπόν δημιουργείται το Ethernet frame και αποστέλεται στο κατάλληλο link.

### **3.4 Lookup Operation**

Η διαδικασία της αναζήτησης της διεύθυνσης προορισμού που περιέχει το εισερχόμενο πακέτο διαφέρει από τα Ethernet switches στα IP routers.

#### ***3.4.1 Ethernet Switches***

Ας υποθέσουμε τον παρακάτω πίνακα για το forwarding table ενός Ethernet switch στον οποίο πρέπει να υπάρχει ακριβές ταίριασμα μεταξύ μιας καταχώρησης και του destination address.

## Ethernet addresses (in a switch)

| Match                        | Action            |
|------------------------------|-------------------|
| Ethernet DA = 0xA8B72340E678 | Forward to port 7 |
| Ethernet DA = 0xB3D22571053B | Forward to port 3 |
| ...                          | ...               |

εικόνα 10

### 3.4.2 IP Routers

Ας υποθέσουμε τον παρακάτω πίνακα ως δείγμα το forwarding table ενός ip router που λειτουργεί με longest prefix match και όχι με exact match(όπως οι Ethernet switches).

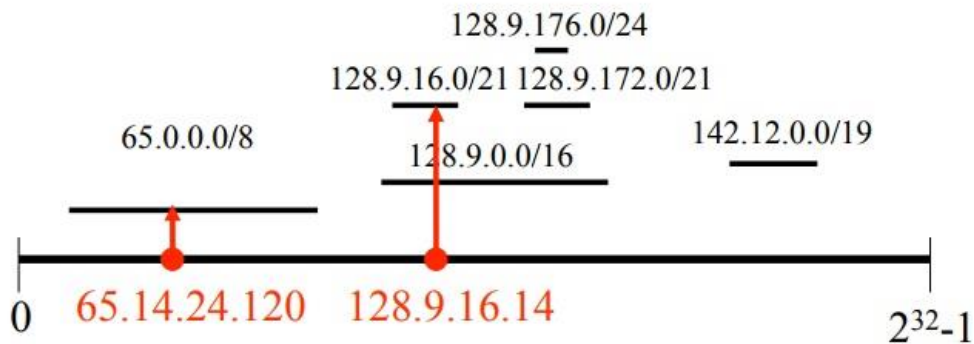
## IP addresses (in a router)

| Match                | Action                  |
|----------------------|-------------------------|
| IP DA = 127.43.57.99 | Forward to 56.99.32.16  |
| IP DA = 123.66.44.X  | Forward to 22.45.21.126 |
| IP DA = 76.9.X.X     | Forward to 56.99.32.16  |
| ...                  | ...                     |

εικόνα 11

Παράδειγμα εάν δεχθούμε ένα πακέτο με διεύθυνση προορισμού 128.9.16.14 και στο FT έχω δύο καταχωρήσεις μια για 128.9.0.0/16 και 128.9.16.0/21 πρόκειται να επιλέξω αυτή την έξοδο που δείχνει η δεύτερη καταχώρηση.

# Longest prefix match



**Routing lookup:** Find the longest matching prefix (aka the most specific route) among all prefixes that match the destination address.

