

Πτυχιακή Εργασία



«Ανάλυση και προσομοίωση δικτύων με την
χρήση OMNET++, Περίπτωσης μελέτης»

Μιχελάρáκης Αριστείδης

Επιβλέπουσα: Μαργαρίτη Σπυρίδων

Ευχαριστίες

Περίληψη

Ολόκληρη η επικοινωνία που χρησιμοποιούμε πλέον στις μέρες μας είναι βασισμένοι στις νέες τεχνολογίες και στα δίκτυα υπολογιστών. Ο κλάδος αυτό γνωρίζει μία έντονη εξέλιξη. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μία παρουσίαση και ανάλυση του πρωτοκόλλου TCP. Οι κύριοι στόχοι αυτού του πρωτοκόλλου είναι να επιβεβαιώνει την σωστή αποστολή και λήψη των μηνυμάτων που στέλνονται μεταξύ δύο άκρων ενός δικτύου.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε γενικά στα δίκτυα υπολογιστών, στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν και γίνεται και μία σύντομη αναφορά στην στρωματοποίηση των δικτύων. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του πρωτοκόλλου TCP/IP. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφερόμαστε σε διάφορα προγράμματα που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση προσομοιώσεων δικτύων, καθώς επίσης και στο OMNeT++, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται κάποιες περιπτώσεις που μελετήθηκαν καθώς επίσης και κάποια συμπεράσματα που προήλθαν κατόπιν της μελέτης των παραδειγμάτων στο περιβάλλον του OMNeT++.

Περιεχόμενα

Λίστα Εικόνων	5
Λίστα Πινάκων	7
1. Δίκτυα Υπολογιστών	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Επικοινωνίες και πληροφορική	11
1.3 Επικοινωνίες Δεδομένων	12
1.4 Μοντέλο επικοινωνιών	14
1.5 Μεταγωγή και πολυπλεξία	15
1.6 Τεχνικές μεταγωγής	17
1.6.1 Μεταγωγή κυκλώματος	17
1.6.2 Μεταγωγή πακέτου	19
2. Πρωτόκολλο TCP	23
2.1 Πρότυπο OSI – Open System Interconnection	23
2.2 Στρωματοποίηση κατά OSI	24
2.3 Στρωματοποίηση κατά TCP/ IP	29
2.4 Αρχιτεκτονική του TCP	32
2.5 Μηχανισμοί TCP	38
3. Προσομοίωση Δικτύων	44
3.1 Περιβάλλοντα προσομοιώσεων	44
3.2 Network Simulator 2 (NS2)	44
3.3 OPNET	46
3.4 OMNET++	48
3.5 INET FRAMEWORK	53
4. Προσομοίωση Δικτύων	55
4.1 Προσομοίωση στο OMNeT++	55
4.2 Περιπτώσεις μελέτης	57
5. Συμπεράσματα	61
Βιβλιογραφία	72

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Αριθμός συνδέσεων για 4 ή 5 υπολογιστές	10
Εικόνα 2 κόμβοι σε ένα δίκτυο	12
Εικόνα 3 Ασύγχρονη μετάδοση	15
Εικόνα 4 Σύγχρονη μετάδοση	15
Εικόνα 5 Μοντέλο επικοινωνιών	16
Εικόνα 6 δίκτυο μεταγωγής	17
Εικόνα 7 πολυπλεξία	18
Εικόνα 8 μεταγωγή κυκλώματος	19
Εικόνα 9 μεταγωγή πακέτων	21
Εικόνα 10 Πρότυπο OSI	26
Εικόνα 11 Σύγκριση των δύο προτύπων	32
Εικόνα 12 Δίκτυο WAN	33
Εικόνα 13 Πακέτο TCP	37
Εικόνα 14 Πρωτόκολλα TCP/IP	44
Εικόνα 15 network simulator 2 (πηγή: http://mobigelresearch.blogspot.gr/2013/07/ns-2-simulator.html)	46
Εικόνα 16 Αρχική εικόνα OPNET	49
Εικόνα 17 Δίκτυο στο OMNET++ (πηγή: nesct.sourceforge.net)	52
Εικόνα 18 INET FRAMEWORK (πηγή: inet.omnetpp.org)	55
Εικόνα 19 TCP σύνδεση	59
Εικόνα 20 Μηνύματα για την σύνδεση και επικοινωνία δύο μονάδων	60
Εικόνα 21 Αίτημα συγχρονισμού	61
Εικόνα 22 Μήνυμα server SYN+ACK	61
Εικόνα 23 ACK	61
Εικόνα 24 Αίτηση για αποστολή δεδομένων	62
Εικόνα 25 επιβεβαίωση	62
Εικόνα 26 Αποστολή δεδομένων	62
Εικόνα 27 Πόσες επιβεβαιώσεις έστειλε ο server	63
Εικόνα 28 επιβεβαιώσεις που έλαβε ο client	63
Εικόνα 29 ρυθμός δεδομένων που έλαβε ο client	64
Εικόνα 30 ρυθμός δεδομένων που έλαβε ο server	65
Εικόνα 31 bytes που στάλθηκαν στον client χωρίς επιβεβαίωση, επομένως δεν έφτασαν στον προορισμό τους	65
Εικόνα 32 Αντίστοιχα αι για τον server	66
Εικόνα 33 frames που έστειλε ο server	66
Εικόνα 34 frames που έλαβε ο client	67
Εικόνα 35 frames που έστειλε ο client	67
Εικόνα 36 frames που έλαβε ο server	68
Εικόνα 37 μέση ρυθμαπόδοση στον server	68
Εικόνα 38 μέσος αριθμός πακέτων που έφτασαν στον server	69
Εικόνα 39 μη επιβεβαιωμένα bytes στον client	69

Εικόνα 40 επιβεβαιώσεις που έστειλε ο client	70
Εικόνα 41 μη επιβεβαιωμένα bytes στον server	71
Εικόνα 42 ρυθμός δεδομένων στον server	71
Εικόνα 43 router	72
Εικόνα 44 Συγχρονισμός μέσω router.....	72
Εικόνα 45 πολλοί clients	73

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Πρωτογενείς λειτουργίες TCP	35
Πίνακας 2 Παράμετροι υπηρεσίας TCP.....	36

1. Δίκτυα Υπολογιστών

1.1 Εισαγωγή

Οι νέες τεχνολογίες στο χώρο της πληροφορικής και των επικοινωνιών έχουν αλλάξει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο εργαζόμαστε, επικοινωνούμε και μας έχουν οδηγήσει εδώ και χρόνια στην Κοινωνία της Πληροφορίας. Αναπόσπαστο κομμάτι αυτή της νέας εποχής είναι τα δίκτυα επικοινωνίας.

Η ανάγκη των ανθρώπων να επικοινωνούν μεταξύ τους ξεκινά από πολύ παλιά με τη χρήση σημάτων καπνού και συνεχίζεται στον 19^ο αιώνα με τη χρήση της τηλεγραφίας, στον 20^ο αιώνα με τη χρήση της τηλεφωνίας και στην 3^η χιλιετία με τη χρήση των δικτύων υπολογιστών.

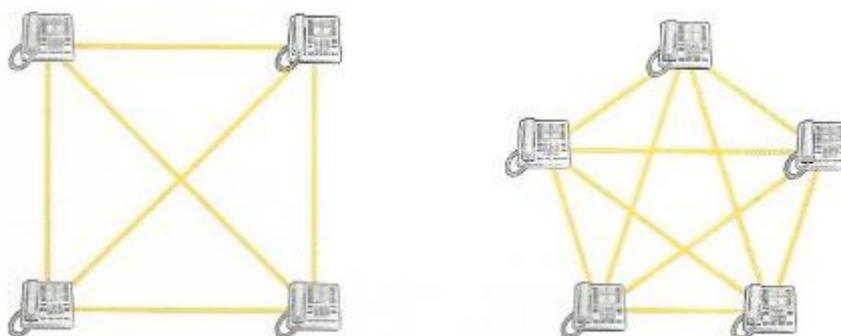
Με τον όρο Δίκτυο, στο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, αναφερόμαστε σε ένα σύστημα που έχει στόχο να συνδεθούν μεταξύ τους τερματικές συσκευές κάθε είδους, διαθέτοντας ταυτόχρονα τέτοια δομή με την οποία μπορεί να επιτευχθεί η επικοινωνία είτε μεταξύ τους. Ένα δίκτυο εκτός από τα δύο τερματικά που συνδέει, περιλαμβάνει επίσης και κόμβους, συσκευές τηλεπικοινωνιών και μέσα για τη διέλευση των πληροφοριών. Βασικός σκοπός ενός δικτύου είναι να μπορούν οι χρήστες αυτού, να έχουν πρόσβαση στους υπάρχοντες πόρους που είναι διαθέσιμοι για κοινή χρήση, όπως είναι συσκευές υλικού, λογισμικό και δεδομένα. Η δικτύωση των υπολογιστών δίνει τη δυνατότητα να έχουμε ένα συνδυασμό πληροφορίας, επικοινωνιών και διασκέδασης (1).

Όταν ο Γκράχαμ Μπελ λειτούργησε για πρώτη φορά το τηλέφωνο, μπόρεσε να συνομιλήσει με ένα φίλο του που βρισκόταν σε απόσταση, χρησιμοποιώντας δύο τηλεφωνικές συσκευές και μία τηλεφωνική γραμμή. Όταν και άλλοι φίλοι του ζήτησαν να έχουν και αυτοί το ίδιο προνόμιο, ο Μπελ για κάθε τέτοια σύνδεση διέθετε από δυο τηλεφωνικές συσκευές και από μια γραμμή. Έτσι ο ίδιος που μπορούσε να μιλήσει με όλους, είχε στο σπίτι του τόσες συσκευές όσες και οι συνδέσεις, ενώ παράλληλα ο ίδιος αριθμός γραμμών ξεκινούσε από εκεί με προορισμό τους φίλους του (2).

Όπως ήταν αναμενόμενο έπρεπε να αυξάνεται ο αριθμός των συσκευών και των γραμμών καθώς αυξάνονταν ο αριθμός των χρηστών στην τηλεφωνία. Μέσα σε λίγο όμως χρονικό διάστημα υπήρξε τόσο μεγάλη αύξηση των χρηστών ώσπου φάνηκε ότι

η κατάσταση αυτή δεν ήταν δυνατόν να συνεχιστεί, καθώς αν συνεχίζονταν έτσι αυτή η κατάσταση θα έφτανε σίγουρα σε αδιέξοδο. Για παράδειγμα αν υποθέσουμε ότι έχουμε N σημεία τα οποία θέλουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, τότε θα πρέπει να υπάρχουν $N(N-1)/2$ συνδέσεις και ο κάθε συνδρομητής πρέπει να έχει $N-1$ συσκευές. Σε περίπτωση που είχαμε 100 τέτοια σημεία, χρειαζόμαστε 4950 γραμμές και κάθε χρήστης να διαθέτει 99 τηλεφωνικές συσκευές κάτι το οποίο ξεπερνά τα όρια της λογικής (2).

Για την επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών χρειάζεται να υπάρχει σύνδεση από σημείο σε σημείο που να τις συνδέει. Αυτό μπορεί να γίνει είτε ενσύρματα είτε ασύρματα. Όμως δεν μπορεί να υπάρχει σύνδεση από σημείο σε σημείο όταν ο αριθμός των συσκευών αυξάνει και θέλουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους περισσότερες από δύο συσκευές (1).



Εικόνα 1:Αριθμός συνδέσεων για 4 ή 5 υπολογιστές

Γενικότερα, η λύση στο πρόβλημα της επικοινωνίας είναι η δημιουργία δικτύου του οποίου οι γραμμές, οι κόμβοι και γενικότερα οι πόροι (resources) να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιονδήποτε που θέλει να επικοινωνήσει.

Κάπως έτσι κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία του Δικτύου, αλλά όπως είναι αναμενόμενο μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη δυνατή λύση υπήρξαν πολλά στάδια. Αρχικά δημιουργήθηκαν τα πρώτα τηλεφωνικά κέντρα, στα οποία ο κάθε συνδρομητής συνδεόταν ακτινωτά με μια αφιερωμένη γραμμή και μια συσκευή. Την εποχή εκείνη οι τηλεφωνήτριες που χειρίζονταν τα κέντρα, έπρεπε να συνδέουν την γραμμή του καλούντος συνδρομητή με αυτήν του καλούμενου με την βοήθεια βυσμάτων. Επίσης υπήρχαν ειδικές γεννήτριες ρεύματος οι οποίες ήταν

ενσωματωμένες στις τηλεφωνικές συσκευές και επέτρεπαν τις κλήσεις προς το κέντρο καθώς δεν υπήρχε η επιλογή αριθμού (2).

Αυτή ήταν η πρώτη μορφή δικτύου επικοινωνιών φωνής. Η εξέλιξη των ηλεκτρομηχανικών τηλεφωνικών κέντρων ήρθε με τη χρήση της αυτόματης επιλογής, τα οποία στη συνέχεια εξελίχθηκαν σε ηλεκτρονικά κέντρα, για να φτάσουμε στη σημερινή χρήση υπολογιστικών συστημάτων και ψηφιακών τεχνικών επιλογής και μετάδοσης (2).

Κάπως παρόμοια ήταν και η εξέλιξη σχετικά με τα δίκτυα δεδομένων. Στην αρχή ένας Τερματικός σταθμός (Data Terminal Equipment) συνδέεται με έναν άλλο τέτοιο σταθμό χρησιμοποιώντας το κοινό τηλεφωνικό δίκτυο ή τις μόνιμες αφιερωμένες (dedicated) γραμμές. Στη συνέχεια όμως προέκυψε η ανάγκη πολλαπλών συνδέσεων, που οδήγησε στη δημιουργία και εκμετάλλευση ποικίλων δικτύων δεδομένων. Τα σύγχρονα δίκτυα είναι τέτοια που δεν χρειάζονται πολλαπλές αφιερωμένες συνδέσεις μεταξύ των συνδρομητών. Ο κάθε συνδρομητής μπορεί να συνδέεται μόνο με μια γραμμή με το πλησιέστερο τηλεπικοινωνιακό κέντρο (2).

Επομένως με τον όρο επικοινωνιακό δίκτυο, αναφερόμαστε σε ένα σύνολο κόμβων οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω γραμμών ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες. Οι κόμβοι μπορεί να είναι οποιαδήποτε τερματική συσκευή, όπως τηλεφωνικές συσκευές, υπολογιστές, εκτυπωτές, εξυπηρετητές αρχείων, ή συσκευές επικοινωνίας, όπως τηλεφωνικά κέντρα, πύλες, δρομολογητές, επαναλήπτες (3).

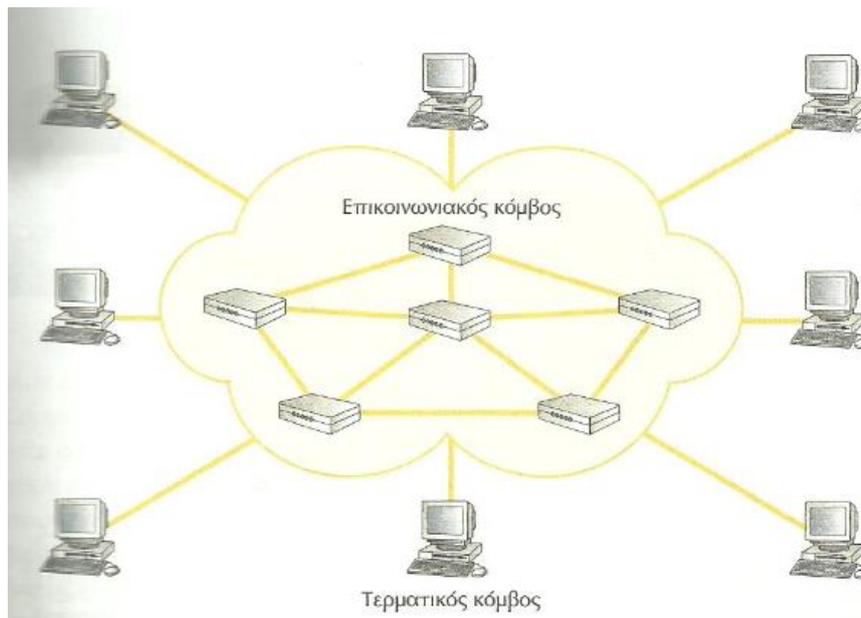
Έτσι προκύπτουν δύο ειδών κόμβοι οι τερματικοί και οι επικοινωνιακοί κόμβοι. Στους τερματικούς κόμβους παράγονται ή καταναλώνονται οι πληροφορίες, που μεταφέρονται στο δίκτυο. Αντίθετα οι επικοινωνιακοί κόμβοι συμβάλλουν στην μεταφορά της πληροφορίας (3).

Το τηλεφωνικό δίκτυο, που χρησιμοποιείται για μετάδοση φωνής, είναι το πιο γνωστό και επεκταμένο δίκτυο επικοινωνίας, ωστόσο υπάρχουν πολλών ειδών δίκτυα επικοινωνίας. Σε γραφεία χρησιμοποιούνται δίκτυα υπολογιστών ώστε να επιτρέπεται στους εργαζόμενους, να χρησιμοποιούν από κοινού δεδομένα και συσκευές, σε εργοστάσια, για να βοηθούν στις αυτοματοποιημένες διαδικασίες παραγωγής αλλά και σε ολόκληρο τον κόσμο για να παρέχουν στους χρήστες τους τη δυνατότητα ανταλλαγής μηνυμάτων, αρχείων και πρόσβασης σε κάθε είδους πληροφορία, το γνωστό σε όλους διαδίκτυο – Internet (3).

Μερικά από τα πιο σημαντικά οφέλη που υπάρχουν από τη χρήση των δικτύων είναι η υψηλή αξιοπιστία, ο διαμερισμός πόρων, η εξοικονόμηση χρημάτων και η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών του δικτύου (3).

Πλέον οι μεταδόσεις φωνής, data, εικόνας ολοκληρώνονται μέσω ψηφιακών δικτύων υψηλών ταχυτήτων που χρησιμοποιούν τεχνολογίες *bandwidth on demand*, για βέλτιστη εκμετάλλευση της χωρητικότητας των καναλιών και των επικοινωνιακών κόμβων με την χρήση τεχνικών όπως η ATM (Asynchronous Transfer Mode) (2).

Όμως ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών γνωρίζει ταχύτερη εξέλιξη ώστε πλέον να χρησιμοποιούνται ως μέσο μετάδοσης οι οπτικές ίνες με τις οποίες επιτυγχάνονται πραγματικά υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων. Επίσης ταχύτερη εξέλιξη υπάρχει και σε τεχνικές μεταγωγής και κόμβους υψηλών ταχυτήτων, δημιουργούνται συνεχώς νέα δίκτυα και υπηρεσίες όπως video on demand, βιντεοτηλεφωνία, επικοινωνίες πολυμέσων κλπ. (2).



Εικόνα 2: κόμβοι σε ένα δίκτυο

1.2 Επικοινωνίες και πληροφορική

Τόσο ο χώρος της πληροφορικής όσο και ο χώρος των επικοινωνιών πλέον δεν μπορούμε να πούμε ότι αποτελούν τόσο ξεχωριστά κομμάτια αφού πλέον με την πάροδο των ετών και την γρήγορη εξέλιξη, σχεδόν ταυτίζονται. Έτσι προέκυψε η τηλεπληροφορική, νέες τεχνολογίες, προϊόντα και εταιρείες που έχουν

δραστηριοποιηθεί σε αυτό τον χώρο. Με αυτή την ενοποίηση έχουν προκύψει τα κάτωθι: (3)

- ❖ Δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ της επεξεργασίας των δεδομένων (υπολογιστικός εξοπλισμός) και των επικοινωνιών δεδομένων (εξοπλισμός μετάδοσης και μεταγωγής).
- ❖ Ενοποίηση επικοινωνιών δεδομένων, φωνής και εικόνας.
- ❖ Ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων, τα οποία μεταδίδουν και επεξεργάζονται κάθε τύπου δεδομένα και πληροφορίες.

Με την ενοποίηση αυτών των δύο χώρων, έχουμε σημαντικές αλλαγές σε όλους τους τομείς της κοινωνίας.

Σε ένα δίκτυο επικοινωνιών οι χρήστες επιθυμούν να απολαμβάνουν κάποιες υπηρεσίες όπως είναι για παράδειγμα η τηλεφωνική επικοινωνία, με την οποία γίνεται εφικτή η σύνδεση μιας τηλεφωνικής συσκευής με οποιαδήποτε άλλη. Μέσω αυτής της υπηρεσίας δίνεται η δυνατότητα να μεταδίδεται πληροφορία στον χρήστη, καθώς επίσης και πληροφορία σηματοδοσίας. Άλλες συνηθισμένες υπηρεσίες που προσφέρονται από τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είναι η αναμονής κλήσης, η εκτροπή κλήσης, η φραγή εξερχόμενων κλήσεων (4).

Εξίσου υπηρεσίες παρέχουν και τα δίκτυα δεδομένων, όπως η δυνατότητα χρήσης κοινόχρηστου εκτυπωτή στους υπολογιστές που ανήκουν σε ένα τοπικό δίκτυο. Άλλη υπηρεσία είναι να μπορούν οι χρήστες ενός δικτύου να μοιράζονται αρχεία, κάτι το οποίο πλέον έχει επεκταθεί, μέσω του διαδικτύου, σε παγκόσμιο επίπεδο όπου μπορεί οποιοσδήποτε χρήστης να μοιραστεί αρχεία με χρήστες που βρίσκονται χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά (4).

1.3 Επικοινωνίες Δεδομένων

Όπως αναφέραμε προηγούμενα ένα δίκτυο δεδομένων μπορεί να προσφέρει πολλές και διαφορετικές υπηρεσίες. Με τον όρο Επικοινωνίες Δεδομένων εννοούμε την ανταλλαγή πληροφοριών με τη μορφή data μεταξύ υπολογιστικών και τερματικών σταθμών. Οι πληροφορίες αυτές είναι δεδομένα (data) τα οποία μπορεί να κωδικοποιούν χαρακτήρες όπως είναι τα γράμματα της αλφαβήτου, οι αριθμοί, τα σημεία στίξης και διάφορα άλλα σύμβολα (2).

Η διάκριση που γίνεται μεταξύ των επικοινωνιών δεδομένων και των άλλων μορφών, δηλαδή φωνής, εικόνας κλπ. είναι στο τι μεταφέρουν και όχι ο τρόπος με τον οποίο μεταφέρονται, αφού πλέον με ψηφιακές τεχνικές μεταδίδονται όχι μόνο τα δεδομένα, αλλά και η φωνή και η εικόνα.

Βασικός όρος είναι η πληροφορία, όπου εννοούμε καθετί που προέρχεται από την επεξεργασία των δεδομένων, ενώ με τη λέξη δεδομένα ή data εννοούμε την κωδικοποιημένη μορφή της πληροφορίας με τη μορφή γραμμάτων ή συμβόλων. Για να κωδικοποιηθεί η πληροφορία υπάρχουν ψηφιακοί μηχανισμοί όπου στη συνέχεια μπορεί να αποθηκευθεί είτε να μεταδοθεί. Με τον όρο επεξεργασία δεδομένων εννοούμε την διαδικασία της κωδικοποίησης της πληροφορίας. Ακόμα με την έννοια μετάδοση δεδομένων (data transmission) αναφερόμαστε στην μετάδοση της πληροφορίας μέσα από φυσικά κανάλια μετάδοσης, ενσύρματα ή ασύρματα (2).

Η επικοινωνία δεδομένων δεν αναφέρεται μόνο στην έννοια της μετάδοσης, καθώς εκτός από την εκπομπή και τη κωδικοποίηση της πληροφορίας, θα πρέπει να διασφαλίσει ότι η πληροφορία θα σταλεί σωστά χωρίς σφάλματα και να ελέγχει τους κανόνες που πρέπει να πληρούνται κατά την μετάδοση. Επομένως περιλαμβάνει όλα τα φυσικά κυκλώματα μετάδοσης, τον απαιτούμενο εξοπλισμό και το λογισμικό, διαδικασίες αναγνώρισης και διόρθωσης των σφαλμάτων μετάδοσης, έλεγχο της ροής των δεδομένων και συνολικά κανόνες για την εξασφάλιση της επικοινωνίας δύο ή περισσότερων υπολογιστικών σταθμών (2).

