



**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

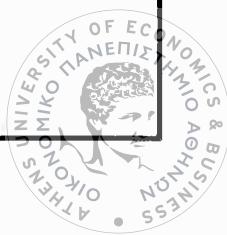
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Τεχνολογίες, Υπηρεσίες και Οικονομικά Μοντέλα στο
Next Generation Network»**

Κοκκινάκης Χρήστος

M3050008

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2007



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΕΧΝΗΤΙΚΟ ΑΧΘΗΝΩΝ

ΚΑΤΑΔΟΣΖ



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

81381

**«Τεχνολογίες, Υπηρεσίες και Οικονομικά Μοντέλα στο
Next Generation Network»**

Κοκκινάκης Χρήστος

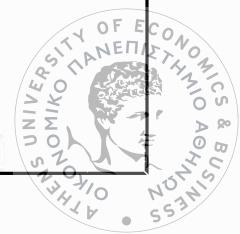
M3050008

Επιβλέπων Καθηγητής: Κώστας Κουρκουμπέτης

Εξωτερικός Κριτής: Γεώργιος Σταμούλης

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2007





Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του Next Generation Network, δηλαδή του δίκτυου που θα προκύψει από την αντικατάσταση του σημερινού PSTN. Πιο συγκεκριμένα εξετάζονται κάποιες τεχνολογίες του εν λόγω δίκτυου, υπηρεσίες που μπορούν να προσφερθούν πάνω από αυτό, με έμφαση στις υπηρεσίες Grid, καθώς και κάποια μοντέλα που προσεγγίζουν το πρόβλημα της ταυτόχρονης επιλογής υπολογιστικών και δικτυακών πόρων για την παροχή των Grid υπηρεσιών πάνω από το NGN.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** ορίζεται το NGN, το οποίο είναι ένα All-IP δίκτυο το οποίο όμως παρέχει διασύνδεση μέσω ανοικτών διεπαφών και standards σε όλα τα επιμέρους υπάρχοντα αλλά και μελλοντικά δίκτυα. Η κύρια καινοτομία του είναι η αποσύνδεση των υπηρεσιών από το μέσο μεταφοράς, επιτρέποντας έτσι την παροχή μιας υπηρεσίας πάνω από διαφορετικά και ετερογενή δίκτυα. Μπορεί να παρέχει QoS στις προσφερόμενες υπηρεσίες ενώ υποστηρίζει εγγενώς την έννοια του mobility, δηλαδή της δυνατότητας του χρήστη να λαμβάνει μια υπηρεσία ενώ μεταφέρεται ανάμεσα σε δίκτυα διαφορετικής τεχνολογίας και διαφορετικών παρόχων. Η τάσεις της αγοράς που καθιστούν αναγκαίο ένα δίκτυο με τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι η διάδοση της ευρυζωνικής πρόσβασης στο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, η ραγδαία ανάπτυξη της κινητής τηλεφωνίας και η σύγκλιση των υπηρεσιών τηλεφωνίας, δεδομένων και ψηφιακής ψυχαγωγίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** εξετάζεται η τεχνολογία των Softswitches, τα οποία αποτελούν το ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στο σημερινό δίκτυο και το NGN. Παρέχουν δηλαδή μια διασύνδεση προς το νέο δίκτυο επιτρέποντας την ταυτόχρονη διαχείριση τόσο των παραδοσιακών όσο και των νέων IP υπηρεσιών. Περιγράφεται η αρχιτεκτονική ενός Softswitch που επιχειρεί να εισάγει τον διαχωρισμό του επιπέδου υπηρεσίας και σηματοδοσίας από το επίπεδο μεταφοράς, καταργώντας έτσι τις περιοριστικές κάθετες αρχιτεκτονικές του παρελθόντος και μεταβαίνοντας σε πιο οριζόντιες λύσεις. Επίσης η αρχιτεκτονική του Softswitch βασίζεται σε επαναχρησιμοποιούμενα components, ένα υποσύνολο των οποίων συνθέτει κάθε φορά μια υπηρεσία. Τα οφέλη από την υιοθέτηση αυτής της λύσης είναι η μείωση του



κόστους της υπηρεσίας λόγω της χρήσης IP τεχνολογίας, ο μικρότερος χρόνος ανάπτυξης μιας υπηρεσίας καθώς πολλά components και υπο-υπηρεσίες επαναχρησιμοποιούνται και δεν χρειάζεται να δημιουργηθούν από την αρχή, η διαφάνεια στο χρήστη ο οποίος δεν χρειάζεται να χάσει κάποιες από τις παλιές υπηρεσίες του και τέλος η συμβατότητα με το IMS που πιθανά θα είναι το επόμενο βήμα για τον εκσυγχρονισμό του δίκτυου.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** μελετάται η αρχιτεκτονική του IP Multimedia Subsystem, που αποτελεί μια προτυποποιημένη αρχιτεκτονική δίκτυου που εισάγει τα βασικά χαρακτηριστικά του NGN και αναμένεται να μονοπωλήσει το ενδιαφέρον των μεγάλων τηλεπικοινωνιακών οργανισμών τα επόμενα χρόνια. Όπως και με τα Softswitches, το δίκτυο χωρίζεται σε τρία ανεξάρτητα επίπεδα, αυτή τη φορά όμως πιο αυστηρά καθορισμένα:

- Επίπεδο Εφαρμογής ή Υπηρεσίας (Service or Application Plane)
- Επίπεδο Μεταφοράς ή Χρήστη (Transport or User Plane)
- Επίπεδο Σηματοδοσίας ή Ελέγχου (Signaling or Control Plane)

Κάθε επίπεδο αποτελείται από μια σειρά συγκεκριμένων components τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω προκαθορισμένων διεπαφών. Έτσι η παροχή υπηρεσιών μετατρέπεται σε μια συλλογή από components τα οποία διαπραγματεύονται σε μια αγορά και κάθε πάροχος είναι ελεύθερος να αποφασίσει αν θα αναπτύξει το δικό του υποσύστημα ή αν θα βασιστεί σε κάτι έτοιμο που υπάρχει ήδη. Ένα άλλο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης λύσης είναι η ενοποίηση των υπηρεσιών και η προσφορά τους πάνω από ετερογενή δίκτυα ώστε να καλύπτει ένα μεγάλο εύρος αναγκών των χρηστών. Τέλος η σύγκλιση υπηρεσιών και δίκτυων δημιουργεί μια ευελιξία που οδηγεί σε νέες υπηρεσίες με πολλαπλάσιες δυνατότητες καθώς και οικονομίες κλίμακας που κάνουν την προσφορά νέων υπηρεσιών ακόμα πιο προσιτή στους χρήστες.

Παρά τις παραπάνω θετικές αλλαγές που εισάγει το IMS, υπάρχουν μια σειρά από εμπόδια που πρέπει να ξεπεράσει: το κυριότερο είναι το κόστος ανάπτυξης που είναι αρκετά υψηλό καθώς προϋποθέτει μεγάλη αναδιαμόρφωση του υπάρχοντος δίκτυου με υψηλό μάλιστα ρίσκο. Το ρίσκο αυτό προέρχεται από το ισχυρό “network effect” των νέων υπηρεσιών, δηλαδή του γεγονότος ότι οι νέες υπηρεσίες δημιουργούν μεγαλύτερη αξία στο χρήστη αν υποστηρίζονται από όσο το δυνατόν περισσότερους παρόχους. Επίσης, η ανάγκη υποστήριξης των αυξημένων χαρακτηριστικών των νέων υπηρεσιών από τις συσκευές των χρηστών με την αντίστοιχη ανάγκη αποδοχής από

αυτούς αποτελεί ένα τρίτο εμπόδιο. Σε κάθε περίπτωση, το IMS φαίνεται ότι αποτελεί μια αρχιτεκτονική που θα χρησιμοποιηθεί στο μέλλον και κάθε οργανισμός θα πρέπει να επιλέξει αν και πως θα εισάγει την λύση αυτή στο επιχειρηματικό του μοντέλο. Στις τελευταίες παραγράφους αναλύονται τα πιθανά σενάρια καθώς και οι προοπτικές του IMS για κάθε σενάριο.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης (case study) του προγράμματος 21CN της British Telecom για το μετασχηματισμό του εθνικού και διεθνούς δικτύου της προς το NGN. Αναλύεται η αρχιτεκτονική που έχει επιλέξει η BT καθώς και τα οικονομικά στοιχεία του προγράμματος που δείχνουν ότι ο μετασχηματισμός αυτός μεταφράζεται σε απτά οικονομικά οφέλη.

