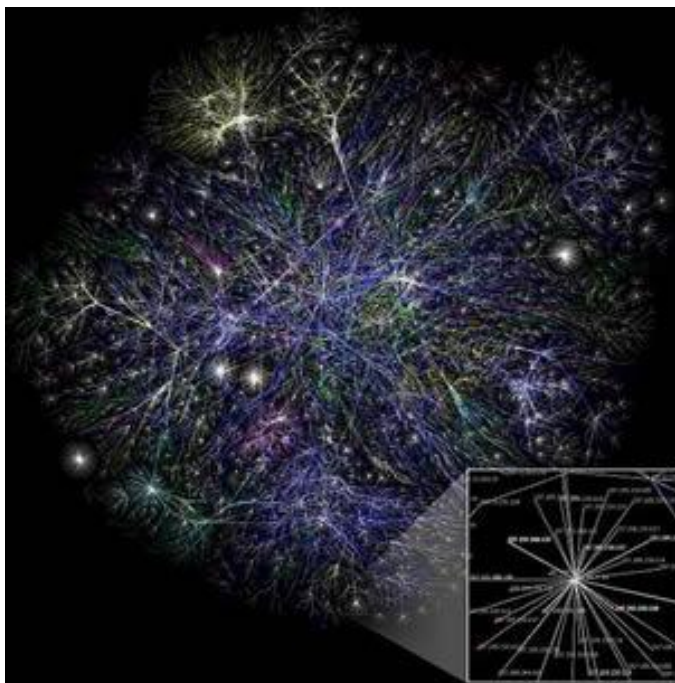


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Δ.Π.Μ.Σ ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

The Internet Topology Zoo



Συγγραφέας: Βασιλειάδου Ι. Παρασκευή

Μάθημα: Δίκτυα, Αν. Οικονομίδης, 2^ο εξάμηνο

Ιδιότητα συγγραφέα: Μεταπτυχιακή φοιτήτρια MIS

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2013

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	2
Περίληψη	3
Εισαγωγή	4
Τοπολογία Διαδικτύου.....	8
Internet topology zoo	11
Δεδομένα	11
Μετρήσεις.....	11
Συλλογή και μορφή δεδομένων.....	12
Μετα-δεδομένα.....	13
Ταξινόμηση δεδομένων.....	14
Τύπος.....	14
Εύρος.....	15
Ανάλυση σε επίπεδο PoP	17
Διαδίκτυα.....	18
Μετρικά γραφήματα.....	22
Συμπεράσματα –Προτάσεις	30
Βιβλιογραφία	32
Βιβλιογραφία	32

Περίληψη

Το Internet Topology Zoo είναι μια αποθήκη δεδομένων που ανήκουν σε δίκτυα τα οποία δημιουργούνται από πληροφορίες οι οποίες είναι διαθέσιμες μετά από δημοσιοποίηση τους από τους παρόχους των δικτύων. Υπό αυτήν τη μορφή, είναι η πιο ακριβής ,μεγάλης κλίμακας, συλλογή των διαθέσιμων τοπολογιών δικτύων, και περιλαμβάνει τα μετα-δεδομένα (meta-data) τα οποία δεν είναι μετρήσιμα μεγέθη. Η ανάλυση των στοιχείων αυτών δίνει τα χαρακτηριστικά για τη δομή των δικτύων σε PoP -επίπεδο (Point of Presence) σε περισσότερα από 140 δίκτυα.

Abstract

The Internet Topology Zoo is a database of networks which have created and published from the network providers' information. It is the most accurate large- scale collection of available topology networks and includes metadata which is not measurable. By that information which be given, it becomes known the characteristics of the structure of level of PoP (Point of Presence) of networks in over than 140 networks.

Εισαγωγή

Η διαδικτυακή τοπολογία είναι μια παρουσίαση της διασύνδεσης των διασυνδεδεμένων peer σε ένα δίκτυο. Σε μια φυσική τοπολογία δικτύου είναι οι θύρες που ενώνονται μεταξύ τους με φυσικό μέσο μετάδοσης. Μια φυσική τοπολογία αντιστοιχεί σε πολλές λογικές σχεδίασης δικτύου, η κάθε μία σε διαφορετικό επίπεδο. Για παράδειγμα στο επίπεδο IP, είναι τα hosts ή τα routers και σε επίπεδο ομάδα εργασίας είναι ομάδες εργασίας (workshops), που συνδέονται με ένα λογικό σύνδεσμο.

Η τοπολογία δικτύου αλλάζει συνεχώς καθώς εισέρχονται στο δίκτυο νέοι κόμβοι και σύνδεσμοι, ενώ οι κινήσεις και η χωρητικότητα του δικτύου αυξάνεται για να συμβαδίσει με την προστιθέμενη συμφόρηση. Γίνεται δηλαδή ένας συνεχής έλεγχος στην κινητικότητα των δεδομένων του δικτύου. Οι ακριβείς πληροφορίες για την τοπολογία είναι απαραίτητες για τέσσερις κυρίως λόγους σύμφωνα με τον Siamwalla. Πρώτον, για την προσομοίωση, προκειμένου να προσομοιώνονται πραγματικά δίκτυα, έπειτα για την διαχείριση δικτύου. Η τοπολογία δικτύου είναι χρήσιμη γιατί μας δίνει πληροφορίες για το αν υπάρχει δυνατότητα να τοποθετηθούν επιπλέον routers και αν έχουν γίνει σωστά οι ρυθμίσεις για το υλικό μέρος του δικτύου. Επιτρέπει επίσης στους διαχειριστές του δικτύου να γνωρίζουν τις συμφορήσεις και τις αποτυχίες που τυχόν υπάρχουν. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η τοποθέτηση, δηλαδή ένας χάρτης δικτύου βοηθάει τους χρήστες να προσδιορίσουν την θέση που βρίσκονται, ώστε να είναι σε θέση να αποφασίσουν που να τοποθετήσουν νέους εξυπηρετές (servers) με σκοπό την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης και τη μεγιστοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Τέλος, επιτρέπει σε μια κατηγορία πρωτοκόλλων και αλγορίθμων να αξιοποιήσουν και να βελτιώσουν την επίδοση της εκτέλεσης, για παράδειγμα το Qos routing. (ARNET Annual Report,

2009) (Research and Education Advanced Network New Zealand Ltd, 2010) (BELNET Annual Report, 2008) (CESNET, 2009) (Connecting People, 2010) (ARNES Annual Report, 2008)

Ωστόσο, οι μέθοδοι που υπάρχουν για την μέτρηση και την αξιολόγηση της τοπολογίας παρουσιάζουν κάποια ελαττώματα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν απόψεις που τίθεται υπό αμφισβήτηση για τις δομές των δικτύων. Μια προσπάθεια να δοθεί λύση στα επικείμενα προβλήματα είναι η ανάπτυξη του internet topology zoo.

Το internet topology zoo αποτελείται πάνω από διακόσιες τοπολογίες δικτύου που είναι διαθέσιμες από τους παρόχους του δικτύου και έχουν συλλεχθεί από ένα σύνολο χαρτών των δεδομένων και δημοσιευμένων στοιχείων των ιδιοκτητών ή των διαχειριστών των δικτύων. Οι χάρτες του δικτύου που χρησιμοποιούνται συχνά παρέχουν μετα- δεδομένα (meta-data) για ένα δίκτυο που σε άλλη περίπτωση θα ήταν αδύνατο ή θα συμπεριλάμβανε πολλά λάθη. Για παράδειγμα μπορούμε να δούμε χωρητικότητες συνδέσμων, τοποθεσίες κόμβων, ρόλους κόμβων, διασυνδεδεμένες τοποθεσίες και άλλα.

Οι λόγοι που αναπτύχθηκε το internet topology zoo είναι για ερευνητικούς σκοπούς, για να εξεταστεί το φυσικό επίπεδο, η δομή και τα γραφήματα των τοπολογιών. Επίσης, εξετάζεται αν η μορφή των δεδομένων είναι προσβάσιμη και κατανοητή στο ευρύ κοινό, ώστε να μπορεί να φανεί χρήσιμη για τη δημιουργία αλγορίθμων για διαδίκτυα, και δίκτυα.

Στην παρούσα αναφορά, αρχικά, ορίζεται η έννοια του όρου της τοπολογίας διαδικτύου (internet topology) στα επτά επίπεδα του OSI, τα είδη που υπάρχουν, πως αυτές συνδυάζονται και απεικονίζονται καθώς και πως γίνεται η ακριβής σύνδεση για το δίκτυο zoo. Εν συνεχεία, γίνεται ανάλυση των δεδομένων. Οι μετρήσεις γίνονται βάση τη μορφή των αρχείων και τις τεχνικές σύνδεσης των δικτύων, συνήθως βάση

ενός traceroute, το οποίο είναι ένα διαγνωστικό εργαλείο για τη διαδρομή (πορεία) και τις καθυστερήσεις διέλευσης των πακέτων μέσω ενός πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP). Αφού γίνει η συλλογή των δεδομένων, γίνεται η επεξεργασία με κάποια αυτοματοποιημένα και μη εργαλεία και γίνεται η εξαγωγή των μεταδεδομένων, τα οποία δίνουν πληροφορίες για τους τύπους συνδέσεων, τις γεωγραφικές θέσεις, πόροι στοιχείων, ημερομηνίες χαρτών δικτύων, ταξινομήσεις και συνδέσεις με άλλα δίκτυα. Και τέλος ελέγχεται η ακρίβεια αυτών των δεδομένων.