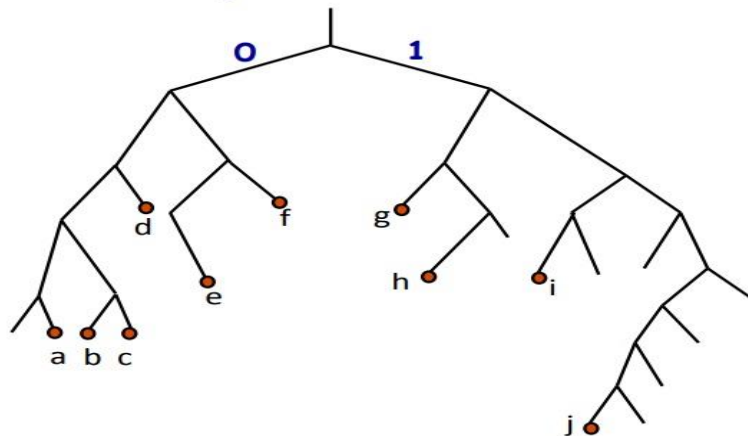
εικόνα 12

Για την αποθήκευση των forwarding tables μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δομές όπως δυαδικά TRIE trees ή TCAM που αποτελούν άψογες λύσεις μνημών μιας και παρέχουν ταυτόχρονη κάθε εισερχόμενης διεύθυνσης με όλες τις καταχωρήσεις παράλληλα άρα και πολύ γρήγορες αποκρίσεις(δηλαδή ελάχιστη καθυστέρηση). Το αρνητικό των συγκεκριμένων μνημών όμως είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

# Longest prefix match lookup

Binary tries

| Entry | Prefix   |
|-------|----------|
| a     | 00001    |
| b     | 00010    |
| c     | 00011    |
| d     | 001      |
| e     | 0101     |
| f     | 011      |
| g     | 100      |
| h     | 1010     |
| i     | 1100     |
| j     | 11110000 |



CS144, Stanford University

εικόνα 13

# Longest prefix match lookup

Ternary Content Addressable Memory (TCAM)

| Entry | Prefix   |
|-------|----------|
| a     | 00001    |
| b     | 00010    |
| c     | 00011    |
| d     | 001      |
| e     | 0101     |
| f     | 011      |
| g     | 100      |
| h     | 1010     |
| i     | 1100     |
| j     | 11110000 |

Binary value  
+ Mask  
➔

| Entry | Prefix               |
|-------|----------------------|
| a     | 00001XXX<br>11111000 |
| b     | 00010XXX<br>11111000 |
| c     | 00011XXX<br>11111000 |
| d     | 001XXXXX<br>11100000 |
| e     | 0101XXXX<br>11110000 |
| ...   | ...                  |
| j     | 11110000<br>11111111 |

Routing lookup: Compare address against every masked entry at the same time.

CS144, Stanford University

εικόνα 14

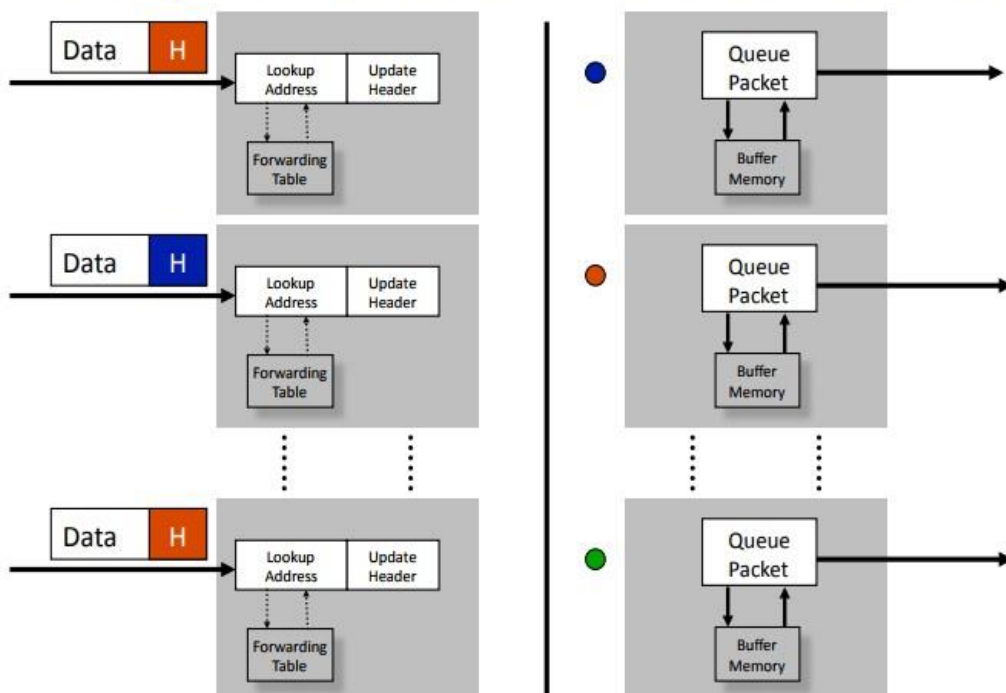
## 3.5 Forwarding Operation

Η λειτουργία της προώθησης αφορά το πώς τα πακέτα αφού ολοκληρωθεί η αναζήτηση στο FT μεταφέρονται/μεταδίδονται στη σωστή θύρα εξόδου(egress port). Ακολουθούν τρεις κύριες τεχνικές υλοποίησης των μεταγωγέων.

