

Παρουσίαση, ανάλυση και εκτίμηση της αρχιτεκτονικής και των προσφερομένων υπηρεσιών του  
ακαδημαϊκού δικτύου κορμού SINET3.

Presentation, analysis and evaluation of the network architecture and services of the academic  
backbone network SINET3.

Αθανασάκης Γεώργιος  
Πανεπιστήμιο Μακεδονίας  
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα  
Δίκτυα Υπολογιστών  
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Ιανουάριος 2011

## Περίληψη

Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζουμε και αναλύουμε την αρχιτεκτονική του δικτύου κορμού το οποίο ονομάζεται SINET3 (Science Information Network). Ξεκινώντας από την ιστορική διαδρομή του συγκεκριμένου δικτύου, την αρχική του μορφή (SINET και SuperSINET) και τη μετεξέλιξή του στην σημερινή του μορφή, η οποία και μας απασχολεί εδώ, συζητάμε τις ανάγκες που το δημιούργησαν, οι οποίες είναι επιστημονικές και εκπαιδευτικές και περιγράφουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά και τις υπηρεσίες που φιλοξενεί. Με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του SINET3, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσφέρει μία ευρύτερη επισκόπηση προσεγγίζοντας τη δομή του δικτύου, την αρχιτεκτονική του και τις αυξημένες δυνατότητες να φιλοξενεί μεγάλο αριθμό υπηρεσιών σε μία πλατφόρμα που προσφέρει στους τελικούς χρήστες αναβαθμισμένες δυνατότητες δικτύωσης για επιστημονική έρευνα ή εκπαιδευτική εργασία. Τέλος, συζητάμε τις δυνατότητες επέκτασης των υπηρεσιών του SINET3 προς τους τελικούς χρήστες μελλοντικά και παρουσιάζουμε την αξιολόγηση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού με έμφαση στην εκτίμηση κόστους της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής δικτύου.

## Abstract

The aim of this essay is to analyze and evaluate the structure of a backbone network called Science Information Network 3 (SINET3) with a particular focus on the multiple services provided. First, we present the original forms of the network, namely, SINET and SuperSINET and how its final form evolved. We point out both scientific and educational needs that led to the development of SINET3, and we also describe its main features and services. Further to the technological infrastructure utilized to implement SINET3, we discuss the network's structure and architecture in order to gain a better understanding on how it accommodates multiple services on a single platform that offer users upgraded networking capabilities. In addition, suggestions for the potential expansion of services in the future are also provided. Finally, we provide a cost estimation of the network architecture to evaluate the efficiency of services offered.

## Παρουσίαση θέματος.

To Science Information Network 3 (SINET3) είναι η εξέλιξη του SINET και SuperSINET ενός εθνικού επιπέδου ακαδημαϊκού δικτύου κορμού (backbone) που ξεκίνησε τον Απρίλιο του 1992, σχεδιασμένο να προωθήσει την έρευνα και την εκπαίδευση παρέχοντας ένα υψηλής ταχύτητας επικοινωνιακό περιβάλλον σε περισσότερα από 700 πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα στην Ιαπωνία.

To SuperSINET, από τον Ιανουάριο του 2002, παρείχε ένα υψηλής ταχύτητας δικτυακό περιβάλλον σε ακαδημαϊκά ινστιτούτα τα οποία επικεντρώνονταν σε ερευνητικές περιοχές όπως φυσική υψηλής ενέργειας, πυρηνική επιστήμη, διαστημική και αστρονομική επιστήμη (EVN Webmaster, 2010), γονιδιακή ανάλυση, έρευνα νανοτεχνολογίας, επιστήμες προσομοίωσης και υπολογιστών πλέγματος (Next-Generation Supercomputer R&D Center, [n.d.]).

To SINET και το SuperSINET υπηρέτησαν αποδοτικά την Ιαπωνική ακαδημαϊκή υποδομή με τις προσφερόμενες υπηρεσίες δικτύου συμβάλλοντας καθοριστικά στην υλοποίηση επιστημονικής έρευνας στα ανωτέρω γνωστικά αντικείμενα (National Institute of Informatics, [n.d.]a). Προοδευτικά, καθώς οι απαιτήσεις των χρηστών για τις δυνατότητες εξυπηρέτησης του δικτύου γίνονταν μεγαλύτερες και περισσότερο σύνθετες, ο κυκλοφοριακός όγκος αυξάνονταν σταθερά ζητώντας συνδέσεις με σημαντικά αυξημένο εύρος ζώνης. Ωστόσο, για την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων του περιβάλλοντος επικοινωνίας, οι σύγχρονες συσκευές, συνήθως οι Internet Protocol (IP) δρομολογητές, περιορίζουν τις δυνατότητες για την παροχή διαφόρων υπηρεσιών του δικτύου καθώς και την αποδοτικότητα του. Επιπρόσθετα, άλλοι ερευνητές που στόχευαν στην παροχή από άκρη σε άκρη συνδέσεων κυκλωμάτων (end-to-end circuit connections) για υψηλής απόδοσης εφαρμογές βασισμένες σε υβριδικές αρχιτεκτονικές δικτύου, παρείχαν νέες δυνατότητες για την δημιουργία καινοτομιών παγκόσμιας έρευνας και εκπαιδευτικών περιβαλλόντων (Internet2, 2010; Summerhill, 2006; Knightson, 2005; DANTE's Webmaster, [n.d.]). Το National Institute of Informatics (NII) με βάση την παραπάνω ανάλυση περιβάλλοντος προχώρησε στην κατασκευή της επόμενης γενιάς ακαδημαϊκής υποδομής, το SINET3, αναβαθμίζοντας ουσιαστικά τα SINET και SuperSINET (Urushidani, 2009; Urushidani, Abe, et al., 2009; Urushidani, 2007; Urushidani, Abe, Matsukata, et al., 2007; Urushidani, Matsukata, et al., 2007; National Institute of Informatics, [n.d.]).

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη. Στο επόμενο τμήμα παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά του SINET3. Η δομή του δικτύου και η αρχιτεκτονική του αναλύονται στα τμήματα III και IV αντίστοιχα. Στο τμήμα V συζητάμε τις δυνατότητες του SINET3 να φιλοξενεί μεγάλο αριθμό υπηρεσιών. Οι δυνατότητες για Bandwidth on Demand (BoD) υπηρεσίες

περιγράφονται στο τμήμα VI, ενώ στο τμήμα VII αναφέρονται οι δυνητικές υπηρεσίες του SINET3 για τους τελικούς χρήστες. Στο τμήμα VIII παρουσιάζεται μία εκτίμηση κόστους της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Τέλος τα συμπεράσματα προσφέρονται στο τμήμα IX της εργασίας.

## I. Χαρακτηριστικά SINET3

Βασισμένο σε ένα μεγάλο εύρος απαιτήσεων από τους χρήστες, το SINET3 επικεντρώνεται σε τέσσερις κατηγορίες δικτυακών υπηρεσιών: πολυστρωματική μεταφορά, εμπλουτισμένο VPN (Virtual Private Network), ενισχυμένη QoS (Quality of Service) και σύμφωνα με τη ζήτηση υπηρεσίες φυσικού επιπέδου. Επιπλέον από τις IP και Ethernet υπηρεσίες, οι φυσικού επιπέδου υπηρεσίες ή οι από άκρη σε άκρη ιδεατές αποκλειστικές γραμμές, παρέχονται στην ίδια πλατφόρμα. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του SINET3 φαίνονται στον πίνακα 1.

Οι υψηλής προτεραιότητας, βασισμένες στα πακέτα, και οι QoS-guaranteed, βασισμένες στα κυκλώματα, υπηρεσίες παρέχουν ένα ευνοϊκό περιβάλλον για μεταφορά εφαρμογών που είναι ευαίσθητες στην επίδοση, όπως οι υψηλής ευκρίνειας βίντεο-επικοινωνίες για εκπαίδευση και ιατρική και τα ασυμπίεστα υψηλής ευκρίνειας βίντεο. Οι υπηρεσίες που παρέχονται από το SINET3 συνοψίζονται στην εικόνα 1. (Urushidani, Abe, Matsukata, et al., 2007).

