

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΓΑΡΙΤΗ ΣΠΥΡΙΔΟΥΛΑ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΓΑΡΙΤΗ ΣΠΥΡΙΔΟΥΛΑ

Άρτα, 2020

Comparative Study Of Network Simulators

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Όνομα Επίθετο,

τίτλος, βαθμίδα

2. Μέλος επιτροπής

Όνομα Επίθετο,

τίτλος, βαθμίδα

3. Μέλος επιτροπής

Όνομα Επίθετο,

τίτλος, βαθμίδα

Ο/Η Προϊστάμενος/η του Τμήματος

Όνομα Επίθετο,

τίτλος, βαθμίδα

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία

Περίληψη

Η παρούσα εργασία μελετά τα εργαλεία προσομοίωσης των δικτύων. Η προσομοίωση, είναι μια σύνθετη διαδικασία μελέτης ενός συστήματος σε σύντομο χρονικό διάστημα, με χαμηλό κόστος και δυνατότητα επανάληψης. Εδώ, θα παρουσιάσουμε τις δυνατότητες της προσομοίωσης και πώς αυτή χρησιμοποιείται στην ανάλυση, σχεδίαση και υλοποίηση των δικτύων προσδοκώντας τη βέλτιστη λειτουργία τους. Τέλος, θα παρουσιαστούν βασικοί προσομοιωτές οι οποίοι χρησιμοποιούνται και σήμερα. Τέλος, εξετάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους, οι διαφορές τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

Abstract

This paper will attempt to capture the concept of network simulation. He will approach the concept of simulation trying to highlight the diversity with the concept of evolution. It will also highlight the possibilities of simulation and how it is used for the benefit of networks and their optimal operation. Finally, basic simulators will be presented, some of which are used to date, trying, in the end, to highlight their main differences and their advantages and disadvantages.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων	10
Κατάλογος Πινάκων.....	11
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή στους προσομοιωτές δικτύων	12
1.1. Εισαγωγή στη Προσομοίωση	12
1.1.1. Είδη Συστημάτων	13
1.1.2. Είδη Μοντέλων Συστήματος.....	14
1.2. Συλλογή Δεδομένων στη Προσομοίωση	16
1.2.1 Ταξινόμηση Δεδομένων (Classification of Input Data)	16
1.2.2 Ανάλυση Δεδομένων Προσομοίωσης	18
1.3. Προσομοιωτές Δικτύου	18
Κεφάλαιο 2 Προσομοίωση Δικτύων και Τα εργαλεία Προσομοίωσης (Simulator).....	20
2.1 Προσομοιωτές δικτύων	20
2.2 OMNET ++	20
Τρόπος Λειτουργίας	21
Γλώσσα NED	21
2.3 OPNET	23
Τρόπος Λειτουργίας	23
Περιβάλλον Εργασίας OPNET	24
2.4 NS-2	25
Αρχιτεκτονική του NS-2	26
Περιβάλλον Εργασίας NS-2.....	28
2.5 NS-3	30
Αρχιτεκτονική του NS-3	30
Χρήση του NS-3.....	31
2.6 Packet – Tracer.....	31

Περιβάλλον Χρήσης Packet Tracer.....	32
2.7 J -SIM.....	38
J-SIM και Classes.....	38
2.8 SSFNET	39
Στοιχεία του SSFNET	39
2.9 NETSIM.....	40
Τρόπος Λειτουργίας NETSIM	40
Βασικά Χαρακτηριστικά του NETSIM	41
2.10 COMNET III.....	42
Βασικά χαρακτηριστικά του COMNET III.....	42
2.11 CNET	43
Βασικές εντολές CNET	43
Κεφάλαιο 3 : Συγκρίσεις Μεταξύ Προσομοιωτών	46
3.1 Σύγκριση Προσομοιωτών – Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	46
3.2 Σύγκριση Προσομοιωτών Δικτύου – Ποιοτικά Χαρακτηριστικά.....	49
3.3 Σύγκριση Προσομοιωτών Δικτύου – Σχεδιαστικά Χαρακτηριστικά.....	52
Συμπεράσματα.....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1: Τύποι Μοντέλων Προσομοίωσης.....	15
Εικόνα 1-2: Συνεχή Δεδομένα	17
Εικόνα 1-3: Διακεκριμένα Δεδομένα.....	17
Εικόνα 2-1: Simple Module OMNET++ & NED	22
Εικόνα 2-2: Compound Module OMNET++ & NED.....	22
Εικόνα 2-3: Αρχιτεκτονική του NS-2	26
Εικόνα 2-4: Παράδειγμα κώδικα σε TCL	30
Εικόνα 2-5: Βασικό παράθυρο CPT.....	32
Εικόνα 2-6: Εισαγωγή Δρομολογητή στο CPT.....	34
Εικόνα 2-7: Τύποι Συνδέσεων στο CPT	35
Εικόνα 2-8: Configuration.....	35
Εικόνα 2-9: Εισαγωγή Δικτυακών Συσκευών.....	36
Εικόνα 2-10: Σύνδεση Switches στο TCP.....	37
Εικόνα 2-11: Τελική Μορφή Δικτύου για Προσομοίωση CPT	37
Εικόνα 2-12: Δημιουργία ενεργής διεργασίας στο JSIM.....	39
Εικόνα 2-13: Δημιουργία server process στο JSIM	39
Εικόνα 2-14: Δομή DML file	40
Εικόνα 2-15: Παράδειγμα κώδικα NET στο SSFNET.....	40

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1: Αποδεκτές Συναρτήσεις και Τελεστές στη TCL[15]	29
Πίνακας 2-2: Πρωτόκολλα που υποστηρίζει το CPT	32
Πίνακας 3-1: Σύγκριση Προσομοιωτών & Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	48
Πίνακας 3-2: Σύγκριση Προσομοιωτών - Ποιοτικά Χαρακτηριστικά.....	51
Πίνακας 3-3: Σύγκριση Προσομοιωτών - Σχεδιαστικά Χαρακτηριστικά.....	52

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή στους προσομοιωτές δικτύων

Η εποχή που διανύουμε χαρακτηρίζεται από τις ραγδαίες εξελίξεις σε όλους τους κλάδους των επιστημών και ιδιαίτερα στη τεχνολογία και τους διάφορους τομείς της.

Οι απαιτήσεις είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα και τα συστήματα να εξελίσσονται και να ‘μεγαλώνουν’ κατά ανάγκη. Όμως, για να δοθεί ένα σύστημα, σε λειτουργία θα πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η παραγωγικότητα του. Για να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο, όπως είναι εύλογο, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πραγματικές συνθήκες. Και δεν είναι δυνατό να γίνει σε πραγματικές συνθήκες, διότι αυτό σημαίνει επιπλέον κόστος για την εκάστοτε εταιρεία ή οργανισμό, ταλαιπωρία για τον εκάστοτε χρήστη σε περίπτωση που επηρεάσει το σύστημα με το οποίο αλληλοεπιδρά κ.ο.κ. Σε αυτό το σημείο, χρησιμοποιείται η λεγόμενη προσομοίωση.

1.1. Εισαγωγή στη Προσομοίωση

Προσομοίωση, λοιπόν, είναι μια μέθοδος με την οποία, χρησιμοποιούνται με διάφορες τεχνικές και με τη βοήθεια των υπολογιστών αναπαράγουν διάφορες διαδικασίες ή μηχανισμούς με σκοπό την μελέτη τους.

Προσοχή, δεν θα πρέπει η προσομοίωση να συγχέεται με την εξομοίωση. Εξομοίωση αναφέρεται στη διαδικασία να γίνει κάτι πανομοιότυπο με κάτι άλλο. Προσομοίωση είναι η μίμηση μιας διαδικασίας ή ενός συστήματος. Για το σκοπό αυτό υιοθετούνται μια σειρά από υποθέσεις και εφαρμόζονται σε ένα υπολογιστικό μοντέλο που αναπαριστά τη λειτουργία μιας διαδικασίας ή ενός μηχανισμού.

Στην προσομοίωση, οι διαδικασίες ή μηχανισμοί που επρόκειτο να μιμηθούν ονομάζονται Σύστημα. Σύστημα, λοιπόν, είναι μια συλλογή οντοτήτων που ενεργούν και αλληλοεπιδρούν με στόχο κάποιο λογικό αποτέλεσμα. Ενώ μοντέλο ονομάζονται οι υποθετικές μελέτες για τη λειτουργία του συστήματος[1].

Επομένως, με βάση τα παραπάνω μπορούν να διατυπωθούν οι παρακάτω ορισμοί:

➤ Σύστημα: «Σύστημα ονομάζεται μια συλλογή οντοτήτων/αντικειμένων τα οποία αποτελούν ένα σύνολο στο οποίο κάθε στοιχείο αλληλοεπιδρά ή συσχετίζεται με ένα τουλάχιστον στοιχείο του συνόλου με στόχο την επίτευξη ενός καθορισμένου σκοπού (task).»

- Προσομοίωση : Η προσομοίωση αποτελεί μια τεχνική μοντελοποίησης , η οποία μιμείται τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος καθώς αυτό αναπτύσσεται στο χρόνο.
- Μοντέλο: Μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός συστήματος με σκοπό τη διερεύνηση και τη λειτουργία και της τρέχουσας συμπεριφοράς του και τη μελέτη της μελλοντικής συμπεριφοράς του υπό συγκεκριμένες συνθήκες[2].
- Κατάσταση: Κατάσταση ενός συστήματος είναι το σύνολο των μεταβλητών που είναι απαραίτητες για τη περιγραφή του συστήματος
- Γεγονός: Στιγμιαίο συμβάν που μπορεί να επηρεάσει την κατάσταση του συστήματος [3].

Προσομοίωσης λαμβάνουν χώρα για διάφορους τομείς όπως:

- Συστήματα παραγωγής
- Η/Υ και δίκτυα
- Αμυντικά συστήματα
- Πωλήσεις
- Νοσοκομεία
- Οικονομία κοκ

1.1.1. Είδη Συστημάτων

Τα συστήματα, όπως αυτά ορίστηκαν παραπάνω , κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες. Η κατηγοριοποίηση αυτή αφορά κυρίως τη φύση των καταστάσεων στις οποίες υποβάλλονται τα συστήματα αυτά.

Υπάρχουν δύο ειδών συστήματα:

- a) Διακεκριμένα (discrete) ή Διακριτά Συστήματα: Πρόκειται για τα συστήματα και στα οποία οι μεταβλητές κατάστασης αλλάζουν σε διακεκριμένες στιγμές του χρόνου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι τα ψηφιακά συστήματα, διότι στη μονάδα του χρόνου παίρνουν διακριτές τιμές 0 ή 1.
- b) Συνεχή Συστήματα: Πρόκειται για τα συστήματα στα οποία οι μεταβλητές κατάστασης μεταβάλλονται συνεχώς σε σχέση με τη μονάδα του χρόνου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα φυσικά φαινόμενα, ή τα αναλογικά σήματα στη γραμμή ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος[3].