### 3.5.1 Output Queueing

Η ουρά αναμονής(queue) βρίσκεται στο output του switch αρα στην περίπτωση που όλα τα υπομήματα LA δώσουν κοινή έξοδο πρόκειται να έχουμε συμφόρηση σε μία μόνο ουρά. Δηλαδή όλα τα πακέτα θα χειρίζονται με την λογική FIFO που είναι χρονικά ασύμφορη όταν θέλουμε μικρές αποκρίσεις στο συστημά μας. Αλλά εκτος αυτού εάν χαρακτηρήσω ως N εισόδους και R τον ρυθμό που εισέρχονται δεδομένα και επεξεργάζονται τότε χρειαζομαι οι μνήμες μου στην έξοδο να είναι  $(N+1)*R$  πράγμα που για switches με πολλές εισόδους κρίνεται αδύνατο.

## Output Queued Packet Switch



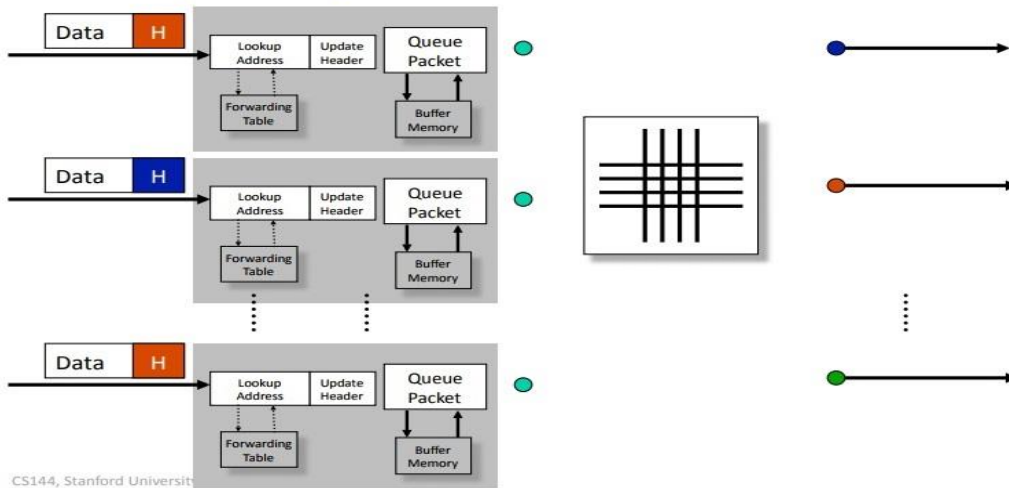
εικόνα 15

Μία λύση που μας έρχεται λοιπόν απευθείας στον νου είναι να μετακινήσουμε τις ουρές αναμονής στην είσοδο. Έτσι λοιπόν προέκυψε η επόμενη λύση.

### 3.5.2 Input Queueing

Τώρα λοιπόν αλλάζουμε τις ουρές αναμονής στις εισόδους άρα για κάθε νέο εισερχόμενο πακέτο θα μπορούμε να το αποθηκεύουμε ή να το στέλνουμε κατευθείαν.