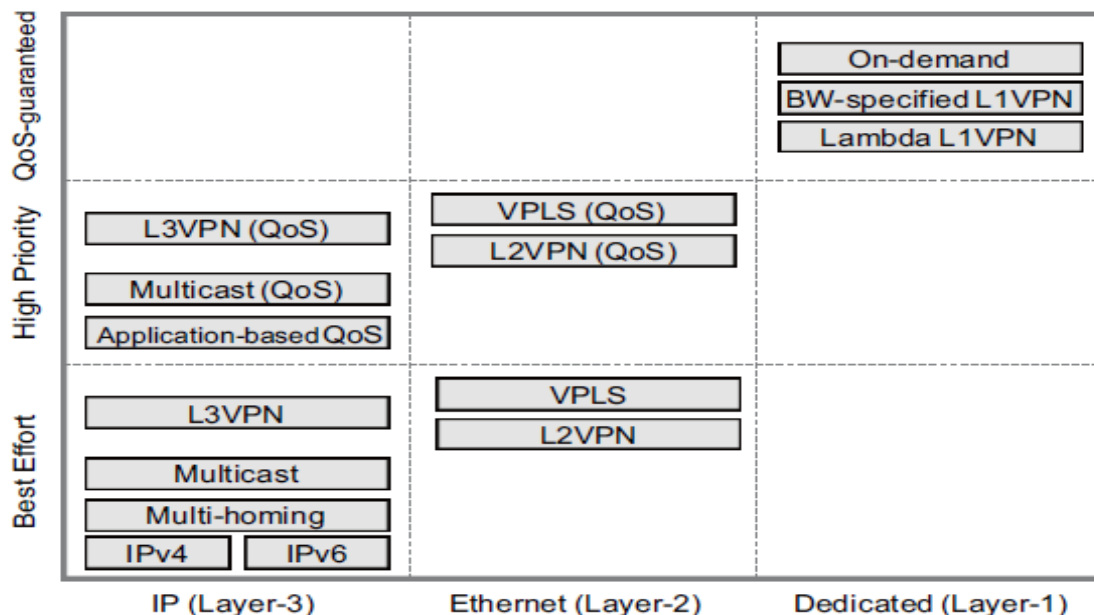
Items	Features	Notes
Network services	Multiple layer	Accommodation of all layers
	Enriched VPN	Strong support of collaborative research
	Enhanced QoS	Strong support of high-performance applications
	Value-added	Provision of performance monitoring data
Network architecture	New architecture	Hybrid optical and IP/MPLS network
	Highly flexible	Flexible resource assignment to layers 1-3
	Highly reliable	High reliability owing to multiple loops
	Large capacity	Maximum of 40 Gbps lines

**Πίνακας 1. Main features of SINET3.** Reprinted from overview of SINET3-Nexgeneration Science Information Network by Urushidani, S., et al., 2007, *Progress in Informatics*, 4, p. 52.

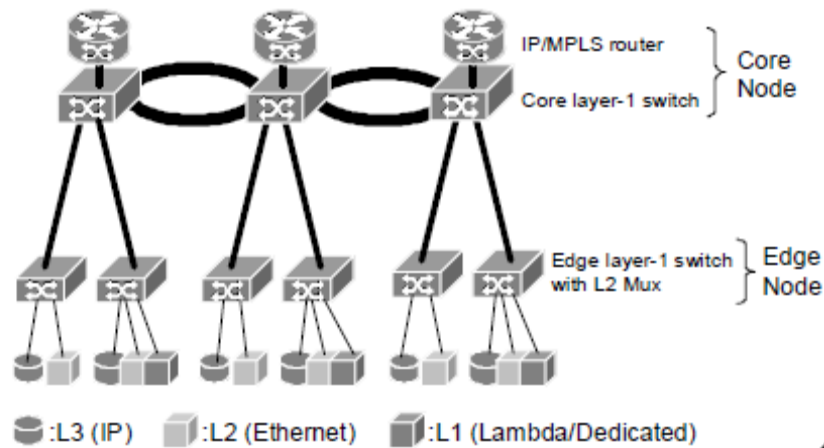
## II. Η δομή του δικτύου

Η δομή του SINET3 στο δίκτυο μεταφοράς είναι δύο επιπέδων και υλοποιείται από ακραίους κόμβους (edge nodes) και κόμβους κορμού (core nodes), όπως φαίνεται στην εικόνα 2-3.

Οι ακραίοι κόμβοι είναι μεταγωγείς επιπέδου-1 με πολυπλεξία επιπέδου-2 και είναι τοποθετημένοι σε πανεπιστήμια και ιδρύματα έρευνας όπου φιλοξενείται ο εξοπλισμός των χρηστών. Οι κόμβοι κορμού αποτελούνται από έναν IP/MPLS (Multi Protocol Label Switching) δρομολογητή και έναν επιπέδου-1 μεταγωγέα κορμού, και είναι τοποθετημένοι σε δημόσια κέντρα δεδομένων. Το δίκτυο έχει 63 ακραίους κόμβους και 12 κόμβους κορμού δηλαδή 75 φυσικού επιπέδου μεταγωγείς και 12 IP/MPLS δρομολογητές. Η ταχύτητα στη γραμμή μεταξύ των ακραίων κόμβων και κορμού είναι της τάξης των 20 Gbps και στη γραμμή του δικτύου κορμού η ταχύτητα μεταξύ των κόμβων κορμού είναι της τάξης των 40 Gbps. Το δίκτυο υλοποιεί την πρώτη STM (Synchronous Transfer Mode)-256 (40 Gbps) γραμμή μεταξύ Tokyo, Nagoya και Osaka. Οι σύνδεσμοι του δικτύου κορμού σχηματίζουν τρεις βρόγχους για να ενδυναμώσουν την ανθεκτικότητα του δικτύου σε εθνικό επίπεδο και να επιτρέψουν γρηγορότερη αποκατάσταση σε περίπτωση που το δίκτυο έχει πρόβλημα. Η τοπολογία του δικτύου κορμού επίσης επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης του δικτύου μοιράζοντας τις συνδέσεις ανάμεσα στους χρήστες για όλες τις υπηρεσίες (Urushidani, Abe, et al., 2009; Urushidani, Ji, et al., 2008; Urushidani & Matsukata, 2008; Urushidani, Abe, Matsukata, et al., 2007; Urushidani, Matsukata, Fukuda, et al., 2007).



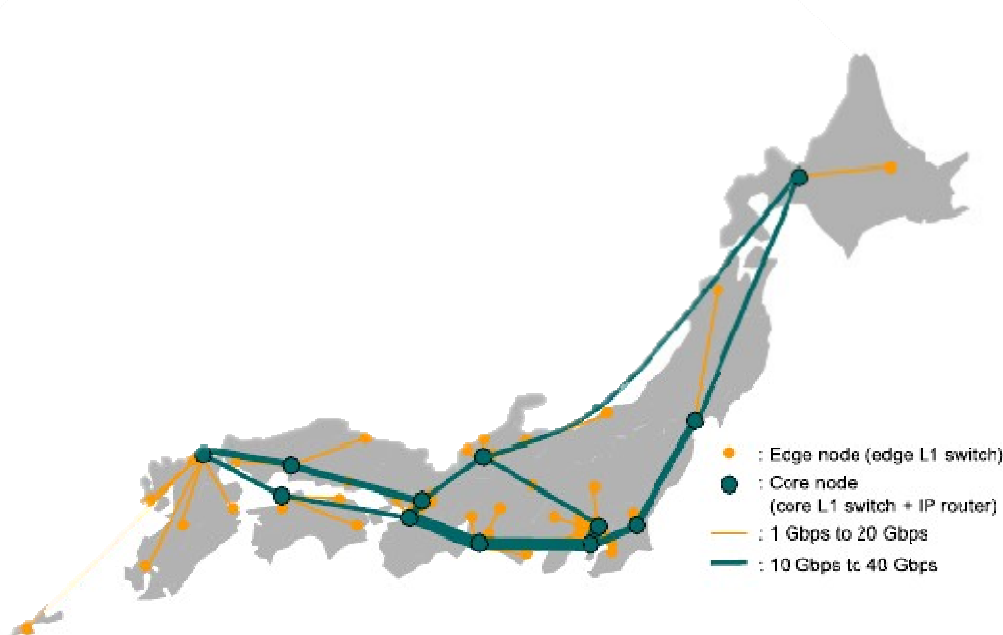
**Εικόνα 1. Scope of network services in SINET3.** Reprinted from overview of SINET3-Nexgeneration Science Information Network by Urushidani, S., et al., 2007, *Progress in Informatics*, 4, p. 53.



**Εικόνα 2. Network structure of SINET3.** Reprinted from Layer-1 Bandwidth on Demand Services in SINET3 by Urushidani, S., et al., 2007, *Global Telecommunications Conference*, p.2287.