Βέβαια, υπάρχουν και άλλες κατηγοριοποιήσεις όπως με βάση τις δραστηριότητες των συστημάτων:

- Ανοικτά: Έχουν εξωγενείς δραστηριότητες
- Κλειστά: Δεν έχουν εξωγενείς δραστηριότητες

Καθώς επίσης και με βάση τον τρόπο αντίδρασης τους στις αλλαγές των συνθηκών του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται και λειτουργούν:

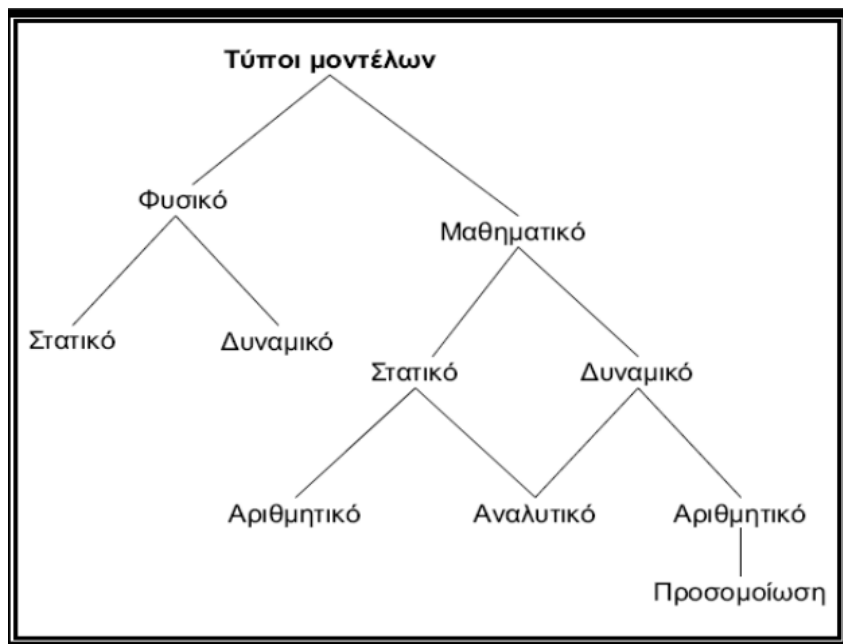
- Προσαρμοζόμενα: Προσαρμόζονται στις αλλαγές του περιβάλλοντος
- Μη προσαρμοζόμενα[4]

1.1.2. Είδη Μοντέλων Συστήματος

Και τα μοντέλα Συστήματος κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Φυσικά: Τα φυσικά μοντέλα συνήθως αναπαριστούν την αρχικές μορφές ενός συστήματος. Τα φυσικά μοντέλα διακρίνονται , επίσης , στα εξής:
 - Στα στατικά μοντέλα που αναφέρονται κυρίως σε στερεά συστήματα
 - Στα δυναμικά μοντέλα που αναφέρονται σε αναπαράσταση του αρχικού αντικειμένου αλλά και στις λειτουργίες του.
- Μαθηματικά: Σε αυτά τα μοντέλα, εφαρμόζονται μαθηματικές έννοιες για να περιγράψουν φυσικές ιδιότητες ενός συστήματος ή τις λειτουργίες του. Και αυτού του είδους το μοντέλο διακρίνονται σε δυναμικά και σε στατικά. Επίσης, επιπλέον διακρίνονται και σε:
 - Αναλυτικά: Αυτά τα μοντέλα κυρίως περιγράφονται με τη βοήθεια εξισώσεων
- Αριθμητικά: Το συγκεκριμένο είδος μοντέλου βασίζεται σε ένα σύνολο από δεδομένα και σε συσχετίσεις μεταξύ τους.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η προσομοίωση χρησιμοποιείται και για τα δυναμικά και αριθμητικά μοντέλα.



Εικόνα 1-1: Τύποι Μοντέλων Προσομοίωσης

1.2. Συλλογή Δεδομένων στη Προσομοίωση

1.2.1 Ταξινόμηση Δεδομένων (Classification of Input Data)

Το πιο σημαντικό στάδιο στην προσομοίωση αλλά ταυτόχρονα και το πιο δύσκολο , είναι η συλλογή των δεδομένων[5].

Τα δεδομένα μπορεί να προέρχονται από διάφορες πηγές και να συλλέγονται είτε με τον παραδοσιακό τρόπο της καταγραφής σε χαρτί είτε με ηλεκτρονικές συσκευές.

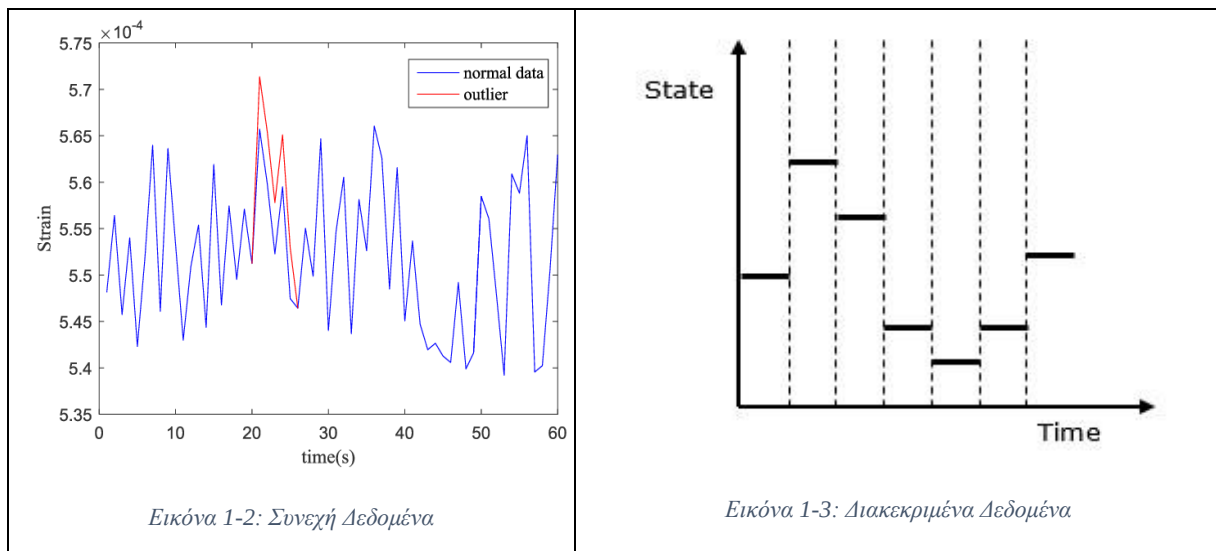
Τα δεδομένα , ακριβώς επειδή προέρχονται από διάφορες πηγές, έχουν και διαφορετική μορφή. Αυτό οδήγησε στην κατηγοριοποίηση των δεδομένων (classification).

Η πρώτη ταξινόμηση των δεδομένων που συλλέγονται έγκειται στο γεγονός εάν είναι ντετερμινιστικά (deterministic) ή πιθανολογικά (probabilistic) τα δεδομένα αυτά.

Στην περίπτωση των ντετερμινιστικών δεδομένων, τα δεδομένα θα συλλεχθούν μόνο μια φορά αφού το σύστημα συμπεριφέρεται με παρόμοιο ή με προκαθορισμένο και εύκολα προβλέψιμο τρόπο σε κάποιο συγκεκριμένο γεγονός.

Από τη άλλη τα πιθανολογικά δεδομένα, είναι πιο δύσκολα να προβλεφθούν διότι δεν ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη συμπεριφορά για το ίδιο γεγονός. Αντιθέτως, ακολουθούν κάποιες κατανομές πιθανοτήτων.

Τέλος, μια άλλη ταξινόμηση των δεδομένων είναι εάν είναι διακριτά (discrete) ή συνεχόμενα (continuous). Ακριβώς, όπως και στην κατηγοριοποίηση των συστημάτων, διακριτά είναι τα δεδομένα που επιδέχονται ξεχωριστές , διακεκριμένες τιμές ενώ συνεχές είναι αυτά που στη μονάδα του χρόνου μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή εντός ενός συγκεκριμένου εύρους.



Εδώ, αξίζει να αναφερθεί ότι για τα διακριτά δεδομένα υπάρχουν συγκεκριμένες κατανομές, οι οποίες συμβάλουν στη προσομοίωση. Οι κατανομές αυτές, ουσιαστικά είναι ένας τρόπος πρόβλεψης της συμπεριφοράς του δικτύου και των χαρακτηριστικών του όπως είναι traffic. Κάποιες από αυτές τις κατανομές είναι:

- Κατανομή Bernoulli: Χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν ένα ή δύο πιθανά αποτελέσματα σε συγκεκριμένο γεγονός. Ο μέσος όρος και η διακύμανση δίνονται από τον παρακάτω τύπο:

$$\begin{aligned} \text{mean} &= p \\ \text{var} &= p(1 - p) \end{aligned}$$

- Ομοιόμορφη Κατανομή: Κατά την οποία, ο μέσος όρος και η διακύμανση δίνονται από τους τύπους:

$$\begin{aligned} \text{mean} &= \frac{(a + b)}{2} \\ \text{var} &= \frac{(b - a)^2}{12} \end{aligned}$$

Όπου α και b είναι το κατώτατο και το ανώτατο όριο των τιμών των δεδομένων.

- Κανονική κατανομή: Οι πιθανότητες βασίζονται στον τύπο:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Όπου μ είναι ο μέσος όρος και σ είναι η απόκλιση[5].

1.2.2 Ανάλυση Δεδομένων Προσομοίωσης

Η προσομοίωση, όπως προαναφέρθηκε, εστιάζει στο να παρομοιάσει τη λειτουργία ενός συστήματος υπό συγκεκριμένα γεγονότα. Τα αποτελέσματα που παράγει η προσομοίωση συγκρίνονται με τα θεωρητικά και τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων και των προβλεπόμενων αποτελεσμάτων γίνεται με διάφορες μεθόδους όπως πχ:

- Γραφική απεικόνιση: Η γραφική απεικόνιση ακολουθεί τα εξής βήματα :
 - Με τη μορφή ιστογράμματος απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης
 - Με τη μορφή ιστογράμματος αναπαρίστανται και τα αποτελέσματα με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο
 - Σύγκριση των μεταξύ τους αποτελεσμάτων
- Kolmogorov–Smirnov test: Πρόκειται για μια μέθοδο ανάλυσης των δεδομένων της προσομοίωσης η οποία προσπαθεί να αποφανθεί εάν ένα δείγμα δεδομένων προέρχονται από ένα σύνολο (πληθυσμό) τα οποία ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατανομή[26].
- Μέθοδος Τετραγωνικού Σφάλματος: Ουσιαστικά, με αυτή τη μέθοδο υπολογίζεται το περιθώριο σφάλματος μεταξύ του αποτελέσματος από τη προσομοίωση σε σχέση με τα αποτελέσματα που αναμένονται βασιζόμενα στο θεωρητικό πλαίσιο.

Όπως παρατηρείται, η προσομοίωση δεν είναι μια απλή διαδικασία. Αντιθέτως, διερευνά τις παραμέτρους του εκάστοτε συστήματος, τις παραμέτρους του τρέχοντος γεγονότος και με διάφορες μεθόδους, που προαναφέρθηκαν, εκτιμάται και η λειτουργία του συστήματος[5].

1.3. Προσομοιωτές Δικτύου

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στους προσομοιωτές δικτύων. Επομένως, θα γίνει μια μικρή εισαγωγή, έτσι ώστε στα επόμενα εδάφια, να γίνει εκτενέστερη αναφορά σε αυτά και στα διάφορα λογισμικά τους.

Τα δίκτυα είναι από τις τεχνολογίες που συνέχεια εξελίσσονται και οι απαιτήσεις είναι πάντα αυξανόμενες από τους χρήστες. Όμως, ενώ η μελέτη και διεύρυνση των δικτύων

γίνεται εφικτή, θα πρέπει να εγγυώνται και τα επιθυμητά αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται οι προσομοιωτές δικτύων.

Δηλαδή, χωρίς κανένα κόστος, δίνεται η δυνατότητα να γίνουν 'πειράματα' στα εν λόγω δίκτυα και η συλλογή των δεδομένων είναι πιο εύκολη. Δεν καταναλώνονται άσκοπα πόροι και μπορεί να γίνει προσομοίωση ακόμα και για δίκτυα που καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις[6].

Επομένως, ένας ορισμός που θα μπορούσε να ειπωθεί για τους προσομοιωτές δικτύων είναι ο εξής: Πρόκειται για μια μέθοδο κατά την οποία μέσω ενός λογισμικού δημιουργείται ένα μοντέλο για ένα δίκτυο υπό μελέτη. Στο μοντέλο αυτό εισάγονται δεδομένα προκειμένου να δημιουργηθούν και να παρατηρηθούν τα αποτελέσματα με ελεγχόμενο τρόπο [7].

Υπάρχουν αρκετοί και ευρέως γνωστοί προσομοιωτές δικτύου όπως NS, OMNeT++ κ.ο.κ., οι οποίοι θα αναφερθούν και θα αναλυθούν στα επόμενα εδάφια.

Κεφάλαιο 2 Προσομοίωση Δικτύων και Τα εργαλεία Προσομοίωσης (Simulator)

2.1 Προσομοιωτές δικτύων

Στο προηγούμενο εδάφιο έγινε αναφορά στη προσομοίωση. Αναδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη τεχνολογία για διάφορους τομείς και δη για τη τεχνολογία των δικτύων, γνωστή ως προσομοίωση δικτύων.

Η προσομοίωση δικτύων, λοιπόν, αναφέρεται στη χρήση του υπολογιστή και διάφορων τεχνολογιών και μεθόδων προσομοίωσης για την αναπαράσταση δικτυακών αλγορίθμων ή λειτουργιών.

Η προσομοίωση δικτύων βασίζεται σε ειδικά προγράμματα τα οποία αναφέρονται ως προσομοιωτές δικτύων και χρησιμοποιούνται ευρέως από μια μεγάλη γκάμα ατόμων που απασχολούνται σε διάφορους τομείς όπως ακαδημαϊκές έρευνες, βιομηχανικές κατασκευές κοκ. Στις παρακάτω σελίδες, θα παρουσιαστούν κάποια προγράμματα προσομοιωτών δικτύων που χρησιμοποιούνται ευρέως.