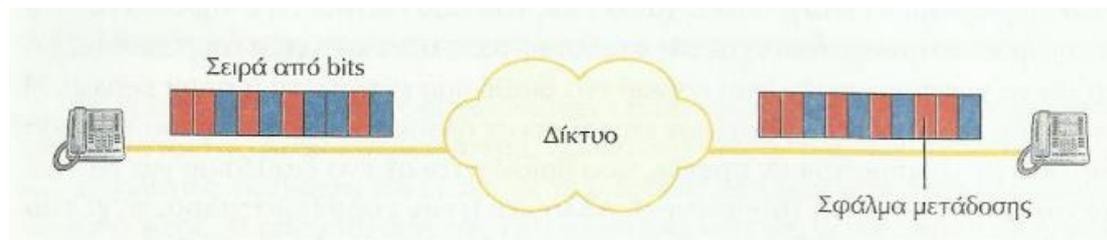
Οι υπηρεσίες που προσφέρονται μπορούν είτε να είναι ασύγχρονες είτε σύγχρονες:

- ❖ Κατά την ασύγχρονη υπηρεσία επικοινωνίας, προτού η σειρά από bits μεταδοθεί, διαιρείται σε πακέτα. Αυτά μεταδίδονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο μέσα από το δίκτυο επικοινωνίας, επομένως κάθε ένα λαμβάνονται στον προορισμό τους με διαφορετικές καθυστερήσεις, ενδεχομένως και εκτός σειράς. Επίσης υπάρχει η πιθανότητα κάποια από τα πακέτα να χαθούν ή να σταλούν με σφάλματα. Για την περιγραφή της ποιότητας της ασύγχρονης υπηρεσίας επικοινωνίας χρησιμοποιούνται παράμετροι, όπως ο ρυθμός λανθασμένων πακέτων, η καθυστέρηση, ο τελικός ρυθμός μετάδοσης, η αξιοπιστία και η ασφάλεια της επικοινωνίας (3).



Εικόνα 3: Ασύγχρονη μετάδοση

- ❖ Στη σύγχρονη μετάδοση, η σειρά από bits μεταδίδεται με σταθερή καθυστέρηση και συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης. Σε αυτή την περίπτωση κάθε bit φθάνει στον προορισμό του με την ίδια καθυστέρηση και με τη σωστή σειρά, ενώ μερικά bits είναι πιθανό να ληφθούν λάθος. Παράδειγμα σύγχρονης μετάδοσης προσφέρει το τηλεφωνικό δίκτυο. Ο συνδρομητής καλεί πρώτα τον αριθμό του άλλου συνδρομητή, γίνεται εγκατάσταση της σύνδεσης η οποία παύει να ισχύει όταν τερματιστεί η κλήση. Σε όλη τη διάρκεια της σύνδεσης, οι δύο συνδρομητές έχουν στη διάθεσή τους αποκλειστικά ένα κανάλι από σημείο σε σημείο, το οποίο πάντα παραδίδει πληροφορίες με τη σειρά, που στάλθηκαν (3).



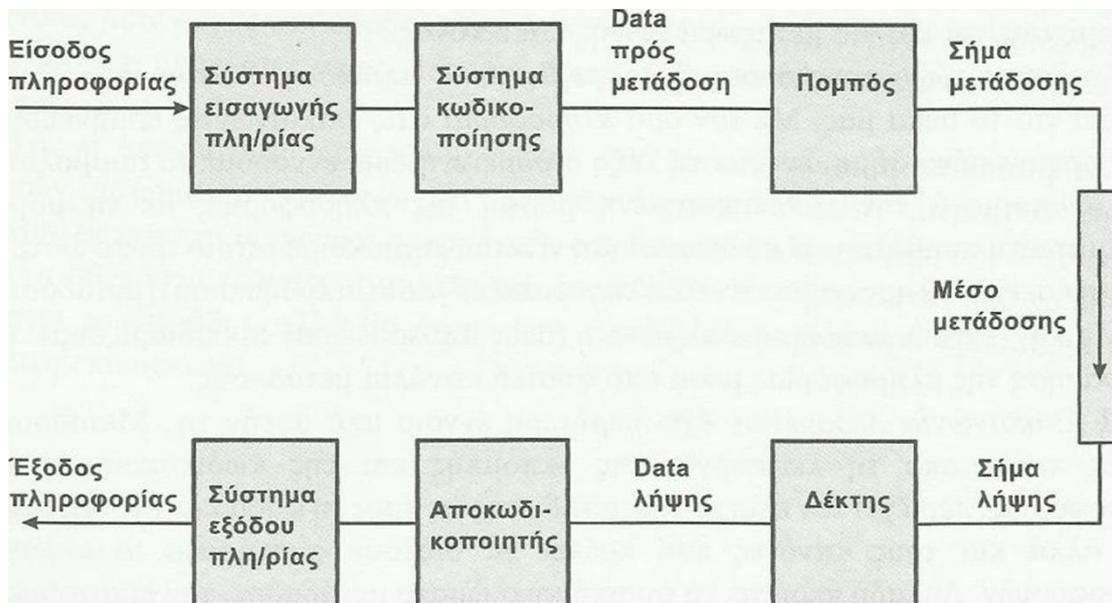
Εικόνα 4: Σύγχρονη μετάδοση

1.4 Μοντέλο επικοινωνιών

Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται ένα επικοινωνιακό μοντέλο στο οποίο περιλαμβάνεται η πηγή της πληροφορίας, η μονάδα κωδικοποίησης και μετατροπής της πληροφορίας σε μορφή κατάλληλη για το σύστημα μετάδοσης, η μονάδα εκπομπής της διαμορφωμένης πλέον πληροφορίας, τα μέσα μετάδοσης, η μονάδα λήψης της πληροφορίας, η μονάδα αποκωδικοποίησης και τέλος η μονάδα παρουσίασης της πληροφορίας στη λήψη. Βασικές λειτουργίες του μοντέλου είναι (2):

1. Προετοιμασία της πληροφορίας προς αποστολή.
2. Συγχρονισμός των διαφόρων συμμετεχόντων στοιχείων της μετάδοσης.

3. Συντονισμός δηλαδή όλων των συσκευών και των λειτουργιών που επιτελούν.
4. Προσδιορισμός του προορισμού της πληροφορίας.
5. Δρομολόγηση της πληροφορίας.
6. Έλεγχος ροής.
7. Διαδικασίες λήψης.
8. Αναγνώριση / διόρθωση σφαλμάτων.
9. Ασφάλεια μεταδιδόμενων data.
10. Τακτοποίηση / παρουσίαση ληφθέντος μηνύματος.
11. Διαχείριση συνομιλίας.

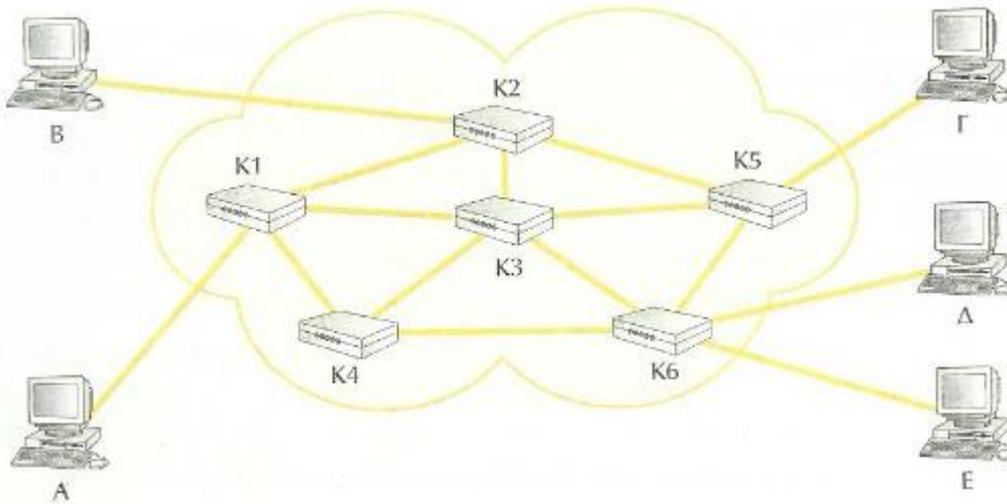


Εικόνα 5: Μοντέλο επικοινωνιών

1.5 Μεταγωγή και πολυπλεξία

Για να μεταφέρονται οι πληροφορίες μέσα στα δίκτυα υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές, η μεταγωγή και η πολυπλεξία.

Η πληροφορία για να φτάσει στον τελικό της προορισμό περνά από διαδοχικούς κόμβους του δικτύου και αυτή η διαδικασία ονομάζεται μεταγωγή (switching). Με αυτό τον τρόπο δεν χρειάζεται να υπάρχουν γραμμές, που να συνδέουν όλους τους σταθμούς μεταξύ τους, αφού παρέχεται από το δίκτυο υπηρεσία επικοινωνίας, στην οποία κάθε σταθμός μπορεί να ανταλλάξει πληροφορία με οποιοδήποτε σταθμό του δικτύου (3).



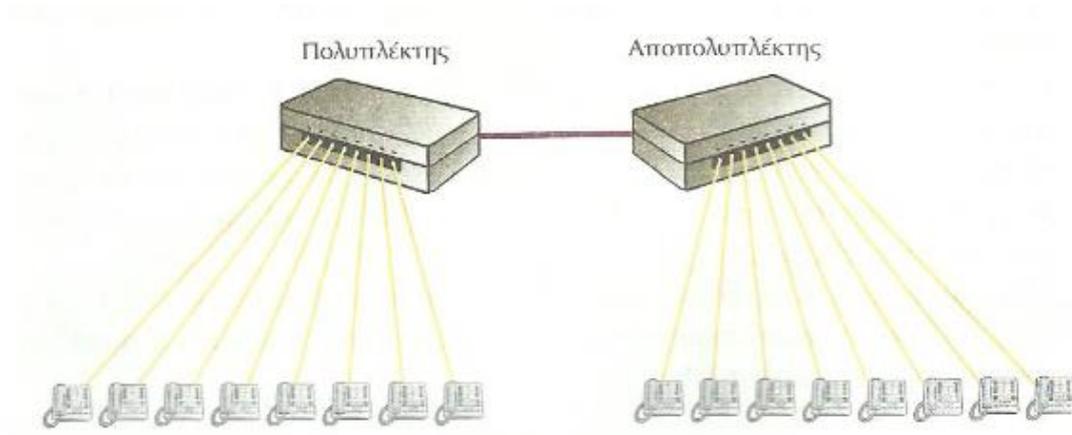
Εικόνα 6: δίκτυο μεταγωγής

Οι κόμβοι που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της μεταγωγής δεν ασχολούνται με το περιεχόμενο της πληροφορίας, αλλά μόνο με το πως θα προωθήσουν την πληροφορία κατάλληλα από κόμβο σε κόμβο, τον τελικό της προορισμό. Οι υπηρεσίες επικοινωνίας παρέχονται σε σταθμούς, οι οποίοι μπορεί να είναι υπολογιστές, τερματικά, τηλεφωνικές συσκευές ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή επικοινωνίας. Οι κόμβοι μεταγωγής, συνδέονται μεταξύ τους με τις επικοινωνιακές γραμμές. Κάθε σταθμός συνδέεται με κάποιο κόμβο. Επομένως αν θέλουμε για παράδειγμα, ένα μήνυμα, που στέλνει ο σταθμός Α και προορίζεται για τον σταθμό Δ, παραδίδεται αρχικά στον κόμβο Κ1. Στη συνέχεια μέσω των κόμβων Κ3 και Κ6 ή μέσω των κόμβων Κ4 και Κ6, προωθείται στο σταθμό προορισμού Δ (3).

Δεν υπάρχει πάντα απευθείας γραμμή, που να συνδέει δύο κόμβους, αν και είναι επιθυμητό να υπάρχουν περισσότερες από μία διαδρομές, που να συνδέουν δύο σταθμούς, γιατί με αυτό τον τρόπο το δίκτυο γίνεται περισσότερο αξιόπιστο και είναι λιγότερο ευάλωτο σε βλάβες (3).

Με τον όρο Πολυπλεξία (εικόνα 7) (multiplexing) ονομάζεται η τεχνική, που επιτρέπει, δεδομένα από πολλές πηγές να μεταδίδονται ταυτόχρονα από την ίδια γραμμή επικοινωνίας, χωρίς να υπάρχει πρόβλημα παρεμβολών. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση των γραμμών υψηλής χωρητικότητας. Υπάρχουν Ν γραμμές εισόδου σε μια συσκευή, που λέγεται ττολυπλέκτης (multiplexer). Ο πολυπλέκτης συνδέεται μέσω επικοινωνιακής γραμμής με ένα αποπολυπλέκτη (demultiplexer). Επομένως μπορούν και μεταφέρονται Ν διαφορετικά κανάλια μέσω της γραμμής σύνδεσης. Τα δεδομένα πολυπλέκονται στον πολυπλέκτη και στη

συνέχεια μεταδίδονται Έπειτα γίνεται η αντίστροφη διαδικασία στον αποπολυπλέκτη, όπου τα δεδομένα διαχωρίζονται ανάλογα το κανάλι και στέλνονται στον σωστό προορισμό (3).



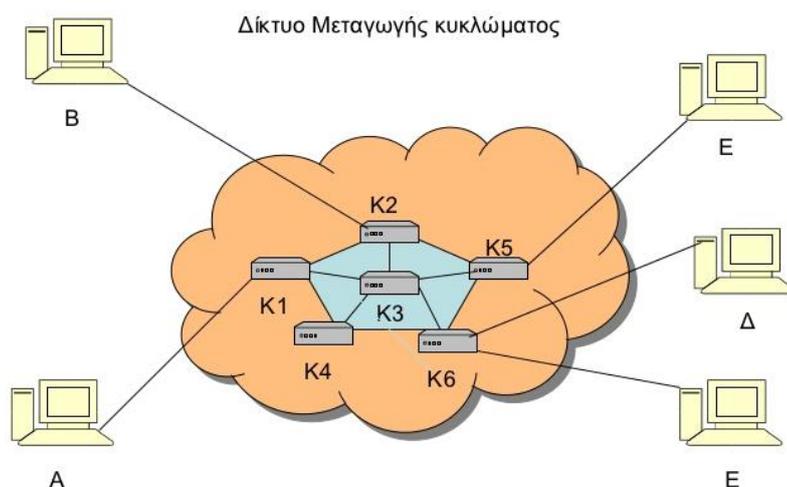
Εικόνα 7: πολυπλεξία

1.6 Τεχνικές μεταγωγής

Υπάρχουν αρκετές τεχνικές μεταγωγής, η μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching) και η μεταγωγή πακέτου (packet switching), όπου η διαφορά τους βρίσκεται στο τρόπο, με τον οποίο οι κόμβοι προωθούν την πληροφορία από τη μια γραμμή στην επόμενη, μέχρι τον προορισμό της.

1.6.1 Μεταγωγή κυκλώματος

Στη μεταγωγή κυκλώματος, για να επικοινωνήσουν δύο σταθμοί πρέπει να αποκατασταθεί μια αποκλειστική φυσική σύνδεση μεταξύ τους, η οποία και διατηρείται σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας. Στην ουσία αυτή η σύνδεση είναι μία γραμμή από κόμβους και για να ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία υπάρχουν τρεις φάσεις (3).



Εικόνα 8: μεταγωγή κυκλώματος

1. Αποκατάσταση κυκλώματος. Ο σταθμός Α θέλει να επικοινωνήσει με το σταθμό Δ. Για να γίνει αυτό, πρέπει πρώτα να δημιουργηθεί μια σύνδεση (κύκλωμα) από άκρη σε άκρη (από τον Α στον Δ). Η σύνδεση υλοποιείται τμηματικά, από τον Α στον κόμβο Κ1, από τον κόμβο Κ1 στον κόμβο Κ3, από τον κόμβο Κ3 στον κόμβο Κ6 και από τον κόμβο Κ6 στον Δ. Αν διαπιστωθεί, ότι ο Δ δεν είναι απασχολημένος, αποκαθίσταται η σύνδεση.
2. Μεταφορά πληροφορίας. Τώρα μπορεί να αρχίσει, μέσω του δικτύου, η μεταφορά της πληροφορίας από το σταθμό Α στο σταθμό Δ. Αυτή μπορεί να είναι αναλογική ή ψηφιακή, ανάλογα με τη φύση του δικτύου. Βέβαια, καθώς οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς, διεθνώς, αναπτύσσουν ολοκληρωμένα ψηφιακά δίκτυα, η χρήση ψηφιακής μετάδοσης, τόσο για τη φωνή όσο και για τα δεδομένα, έχει αρχίσει να κυριαρχεί. Η μετάδοση, που είναι συνήθως διπλής κατεύθυνσης (από τον Α στο Δ και από το Δ στον Α) γίνεται μέσω της γραμμής Α-Κ1, της εσωτερικής μεταγωγής στον Κ1, της γραμμής Κ1-Κ3, της εσωτερικής μεταγωγής στον Κ3, της γραμμής Κ3-Κ6, της εσωτερικής μεταγωγής στον Κ6 και της γραμμής Κ6-Δ.
3. Τερματισμός κυκλώματος. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα η μεταφορά των δεδομένων τελειώνει και η σύνδεση τερματίζεται. Οι κόμβοι μεταγωγής, που μετείχαν στη συγκεκριμένη σύνδεση, ενημερώνονται κατάλληλα, ώστε να ελευθερώσουν τους πόρους, που είχαν

δεσμεύσει. Αυτοί οι πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα για κάποια άλλη σύνδεση (3).

Αυτή η τεχνική μεταγωγής όμως πολλές φορές δεν φέρνει το σωστό αποτέλεσμα. Από τους πολυτιμότερους πόρους σε ένα δίκτυο είναι η χωρητικότητα του καναλιού και αφιερώνεται σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας των δύο σταθμών, ακόμη και όταν δεν μεταδίδεται πληροφορία. Όταν πρόκειται για τηλεφωνική σύνδεση το κανάλι χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό, χωρίς όμως να πλησιάζει το 100%.

Όταν αναφερόμαστε σε επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών τότε υπάρχει πιθανότητα το κανάλι να μην χρησιμοποιηθεί κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της σύνδεσης. Επίσης υπάρχει καθυστέρηση πριν τη μετάδοση πληροφορίας, ώστε να αποκατασταθεί η σύνδεση. Από την άλλη, αφού αποκατασταθεί η σύνδεση, η πληροφορία μπορεί να μεταφερθεί από τον ένα σταθμό στον άλλο με σταθερό ρυθμό και χωρίς καθυστερήσεις (4).

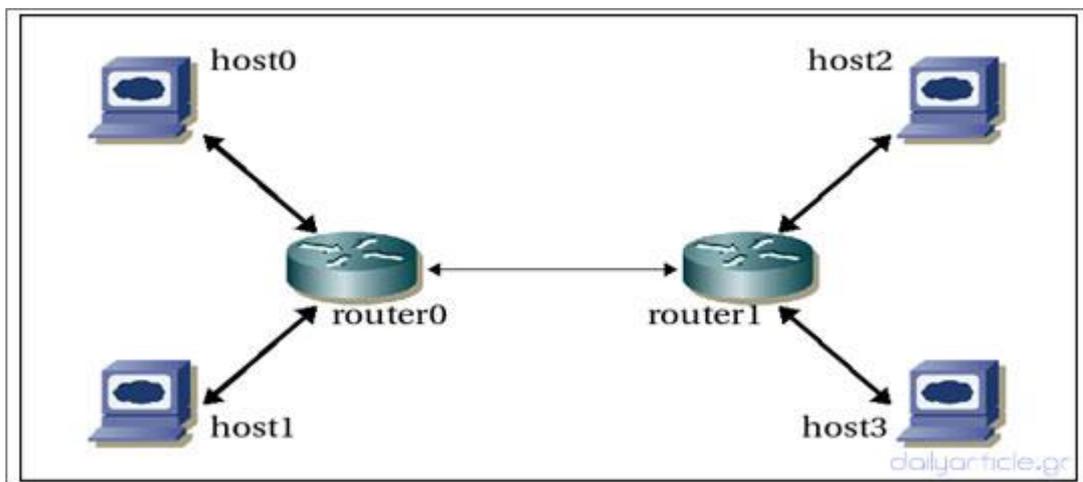
Το πιο γνωστό παράδειγμα δικτύου μεταγωγής κυκλώματος είναι το δημόσιο επιλεγόμενο τηλεφωνικό δίκτυο (Public Switched Telephone Network, PSTN). Αυτό το δίκτυο αρχικά είχε σχεδιασθεί και αναπτυχθεί, ώστε να παρέχει αναλογικές τηλεφωνικές υπηρεσίες στους συνδρομητές του και πλέον έχει φθάσει να υποστηρίζει και μετάδοση δεδομένων (σύνδεση υπολογιστών) χρησιμοποιώντας κατάλληλα modems, και μετατρέπεται σταδιακά σε ψηφιακό δίκτυο (4).

1.6.2 Μεταγωγή πακέτου

Όπως αναφέρθηκε τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος άρχισαν να χρησιμοποιούνται και για επικοινωνίες δεδομένων, και τότε έγιναν αντιληπτά δύο πράγματα (3):

1. Σε μια απλή επικοινωνία μεταξύ ενός χρήστη με υπολογιστή, ο τρόπος ανταλλαγής δεδομένων είναι τέτοιος, ώστε την περισσότερη ώρα η γραμμή δεν χρησιμοποιείται, επομένως χάνονται πολύτιμοι πόροι του δικτύου, άρα πρόκειται για μία ασύμφορη τεχνική.
2. Ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος παρέχει συνδέσεις για ανταλλαγή δεδομένων με σταθερό ρυθμό. Έτσι, καθεμία από τις συσκευές που επικοινωνούν, πρέπει να εκπέμπει και να λαμβάνει με τον ίδιο ρυθμό, αυτό το γεγονός περιορίζει τη δυνατότητα ενός δικτύου να διασυνδέει διάφορους υπολογιστές και γενικότερα μια ποικιλία εξοπλισμού.

Γι' αυτό εμφανίστηκε η νέα τεχνική μεταγωγής πακέτου. Τα μηνύματα που πρόκειται να μεταδοθούν κόβονται σε πακέτα μικρού αριθμού bytes. Τυπικό μέγιστο μήκος πακέτου είναι τα 1000 bytes. Σε κάθε πακέτο υπάρχει ένα τμήμα ωφέλιμης πληροφορίας, μια διεύθυνση προορισμού (destination address) κι ένας αριθμός σειράς (sequence number). Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί τη διεύθυνση προορισμού για να πάρει απόφαση σε ποιον κόμβο θα στείλει το κάθε πακέτο. Οι αριθμοί σειράς των πακέτων χρησιμοποιούνται από το σταθμό προορισμού, για να μπορέσει να φτιάξει από την αρχή τα πακέτα στην σωστή σειρά (3).



Εικόνα 9: μεταγωγή πακέτων

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της τεχνικής μεταγωγής πακέτου είναι τα παρακάτω (3):

- Καλύτερη αξιοποίηση τηλεπικοινωνιακών γραμμών, αφού κάθε γραμμή μπορεί να χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πακέτων από διαφορετικές συνδέσεις, ανάλογα με τις ανάγκες επομένως να μην μένουν χρονικά διαστήματα, όπου η γραμμή να μένει ανεκμετάλλευτη.
- Δυνατότητα μετατροπής ρυθμού δεδομένων. Δύο σταθμοί με διαφορετικές ταχύτητες είναι δυνατό να ανταλλάξουν πακέτα, αφού καθένας συνδέεται στον αντίστοιχο κόμβο με την κατάλληλη ταχύτητα.
- Δυνατότητα εμπλοκής κλήσεων, όταν αυξάνεται η κυκλοφορία στο δίκτυο. Δηλαδή το δίκτυο απορρίπτει τις επιπλέον κλήσεις σύνδεσης, μέχρι να μειωθεί το φορτίο του δικτύου.
- Σχήμα προτεραιότητας. Αν ένας κόμβος έχει ένα αριθμό πακέτων, που περιμένουν να μεταδοθούν, μπορεί να μεταδώσει πρώτα τα πακέτα υψηλής

προτεραιότητας. Τα πακέτα αυτά, προφανώς, θα καθυστερήσουν λιγότερο να διεκπεραιωθούν από τα πακέτα χαμηλότερης προτεραιότητας.

Γενικότερα η μεταγωγή κυκλώματος προηγείται της μεταγωγής πακέτου στο ότι δεν χρειάζεται καμία επεξεργασία πακέτων, όπως αποθήκευση και αποφάσεις δρομολόγησης. Κάτι τέτοιο θα καθυστερούσε τη μετάδοση και έχει σαν αποτέλεσμα η μεταγωγή κυκλώματος να θεωρείται ιδανική για μετάδοση σημάτων μεγάλης διάρκειας, που δεν πρέπει να καθυστερούν. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για μεταδόσεις φωνής και εικόνας (3).

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για να δρομολογούνται τα πακέτα σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων: το αυτοδύναμο πακέτο και το νοητό κύκλωμα.