### III. Η αρχιτεκτονική του δικτύου

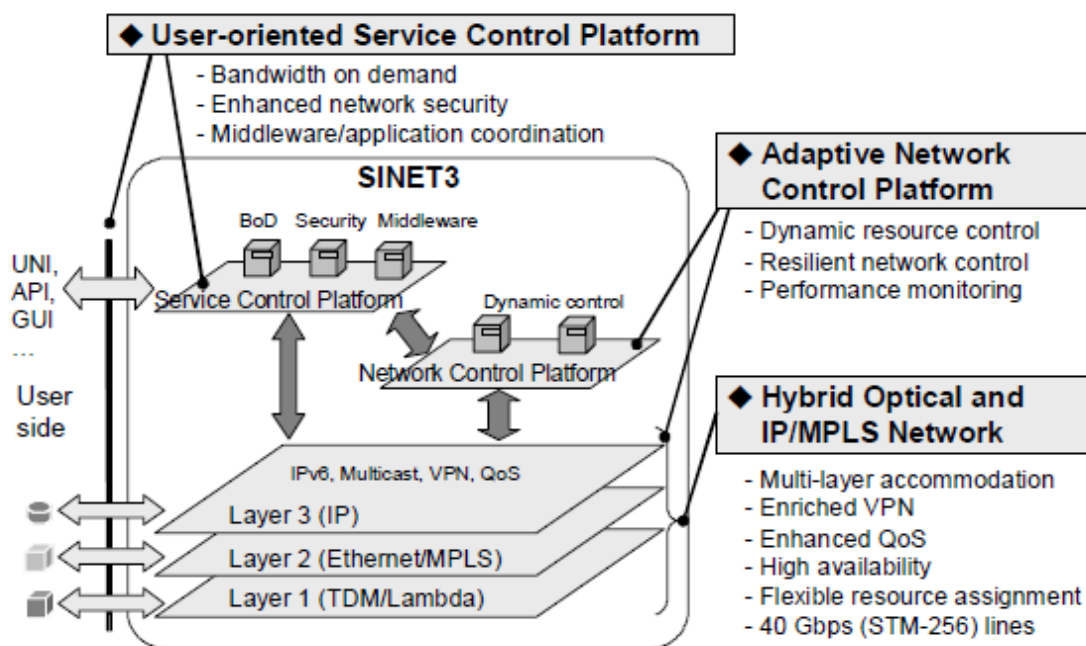
Η αρχιτεκτονική του δικτύου συνίσταται βασικά από i) ένα δίκτυο μεταφοράς, ii) από μία προσαρμοστική πλατφόρμα διαχείρισης δικτύου και iii) μία προσανατολισμένη στον χρήστη πλατφόρμα ελέγχου υπηρεσιών (εικόνα 4). Το δίκτυο μεταφοράς έχει πολλαπλών επιπέδων μεταφορά, εμπλουτισμένο VPN, ενισχυμένη QoS και από άκρη σε άκρη δυνατότητες ανάθεσης



**Εικόνα 3. Network topology of SINET3.** Reprinted from overview of SINET3-Nexgeneration Science Information Network by Urushidani, S., et al., 2007, *Progress in Informatics*, 4, p. 57.

εύρους ζώνης. Ακόμη παρέχει υψηλής διαθεσιμότητας λειτουργίες σε κάθε επίπεδο σε περίπτωση αστοχίας και δυνατότητες να εκχωρεί ευέλικτα τους πόρους του δικτύου σε πολλαπλά επίπεδα. Κάθε υπηρεσία παρέχεται στο αντίστοιχο λογικό δίκτυο εξυπηρέτησης.

Το δίκτυο μεταφοράς είναι ένα υβριδικό οπτικό και IP/MPLS (Xiao, 2000) δίκτυο το οποίο αποτελείται από επιπέδου-1 μεταγωγείς και IP/MPLS δρομολογητές. Διαθέτει ένα μεγάλο εύρος από δυνατότητες παροχής υπηρεσιών όπως φυσικού επιπέδου υπηρεσίες κυκλωμάτων και VPN καθώς και IP υπηρεσίες. Επίσης παρέχει ικανό δικτυακό εύρος ζώνης (40 Gbps maximum) και είναι αξιόπιστο και διαθέσιμο. Έτσι λοιπόν όπως όλες οι υπηρεσίες μπορούν να φιλοξενηθούν στον ίδιο δικτυακό σύνδεσμο (link), το εύρος της σύνδεσης ευέλικτα ανατίθεται σε πολλαπλά επίπεδα, ανάλογα με την ζήτηση για κάθε ένα από αυτά. Για παράδειγμα το εύρος ζώνης για μία σύνδεση επιπέδου-1 μπορεί να ανατεθεί αλλάζοντας το κοινόχρηστο εύρος ζώνης για το επίπεδο-2 και το επίπεδο-3. Για να γίνει η καλύτερη χρήση των πόρων του δικτύου και να ενδυναμωθεί

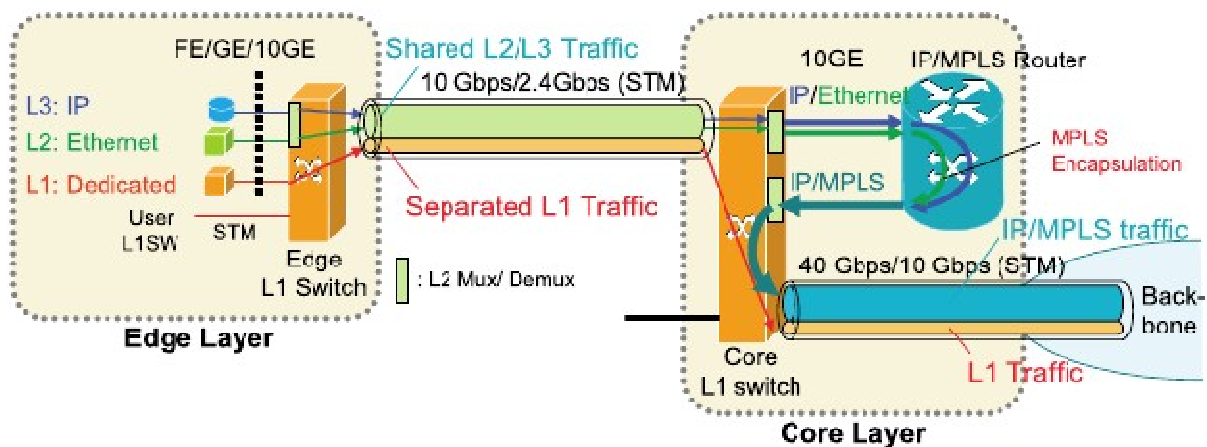


**Εικόνα 4. High level network Architecture of SINET3.** Reprinted from Layer-1 Bandwidth on Demand Services in SINET3 by Urushidani, S., et al., 2007, *Global Telecommunications Conference*, p.2287.

η ανθεκτικότητα του, θα πρέπει το δίκτυο να παρακολουθεί κάθε επίπεδο προσέχοντας τις πληροφορίες για την κίνηση και τις αστοχίες και να βρίσκει την ιδανική ανάθεση των πόρων (Urushidani, Abe, Matsukata, et al. 2007).

Η προσαρμοστική πλατφόρμα διαχείρισης δικτύου επιβλέπει την κατάσταση του δικτύου και δυναμικά αναθέτει τους πόρους του σύμφωνα με τις ανάγκες των υπηρεσιών και τις αστοχίες του δικτύου. Ένας αλγόριθμος υπολογισμού διαδρομής βασισμένος στο PCE (Path Calculation Element) (Gunreben, 2008) είναι τοποθετημένος στην πλατφόρμα και χρησιμοποιείται στη κράτηση των πόρων του δικτύου. Η υπηρεσία της διαδικασίας αποκατάστασης είναι πολύ σημαντική γιατί κάθε επίπεδο έχει τον δικό του μηχανισμό αποκατάστασης και το δίκτυο πρέπει προσεκτικά να επιλέγει τον κατάλληλο συνδυασμό μηχανισμών με βάση τον τύπο της αστοχίας. Οι δικτυακές υπηρεσίες μπορούν να εξελιχθούν με ανοιχτές διεπαφές για χρήστες και εφαρμογές.

Η προσανατολισμένη στον χρήστη πλατφόρμα υπηρεσιών διευκολύνει στο να χρησιμοποιηθούν οι υπηρεσίες του δικτύου και δημιουργεί μία ομαλή συνεργασία μεταξύ των εφαρμογών του χρήστη και του δικτύου. Επίσης διαθέτει δυνατότητες κράτησης των πόρων. Για να μπορέσει να υλοποιηθεί αυτή η πλατφόρμα αρχικά πρέπει να αναπτυχθεί ένας φυσικού επιπέδου, εύρους ζώνης ανάλογα με την ζήτηση (BoD= Bandwidth on Demand) διακομιστή (Urushidani, Ji, et al., 2008; Urushidani & Matsukata, 2008; Urushidani, Abe, Matsukata, et al., 2007; Urushidani, Matsukata, Fukuda, et al., 2007).



**Εικόνα 5. Accomodation of traffic for layer 1,2 and 3.** Reprinted from overview of SINET3- Nexgeneration Science Information Network by Urushidani, S., et al., 2007, *Progress in Informatics*, 4, p. 58.