2.2 OMNET ++

Ο OMNET++ χρησιμοποιείται για την προσομοίωση διακριτών συμβάντων (DES – Discrete Event Simulator). Εφαρμόζεται, κατά κύριο λόγο, σε προσομοίωση δικτύων υπολογιστών αλλά μπορεί να συναντηθεί και σε άλλες προσομοιώσεις δικτύων όπως δίκτυα αισθητήρων, δίκτυα σε ολοκληρωμένα κυκλώματα κοκ.

Είναι επεκτατός και αρθρωτός και βασίζεται στην δημιουργία ξεχωριστών έργων (frameworks) τα οποία αποτελούν βιβλιοθήκες με όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη προσομοίωση ενός δικτύου.

Προγραμματίζεται σε C++, με IDE στο Eclipse καθώς και σε NED για τη σύνθεση σύνθετων στοιχείων και εντολών.

Τα βασικά στοιχεία του OMNET++ είναι τα εξής:

- Βιβλιοθήκη που συνοδεύεται από τον πυρήνα για τη προσομοίωση
- Η γλώσσα NED.
- Το IDE
- Διεπαφή για την επικοινωνία με τον χρήστη μέσω γραμμών εντολών
- Βοηθητικά εργαλεία

- Ενδεικτικά παραδείγματα προσομοιώσεων[8]

Τρόπος Λειτουργίας

Το OMNET++ είναι ένας προσομοιωτής δικτύου ο οποίος βασίζεται σε διάφορα λεγόμενα στοιχεία (modules) τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα στοιχεία αυτά, τα αναφερόμενα ως simple modules, περιέχουν κώδικα γραμμένο σε C++ και χρησιμοποιούν κατάλληλες βιβλιοθήκες για την προσομοίωση.

Κάποιες από αυτές τις βιβλιοθήκες είναι οι εξής:

- INET: Τυπική βιβλιοθήκη του ONET++. Περιέχει τα κατάλληλα πρωτόκολλα τόσο για ενσύρματα όσο και για ασύρματα δίκτυα, ξεκινώντας από το επίπεδο ζεύξης δεδομένων
- INETMANET: Περιλαμβάνει ότι και η INET αλλά επιπρόσθετα περιέχει πρωτόκολλα για κινητά ad-hoc δίκτυα
- MiXim: Δίνει έμφαση περισσότερο σε χαμηλό επίπεδο και κυρίως χρησιμοποιείται για την προσομοίωση σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.
- Castalia: όπως και το MiXim , προορίζεται για προσομοίωση των δικτύων αισθητήρων, σώματος και γενικά δίκτυα με μικρή ισχύ[8].

Επανερχόμενοι στα στοιχεία (modules) , αξίζει να αναφερθεί ότι επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μηνυμάτων (gates), ενώ μπορούν να ομαδοποιηθούν και να σχηματίσουν ένα σύνθετο module (compound module).

Ο τύπος των στοιχείων καθορίζεται από τον χρήστη και ανάλογα τις ανάγκες του δικτύου.

Επίσης , τα modules μπορεί να περιέχουν και παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί διευκολύνουν τη μετάδοση των δεδομένων καθώς επίσης και το καθορισμό της τοπολογίας του δικτύου. Οι παράμετροι αυτές καθορίζονται ως αντικείμενα (object) όσον αφορά το κομμάτι του προγραμματισμού[9].

Γλώσσα NED

Ο σχεδιασμός των Modules και των τρόπων με τους οποίους θα επικοινωνούν μεταξύ τους στο OMNET++ γίνεται με τη χρήση της γλώσσας NED. Τα τελευταία χρόνια έχει αναβαθμιστεί αρκετά με επιπλέον χαρακτηριστικά με απώτερο σκοπό την άμεση διασύνδεση της με τις απαιτήσεις και τις συνεχείς εξελίξεις στο πεδίο των δικτύων. Έτσι, λοιπόν, μεταξύ άλλων περιέχονται και έννοιες όπως:

- Κληρονομικότητα (Inheritance): Τα modules μπορούν να αναπαρασταθούν ως κλάσεις και δημιουργώντας υποκλάσεις για κάθε τύπο module που μπορεί να

χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί στη προσομοίωση. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη του OMNET++, να εισάγει νέες παραμέτρους και συνδέσεις.

- Διεπαφές (Interfaces): Πρόκειται για μέρη του προγράμματος που επιτρέπουν την επικοινωνία του χρήστη με αυτό χρησιμοποιώντας φιλικό περιβάλλον ως προς αυτόν.
- Πακέτα (packages): Από τις νέες προσθήκες στη NED, είναι και η εισαγωγή πακέτων με Java -like κώδικα.

Εδώ, να τονιστεί, ότι η γλώσσα NED δίνει τη δυνατότητα να εξαχθούν τα αρχεία της σε XML χωρίς να επηρεαστεί το περιεχόμενο τους[9].

Παρακάτω, παρουσιάζονται δύο παραδείγματα κώδικα σε NED για simple module και σε compound module για προσομοίωση δικτύου Ethernet.

```
simple EtherMAC {
    parameters:
        string address; // others omitted for brevity
    gates:
        input phyIn;    // to physical layer or the network
        output phyOut;  // to physical layer or the network
        input llcIn;    // to EtherLLC or higher layer
        output llcOut;  // to EtherLLC or higher layer
}
```

Εικόνα 2-1: Simple Module OMNET++ & NED

```
module EtherStation {
    parameters: ...
    gates: ...
        input in;    // for connecting to switch/hub, etc
        output out;
    submodules:
        app: EtherTrafficGen;
        llc: EtherLLC;
        mac: EtherMAC;
    connections:
        app.out --> llc.hlIn;
        app.in <-- llc.hlOut;
        llc.macIn <-- mac.llcOut;
        llc.macOut --> mac.llcIn;
        mac.phyIn <-- in;
        mac.phyOut --> out;
}
```

Εικόνα 2-2: Compound Module OMNET++ & NED

2.3 OPNET

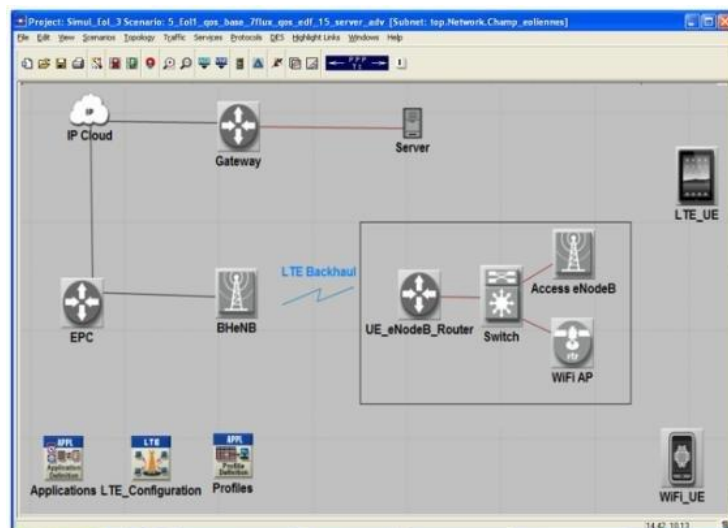
Το OPNET είναι ένας προσομοιωτής δικτύων, που πρωτοεμφανίστηκε στην δεκαετία του '80. Η εταιρεία που είχε αναλάβει την ανάπτυξη του ήταν η MIL3 , η οποία στη συνέχεια μετονομάστηκε και είναι γνωστή ως OPNET Technologies. Ο αρχικός σκοπός της δημιουργίας του OPNET ήταν για στρατιωτικούς σκοπούς , όπως βέβαια και το ARPANET, που , όμως, στη συνέχεια έγινε ο κυρίαρχος στην παγκόσμια αγορά για τη προσομοίωση δικτύων.

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν βασικά σημεία της λειτουργίας του OPNET , έτσι ώστε να φανεί και η χρησιμότητα του.

Τρόπος Λειτουργίας

Το OPNET είναι από τους πιο διαδεδομένους και ευρέως χρησιμοποιούμενους προσομοιωτές δικτύων.

Η διεπαφή του OPNET είναι ιδιαίτερα προσιτή στον χρήστη. Είναι 'χτισμένη' σε block κώδικα από C και C++ ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν αρκετές βιβλιοθήκες με ένα μεγάλο πλήθος από συναρτήσεις.



Εικόνα 2-3: Παράδειγμα Δικτύου σε OPNET

Το OPNET παρέχει τριών ειδών δυνατότητες στον χρήστη όσο αφορά τη λειτουργικότητα του: κατασκευή μοντέλου δικτύου, προσομοίωση και ανάλυση.

Στην κατασκευή μοντέλου δικτύου, το OPNET δίνει τη δυνατότητα στην δημιουργία μεγάλου πλήθους μοντέλων πρωτοκόλλων.

Για τη προσομοίωση παρέχει τρεις διαφορετικές τεχνολογίες προσομοίωσης

Ενώ όσο αφορά την ανάλυση, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με αρκετά κατανοητό τρόπο και μάλιστα χρησιμοποιώντας γραφήματα , διαγράμματα και στατιστικές παραμέτρους.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ανάμεσα στις παραπάνω δυνατότητες του OPNET, συμπεριλαμβάνονται και:

- GUI με υποστήριξη 32-bit και 64-bit
- Προσομοίωση ασύρματων δικτύων
- Υποστήριξη Grid Computing
- Περιβάλλον εργασίας βασισμένο σε Ιεραρχικό μοντέλο κ.ο.κ [11]

Περιβάλλον Εργασίας OPNET

Όπως προαναφέρθηκε, το OPNET παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον για τη προσομοίωση δικτύων αρκετά προσιτή.

Για τη προσομοίωση αυτή , ακολουθούνται τα εξής βήματα:

a) Επιλογή του μοντέλου δικτύου. Αυτό σημαίνει την επιλογή των συσκευών (hosts), των δικτυακών συσκευών (δρομολογητές, switches) καθώς και την τοπολογία του δικτύου προς προσομοίωση.

ΜΕ την επιλογή, λοιπόν, File -> New Project θα εμφανιστεί το βασικό παράθυρο εργασίας του OPNET που αφορά και τη σχεδίαση του δικτύου. Εδώ να σημειωθεί ότι σε κάθε project δίνεται η ύπαρξη πολλαπλών διαφορετικών σεναρίων. Η δυνατότητα αυτή δίνει την ευκαιρία στον χρήστη να συγκρίνει το δίκτυο του πχ με διαφορετικό αριθμό χρηστών να συγκρίνει την απόδοση του δικτύου.

Επίσης, υπάρχει επιλογή για «World» που ορίζεται σε τι είδους περιοχή θα τεθεί σε εφαρμογή του δίκτυο πχ σε πόλη, σε περιφέρεια κτλ.

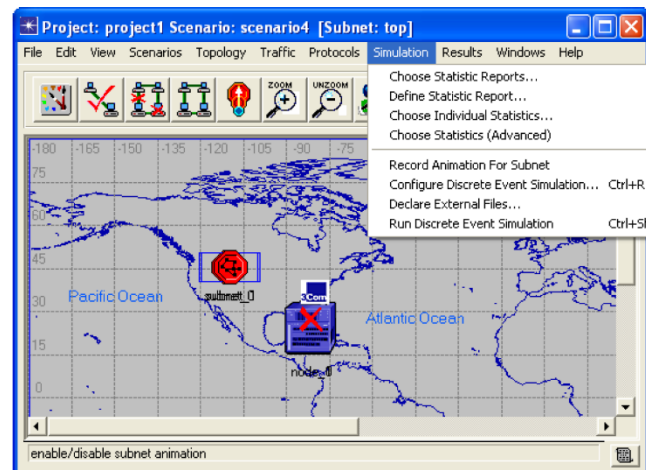
b) Προσομοίωση (simulation)

Αφού έχει γίνει η δημιουργία του δικτύου, είναι έτοιμο να τεθεί σε εφαρμογή η προσομοίωση. Το περιβάλλον του OPNET, έχει ξεχωριστό μενού για την προσομοίωση.