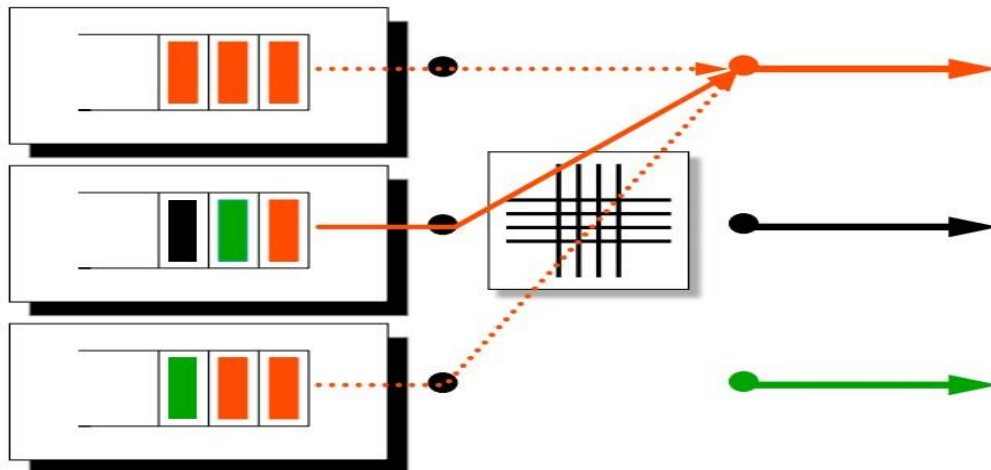
## Input Queued Packet Switch



εικόνα 16

Παρατηρούμε λοιπόν ότι με την μέθοδο αυτή δεχόμαστε σταθερά ένα πακέτο όμως τώρα λύνεται το πρόβλημα της ανάγκης για μεγάλο ρυθμό λειτουργίας της μνήμης αφού για  $R$  ρυθμο εισόδου και  $R$  ρυθμο εξόδου της προσωρινής μνήμης τότε αυτή θα πρέπει να λειτουργεί με ρυθμό  $2R$  (πολύ μικρότερο του  $(N+1)*R$ ). Με αυτή την προσθήκη όμως δημιουργείται το εξής πρόβλημα: ας φανταστούμε την περίπτωση της επόμενης εικόνας

## Head of Line Blocking



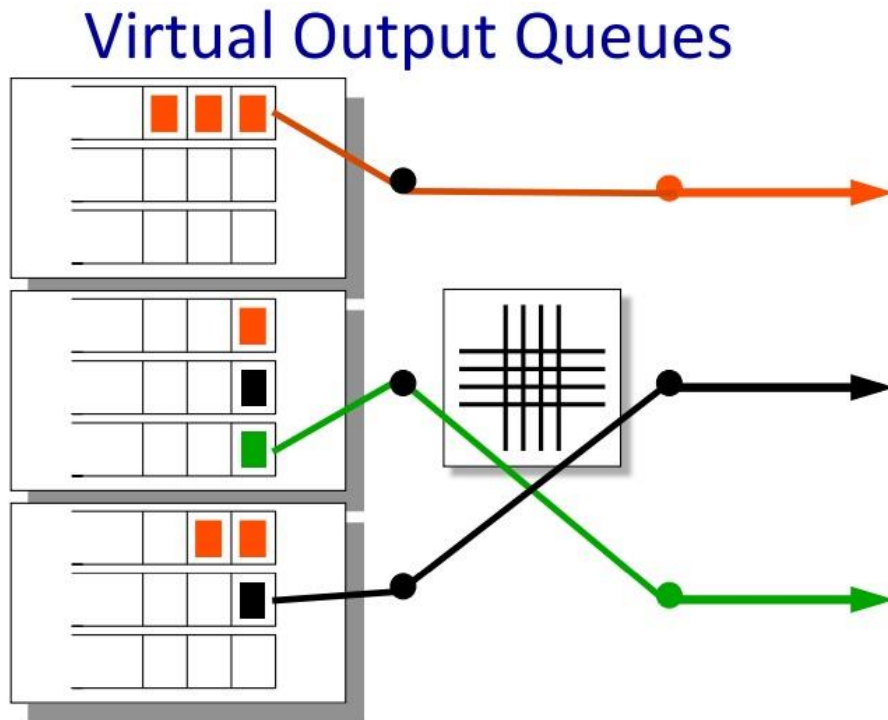
εικόνα 17

Μπορεί να μειώσαμε την ανάγκη για μεγάλο ρυθμό λειτουργίας των μνημών αλλά τώρα έχουμε το φαινόμενο του head of line blocking. Επεξηγώντας εννοούμε ότι ενώ θα μπορούσαν όσο εξυπηρετούνται τα «πορτοκαλί πακέτα» να εξυπηρετούνται και τα υπόλοιπα που προφανώς έχουν άλλο προορισμό. Άρα σε