- **Αυτοδύναμο πακέτο:** Σε αυτή τη περίπτωση (datagram), το κάθε πακέτο ακολουθεί διαφορετικό μοναδικό δρόμο μέσα στο δίκτυο. Η επιλογή του δρόμου εξαρτάται από τον αριθμό των πακέτων, που περιμένουν να διεκπεραιωθούν σε κάθε κόμβο και κάθε φορά, επιλέγεται η συντομότερη διαδρομή. Σε αυτή τη μέθοδο αξιοποιούνται καλύτερα τα φυσικά κυκλώματα του δικτύου και η αξιοπιστία, λόγω ύπαρξης εναλλακτικών δρόμων. Επίσης, δεν απαιτείται διαδικασία κλήσης, αν κάποιος σταθμός θέλει να μεταδώσει λίγα πακέτα, γι αυτό είναι ιδανική για μεταδόσεις μικρής διάρκειας λίγων πακέτων. Το μειονέκτημα της είναι, ότι τα πακέτα πρέπει να αναδιαταχτούν, καθώς μπορεί να φθάνουν στον κόμβο του παραλήπτη με διαφορετική σειρά από αυτή με την οποία στάλθηκαν. Μία χαρακτηριστική περίπτωση δικτύου αυτοδύναμου πακέτου αποτελεί το Διαδίκτυο (Internet, TCP/IP) (3).
- **Νοητό κύκλωμα:** Σε αυτή (virtual circuit), πριν αρχίσει η ανταλλαγή -, πακέτων, επιλέγεται η καλύτερη διαδρομή. Την ίδια διαδρομή θα επιλέξουν όλα τα πακέτα για να μεταδοθούν. Το πλεονέκτημα της είναι η ταξινομημένη παραλαβή των πακέτων, κάτι που συνεπάγεται την εύκολη και χωρίς ελέγχους και καθυστερήσεις μετάδοση και ανασύσταση του μηνύματος. Επίσης, ο κόμβος δεν χρειάζεται να παίρνει περίπλοκες αποφάσεις δρομολόγησης για κάθε πακέτο. Οι ιδιότητες αυτές κάνουν τη μεταγωγή πακέτων με νοητά κυκλώματα ιδανική για γρήγορες μεταδόσεις σχετικά μεγάλης διάρκειας. Μειονέκτημα είναι η μειωμένη

αξιοπιστία, αφού, αν χαλάσει κόμβος ή αν υπάρξει συμφόρηση σε κάποιο τμήμα του δικτύου, δεν μπορεί να γίνει εύκολα αναδρομολόγηση (3).

2. Πρωτόκολλο TCP

2.1 Πρότυπο OSI – Open System Interconnection

Ξεκίνησε το 1977 από τον Διεθνή Οργανισμό Προτυποποίησης (ISO) και δημοσιεύθηκε το 1984 με τον κωδικό ISO 7498. Το 1994 δημοσιεύθηκε ένα αναθεωρημένο μοντέλο. Καλείται OSI επειδή αφορά συστατικά ανοικτά στην επικοινωνία με άλλα συστήματα. Το μοντέλο OSI καθορίζει τις λειτουργίες κάθε στρώματος. Με τη στρωμάτωση επιτυγχάνεται ο κατακερματισμός ενός πολύπλοκου προβλήματος, όπως η όλη διαδικασία επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου, σε επιμέρους προβλήματα πιο εύκολα στην επίλυσή τους. Επιπλέον, τα πρότυπα (standards) μπορούν να αναπτυχθούν ανεξάρτητα και ταυτόχρονα για κάθε στρώμα, ενώ αλλαγές στα πρότυπα ενός στρώματος δεν επηρεάζουν τα πρότυπα άλλου στρώματος (5).

Με το σύστημα OSI μπορούν να επιλύονται τα επί μέρους προβλήματα που μπορεί να προκύψουν στα δίκτυα υπολογιστών διαφορετικών κατασκευαστών, αφού αποτελεί το πλαίσιο μέσα στο οποίο κινούνται όλες οι τυποποιήσεις. Αυτά τα πρότυπα απαιτούν ακριβή προσδιορισμό τόσο της αρχιτεκτονικής όσο και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας υπολογιστών.

Όταν αναφερόμαστε στην αρχιτεκτονική μπορούμε να πούμε ότι για να μπορεί να υλοποιηθεί με επιτυχία η επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών πρέπει να συντελεσθεί ένα σύνολο από φυσικές και λογικές διασυνδέσεις διαφόρων ανεξαρτήτων τμημάτων. Για να οργανωθεί η επικοινωνία των υπολογιστών, απαιτείται να έχει γίνει ιεράρχηση των λειτουργιών σε διάφορα επίπεδα, να έχουν καθοριστεί τα πρωτόκολλα και η σχέση ανάμεσά τους. Όταν λέμε ότι επικοινωνούν δύο υπολογιστές, στην ουσία επικοινωνούν μεταξύ τους οι ενότητες που ευρίσκονται σε ίδια επίπεδα. Με τον όρο πρωτόκολλο αναφερόμαστε σε ένα σύνολο από κανόνες που έχουν σκοπό τη διεκπεραίωση της επικοινωνίας μεταξύ ενοτήτων μίας αρχιτεκτονικής (2).

Όλες οι κατασκευάστριες εταιρίες υπολογιστών έχουν αναγνωρίσει την αξία ενός ενιαίου τρόπου συμπεριφοράς κατά την επικοινωνία μεταξύ δύο υπολογιστών, κάτι το οποίο έγινε και στην προσπάθειά τους να τυποποιήσουν τα δικά τους συστήματα ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα συμβατότητας στα ίδια τους τα προϊόντα, και γι αυτό αναπτύχθηκαν αρχιτεκτονικές από την κάθε εταιρεία όπως π.χ. η IBM την SNA

(System Network Architecture), η Unisys την DCA (Distributed Communications Architecture) και η Bull την DSA (Distributed System Architecture) (2).

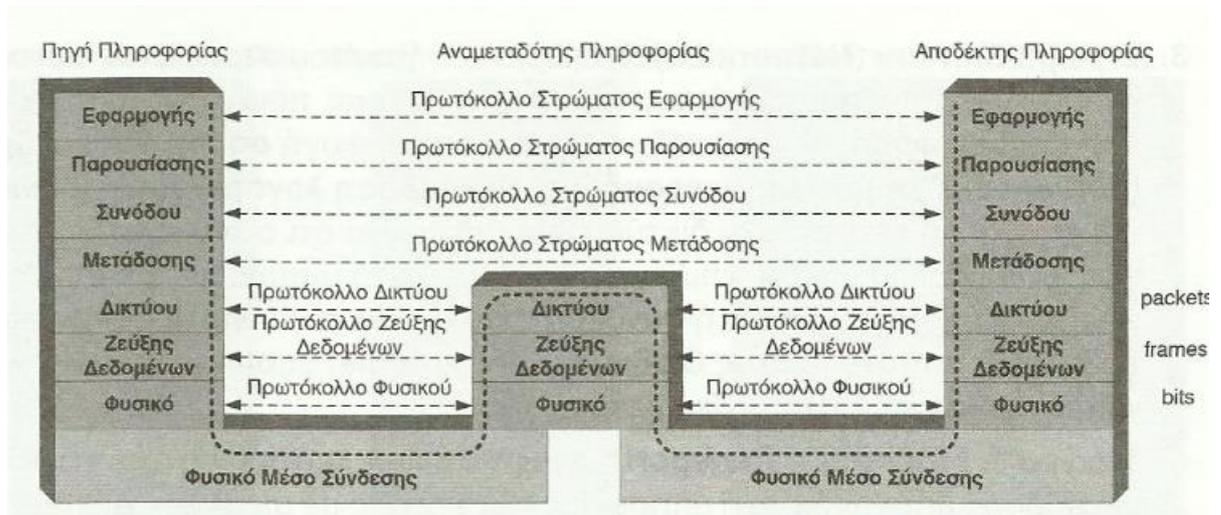
2.2 Στρωματοποίηση κατά OSI

Ο στόχος του προτύπου OSI είναι να υπάρχει κάποια τυποποίηση ώστε να είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών των διαφορετικών κατασκευαστών. Στο ακρωνύμιο OSI το πρώτο γράμμα προέρχεται από το Open και αναφέρεται στην ελεύθερη επικοινωνία σε αντιδιαστολή προς τα κλειστά συστήματα. Με αυτό το πρότυπο τίθεται ένα πλαίσιο, το οποίο καθορίζει βασικές τεχνικές και πρωτόκολλα για την επικοινωνία των διαφόρων επιπέδων που ορίζονται. Η φιλοσοφία του είναι η επιπεδοποίηση (layering). Όλες οι λειτουργίες που απαιτούνται για επικοινωνία χωρίζονται σε επτά μεγάλα επίπεδα. Αυτές οι λειτουργίες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους έτσι ώστε να μπορούν να συμβαίνουν αλλαγές σε κάθε επίπεδο χωρίς να έχουν επίδραση στα άλλα (2).

Κάθε στρώμα δέχεται υπηρεσίες (services) από το κατώτερο στρώμα και παρέχει υπηρεσίες στο ανώτερο στρώμα, απομονώνοντάς το από τις λεπτομέρειες υλοποίησης των προσφερόμενων υπηρεσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ορισμό των κατάλληλων διεπαφών (interfaces). Στην πράξη, μεταξύ δύο διαδοχικών στρωμάτων ορίζουμε συγκεκριμένες διεπαφές, δηλαδή καθορίζουμε ποιες στοιχειώδεις λειτουργίες και υπηρεσίες προσφέρει το κατώτερο στρώμα στο ανώτερο (5).

Τα στρώματα είναι κοινά σε πηγή και αποδέκτη, ενώ τα αντίστοιχα στρώματα είναι όπως λέμε ζευγαρωμένα, δηλαδή επικοινωνούν με τα αντίστοιχα στρώματα στις άλλες μηχανές του συστήματος. Οι κανόνες και οι συμβάσεις που χρησιμοποιούνται στη συζήτηση αυτή συλλογικά ονομάζονται πρωτόκολλο (protocol) του στρώματος. Στοίβα πρωτοκόλλων (protocol stack) είναι μια λίστα πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται από συγκεκριμένο σύστημα, με ένα πρωτόκολλο ανά στρώμα. Τα ενεργά στοιχεία κάθε στρώματος τα ονομάζουμε οντότητες (entities). Οι οντότητες που απαρτίζουν τα αντίστοιχα στρώματα σε διαφορετικές μηχανές καλούνται ομότιμες (peers) και είναι αυτές που επικοινωνούν χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο. Τα πρωτόκολλα συνεπώς σχετίζονται με τη νοητή επικοινωνία (οριζόντια) μεταξύ ομότιμων οντοτήτων σε διαφορετικές μηχανές. Να σημειωθεί ότι η μόνη φυσική σύνδεση μεταξύ δύο ομότιμων οντοτήτων σε δύο στοίβες πρωτοκόλλων συμβαίνει

στο φυσικό στρώμα. Οι διεπαφές σχετίζονται με την πραγματική επικοινωνία (κατακόρυφη) μεταξύ των στρωμάτων της ίδιας μηχανής (5).



Εικόνα 10: Πρότυπο OSI

Οι διακεκομμένες γραμμές μεταφράζονται σε πρωτόκολλα που συνδέουν τα διάφορα επίπεδα μεταξύ τους, τα οποία είναι επιλεγμένα ώστε να γίνει ευκολότερος ο τρόπος ορισμού των τυποποιήσεων. Σύμφωνα με το ISO για κάθε επίπεδο τυποποιεί τις υπηρεσίες που αυτό προσφέρει και τα πρωτόκολλα που το αφορούν (2).

Στη συνέχεια θα κάνουμε μία σύντομη περιγραφή των επτά επιπέδων του OSI και των σημαντικότερων πρωτοκόλλων που τα συνοδεύουν. Αναλυτικές πληροφορίες για το OSI υπάρχουν στο ISO standard 7498 και τις συστάσεις X.200 της ITU-T (2).

1. Φυσικό επίπεδο (Physical Layer): Ασχολείται με τη μετάδοση των bit μέσω των διαφόρων φυσικών μέσων. Σχετίζεται με τα ηλεκτρικά, μηχανικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των διασυνδέσεων (interface) των δύο υπολογιστικών συστημάτων. Στο επίπεδο αυτό καθορίζεται ο τύπος του connector, τα σήματα μετάδοσης, ο συγχρονισμός των συσκευών, με ποια ηλεκτρική τάση θα παρίσταται το 1 και με ποια το 0 κλπ. Οι υπηρεσίες που προσφέρει πέρα από την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της φυσικής σύνδεσης είναι η μεταφορά των δεδομένων σε μορφή bit, σύγχρονα ή ασύγχρονα και η επισήμανση σφαλμάτων μετάδοσης.
2. Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων (Data Link Layer) : Ασχολείται με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και τις διαδικασίες που απαιτούνται προκειμένου να αποκατασταθεί, να υποστηριχθεί και τέλος να τερματισθεί

μια σύνδεση μεταξύ των δυο άκρων μιας γραμμής. Βασικός σκοπός αυτού του επιπέδου είναι να λαμβάνει τα δεδομένα από το φυσικό επίπεδο και να τα προωθεί στο ανώτερο του επίπεδο, αφού πρώτα εκτελέσει μερικές βασικές λειτουργίες όπως είναι η ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων μετάδοσης που συμβαίνουν στο φυσικό επίπεδο και ο έλεγχος ροής των πληροφοριών. Περιλαμβάνει τις διαδικασίες και τις λειτουργίες για την αποκατάσταση μιας λογικής ζεύξης δεδομένων πάνω σε μια φυσική σύνδεση μεταξύ δύο γειτονικών σημείων στο δίκτυο, όπως μεταξύ δύο κόμβων ή μεταξύ κόμβου και υπολογιστή. Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται με block ή frame με ταυτόχρονο έλεγχο και διόρθωση σφαλμάτων. Οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο αυτό είναι (2):

- ✓ Αποκατάσταση και απελευθέρωση της ζεύξης δεδομένων.
- ✓ Μεταφορά δεδομένων, αρίθμηση - συγχρονισμός frame, διαφάνεια μετάδοσης.
- ✓ Έλεγχος σφαλμάτων και έλεγχος ροής των block ή frame.

Για το επίπεδο αυτό που είναι από τα σαφέστερα προσδιορισμένα επίπεδα του προτύπου OSI, δημιουργήθηκαν πολλά εμπορικά πρωτόκολλα όπως τα SDLC και BSC της IBM, το DDCMP της DEC, το VIP της Bull, Burroughs Poll Select.

3. Επίπεδο Δικτύου (Network Layer). Αυτό το επίπεδο παρέχει τα μέσα για την αποκατάσταση, υποστήριξη και τερματισμό συνδέσεων μεταξύ των ακραίων συνδρομητών ενός μεγάλου δικτύου. Βασικές λειτουργίες του επιπέδου είναι η δρομολόγηση των μηνυμάτων, η οργάνωσή τους σε πακέτα, η απαρίθμηση και η ταξινόμησή τους. Φροντίζει για τη διαφανή μετάδοση δεδομένων προς τα παραπάνω επίπεδα. Οι διαδρομές που ακολουθούνται στο δίκτυο περιλαμβάνουν πολλές φυσικές συνδέσεις και ζεύξεις δεδομένων (πρώτο και δεύτερο επίπεδο δηλαδή). Παράδειγμα τέτοιου πρωτοκόλλου είναι το X.25 packet level. Οι υπηρεσίες που προσφέρει είναι (2):

- ✓ Αποκατάσταση και τερματισμός συνδέσεων μεταξύ διαφόρων ακραίων σημείων του δικτύου.
- ✓ Προσδιορισμός των ακραίων σημείων σύνδεσης με χρήση διευθύνσεων.
- ✓ Μεταφορά δεδομένων (κυρίως σε μορφή πακέτων).

- ✓ Απαρίθμηση και έλεγχος σφαλμάτων.
 - ✓ Έλεγχος ροής δεδομένων.
4. Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer). Παρέχει τις διαδικασίες και τα μέσα που απαιτούνται, ώστε να έχουμε επιτυχημένη μεταφορά δεδομένων από άκρη σε άκρη χωρίς την ύπαρξη σφαλμάτων. Παρέχει τις διεργασίες για την αποκατάσταση της ορθότητας της πληροφορίας μετά από σφάλμα, τον έλεγχο ροής της πληροφορίας και έλεγχο ακολουθίας των μηνυμάτων. Αυτό το επίπεδο στην ουσία είναι ένα software interface μεταξύ των τριών χαμηλότερων επιπέδων του προτύπου OSI που συνήθως υλοποιούνται στις συσκευές επικοινωνίας, και των υψηλότερων επιπέδων που σχετίζονται στενότερα με τους υπολογιστές και τις εφαρμογές που αυτοί εξυπηρετούν. Στην ουσία είναι το πρώτο επίπεδο που είναι υπό τον έλεγχο του χρήστη. Φροντίζει για τη διαφανή μεταφορά δεδομένων προς τα ανώτερα επίπεδα σύμφωνα με προκαθορισμένο από το χρήστη βαθμό αξιοπιστίας. Οι υπηρεσίες που προσφέρει είναι (2):
- ✓ Αποκατάσταση και τερματισμός της σύνδεσης σε επίπεδο μεταφοράς.
 - ✓ Μετάδοση δεδομένων σύμφωνα με τον απαιτούμενο από τον χρήστη βαθμό αξιοπιστίας.
 - ✓ Καθορισμός και επιλογή από το χρήστη της ποιότητας εξυπηρέτησης της σύνδεσης.
 - ✓ Δυνατότητα πολύπλεξης μέσω της ίδιας ζεύξης. Έλεγχος ροής.
5. Επίπεδο Συνόδου (Session Layer). Σκοπός αυτού του επιπέδου είναι η παροχή των αναγκαίων μέσων για την οργάνωση και το συγχρονισμό του διαλόγου μεταξύ των ανωτέρων επιπέδων από το επίπεδο συνόδου. Επιτρέπει ή απαγορεύει τη συγκεκριμένη παροχή υπηρεσίας, αποκαθιστά νέα σύνδεση όταν η πρώτη για κάποιο λόγο διακοπεί, επιτρέπει επικοινωνία αμφίδρομη, μονόδρομη κλπ. Η διαδικασία της αποκατάστασης μίας συνόδου καλείται και binding και περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η εξακρίβωση του χρήστη, η χρέωση, η ποιότητα της συνόδου κλπ. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε τις διαδικασίες log-in και τον έλεγχο password για την είσοδο σε έναν υπολογιστή. Το επίπεδο αυτό δίνει τα μέσα σε οντότητες του υψηλότερου επιπέδου (presentation) να οργανώσουν και να συγχρονίσουν τον διάλογο τους ώστε να

εξασφαλίσουν την από άκρου σε άκρο επιτυχή μεταφορά δεδομένων. Το επίπεδο συνόδου προσφέρει υπηρεσίες που προσθέτουν αξία στη λογική σύνδεση που έχει δημιουργηθεί μεταξύ των δύο άκρων μέσω των χαμηλότερων επιπέδων. Οι υπηρεσίες αυτές επιγραμματικά είναι (2):

- ✓ Έναρξη και συντήρηση του διαλόγου.
- ✓ Διαχείριση και έλεγχος προσπέλασης.
- ✓ Επανορθωτικές διαδικασίες σε επίπεδο διαλόγου

6. Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation Layer). Ασχολείται με την αναπαράσταση της πληροφορίας που μεταφέρεται από εφαρμογή σε εφαρμογή, καθώς επίσης και με τη δομή των δεδομένων. Έχει δηλαδή στόχο να τροποποιήσει τα δεδομένα ώστε να είναι κατανοητά από την εφαρμογή ώστε οι συνδέσεις δύο υπολογιστών να μην απαιτούν υποχρεωτικά τη χρήση κοινού κώδικα. Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιούνται κυρίως οι διαδικασίες κρυπτογράφησης, συμπίεσης δεδομένων (data compression), ο μετασχηματισμός των κωδίκων (protocol conversion) και των διαφόρων μορφών των αρχείων καθώς και η μετατροπή των χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου τερματικού. Μέσω λοιπόν του επιπέδου παρουσίασης μπορούν να επικοινωνούν δύο υπολογιστές με διαφορετικούς κώδικες. Το επίπεδο παρουσίασης επιτρέπει σε μία εφαρμογή να μεταφράζει όταν απαιτείται τη σημασία της μεταφερόμενης πληροφορίας. Εν συντομία οι υπηρεσίες που προσφέρονται είναι (2):

- ✓ Μετατροπή σύνταξης δεδομένων, όπως μετατροπή οικογενειών χαρακτήρων ή μετατροπή κωδίκων, για παράδειγμα από ASCII σε EBCDIC.
- ✓ Συμπίεση και αποσυμπίεση δεδομένων (Data compression).
- ✓ Κρυπτογράφηση για ασφαλή μεταφορά (Encryption).
- ✓ Μετάφραση κωδικοποίησης πληροφορίας για χρήση σε οθόνες και τερματικά (χρήση των attributes για την οθόνη).

7. Επίπεδο Εφαρμογών (Application). Είναι το τελευταίο επίπεδο προς το χρήστη, αυτό που παρέχει τον τρόπο για να μπορεί η μία εφαρμογή να συνομιλεί με την άλλη. Το επίπεδο εφαρμογών είναι το υψηλότερο επίπεδο του προτύπου OSI και αποτελεί το interface μεταξύ της εφαρμογής και των λοιπών επιπέδων του προτύπου. Οι λειτουργίες του

επιπέδου αυτού προσδιορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το χρήστη του δικτύου γι' αυτό και οι τυποποιήσεις του είναι οι λιγότερο καθορισμένες. Υπηρεσίες που προσφέρει αυτό το επίπεδο εκτός από τη μεταφορά πληροφορίας είναι (2):

- ✓ Εξακρίβωση της ταυτότητας των εφαρμογών που θέλουν να επικοινωνήσουν.
- ✓ Επιβεβαίωση της διαθεσιμότητάς τους για συνομιλία.
- ✓ Επιβεβαίωση / έλεγχος στο δικαίωμα συνομιλίας.
- ✓ Συμφωνία στις αρμοδιότητες για το πώς θα γίνουν οι επανορθωτικές διαδικασίες.
- ✓ Συμφωνία στις διαδικασίες για τον έλεγχο ροής των συναλλαγών και την αξιοπιστία της πληροφορίας.

2.3 Στρωματοποίηση κατά TCP/ IP

Ένα άλλο μοντέλο στρωμάτωσης που έχει επικρατήσει είναι το TCP/IP. Το μοντέλο αυτό είναι προϊόν έρευνας και ανάπτυξης στο πειραματικό δίκτυο μεταγωγής πακέτου ARPANET και είναι μια συλλογή πρωτοκόλλων που προτυποποιήθηκαν σαν προδιαγραφές του Internet. Χρηματοδοτήθηκε από το DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) και γενικά αναφέρεται ως στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP. Αυτή η στοίβα αποτελείται από μία μεγάλη συλλογή από πρωτόκολλα που έχουν εκδοθεί ως πρότυπα για το Internet. Οι βασικοί στόχοι του TCP/IP ήταν: η δυνατότητα σύνδεσης πολλαπλών δικτύων με τρόπο διαφανή, η δυνατότητα να επιζεί το δίκτυο σε περίπτωση βλαβών του υποδικτύου, χωρίς να διακόπτονται οι υπό εξέλιξη επικοινωνίες, και η παροχή ευέλικτης αρχιτεκτονικής υποστηρίζοντας πλήθος εφαρμογών με δισταύμενες απαιτήσεις. Δεν υπάρχει επίσημο μοντέλο αναφοράς όπως με το OSI, ενώ το όνομά του το πήρε από τα δύο κύρια πρωτόκολλα: το Transmission Control Protocol (TCP) και το Internet Protocol (IP). Στη δεκαετία του 1990 επικράτησε του OSI και έγινε η κύρια εμπορική αρχιτεκτονική καθώς και η βάση για την ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων (5).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι κύριες λειτουργίες που παρέχονται από κάθε στρώμα (5):

1. Φυσικό Στρώμα και Στρώμα Ζεύξης Δεδομένων (Host to Network): Δεν υπάρχει καθορισμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ τερματικού και του δικτύου και πολλές φορές το στρώμα διαχωρίζεται σε φυσικό στρώμα που καλύπτει τη φυσική διεπαφή μεταξύ μηχανών και μέσων μετάδοσης (χαρακτηριστικά μέσου μετάδοσης, σηματοδότηση, ρυθμός μετάδοσης, κωδικοποίηση σήματος), και σε στρώμα πρόσβασης στο δίκτυο, που καλύπτει τη λογική διεπαφή μεταξύ μηχανής και δικτύου.
2. Στρώμα Διαδικτύου (Internet Layer): Το στρώμα αυτό παρέχει υπηρεσίες χωρίς σύνδεση. Επιτρέπει στα τερματικά να εισάγουν πακέτα σε οποιοδήποτε δίκτυο τα οποία και τα δρομολογεί ανεξάρτητα στον προορισμό τους και πιθανώς σε άλλο δίκτυο. Καθορίζει μια επίσημη μορφή πακέτου και πρωτοκόλλου που ονομάζεται πρωτόκολλο διαδικτύου IP (Internet Protocol). Κύρια θέματα είναι η δρομολόγηση και η αποφυγή συμφόρησης. Το IP υλοποιείται και στους δρομολογητές (routers), οι οποίοι συνδέουν δύο δίκτυα και η βασική τους λειτουργία είναι η αναμετάδοση δεδομένων από δίκτυο σε δίκτυο.
3. Στρώμα Μετάδοσης (Transport Layer): Το στρώμα μετάδοσης παρέχει τη δυνατότητα διεξαγωγής συζήτησης μεταξύ ομότιμων οντοτήτων. Υπάρχουν δυο κυρίως πρωτόκολλα από-άκρο-σε-άκρο. Το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης TCP (Transmission Control Protocol) και το Πρωτόκολλο Δεδομένων γραφημάτων χρήστη UDP (User Datagram Protocol). Το TCP είναι ένα πρωτόκολλο αξιόπιστο, με σύνδεση, που τεμαχίζει την εισερχόμενη ακολουθία bytes σε διακριτά μηνύματα και το αντίστροφο στο δέκτη και επίσης υποστηρίζει έλεγχο ροής. Το UDP είναι ένα πρωτόκολλο μη αξιόπιστο, χωρίς σύνδεση, που χρησιμοποιείται σε γρήγορες εφαρμογές και ερωταποκρίσεις για άμεση παράδοση και όχι απαραίτητα σωστή παράδοση. Μια κλασική εφαρμογή είναι αυτή στην υπηρεσία Voice over IP (VoIP).
4. Στρώμα Εφαρμογής (Application Layer): Το στρώμα εφαρμογής περιλαμβάνει την απαιτούμενη λογική για την υποστήριξη των εφαρμογών χρήστη. Περιλαμβάνει πρωτόκολλα όπως: το νοητό τερματικό (TELNET), η πρόσβαση σε μακρινή μηχανή, η μεταφορά αρχείων (FTP), η αποστολή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (SMTP), η λήψη ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (POP), η αντιστοίχιση ονομάτων host με τις διευθύνσεις τους στο δίκτυο

(DNS), το NNTP για διασπορά νέων, το HTTP, που προσκομίζει σελίδες στο World Wide Web, κλπ.