Οι επιλογές που παρέχονται είναι οι εξής:

- Choose Statistic Reports
- Define Statistic Report

- Choose Individual Statistics
- Record Animation for Subnet
- Configure Discrete Event Simulation
- Declare External Files
- Run Discrete Event Simulation



Εικόνα 2-4: Simulation Menu Opnet

c) Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Όπως προαναφέρθηκε, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο OPNET μπορούν να γίνουν με εύκολο και κατανοητό τρόπο όπως και με τη χρήση στατιστικών στοιχείων, διαγραμμάτων και γραφημάτων. Για αυτό και υπάρχει ξεχωριστό μενού και παρέχονται οι εξής επιλογές, όπως:

- View Results
- Compare Results
- Play Animations
- Open Simulation Log κ.ο.κ [12]

2.4 NS-2

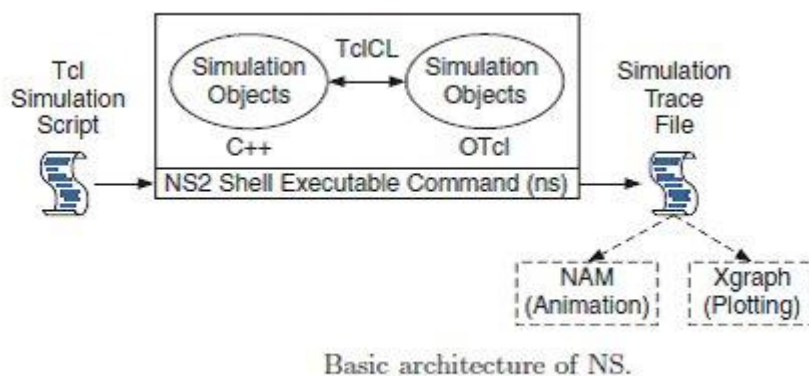
Ένας άλλο προσομοιωτής , ιδιαίτερα δημοφιλής, είναι ο Network Simulator 2 ή αλλιώς NS-2. Δημιουργήθηκε το 1989 και έκτοτε ανεβαίνει στις προτιμήσεις των χρηστών. Πρόκειται για έναν προσομοιωτή event-driven. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην προσομοίωση δικτύων επικοινωνίας τόσο ενσύρματων όσο και ασύρματων. Παρέχει μια πληθώρα πρωτοκόλλων για τα δίκτυα αυτά όπως TCP, UDP κοκ

Από τα βασικά του χαρακτηριστικά που τον έκαναν δημοφιλή σε σύντομο χρονικό διάστημα από τη δημιουργία του είναι η ικανότητα του να προσαρμόζεται στις ανάγκες του χρήστη και να προσαρμόζει αντίστοιχα και τις συμπεριφορές των πρωτοκόλλων που απαρτίζουν το δίκτυο[13].

Αρχιτεκτονική του NS-2

Ο NS-2 αποτελείται από δύο βασικές γλώσσες: τη C++ καθώς και την OTcl (Object-oriented Tool Command language. Οι δύο αυτές γλώσσες συνδέονται μεταξύ τους μέσω TclCL.

Η C++ χρησιμοποιείται για τον εσωτερικό μηχανισμό του NS-2 ενώ η OTcl αναλαμβάνει τη προσομοίωση θέτοντας τις παραμέτρους και τα αντικείμενα (λόγω αντικειμενοστραφούς σχεδίασης) καθώς επίσης αναλαμβάνει τον προγραμματισμό των διακριτών συμβάντων που θα λάβουν χώρα στη προσομοίωση[13].



Εικόνα 2-5: Αρχιτεκτονική του NS-2

Τα βασικά χαρακτηριστικά , για τα οποία , λοιπόν, φημίζεται ο NS-2 συνοψίζονται στα εξής:

- Πρόκειται για προσομοίωση διακριτών συμβάντων
- Δίνει τη δυνατότητα προγραμματισμού πότε θα λάβουν χώρα αυτά τα διακριτά συμβάντα (discrete event)
- Χρησιμοποιεί την TCL για scripting Language
- Και την OTcl για αντικειμενοστραφής σχεδίαση
- Προσομοιώνει δίκτυα τόσο ενσύρματα όσο και ασύρματα[14]

Περιβάλλον Εργασίας NS-2

Καταρχάς, θα πρέπει να αναφερθεί η διαδικασία εγκατάστασης του συγκεκριμένου προσομοιωτή σε περιβάλλον Windows απαιτεί το 'κατέβασμα' και την εγκατάσταση κάποιων αρχείων όπως είναι τα παρακάτω:

- *tcl830.exe* (Πρόγραμμα εγκατάστασης της γλώσσας tcl)
- *ns-2.1b9a-win32.exe* (Εκτελέσιμο αρχείο του Network Simulator 2)
- *nam-1.0a11a-win32.exe* (Εκτελέσιμο αρχείο του Network Animator)
- *xgraph.exe* (Εκτελέσιμο αρχείο για εμφάνιση γραφικών παραστάσεων)
- *awk95.exe* (Interpreter της γλώσσας awk)

TCL και εκτέλεση

Μόλις ολοκληρωθεί η εγκατάσταση των παραπάνω αρχείων, ο προσομοιωτής είναι έτοιμος για χρήση.

Για να τρέξει οποιαδήποτε προσομοίωση θα πρέπει να γραφεί στη TCL. Το script θα έχει επίθεμα .tcl και για την εκτέλεση του θα πρέπει να δοθεί η εντολή:

```
tclsh name-of_file.tcl
```

Η γλώσσα TCL έχει τους δικούς της κανόνες σύνταξης όπως όλες οι γλώσσες προγραμματισμού. Θα αναφερθούν κάποιοι από αυτούς τους κανόνες στις παρακάτω γραμμές.

1. Τα περισσότερα στην TCL μπορούν να αντιμετωπισθούν ως αλφαριθμητικά (string) ασχέτως εάν αναπαριστούν άλλο τύπο δεδομένων.
2. Για την εκτύπωση μηνυμάτων χρησιμοποιείται η εντολή puts συνοδευόμενη από το μήνυμα σε μονά εισαγωγικά ή διπλά (' ', ' '..').

```
πχ puts "Hello, World - In quotes"
```

3. Για την εκχώρηση τιμών σε μεταβλητές γίνεται με την εντολή set

```
Πχ set X "This is a string"
```

```
set Y 1.24
```

```
puts $X
```

```
puts $Y
```

Να σημειωθεί ότι η εντολή «puts\$X» εμφανίζει το περιεχόμενο της μεταβλητής X

4. Εντολή expr η οποία δέχεται μια λογική συνθήκη και επιστρέφει το αποτέλεσμα της. Η συνθήκη αυτή μπορεί να χρησιμοποιεί μεταβλητές, τελεστές καθώς και

συγκεκριμένες συναρτήσεις όπως `sprt()`. Στον Πίνακα 2-1 , αναφέρονται οι τελεστές και οι μαθηματικές συναρτήσεις που είναι αποδεκτές από την εντολή `expr`.

Αποδεκτοί Τελεστές	Αποδεκτές Μαθηματικές Συναρτήσεις
• <code>~, !</code> • <code>**</code> • <code>/, %</code> • <code>+, -</code> • <code><<, >></code> - αριστερή και δεξιά ολίσθηση για ακεραίους μόνο. • <code><, >, <=, >=</code> - οι γνωστοί συγκριτικοί τελεστές και από άλλες γλώσσες προγραμματισμού • <code>&</code> - Bit-wise AND • <code>^</code> - X - OR • <code> </code> - OR • <code>&&</code> - Λογικό AND • <code> </code> - Λογικό OR • <code>x?y:z</code> - If-then-else.	abs acos asin atan atan2 bool ceil cos cosh double entier exp floor fmod hypot int isqrt log log10 max min pow rand round sin sinh sqrt srand tan tanh wide

Πίνακας 2-1: Αποδεκτές Συναρτήσεις και Τελεστές στη TCL[15]

5. Τέλος, υποστηρίζει μετατροπή τύπων σε `int()`, `double()`, `wide()`, `entier()`[15].

```

set X 100
set Y 256
set Z [expr {$Y + $X}]
set Z_LABEL "$Y plus $X is "

puts "$Z_LABEL $Z"
puts "The square root of $Y is [expr { sqrt($Y) }]\n"

puts "Because of the precedence rules \"5 + -3 * 4\" is: [expr {-3 * 4 + 5}]"
puts "Because of the parentheses \"(5 + -3) * 4\" is: [expr {(5 + -3) * 4}]"

set A 3
set B 4
puts "The hypotenuse of a triangle: [expr {hypot($A,$B)}]"

#
# The trigonometric functions work with radians ...
#
set pi6 [expr {3.1415926/6.0}]
puts "The sine and cosine of pi/6: [expr {sin($pi6)}] [expr {cos($pi6)}]"

#
# Working with arrays
#
set a(1) 10
set a(2) 7
set a(3) 17
set b 2
puts "Sum: [expr {$a(1)+$a($b)}]"

```

Εικόνα 2-6: Παράδειγμα κώδικα σε TCL

Αξίζει να αναφερθεί ότι το περιβάλλον προσομοίωσης NS-2 παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης, εξαγωγής και αποθήκευσης των συμπερασμάτων της προσομοίωσης ενός δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με τις εντολές:

xgraph out.tr , για την εξαγωγή γραφημάτων

awk -f analyze.awk < out.tr > results.txt , για την αποθήκευση των αναλύσεων σε αρχείο txt όπως πχ results.txt[16].

2.5 NS-3

Ο NS-3 είναι ένας προσομοιωτής δικτύου που χρησιμοποιείται για έρευνα αλλά και για εκπαιδευτικό σκοπό. Δεν ανήκει σε μια κατηγορία αλλά βασίζεται κατά κύριο λόγο στους χρήστες του NS-3 που ελεύθερα διακινούν το πρόγραμμα και τις διάφορες εκδόσεις του και διορθώσεις του.

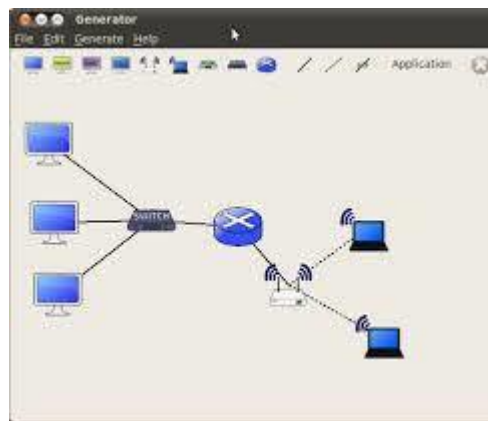
Χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα Linux. Επίσης περιέχει πληθώρα πρωτοκόλλων που όχι μόνο σχετίζονται με το διαδίκτυο αλλά και πάσης φύσεως δίκτυο.

Αρχιτεκτονική του NS-3

Καταρχάς να τονιστεί ότι ο NS-3 δεν αποτελεί μετεξέλιξη του προαναφερόμενου NS-2. Δεν ανήκει σε καμία εταιρεία όπως προαναφέρθηκε. Είναι, λοιπόν, ανοικτού κώδικα και παραμένει ανοικτό σε όλους του ερευνητές και τις λογισμικό τους.

Ο NS-3 περιέχει ένα μεγάλο σύνολο από βιβλιοθήκες που συνδυάζονται μεταξύ τους. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να προστεθούν και συνδεθούν και εξωτερικά πρότυπα βιβλιοθηκών.

Υποστηρίζει C++ ή και Python καθώς και άλλα εργαλεία ανάπτυξης γραφικού περιβάλλοντος και ανάλυση δεδομένων.



Εικόνα 2-7: Άποψη NS-3

Χρήση του NS-3

Όπως και στο NS-2, έτσι και εδώ χρησιμοποιούνται script files για την αναπαραγωγή του κώδικα.

Αξίζει, βέβαια, να αναφερθεί, ότι επειδή ο NS-3 υποστηρίζεται κυρίως σε περιβάλλον UNIX, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης και building του NS-3 είτε με `bake` είτε με τον `waf`[17].

2.6 Packet – Tracer

Από τα πιο δημοφιλή προγράμματα στη προσομοίωση δικτύων είναι το packet tracer της εταιρείας CISCO. Μάλιστα, η εταιρεία διοργανώνει σεμινάρια στα οποία γίνεται εκ βάθους μάθηση της λειτουργίας του συγκεκριμένου προσομοιωτή.