περιπτώσεις όπως η ανώτερη δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα μη αποτελεσματικότητας και κατασπατάλησης χρόνου. Έτσι λοιπόν προέκυψε το τελευταίο μοντέλο που θα αναλύσουμε.

### 3.5.3 Virtual Output Queueing

Το μοντέλο αυτό ονομάζεται virtual output αφού στην ουσία συνδυάζει τα θετικά των δυο προηγούμενων τεχνικών και θα μπορούσε να αναπαρασταθεί έτσι:



εικόνα 18

Όπως φαίνεται στην ουρά έχουμε ξεχωριστά υπομήματα της για κάθε τύπο πακέτου δηλαδή δεν μπορεί ένας τύπος πακέτων να μπλοκάρει όλους του υπόλοιπους από το να φτάσουν στον προορισμό τους. Δηλαδή αν έχω μια κύρια κίνηση πακέτων προς μια διεύθυνση αυτή δεν θα εμποδίσει τον μηχανισμό μας να κατευθύνει νέες κινήσεις στην διεύθυνση προορισμού τους. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα μικρής καθυστέρησης για το αντίστοιχο φορτίο(load) και ταυτόχρονα μεγιστοποιείται το throughput. Τέλος να αναφερθεί ότι οι μνήμες εξακολουθούν να λειτουργούν σε 2R συχνότητα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΓΩΓΕΩΝ

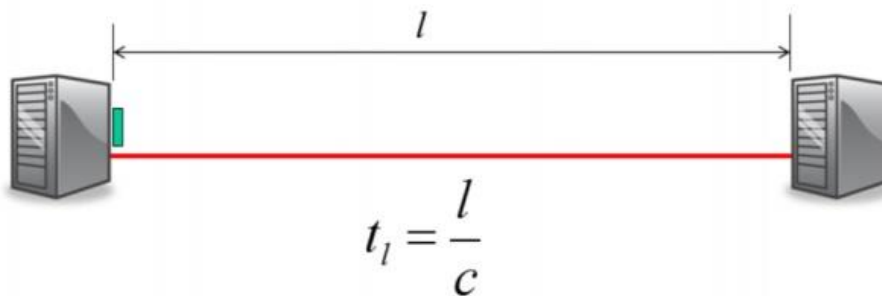
---

---

## 4.1 Καθυστέρηση διάδοσης

Ως καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay) σε έναν μεταγωγέον πακέτων ορίζουμε τον χρόνο που παίρνει σε ένα bit πληροφορίας να μεταβεί μέσα από έναν σύνδεσμο (link) με ταχύτητα μετάδοσης  $c$ . Όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός. Άρα  $t_l = \frac{l}{c}$ . Στην ουσία ο παράγοντας που επηρεάζει αυτή την καθυστέρηση είναι το μήκος του link που συνδέει το router που μελετούμε με το επόμενο ή τον τελικό αποδέκτη.

**Propagation Delay,  $t_l$ :** The time it takes a single bit to travel over a link at propagation speed  $c$ .



εικόνα 20

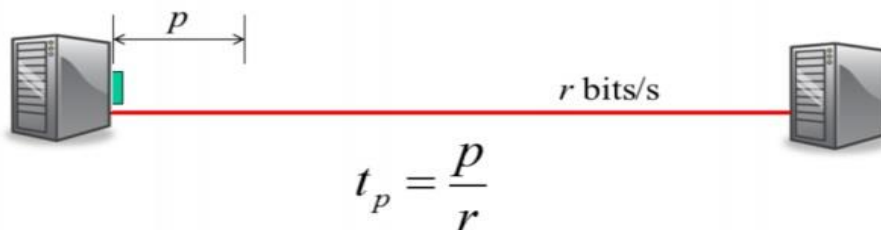
## 4.2 Καθυστέρηση πακετοποίησης και συνολική καθυστέρηση