#### IV. Φιλοξενία (accomodation) πολλαπλών υπηρεσιών.

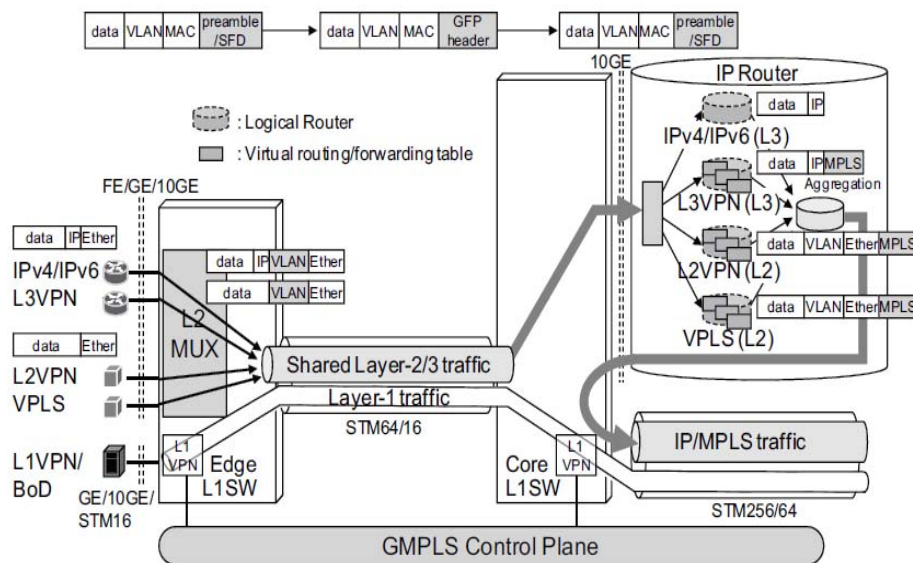
Το SINET3 φιλοξενεί πολυστρωματικές υπηρεσίες συνδυάζοντας αποτελεσματικά τον ακραίο μεταγωγέα επιπέδου-1 με επιπέδου-2 πολυπλεξία, έναν επιπέδου-1 μεταγωγέα και έναν IP/MPLSδρομολογητή όπως φαίνεται στην εικόνα 5. Ο ακραίος επιπέδου-1 μεταγωγέας



πολυπλέκει επιπέδου-3 (IP) και επιπέδου-2 (Ethernet) κίνηση με FE/GE/10GE (Fast Ethernet / Gigabit Ethernet/10 Gigabit Ethernet) διεπαφές χρησιμοποιώντας επιπέδου-2 πολυπλεξία και φιλοξενώντας όλα αυτά σε μία κοινόχρηστη εύρους ζώνη στην κεντρική γραμμή χρησιμοποιώντας μια GFP (Generic Framing Procedure) (Valencia, 2002; Martini, 2006). Στο μεταξύ κάθε επιπέδου-1 γραμμή κίνησης πάνω σε FE/GE/10GE ή STM-16 διεπαφή ανατίθεται σε μία αποκλειστική εύρους ζώνη μεταξύ των μεταγωγέων επιπέδου-1 και είναι εντελώς ξεχωριστή από την υπόλοιπη κυκλοφορία. Ο μεταγωγέας κορμού επιπέδου-1 εγκαθιδρύει μία εσωτερική φυσικού επιπέδου σύνδεση για επιπέδου-1 κίνηση και μεταφέρει την επιπέδου-2/3 (IP/MPLS) κίνηση στον IP/MPLS δρομολογητή. Ο IP/MPLS δρομολογητής προωθεί την επιπέδου-3 κίνηση βασισμένος στις IP επικεφαλίδες και προσθέτει στα L3VPN πακέτα MPLS ετικέτες. Η γραμμή κορμού μεταξύ των κόμβων κορμού φιλοξενεί και την IP/MPLS και την επιπέδου-1 κίνηση χωρίζοντας το εύρος ζώνης τους. Το μοιραζόμενο εύρος ζώνης για επιπέδου-2/3 κίνηση μπορεί ευέλικτα να αλλάξει ανάλογα με την ζήτηση των υπηρεσιών. Για παράδειγμα μία καινούργια επιπέδου-1 σύνδεση μπορεί να αποδοθεί μειώνοντας το διαμοιραζόμενο εύρος ζώνης. Η LCAS (Link Capacity adjustment Scheme) (Bernstein, 2006) λειτουργία πραγματοποιεί αυτή την ευέλικτη αλλαγή χωρίς να χαθούν πακέτα. Στο SINET3 η αλλαγή του εύρους ζώνης γίνεται με VC-4 διαίρεση. Για να προσαρμοστεί η επιπέδου 2/3 (IP/MPLS) κίνηση στο αποδιδόμενο εύρος ζώνης πάνω σε μία 10GE διεπαφή, χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός ελέγχου ροής συμβατός με IEEE802.3x, όπου ο επιπέδου-1 μεταγωγέας πληροφορεί τον IP/MPLS δρομολογητή ότι ο χώρος στη μνήμη (buffer) είναι μικρός χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο παύσης (PAUSE frame) πριν το ο χώρος στη μνήμη ξεχειλίσει.

Τα L3VPN (Martini V., [n.d]) για επίπεδο-3, L2VPN και VPLS (Virtual Private LAN Service) για επίπεδο-2, και L1VPN για επίπεδο-1, χρειάζονται διαφορετικά πρωτόκολλα για την ανταλλαγή VPN πληροφοριών για τα μέλη τους ώστε να πάρουν MPLS /GMPLS (Generalized Multi Protocol Label Switching) πληροφορίες για τις ετικέτες (Εικόνα 6). Επιπλέον, κάθε VPN έχει αρκετά στιγμιότυπα, όπως η εικονική δρομολόγηση και διαβίβαση πληροφοριών για μεμονωμένες κλειστές ομάδες χρηστών. Ως εκ τούτου χωρίζονται λογικά οι φορείς VPN, οι οποίοι ονομάζονται λογικοί δρομολογητές, σε routers IP / MPLS. Μπορούμε επίσης να χωρίσουμε το επίπεδο ελέγχου των VPNs επιπέδου-1 από εκείνο των IP / MPLS δρομολογητών. Στην επιπέδου-2 αιχμής πολυπλεξία, η L3VPN, L2VPN, και VPLS κυκλοφορία, καθώς και η IPv4/IPv6 διπλής στοίβας κυκλοφορία, διαχωρίζονται λογικά η μία από την άλλη με συνημμένες εσωτερικές εικονικού LAN (Virtual LAN) ετικέτες που αντιστοιχούν στη φυσική ή λογική θύρα εισόδου και πολυπλεγμένες σε επίπεδο-2. Στον IP / MPLS δρομολογητή, κάθε πακέτο υπηρεσιών εντοπίζεται από την εσωτερική του VLAN ετικέτα, διανέμεται σε έναν από τους λογικούς δρομολογητές και μεταφέρεται στο γειτονικό IP/MPLS δρομολογητή. Εν τω μεταξύ, το L1VPN χρειάζεται GMPLS (Mannie, 2006; Inoue, 2008) πρωτόκολλα δρομολόγησης και να δημιουργήσει από άκρη σε άκρη

επίπεδου-1 διαδρομές. Τα πρωτόκολλα GMPLS ανταλλάσσονται πάνω από ένα διαχωρισμένου ελέγχου επίπεδο από εκείνο των άλλων VPNs και του IPv4/IPv6 διπλής στοίβας.



**Εικόνα 6. Accomodation of multiple VPNs.** Reprinted from Implementation of QoS Control Capabilities in SINET3 by Urushidani, S., et al., 2008, *4th International Telecommunication Networking Workshop on QoS in Multiservice IP Networks*, p. 42.

Το SINET3 παρέχει δύο τύπους QoS υπηρεσιών: κυκλωμάτων και πακέτων (Πίνακας 2). Οι QoS υπηρεσίες κυκλωμάτων αναθέτουν επίπεδου-1 από άκρη σε άκρη εύρος ζώνης ανάλογα με την ζήτηση από τους χρήστες με μια υποδιαίρεση περίπου 150 Mbps. Το αποτέλεσμα είναι εξαιρετικά μικρή καθυστέρηση πακέτων, καθόλου διακύμανση καθυστέρησης και μηδενική απώλεια πακέτων. Εν τω μεταξύ, οι QoS υπηρεσίες πακέτων χρησιμοποιούν τεσσάρων τύπων ουρές προώθησης: i) expedited forwarding (EF), ii) network control (NC), iii) assured forwarding (AF) and iv) best effort (BE) ουρές κατά φθίνουσα σειρά προτεραιότητας, καθώς και δύο ειδών ποσοστιαία πτώση: χαμηλά (L) και ψηλά (H) (Urushidani, Ji, Matsukata, et al., 2008). Η EF ουρά χρησιμοποιείται για ευαίσθητες στην απόδοση εφαρμογές, όπως VoIP (Voice over IP), που απαιτούν μικρή καθυστέρηση και καθυστέρηση διακύμανσης. Η ουρά NC είναι αφιερωμένη στα πακέτα ελέγχου του δικτύου, όπως το Open Shortest Path First (OSPF), Border Gateway Protocol (BGP), και Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE), και στα πακέτα διαχείρισης του δικτύου, όπως Simple Network Management Protocol (SNMP TRAP και SNMP). Εδώ, τα SNMP πακέτα, τα οποία χρησιμοποιούνται στο SINET3 για την παρακολούθηση των δεδομένων κίνησης πάνω από όλες τις κάρτες γραμμής όλων των κόμβων αιχμής και των κόμβων κορμού σε διαστήματα ενός λεπτού, έχουν υψηλότερη ποσοστιαία πτώση. Η AF ουρά υπάρχει για εφαρμογές