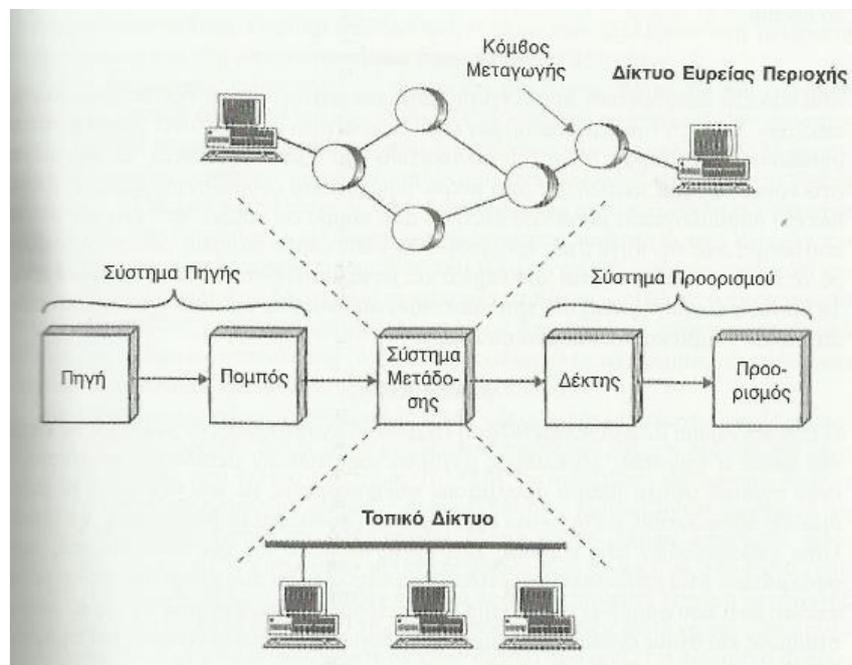
Εικόνα 11: Σύγκριση των δύο προτύπων

Η αρχιτεκτονική του Internet έχει λιγότερα επίπεδα από αυτή του OSI, ενώ τα δεδομένα από το επίπεδο εφαρμογής μέχρι το επίπεδο φυσικής πρόσβασης ακολουθούν διαδοχικές ενθυλακώσεις. Στο επίπεδο φυσικής πρόσβασης ανήκουν πρωτόκολλα LAN όπως Ethernet, Token ring, FDDI και πρωτόκολλα WAN όπως X.25, Frame relay, SLIP, PPP που επιτρέπουν την φυσική διασύνδεση, την πρόσβαση στο μέσον και τον έλεγχο της ζεύξης. Στο επίπεδο δικτύου χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο IP. Η δρομολόγηση των πακέτων IP μεταξύ δικτύων επιτυγχάνεται κυρίως με τη χρήση συσκευών που ονομάζονται δρομολογητές (router). Στο επίπεδο μεταφοράς χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TCP και δευτερευόντως το UDP (User Datagram Protocol). Στο επίπεδο εφαρμογών ανήκουν μεταξύ άλλων και τα πρωτόκολλα FTP, Telnet, SMTP για εξυπηρέτηση διαφόρων εφαρμογών όπως μεταφορά αρχείων, πρόσβαση σε υπολογιστές, ταχυδρομείο κλπ (6).

2.4 Αρχιτεκτονική του TCP

Το TCP (Transmission Control Protocol) είναι πρωτόκολλο τετάρτου επιπέδου, ενώ το IP (Internet Protocol) είναι του τρίτου. Επισημαίνεται ότι το TCP/IP είναι

κατάλληλο και για WAN και για LAN δίκτυα. Τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) γενικά καλύπτουν μία μεγάλη γεωγραφική περιοχή, απαιτούν τη διέλευση από δημόσια δίκτυα και εξαρτώνται τουλάχιστον κατά ένα μέρος από κυκλώματα που παρέχονται από κάποιον κοινό (δημόσιο) φορέα. Τυπικά ένα WAN αποτελείται από έναν αριθμό διασυνδεδεμένων κόμβων μεταγωγής. Η μετάδοση από κάθε μία συσκευή δρομολογείται μέσω αυτών των εσωτερικών κόμβων στη συγκεκριμένη διεύθυνση αποστολής. Αυτοί οι κόμβοι (συμπεριλαμβανομένων των περιφερειακών κόμβων) δεν εμπλέκονται με το περιεχόμενο των δεδομένων. Ο ρόλος τους είναι κυρίως να παρέχουν τον εξοπλισμό μεταγωγής ο οποίος θα μεταφέρει τα δεδομένα από κόμβο σε κόμβο μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους (5).



Εικόνα 12: Δίκτυο WAN

Δεν υπάρχει κανένας μεγάλος κατασκευαστής Η/Υ που να μην υποστηρίζει το TCP/IP, έτσι που αυτό έγινε τελικά ένα de facto στάνταρτ παγκοσμίως. Παρόλο που ο ISO με τα πρωτόκολλα του μοντέλου OSI που αναπτύσσει, φιλοδοξεί να επιλύσει διεθνώς το πρόβλημα της διασύνδεσης, στην πράξη έχει επικρατήσει το TCP/IP. Το TCP/IP έθεσε τις βάσεις του μεγάλου διεθνούς διαδικτύου Internet (5).

Το πρωτόκολλο TCP αποτελεί ένα connection-oriented πρωτόκολλο τετάρτου επιπέδου, το οποίο είναι υπεύθυνο για την εξασφάλιση αξιόπιστης επικοινωνίας μεταξύ δύο υπολογιστών, μέσω ενός ή περισσοτέρων δικτύων. Το τέταρτο επίπεδο ή επίπεδο μεταφοράς (transport layer) είναι στην ουσία το πρώτο επίπεδο που

προσφέρει επικοινωνία, μέσω του δικτύου μεταξύ των ακραίων χρηστών. Αντίθετα τα χαμηλότερα επίπεδα φροντίζουν για την επικοινωνία ενός συστήματος με τον πλησιέστερο γείτονά του ώστε διαδοχικές τέτοιες επικοινωνίες να εξασφαλίζουν την σύνδεση των δύο άκρων (2).

Επειδή το IP πρωτόκολλο δεν δίνει επιβεβαίωση αποστολής δεδομένων ούτε και εξασφαλίζει την παράδοση πακέτων με την σωστή σειρά, το TCP είναι αυτό που αναλαμβάνει την εξασφάλιση της αξιοπιστίας, του ελέγχου ροής, του ελέγχου τοποθέτησης σε σωστή σειρά των πακέτων, καθώς επίσης της έναρξης και λήξης μιας σύνδεσης μεταξύ δύο εφαρμογών μέσα από το δίκτυο. Πρωτόκολλα εφαρμογών όπως το FTP για μεταφορά αρχείων και το SMTP για ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, στηρίζονται στις υπηρεσίες αυτές που προσφέρει το TCP (2).

Το TCP είναι σχεδιασμένο να παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ ζευγών από διαδικασίες (χρήστες TCP) κατά μήκος μίας ποικιλίας από αξιόπιστα και μη αξιόπιστα δίκτυα και διαδίκτυα. Το TCP παρέχει δύο χρήσιμες διευκολύνσεις για την περιγραφή δεδομένων: τα κρίσιμα και τα επείγοντα (6):

- Ροή κρίσιμων δεδομένων: Κανονικά, όταν έχουν συσσωρευτεί επαρκή δεδομένα το TCP αποφασίζει να σχηματίσει ένα τεμάχιο για μετάδοση. Ο χρήστης TCP μπορεί να απαιτήσει από το TCP να μεταδώσει όλα τα μέχρι τότε εκκρεμή δεδομένα περιλαμβάνοντας και αυτά που μαρκάρονται, με μία σημαία (flag), ως κρίσιμα. Στο λαμβάνον άκρο, το TCP θα παραδώσει αυτά τα δεδομένα στο χρήστη με τον ίδιο τρόπο. Ένας χρήστης μπορεί να το αιτηθεί αυτό, εάν έχει φτάσει σε μία λογική διακοπή στα δεδομένα.
- Σηματοδοσία επειγόντων δεδομένων: Αυτό παρέχει τα μέσα πληροφόρησης του χρήστη TCP προορισμού πως στην προσεχή ροή δεδομένων υπάρχουν σημαντικά ή "επείγοντα" δεδομένα. Εξαρτάται από το χρήστη προορισμού να καθορίσει την κατάλληλη ενέργεια.

Όπως και με το IP, οι υπηρεσίες που παρέχονται από το TCP καθορίζονται σε σχέση με τις πρωτογενείς λειτουργίες και τις παραμέτρους. Οι υπηρεσίες που παρέχονται από το TCP είναι σημαντικά πλουσιότερες από εκείνες που παρέχονται από το IP και για το λόγο αυτό το σύνολο των πρωτογενών λειτουργιών και παραμέτρων είναι περισσότερο πολύπλοκο (6).

Πρωτογενείς λειτουργίες	Παράμετροι	Περιγραφή
Μη Καθορισμένο Παθητικό Άνοιγμα	θύρα-πηγή, [χρόνος λήξης], [ενέργεια-χρόνου λήξης], [προτεραιότητα], [εύρος-ασφάλειας]	Ακροάται για προσπάθεια σύνδεσης σε καθορισμένη ασφάλεια και προτεραιότητα από οποιονδήποτε απομακρυσμένο προορισμό
Πλήρως Καθορισμένο Παθητικό Άνοιγμα	θύρα-πηγή, θύρα-προορισμού, διεύθυνση-προορισμού, [χρόνος λήξης], [ενέργεια-χρόνου λήξης], [προτεραιότητα], [εύρος-ασφάλειας]	Ακροάται για προσπάθεια σύνδεσης σε καθορισμένη ασφάλεια και προτεραιότητα από καθορισμένο προορισμό
Ενεργό Άνοιγμα	θύρα-πηγή, θύρα-προορισμού, διεύθυνση-προορισμού, [χρόνος λήξης], [ενέργεια-χρόνου λήξης], [προτεραιότητα], [ασφάλεια]	Αιτείται σύνδεση σε μία συγκεκριμένη ασφάλεια και προτεραιότητα σε έναν καθορισμένο προορισμό
Ενεργό Άνοιγμα με Δεδομένα	θύρα-πηγή, θύρα-προορισμού, διεύθυνση-προορισμού, [χρόνος λήξης], [ενέργεια-χρόνου λήξης], [προτεραιότητα], [ασφάλεια], δεδομένα, μήκος-δεδομένων, δείκτης-ΚΡΙΣΙΜΟ, δείκτης-ΕΠΕΙΓΟΝ	Αιτείται σύνδεση σε μία συγκεκριμένη ασφάλεια και προτεραιότητα σε έναν καθορισμένο προορισμό και μεταδίδει δεδομένα με την αίτηση
Αποστολή	όνομα-τοπικής-σύνδεσης, δεδομένα, μήκος-δεδομένων, δείκτης-ΚΡΙΣΙΜΟ, δείκτης-ΕΠΕΙΓΟΝ, [χρόνος λήξης], [ενέργεια-χρόνου λήξης]	Μεταφέρει δεδομένα κατά μήκος καθορισμένης σύνδεσης.
Κατανομή	όνομα-τοπικής-σύνδεσης, μήκος-δεδομένων	Εκδίδει σταδιακή κατανομή για λήψη δεδομένων στο TCP
Κλείσιμο	όνομα-τοπικής-σύνδεσης	Κλείνει τη σύνδεση ομαλά
Ματαίωση	όνομα-τοπικής-σύνδεσης	Κλείνει τη σύνδεση απότομα
Κατάσταση	όνομα-τοπικής-σύνδεσης	Εξετάζει την κατάσταση σύνδεσης

Σημείωση: Οι αγκύλες υποδεικνύουν προαιρετικές παραμέτρους.

Πίνακας 1: Πρωτογενείς λειτουργίες TCP

Θύρα Πηγής	Τοπικός χρήστης TCP
Χρόνος Λήξης	Μέγιστη επιτρεπόμενη καθυστέρηση για παράδοση δεδομένων πριν από αυτόματο τερματισμό σύνδεσης ή αναφορά σφάλματος. Καθορίζεται από το χρήστη.
Δράση του Χρόνου Λήξης	Υποδηλώνει εάν η σύνδεση έχει τερματιστεί ή έχει αναφερθεί ένα σφάλμα στον χρήστη TCP στην περίπτωση που λήξει ο χρόνος.
Προτεραιότητα	Επίπεδο προτεραιότητας για μία σύνδεση. Παίρνει τιμές από μηδέν (χαμηλότερη) μέχρι επτά (ψηφότερη)* (ίδια παράμετρος όπως καθορίστηκε στο IP.
Εύρος-ασφάλειας	Επιτρεπόμενο εύρος σε διαχωρισμό, περιορισμούς χειρισμών, κώδικες ελέγχου μετάδοσης και επίπεδα ασφαλείας.
Θύρα προορισμού	Απομακρυσμένος χρήστης TCP.
Διεύθυνση προορισμού	Διαδικτυακή διεύθυνση απομακρυσμένου υπολογιστή.
Ασφάλεια	Πληροφορία ασφαλείας για μία σύνδεση, περιλαμβάνοντας το επίπεδο ασφαλείας, το διαχωρισμό, τους περιορισμούς χειρισμών και τον κώδικα ελέγχου μετάδοσης? ίδια παράμετρος όπως καθορίστηκε στο IP.
Δεδομένα	Τμήμα δεδομένων που αποστέλλεται από το χρήστη TCP ή παραδίδεται σε ένα χρήστη TCP.
Μήκος Δεδομένων	Μήκος του τμήματος δεδομένων που αποστέλλεται ή παραδίδεται.
Δείκτης ΚΡΙΣΙΜΟ	Εάν θετικό, υποδεικνύει πως τα συνδεδεμένα δεδομένα είναι να παρασχεθούν με την υπηρεσία κρίσιμης ροής δεδομένων.
Δείκτης ΕΠΕΙΓΟΝ	Εάν θετικό, υποδεικνύει πως τα συνδεδεμένα δεδομένα είναι να παρασχεθούν με την επείγουσα υπηρεσία σηματοδότησης δεδομένων.
Όνομα Τοπικής Σύνδεσης	Αναγνωριστής μίας σύνδεσης καθορισμένος από το ζεύγος (τοπικό socket, απομακρυσμένο socket). Παρέχεται από το TCP.
Περιγραφή	Συμπληρωματική πληροφορία σε μία πρωτογενή λειτουργία Τερματισμού ή Σφάλματος.
Διεύθυνση Πηγής	Διαδικτυακή διεύθυνση του τοπικού υπολογιστή.
Κατάσταση Σύνδεσης	Κατάσταση της αναφερόμενης σύνδεσης (ΚΛΕΙΣΤΗ, ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΟΙΓΜΑ, ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ, ΑΠΟΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ, ΣΕ ΚΛΕΙΣΙΜΟ).
Παράθυρο Λήψης	Ποσό δεδομένων σε οκτάδες που η τοπική οντότητα TCP επιθυμεί να λάβει.
Παράθυρο Αποστολής	Ποσό δεδομένων σε οκτάδες που επιτρέπεται να αποσταλεί σε απομακρυσμένη οντότητα TCP.
Ποσό Αναμενόμενης ACK	Ποσό προηγούμενων μεταδομένων δεδομένων που αναμένουν επιβεβαίωση λήψης.
Ποσό Αναμενόμενης Λήψης	Ποσό δεδομένων σε οκτάδες που έχουν αποθηκευτεί σε ενδιάμεση μνήμη στην τοπική οντότητα TCP για το σκοπό εκκρεμεί λήψη από τον τοπικό χρήστη TCP.
Επείγουσα Κατάσταση	Υποδεικνύει στον λαμβάνων χρήστη TCP, εάν υπάρχουν διαθέσιμα επείγουσα δεδομένα ή εάν όλα τα επείγουσα δεδομένα, εάν υπάρχουν κάποια, έχουν παραδοθεί

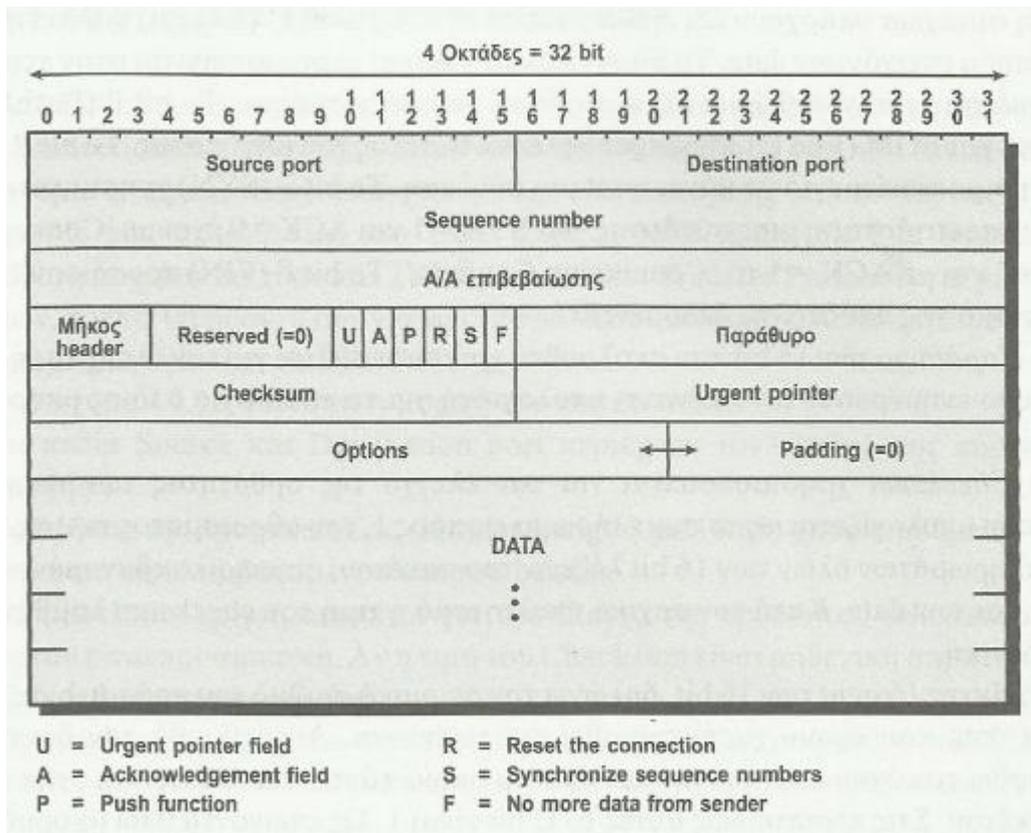
Πίνακας 2: Παράμετροι υπηρεσίας TCP

Το TCP παραλαμβάνει μηνύματα από την εφαρμογή, τα τεμαχίζει σε τμήματα που δεν υπερβαίνουν τα 64 Kbyte, που ονομάζονται TPDU (Transport Protocol Data Unit) και τα στέλνει στον ανταποκριτή μέσω του δικτύου σαν ξεχωριστά πακέτα. Το TCP περιγράφεται από το RFC 793 και έχει τις εξής λειτουργίες και δυνατότητες (2):

- Λογική σύνδεση και αποσύνδεση
- Μετάδοση data
- Έλεγχο ροής
- Πολύπλεξη εφαρμογών
- Αξιοπιστία μετάδοσης
- Υποστήριξη full duplex επικοινωνίας

➤ Προτεραιότητα / Ασφάλεια

Προκειμένου να επικοινωνήσει το TCP με το ανώτερο επίπεδο εφαρμογών χρησιμοποιείται η έννοια της πόρτας (port) που είναι ένα πεδίο στην επικεφαλίδα του TCP και του οποίου η τιμή αντιπροσωπεύει την εφαρμογή που θέλει να επικοινωνήσει (2).



Εικόνα 13: Πακέτο TCP

Ο συνδυασμός της διεύθυνσης IP με τον αριθμό της πόρτας του TCP ονομάζεται socket και χαρακτηρίζει με μοναδικό τρόπο την συγκεκριμένη εφαρμογή που τρέχει σε ένα σύστημα. Ένα ζευγάρι από socket χαρακτηρίζει μοναδικά την επικοινωνία μεταξύ δύο εφαρμογών σε διαφορετικά συστήματα υπολογιστών (2).

Στην εικόνα 13 φαίνεται η δομή του πακέτου TCP που έχει μέγιστο μέγεθος 64Kbytes. Ο header του πακέτου έχει ελάχιστο μήκος 20 οκτάδες (byte). Τα πεδία Source και Destination port περιέχουν τον αριθμό της πόρτας. Ο Αριθμός σειράς με 32 bit προσδιορίζει τον σειριακό αριθμό του πρώτου byte των data. Ο αριθμός σειράς εξασφαλίζει την τοποθέτηση σε σωστή σειρά των πληροφοριών που έχουν τεμαχιστεί σε πακέτα. Το πεδίο Αριθμός επιβεβαίωσης που ακολουθεί με 32 bit,

επιβεβαιώνει την λήψη των data και περιέχει τον αριθμό σειράς του επόμενου byte που το TCP περιμένει να λάβει. Το Μήκος της προμετωπίδας (Header Length ή data offset) με 4 bit, χαρακτηρίζει το πόσα πεδία των 32 bit ευρίσκονται στον header του TCP. Ας μη ξεχνάμε ότι ο header είναι μεταβλητού μήκους καθώς οι επιλογές (options) είναι μεταβλητού μήκους. Τα επόμενα 6 bit έχουν κρατηθεί για μελλοντική χρήση και η τιμή τους σήμερα είναι μηδέν (2).

Στη συνέχεια υπάρχουν έξι δείκτες του ενός bit (2):

- bit U (Urgent) χαρακτηρίζει την ύπαρξη επείγοντων data.
- bit A (Acknowledge) χρησιμοποιείται στην περίοδο της σύνδεσης για να δηλώσει ότι η σύνδεση αποκαταστάθηκε.
- bit P (Push) που καλείται και EOM (End Of Message) δηλώνει το τέλος του μηνύματος.
- bit R (Reset) χρησιμοποιείται για να κάνει reset μια σύνδεση.
- bit S (SYN) χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση μιας σύνδεσης. Με $SYN = 1$ και $ACK = 0$ έχουμε 'Connection Request' και με $ACK = 1$ το 'Connection Confirm'.
- bit F (FIN) προσδιορίζει τον τερματισμό της αποστολής δεδομένων.