Εν συνεχεία, γίνεται αναφορά στο πώς γίνεται η ταξινόμηση αυτών των δεδομένων που αντιστοιχούν σε δίκτυα με αυτόνομα συστήματα. Τα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν ένα σύνολο από δίκτυα και δρομολογητές υπό μια κοινή διαχείριση. Στο βασικό επίπεδο τα δίκτυα κατατάσσονται σε εμπορικά (com) και σε έρευνας και εκπαίδευσης (ren). Με βάση τον ρόλο που παίζει το δίκτυο, χωρίζονται σε backbone, testbed, customer, transit, access, internet exchange, ενώ με βάση το εύρος τους σε metro, region, country, country+, continent, continent+ , global.

Παρουσιάζεται η τεχνική του επιπέδου PoP, τα χαρακτηριστικά του επιπέδου αυτού, σε ποια είδη δικτύων συναντάται και πώς γίνεται η σχεδίαση μέσα από πίνακες και παραδείγματα, έχοντας ως γνωστά δεδομένα τις κορυφές και τους κόμβους των δικτύων. Τέλος, ακολουθεί γραφική παράσταση των τοπολογιών με διάφορα μέσα που είναι διαθέσιμα και χρησιμοποιούνται ανάλογα με το αριθμό των κόμβων, το πώς συνδέονται με τα γειτονικά δίκτυα μεταξύ τους, λαμβάνοντας υπόψη και την μεταξύ τους απόσταση, καθώς και οι τεχνικές που ακολουθούνται.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των χαρτών σε επίπεδο PoP (Point of Present), γιατί σχετίζεται με σχεδιαστικά προβλήματα δικτύων. Είναι το επίπεδο που αφορά peers και πελάτες καθώς αποφασίζει από πού μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο και επιπλέον δεν υπάρχει αμφισβήτηση για την αξιοπιστία του. Γενικά δεν υπάρχει

ένα πραγματικό μοντέλο δικτύου, αλλά υπάρχει μεγάλο εύρος από δίκτυα που κυμαίνονται από hub-and-spoke σε δέντρα, και σε ανώτερο επίπεδο, συνδέονται με γραφήματα. Ιεραρχικά παρατηρείται αύξηση του μεγέθους των δικτύων και δεν υπάρχει κάποιος φυσικός ή και τεχνικός περιορισμός στο επίπεδο PoP (Simon Knight, 2011).

Τοπολογία Διαδικτύου

Η τοπολογία διαδικτύου σχετίζεται με τη δομή των τοπολογιών του δικτύου, χαρτογραφώντας την ιεραρχία που υπάρχει σε σχέση με το αυξανόμενο ρυθμό του μεγέθους του δικτύου. Η προσπάθεια χαρτογράφησης του δικτύου συνήθως μένει ανολοκλήρωτη λόγω της μη ενημερωμένης έκδοσης των στοιχείων, ωστόσο έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον από διάφορους επιστημονικούς κλάδους, όπως μαθηματικές επιστήμες, επιστήμες της πληροφορικής αλλά και φυσικές επιστήμες.

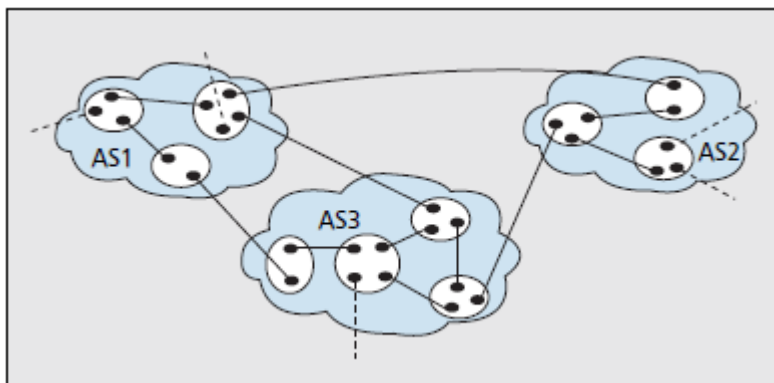
Η αρχιτεκτονική παρουσιάζεται σε διάφορα στάδια. Το στάδιο των δεδομένων παρουσιάζει πως δρομολογούνται τα δεδομένα μεταξύ των δρομολογητών (routers). Οι τοπολογίες που βασίζονται σε αυτό το στάδιο, αναπαριστούν τους φυσικούς κόμβους και συνδέσμους αλλά είναι δύσκολο να δημιουργηθούν γραφήματα. Το στάδιο του ελέγχου στο οποίο δημιουργείται και κατασκευάζεται η πολιτική της δρομολόγησης. (www.wikipedia.com)

Υπάρχουν τρία διαφορετικά επίπεδα για την περιγραφή της τοπολογίας διαδικτύου : το επίπεδο σύνδεσης, το επίπεδο δικτύου και η τοπολογία overlay. Το επίπεδο σύνδεσης όπως ορίζεται από τους Breitbart κ.ά. (Breitbart , 2000) αναφέρεται στο χαρακτηρισμό της φυσικής διασύνδεσης και των σχέσεων των δικτύων που υπάρχουν μεταξύ των οντοτήτων στο δίκτυο. Είναι δηλαδή μια περιγραφή για το πώς συνδέονται τα δεδομένα με τις συσκευές, τις γέφυρες και τους κόμβους και πώς οι εξυπηρετές συνδέονται με αυτά.

Μια τυπική τοπολογία overlay μπορεί να είναι ένα σύστημα peer-to-peer. Μπορεί να είναι δομημένη και μη. Οι δομημένες κατασκευάζονται από πίνακες hash, όπως Chord (Stoica, 2003) ή CAN (Ratnasamy, 2001). Όπως αναφέρουν οι M. Ripeanu, I. Foster, and A. Iamnitchi, « οι σταθμοί peers επιλέγουν γειτονικούς κόμβους μέσω των οποίων έχουν τυχαία πρόσβαση. » Όπως έχει δηλωθεί από τους D. Stutzbach, R.

Rejaie, and S. Sen (D. Stutzbach, 2005) «για μια βαθιά κατανόηση των χαρακτηριστικών της τοπολογίας σε συστήματα overlay απαιτείται η προσομοίωση και αξιολόγηση της εκτέλεσης της έρευνας και των τεχνικών που ακολουθούνται».

Η τοπολογία διαδικτύου μπορεί να μελετηθεί από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα. Το πρώτο είναι το επίπεδο IP, το οποίο περιλαμβάνει τις διευθύνσεις IP και τους τερματικούς σταθμούς. Συνήθως σε αυτό το επίπεδο γίνεται η συλλογή των δεδομένων με το εργαλείο traceroute. Το δεύτερο επίπεδο είναι το επίπεδο των δρομολογητών, όπου κάθε δρομολογητής συμπεριφέρεται στο γράφημα σαν ένας μοναδικός κόμβος. Το POP επίπεδο είναι το τρίτο επίπεδο στο οποίο τοποθετούνται γεωγραφικά οι δρομολογητές και τα interface. Τέλος, το επίπεδο AS (αυτόνομα συστήματα), παρέχει πληροφορίες για την συνδεσιμότητα των συστημάτων αυτών. Οι πληροφορίες δεν αποτυπώνονται από ενεργές μετρήσεις αλλά από την εσωδρομολόγηση και τις βάσεις των διευθύνσεων.



Εικόνα 1-Διαφορετικά επίπεδα τοπολογίας διαδικτύου

Η εικόνα 1 δείχνει τα τρία επίπεδα. Οι μαύρες τελείες αναπαριστούν τους δρομολογητές interface, τα άσπρα σχήματα τους δρομολογητές και οι σκιασμένες περιοχές για τα αυτόνομα συστήματα. Οι γραμμές αντιστοιχούν στις συνδέσεις. Το επίπεδο IP κατασκευάζεται από τις μαύρες τελείες. Το επίπεδο δρομολογητών ανακτάται όταν όλα τα interface από έναν δρομολογητή ομαδοποιούνται σε μια

οντότητα. Τέλος, το επίπεδο των αυτόνομων συστημάτων ανακτάται όταν κοιτάμε μόνο τα συστήματα ομαδοποιημένα και τις συνδέσεις μεταξύ αυτών.

Για να γίνει η συλλογή των πληροφοριών για την τοπολογία είναι μια επίπονη διαδικασία για την μοντελοποίηση του διαδικτύου αλλά και τον έλεγχο του δικτύου.