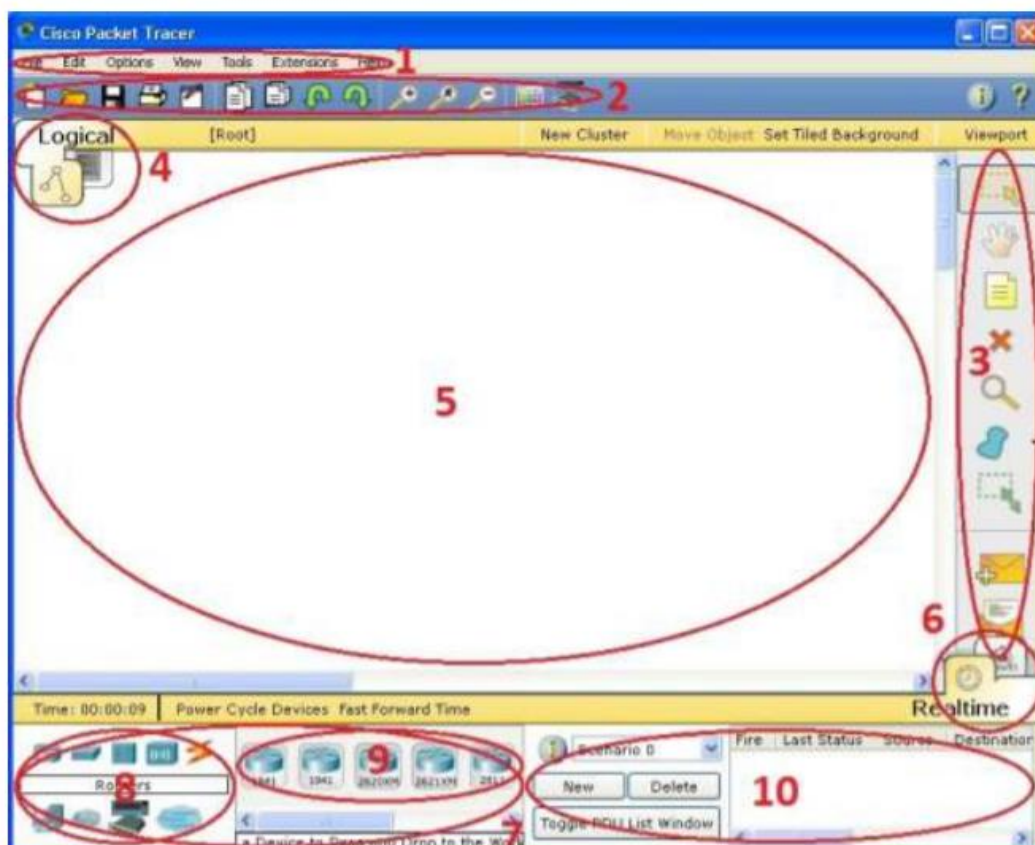
Το Packet Tracer δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες του να προσομοιώσουν συμπεριφορά δικτύου με τη προσθήκη αμέτρητων και απεριόριστων συσκευών. Επίσης, παρέχει την υποστήριξη μεγάλου πλήθους πρωτοκόλλων για τη χρήση τους στη προσομοίωση διαφόρων τύπων δικτύων, όπως αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-2[18].

Layer	Cisco Packet Tracer Supported Protocols
Application	• FTP, SMTP, POP3, HTTP, TFTP, Telnet, SSH, DNS, DHCP, NTP, SNMP, AAA, ISR VOIP, SCCP config and calls ISR command support, Call Manager Express
Transport	• TCP and UDP, TCP Nagle Algorithm & IP Fragmentation, RTP
Network	• BGP, IPv4, ICMP, ARP, IPv6, ICMPv6, IPSec, RIPv1/v2/ng, Multi-Area OSPF, EIGRP, Static Routing, Route Redistribution, Multilayer Switching, L3 QoS, NAT, CBAL, Zone-based policy firewall and Intrusion Protection System on the ISR, GRE VPN, IPSec VPN
Network Access/Interface	• Ethernet (802.3), 802.11, HDLC, Frame Relay, PPP, PPPoE, STP, RSTP, VTP, DTP, CDP, 802.1q, PAgP, L2 QoS, SLARP, Simple WEP, WPA, EAP

Πίνακας 2-2: Πρωτόκολλα που υποστηρίζει το CPT

Περιβάλλον Χρήσης Packet Tracer

Το περιβάλλον εργασίας του Packet Tracer είναι απλό και εύχρηστο. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-5, αποτελείται από διάφορα τμήματα.



Εικόνα 2-8: Βασικό παράθυρο CPT

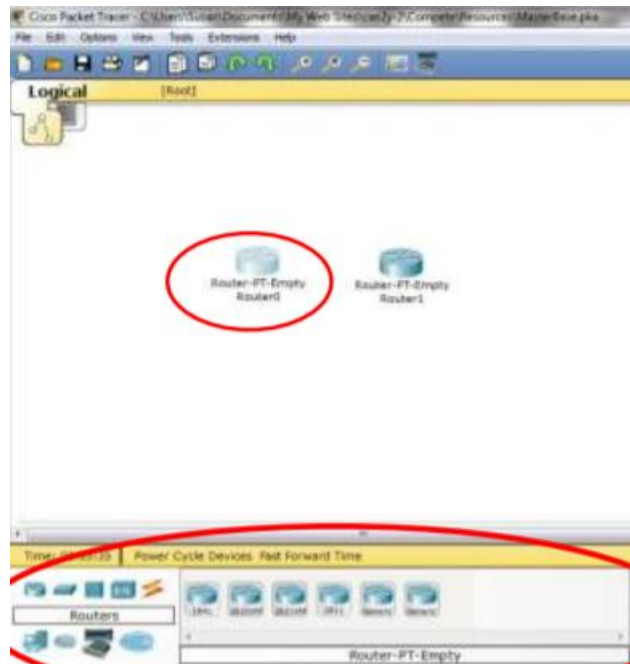
- 1) Menu Bar: Πρόκειται για επιλογές Μενού όπως File, Edit, Options, View Tools
κοκ

- 2) Main Tool Bar: Συντομεύσεις από το προαναφερόμενο Menu Bar
- 3) Common Tool Bar: Παρέχει πρόσβαση σε εργαλεία που απαιτούνται και χρησιμοποιούνται συχνά όπως Select, Move Layout, Delete κοκ
- 4) Logical/Physical Workspace and Navigation Bar: Μετάβαση μεταξύ λογικής και φυσικής τοπολογίας
- 5) Workspace: Εδώ εμφανίζεται το δίκτυο και οι δικτυακές συσκευές που επιλέγει ο χρήστης για να βρίσκονται σε αυτό.
- 6) RealTime/Simulation Bar: Μετάβαση από λειτουργία πραγματικού χρόνου σε λειτουργία προσομοίωσης
- 7) Network Component Bar: Από εδώ μπορεί να γίνει η επιλογή για τις δικτυακές συσκευές και τις συνδέσεις τους.
- 8) Device – Type selection Box: Περιλαμβάνει τους τύπους των συσκευών που υποστηρίζει το Packet Tracer.
- 9) Device – Specific Selection Box: Από εδώ, γίνεται η επιλογή συσκευών και συνδέσεων για το δίκτυο προς προσομοίωση
- 10) User Create Packet Window: Διαχείριση των πακέτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης[19].

Αφού περιεγράφηκε το βασικό παράθυρο εργασίας του Packet Tracer, παρακάτω θα παρουσιαστούν τα βήματα για την εισαγωγή δρομολογητών , κάποιων δικτυακών συσκευών και των συνδέσεων τους.

- Εισαγωγή Δρομολογητή

Ο χρήστης θα πρέπει να μεταβεί στο πλαίσιο με τις συσκευές δηλαδή στο 8 από την Εικόνα 2-5. Εκεί , επιλέγει το πλήθος των δρομολογητών που επιθυμεί να προσθέσει στο δίκτυο του.



Εικόνα 2-9: Εισαγωγή Δρομολογητή στο CPT

- Σύνδεση Δρομολογητών

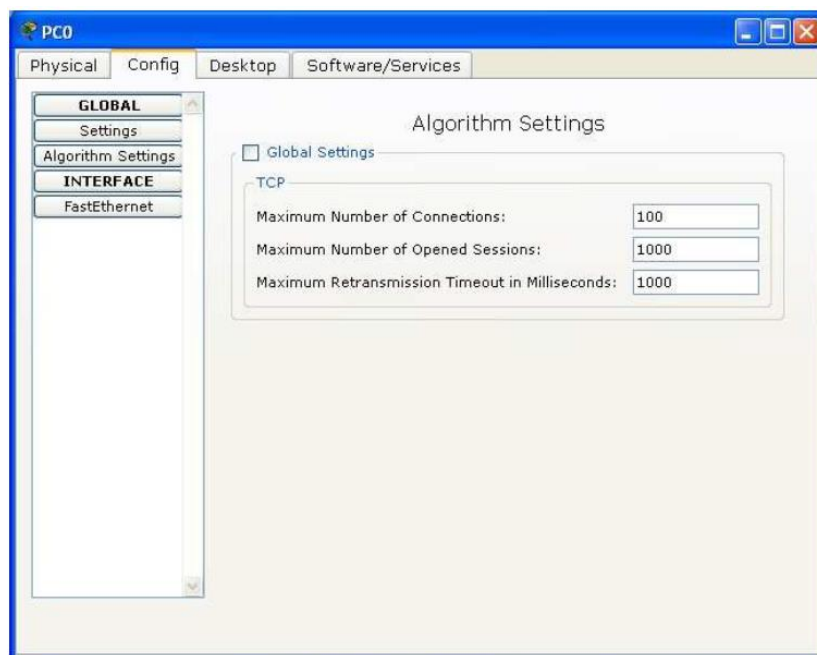
Οι δρομολογητές έχουν τη δυνατότητα να ενωθούν μεταξύ τους με διαφόρους τύπους καλωδίων. Η επιλογή τους γίνεται πάλι από το ίδιο σημείο που έγινε και η επιλογή των δρομολογητών. Τα καλώδια που έχει δυνατότητα να επιλέξει ο χρήστης είναι τα παρακάτω:

Τύπος καλωδίου	Περιγραφή
 Console	Οι συνδέσεις κονσόλας λαμβάνουν χώρα μεταξύ PCs, δρομολογητών και μεταγωγών.
 Copper	Τυπική Ethernet σύνδεση σε χαλκό – ευθεία σύνδεση: 10 Mbps Copper (Ethernet), 100 Mbps Copper (Fast Ethernet), and 1000 Mbps Copper
Straight-through	(Gigabit Ethernet).
 Copper Cross-over	Τυπική cross σύνδεση Ethernet που χρησιμοποιείται μεταξύ ομοειδών συσκευών:
 Fiber	Σύνδεση μέσω οπτικής ίνας (100 Mbps or 1000 Mbps).
 Phone	Τηλεφωνικές συνδέσεις.
 Coaxial	Συνδέσεις μέσω ομοαξονικού καλωδίου.
 Serial DCE and DTE	Σειριακές συνδέσεις WAN. Να σημειωθεί ότι θα πρέπει να ενεργοποιήσετε το συγχρονισμό στην πλευρά του DCE ώστε να γίνει ενεργή η ζεύξη
 Octal	Το 8-θυρο ασύγχρονο καλώδιο.

Εικόνα 2-10: Τύποι Συνδέσεων στο CPT

- Ρύθμιση παραμέτρων

Για κάθε σύνδεση, ο χρήστης είναι σε θέση να αλλάξει τις καθολικές παραμέτρους και να τις τροποποιήσει κατά βούληση.

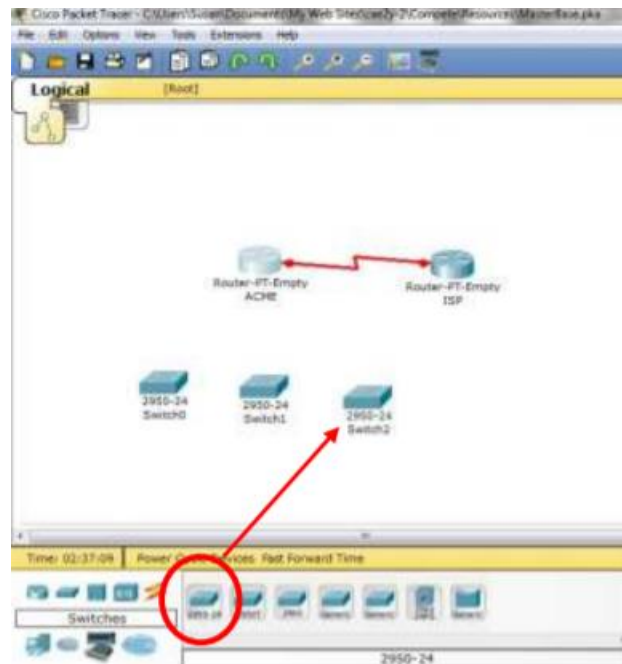


Εικόνα 2-11: Configuration

Το παράθυρο αυτό δίνει, όπως φαίνεται και στην Εικόνα , το μέγιστο αριθμό των συνδέσεων όπως και των αναμεταδόσεων timeout.