Το Παράθυρο των 16 bit που ακολουθεί, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ροής. Το παράθυρο ενημερώνει τον απέναντι υπολογιστή για το πόσα byte ο ίδιος μπορεί να δεχθεί. Το Checksum χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ορθότητας των data. Το checksum υπολογίζεται ως το συμπλήρωμα ως προς 1, του αθροίσματος των ως προς 1 συμπληρωμάτων όλων των 16 bit λέξεων του πακέτου, συμπεριλαμβανομένου του header και των data. Κατά τον αρχικό υπολογισμό η τιμή του checksum λαμβάνεται ως μηδενική (2).

Ο Δείκτης Urgent των 16 bit, δηλώνει τον σειριακό αριθμό του πρώτου byte μετά από τα data που έχουν χαρακτηριστεί ως επείγοντα. Αυτό βοηθά τον δέκτη να αντιληφθεί τον όγκο των επείγοντων data τα οποία πάντα τοποθετούνται στην αρχή του πακέτου. Στις περιπτώσεις αυτές το U bit είναι 1. Ως επείγοντα data μπορούν να χαρακτηριστούν σήματα ελέγχου όπως interrupt, terminal control characters κ.λ.π. (2).

Οι Επιλογές (Options), πεδίο μεταβλητού μήκους όπως και στο IP, συμπληρώνουν τον header του TCP. Το πεδίο των επιλογών αποτελείται από άρτιο αριθμό bytes και προσδιορίζει διάφορες λειτουργίες που απαιτούνται από το

πρωτόκολλο TCP όπως π.χ. το μέγιστο μέγεθος του Transport Protocol Data Unit (TPDU). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές προσθήκες στο TCP. Τα Padding bit είναι μηδενικά που προστίθενται για να συμπληρώνουν τα πεδία των επιλογών ώστε πάντα να φθάνουν τα 32 bit(2).

2.5 Μηχανισμοί TCP

Οι μηχανισμοί του TCP μπορούν να ομαδοποιηθούν στις κατηγορίες: αποκατάστασης σύνδεσης, μεταφοράς δεδομένων και τερματισμού σύνδεσης (6).

- Αποκατάσταση Σύνδεσης

Η αποκατάσταση σύνδεσης στο TCP χρησιμοποιεί πάντα μία χειραψία τριών φάσεων. Όταν τεθεί ο δείκτης SYN, το τεμάχιο είναι ουσιαστικά μία αίτηση για σύνδεση. Για να ξεκινήσει μία σύνδεση, μία οντότητα στέλνει ένα SYN, $SN = X$, όπου X είναι ο αρχικός αριθμός ακολουθίας. Ο δέκτης αποκρίνεται με SYN, $SN = Y$, $AN = X + 1$ θέτοντας και τους δύο δείκτες SYN και ACK. Σημειώνεται πως η επιβεβαίωση υποδηλώνει πως τώρα ο δέκτης περιμένει να λάβει ένα τεμάχιο που ξεκινάει με οκτάδα δεδομένων $X + 1$, που επιβεβαιώνει τη λήψη του SYN, το οποίο κατείχε $SN = X$. Τελικά, η αρχική οντότητα αποκρίνεται με $AN = Y + 1$. Εάν και οι δύο πλευρές εκδώσουν εκατέρωθεν SYNs, δε δημιουργείται κανένα πρόβλημα. Και οι δύο πλευρές αποκρίνονται με ACKs (6).

Μία σύνδεση είναι προσδιορισμένη μοναδικά από τις θύρες πηγής και προορισμού. Έτσι, κάθε στιγμή, μπορεί να υπάρχει μία μοναδική σύνδεση TCP μεταξύ ενός μοναδικού ζεύγους θυρών. Ωστόσο, μία συγκεκριμένη θύρα μπορεί να υποστηρίζει πολλαπλές συνδέσεις, κάθε μία με διαφορετική συνεργαζόμενη θύρα (6).

- Μεταφορά Δεδομένων

Αν και τα δεδομένα μεταφέρονται σε τεμάχια πάνω από τη σύνδεση μεταφοράς, η μεταφορά δεδομένων εξετάζεται λογικά ως αποτελούμενη από μία ροή οκτάδων. Για το λόγο αυτό, κάθε οκτάδα αριθμείται, ως modulo 2^{32} . Κάθε τεμάχιο περιέχει τον αριθμό ακολουθίας της πρώτης οκτάδας του πεδίου δεδομένων. Ο έλεγχος ροής εξασκείται χρησιμοποιώντας ένα σχήμα κατανομής πίστωσης στο οποίο η πίστωση είναι ένας αριθμός από οκτάδες παρά ένας αριθμός τεμαχίων (6).

Τα δεδομένα αποθηκεύονται προσωρινά από την οντότητα μεταφοράς τόσο στη μετάδοση όσο και στην αποστολή. Κανονικά, το TCP εξασκεί τη δικιά του κρίση ως προς το πότε να κατασκευάσει ένα τεμάχιο για μετάδοση και πότε να ανακοινώσει τα

ληφθέντα δεδομένα στο χρήστη. Ο δείκτης ΚΡΙΣΙΜΟ (PUSH) χρησιμοποιείται για να υποχρεώσει τα δεδομένα που μέχρι τότε έχουν συσσωρευτεί να σταλούν από τον εκπομπό και να προωθηθούν από τον παραλήπτη. Αυτό εξυπηρετεί μία λειτουργία end-of-block (6).

Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ένα τμήμα δεδομένων ως επείγον. Το TCP θα χαρακτηρίσει το τέλος αυτού του τμήματος με ένα δείκτη επείγον και θα το στείλει έξω στη συνηθισμένη ροή δεδομένων. Ο λαμβάνων χρήστης ειδοποιείται πως λαμβάνονται επείγοντα δεδομένα. Εάν, κατά τη διάρκεια ανταλλαγής δεδομένων, φτάσει ένα τεμάχιο που προφανώς δεν προοριζόταν για την τρέχουσα σύνδεση, τίθεται ο δείκτης RST σε ένα εξερχόμενο τεμάχιο. Παραδείγματα αυτής της κατάστασης είναι τα καθυστερημένα αντίγραφα SYNs και μία επιβεβαίωση λήψης δεδομένων που δεν έχουν ακόμη αποσταλεί (6).

- Τερματισμός Σύνδεσης

Τα φυσιολογικά μέσα τερματισμού μίας σύνδεσης είναι ένα ομαλό κλείσιμο. Κάθε χρήστης TCP πρέπει να εκδίδει μία πρωτογενή λειτουργία ΚΛΕΙΣΙΜΟ. Η οντότητα μεταφοράς θέτει το bit ΤΕΛΟΣ στο τελευταίο τεμάχιο που στέλνει, το οποίο περιέχει επίσης τα τελευταία δεδομένα που είναι να σταλούν σε αυτή τη σύνδεση. Ένας απότομος τερματισμός συμβαίνει εάν ο χρήστης εκδώσει μία πρωτογενή λειτουργία ΜΑΤΑΙΩΣΗ. Σε αυτήν την περίπτωση, η οντότητα εγκαταλείπει όλες τις προσπάθειες να στείλει ή να λάβει δεδομένα και απορρίπτει τα δεδομένα στις ενδιάμεσες μνήμες αποστολής και λήψης. Στην άλλη πλευρά στέλνεται ένα τεμάχιο RST (6).

- Πολιτικές Υλοποίησης TCP

Το πρότυπο TCP παρέχει μία ακριβή προδιαγραφή του πρωτοκόλλου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μεταξύ των οντοτήτων TCP. Ωστόσο, ορισμένες πλευρές του πρωτοκόλλου επιδέχονται διάφορες δυνατές επιλογές υλοποίησης. Αν και δύο εφαρμογές που διαλέγουν εναλλακτικές επιλογές θα είναι συνεργάσιμες, μπορεί να υπάρχουν επιπλοκές στην απόδοση. Οι περιοχές σχεδίασης για τις οποίες καθορίζονται επιλογές είναι οι ακόλουθες (6):

1. Πολιτική αποστολής: Χωρίς να υπάρχουν κρίσιμα δεδομένα και με την απουσία ενός κλειστού παραθύρου μετάδοσης, μία οντότητα αποστολής TCP είναι ελεύθερη να μεταδώσει δεδομένα με την άνεσή της. Καθώς τα δεδομένα

εκδίδονται από το χρήστη, αποθηκεύονται προσωρινά στην ενδιάμεση μνήμη μετάδοσης. Το TCP μπορεί να κατασκευάσει ένα τεμάχιο για κάθε παρτίδα δεδομένων που παρέχεται από το χρήστη του ή μπορεί να περιμένει μέχρι να συσσωρευτεί ένα καθορισμένο ποσό δεδομένων πριν κατασκευάσει και στείλει ένα τεμάχιο. Η πραγματική πολιτική εξαρτάται από λόγους απόδοσης. Εάν οι μεταδόσεις είναι σπάνιες και μεγάλες, υπάρχει χαμηλή επιβάρυνση όσον αφορά τη δημιουργία και επεξεργασία τεμαχίων. Από την άλλη πλευρά, εάν οι μεταδόσεις είναι συχνές και μικρές, τότε το σύστημα παρέχει γρήγορη απόκριση (6).

2. Πολιτική παράδοσης: Με την απουσία ενός δείκτη Κρίσιμο, μία οντότητα λήψης TCP είναι ελεύθερη να παραδώσει δεδομένα στο χρήστη με την άνεσή της. Μπορεί να παραδώσει τα δεδομένα ως έχουν με τη σειρά που λαμβάνονται τα τεμάχια ή μπορεί να αποθηκεύσει προσωρινά τα δεδομένα από έναν αριθμό από τεμάχια στην ενδιάμεση μνήμη λήψης πριν την παράδοση. Η πραγματική πολιτική εξαρτάται από λόγους απόδοσης. Εάν οι παραδόσεις είναι σπάνιες και μεγάλες, ο χρήστης δε λαμβάνει δεδομένα τόσο γρήγορα όσο μπορεί να είναι επιθυμητό. Από την άλλη πλευρά, εάν οι παραδόσεις είναι συχνές και μικρές, μπορεί να υπάρχει άσκοπη επεξεργασία τόσο στο TCP όσο και στο λογισμικό του χρήστη, όπως επίσης και άσκοπος αριθμός από διακοπές του λειτουργικού συστήματος.
3. Πολιτική Αποδοχής: Όταν όλα τα τεμάχια δεδομένων φτάσουν με τη σειρά πάνω από μία σύνδεση TCP, το TCP τοποθετεί τα δεδομένα σε μία ενδιάμεση μνήμη λήψης για παράδοση στο χρήστη. Ωστόσο, είναι πιθανό, κάποια τεμάχια να φτάσουν εκτός ακολουθίας. Σε αυτήν την περίπτωση, η οντότητα λήψης TCP έχει δύο επιλογές:
 - Ακολουθίας: Αποδέχεται μόνο τα τεμάχια που φτάνουν με τη σωστή σειρά. Οποιοδήποτε τεμάχιο φτάνει εκτός ακολουθίας απορρίπτεται (6).
 - Παραθύρου: Αποδέχεται όλα τα τεμάχια τα οποία βρίσκονται εντός του παραθύρου λήψης. Η πολιτική ακολουθίας κάνει για μία απλή υλοποίηση αλλά τοποθετεί ένα φορτίο πάνω στη εγκατάσταση διαδικτύωσης, καθώς η αποστέλλουσα TCP πρέπει να εκπνεύσει και να αναμεταδώσει τεμάχια τα οποία ελήφθησαν επιτυχώς αλλά απορρίφθηκαν εξαιτίας της λανθασμένης ακολουθίας. Επιπλέον, εάν ένα

μόνο τεμάχιο χαθεί στη μεταφορά, τότε πρέπει να αναμεταδοθούν όλα τα διαδοχικά τεμάχια μόλις εκπνεύσει η αποστέλλουσα TCP για το χαμένο τεμάχιο. Η πολιτική με παράθυρο μπορεί να μειώσει τις αναμεταδόσεις, αλλά απαιτεί ένα περισσότερο πολύπλοκο έλεγχο αποδοχής και ένα περισσότερο σύνθετο σχήμα αποθήκευσης δεδομένων για να αποθηκεύει προσωρινά και να καταγράφει τα δεδομένα που γίνονται δεκτά εκτός ακολουθίας (6).

4. Πολιτική Αναμετάδοσης: Το TCP διατηρεί μία ουρά αναμονής για τα τεμάχια που έχουν αποσταλεί αλλά δεν έχει ακόμη επιβεβαιωθεί η λήψη τους. Η προδιαγραφή TCP δηλώνει πως το TCP θα αναμεταδώσει ένα τεμάχιο, εάν αποτύχει να λάβει μία επιβεβαίωση λήψης εντός ενός συγκεκριμένου χρόνου. Μία υλοποίηση TCP μπορεί να χρησιμοποιεί μία από τις τρεις στρατηγικές αναμετάδοσης (6):

- Μόνον-το-πρώτο: Διατηρεί ένα χρονόμετρο αναμετάδοσης για ολόκληρη την ουρά αναμονής. Εάν ληφθεί μία επιβεβαίωση λήψης, απομακρύνει το κατάλληλο τεμάχιο ή τεμάχια από την ουρά αναμονής και κάνει reset το χρονόμετρο. Εάν το χρονόμετρο εκπνεύσει, αναμεταδίδει το πρώτο τεμάχιο της ουράς αναμονής και κάνει reset το χρονόμετρο.
- Παρτίδα: Διατηρεί ένα χρονόμετρο αναμετάδοσης για ολόκληρη την ουρά αναμονής. Εάν ληφθεί μία επιβεβαίωση λήψης, απομακρύνει το κατάλληλο τεμάχιο ή τεμάχια από την ουρά αναμονής και κάνει reset το χρονόμετρο. Εάν το χρονόμετρο εκπνεύσει, αναμεταδίδει όλα τα τεμάχια της ουράς αναμονής και κάνει reset το χρονόμετρο.
- Ξεχωριστά: Διατηρεί ένα χρονόμετρο για κάθε τεμάχιο στην ουρά αναμονής. Εάν ληφθεί μία επιβεβαίωση λήψης, απομακρύνει το κατάλληλο τεμάχιο ή τεμάχια από την ουρά αναμονής και καταστρέφει το αντίστοιχο χρονόμετρο ή χρονόμετρα. Εάν εκπνεύσει οποιοδήποτε χρονόμετρο, αναμεταδίδει το αντίστοιχο τεμάχιο ξεχωριστά και κάνει reset το χρονόμετρο του.

Η πολιτική μόνον-το-πρώτο είναι αποδοτική σε σχέση με την κίνηση που παράγεται, διότι αναμεταδίδονται μόνο τα χαμένα τεμάχια (ή τα τεμάχια των οποίων έχει χαθεί η επιβεβαίωση λήψης). Επειδή το χρονόμετρο για το δεύτερο τεμάχιο στην ουρά αναμονής δεν τίθεται μέχρι να επιβεβαιωθεί η λήψη του πρώτου τεμαχίου, μπορεί να υπάρχουν αξιοσημείωτες καθυστερήσεις. Η πολιτική ξεχωριστά επιλύει

αυτό το πρόβλημα εις βάρος μίας περισσότερο πολύπλοκης υλοποίησης. Η πολιτική παρτίδας επίσης μειώνει την πιθανότητα των μεγάλων καθυστερήσεων, αλλά μπορεί να καταλήξει σε άσκοπες αναμεταδόσεις (6).

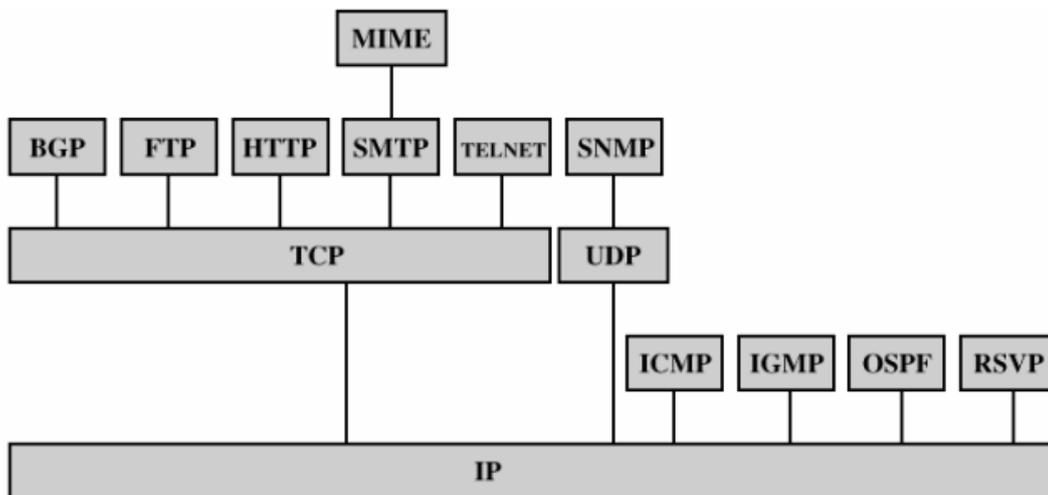
Η πραγματική αποτελεσματικότητα της πολιτικής αναμετάδοσης εξαρτάται μερικώς στην πολιτική αποδοχής του παραλήπτη. Εάν ο παραλήπτης χρησιμοποιεί μία πολιτική αποδοχής με σωστή ακολουθία, τότε θα απορρίπτει τεμάχια που λαμβάνονται μετά από ένα χαμένο τεμάχιο. Αυτό ταιριάζει καλύτερα με την αναμετάδοση παρτίδας. Εάν ο παραλήπτης χρησιμοποιεί μία πολιτική αποδοχής με παράθυρο, τότε είναι βέλτιστη η πολιτική αναμετάδοσης μόνον-το-πρώτο ή ξεχωριστά. Φυσικά, σε ένα μικτό δίκτυο υπολογιστών, μπορεί να είναι σε χρήση και οι δύο πολιτικές αποδοχής (6).

5. Πολιτική Επιβεβαίωσης Λήψης: Όταν φτάσει ένα τεμάχιο δεδομένων το οποίο είναι στη σωστή σειρά, η λαμβάνουσα οντότητα TCP έχει δύο επιλογές όσον αφορά το χρονισμό της επιβεβαίωσης λήψης (6):

- Άμεσα: Όταν γίνουν αποδεκτά τα δεδομένα, μεταδίδεται άμεσα ένα κενό (χωρίς δεδομένα) τεμάχιο που περιέχει τον κατάλληλο αριθμό επιβεβαίωσης λήψης.
- Αθροιστικά: Όταν γίνουν αποδεκτά τα δεδομένα, καταγράφεται η ανάγκη για επιβεβαίωση λήψης, αλλά αναμένεται ένα εξερχόμενο τεμάχιο με δεδομένα πάνω στο οποίο θα μεταφερθεί η επιβεβαίωση λήψης. Για να αποφευχθεί η μεγάλη καθυστέρηση, θέτεται ένα χρονόμετρο παραθύρου (Πίνακας 17.1). Εάν το χρονόμετρο εκπνεύσει πριν σταλεί μία επιβεβαίωση λήψης, μεταδίδει ένα άδειο τεμάχιο που περιέχει τον κατάλληλο αριθμό επιβεβαίωσης λήψης.
- Η άμεση πολιτική είναι απλή και διατηρεί την αποστέλλουσα οντότητα TCP πλήρως ενημερωμένη, η οποία περιορίζει τις άσκοπες αναμεταδόσεις. Ωστόσο, αυτή η πολιτική συνεπάγεται επιπρόσθετες μεταδόσεις τεμαχίων, δηλαδή, κενά τεμάχια που χρησιμοποιούνται μόνο για επιβεβαίωση λήψης. Επιπλέον, μπορεί να προκαλέσει ένα επιπλέον φορτίο στο δίκτυο. Θεωρήστε πως μία οντότητα TCP λαμβάνει ένα τεμάχιο και άμεσα στέλνει μία επιβεβαίωση λήψης. Στη συνέχεια, τα δεδομένα μέσα στο τεμάχιο δίνονται στην εφαρμογή, η οποία επεκτείνει το παράθυρο λήψης, ξεκινώντας ένα άλλο κενό

τεμάχιο TCP για να παράσχει επιπρόσθετη πίστωση στην αποστέλλουσα οντότητα TCP.

- Εξαιτίας της ενδεχόμενης επιβάρυνσης της άμεσης πολιτικής, συνήθως χρησιμοποιείται η αθροιστική πολιτική. Ωστόσο, αναγνωρίζουμε ότι η χρήση αυτής της πολιτικής απαιτεί περισσότερη επεξεργασία στο λαμβάνον άκρο και περιπλέκει την αποστολή της εκτίμησης της καθυστέρησης διάδοσης μετ' επιστροφής από την αποστέλλουσα οντότητα TCP.



- | | |
|--|---|
| BGP = Border Gateway Protocol | OSPF = Open Shortest Path First |
| FTP = File Transfer Protocol | RSVP = Resource ReSerVation Protocol |
| HTTP = Hypertext Transfer Protocol | SMTP = Simple Mail Transfer Protocol |
| ICMP = Internet Control Message Protocol | SNMP = Simple Network Management Protocol |
| IGMP = Internet Group Management Protocol | TCP = Transmission Control Protocol |
| IP = Internet Protocol | UDP = User Datagram Protocol |
| MIME = Multi-Purpose Internet Mail Extension | |

Εικόνα 14: Πρωτόκολλα TCP/IP

3. Προσομοίωση Δικτύων

3.1 Περιβάλλοντα προσομοιώσεων

Για να μπορούμε να κατανοήσουμε ευκολότερα τις αρχές λειτουργίας των δικτύων και για να μπορούμε να σχεδιάσουμε τα σύγχρονα δίκτυα υπολογιστών, έχουμε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε προγράμματα προσομοίωσης στα οποία δημιουργούμε τα δίκτυα σε εικονικά περιβάλλοντα και με αυτό τον τρόπο μπορούμε να ελέγχουμε τη συμπεριφορά τους. Στις μέρες μας, και ιδιαίτερα στην επιστήμη των υπολογιστών, είναι πολύ σημαντικό στάδιο να προσομοιώνουμε όσα θέλουμε στη συνέχεια να υλοποιήσουμε ώστε να αποφύγουμε τυχόν λάθη που θα έχουν οικονομικό κόστος. Με τον όρο προσομοίωση εννοείται η εικονική αναπαράσταση λειτουργίας ενός κυκλώματος, ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου κ.λπ..

Ένα δίκτυο είτε είναι δίκτυο υπολογιστών είτε κινητής τηλεφωνίας, αποτελεί ένα σύνολο στοιχείων τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί αυτή η επικοινωνία εξαρτάται από τη μορφή των στοιχείων. Επομένως βασικό στοιχείο είναι ο καθορισμός του πλήθους και των χαρακτηριστικών των στοιχείων του δικτύου μας καθώς επίσης και τον τρόπο που συνδέονται και επικοινωνούν μεταξύ τους. Με τον όρο φυσική διάταξη δικτύου εννοούμε τα στοιχεία που το απαρτίζουν, την διάταξή τους και τις συνδέσεις, στην ουσία και στα εικονικά περιβάλλοντα υλοποιούμε την φυσική διάταξη (7).

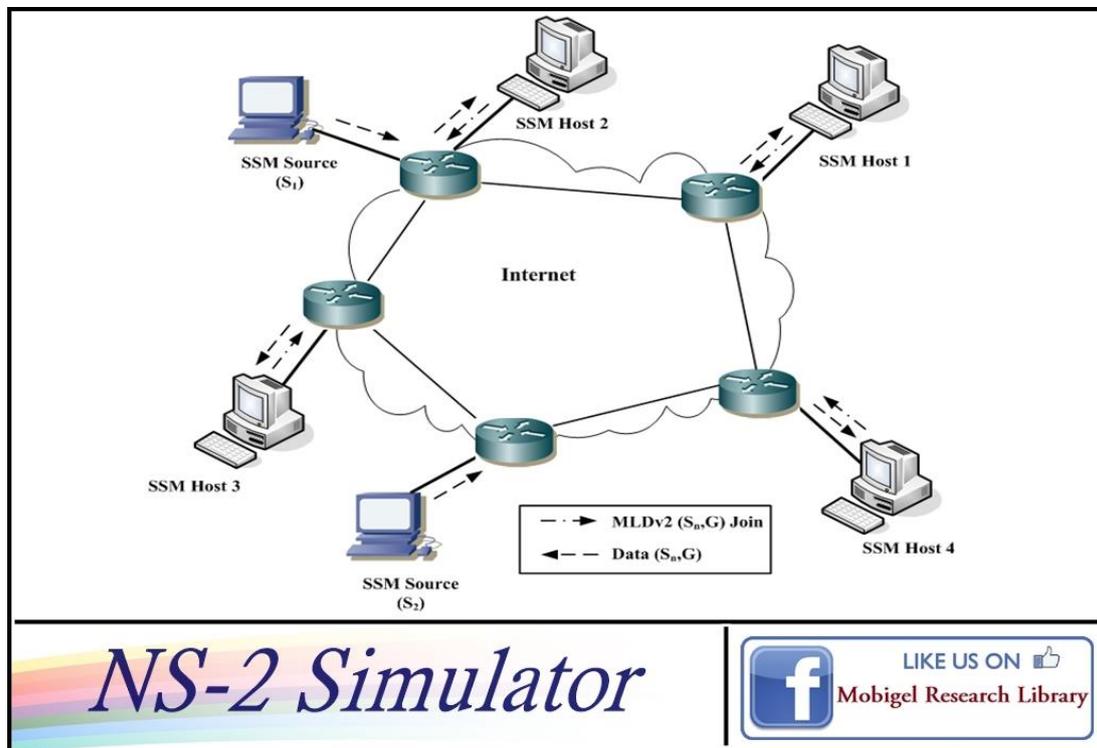
Υπάρχουν αρκετά περιβάλλοντα τα οποία μπορούν να προσομοιώσουν δίκτυα υπολογιστών. Σε αρκετές περιπτώσεις είτε υπάρχουν και κάποιες εκδόσεις δωρεάν είτε άλλες φορές κυκλοφορούν ακαδημαϊκές εκδόσεις των προγραμμάτων με διαθέσιμες ορισμένες από τις λειτουργίες τους. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε κάποια από αυτά τα περιβάλλοντα.