Το traceroute είναι ένα διαγνωστικό εργαλείο το οποίο επιτρέπει σε κάποιον να εξετάσει το μονοπάτι το οποίο διασχίζει ένα πακέτο, δείχνοντας τους ανεξάρτητους δρομολογητές που πέρασε το πακέτο, καθώς και τον χρόνο που έκανε το πακέτο για την μεταφορά του από τον ένα δρομολογητή στον άλλον. Οι διαχειριστές των δικτύων έχουν την δυνατότητα να πιστοποιήσουν ότι τα πακέτα δρομολογήθηκαν μέσω μονοπατιών και τι απώλειες υπήρχαν. Αρκετές φορές όμως χρειάζεται και ο πάροχος να συμπληρώσει πληροφορίες λόγω τυχόν απωλειών. (Steenbergen, 2001)

	date	interval	type	graph level			vantage points		
				IP	Rtr	AS	points	ASes	ctries
DIMES	2011.04.04 - 2011.04.17	14 days	traceroute	X		X	947		
iPlane	2011.04.06 - 2011.04.20	15 days	traceroute	X	X	X	517	190	40
Ark IPv4 All Prefix /24	2011.04.01 - 2011.04.15	15 days	traceroute	X	X	X	54	54	29
RouteViews2	2011.01.16 - 2011.01.20	4 days	BGP			X	1	33	11
BGP Full	2011.01.16 - 2011.01.20	4 days	BGP			X	19	336	21
IRL	2011.04.01 - 2011.04.15	15 days	BGP			X	N/A ¹		
RIPE WHOIS	2009.04.20 - 2011.04.20	2 years	IRR			X	1	20,905	183

Εικόνα 2-Σύνολο δεδομένων βάση τύπο, ημερ/νια & γραφημάτων

Internet topology zoo

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το Internet topology zoo αποτελείται πάνω από διακόσιες τοπολογίες δικτύου που είναι διαθέσιμες από τους παρόχους του δικτύου και συλλέχθηκαν από σύνολο δεδομένων, χαρτών και δημοσιευμένων στοιχείων των ιδιοκτητών ή των διαχειριστών των δικτύων. Η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε από το πανεπιστήμιο της Αδελαΐδα στην Αυστραλία και οι ερευνητές έχουν προχωρήσει και σε ένα επόμενο στάδιο έρευνας που υλοποιείται ένα δίκτυο των διαδικτύων. Το μοντέλο αυτό στηρίζεται στο ευρωπαϊκό δίκτυο έρευνας GEANT. (Simon Knight, Realistic Network Topology Construction and Emulation from Multiple Data Sources).

Στη συνέχεια αναφέρονται τα στάδια της ανάλυσης για τη δομή του internet topology zoo.

Δεδομένα

Οι τοπολογίες διαδικτύου έχουν δοθεί και για τα επτά επίπεδα του OSI. Για παράδειγμα οι ακμές μπορούν να αναφέρονται σε φυσικά καλώδια, εικονικές συνδέσεις δικτύων, συνδέσεις μεταξύ σελίδων κατώτερου επιπέδου (html) σε ανώτερου (www). Επίσης μπορεί να υπάρξει συνδυασμός από δρομολογητές σε αυτόνομα συστήματα (Ass) ή σε συστήματα peer to peer (POP). Το zoo περιλαμβάνει τοπολογίες από διαφορετικά επίπεδα

Μετρήσεις

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος για τη μέτρηση της τοπολογίας είναι να ζητηθεί από το δίκτυο να δοθούν μέσω των δρομολογητών τα configuration files, τα οποία περιγράφουν την τρέχουσα λειτουργία του δρομολογητή. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του χάρτη.

Μια άλλη τεχνική μέτρησης γίνεται σε επίπεδο IP και επιστρέφει την διαδρομή μεταξύ δύο σημείων. Στην κεφαλίδα του IP υπάρχει ένα πεδίο , το οποίο επιστρέφει τη διαδρομή ενός πακέτου καθώς αυτό διασχίζει το δίκτυο, αλλά συνήθως δεν είναι ενεργοποιημένο για λόγους ασφάλειας, γνωστό ως traceroute. Επίσης, ο έλεγχος αυτών των δικτύων αντιμετωπίζει δυσκολίες στην ακρίβεια των δεδομένων. Έχει αποδειχθεί ότι οι χειριστές των δικτύων γνωρίζουν καλύτερα για να αποδώσουν και να καθορίσουν λεπτομέρειες σχετικά με το δίκτυο, όπως την αρχή και το τέλος, πακέτα προτεραιοτήτων και άλλα.

Επιπλέον, πληροφορίες μπορούν να αντληθούν από την τομογραφία του δικτύου, η οποία πολλές φορές οδηγεί πάλι σε σφάλματα και για αυτό το λόγο συλλέγονται και επεξεργάζονται πληροφορίες και δεδομένα από τους παρόχους των δικτύων.

Συλλογή και μορφή δεδομένων

Οι χάρτες συνήθως δείχνουν τα συστήματα PoPs και τις μεταξύ τους συνδέσεις. Συχνά είναι απλές εικόνες, αλλά τις περισσότερες φορές είναι διαδραστικοί χάρτες. Στους χάρτες- εικόνες γίνεται αποθήκευση του χάρτη και έπειτα μεταγράφεται σε ένα γράφημα. Ενώ στους διαδραστικούς χάρτες, απαιτείται περισσότερη δουλειά και γίνεται ανάλυση σε κόμβους και συνδέσεις των χαρτών. Οι χάρτες μετατρέπονται με τη βοήθεια ενός εργαλείου ,που είναι διατίθεται δωρεάν, YED, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να εντοπίζει τα στοιχεία του δικτύου (δρομολογητές και PoPs , με πληροφορίες για τους κόμβους και τις κορυφές του δικτύου). Ένα γραφικό διάγραμμα βοηθάει τον χρήστη να επεξεργαστεί γρηγορότερα τις πληροφορίες, να εντοπίσει και να μειώσει τα σφάλματα καθώς επίσης και να συγκρίνει τον αρχικό χάρτη με τον αυτόν που έχει μεταγραφεί.

Έπειτα από την επεξεργασία, ακολουθεί η εξαγωγή των αρχείων σε μορφή GML(τυποποίηση γεωγραφικών συστημάτων στο διαδίκτυο), το οποίο αναφέρει τους κόμβους, τις ακμές και τις επεκτάσεις που αποθηκεύονται.

Μετα-δεδομένα

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα είναι ότι πολλοί χάρτες του δικτύου περιέχουν πρόσθετα δεδομένα. Για παράδειγμα:

- Τύποι σύνδεσης ή ταχύτητες
- Μήκη και πλάτη των κόμβων που λαμβάνονται μέσω γεω-κωδικοποίησης των θέσεων PoP
- μια διεύθυνση URL (Uniform Resource Locator) που δείχνει τα δεδομένα που ελήφθησαν
- Ημερομηνία εγγραφής δηλαδή, η ημερομηνία κατά την οποία ο χάρτης ήταν αντιπροσωπευτικός του δικτύου
- ημερομηνία λήψης του χάρτη του δικτύου
- ταξινόμηση του τύπου του δικτύου
- σύνδεση με άλλα συναφή δίκτυα.

Ταξινόμηση δεδομένων

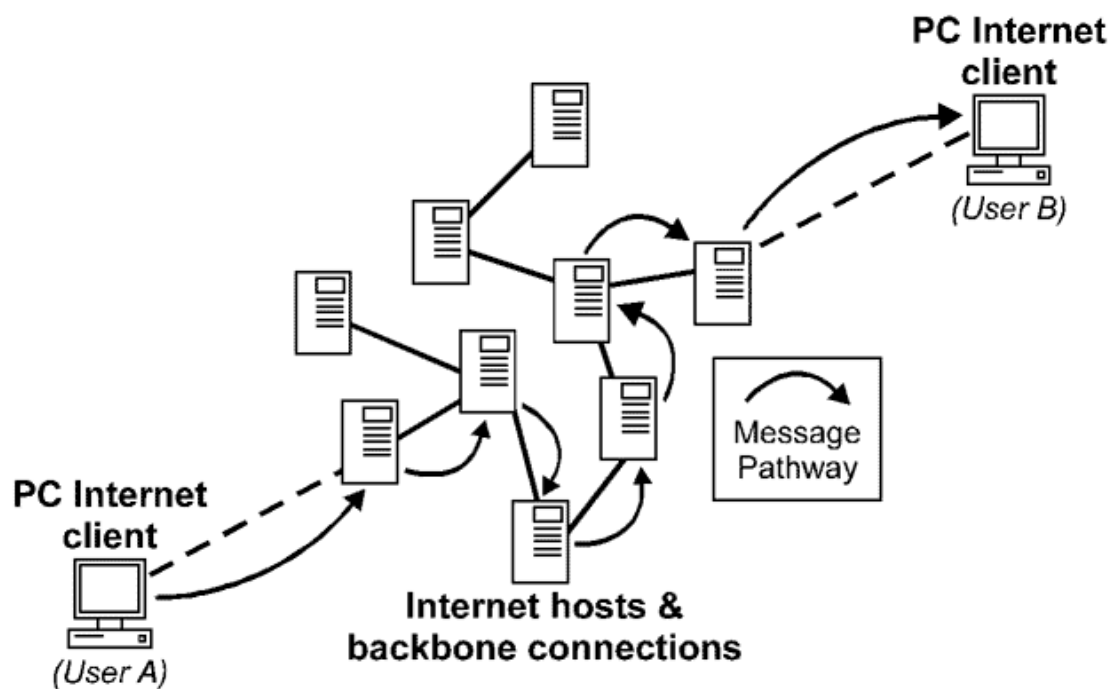
Τύπος

Στο βασικό επίπεδο, τα δίκτυα ταξινομούνται σε εμπορικά (com) και εκπαίδευσης ή έρευνας (ren). Μέχρι στιγμής έχουν μεταγραφεί περίπου 112 COM και 120 REN.

Σε δεύτερο επίπεδο η ταξινόμηση μπορεί να γίνει με βάση το ρόλο που παίζει το κάθε δίκτυο, σε backbone, testbed, customer, transit, access και internet exchange.

Η ετικέτα access υποδηλώνει ένα δίκτυο που παρέχει πρόσβαση σε αποδέκτη-πελάτη (για παράδειγμα μέσω DSL, μέσω τηλεφώνου, ή ίνα).

Η ετικέτα backbone υποδηλώνει ένα δίκτυο που συνδέει τουλάχιστον δύο πόλεις. Τα περισσότερα τέτοια δίκτυα αυτοπροσδιορίζονται ως ραχοκοκαλιά. Ο μικρότερος σκελετός θεωρείται ότι περιέχει μόνο τρεις κόμβους.