### 4.2.1 Packetization delay

Ως καθυστέρηση πακετοποίησης (packetization delay) ενός μεταγωγέα πακέτων ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταδωθεί το πρώτο έως το τελευταίο bit ενός πακέτου. Με  $r$  τον ρυθμό μετάδοσης που υποστηρίζει το δεδομένο κανάλι (link) και  $p$  τον αριθμό bits του μεταδιδόμενου πακέτου έχουμε:  $t_p = \frac{p}{r}$ . Άρα κατανοούμε το γεγονός ότι η συγκεκριμένη μετρική είναι ανεξάρτητη του μήκους του καναλιού.



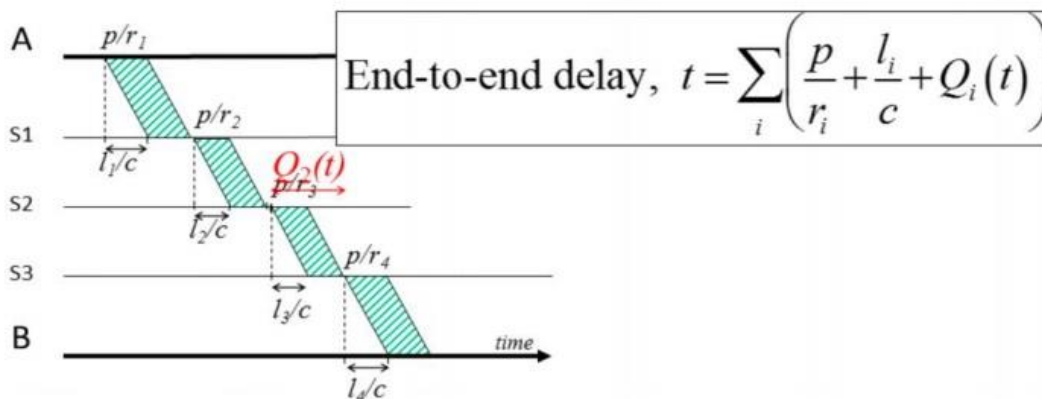
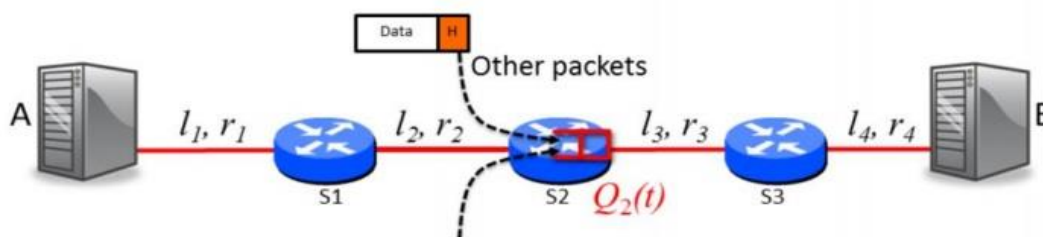
**Packetization Delay,  $t_p$ :** The time from when the first to the last bit of a packet is transmitted.



εικόνα 21

#### 4.2.2 End to end delay

Άρα πλέον μπορούμε να γενικεύσουμε για περισσότερους από έναν μεταγωγείς και να ορίσουμε ποια θα είναι η καθυστέρηση end to end. Η καθυστέρηση από τελικό χρήστη σε έναν άλλο μπορεί να δοθεί από τον τύπο:  $\sum_i \left\{ \frac{p}{r_i} + \frac{l_i}{c} + Q_i(t) \right\}$  ο οποίος συμπεριλαμβάνει το propagation delay και το packetization delay για κάθε switch. Επίσης συνυπολογίζει και την ενδεχόμενη ύπαρξη ουράς αναμονής από πακέτα για κάθε switch. Το γεγονός αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό αφού ο οποιοσδήποτε υπολογισμός που αγνοούσε την ύπαρξη πολλών πακέτων στην ουρά κάθε switch θα οδηγούσε σε μεγάλες αποκλίσεις τους υπολογισμούς σε σχέση με τις μετρήσεις της πραγματικότητας.