3.2 Network Simulator 2 (NS2)

Ιδιαίτερα διαδεδομένο πρόγραμμα προσομοίωσης δικτύων είναι το Network Simulator 2 ή NS2. Αποτελεί ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα και λειτουργεί κυρίως σε περιβάλλον Linux. Μπορεί να υλοποιήσει την προσομοίωση της δρομολόγησης, των multicast και IP πρωτοκόλλων σε ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα. Έχει

σημαντικά πλεονεκτήματα τα οποία το καθιστούν χρήσιμο εργαλείο για να προσομοιώσει πολλαπλά πρωτόκολλα καθώς επίσης δίνει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης τις κίνησης του δικτύου. Άρχισε ως παραλλαγή του Real network simulator το 1989 και είχε σημαντική εξέλιξη με τα χρόνια. Μπορεί να υποστηριχθεί από πολλά λειτουργικά συστήματα και για τα απλά σενάρια μπορούν να εκτελεστούν σε οποιοδήποτε απλό μηχάνημα, ενώ για πιο πολύπλοκα σενάρια απαιτείται συνήθως μεγάλη κεντρική μνήμη. Επίσης το συγκεκριμένο πρόγραμμα απαιτεί να είναι εγκατεστημένα τα εξής Tcl release 8.3.2, Tk release 8.3.2, OTcl release 1.0a7 και TclCL release 1.0b11 (8).

Το NS2 είναι αρκετά μεγάλο σαν πρόγραμμα και για να εγκατασταθεί απαιτεί περίπου 250MB στο δίσκο που θα εγκατασταθεί. Η εγκατάσταση μπορεί να γίνει είτε σε τμήματα είτε όλο μαζί ενιαία και βρίσκεται διαθέσιμο στις σελίδες (<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>), όσο και σε anonymous FTP στο <ftp://ftp.isi.edu/nsnam>, αλλά και σε anonymous CVS στην anon-cvs page. Το ftp για το NS-2 υπάρχει αντίστοιχα και στο ευρωπαϊκό mirror <ftp://ftp.ee.surrey.ac.uk/pub/Mirrors/ftp.isi.edu/nsnam> (8).



Εικόνα 15: network simulator 2

Το NS2 είναι ένας αντικειμενοστραφής προσομοιωτής που χρησιμοποιεί δύο γλώσσες προγραμματισμού, στο προσκήνιο την OTcl και στο παρασκήνιο την C++.

Πίσω από τη φιλοσοφία της χρήσης των δύο γλωσσών προγραμματισμού βρίσκεται το γεγονός ότι κατά την προσομοίωση πρέπει να εκτελεστούν δύο διαφορετικά πράγματα από τον προσομοιωτή. Απαιτείται η προσεκτική προσομοίωση των πρωτοκόλλων και των δικτύων από μία γλώσσα προγραμματισμού που μπορεί να χειριστεί με ακρίβεια επικεφαλίδες πακέτων. Σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος εκτέλεσης αποτελεί το πιο σημαντικό στοιχείο. Από την άλλη όταν υλοποιούνται προσομοιώσεις για τα δίκτυα υπολογιστών απαιτούνται αρκετές δοκιμές στις οποίες μπορεί να έχουν αλλαχθεί ελάχιστα κάποιες από τις παραμέτρους, επομένως σε αυτές τις περιπτώσεις είναι σημαντικός ο χρόνος κατά τον οποίο μεταβάλλουμε τις παραμέτρους ρύθμισης της προσομοίωσης (8).

Κάθε προσομοίωση που υλοποιείται στο NS2 εξαρτάται από το κεντρικό αντικείμενο της προσομοίωσης, το οποίο λέγεται αντικείμενο ελέγχου της προσομοίωσης. Μπορούμε να ελέγξουμε την προσομοίωση από τις ιδιότητες και τις μεθόδους αυτού του αντικειμένου, να ρυθμίσουμε την τοπολογία, τα πρωτόκολλα που θα τρέχουν οι κόμβοι του δικτύου, το πρωτόκολλο δρομολόγησης, αυτό το αντικείμενο δημιουργείται στην αρχή και χρησιμοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης (8).

Αφού δημιουργηθεί στη συνέχεια ορίζεται η τοπολογία του δικτύου και ο καθορισμός των κόμβων. Ένας κόμβος μπορεί να είναι ο υπολογιστής κάποιου χρήστη ή ένας δρομολογητής ή ακόμα και κάποιο ασύρματο στοιχείο. Στη συνέχεια πρέπει να δημιουργηθεί η σύνδεση που θα έχουν οι κόμβοι μεταξύ τους. Σε αυτό το σημείο καθορίζουμε τα πρωτόκολλα μετάδοσης που θα χρησιμοποιούν οι κόμβοι, τα οποία όμως δεν είναι ικανά από μόνα τους να μεταφέρουν και να λάβουν δεδομένα απαιτείται να καθορίσουμε και τι εφαρμογές θα εκτελούν (8).

Επίσης με αυτόν τον προσομοιωτή μπορούμε να παρακολουθούμε πολλές ουρές του δικτύου μας και αυτό συμβαίνει μέσω αντικειμένων τύπου Monitor. Όταν ολοκληρωθεί η προσομοίωση μπορούμε να ανακτήσουμε τις τιμές που μας ενδιαφέρουν και είτε να τα εμφανίσουμε στην οθόνη είτε να τις αποθηκεύσουμε σε αρχεία (8).

3.3 OPNET

Την προσομοίωση των δικτύων θα την πραγματοποιήσουμε με το πρόγραμμα Opnet. Το OPNET αποτελεί μια ιδιαίτερα γνωστή εμπορική εφαρμογή, με κύρια χρήση της τη προσομοίωση δικτύων. Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής θα χρησιμοποιήσουμε την έκδοση IT GURU Academic Edition. Η συγκεκριμένη έκδοση του OPNET αποτελεί ένα εξειδικευμένο ακαδημαϊκό εργαλείο στο χώρο των επικοινωνιών, που προσφέρει τη δυνατότητα με τη βοήθεια ενός γραφικού περιβάλλοντος να μοντελοποιηθούν και να προσομοιωθούν διάφορα είδη δικτύων.

Το OPNET παρέχει δυνατότητες για δημιουργία μεγάλων δικτύων τα οποία μπορούν να σχεδιαστούν μέχρι τη παραμικρή λεπτομέρεια, τα οποία μπορούμε να τα υλοποιήσουμε σχετικά εύκολα, να τα δοκιμάσουμε με χρήση πολλών σύγχρονων τεχνολογιών και να τα βελτιστοποιήσουμε γενικότερα.

Ο Project Editor αποτελεί την κύρια πλατφόρμα εργασίας για την κατασκευή και προσομοίωση ενός δικτύου. Σε αυτό το περιβάλλον δημιουργούμε ένα οποιοδήποτε μοντέλο δικτύου, χρησιμοποιώντας τα έτοιμα μοντέλα (π.χ. ένα Τοπικό Δίκτυο (LAN), ένα Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN) ή ένα δίκτυο με δύο υπολογιστές κ.τ.λ.) που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του OPNET, στη συνέχεια επιλέγουμε κάποια στατιστικά στοιχεία για το δίκτυο, εκτελούμε την προσομοίωση και παρατηρούμε τα αποτελέσματα.

Το περιβάλλον εργασίας του OPNET είναι ένα περιβάλλον με παράθυρα. Το παράθυρο που βλέπουμε παρακάτω είναι το πρώτο που συναντάμε όταν ξεκινήσουμε το OPNET.



Εικόνα 16: Αρχική εικόνα OPNET

Έπειτα επιλέγοντας File-New-Project βρισκόμαστε στο βασικό παράθυρο του OPNET στο οποίο γίνεται και η σχεδίαση του δικτύου. Πρέπει να *επιλέξουμε* Project Name και Scenario Name. Το scenario είναι ένα ξεχωριστό σενάριο μέσα στο project που αναπαριστά μια συγκεκριμένη κατάσταση. Ένα project μπορεί να περιέχει πολλά σενάρια. Π.χ. αν ένα Project περιέχει ένα δίκτυο WiFi, το πρώτο σενάριο μπορεί να είναι το συγκεκριμένο δίκτυο για 10 χρήστες και ένα δεύτερο σενάριο για 100 χρήστες. Έτσι έχουμε 2 περιπτώσεις με διαφορετικές ρυθμίσεις και τιμές. Αφού δώσουμε τις ονομασίες που θέλουμε και πατήσουμε OK, στο επόμενο μενού που συναντάμε επιλέγουμε «Empty Scenario» και πατάμε Next.

Το επόμενο μενού περιέχει τους χάρτες που θέλουμε να έχουμε στο background για να γίνεται η προσομοίωση χρησιμοποιώντας και τα στοιχεία για την μορφολογία του εδάφους, σε πόση απόσταση θα τοποθετήσουμε τους σταθμούς βάσης κ.λπ.. Αν επιλέξουμε «world» και πατήσουμε Next, εμφανίζεται μια λίστα χωρών. Αν θέλουμε να φτιάξουμε το δίκτυο μας με Background μια συγκεκριμένη χώρα στο περιβάλλον εργασίας, την επιλέγουμε και πατάμε Next. Στο μενού που βρισκόμαστε πλέον (Startup Wizard : Select Technologies) μπορούμε να επιλέξουμε εκ των προτέρων κάποιες τεχνολογίες που είμαστε βέβαιοι ότι θα χρησιμοποιήσουμε στο project μας. Αυτό

σημαίνει και κάποιες αυτόματες ρυθμίσεις σε μερικά μενού του OPNET. Αν για παράδειγμα χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία Wimax, τη βρίσκουμε από τη στήλη Model Family, αλλάζουμε το «no» του Include (δεύτερη στήλη) σε «yes» και πατάμε Next. Το τελευταίο αυτό παράθυρο απλά μας επιβεβαιώνει το χάρτη και τη τεχνολογία που έχουμε επιλέξει και πλέον πατώντας OK, είμαστε στο κύριο menu του OPNET. Έπειτα είμαστε έτοιμοι να δημιουργήσουμε οποιοδήποτε δίκτυο επιθυμούμε.

3.4 OMNET++

Το OMNET++ αποτελεί ένα πακέτο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων το οποίο βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού C++ που αναπτύχθηκε στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Βουδαπέστη από τον Andreas Varga. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε εφαρμογές όπως η προσομοίωση δικτύων υπολογιστών και άλλων καταναμημένων συστημάτων. Αποτελεί και αυτό ένα πρόγραμμα ανοιχτού λογισμικού, διαθέσιμο σε ακαδημαϊκή έκδοση και έχει επίσης αρκετά μεγάλη και ενεργή κοινότητα χρηστών. Δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού αρθρωτών μοντέλων προσομοίωσης, τα οποία μπορούν εύκολα να συνδυαστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Έχει αποδειχθεί ότι αυτό το περιβάλλον είναι κατάλληλο για την προσομοίωση σύνθετων συστημάτων όπως είναι οι κόμβοι Διαδικτύου και η δυναμική των πρωτοκόλλων TCP/IP με τρόπο πολύ ρεαλιστικό. Γενικά η αρχιτεκτονική του είναι αρκετά αφηρημένη (9).

Επίσης το OMNET++ διαθέτει ένα καλά δομημένο και βοηθητικό γραφικό περιβάλλον το GNED το οποίο υπάρχει δωρεάν στο διαδίκτυο έτσι ώστε να μπορεί ο οποιοσδήποτε χρήστης να το «κατεβάσει» και να το εκτελέσει στον υπολογιστή του. Το OMNET++ χρησιμοποιείται ευρέως ως πλατφόρμα πάνω στην οποία έχουν αναπτυχθεί άλλα προγράμματα προσομοίωσης που αφορούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες και τύπους δικτύων αν και μπορεί από μόνο του να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές προσομοίωσης. Το OMNET++ λειτουργεί εξίσου καλά στα Linux και στα περισσότερα λειτουργικά συστήματα που βασίζονται ή μοιάζουν με Unix, αλλά και σε Win32 πλατφόρμες (Windows 2000, XP). Κυκλοφορεί δωρεάν στο διαδίκτυο στο site <http://www.omnetpp.org/> (9).

Αυτό το πρόγραμμα προσομοίωσης χρησιμοποιείται για τα εξής:

- Μοντελοποίηση κυκλοφορίας των δικτύων τηλεπικοινωνιών
- Μοντελοποίηση πρωτοκόλλων
- Μοντελοποίηση δικτύων ουρών αναμονής
- Μοντελοποίηση πολυεπεξεργαστών και άλλων κατανεμημένων hardware συστημάτων
- Επικύρωση αρχιτεκτονικών υλικού
- Αξιολόγηση των πτυχών απόδοσης των σύνθετων συστημάτων λογισμικού
- Μοντελοποίηση οποιουδήποτε άλλου συστήματος όπου η προσέγγιση διακριτών γεγονότων είναι κατάλληλη.

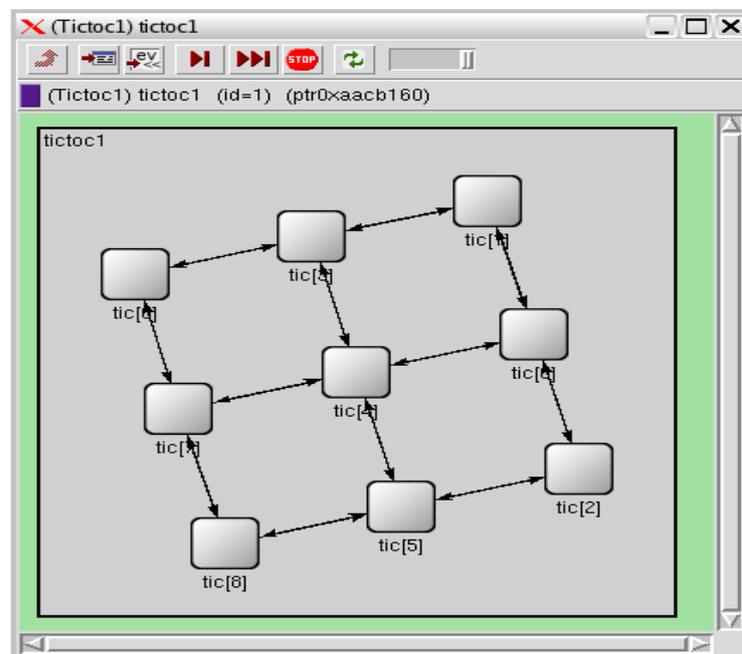
Επίσης το OMNET περιλαμβάνει τη βασική simulation kernel library, γλώσσα περιγραφής τοπολογίας (NED), το OMNET++ IDE το οποίο είναι βασισμένο στο περιβάλλον Eclipse, γραφικό περιβάλλον εκτέλεσης της προσομοίωσης και περιβάλλον γραμμής εντολών για την εκτέλεση των προσομοιώσεων.

Τα μοντέλα που προέρχονται από προσομοίωση αποτελούνται από ιεραρχικά τοποθετημένες ενότητες. Στο OMNET++ υπάρχουν δύο τύποι ενότητων: οι απλές και οι σύνθετες ενότητες. Οι απλές ενότητες αποτελούν το χαμηλότερο επίπεδο ιεραρχίας και εφαρμόζονται στη λειτουργία μιας ενότητας και μπορούν να συνδυαστούν για να διαμορφώσουν τις πιο σύνθετες ενότητες. Οι ενότητες επικοινωνούν με τη μεταβίβαση μηνυμάτων. Τα μηνύματα μπορεί να σταλούν είτε μέσω των συνδέσεων που εκτείνονται μεταξύ των ενότητων είτε άμεσα στις ενότητες προορισμού τους. Ο χρήστης καθορίζει τη δομή του μοντέλου με τη χρησιμοποίηση της γλώσσας περιγραφής τοπολογίας (NED) από το OMNET++ (9).

Οι απλές ενότητες υλοποιούνται C++, χρησιμοποιώντας τις κλήσεις συστήματος του πυρήνα προσομοίωσης και την βιβλιοθήκη της κλάσης της προσομοίωσης. Για κάθε απλή ενότητα, είναι δυνατό να επιλεγεί προσομοίωση μεταξύ των τύπων process-style και protocol-style, ανάλογα με το τι επιθυμεί ο χρήστης. Επομένως, διαφορετικά μέρη υπολογισμού και συστημάτων επικοινωνιών μπορούν να προγραμματιστούν με φυσικό τρόπο και να συνδεθούν εύκολα. Η βιβλιοθήκη της κλάσης προσομοίωσης παρέχει μια καλά ορισμένη διεπαφή (API) στον προγραμματιστή εφαρμογής για τις πιο κοινές εργασίες προσομοίωσης, που περιλαμβάνουν: τυχαία παραγωγή αριθμού, ουρές, πίνακες, μηνύματα, εξερεύνηση τοπολογίας και δρομολόγηση. Επίσης είναι δυνατή η δημιουργία και καταστροφή

ενότητας, δυναμικές τοπολογίες, στατιστικά στοιχεία, εκτίμηση πυκνότητας καθώς και καταγραφή των δεδομένων εξόδου. Η αντικειμενοστραφής προσέγγιση επιτρέπει την εύκολη επέκταση των κλάσεων της βάσης που παρέχονται από τον πυρήνα προσομοίωσης (9).

Τα στοιχεία του μοντέλου συντάσσονται και συνδέονται με τη βιβλιοθήκη προσομοίωσης και μια από τις βιβλιοθήκες διεπαφής με το χρήστη για να διαμορφώσουν ένα εκτελέσιμο πρόγραμμα. Μια βιβλιοθήκη διεπαφής με τον χρήστη βελτιστοποιείται από τη γραμμή εντολών, ενώ η άλλη χρησιμοποιεί ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής με τον χρήστη (GUI) που μπορεί να χρησιμοποιείται για να εντοπίσει και να διορθώσει τα λάθη της προσομοίωσης (9).



Εικόνα 17: Δίκτυο στο OMNET++ (πηγή: nesct.sourceforge.net)

Οποιοδήποτε μοντέλο στο OMNET++ αποτελείται από τα παρακάτω μέρη (10):

- Τη γλώσσα NED (.ned αρχεία) η οποία περιγράφει την τοπολογία, την δομή του μοντέλου με τις παραμέτρους, τις πύλες κ.τ.λ. Τα αρχεία NED μπορεί να γραφτούν σε οποιονδήποτε επεξεργαστή κειμένου ή με τον GNED γραφικό επεξεργαστή.
- Τους ορισμούς των μηνυμάτων (.msg αρχεία). Μπορεί ο προγραμματιστής να ορίσει διάφορους τύπους μηνυμάτων και να προσθέσει πεδία δεδομένων σε αυτά. Το OMNET++ αναλαμβάνει να μεταφράσει τους ορισμούς των μηνυμάτων σε πλήρως δομημένες κλάσεις της C++.

- Τα αρχεία από τις απλές ενότητες. Είναι αρχεία C++ με κατάληξη .h/.cc .

Το σύστημα προσομοίωσης παρέχει τα ακόλουθα μέρη (10):

- Πυρήνα προσομοίωσης, ο οποίος περιέχει τον κώδικα που διαχειρίζεται την προσομοίωση και την βιβλιοθήκη της κλάσης προσομοίωσης. Είναι γραμμένος σε C++ και μαζί με την μεταγλώττιση δημιουργεί μια βιβλιοθήκη (ένα αρχείο με κατάληξη .a ή .lib).
- Διεπαφή με τον χρήστη. Το OMNET++ παρέχει διεπαφή με τον χρήστη που χρησιμοποιείτε κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης για να εξηγήσει τον έλεγχο των λαθών, για επίδειξη των αποτελεσμάτων ή για παράλληλη εκτέλεση προσομοιώσεων. Είναι γραμμένη σε C++ και μαζί με την μεταγλώττιση δημιουργεί μια βιβλιοθήκη.

Τα προγράμματα προσομοίωσης δημιουργούνται από τα παραπάνω συστατικά μέρη. Πρώτα τα αρχεία NED μεταγλωττίζονται σε C++ πηγαίο κώδικα, χρησιμοποιώντας τον NEDC μεταφραστή που είναι μέρος του OMNET++. Στη συνέχεια όλα τα αρχεία με τον πηγαίο κώδικα C++ μεταγλωττίζονται και συνδέονται με τον πυρήνα προσομοίωσης και την διεπαφή του χρήστη για να διαμορφώσουν ένα εκτελέσιμο αρχείο προσομοίωσης. Το εκτελέσιμο αρχείο προσομοίωσης είναι ένα αυτόνομο πρόγραμμα, κατά συνέπεια μπορεί να τρέξει σε άλλες μηχανές χωρίς το OMNET++ ή τα αρχεία του μοντέλου να είναι παρόντα (10).

Όταν το πρόγραμμα αρχίζει, διαβάζει ένα αρχείο σχηματισμού (configuration file συνήθως αποκαλούμενο omnetpp.ini) που περιέχει τις ρυθμίσεις που ελέγχουν το πώς εκτελείται η προσομοίωση, ορισμένες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου κ.λ.π. Το αρχείο σχηματισμού μπορεί επίσης να ορίσει διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να τρέξει η προσομοίωση και στην απλούστερη περίπτωση, θα εκτελεσθούν από το πρόγραμμα προσομοίωσης το ένα μετά από άλλο. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης γράφεται σε αρχεία εξόδου : σε ενδιάμεσα αρχεία εξόδου, σε κλιμακωτά αρχεία εξόδου, και ενδεχομένως στα αρχεία εξόδου του χρήστη. Το OMNET++ παρέχει ένα εργαλείο GUI που ονομάζεται Ploive για να βλέπει και να σχεδιάζει το περιεχόμενο των αρχείων εξόδου των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης (10).