Η ετικέτα του πελάτη (customer) χρησιμοποιείται όταν σε ένα δίκτυο παρέχεται μία υψηλότερου επιπέδου υπηρεσίες προς πελάτες από τη διαμετακόμιση. Ένα δίκτυο ταξινομείται με αυτήν την ετικέτα αν οι υπηρεσίες που παρέχονται είναι απαιτούμενες για κάθε πελάτη για παράδειγμα, web hosting ή ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Με την εισαγωγή της κατάστασης ανά πελάτη, ο πάροχος πρέπει να

έχει ένα μοντέλο εξυπηρέτησης πελατών, στο οποίο να παρέχονται οι τεχνικές απαιτήσεις για τη διατήρηση και τη συνδεσιμότητα στις βασικές υπηρεσίες (DNS, routing, κλπ.). Αυτή η ετικέτα εφαρμόζεται όταν ένας πάροχος διαφημίζει σαφώς μια web-hosting, e-mail ή παρόμοια ανά πελάτη κρατική υπηρεσία ή και για τους συνδεδεμένες οργανώσεις.

Η ετικέτα testbed υποδηλώνει ένα δίκτυο για την υποστήριξη και εγκατάσταση για πειραματικά πρωτόκολλα δικτύου ή εξοπλισμού.

Η ετικέτα διέλευσης (transit) χρησιμοποιείται όταν ένας επιχειρηματίας δείχνει ότι το δίκτυο είναι συνδεδεμένο με άλλα δίκτυα κατά τρόπο ώστε υποστηρίζει τη διαμετακόμιση, και ο χειριστής δείχνει ότι έχει την υποδομή που απαιτείται για να λειτουργήσει σε αυτό το επίπεδο. Προκειμένου να εφαρμοστεί αυτήν η ετικέτα, θα πρέπει οι ενδείξεις στις ιστοσελίδες και στα διαγράμματα δικτύου να κάνουν σαφές ότι η διέλευση δεν είναι μόνο πιθανή αλλά παρέχεται διαρκώς.

Η διαδικτυακή ανταλλαγή (internet exchange)(IXP) χρησιμοποιείται όπου το δίκτυο υπάρχει μόνο ως ένα πλέγμα άλλων δικτύων.

Η άλλη σημαντική πτυχή του τύπου του δικτύου είναι το επίπεδο του δικτύου. Παρέχονται ετικέτες υποδεικνύοντας το στρώμα (1-3) και περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον τύπο της τεχνολογίας / πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται, όπου αυτά είναι διαθέσιμα. Εντός των δικτύων IP διακρίνουμε γραφήματα router-level από PoP επίπεδο .

Εύρος

Με βάση το εύρος υπάρχει η εξής ταξινόμηση: metro, region, country, country+, continent, continent+ και global.

Ένα δίκτυο metro είναι αυτό που εκτείνεται σε μια πόλη, ή μια περιοχή. Ομοίως, όσον αφορά τις ονομασίες country(χώρα) και continent(ήπειρο). Σε κάθε μία από

αυτές τις περιπτώσεις επίσης προστίθεται μια ετικέτα που περιγράφει την περιοχή, π.χ., στην περίπτωση της ηπείρου, που ορίζει την «ήπειρο»: Βόρεια Αμερική, Ευρώπη, Ασία-Ειρηνικός, τη Λατινική Αμερική και την Αφρική.

Ένα δίκτυο region είναι περίπου το μέγεθος ενός κράτους ή μικρό αριθμό κρατών, όπου ο αριθμός των κρατών που συμμετέχουν είναι ένα σημαντικό μέρος της χώρας.

Οι ταξινομήσεις country + (και continent +) χρησιμοποιούνται όταν τα δίκτυα ως επί το πλείστον βρίσκονται σε μια χώρα (ή ήπειρο), αλλά έχουν σημεία παρουσίας σε ένα άλλο που δεν αντιστοιχεί σε σημαντικό αριθμό των συνολικών PoPs. Η ετικέτα είναι αναγκαία, επειδή υπάρχουν πολλά δίκτυα που είναι εύκολα αναγνωρίσιμα και που ανήκουν σε μια χώρα (ή ευρωπαϊκή) περιοχή, αλλά και για σκοπιμότητες για να έχουν έναν ή περισσότερους δρομολογητές εκτός της χώρας.

Όταν ένα δίκτυο έχει σημαντική παρουσία σε τουλάχιστον δύο ηπείρους, έχει επισημανθεί ως ένα παγκόσμιο δίκτυο(global).

Ανάλυση σε επίπεδο PoP

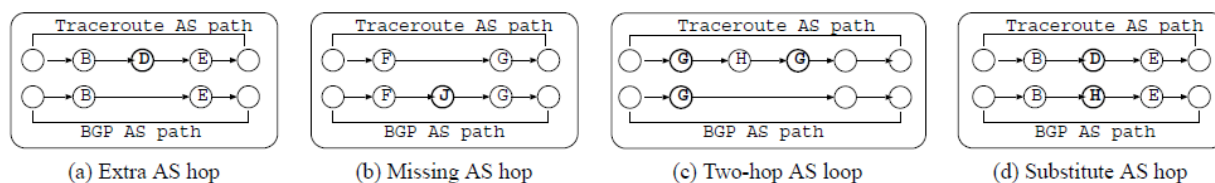
Η συνηθισμένη μέθοδος για ανάλυση των δεδομένων είναι η ανάλυση να γίνεται με αυτοματοποιημένες διαδικασίες, οι οποίες ερευνούν μεγάλος μέρος των δικτύων και τα αποτελέσματα των οποίων δεν μπορούν να αλλοιωθούν με την πάροδο του χρόνου. Όμως, επειδή υπάρχει το μειονέκτημα της άγνωστης ποιότητας των δεδομένων προτιμάται η διαδικασία αυτή να γίνεται χειρονακτικά και βασιζόμενη σε δεδομένα που έχουν δημοσιοποιηθεί.

Ένα PoP μπορεί να οριστεί σύμφωνα με τον (Zilberman, 2010) ως «μια ομάδα δρομολογητών οι οποίοι ανήκουν σε ένα αυτόνομο σύστημα και βρίσκονται φυσικά στο ίδιο κτίριο ή πανεπιστημιούπολη.» Ένα PoP προσφέρει συχνά πρόσβαση σε μία ευρύτερη περιοχή, έτσι ώστε να μπορεί να συγχέεται με μια μητροπολιτική περιοχή. Το pop-επίπεδο είναι ενδιαφέρον από πολλές απόψεις: δείχνει το εύρος ζώνης στις συνδέσεις, οι οποίες είναι οι πλέον ενδιαφέρουσες, όταν πρόκειται για βελτιστοποιήσεις στο σχεδιασμό του δικτύου, αφορά τους παρόχους και τους πελάτες καθώς καθορίζει από όπου μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο και είναι το επίπεδο αξιοπιστίας και πλεονασμού που μπορεί να εξεταστούν αυτά τα στοιχεία. Το ενδιαφέρον στα δίκτυα σε αυτό το επίπεδο αντικατοπτρίζεται από το γεγονός ότι είναι η πιο κοινή μορφή των δημοσιευμένων χαρτών δικτύου. Οι χάρτες σε επίπεδο Router περιέχουν πολλές λεπτομέρειες εφαρμογής που δεν έχουν ενδιαφέρον εκτός για τους μηχανικούς του δικτύου. Τα αποτελέσματα των ερευνών που έγιναν λόγω των αποκλίσεων που υπήρχαν είναι κυρίως περιγραφικά παρά αντιπροσωπευτικά.

Διαδίκτυα

Από τα 232 δίκτυα στο internet topology zoo, 141 βρίσκονται σε PoP επίπεδο, τα οποία έχουν δηλωθεί δίκτυα υπό μελέτη-Network under study (NUS). Έχουν χωριστεί σε 59 δίκτυα REN και 82 δίκτυα COM. 106 δίκτυα του NUS είναι από μια πρωταρχική πηγή, 24 από δευτερογενείς πηγές, και μόνο 1 έχει ένα άγνωστης προέλευσης.

Οι πίνακες I και II δείχνουν τους τύπους και τις κλίμακες του NUS, και σε παρένθεση ολόκληρο το zoo. Σε αυτή την αναφορά δεν αναλύθηκαν τα IXPs (αυτά τα δίκτυα είναι εκτός ενδιαφέροντος από ένα pop-επίπεδο), και όλα τα δίκτυα ταξινομούνται ως backbone (επειδή συνδέουν πολλαπλές PoPs). Οι υπόλοιπες ετικέτες ταξινόμησης είναι πιο χρήσιμες για την υποδιαίρεση των δικτύων. Οι περισσότερες τεχνικές μέτρησης είναι φτωχές, βλέποντας την "άκρη" του Διαδικτύου. Δηλαδή, δεν υπάρχει πρόβλημα να βρεθεί η τοπολογία των μικρών παρόχων που συνδέουν τους χρήστες με το Διαδίκτυο. Αυτό είναι αποτέλεσμα του ότι οι έρευνες για traceroute μπορούν να δουν μόνο το μονοπάτι forward, και έτσι μπορεί να βρεθεί μόνο η τοπολογία στην άκρη αν υπάρχουν τοπικοί servers traceroute, ενώ όπως οι περισσότεροι servers έχουν την τάση να βρίσκονται προς το «κέντρο» στους παρόχους διέλευσης.