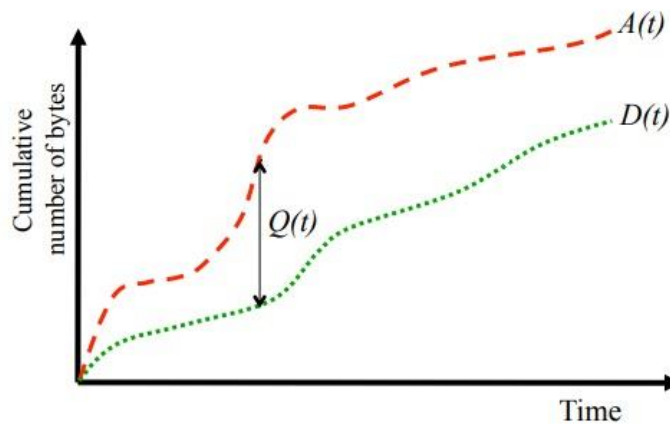


### 4.2.3 Arrival processes of queues

Για να κατανοηθεί πλήρως το end to end delay το οποίο εντάσει και την έννοια του χρόνου που περιμένουν τα πακέτα στην ουρά οφείλουμε να κατανοήσουμε τα μοντέλα που θα μπορούσαν να αναπαρηστούν τις πραγματικές συνθήκες. Αρχικά δημιουργήθηκε το απλοϊκό μοντέλο ουράς που ορίζει ως  $Q(t)$  δηλαδή σε μια χρονική στιγμή  $t$  πόσα byte έχει λάβει το switch αλλά δεν τα έχει αποστείλει ακόμα ως:

$Q(t) = A(t) - D(t)$  με  $A(t)$  την συνάρτηση άφιξης πακέτων και  $D(t)$  την συνάρτηση που χαρακτηρίζει την αποχώρηση των πακέτων από το αντίστοιχο switch.