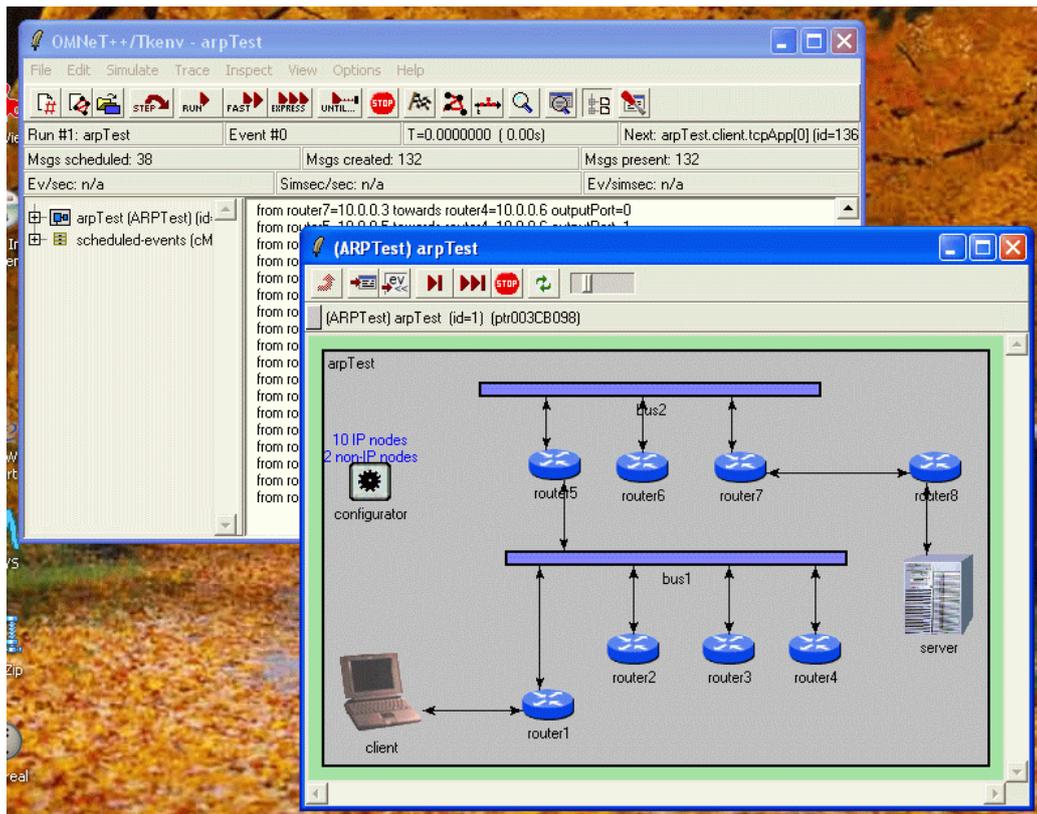
Ο αρχικός σκοπός της διεπαφής με τον χρήστη είναι να καταστούν τα εσωτερικά στοιχεία του μοντέλου ορατά στο χρήστη, να ελεγχθεί η εκτέλεση προσομοίωσης και να επιτραπεί ενδεχομένως στον χρήστη να επέμβει με την αλλαγή των μεταβλητών

και των αντικειμένων μέσα στο μοντέλο. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στη φάση της ανάπτυξης και διόρθωσης του προγράμματος προσομοίωσης. Εξίσου σημαντικό είναι και το γεγονός ο χρήστης αποκτά μια οπτική εμπειρία που τον διευκολύνει να πάρει μια αίσθηση της συμπεριφοράς του μοντέλου (10).

Το γραφικό ενδιάμεσο με τον χρήστη μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να καταδείξει τη λειτουργία ενός προτύπου. Το ίδιο μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να εκτελεσθεί με διαφορετική διεπαφή με τον χρήστη, χωρίς οποιαδήποτε αλλαγή στα αρχεία του μοντέλου από τον ίδιο. Ο χρήστης θα μπορεί να εξετάζει και να διορθώνει την προσομοίωση με ένα ισχυρό γραφικό ενδιάμεσο με τον χρήστη, και τελικά να την τρέχει με ένα απλό και γρήγορο γραφικό περιβάλλον που υποστηρίζει εκτέλεση batch (10).

3.6 INET FRAMEWORK

Το INET Framework είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης το οποίο είναι κατάλληλο για την προσομοίωση του TCP/IP και άλλων πρωτοκόλλων που σχετίζονται με το internet και είναι γραμμένο για το περιβάλλον του OMNET++. Όταν κάποιος εγκαταστήσει το INET Framework στον υπολογιστή του και ξεκινήσει να το εκτελεί θα εμφανιστεί η οθόνη (11):



Εικόνα 18: INET FRAMEWORK

Στο πίσω μέρος της εικόνας φαίνεται η αρχική οθόνη του OMNET++ και στο μπροστινό μέρος βλέπουμε το περιβάλλον του INET Framework. Για να τρέξουμε μια προσομοίωση πρέπει να πατήσουμε το κουμπί Run από το κύριο μενού εργαλείων ή πατάμε το F5. Για να την σταματήσουμε αρκεί να πιάσουμε το κόκκινο STOP ή πατώντας το F8. Στη συνέχεια η προσομοίωση ξεκινάει και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το πόσο γρήγορα θέλει να εκτελεστεί απλά καθορίζοντας την από τη γραμμή κύλισης στο πάνω μέρος του παραθύρου του προγράμματος. Το εικονίδιο Fast σβήνει το μήνυμα της προσομοίωσης και ανανεώνει την γραφική απεικόνιση μόνο ανάμεσα σε κάθε 10 γεγονότα. Αυτό βέβαια μπορούμε να το ρυθμίσουμε από το μενού των επιλογών. Το κουμπί Express παρέχει την υψηλότερη ταχύτητα εκτέλεσης και αυτόματα αν πατηθεί κλείνουν οι γραφικές απεικονίσεις προς τον χρήστη, ενώ ανανεώνει τις ενδείξεις στην οθόνη κάθε 1000 γεγονότα κάτι που επίσης μπορεί να αλλάξει από το μενού επιλογών. Στην κατάσταση Express μπορούμε να σταματήσουμε την προσομοίωση μόνο πατώντας το μεγάλο κόκκινο κουμπί με την ένδειξη STOP (11).

Στο status bar της εφαρμογής μπορούμε να δούμε την ταχύτητα της προσομοίωσης. Η ένδειξη Ev/sec μας λέει πόσα γεγονότα εκτελεί η CPU σε ένα

δευτερόλεπτο. Αυτό εξαρτάται από τις δυνατότητες του υλικού του χρήστη, από το μέγεθος του κώδικα της C++ που χρησιμοποιείται στο μοντέλο και τον τρόπο εκτέλεσης της προσομοίωσης. Συνήθως η Express προσομοίωση είναι 100-200 φορές γρηγορότερη από την Fast προσομοίωση. Στην ίδια μπάρα μπορούμε επίσης μπορούμε να δούμε πόσα δευτερόλεπτα προσομοίωσης έχουν περάσει σε ένα πραγματικό δευτερόλεπτο εκτέλεσης (Simsec/sec) και πόσα γεγονότα συνέβησαν σε ένα δευτερόλεπτο προσομοίωσης (Ev/Simsec). Η ένδειξη Simsec/sec είναι χρήσιμη για να υπολογίσουμε πόσο θα κρατήσει η προσομοίωση. Η ένδειξη Ev/Simsec είναι ανεξάρτητη από το αν χρησιμοποιούμε Normal, Fast ή Express εκτέλεση και εξαρτάται μόνο από τη φύση και το μέγεθος του μοντέλου (11).

Εάν όλα πάνε καλά θα εμφανιστεί ένα παράθυρο που θα μας ενημερώνει ότι η προσομοίωση έχει ολοκληρωθεί. Μπορεί επίσης κάποια προσομοίωση να τελειώσει μετά από κάποιο συγκεκριμένο χρόνο προσομοίωσης ή αφού επιτεύχθηκε η απαιτούμενη στατιστική ακρίβεια που είχε καθοριστεί. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να ξεκινήσει ξανά πατώντας το Rebuild network στο μενού Simulate. Στην πραγματικότητα αυτό μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε στιγμή της εκτέλεσης της προσομοίωσης και αυτή να επανεκκινήσει. Κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης βλέπουμε κάποια links στο μοντέλο να αναβοσβήνουν με συγκεκριμένα χρώματα, αν ένα link είναι κίτρινο σημαίνει ότι ο κόμβος στέλνει στο link, αν ένας κόμβος έχει υποστεί σύγκρουση και σταματήσει την αποστολή για λίγο τότε το link γίνεται κόκκινο. Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι κάνοντας διπλό κλικ σε έναν κόμβο του σχεδιασμένου μοντέλου μπορούμε να δούμε τα εσωτερικά χαρακτηριστικά του (11).

4. Προσομοίωση Δικτύων

4.1 Προσομοίωση στο OMNeT++

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το OMNeT++ αποτελεί έναν αντικειμενοστραφή προσομοιωτή διακριτών γεγονότων, το οποίο διαθέτει μία γενική αρχιτεκτονική η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς όπως για ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα επικοινωνιών, μοντελοποίηση πρωτοκόλλων, δικτύων ουρών καθώς επίσης και τη μοντελοποίηση μικροεπεξεργαστών και άλλων συστημάτων υλικού. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση οποιουδήποτε συστήματος.

Τα συστατικά μέρη ενός μοντέλου στο OMNeT++ αποτελούν τα modules. Τα modules λειτουργούν ως αυτόνομες μονάδες οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μηνυμάτων. Τα modules που έχουν κάποια λειτουργικότητα καθώς και τους αλγορίθμους, ονομάζονται simple modules και γράφονται με τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και χρησιμοποιούν την βιβλιοθήκη προσομοίωσης. Κάτι βασικό το οποίο θα πρέπει να καταλάβουμε σχετικά με τα simple modules είναι το γεγονός ότι μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να συνδυαστούν με άλλα επομένως να σχηματιστούν άλλες σύνθετες οντότητες, compound modules. Με αυτή την οπτική γωνία όλο το τελικό μοντέλο που θα δημιουργήσουμε είναι στην ουσία ένα compound module.

Η δομή του μοντέλου περιγράφεται στην γλώσσα NED η οποία αποτελεί και αυτή δομικό στοιχείο του OMNeT++. Τα module types που έχει δημιουργήσει κάποιος χρήστης έχουν στιγμιότυπα τα simple και τα compound modules. Αυτά τα μπορούν να αποθηκευτούν σε ξεχωριστά αρχεία σχηματίζοντας βιβλιοθήκες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλα διαφορετικά projects.

Όπως αναφέρθηκε επικοινωνούν μεταξύ τους στέλνοντας μηνύματα, τα οποία σε πραγματικές προσομοιώσεις μπορεί να αναπαριστά π.χ. ένα πλαίσιο ή ένα πακέτο σε δίκτυο υπολογιστών. Ένα μήνυμα μπορεί να περιέχει αφηρημένα δεδομένα και στέλνεται είτε μέσα από θύρες (gates) και συνδέσεις (connections) είτε κατευθείαν στον προορισμό τους. Όταν ένα μήνυμα στέλνεται από ένα module στον εαυτό του αυτό ονομάζεται self message.

Οι θύρες (gates) είναι οι διασυνδέσεις εισόδου και εξόδου των modules. Υπάρχουν τρεις τύποι: input, output και inout. Τα μηνύματα στέλνονται έξω μέσω των output gates και φτάνουν στο module σε μια input gate. Δύο θύρες συνδέονται μεταξύ τους με μια σύνδεση (connection). Σε μια σύνδεση μπορούν να αντιστοιχηθούν τρεις παράμετροι ώστε να είναι πιο ρεαλιστική η μοντελοποίηση του δικτύου:

- Propagation delay – Καθυστέρηση διάδοσης, δηλαδή ο χρόνος που καθυστερεί ένα μήνυμα όταν ταξιδεύει διαμέσου της σύνδεσης.
- Bit error rate –πιθανότητα σφάλματος στη μετάδοση.
- Data rate – ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, καθορίζεται σε bits/sec.

Εξίσου σημαντικό είναι να κατανοήσουμε ότι στο OMNeT++, ένα μοντέλο αποτελείται μόνο από τα ακόλουθα συστατικά μέρη – αρχεία:

- Αρχεία NED: περιγράφουν την δομή των modules με τις παραμέτρους, τις θύρες, κ.τ.λ.
- Ορισμοί μηνυμάτων (.msg files). Χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των τύπων των μηνυμάτων και των πεδίων τους. Το OMNeT++ τα μεταφράζει σε κλάσεις C++.
- Πηγαίος κώδικας των simple modules (αρχεία .h/.cc).

Οι γενικές αρχές λειτουργίας του προσομοιωτή είναι οι εξής:

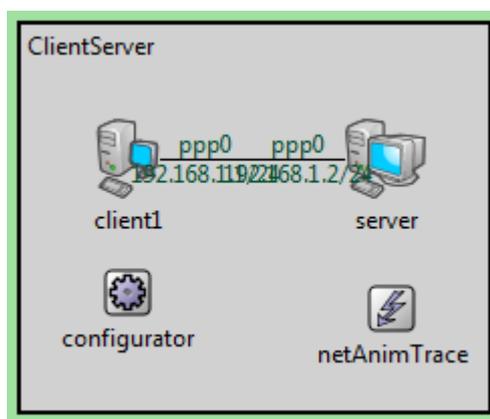
- Τα .msg files μεταφράζονται σε κώδικα C++
- Όλα τα πηγαία αρχεία μεταγλωττίζονται
- Σύνδεση αυτών με τον πυρήνα προσομοίωσης και την βιβλιοθήκη της διασύνδεσης χρήστη
- Δημιουργία εκτελέσιμου αρχείου.
- Φόρτωση αρχείων .ned και ανάγνωση του αρχείου διαμόρφωσης (.ini)
- Η προσομοίωση ξεκινά.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης γράφονται σε αρχεία δεδομένων (vector files, scalar files) τα οποία μπορούν να αναλυθούν με τα εργαλεία του OMNeT++ ή με κάποιο άλλο λογισμικό.

4.2 Περιπτώσεις μελέτης

Μέσα από τα παραδείγματα που προσφέρει το περιβάλλον του OMNeT, μελετήσαμε κάποιες περιπτώσεις οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια και όλες έχουν να κάνουν με τον τρόπο λειτουργίας του TCP.

Σε ένα απλό δίκτυο που αποτελείται από έναν χρήστη και έναν εξυπηρέτη, χρειάζεται να σταλούν αρκετά μηνύματα ώστε να γίνει αρχικά η εγκατάσταση του πρωτοκόλλου που θα χρησιμοποιήσουν, έπειτα να γίνει η σύνδεση μεταξύ τους και τέλος να αρχίσουν να στέλνονται τα δεδομένα. Ωστόσο όλη αυτή η διαδικασία γίνεται μέσα με ορισμένα δευτερόλεπτα της τάξης του μικρο (μsec). Επίσης χαρακτηριστικό στο TCP είναι ότι κάθε πακέτο συνοδεύεται από το αντίστοιχο πακέτο επιβεβαίωσης ή αλλιώς acknowledgement (ACK).



Εικόνα 19: TCP σύνδεση

Αρχικά στέλνει αίτημα ο client στέλνει αίτημα για να συνδεθεί με τον server και τότε ξεκινάει η εξής ακολουθία μηνυμάτων:

- ❖ Ο client στέλνει μήνυμα για να ξεκινήσει μεταξύ τους η εγκατάσταση του πρωτοκόλλου.
- ❖ Ο client ενημερώνεται με μήνυμα ότι το αίτημα του έχει φτάσει στον server.
- ❖ Έπειτα ο server απαντάει στέλνοντας μήνυμα και επίσης ενημερώνεται όταν αυτό φτάσει στον χρήστη.
- ❖ Με αυτόν τον τρόπο έχει γίνει μεταξύ τους η εγκατάσταση του TCP.
- ❖ Τώρα όμως θα πρέπει να δημιουργηθεί και να ανοίξει μεταξύ τους σύνδεση για την αποστολή δεδομένων.
- ❖ Ο client στέλνει αίτημα συγχρονισμού (SYN) με τον server.

- ❖ Ο server στέλνει απάντηση με μήνυμα που επιβεβαιώνει την δημιουργία της σύνδεσης (ACK+SYN).
- ❖ Ο Client απαντάει στέλνοντας μήνυμα ACK και τώρα έχει ανοίξει μεταξύ τους η σύνδεση.
- ❖ Τώρα μπορεί να αρχίσει η αποστολή δεδομένων.
- ❖ Κάθε φορά που ο client ζητάει κάποια δεδομένα, λαμβάνει απάντηση ACK ότι το μήνυμά του έχει φτάσει στον server.
- ❖ Σε περίπτωση που κάποιο μήνυμα ACK καθυστερήσει ή χαθεί τότε το αντίστοιχο πακέτο μπαίνει στην ουρά και περιμένει να σταλεί το αντίστοιχο ACK και έπειτα στέλνεται ξανά.

Αυτή η διαδικασία αναπαριστάται και στις επόμενες εικόνες.

The screenshot shows the OMNeT++ simulation interface for a ClientServer scenario. The main window displays a log of events and network configuration details. The log includes:

```

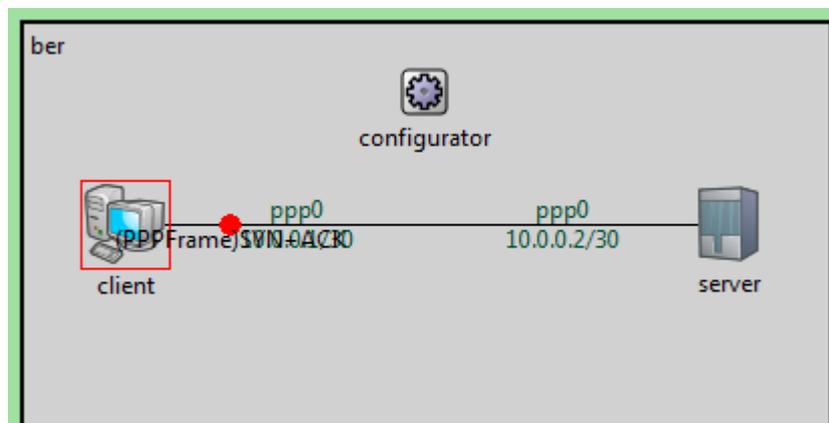
DEBUG: Selected netmask length: 24
DEBUG: Selected network address: 192.168.1.0
DEBUG: Selected network netmask: 255.255.255.0
DEBUG: Selected interface address: 192.168.1.1
DEBUG: Selected interface address: 192.168.1.2
Time spent in IPv4NetworkConfigurator::assignAddresses(topology): 0.005s
Time spent in IPv4NetworkConfigurator::readMulticastGroupConfiguration(topology): 0s
DEBUG: Adding route ClientServer.client1.ppp0 -> ClientServer.server.ppp0 as dest:192.168.1.2 gw:* mask:255.255.255.0
DEBUG: Adding route ClientServer.server.ppp0 -> ClientServer.client1.ppp0 as dest:192.168.1.1 gw:* mask:255.255.255.0
Time spent in IPv4NetworkConfigurator::addStaticRoutes(topology): 0.001s
Time spent in IPv4NetworkConfigurator::initialize: 0.009s
** Event #1 T=0 ClientServer.client1.networkLayer.ip (IPv4, id=16), on 'RegisterProtocol' (cMessage, id=56552)
** Event #2 T=0 ClientServer.server.networkLayer.ip (IPv4, id=34), on 'RegisterProtocol' (cMessage, id=56555)
** Event #3 T=0 ClientServer.client1.networkLayer.ip (IPv4, id=16), on 'RegisterProtocol' (cMessage, id=56557)
...running in Express mode...
...running in Express mode...
<!> No more events -- simulation ended at event #86439, t=265.000113.
** Calling finish() methods of modules
[265.000] pcapRecorder finished
ClientServer.client1.tcpApp[0]: received 2000000 bytes in 3237 packets
ClientServer.client1.tcp: finishing with 0 connections open.
[265.000] pcapRecorder finished
ClientServer.server.tcp: finishing with 1 connections open.

```

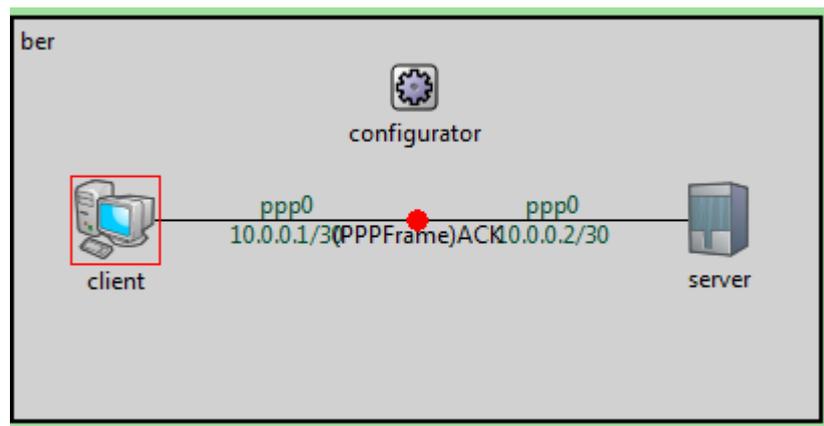
Εικόνα 20: Μηνύματα για την σύνδεση και επικοινωνία δύο μονάδων



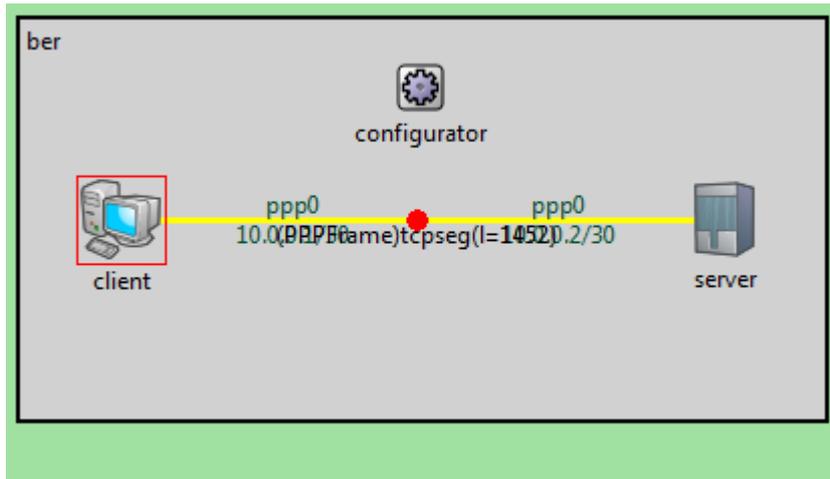
Εικόνα 21: Αίτημα συγχρονισμού



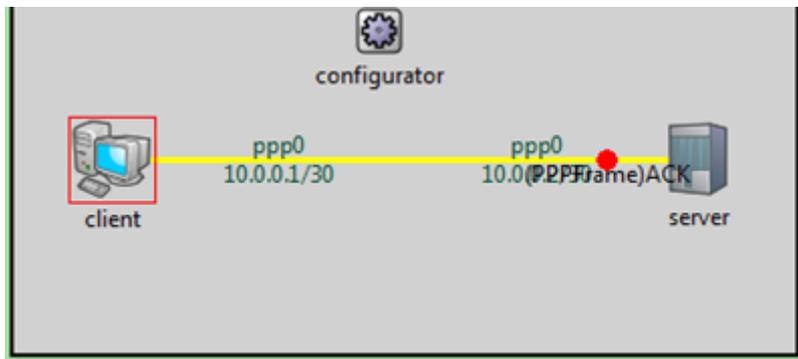
Εικόνα 22: Μήνυμα server SYN+ACK



Εικόνα 23: ACK



Εικόνα 24: Αίτηση για αποστολή δεδομένων



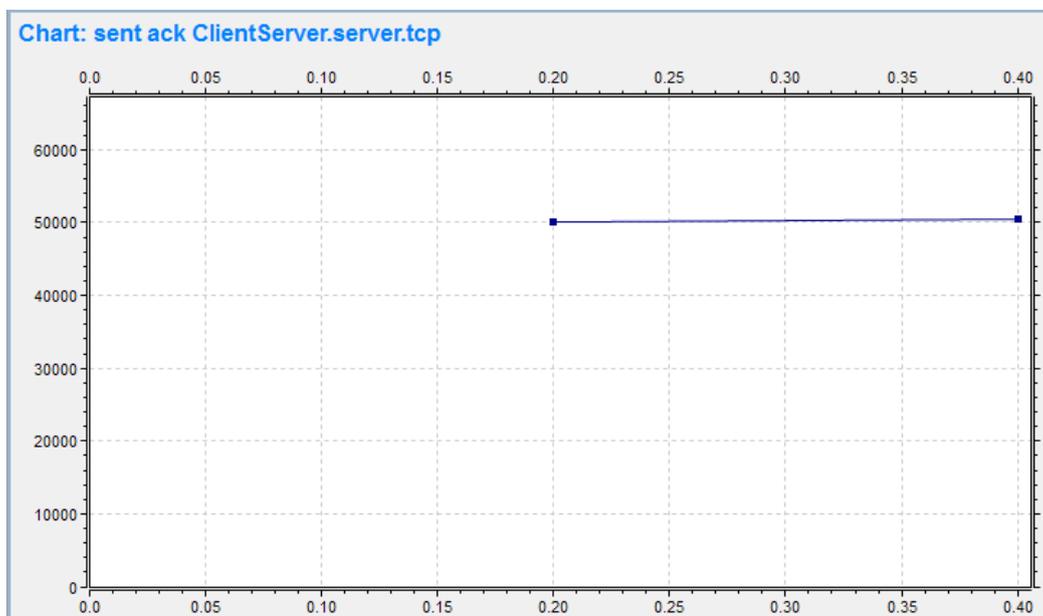
Εικόνα 25: επιβεβαίωση



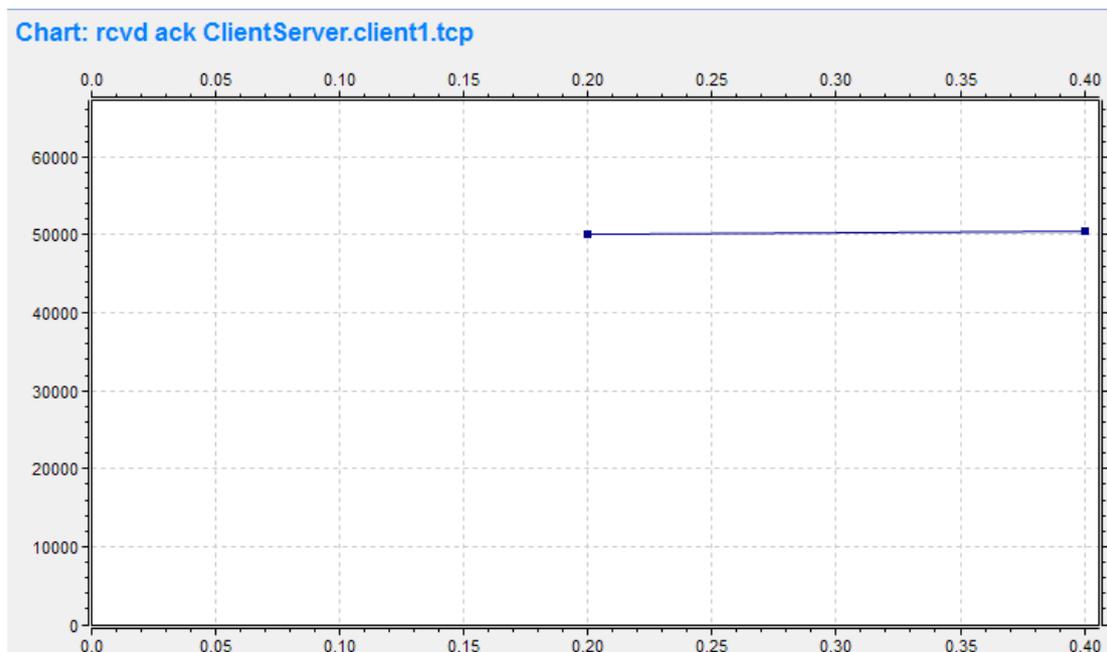
Εικόνα 26: Αποστολή δεδομένων

5. Συμπεράσματα

Στη συνέχεια ακολουθούν κάποια στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν κατά την προσομοίωση που μελετήθηκαν.