Towards an Accurate ASLevel Traceroute Tool
 Zhuoqing Morley Mao Jennifer Rexford Jia Wang Randy H. Katz
 UC Berkeley AT&T Labs-Research AT&T Labs-Research UC Berkeley
 zmao@cs.berkeley.edu jrex@research.att.com jiawang@research.att.com randy@cs.berkeley.edu

Έτσι, ενώ το δείγμα που υπάρχει μπορεί να μην είναι αντικειμενικό, παρουσιάζει μια πλήρης εικόνα του φάσματος των συμπεριφορών.
(A. H. Rasti, 2010)

Πίνακας 1-Τύποι NUS (οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι ο αριθμός των δικτύων στο zoo

NETWORKS PRESENT IN THE COMPLETE ZOO.

type	COM		REN		Total	
access	19	(26)	0	(0)	19	(26)
backbone	76	(105)	59	(119)	135	(224)
customer	61	(84)	24	(34)	85	(118)
testbed	4	(4)	9	(19)	13	(23)
transit	54	(69)	12	(41)	66	(110)
IXP	0	(0)	0	(4)	0	(4)

Πίνακας 2-Εύρος NUS & ZOO

Range	NUS	Zoo
Metro	1	2
Region	5	23
Country	101	161
Country+	6	7
Continent	16	27
Continent+	1	1
Global	10	10
Unclassified	1	1
Total	141	232

Ο πίνακας III αναφέρει την ημερομηνία-εγγραφής για το NUS (και σε παρένθεση η ευρύτερη στο Zoo). Μερικά από τα μεγαλύτερα δίκτυα ενδέχεται να μην λειτουργούν πλέον, ή τουλάχιστον θα έχουν αλλάξει.

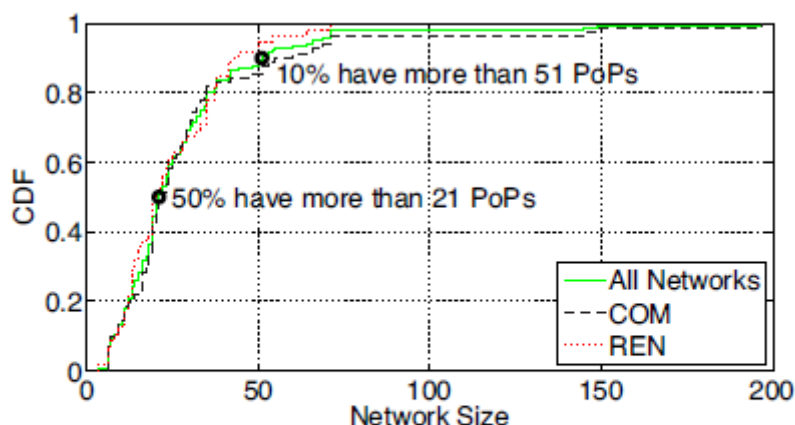
Πίνακας 3-Ημερομηνίες εγγραφών

<2000	2000-2005	2006-2010	Current	Dynamic
1 (16)	9 (25)	26 (58)	93 (117)	12 (16)

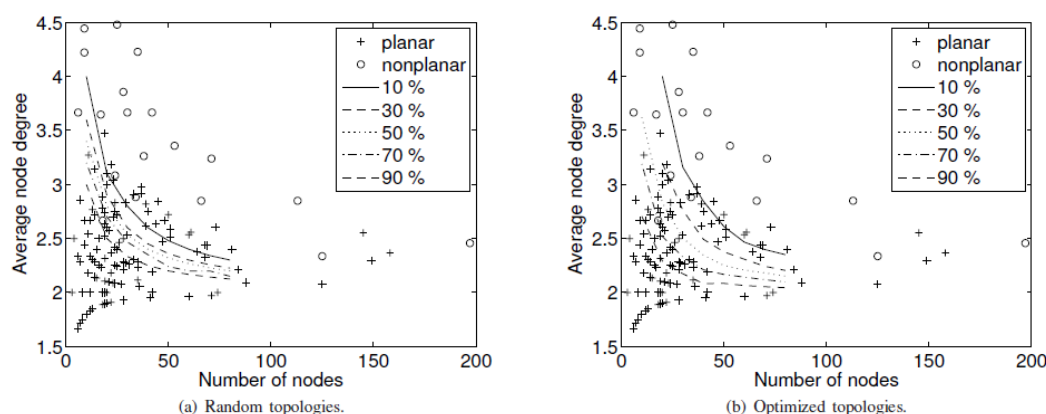
Η άλλη πτυχή είναι το μέγεθος, δηλαδή, ο αριθμός των PoPs στα δίκτυα. Ένας αναγνώστης μπορεί να υποψιαστεί ότι υπάρχει ένα συστηματικό σφάλμα στην NUS προς μικρότερα και πιο εύκολα μεταγραφόμενα δίκτυα. Το Σχήμα 2 δείχνει την αθροιστική κατανομή της NUS σε μέγεθος. Το zoo περιέχει στην πραγματικότητα λίγο ακόμη μεγαλύτερα δίκτυα (ένα με 751 κόμβους) αλλά αυτά είναι δίκτυα οπτικών ινών που δεν περιλαμβάνονται στις στατιστικές. Έχει γίνει επίσης προσπάθεια για να γίνει μια δίκαιη σύγκριση. Δεν χρησιμοποιούν όλοι οι χάρτες του δικτύου τον ίδιο ορισμό της PoP. Βρέθηκαν τρία REN δίκτυα που χρησιμοποίησαν τον όρο για PoP σε πανεπιστημιούπολεις που συνδέονται στο δίκτυό τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις καταργούνται οι "άκρες" από τους κόμβους του γραφήματος, αλλά φαίνεται η επίδραση τους στον Πίνακα IV (για το μέγεθος και μέσο βαθμό κόμβου).

Πίνακας 4- δίκτυα με κορυφές-κόμβους πριν και μετά το trimming

Network	Size		Average Degree	
	Before	After	Before	After
ULAKNET	79	3	2	2
PERN	127	12	2.03	2.33
Sinet	74	13	2.05	2.31

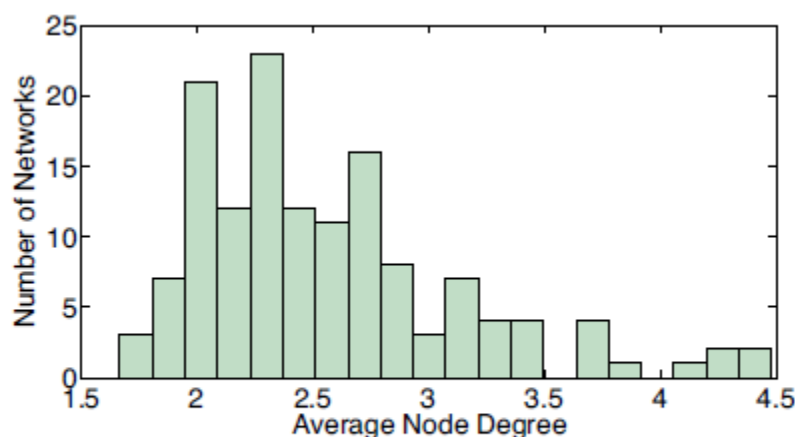


Εικόνα 3-κατανομή συνάρτησης για τον αριθμό των POPs σε NUS. Η συνεχόμενη γραμμή δείχνει την κατανομή για όλα τα δίκτυα.



Proceedings of the 2011 23rd International Teletraffic Congress (ITC 2011)

Η άλλη βασική πτυχή του δικτύου αφορά τις άκρες. Θα μπορούσε να μετρηθεί ο συνολικός αριθμός των ακμών, αλλά υπολογίζουμε τον μέσο βαθμό κόμβου ($2 \times \text{αριθμός των ακμών} / \text{αριθμός κόμβων}$) στο δίκτυο. Η εικόνα 4 δείχνει την κατανομή του μέσου βαθμού κόμβου πάνω σε όλα τα δίκτυα. Τυπικές τιμές βρίσκονται στο φάσμα 2-3, το οποίο είναι αρκετά σε χαμηλά επίπεδα. Το κατώτερο όριο για το μέσο βαθμό κόμβο για ένα συνδεδεμένο δίκτυο με n κόμβους είναι $2 - 2/n$ για ένα δέντρο. Μια εξήγηση για τους χαμηλούς βαθμούς σε κόμβους θα είναι εάν τα δίκτυα ήταν αποσυνδεδεμένα. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν 17 αποσυνδεδεμένα NUS. Σε 8 περιπτώσεις το αποσυνδεδεμένο τμήμα είναι ένα μονός κόμβος, και στις άλλες 2, οι αποσυνδεδεμένοι κόμβοι είναι ενιαίοι κόμβοι. Στην εικόνα 4 (και όλες οι επόμενες γραφικές παραστάσεις) θεωρούμε μόνο το μεγαλύτερο συνδεδεμένο συστατικό αυτών των γραφημάτων.