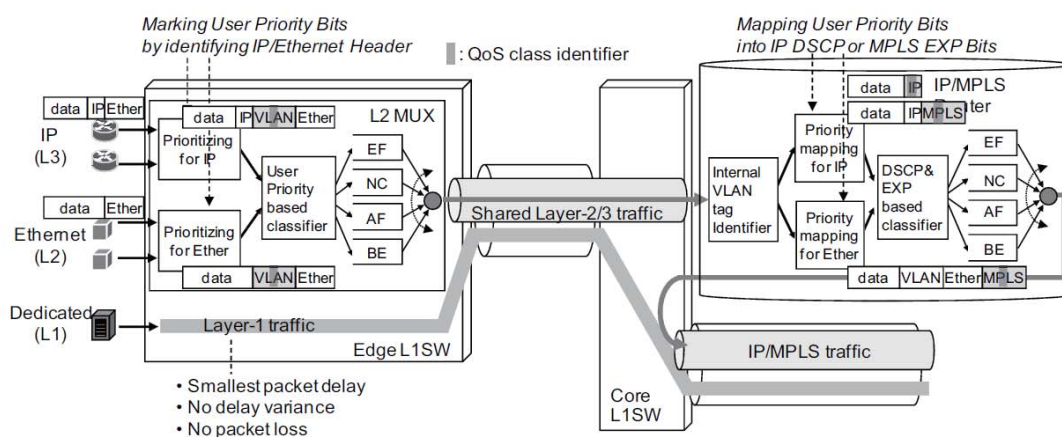
που απαιτούν μικρή καθυστέρηση και χαμηλό ρυθμό απώλειας πακέτων, όπως η υψηλής ευκρίνειας

**QoS CLASSES IN SINET3**

Items \ Class	Circuit-based QoS	Packet-based QoS			
		EF	NC	AF	BE
Packet delay	Extremely small	Very small	Small	Small	Don't care
Packet jitter	0	Very small	Small	Small	Don't care
Packet loss rate	0	Very small	Small	Small	Don't care
Drop precedence	-	-	Low or High	Low or High	Low or High
QoS class identifier	-	User Priority (VLAN), DSCP (IP), EXP (MPLS)			

**Πίνακας 2. QoS Classes in SINET3.** Reprinted from Implementation of QoS Control Capabilities in SINET3 by Urushidani, S., et al., 2008, *4th International Telecommunication Networking Workshop on QoS in Multiservice IP Networks*, p. 43.

βίντεο επικοινωνίες και οι κρίσιμες ομάδες VPN. Η ουρά AF έχει επίσης δύο ποσοστιαίας πτώσης τάξεις. Από προεπιλογή, στην BE ουρά ανατίθενται τα κανονικά πακέτα. Επίσης χρησιμοποιείται υψηλότερη ποσοστιαία πτώση για less-than-best-effort πακέτα για κάθε ενδεχόμενο. Οι γενικές λειτουργίες ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας φαίνονται στην εικόνα 7. Ο επιπέδου-2 ακραίος μεταγωγέας αποδίδει μια εσωτερική ετικέτα VLAN σε κάθε πακέτο IP ή πλαίσιο Ethernet. Η κλάση QoS έχει επισημανθεί στο πεδίο προτεραιότητας του χρήστη (αυτό που λέμε και τάξης της πεδίων υπηρεσίας CoS πεδίο) της εσωτερικής ετικέτας VLAN ανάλογα με το περιεχόμενο των



**Εικόνα 7. Accomodation of multiple QoS.** Reprinted from Implementation of QoS Control Capabilities in SINET3 by Urushidani, S., et al., 2008, *4th International Telecommunication Networking Workshop on QoS in Multiservice IP Networks*, p. 43.

κεφαλίδων IP /Ethernet. Κάθε πακέτο IP ταξινομείται σύμφωνα με τα πεδία στην κεφαλίδα IP, όπως η διεύθυνση πηγής, διεύθυνση προορισμού, πρωτόκολλο ID, DSCP (Differentiated Services Code Point), θύρα προέλευσης και προορισμού. Κάθε πλαίσιο Ethernet κατατάσσεται ανάλογα με τα πεδία κεφαλίδας Ethernet, όπως τη πηγαία MAC διεύθυνση, τον προορισμό MAC διεύθυνσης, τον Ethernet τύπο, VLAN ID, και την προτεραιότητα του χρήστη. Μετά τη σήμανση, το πακέτο/ πλαίσιο τοποθετείται σε μία από τις τέσσερις ουρές προώθησης, σύμφωνα με την CoS τιμή που διαβάζεται από την ουρά και σύμφωνα με ένα καθορισμένο αλγόριθμο προγραμματισμού. Εν τω μεταξύ, ο IP / MPLS δρομολογητής αναγνωρίζει το IP πακέτο ή το πλαίσιο Ethernet κοιτάζοντας το εσωτερικό VLAN ID του. Χαρτογραφεί την CoS αξία στην DSCP αξία της κεφαλίδας IP για ένα IPv4/IPv6 πακέτου ή την EXP αξία της επικεφαλίδας MPLS για ένα πακέτο L3VPN, L2VPN, ή VPLS πακέτο. Κάθε IP/MPLS πακέτο τοποθετείται σε μία από τις ουρές σύμφωνα με την DSCP / EXP αξία και διαβάζεται από την ουρά, σύμφωνα με ένα καθορισμένο μηχανισμό προγραμματισμού παρόμοιο με εκείνο στην αιχμής επιπέδου-2 πολυπλεξία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή (value) της προτεραιότητας του χρήστη ή η DSCP τιμή που χαρακτηρίζεται από τους χρήστες αντικαθιστάται στον ακραίο επιπέδου-2 μεταγωγέα ή στον κορμού IP δρομολογητή.

Για τις QoS υπηρεσίες κυκλωμάτων, έχουμε εύρος ζώνης ανάλογα με την ζήτηση (BoD) δυνατότητες, και το επίπεδο-1 εύρος ζώνης ανατίθεται δυναμικά σύμφωνα με τα αιτήματα των χρηστών. Χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα των άλλων υπηρεσιών, οι BoD δυνατότητες επιτρέπουν στους χρήστες να λαμβάνουν τις καλύτερες QoS ιδιότητες και να εργαστούν σε ένα χωρίς πρωτόκολλα και απολύτως αποκλειστικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, a very long baseline interferometry (e-VLBI) (EVN Webmaster, 2010) project χρησιμοποιεί τώρα αυτό το περιβάλλον για τη μεταφορά τεράστιων ποσών δεδομένων από απομακρυσμένα ραδιοτηλεσκόπια μέσω ATM κυψελίδων σε STM16 διασυνδέσεις. Οι συνολικές δυνατότητες του δικτύου για ανάλογα με την ζήτηση QoS υπηρεσίες βασισμένες στα κυκλώματα φαίνονται στην εικόνα 8.

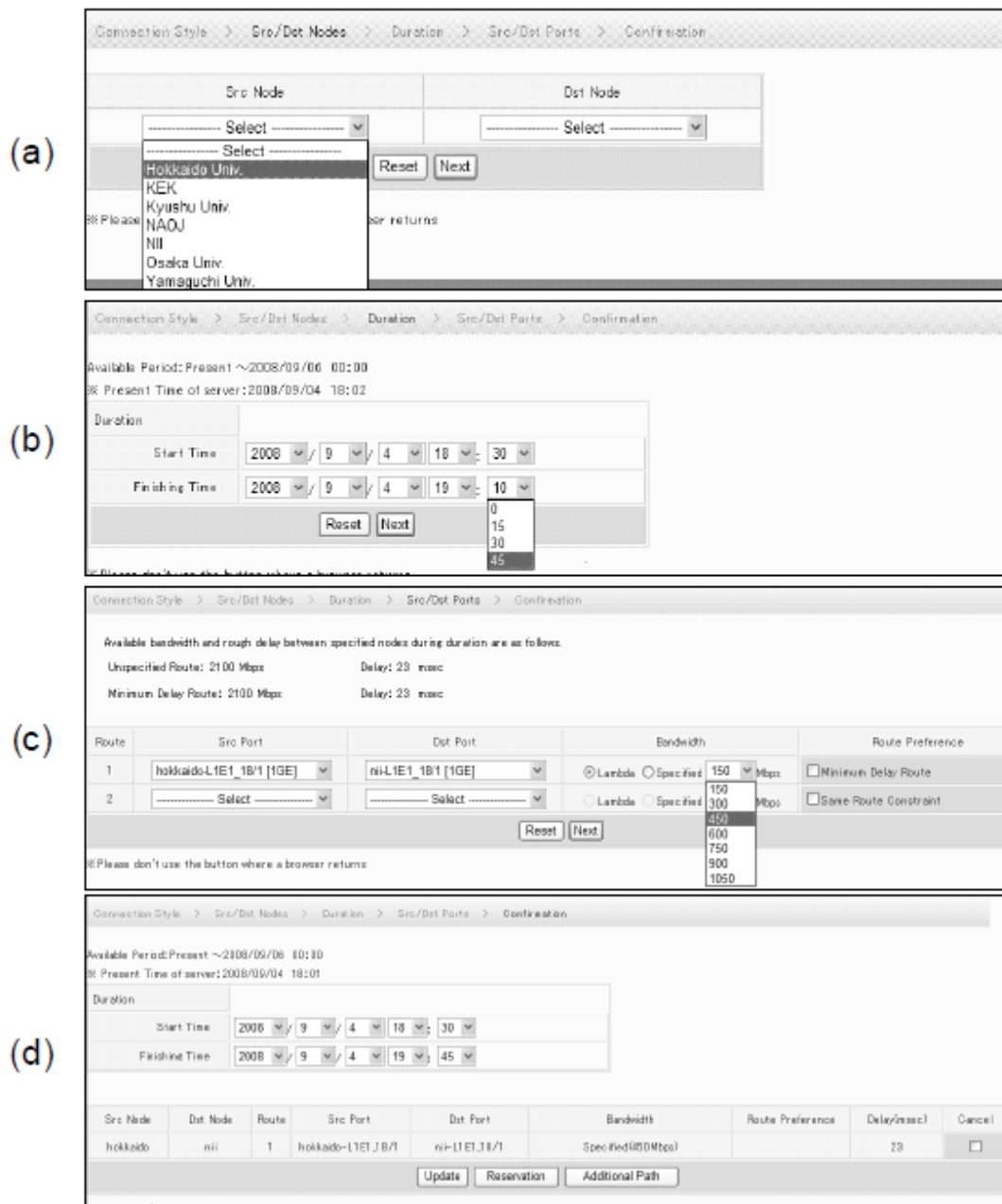
Οι BoD υπηρεσίες στηρίζονται σε έναν BoD διακομιστή να λαμβάνει αιτήσεις κράτησης από τον χρήστη, να προγραμματίζει τις κρατήσεις που έχουν γίνει αποδεκτές, και να ενεργοποιεί την επιπέδου-1 διαδρομή. Επιτρέπει στους χρήστες να καθορίσουν τους προορισμούς, τη διάρκεια, το εύρος ζώνης, και τις επιλογές της διαδρομής. Αυτές οι επιλογές επιτρέπουν στους χρήστες να επιλέξουν μια ευνοϊκή διαδρομή, όπως είναι η ελάχιστης δυνατής καθυστέρησης από άκρη σε άκρη διαδρομή. Ο BoD server λαμβάνει αιτήσεις κρατήσεων από τους χρήστες για την επιπέδου-1 διαδρομή μέσα από μία διαδικτυακό διεπαφή. Για να ελεγχθεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου, ο διακομιστής πρέπει να υπολογίσει τις επιπέδου-1 διαδρομές βασιζόμενος σε περιορισμούς, όπως η ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση από άκρο σε άκρο και να διαχειρίζεται τους υπόλοιπους επιπέδου -1 πόρους.