Το δεύτερο τμήμα του κεφαλαίου ασχολείται με θέματα ρυθμιστικής πολιτικής σε σχέση με το NGN που μελετώνται για την περίπτωση της BT αλλά έχουν εφαρμογή και σε όλους τους οργανισμούς που πρέπει να κάνουν μια τέτοιας έκτασης μετατροπή του δικτύου και των επιχειρηματικών μοντέλων τους και ταυτόχρονα να συνεχίσουν να λειτουργούν σε ένα αυστηρά ρυθμιζόμενο ανταγωνιστικό περιβάλλον. Τα κύρια θέματα είναι α) το που θα γίνεται η διασύνδεση των δικτύων διαφορετικών παρόχων μεταξύ τους δεδομένου ότι το NGN δίκτυο είναι απλούστερο και άρα παρέχει λιγότερα σημεία διασύνδεσης, β) το κόστος διασύνδεσης το οποίο στο NGN δεν θα είναι τόσο εύκολο να καθοριστεί και να ελεγχθεί όπως στα παραδοσιακά δίκτυα, γ) το νέο μοντέλο χρέωσης υπηρεσιών που θα πρέπει να είναι πιο ευέλικτο και να ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά του νέου δικτύου και τέλος δ) η προσφορά των νέων υπηρεσιών σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο κομμάτι του πληθυσμού (universal service offering).

Το **πέμπτο κεφάλαιο** εξετάζει το Grid σαν υπηρεσία που μπορεί να προσφερθεί πάνω από το NGN. Αναλύονται τα κοινά χαρακτηριστικά των δύο, όπως η κοινή μετάβασή τους στο μοντέλο της προσφοράς υπηρεσιών, η ετερογένεια στις δυνατότητες και την κατανομή των πόρων που αποτελούν τις υπηρεσίες και το abstraction που πρέπει να παρέχεται στην πληροφόρηση του χρήστη, δηλαδή η προσφορά υπηρεσιών ανεξάρτητα από την υφιστάμενη τεχνολογία. Επίσης μελετώνται οι προϋποθέσεις για την ανάπτυξη Grid υπηρεσιών σε ευρεία κλίμακα πάνω από το NGN και τα εμπόδια που προκύπτουν.

Στο δεύτερο κομμάτι του κεφαλαίου παρατίθενται τεχνολογίες του NGN που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς όφελος των υπηρεσιών Grid όπως το SIP, το IMS, μηχανισμοί παροχής QoS και Web-services και το πώς αυτές μετασχηματίζουν το

Grid σε Service Grid. Στο τέλος παρουσιάζονται δύο σενάρια Grid υπηρεσίας που θα μπορούσαν να προσφερθούν πάνω από το NGN σε συνδρομητικούς χρήστες.

Το **έκτο κεφάλαιο** μελετάει το πρόβλημα της δέσμευσης δικτυακών πόρων (bandwidth) σε όλη του την έκταση. Παρουσιάζονται οι Bandwidth Brokers που αναλαμβάνουν την διαδικασία συντονισμού των εμπλεκόμενων domains και των μηχανισμών εντός αυτών. Πιο συγκεκριμένα μελετώνται δύο αρχιτεκτονικές για την διαπραγμάτευση SLAs, δηλαδή ηλεκτρονικών συμφωνιών που πρέπει να προϋπάρχουν οποιουδήποτε μηχανισμού δέσμευσης bandwidth. Η πρώτη αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο COPS-SLS, ενώ η δεύτερη ένα μηχανισμό Web-services. Έπειτα μια αρχιτεκτονική για την δέσμευση bandwidth μέσα σε ένα administrative domain με χρήση του SIP για την εύρεση και διαπραγμάτευση των απαραίτητων πόρων και μία άλλη για την δέσμευση πόρων που βρίσκονται σε πολλαπλά domains.

Στο **έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο** εξετάζεται το πρόβλημα της βέλτιστης ταυτόχρονης επιλογής υπολογιστικών και δικτυακών πόρων. Ιδανικά θα θέλαμε ένα μοντέλο που να επιλέγει τον καλύτερο Server μέσω του καλύτερου path στο χαμηλότερο δυνατό κόστος. Μελετώνται δύο μοντέλα που προσεγγίζουν το συγκεκριμένο πρόβλημα στο πεδίο του Web Server Replication. Επειδή το συγκεκριμένο πρόβλημα αφορά πόρους που ανήκουν σε ένα μόνο domain, η θεώρηση διαφορετικού κόστους για κάθε συνδυασμό δεν έχει νόημα, κάτι που δεν συμβαίνει για την περίπτωση των Grid υπηρεσιών που προσφέρονται σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον πολλαπλών παρόχων. Έτσι μελετάμε ένα τρίτο μοντέλο που εισάγει την έννοια του κόστους για την επιλογή μόνο path και στην τελευταία παράγραφο προτείνουμε τις απαραίτητες αλλαγές που πρέπει να υποστούν τα μοντέλα για την μοντελοποίηση του επιθυμητού προβλήματος.

Executive Summary

The purpose of this thesis is to study the Next Generation Network, which refers to the network being developed to replace the PSTN network. In particular, we study the technologies of this network, services offered over it, focusing on Grid services, as well as a couple of models for the problem of combined path and server selection for Grid services in the NGN environment.

In **Chapter 1**, we try to define NGN as an All-IP network, able to connect to all current and future networks through open and standardised interfaces. Its architecture decouples service offering from the underlying infrastructure, while supporting mobility. Mobility allows a user to keep accessing a service while roaming between networks of different technology or administration. The market trends driving the evolution towards NGN are a) broadband access getting available to most users, b) the rapid growth of mobile telephony services and c) telephony, data and digital entertainment services convergence.

In **Chapter 2**, we study the Softswitch technology which is the first step in order to transform the current PSTN network to the NGN. It opens an interface to the NGN by allowing the management of traditional and new IP services from the same platform. It decouples service and messaging plane from access plane, moving from current vertical architectures to more horizontal ones. The Softswitch architecture is based on reusable components. A service is a collection of these components. The benefits of such a solution is the lower cost of IP technology, the better time to market thanks to the reusability of existing components, the transparency to the user and finally the compatibility with IMS which is the next step in the evolution process.

In **Chapter 3**, the IP Multimedia Subsystem architecture is presented. IMS is a standard architecture, where most of NGN's characteristics are included and is probably going to be the universal standard of telecommunication industry. The Network is divided in three planes:

- Service or Application Plane
- Transport or User Plane
- Signalling or Control Plane

Each plane is composed of components which interact through standard interfaces. So a service is considered as a collection of components that are traded in a market, and each provider decides if he wishes to implement or buy a needed sub-system. Another benefit of this solution is the unification of services so that they can be offered over multiple heterogeneous networks covering a greater range of user needs. Finally, service and network convergence makes it possible to create new services with better capabilities and economies of scale which make service offering accessible to more users.

Despite these benefits, there are some obstacles that can block the evolution and adoption of IMS. First of all is the high cost caused by the extended restructuring of current networks, which also comes at high risk because of new services' strong network effects. Finally, the need for devices supporting all new, enhanced service characteristics is another problem. In any way, IMS seems to be an architecture with high chance of widespread adoption and so every telecommunications key player should consider its strategy regarding its adoption. In the last paragraphs of this chapter, there is a couple of scenarios studying these perspectives.

Chapter 4 is a case study of British Telecom's program for transforming its national network to a NGN network. We study its architecture, the benefits and some economic analysis supporting these benefit prospects. Moreover in this chapter we study some regulation issues regarding the operation of a NGN in a highly regulated competitive environment. The main issues are: a) the point of interconnection between different operators because NGN is simpler and thus has less points of interconnection, b) the cost of interconnection which today is regulated, but the new architectures changes the way it can be computed, c) the charging model of offered services which should be flexible enough to reflect NGN's characteristics and d) universal service offering.

In **Chapter 5** we study Grid as a service that could be offered to users over NGN. We compare both to spot their commonalities, that is their new business model focusing on services, the heterogeneity of resources and user needs, that they both have to deal with and the abstraction of information for users during service offering, which means that a user should be able to receive his service without caring about underlying infrastructure or service agreements between providers. In the second part of this chapter, we present technologies offered by NGN, which could be used for Grid service offering, like SIP, IMS, QoS mechanisms, Web-services etc. Finally two

scenarios of Grid Service examples are presented to illustrate the combination of the above.