Εικόνα 4-ιστόγραμμα του μέσου βαθμού κόμβου. Κυμαίνεται από 1.66 έως 4.5

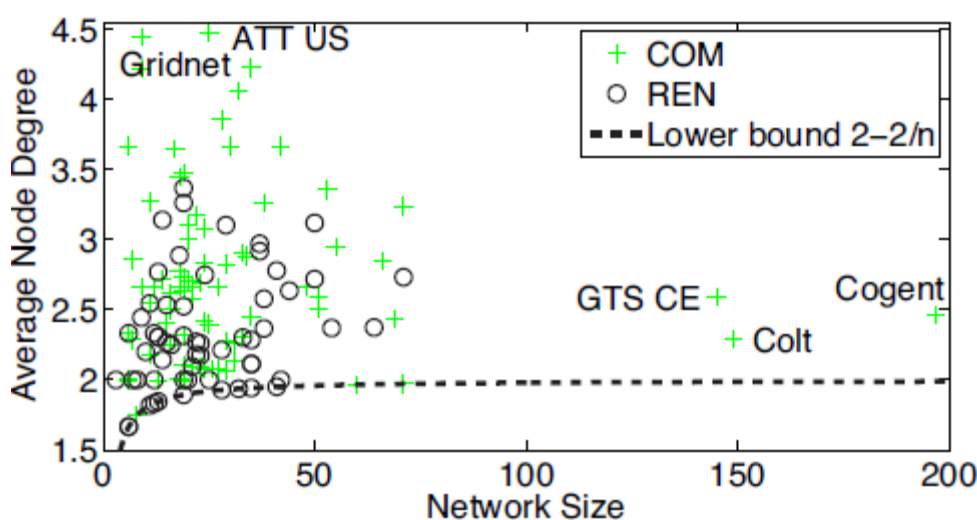
Network Name	Size(<i>n</i>)	Av. Node Degree
Airtel	9	4.2
AT&T(IP-MPLS)	25	4.48
BT(North America)	35	4.23
Chinanet	38	3.26
Cogentco	197	2.46
Dataexchange	6	3.66
Deltacom	113	2.84
Deutsche Telekom (IPTransit PoPs Only)	30	3.67
Globalcenter	9	8
Globenet	66	2.85
Goodnet	17	3.65
Gridnet	9	4.44
HurricaneElectric	24	4.6
IBM	18	2.67
IJJ	28	3.86
Ion	125	2.34
Kdl	754	2.37
Telcove	53	3.36
TW	71	3.24
UUNET	42	3.67
Xspedius	34	2.88

Proceedings of the 2011 23rd International Teletraffic Congress (ITC 2011)

Μετρικά γραφήματα

Το σχήμα 5 δείχνει το μέσο βαθμό κόμβου σε σχέση με το μέγεθος του δικτύου. Έχει, επίσης, σχεδιαστεί το κατώτερο όριο, κατά μέσο όρο βαθμό κόμβου για μια συνδεδεμένη γραφική παράσταση: $2 - 2 / n$. Από πολλές απόψεις, αυτό υποστηρίζει

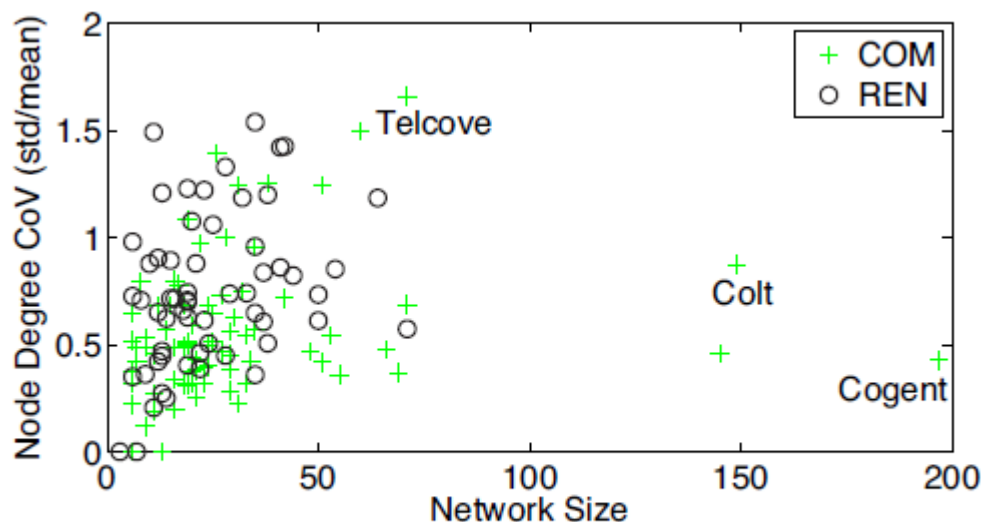
το συμπέρασμα από το σχήμα 4 ότι οι βαθμοί του κόμβου είναι χαμηλοί. Σε μερικές περιπτώσεις τα δίκτυα αναφέρονται σαν δέντρα. Εκτός από το κάτω όριο δεν υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ του βαθμού του κόμβου και του μεγέθους του δικτύου. Ορισμένα μοντέλα της ανάπτυξης του δικτύου θα προβλέπουν μια αύξηση στο μέσο βαθμό κόμβου, ως ένα δίκτυο που μεγαλώνει και εξελίσσεται.



Εικόνα 5- μέσος βαθμός κόμβου σε σχέση με το μέγεθος δικτύου

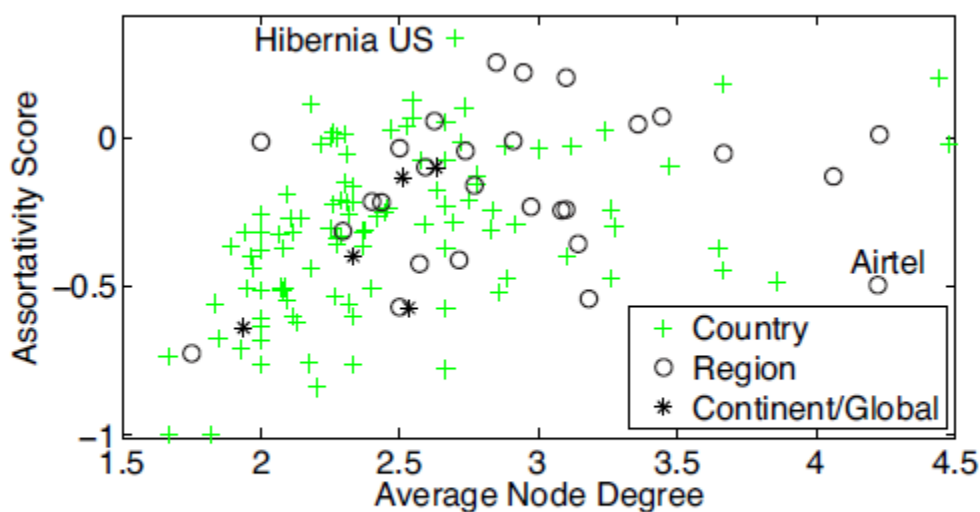
Όπως έχει σημειωθεί, έχουν γίνει λίγες μετρήσεις για οποιοδήποτε δίκτυο, έτσι κοιτάζοντας τη διανομή δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε σταθερά αποτελέσματα και έτσι μπορούμε να εξετάσουμε συνοπτικά στατιστικά στοιχεία, όπως ο συντελεστής διακύμανσης του βαθμού του κόμβου. Στην εικόνα 6 (σε σύγκριση με το μέγεθος του δικτύου) φαίνονται αποδεικτικά στοιχεία για οποιαδήποτε συστηματική σχέση μεταξύ της στατιστικής και το μέγεθος ή τον τύπο του δικτύου. Ωστόσο, μπορούμε να δούμε ότι οι τιμές αυτές διανέμονται γύρω στο 1, και όλα είναι κάτω από 2. Απλές προσομοιώσεις από ένα πρότυπο κατανομής πολύ διαφορετικό (η κατανομή Pareto με $\alpha = 1,5$) δημιουργεί επίσης ορισμένες περιπτώσεις γύρω από αυτή την τιμή, αλλά θα περίμενε να δει κανείς κάποιες

περιπτώσεις με πολύ υψηλότερες συντελεστές διακύμανσης. Οι μετρούμενοι συντελεστές δεν συνάδουν με μια εξαιρετικά ανομοιόμορφη κατανομή.



Εικόνα 6- ποικιλότητα του βαθμικού κόμβου

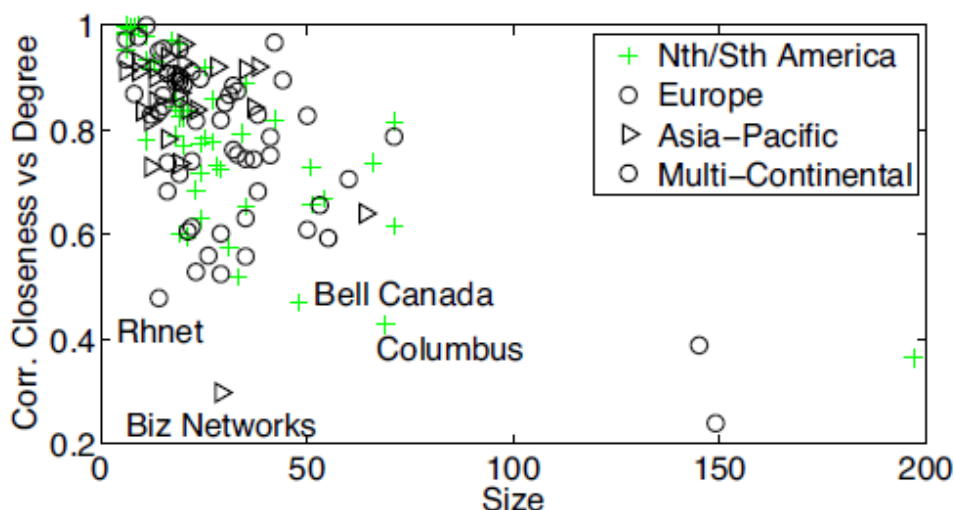
Ένα άλλο χρήσιμο μετρικό γράφημα είναι το assortativity (Newman, 2003), το οποίο μετρά τις ιδιότητες ανάμιξης των κόμβων. Το assortativity αναφέρεται σε μια προτίμηση για τους κόμβους ενός δικτύου να αποδίδουν οι άλλοι που είναι όμοιοι ή διαφορετικοί με κάποιο τρόπο. Εδώ έχουν μετρηθεί σε σχέση με το βαθμό του κόμβου. Θετικά assortative δίκτυα είναι εκείνα που στους πιο υψηλόβαθμους κόμβους τείνουν να συνδεθούν σε υψηλόβαθμους κόμβους και κόμβοι με χαμηλό βαθμό τείνουν να συνδεθούν με χαμηλού βαθμού κόμβους. Αρνητικά assortative δίκτυα αντιστρέφουν αυτή τη σχέση. Έχει σχεδιαστεί το assortativity των δικτύων στην εικόνα 7. Οι περισσότερες τιμές assortativity είναι κάτω, ή μόνο ελαφρώς πάνω από το μηδέν, που σημαίνει ότι οι υψηλού βαθμού κόμβοι τείνουν να συνδεθούν σε χώρες με χαμηλότερο βαθμό κόμβους, και όχι ο ένας μεταξύ με τον άλλον.