δικτύου (Εικόνα 8). Το SINET3 παρέχει δύο τύπους BoD υπηρεσιών, i) αυτές που βασίζονται στις κρατήσεις και ii) αυτές που βασίζονται στη σηματοδότηση. Για την πρώτη κατηγορία υπηρεσιών, ο χρήστης έχει πρόσβαση μέσω απλών ιστοσελίδων (Εικόνα 9 Σχήμα 4 (a) - (d)) για να υποβάλλει τις παραμέτρους για τα επιπέδου-1 μονοπάτια. Μετά την επιλογή του τύπου σύνδεσης μεταξύ VPN και Extranet, ο χρήστης επιλέγει τους κόμβους πηγής και προορισμού (Εικόνα 9 Σχήμα 4 (a)) και τη διάρκεια (Σχήμα 4 (b)) από την αναπτυσσόμενη λίστα μενού. Στην επόμενη σελίδα (Εικόνα 9 Σχήμα 4 (c)), ο BoD διακομιστής υπολογίζει και στη συνέχεια εμφανίζει το διαθέσιμο εύρος ζώνης και των κατά προσέγγιση υπολογισμένων καθυστερήσεων μεταξύ συγκεκριμένων κόμβων. Με την αναφορά τους, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τους κόμβους πηγής και προορισμού, το εύρος ζώνης (λάμδα που παρέχει το πλήρες εύρος ζώνης της φυσικής διασύνδεσης ή πολλαπλάσια των 150 Mbps), καθώς και τις προτιμήσεις της διαδρομής, τη διαδρομή με την ελάχιστη καθυστέρηση και τους ίδιους περιορισμούς διαδρομής για να υποβάλει αίτηση για προστατευμένες διαδρομές (Urushidani, Fukuda, Ji, Koibuchi, et. al., 2009). Στην Εικ.9 σχήμα 4 (d) εμφανίζει τη σελίδα για την επιβεβαίωση της κράτησης.

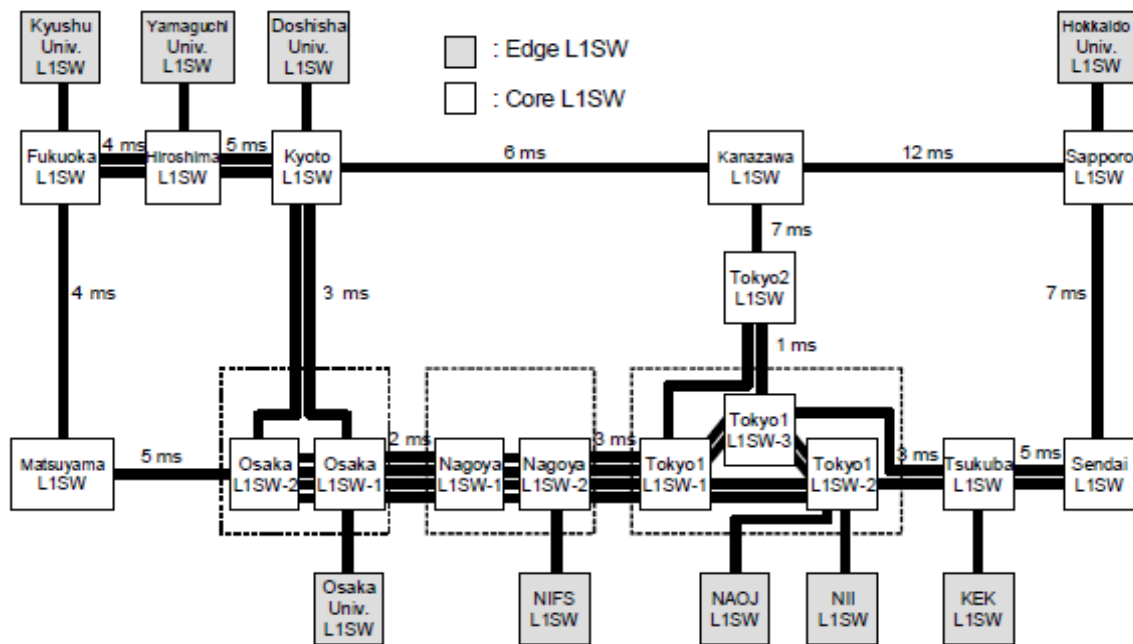
Για την δεύτερη κατηγορία υπηρεσιών, αυτές που βασίζονται στη σηματοδότηση, ο BoD διακομιστής εγκαθιστά προκαταβολικά γειτονικά μονοπάτια προώθησης (Forwarding Adjacency FA) πάνω στα οποία τα GMPLS-UNI μονοπάτια θα πρέπει να εγκατασταθούν. Αφού λοιπόν ένα GMPLS-UNI μονοπάτι εγκατασταθεί ανάμεσα στους ακριανούς επιπέδου-1 μεταγωγείς από την GMPLS-UNI σηματοδότηση του χρήστη, ο BoD διακομιστής λαμβάνει ένα μήνυμα ειδοποίησης από το LI-OPS και ελέγχει αν το μονοπάτι είναι ανάμεσα στα ήδη εγκατεστημένα FA μονοπάτια. Όταν αυτό λοιπόν είναι αληθές τότε ο BoD διακομιστής εγγράφει τις πληροφορίες του μονοπατιού στη βάση δεδομένων του. Όταν συμβαίνει το αντίθετο τότε απελευθερώνει βίαια το GMPLS-UNI μονοπάτι.

Ο υπολογισμός διαδρομής (Path calculation) γίνεται όπως περιγράφεται παρακάτω: Η εικόνα 10 παρουσιάζει τους επιπέδου-1 μεταγωγείς κορμού (16 μεταγωγείς) και επιπέδου-1 μεταγωγείς άκρης (8 από 63 μεταγωγείς) που επί του παρόντος φιλοξενούν τους τρέχοντες BoD χρήστες. Ο BoD διακομιστής υπολογίζει την κατάλληλες διαδρομές ανάλογα με τις προτιμήσεις διαδρομής που λαμβάνει. Ο BoD διακομιστής βρίσκει την διαδρομή με την ελάχιστη καθυστέρηση με τον αλγόριθμο Dijkstra, που χρησιμοποιεί την καθυστέρηση του κάθε συνδέσμου ως μέτρο. Όταν η διαδρομή με την ελάχιστη καθυστέρηση δεν προσδιορίζεται, βρίσκει τη διαδρομή που έχει το μέγιστο διαθέσιμο από άκρη σε άκρη εύρος ζώνης. Η διαδρομή αυτή καθορίζεται από τη χρήση του Edmonds-Karp αλγόριθμου, η οποία χρησιμοποιεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης για τις επιπέδου-1 υπηρεσίες για κάθε σύνδεση ως μέτρο και βρίσκει τη συντομότερη διαδρομή με το μέγιστο διαθέσιμο από άκρη σε άκρη εύρος ζώνης. Ο BoD διακομιστής συγκεντρώνει το απαιτούμενο εύρος ζώνης από τις παράλληλες συνδέσεις μεταξύ των επιπέδου-1 μεταγωγέων για να καταστεί



**Εικόνα 9. Sample reservation screens.** Reprinted from Implementation and Evaluation of Layer-1 Bandwidth-on-Demand Capabilities in SINET3 by Urushidani, S., et al., 2009, *IEEE International Conference on Communications*, p. 3.