In **Chapter 6** we deal with the problem of bandwidth reservation in NGN, as Grid's main requirement from the NGN. We present Bandwidth Broker as the main mechanism coordinating the end to end bandwidth reservation. In particular, we present two architectures for SLA negotiation: the first using protocol COPS-SLS and the latter using Web-Services. Next we present an architecture for bandwidth reservation in a single administrative domain, using SIP for resource discovery and service parameter negotiation and another for inter-domain bandwidth reservation.

Finally, in **Chapter 7** we study the problem of optimal, combined server and path selection. We would like to find a model selecting the optimal combination of server and path having the least cost out of all possibilities. We first model the combined server and path selection problem in the context of Web-Server replication. In this context, we have a single provider environment, which means that the notion of cost is not included. So, we present a third model concerning the optimal path selection problem taking cost into account and in the end we propose a couple of changes in the above models in order to model the desired problem.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ NEXT GENERATION NETWORK.....	13
1.2 ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ	13
1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ NGN.....	15
1.4 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ SOFTSWITCH	19
2.2.1 ΚΥΡΙΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ SOFTSWITCH.....	20
2.3 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ SOFTSWITCH	22
2.4 ΣΕΝΑΡΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ SOFTSWITCH	25
2.5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	29
3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM (IMS)	30
3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ IMS.....	32
3.4 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΟΥ IMS.....	37
3.4.1 Οφέλη για τον χρήστη.....	37
3.4.2 Οφέλη για τους operators	39
3.4.3 Οφέλη για τους παροχείς υπηρεσιών	41
3.4.4 Η διελκυντίδα της αγοράς	42
3.5 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟΝ IMS	43
3.6 ΣΕΝΑΡΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ IMS.....	46
3.6.1 No-IMS	46
3.6.2. FULL-IMS	47
3.6.3. CLOSED-IMS	48
3.6.4. EARLY-IMS	49
3.7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ IMS	50
ΣΕΝΑΡΙΟ 1 - ΓΕΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ IMS	52
ΣΕΝΑΡΙΟ 2- ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ IMS	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	55
4.2 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ	56
4.2.1 Οφέλη από το 21CN	58
4.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	59
4.3.1 ACCESS NODE	60
4.3.2 METRO NODE	61

4.3.3 CORE NODE.....	61
4.3.4 I-NODE	61
4.3.5 TRANSMISSION.....	62
4.5 ΘΕΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ (REGULATION).....	62
4.5.1 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ 21CN ΜΕ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	62
4.5.2 ΧΡΕΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ	63
4.5.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΡΕΩΣΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΚΑΙ “TERMINATION MONOPOLY”.....	64
4.5.4 ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΚΑΦΟΛΙΚΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
5.1 ΤΟ GRID ΣΤΟ ΝΕΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	69
5.2 ΚΟΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ GRID KAI NGN	69
5.3 ΤΟ GRID ΣΑΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΟΥ NGN.....	72
5.3.1 ΣΕΝΑΡΙΑ	72
5.3.2 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ	73
5.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΟΥ NGN ΓΙΑ ΤΟ GRID.....	75
5.4.1 SIP ΚΑΙ SDP	75
5.4.2 IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM (IMS).....	76
5.4.3 WEB-SERVICES	77
5.4.4 SERVICE LEVEL AGREEMENTS (SLA)	78
5.4.5 QUALITY OF SERVICE.....	79
5.5 ΣΕΝΑΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ USE CASE SCENARIOS.....	79
5.5.1 TRANSCODING ΑΡΧΕΙΟΥ VIDEO	79
5.5.2 ΤΟΠΙΚΟ REPLICATION ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ VIDEO STREAMING	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
6.1. BANDWIDTH BROKERS.....	85
6.2. ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	87
6.3. ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ ΤΩΝ SLA	88
6.3.1 COPS-SLS	89
6.3.2 WEB-SERVICE SLA NEGOTIATION.....	91
6.4 ΠΑΡΟΧΗ QOS ΣΕ SIP-BASED ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	94
6.4.1 SIP ΚΑΙ QOS	94
6.4.2 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ COPS-DRA.....	96
6.4.3 ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ SIP	96
6.5 INTER-DOMAIN RESOURCE MANAGEMENT.....	99
6.5.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ QOS INTER-DOMAIN ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ	99
6.5.1.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ REGION-BASED QOS ROUTING.....	100
6.5.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SIBBS	105
6.5.3 INTER-DOMAIN LABEL SWITCH PATH SETUP	107
6.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	112
7.2 ΜΟΝΤΕΛΟ 1	112
7.3 ΜΟΝΤΕΛΟ 2.....	115
7.4 ΜΟΝΤΕΛΟ 3.....	119
7.5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	122
7.6 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΕΤΑΙΡΩ ΜΕΛΕΤΗ	124

ΜΕΡΟΣ Α'

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΟ NEXT GENERATION INTERNET

1

To Next Generation Network

1.1 Ορισμός του Next Generation Network

Παρόλο που η έννοια του “*Next Generation Network*” (NGN), δεν είναι καινούρια, υπάρχει μια σύγχυση ως προς τον ακριβή ορισμό του τι είναι NGN. Σε γενικές γραμμές, το NGN είναι η αρχιτεκτονική εκείνη του Δικτύου που θα αντικαταστήσει την σημερινή αρχιτεκτονική του Public Switched Transport Network (PSTN). Η σύγχυση όμως προκαλείται από το γεγονός ότι όλοι οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί – πάροχοι και κατασκευαστές εξοπλισμού – έχουν λανσάρει κατά καιρούς στην αγορά προϊόντα που τα ονομάζουν αυθαίρετα NGN. Ακόμη και σήμερα, σε ένα έντονα ανταγωνιστικό και συγκλίνον περιβάλλον, ο κάθε οργανισμός έχει τη δική του άποψη για τα απαραίτητα συστατικά που συνιστούν ένα NGN.

Ο επίσημος ορισμός που έχει δώσει η International Telecommunications Union (ITU-T) είναι:

Next Generation Network: “είναι ένα δίκτυο μεταφοράς πακέτου (*packet-based*), ικανό να παρέχει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες και να χρησιμοποιεί πολλαπλές ευρυζωνικές, QoS τεχνολογίες μεταφοράς και του οποίου οι υπηρεσίες είναι ανεξάρτητες από το χρησιμοποιούμενη τεχνολογία του μέσου μεταφοράς. Προσφέρει στους χρήστες απεριόριστη πρόσβαση σε διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών. Επίσης υποστηρίζει την κινητικότητα (*mobility*) των χρηστών που θα εξασφαλίζει την συνεπή και πανταχού παρούσα παροχή υπηρεσιών στους χρήστες.”

1.2 Τάσεις της Αγοράς

Ευρυζωνικότητα

Την τελευταία πενταετία η τεχνολογία ευρυζωνικής πρόσβασης στο Internet, με κύριο εκπρόσωπο το ADSL, επιτρέπει σε όλο και περισσότερους χρήστες να συνδεθούν στο Διαδίκτυο με ταχύτητες πολλαπλάσιες απ' ότι στο παρελθόν. Αυτή η εκθετική αύξηση των δυνατοτήτων σύνδεσης των χρηστών, ανοίγει το δρόμο σε νέες υπηρεσίες που δεν μπορούσαν να υλοποιηθούν στο παρελθόν, όπως Voice over IP τηλεφωνίας, IP TV και πολυμερή τηλεδιάσκεψη. Για την υποστήριξη των υπηρεσιών

αυτών σε ευρεία κλίμακα, αλλά και για τη συνέχιση της προσφοράς όλο και γρηγορότερων συνδέσεων δεν επαρκεί η λύση της απλής προσθήκης χωρητικότητας στα δίκτυα κορμού (backbone) των παρόχων, που ακολουθείται σήμερα. Απαιτείται ανασχεδιασμός του Δικτύου σύμφωνα με τα νέα δεδομένα και με βάση τις μελλοντικές ανάγκες.

Ανάπτυξη της Κινητής Τηλεφωνίας

Η κινητή (mobile) τηλεφωνία με την διάθεση της 2^η γενιάς του GSM κατάφερε να πετύχει μια ταχεία διείσδυση στην αγορά των τηλεπικοινωνιών και να εισέλθει στην καθημερινότητά μας. Μάλιστα από το 2002 οι συνδρομητές της κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως ξεπέρασαν τους αντίστοιχους της σταθερής (fixed) τηλεφωνίας, οπότε αποτελούν μια εξ' ίσου υπολογίσιμη αγοραστική δύναμη. Με την ωρίμανση αυτής της αγοράς, αυξήθηκαν και οι απαιτήσεις των συνδρομητών από τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας για νέες υπηρεσίες. Από εδώ και πέρα, κάθε καινοτόμα υπηρεσία θα πρέπει να υποστηρίζει το mobility του χρήστη, δηλαδή τη δυνατότητά του να χρησιμοποιεί την υπηρεσία και εν κινήσει.

Σύγκλιση Τεχνολογιών και Υπηρεσιών Επικοινωνίας

Το όραμα και ο απότερος στόχος της αγοράς τηλεπικοινωνιών είναι αυτός των “ubiquitous υπηρεσιών”, δηλαδή η δυνατότητα πρόσβασης σε οποιαδήποτε υπηρεσία, οπουδήποτε και οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Σήμερα, όλες οι διαφορετικές υπηρεσίες που χρησιμοποιούμε είναι ένα σύνολο από περιορισμούς: υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις, ετερογενή δίκτυα και συσκευές με διαφορετικές δυνατότητες, τόσο ανάμεσα σε διαφορετικά είδη (πχ PDA και PC) όσο και μέσα στο ίδιο είδος (πχ κινητά τηλέφωνα με διαφορετικούς επεξεργαστές, μνήμη, οθόνη κτλ). Για να λυθούν αυτοί οι περιορισμοί, πρέπει να υπάρξει σύγκλιση σε τρεις διαφορετικές περιοχές των τηλεπικοινωνιών:

- Σύγκλιση Υπηρεσιών: που σημαίνει ότι η ίδια υπηρεσία μπορεί να προσπελαστεί από διαφορετικές συσκευές. Αυτό επιτυγχάνεται με τεχνολογίες όπως το IP Multimedia Subsystem (IMS), που θα αναλυθεί στο Κεφάλαιο 3, το οποίο προσφέρει κοινές λειτουργίες διαχείρισης των χρηστών και των υπηρεσιών, κοινό σύστημα χρέωσης καθώς και κοινό σύστημα ασφάλειας.
- Σύγκλιση Δικτύων: Μέχρι πρόσφατα, οι υπηρεσίες ενσύρματης και ασύρματης τηλεφωνίας, το Internet και οι υπηρεσίες καλωδιακής τηλεόρασης λειτουργούσαν

σε δίκτυα ανεξάρτητα μεταξύ τους. Στο NGN, εισάγεται ένας πιο αποτελεσματικός τρόπος κατασκευής δικτύων χρησιμοποιώντας οριζόντιες αρχιτεκτονικές με κοινά επίπεδα (layers) όπου εκτελούνται πολλαπλές υπηρεσίες. Συγκεκριμένα θα υπάρχει το επίπεδο υπηρεσίας (service layer), το επίπεδο ελέγχου (control layer), το επίπεδο μεταφοράς (transport layer) και το επίπεδο πρόσβασης (access layer).

- **Σύγκλιση Συσκευών:** δηλαδή από μία συσκευή γίνεται σύνδεση σε διαφορετικά δίκτυα (πχ κινητό με σύνδεση σε GSM και Wi-fi δίκτυο) και διαφορετικές υπηρεσίες (πχ υπηρεσίες φωνής και δεδομένων).

1.3 Χαρακτηριστικά του NGN

Το NGN πρέπει να παρέχει όλα τα μέσα (υποδομή, πρωτόκολλα κτλ) για τη δημιουργία, την ανάπτυξη και τη διαχείριση οποιουδήποτε είδους υπηρεσίας. Αυτό περιλαμβάνει μια ποικιλία απαιτήσεων, από το είδος του περιεχομένου (φωνή, εικόνα, δεδομένα κτλ), την κωδικοποίηση, το μέσο μεταφοράς, τον τρόπο μετάδοσης (unicast, multicast, broadcast), το απαιτούμενο εύρος ζώνης, το QoS, τη σηματοδοσία και πολλά άλλα. Πρέπει να επιτρέπει τον συνδυασμό υπηρεσιών από τον πάροχο, ακόμα και από τον ίδιο τον χρήστη.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του NGN είναι η **αποσύνδεση των υπηρεσιών από το μέσο μεταφοράς**, επιτρέποντας τους να προσφέρονται αλλά και να εξελίσσονται αυτόνομα. Έτσι στην όποια αρχιτεκτονική του NGN, πρέπει να υπάρχει σαφής διαχωρισμός ανάμεσα σε λειτουργίες που ανήκουν στο επίπεδο υπηρεσίας και σε αυτές που ανήκουν στο επίπεδο μεταφοράς. Εδώ και κάποια χρόνια υπάρχει μια σαφής τάση σύγκλισης όλων των υπηρεσιών κάτω από το πρωτόκολλο IP. Αυτό φυσικά πρέπει να ληφθεί υπόψη για τι μελλοντικό Δίκτυο το οποίο αναμφίβολα θα είναι **All-IP Δίκτυο**.

Επίσης οι λειτουργικές μονάδες (πχ servers) που ελέγχουν την πολιτική του δικτύου, τις συνόδους, την παράδοση της υπηρεσίας, την ασφάλεια κτλ βρίσκονται διασκορπισμένα μέσα στο δίκτυο και επικοινωνούν με **ανοικτές διεπαφές** και **standards**. Αυτό επιτρέπει την επικοινωνία και διαλειτουργικότητα σε operators διαφορετικών δικτύων, ακόμα και ανάμεσα σε ένα NGN και σε ένα PSTN δίκτυο.

Όσον αφορά τις τερματικές συσκευές, το NGN δίκτυο θα πρέπει να υποστηρίζει τόσο τις καινούριες με νέα χαρακτηριστικά, που εκμεταλλεύονται πλήρως τις νέες δυνατότητες του Δικτύου, όσο και τις υπάρχουσες. Με λίγα λόγια το NGN πρέπει να

είναι συμβατό “προς τα πίσω” (**backward compatible**) ώστε να επιτρέψει στο σύνολο των σημερινών χρηστών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αν μεταβούν σε αυτό. Τέλος το NGN καλείται να καλύψει το κενό στην υποστήριξη του mobility, δηλαδή της δυνατότητας να παρέχονται υπηρεσίες σε ένα χρήστη ανεξάρτητα από τη θέση του ή τη μετακίνησή του σε διαφορετικά δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους ή να είναι διαφορετικών δυνατοτήτων (πχ διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά χρήστη), αλλά ο χρήστης θα πρέπει να μην χρειάζεται να νοιάζεται για αυτές τις διαφοροποιήσεις. Το δίκτυο θα φροντίζει να κάνει τις απαραίτητες ενέργειες ώστε η υπηρεσία να παραδοθεί κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες στην καλύτερη δυνατή ποιότητα.

1.4 Ανακεφαλαίωση

Στο Κεφάλαιο αυτό ορίσαμε το NGN και περιγράψαμε τα βασικά χαρακτηριστικά του σαν όραμα της ερευνητικής και επιχειρηματικής κοινότητας. Στα επόμενα τρία Κεφάλαια θα εξετάσουμε συγκεκριμένες λύσεις προς την κατεύθυνση του NGN, καθώς και το κατά πόσο ανταποκρίνονται στα παραπάνω χαρακτηριστικά. Στο Κεφάλαιο 2 θα περιγραφεί η τεχνολογία των “Softswitches” που αποτελεί ένα πρώτο βήμα εισαγωγής του NGN μοντέλου πάνω από το PSTN δίκτυο. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η αρχιτεκτονική του IMS, που σε μεγάλο βαθμό υλοποιεί το όραμα του NGN και τέλος στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται σαν Case Study το project 21CN της British Telecom για το μετασχηματισμό του διεθνούς δικτύου της σε NGN.

Βιβλιογραφία 1^{ου} Κεφαλαίου

M. Brunk “*Convergence In The Closet*” Business Communications Review Jan. 2006

T. Fowler “*Convergence in the Information Technology and Telecommunications World: Separating Reality From Hype*” The telecommunications Review 2003

ITU-T “*Recommendation Y2001: General Overview of NGN*” 2004

ITU-T “*General principles and general reference model for Next Generation Networks*” 2004

Ofcom “*The Communications Market 2006*” 2006

U. Olsson “*Toward the all-IP vision*” 2005

2

Softswitches

2.1 Εισαγωγή

To softswitch είναι ένας server επιπέδου operator που ελέγχει τις τηλεφωνικές κλήσεις τόσο σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (circuit switched) όσο και σε δίκτυα μεταγωγής πακέτου (packet-based). Αποτελείται από ένα λογισμικό ανοικτών standards που εκτελεί κατανεμημένες λειτουργίες επάνω σε μια επίσης ανοικτών προτύπων πλατφόρμα και έχει την λειτουργικότητα του παραδοσιακού TDM δικτύου. Με τον τρόπο αυτό προβάλλει σαν μια χαμηλού ρίσκου λύση για τη μετάβαση από το παραδοσιακό TDM δίκτυο σε μια πλατφόρμα παροχής πολλαπλών υπηρεσιών βασισμένη στο πρωτόκολλο IP. Μπορεί να ενσωματώσει φωνή, δεδομένα και video, καθώς και να κάνει τις απαραίτητες μεταφράσεις ανάμεσα σε διαφορετικά πρωτόκολλα, διατηρώντας παράλληλα την πλήρη λειτουργικότητα των υπηρεσιών φωνής, οι οποίες εξακολουθούν να αποτελούν σημαντική πηγή εσόδων.

Η αγορά των Τηλεπικοινωνιών στις μέρες μας βρίσκεται σε ένα κρίσιμο σταυροδρόμι. Πρέπει να παρθούν αποφάσεις για την ανάπτυξη του δικτύου, οι οποίες να ικανοποιούν τρεις αντίρροπες απαιτήσεις:

- Την εξαγωγή του μέγιστου όφελους από τις ήδη υπάρχουσες επενδύσεις στο παραδοσιακό circuit-switched δίκτυο.
- Την βελτίωση της ανταγωνιστικότητας.
- Την αντιμετώπιση της αυξανόμενης ζήτησης σε υπηρεσίες πολυμέσων.

Παρά τις όποιες διαφορές στα επιχειρηματικά μοντέλα των διαφόρων Operators παγκοσμίως, υπάρχει μια κοινή αντίληψη ότι η τεχνολογία του Voice over IP (VoIP) και τα βασισμένα σε Softswitches συστήματα θα αποτελέσουν τα θεμέλια για το μέλλον στην αγορά των τηλεπικοινωνιών. Αυτή η επανάσταση θα κάνει πιο προσιτή την εγκατάσταση και ανάπτυξη μιας τηλεπικοινωνιακής επιχείρησης επιτρέποντας ένα ενοποιημένο δίκτυο, μια λιγότερο απαιτητική σε πόρους αρχιτεκτονική καθώς και μια υποδομή που θα προσφέρει την απαραίτητη ποιότητα στις υπηρεσίες φωνής αλλά και τη δυνατότητα παροχής νέων, προσωποποιημένων υπηρεσιών.

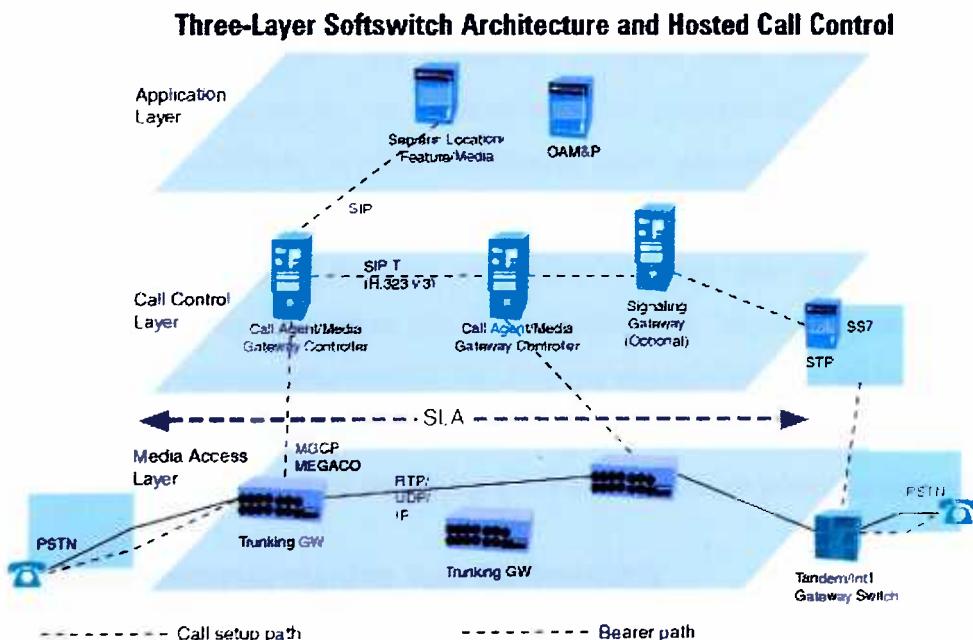


2.2 Αρχιτεκτονική του Softswitch

Η αρχιτεκτονική του Softswitch συνίσταται στον διαχωρισμό της μεταγωγής (switch) από τον έλεγχο της κλήσης (call control) στο επίπεδο δικτύου. Παραδοσιακά, τα δίκτυα επικοινωνιών ολοκληρώνονταν κάθετα για να προσφέρουν μία βασική υπηρεσία όπως τηλεφωνία ή πρόσβαση σε δεδομένα. Η αρχιτεκτονική του Softswitch και η τεχνολογία του IP επιτρέπουν τον σχεδιασμό δικτύων σε διαδοχικά επίπεδα, όπου η εκτέλεση των εφαρμογών, ο έλεγχος και η πρόσβαση ολοκληρώνονται οριζόντια σε πολλαπλά δίκτυα πρόσβασης. Τα τρία αυτά επίπεδα (layers) είναι:

- Το επίπεδο Πρόσβασης
- Το επίπεδο Ελέγχου
- Το επίπεδο Εφαρμογής

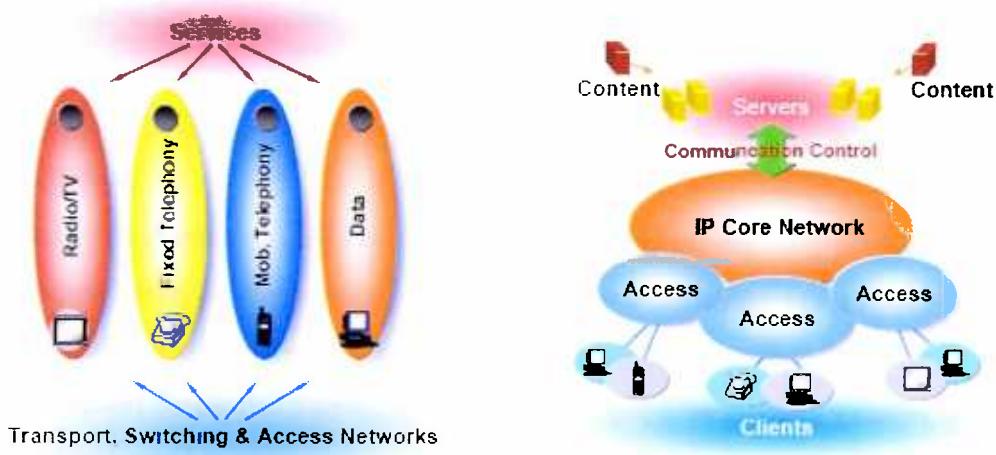
Τα στοιχεία που απαρτίζουν τα τρία αυτά επίπεδα επικοινωνούν μεταξύ τους με ανοικτά και προτυποποιημένα πρωτόκολλα διεπαφής (π.χ MGCP, SIP, H.248 κτλ), προσφέροντας επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών υλοποιήσεων.



Εικόνα 2.1 – Αρχιτεκτονική Softswitch

Στα κάθετα ολοκληρωμένα δίκτυα ακόμα και αν χρησιμοποιούνταν αρχιτεκτονική πολλαπλών επιπέδων, καθεμιά είχε τη δική της διάρθρωση ώστε ίδιες υπηρεσίες να βρίσκονται σε άλλο επίπεδο ή να υλοποιούνται με διαφορετικό τρόπο. Συνεπώς η περίφημη σύγκλιση των δικτύων πρόσβασης ήταν αδύνατη. Με την εισαγωγή των

Softswitches, εκτός από τα δεδομένα είναι δυνατή η μεταφορά και της σηματοδοσίας μέσω IP. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μόνο μια μοναδική, κοινή, IP υποδομή παροχής πολλαπλών υπηρεσιών που να χειρίζεται δικτυακές υπηρεσίες σταθερών και κινητών επικοινωνιών, δεδομένων και τηλεόρασης (βλ. Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2 - Κάθετα και Οριζόντια ολοκληρωμένη Αρχιτεκτονική Δικτύου

Εκτός της ενοποίησης, η αρχιτεκτονική του Softswitch είναι και πολύ πιο αποτελεσματική. Οι servers του επιπέδου ελέγχου είναι πολυσύνθετοι και διεκπεραιώνουν τις λειτουργίες της σηματοδοσίας, το χειρισμό της νοημοσύνης του δικτύου και τη διασύνδεση με άλλα συστήματα όπως χρέωσης. Έτσι μπορούν να είναι συγκεντρωμένοι κοντά στις εγκαταστάσεις του operator μειώνοντας τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης. Αντίθετα, οι Media Gateways είναι σχετικά απλές και χειρίζονται την κίνηση δεδομένων στο επίπεδο σύνδεσης. Αυτό τους επιτρέπει να αναπτυχθούν πλησιέστερα στα σημεία έναρξης και τερματισμού της κίνησης καθώς και στους κόμβους με άλλα δίκτυα όπου συναντάται η μεγαλύτερη κίνηση. Αυτό μπορεί να μειώσει δραματικά τη συμφόρηση του δικτύου και τα κόστη μεταφοράς.

2.2.1 Κύρια υποσυστήματα του Softswitch

Η αρχιτεκτονική του Softswitch που αναλύθηκε παραπάνω περιλαμβάνει διάφορα υποσυστήματα επιφορτισμένα με διακριτές λειτουργίες. Αν και υπάρχει μεγάλη ευελιξία ως προς τη διαμόρφωση του δικτύου, υπάρχουν κάποια στοιχεία που είναι απαραίτητα, τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

Call Agent

Ο Call Agent ή αλλιώς Media Gateway Controller (MeGaCo), αποτελεί την καρδιά του συστήματος Softswitch – πολλές φορές μάλιστα η έννοια του Softswitch ταυτίζεται με αυτό το υποσύστημα. Είναι υπεύθυνος για την εγκαθίδρυση, επεξεργασία και κατάργηση μιας κλήσης. Οι λειτουργίες που κάνει ο Call Agent είναι οι εξής:

- Έλεγχος υπηρεσιών σύνδεσης με Media Gateway ή κάποιο άλλο στοιχείο του δικτύου IP.
- Επιλογή των επιτρεπόμενων ενεργειών πάνω σε μια κλήση.
- Δρομολόγηση κλήσης μέσα στο δίκτυο βάσει σηματοδοσίας ή επιλογών του χρήστη.
- Μεταβίβαση του ελέγχου σε κάποιο άλλο στοιχείο του δικτύου.
- Διαχείριση διασύνδεση με λειτουργίες όπως παροχή υπηρεσίας, χρέωση, χειρισμός σφάλματος κτλ.

Signaling Gateway

Η Signaling Gateway παρέχει διαφανή διασύνδεση της σηματοδοσίας ανάμεσα στα κυκλώματα μεταγωγής και το IP δίκτυο. Μπορεί να τερματίζει SS7 σηματοδοσία ή να μεταφράζει και να προωθεί μηνύματα μέσα στο IP δίκτυο προς μία Media Gateway ή κάποια άλλη Signaling Gateway. Με τον τρόπο αυτό επιτρέπεται στις εφαρμογές IP τηλεφωνίας να προσομοιώσουν τον έλεγχο της κλήσης ή τις δυνατότητες επεξεργασίας σήματος των παραδοσιακών μεταγωγών του τηλεφωνικού δικτύου. Συχνά για να εξασφαλιστεί η υψηλή διαθεσιμότητα μιας τόσο ζωτικής λειτουργίας, οι Signaling Gateways αναπτύσσονται σε ζευγάρια.

Media Gateway

Η *Media Gateway* (MGW) συνδέει το Softswitch με τα TDM δίκτυα κάνοντας παράλληλα τις απαραίτητες μετατροπές της φωνής και των δεδομένων σε πακέτα. Αυτό συνεπάγεται ικανότητα υποστήριξης ενός αυξανόμενου αριθμού διεπαφών δικτύου (SONET, Ethernet, T1/E1 κτλ) καθώς και χρησιμοποιούμενων πρωτοκόλλων (π.χ ATM AAL-2, VoIP/RTP, PPP, MPLS κτλ). Μάλιστα δεδομένη της υλοποίησης σε λογισμικό, η υποστήριξη αυτή είναι δυναμική, δηλαδή οποιαδήποτε αλλαγή ή εξέλιξη του πρωτοκόλλου μπορεί να ενσωματωθεί με μια σχετικά απλή αναβάθμιση του Softswitch. Τέλος η συγκέντρωση πολλών κυκλωμάτων φωνής σε μια και μόνο συσκευή μειώνει τόσο το κόστος όσο και τον χώρο που καταλαμβάνει η εγκατάσταση.

Management & Billing Modules

Τα υποσυστήματα διαχείρισης του Softswitch επιτρέπουν τον έλεγχο του δικτύου και των υπόλοιπων στοιχείων του Softswitch. Συνήθως αυτό γίνεται από ένα γραφικό περιβάλλον που παρέχει πρόσβαση στις διαθέσιμες μονάδες και υπηρεσίες και επιτρέπει τον προγραμματισμό και τη συντήρηση των υποσυστημάτων αλλά και την αλλαγή των παραμέτρων κάποιων υπηρεσιών. Υποστηρίζεται επίσης μια σειρά από κεντρικούς servers οι οποίοι μπορούν να παρέχουν:

- Διαχείριση χρηστών
- Χρέωση
- Ασφαλή αποθήκευση δεδομένων

2.3 Τα Οφέλη από την Υιοθέτηση Softswitch

Νέες πηγές εσόδων

Η υιοθέτηση της αρχιτεκτονικής του Softswitch επιτρέπει την παροχή νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας, μέσα από την σύγκλιση φωνής, δεδομένων και video τόσο για τις επιχειρήσεις όσο και για την καθημερινή ζωή των οικιακών χρηστών. Αυτές οι υπηρεσίες φέρνουν νέα έσοδα και μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους στον operator του δικτύου από τις παραδοσιακές υπηρεσίες τηλεφωνίας. Η ενσωμάτωση των νέων υπηρεσιών γίνεται εύκολα, ορίζοντας απλά νέες gateways και servers και προσθέτοντας πιθανόν νέα πρωτόκολλα, καταλόγους και clients υπηρεσιών. Έτσι προηγμένες υπηρεσίες βασισμένες στο IP (π.χ conferencing) μπορούν να προσομοιωθούν πάνω στο παραδοσιακό δίκτυο της τηλεφωνίας.

Αυξημένα έσοδα έρχονται επίσης από την δυνατότητα αλληλεπίδρασης με υπηρεσίες VoIP που κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερο κομμάτι της αγοράς των τηλεπικοινωνιών, από συνεργίες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας στον τομέα των υπηρεσιών, από την αυξημένη διαθεσιμότητα και από τη μεγαλύτερη διείσδυση σε συνδρομητές λόγω της ικανότητας εξυπηρέτησης μεγαλύτερου αριθμού χρηστών.

Καλύτερο “Time to Market”

Εκτός από την ταχύτερη ανάπτυξη του δικτύου, η αρχιτεκτονική του Softswitch ωφελεί και την ανάπτυξη και υποστήριξη των εφαρμογών. Οι υπηρεσίες είναι πλέον εφαρμογές σε λογισμικό που κυκλοφορούν και αναβαθμίζονται στο δίκτυο εύκολα και γρήγορα. Αυτό επιτρέπει στον πάροχο να αναπτύσσει και να λανσάρει νέες

υπηρεσίες σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αγοράς, χωρίς να λαμβάνει υπόψη του τεχνικές και επιχειρηματικές δυσκολίες που του θέτει το δίκτυο. Ο χρόνος εισαγωγής μιας υπηρεσίας στην αγορά είναι πολύ σημαντικός. Στον κόσμο της παραδοσιακής τηλεφωνίας, ο πρώτος που θα έμπαινε σε μια αγορά μπορούσε να υπολογίζει ότι θα κατακτήσει γύρω στο 30% αυτής. Στις μέρες του Next Generation Internet, το ποσοστό αυτό μπορεί να ανέλθει μέχρι και στο 80%¹.

Μικρότερο κόστος ανάπτυξης Δικτύου

Το κόστος ανάπτυξης (CAPEX) για την αγορά και εγκατάσταση του νέου εξοπλισμού προς αντικατάσταση του παλαιότερου. Το κόστος ενός Softswitch είναι αρκετά μικρότερο από αυτό ενός παραδοσιακού Class-4 ή Class-5 switch, ενώ λόγω της αρθρωτής αρχιτεκτονικής του είναι δυνατόν αρχικά να αγοραστεί μόνο όση χωρητικότητα είναι απαραίτητη. Με την αύξηση των συνδρομητών μπορεί να γίνει αναβάθμιση του εξοπλισμού ώστε να ικανοποιούνται οι μεγαλύτερες ανάγκες. Έτσι το σημείο εισόδου σε μια αγορά είναι χαμηλότερο κατά μία τάξη μεγέθους, τόσο από πλευράς κόστους όσο και από τον ελάχιστο αριθμό συνδρομητών.

Μικρότερο κόστος Λειτουργίας

Το κόστος λειτουργίας (OPEX) διαμορφώνεται από πολλούς παράγοντες και οι περισσότεροι από αυτούς επηρεάζονται θετικά από την εισαγωγή της τεχνολογίας των Softswitches.

Πιο συγκεκριμένα, στη μεταφορά δεδομένων η τεχνολογία του IP μαζί με νέες τεχνικές κωδικοποίησης, επιφέρει μείωση του χρησιμοποιούμενου bandwidth έως και 60% σε σχέση με το παραδοσιακό TDM δίκτυο κορμού. Αυτό σε συνδυασμό με την μετάδοση πακέτων μόνο όταν είναι απαραίτητο – σε αντίθεση με την εγκαθίδρυση μόνιμου κυκλώματος – επιτρέπει την εξοικονόμηση εύρουνς ζώνης για χρήση σε άλλες υπηρεσίες.

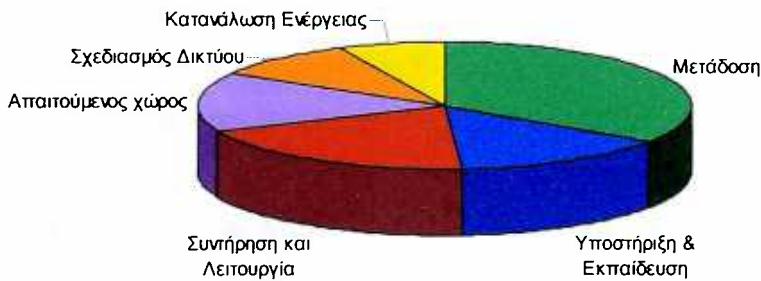
Ο σχεδιασμός του Δικτύου είναι πλέον πιο εύκολος, καθώς η αρθρωτή δομή της αρχιτεκτονικής του Softswitch επιτρέπει την εισαγωγή και τροποποίηση υποσυστημάτων χωρίς να είναι απαραίτητες περαιτέρω τροποποιήσεις για το υπόλοιπο δίκτυο. Επίσης η χρήση κοινού δικτυακού κορμού για όλες τις λειτουργίες και υπηρεσίες μειώνει την πολυπλοκότητα που εισάγει το TDM όσον αφορά την ανάγκη πρόβλεψης μελλοντικών αναγκών.

¹ Στοιχεία: Frost & Sullivan 2000

Η αρθρωτή δομή της αρχιτεκτονικής και η μείωση του αριθμού και η συγκέντρωση των απαιτούμενων υποσυστημάτων μειώνει τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας του Softswitch καθώς και τον αριθμό των προβλημάτων που συναντιόνται.

Η απλοποίηση της δομής του Softswitch σε μικρότερες υπομονάδες επιτρέπει την χρησιμοποίηση της τελευταίας τεχνολογίας με συνέπεια τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του μεγέθους του. Το τελευταίο μάλιστα μαζί με την συγκέντρωση των υποσυστημάτων σε κεντρικά σημεία μειώνει τα έξοδα εγκαταστάσεων που θα φιλοξενούν την υποδομή αυτή, ενώ κάνει την εκπαίδευση του προσωπικού πιο εύκολη (μικρότερος χρόνος εκμάθησης, λιγότερες μετακινήσεις κτλ). Όλα αυτά μπορούν να μειώσουν τα λειτουργικά έξοδα ενός operator έως και κατά 50%².

Βελτίωση OPEX ανά τομέα



Εικόνα 2.3 – Βελτίωση OPEX ανά τομέα εξόδων

Διαφάνεια στο χρήστη

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής του Softswitch είναι η διαφάνεια της απέναντι στο χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι οι όποιες νέες υπηρεσίες προστεθούν στο δίκτυο δεν θα επηρεάζουν τις ήδη υπάρχουσες. Σήμερα το PSTN προσφέρει πάνω από 3000 χαρακτηριστικά και υπηρεσίες και πολλοί πάροχοι δεν είναι διατεθειμένοι να τα καταργήσουν. Ο λόγος είναι ότι δεν θέλουν να ενημερώσουν τον πελάτη ότι στα πλαίσια της αναβάθμισης του δικτύου χάνουν κάποιες παραδοσιακές υπηρεσίες στις οποίες είχαν συνηθίσει τόσα χρόνια. Οι υπηρεσίες αυτές προσφέρουν σχετικά σταθερά και προβλέψιμα έσοδα, αλλά μόνο για όσο δεν αλλάζουν οι όροι αυτών των

² Στοιχεία της Ericsson AB, σύμφωνα με μελέτες περίπτωσης και στοιχεία πελατών της.

υπηρεσιών. Η κατάργηση ή και αλλαγή μέρους των υπηρεσιών θα οδηγήσει τον πελάτη στην επιθυμία διαπραγμάτευσης σε νέες χαμηλότερες τιμές ή ακόμα και στην αναζήτηση άλλων ανταγωνιστικών λύσεων. Με τη λύση του Softswitch, ο operator αναβαθμίζει τις δυνατότητες του δικτύου του χωρίς να μειώνει τις τιμές και επιπρόσθετα μπορεί να επικεντρωθεί στην προσφορά νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας που θα ενσωματώνονται στις ήδη προσφερόμενες.

Συμβατότητα με IMS

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην προηγούμενη ενότητα, τα Softswitches είναι το πρώτο βήμα προς τα “All-IP” δίκτυα. Χρόνο με το χρόνο, το IMS θα παρέχει την αρχιτεκτονική για την παραδοσιακή τηλεφωνία μαζί με τις νέες πολυμεσικές υπηρεσίες. Όμως η μετάβαση αυτή είναι ένα μεγάλο άλμα. Η ενσωμάτωση των Softswitches αρχικά, προσφέρει ένα μεταβατικό στάδιο όπου αποκτάται εμπειρία στην διαχείριση IP δικτύων, μειώνονται τα κόστη διασφαλίζοντας την βιωσιμότητα της υπάρχουνσας επιχείρησης και δοκιμάζονται οι αντοχές τις αγοράς στις νέες υπηρεσίες. Παράλληλα, η αρχιτεκτονική του δικτύου μετασχηματίζεται προς το μοντέλο του IMS. Με τη διάσπαση του δικτύου σε δύο επίπεδα (ελέγχου και πρόσβασης) τίθεται μια γερή βάση για την ενσωμάτωση της αρχιτεκτονικής του IMS (βλ. Ενότητα 3.2) στο δίκτυο. Αυτή η συμβατότητα αυξάνει την ταχύτητα εξέλιξης και τις πιθανότητες επιτυχίας αυτής.

2.4 Σενάρια Υλοποίησης Softswitch

Αντικατάσταση PSTN Class-4 μεταγωγέων στα πρότυπα του NGN

Η ανάπτυξη Sofswitches προς αντικατάσταση των παραδοσιακών Class-4 switches επιλέγεται από κάποιον πάροχο που σκοπεύει αντικαταστήσει στοιχεία του δικτύου που προσεγγίζουν το ωφέλιμο όριο ζωής, να αναπτυχθεί σε μια νέα αγορά ή να επεκτείνει τις ήδη υπάρχουσες δυνατότητες του δικτύου του. Ο πάροχος αυτός βρίσκεται σε δύσκολη θέση καθώς δεν επιθυμεί ακόμα να κάνει την μετάβαση στις IP τεχνολογίες και άρα πρέπει να κάνει μια επένδυση σε εξοπλισμό παρωχημένης τεχνολογίας. Τα Softswitches του προσφέρουν αυτό το πλεονέκτημα, καθώς αποκτάται μια τεχνολογία που μπορεί να εξυπηρετήσει πλήρως τις σημερινές του ανάγκες, ενώ μπορούν να ενσωματωθούν και στα μελλοντικά του σχέδια για προσφορά υπηρεσιών IP, όταν και εάν υπάρξουν. Παράλληλα, υπάρχει και το άμεσο

όφελος του μειωμένου κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας αλλά και μικρότερο συνολικό κόστος διάρκειας ζωής σε σχέση με τα παραδοσιακά switches.

Συνοψίζοντας η λύση των Softswitches είναι η πλέον ασφαλής επένδυση όσον αφορά τις μελλοντικές ανάγκες του δικτύου, ενώ παράλληλα ο operator μπορεί να απολαύσει άμεσα κάποια από τα οφέλη τους.