Εικόνα 7- τιμές assortativity-τα περισσότερα δίκτυα έχουν αρνητικές τιμές

Η παρουσία ενός δικτύου hub-and-spoke απαντά στην ερώτηση για το πόσο αυτό το σχέδιο είναι κοινό ή παρόμοιο με άλλα προϋπάρχοντα σχέδια. Όπως αναφέρει ο Newman (Newman, 2003) η assortativity δείχνει ότι τα άλλα hub-and-spoke δίκτυα είναι σπάνια. Μπορούμε να μετρήσουμε το βαθμό στο οποίο ένα δίκτυο είναι "hub-and-spoke", όπως με την εξέταση η συσχέτιση μεταξύ του κόμβου βαθμό και την κεντρική εγγύτητα, η οποία ορίζεται, για μία κορυφή v ως το αντίστροφο του άθροισματος των γεωγραφικών αποστάσεων σε όλες τις άλλες κορυφές του γραφήματος. Σε ένα hub-and-spoke δίκτυο, ο «κεντρικός» κόμβος έχει υψηλή εγγύτητα σε όλους τους άλλους κόμβους και υψηλό βαθμό, και επομένως ένα υψηλό βαθμό συσχέτισης μεταξύ του γενικού βαθμού και της κεντρικότητας. Στο σχήμα 8 φαίνονται οι συντελεστές συσχέτισης των δύο μετρικών σε κάθε δίκτυο ως συνάρτηση του μεγέθους του δικτύου. Βλέπουμε ότι αρκετά μετρικά δίκτυα έχουν υψηλή συσχέτιση - αντιστοιχεί στην ύπαρξη hub-and-spoke, - αλλά ότι αυτό μειώνεται για μεγαλύτερα δίκτυα. Επιπλέον, φαίνονται κάποιες διαφορές μεταξύ των δικτύων από διαφορετικές περιοχές. Στις

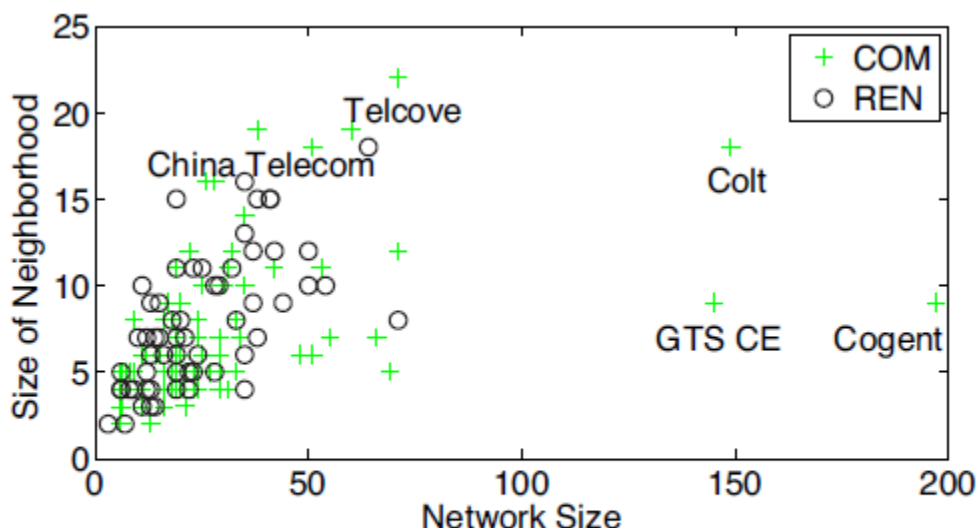
περιοχές Ασίας-Ειρηνικού φαίνονται τα δίκτυα να είναι πιο hub-and-spoke σε σχέση με τα αμερικανικά ή ευρωπαϊκά δίκτυα, αν και με άλλες περιοχές υπάρχει σημαντική επικάλυψη μεταξύ των τάξεων αυτών.



Εικόνα 8

Ένας δεύτερος τρόπος για την ανάλυση και επεξεργασία των τέτοιων θεμάτων είναι να εξεταστεί το μέγεθος της γειτονιάς του κόμβου με τον μεγαλύτερο βαθμό (η περιοχή είναι το σύνολο στους γειτονικούς κόμβους). Στη εικόνα 9 φαίνεται αυτό το μετρικό, και βλέπουμε και πάλι έναν αριθμό των γραφημάτων, όπου η γειτονιά του μεγαλύτερου κόμβου περιλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος του δικτύου. Ωστόσο, αυτό το γράφημα επίσης παρουσιάζει ένα ενδιαφέρον. Βλέπουμε ένα μέγιστο μέγεθος της γειτονιάς σε περίπου 23 PoPs. Δεν υπάρχουν φυσικά όρια στη γειτονιά του PoP επειδή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πολλαπλούς δρομολογητές για να ξεπεραστούν τεχνικοί περιορισμοί, όπως οι θύρες, η πυκνότητα ή οι περιορισμοί απόδοσης. Επομένως ο λόγος για αυτό το

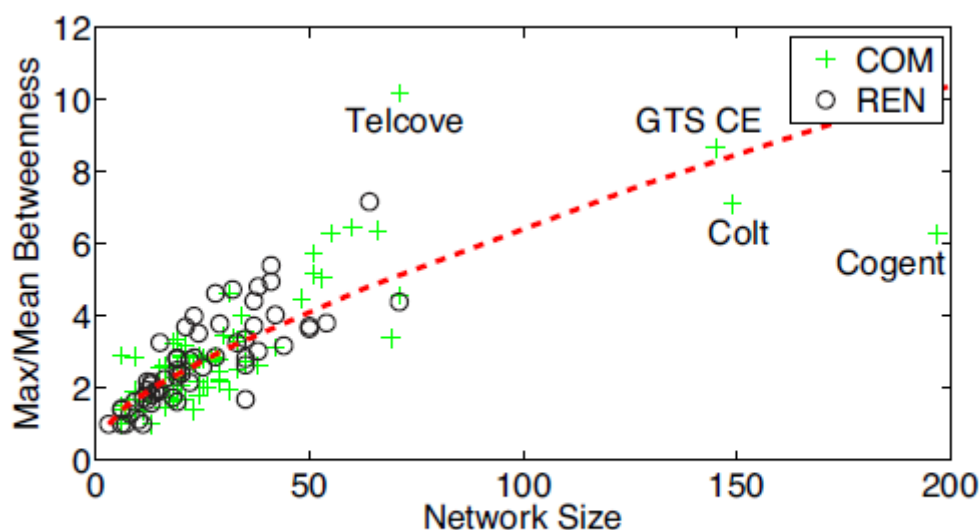
όριο πρέπει να προέρχεται από άλλες χώρες. Η πολυπλοκότητα αυτού του PoP γίνεται έτσι ώστε να είναι απλά πιο εύκολο να σπάσει το δίκτυο σε δύο ή περισσότερα βασικά PoPs, και αυτό αποτρέπει, επίσης, την πιθανή ζημία από την αποτυχία PoP που μπορεί να προκύψει.



Εικόνα 9

Αυτό με τη σειρά του προτείνει τη δημιουργία ιεραρχίας σε μεγαλύτερα δίκτυα. Ένα γράφημα μετρικής που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να αρχίσει να εξετάζει την ιεραρχία είναι το *betweenness*, όπως ορίζεται από τον (Newman, 2003) για μια άκρη-ακμή ως ο αριθμός των συντομότερων μονοπατιών που διασχίζουν από την άκρη. Ο αριθμός διαδρομών σε ένα δίκτυο μεγαλώνει έως $n(n-1)$, έτσι ώστε να εκτελεί δίκαιες συγκρίσεις και να εξομαλύνει τις αξίες μεταξύ αυτών με *betweenness* διαιρώντας το μέγιστο από τον μέσο όρο για ένα δίκτυο, και σχεδιάζει τα αποτελέσματα στην Εικόνα 10. Παριστάνεται μια εντελώς διαφορετική τάση στην αύξηση *betweenness* με το μέγεθος του δικτύου. Υποθετικά θεωρείται ότι αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού της ιεραρχίας των δικτύων καθώς αυξάνουν και σε μέγεθος. Καθώς ένα δίκτυο μεγαλώνει, συχνά παίρνει ορισμένα

στοιχεία της ιεραρχίας, και αυτά μπορούν να αντανακλώνται σε ορισμένες συνδέσεις που γίνονται μεταξύ των περιφερειών -κορμούς με ένα υψηλότερο betweenness από τις ενδοιάμεσες συνδέσεις στο δίκτυο. Στην Εικόνα 10 έχουν σχεδιαστεί επίσης οι τιμές betweenness για ένα ισορροπημένο δέντρο. Γίνεται αντιληπτό ότι υποστηρίζεται η ίδια τάση που υπήρχε και στα δεδομένα προηγουμένως.