δυνατό το εύρος ζώνης που απομένει για τις υπηρεσίες IP / Ethernet του κάθε συνδέσμου ώστε να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ισορροπημένο, μεγιστοποιώντας έτσι την επίδοση της διαβίβασης πακέτων (Urushidani, Fukuda, Ji, Koibuchi, et al., 2009; Urushidani, Matsukata, Fukuda et al., 2007).



**Εικόνα 10. Core switches and edge switches accommodating BoD users.** Reprinted from Implementation and Evaluation of Layer-1 Bandwidth-on-Demand Capabilities in SINET3 by Urushidani, S., et al., 2009, *IEEE International Conference on Communications*, p. 3.

## VI. Επέκταση της BoD

Η επιπέδου-1 εκχώρηση πόρων είναι μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση για την φιλοξενία των εφαρμογών με υψηλές απαιτήσεις δεδομένων που ενδεχομένως να επηρεάζει την υπόλοιπη κυκλοφορία των υπηρεσιών. Οι επιπέδου-1 BoD υπηρεσίες μπορούν επίσης να πάρουν τον πόρο από τις παράλληλες συνδέσεις όσο ισότιμα γίνεται, το οποίο είναι εξαιρετικό με την εξισορρόπηση φορτίου για τα επίπεδα-2/3 της κυκλοφορίας, και μπορεί να πάρει τον πόρο από πολλαπλές διαδρομές. Η χρήση των επιπέδου-1 BoD υπηρεσιών ουσιαστικά θα συνεχίσει να επεκτείνεται. Από την άλλη πλευρά, οι επιπέδου-1 BoD υπηρεσίες είναι λίγο παραπάνω από ότι χρειάζονται οι χρήστες που ενδιαφέρονται για αυτές και χρειάζονται μόνο ένα σχετικά μικρό ποσό του από άκρη σε άκρη εύρος ζώνης. Η ανάλυση των 150 Mbps είναι πολύ μεγάλη για εφαρμογές όπως η μετάδοση ενός συμπιεσμένου βίντεο υψηλής ευκρίνειας που χρειάζεται μόνο ένα εύρος ζώνης περίπου 30 Mbps. Οι χρήστες, επίσης, πρέπει να περιμένουν για την εγκαθίδρυση διαδρομής κάποια λεπτά και πρέπει να προετοιμάσουν χωριστές φυσικές θύρες υπηρεσιών. Υπάρχει λοιπόν μία προσέγγιση των επιπέδου-2 BoD υπηρεσιών που δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες να λαμβάνουν ένα σωστό τμήμα εύρους ζώνης, να δημιουργούν μία υψηλής ποιότητας διαδρομή σε λιγότερο χρόνο, και να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες κατά τη διάρκεια της χρήσης των θυρών,



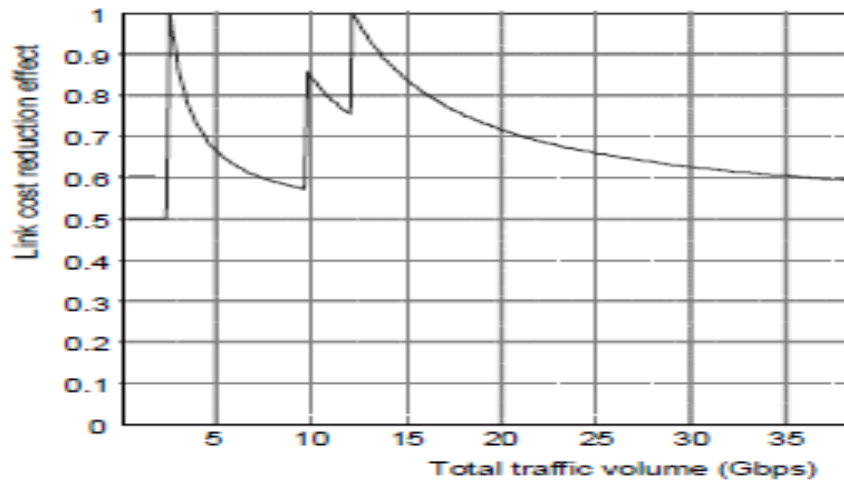
καθώς και αχρησιμοποίητες θύρες, παρόλο που αυτές οι υπηρεσίες δεν παρέχουν πλήρη ποιότητα σε σχέση με την επιπέδου-1 ποιότητα υπηρεσιών. Οι επιπέδου-2 BoD υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται σε θύρες που ήδη χρησιμοποιούνται με τη χρήση VLAN που έχουν ετικέτες και QoS δυνατότητες ελέγχου. Τα ποσοστά χρήσης των θυρών των χρηστών που συνδέονται με το SINET3 είναι συνήθως υψηλά, ιδιαίτερα στην κατεύθυνση από το SINET3 προς τους χρήστες (δηλαδή δίκτυα πανεπιστημιούπολης), διότι ο όγκος της κυκλοφορίας λήψης (download) συμπεριλαμβανομένης και αυτής από το Internet είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από εκείνης του ανεβάσματος (upload) κυκλοφορίας. Οι QoS λειτουργίες ελέγχου στις θύρες εξόδου των κόμβων του SINET3 είναι επομένως πολύ αποτελεσματικές για επιπέδου-2 BoD υπηρεσίες (Urushidani, Aoki, Nakamura et al., 2010; Hiroyasu, et al., 2009; Shimizu, Urushidani, Hayashi, Inoue, Shiimoto, Fukuda, et al., 2009; Shimizu, Urushidani, Hayashi, Inoue, Shiimoto, Abe, et al., 2008).

## VII. Αξιολόγηση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού

Για την κατασκευή του δικτύου, πρέπει να μισθωθούν γραμμές από τηλεπικοινωνιακούς φορείς. Το κόστος των μισθωμένων γραμμών, το οποίο πρέπει να καταβάλεται κάθε χρόνο, έχει μεγάλη επίπτωση στο συνολικό κόστος του δικτύου. Ως εκ τούτου, θα αξιολογηθεί πώς η αρχιτεκτονική του SINET3 θα μπορούσε αποδοτικά να χρησιμοποιεί τις πολύτιμες μισθωμένες γραμμές σε σύγκριση με άλλες αρχιτεκτονικές που έχουν ξεχωριστές γραμμές για υπηρεσίες κυκλωμάτων και πακέτων. Η τιμή των μισθωμένων γραμμών στην Ιαπωνία διπλασιάζεται, όταν η ταχύτητα της γραμμής τετραπλασιάζεται. Για παράδειγμα, η τιμή της γραμμής 600-Mbps είναι διπλάσια από εκείνη της γραμμής 150-Mbps, έτσι χρησιμοποιείται μια γραμμή 600-Mbps και όχι δύο 150-Mbps γραμμές, για όγκο κυκλοφορίας 300 Mbps. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί και για τα 2,4 Gbps έναντι των 600 Mbps, και των 9.6 Gbps έναντι 2.4 Gbps. Θεωρούμε την ίδια τάση για μία 38,4 Gbps γραμμή σε σχέση με μια γραμμή 9,6 Gbps.

Υπολογίστηκε ο δείκτης κόστους, της αρχιτεκτονικής του SINET3 έναντι των άλλων για την αύξηση της μικτής συνολικής κυκλοφορίας (T) με ανάλυση των 150 Mbps. Η εικόνα 11 δείχνει το R για την ελάχιστη ταχύτητα της γραμμής των 2.4 Gbps. Το γράφημα έχει κορυφές στο  $T = 2.55, 9.75,$  και  $12.15$  Gbps και πέφτει γρήγορα χαμηλότερα μεταξύ των κορυφών. Αυτό συμβαίνει επειδή οι επεκτάσεις της φυσικής γραμμής για την συγκεκριμένη αρχιτεκτονική εμφανίζονται σε αυτά τα σημεία. Αν και το R φτάνει το ένα στο  $T = 2.55$  Gbps, το συνολικό εύρος ζώνης για τους άλλους είναι μόνο  $2 \times 2.4$  Gbps, ενώ για μας είναι 9.6 Gbps. Για  $T = 12.15$  Gbps, το συνολικό εύρος ζώνης για τους άλλους είναι μόνο  $2 \times 9.6$  Gbps (ή  $12 (= 9.6+2.4)$  Gbps +2.4 Gbps), ενώ για μας είναι 38.4 Gbps. Ως εκ τούτου, η αρχιτεκτονική του SINET3, μειώνει αποτελεσματικά το

κόστος σύνδεσης, προσφέροντας παράλληλα τη μέγιστη δυνατότητα για την αξιοποίηση του δικτύου (Urushidani, Matsukata, Fukuda et al., 2007).



**Εικόνα 11. Link cost reduction effect.** Reprinted from Layer-1 Bandwidth on Demand Services in SINET3 by Urushidani, S., et al., 2007, *Global Telecommunications Conference*, p.2289.