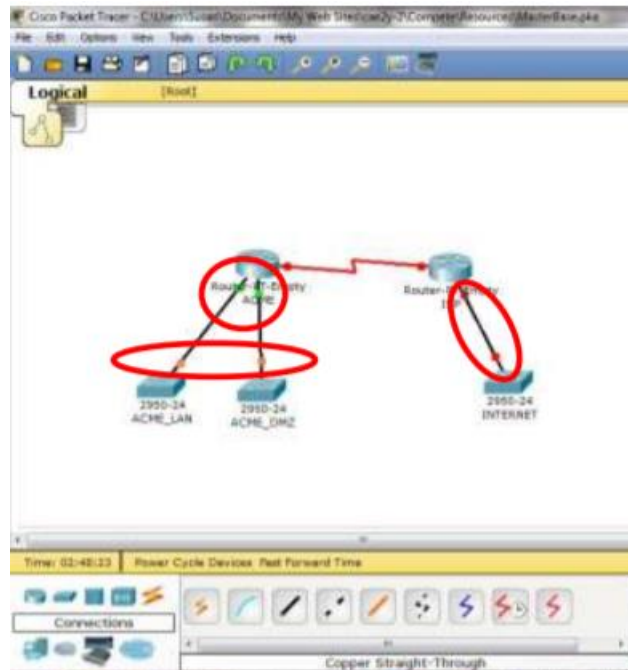
- Προσθήκη switches

Μια κατηγορία δικτυακών συσκευών είναι και το switch. Η προσθήκη switch γίνεται από το συγκεκριμένο σημείο του παραθύρου εργασίας (8) όπως φαίνεται και στη Εικόνα 2-8



Εικόνα 2-12: Εισαγωγή Δικτυακών Συσκευών

Το επόμενο βήμα, όπως είναι εύλογο, είναι η σύνδεση των switches με τους δρομολογητές.



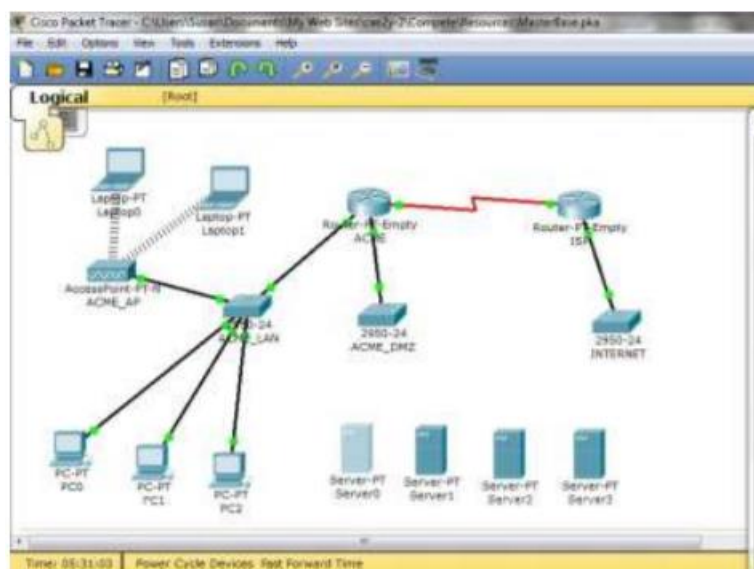
Εικόνα 2-13: Σύνδεση Switches στο TCP

- Προσθήκη τερματικών

Ένα δίκτυο για να μεταφέρει τις πληροφορίες του απαιτείται και η ύπαρξη απλών τερματικών που θα αποστέλλουν και θα λαμβάνουν πακέτα δεδομένων

Η επιλογή γίνεται από την κάτω αριστερή γωνία και με την επιλογή End Devices, οι οποίες μπορεί desktop, laptop και άλλες συσκευές[17].

Η τελική εικόνα του δικτύου είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-14.



Εικόνα 2-14: Τελική Μορφή Δικτύου για Προσομοίωση CPT

Το Cisco Packet Tracer προσφέρει και άλλες επιλογές και ρυθμίσεις και σε κάθε δικτυακή συσκευή και σε κάθε δρομολογητή που προστίθεται στο δίκτυο.

2.7 J -SIM

Ο J-SIM ανήκει και αυτός στην οικογένεια των προσομοιωτών δικτύων.

Συγκεκριμένα, προσομοιώνει διακριτού χρόνου γεγονότα.

Είναι ανοικτού κώδικα και είναι εξολοκλήρου γραμμένος σε Java και αυτό του δίνει το πλεονέκτημα της φορητότητας (portable). Επίσης, υποστηρίζεται από λειτουργικά συστήματα Windows, Linux, Solaris καθώς και OS.

Τα βασικά δομικά στοιχεία του J-SIM είναι διεργασίες (processes) και ουρές (queues). Οι διεργασίες παραμένουν πάντα ενεργές ενώ οι ουρές και άλλα στοιχεία παραμένουν ανενεργά κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης.

Επίσης, η προσομοίωση εκτελείται βήμα -βήμα. Με την έννοια αυτή, σε κάθε βήμα έχει δυνατότητα μόνο μια διεργασία να εκτελεστεί[18].

Υποστηρίζει διάφορους τύπους δικτύων συμπεριλαμβανομένου και ασυρμάτων.

J-SIM και Classes

Όπως προαναφέρθηκε, ο J-SIM είναι ένας προσομοιωτής που είναι γραμμένος εξολοκλήρου σε Java. Για αυτό και περιέχει βιβλιοθήκες κλάσεων, από τις κυριότερες είναι οι εξής:

- JSimSimulation Class: Στιγμιότυπα αυτής της κλάσης αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο μιας προσομοίωσης, με τη δυνατότητα από τη μεριά του χρήστη να εισάγει μεγάλο αριθμό διεργασιών και ουρών. Για τη διατήρηση των στοιχείων του κάθε γεγονότος προσομοίωσης υπάρχει ένα calendar το οποίο μετά το τέλος του συγκεκριμένου βήματος καταστρέφεται.
- JSimProcess Class: Στην κλάση αυτή, περιέχονται κάποιες μεθόδους οι οποίες διαχειρίζονται τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια προσομοίωση. Οι μέθοδοι αυτοί είναι:
 - Passivate()
 - Hold()
 - Activate() -> εισάγει ένα νέο γεγονός στο calendar
 - Cancel() -> διαγράφει όλα τα γεγονότα στο calendar.
- JSimLink Class

- JSimHead Class: η οποία περιέχει τις μεθόδους empty(), cardinal(), first(), last(), clear(), getLw(), getTw() όπου Lw είναι το μέσο μήκος της ουράς των διεργασιών που περιμένουν να εκτελεστούν ενώ Tw είναι ο μέσος χρόνος αναμονής[19].

```
public class Generator extends JSimProcess { // fields, constructor, ...
protected void life() { // ...
while (true) {
link = new JSimLink(new Transaction(myParent.getCurrentTime()));
link.into(queue);
if (queue.getServer().isIdle())
queue.getServer().activate(myParent.getCurrentTime());
hold(JSimSystem.negExp(lambda)); } // ...
}}
```

Εικόνα 2-15: Δημιουργία ενεργής διεργασίας στο JSIM

```
public class Server extends JSimProcess { // fields, constructor, ...
protected void life() { // ...
while (true) {
if (queueIn.empty()) passivate();
else {
hold(JSimSystem.negExp(mu));
link = queueIn.first();
if (JSimSystem.uniform(0.0, 1.0) > p) { // throw away
t = (Transaction) link.getData(); counter++;

transTq += myParent.getCurrentTime() - t.getCreationTime();
link.out(); link = null; }
else { // insert again
link.out(); link.into(queueOut);
if (queueOut.getServer().isIdle())
queueOut.getServer().activate(myParent.getCurrentTime());
}}} // while ...
}}
```

Εικόνα 2-16: Δημιουργία server process στο JSIM

2.8 SSFNET

Το SSFNET (Scalable Simulation Framework Network models) είναι ένας προσομοιωτής ανοικτού κώδικα. Σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει την επέκταση δικτύων για αυτό και περιλαμβάνει διάφορες τοπολογίες, πρωτόκολλα. Επίσης, είναι σε θέση να υποστηρίζει μεγάλης κλίμακας δίκτυα όπως είναι το Διαδίκτυο.

Παρά τις δυνατότητες που παρέχει, παρόλα αυτά δεν συνίσταται για τον μέσο χρήστη αφού δεν παρέχει ένα φιλικό περιβάλλον χρήσης ούτε εργαλεία σχεδίασης. Υποστηρίζεται από τη γλώσσα προγραμματισμού JAVA

Στοιχεία του SSFNET

Λόγω της υποστήριξης από JAVA, υπάρχουν δύο βασικές κλάσεις που εμπεριέχουν τα στοιχεία του προσομοιωτή για να μπορέσει να λειτουργήσει. Οι κλάσεις αυτές είναι οι εξής:

- SSF.OS: Χρησιμοποιείται για την σχεδίαση του host και τα στοιχεία του λειτουργικού συστήματος που του απαρτίζει. Εδώ συναντώνται και τα πρωτόκολλα δικτύου και μεταφοράς, SSF.Net.IP και SSF.Net.TCP.
- SSF.NET: χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό της συνδεσιμότητας του δικτύου, δημιουργώντας κόμβους και συνδέσεις μεταξύ τους.

Ο καθορισμός των ρυθμίσεων και των παραμέτρων ενός δικτύου στο SSFNET γράφεται και αποθηκεύεται με τη βοήθεια της DML Dynamic MarkUp Language. Το αρχείο γραμμένο στη DML ακολουθεί αυστηρούς κανόνες σύνταξης και δομής[21].

```
schemas [
  Net [
    frequency simulation_runtime
```

Εικόνα 2-17: Δομή DML file

```
Net [
  id id_no
  idrange id_no from --- to ---
  .
  .
  .
  ip net_mask_def
  _extends .schemas.Net
]
```

Εικόνα 2-18: Παράδειγμα κώδικα NET στο SSFNET

2.9 NETSIM

Το NETSIM είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης και παρουσίασης λειτουργίας δικτύων διαφορετικών δομών. Ενσωματώθηκε πια στο πρόγραμμα TRAF-NETSIM , το οποίο προσέθεσε επιπλέον χαρακτηριστικά στον προσομοιωτή όπως ενεργοποιημένη λογική ελεγκτή, traffic streams κοκ. Βασίζεται στα διακριτά γεγονότα που όμως ένα κάθε φορά λαμβάνει χώρα.

Τρόπος Λειτουργίας NETSIM

Το NETSIM αναλαμβάνει την προσομοίωση ενός δικτύου πεπερασμένου σε μέγεθος και αυτό οδηγεί σε ασφαλέστερα συμπεράσματα για τη λειτουργία ενός δικτύου από ότι προσομοιώσεις δικτύων με απεριόριστο αριθμό συσκευών.

Με βάση αυτή τη λογική, κάθε σταθμός που συμμετέχει στο δίκτυο προς προσομοίωση, δεν έχει buffer διότι θεωρείται ότι όλα τα πακέτα του έχουν εξυπηρετηθεί.

Για αυτό και χρησιμοποιείται μόνο μια ουρά για ένα γεγονός που λαμβάνει χώρα. Στην ουρά αυτή περιέχεται και ένα entry , το οποίο περιέχει το χρόνο της επόμενης μετάδοσης

πακέτου από έναν συγκεκριμένο σταθμό καθώς και ο χρόνος κατά τον οποίο έγινε η πρώτη προσπάθεια μετάδοσης.

Για την αποφυγή συγκρούσεων, η ουρά σκανάρει και αναδιατάσσει τα entry αναλόγως.

Βασικά Χαρακτηριστικά του NETSIM

Σκοπός του NETSIM είναι να παρέχει στον χρήστη ελαστικότητα όσον αφορά την σχεδίαση του δικτύου. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, το NETSIM βασίζεται σε κάποια χαρακτηριστικά, που θα αναφερθούν παρακάτω.

- Πεπερασμένος αριθμός Κόμβων

Όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω, το NETSIM προσομοιώνει δίκτυα με πεπερασμένο αριθμό κόμβων. Αυτό είναι και το χαρακτηριστικό του, που κάνει το NETSIM να διαφοροποιείται από τους υπόλοιπους προσομοιωτές δικτύου. Και αυτό είναι που προσδίδει στο NETSIM ρεαλιστικότητα και ακρίβεια στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

- Ευέλικτος προσδιορισμός παραμέτρων εξόδου

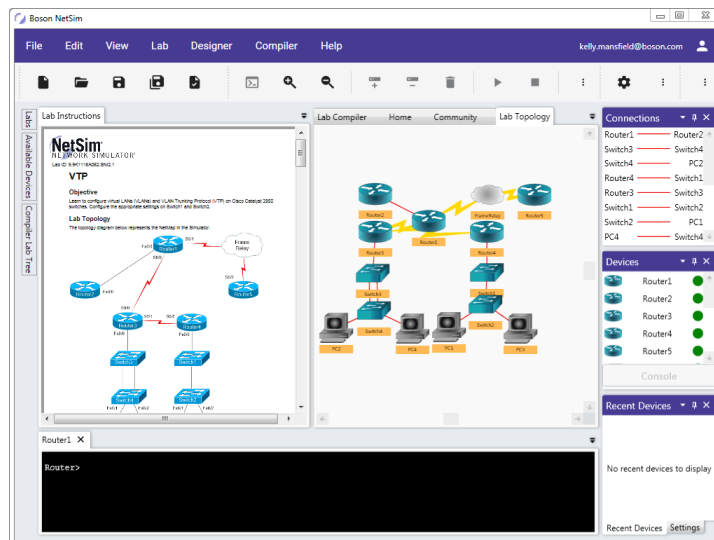
Η έξοδος, τα αποτελέσματα δηλαδή, της προσομοίωσης βασίζονται στην καταμέτρηση δύο ποσοτήτων, των ενδιάμεσων χρόνων μεταξύ αποστολής πακέτων καθώς και μέγεθος πακέτων. Γενικότερα, αυτές οι ποσότητες παράγονται από μαθηματικά μοντέλα πιθανοτήτων όπως εκθετική κατανομή καθώς και ομοιόμορφη κατανομή. Βέβαια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και διακριτή κατανομή κατά Tailor. Η δυνατότητα προσδιορισμού των παραμέτρων αυτών έγκειται στο γεγονός ότι κάθε κόμβος μπορεί να ακολουθήσει διαφορετική κατανομή.

- Στατιστικά Καθυστέρησης

Ο προσομοιωτής κατά τη διάρκεια λειτουργίας του δικτύου, καταγράφει και διατηρεί την καθυστέρηση των μεταδιδόμενων πακέτων. Ο όρος καθυστέρηση αφορά στη διαφορά του χρόνου κατά τον οποίο το πακέτο ήταν έτοιμο προς μετάδοση τη πρώτη φορά και του χρόνου που τελικά μεταδόθηκε. Ο τρόπος αυτός υπολογισμού της καθυστέρησης παρέχει μια ακριβέστερη εικόνα της καθυστέρησης και του χρόνου απόκρισης του δικτύου.

- Μορφοποίηση εξόδου

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποθηκεύονται από το NETSIM σε δύο μορφές. Η μια εξ αυτών είναι σε μια μορφή, που είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμα και αναγνώσιμα από το χρήστη. έτσι, ο χρήστης μπορεί να εξάγει και γραφήματα για να έχει μια οπτική παρουσίαση της απόδοσης και της κίνησης του δικτύου[22].



Εικόνα 2-19: Περιβάλλον Εργασίας NETSIM

2.10 COMNET III

Ένας ακόμα προσομοιωτής είναι και ο COMNET III. Πρόκειται για έναν προσομοιωτή δικτύου ο οποίος βασίζεται στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό. Το βασικό του πλεονέκτημα, βέβαια, έγκειται στο γεγονός, ότι ο χρήστης δεν έρχεται σε επαφή με προγραμματιστικό περιβάλλον, πέραν εάν το επιθυμεί. Σε περίπτωση που το επιθυμεί, ο COMNET III του παρέχει ένα ειδικό περιβάλλον MODSIM0 based. Από εκεί και πέρα, ο COMNET III προσφέρει ένα αναβαθμισμένο, γραφικό περιβάλλον για την μοντελοποίηση, εκτέλεση και καταγραφή της λειτουργίας του δικτύου.

Βασικά χαρακτηριστικά του COMNET III

- Καθορισμός Κόμβων (Nodes)

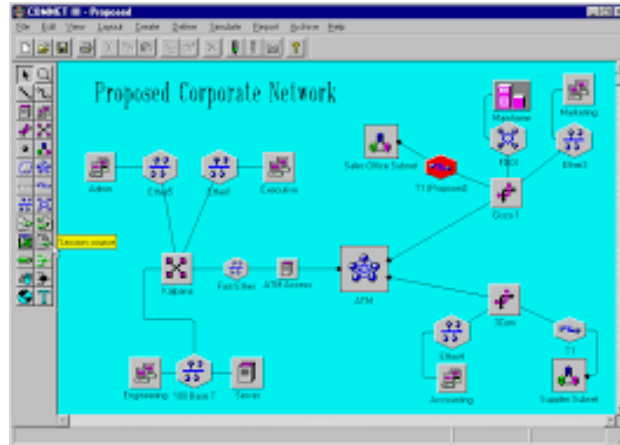
Ο καθορισμός των κόμβων (Nodes) βασίζεται στους δύο τύπους. Ο πρώτος τύπος είναι ο λεγόμενος Applications Nodes. Το συγκεκριμένο είδος κόμβου τρέχει διεργασίες (applications) και επίσης περιέχει συσκευές αποθήκευσης. Τις λειτουργίες των διεργασιών που μπορεί να εκτελέσει και να διεκπεραιώσει τις εξής λειτουργίες: Processing, Read, Write και Transport.

Ο επόμενος τύπος είναι ο λεγόμενος Communication Node. Κόμβος αυτού του τύπου αναλαμβάνει τις συναρτήσεις δρομολόγησης και switching.

- Μηνύματα (Messages)

Τα μηνύματα (Messages) αφορούν πληροφορίες μεταξύ των κόμβων. Τα μηνύματα μπορεί να δημιουργηθούν από κάποιο αίτημα μεταφοράς (application transport request) ή από τον Message Generator. Όταν τα μηνύματα δημιουργούνται μέσω ενός Message Generator μεταφέρονται από την πηγή στον προορισμό χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα επιπέδου

Μεταφοράς, Δρομολόγησης , ζεύξης Δεδομένων και MAC. Τέλος, τα μηνύματα αυτά που παράγονται αποτελούνται από το όνομα του μηνύματος (Message name), μέγεθος μηνύματος (message size) καθώς και μια λίστα από κόμβους προορισμούς (destination nodes)[23].



Εικόνα 2-20: Άποψη COMNET III

2.11 CNET

Το CNET είναι και αυτό ένας προσομοιωτής δικτύου που παρέχει πρόσβαση σε πρωτόκολλα επιπέδου ζεύξης δεδομένων, διαδικτύου καθώς και μεταφοράς. Χρησιμοποιείται , κατά κύριο λόγο , για συνδέσεις Point – to – Point καθώς και Ethernet συνδέσεις. Η διαστρωμάτωση των επιπέδων σε κάθε δίκτυο, βασίζεται στο αρχιτεκτονικό μοντέλο OSI και για αυτό το CNET παρέχει πρόσβαση στα επίπεδα εφαρμογής και φυσικό επίπεδο[24].

Βασικές εντολές CNET

Το CNET δίνει τη δυνατότητα να προγραμματιστούν τα πρωτόκολλα στο επίπεδο εφαρμογής και φυσικό. Παρακάτω, θα παρουσιαστούν κάποιες βασικές εντολές για κατάδειξη του τρόπου προγραμματισμού του.

```
#include <cnet.h>

void reboot_node(CnetEvent ev,
CnetTimer timer, CnetData data)
{
    printf("hello world\n");
}
```

Εικόνα 2-21: Παράδειγμα Κώδικα CNET[24]

```

#include <cnet.h>
void reboot_node(CnetEvent ev, CnetTimer timer, CnetData data)
{
    CnetInt64 when;

    /* Indicate that we are interested in the EV_TIMER1 event */

    CHECK(CNET_set_handler(EV_TIMER1, timeouts, 0));

    /* Request that EV_TIMER1 occur in 1sec, ignoring the return value */

    int64_I2L(when, 1000000);
    CNET_start_timer(EV_TIMER1, when, 0);
}

```

Εικόνα 2-22: Δημιουργία event στο CNET [24]

Στην Εικόνα 2-22, ο κώδικας , ουσιαστικά, διαχειρίζεται τα events και ανάλογα τα διαχειρίζεται με την συνάρτηση set_handler, ενώ ταυτόχρονα τα θέτει σε αναμονή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια καλείται η συνάρτηση start_timer.

Τέλος, στην Εικόνα 2-23 παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα πρωτοκόλλου επιπέδου ζεύξης δεδομένων με τη χρήση του CNET.

```

#include <cnet.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

typedef enum { DATA, ACK } FRAMEKIND;

typedef struct {
    char data[MAX_MESSAGE_SIZE];
} MSG;

typedef struct {
    FRAMEKIND kind; /* only ever DATA or ACK */
    int len; /* the length of the msg field only */
    int checksum; /* checksum of the whole frame */
    int seq; /* only ever 0 or 1 */
    MSG msg;
} FRAME;

#define FRAME_HEADER_SIZE (sizeof(FRAME) - sizeof(MSG))
#define FRAME_SIZE(f) (FRAME_HEADER_SIZE + f.len)

static MSG lastmsg;
static int lastlength = 0;
static CnetTimer lasttimer = NULLTIMER;

static int ackexpected = 0;
static int nextframetosend = 0;
static int frameexpected = 0;

```

Εικόνα 2-23: Δημιουργία Πρωτοκόλλου στο CNET [24]

Κεφάλαιο 3 : Σύγκρισεις Μεταξύ Προσομοιωτών

Στο παρόν κεφάλαιο, η εργασία θα εστιάσει στις βασικές διαφορές κάποιων από τους προαναφερόμενους προσομοιωτές, επιδιώκοντας να καταλήξει στα πιο ευρέως διαδομένα και τους λόγους που τα οδήγησαν να κερδίσουν έδαφος έναντι των άλλων.

Η σύγκριση θα βασιστεί σε τεχνικά χαρακτηριστικά όπως τη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιούν καθώς επίσης και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως η ευχρηστία ή ευκολία εκμάθησης.

3.1 Σύγκριση Προσομοιωτών – Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4-1) παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προσομοιωτών στη προσπάθεια να γίνει μια σύγκριση μεταξύ τους.

Έτος Δημιουργίας	Simulator	Γλώσσα Προγραμματισμού	Αντικείμενο	Πρωτόκολλα/Τοπολογίες που Υποστηρίζονται
2008	OMNET++	C++	Προσομοίωση Διακριτών Γεγονότων	Δικτυακά πρωτόκολλα (IP, HTTP), Internet Protocols, Wireless Networks, Switched LANs κ.ο.κ
1986	OPNET	C++	Προσομοίωση και Καταγραφή Λειτουργίας Δικτύων με ατού την ταχύτητα του	800+ wired/wireless protocols
2008	NS-2	C++, Python	Έρευνα Δικτύωσης	TCP, multicast protocols over wired/wireless networks
-----	Packet Tracer		Προσομοίωσης και για δικτυακές πιστοποιήσεις όπως CCNA	Εφαρμογές (FTP, SMTP, POP3, HTTP, TFTP, Telnet, SSH, DNS, DHCP, NTP, SNMP, AAA, ISR VOIP, SCCP config and calls ISR command support, Call

				Manager Express, IoT) TCP and UDP, TCP Nagle Algorithm & IP Fragmentation, RTP, Δίκτυα και δικτυακά πρωτόκολλα (BGP, IPv4, ICMP, ARP, IPv6, ICMPv6, IPSec, RIPv1/v2/ng, Multi-Area OSPF, κ.ά.), Διεπαφές (Ethernet (802.3), 802.11, HDLC, Frame Relay, PPP, PPPoE, STP, RSTP, VTP, DTP, CDP, 802.1q, PAgP, L2 QoS, SLARP, Simple WEP, WPA, EAP, VLANs, CSMA/CD, EtherChannel, DSL, 3/4 G network support) [27]
2008	J-SIM	Java	Προσομοίωση Δικτύων Διακριτών Γεγονότων και Real-Time	Multicast routing Protocols (CBT, MOSPF), QoS driven Protocols, Ip,TCP, UDP κ.ο.κ
1998	SSFNET	Java & C++	Προσομοίωση Δικτύων βασιζόμενη σε Διακριτά Γεγονότα	TCP, UDP, IP, OSPFv2
	NETSIM	C	Πάσης φύσεως προσομοίωση Δικτύων	TCP, IP, Ethernet, Routing, Wi-Fi, WSN κ.ο.κ
1989	COMNET II	-----		Circuit-switched networks, packet-switching networks, message networks

1994	CNET	Tcl/TK	Προσομοίωση Δικτύων	WAN, LAN, WLAN
------	------	--------	------------------------	----------------

Πίνακας 3-1: Σύγκριση Προσομοιωτών & Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με τις παραπάνω πληροφορίες, όσο πιο πρόσφατος ένας προσομοιωτής με τόσο περισσότερα πρωτόκολλα είναι εφοδιασμένος να υποστηρίξει στη λειτουργία του καθώς επίσης και περισσότερες κατηγορίες τοπολογιών μεταξύ των κόμβων του δικτύου που προσομοιώνει. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ο NS-2 του 2008, ο οποίος υποστηρίζει και τη γλώσσα Python, ανερχόμενη τα τελευταία χρόνια γλώσσα προγραμματισμού στις προτιμήσεις των προγραμματιστών.

3.2 Σύγκριση Προσομοιωτών Δικτύου – Ποιοτικά Χαρακτηριστικά

Σε αυτήν την ενότητα, παρουσιάζεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν ευχρηστία, ευκολία εκμάθησης, πλήθος χρηστών καθώς και το είδος άδειας κυκλοφορίας.

Simulator	Ευχρηστία	Ευκολία Εκμάθησης	Άδεια Κυκλοφορίας
OMNET++	Εύκολο στην εγκατάσταση.	Μέτρια δυσκολία αφού περιλαμβάνει και προγραμματιστικό κομμάτι	Είναι ελεύθερο για : Academic Public License
OPNET	Εύκολο στην εγκατάσταση σε περιβάλλον Windows χρησιμοποιώντας 4 εκτελέσιμα αρχεία. Είναι διαθέσιμο και για Linux	Λόγω του GUI που περιλαμβάνει είναι εύκολο στην εκμάθηση.	Αγορά άδεια με καταβολή χρηματικού ποσού που μεταβάλλεται ανάλογα το σκοπό και τα extra Modules. Πχ Χαμηλό κόστος για Πανεπιστήμια και ακαδημαϊκές έρευνες
NS-2	Σχετικά βατή εγκατάσταση στα Windows, αλλά για περιβάλλοντα UNIX αρκετά χρονοβόρα και περίπλοκη	Μέτρια δυσκολία αφού περιλαμβάνει τις γλώσσες προγραμματισμού: Tcl/Tk, C++	Είναι διαθέσιμο για όλους (ανοικτού κώδικα- Open source)
Packet Tracer	Εύκολη εγκατάσταση στα Windows με ένα απλό εκτελέσιμο αρχείο. Υποστηρίζει, επίσης, android, IOS,	Περιλαμβάνει user-friendly περιβάλλον με διακριτές επιλογές συσκευών, διασυνδέσεων κ.ο.κ	Ελεύθερο για εκπαιδευτική χρήση

	LINUX		
J-SIM	Σχετικά χρονοβόρα εγκατάσταση με αρχεία και οδηγίες που παρέχονται από την επίσημη ιστοσελίδα. Υποστηρίζεται και το λογισμικό των Unix	Αρκετά επίπονη εκμάθηση λόγω της ύπαρξης γλώσσας προγραμματισμού JAVA που ενσωματώνεται.	Ελεύθερη άδεια προς όλους τους ενδιαφερόμενους
SSFNET	Δύσχρηστο στην εγκατάσταση λόγω πολλών packages	Αρκετά επίπονη μάθηση αφού δεν παρέχει στους χρήστες κανένα βοηθητικό εργαλείο για την ανάπτυξη του δικτύου και της τοπολογίας του.	Ελεύθερο Λογισμικό
NETSIM	Υποστηρίζει αρκετές εκδόσεις λογισμικού Windows. Εύκολη εγκατάσταση με δημιουργία λογαριασμού στην επίσημη ιστοσελίδα	Εύκολη εκμάθηση λόγω ύπαρξης και GUI	Καταβολή χαμηλού αντιτίμου όταν είναι για εκπαιδευτικό σκοπό.
COMNET II	Σχετικά εύκολη εγκατάσταση	Παρέχει GUI το οποίο διευκολύνει τον αρχάριο χρήστη στην κατανόηση των στοιχείων που το απαρτίζουν και τη χρήση τους.	Καταβολή χρηματικού αντιτίμου πέραν της χρήσης και γνωριμίας μέσω Demo
CNET	Εύκολη Εγκατάσταση με ένα μόνο αρχείο μεγέθους 1,1 MB το οποίο περιλαμβάνει source code,	Δύσκολο στην εκμάθηση από την στιγμή που απαιτεί και κώδικα ακόμα και για την δημιουργία	Ελεύθερο λογισμικό

	MakeFiles, documentation κ.ο.κ	της τοπολογίας του δικτύου.	
--	-----------------------------------	--------------------------------	--

Πίνακας 3-2: Σύγκριση Προσομοιωτών - Ποιοτικά Χαρακτηριστικά

Όπως διαπιστώνεται από τα ανωτέρω, η πλειοψηφία των προσομοιωτών δικτύων διατίθεται δωρεάν ή τουλάχιστον με καταβολή μικρού αντιτίμου για έρευνες και εκπαιδευτικούς οργανισμούς, ενώ όσο πιο γραφικό το περιβάλλον και όσο λιγότερη είναι η επαφή με γλώσσα προγραμματισμού, τόσο πιο εύκολη είναι η εκμάθηση του εκάστοτε προσομοιωτή από έναν αρχάριο χρήστη.

3.3 Σύγκριση Προσομοιωτών Δικτύου – Σχεδιαστικά Χαρακτηριστικά

Στη παρούσα παράγραφο θα γίνει μια σύγκριση των παραπάνω προσομοιωτών με βάση τις δυνατότητες που παρέχουν στον χρήστη όσο αφορά τη σχεδίαση, κατασκευή ενός δικτύου για προσομοίωση.

Simulator	Εργαλεία Ανάλυσης αποτελεσμάτων	Network visualization Tool	Δυνατότητα δημιουργίας και τροποποίησης σεναρίων	Δημιουργία trace files
OMNeT ++	✓	✓	✓	✓
OPNET	✓	✓	✓	✓
NS-2	✓	✓	✓	✓
Packet Tracer	✓	✓	✓	✓
J-SIM	✓	✓	✓	✓
SSFNET	×	×	✓	×
NETSIM	✓	✓	✓	✓
COMNET II	✓	✓	✓	✓
CNET	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 3-3: Σύγκριση Προσομοιωτών - Σχεδιαστικά Χαρακτηριστικά

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, έγινε μια προσπάθεια να αναδειχθεί η έννοια της προσομοίωσης δικτύων. Η προσομοίωση δικτύων είναι αρκετά χρήσιμη, ειδικά στην εποχή αυτή, που οι απαιτήσεις για την ανάπτυξη δικτύων, την επέκτασή τους και την πλήρη λειτουργία τους είναι περισσότερες από ποτέ.

Μέσω της προσομοίωσης, ο εκάστοτε χρήστης μπορεί να διαπιστώσει ελλείψεις και προβλήματα στη τοπολογία, διασυνδεσιμότητα κ.ο.κ στο δίκτυο, πριν αυτό δοθεί στο κοινό. Η προσομοίωση λαμβάνει χώρα με τη χρήση προσομοιωτών δικτύων. Υπάρχει πληθώρα τέτοιων προγραμμάτων, καθένα με τα πλεονεκτήματά του και τα μειονεκτήματά του. Παρόλα αυτά, στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν κάποια τα οποία και χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο από εταιρείες και οργανισμούς όσο και από την ακαδημαϊκή κοινότητα. Τέτοιοι είναι ο CPT καθώς και OPNET ή αλλιώς όπως είναι γνωστό Riverbed καθώς και NS-2.

Η σύγκριση αυτών των προσομοιωτών ανέδειξε τα βασικά χαρακτηριστικά που κάποιοι από τους προσομοιωτές κυριάρχησαν και ευδοκιμούν στο χώρο των δικτύων. Τα χαρακτηριστικά αυτά, πέραν του κόστους, είναι η ύπαρξη ενός γραφικού περιβάλλοντος φιλικό ως προς τον εκάστοτε χρήστη ακόμα και τον αρχάριο και όσο γίνεται η λιγότερη χρήση γλωσσών προγραμματισμού. Επίσης, το πρόγραμμα θα πρέπει να παρέχει τη υποστήριξη πολλαπλών και διαφόρων πρωτοκόλλων όπως TCP, IP, UDP και άλλων πρωτοκόλλων όπως για την υποστήριξη ασύρματων δικτύων και ταυτόχρονα την υποστήριξη αρκετών λογισμικών όπως Windows και UNIX.

Εν κατακλείδι, δεν είναι τυχαίο λοιπόν, που προσομοιωτές όπως το CPT και το Riverbed θεωρούνται από τα κορυφαία στο τομέα της προσομοίωσης δικτύων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: Γαροφαλάκης Γ., «Τεχνικές Εκτίμησης Υπολογιστικών Συστημάτων». Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://athos.cti.gr/texnikes/Chapter_5_SimulationIntroduction.pdf
- [2] Γεωργίου, Α., Κωνσταντάρας, Ι. and Καπάρης, Κ., 2015. Εισαγωγή στα Μοντέλα Προσομοίωσης.
- [3] Ρουμελιωτης Μ., «Μοντελοποίηση και προσομοίωση», 2001, Εκδόσεις Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
- [4] Παραβάντης Ι., 2017, «Προσομοίωση: Συστήματα & Μοντέλα». Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/LABGU361/SIMULATION%20INTRO%20SLIDES%202017-03-08.pdf>
- [5] Ungureanu, D., Sisak, F., Kristaly, D.M. and Moraru, S., 2005. Simulation modeling. Input data collection and analysis. In *The 14th International Scientific and Applied Science Conference ELECTRONICS ET* (pp. 43-50).
- [6] Δελτούζος Κ., «Προσομοίωση Δικτύων». Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://openeclass.teimes.gr/modules/document/file.php/CIED381/1%CE%BF%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF/Lab1-Intro.pdf>
- [7] «Προσομοίωση Δικτύων». Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/893/1/05_chapter_04.pdf
- [8] «Opnet Network Simulator Tutorial», Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://opnetprojects.com/opnet-network-simulator-tutorial/>
- [9] Varga, A. and Hornig, R., 2008, March. An overview of the OMNeT++ simulation environment. In *Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops* (p. 60). ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [10] Prokkola, J., 2006. Opnet-network simulator. URL http://www.telecomlab.oulu.fi/kurssit/521365A/tietoliikennetekniikan_simuloinnit_ja_tyokalut/Opnet_esittely_7.
- [11] Pan J., «A survey of Network simulation Tools: Current Status and Future Developments»..
- [12] <http://opnetprojects.com/opnet-tutorial/>
- [13] Issariyakul, T. and Hossain, E., 2009. Introduction to network simulator 2 (NS-2). In *Introduction to network simulator NS-2* (pp. 1-18). Springer, Boston, MA.
- [14] <https://www.tutorialsworld.com/ns2/NS2-1.htm>
- [15] «Network Simulator 2 (NS-2) : Features & Basic Architecture Of NS-2». Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<https://www.tutorialsworld.com/ns2/NS2-1.htm>

[16] «Δίκτυα Υπολογιστών». Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

http://old-courses.cntua.gr/file.php/48/NS2_InstallationGuide_v03.pdf

[17] «NS-3 – A discrete-Event network Simulation». Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<https://www.nsnam.org/docs/translations/greek-tutorial/singlehtml/index.html>

[18] « Sheet, P.T.D., 2008. Packet Tracer 5.0 data sheet. CISCO Networking Academy..

[19] Μπογρή Α., 2014, «Υπηρεσία Εικονικού Εργαστηρίου Δικτύων Υπολογιστών», Αιγάλεω, 2014.

[17] Φεγαρδιώτης Δ., «Υπηρεσία Εικονικού Εργαστηρίου Δικτύων Υπολογιστών – Packet Tracer», Αιγάλεω, 2014, ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ

[18] «General Information about J-Sim». Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<http://www.kiv.zcu.cz/j-sim/>

[19] Kacer, J., 2002, June. Discrete event simulations with j-sim. In *PPPJ/IRE* (pp. 13-18). [20]

Yoon, S. and Kim, Y.B., 2009, September. A design of network simulation environment using ssfnet. In *2009 First International Conference on Advances in System Simulation* (pp. 73-78). IEEE.

[21] Marek Huczala, «Network Simulations With Java Ssfnet Platform», Dept. of Telecommunications, FEEC, BUT

[22] Barnett III L., «NetSim: A Network Performance Simulator». 1992, University of Richmond

[23] Goble, J.G. and Mills, R., 1994, December. COMNET III: object-oriented network performance prediction. In *Proceedings of Winter Simulation Conference* (pp. 443-445). IEEE.

[24] «An introduction to the cnet network simulator». Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<https://cs.nyu.edu/courses/fall03/G22.2262-001/cnet/DOC/introduction.html>

[25] «Protocols Walkthroughs». Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

https://www.fing.edu.uy/inco/cursos/redescomp/laboratorio/cnet/doc_2.0.10/walkthrough.html

[27] Cisco Packet Tracer 7.0 Frequently Asked Questions. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

[www.open.edu/openlearn/ocw/pluginfile.php/730202/mod_resource/content/1/Cisco %20Packet%20Tracer%207_0%20FAQs.pdf](http://www.open.edu/openlearn/ocw/pluginfile.php/730202/mod_resource/content/1/Cisco%20Packet%20Tracer%207_0%20FAQs.pdf).