## Simple model of a queue

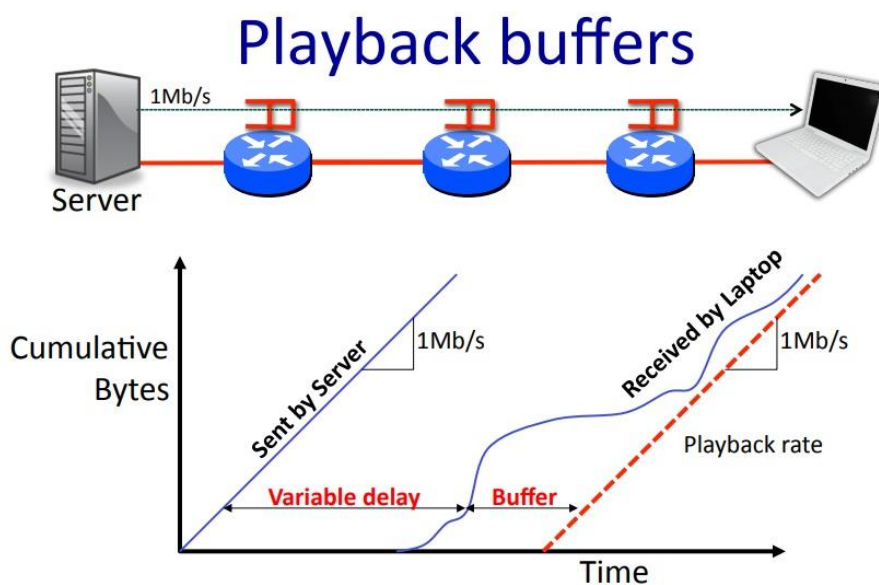


εικόνα 23

Στις πραγματικές εφαρμογές όμως παρατηρούνται κάποια επιπλέον φαινόμενα που περιπλέκουν το προηγούμενο μοντέλο. Αρχικά οι λεγόμενες εκτρήξεις αφίξεις εισερχόμενων δεδομένων (bursts of data) σε ένα switch τείνουν να αυξάνουν και την καθυστέρηση στην ουρά. Επίσης μια τυχαία άφιξη τείνει να αναμένει περισσότερο στην ουρά από ότι μια περιοδική άφιξη. Άρα το μοντέλο που προέκυψε χρησιμοποιεί την κατανομή Poisson για να περιγράψει τις αφίξεις παρόλο που δεν καλύπτει πλήρως όλες τις ανάγκες των συστημάτων που εξετάζουμε. Αν  $\lambda$  είναι ο ρυθμός άφιξης,  $d$  η μέση χρονική αναμονή μέσα στην ουρά τότε ο μέσος αριθμός πακέτων μέσα στην ουρά ισούται με  $L = \lambda * d$  όταν κανένα πακέτο δεν χάνεται ή απορίπτεται. Στην συνέχεια ορίζουμε την πιθανότητα  $P_k$  { σε διάστημα  $t$  να υπάρχουν  $k$  αφίξεις στο σύστημα }  $\Rightarrow P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$  (όπου  $\lambda$  ο ρυθμός άφιξης).

### 4.3 Playback buffers

Τέλος όλη αυτή η τεχνολογία και η θεώρηση του packet switching έδωσε δυνατότητα στους χρήστες να έχουν στην διάθεση τους μια τεχνική που ονομάζεται buffering. Κυριότερο παράδειγμα είναι το Youtube και κάθε άλλη αναπαραγωγή ενός βίντεο σε κάποιον player. Καθώς το βίντεο αναπαράγεται αυτόματα φορτώνονται στον υπολογιστή μας τα επόμενα μέρη του. Χωρίς την λειτουργία αυτή θα έπρεπε να γίνεται ένα νέο αίτημα διακόπτοντας την ροή του βίντεο όταν τα δεδομένα του πακέτου που έχει ληφθεί αναπαραχθούν πλήρως και αναμένοντας το επόμενο κομμάτι να ζητηθεί, να σταλθεί, να φτάσει στον υπολογιστή μας και να αναπαραχθεί. Αντί αυτού όταν γίνεται αναπαραγωγή βίντεο έχουμε την φόρτωση των επόμενων μερών του βίντεο που πρόκειται να αναπαραχθεί πριν χρειαστεί να διακοπεί η λειτουργία αναπαραγωγής. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ένα είδους masking θα μπορούσαμε να πούμε των προσωρινών προβλημάτων κάποιων switches ή κάποιων πακέτων που ίσως χαθούν ή απορριφθούν. Αποροφούνται έτσι οι διακυμάνσεις στην end to end καθυστέρηση, αφού αρχικά υπολογίζοντας την τίθεται το μέγεθος του buffer και όταν γίνει νέος υπολογισμός του end to end delay προσαρμόζεται το μέγεθος εκ νέου. Αξίζει να αναφερθεί πως σε λειτουργίες live streaming δηλαδή απευθείας μεταδόσεων αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται αντίστοιχα αλλά είναι πιο εύκολη η απόρριψη ενός πακέτου.



εικόνα 24

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

Βιβλία: Δίκτυα Υπολογιστών Πέμπτη Έκδοση Tanenbaum & Wetherall

Διαδίκτυα με TCP/IP Τέταρτη Έκδοση Comer

Δημοσιεύσεις:

URLs:

<https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/3-1history-of-networks-slides.pdf>

[https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps\\_what.pdf](https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps_what.pdf)

[https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps\\_e2e\\_delay.pdf](https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps_e2e_delay.pdf)

[https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps\\_playbackBuffers.pdf](https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps_playbackBuffers.pdf)

[https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps\\_delay\\_model.pdf](https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps_delay_model.pdf)

[https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps\\_switching.pdf](https://lagunita.stanford.edu/c4x/Engineering/Networking-SP/asset/ps_switching.pdf)

<https://en.wikipedia.org>

Αναφορές:

Πρότυπα: