



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Χαρτογράφηση Δικτύου Δρομολογητών και Ιστοσελίδων
Ελληνικού Ακαδημαϊκού & Ερευνητικού Διαδικτυακού
Χώρου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΝΟΜΙΚΟΥ Ι. ΜΟΥΖΟΥΡΑΚΗ

Επιβλέπων : Συμεών Παπαβασιλείου
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Χαρτογράφηση Δικτύου Δρομολογητών και Ιστοσελίδων
Ελληνικού Ακαδημαϊκού & Ερευνητικού Διαδικτυακού
Χώρου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΝΟΜΙΚΟΥ Ι. ΜΟΥΖΟΥΡΑΚΗ

Επιβλέπων : Συμεών Παπαβασιλείου
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1^η Μαρτίου 2012.

.....
Σ. Παπαβασιλείου
Αναπληρ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ε. Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ι. Ρουσσάκη
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012

.....
ΝΟΜΙΚΟΣ Ι. ΜΟΥΖΟΥΡΑΚΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © – Νομικός Ι. Μουζουράκης, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από βάθους καρδιάς τον Καθηγητή μου κύριο Συμεών Παπαβασιλείου, Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π., και τους Διδάκτορες Ε.Μ.Π, κυρίους Γεώργιο Ανδρουλιδάκη, Βασίλειο Καρυώτη και Τιμόθεο Καστρινογιάννη για την καθοδήγηση, την υπομονή και την πολύτιμη συμβολή τους στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματική εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων.....	6
Κατάλογος Εικόνων.....	7
Κατάλογος Πινάκων.....	8
Περίληψη.....	9
Abstract.....	10
Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 1. Θέματα Σχεδίασης Προγραμμάτων Χαρτογράφησης και Εποπτείας Internet.....	14
1.1. Ανώνυμοι δρομολογητές.....	16
1.2. Επικάλυψη δικτυακών μετρήσεων.....	18
1.3. Άντληση δεδομένων τοπολογίας από το πρωτόκολλο δρομολόγησης BGP.....	20
1.4. Ομαδοποίηση διεπαφών δρομολογητή.....	21
1.5. Πολιτικές ασφαλείας και κατανομής φόρτου.....	24
1.6. Επιλογή κόμβων προορισμού και κατανομή κόμβων εποπτείας.....	25
1.7. Χαρτογράφηση και οπτικοποίηση.....	27
Κεφάλαιο 2. Εργαλεία Χαρτογράφησης και Εποπτείας Internet.....	28
2.1. Μακροσκοπική Τοπολογία (CAIDA).....	28
2.1.1. Skitter.....	28
2.1.2. Archipelago.....	32
2.2. Mercator.....	32
2.3. NetDimes.....	34
2.4. PingER.....	37
Κεφάλαιο 3. Σύστημα μέτρησης Ψηφιακού Χάσματος.....	39
3.1. Προτεινόμενες μετρικές παράμετροι.....	39
3.2. Μεθοδολογία μετρήσεων.....	45
3.2.1. Μετρήσεις βασισμένες στο πρόγραμμα PingER.....	47
3.2.2. Μετρήσεις βασισμένες σε Perl scripts.....	49
3.2.3. Μετρήσεις κοινοποιούμενες από τα NREN.....	50
3.3. Βαθμός λεπτομέρειας μετρήσεων.....	50
3.4. Αρχιτεκτονική Συστήματος Μέτρησης του Ψηφιακού Χάσματος.....	52
3.4.1. Αρχιτεκτονική.....	52
3.4.2. Υλοποίηση.....	53
3.4.3. Απαιτήσεις Εγκατάστασης.....	54
Κεφάλαιο 4. Παρουσίαση & Ανάλυση Μετρήσεων.....	56
4.1. Μελέτη Εθνικού Δικτύου Έρευνας & Τεχνολογίας.....	56
4.2. Μελέτη δικτύου WWW.....	66
4.3. Επίλογος.....	95
Βιβλιογραφία.....	96

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 - Δυαδικό Δένδρο.....	14
Εικόνα 1.2 - Επίδραση ανώνυμων δρομολογητών στην εξαγόμενη τοπολογία.....	17
Εικόνα 1.3 - Μείωση επικάλυψης μετρήσεων με χρήση αλγορίθμου Doubletree.....	19
Εικόνα 1.4 - Ομαδοποίηση διεπαφών δρομολογητή.....	22
Εικόνα 1.5 - Σύνδεση δύο δρομολογητών σημείο προς σημείο (υποδίκτυο /30).....	23
Εικόνα 1.6 - Ανεπάρκεια traceroute σε συνθήκες κατανομής φόρτου.....	25
Εικόνα 2.1 - Δείγμα οπτικοποίησης δεδομένων που συνέλεξε ο Skitter.....	30
Εικόνα 2.2 - Χρονοσήμανση ICMP Echo Request στο λειτουργικό FreeBSD.....	31
Εικόνα 2.3 - Δένδρο συνδεσιμότητας H/Y από εκτέλεση πράκτορα Dimes.....	35
Εικόνα 2.4 - Δένδρο συνδεσιμότητας επιλυμένο ως προς τη γεωγραφική θέση δρομολογητών.....	36
Εικόνα 2.5 - Αναπαράσταση δένδρου συνδεσιμότητας σε επίπεδο αυτόνομων συστημάτων.....	36
Εικόνα 2.6 - Σχηματική αναπαράσταση (πρόγραμμα LaNet-vi) του Internet σε επίπεδο αυτόνομων συστημάτων από τα δεδομένα του προγράμματος Dimes.....	37
Εικόνα 3.1 - Αρχιτεκτονική του εργαλείου λογισμικού GNSTool.....	53

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 - Κατηγοριοποίηση μετρικών παραμέτρων σύμφωνα με τη μέθοδο μέτρησης που ακολουθείται.....	45
Πίνακας 3.2 - Κατηγοριοποίηση μετρικών παραμέτρων σύμφωνα με τον αντίστοιχο βαθμό λεπτομέρειας.....	51
Πίνακας 4.1 - Αντιστοιχία ιδρυμάτων με τα WWW αναγνωριστικά τους.....	56
Πίνακας 4.2 - Αναγνωστικά διεπαφών δρομολογητών που χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις χρησιμοποίησης γραμμών του δικτύου κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ.....	59
Πίνακας 4.3 - Εξυπηρετητές WWW που σαρώθηκαν.....	66

Περίληψη

Ως Ψηφιακό Χάσμα (Digital Divide), ορίζουμε τη διαφοροποίηση ομοειδών συνόλων ατόμων (ηπείρων, εθνών, οργανισμών) σε θέματα πρόσβασης και διαθεσιμότητας σύγχρονων ψηφιακών τεχνολογιών. Εξειδικεύοντας τον προαναφερθέντα ορισμό στην περίπτωση ακαδημαϊκών δικτύων έρευνας και τεχνολογίας, το Ψηφιακό Χάσμα αντιπροσωπεύει τη διαφοροποίηση στην ικανότητα συμμετοχής σε ερευνητικά προγράμματα, υλοποίησης εξεχουσών ψηφιακών τεχνολογιών (τηλεδιασκέψεις, ηλεκτρονική μάθηση) αλλά και πρόσβασης σε ηλεκτρονικές αποθήκες δεδομένων επιστημονικού περιεχομένου.

Η αποτίμηση της Ψηφιακού Χάσματος παρουσιάζει ουσιαστικές δυσκολίες, λόγω εγγενών τεχνικών ή μη-τεχνικών ζητημάτων. Ωστόσο, η δημιουργία ενός μοντέλου για τη μελέτη, μέτρηση και ανάλυσή του, χρήζει ιδιαίτερης σημασίας για την ερευνητική και ακαδημαϊκή κοινότητα, καθώς είναι σε θέση να υποδείξει τα ακαδημαϊκά δίκτυα κορμού που χρειάζονται υποστήριξη και πιθανά οικονομική βοήθεια, ώστε να αναπτύξουν καινοτόμους μεθόδους εκπαίδευσης και να έχουν καλύτερη πρόσβαση στα σύγχρονα ψηφιακά αγαθά.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να προτείνει ένα πλαίσιο εργασίας, εφοδιασμένο με ένα σύνολο μετρικών παραμέτρων και μία μεθοδολογία διεξαγωγής μετρήσεων, για την ποσοτικοποίηση του Ψηφιακού Χάσματος. Ειδικότερα, πραγματοποιείται αναφορά στα βασικά θέματα σχεδίασης συστημάτων χαρτογράφησης και εποπτείας δικτύων και περιγράφονται τα κυριότερα από αυτά. Έπειτα, αναλύονται εκτενώς οι μετρικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται και αναλύεται η αρχιτεκτονική του συστήματος μετρήσεων. Εν τέλει, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της λειτουργίας του συστήματος και σχολιάζεται το πώς μπορούν να εμπλουτιστούν οι υπάρχοντες χάρτες δικτύων, με μετρήσεις του μεγέθους του Ψηφιακού Χάσματος.

Λέξεις κλειδιά: Ψηφιακό Χάσμα, χαρτογράφηση δικτύων, εποπτεία δικτύων, πακέτο λογισμικού GNStool

ABSTRACT

Digital Divide is widely known as the difference in access and availability of digital resources between continents, nations or groups of people sharing common attributes. A common definition provided by the popular electronic encyclopedia, Wikipedia, defines Digital Divide as “the gap between those with regular, effective access to digital technologies and those without”. From the point of view of the academic and research community, the electronic access mainly includes the ability to participate in research collaborations, e-learning, video-conferencing and accessing major scientific databases and repositories.

Since in our days the educational process is closely related to the use of the Internet and new technologies, the Digital Divide between academic networks defines their ability to establish innovative educational methods and to efficiently contribute to the collaboration of distributed research groups. Therefore, it is crucially important to measure the range of this gap in order to identify the regions that need attention and possibly economic support.

Measuring Digital Divide entails significant complications, due to the fact that such a notion is of non-technical nature. Thus, absolute parameters to quantify such an idea are absent and significant work needs to be done to set up a framework for studying, measuring and analyzing Digital Divide.

The purpose of this Thesis is to propose, apply and examine the efficacy of such a framework in the European academic and research network community.

Keywords: Digital Divide, network mapping, network monitoring, GNStool software

Εισαγωγή

Το μέγεθος του Ψηφιακού Χάσματος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαφοροποίηση ομοειδών ομάδων ατόμων (οργανισμών, ακαδημαϊκών δικτύων, εθνών, ηπείρων) ως προς τη δυνατότητα χρήσης σύγχρονων ψηφιακών τεχνολογιών και απολαβής ψηφιακών αγαθών. Η ευρέως γνωστή ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια **Wikipedia**, ορίζει το Ψηφιακό Χάσμα ως, τη διαφορά ομοειδών ομάδων ατόμων ευρείας κλίμακας σε θέματα πρόσβασης, χρήσης και γνώσης τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών.

Αν επιχειρήσουμε να συγκεκριμενοποιήσουμε τον παραπάνω ορισμό για τις ανάγκες των Εθνικών Δικτύων Έρευνας και Τεχνολογίας, καθώς επίσης και γενικότερα των διαφόρων Ακαδημαϊκών Ιδρυμάτων, τότε εύκολα συμπεραίνουμε ότι οι σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών που περιγράφει η έννοια του Ψηφιακού Χάσματος περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την ηλεκτρονική μάθηση, την τηλεδιάσκεψη, τη γρήγορη και αδιάλειπτη πρόσβαση σε ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες και κατανεμημένες πηγές δεδομένων ερευνητικού περιεχομένου και την ικανότητα συμμετοχής σε ερευνητικά προγράμματα ευρείας κλίμακας.

Δεδομένης της άμεσης εξάρτησης όλων των προαναφερθέντων τεχνολογιών από μια υψηλής ποιότητας (αδιάλειπτη παροχή υπηρεσιών, υψηλή ποιότητα διασύνδεσης) δικτυακή πύλη προς το παγκόσμιο Internet, μπορούμε να θεωρήσουμε πως το μέγεθος του Ψηφιακού Χάσματος ανάγεται ουσιαστικά στη διαφοροποίηση των υπό σύγκριση ομάδων σε θέματα πρόσβασης και ποιότητας υπηρεσιών Internet.

Από τους ορισμούς που έχουν δοθεί έως τώρα για το Ψηφιακό Χάσμα, προκύπτει πως ενώ είναι διαισθητικά ευκολονόητο ως έννοια, πρόκειται ουσιαστικά για ένα μέγεθος μη τεχνικής φύσης. Η αδυναμία ύπαρξης ενός απόλυτου αναλυτικού μοντέλου (μαθηματικά τεκμηριωμένου) για το Ψηφιακό Χάσμα καθιστά δύσκολη διαδικασία την ποσοτικοποίηση και επομένως την αποτελεσματική αποτίμησή του.

Παρά τις έμφυτες δυσκολίες που συνοδεύουν τη διαδικασία αποτίμησης του Ψηφιακού Χάσματος, η ανάγκη για την κατασκευή ενός πλαισίου εργασίας (framework) που θα μοντελοποιεί ένα σύστημα μέτρησής του είναι επιτακτική. Η ύπαρξη ενός τέτοιου πλαισίου εργασίας θα μπορούσε να οδηγήσει στη δημιουργία χαρτών ευρείας κλίμακας, προσφέροντας μια συμπληρωματική καθολική εικόνα του Internet, με παράμετρο το Ψηφιακό Χάσμα. Μια τέτοια οπτικοποίηση, θα συνέβαλλε στην άμεση αναγνώριση των “περιοχών” του Internet που υστερούν έναντι άλλων, επιτρέποντας παράλληλα την παρακολούθηση της εξέλιξης του Ψηφιακού Χάσματος σε γεωγραφική κλίμακα με την πάροδο του χρόνου.

Η δημιουργία μιας τέτοιας αναλυτικής εικόνας, προϋποθέτει την υιοθέτηση ενός ικανού και αναγκαίου συνόλου μετρικών παραμέτρων, τις οποίες θα πρέπει να υλοποιεί το πλαίσιο εργασίας για την αποτίμηση του Ψηφιακού Χάσματος. Η διαδικασία επιλογής των μετρικών παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το πόσο ευέλικτα, δυναμικά και εύρωστα θα είναι το πλαίσιο εργασίας και το σύστημα διεξαγωγής μετρήσεων που το συνοδεύει.

Οι επιλεγμένες μετρικές παράμετροι θα πρέπει να εφοδιάζουν το πλαίσιο εργασίας με διακριτές βαθμίδες λεπτομέρειας μετρήσεων. Ο στόχος αυτής της προδιαγραφής είναι διττός: αφενός δίνεται η δυνατότητα για επιλογή της λεπτομέρειας μετρήσεων που ενδείκνυται για την υπό μέτρηση οντότητα και αφετέρου το πλαίσιο εργασίας καθίσταται εφαρμόσιμο για την πλειοψηφία των οντοτήτων σε συνθήκες που ποικίλλουν. Η τελευταία παρατήρηση ενισχύεται ακόμα

περισσότερο αν συνυπολογίσει κανείς, ότι μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις μετρήσεις συνήθως συνεπάγεται περισσότερες απαιτήσεις σε υλικό και λογισμικό, καθώς και ανάγκη για μεγαλύτερη συνεργασία με τη διαχειριστική αρχή της υπό μέτρηση οντότητας. Επιπρόσθετα, το πλαίσιο εργασίας θα πρέπει να περιλαμβάνει μετρικές παραμέτρους που βασίζονται τόσο σε αναλυτικό όσο και σε εμπειρικό υπολογισμό. Με αυτό τον τρόπο το framework θα παρουσιάζει ευελιξία σε περιπτώσεις που απουσιάζει ένα ικανό σύνολο συλλεγμένων δεδομένων για τη διεξαγωγή αναλυτικών μετρήσεων. Τέλος, θα πρέπει να υπάρχουν και κάποιες μετρικές παράμετροι που δεν θα μπορούν να μετρηθούν άμεσα μέσω κάποιας αναλυτικής ή εμπειρικής υπολογιστικής διαδικασίας, αλλά θα κοινοποιούνται από τη διαχειριστική αρχή της υπό μέτρηση οντότητας και θα λειτουργούν συμπληρωματικά των υπολοίπων για μια πληρέστερη εικόνα.

Τελευταίο βήμα για την ολοκλήρωση του πλαισίου εργασίας είναι η υλοποίηση του λογισμικού συστήματος που θα διεξάγει τις επιμέρους μετρήσεις βάσει των επιλεγμένων μετρικών παραμέτρων. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα θα κρίνουν την αποτελεσματικότητα του πλαισίου εργασίας και θα υποδείξουν κατευθύνσεις βελτίωσης και εξέλιξης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην πρόταση ενός πλαισίου εργασίας για την αποτελεσματική ποσοτικοποίηση του Ψηφιακού Χάσματος. Εξειδικεύοντας (χωρίς βλάβη της γενικότητας) στην περίπτωση των Εθνικών Δικτύων Έρευνας και Τεχνολογίας – ΕΔΕΤ (National Research and Education Network - NREN), η αποτίμηση του Ψηφιακού Χάσματος ανάγεται στην αποτίμηση της ποιότητας πρόσβασης και απολαβής υπηρεσιών Διαδικτύου. Για το λόγο αυτό, το πλαίσιο εργασίας εφοδιάζεται με ένα σύνολο μετρικών παραμέτρων, οι περισσότερες από τις οποίες εστιάζουν στην αντικειμενική μέτρηση της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσιών διαδικτύου.

Ειδικότερα, το πρώτο κεφάλαιο πραγματεύεται τα σημαντικότερα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη σχεδίαση ενός προγράμματος χαρτογράφησης και εποπτείας του Internet. Δεδομένου ότι η συλλογή δεδομένων για τον υπολογισμό των μετρικών παραμέτρων του πλαισίου εργασίας πραγματοποιείται ως επί το πλείστον από προγράμματα χαρτογράφησης και εποπτείας, το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά τη διαδικασία λήψης μετρήσεων και τα οποία επηρεάζουν σημαντικά την απόφαση επιλογής των μετρικών παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν. Παράλληλα, αναφέρονται οι επικρατέστερες τεχνικές αντιμετώπισης καθώς και οι υπολογιστικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σημαντικότερα εργαλεία εποπτείας και χαρτογράφησης του Internet. Πραγματοποιείται λεπτομερής αναφορά στον τρόπο λειτουργίας τους και το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στο πρόγραμμα **PingER**, το οποίο θα αποτελέσει και τη βάση του λογισμικού συστήματος που αναπτύχθηκε για την υποστήριξη του προτεινόμενου πλαισίου αποτίμησης του Ψηφιακού Χάσματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στις μετρικές παραμέτρους που επιλέχθηκαν για την αποτίμηση του Ψηφιακού Χάσματος. Αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού τους και η λεπτομέρεια των μετρήσεων που επιτυγχάνεται. Επιπλέον, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του πακέτου λογισμικού GNSTool, το οποίο θα υλοποιήσει το σύστημα διεξαγωγής μετρήσεων του πλαισίου εργασίας, καθώς επίσης και λεπτομέρειες για την επιτυχή εγκατάσταση του σε υπολογιστές υπηρεσιών των ενδιαφερόμενων Εθνικών Δικτύων Έρευνας και Τεχνολογίας.

Το τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του προγράμματος σε διακριτές χρονικές περιόδους μεταβλητής διάρκειας και

για διάφορες βαθμίδες λεπτομέρειας μετρήσεων. Εν κατακλείδι, αναλύονται τα ευρήματα και προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική μελέτη και έρευνα.

Κεφάλαιο 1

Θέματα Σχεδίασης Προγραμμάτων

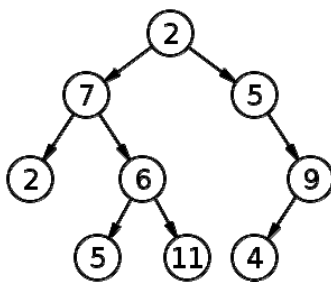
Χαρτογράφησης και Εποπτείας Internet

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των θεμάτων που ανακύπτουν κατά τη σχεδίαση ενός προγράμματος χαρτογράφησης (topology discovery) και εποπτείας (monitoring) του Διαδικτύου (Internet). Ειδικότερα, πραγματοποιείται αναφορά σε προβλήματα όπως η ύπαρξη ανώνυμων δρομολογητών, η επικάλυψη δικτυακών μετρήσεων, η άντληση δεδομένων τοπολογίας από το πρωτόκολλο δρομολόγησης BGP, η ομαδοποίηση των διεπαφών που ανήκουν σε ένα δρομολογητή και η εκτενής χρήση πολιτικών ασφαλείας και κατανομής φόρτου (traffic bottleneck). Παράλληλα, για κάθε ένα από τα προαναφερθέντα θέματα, παρουσιάζονται πρακτικές επίλυσης και βελτιστοποίησης. Εν τέλει, περιγράφονται θέματα υλοποίησης όπως η επιλογή των κόμβων προορισμού για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, καθώς επίσης και των τεχνικών οπτικοποίησης (visualization) των δεδομένων που συλλέγονται.

Για τη διευκόλυνση της ανάλυσης που ακολουθεί, θα πραγματοποιηθεί μια σύντομη και περιεκτική εισαγωγή στα δένδρα ως δομές δεδομένων, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα εργαλεία χαρτογράφησης και εποπτείας και γενικότερα σε οποιαδήποτε προσπάθεια οπτικοποίησης του Διαδικτύου, ενώ επιπρόσθετα θα δοθούν ορισμένοι βοηθητικοί ορισμοί.

Δένδρα

Το δένδρο, είναι μια ιδιαίτερα σημαντική δομή δεδομένων, της οποίας οι καταχωρίσεις παρουσιάζουν μια ιεραρχική οργάνωση. Αναλυτικότερα, πρόκειται για ένα διατεταγμένο ζεύγος $G = (V, E)$ αποτελούμενο από ένα σύνολο κορυφών ή κόμβων V και ένα σύνολο ακμών E , που δεν παρουσιάζει κύκλους, δηλαδή δεν υπάρχει μονοπάτι που να αρχίζει και να τελειώνει στον ίδιο κόμβο (ο όρος μονοπάτι αναλύεται παρακάτω).



Εικόνα 1.1 ♦ Δυαδικό δένδρο· υποπερίπτωση απλού δένδρου, κατά την οποία κάθε κόμβος έχει το πολύ δύο κόμβους παιδιά.

Κόμβος (Node): Είναι η κάθε θέση σε ένα δένδρο, π.χ. η θέση 6 στην Εικόνα 1.1.

Κόμβος Γονέας (Parent Node): Ονομάζεται ο αμέσως ψηλότερα στην ιεραρχία κόμβος ενός επιλεγμένου κόμβου.

Κόμβος Παιδί (Child Node): Είναι ο αμέσως επόμενος στην ιεραρχία κόμβος ενός επιλεγμένου κόμβου.

Κόμβοι Αδέρφια (Sibling Nodes): Είναι δύο κόμβοι που έχουν κοινό κόμβο πατέρα.

Κόμβος Ρίζα (Root Node): Είναι ο κόμβος κορυφή του δένδρου. Ο κόμβος ρίζα δεν έχει κόμβους γονείς.

Τερματικός Κόμβος (Leaf Node): Ονομάζεται ο κόμβος που δεν έχει κόμβους παιδιά.

Μονοπάτι (Path): Είναι ένα διατεταγμένο σύνολο ακμών από ένα επιλεγμένο κόμβο προορισμού προς ένα επιλεγμένο κόμβο προορισμού.

Βάθος Κόμβου (Node Depth): Είναι το μήκος του μονοπατιού από τη ρίζα στον κόμβο.

Βάθος Δένδρου (Tree Depth): Είναι ο μέγιστος αριθμός κόμβων που διατρέχουν όλα τα πιθανά μονοπάτια από τον κόμβο ρίζα προς τους υπάρχοντες τερματικούς κόμβους. Πρόκειται για τον μέγιστο βαθμό κόμβου που εμφανίζεται στο δένδρο.

Διαδικό Δένδρο (Binary Tree): Είναι ένα διατεταγμένο δένδρο στο οποίο κάθε κόμβος έχει το πολύ δύο κόμβους παιδιά.

Βασικοί Ορισμοί

Ορισμός 1.1 (IP μονοπάτι):

Έστω A ένας κόμβος πηγής και B ένας κόμβος προορισμού. Τότε, η ακολουθία (R_i) των δρομολογητών, από τους οποίους διέρχεται ένα πακέτο κατά τη μετάδοση του από τον A προς τον B , ονομάζεται *IP μονοπάτι (IP path)*.

Ορισμός 1.2 (γειτονικοί δρομολογητές):

Δύο δρομολογητές χαρακτηρίζονται ως *γειτονικοί*, όταν η μεταξύ τους “απόσταση” είναι ίση με έναν ακριβώς κόμβο IP (1-hop γείτονες).

Ορισμός 1.3 (αυτόνομο σύστημα):

Ένα δίκτυο ή ένα σύνολο δικτύων, που υπόκεινται σε ενιαία διαχείριση και κοινή πολιτική δρομολόγησης, χαρακτηρίζονται ως *αυτόνομο σύστημα (Autonomous System – AS)*.

Ορισμός 1.4 (AS μονοπάτι):

Έστω ένα IP μονοπάτι μεταξύ των κόμβων πηγής και προορισμού, A και B αντίστοιχα. Η ακολουθία αυτόνομων συστημάτων (AS_i) που προκύπτει, αν ομαδοποιηθούν οι δρομολογητές που συνιστούν το IP μονοπάτι με βάση το αυτόνομο σύστημα στο οποίο ανήκουν, ονομάζεται *AS μονοπάτι*.

Ορισμός 1.5 (δρομολόγηση πηγής):

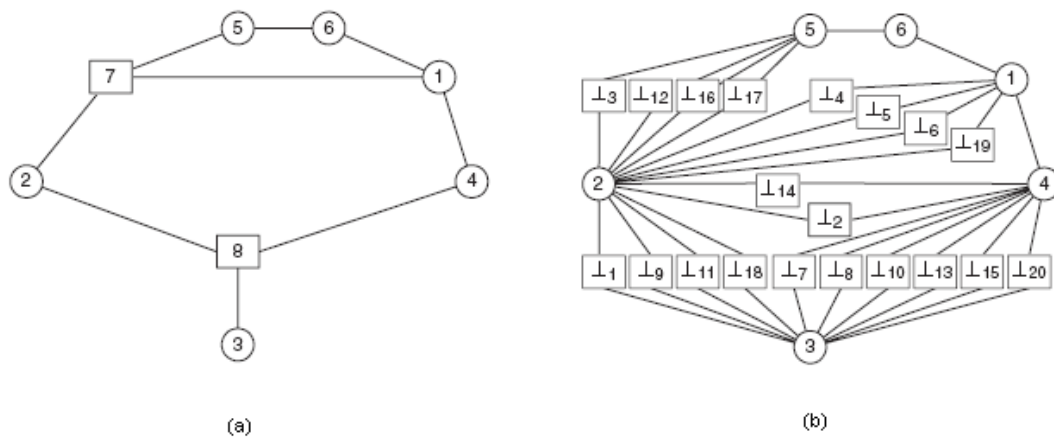
Η *δρομολόγηση πηγής* (source routing) είναι μια επιλογή του πρωτοκόλλου IP, η οποία επιτρέπει σε ένα κόμβο πηγής να καθορίσει μερικά ή ολικά το IP μονοπάτι προς τον κόμβο προορισμού.

1.1 *Ανώνυμοι δρομολογητές*

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα που ανακύπτουν κατά την εύρεση της τοπολογίας δικτύων τεχνολογίας TCP/IP, είναι η ύπαρξη ανώνυμων δρομολογητών (anonymous routers). Ως ανώνυμος, χαρακτηρίζεται ο δρομολογητής εκείνος για τον οποίο δεν μπορεί να αντληθεί κάποια πληροφορία για τις διευθύνσεις δικτύου (IP addresses) των διεπαφών (interfaces) του, μολονότι η παρουσία του στο IP μονοπάτι είναι επιβεβαιωμένη.

Η εξαγωγή της τοπολογίας ενός δικτύου, μέσω δικτυακών μετρήσεων, αποτελεί ένα επιστημονικό πεδίο που έχει αναλυθεί αρκετά από την ερευνητική κοινότητα. Βασικό εργαλείο των περισσότερων αναλύσεων αποτελεί το πρόγραμμα `traceroute`, το οποίο υλοποιείται σε όλα τα λειτουργικά συστήματα. Κατά τη διαδικασία εύρεσης των IP μονοπατιών από ένα κόμβο πηγής προς επιλεγμένους κόμβους προορισμού, μέσω του προγράμματος `traceroute`, είναι πιθανόν κάποιος δρομολογητής είτε να μην απαντήσει στα διερευνητικά πακέτα (probe packets) του αποστολέα, ή να απαντήσει χρησιμοποιώντας την IP διεύθυνση του αποστολέα, αντί για τη δική του. Σε κάθε περίπτωση, δεν είναι εφικτή η εύρεση της διεύθυνσης δικτύου της διεπαφής του δρομολογητή, οπότε χαρακτηρίζεται ως ανώνυμος. Η συμπεριφορά αυτή του ανώνυμου δρομολογητή, είναι κυρίως διαχειριστικής φύσης και σχετίζεται ως επί το πλείστον με θέματα ασφαλείας, προστασίας απορρήτου και ρυθμίσεων των παροχών υπηρεσιών διαδικτύου (Internet Service Providers). Οι δρομολογητές που έχουν ανενεργό το πρωτόκολλο ICMP, συμπεριφέρονται ως ανώνυμοι. Το ίδιο ισχύει και για δρομολογητές IPv6, που δεν διαθέτουν δημόσια διεύθυνση δικτύου.

Η ύπαρξη ανώνυμων δρομολογητών στα IP μονοπάτια που εξάγει ένα εργαλείο χαρτογράφησης, περιπλέκει σημαντικά την ανακατασκευή της τοπολογίας του δικτύου. Όπως είναι φυσικό, ένας δρομολογητής μπορεί να ανήκει σε πολλαπλά IP μονοπάτια. Αν ο δρομολογητής δεν είναι ανώνυμος, τότε οι πολλαπλές εμφανίσεις του μπορούν να ομαδοποιηθούν, είτε λόγω εμφάνισης κοινών διευθύνσεων δικτύου για τις διεπαφές, ή με τη χρήση άλλων τεχνικών ομαδοποίησης των διεπαφών που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο δρομολογητή. Στην αντίθετη περίπτωση, δεν υπάρχει μεθοδολογία διαχωρισμού των εμφανίσεων ενός ανώνυμου δρομολογητή από τις αντίστοιχες των υπολοίπων. Επακόλουθα, κάθε εμφάνιση ανώνυμου δρομολογητή στα IP μονοπάτια που έχουν εξαχθεί, δύναται να θεωρηθεί ως μεμονωμένος δρομολογητής. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην ανακατασκευή τοπολογιών που προκύπτουν ανακριβείς σε σχέση με την πραγματική.



Εικόνα 1.2 ♦ (a) Η πραγματική τοπολογία ενός δικτύου TCP/IP που περιλαμβάνει τους ανώνυμους δρομολογητές 7 και 8. (b) Η τοπολογία που εξάγεται με traceroute λόγω των ανώνυμων δρομολογητών.

Οι συγγραφείς του [1] αποδεικνύουν ότι το πρόβλημα επίλυσης των ανώνυμων δρομολογητών, δηλαδή της εύρεσης των διευθύνσεων δικτύου των διεπαφών τους, ανήκει στην τάξη προβλημάτων υπολογιστικής πολυπλοκότητας NP-Complete. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η υλοποίηση ευρετικών μεθόδων (heuristic methods) για την εξαγωγή λύσεων στον αναγκαίο χρόνο.

Ως *αποδεκτή τοπολογία* (admissible topology) ενός δικτύου, ορίζεται εκείνη που θα μπορούσε δυνητικά να αντιστοιχεί στην πραγματική τοπολογία του και ανταποκρίνεται στο γράφο που σχηματίζουν τα IP μονοπάτια, που έχουν καταγραφεί από το εργαλείο χαρτογράφησης. Το σύνολο των αποδεκτών τοπολογιών για ένα δίκτυο περιλαμβάνει και την πραγματική τοπολογία. Διαισθητικά, η πραγματική τοπολογία θα πρέπει να αντιστοιχεί στην αποδεκτή τοπολογία με τον μικρότερο αριθμό ανώνυμων δρομολογητών. Η τοπολογία αυτή ονομάζεται *ελάχιστη (minimal topology)*.

Για την επίλυση του προβλήματος των ανώνυμων δρομολογητών, έχουν προταθεί πολλές μεθοδολογίες. Η προφανής θεώρηση όλων των εμφανίσεων ανώνυμων δρομολογητών στα IP μονοπάτια, ως μεμονωμένων δρομολογητών, οδηγεί σε πολύπλοκες τοπολογίες και συχνά μη ρεαλιστικές. Εναλλακτική αντιμετώπιση αποτελεί η διακοπή της διαδικασίας εύρεσης ενός IP μονοπατιού για ένα δεδομένο κόμβο προορισμού, όταν διαπιστωθεί η ύπαρξη ανώνυμου δρομολογητή. Η εκδοχή αυτή οδηγεί σε μια απλοποιημένη τοπολογία σε σχέση με την πραγματική. Μια περισσότερο εξεζητημένη μέθοδος θεωρεί ότι, αν δύο ανώνυμοι δρομολογητές είναι γειτονικοί με το ίδιο σύνολο γνωστών δρομολογητών, τότε πρόκειται για δύο εμφανίσεις του ίδιου ανώνυμου δρομολογητή. Ωστόσο, στο [1] αποδεικνύεται πώς οι τοπολογίες που προκύπτουν από την τελευταία μέθοδο, δεν αποτελούν πάντα ακριβείς αναπαραστάσεις της πραγματικής τοπολογίας.

Εξαιτίας της υπολογιστικής πολυπλοκότητας του προβλήματος των ανώνυμων δρομολογητών και δεδομένης της αριθμήσιμης φύσης των υπολογιστικών πόρων, απαιτείται η ελαχιστοποίηση του συνόλου των αποδεκτών τοπολογιών. Έτσι, καθίσταται εφικτή η αποδοτική εύρεση της ελάχιστης τοπολογίας. Στη συνέχεια, η ομαδοποίηση των εμφανίσεων των ανώνυμων δρομολογητών, μπορεί δυνητικά να οδηγήσει στην ελάχιστη τοπολογία.

Βάσει της παραπάνω ανάλυσης, μια πιθανή υλοποίηση θα στόχευε στη δραματική μείωση του αριθμού των ανώνυμων δρομολογητών. Μια σχετική προσέγγιση είναι η εξής:

- Αν ένα IP μονοπάτι P , αποτελεί τμήμα ενός άλλου IP μονοπατιού, τότε αυτό μπορεί να αφαιρεθεί από τη συλλογή IP μονοπατιών.

Με αυτόν τον τρόπο, οι ανώνυμοι δρομολογητές που περιλαμβάνονται στο IP μονοπάτι P , δεν θα συμπεριληφθούν στη διαδικασία ομαδοποίησης. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να γενικευτεί σε μια διαδικασία που θα αφαιρεί τα IP μονοπάτια που αποτελούνται αμιγώς από ανώνυμους δρομολογητές. Οι δρομολογητές αυτοί θα επιλυθούν με τη χρήση των υπόλοιπων IP μονοπατιών στα οποία ανήκουν.

Τη μείωση του αριθμού ανώνυμων δρομολογητών ακολουθεί η εφαρμογή ευρετικών μεθόδων, με σκοπό την ομαδοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων εμφανίσεων ανώνυμων δρομολογητών. Οι ευρετικές μέθοδοι που περιγράφονται στο [1] στηρίζονται στην κατασκευή κλάσεων ισοδυναμίας για τους ανώνυμους δρομολογητές, βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών.

1.2 *Επικάλυψη δικτυακών μετρήσεων*

Η εύρεση της τοπολογίας ενός δικτύου σε επίπεδο διεπαφών, οδηγεί στην πραγματοποίηση επικαλυπτόμενων μετρήσεων (measurements redundancy). Οι μετρήσεις αυτές απαιτούν την εγκατάσταση ενός ικανού αριθμού κόμβων εποπτείας (monitoring nodes), καθώς επίσης και ένα μεγάλο αριθμό εκτελέσεων των προγραμμάτων ping και traceroute. Οι απαιτήσεις αυτές πολλαπλασιάζονται όταν αναφερόμαστε σε υψηλού βαθμού κατανεμημένα (highly distributed) συστήματα μετρήσεων, που χρησιμοποιούνται για την ανακάλυψη μεγάλων τοπολογιών δικτύου. Σε περίπτωση αλόγιστης χρήσης των συστημάτων αυτών, ελλοχεύει ο κίνδυνος δημιουργίας δικτυακής κίνησης μεγάλου όγκου δεδομένων, στα τμήματα του δικτύου που μετρώνται. Επιπλέον, ο μεγάλος αριθμός εκτελέσεων των προγραμμάτων ping και traceroute προς τους επιλεγμένους κόμβους προορισμού, μπορεί να θεωρηθεί ως κατανεμημένη άρνηση παροχής υπηρεσίας (distributed denial of service) από τα λογισμικά «τείχους ελέγχου προσπέλασης» (firewalls), που είναι εγκατεστημένα στην “περιοχή” των προορισμών. Για να επιτευχθεί η μείωση της επικάλυψης των μετρήσεων, απαιτείται η ελαχιστοποίηση του αριθμού εμφανίσεων των δρομολογητών στα διάφορα IP μονοπάτια.

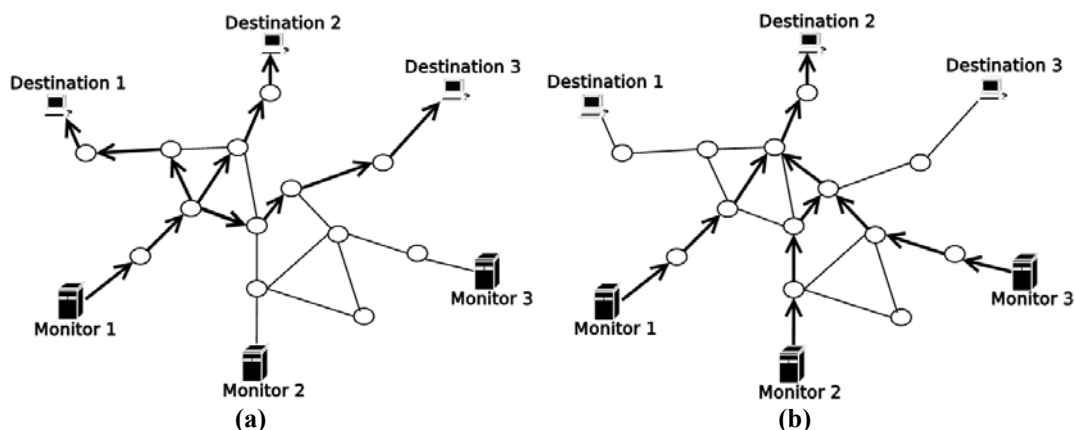
Αν θεωρήσουμε ένα συμβατικό σύστημα χαρτογράφησης και εποπτείας δικτύων TCP/IP, το οποίο περιλαμβάνει ένα μικρό σχετικά αριθμό κόμβων εποπτείας και ένα μεγάλο πλήθος κόμβων προορισμού, μπορούμε να ορίσουμε δύο κατηγορίες επικάλυψης μετρήσεων. Η πρώτη ονομάζεται ενδο-κομβική επικάλυψη (intra-monitor redundancy) και αφορά στην επικάλυψη που οφείλεται στις μετρήσεις που πραγματοποιεί ο κάθε κόμβος εποπτείας ατομικά, ενώ η δεύτερη χαρακτηρίζεται ως δια-κομβική επικάλυψη (inter-monitor redundancy) και περιγράφει την επικάλυψη μετρήσεων που οφείλεται στην εύρεση μονοπατιών IP προς κοινούς κόμβους προορισμού.

Η ενδο-κομβική επικάλυψη είναι μεγάλη σε κόμβους που βρίσκονται πλησίον των κόμβων εποπτείας, λόγω της δενδρικής δομής των IP μονοπατιών που πηγάζουν από αυτούς. Ο βαθμός της ενδο-κομβικής επικάλυψης μεγιστοποιείται σε διεπαφές κόμβων, που απέχουν ελάχιστους IP κόμβους (hops) από τον κόμβο εποπτείας και εμφανίζονται ουσιαστικά σε κάθε IP μονοπάτι που ανακαλύπτεται. Στον αντίποδα, η δια-κομβική επικάλυψη επηρεάζει κυρίως διεπαφές που βρίσκονται στην ευρύτερη

περιοχή των κόμβων προορισμού και οι οποίες ανακαλύπτονται από περισσότερους του ενός κόμβους εποπτείας.

Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τη μείωση της ενδο-κομβικής και της δια-κομβικής επικάλυψης έρχονται σε σύγκρουση. Μείωση της ενδο-κομβικής επικάλυψης επιτυγχάνεται όταν η διαδικασία εύρεσης ενός IP μονοπατιού ξεκινάει μακριά από την περιοχή του κόμβου εποπτείας και κατευθύνεται δενδρικά πίσω προς αυτόν, έως ότου συναντήσει μια ήδη γνώστη διεπαφή δρομολογητή. Αντίθετα, η δια-κομβική επικάλυψη περιορίζεται κατά την εύρεση ενός IP μονοπατιού προς την κατεύθυνση του κόμβου προορισμού, έως ότου διαπιστωθεί η ύπαρξη γνωστής διεπαφής.

Στο [3] προτείνεται μια μεθοδολογία μείωσης και των δύο κατηγοριών επικάλυψης, με τη χρήση του αλγόριθμου *Doubletree*.



Εικόνα 1.3 ♦ (a) Δένδρο συνδεσιμότητας με ρίζα ένα κόμβο εποπτείας (b) Δένδρο συνδεσιμότητας με ρίζα ένα κόμβο προορισμού

Αναλυτικότερα, η διαδικασία εύρεσης ενός IP μονοπατιού αρχίζει σε κάποιο ενδιαμέσο κόμβο h , μεταξύ του κόμβου εποπτείας και του κόμβου προορισμού ενδιαφέροντος. Η επιλογή του κόμβου h και επομένως της παραμέτρου *time-to-live* (TTL), στην επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου IP, εξαρτάται από την απόσταση των κόμβων πηγής και προορισμού σε επίπεδο IP κόμβων (hops). Οι συγγραφείς του [3] αναλύουν αποτελέσματα προσομοιώσεων που καθορίζουν τη βέλτιστη τιμή του πεδίου TTL για τον κόμβο h . Επιγραμματικά, αξίζει να σημειωθεί ότι ο κόμβος h πρέπει να βρίσκεται σε μια δικτυακή περιοχή που περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό διεπαφών, δηλαδή όχι πολύ κοντά στον κόμβο εποπτείας, αλλά ούτε και πολύ κοντά στην περιοχή του κόμβου προορισμού. Ο αλγόριθμος *Doubletree* εφοδιάζει κάθε κόμβο εποπτείας με τη βέλτιστη επιλογή για τον κόμβο h . Έπειτα, η διαδικασία εύρεσης των κόμβων που συνιστούν το IP μονοπάτι συνεχίζεται για αυξανόμενες τιμές του h ($h+1, h+2, \dots$), έως ότου συναντηθεί κάποια διεπαφή που ανήκει στο δένδρο συνδεσιμότητας του κόμβου προορισμού (Εικόνα 1.3.b). Τότε, αρχίζει η εύρεση κόμβων προς την αντίθετη κατεύθυνση ($h-1, h-2, \dots$), μέχρι να βρεθεί κάποια γνωστή διεπαφή που ανήκει στο δένδρο συνδεσιμότητας του κόμβου πηγής (Εικόνα 1.3.a). Αν ο κόμβος h δεν απαντήσει στα διερευνητικά πακέτα του κόμβου πηγής, τότε επιλέγεται ο κόμβος που βρίσκεται στο μέσο της απόστασης των κόμβων πηγής και h . Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς και ολοκληρώνεται μόνο όταν βρεθεί έγκυρη επιλογή για τον κόμβο h .

Μια εναλλακτική προσέγγιση προτείνεται από τους *Govindan* και *Tangmunarunkit* στο [4]. Υλοποιείται δε στο πρόγραμμα χαρτογράφησης *Mercator* και αναλύεται λεπτομερέστερα στην παράγραφο 2.2. Ωστόσο, επικεντρώνεται κυρίως στη μείωση της ενδο-κομβικής επικάλυψης, αρχίζοντας την εύρεση του IP μονοπατιού κοντά στην περιοχή του κόμβου προορισμού. Επιπρόσθετα, δεν έχουν δημοσιευθεί αποτελέσματα που να αναλύουν την αποδοτικότητα της προσέγγισης αυτής.

Το θέμα της επικάλυψης μετρήσεων είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όσον αφορά τη σχεδίαση αποδοτικών συστημάτων χαρτογράφησης και εποπτείας δικτύων, που δεν επιφορτίζουν το μετρούμενα τμήματα δικτύου με περιττές μετρήσεις. Συνεπώς, κάθε τέτοιο σύστημα θα πρέπει να υλοποιεί ευρετικές μεθόδους που μετριάζουν την επικάλυψη των μετρήσεων που πραγματοποιούνται.

1.3 Αντληση δεδομένων τοπολογίας από το πρωτόκολλο δρομολόγησης BGP

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης BGP αποτελεί το κύριο πρωτόκολλο δρομολόγησης του Internet. Αποτελεί πρωτόκολλο δρομολόγησης μεταξύ αυτόνομων συστημάτων (inter-autonomous), καθώς παρέχει τη δυνατότητα δρομολόγησης ανάμεσα σε αυτόνομα συστήματα. Η πληροφορία που ανταλλάσσεται μεταξύ των ομότιμων (γειτονικών) δρομολογητών BGP, μολονότι περιέχει κάποιες χρήσιμες πληροφορίες, δεν είναι επαρκής για την εξαγωγή πολύτιμων χαρακτηριστικών τοπολογίας, που θα οδηγούσαν δυνητικά σε ακριβείς και λεπτομερείς χάρτες δικτύων. Η καθιέρωση της *αδιαβάθμητης δρομολόγησης μεταξύ περιοχών δρομολόγησης* (classless interdomain routing) επιτρέπει στους δρομολογητές να χρησιμοποιούν μόνο ένα πρόθεμα δικτύου για τη δημοσιοποίηση πολλαπλών δικτύων (route aggregation ή route summarization), αποκρύπτοντας εσωτερικές πληροφορίες δρομολόγησης και τοπολογίας.

Για την εξαγωγή περισσότερων χαρακτηριστικών τοπολογίας και πληροφοριών δρομολόγησης, έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι ομαδοποίησης (clustering methods). Βασίζονται στην παθητική παρατήρηση (passive monitoring) των μηνυμάτων δρομολόγησης BGP και σχηματίζουν λογικές συσχετίσεις των προθεμάτων δικτύου που ανήκουν σε κάθε αυτόνομο σύστημα. Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν την αναγνώριση προθεμάτων δικτύου, που δρομολογούνται μέσω του ίδιου σημείου διασύνδεσης παροχών υπηρεσιών διαδικτύου (Internet Service Provider Point of Presence). Παράλληλα υποδεικνύουν προθέματα δικτύου, τα οποία ενώ είναι εντελώς ανόμοια μεταξύ τους, υπόκεινται σε κοινή διαχείριση ή δρομολογούνται μέσω των ίδιων IP ή/και AS μονοπατιών.

Στο [5] παρουσιάζεται μια μέθοδος ομαδοποίησης που παρουσιάζει τις προαναφερθείσες ιδιότητες. Συσχετίζει τα προθέματα δικτύου ανάλογα με το πόσο συχνά λαμβάνει για αυτά, μηνύματα δρομολόγησης από το πρωτόκολλο BGP σε ένα προκαθορισμένο χρονικό παράθυρο. Ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης (clustering algorithm) κατηγοριοποιεί, βάσει επιλεγμένων μετρικών παραμέτρων, τα σύνολα που έχουν προκύψει από το πρώτο βήμα σε μεγαλύτερες ομάδες προθεμάτων και σχηματίζει μια ιεραρχική δενδρική δομή, που περιγράφει τη συσχέτιση μεταξύ των προθεμάτων. Ειδικότερα, η λειτουργία της μεθόδου αυτής μπορεί να αναχθεί στα εξής διακριτά βήματα:

- i. Συλλογή μηνυμάτων του πρωτοκόλλου BGP που φέρουν πληροφορία δρομολόγησης. Κάθε τέτοιο μήνυμα περιλαμβάνει τη χρονική στιγμή που

λήφθηκε από το δρομολογητή, καθώς και πληροφορίες για διάφορα προθέματα δικτύου.

- ii. Κβάντιση του χρόνου σε διακριτά χρονικά παράθυρα τιμής T και ομαδοποίηση των προθεμάτων για τα οποία λαμβάνεται μήνυμα δρομολόγησης σε κάθε χρονικό παράθυρο.
- iii. Υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης για κάθε ζεύγος προθεμάτων δικτύου και μεταφορά των αποτελεσμάτων σε μια ιεραρχική δενδρική δομή. Η πολυπλοκότητα χρόνου του αλγορίθμου είναι τάξης $O(n^2 \log n)$.
- iv. Έλεγχος της ορθότητας του δένδρου που σχηματίστηκε στο βήμα (iii), μέσω δεδομένων που εξήχθησαν από εκτελέσεις του προγράμματος `traceroute`, προς κόμβους που ανήκουν στα δίκτυα του βήματος i .

Η εφαρμογή μεθόδων ομαδοποίησης οδηγεί σε τοπολογίες πιο ακριβείς από αυτές που προκύπτουν αποκλειστικά από την εποπτεία των μηνυμάτων δρομολόγησης BGP. Επιπλέον, μπορεί να καθοδηγήσει την επιλογή των προορισμών που θα χρησιμοποιήσουν τα – βασισμένα στο πρόγραμμα `traceroute` – εργαλεία χαρτογράφησης, με απώτερο στόχο την εύρεση περισσότερων διασυνδέσεων δρομολογητών και τη μείωση του φόρτου δικτυακής κίνησης στα δίκτυα υπό μέτρηση.

1.4 Ομαδοποίηση διεπαφών δρομολογητή

Τα IP μονοπάτια που εξάγονται από το πρόγραμμα `traceroute` ή άλλα προγράμματα παρόμοιας λειτουργίας, αποτελούνται από τις διευθύνσεις δικτύου των διεπαφών των δρομολογητών που μεσολαβούν μεταξύ του κόμβου πηγής και των κόμβων προορισμού. Ωστόσο, κάθε δρομολογητής περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο διεπαφές με έγκυρες διευθύνσεις δικτύου (IPv4 ή IPv6). Είναι επομένως φυσικό, τα IP μονοπάτια να περιλαμβάνουν περισσότερες της μίας διεπαφές για ένα δρομολογητή (multiple aliases). Το γεγονός αυτό οφείλεται στους εξής δύο λόγους:

- i. Πολιτικές δρομολόγησης, ασφάλειας και κατανομής φόρτου που θέτει η διαχειριστική αρχή ενός αυτόνομου συστήματος (π.χ. το κύριο (main) και εναλλακτικό (backup) IP μονοπάτι, προς κάποιο κόμβο προορισμού ενός ISP, επικαλύπτονται).
- ii. Καταναμημένα στιγμιότυπα ενός προγράμματος χαρτογράφησης και εποπτείας δικτύων ανακαλύπτουν το δρομολογητή από διαφορετικά IP μονοπάτια (και επομένως διαφορετικές διεπαφές).

Η ομαδοποίηση των διεπαφών ενός δρομολογητή (alias resolution) χρήζει μείζονος σημασίας για τη δημιουργία χαρτών που ανταποκρίνονται στην πραγματική τοπολογία ενός δικτύου.

Η συσχέτιση των διεπαφών που ανήκουν σε ένα δρομολογητή, βάσει των διευθύνσεων δικτύου και των προθεμάτων στα οποία αυτές αντιστοιχούν, κάθε άλλο παρά επαρκής είναι. Οι διευθύνσεις δικτύου των διεπαφών ενός δρομολογητή μπορεί να ανήκουν σε εντελώς διαφορετικά προθέματα δικτύου (π.χ. 86.23.123.8/30 και 132.1.1.32/27). Κάτι τέτοιο είναι σύνηθες σε δρομολογητές που συνδέουν αυτόνομα συστήματα, οπότε και κάθε διεπαφή υπόκειται σε ανεξάρτητη διαχείριση. Από το ίδιο πρόβλημα πάσχει και η ομαδοποίηση των διεπαφών βάσει του ονόματος υπολογιστή υπηρεσίας (DNS name), που αντιστοιχεί στη διεύθυνση δικτύου τους.

Η ομαδοποίηση των διεπαφών για κάθε δρομολογητή είναι ένα περίπλοκο πρόβλημα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι πιο δημοφιλείς τεχνικές αντιμετώπισης *alias probing* και *APAR*, καθώς και η μέθοδος που υλοποιεί το εργαλείο *Ally*.

Η τεχνική alias probing [6] υλοποιείται στο εργαλείο *iffinder* και στο πρόγραμμα χαρτογράφησης Mercator, το οποίο αναλύεται στην παράγραφο 2.2. Βασίζεται σε μια επιθυμητή λειτουργία (αλλά όχι απαιτούμενη) των υλοποιήσεων του πρωτοκόλλου IP. Σύμφωνα με αυτή, αποστέλλεται ένα πακέτο UDP μη υπαρκτής θύρας (η θύρα UDP δεν ανταποκρίνεται σε κάποια ενεργή υπηρεσία του δρομολογητή) στη διεπαφή *A* ενός δρομολογητή *R*. Το πακέτο αυτό χαρακτηρίζεται στη ξενόγλωσση βιβλιογραφία ως *alias probe*. Ο δρομολογητής *R* θα απαντήσει με ένα πακέτο τύπου **ICMP port unreachable** και θα θέσει σαν διεύθυνση δικτύου πηγής (source address), τη διεύθυνση δικτύου της διεπαφής από την οποία εξέρχεται το πακέτο. Αν αυτή η διεύθυνση αντιστοιχεί σε μια διεπαφή *B* διαφορετική από την *A*, τότε οι διεπαφές *A* και *B* ανήκουν στον ίδιο δρομολογητή. Οι συγγραφείς του [6] επιβεβαιώνουν την υλοποίηση της λειτουργίας αυτής σε τουλάχιστον δύο κύριους κατασκευαστές δρομολογητών.

Παράλληλα, το πρόγραμμα Mercator υιοθετεί δύο συμπληρωματικές ενέργειες που βελτιώνουν το τελικό αποτέλεσμα. Η πρώτη συνίσταται στην επαναλαμβανόμενη αποστολή alias probes προς τις διεπαφές των δρομολογητών και είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις, όπου η αλλαγή πολιτικών διαχείρισης του δικτύου οδηγεί στην ύπαρξη εναλλακτικών IP μονοπατιών προς ένα κόμβο προορισμού. Η δεύτερη χρησιμοποιεί alias probes μέσω δρομολόγησης πηγής. Η δρομολόγηση πηγής οδηγεί στην εύρεση διασυνδέσεων δρομολογητών και επομένως διεπαφών, τις οποίες οι πίνακες δρομολόγησης αποκρύπτουν, με φυσικό επακόλουθο την καλύτερη ομαδοποίηση των διεπαφών.



Εικόνα 1.4 ♦ (a) Η αποστολή alias probe στη διεπαφή *A* του δρομολογητή, οδηγεί στην εύρεση της διεπαφής *B* που ανήκει στον ίδιο δρομολογητή. (b) Παράδειγμα alias probe με δρομολόγηση πηγής. Ο δρομολογητής δεξιά του κόμβου πηγής (Mercator) δεν προωθεί το alias probe στο δρομολογητή *A*. Η ύπαρξη του δρομολογητή με δυνατότητα δρομολόγησης πηγής διορθώνει αυτό το πρόβλημα.

Στα μειονεκτήματα της τεχνικής alias probing και των παραλλαγών της, συγκαταλέγεται το γεγονός, πως πολύ λίγοι δρομολογητές δρομολογούν τα πακέτα **ICMP port unreachable** μέσω διαφορετικής - από την εισερχόμενη - διεπαφής για τα alias probes. Επιπλέον, μόνο ένα ελάχιστο υποσύνολο των δρομολογητών του Internet υποστηρίζει δρομολόγηση πηγής. Άλλωστε, η διαδικασία εύρεσης δρομολογητών που υποστηρίζουν δρομολόγηση πηγής, είναι από μόνη της χρονοβόρα ως διαδικασία.

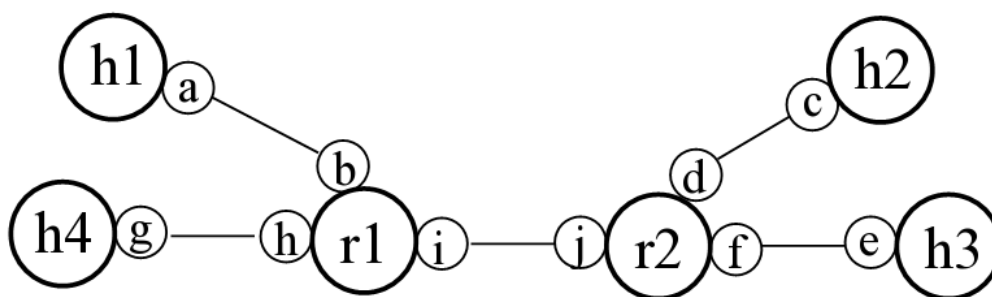
Μια εναλλακτική πρόταση για την επίλυση του προβλήματος ομαδοποίησης των διεπαφών ενός δρομολογητή, είναι η Αναλυτική Μέθοδος Ομαδοποίησης

Διεπαφών με Χρήση Διευρενητικών Πακέτων (*Analytical and Probe-based Alias Resolver – APAR*). Η μέθοδος *APAR* δεν απαιτεί την ενεργό συμμετοχή των δρομολογητών στην προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος (όπως η μέθοδος *alias probing*) και περιορίζεται στην επεξεργασία των IP μονοπατιών, που κατέγραψαν προγράμματα παρόμοια του *traceroute*. Επομένως, μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια παθητική διαδικασία, καθώς δεν δημιουργεί επιπλέον φόρτο στο υπό μέτρηση δίκτυο.

Η λειτουργία της μεθόδου *APAR* χωρίζεται σε δύο διακριτά βήματα:

- i. Ανάλυση των διευθύνσεων δικτύου που απαρτίζουν τα καταγεγραμμένα IP μονοπάτια και εύρεση υποψηφίων υποδικτύων (*subnets*), που θα μπορούσαν να ομαδοποιήσουν τις διευθύνσεις αυτές (βάσει των οδηγιών καταμερισμού διευθύνσεων δικτύου – RFC 2050).
- ii. Ομαδοποίηση των διεπαφών των δρομολογητών βάσει του υποσυνόλου των έγκυρων υποδικτύων.

Για την καλύτερη παρουσίαση της μεθόδου *APAR*, παρατίθεται το ακόλουθο παράδειγμα.



Εικόνα 1.5 ♦ Παράδειγμα τοπολογίας δύο δρομολογητών που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός /30 υποδικτύου (σύνδεση σημείο προς σημείο).

Έστω η ανωτέρω τοπολογία δικτύου (βλέπε Εικόνα 1.5). Οι κόμβοι που συμβολίζονται με $h1, \dots, h4$ είναι υπολογιστές υπηρεσίας, οι $r1, r2$ είναι δρομολογητές και $a, b, c, d, r, f, g, h, i, j$ είναι οι διευθύνσεις δικτύου των διεπαφών τους. Υποθέτουμε ότι οι δρομολογητές στέλνουν τα μηνύματα **ICMP TTL Exceeded** από εκείνη τη διεπαφή που βρίσκεται πιο κοντά στον προορισμό. Τότε, οι εκτελέσεις του προγράμματος *traceroute* από τους κόμβους $h1$ και $h2$ προς τους $h3$ και $h4$ αντίστοιχα, επιστρέφει τα εξής IP μονοπάτια:

- a. (a, b, j, e)
- b. (g, i, d, c) – Σημειώνεται αντίστροφα για την τήρηση της συσχέτισης με την τοπολογία της Εικόνας 1.5.

Η μέθοδος *APAR* διαπιστώνει καθ' αναλογία με το βήμα i που προαναφέρθηκε ότι οι διευθύνσεις i, j ανήκουν στο ίδιο /30 υποδίκτυο (η ανάλυση του τρόπου είναι εκτός στόχων της παρούσας διπλωματικής) και συμπεραίνει ότι οι διεπαφές b, i και j, d ανήκουν στους δρομολογητές $r1$ και $r2$ αντίστοιχα.

Η προαναφερθείσα διαδικασία γενικεύεται ώστε να αντιμετωπίζει όχι μόνο διασυνδέσεις σημείου προς σημείο, αλλά και διασυνδέσεις πολλαπλής πρόσβασης (*multi-access links*). Τα κύρια μειονεκτήματα της, εστιάζονται στην απαίτηση ύπαρξης πολλών IP μονοπατιών αντίθετης κατεύθυνσης, για την αποκάλυψη γειτονικών διεπαφών, καθώς και στην εξάρτηση της από τα IP μονοπάτια που προέρχονται από προγράμματα παρόμοια του *traceroute*. Η τελευταία

παρατήρηση αφορά την περίπτωση ύπαρξης πολιτικών κατανομής φορτίου, όπου το `traceroute` αποτυγχάνει να βρει έγκυρα IP μονοπάτια (βλέπε ενότητα 1.5).

Το εργαλείο *Ally* υλοποιεί μια ενδιαφέρουσα μέθοδο για την ανεύρεση διεπαφών που ανήκουν στον ίδιο δρομολογητή. Συγκεκριμένα, για κάθε ζεύγος διεπαφών στέλνει `alias probes`, όμοια με τα προγράμματα `Mercator` και `iffinder`. Συλλέγει τα μηνύματα **ICMP Port Unreachable** που αποτελούν απάντηση στα `alias probes` και καταγράφει τις τιμές για το πεδίο IP Identifier της επικεφαλίδας του πρωτοκόλλου IP. Η σειρά με την οποία έλαβε τα μηνύματα **ICMP Port Unreachable**, καθορίζει τη σειρά αποστολής των νέων `alias probes` κατά την επανάληψη της μέτρησης. Αν η διαφορά των τιμών του πεδίου IP Identifier είναι πάλι επαρκής ($|IP_ID_1 - IP_ID_2| < 200$), τότε οι εν λόγω διεπαφές ανήκουν στον ίδιο δρομολογητή.

Η μέθοδος αυτή υστερεί στο χρόνο που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος, αφού χρειάζεται η αποστολή ενός σημαντικά μεγάλου αριθμού `alias probes` ($O(n^2)$ για n διεπαφές). Επιπρόσθετα, η μέθοδος αυτή υποθέτει ότι ο δρομολογητής υλοποιεί ένα μετρητή για την αρίθμηση του πεδίου IP Identifier, κοινό για όλες τις διεπαφές του. Υπάρχουν όμως δρομολογητές που είτε θέτουν ψευδοτυχαίες τιμές στο πεδίο **IP Identifier**, ή το αγνοούν, με αποτέλεσμα η ομαδοποίηση των διεπαφών να αποτυγχάνει.

Μια πρόσφατη πρόταση μοντελοποιεί γραμμικά το ρυθμό αύξησης της τιμής του πεδίου IP Identifier στην πάροδο του χρόνου, για κάθε γνωστή διεπαφή. Διεπαφές με όμοιους ρυθμούς αύξησης έχουν μεγάλη πιθανότητα να ανήκουν στον ίδιο δρομολογητή. Η σημασία της πρότασης αυτής έγκειται στη μείωση της πολυπλοκότητας από $O(n^2)$ σε $O(n)$.

1.5 Πολιτικές ασφαλείας και κατανομής φόρτου

Οι προηγούμενες παράγραφοι περιγράφουν τα κυριότερα προβλήματα που έχουν να αντιμετωπίσουν τα προγράμματα χαρτογράφησης και εποπτείας για το Internet. Η διαρκής προσπάθεια για αποδοτική διακίνηση δεδομένων στο διαδίκτυο, με ασφάλεια και ακεραιότητα, έχει ως επακόλουθο την καθιέρωση χρήσης πολιτικών ασφαλείας (`security policies`) και κατανομής φόρτου (`load balancing`). Μολονότι η εφαρμογή τους είναι αναγκαία για ένα εύρωστο και λειτουργικό διαδίκτυο, δυσχεραίνει την προσπάθεια εξαγωγής λεπτομερών τοπολογιών που να αναπαριστούν πιστά το μετρούμενο δίκτυο.

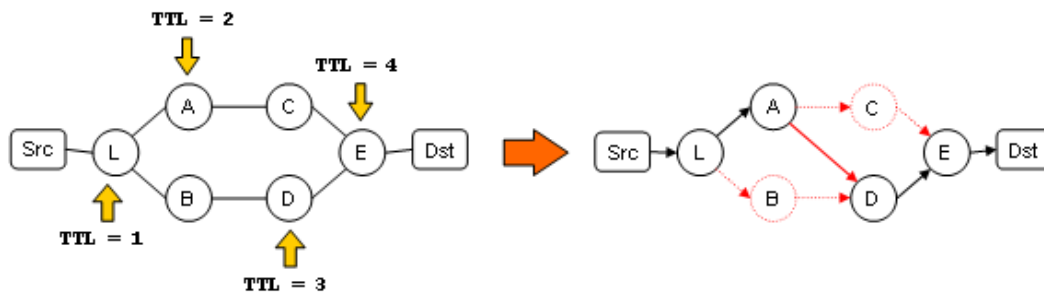
Οι πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου πολλές φορές φιλτράρουν τα διερευνητικά πακέτα που στέλνουν τα εργαλεία χαρτογράφησης, με αποτέλεσμα να αποκρύπτουν πληροφορίες δρομολόγησης. Επιπλέον, απενεργοποιούν τη δυνατότητα δρομολόγησης πηγής, για να εκμηδενίσουν επιθέσεις τύπου IP Spoofing. Τα μέτρα αυτά περιορίζουν τις διασυνδέσεις που μπορούν να ανακαλύψουν τα προγράμματα χαρτογράφησης και οδηγούν σε ανακριβείς τοπολογίες.

Η κατανομή φόρτου μεταξύ των δρομολογητών αποσκοπεί στην ταχύτερη και αποδοτικότερη διακίνηση των δεδομένων. Υπάρχουν τρία είδη κατανομής του όγκου δεδομένων:

- i. Κατανομή ανά πακέτο (`per packet`)
- ii. Κατανομή ανά τύπο ροής πακέτων (`per flow`)
- iii. Κατανομή ανά προορισμό (`per destination`)

Η επιλογή του τύπου κατανομής φόρτου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τον κατασκευαστή του δρομολογητή, το λειτουργικό σύστημα που είναι εγκατεστημένο και την παραμετροποίηση (configuration) που θα επιλέξει η διαχειριστική αρχή του δικτύου. Η χρήση μιας πολιτικής κατανομής φόρτου δημιουργεί εναλλακτικά μονοπάτια προς ένα κόμβο προορισμού. Τα προγράμματα χαρτογράφησης, που βασίζονται στη λειτουργία τους στην τυπική έκδοση του προγράμματος traceroute, αδυνατούν να ανακαλύψουν πραγματικούς κόμβους και διασυνδέσεις, ενώ μπορεί να εξάγουν λανθασμένα IP μονοπάτια.

Το παράδειγμα που ακολουθεί αποσαφηνίζει το προαναφερθέν πρόβλημα.



Εικόνα 1.6 ♦ Ανεπάρκεια του προγράμματος traceroute σε συνθήκες κατανομής φόρτου

Έστω η άνω αριστερά τοπολογία. Ο δρομολογητής L πραγματοποιεί κατανομή φορτίου για τον προορισμό Dst μέσω των δρομολογητών A και B . Στο αριστερό σχήμα φαίνονται οι κόμβοι που ανακαλύπτει το πρόγραμμα traceroute για αυξανόμενες τιμές του πεδίου TTL, βάσει της πολιτικής κατανομής φορτίου που υλοποιεί ο L , μέχρι να φτάσει στον κόμβο προορισμού. Το εξαγόμενο IP μονοπάτι του δεξιού σχήματος, δεν ανταποκρίνεται σε κάποιο πραγματικό IP μονοπάτι.

Για την καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος που θέτουν οι πολιτικές κατανομής φόρτου, έχει προταθεί μια βελτιωμένη εκδοχή του προγράμματος traceroute, που ονομάζεται Paris traceroute. Το Paris traceroute τροποποιεί τα πεδία της επικεφαλίδας των διερευνητικών πακέτων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται η αποστολή πακέτων για ένα κόμβο προορισμού μέσω του ίδιου IP μονοπατιού. Ακόμα, είναι σε θέση να αναγνωρίσει αν χρησιμοποιείται κατανομή φόρτου ανά πακέτο, ή ανά τύπο ροής. Λόγω της τυχαίας φύσης της κατανομής φόρτου ανά πακέτο, δεν κατορθώνει να ανακαλύπτει όλα τα IP μονοπάτια, σε οποιαδήποτε περίπτωση. Όμως, τα αποτελέσματα της εκτέλεσής του υπερτερούν έναντι της τυπικής έκδοσης του traceroute.

1.6 Επιλογή κόμβων προορισμού και κατανομή κόμβων εποπτείας

Ο χάρτης ενός δικτύου, σε επίπεδο δρομολογητών, είναι ένας γράφος $G(V,E)$. Οι κόμβοι του αναπαριστούν δρομολογητές και οι ακμές χαρακτηρίζουν διασυνδέσεις μεταξύ γειτονικών δρομολογητών. Η πλειοψηφία των προγραμμάτων χαρτογράφησης βασίζεται σε εκτελέσεις του προγράμματος traceroute, προς μια λίστα κόμβων προορισμού. Τα εξαγόμενα IP μονοπάτια αποτελούν είσοδο σε μια σειρά εργαλείων και αλγορίθμων, που επιλύουν προβλήματα όπως η ομαδοποίηση διεπαφών των δρομολογητών και οδηγούν σταδιακά στο σχηματισμό του γράφου $G(V,E)$ που περιγράφει το μετρούμενο δίκτυο. Καθίσταται λοιπόν προφανής η σημασία της

σωστής επιλογής των κόμβων προορισμού, για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των μετρήσεων και τη δημιουργία χαρτών ακριβείας. Η επιλογή των κόμβων προορισμού διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την τυχαιότητα της μεθόδου επιλογής που χρησιμοποιείται.

Στην πρώτη κατηγορία, η επιλογή των κόμβων προορισμού γίνεται από μία ή περισσότερες βάσεις δεδομένων, όπως πίνακες δρομολόγησης, *Σύστημα Ονομασίας Τομέων* (Domain Names System, DNS), προκαθορισμένες λίστες υπολογιστών υπηρεσίας που πληρούν ορισμένα χαρακτηριστικά, κ.ά. Μια από τις πρώτες απόπειρες χαρτογράφησης του διαδικτύου [7] προσπάθησε να ανακαλύψει τα IP μονοπάτια προς 5000 κόμβους προορισμού, από ένα μόνο κόμβο εποπτείας. Η προκαθορισμένη λίστα κόμβων προορισμού αποτελούνταν από το σύνολο των υπολογιστών υπηρεσίας, που έστειλαν μήνυμα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e-mail) σε ένα συγκεκριμένο οργανισμό (έτος 1995). Παρόμοια τακτική ακολουθεί και το εργαλείο *Skitter* (βλέπε ενότητα 3.1.1), το οποίο χρησιμοποιεί μια λίστα εξυπηρετητών Web ως κόμβους προορισμού. Εναλλακτική αντιμετώπιση αποτελεί η εύρεση κόμβων προορισμού από τους πίνακες δρομολόγησης του πρωτοκόλλου BGP.

Η χρήση βάσεων δεδομένων για την επιλογή των κόμβων προορισμού είναι μια λύση μικρής πολυπλοκότητας. Ωστόσο, οι κόμβοι που θα επιλεγθούν, αποτελούν ένα μικρό μόνο υποσύνολο του συνολικού αριθμού κόμβων στο διαδίκτυο και οδηγούν σε απλοποιημένες τοπολογίες. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει την τυχαία επιλογή κόμβων προορισμού από το ολικό εύρος διευθύνσεων δικτύου. Η μεθοδολογία αυτή οδηγεί σε πολύ ακριβείς τοπολογίες, αλλά αυξάνει δραματικά την υπολογιστική πολυπλοκότητα των υλοποιήσεων και δημιουργεί σημαντικό φόρτο στα τμήματα του δικτύου που μετρώνται.

Την τρίτη κατηγορία αποτελούν ευρετικές μέθοδοι που συνδυάζουν στοιχεία από τις δύο προηγούμενες. Οι μέθοδοι αυτές επιλέγουν ψευδοτυχαία τους κόμβους προορισμού, χρησιμοποιώντας παράλληλα τεχνάσματα που καθοδηγούν την ανεύρεση υποψήφιων κόμβων προς επιλογή, σε υποσύνολα του ολικού εύρους διευθύνσεων δικτύου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μέθοδος *informed random access probing* (IRAP) [4], που υλοποιήθηκε και στο πρόγραμμα χαρτογράφησης Mercator. Η IRAP προσπαθεί να βρει προθέματα δικτύου, τα οποία να περιλαμβάνουν κόμβους με έγκυρη διεύθυνση δικτύου (addressable nodes) και έπειτα επιλέγει τυχαία κόμβους μέσα από τα προθέματα αυτά. Η διαδικασία με την οποία καθοδηγείται η εύρεση των επιθυμητών προθεμάτων δικτύου (για αυτό χαρακτηρίζεται και ως informed), στηρίζεται στις εξής δύο τεχνικές:

- i. Αν ένας κόμβος προορισμού με διεύθυνση δικτύου A απαντήσει στα διερευνητικά πακέτα του κόμβου εποπτείας, τότε κάποιο πρόθεμα της διεύθυνσης A θα πρέπει να περιέχει κόμβους με έγκυρη διεύθυνση δικτύου.
- ii. Αν ένα πρόθεμα δικτύου περιλαμβάνει έγκυρους κόμβους, τότε είναι πιθανόν και τα γειτονικά προθέματα δικτύου να περιλαμβάνουν έγκυρους κόμβους.

Ο αλγόριθμος της μεθόδου IRAP περιγράφεται αναλυτικότερα στην ενότητα 3.2

Η επιλογή των κόμβων προορισμού είναι μια κρίσιμη διαδικασία για κάθε πρόγραμμα χαρτογράφησης. Εξίσου σημαντική όμως είναι και η κατανομή των κόμβων εποπτείας που εκτελούν τις μετρήσεις. Όσο αποδοτική και να είναι η τεχνική επιλογής κόμβων προορισμού, η διεξαγωγή μετρήσεων από ένα μόνο κόμβο εποπτείας μειώνει την ακρίβεια της χαρτογράφησης. Αυτό συμβαίνει γιατί ανακαλύπτονται IP μονοπάτια μόνο προς την κατεύθυνση διάδοσης των δεδομένων, με συνέπεια να μην καταγράφονται αρκετές διασυνδέσεις.

Μία πρώτη προφανής λύση είναι η δημιουργία ενός κατανεμημένου συστήματος μετρήσεων, με την εγκατάσταση κόμβων εποπτείας σε θέσεις με ιδιαίτερα τοπολογικά χαρακτηριστικά. Αντίθετα, μια εναλλακτική προσέγγιση εμμένει στη χρήση ενός κόμβου εποπτείας και μεγεθύνει την “εικόνα” δικτύου που έχει, με τη χρήση δρομολογητών που υποστηρίζουν δρομολόγηση πηγής.

Και οι δύο λύσεις παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα. Η πρώτη αυξάνει την πολυπλοκότητα των μετρήσεων, καθώς εξελίσσει ένα πρόγραμμα χαρτογράφησης σε μια υποδομή μετρήσεων. Σε αυτή την περίπτωση ανακύπτουν επιπλέον θέματα σχεδίασης, όπως η συγκεντρωτική συλλογή των επιμέρους μετρήσεων και ο συγχρονισμός των κόμβων εποπτείας, καθώς και πολλά άλλα. Από την άλλη, μόνο ένα μικρό ποσοστό των δρομολογητών υποστηρίζουν δρομολόγηση πηγής, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1.5.

1.7 Χαρτογράφηση και οπτικοποίηση

Το διαδίκτυο σαν οντότητα αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό διασυνδεδεμένων αυτόνομων συστημάτων. Η διαχειριστική αρχή του κάθε αυτόνομου συστήματος μπορεί να εποπτεύει τη λειτουργία του σε πραγματικό χρόνο, αλλά δεν γνωρίζει την κατάσταση των υπολοίπων. Η ύπαρξη χαρτών αναπαράστασης του διαδικτύου θα μπορούσε να προσφέρει μια πλήρη “εικόνα” συνδεσιμότητας με πολλές πρακτικές και θεωρητικές εφαρμογές.

Καταρχήν, τα δεδομένα που απαιτούνται για τη δημιουργία χαρτών είναι πολύτιμα για την ανάπτυξη εμπειρικών μοντέλων, που θα προσομοιώνουν τη λειτουργία του διαδικτύου. Η ύπαρξη ενός χάρτη διαδικτύου θα συνέβαλε στη θωράκιση του από επιθέσεις, αφού θα προσδιόριζε την πηγή των επιθέσεων και τη διαφοροποίηση της συνδεσιμότητας που αυτές συνεπάγονται (οι συγγραφείς του [13] υποδεικνύουν πώς γίνεται εφικτή η εύρεση υπολογιστών υπηρεσίας που εκκινούν επιθέσεις τύπου IP Spoofing, από τη γνώση της υπάρχουσας τοπολογίας). Συνακόλουθα, θα επέτρεπε την άμεση παρατήρηση της συνδεσιμότητας των επιμέρους αυτόνομων συστημάτων, θα αναγνώριζε σημαντικές αλλαγές σε πολιτικές δρομολόγησης και θα παρουσίαζε την μεταβολή της κατάστασής του σε αντιπαραβολή με τις υπάρχουσες πολιτικές, κοινωνικές και φυσικές συνθήκες.

Βέβαια, η ύπαρξη τέτοιων χαρτών, πιθανώς να συντελούσε (αρχικά τουλάχιστον) στην πρόκληση περισσότερο ενημερωμένων επιθέσεων, αφού ο καθένας θα μπορούσε εύκολα να αναγνωρίσει τις αδύναμες περιοχές του Internet. Μακροπρόθεσμα όμως, η πλήρης και αναλυτική χαρτογράφηση αποτελεί αρωγό για ένα εύρωστο και ασφαλές Internet.

Η ανάπτυξη σύγχρονων και καινοτόμων προγραμμάτων οπτικοποίησης (visualization tools) ενισχύει την προσπάθεια χαρτογράφησης και εποπτείας του διαδικτύου (λεπτομερέστερη ανάλυση ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο). Διευκολύνει τη γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων του διαδικτύου και αποτελεί ένα ακόμα εργαλείο στα χέρια της ερευνητικής κοινότητας, για την εξέλιξη της χαρτογράφησης του διαδικτύου.

Κεφάλαιο 2

Εργαλεία Χαρτογράφησης Και Εποπτείας Internet

Έως τώρα έχουν υλοποιηθεί αρκετά εργαλεία χαρτογράφησης και εποπτείας του Internet. Τα εργαλεία αυτά, παρουσιάζουν διαφορές στην αρχιτεκτονική τους, στις τεχνικές σχεδίασης λογισμικού που χρησιμοποιούν, καθώς και στην προσέγγιση που ακολουθούν, όσον αφορά τον όρο “εποπτεία δικτύου”. Στο παρόν κεφάλαιο θα επικεντρώσουμε τα εργαλεία Skitter, Mercator, NetDimes και PingER.

2.1 Μακροσκοπική Τοπολογία (CAIDA)

Ο CAIDA (Cooperative Association for Internet Data Analysis) ξεκίνησε το πρόγραμμα της Μακροσκοπικής Τοπολογίας του Internet το 1998. Κύριοι στόχοι του προγράμματος είναι:

- Η μοντελοποίηση της μακροσκοπικής λειτουργίας, συμπεριφοράς, χρησιμοποίησης και εξέλιξης της υποδομής του Internet.
- Η ενίσχυση ενός περιβάλλοντος συνεργασίας, με απώτερο στόχο την ανάλυση και κοινοποίηση των δεδομένων που συλλέχθηκαν.
- Η βελτίωση της ακεραιότητας του επιστημονικού πεδίου του Internet.
- Η αξιοποίηση των ερευνών από τις επιστημονικές και κοινωνικές αρχές.

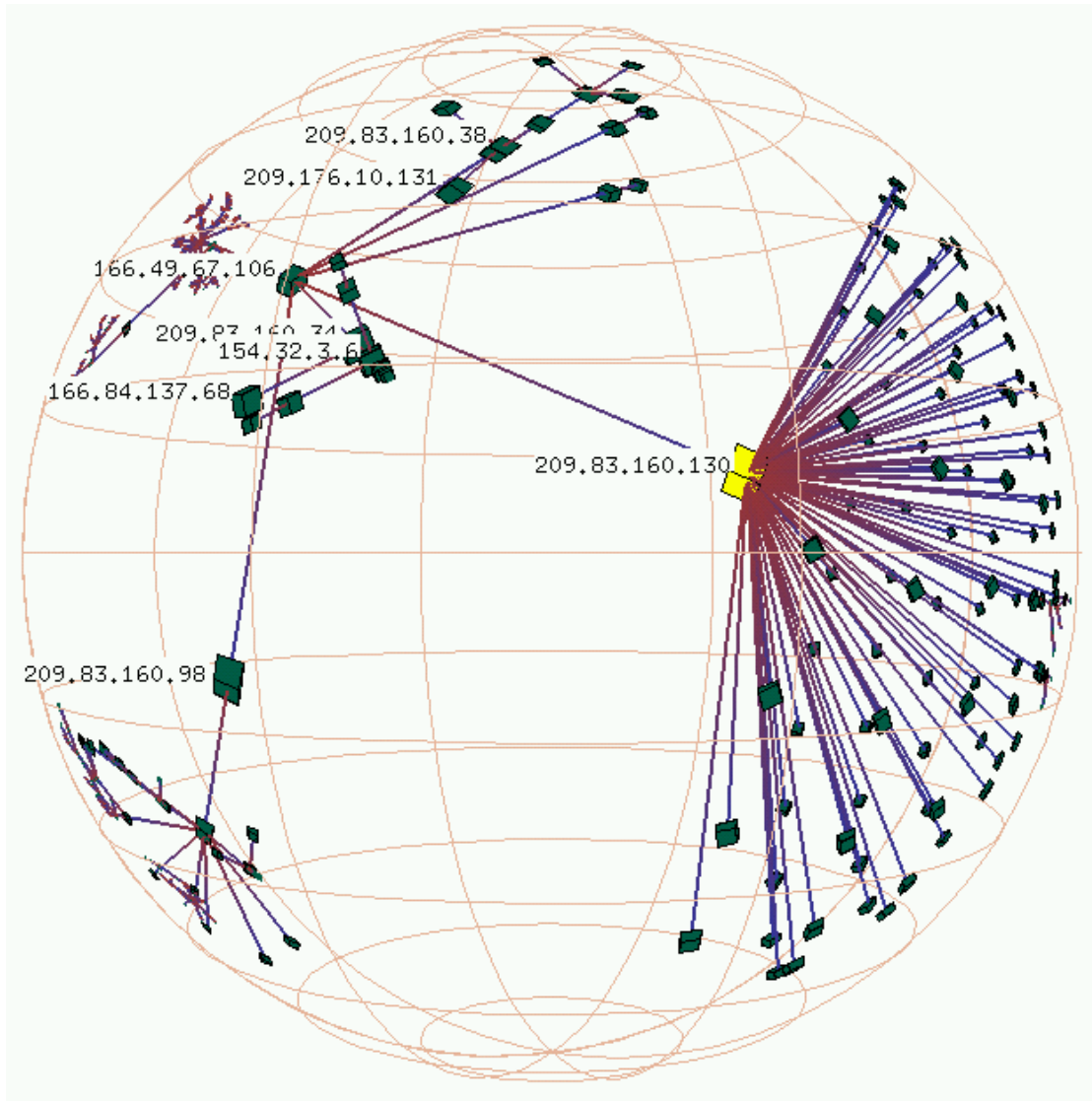
Το πρόγραμμα της Μακροσκοπικής Τοπολογίας στηρίζεται σε πολλά εργαλεία λογισμικού, καθένα από τα οποία επιτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες. Η παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφει τα εργαλεία *Skitter* και *Archipelago*, που ανήκουν στην κατηγορία των μετρήσεων.

2.1.1 Skitter

Ο *Skitter* αποτελεί ένα ιδιαίτερο εργαλείο λογισμικού του προγράμματος της Μακροσκοπικής Τοπολογίας και έχει εγκατασταθεί σε αρκετά σημεία σε παγκόσμια γεωγραφική κλίμακα. Κύρια λειτουργία του αποτελεί η εύρεση της ακολουθίας R_i των δρομολογητών, που μεσολαβούν από τον υπολογιστή εγκατάστασης του Skitter ως τον κόμβο προορισμού, καθώς επίσης και η καταγραφή των χρόνων διαδρομής μετ’ επιστροφής (*RTT*) για κάθε δρομολογητή που ανήκει στην ακολουθία R_i . Ο αριθμός εκτελέσεων της προαναφερθείσας διαδικασίας για κάθε προορισμό εξαρτάται πρωτίστως, από το συνολικό αριθμό κόμβων προορισμού που βρίσκονται στη λίστα του Skitter και δευτερευόντως, από τις συνθήκες που επικρατούν στο Internet σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα δεδομένα, που συλλέγει το κάθε στιγμιότυπο του προγράμματος Skitter, αποθηκεύονται σε μεμονωμένα αρχεία ανά ημέρα.

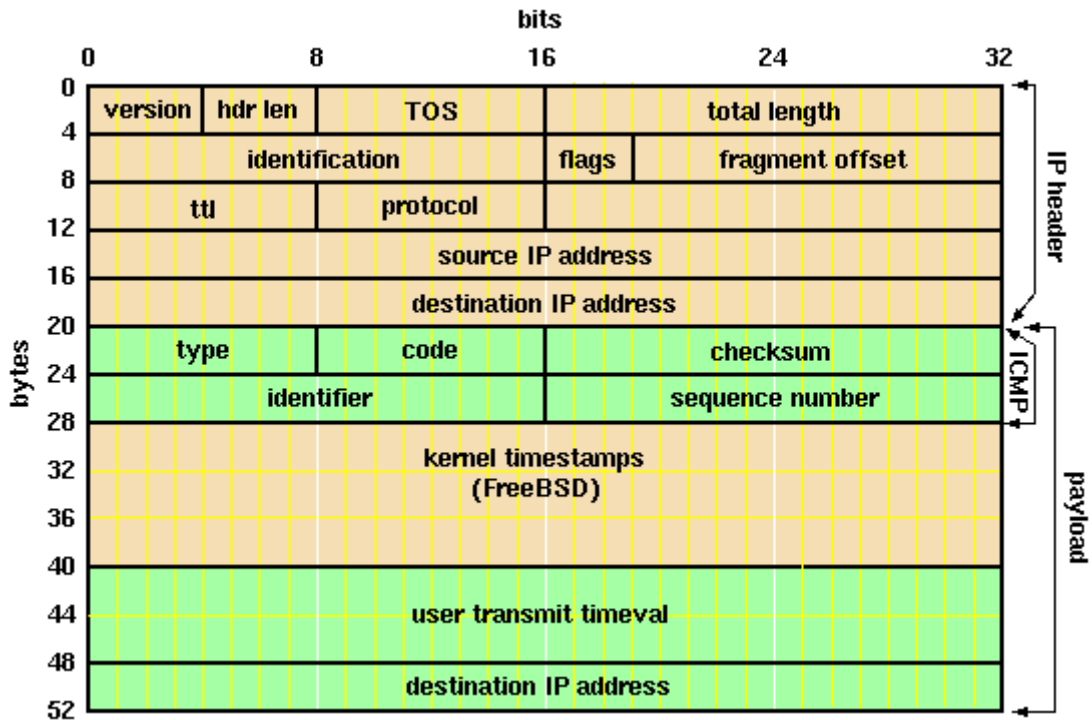
Τα συγκεντρωτικά αρχεία δεδομένων, που προκύπτουν από όλα τα στιγμιότυπα του Skitter, χαρακτηρίζουν τη μακροσκοπική συνδεσιμότητα και απόδοση του Internet, επιτρέπουν ποικίλες τοπολογικές και γεωγραφικές αναπαραστάσεις σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες και αποτελούν πολύτιμη είσοδο σε διάφορα εμπειρικά μοντέλα που περιγράφουν τις ιδιότητες και τη λειτουργία του Internet. Ειδικότεροι στόχοι της συλλογής δεδομένων του Skitter είναι οι εξής:

- Εύρεση IP μονοπατιών προς μια λίστα προορισμών: Ο Skitter καταγράφει κάθε δρομολογητή που μεσολαβεί από τον υπολογιστή πηγής στον κόμβο προορισμού, αυξάνοντας κατά ένα την τιμή του πεδίου time-to-live (TTL) στην επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου IP.
- Μέτρηση χρόνου διαδρομής μετ' επιστροφής (RTT): Ο Skitter συλλέγει τους χρόνους διαδρομής μετ' επιστροφής που σχετίζονται με κάθε IP κόμβο στέλνοντας μηνύματα τύπου **ICMP Echo Request**.
- Καταγραφή μόνιμων αλλαγών δρομολόγησης πακέτων: Τα δεδομένα που συλλέγει ο Skitter μπορούν να αποτελέσουν ένδειξη μόνιμων αλλαγών στη δρομολόγηση πακέτων. Σύσχετιση των μετρήσεων των χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής, με τη χρονική στιγμή που λήφθηκαν, μπορεί να αποκαλύψει αλλαγή στην πολιτική δρομολόγησης και προς τις δύο κατευθύνσεις κίνησης των πακέτων.
- Οπτικοποίηση συνδεσιμότητας δικτύου: Τα δεδομένα που προκύπτουν από τον Skitter συνιστούν ένα κατευθυνόμενο γράφο, ο οποίος περιγράφει τις διασυνδέσεις ενός υπολογιστή πηγής προς ένα σύνολο κόμβων προορισμού. Η κοινοποίηση των δεδομένων αυτών σε κατάλληλα εργαλεία οπτικοποίησης συνεπάγεται την αναπαράσταση του κατευθυνόμενου γράφου σε εικόνα και επομένως, ταχύτερη και ευκολότερη εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου.



Εικόνα 2.1 ♦ Δείγμα οπτικοποίησης δεδομένων που συνέλεξε ο Skitter.

Για τη βελτίωση της ακρίβειας μέτρησης των χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής, ο CAIDA τροποποίησε τον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος FreeBSD, με το οποίο είναι εφοδιασμένος ο υπολογιστής υπηρεσίας στον οποίο είναι εγκατεστημένος ο Skitter. Μολονότι η νέα χρονοσήμανση (βλ. Εικόνα 2.2) είναι ανεπαρκής για μετρήσεις προς τη μία μόνο κατεύθυνση και για λεπτομερή συσχέτιση των μετρήσεων που καταγράφουν τα διάφορα στιγμιότυπα του προγράμματος Skitter, μπορεί να προσφέρει ενδείξεις μεταβλητότητας στην απόδοση κατά μήκος της υποδομής του Internet. Η σύγκριση των δεδομένων που προκύπτουν από διάφορες πηγές μέτρησης (υπολογιστές εφοδιασμένους με τον Skitter), μπορεί να αναγνωρίσει σημεία συμφόρησης στη διαδικτυακή κίνηση και να προσδιορίσει περιοχές που χρειάζονται αναβάθμιση στην υποδομή τους, όπως υπαγορεύει η έννοια του Digital Divide.



Εικόνα 2.2 ♦ Η νέα χρονοσήμανση που υλοποιείται στο λειτουργικό σύστημα FreeBSD καταλαμβάνει τα 12 πρώτα bytes του ωφέλιμου φορτίου των μηνυμάτων **ICMP Echo Request**.

Προκειμένου ο Skitter να αποτυπώνει στα δεδομένα που συλλέγει αλλαγές στο IP μονοπάτι από ένα κόμβο-πηγή σε ένα κόμβο-προορισμό, πρέπει να καταγράφει τις διαφορές που ανακύπτουν ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εκτελέσεις. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την εύρεση του IP μονοπατιού, θα πρέπει να είναι μικρό, ώστε να αποκτάται μια στιγμιαία εικόνα του σε δεδομένη χρονική στιγμή. Επιπλέον, ο Skitter πρέπει να ανακαλύπτει ένα μεγάλο αριθμό IP μονοπατιών σε μικρό χρονικό διάστημα, γεγονός που σημαίνει ότι η εύρεση των επιμέρους μονοπατιών πρέπει να γίνεται παράλληλα. Οι απαιτήσεις για μικρό χρόνο εύρεσης IP μονοπατιού και εύρεση μεγάλου αριθμού IP μονοπατιών σε μικρό χρόνο έρχονται σε αντίθεση και απαιτείται κάποιος συμβιβασμός.

Για αυτό ακριβώς το λόγο, ο Skitter χρησιμοποιεί το πρόγραμμα **Route Views**. Το πρόγραμμα Route Views συγκεντρώνει δεδομένα από τους πίνακες δρομολόγησης BGP μιας πλειάδας παροχών υπηρεσιών διαδικτύου. Οι πίνακες δρομολόγησης BGP υποδεικνύουν την ακολουθία αυτόνομων συστημάτων που θα διασχίσει ένα πακέτο από ένα δεδομένο δρομολογητή προς το πρόθεμα δικτύου στο οποίο ανήκει η διεύθυνση προορισμού. Το αυτόνομο σύστημα που τερματίζει το AS μονοπάτι για ένα δεδομένο πρόθεμα δικτύου, είναι διαχειριστικά υπεύθυνο για το πρόθεμα αυτό και ονομάζεται αυτόνομο σύστημα προέλευσης. Ο Skitter χρησιμοποιεί τα δεδομένα από τους πίνακες δρομολόγησης BGP για να αντιστοιχήσει την IP διεύθυνση του προορισμού στο αυτόνομο σύστημα προέλευσης (αναφορά σε source routing).

Οι μετρήσεις που έχουν καταγραφεί από τα στιγμιότυπα του προγράμματος Skitter, αποτελούν ένα από τα πιο εκτενή αρχεία δεδομένων για την Μακροσκοπική Τοπολογία του Internet. Είναι διαθέσιμα στην ερευνητική κοινότητα και αποτελούν βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη και προσομοίωση εμπειρικών μοντέλων για το Internet. Ωστόσο, παρουσιάζουν αρκετούς έμφυτους περιορισμούς.

Η εύρεση της ακολουθίας των δρομολογητών που συνιστούν το IP μονοπάτι προς ένα κόμβο προορισμού, καθώς επίσης και η καταγραφή των χρόνων διαδρομής

μετ' επιστροφής, βασίζονται στο πρωτόκολλο ICMP και στα μηνύματα τύπου **Echo Request** & **Echo Reply** που στέλνει και λαμβάνει αντίστοιχα το πρόγραμμα Skitter. Αν το πρωτόκολλο ICMP φιλτράρεται για λόγους ασφαλείας σε ενδιαμέσους δρομολογητές, τότε οι μετρήσεις αποτυγχάνουν, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ωφέλιμη πληροφορία από το συγκεκριμένο στιγμιότυπο του Skitter.

Η χρήση λογισμικών ελέγχου προσπέλασης (firewalls) και η μετάφραση ιδιωτικής διεύθυνσης δικτύου (NAT), ως μέσα εφαρμογής πολιτικών ασφαλείας, περιορίζουν το εύρος διευθύνσεων δικτύου που θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στη λίστα προορισμών του Skitter.

Ένα υποσύνολο των προορισμών που βρίσκονται στην αντίστοιχη λίστα του Skitter, έχει διευθυνσιοδοτηθεί από το πρωτόκολλο δυναμικής παραμετροποίησης υπολογιστή υπηρεσίας (DHCP). Συνεπώς, η συσχέτιση μεταξύ διεύθυνσης δικτύου και κόμβου είναι τυχαία και προσωρινή, με φυσικό επακόλουθο τη μηδαμινή αξία των συγκεκριμένων μετρήσεων από άποψη τοπολογίας.

Η χρησιμότητα των δεδομένων που προκύπτουν από τους πίνακες δρομολόγησης BGP είναι μικρή. Δεν μπορούν να καταγράψουν τις μικρές χρονικά μεταβολές στα μονοπάτια των αυτόνομων συστημάτων, ούτε να ανακαλύψουν μονοπάτια AS από τα οποία είτε δεν περνούν δεδομένα ή υπόκεινται σε πολιτικές κατανομής δικτυακού φόρτου (load balancing).

2.1.2 Archipelago

Το *Archipelago* (Ark) αποτελεί τη νέα υποδομή μετρήσεων που ανέπτυξε ο CAIDA, ως εξέλιξη της υποδομής Skitter. Πρόκειται για μια κατανομημένη πλατφόρμα μετρήσεων που αποσκοπεί στην αποδέσμευση της ανάπτυξης εργαλείων μετρήσεων και εποπτείας του Internet, από θέματα ασφαλείας, συλλογής δεδομένων, κατανομημένης λειτουργίας, κ.ά.

Βασικά σημεία της αρχιτεκτονικής της υποδομής Ark, είναι η αντικατάσταση του εργαλείου μετρήσεων Skitter από το Scamper και η υλοποίηση μιας κατανομημένης διαμοιραζόμενης συσχετιστικής μνήμης για το συντονισμό των διαφόρων εργαλείων μέτρησης.

Το Scamper είναι ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο μετρήσεων, το οποίο υποστηρίζει τα πρωτόκολλα IPv4 & IPv6, καθώς και τα προγράμματα ping και traceroute. Επιπρόσθετα, μπορεί να πραγματοποιήσει μετρήσεις βασισμένες στα πρωτόκολλα ICMP, TCP, UDP και περιλαμβάνει διαφοροποιημένες εκδόσεις του προγράμματος Paris traceroute, για την εύρεση IP μονοπατιών όταν ανακλύπουν περιπτώσεις load balancing.

Η σημαντικότερη καινοτομία της υποδομής Ark, είναι η υλοποίηση μιας κατανομημένης διαμοιραζόμενης συσχετιστικής μνήμης (tuple space), εφοδιασμένης με ένα απλό σύνολο λειτουργιών. Η μνήμη αυτή είναι οργανωμένη σε πίνακες (tuples), ταξινομημένες συλλογές τιμών διάφορων τύπων δεδομένων. Η πρόσβαση στα tuples γίνεται με την τεχνική της ομαδοποίησης προτύπων (pattern matching).

Για την ομαδοποίηση των διεπαφών ενός δρομολογητή, το Ark ενοποιεί τις τρεις μεθόδους που αναφέρονται στα εργαλεία Mercator, Ally και ARAP.

2.2 Mercator

Το πρόγραμμα Mercator αποτελεί μια από τις πιο εντατικές προσπάθειες χαρτογράφησης του Internet. Χρησιμοποιεί διερευνητικά πακέτα UDP

προκαθορισμένης τιμής για το πεδίο *TTL* της επικεφαλίδας IP, τεχνική όμοια με το πρόγραμμα *traceroute*. Το πρόγραμμα *Mercator* δεν απαιτεί δεδομένα εισόδου, γεγονός που του επιτρέπει να αναπτυχθεί σε οποιαδήποτε αυθαίρετη τοποθεσία.

Εν αντιθέσει με την πλειοψηφία των προγραμμάτων χαρτογράφησης και εποπτείας του Internet, οι προορισμοί στους οποίους στέλνονται τα διερευνητικά πακέτα UDP, δεν εξάγονται από κάποια βάση δεδομένων (π.χ., πίνακες δρομολόγησης, DNS, προκαθορισμένη λίστα προορισμών). Το *Mercator* υιοθετεί μια ευρετική μέθοδο, με την ονομασία *informed random address probing*, που του υποδεικνύει τους προορισμούς προς διερεύνηση με μοναδικό δεδομένο εισόδου την IP διεύθυνση του υπολογιστή εγκατάστασης. Αναλυτικότερα, η ευρετική *informed random address probing* βασίζεται στις εξής προτάσεις:

- i. Αν A είναι η IP διεύθυνση ενός κόμβου, τότε το πρόθεμα δικτύου P για την IP διεύθυνση A εξαρτάται από την τάξη (class) της A .
- ii. Αν A είναι η IP διεύθυνση ενός κόμβου που ανταποκρίνεται στα διερευνητικά πακέτα UDP που αποστέλλει το *Mercator*, τότε κάποιο πρόθεμα P της διεύθυνσης A είναι πιθανόν να περιλαμβάνει κόμβους με έγκυρες διευθύνσεις IP.
- iii. Αν P είναι ένα πρόθεμα δικτύου που περιλαμβάνει έγκυρα διευθυνσιοδοτημένους κόμβους, τότε είναι πιθανόν και τα γειτονικά προθέματα δικτύου να περιλαμβάνουν τέτοιους κόμβους (π.χ. τα προθέματα $128.8/16$ & $128.10/16$ είναι γειτονικά προθέματα του $128.9/16$).
 - Η πρόταση (i) βασίζεται σε πολιτικές καταμερισμού IP διευθύνσεων που ίσχυαν πριν την καθιέρωση της *Αταξικής Διατομεακής Δρομολόγησης* (classless interdomain routing).
 - Η πρόταση (iii) βασίζεται στην υπόθεση ότι οι καταμερισμός των διευθύνσεων IP, από τους αρμόδιους φορείς, γίνεται ακολουθιακά.

Το πρόγραμμα *Mercator* εξάγει την IP διεύθυνση του υπολογιστή εγκατάστασης, καθώς και το αντίστοιχο πρόθεμα δικτύου. Η διαδοχική εκτέλεση των βημάτων (ii) & (iii) οδηγεί στη σταδιακή αύξηση του πληθυσμού των προθεμάτων δικτύου. Η επιλογή του προθέματος δικτύου στην πρόταση (ii) γίνεται ως εξής:

- Αν η διαδικασία του βήματος (ii) δεν αυξήσει το πλήθος των προθεμάτων δικτύου σε ένα χρονικό παράθυρο T , το *Mercator* επιλέγει το γειτονικό πρόθεμα ενός προθέματος δικτύου P που υπάρχει ήδη στη λίστα.
- Η επιλογή του προθέματος P πραγματοποιείται με ένα *lottery scheduling αλγόριθμο* (τυχαίου χρονοπρογραμματισμού). Δυνατότητα επιλογής έχουν τα προθέματα εκείνα, για τα οποία τουλάχιστον ένα γειτονικό πρόθεμα δεν βρίσκεται στον ήδη υπάρχων πληθυσμό. Η χρήση του *lottery scheduling αλγόριθμου* ευνοεί τα προθέματα που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό έγκυρων κόμβων, επιταχύνοντας τη διαδικασία χαρτογράφησης.

Κατά τη διαδικασία αποστολής διερευνητικών πακέτων με αυξανόμενο *TTL* προς τους επιλεγμένους προορισμούς, το *Mercator* καταγράφει τις ακολουθίες δρομολογητών που ανακαλύπτει, καθώς και τις μεταξύ τους διασυνδέσεις. Επιπρόσθετα, για να βελτιώσει την ταχύτητα της διαδικασίας χαρτογράφησης και να μειώσει τον όγκο κίνησης που προκαλείται από τα πακέτα UDP, το *Mercator* υλοποιεί τις δύο ακόλουθες τεχνικές:

- i. Έστω $\{R_1, R_2, \dots, R_k, \dots, R_n\}$, η ακολουθία δρομολογητών που προκύπτει από ένα στιγμιότυπο εκτέλεσης του προγράμματος *Mercator*, προς ένα

προορισμό του προθέματος P , και R_k ο μεγαλύτερος σε απόσταση από την αρχή δρομολογητής που έχει ανακαλυφθεί σε προηγούμενη εκτέλεση. Τότε, το Mercator καταγράφει το δρομολογητή R_k και την αντίστοιχη τιμή TTL_k , και για τις υπόλοιπες εκτελέσεις του προγράμματος ως προς το πρόθεμα P , χρησιμοποιεί αρχική τιμή TTL ίση με TTL_k . Σε περίπτωση όπου ο δρομολογητής που αντιστοιχεί στην τιμή TTL_k είναι διάφορος του R_k , το Mercator αντιστρέφει τη διαδικασία ανακάλυψης της IP διαδρομής μειώνοντας το TTL μέχρι την τιμή 1.

- ii. Ένα νέο διερευνητικό πακέτο UDP δεν αποστέλλεται πριν το Mercator λάβει απάντηση για το αμέσως προηγούμενο.

Η αποστολή διερευνητικών πακέτων προς κάποιον προορισμό διακόπτεται αν αποτύχει κάποιος ενδιάμεσος σταθμός ή αν αναγνωρισθεί κύκλος στο IP μονοπάτι. Οι δύο αυτές συνθήκες τερματισμού είναι συμπληρωματικές εκείνων που υλοποιούνται στο πρόγραμμα traceroute και είναι επαρκείς, αφού η χαρτογράφηση του Internet από τη σκοπιά του Mercator ανάγεται στην ανακάλυψη διασυνδέσεων γειτονικών δρομολογητών.

Η μη κατανεμημένη αρχιτεκτονική του προγράμματος Mercator, έχει ως συνέπεια να μην ανακαλύπτονται αρκετές διασυνδέσεις δρομολογητών. Για αυτό τον σκοπό, το Mercator εκμεταλλεύεται την ύπαρξη στο Internet δρομολογητών με δυνατότητα δρομολόγησης πηγής (source-routing).

Για κάθε ένα δρομολογητή που ανακαλύπτει με την ευρετική μέθοδο που προαναφέρθηκε, προσπαθεί να εκμαιεύσει ένα μήνυμα **ICMP Port Unreachable** ως απάντηση σε ένα source-routed πακέτο, που απευθύνεται σε τυχαίο δρομολογητή και τυχαία θύρα UDP. Αν λάβει τέτοιο πακέτο από τον υπό εξέταση δρομολογητή, τον καταγράφει σαν δρομολογητή εφοδιασμένο με τη λειτουργικότητα δρομολόγησης-πηγής και τον χρησιμοποιεί για την αποστολή source-routing διερευνητικών πακέτων.

Η ομαδοποίηση των διεπαφών ενός δρομολογητή αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα που ανακύπτουν κατά τη χαρτογράφηση του Internet. Η αντιμετώπιση του είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας.

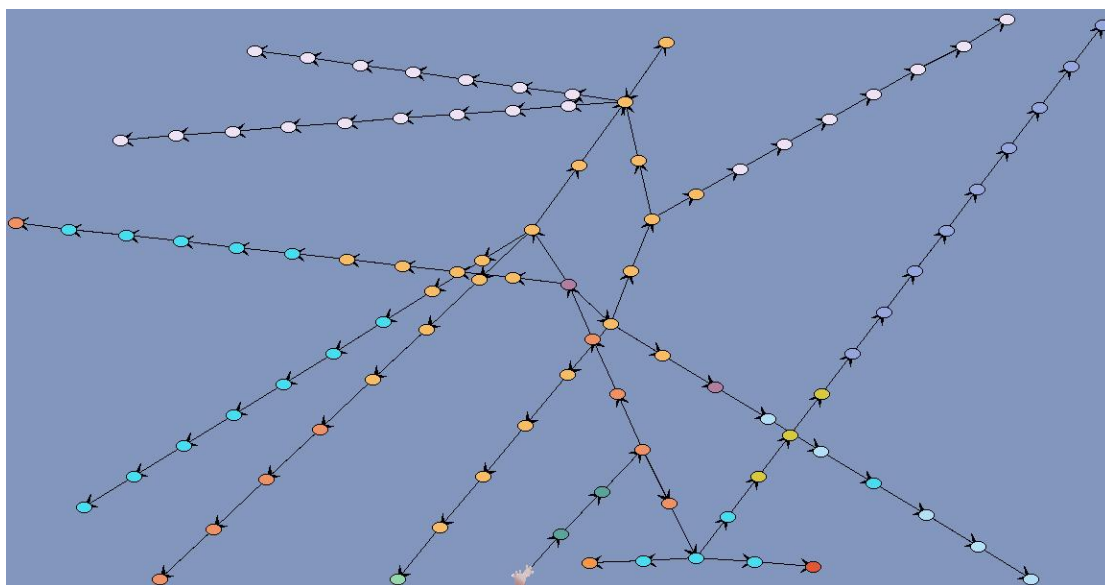
Το Mercator υλοποιεί μια απλή ευρετική μέθοδο για την επίλυση του προαναφερθέντος προβλήματος. Η μέθοδος αυτή, στηρίζεται σε μια προτεινόμενη λειτουργία των υλοποιήσεων του πρωτοκόλλου IP. Αναλυτικά, το Mercator στέλνει ένα UDP πακέτο μη υπαρκτής θύρας UDP (alias probe) σε μια διεπαφή A ενός δρομολογητή. Αν λάβει μήνυμα τύπου **ICMP Port Unreachable**, του οποίου η IP διεύθυνση προορισμού, προς τον υπολογιστή που είναι εγκατεστημένο το Mercator, είναι B , τότε το Mercator συμπεραίνει ότι οι διεπαφές A και B ανήκουν στον ίδιο δρομολογητή. Επιπλέον, το Mercator χρησιμοποιεί source-routed alias probes και συνεχή αποστολή πακέτων τύπου alias probe, για να μεγιστοποιήσει τον αριθμό ομαδοποιημένων διεπαφών ανά δρομολογητή.

Από την ανάλυση που προηγήθηκε, προκύπτει ότι το Mercator προσφέρει μια χρονικά μεσοσταθμική τοπολογία του Internet και δεν ενδείκνυται για τη δημιουργία στιγμιαίων χαρτών. Επιπλέον δεν μπορεί να ανακαλύψει διασυνδέσεις μεταξύ των οποίων δεν ανταλλάσσεται κίνηση και δεν μπορεί να ανακαλύψει αλλαγές που πραγματοποιούνται σε μικρό χρονικό παράθυρο.

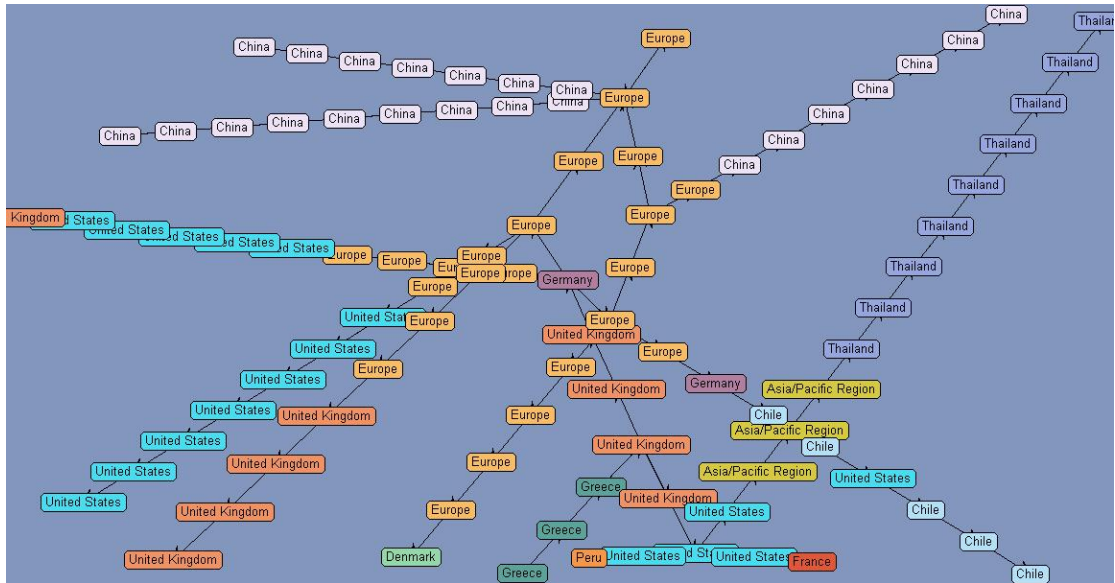
2.3 NetDimes

Το Dimes είναι ένα καταναμημένο επιστημονικό πρόγραμμα ερευνητικού περιεχομένου, επιφορτισμένο με τη μελέτη της δομής και της τοπολογίας του Internet. Στηρίζεται στη βοήθεια μιας κοινότητας εθελοντών, που εγκαθιστούν τον πράκτορα (agent) Dimes σε υπολογιστές με συνδεσιμότητα στο Internet. Η αρχιτεκτονική του βασίζεται στην υπόθεση ότι ο μόνος αποδοτικός τρόπος χαρτογράφησης και εποπτείας του Internet, είναι η κατανομή του φόρτου σε πολλαπλές οντότητες που δρουν παράλληλα, από διαφορετικές θέσεις, για την εξαγωγή ενός ενιαίου αποτελέσματος. Η λειτουργία του προγράμματος Dimes έχει ως βάση το πρόγραμμα traceroute και η μεθοδολογία με την οποία εξάγεται η πλήρης (*full mesh*) τοπολογία που μοντελοποιεί το Internet είναι παρόμοια με προγράμματα όπως το SETI@Home (<http://setiathome.berkeley.edu>).

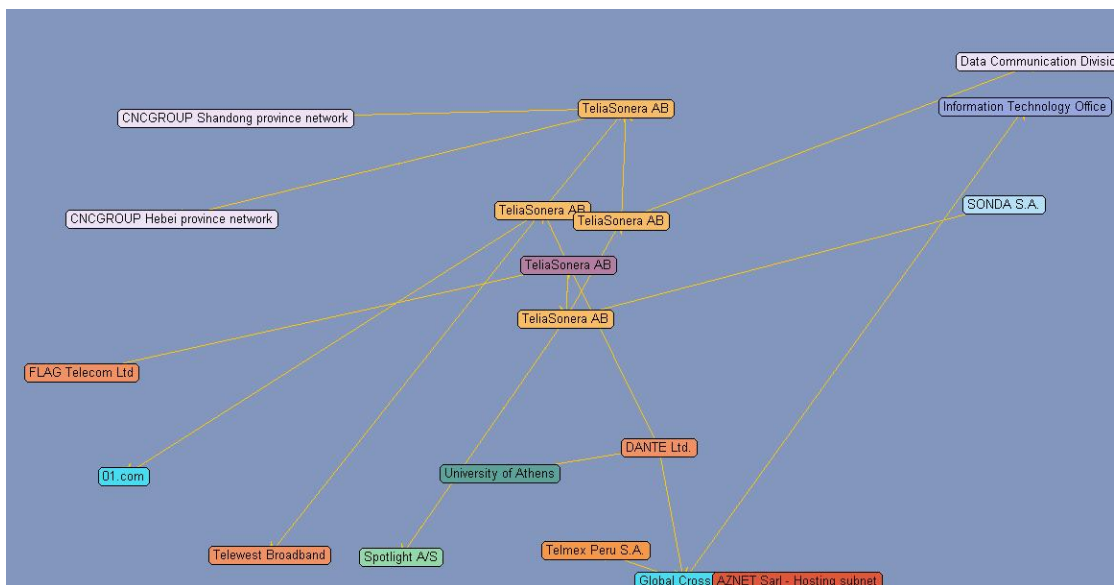
Κάθε πράκτορας Dimes έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει, από ένα κεντρικό εξυπηρετητή, εντολές εκτέλεσης των προγραμμάτων ping και traceroute προς προκαθορισμένους προορισμούς. Παράλληλα, δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να διερευνήσει τις διαδρομές IP προς προορισμούς της επιλογής του, καθώς επίσης και να προγραμματίσει πειράματα μετρήσεων σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές μέσω της κονσόλας που διαθέτει. Μέσω της προαναφερθείσας διαδικασίας, ο πράκτορας Dimes σχηματίζει ένα τοπικό δένδρο συνδεσιμότητας, με κορυφή τον υπολογιστή στον οποίο είναι εγκατεστημένος. Επιπρόσθετα, δημιουργεί μία γραφική αναπαράσταση των διασυνδέσεων IP που συνιστούν το δένδρο συνδεσιμότητας, συνοδευόμενες από το αυτόνομο σύστημα και τη χώρα που υπάγονται.



Εικόνα 2.3 ♦ Δένδρο συνδεσιμότητας Η/Υ του Ε.Κ.Π.Α, όπως προέκυψε από τοπική εκτέλεση του πράκτορα **Dimes** στο εργαστήριο NETMODE του Ε. Μ. Π.



Εικόνα 2.4 ♦ Το δένδρο συνδεσιμότητας της εικόνας 2.3 επιλυμένο ως προς τη γεωγραφική θέση των δρομολογητών από την σκοπιά του εργαστηρίου NETMODE του Ε. Μ. Π..

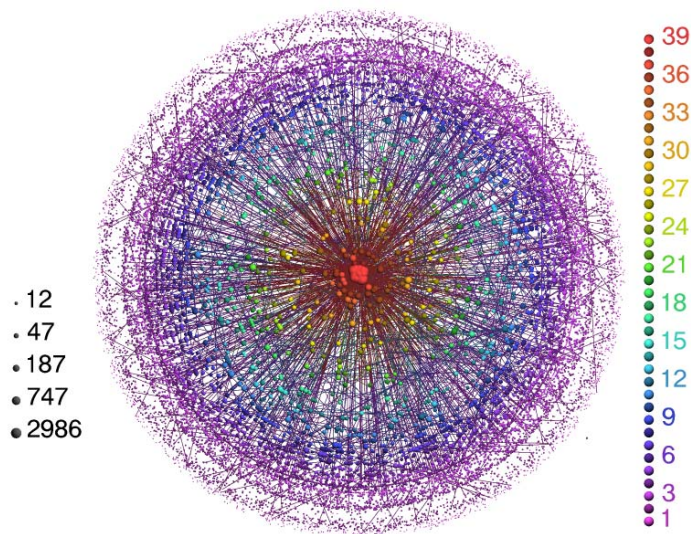


Εικόνα 2.5 ♦ Συμπυκνωμένη σχηματική αναπαράσταση του δένδρου συνδεσιμότητας της εικόνας 2.3 σε επίπεδο αυτόνομων συστημάτων (εικόνα από το εργαστήριο NETMODE του Ε. Μ. Π.).

Σε τοπικό επίπεδο, ο πράκτορας Dimes λειτουργεί ως πρόγραμμα προφύλαξης οθόνης (screensaver), εκμεταλλευόμενος τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) αδρανεύει. Οι μετρήσεις που πραγματοποιεί, μέσω των προγραμμάτων traceroute και ping, δημιουργούν δικτυακή κίνηση της τάξης του 1KB/s. Συνεπώς, καθίσταται προφανές πως η λειτουργία του πράκτορα Dimes δεν επιβαρύνει τους υπολογιστικούς και δικτυακούς πόρους του συστήματος στο οποίο είναι εγκατεστημένος.

Τα δεδομένα που συλλέγει κάθε πράκτορας Dimes αποστέλλονται περιοδικά σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή. Η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων αυτών χρήζει μείζονος σημασίας για πολλούς ερευνητικούς σκοπούς, όπως:

- Μοντελοποίηση Internet σε επίπεδο δρομολογητών.
- Μοντελοποίηση Internet σε επίπεδο αυτόνομων συστημάτων με τη συνδρομή βάσεων δεδομένων IRR (Internet Route Registries), που επιλύουν τη διεύθυνση IP των κόμβων στο αυτόνομο σύστημα όπου και ανήκουν.
- Ανάλυση της τοπολογίας του Internet με τη γνωστή, από τη θεωρία γραφημάτων, μέθοδο αποσύνθεσης k -πυρήνων (k -core decomposition), που επιτρέπει
 - i. την εγκαθίδρυση μιας ιεραρχικής και αυτο-όμοιας (self-similar) δομής για το Internet
 - ii. και την οπτικοποίηση της τοπολογίας του δικτύου σε επίπεδο δρομολογητών ή αυτόνομων συστημάτων.
- Ανάπτυξη δυναμικών μοντέλων και μετρικών παραμέτρων που θα περιγράφουν την εξέλιξη του Internet.



Εικόνα 2.6 ♦ Σχηματική αναπαράσταση (πρόγραμμα *LaNet-vi*) του Internet σε επίπεδο αυτόνομων συστημάτων από τα δεδομένα του προγράμματος Dimes. Οι κόμβοι είναι ταξινομημένοι ως προς το δείκτη k -πυρήνα (δεξιά λεζάντα).

Εν τέλει, αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα Dimes περιλαμβάνει την πρώτη προσπάθεια τετραδιάστατης οπτικοποίησης του Internet, όπως αυτό προκύπτει από τα δεδομένα που συλλέγουν οι πράκτορες Dimes. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται εφικτή η παρακολούθηση αλλαγών στο Internet με ευκολία και σαφήνεια.

2.4 PingER

Το πρόγραμμα PingER, συντονισμένο από τους οργανισμούς *Network Monitoring Task Force* και *Standing Committee on Interregional Connectivity (SCIC) of the International Committee for Future Accelerators (ICFA)*, αποτελεί μια από τις πρώτες υποδομές μετρήσεων που αποσκοπούν στη μέτρηση της απόδοσης του Internet από άκρο σε άκρο. Το πρόγραμμα PingER συνοδεύουν εργαλεία εύρεσης IP μονοπατιών, καθώς και εργαλεία ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται.

Ο PingER βασίζεται τη λειτουργία του στο πρόγραμμα ping. Το πρόγραμμα ping περιλαμβάνει την αποστολή ενός πακέτου **ICMP echo request** προς έναν απομακρυσμένο κόμβο ενδιαφέροντος, και την απάντηση αυτού με ένα πακέτο **ICMP**

echo reply. Επιπλέον, υπάρχει η προαιρετική δυνατότητα πρόσθεσης στο πακέτο **ICMP echo request** ωφέλιμου φορτίου δεδομένων, το οποίο επιστρέφεται στο πακέτο **ICMP echo reply**.

Η λίστα προορισμών που χρησιμοποιεί ο PingER προκύπτει από το συγκερασμό ενός συνόλου κόμβων που χρήζουν ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για την οντότητα που εγκαθιστά το πρόγραμμα και μιας προκαθορισμένης λίστας κόμβων που ορίζεται από τη διαχειριστική ομάδα του PingER.

Για κάθε κόμβο προορισμού που ανήκει στη λίστα, ο PingER εκτελεί το πρόγραμμα `traceroute` 11 φορές με ωφέλιμο φορτίο 100 bytes και 11 φορές με φορτίο 1000 bytes. Το χρονικό διάστημα μεταξύ 2 διαδοχικών εκτελέσεων τίθεται ίσο με 1 δευτερόλεπτο. Οι μετρήσεις που προκύπτουν από την πρώτη εκτέλεση του `ping` απορρίπτονται, καθώς μπορεί να επιβαρύνονται χρονικά από διεργασίες `caching` του λειτουργικού συστήματος. Το προκαθορισμένο άνω χρονικό όριο για το οποίο το πρόγραμμα `ping` αναμένει απάντηση ορίζεται σε 20 δευτερόλεπτα, ώστε να καλυφθεί και η περίπτωση ύπαρξης δορυφορικών διασυνδέσεων.

Η κίνηση που δημιουργεί ο PingER είναι μικρή, ωστόσο επαρκής για χρήσιμα συμπεράσματα. Τα δεδομένα που συλλέγουν οι κόμβοι που είναι εφοδιασμένοι με τον PingER αποστέλλονται μέσω **CGI** (Common Gateway Interface) σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή. Τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα στην παγκόσμια ερευνητική κοινότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση τιμών μιας πλειάδας μετρικών παραμέτρων, ορισμένες από τις οποίες είναι οι εξής:

- Ελάχιστη, μέση & μέγιστη τιμή χρόνου διαδρομής μετ' επιστροφής (RTT)
- Ποσοστό απώλειας πακέτων %
- Θόρυβος
- Διακύμανση χρόνου διαδρομής μετ' επιστροφής
- Αδυναμία προσπέλασης
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομενογραμμάτων TCP

Οι προαναφερθείσες μετρικές παράμετροι αναλύονται εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 3

Σύστημα Μέτρησης Ψηφιακού Χάσματος

Όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, η μέτρηση του Ψηφιακού Χάσματος παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες λόγω εγγενών τεχνικών ή μη τεχνικών ζητημάτων. Η απουσία ενός πλαισίου εργασίας (framework) εφοδιασμένου με ένα αναγκαίο και ικανό σύνολο μετρικών παραμέτρων για την ποσοτικοποίηση του Ψηφιακού Χάσματος, καθιστά ουσιαστικά ανέφικτη την αποτίμησή του.

Καθίσταται πλέον σαφές, πως η δημιουργία ενός τέτοιου πλαισίου εργασίας, είναι το σημαντικότερο βήμα για την αποτίμηση του Ψηφιακού Χάσματος. Η συμβολή ενός πλαισίου εργασίας στην αποτελεσματική (efficient) μελέτη, αποτίμηση και ανάλυση του Ψηφιακού Χάσματος, εξαρτάται αποκλειστικά από την αποτελεσματικότητα των υποκείμενων μετρικών παραμέτρων που θα επιλεγθούν. Το προτεινόμενο framework θα πρέπει να περιλαμβάνει μετρικές παραμέτρους οι οποίες βασίζονται τόσο σε αναλυτικά (μαθηματικά τεκμηριωμένα) όσο και σε εμπειρικά μοντέλα, τα οποία έχουν εξαχθεί κατά τη μακροχρόνια μελέτη του Internet. Επιπλέον, οι μετρικές παράμετροι θα πρέπει να ποικίλλουν ως προς την αναλυτικότητα και τη λεπτομέρεια των μετρήσεων που προσφέρουν, εφοδιάζοντας το πλαίσιο εργασίας με διακριτές βαθμίδες αναλυτικότητας και λεπτομέρειας. Η τελευταία παρατήρηση χρήζει εξέχουσας σημασίας, καθώς μια αρκετά αναλυτική και λεπτομερής μέτρηση απαιτεί συνήθως ανάλογη υποδομή υλικού και λογισμικού, καθώς επίσης και συνεργασία από τη διαχειριστική αρχή των υπό μέτρηση δικτυακών οντοτήτων. Το πλαίσιο εργασίας θα πρέπει να είναι δυναμικό και ευέλικτο ώστε να αποτιμά το Ψηφιακό Χάσμα υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, προσφέροντας παράλληλα τη μέγιστη δυνατή λεπτομέρεια μετρήσεων.

Το κεφάλαιο αυτό αποσκοπεί στην παρουσίαση του πλαισίου εργασίας που προτείνεται για τη μελέτη, αποτίμηση και ανάλυση του Ψηφιακού Χάσματος. Παραθέτονται οι μετρικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται, καθώς και η μεθοδολογία μετρήσεων που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές. Στη συνέχεια, οι μετρικές παράμετροι κατηγοριοποιούνται ως προς τη λεπτομέρεια των πληροφοριών που παρέχουν για ένα *Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Εκπαίδευσης* (National Research and Education Network, NREN). Εν τέλει, αναλύεται η αρχιτεκτονική του λογισμικού συστήματος που υλοποιεί το προτεινόμενο πλαίσιο εργασίας και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του.

3.1 Προτεινόμενες μετρικές παράμετροι

Η ποσοτικοποίηση του Ψηφιακού Χάσματος απαιτεί την ύπαρξη ορισμένων μετρικών παραμέτρων, επωμισμένων με το ρόλο της αξιολόγησης των δυνατοτήτων κάθε ευρωπαϊκού NREN. Η ιεραρχική ταξινόμηση των NRENs, βάσει του μεγέθους του Ψηφιακού Χάσματος, θα επισημάνει το σύνολο εκείνων που υπολείπονται σε επίπεδο σύγχρονων ψηφιακών τεχνολογιών.

Οι προτεινόμενες μετρικές παράμετροι (αναλύονται εκτενώς παρακάτω) έχουν ως στόχο να κάνουν το πλαίσιο εργασίας εφαρμόσιμο στην συντριπτική πλειοψηφία των ευρωπαϊκών NREN. Ο όρος «εφαρμόσιμο» ενθυλακώνει κυρίως την

ανάγκη για πραγματοποίηση αποτελεσματικών μετρήσεων, που θα συμβάλλουν ουσιαστικά στη γενικότερη ποσοτικοποίηση του Ψηφιακού Χάσματος, αντί να προσφέρουν μια εμπειρική ή διαισθητική εκτίμηση του μεγέθους χωρίς καμία αναλυτική αξία.

Για να καταστεί κάτι τέτοιο εφικτό, πραγματοποιήθηκε εκτενής μελέτη των κυριότερων θεμάτων που προκύπτουν κατά τη σχεδίαση προγραμμάτων χαρτογράφησης και εποπτείας του Διαδικτύου και αναλύθηκαν οι αλγόριθμοι και οι τεχνικές που υλοποιούν τα κυριότερα προγράμματα αυτής της κατηγορίας. Η γνώση των έμφυτων περιορισμών που ανακύπτουν κατά την πραγματοποίηση δικτυακών μετρήσεων, συνέβαλε σημαντικά στην επιλογή των καταλληλότερων μετρικών παραμέτρων (η καταλληλότητα των παραμέτρων αναφέρεται στο αρχικό στάδιο σχεδίασης, καθώς η αποτελεσματικότητά τους θα κριθεί από τα εξαγόμενα αποτελέσματα).

Η συστηματική μελέτη του Εθνικού Δικτύου Έρευνας και Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ) επηρέασε τη διαβάθμιση της λεπτομέρειας μέτρησης των διάφορων μετρικών παραμέτρων, καθώς αποτέλεσε ένδειξη του βαθμού συνεργασίας που απαιτείται από την κάθε διαχειριστική οντότητα για την επιτυχή διεξαγωγή των μετρήσεων. Επιπρόσθετα, συντέλεσε στην επιλογή ορισμένων μετρικών παραμέτρων που δεν επιδέχονται απευθείας μέτρηση μέσω κάποιου προγράμματος χαρτογράφησης και εποπτείας Διαδικτύου, αλλά αντίθετα απαιτείται η κοινοποίηση τους από τη διαχειριστική αρχή των υπό μέτρηση δικτυακών οντοτήτων (NREN στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας). Αυτές οι μετρικές παράμετροι θα λειτουργήσουν συμπληρωματικά στην προσπάθεια αποτίμησης του Ψηφιακού Χάσματος

Οι ορισμοί και οι περιγραφές των προτεινόμενων μετρικών παραμέτρων έχουν ως εξής:

1. Αριθμός διασυνδέσεων ενός NREN με άλλα NRENs (Number of links of an NREN to other NRENs)

Ο αριθμός των διασυνδέσεων που φέρει ένα NREN προς άλλα NRENs χαρακτηρίζει την ικανότητά του να μεταδίδει δεδομένα, καθώς επίσης και τη δυνατότητα εγκαθίδρυσης πολιτικής κατανομής φόρτου για την εξερχόμενη δικτυακή κίνηση. Ο συνδυασμός της παραμέτρου αυτής με άλλες κατάλληλες, μπορεί να αποτελέσει χρήσιμη ένδειξη της χρησιμοποίησης και της βελτιστοποίησης ενός δικτύου.

2. Χωρητικότητα εξωτερική διασύνδεσης ενός NREN (NREN's external link capacity)

Μετράει την ολική, μέση και απόλυτη χωρητικότητα των εξερχομένων διασυνδέσεων ενός NREN. Η ολική χωρητικότητα των εξερχομένων διασυνδέσεων είναι ενδεικτική της ονομαστικής ικανότητας ενός NREN να μεταδίδει δεδομένα, ενώ η μέση χωρητικότητα προσφέρει την εξομαλυμένη εκδοχή της. Η απόλυτη χωρητικότητα αντιπροσωπεύει την πραγματική ικανότητα των εξερχομένων διασυνδέσεων στην προώθηση δικτυακής κίνησης σε άλλα NRENs.

3. Χωρητικότητα εσωτερικής διασύνδεσης ενός NREN (NREN's internal link capacity)

Μετράει την ολική, μέση και απόλυτη χωρητικότητα των εισερχομένων διασυνδέσεων ενός NREN. Αν τα NRENs επιθυμούν να αποκτήσουν μια πιο εμπειριστατωμένη άποψη για την κατανομή της χωρητικότητας των διασυνδέσεων τους, η μετρική παράμετρος μπορεί να εφαρμοστεί και στις κρίσιμες εσωτερικές διασυνδέσεις.

4. Κατανομή δικτυακών πόρων για εκπαιδευτικούς σκοπούς (Network resource allocation for educational purposes)

Ο λόγος του εύρους ζώνης που κατανέμεται για εκπαιδευτικούς σκοπούς προς το ολικό εύρος ζώνης μίας χώρας, συμπεριλαμβανομένου και του εύρους ζώνης που διαθέτουν οι πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου, προσδιορίζει τη βαρύτητα του εκπαιδευτικού και ερευνητικού δικτύου για τη χώρα αυτή.

5. Διατηρούμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (Sustainable rate)

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να διατηρηθεί σταθερός μεταξύ δύο NRENs, είναι ιδιαίτερα σημαντικός για εφαρμογές ευαίσθητες στο χρόνο, όπως οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time applications). Επιπρόσθετα, είναι ενδεικτικός της ποιότητας σύνδεσης δύο NRENs.

6. Λόγος της εισερχόμενης κίνησης προς την εξερχόμενη (Ratio of incoming to outgoing traffic)

Ο λόγος της εισερχόμενης κίνησης προς την εξερχόμενη για ένα δίκτυο, δείχνει αν το δίκτυο λειτουργεί ως πηγή πληροφοριών ή ως καταναλωτής. Αν η τιμή του λόγου είναι μικρότερη της μονάδας, δηλαδή η εξερχόμενη κίνηση υπερβαίνει την τιμή της εισερχόμενης, τότε αυτό το NREN θεωρείται σημαντικό για τα γειτονικά του και βρίσκεται υψηλότερα από αυτά στην κλίμακα ταξινόμησης ως προς το Ψηφιακό Χάσμα.

7. Πρόσβαση στις ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες κύριων εκδοτικών κοινοτήτων (Library access to major publishing societies)

Η δυνατότητα εγγραφής σε κύριους εκδοτικούς οργανισμούς, όπως IEEE, ACM, InderScience, είναι ενδεικτική της ικανότητας προσφοράς στους ερευνητές της δυνατότητας να έχουν πρόσβαση στους απαραίτητους ακαδημαϊκούς πόρους.

8. Αριθμός διασυνδέσεων σε συγκεκριμένα NRENs (Direct connections to specific benchmarking NRENs)

Στο πλαίσιο εργασίας που προτείνεται για τη μέτρηση του Ψηφιακού Χάσματος, ορισμένα δίκτυα (Internet2) θεωρούνται ως σημεία αναφοράς. Άμεση ή έμμεση σύνδεση στα δίκτυα αυτά, αναδεικνύει την ικανότητα ποιοτικής πρόσβασης προς αυτά.

9. Αριθμός εκπαιδευτικών ιδρυμάτων συνδεδεμένων σε ένα NREN (Number of schools connected on an NREN)

Η μετρική παράμετρος αυτή δίνεται από το κάθε NREN και προσδιορίζει την ικανότητά του να εφοδιάσει τους μαθητές μιας χώρας με τη δυνατότητα πρόσβασης σε διεθνείς πόρους και κοινότητες.

10. Κόστος ανά Mbps (Cost/Mbps)

Περιγράφει το κόστος της υποδομής ενός NREN κανονικοποιημένο ως προς την ονομαστική χωρητικότητα του δικτύου. Αποτελεί ένδειξη της χρησιμοποίησης των οικονομικών πόρων για τη στρατηγική ανάπτυξη του NREN.

11. Διακύμανση εύρους ζώνης εσωτερικών συνδέσεων (National connections range)

Η μετρική παράμετρος αυτή προσδιορίζει το ελάχιστο, μέσο και μέγιστο εύρος ζώνης των εσωτερικών συνδέσεων ενός NREN. Ως εσωτερικές συνδέσεις, χαρακτηρίζονται εκείνες που συνδέουν τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μιας χώρας με το τοπικό NREN.

12. Γεωγραφική κατανομή χωρητικότητας (Capacity geographic distribution)

Η μετρική παράμετρος αυτή περιγράφει το ποσοστό του συνολικού εύρους ζώνης στο οποίο έχει πρόσβαση κάθε γεωγραφική περιοχή μιας χώρας. Ο όρος γεωγραφική περιοχή χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει είτε ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα, ή μια πόλη της οποίας ο πληθυσμός ξεπερνά ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Με αυτόν τον τρόπο περιγράφεται η κατανομή του εύρους ζώνης σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

13. Γεωγραφική κατανομή χρησιμοποίησης (Utilization geographic distribution)

Η παράμετρος αυτή ενθυλακώνει τη γεωγραφική χρησιμοποίηση των δικτυακών πόρων. Οι διασυνδέσεις υπό επίβλεψη επιλέγονται από τα συμμετέχοντα NRENs.

14. Αδυναμία προσπέλασης (Unreachability)

Ένας υπολογιστής υπηρεσίας θα θεωρείται μη προσπελάσιμος, όταν όλες οι εκτελέσεις του προγράμματος ping προς αυτόν αποτυγχάνουν. Η μετρική παράμετρος αυτή αποτελεί καλή ένδειξη της ευθραυστότητας του δικτύου και μπορεί να καταγράφεται ανά ημέρα, ανά εβδομάδα ή ανά μήνα. Επιπλέον, είναι ανεξάρτητη της απόστασης μεταξύ των κόμβων πηγής και προορισμού.

15. Απώλεια πακέτων % (Packet losses %)

Η απώλεια πακέτων είναι ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος, καθώς καθορίζει αφενός την ποιότητα του δικτύου και αφετέρου την ικανότητα του να προσφέρει ευρυζωνικές υπηρεσίες υψηλών απαιτήσεων (π.χ. τηλεδιάσκεψη, μετάδοση φωνής μέσω πρωτοκόλλου IP). Η παράμετρος αυτή αναφέρεται σε εκτελέσεις του προγράμματος ping. Συνεπώς, ένα πακέτο θα θεωρείται χαμένο, όταν το μήνυμα τύπου **ICMP Echo Reply** δεν λαμβάνεται μέσα στο χρονικό παράθυρο που καθορίζει η παράμετρος **Timeout** του πρωτοκόλλου ICMP.

16. Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής (Minimum, maximum, average Round Trip Time)

Μία εκτίμηση των ελάχιστων, μέγιστων και μέσων χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής μπορεί να προκύψει από διαδοχικές εκτελέσεις του προγράμματος ping, με δύο διαφορετικά μεγέθη για το ωφέλιμο φορτίο των πακέτων τύπου **ICMP Echo Request**. Οι μετρήσεις των χρόνων αυτών για ένα κόμβο προορισμού, πρέπει να γίνονται από κόμβους εποπτείας τόσο μέσα στο NREN δικαιοδοσίας, όσο και στα υπόλοιπα NRENS.

17. Συμφόρηση δικτύου (Network congestion)

Ως συμφόρηση δικτύου, περιγράφεται η διαφορά του μέσου χρόνου διαδρομής μετ' επιστροφής από τον ελάχιστο. Αν η τιμή της διαφοράς είναι μεγάλη, τότε η χρησιμοποίηση της μετρούμενης γραμμής είναι και αυτή μεγάλη. Υψηλές τιμές χρησιμοποίησης σε πολλές γραμμές ενός NREN, υποδηλώνουν συμφόρηση και αδυναμία κάλυψης των ολοένα αυξανόμενων απαιτήσεων σε εύρος ζώνης.

18. Δορυφορικές διασυνδέσεις (Satellite links)

Ο έλεγχος της τιμής του ελάχιστου χρόνου διαδρομής μετ' επιστροφής επιτρέπει την αναγνώριση δορυφορικών διασυνδέσεων. Αν η τιμή αυτή υπερβαίνει τα 800 milliseconds, τότε η διασύνδεση θεωρείται δορυφορική. Η χρησιμοποίηση δορυφορικών διασυνδέσεων υποδηλώνει την έλλειψη αξιόπιστης επίγειας δικτυακής υποδομής για την αντίστοιχη χώρα/περιοχή/ίδρυμα.

19. Σημεία διασύνδεσης αυτόνομων συστημάτων (Exchange points)

Η έλλειψη σημείων διασύνδεσης αυτόνομων συστημάτων σε μια χώρα, έχει ως επακόλουθο τη δρομολόγηση της παραγόμενης δικτυακής κίνησης ενός αυτόνομου συστήματος μέσω αυτόνομων συστημάτων άλλων χωρών. Αυτό συνεπάγεται παρατήρηση μεγάλων τιμών για τους χρόνους διαδρομής μετ' επιστροφής και χρησιμοποίηση διεθνών διασυνδέσεων υψηλού κόστους. Η εύρεση του σημείου διασύνδεσης για μια χώρα, αν αυτό υπάρχει, μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα μέσω εκτέλεσης του προγράμματος traceroute.

20. Χρησιμοποίηση σημείου διασύνδεσης αυτόνομων συστημάτων (Utilization of the exchange point)

Η μετρική παράμετρος αυτή είναι ενδεικτική της ανταλλαγής δεδομένων εντός μιας χώρας, αλλά και σε διεθνές επίπεδο. Ανάλογα με τις διεπαφές του σημείου διασύνδεσης που είναι διαθέσιμες, μπορεί να υπολογιστεί μια πλειάδα μετρικών παραμέτρων από αυτές που περιγράφονται εδώ.

21. Αναλογία δικτυακής κίνησης μεταξύ NREN και εμπορικού Διαδικτύου (Traffic ratio between NREN/commercial Internet)

Η παράμετρος αυτή αναδεικνύει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ της ερευνητικής κοινότητας και του εμπορικού τμήματος του Διαδικτύου. Μεγάλη τιμή του μεγέθους αυτού δηλώνει ότι το δίκτυο αυτό είναι αυτοδύναμο (self contained).

22. Θόρυβος (Jitter)

Η μέτρηση του θορύβου επιτυγχάνεται μέσω του προγράμματος PingER. Η παράμετρος του θορύβου δεν παρουσιάζει εξάρτηση από την απόσταση των κόμβων πηγής και προορισμού.

23. Ρυθμός μετάδοσης δεδομενογραμμμάτων TCP (TCP throughput)

Ο υπολογισμός της μετρικής παραμέτρου αυτής εξάγεται από την αριθμητική έκφραση του *Mathis* (Mathis formula), η οποία θέτει ένα άνω όριο για το ρυθμό μετάδοσης δεδομενογραμμμάτων TCP. Η Mathis formula δίνεται από την ακόλουθη αριθμητική έκφραση:

$$TCP_{throughput} < (Maximum_Segment_Size / RTT) * (1/\sqrt{p}),$$

όπου **Maximum_Segment_Size** είναι η μέγιστη τιμή μεγέθους δεδομενογράμματος, RTT είναι ο χρόνος διαδρομής μετ' επιστροφής για τον κόμβο προορισμού και *p* είναι ο ρυθμός απώλειας πακέτων.

24. Αριθμός διεθνύσεων δικτύου ενός NREN (Number of IP addresses per NREN)

Πρόκειται για παράμετρο που λαμβάνεται απευθείας από το NREN, χωρίς μέτρηση, και είναι σε θέση να προσδιορίσει την απόδοση και τη δικτυακή συμπεριφορά ενός NREN, σε συνδυασμό με άλλες μετρικές παραμέτρους.

25. Χωρητικότητα εύρους ζώνης ανά διεύθυνση δικτύου (Capacity bandwidth per IP address)

Το μέγεθος αυτό περιγράφει το λόγο του συνολικού εύρους ζώνης ενός NREN προς τον ολικό αριθμό διευθύνσεων δικτύου. Υπολογίζει το εύρος ζώνης που κατανέμεται ανά διεύθυνση δικτύου και προσδιορίζει την ποιότητα υπηρεσιών που απολαμβάνουν οι χρήστες του δικτύου τερματισμού.

26. Χρησιμοποίηση εύρους ζώνης ανά διεύθυνση δικτύου (Utilization bandwidth per IP address)

Η χωρητικότητα του δικτύου που κατανέμεται για εκπαιδευτικούς λόγους ανά διεύθυνση δικτύου. Αναδεικνύει τη χρησιμοποίησης της χωρητικότητας του NREN ανά χρήστη.

3.2 Μεθοδολογία μετρήσεων

Οι μετρικές παράμετροι που αναλύθηκαν στην ενότητα 3.1 ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τη διαδικασία που ακολουθείται για την μέτρηση τους. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις μετρικές παραμέτρους που λαμβάνονται από το πρόγραμμα PingER (PingER-based measurements). Στη δεύτερη κατηγορία, ανήκουν οι μετρικές παράμετροι που λαμβάνονται μέσω σύντομων προγραμμάτων γραμμένων στη γλώσσα προγραμματισμού Perl (Script-based measurements). Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει τις παραμέτρους εκείνες, οι οποίες δεν λαμβάνονται μέσω κάποιου υπολογιστικού προγράμματος, αλλά αντίθετα κοινοποιούνται από το NREN που συμμετέχει στο πρόγραμμα μέτρησης του Ψηφιακού Χάσματος. Η κατηγοριοποίηση των μετρικών παραμέτρων περιγράφεται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3.1 ♦ Κατηγοριοποίηση μετρικών παραμέτρων σύμφωνα με τη μέθοδο μέτρησης που ακολουθείται.

Μεθοδολογία Μετρικές Παράμετροι	Μέτρηση μέσω προγράμματος PingER	Μέτρηση μέσω προγραμμάτων Perl	Κοινοποίηση παραμέτρου από το NREN
Αριθμός διασυνδέσεων ενός NREN με άλλα NRENs			✓

Χωρητικότητα εξωτερικής διασύνδεσης ενός NREN			✓
Χωρητικότητα εσωτερικής διασύνδεσης ενός NREN			✓
Κατανομή δικτυακών πόρων για εκπαιδευτικούς σκοπούς			✓
Διατηρούμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων		✓	
Λόγος της εισερχομένης κίνησης προς την εξερχόμενη		✓	
Πρόσβαση στις ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες κύριων εκδοτικών κοινοτήτων			✓
Αριθμός διασυνδέσεων σε συγκεκριμένα NRENs			✓
Αριθμός εκπαιδευτικών ιδρυμάτων συνδεδεμένων σε ένα NREN			✓
Κόστος ανά Mbps			✓
Διακύμανση εύρους ζώνης εθνικών συνδέσεων			✓
Γεωγραφική κατανομή χωρητικότητας			✓
Γεωγραφική κατανομή χρησιμοποίησης		✓	
Αδυναμία προσπέλασης	✓		
Απώλεια πακέτων %	✓		
Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής	✓		

Συμφόρηση δικτύου	✓		
Δορυφορικές διασυνδέσεις	✓		
Σημεία διασύνδεσης αυτόνομων συστημάτων			✓
Χρησιμοποίηση σημείου διασύνδεσης αυτόνομων συστημάτων		✓	
Αναλογία δικτυακής κίνησης μεταξύ NREN και εμπορικού Διαδικτύου			✓
Θόρυβος	✓		
Ρυθμός μετάδοσης δεδομενογραμμάτων TCP	✓		
Αριθμός διευθύνσεων δικτύου ενός NREN			✓
Χωρητικότητα εύρους ζώνης ανά διεύθυνση δικτύου			✓
Χρησιμοποίηση εύρους ζώνης ανά διεύθυνση δικτύου			✓

3.2.1 Μετρήσεις βασισμένες στο πρόγραμμα PingER

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από το πρόγραμμα PingER βασίζονται στην αποστολή πακέτων τύπου **ICMP Echo Request** μέσω των προγραμμάτων ping και traceroute. Το εργαλείο λογισμικού που είναι εγκατεστημένο σε κάθε κόμβο εποπτείας θα εκτελεί περιοδικά μια σειρά από μετρήσεις προς ένα σύνολο προκαθορισμένων δικτυακών διεπαφών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών θα καταγράφονται και θα επεξεργάζονται κατάλληλα, ώστε να εξαχθούν οι ακόλουθες μετρικές παράμετροι.

1. *Αδυναμία προσπέλασης* (Unreachability)

Ένας κόμβος προορισμού θα θεωρείται μη προσπελάσιμος όταν για ένα προκαθορισμένο αριθμό πακέτων τύπου **ICMP Echo Request** που θα σταλούν προς αυτόν, δεν ληφθεί η αντίστοιχη απάντηση **ICMP Echo Reply**.

2. *Απώλεια πακέτων %* (Packet losses %)

Η απώλεια πακέτων αφορά εκείνα τα πακέτα τύπου **ICMP Echo Request** για τα οποία δεν θα ληφθεί πακέτο απάντησης **ICMP Echo Reply** μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό παράθυρο. Δεδομένου ότι ένα πακέτο δεδομένων, προτού

εξέλθει από τη δικτυακή διεπαφή ενός δρομολογητή, τοποθετείται σε μια ουρά αναμονής για να επεξεργαστεί και αν η ουρά είναι γεμάτη το πακέτο θα απορριφθεί, η συγκεκριμένη μετρική παράμετρος αποτελεί ένδειξη συμφόρησης ή μη αποδοτικής λειτουργίας τμήματος του IP μονοπατιού.

3. Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής (Minimum, maximum, average Round Trip Time)

Οι ελάχιστοι, μέσοι και μέγιστοι χρόνοι διαδρομής μετ' επιστροφής θα καταγραφούν για κάθε επιτυχή αποστολή πακέτου **ICMP Echo Request**. Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για κάθε κόμβου προορισμού θα ληφθούν από την αντίστοιχη ελάχιστη και μέγιστη τιμή που έχουν καταγραφεί συνολικά, ενώ η μέση τιμή θα ληφθεί ως ο στατιστικός μέσος του συνόλου των παρατηρήσεων. Η διαδικασία αυτή αφορά ένα προκαθορισμένο χρονικό εύρος μετρήσεων και πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε πιθανή τιμή του ωφέλιμου φορτίου δεδομένων (payload) που ορίζεται κατά την εκτέλεση του προγράμματος ping.

4. Συμφόρηση δικτύου (Network congestion)

Η διαφορά του μέσου χρόνου διαδρομής μετ' επιστροφής από τον αντίστοιχο ελάχιστο για ένα IP μονοπάτι, αποτελεί καλή ένδειξη ενδεχόμενης συμφόρησης δικτύου. Η προτεινόμενη μετρική παράμετρος θα υπολογίζει τη στατιστική διακύμανση του προαναφερθέντος μεγέθους για όλο το σύνολο των παρατηρήσεων. Και σε αυτή την περίπτωση, το χρονικό εύρος συγκερασμού των μετρήσεων θα είναι προκαθορισμένο και θα αφορά μετρήσεις που συλλέχθηκαν από εκτελέσεις του προγράμματος ping με ίδιο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου. Μεγάλη τιμή διακύμανσης της διαφοράς του μέγιστου από τον ελάχιστο χρόνο διαδρομής μετ' επιστροφής, υποδηλώνει υψηλή χρησιμοποίηση του εν λόγω IP μονοπατιού για κάποια χρονικά διαστήματα και επομένως συμφόρηση του δικτύου.

5. Δορυφορικές διασυνδέσεις (Satellite links)

Ένα IP μονοπάτι θα θεωρείται ότι περιλαμβάνει δορυφορικές διασυνδέσεις αν η ελάχιστη τιμή του χρόνου διαδρομής μετ' επιστροφής είναι μεγαλύτερη των 800msec. Η επιλογή της τιμής αυτής είναι λογική, δεδομένου ότι ο αντίστοιχος χρόνος διαδρομής μετ' επιστροφής μεταξύ δύο κόμβων που διασυνδέονται μέσω γεωστατικού δορυφόρου κυμαίνεται περί τα 600msec.

6. Θόρυβος (Jitter)

Η τιμή του θορύβου ορίζεται ως το διατεταρτημοριακό εύρος της κατανομής συχνότητας των χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής.

7. Ρυθμός μετάδοσης δεδομενογραμμάτων TCP (TCP throughput)

Ο υπολογισμός της μετρικής παραμέτρου αυτής εξάγεται από την αριθμητική έκφραση του *Mathis* (Mathis formula). Η Mathis formula δίνεται από την ακόλουθη αριθμητική έκφραση:

$$TCP_{throughput} < (Maximum_Segment_Size / RTT) * (1 / \sqrt{p}),$$

όπου **Maximum_Segment_Size** είναι η μέγιστη τιμή μεγέθους δεδομενογράμματος, RTT είναι ο χρόνος διαδρομής μετ' επιστροφής για τον κόμβο προορισμού και p είναι ο ρυθμός απώλειας πακέτων. Η απώλεια πακέτων θα μετράται όπως προδιαγράφει η υποπαράγραφος 2, ενώ για τον χρόνο διαδρομής μετ' επιστροφής θα χρησιμοποιηθεί ο στατιστικός μέσος του συνόλου των μετρήσεων. Λεπτομερής μαθηματική ανάλυση του τρόπου κατασκευής της αριθμητικής έκφρασης του Mathis παρατίθεται στο [18].

3.2.2 Μετρήσεις βασισμένες σε Perl scripts

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει εκείνες τις μετρήσεις που λαμβάνονται μέσω της περιοδικής εκτέλεσης σύντομων προγραμμάτων υλοποιημένων στη γλώσσα προγραμματισμού Perl. Η πλειοψηφία των μετρήσεων αυτών βασίζονται στο πρωτόκολλο SNMP. Το πρωτόκολλο SNMP (Simple Network Management Protocol) είναι ιδιαίτερα σημαντικό στον τομέα της διαχείρισης δικτύων. Σχεδόν κάθε σύγχρονη δικτυακή συσκευή (δρομολογητής, μεταγωγέας, τερματικός υπολογιστής) φέρει εγκατεστημένο ένα πράκτορα λογισμικού SNMP (SNMP agent), ο οποίος έχει τη δυνατότητα να συλλέγει πληροφορίες για τα επιμέρους στοιχεία που απαρτίζουν το υλικό μιας δικτυακής συσκευής (επεξεργαστής, μνήμη, δικτυακή διεπαφή, κ.α.). Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να γίνουν διαθέσιμες σε οποιονδήποτε κόμβο εποπτείας, με ή χωρίς πιστοποίηση ταυτότητας, μέσω του συστήματος ερωτήσεων-απαντήσεων SNMP (SNMP querying).

Οι προτεινόμενες μετρικές παράμετροι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι τέσσερις και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

1. Διατηρούμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (Sustainable rate)

Για την εκτίμηση του διατηρούμενου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων μεταξύ ενός κόμβου εποπτείας και ενός κόμβου ενδιαφέροντος, το εργαλείο λογισμικού που θα είναι εγκατεστημένο στον κόμβο εποπτείας θα αναλαμβάνει την μεταφορά ενός μεγάλου αρχείου δεδομένων από τον κόμβο ενδιαφέροντος μέσω των πρωτοκόλλων επιπέδου εφαρμογής *HTTP* (Hyper Text Transfer Protocol) ή *FTP* (File Transfer Protocol). Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που θα επιτευχθεί αποτελεί τον διατηρούμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μεταξύ κόμβου εποπτείας και κόμβου ενδιαφέροντος.

Η σωστή επιλογή του μεγέθους του αρχείου εξαρτάται από το εύρος ζώνης των διασυνδέσεων που αποτελούν ένα IP μονοπάτι. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης των επιμέρους διασυνδέσεων, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι το μέγεθος του αρχείου για την εξαγωγή μετρήσεων με υπολογιστική αξία. Τυπικά, ένα αρχείο μεγέθους άνω των 150MB είναι ικανό για τη σωστή διεξαγωγή των μετρήσεων.

2. Λόγος της εισερχομένης κίνησης προς την εξερχόμενη (Ratio of incoming to outgoing traffic)

Για την υλοποίηση αυτής της μετρικής παραμέτρου, ένα σύντομο πρόγραμμα Perl θα καταγράφει - με τη συνδρομή ερωτήσεων SNMP - τον όγκο της εισερχόμενης

και της εξερχόμενης κίνησης του δρομολογητή που συνδέει το αυτόνομο σύστημα που αποτελεί το κάθε NREN με τα υπόλοιπα αυτόνομα συστήματα. Λόγω της φυσικής θέσης του δρομολογητή ως σύνορο με τα υπόλοιπα αυτόνομα συστήματα, ο λόγος της εισερχόμενης προς την εξερχόμενη κίνηση θα καθορίσει αν το NREN αποτελεί πηγή ή καταναλωτή πληροφοριών.

3. Γεωγραφική κατανομή χρησιμοποίησης (Utilization geographic distribution)

Η διαδικασία μέτρησης της γεωγραφικής κατανομής χρησιμοποίησης είναι ίδια με αυτή που πραγματοποιείται στην μέτρηση του λόγου εισερχόμενης κίνησης προς την εξερχόμενη, με τη διαφορά ότι θα πραγματοποιείται για ένα σύνολο δικτυακών διεπαφών δρομολογητών ικανών να προσδιορίζουν όλα τα επιμέρους IP μονοπάτια που αποτελούν το δίκτυο του NREN. Είναι σαφές ότι για τον καθορισμό των απαραίτητων δικτυακών διεπαφών απαιτείται η συνδρομή του NREN.

4. Χρησιμοποίηση σημείου διασύνδεσης αυτόνομων συστημάτων (Utilization of the exchange point)

Η παράμετρος αυτή προδιαγράφει την μέτρηση μέσω ερωτήσεων SNMP του όγκου της εισερχόμενης/εξερχόμενης κίνησης που παρατηρείται στους δρομολογητές που διασυνδέουν τη χώρα στην οποία ανήκει το NREN με άλλες χώρες.

3.2.3 Μετρήσεις κοινοποιούμενες από τα NREN

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της ενότητας 3.2, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μετρήσεις που θα συλλεχθούν από τα NRENs που συμμετέχουν στη μελέτη μέτρησης του Ψηφιακού Χάσματος, καθώς δεν επιδέχονται άμεση μέτρηση από κάποιο εργαλείο λογισμικού. Τα δεδομένα που θα συλλεχθούν θα επεξεργαστούν κατάλληλα ώστε να συμπληρώσουν τις υπόλοιπες μετρήσεις.

3.3 Βαθμός λεπτομέρειας μετρήσεων

Εκτός από τη διαφοροποίησή τους ως προς τη μεθοδολογία μέτρησης, οι μετρικές παράμετροι διακρίνονται επιπλέον, βάσει της συμβολής τους στην ποσοτικοποίηση του Ψηφιακού Χάσματος, σε τρία επίπεδα. Κάθε επίπεδο αποτυπώνει τη λεπτομέρεια με την οποία περιγράφουν, οι αντίστοιχες παράμετροι, τις δυνατότητες ενός NREN, καθώς επίσης και το βαθμό συνεργασίας που απαιτούν από το κάθε NREN για την επιτυχή διεξαγωγή των μετρήσεων. Ο βαθμός συνεργασίας περιγράφει την απαίτηση παροχής από το NREN δικαιωμάτων πρόσβασης στο δίκτυο υπό μέτρηση (π.χ. ενεργοποίηση πρωτοκόλλου ICMP στους δρομολογητές και στους υπολογιστές υπηρεσίας, πρόσβαση μόνο για ανάγνωση στη βάση δεδομένων του πρωτοκόλλου SNMP) και την ικανότητα κοινοποίησης χαρακτηριστικών του δικτύου, που δεν μπορούν να εξαχθούν μέσω υπολογιστικών προγραμμάτων.

Η ομαδοποίηση των παραμέτρων στα τρία επίπεδα, με αύξων βαθμό λεπτομέρειας, συνοψίζεται στον πίνακα 3.2

Πίνακας 3.2 ♦ Κατηγοριοποίηση μετρικών παραμέτρων σύμφωνα με τον αντίστοιχο βαθμό λεπτομέρειας.

Μετρικές Παράμετροι	Λεπτομέρεια		
	1 ^ο Επίπεδο	2 ^ο Επίπεδο	3 ^ο Επίπεδο
Αριθμός διασυνδέσεων ενός NREN με άλλα NRENs	✓		
Χωρητικότητα εξωτερικής διασύνδεσης ενός NREN	✓		
Χωρητικότητα εσωτερικής διασύνδεσης ενός NREN			✓
Κατανομή δικτυακών πόρων για εκπαιδευτικούς σκοπούς		✓	
Διατηρούμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	✓		
Λόγος της εισερχομένης κίνησης προς την εξερχόμενη		✓	
Πρόσβαση στις ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες κύριων εκδοτικών κοινοτήτων			✓
Αριθμός διασυνδέσεων σε συγκεκριμένα NRENs	✓		
Αριθμός εκπαιδευτικών ιδρυμάτων συνδεδεμένων σε ένα NREN			✓
Κόστος ανά Mbps		✓	
Διακύμανση εύρους ζώνης εθνικών συνδέσεων			✓
Γεωγραφική κατανομή χωρητικότητας		✓	

Γεωγραφική κατανομή χρησιμοποίησης			✓
Αδυναμία προσπέλασης	✓		
Απώλεια πακέτων %.	✓		
Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής	✓		
Συμφόρηση δικτύου	✓		
Δορυφορικές διασυνδέσεις	✓		
Σημεία διασύνδεσης αυτόνομων συστημάτων	✓		
Χρησιμοποίηση σημείου διασύνδεσης αυτόνομων συστημάτων		✓	
Αναλογία δικτυακής κίνησης μεταξύ NREN και εμπορικού Διαδικτύου		✓	
Θόρυβος	✓		
Ρυθμός μετάδοσης δεδομενογραμμάτων TCP	✓		
Αριθμός διευθύνσεων δικτύου ενός NREN		✓	
Χωρητικότητα εύρους ζώνης ανά διεύθυνση δικτύου		✓	
Χρησιμοποίηση εύρους ζώνης ανά διεύθυνση δικτύου		✓	

3.4 Αρχιτεκτονική Συστήματος Μέτρησης του Ψηφιακού Χάσματος

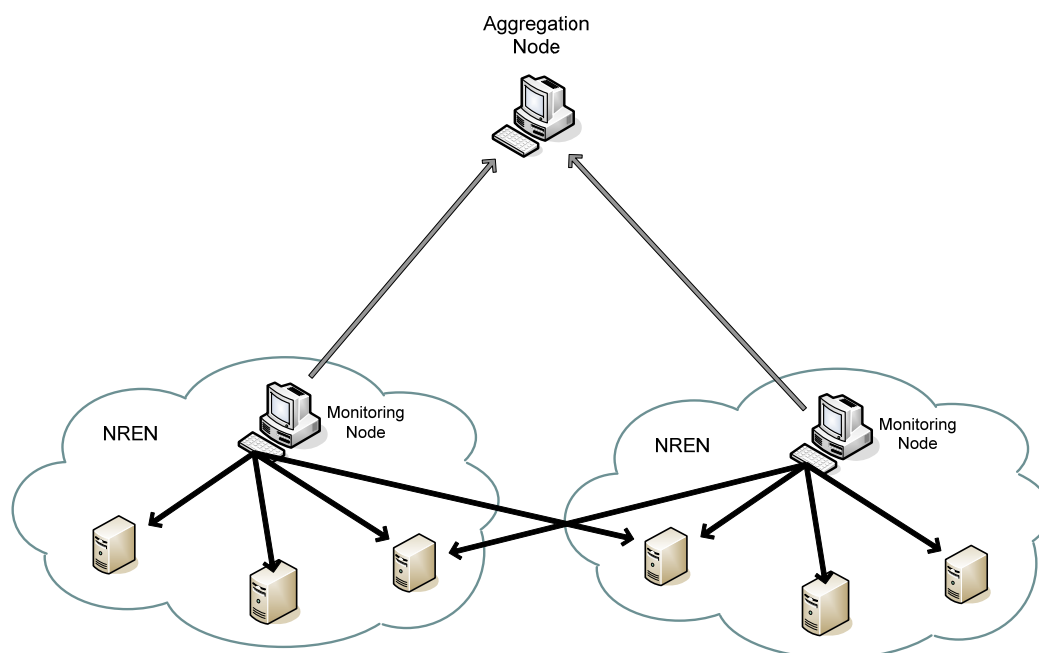
Στην ενότητα 3.2 περιγράφονται αναλυτικά οι προτεινόμενες μετρικές παράμετροι για τη μέτρηση του μεγέθους του Ψηφιακού Χάσματος, καθώς επίσης και η απαραίτητη μεθοδολογία μέτρησης. Εξαιρώντας τις παραμέτρους που δεν μπορούν να μετρηθούν με τη χρήση κάποιου υπολογιστικού προγράμματος και πρέπει να κοινοποιηθούν από το εκάστοτε Εθνικό Δίκτυο Έρευνας & Τεχνολογίας, αναφέρεται η ανάγκη για την υλοποίηση ενός εργαλείου λογισμικού που θα μπορούσε να πετύχει συνδυαστικά τη μέτρηση των υπόλοιπων μετρικών παραμέτρων.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε το εργαλείο λογισμικού GNSTool, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε σαν σύστημα μέτρησης του μεγέθους του Ψηφιακού Χάσματος. Η αρχιτεκτονική του εργαλείου GNSTool, καθώς επίσης και οι λεπτομέρειες υλοποίησης και εγκατάστασης περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

3.4.1 Αρχιτεκτονική

Η εικόνα 3.1 περιγράφει με ακρίβεια την αρχιτεκτονική του εργαλείου λογισμικού GNSTool. Το GNSTool θα εγκαθίσταται σε έναν κόμβο εποπτείας (monitoring node) μέσα στο δίκτυο του κάθε Εθνικού Δικτύου Έρευνας & Τεχνολογίας (N.R.E.N.). Το GNSTool θα πραγματοποιεί μια σειρά από μετρήσεις προς ένα αριθμό προκαθορισμένων δικτυακών διεπαφών που μπορεί να ανήκουν είτε σε τερματικά υπολογιστικά μηχανήματα (hosts) ή σε δικτυακούς δρομολογητές (routers).

Η συχνότητα λήψης μετρήσεων και ο βαθμός λεπτομέρειας των μετρήσεων είναι παραμετροποιήσιμα μεγέθη και ο καθορισμός των τιμών τους επαφίεται στο αρμόδιο τμήμα του κάθε N.R.E.N. Οι λαμβανόμενες μετρήσεις αποθηκεύονται τοπικά σε κάθε κόμβο εποπτείας και αποστέλλονται σε τακτά χρονικά διαστήματα σε έναν εξωτερικό κόμβο συγκέντρωσης μετρήσεων (aggregation node), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία των ληφθέντων μετρήσεων και την μετέπειτα παρουσίασή τους σε αναγνώσιμη για τον άνθρωπο μορφή. Φυσικά, ο κάθε κόμβος εποπτείας μπορεί να επιτελέσει αυτόνομα το ρόλο του κόμβου συγκέντρωσης μετρήσεων. Σε αυτή την περίπτωση όμως η επεξεργασία των μετρήσεων και η εξαγωγή των διάφορων διαγραμμάτων, αναφορών και στατιστικών αφορούν αποκλειστικά στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από τον εν λόγω κόμβο εποπτείας.



Εικόνα 3.1 ♦ Αρχιτεκτονική του εργαλείου λογισμικού GNSTool.

3.4.2 Υλοποίηση

Για την υλοποίηση του εργαλείου λογισμικού GNSTool έχει χρησιμοποιηθεί η γλώσσα προγραμματισμού Perl.

Το GNSTool αποτελείται από τρεις λειτουργικές οντότητες, κάθε μια από τις οποίες οριοθετείται από ένα φάκελο αρχείων και αντιστοιχεί σε μια από τρεις κατηγορίες μετρικών παραμέτρων που αναγράφονται στον Πίνακα 3.1. Κάθε ένας από τους προαναφερθέντες φακέλους περιλαμβάνει μια σειρά από εκτελέσιμα αρχεία σε γλώσσα προγραμματισμού Perl, ένα ή περισσότερα αρχεία ρυθμίσεων σχετιζόμενων με την κατηγορία των μετρικών παραμέτρων στην οποία αντιστοιχούν, καθώς επίσης και δύο επιπλέον φακέλους στους οποίους αποθηκεύονται αφενός οι ακατέργαστες μετρήσεις και αφετέρου εκείνες που έχουν προκύψει από επιμέρους επεξεργασία των ακατέργαστων μετρήσεων.

Στον φάκελο-ρίζα του GNSTool βρίσκεται το καθολικό αρχείο ρυθμίσεων. Πρόκειται για ένα αρχείο εξέχουσας σημασίας, καθώς αυτό καθορίζει το ποιες λειτουργικές οντότητες (components) του GNSTool θα είναι ενεργές. Επιπρόσθετα, το κάθε NREN μπορεί - μέσω του αρχείου - αυτού να καθορίσει τη συχνότητα διεξαγωγής των μετρήσεων για κάθε κατηγορία μετρικών παραμέτρων, αλλά και να ορίσει το χρονικό εύρος των συγκεντρωτικών δεδομένων.

3.4.3 Απαιτήσεις Εγκατάστασης

Το GNSTool μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε τερματικό που φέρει λειτουργικό σύστημα (OS) τύπου Unix. Το τερματικό δεν απαιτείται να έχει κάποιες ιδιαίτερες προδιαγραφές σε υλικό (hardware), καθώς το GNSTool κάνει αποτελεσματική διαχείριση μνήμης και δεν δεσμεύει πληθώρα πόρων τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και σε επίπεδο λογισμικού. Αντίθετα, ανάλογα με τον τύπο εγκατάστασης του GNSTool και την λεπτομέρεια των μετρήσεων που απαιτείται, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση των παρακάτω πακέτων λογισμικού:

- Η εγκατάσταση του μεταφραστή της γλώσσας προγραμματισμού Perl, καθώς και του πακέτου λογισμικού **XML::Simple perl module** (προγραμματιστική διεπαφή για τον χειρισμό δομών XML) αποτελούν βασική και άκρως απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή εγκατάσταση του GNSTool.
- Το πρόγραμμα ping θα πρέπει να είναι εγκατεστημένο στο τερματικό που θα τελεί χρέη κόμβου εποπτείας, ενώ επιπλέον θα πρέπει να παραχωρηθούν τα απαραίτητα δικαιώματα στο GNSTool από τη διαχειριστική αρχή του NREN, ώστε να μπορεί να το χρησιμοποιήσει. Η ύπαρξη του προγράμματος ping είναι απαραίτητη για την εκτέλεση των μετρήσεων που βασίζονται στο πρόγραμμα PingER.
- Για εκείνες της μετρικές παραμέτρους που προϋποθέτουν τη χρήση σύντομων προγραμμάτων Perl και βασίζονται στην άντληση πληροφοριών μέσω του πρωτοκόλλου SNMP, θα χρειαστεί η εγκατάσταση ενός προγράμματος-πελάτη SNMP (SNMP Client). Το πρόγραμμα αυτό θα λειτουργεί ως πληρεξούσιο μεταξύ των προγραμμάτων Perl που υλοποιεί το GNSTool και των διαφόρων δικτυακών διεπαφών που μετρώνται.

- Η λίστα των δικτυακών διεπαφών, για τις οποίες το GNSTool θα διεξάγει τις διάφορες μετρήσεις, θα είναι διαθέσιμη με τη μορφή αρχείου XML σε κάποια προκαθορισμένη τοποθεσία του παγκόσμιου ιστού. Για να μπορεί το GNSTool να ενημερώνεται *ad hoc* για ενδεχόμενες αλλαγές στη λίστα, θα πρέπει να εγκατασταθεί ο περιηγητής ιστού Lynx. Πρόκειται για ένα ειδικό περιηγητή ιστού, που προβάλλει όλες τις ιστοσελίδες σε μορφή κειμένου και με αυτό τον τρόπο κάνει άμεσα διαθέσιμη τη λίστα των δικτυακών διεπαφών στο GNSTool. Για να επιτευχθεί η απρόσκοπτη – κατά το δυνατόν - λειτουργία του GNSTool, κρατείται αντίγραφο της τελευταίας έκδοσης της λίστας που ανακτήθηκε με επιτυχία. Με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζεται ενδεχόμενη μη διαθεσιμότητα του ιστοτόπου στον οποίο φιλοξενείται η εν λόγω λίστα, η οποία μπορεί να έχει προκύψει από αποτυχία τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο εφαρμογής.
- Εν τέλει, για να επιτευχθεί η μεταφορά των μετρήσεων που αποθηκεύονται προσωρινά στον κόμβο εποπτείας προς τον εξωτερικό κόμβο συγκέντρωσης των μετρήσεων, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση του εξυπηρετητή ιστού Apache. Ο εξυπηρετητής Apache προσφέρει μέσω της προγραμματιστικής διεπαφής CGI (Common Gateway Interface) τη δυνατότητα επέκτασης της λειτουργίας του, με τη χρήση σύντομων προγραμμάτων (scripts) σε μια πληθώρα γλωσσών προγραμματισμού. Το GNSTool εκμεταλλεύεται τη διεπαφή CGI για να επιτρέψει την πρόσβαση του εξωτερικού κόμβου, κατόπιν πιστοποίησης (authentication), στην εσωτερική δομή φακέλων που φέρουν τα αποθηκευμένα αρχεία μετρήσεων.

Κεφάλαιο 4

Παρουσίαση & Ανάλυση Μετρήσεων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται οι μετρήσεις που λήφθηκαν από το GNStool σε διάφορες χρονικές περιόδους μεταβλητής διάρκειας.

4.1 Μελέτη Εθνικού Δικτύου Έρευνας & Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ)

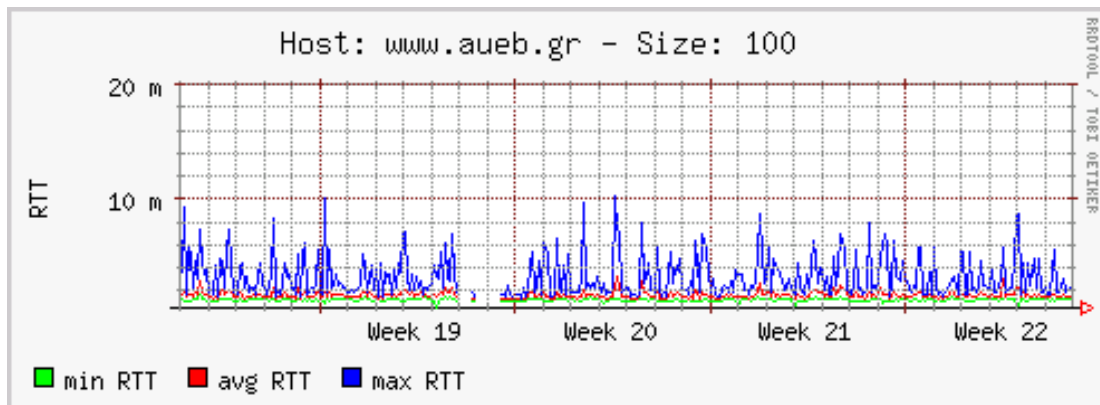
Στη συνέχεια παρατίθενται στοιχεία αναφορικά με τη λειτουργία του δικτύου κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ., τα οποία ελήφθησαν για μια χρονική περίοδο συνολικής διάρκειας δύο μηνών, με τη βοήθεια της λειτουργίας του GNStool. Το λογισμικό εγκαταστάθηκε και λειτούργησε σε μηχάνημα που τοποθετήθηκε στο δίκτυο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στην πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Συγκεκριμένα εγκαταστάθηκε η έκδοση 0.1.1 του GNStool στον υπολογιστή υπηρεσίας `potis.netmode.ntua.gr`. Το λογισμικό έτρεξε και με τις δύο επιλογές μετρήσεων (`pinger`, `SNMP`). Τα επεξεργασμένα στοιχεία που προέκυψαν για τα μεγαλύτερα ακαδημαϊκά ιδρύματα παρατίθενται αναφορικά με τις κυριότερες ζεύξεις του Ε.Δ.Ε.Τ. και το ελάχιστο, μέσο και μέγιστο χρόνο επιστροφής (`minRTT`, `avgRTT` και `maxRTT` αντίστοιχα). Σε κάθε διάγραμμα περιλαμβάνεται υπόμνημα για τα μεγέθη που αναπαρίστανται, το όνομα του μηχανήματος από το οποίο ελήφθησαν τα δεδομένα (αν πρόκειται για διεπαφή-interface δρομολογητή) ή το όνομα του μηχανήματος προορισμού (στην περίπτωση ελέγχου συνδεσιμότητας με την εντολή `ping`) και το μέγεθος του πακέτου διαχείρισης που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και η χρονική κλίμακα με την οποία σχετίζονται οι μετρήσεις.

Μετρήσεις RTT (Χρονική περίοδος διάρκειας 30 ημερών)

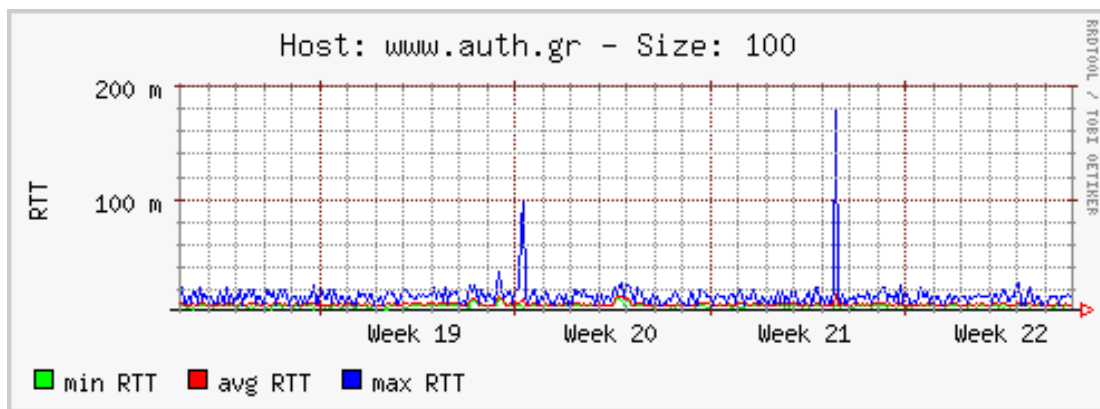
Οι μετρήσεις για το RTT προέκυψαν από τη βασική επιλογή λειτουργίας του GNStool που χρησιμοποιεί μόνο την εντολή `ping`. Στα επόμενα διαγράμματα παρατίθενται με τα επεξεργασμένα δεδομένα, ενώ ο Πίνακας παρουσιάζει την αντιστοιχία κάθε ακαδημαϊκού ιδρύματος με το αντίστοιχο WWW αναγνωριστικό του. Στη συνέχεια ακολουθούν συνοπτικά σχόλια που προκύπτουν από την ανάλυση των συγκεκριμένων μετρήσεων.

Πίνακας 4.1 ♦ Αντιστοιχία ιδρυμάτων με τα WWW αναγνωριστικά τους

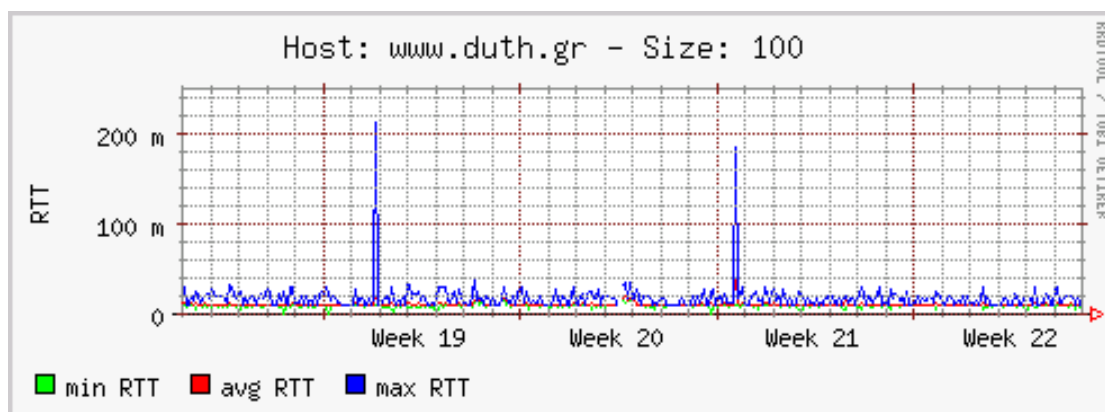
Ακαδημαϊκό ίδρυμα	Αναγνωριστικό WWW
Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών	www.aueb.gr
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης	www.auth.gr
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης	www.duth.gr
Πολυτεχνείο Κρήτης	www.tuc.gr
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών	www.uoa.gr
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων	www.uoi.gr
Πανεπιστήμιο Πατρών	www.upatras.gr



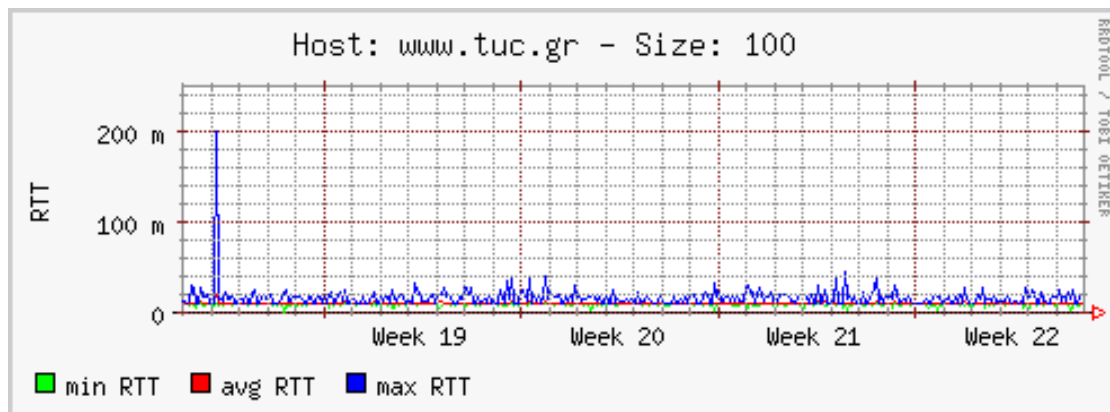
Διάγραμμα 1 ♦ RTT με Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών



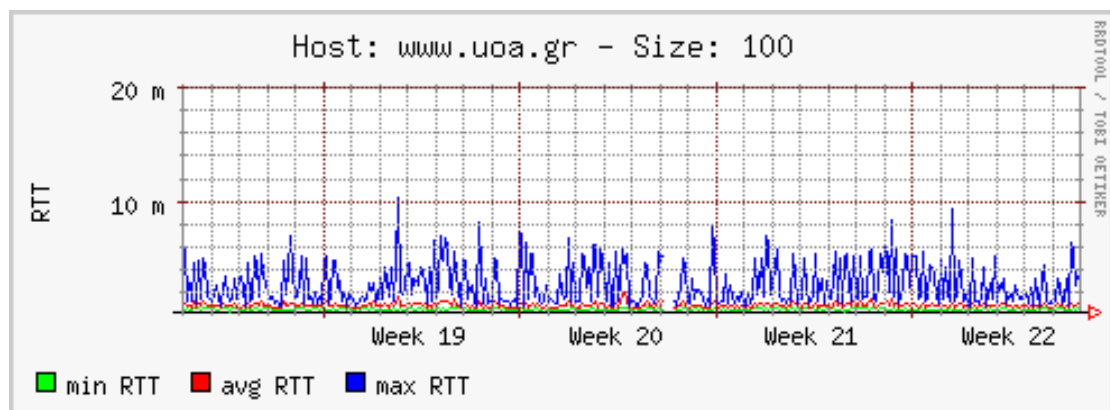
Διάγραμμα 2 ♦ RTT με Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



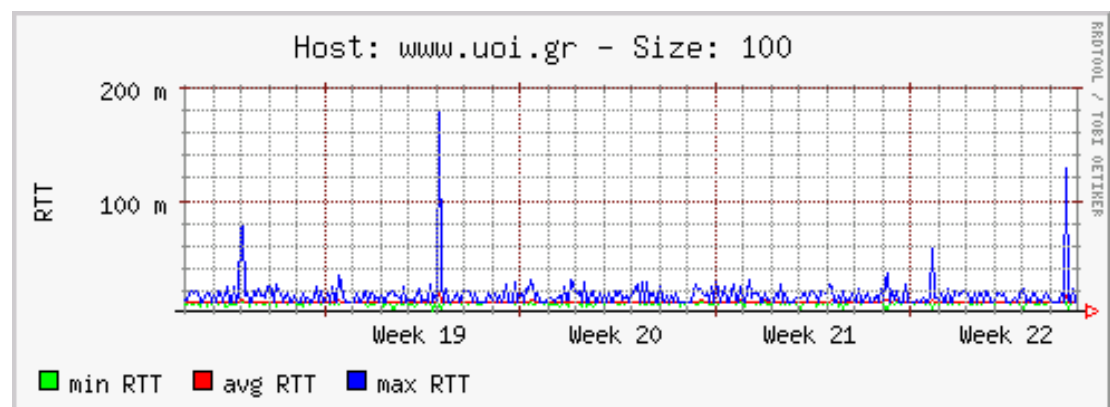
Διάγραμμα 3 ♦ RTT με Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης



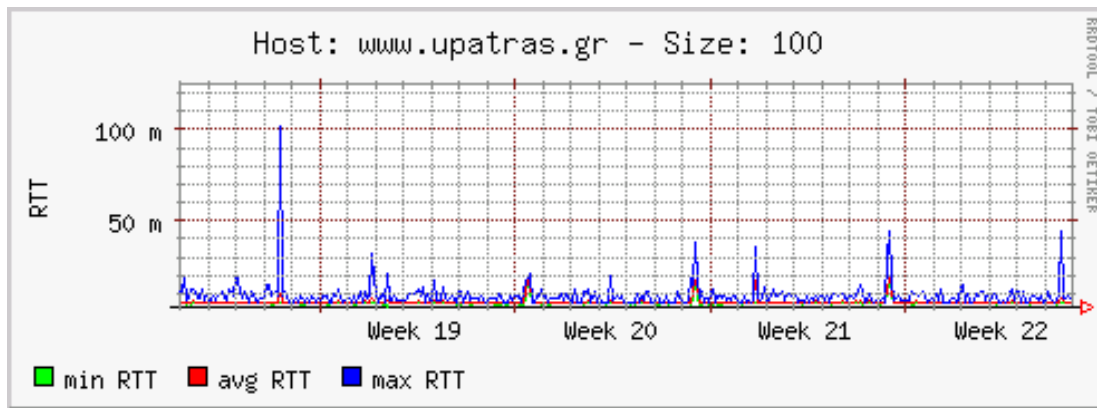
Διάγραμμα 4 ♦ RTT με Πολυτεχνείο Κρήτης



Διάγραμμα 5 ♦ RTT με Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών



Διάγραμμα 6 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων



Διάγραμμα 7 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Πατρών

Συνολικές Παρατηρήσεις

Αναφορικά με τις μετρήσεις RTT στο μητροπολιτικό δίκτυο Αθηνών (Athens MAN), μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι:

- Οι μέσες τιμές RTT είναι αρκετά χαμηλές (περίπου της τάξης των 2 msec).
- Οι μέγιστες τιμές RRT είναι σε κάθε περίπτωση άνω φραγμένες από την τιμή των 10 msec.

Αναφορικά με τις τιμές RTT στις ζεύξεις δικτύου κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ. μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι:

- Οι μέσες τιμές RTT είναι υψηλότερες αυτών της προηγούμενης περίπτωσης (κυμαίνονται στο εύρος τιμών 10-20 msec).
- Οι μέγιστες τιμές RRT είναι γενικά ίσες με τις μέσες τιμές, εκτός ορισμένων σπάνιων περιπτώσεων όπου η μέγιστη τιμή μπορεί να είναι υψηλότερη από την τιμή των 100msec για πολύ μικρά όμως διαστήματα.

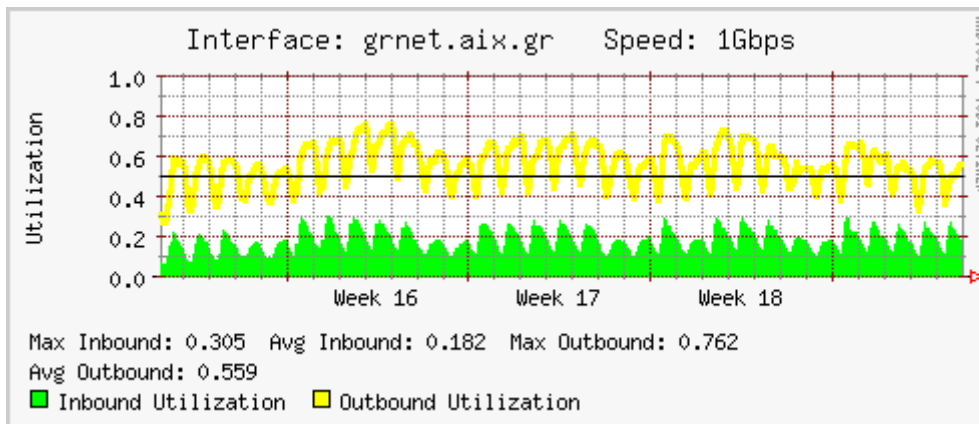
Πίνακας 4.2 ♦ Αναγνωστικά διεπαφών δρομολογητών που χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις χρησιμοποίησης γραμμών του δικτύου κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ.

Αναγνωριστικό διεπαφής
gnet.aix.gr
athens3-to-ilissos1
athens3-to-acropolis
acropolis-to-ilissos1
patra2-to-athens3
larissa2-to-athens3
larissa2-to-thessaloniki2
ioannina2-to-patra2
athens3-to-GEANT

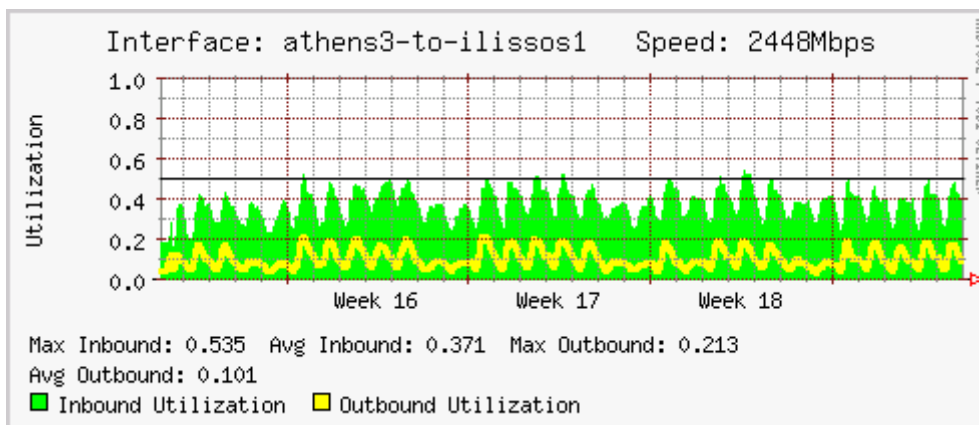
Μετρήσεις Χρησιμοποίησης Ζεύξεων Ε.Δ.Ε.Τ. (Χρονική περίοδος διάρκειας 30 ημερών)

Ο Πίνακας 4., περιέχει τα αναγνωριστικά ονόματα των διεπαφών δρομολογητών που χρησιμοποιήθηκαν από το GNStool για τη λήψη δεδομένων και τη μέτρηση της χρησιμοποίησης των γραμμών διασύνδεσης του δικτύου κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ. Η χρησιμοποίηση των γραμμών είναι ενδεικτική της κίνησης που κυκλοφορεί στο

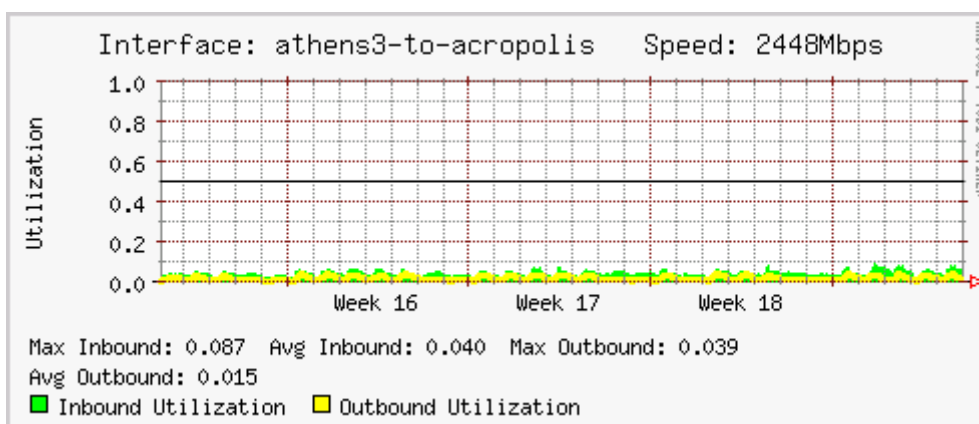
δίκτυο και της ποιότητας υπηρεσίας που αντιλαμβάνεται ο χρήστης όταν χρησιμοποιεί την υποδομή του δικτύου.



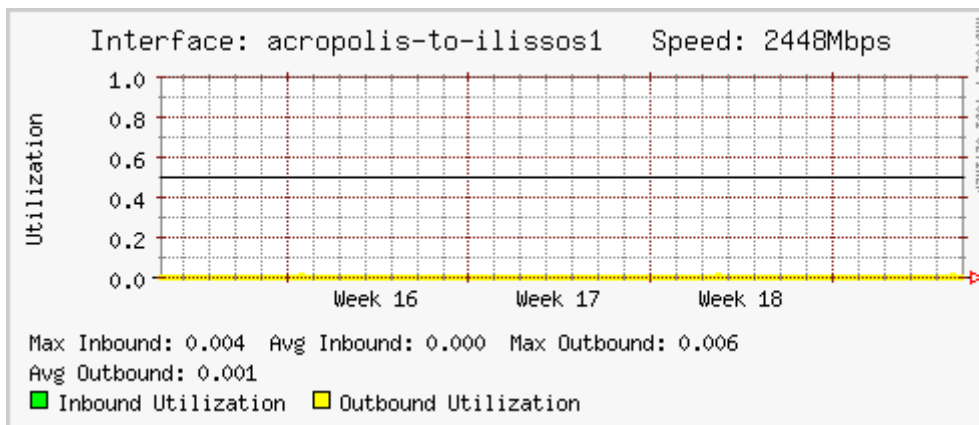
Διάγραμμα 8 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής grnet.aix.gr



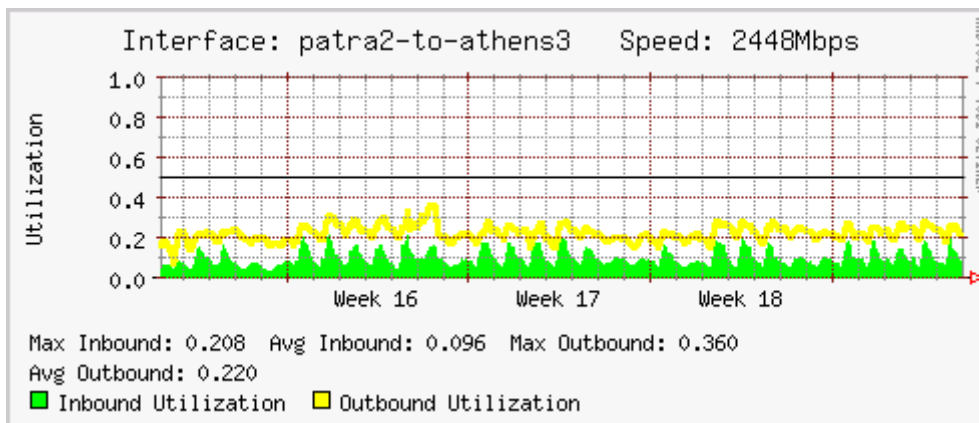
Διάγραμμα 9 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής athens3-to-ilissos1



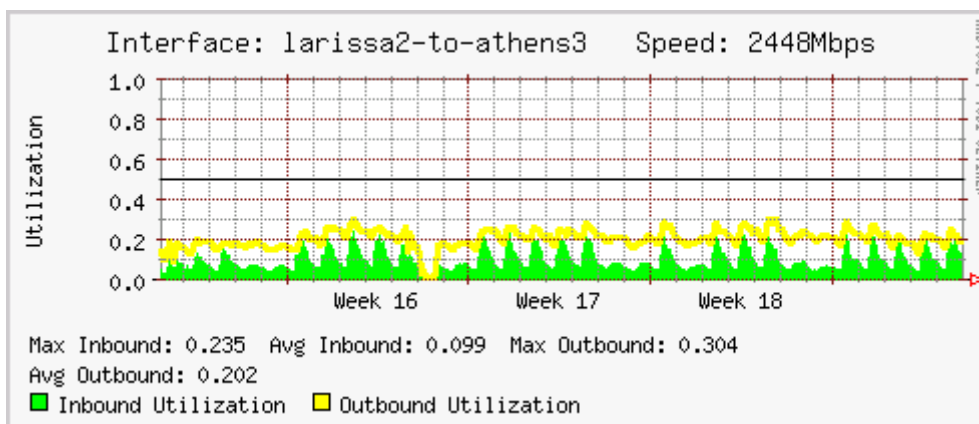
Διάγραμμα 10 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής athens3-to-acropolis



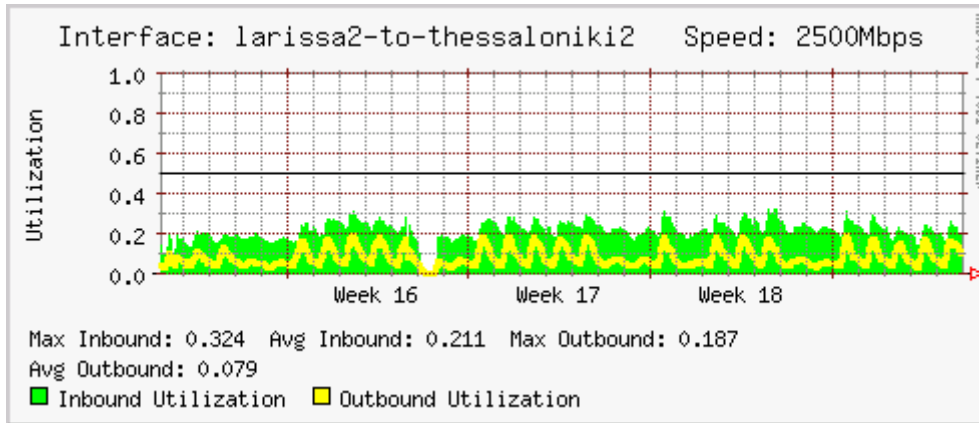
Διάγραμμα 11 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής acropolis-to-ilissos1



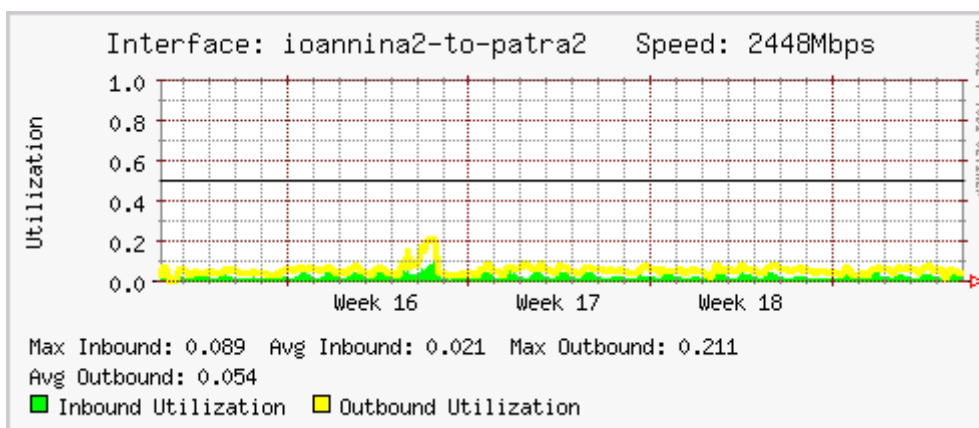
Διάγραμμα 12 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής patra2-to-athens3



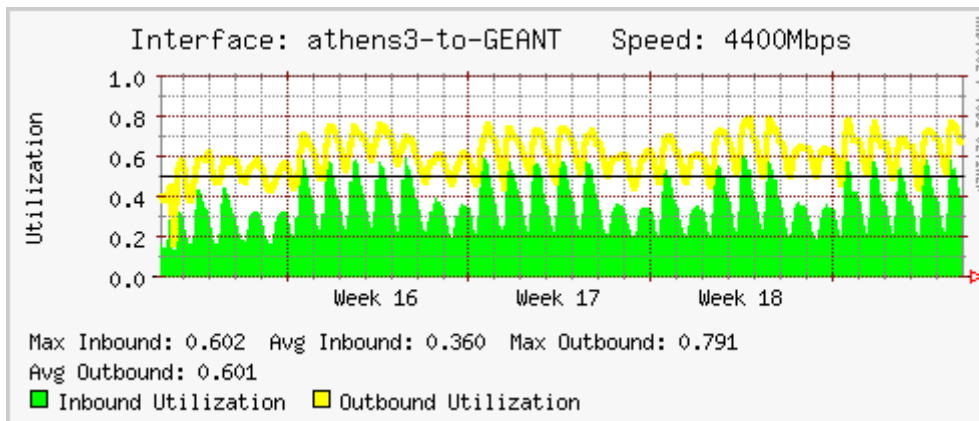
Διάγραμμα 13 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής larissa2-to-athens3



Διάγραμμα 14 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής larissa2-to-thessaloniki2



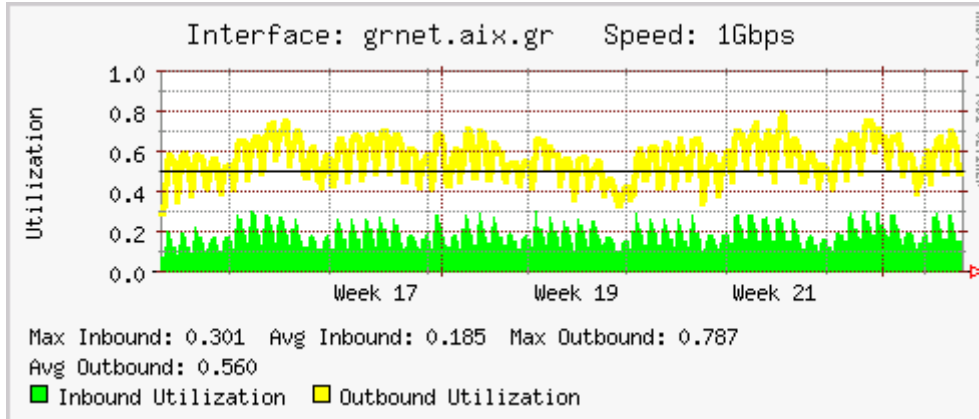
Διάγραμμα 15 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής ioannina2-to-patra2



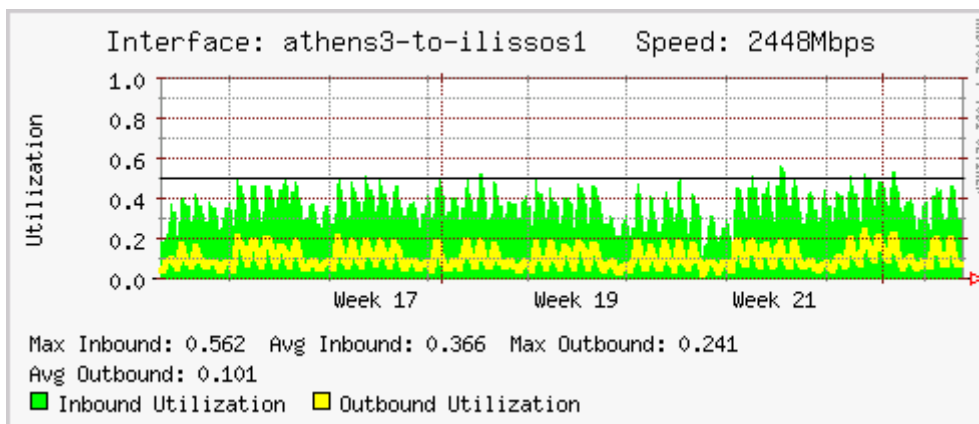
Διάγραμμα 16 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής athens3-to-GEANT

Μετρήσεις Χρησιμοποίησης Ζεύξεων Ε.Δ.Ε.Τ. (Χρονική περίοδος διάρκειας 2 μηνών)

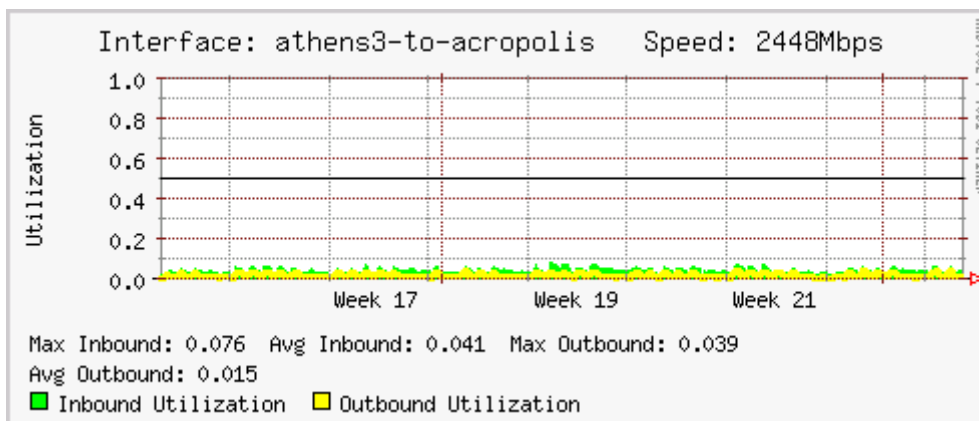
Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα χρησιμοποίησης-χρόνου όπως παραπάνω, τα οποία αφορούν στη λειτουργία των διεπαφών (interfaces) δρομολογητών του δικτύου κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ., όπως φαίνονται στον Πίνακα 4., για μια χρονική περίοδο δύο μηνών. Συνδυάζοντας τα διαγράμματα με τους χάρτες του δικτύου κορμού (<http://noc.gnet.gr/node/489>), μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την αρχιτεκτονική και τη λειτουργία του δικτύου σε μια ενδεικτική περίοδο λειτουργίας.



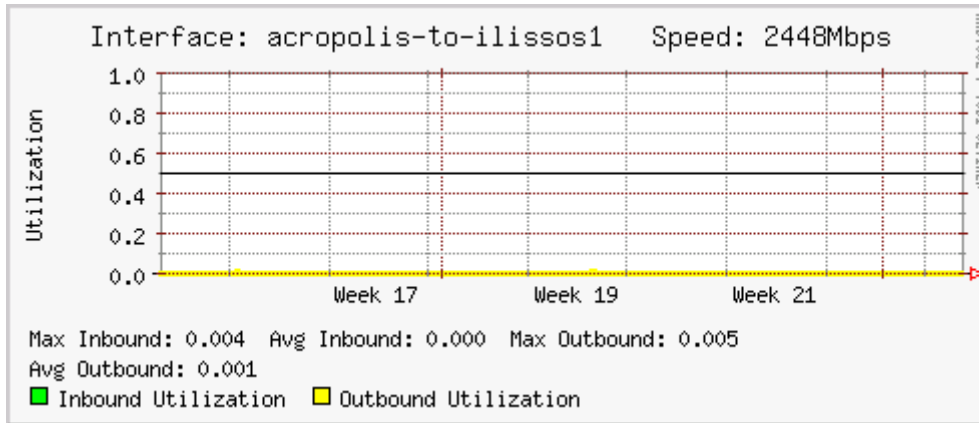
Διάγραμμα 17 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής grnet.aix.gr



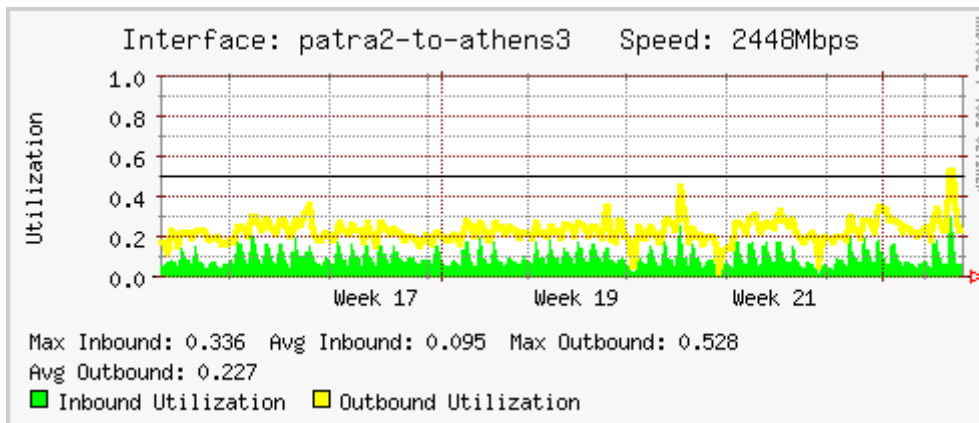
Διάγραμμα 18 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής athens3-to-ilissos1



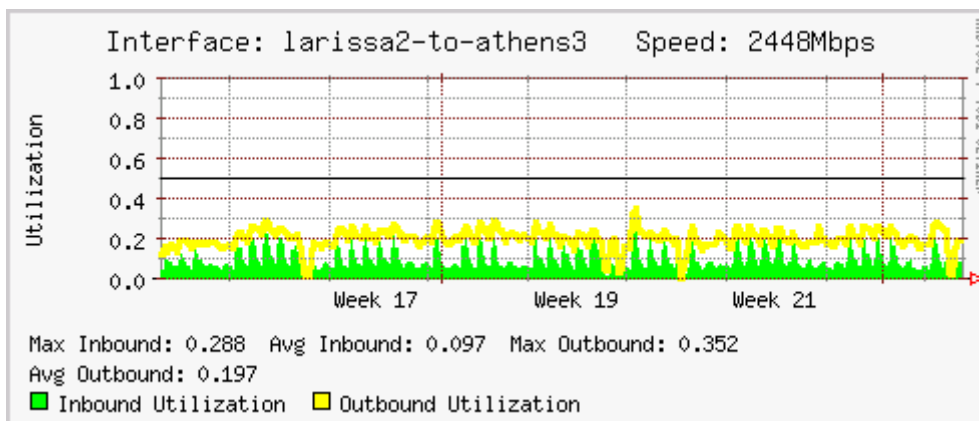
Διάγραμμα 19 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής athens3-to-acropolis



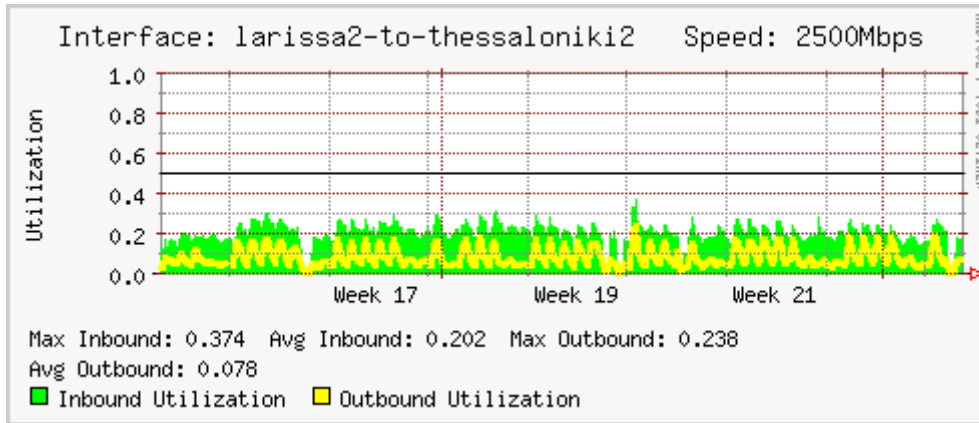
Διάγραμμα 20 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής acropolis-to-ilissos1



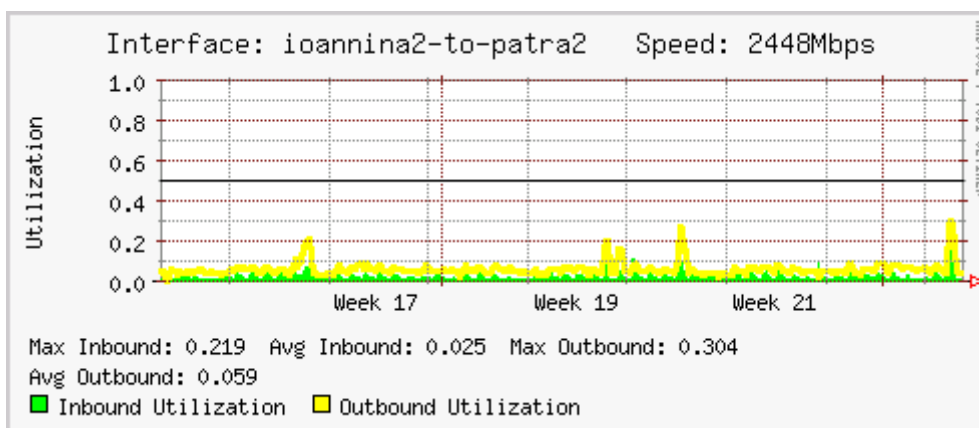
Διάγραμμα 21 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής patra2-to-athens3



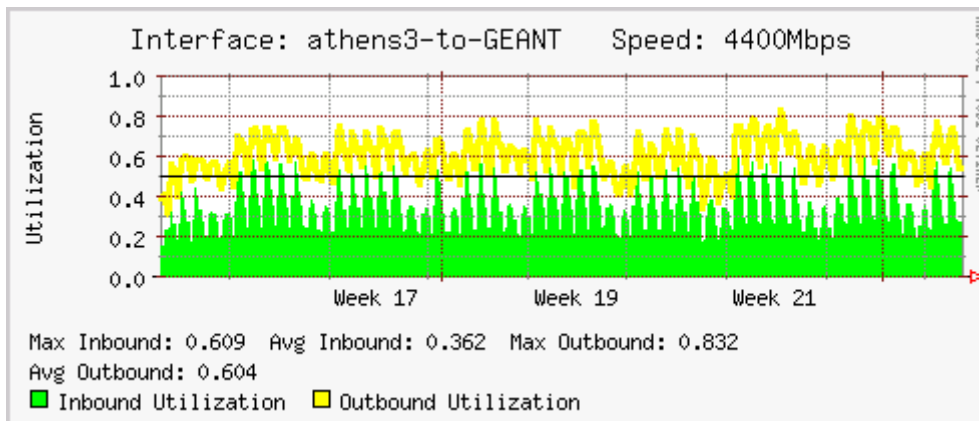
Διάγραμμα 22 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής larissa 2-to-athens3



Διάγραμμα 23 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής larissa2-to-thessaloniki2



Διάγραμμα 24 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής ioannina2-to-patra2



Διάγραμμα 25 ♦ Χρησιμοποίηση διεπαφής athens3-to-GEANT

Συνολικές Παρατηρήσεις

Η κίνηση που κατευθύνεται εκτός του δικτύου Ε.Δ.Ε.Τ. προς το Ευρωπαϊκό Ακαδημαϊκό & Ερευνητικό δίκτυο GEANT, είναι σχεδόν διπλάσια από την αντίστοιχη εισερχόμενη κίνηση, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα χρησιμοποίησης της ζεύξης **athens3-to-GEANT** (Διάγραμμα 16, Διάγραμμα 25). Επομένως, το Ε.Δ.Ε.Τ. μπορεί να θεωρηθεί ως πάροχος περιεχομένου, παρά καταναλωτής μεταξύ των ευρωπαϊκών και ερευνητικών δικτύων.

- Η εξερχόμενη κίνηση του Ε.Δ.Ε.Τ., σε σχέση με το μεταγωγέα ΑΙΧ (Athens Internet eXchange), είναι περίπου τριπλάσια της εισερχόμενης κίνησης από παρόχους-ιδιώτες, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα χρησιμοποίησης της διεπαφής grnet.aix.gr (Διάγραμμα 8, Διάγραμμα 17). Συνεπώς το Ε.Δ.Ε.Τ. αποτελεί ένα σημαντικό πάροχο δεδομένων για την ελληνική διαδικτυακή κοινότητα.
- Το μητροπολιτικό δίκτυο Αθηνών χρησιμοποιείται πολύ περισσότερο από το περιφερειακό δίκτυο κορμού (δηλαδή το δίκτυο του Ε.Δ.Ε.Τ. εκτός του μητροπολιτικού). Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται ότι η χρησιμοποίηση των κύριων ζεύξεων του μητροπολιτικού τμήματος είναι περίπου 50%, ενώ των περιφερειακών ζεύξεων (που διασυνδέουν πόλεις όπως η Θεσσαλονίκη, Λάρισα, Πάτρα, Ιωάννινα) είναι σχεδόν πάντα λίγο χαμηλότερη του 20%.
- Η συμπεριφορά που παρουσιάστηκε παραπάνω αφορά σε μια περίοδο τεσσάρων εβδομάδων. Ωστόσο, παρόμοια αποτελέσματα αναφορικά με μια συμπληρωματική περίοδο μετρήσεων διάρκειας δύο μηνών υποδεικνύουν παρόμοιες τάσεις. Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν συνολικά τη σταθερότητα των υποδομών του Ε.Δ.Ε.Τ.

4.2 Μελέτη Δικτύου WWW

Ο Πίνακας , δείχνει τους ιστοτόπους που χρησιμοποιήθηκαν ως τελικοί στόχοι από το GNStool στον ελλαδικό χώρο και ανήκουν σε φορείς που εξυπηρετούνται από το Ε.Δ.Ε.Τ.

Πίνακας 4.3 ♦ Εξυπηρετητές WWW που σαρώθηκαν

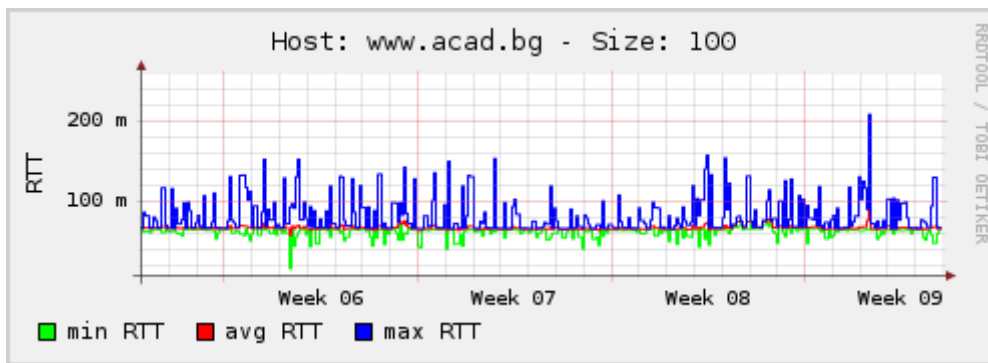
Εξυπηρετητής WWW	Αναγνωριστικό URL	IP δ/νση
Ανωτάτη Σχολή Καλών Τεχνών	www.asfa.gr	195.130.76.30
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης	www.auth.gr	155.207.1.12
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών	www.aua.gr	143.233.187.61
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης	www.duth.gr	192.108.114.43
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών	www.uoa.gr	195.134.100.100
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο	www.ntua.gr	147.102.222.210
Ιόνιο Πανεπιστήμιο	www.ionio.gr	195.130.124.68
Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών	www.aueb.gr	195.251.255.138
Πανεπιστήμιο Αιγαίου	www.aegean.gr	195.251.128.3
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	www.uth.gr	194.177.200.2
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων	www.uoi.gr	195.130.120.109
Πανεπιστήμιο Κρήτης	www.uoc.gr	147.52.3.114
Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών	www.uom.gr	195.251.213.110
Πανεπιστήμιο Πατρών	www.upatras.gr	150.140.129.6
Πανεπιστήμιο Πειραιά	www.unipi.gr	195.251.229.6
Πάντειο Πανεπιστήμιο Κοινωνικών & Πολιτικών Επιστημών	www.panteion.gr	194.177.218.4
Πολυτεχνείο Κρήτης	www.tuc.gr	147.27.15.134
Σχολή Ικάρων	www.hafa.gr	195.251.0.1
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο	www.hua.gr	195.130.90.7
ΤΕΙ Αθηνών	www.teiath.gr	195.130.100.42
ΤΕΙ Ηπείρου	www.teiep.gr	195.130.72.52

ΤΕΙ Κρήτης	www.teiher.gr	193.92.11.2
ΤΕΙ Θεσσαλονίκης	www.teithe.gr	195.251.240.232
ΤΕΙ Καβάλας	www.teikav.edu.gr	195.130.92.142
ΤΕΙ Καλαμάτας	www.teikal.gr	195.130.95.1
ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας	www.teikoz.gr	195.130.80.47
ΤΕΙ Λαμίας	www.teilam.gr	195.130.78.205
ΤΕΙ Λάρισας	www.teilar.gr	195.251.124.93
ΤΕΙ Μεσολογγίου	www.teimes.gr	194.177.216.12
ΤΕΙ Πάτρας	www.teipat.gr	195.251.8.35
ΤΕΙ Πειραιά	www.teipir.gr	195.251.64.100
ΤΕΙ Σερρών	www.teiser.gr	195.130.67.5
ΤΕΙ Χαλκίδας	www.teihal.gr	195.130.65.42
ΕΚΕΦΕ-Δημόκριτος	www.demokritos.gr	143.233.16.40
Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας	www.gsrt.gr	194.177.212.60
Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης	www.ekdd.gr	195.130.74.248
Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης-ΕΙΕ	www.ekt.gr	194.177.214.8
Εθνικό Κέντρο Διαβήτη	www.hndc.gr	195.130.66.140
Ινστιτούτο Επεξεργασίας Λόγου – Αθήνα	www.ilsp.gr	194.177.217.209
Ινστιτούτο Επεξεργασίας Λόγου – Ξάνθη	www.xanthi.ilsp.gr	194.177.217.206
Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης	www.imbc.gr	83.212.250.3
Ινστιτούτο Pasteur	www.pasteur.gr	62.103.152.160
Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας	www.ics.forth.gr	139.91.151.170
ΟΤΕ - Συγκρότημα Εργαστηρίων Νέων Τεχνολογιών & Υπηρεσιών	www.oteresearch.gr	193.218.96.2
Bulgarian Academic Research Network	www.acad.bg	194.141.0.9
Κέντρο Ερευνών για Θέματα Ισότητας	www.kethi.gr	143.233.127.5
Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών	www.eie.gr	195.251.6.100
CY-NET / Πανεπιστήμιο Κύπρου	www.ucy.ac.cy	194.42.1.1
Εθνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών	www.hcmr.gr	83.212.250.3
Υπουργείο Οικονομίας & Οικονομικών	www.mnec.gr	194.219.152.77
Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο	www.sch.gr	194.63.238.45
Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας	www.ceti.gr	195.251.3.11
Παιδαγωγικό Ινστιτούτο	www.pi-schools.gr	195.251.20.33
ΕΚΕΤΑ - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεματικής	www.iti.gr	195.251.117.4
Κέντρο Ερευνών ΝΕΣΤΩΡ	www.nestor.org.gr	195.251.5.3
Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων	www.ypepth.gr	195.251.16.195
Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	www.noa.gr	195.251.204.10
ΕΙΧΗΜΥΘ	www.iceht.forth.gr	195.251.205.3
Ε.ΚΕ.ΒΕ "ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΦΛΕΜΙΓΚ"	www.fleming.gr	194.30.194.134
Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης – ΕΛΟΤ	www.elot.gr	193.218.124.12
Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας	www.oasp.gr	195.251.23.10
Yugoslavic Academic Research Network - AMREJ	www.bg.ac.yu	147.91.79.3
Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε.	www.selete.gr	82.98.86.165
Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο	www.eap.gr	193.108.160.53
Ασκοί του Αιόλου	www.edunet.gr	195.134.98.120
Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας – ΡΑΕ	www.rae.gr	195.251.119.23
GEANT - European High Speed Research Network	www.geant.net	62.40.122.147
CEDEFOP - Ευρωπαϊκό Κέντρο για την Ανάπτυξη της Επαγγελματικής Κατάρτισης	www.cedefop.europa.eu	194.26.23.38
Διεθνές Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης Θεσσαλονίκης - UNTC	www.untcentre.org	66.7.193.146
Βουλή των Ελλήνων	www.parliament.gr	195.251.32.78

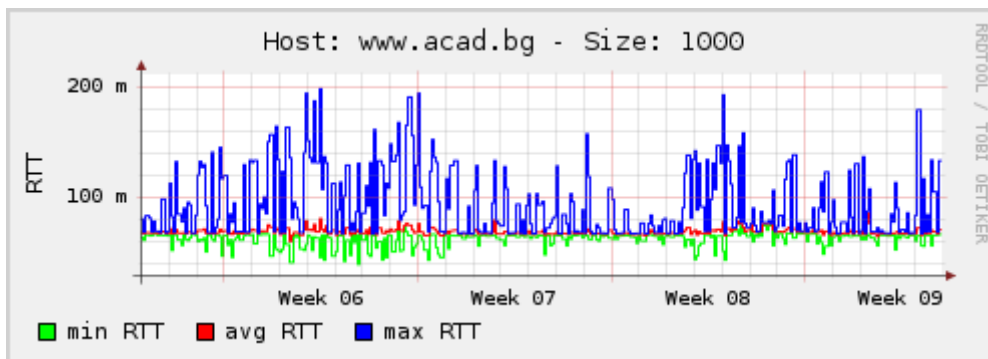
ΕΚΕΤΑ - Ινστιτούτο Αγροβιοτεχνολογίας	www.certh.gr	160.40.10.21
Δίκτυο ΣΥΖΕΥΞΙΣ	www.syzeffixis.gov.gr	84.205.243.1
Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου	www.uop.gr	195.251.39.130
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - ΚΑΠΕ	www.cres.gr	195.251.42.4
Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών - ΙΓΜΕ	www.igme.gr	195.251.40.14
Ίδρυμα Ευγενίδου	www.eugenfound.edu.gr	195.251.41.135
Ανωτέρα Εκκλησιαστική Σχολή Θεσσαλονίκης	www.oipp.gr	194.177.211.74
Γεωργική & Βιοτεχνική Σχολή Θεσσαλονίκης	www.afs.edu.gr	88.208.238.175
Ακαδημία Αθηνών - Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών	www.bioacademy.gr	195.251.115.254
Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών - ΙΤΣΑΚ	www.itsak.gr	195.251.49.14
Κέντρο Ελληνικής Γλώσσας	www.komvos.edu.gr	84.205.252.101
Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας	www.civilprotection.gr	70.85.175.34
Κέντρο Ερευνών των Τεχνολογιών Επικοινωνίας & Πληροφορίας - ΚΕΤΕΠ	www.iris-ketep.gr	194.177.217.104
Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας	www.grnet.gr	194.177.211.37
ΤΕΙ Ιονίων Νήσων	www.teiion.gr	195.251.51.53
Γενική Γραμματεία Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδας	www.statistics.gr	84.205.255.132
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας	www.uowm.gr	83.212.16.10
Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής & Ασφάλειας της Εργασίας	www.elinyae.gr	195.251.4.70
Ινστιτούτο Έρευνας Μουσικής & Ακουστικής	www.iema.gr	195.251.97.7
Πανεπιστήμιο Στερεάς Ελλάδας	www.ucg.gr	195.251.108.252
Ακαδημία Αθηνών	www.academyofathens.gr	195.134.102.18
Ερευνητικό Ακαδημαϊκό Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών	www.cti.gr	150.140.1.10
Γαλλική Σχολή Αθηνών	www.efa.gr	83.212.248.3
Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων	www.maich.gr	193.218.36.11
Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας	www.tee.gr	212.70.193.130
Ερευνητικό και Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών - ΕΠΙΣΕΥ	www.iccs.gr	147.102.5.138

Στη συνέχεια, παραθέτουμε ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων που συλλέχθηκαν με την πρώτη επιλογή λειτουργίας του GNStool, για ένα υποσύνολο των στόχων που παρατίθενται στον Πίνακα . Η παρουσίαση αυτών των αποτελεσμάτων έχει διττό στόχο. Αφενός, συγκρίνονται οι χρόνοι διαδρομής μετ' επιστροφής που καταγράφηκαν από δύο τοποθεσίες λήψης μετρήσεων, μία στο Ε.Μ.Π και μία στο Α.Π.Θ, για δύο μεγέθη πακέτων **ICMP Echo Request** (100 bytes & 1000 bytes) και αφετέρου, παρουσιάζεται η κατανομή των χρόνων διαδρομής μετ' επιστροφής που καταγράφηκαν από το μηχάνημα **potis.netmode.ntua.gr** για ένα ευρύ χρονικό διάστημα διάρκειας τεσσάρων μηνών.

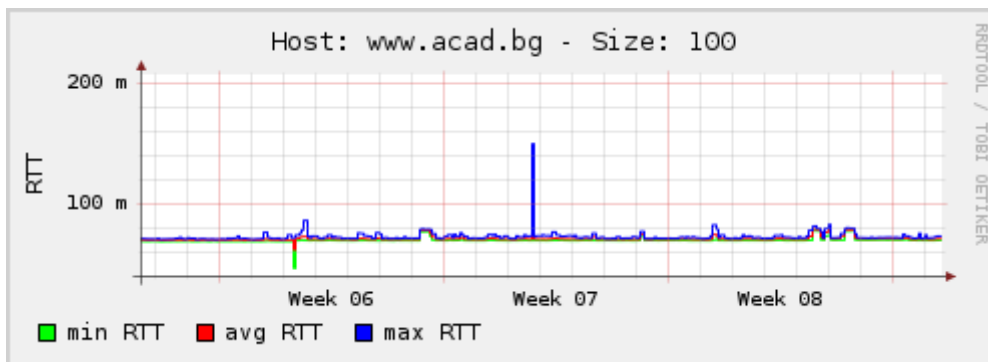
Μετρήσεις RTT (Τοποθεσίες Λήψης Μετρήσεων: Ε.Μ.Π & Α.Π.Θ, Χρονική περίοδος διάρκειας 30 ημερών)



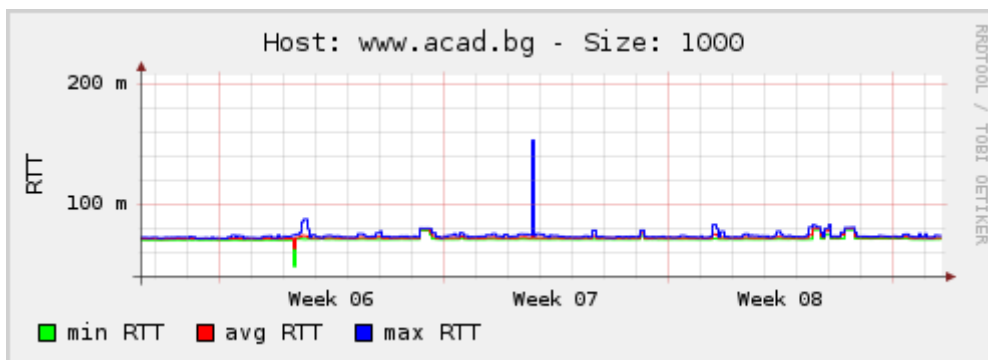
Διάγραμμα 26 ♦ RTT με Bulgarian Academic Research Network (NTUA)



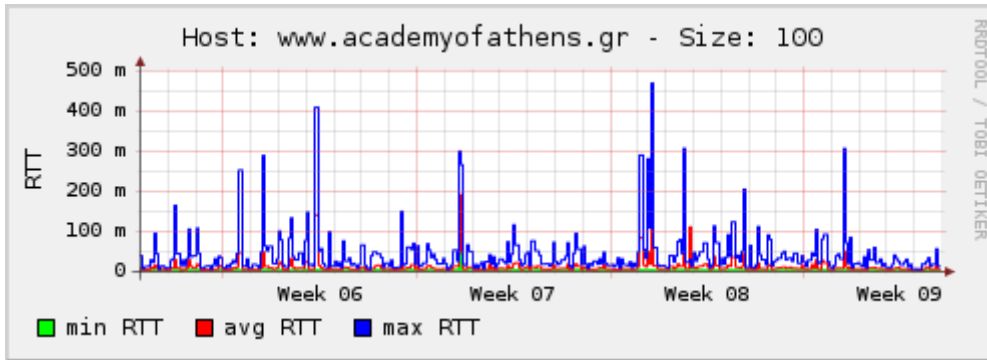
Διάγραμμα 27 ♦ RTT με Bulgarian Academic Research Network (NTUA)



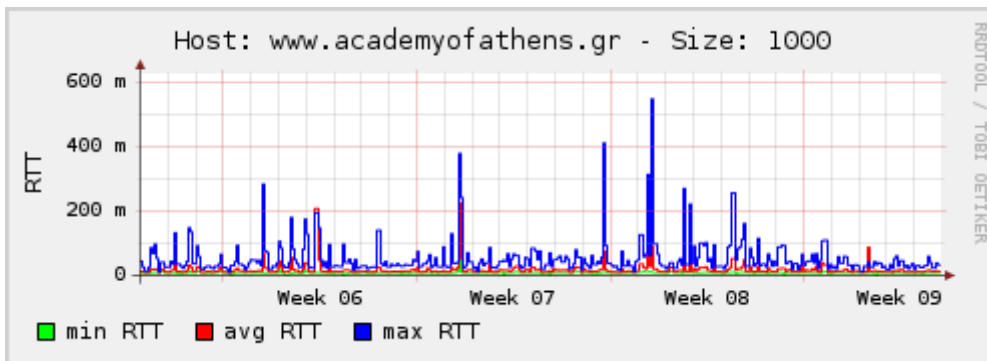
Διάγραμμα 28 ♦ RTT με Bulgarian Academic Research Network (AUTH)



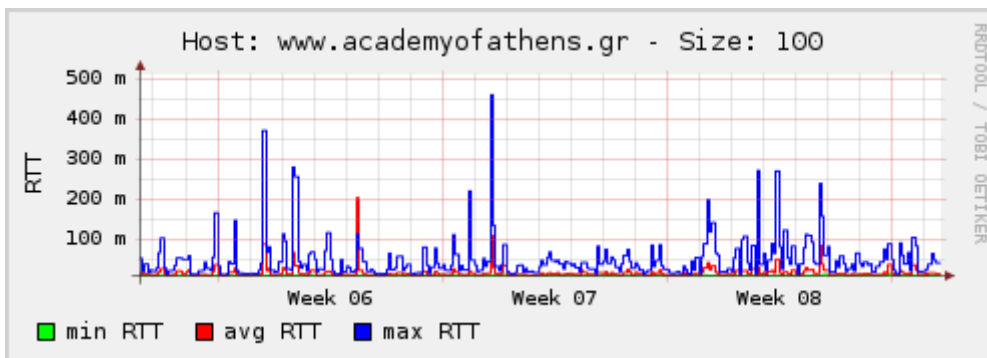
Διάγραμμα 29 ♦ RTT με Bulgarian Academic Research Network (AUTH)



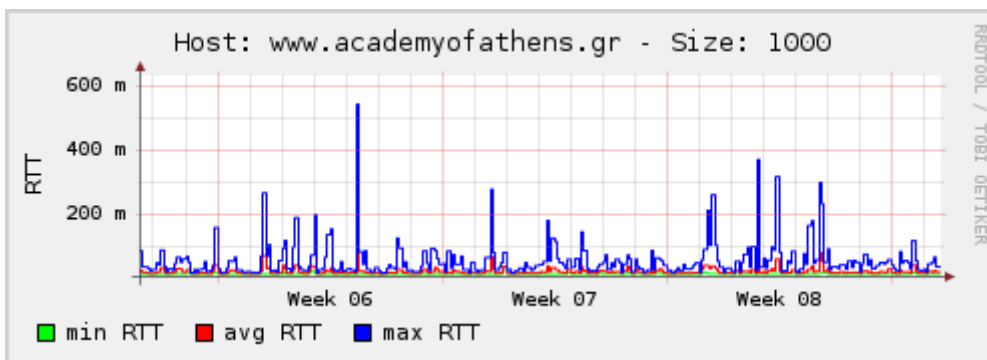
Διάγραμμα 30 ♦ RTT με Ακαδημία Αθηνών (NTUA)



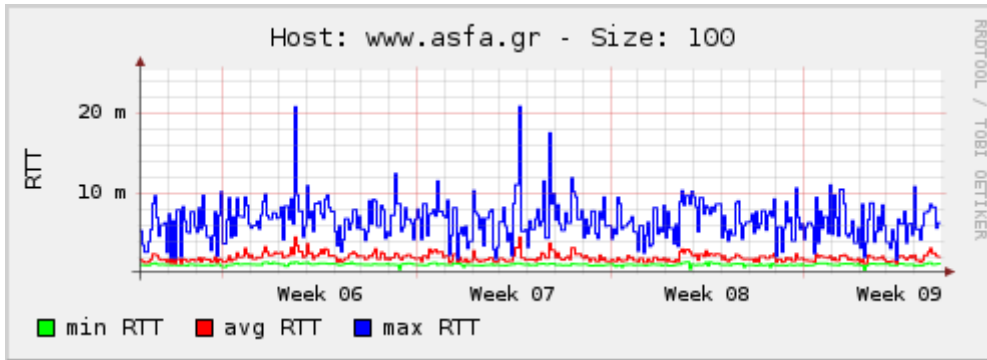
Διάγραμμα 31 ♦ RTT με Ακαδημία Αθηνών (NTUA)



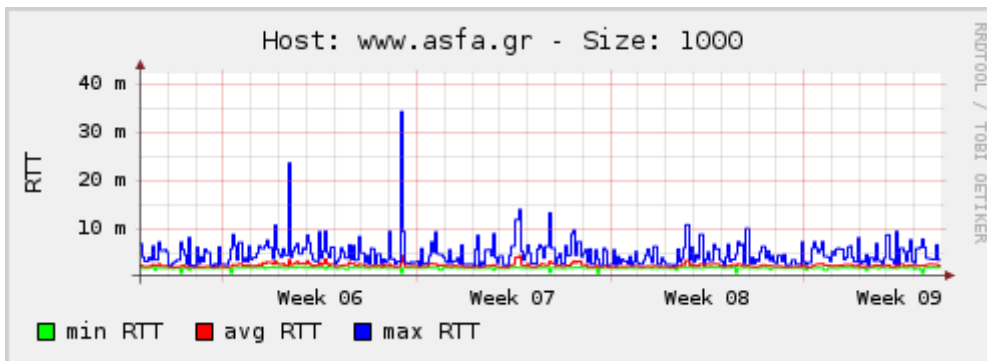
Διάγραμμα 32 ♦ RTT με Ακαδημία Αθηνών (AUTH)



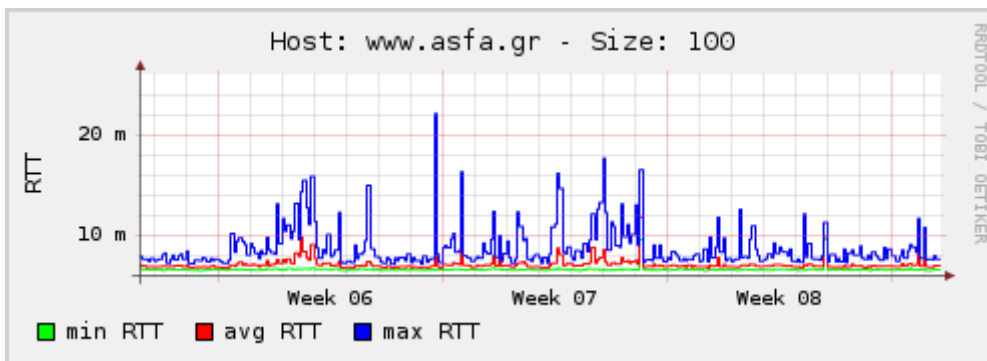
Διάγραμμα 33 ♦ RTT με Ακαδημία Αθηνών (AUTH)



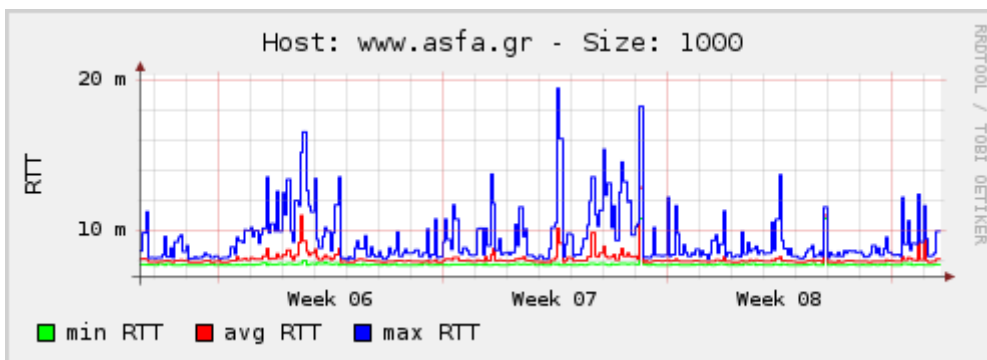
Διάγραμμα 34 ♦ RTT με Ανωτάτη Σχολή Καλών Τεχνών (NTUA)



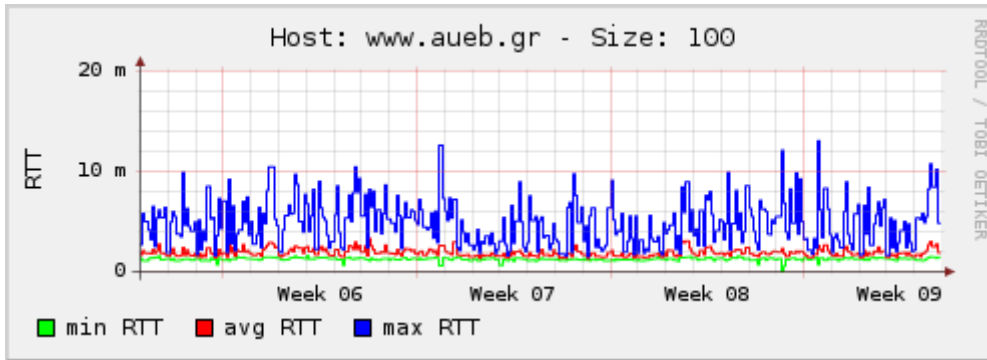
Διάγραμμα 35 ♦ RTT με Ανωτάτη Σχολή Καλών Τεχνών (NTUA)



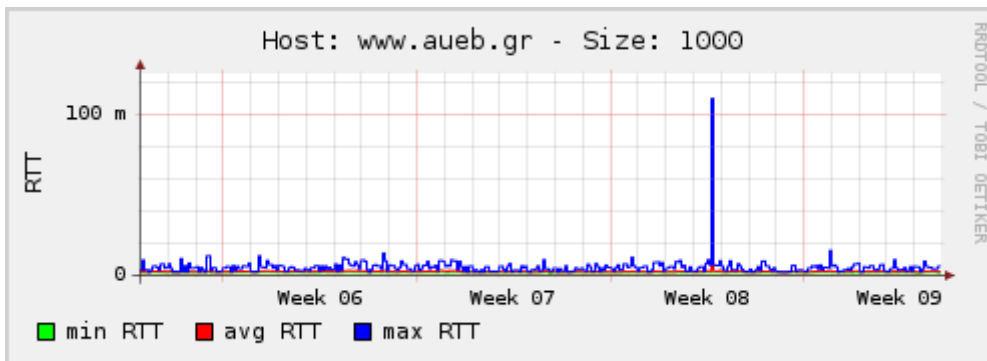
Διάγραμμα 36 ♦ RTT με Ανωτάτη Σχολή Καλών Τεχνών (AUTH)



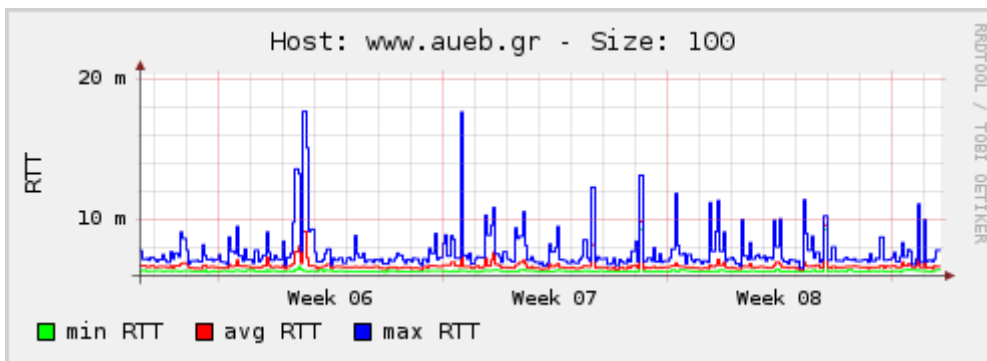
Διάγραμμα 37 ♦ RTT με Ανωτάτη Σχολή Καλών Τεχνών (AUTH)



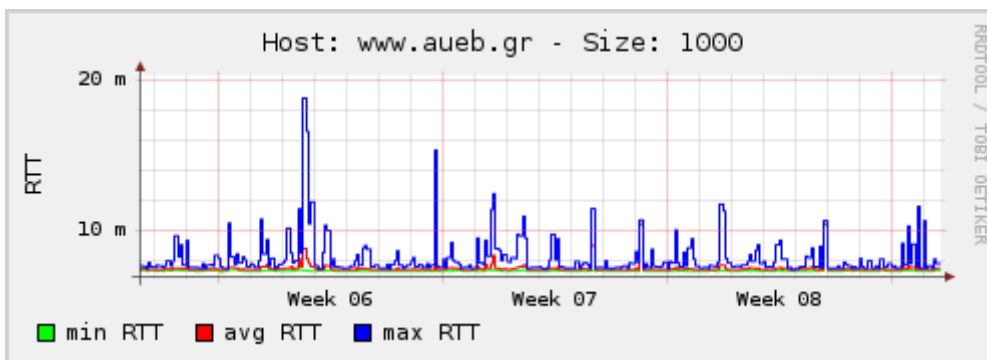
Διάγραμμα 38 ♦ RTT με Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (NTUA)



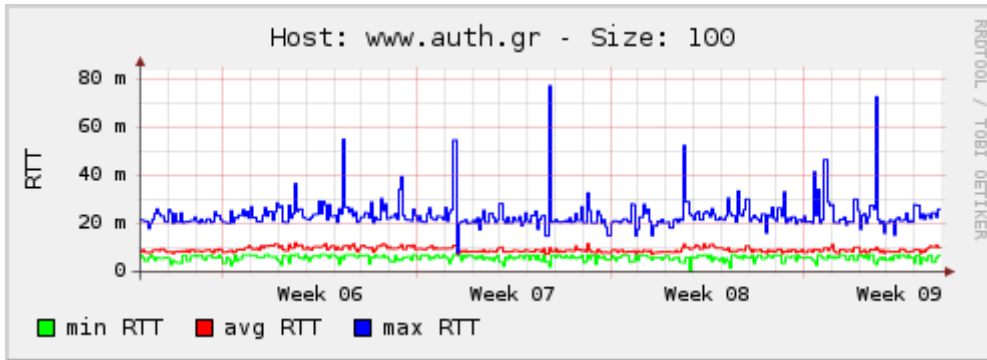
Διάγραμμα 39 ♦ RTT με Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (NTUA)



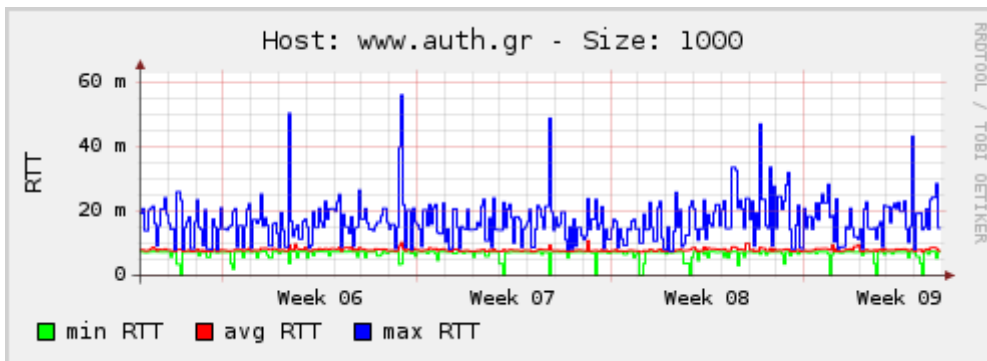
Διάγραμμα 40 ♦ RTT με Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (AUTH)



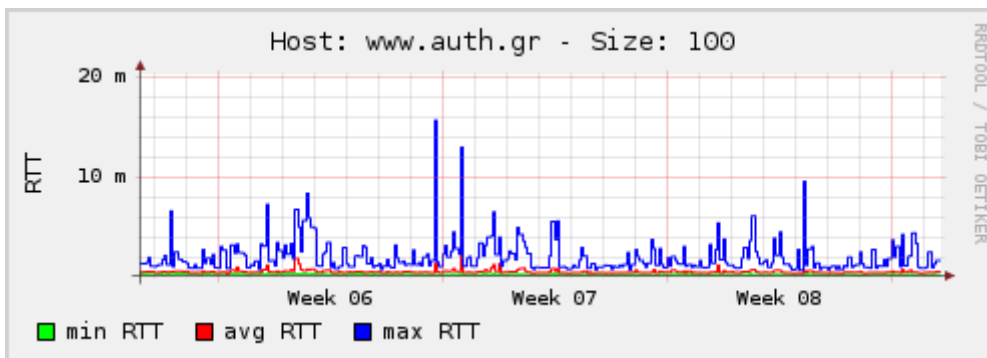
Διάγραμμα 41 ♦ RTT με Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (AUTH)



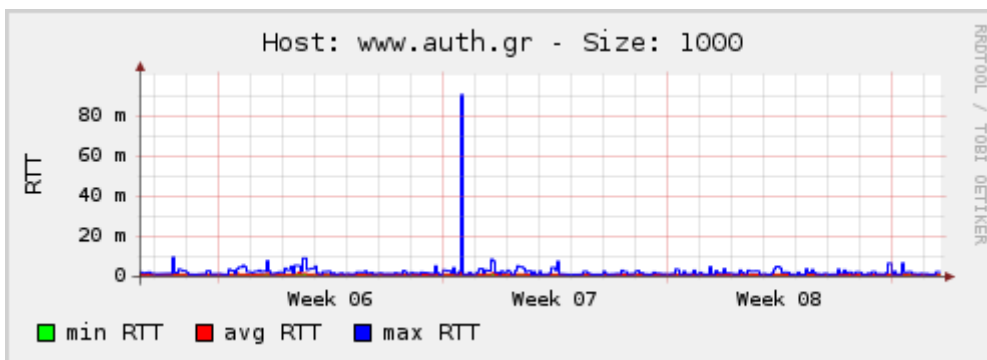
Διάγραμμα 42 ♦ RTT με Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (NTUA)



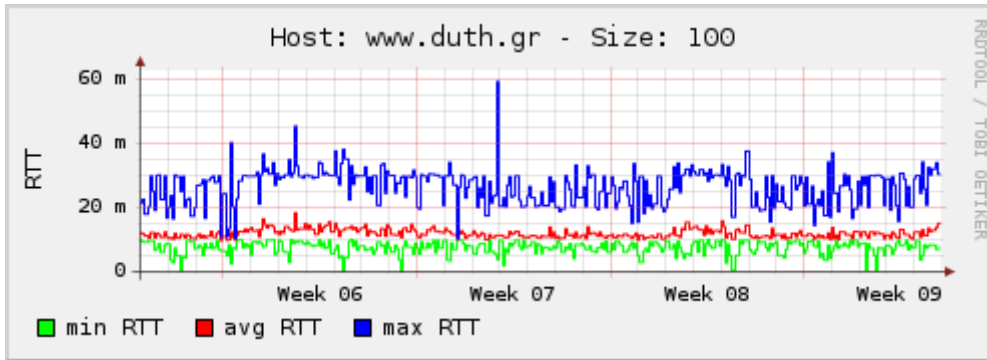
Διάγραμμα 43 ♦ RTT με Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (NTUA)



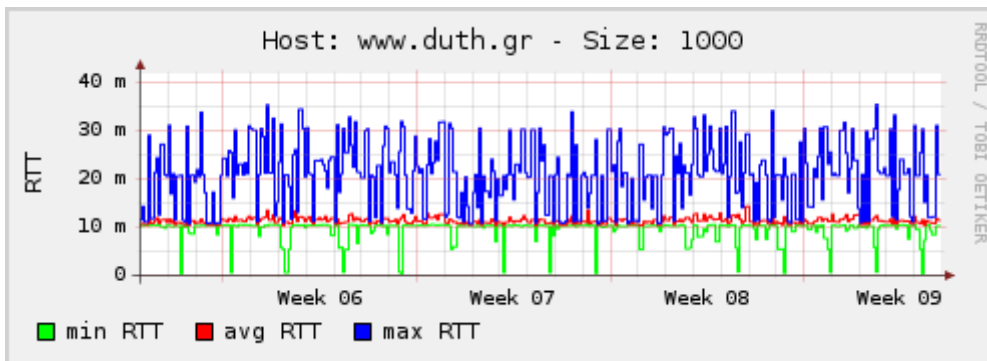
Διάγραμμα 44 ♦ RTT με Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (AUTH)



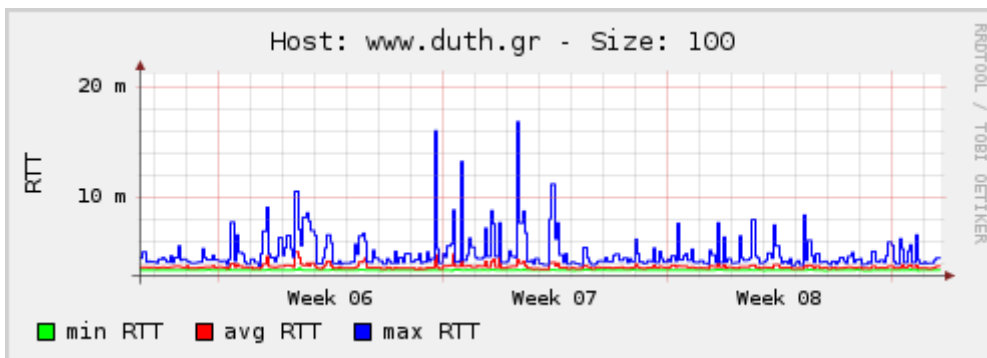
Διάγραμμα 45 ♦ RTT με Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (AUTH)



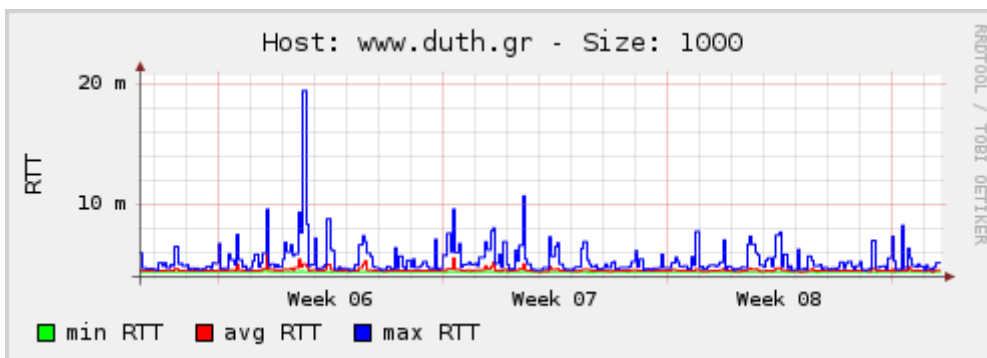
Διάγραμμα 46 ♦ RTT με Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (NTUA)



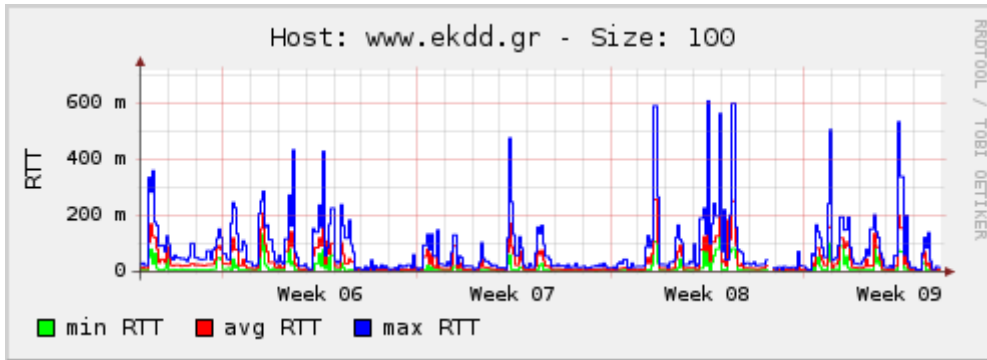
Διάγραμμα 47 ♦ RTT με Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (NTUA)



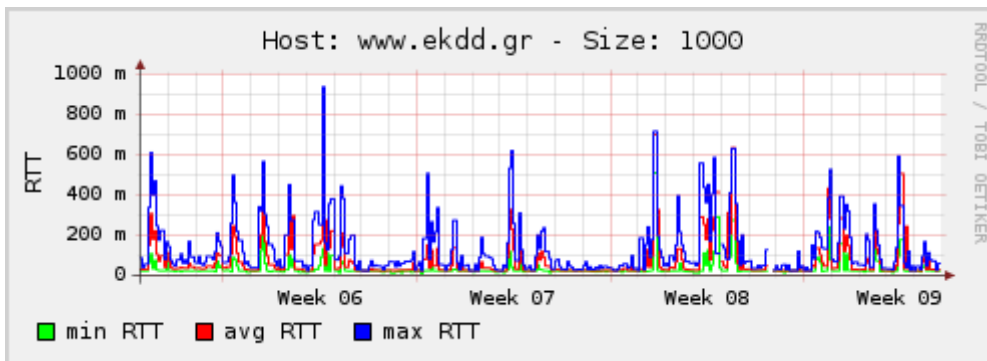
Διάγραμμα 48 ♦ RTT με Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (AUTH)



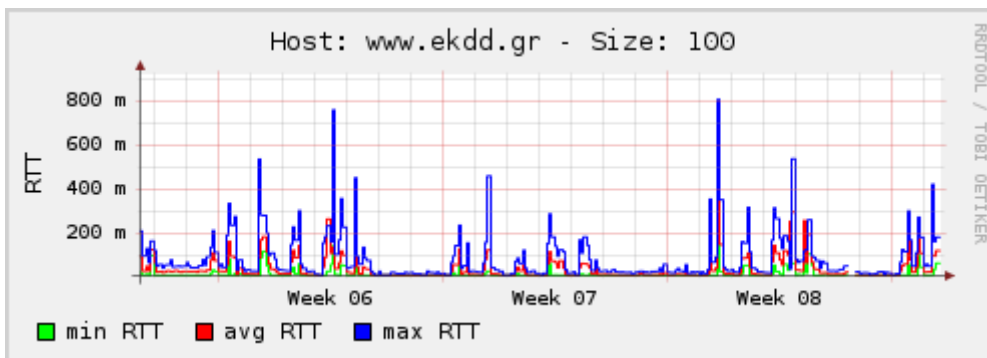
Διάγραμμα 49 ♦ RTT με Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (AUTH)



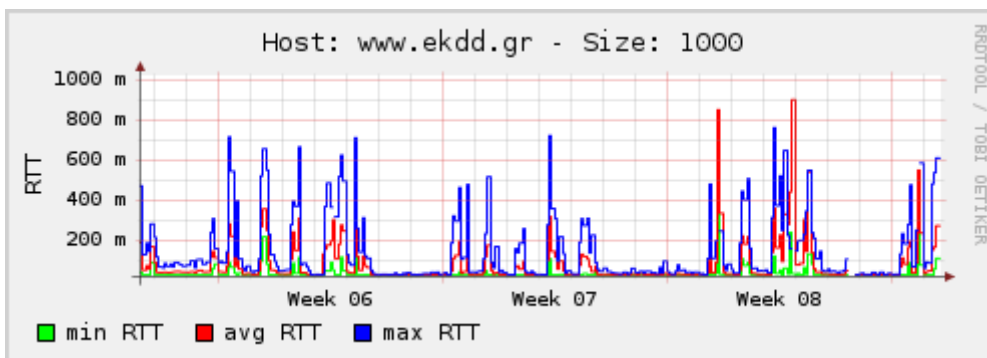
Διάγραμμα 50 ♦ RTT με Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης (NTUA)



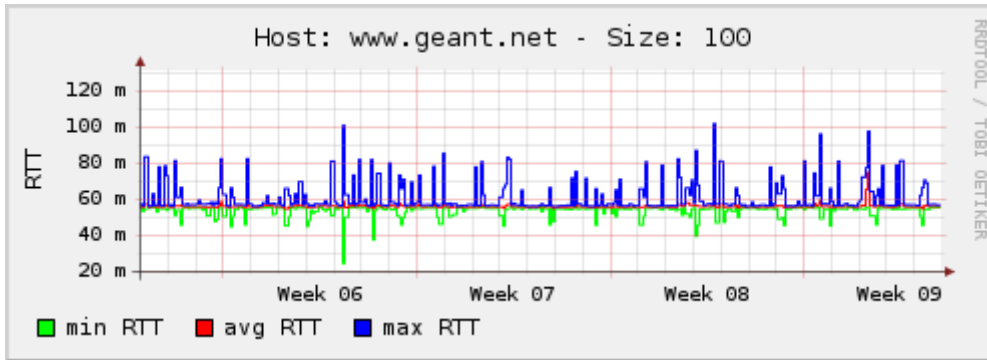
Διάγραμμα 51 ♦ RTT με Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης (NTUA)



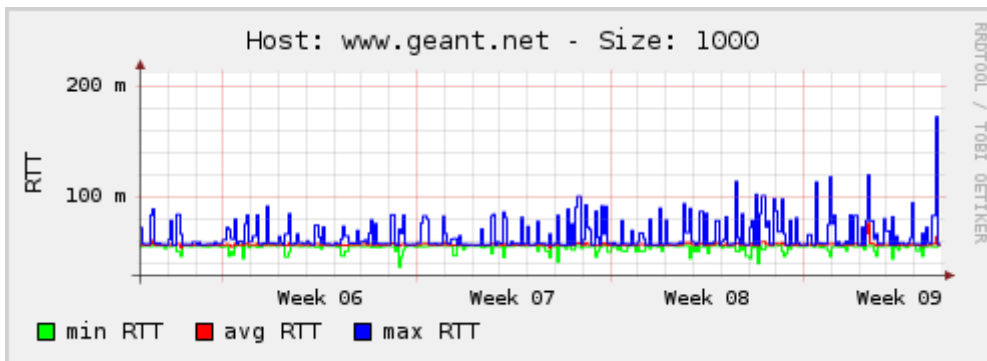
Διάγραμμα 52 ♦ RTT με Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης (AUTH)



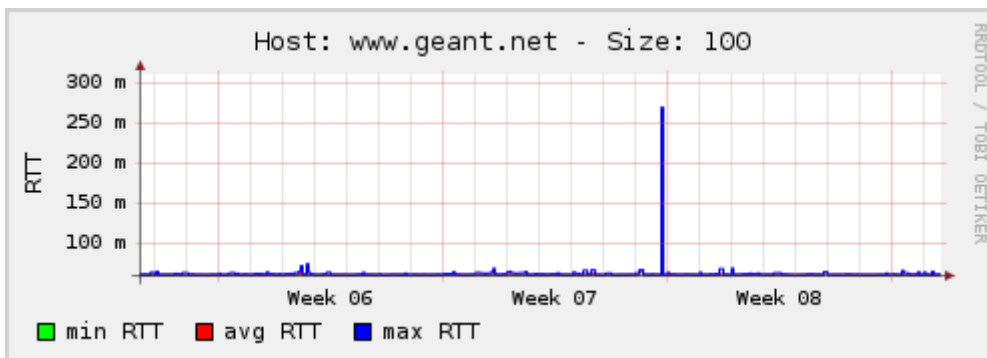
Διάγραμμα 53 ♦ RTT με Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης (AUTH)



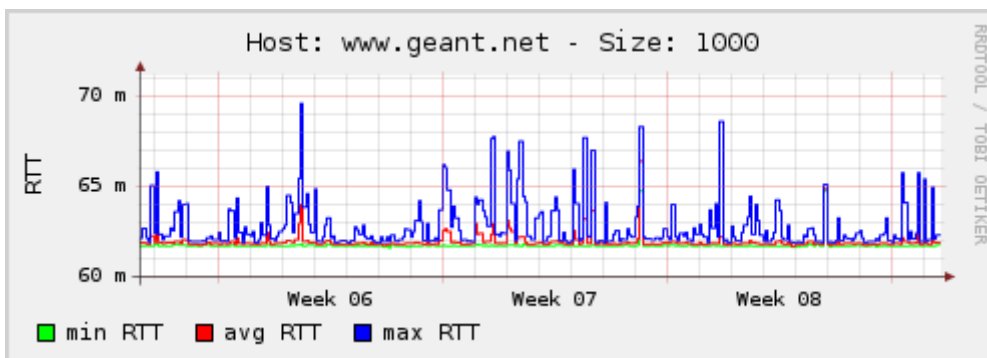
Διάγραμμα 54 ♦ RTT με European High Speed Research Network (NTUA)



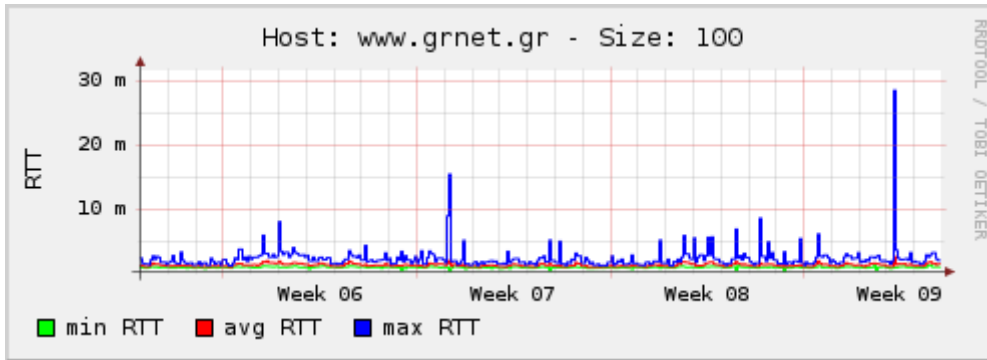
Διάγραμμα 55 ♦ RTT με European High Speed Research Network (NTUA)



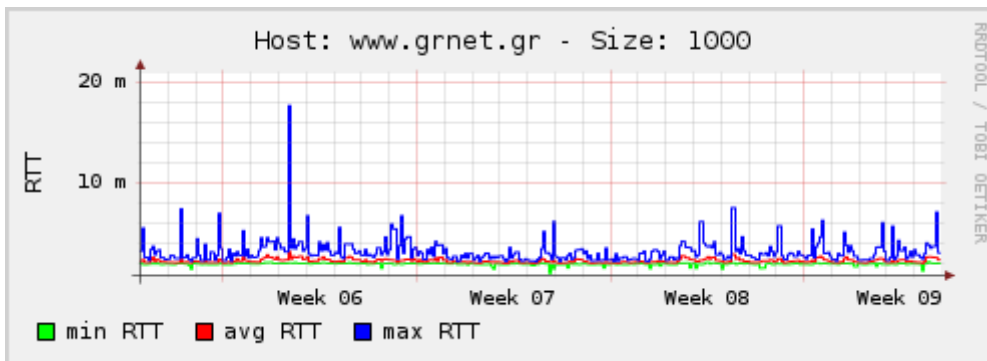
Διάγραμμα 56 ♦ RTT με European High Speed Research Network (AUTH)



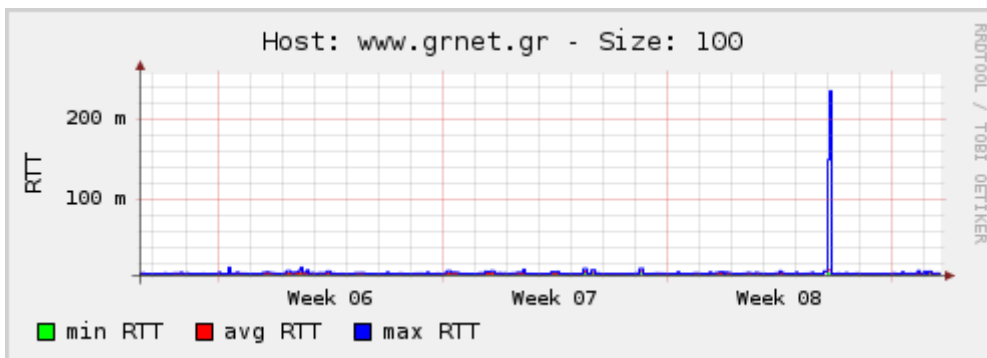
Διάγραμμα 57 ♦ RTT με European High Speed Research Network (AUTH)



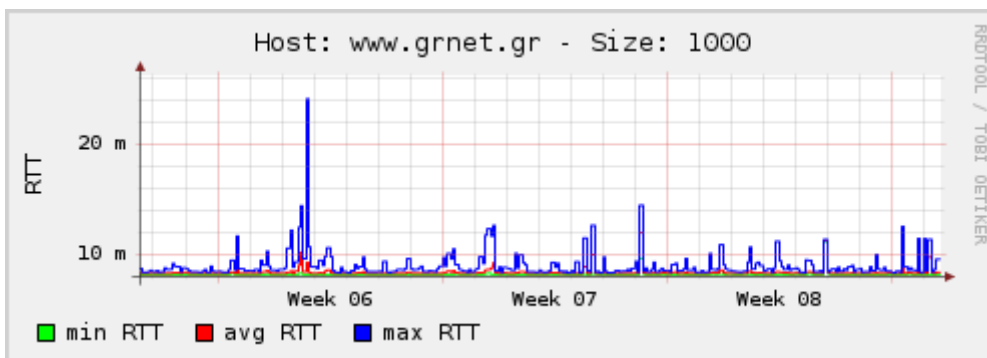
Διάγραμμα 58 ♦ RTT με Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας (NTUA)



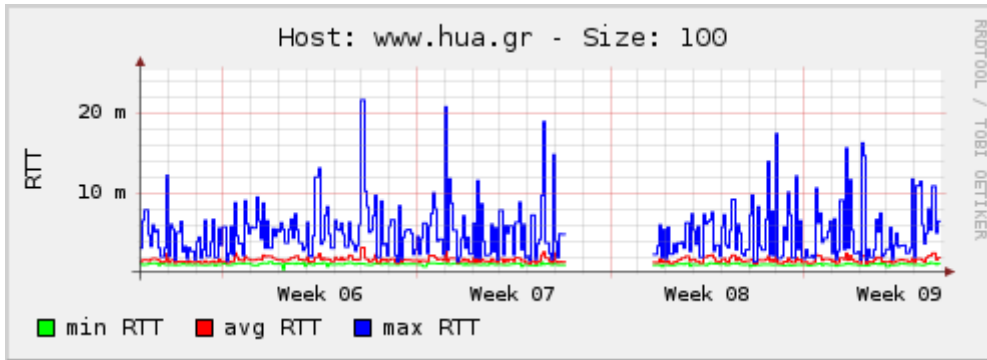
Διάγραμμα 59 ♦ RTT με Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας (NTUA)



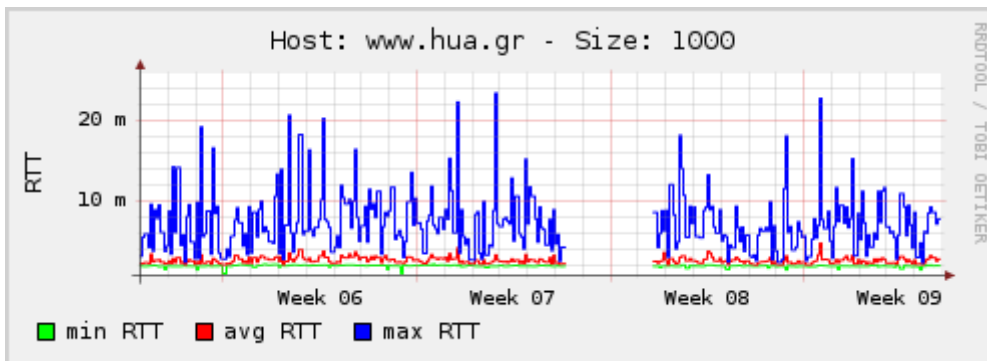
Διάγραμμα 60 ♦ RTT με Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας (AUTH)



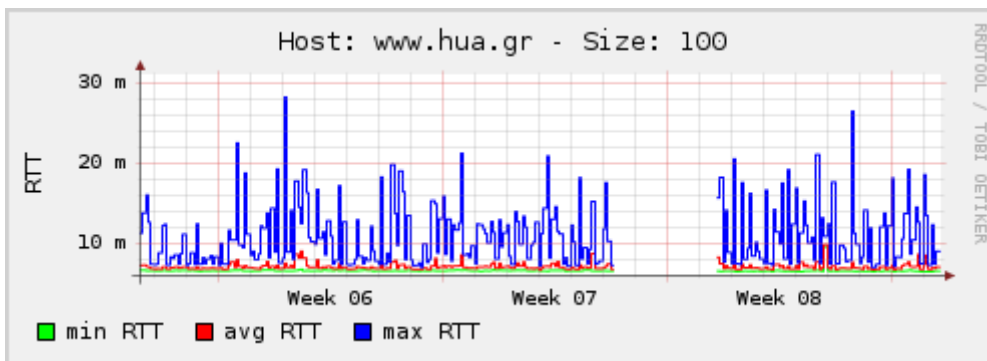
Διάγραμμα 61 ♦ RTT με Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας (AUTH)



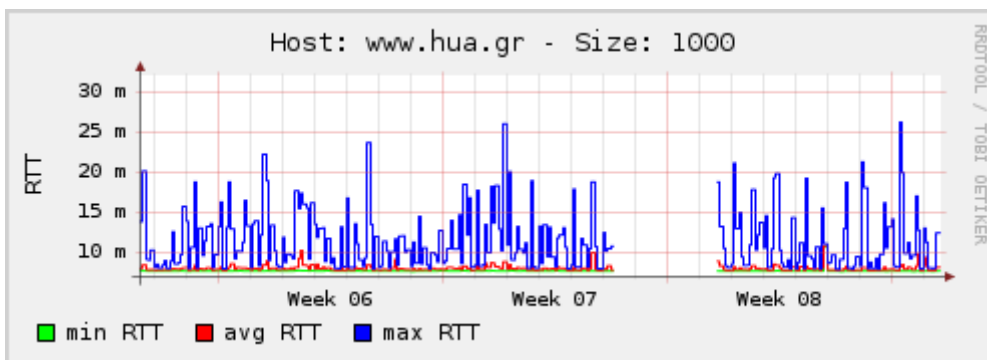
Διάγραμμα 62 ♦ RTT με Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο (NTUA)



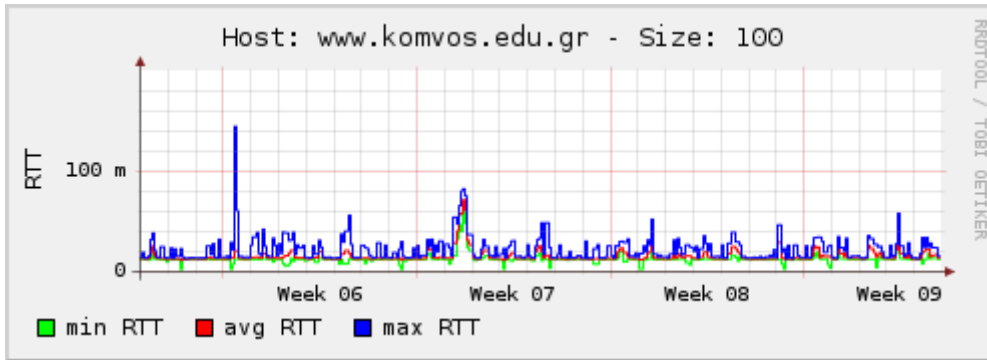
Διάγραμμα 63 ♦ RTT με Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο (NTUA)



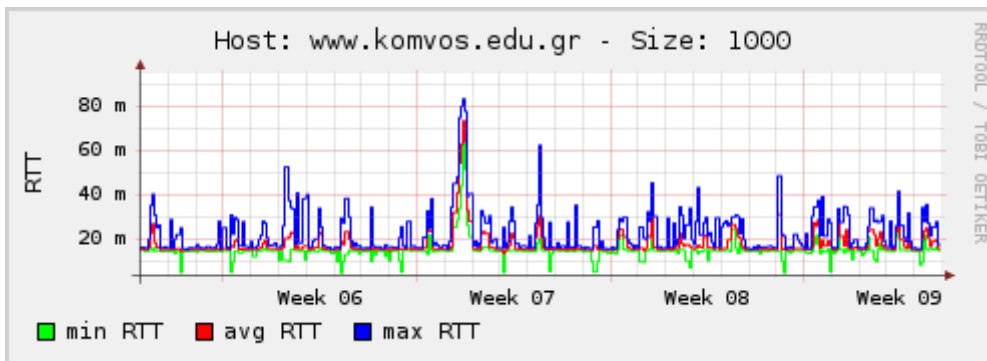
Διάγραμμα 64 ♦ RTT με Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο (AUTH)



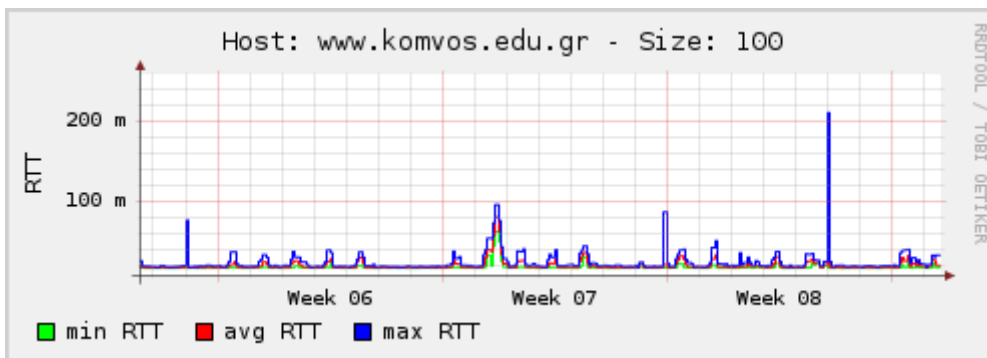
Διάγραμμα 65 ♦ RTT με Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο (AUTH)



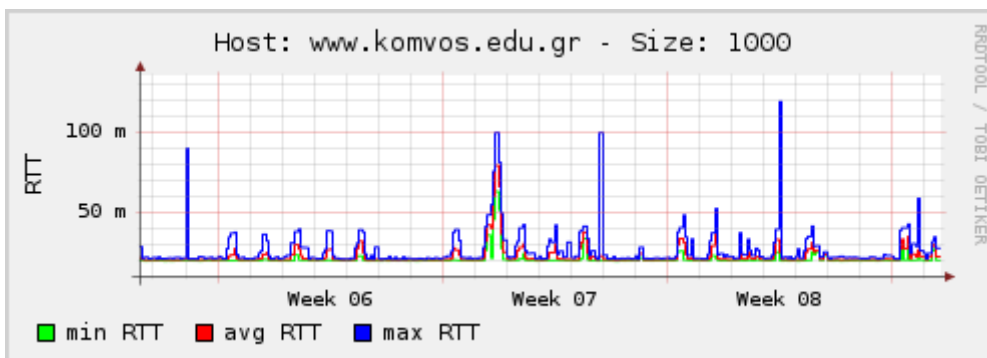
Διάγραμμα 66 ♦ RTT με Κέντρο Ελληνικής Γλώσσας (NTUA)



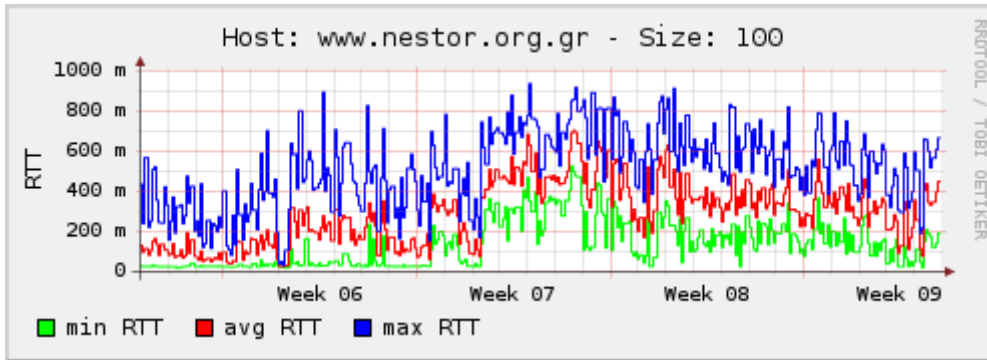
Διάγραμμα 67 ♦ RTT με Κέντρο Ελληνικής Γλώσσας (NTUA)



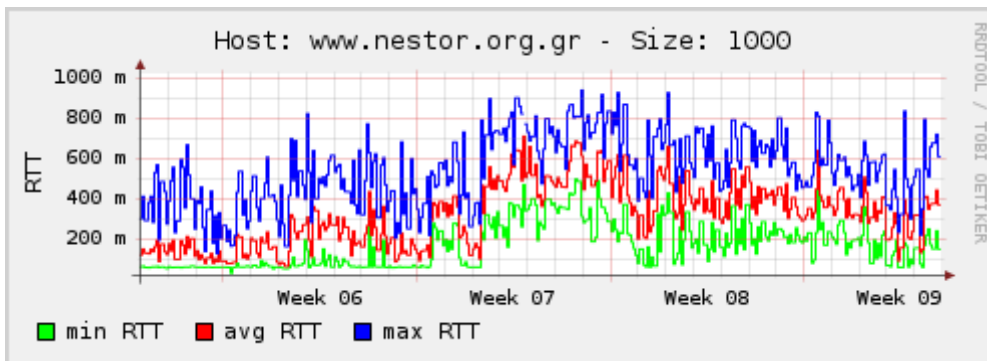
Διάγραμμα 68 ♦ RTT με Κέντρο Ελληνικής Γλώσσας (AUTH)



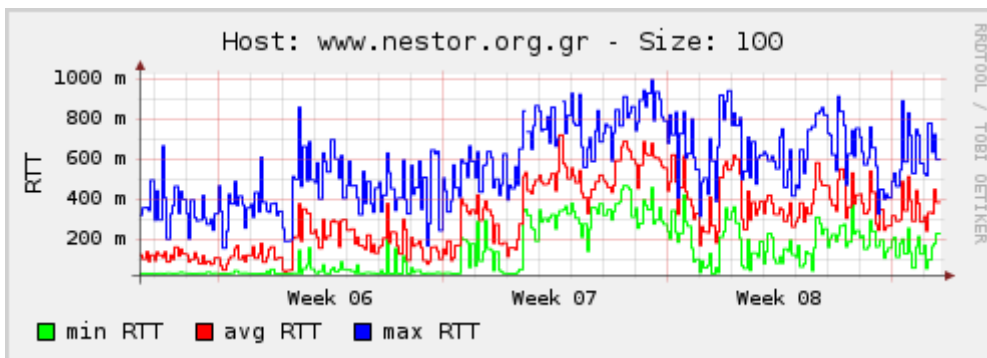
Διάγραμμα 69 ♦ RTT με Κέντρο Ελληνικής Γλώσσας (AUTH)



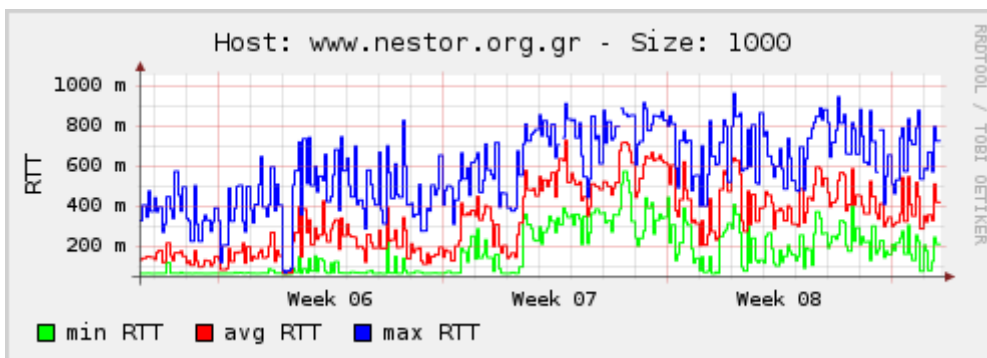
Διάγραμμα 70 ♦ RTT με Κέντρο Ερευνών ΝΕΣΤΩΡ (NTUA)



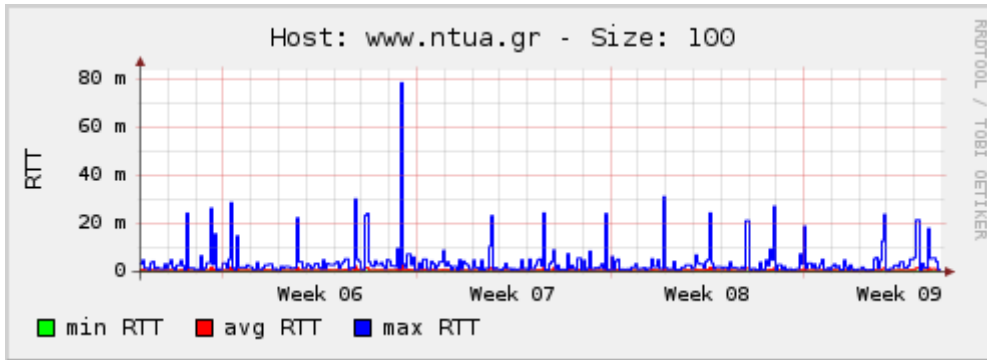
Διάγραμμα 71 ♦ RTT με Κέντρο Ερευνών ΝΕΣΤΩΡ (NTUA)



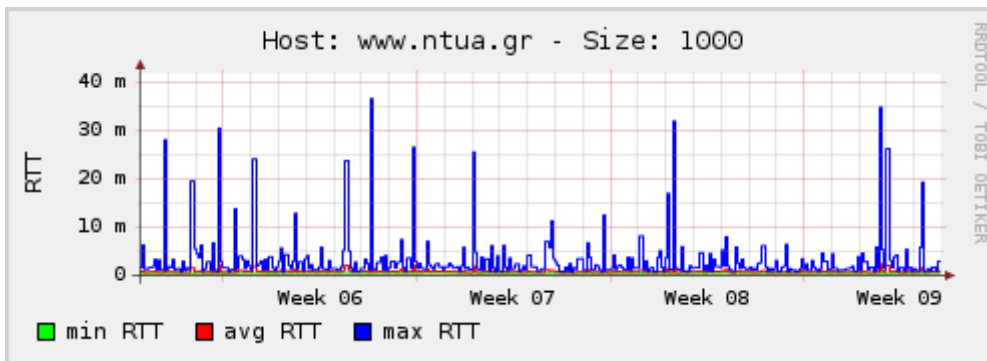
Διάγραμμα 72 ♦ RTT με Κέντρο Ερευνών ΝΕΣΤΩΡ (AUTH)



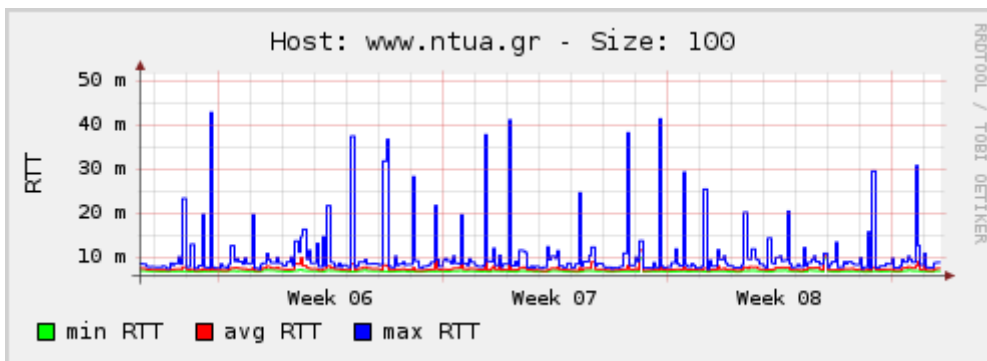
Διάγραμμα 73 ♦ RTT με Κέντρο Ερευνών ΝΕΣΤΩΡ (AUTH)



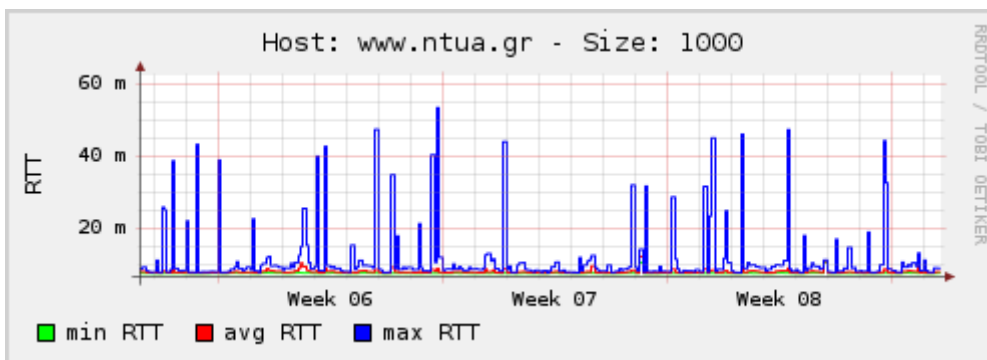
Διάγραμμα 74 ♦ RTT με Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (NTUA)



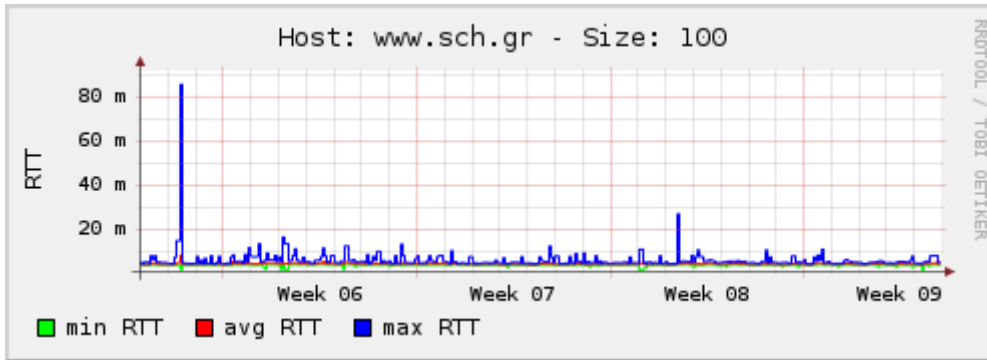
Διάγραμμα 75 ♦ RTT με Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (NTUA)



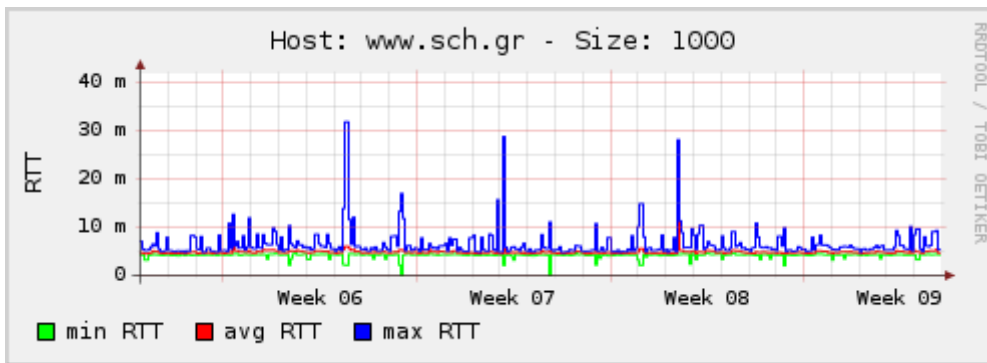
Διάγραμμα 76 ♦ RTT με Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (AUTH)



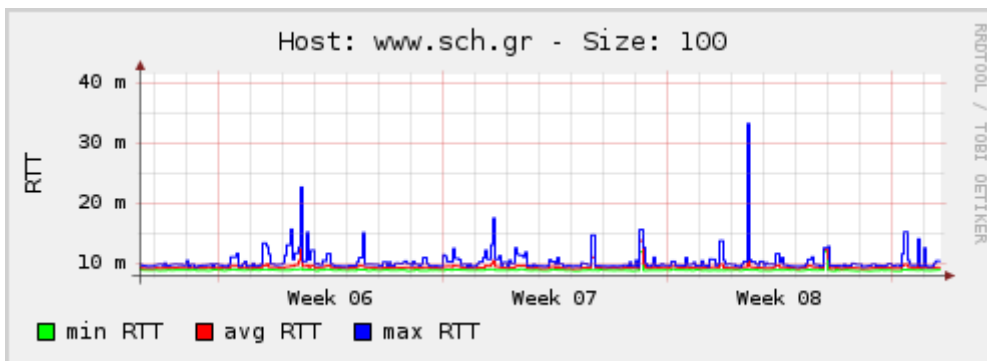
Διάγραμμα 77 ♦ RTT με Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (AUTH)



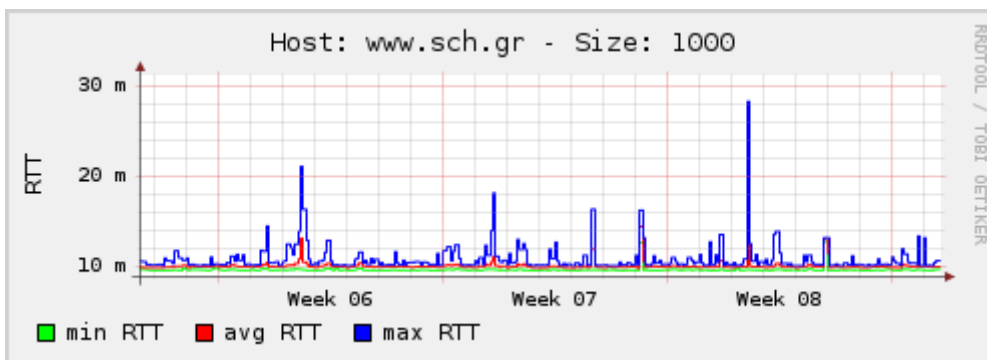
Διάγραμμα 78 ♦ RTT με Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο (NTUA)



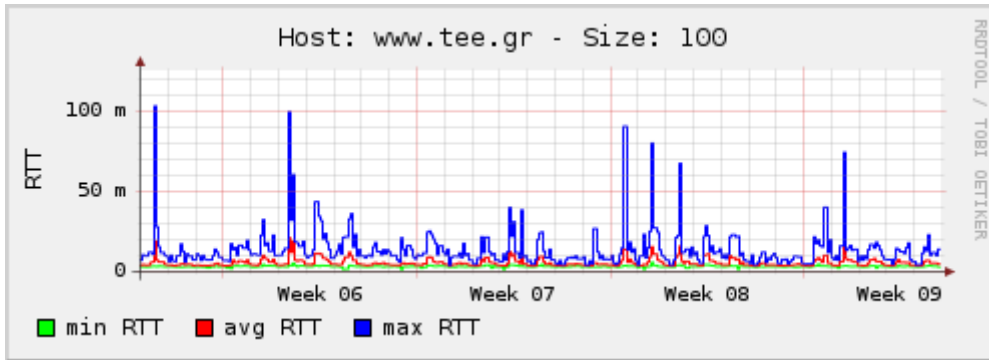
Διάγραμμα 79 ♦ RTT με Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο (NTUA)



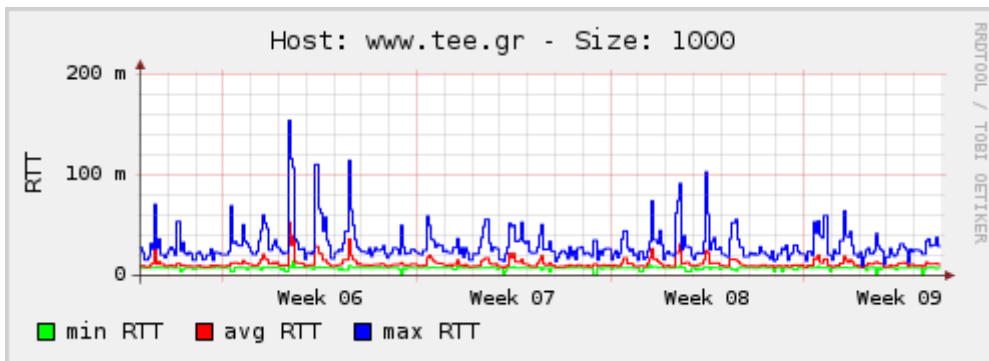
Διάγραμμα 80 ♦ RTT με Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο (AUTH)



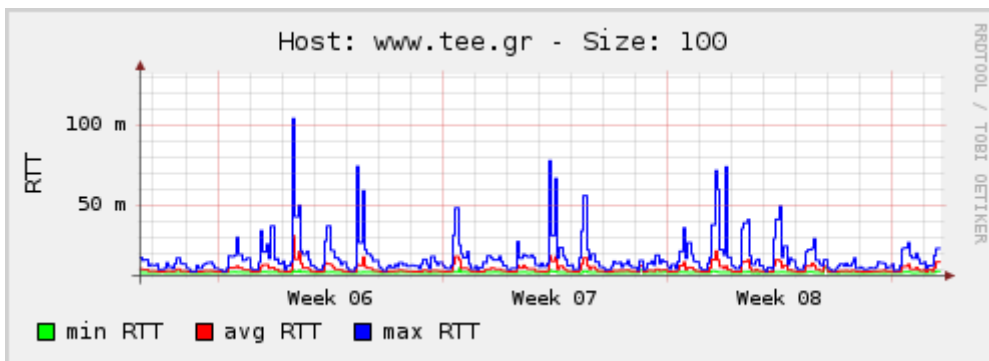
Διάγραμμα 81 ♦ RTT με Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο (AUTH)



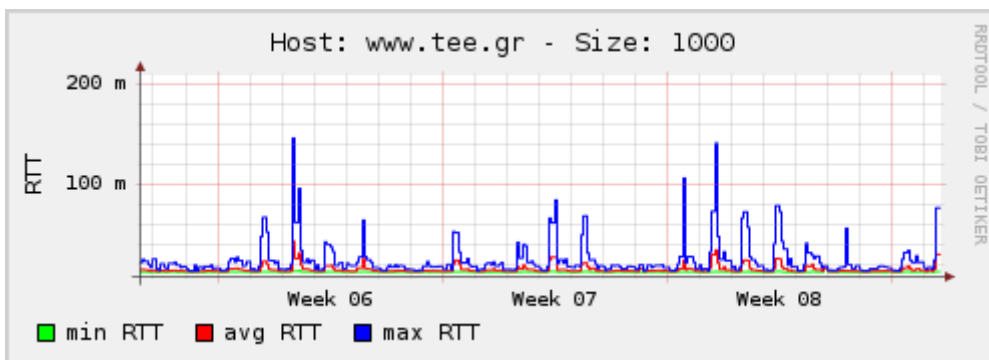
Διάγραμμα 82 ♦ RTT με Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (NTUA)



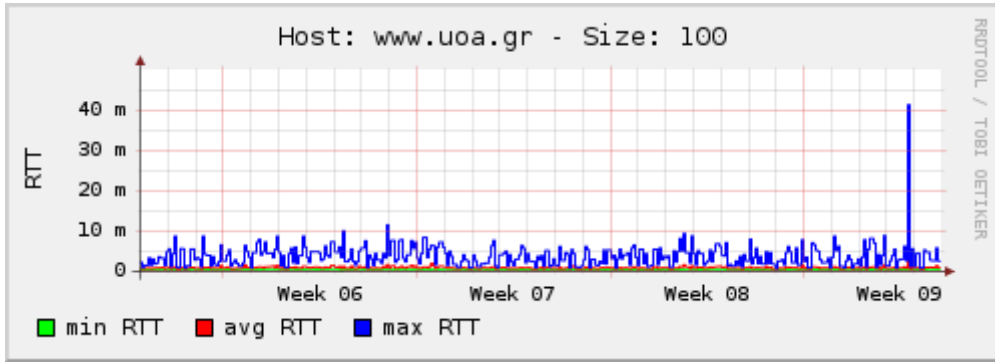
Διάγραμμα 83 ♦ RTT με Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (NTUA)



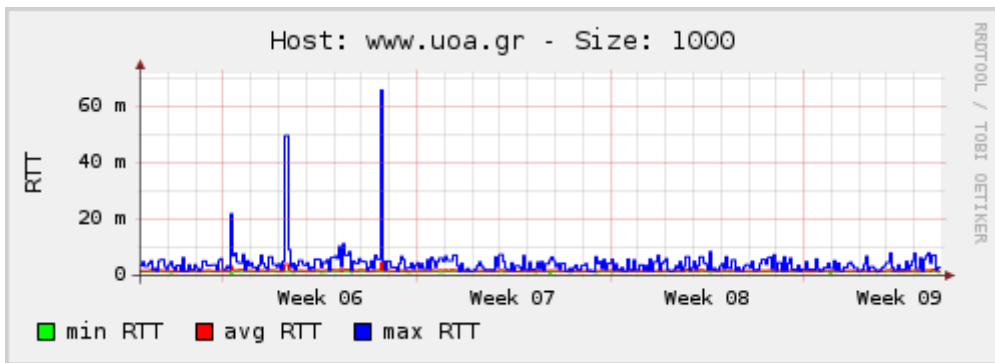
Διάγραμμα 84 ♦ RTT με Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (AUTH)



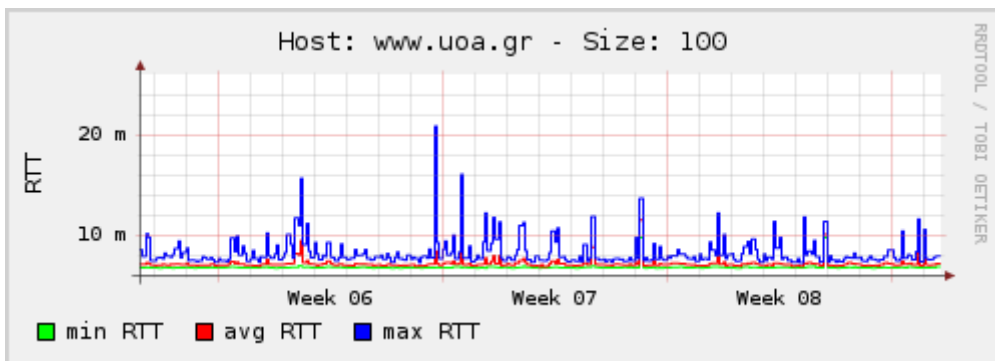
Διάγραμμα 85 ♦ RTT με Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (AUTH)



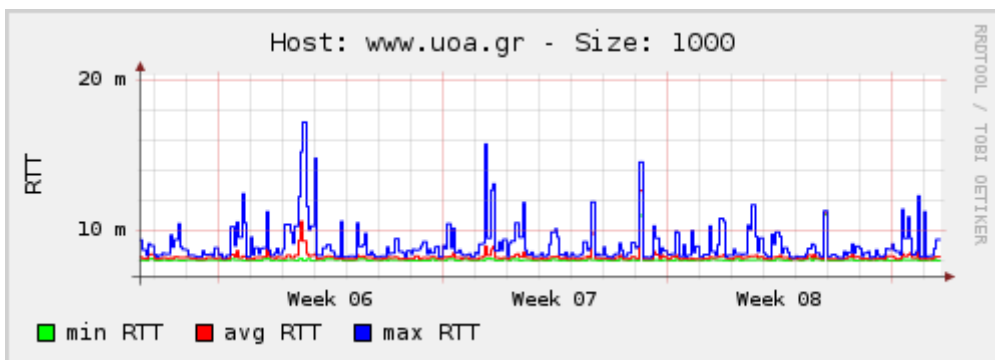
Διάγραμμα 86 ♦ RTT με Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (NTUA)



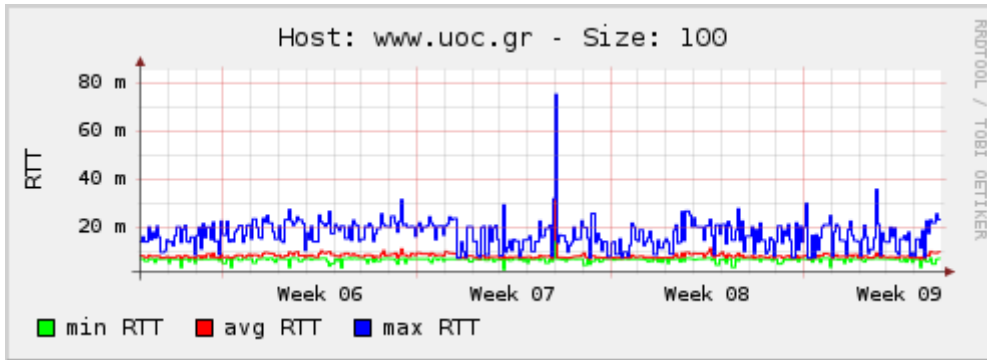
Διάγραμμα 87 ♦ RTT με Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (NTUA)



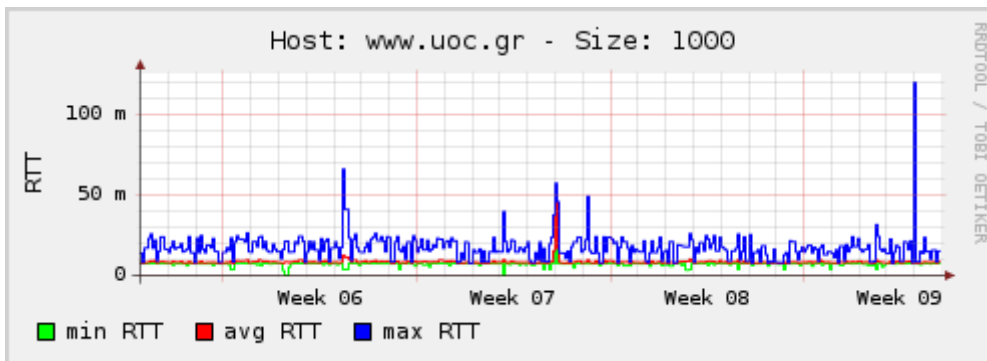
Διάγραμμα 88 ♦ RTT με Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (AUTH)



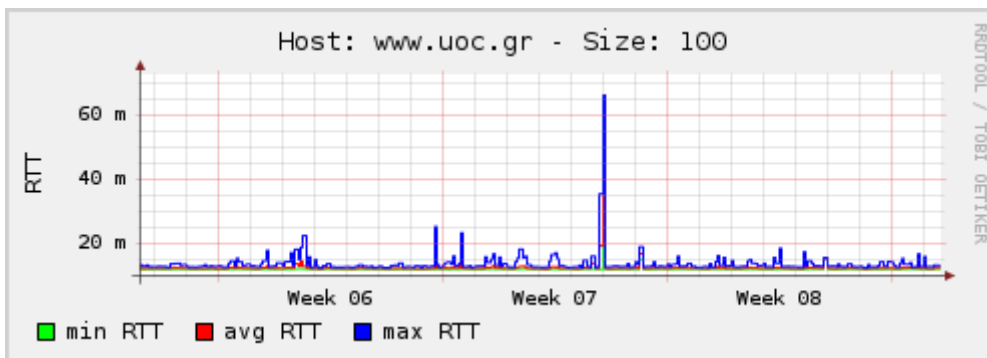
Διάγραμμα 89 ♦ RTT με Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (AUTH)



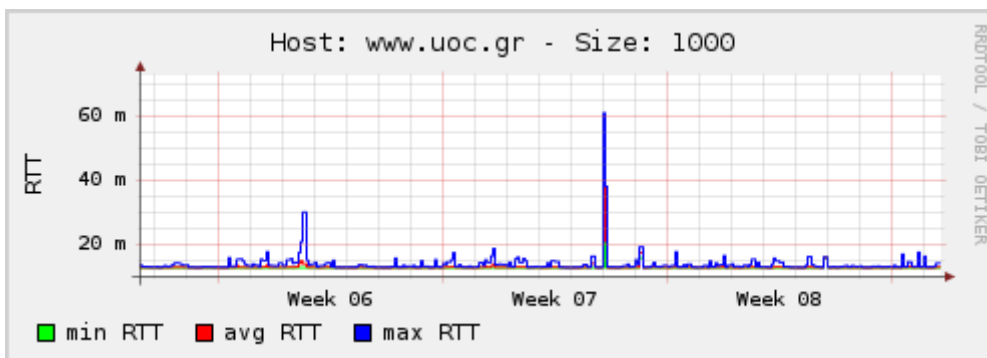
Διάγραμμα 90 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Κρήτης (NTUA)



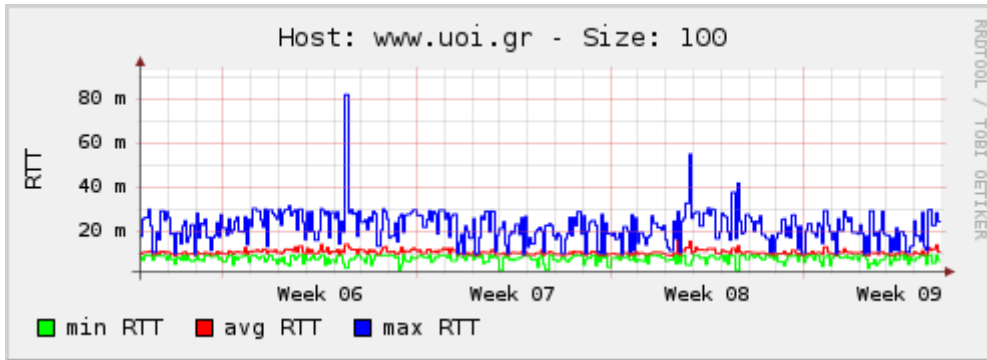
Διάγραμμα 91 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Κρήτης (NTUA)



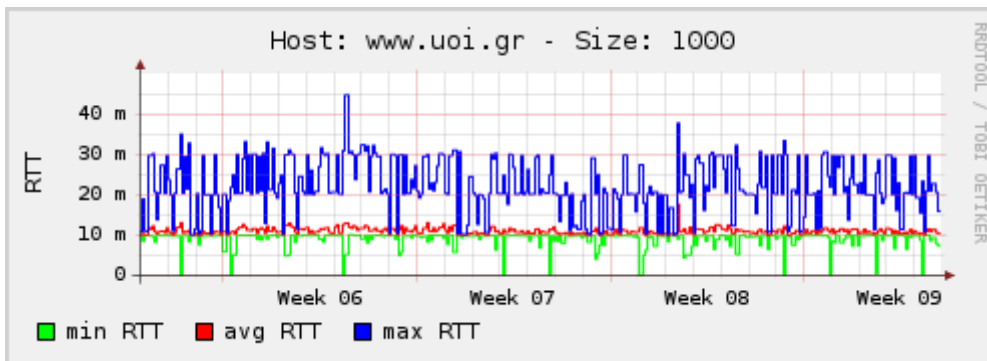
Διάγραμμα 92 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Κρήτης (AUTH)



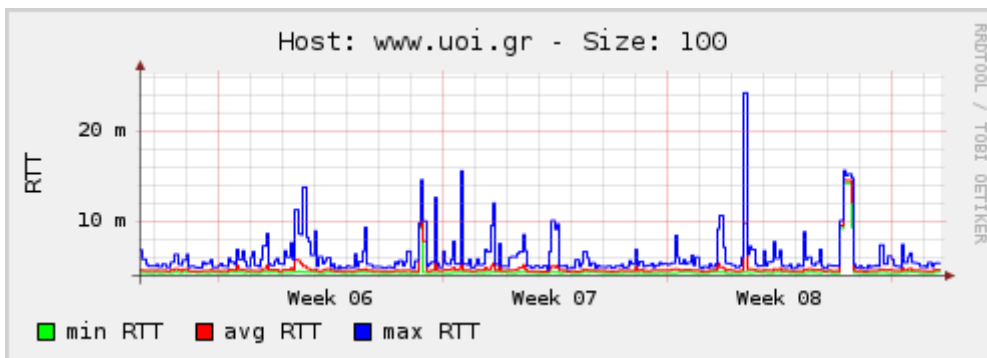
Διάγραμμα 93 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Κρήτης (AUTH)



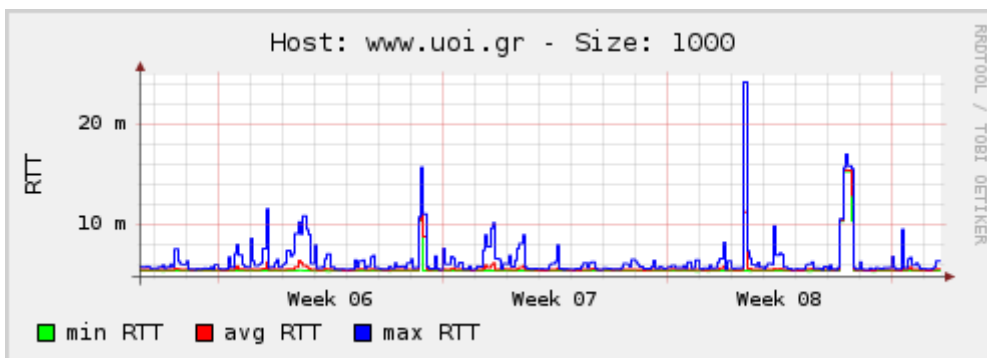
Διάγραμμα 94 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (NTUA)



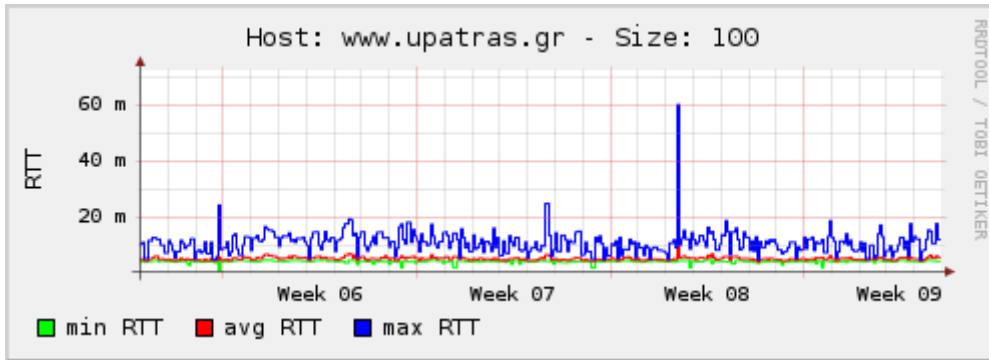
Διάγραμμα 95 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (NTUA)



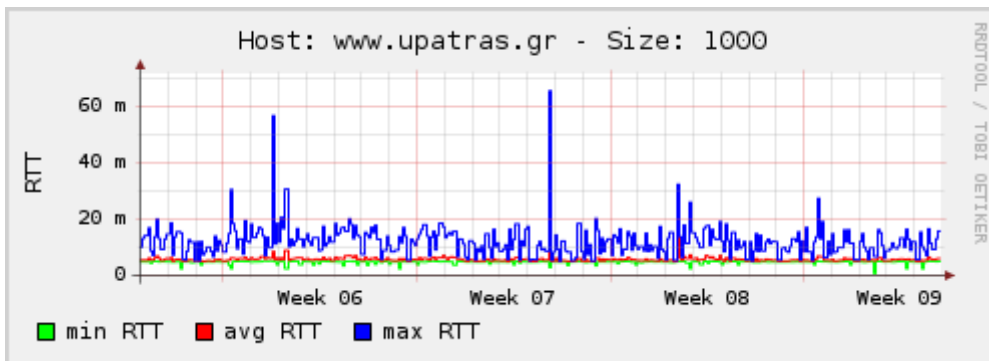
Διάγραμμα 96 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (AUTH)



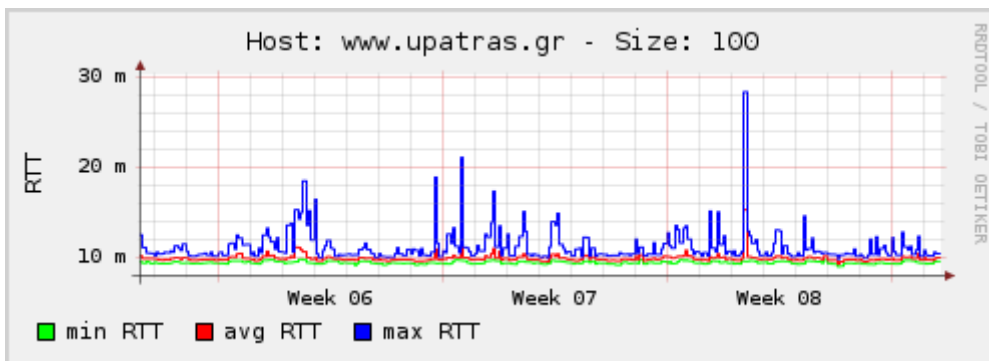
Διάγραμμα 97 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (AUTH)



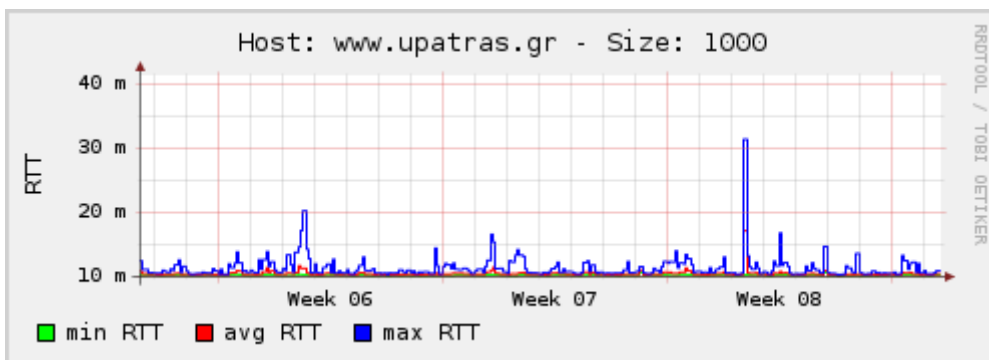
Διάγραμμα 98 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Πατρών (NTUA)



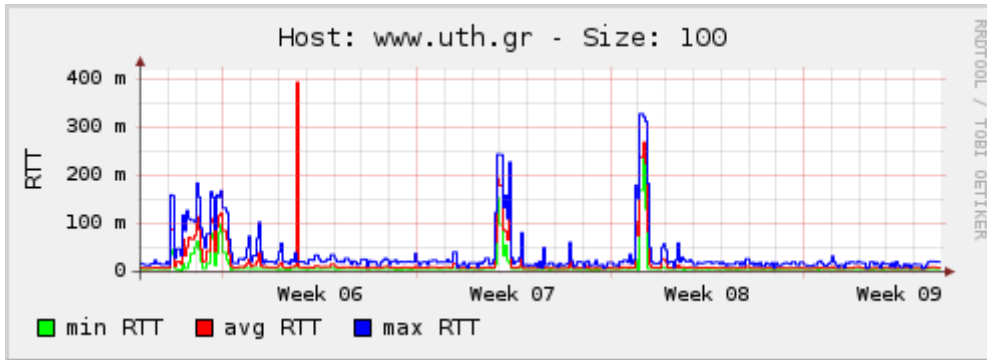
Διάγραμμα 99 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Πατρών (NTUA)



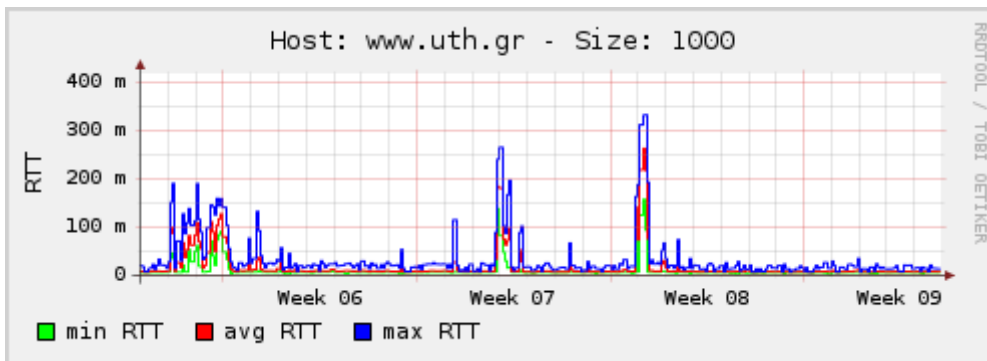
Διάγραμμα 100 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Πατρών (AUTH)



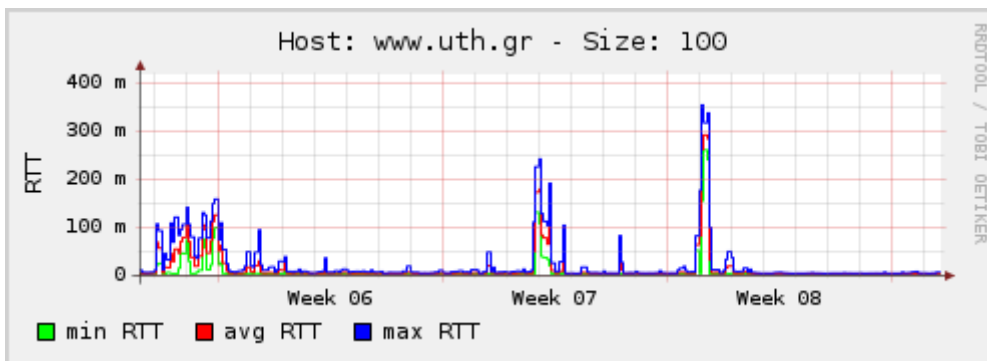
Διάγραμμα 101 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Πατρών (AUTH)



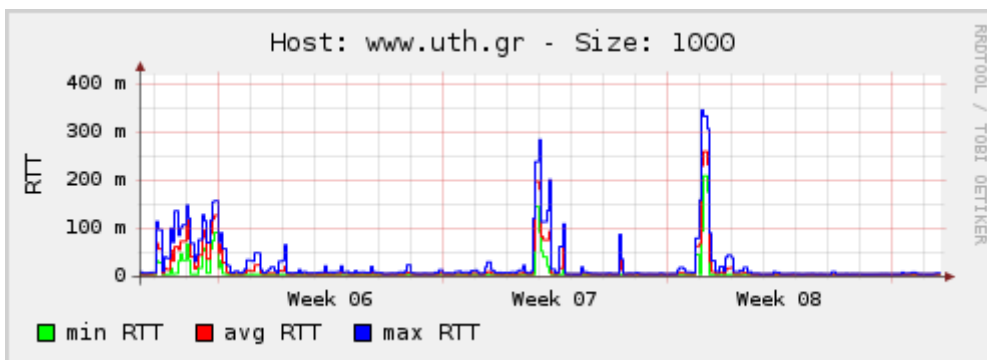
Διάγραμμα 102 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (NTUA)



Διάγραμμα 103 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (NTUA)

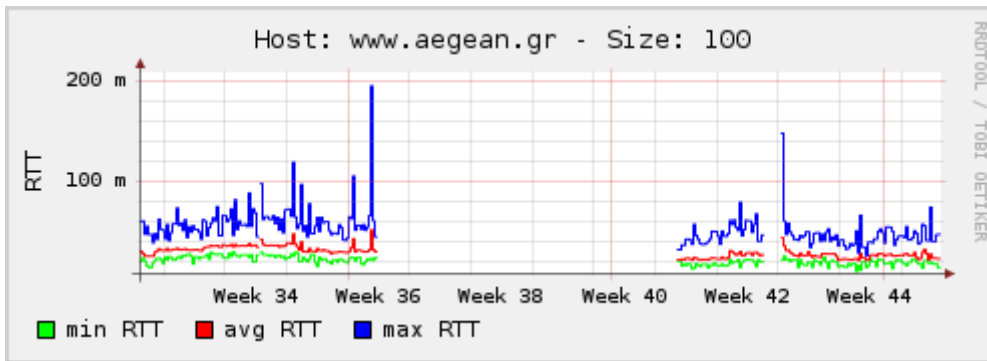


Διάγραμμα 104 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (AUTH)

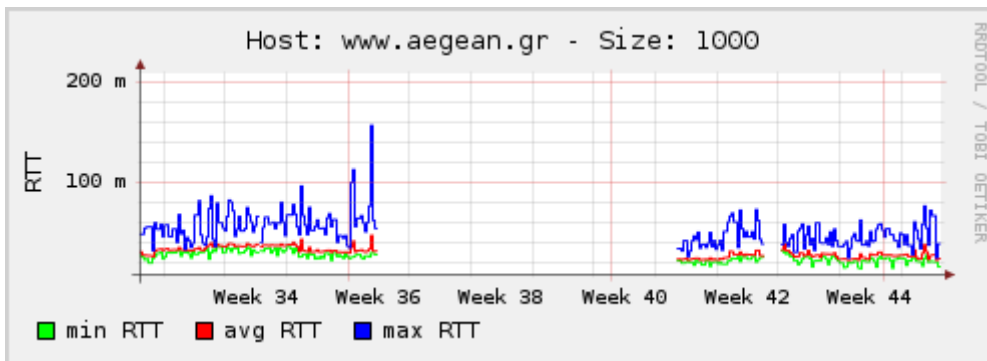


Διάγραμμα 105 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (AUTH)

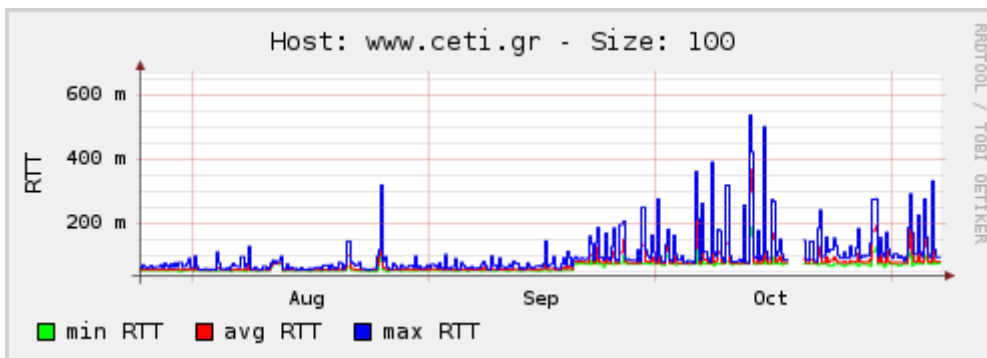
Μετρήσεις RTT (Ε.Μ.Π, Χρονική περίοδος διάρκειας 4 μηνών)



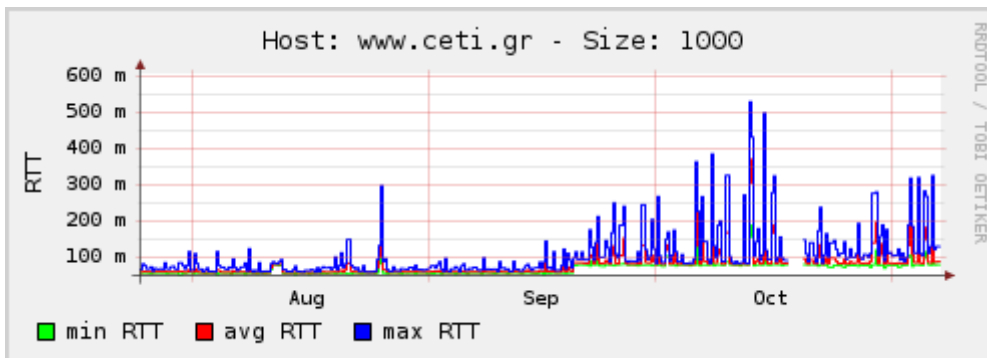
Διάγραμμα 106 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Αιγαίου



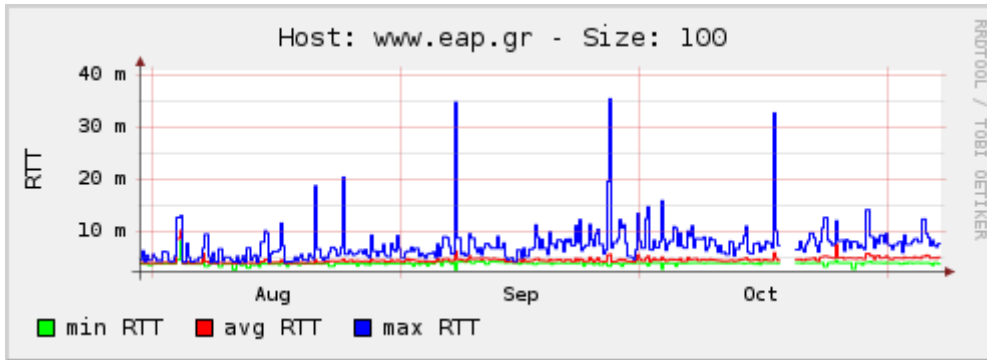
Διάγραμμα 107 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Αιγαίου



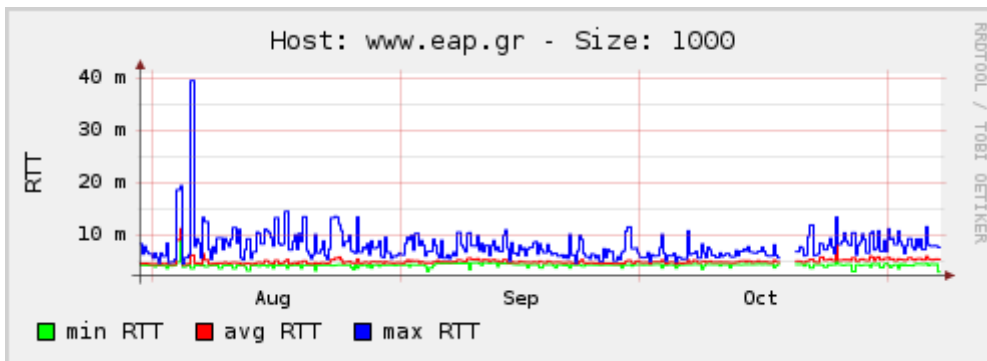
Διάγραμμα 108 ♦ RTT με Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας



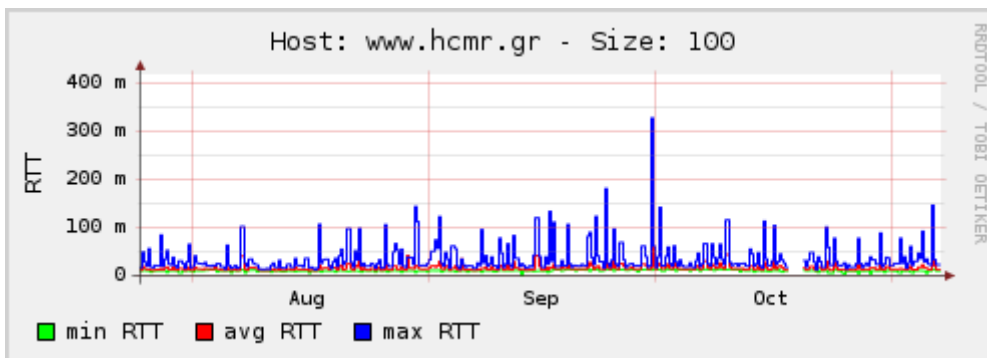
Διάγραμμα 109 ♦ RTT με Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας



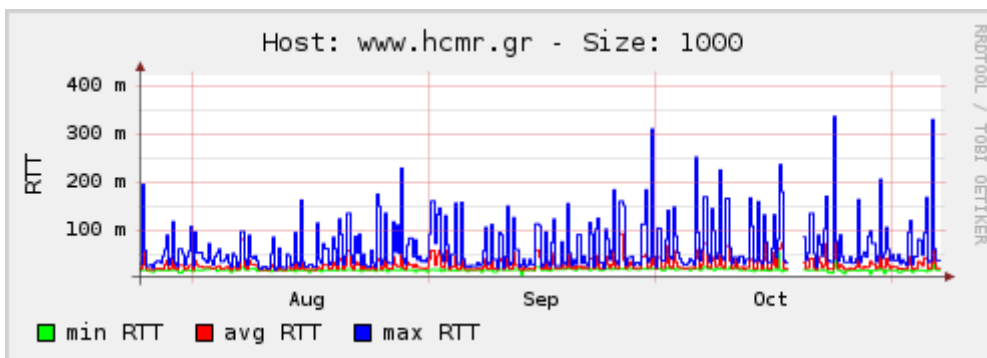
Διάγραμμα 110 ♦ RTT με Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο



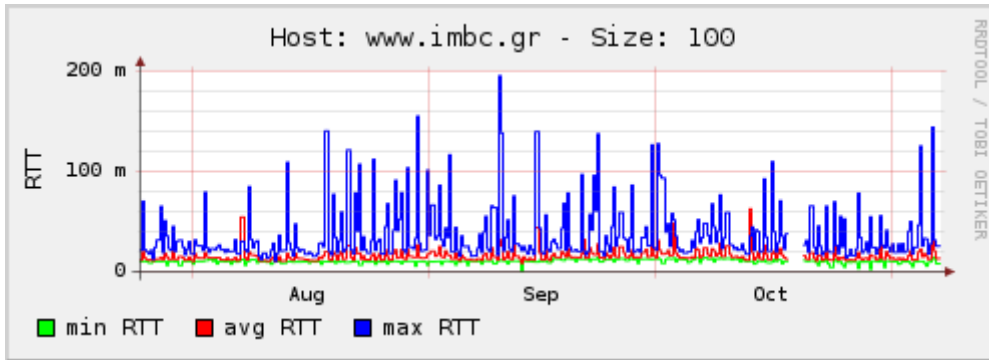
Διάγραμμα 111 ♦ RTT με Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο



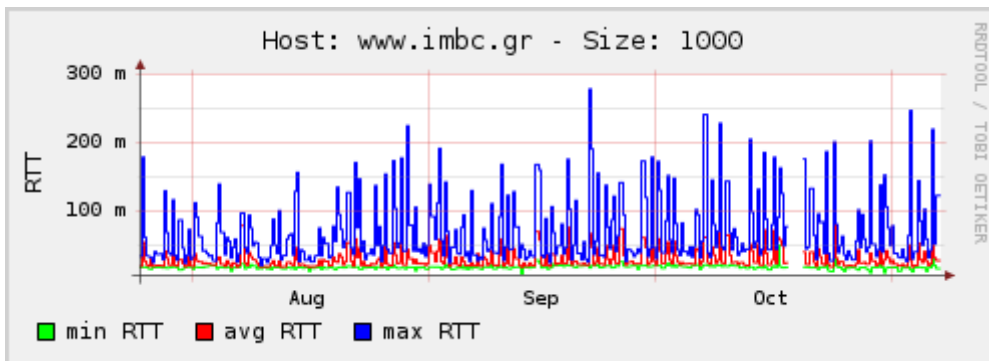
Διάγραμμα 112 ♦ RTT με Εθνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών



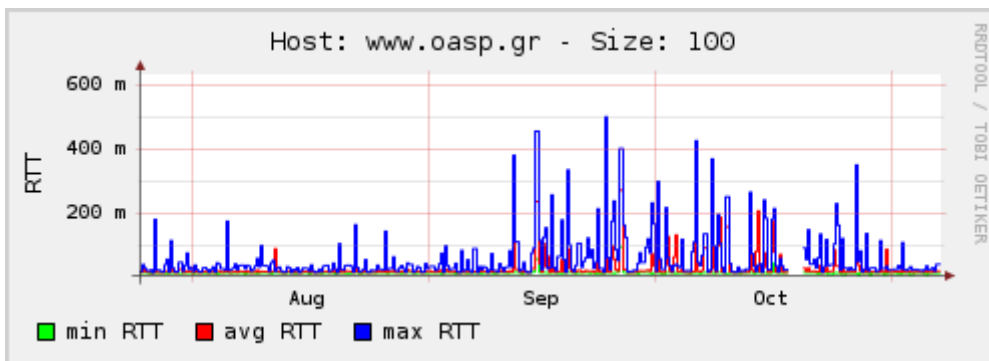
Διάγραμμα 113 ♦ RTT με Εθνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών



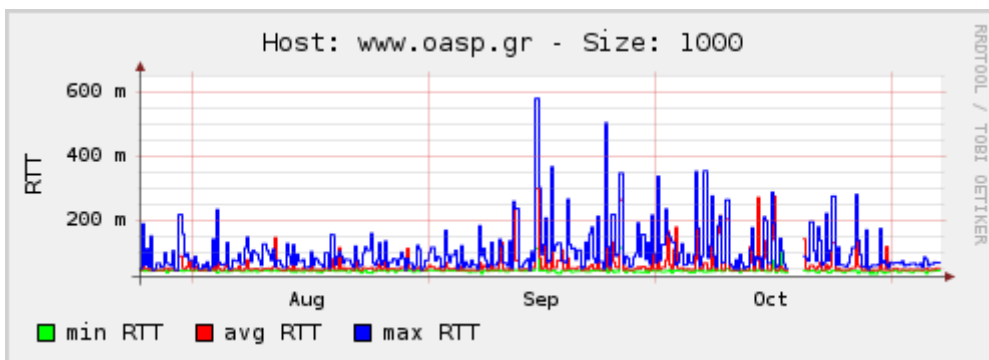
Διάγραμμα 114 ♦ RTT με Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης



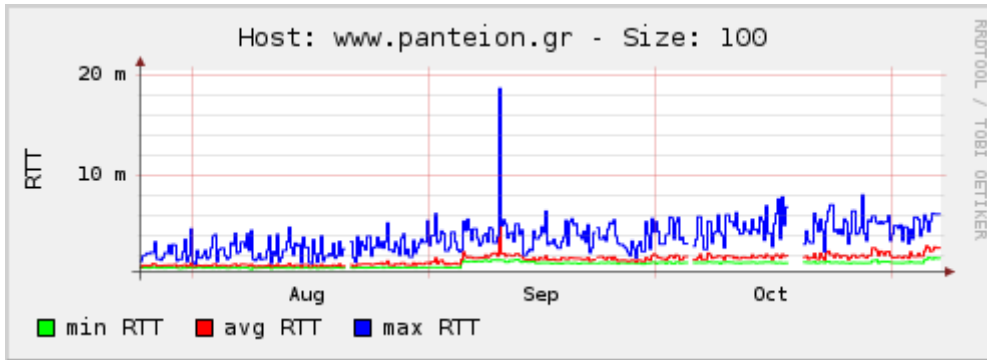
Διάγραμμα 115 ♦ RTT με Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης



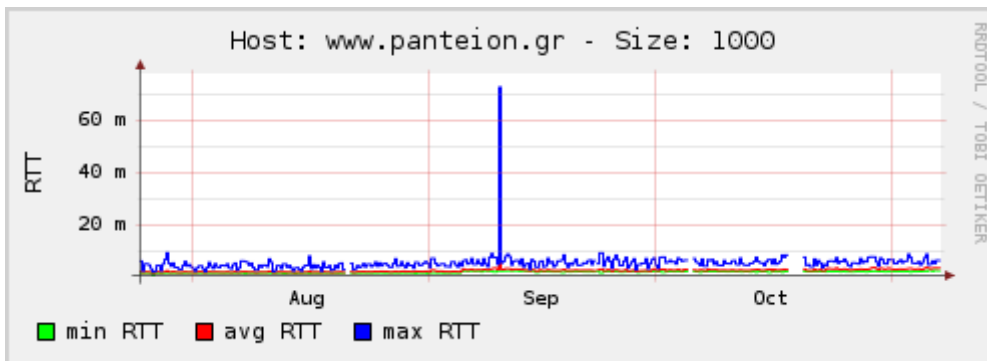
Διάγραμμα 116 ♦ RTT με Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας



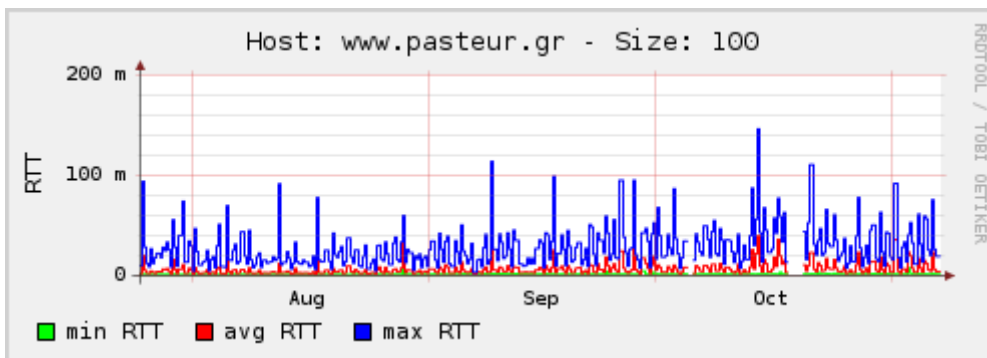
Διάγραμμα 117 ♦ RTT με Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας



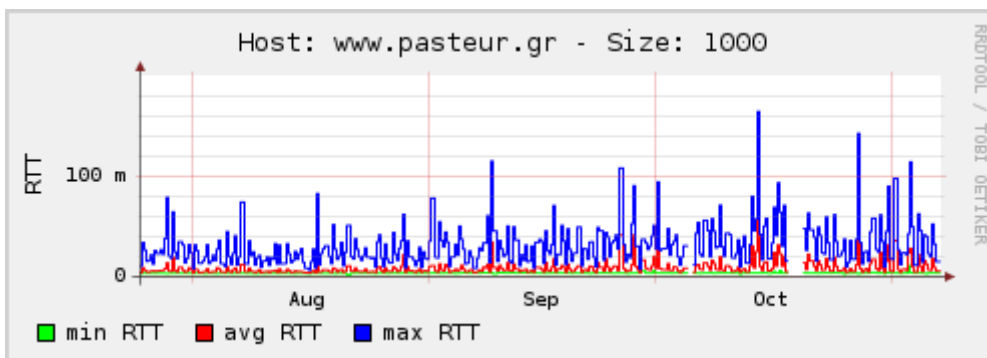
Διάγραμμα 118 ♦ RTT με Πάντειο Πανεπιστήμιο



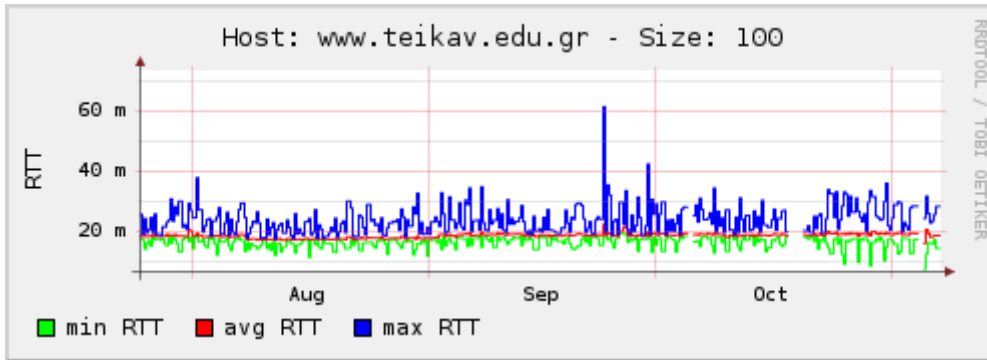
Διάγραμμα 119 ♦ RTT με Πάντειο Πανεπιστήμιο



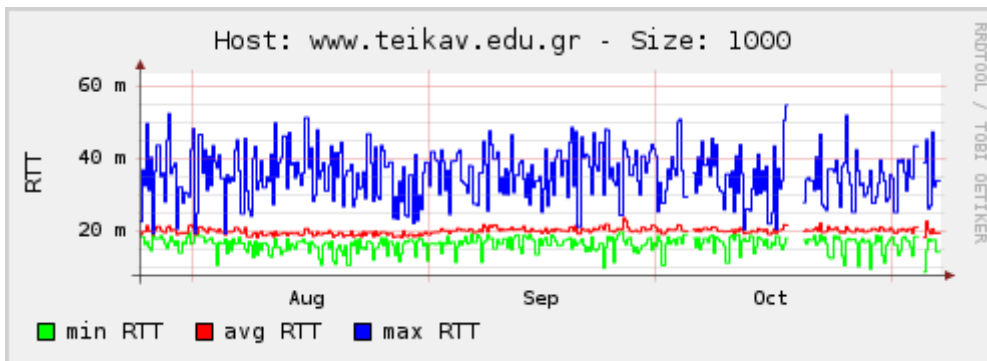
Διάγραμμα 120 ♦ RTT με Ινστιτούτο Pasteur



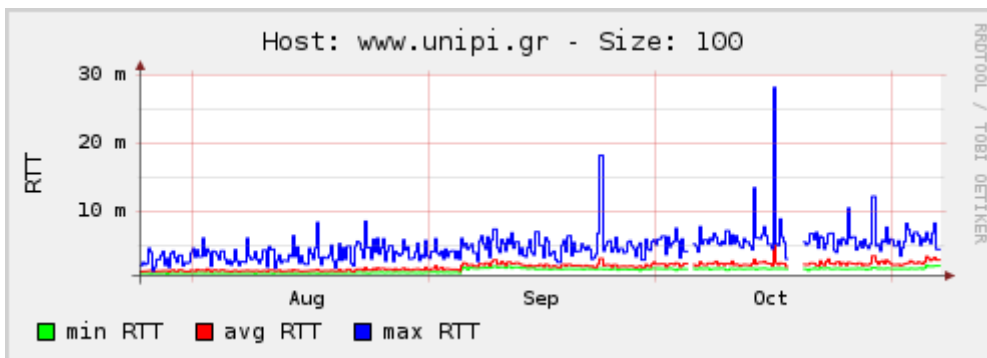
Διάγραμμα 121 ♦ RTT με Ινστιτούτο Pasteur



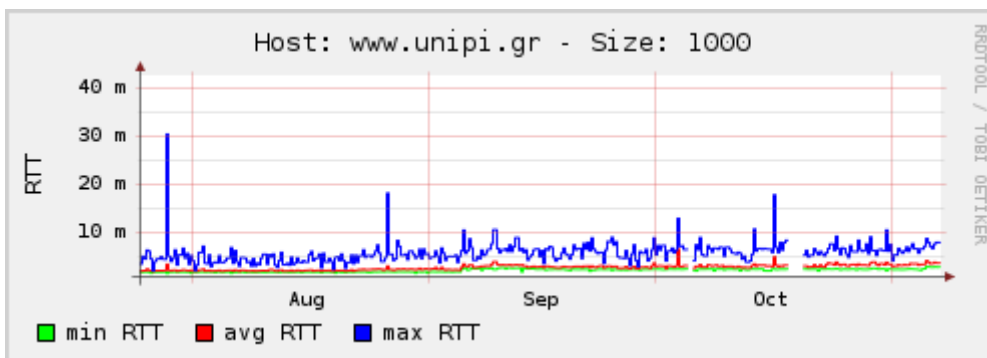
Διάγραμμα 122 ♦ RTT με TEI Καβάλας



Διάγραμμα 123 ♦ RTT με TEI Καβάλας



Διάγραμμα 124 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Πειραιά



Διάγραμμα 125 ♦ RTT με Πανεπιστήμιο Πειραιά

Συνολικές Παρατηρήσεις

Η συγκριτική παρουσίαση των μετρήσεων RTT που καταγράφηκαν από τις δύο προαναφερθείσες τοποθεσίες λήψης οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η γεωγραφική θέση των WWW στόχων που σαρώθηκαν επηρεάζει την κατανομή των μετρήσεων RTT, καθώς συνεπάγεται διαφορετικό ολικό αριθμό διασυνδέσεων που πρέπει να διασχίσουν τα δεδομένα από τον υπολογιστή λήψης μετρήσεων προς τους ιστοτόπους-προορισμούς. Ωστόσο, η χρονική μετατόπιση για τις μέσες μετρήσεις RTT δεν υπερβαίνει τα 20 msec για την συντριπτική πλειοψηφία των στόχων, λόγω του υψηλού εύρους ζώνης που διαθέτουν οι γραμμές διασύνδεσης του δικτύου κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ.
- Η ποιότητα υπηρεσίας που αντιλαμβάνονται οι δύο υπολογιστές λήψης μετρήσεων (και επομένως οι χρήστες των αντίστοιχων ακαδημαϊκών ιδρυμάτων), όταν χρησιμοποιούν την υποκείμενη δικτυακή υποδομή, είναι της ίδιας τάξης μεγέθους.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν και τις μετρήσεις RTT που έλαβε το μηχάνημα `potis.netmode.ntua.gr`, για μια χρονική περίοδο διάρκειας 4 μηνών, οδηγούμαστε στις εξής γενικές παρατηρήσεις:

- Οι μέσες μετρήσεις RTT για την πλειοψηφία των WWW στόχων δεν υπερβαίνουν τα 80 msec. Οι εξαιρέσεις μπορεί να υποδεικνύουν περιόδους αυξημένης δικτυακής κίνησης, τη μεσολάβηση κάποιας ασύρματης ζεύξης στη διαδρομή προς τον κόμβο προορισμού, ή την ύπαρξη κάποιας διασύνδεσης χαμηλού εύρους ζώνης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τελευταίας περίπτωσης αποτελούν τα διαγράμματα 70-73, καθώς το IP μονοπάτι προς τον ιστότοπο του Κέντρου Ερευνών ΝΕΣΤΩΡ περιλαμβάνει μια διασύνδεση ολικού εύρους ζώνης **1Mbps**.
- Οι μέγιστες μετρήσεις RTT κυμαίνονται γενικά στο διάστημα (**avg RTT, 2*avgRTT**). Ακραίες περιπτώσεις στις οποίες η μέγιστη τιμή RTT είναι πολλαπλάσια της μέσης, κατά ένα παράγοντα μεγαλύτερο του 5, δεν χρήζουν ιδιαίτερης ανάλυσης καθώς παρατηρούνται σε ποσοστό μικρότερο του 0,1% και μπορούν να αποδοθούν σε στιγμιαία αύξηση της δικτυακής κίνησης ή της χρησιμοποίησης των υπολογιστικών πόρων των ενδιάμεσων δικτυακών κόμβων.
- Η αύξηση του μεγέθους του πακέτου **ICMP Echo Request** από 100 bytes σε 1000 δεν μεταβάλλει την κατανομή των μέσων μετρήσεων RTT, αλλά αυξάνει τη μεταβλητότητα των κατανομών για τις ελάχιστες και μέγιστες μετρήσεις RTT. Η παρατήρηση αυτή υποδηλώνει πώς το μέγιστο πλαίσιο μεταφοράς (MTU) των δρομολογητών του δικτύου κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ είναι τέτοιο, ώστε να μην υφίσταται κατακερματισμός των IP δεδομενογραμμάτων (IP fragmentation).
- Η μικρή διακύμανση που παρουσιάζουν οι κατανομές των μέσων μετρήσεων RTT είναι ενδεικτική της σταθερής και υψηλής, για τον ελληνικό χώρο, ποιότητας υπηρεσιών διαδικτύου που προσφέρει το δίκτυο κορμού του Ε.Δ.Ε.Τ.

4.3 Επίλογος

Μολονότι η αποτίμηση του Ψηφιακού Χάσματος παρουσιάζει πολλές εγγενείς δυσκολίες, τεχνικής ή μη τεχνικής φύσεως, η κατασκευή ενός δυναμικού, προσαρμόσιμου και αποτελεσματικού πλαισίου εργασίας, εφοδιασμένου με ένα ικανό και αναγκαίο σύνολο μετρικών παραμέτρων, μπορεί να συμβάλλει δραστικά στην εξαγωγή αποδεκτών εκτιμήσεων του μεγέθους του Ψηφιακού Χάσματος με ανεκτά περιθώρια σφάλματος.

Σαφώς, για να γίνει κάτι τέτοιο εφικτό, θα πρέπει το πλαίσιο εργασίας να περιλαμβάνει ένα ικανό αριθμό από μετρικές παραμέτρους, που θα ποικίλλουν ως προς το βαθμό λεπτομέρειας της μέτρησης που διεξάγεται, το μοντέλο μέτρησης (αναλυτικό ή εμπειρικό), καθώς και τις απαιτήσεις σε υλικό και λογισμικό. Η πληρότητα αυτών των προδιαγραφών θα καταστήσει το πλαίσιο εργασίας εφαρμόσιμο στην πλειοψηφία των συνθηκών και θα ευνοήσει την ευρεία χρήση του. Τα δεδομένα μετρήσεων που θα συλλεχθούν θα οδηγήσουν σε μια πιο αντικειμενική κρίση της αποτελεσματικότητας των χρησιμοποιούμενων μετρικών παραμέτρων, υποδεικνύοντας κατευθύνσεις για εξέλιξη και βελτιστοποίηση του εν λόγω πλαισίου εργασίας (προσθήκη συμπληρωματικών μετρικών παραμέτρων, βέλτιστη προσαρμογή παραμέτρων μοντέλου μέτρησης των διαφόρων μετρικών παραμέτρων), με απώτερο σκοπό τη γειννίαση του στόχου της αναλυτικής ποσοτικοποίησης του Ψηφιακού Χάσματος.

Η αποτίμηση του Ψηφιακού Χάσματος θα συμβάλλει στην αναγνώριση των Εθνικών Δικτύων Έρευνας και Τεχνολογίας που υστερούν στην απολαβή σύγχρονων ψηφιακών αγαθών, όπως ηλεκτρονική μάθηση, πρόσβαση σε ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες και πηγές δεδομένων ερευνητικού ενδιαφέροντος, τηλεδιάσκεψη, συμμετοχή σε ερευνητικά προγράμματα που εκτείνονται πέρα από τα σύνορα ενός ακαδημαϊκού ιδρύματος, κ.ά. Έπειτα, εναπόκειται στους αρμόδιους φορείς να στηρίξουν και ενδεχομένως να ενισχύσουν οικονομικά τα εν λόγω ιδρύματα, ώστε να εξισορροπηθεί η υπάρχουσα κατάσταση.

Βέβαια, το Ψηφιακό Χάσμα αποτελεί μια ευρύτερη έννοια που εκτείνεται πέρα από την οπτική γωνία ενός Εθνικού Δικτύου Έρευνας και Τεχνολογίας και μπορεί να περιγράψει την διαφορά εθνών ή και ηπείρων σε θέματα πρόσβασης και διαθεσιμότητας σύγχρονων ψηφιακών αγαθών. Συνυπολογίζοντας δε, ότι η πλειοψηφία των ψηφιακών τεχνολογιών είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τη χρήση του Internet, καθίσταται ευνόητη η χρησιμότητα του πλαισίου εργασίας σε παγκόσμια δικτυακή κλίμακα και αναφύονται πολλές δυνατότητες για περαιτέρω μελέτη και έρευνα.

Μια πρώτη πρόταση είναι η τροποποίηση των επικρατέστερων προγραμμάτων εποπτείας και χαρτογράφησης του Internet, ώστε να συλλέγουν δεδομένα κατάλληλα για τον υπολογισμό των μετρικών παραμέτρων που περιλαμβάνει το πλαίσιο εργασίας. Η κατανομημένη συλλογή μετρήσεων σε ευρεία κλίμακα με τη συνδρομή σύγχρονων εργαλείων οπτικοποίησης σε n διαστάσεις, θα οδηγήσουν στη δημιουργία χαρτών που θα επιτρέπουν την εύκολη παρακολούθηση της μεταβολής του Ψηφιακού Χάσματος τόσο σε γεωγραφική όσο και σε χρονική κλίμακα.

Επιπρόσθετα, η πληθώρα δεδομένων που θα συλλεχθούν ως αποτέλεσμα εφαρμογής του προτεινόμενου πλαισίου εργασίας, μπορεί να συντελέσει σε μια προσέγγιση του Internet μέσω διαφόρων μοντέλων προβλέψεων (π.χ. ανάλυση χρονοσειρών). Μια τέτοια ανάλυση θα μπορούσε υπό συνθήκες να μετριάσει το Ψηφιακό Χάσμα που παρουσιάζεται σε διάφορες οντότητες, χωρίς την ανάγκη για

αναβάθμιση του υλικού και του λογισμικού, αλλά με την αποτελεσματικότερη χρησιμοποίηση των δικτυακών πόρων ισχυρών γειτονικών οντοτήτων.

Εν τέλει, ο συγκερασμός των συλλεγμένων δεδομένων με τους ήδη υπάρχοντες χάρτες από την μακροσκοπική μελέτη του Internet, θα οδηγήσει σε μια πληρέστερη εικόνα της λειτουργίας και της εξέλιξης της υποδομής του Internet. Η οπτικοποίηση του Internet ως προς το μέγεθος του Ψηφιακού Χάσματος θα επιτρέψει την ταχύτερη διάκριση των οντοτήτων που χρειάζονται στήριξη και θα μειώσει δραστικά το χρόνο απόκρισης των αρμόδιων φορέων. Επιπλέον, θα θωρακίσει το Internet από κακόβουλες επιθέσεις και θα θέσει της βάσεις για ένα εύρωστο, δυναμικό και ασφαλές Διαδίκτυο, το οποίο θα είναι σε θέση να προσφέρει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών στις περισσότερες περιπτώσεις.

Βιβλιογραφία

- [1] B. Yao, Viswanathan Ramesh, F. Chang and D. Waddington, "Topology inference in the presence of anonymous routers," INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE, vol.1, no.pp. 353- 363 vol.1, 30 March-3 April 2003.
- [2] Broido and K. Claffy. "Internet topology: Connectivity of IP graphs." In Proc. SPIE International Symposium on Convergence of IT and Communication, 2001.
- [3] B. Donnet, P. Raoult, T. Friedman, and M. Crovella. Efficient algorithms for large-scale topology discovery. In Proc. ACM SIGMETRICS, June 2005.
- [4] R. Govindan and H. Tangmunarunkit. "Heuristics for internet map discovery." In Proc. IEEE Infocom, March 2000.
- [5] David G. Andersen, Nick Feamster, Steve Bauer, Hari Balakrishnan, "Topology Inference from BGP Routing Dynamics", In Proc. of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet measurement, Marseille, France, 2002.
- [6] R. Braden. Requirements for Internet Hosts — Communication Layers. Request for Comments 1122, Internic Directory Services, October 1989.
- [7] J.-J. Pansiot and D. Grad. On routes and multicast trees in the Internet. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 28(1):41–50, January 1998.
- [8] Hal Burch and Bill Cheswick, "Mapping the Internet" IEEE Computer, 32(4):97–98, April 1999.
- [9] R. Siamwalla, R. Sharma and S. Keshav "Discovering internet topology" Unpublished manuscript.
- [10] K. C. Claffy and D. McRobb "Measurement and Visualization of Internet Connectivity and Performance" <http://www.caida.org/Tools/Skitter/>
- [11] C. A. Waldspurger and W. E. Weihl, "Lottery Scheduling: Flexible Proportional-Share Resource Management" In First Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI), pages 1–11. USENIX Association 1995.
- [12] B Cheswick, H Burch, S Branigan "Mapping and Visualizing the Internet", In Proc. of the 2000 USENIX Annual Technical Conference, June, 2000
- [13] Burch, H. and Cheswick, W., "Tracing Anonymous Packets to Their Source by Selective Denial-of-Service Probes," draft.
- [14] <http://www.cs.bell-labs.com/~ches/map/db.gz>
- [15] <http://www.caida.org/tools/measurement/Skitter/index.xml>
- [16] <http://www.netdimes.org/new/>

- [17] W. Matthews and R. L. Cottrell, “The PingER project: Active Internet Performance Monitoring for the HEP Community”, IEEE Communications Magazine Vol. 38 No. 5 pp. 130-136, May 2002.
- [18] <http://www-iepm.slac.stanford.edu/pinger/pingertech.html>
- [19] “Internet Usage Statistics – The Big Picture”, available <http://www.internetworldstats.com/stats.html>