Εικόνα 27: Πόσες επιβεβαιώσεις έστειλε ο server



Εικόνα 28: επιβεβαιώσεις που έλαβε ο client

Οι επιβεβαιώσεις που έχει λάβει ο client είναι ίδιες με τον αριθμό των επιβεβαιώσεων που έχει στείλει ο server, επομένως με αυτό καταλαβαίνουμε ότι δεν έχει χαθεί κανένα πακέτο και μάλιστα δεν υπήρξε ούτε καθυστέρηση στην επικοινωνία μεταξύ τους.

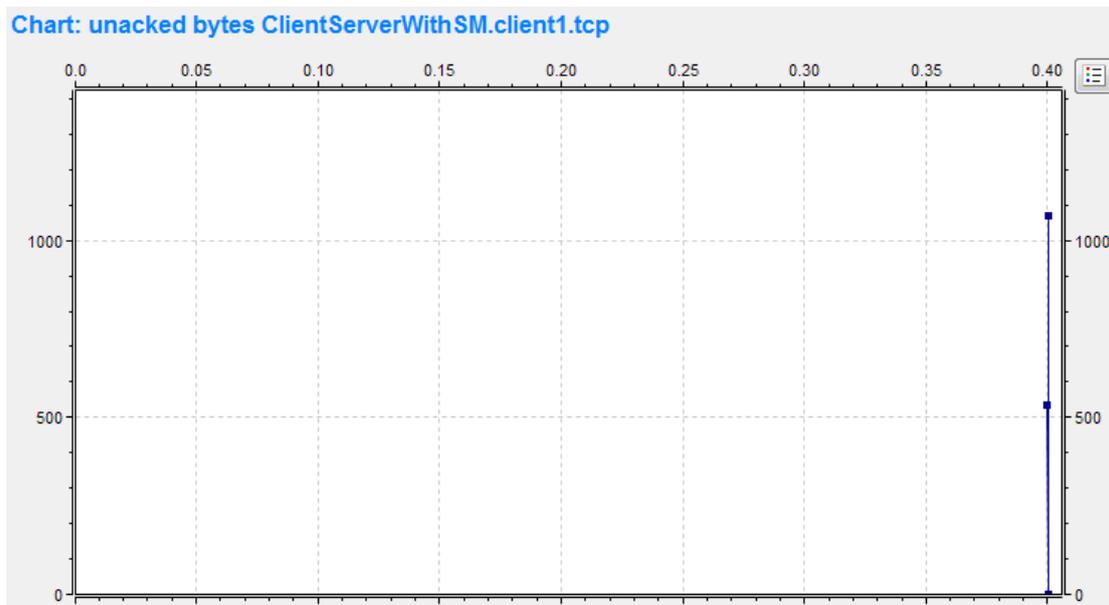
Επόμενο παράδειγμα είναι το TCP με επανασύνδεση και λάβαμε τα παρακάτω στατιστικά αρχεία.



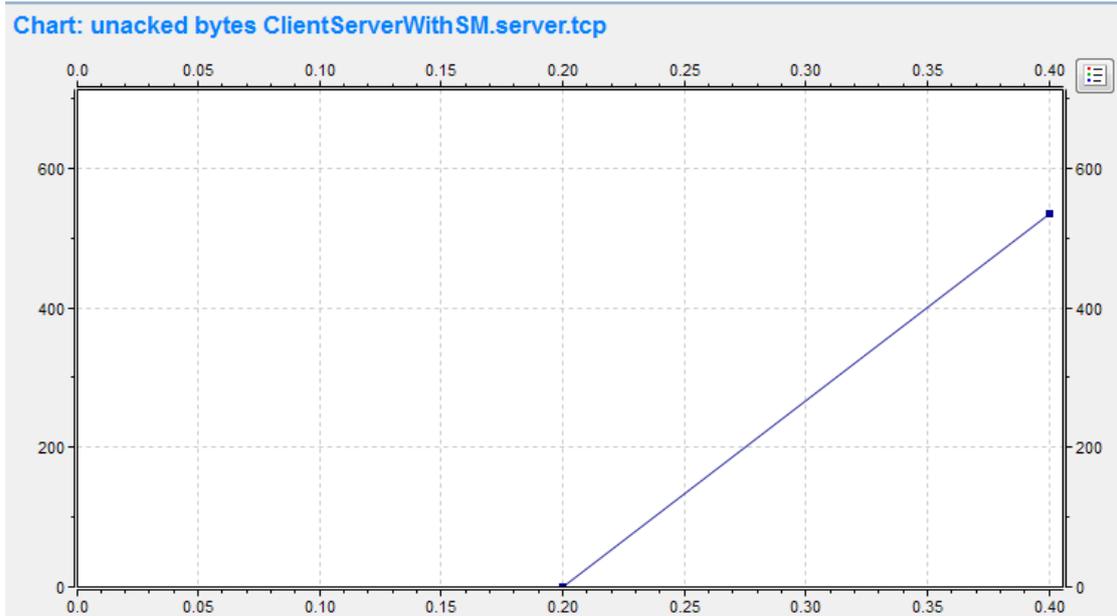
Εικόνα 29: ρυθμός δεδομένων που έλαβε ο client



Εικόνα 30: ρυθμός δεδομένων που έλαβε ο server



Εικόνα 31: bytes που στάλθηκαν στον client χωρίς επιβεβαίωση, επομένως δεν έφτασαν στον προορισμό τους



Εικόνα 32: Αντίστοιχα αι για τον server



Εικόνα 33: frames που έστειλε ο server



Εικόνα 34: frames που έλαβε ο client



Εικόνα 35: frames που έστειλε ο client



Εικόνα 36: frames που έλαβε ο server

Και σε αυτή την περίπτωση συμπεραίνουμε ότι δεν έχουν φτάσει πακέτα των οποίων χάθηκε το μήνυμα επιβεβαίωσης.

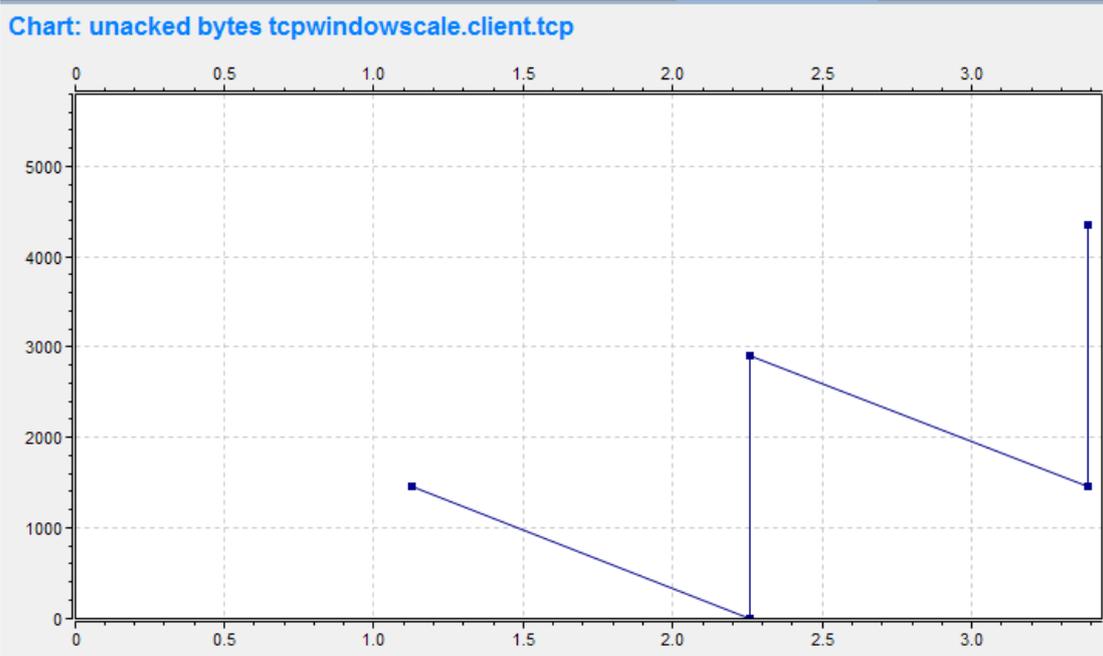
Στο επόμενο παράδειγμα με τίτλο TCPwindow scale πήραμε τις παρακάτω εικόνες μετά την προσομοίωση.



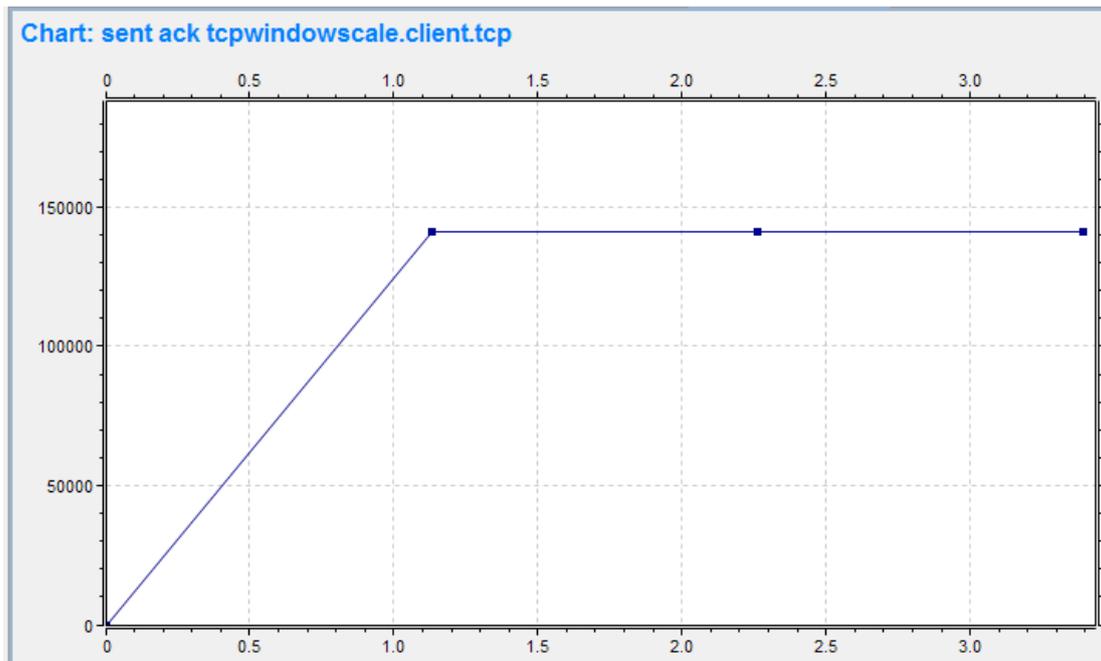
Εικόνα 37: μέση ρυθμαπόδοση στον server



Εικόνα 38: μέσος αριθμός πακέτων που έφτασαν στον server



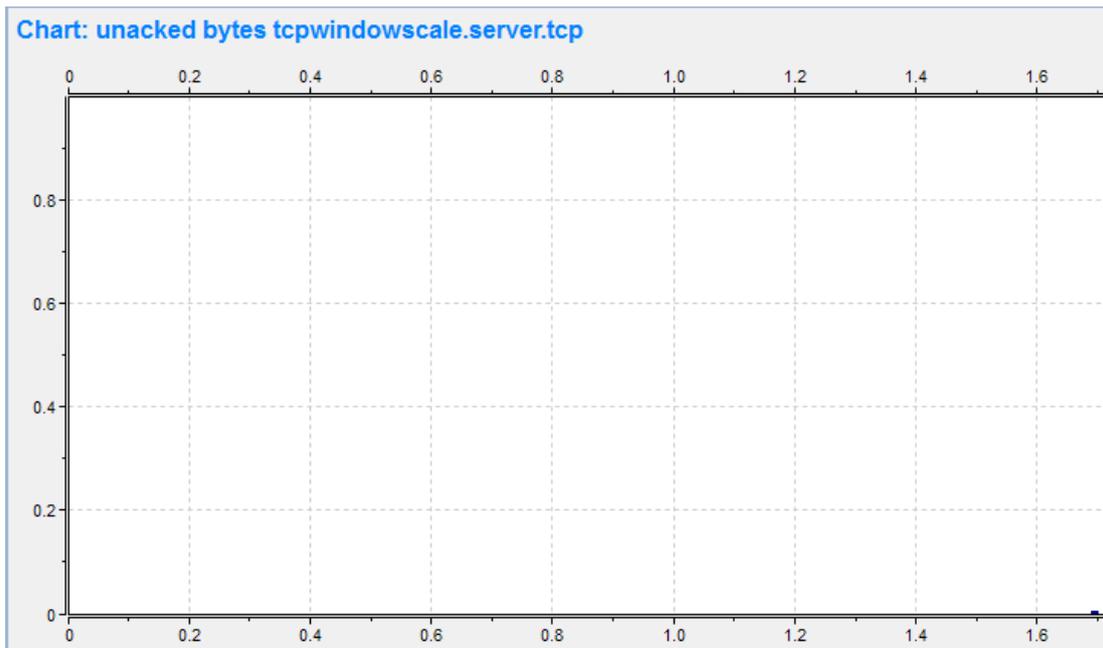
Εικόνα 39: μη επιβεβαιωμένα bytes στον client



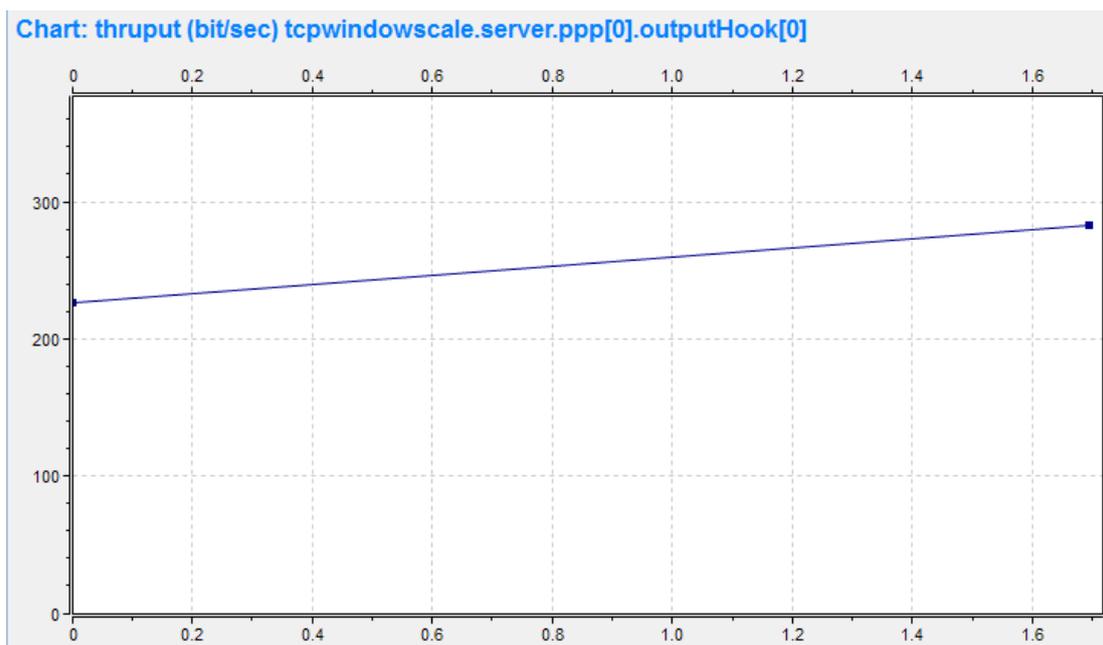
Εικόνα 40: επιβεβαιώσεις που έστειλε ο client

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα κατά την πάροδο του χρόνου χάθηκαν ορισμένα bytes και από την ίδια χρονική στιγμή και μετά παρατηρούμε και στην εικόνα 40 ότι έστειλε ένα σταθερό αριθμό επιβεβαιώσεων, το οποίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τότε είχε ξεκινήσει η μετάδοση των δεδομένων που ήθελε να λάβει ο πελάτης.

Ο server ωστόσο δεν είχε κανένα απωλεσθέν πακέτο δεδομένων και λάμβανε δεδομένα με ένα σταθερό ρυθμό.



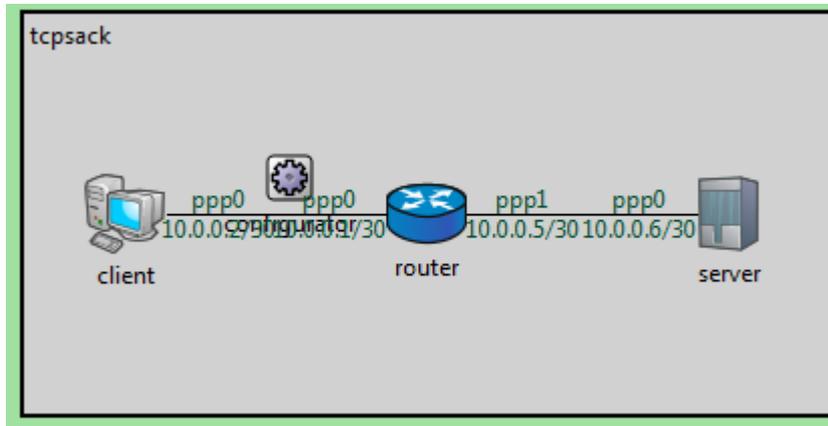
Εικόνα 41: μη επιβεβαιωμένα bytes στον server



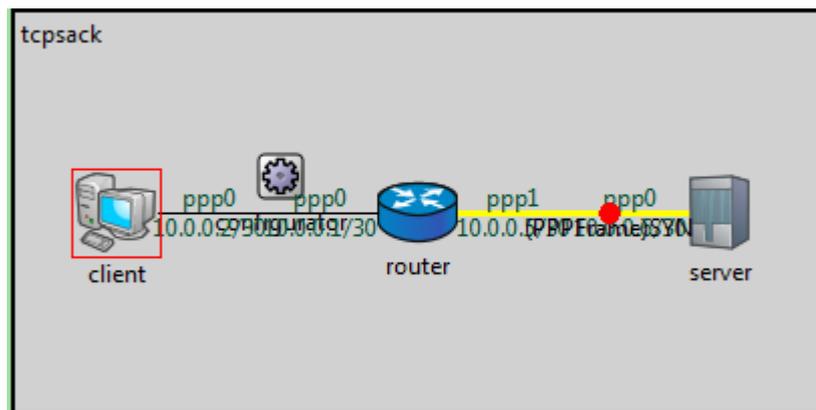
Εικόνα 42: ρυθμός δεδομένων στον server

Σε επόμενο παράδειγμα που μελετήθηκε tcpsack, μεταξύ του client και του server υπάρχει ένας δρομολογητής ή router. Τώρα ποια η διαδικασία είναι παρόμοια με την διαφορά ότι τώρα ο δρομολογητής είναι υπεύθυνος για την σωστή αποστολή των μηνυμάτων. Σε περίπτωση που είναι περισσότεροι από έναν clients ο δρομολογητής

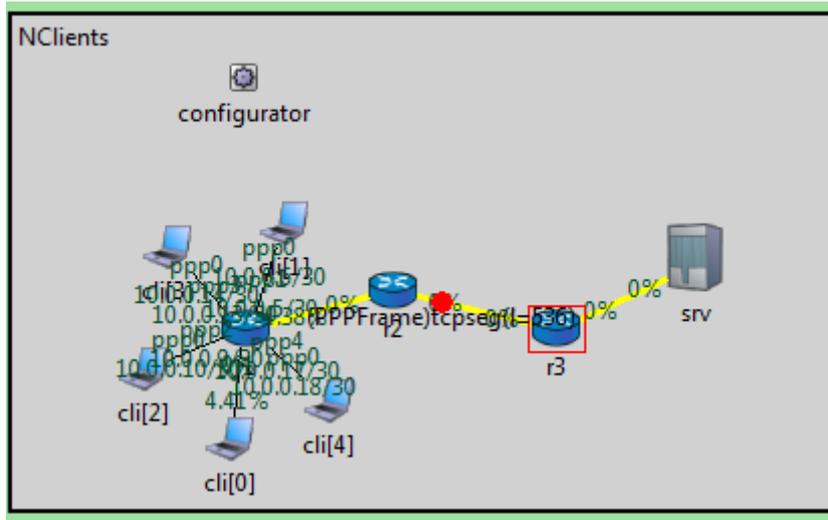
θα ελέγξει προσεκτικά την διεύθυνση προορισμού όταν στέλνει κάτι στον server, και αντίστοιχα την διεύθυνση αποστολής όταν ο server απαντάει με πακέτα. Πρέπει ο client να λάβει το ACK του αιτήματος του, μέσω του router, και έπειτα να στείλει το πακέτο.



Εικόνα 43: router



Εικόνα 44: Συγχρονισμός μέσω router



Εικόνα 45: πολλοί clients

Βιβλιογραφία

1. Μαδεμλής Ι., Σημειώσεις για το μάθημα «Δίκτυα Υπολογιστών», ΤΕΙ Σερρών, ανάκτηση στις 15/04/2014 από http://www.teicm.gr/ICD/staff/mademlis/networks_I_1.pdf
2. Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών, Αθήνα 2003, 6^η έκδοση
3. Τεχνολογία δικτύων επικοινωνιών, ΥΠΕΠΘ, Αθήνα
4. Εισαγωγή στο TCP/IP, Κέντρο ΠΛΗ.ΝΕ.Τ.Ν. Φλώρινας, ανάκτηση στις 25/03/2014 από <http://dide.flo.sch.gr/Plinet/Tutorials/Tutorials-TCP-IP-Introduction.html>
5. Κανάτας Α., Κωνσταντίνου Φ., Πάντος Γ., Συστήματα κινητών επικοινωνιών, εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2008
6. Stallings W, Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων, 6^η Έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα Θεσ/νικη 2003
7. Κατσίρης Ι., Μιχάλης Λ., Πανέτσος Σ., Παπαδόπουλος Χ., Τίγκας Ο., Η σχεδίαση, προσομοίωση και ανάλυση δικτύων υπολογιστών στο περιβάλλον του OPNET, Τμήμα εκπαιδευτικών ηλεκτρονικής, Νέο Ηράκλειο, Αθήνα
8. Σιβάκης Ν., Free and Open-source Tools for Network Simulation, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
9. OMNeT++, Installation Guide, Andras Varga 2014, ανάκτηση στις 08/06/2014 από <http://omnetpp.org/doc/omnetpp/InstallGuide.pdf>
10. OMNeT++, user manual, Andras Varga ανάκτηση στις <http://www.omnetpp.org/doc/omnetpp/manual/usman.html>
11. INET framework for OMNeT++, Manual, Andras Varga δημιουργήθηκε στις 21/06/2012, ανάκτηση στις 25/03/2014 από <http://inet.omnetpp.org/doc/INET/inet-manual-draft.pdf>