### VIII. Συμπεράσματα

Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και επιστημονικών ινστιτούτων σε δικτυακή υποδομή, οδήγησε αρχικά στη δημιουργία του SINET το οποίο εξελίχθηκε αργότερα σε SINET3 όπως είναι γνωστό σήμερα. Χρησιμοποιώντας την σύγχρονη δικτυακή τεχνολογία και τα εργαλεία της, το National Institute of Informatics υλοποίησε μία σύγχρονη δικτυακή υποδομή βασισμένη πάνω στο δίκτυο κορμού της Ιαπωνίας. Για να μπορέσει να γίνει αυτό πραγματικότητα συνδυάστηκαν εξελεγχμένες δικτυακές δυνατότητες όπως λογικοί δρομολογητές, GFP, VCAT, LCAS, MPLS και GMPLS τεχνολογίες. Τα βασικά οφέλη από την υλοποίηση του δικτύου SINET3 αφορούν: (1) στη μείωση του κόστους χρήσης των μισθωμένων γραμμών και (2) στη δυνατότητα που παρέχει για ευκολότερη και ταχύτερη σύνδεση μεταξύ των χρηστών με τον τρόπο που εκείνοι επιλέγουν (IP, Ethernet, dedicated lines).

Επιπλέον από τις πολυστρωματικές υπηρεσίες μεταφοράς που συνδυάζονται σε μία πλατφόρμα, προσφέρονται από το SINET3 αναβαθμισμένες υπηρεσίες Ιδιωτικών Ιδεατών Δικτύων L3VPN, L2VPN, VPLS και L1VPN παράλληλα με βασισμένες σε πακέτα και βασισμένες σε κυκλώματα QoS υπηρεσίες. Οι επιστήμονες και οι εκπαιδευτικοί κάνουν χρήση των υπηρεσιών του δικτύου με τους φυλλομετρητές τους (web browsers) μέσω ενός BoD διακομιστή στον οποίο στηρίζονται οι επιπέδου-1 BoD υπηρεσίες, όπως εξηγείται αναλυτικά στο τμήμα V. Το δίκτυο

χρησιμοποιεί υψηλής τεχνολογίας IP δρομολογητές και επιπέδου-1 μεταγωγείς σε συνδυασμό με τον BoD διακομιστή, για να παρέχει αυτές τις υπηρεσίες. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα για το πως το SINET3 βοήθησε την Ιαπωνική εκπαιδευτική και επιστημονική κοινότητα σε διάφορες περιπτώσεις, τα οποία περιγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του SINET3 (National Institute of Informatics, [n.d.]b).

Αδιαμφισβήτητα, οι ανάγκες των χρηστών του δικτύου προοδευτικά θα αυξάνονται και σαν αποτέλεσμα αυτού, η διερεύνηση της βελτίωσης των προσφερομένων υπηρεσιών του δικτύου, όπως η κατ' απαίτηση ζήτηση εύρους ζώνης (BoD), θα συνεχίζεται και με βάση την υπάρχουσα υποδομή, καινούργιες δυνατότητες θα προσφερθούν στους χρήστες μελλοντικά.

**Βιβλιογραφικές αναφορές.**

- Bernstein, G., Caviglia, D., Rabbat, R. & Van Helvoort, H. (2006). VCAT/LCAS in a clamshell. *IEEE Communications Magazine*. 44, 34-36.
- DANTE's Webmaster, ([n.d.]). *Design and Migration for GÉANT2*. Retrieved 30 November, 2010, from <http://www.geant2.net/server/show/nav.741>
- Du, P., Abe, S., Ji, Y., Sato, S. & Ishiguro, M., (2008, May 19-23). Detecting and tracing traffic volume anomalies in SINET3 backbone network. *International Conference on Communications*, Beijing, Japan, 5833-5837.
- EVN Webmaster, (2010, April 1). *The European VLBI Network*. Retrieved 30 November, 2010, from <http://www.evlbi.org/>.
- Gunreben, S & Rambach, F., (2008, March 12-14). Assessment and performance evaluation of PCE-based interlayer traffic engineering. *International Conference on Optical Network Design and Modelin*, Vilanova i la Geltru, 1-6.
- Hiroyasu, T., Kawasaki, K., Koibuchi, M., Urushidani, S., Miki, M. & Yoshimi, M. (2009). Efficient scheduling algorithms on bandwidth reservation service of internet using metaheuristics. *Ninth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*. 683-688.
- Inoue, I., Shimizu, K., Shimazaki, D., Kojima, H., Shiimoto, K., Urushidani, S., (2008, September 21-25). GMPLS based multi layer service network architecture for advanced IP over optical network services in Japan. *34th European Conference on Optical Communication*. 1-2.
- Internet2, (2010). *Internet2 Network*. Retrieved 30 November, 2010, from <http://www.internet2.edu/network/>.
- Knightson, K., Morita, N. & Towle, T. (2005). NGN architecture: generic principles, functional architecture, and implementation. *IEEE Communications Magazine*. 43, 49-56.
- Mannie, E & Papadimitriou D. (2006). Recovery (protection and restoration) terminology for generalized multi-protocol label switching. *RFC4427*.
- Martini, V., ([n.d.]). Layer3 virtual private network (L3VPN). Retrieved 30 November, 2010, from [http://www.ist-nobel.org/Nobel2/imatges/L3VPN\\_Training\\_course.pdf](http://www.ist-nobel.org/Nobel2/imatges/L3VPN_Training_course.pdf)
- Martini, L., Rosen, E., El-Aawar, N. & Heron, G., (2006). Encapsulation methods for transport of ethernet over MPLS networks. *RFC4448*.
- National Institute of Informatics, ([n.d.]a). *SINET3 History*. Retrieved 30 November, 2010, from <http://www.sinet.ad.jp/what-is-the-science-information-network-sinet>

- National Institute of Informatics, ([n.d.]b). *Case Examples using SINET3*. Retrieved 30 November, 2010, from <http://www.sinet.ad.jp/case-examples>
- Next-Generation Supercomputer R&D Center, ([n.d.]). *Setting up the network environment*. Retrieved 30 November, 2010, from <http://www.nsc.riken.jp/pamphlet2009/p11-eng.html>.
- Shimizu, K., Urushidani, S., Hayashi, R., Inoue, I., Shiimoto, K., Abe, S., et al. (2008). Evaluation of traffic engineering technique for layer-1 bandwidth on demand service. *34th European Conference on Optical Communication*, Brussels, Belgium, 1-2.
- Shimizu, K., Urushidani, S., Hayashi, R., Inoue, I., Shiimoto, K., Fukuda, K., et al. (2009, September 20-24). Evaluation of recovery methods for layer-1 bandwidth on demand service. *35th European Conference on Optical Communication*, Vienna, Austria, 1-2.
- Summerhill, R. (2006, September 11). The new internet2 network. *GLIF Meeting, Tokyo, Japan*.
- Urushidani, S. (2009, October 14). Dynamic layer-1 resource allocation in SINET3. *2<sup>nd</sup> Japan EU Symposium on the NWGN and FI*, Tokyo, Japan.
- Urushidani, S. (2007, August 26). SINET3: Japanese academic backbone network for multi-layer network services. *National Institute of Informatics (NII)*.
- Urushidani, S., Abe, S., Ji, Y., Fukuda, K., Koibuchi, M., Nakamura, M., et al. (2009). Design of versatile academic infrastructure for multilayer network services. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 27, (3), 253-267.
- Urushidani, S., Abe, S., Matsukata, J., Ji, Y., Fukuda, K., Koibuchi, M., et al. (2007). Overview of SINET3-next-generation science information network. *Progress in Informatics*. 4, 51-61.
- Urushidani, S., Aoki, M., Nakamura, M., Koibuchi, M., Fukuda, K., Ji, Y., et al. (2010, April, 19-23). Expansion of bandwidth-on-demand capabilities in Japanese academic backbone network. *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium Workshops*, Osaka, Japan, 169-172.
- Urushidani, S., Fukuda, K., Ji, Y., Abe, S., Koibuchi, M., Nakamura, M., et al. (2008, April 11). Resource allocation and provision for bandwidth/networks on demand in SINET3. *IEEE BoD 2008 Workshop*, Salvador Da Bahia, Brazil.
- Urushidani, S., Fukuda, K., Ji, Y., Koibuchi, M., Abe, S., Nakamura, M., et al. (2009, June 14-18). Implementation and evaluation of layer-1 bandwidth-on-demand capabilities in SINET3. *IEEE International Conference on Communications*, Dresden, Germany, 1-6.
- Urushidani, S., Ji, Y., Matsukata, J., Fukuda, K., Abe, S., Koibuchi, M., et al. (2008, February 13-18). Implementation of QoS control capabilities in SINET3. *4th International Telecommunication Networking Workshop on QoS in Multiservice IP Networks*, Venice, Italy, 40-45.

- Urushidani, S. & Matsukata, J. (2008). Next-generation science information network for leading-edge applications. *Fusion Engineering and Design*. 83, 498-503.
- Urushidani, S., Matsukata, J., Fukuda, K., Abe, S., Ji, Y., Koibuchi, M., et al. (2007, November 26-30). Layer-1 bandwidth on demand services in SINET3. *Global Telecommunications Conference*, Washington, DC, 2286-2291.
- Valencia, E., Scholten, M. & Zhu, Z., (2002, May). The generic framing procedure (GFP): an overview. *IEEE Communications Magazine*. 40, 63-71.
- Xiao, X., Hannan, A., Bailey, B., & Ni, L., (2000, April). Traffic engineering with MPLS in the internet. *IEEE Network*. 14, 28-33.
- 