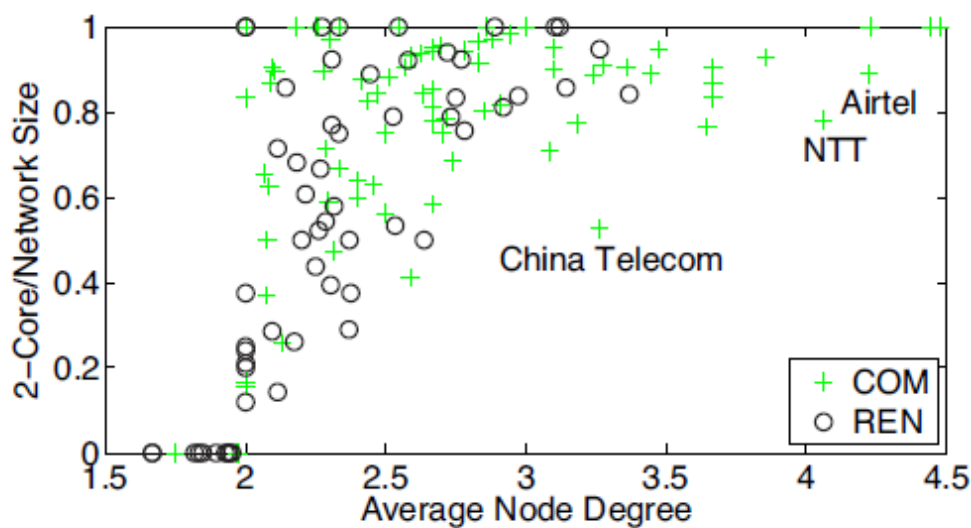
Εικόνα 10

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που σημειώνεται από την επιφανειακή εξέταση των NUS είναι ότι κάποια δίκτυα φαίνεται να έχουν ένα «πυρήνα» που συνδέεται σε κόμβους που αυτά με τη σειρά τους συνδέονται στο κέντρο, με πολλούς χαμηλού βαθμού κόμβους που στηρίζονται σε αυτόν τον πυρήνα. Για να εξεταστεί αυτό θεωρούμε ότι το μέγεθος του 2-πύργου δικτύου.

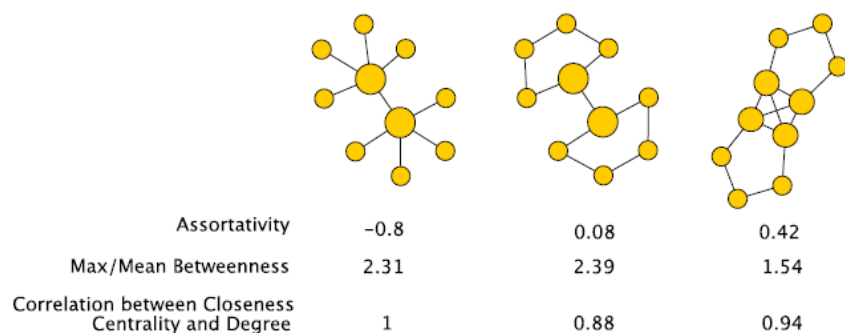
Network Name	Kuratowski subgraph		2-core		Contracting degree 2 nodes	
	# of nodes	# of edges	# of nodes	# of edges	# of nodes	# of edges
Airtel	6	9	6	9	6	9
AT&T(IP-MPLS)	19	22	13	16	8	11
BT(North America)	19	22	16	19	7	10
Chinanet	12	15	10	13	8	11
Cogentco	62	65	25	28	8	11
Dataexchange	5	10	5	10	5	10
Deltacom	63	66	31	34	8	11
Deutsche Telekom (IPTransit PoPs Only)	19	22	14	17	9	12
Globalcenter	9	14	6	11	6	11
Globenet	30	33	21	24	8	11
Goodnet	11	14	11	14	7	10
Gridnet	9	14	9	14	5	10
HurricaneElectric	11	14	10	13	7	10
IBM	17	20	14	17	8	11
IJ	13	16	11	14	8	11
Ion	65	68	27	30	8	11
Kdl	263	266	202	205	11	14
Telcove	28	31	27	30	8	11
TW	40	43	29	32	9	12
UUNET	30	33	22	25	7	10
Xspedius	23	26	20	23	7	10

Proceedings of the 2011 23rd International Teletraffic Congress (ITC 2011)

Ο k -πυρήνας ενός δικτύου είναι το διαπιστευτήριο που περιέχει μόνο κόμβους του βαθμού k ή παραπάνω, έτσι ώστε ο 2-πύρηνος αποκλείει όλους τους κόμβους βαθμού 1 (αυτό πρέπει να εκτελείται επαναληπτικά όπως κάποιοι κόμβοι όταν έχουν γίνει μια φορά η πρώτη σειρά του βαθμού 1 κόμβοι αφαιρούνται). Το Σχήμα 11 δείχνει το λόγο του μεγέθους του 2-πύρηνου δικτύου με το μέγεθός του. Φαίνονται τα δενδροειδή δίκτυα συγκεντρωμένα στην τιμή 0, και μια γενική αύξηση στο μέγεθος του 2-πύρηνου με μέσο βαθμό στον κόμβο κοντά στην τιμή 1. Επίσης φαίνεται κάποιος διαχωρισμός μεταξύ REN και COM δίκτυα.



Εικόνα 11



Εικόνα 12-Στατιστικά για τρία απλά δίκτυα

Συμπεράσματα –Προτάσεις

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα για τους χάρτες σε επίπεδο PoP, διαφαίνεται ότι δεν υπάρχει αντικειμενικότητα στις κατανομές των βαθμών, στη συμπεριφορά των hub-and-spoke καθώς και στην ιεραρχία. Ένας λόγος που μπορεί να συμβεί αυτό είναι στην μεγάλη ποικιλότητα που υπάρχει στα δίκτυα και στο ότι για κάθε ένα δίκτυο από αυτά υπάρχουν διαφορετικοί τύποι και διαφορετικοί σχεδιαστές του δικτύου.

Έχει περιγραφεί η ανάλυση των τοπολογιών σε επίπεδο των POPs με μη αυτοματοποιημένο τρόπο. Μπορεί να γίνει η βελτίωση αυτού του συστήματος με την ανάλυση και στα υπόλοιπα επίπεδα των τοπολογιών και συσχέτιση μεταξύ αυτών με μια αυτοματοποιημένη διαδικασία. Επίσης, θα μπορούσαν να αναπτυχθούν αλγόριθμοι για την ισχύ των μεθόδων που χρησιμοποιούνται και σε πραγματικά δίκτυα σε όλη την έκταση του διαδικτύου και μεταξύ όλων των εμπορικών παρόχων.

Βιβλιογραφία

www.topology-zoo.org

“AARNET Annual Report, ”. t. (2009).

“ARNES Annual Report, ”. t. (2008).

“BELNET Annual Report, ”. t. (2008).

“Connecting People, E. I.-2. (2010).

Breitbart., Y. B. (2000, March). Topology Discovery in Heterogeneous IP. *Proc. IEEE INFOCOM*.

CESNET, “. A. (2009).

D. Stutzbach, R. R. (2005). Characterizing Unstructured. *ACM SIGCOMM Internet Measurement Conf*.

M. Ripeanu, I. F. (2002). “Mapping the Gnutella. *IEEE Internet Computing J*.

Newman, M. E. (2003, June). The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, pp. 167-256.

R. Siamwalla, R. S. (n.d.). *Discovering Internet Topology*. Cornell University, Ithaca, NY 14853: Cornell Network Research Group.

Ratnasamy, S. (2001). “A Scalable Content Addressable Network,. *Proc. ACM SIGCOMM*.

Research and Education Advanced Network New Zealand Ltd, A. (2010).

Simon Knight, H. X. (2011, October). Internet Topology Zoo. *IEEE*.

Simon Knight, H. X. (n.d.). Realistic Network Topology Construction and Emulation from Multiple Data Sources.

Steenbergen, R. A. (2001). Traceroute.

Stoica, I. (2003, February). Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Protocol. *IEEE/ACM Trans. Net*, pp. 17-32.

www.wikipedia.com. (n.d.).

Zilberman, Y. S. (2010). “A structural approach for PoP geolocation, . *IEEE Infocom*.

Internet Topology, Yihua He, Georgos Siganos, Michalis Faloutsos, University of California, Riverside

Jennifer Rexford, Internet Topology,
www.cs.princeton.edu/courses/archive/spring06/cos461

A.H. Rasti, N. Magharei, R. Rejaie, W. Willinger, Eyeball ASes: From geography to connectivity in ACM Sigcomm IMC, Melbourne, Australia, 2010

M.E.J. Newman, The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, pp 167-256, June 2003

Rhys Bowden, Hung X. Nguyen, Nicolas Falkner, Simon Knight, Matthew Rougham, Proceeding of the 2011 23rd International Teletraffic Congress (ITC 2011), University of Adelaide, Australia