Ανάπτυξη IP Δικτύου-κορμού

Η ανάπτυξη Softswitches με παράλληλη ανάπτυξη όλου του δικτύου προς πλήρη υποστήριξη του IP αποτελεί τη δεύτερη στρατηγική επιλογή. Αυτό, πέρα από τη μείωση κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας αλλά και συνολικού κόστους διάρκειας ζωής, δίνει στον πάροχο τη δυνατότητα να εκμεταλλευτεί την μελλοντική πτώση των τιμών των υπηρεσιών IP αλλά και τις οικονομίες κλίμακας από την υποστήριξη ενός ενοποιημένου δικτύου ικανού να προσφέρει πολλαπλές υπηρεσίες. Τα οφέλη από ένα ολοκληρωμένο IP-based δίκτυο είναι σημαντικά είτε ο πάροχος συνεχίσει να προσφέρει τις παραδοσιακές υπηρεσίες μέσω όμως VoIP, είτε αποφασίσει να στραφεί προς την ανάπτυξη και προσφορά νέων υπηρεσιών. Μάλιστα για έναν νέο παίκτη σε μια αγορά, η ευκαιρία να κτίσει ένα νέο δίκτυο που να ενσωματώνει τα τελευταία τεχνολογικά επιτεύγματα, μπορεί να του δώσει σημαντικό προβάδισμα απέναντι σε παλαιότερους παίκτες που είναι αναγκασμένοι να αποσβέσουν το κόστος εγκατάστασης του παλαιού δικτύου.

2.5 Επίλογος - Οι προοπτικές της Αγοράς

Οι operators καλούνται σήμερα να εκσυγχρονίσουν το δίκτυο κορμού τους για να μειώσουν τα κόστη και να διατηρήσουν ένα αποδεκτό QoS ώστε να παραμείνουν ανταγωνιστικοί σε ένα ραγδαία μεταβαλλόμενο τεχνολογικό και επιχειρηματικό περιβάλλον. Ταυτόχρονα είναι επιτακτική η ανάγκη εισαγωγής νέων υπηρεσιών IP πολυμέσων προκειμένου να βρεθούν νέες πηγές εσόδων και να συνεχιστεί η ανάπτυξή της αγοράς. Με την ανάπτυξη των Softswitches επιτυγχάνονται αυτοί οι βραχυπρόθεσμοι στόχοι χωρίς να θίγονται οι ήδη προσφερόμενες υπηρεσίες που εξακολουθούν να προσφέρουν σημαντικό τμήμα των εσόδων τους.

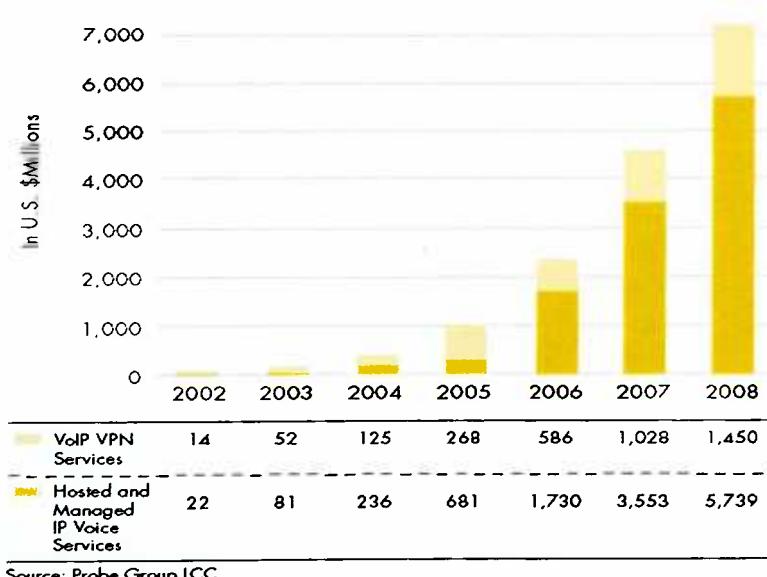
Πέρα όμως από την βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης, η εισαγωγή των Softswitches διευκολύνει την επίτευξη και ενός άλλου μακροπρόθεσμου στόχου, τη σύγκλιση και ενοποίηση όλων των δικτύων. Η αρχιτεκτονική των Softswitches εισάγει κάποιες θεμελιώδεις αλλαγές στην κορεσμένη αρχιτεκτονική και φιλοσοφία

σχεδίασης του υπάρχοντος Δικτύου, οι οποίες είναι απαραίτητες για να υποστηριχθούν τα νέα είδη υπηρεσιών του μέλλοντος.

Παρόλο που το κόστος ανάπτυξης ενός Softswitch είναι μικρότερο από αυτό ενός circuit-based μεταγωγέα και το λειτουργικό κόστος πολύ χαμηλότερο, πολλοί παροχείς υπηρεσιών και operators εμφανίζονται ακόμα διστακτικοί για να επενδύσουν σε αυτή την τεχνολογία. Οι λόγοι για αυτό είναι διάφοροι και εξαρτώνται και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε αγοράς. Η έλλειψη εμπειρίας στην ανάπτυξη και υποστήριξη ενός IP δικτύου, η δυσπιστία ως προς την αξιοπιστία των νέων συσκευών, οι προηγούμενες επενδύσεις που δεν αποσβέστηκαν ποτέ, ακόμα και το ραγδαία μεταβαλλόμενο περιβάλλον της νέας εποχής, αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες για πολλούς οργανισμούς.

Η αγορά όμως τα τελευταία χρόνια κινείται ήδη προς την VoIP τηλεφωνία και ακόμα και οι πρώην μονοπωλιακοί τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί που έχουν κληρονομήσει το TDM δίκτυο του παρελθόντος υλοποιούν ή έχουν ήδη υλοποιήσει τη στροφή προς το packet-switched δίκτυο και τα Softswitches. Οι υπηρεσίες IP έχουν αρχίσει να αποφέρουν σημαντικά έσοδα και η τάση είναι αυξητική και για τα επόμενα χρόνια (βλ. γράφημα εικόνας 2.4).

Figure 1 - Enterprise IP Voice Services in Europe 2002-2008



Εικόνα 2.4 – Εσόδα από υπηρεσίες IP τηλεφωνίας για την Ευρώπη

Βιβλιογραφία 2^{ου} Κεφαλαίου

Softswitches

- J. Bannister, P. Mather, S. Coope “*Convergence Technologies for 3G Networks: IP, UMTS, EGPRS and ATM*” Wiley and Sons 2004
- P. Daily “*The Softswitch – Driving a new vision of communication as the central element in the Next-Generation Network*” Frost & Sullivan 2000
- Ericsson “*Efficient Softswitching*” White Paper, 2006
- Ericsson “*Softswitch in fixed networks*” White Paper, 2006
- Ericsson “*Softswitch in mobile networks*” White Paper, 2006
- Nortel Networks “*The Superclass carrier strategies for VoIP deployment*” White Paper, 2004
- Veraz Networks “*Seeking ever improving competitiveness from Class 4 / Tandem Next-Generation Networks*” White Paper, 2006

3

IP Multimedia Subsystem

3.1 Εισαγωγή

Το IP Multimedia Subsystem προβάλει σαν το βιομηχανικό standard που επιλέγονται οι εταιρείες του χώρου για το Next Generation Network. Αρχικά, εξελίχθηκε από τους οργανισμούς 3GPP (3G Partner Project) και 3GPP2 σαν η βασική IP αρχιτεκτονική δικτύου για την κινητή τηλεφωνία τρίτης γενιάς. Έχει σχεδιαστεί ώστε να ενοποιεί τις κινητές επικοινωνίες με τις τεχνολογίες του Internet, καταφέρνοντας έτσι να συνδυάσει την ευρεία διεύσδυση των πρώτων με τον πλούτο και τις δυνατότητες των δεύτερων. Έτσι, σήμερα θεωρείται η ιδανική λύση για την υποστήριξη ενοποιημένων υπηρεσιών από όλους τους τύπους παροχέων – εταιρείες σταθερής, κινητής και ασύρματης τηλεφωνίας, καλωδιακής τηλεόρασης και περιεχομένου.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, δύο στοιχεία της σχεδίασής του είναι τα πιο σημαντικά:

- Η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών τόσο πραγματικού όσο και μη-πραγματικού χρόνου, παρόλες τις θεμελιώδεις διαφορές στις απαιτήσεις αυτών των δύο.
- Η ενσωμάτωση ενός αποτελεσματικού μηχανισμού ελέγχου των κλήσεων όπως το πρωτόκολλο SIP.

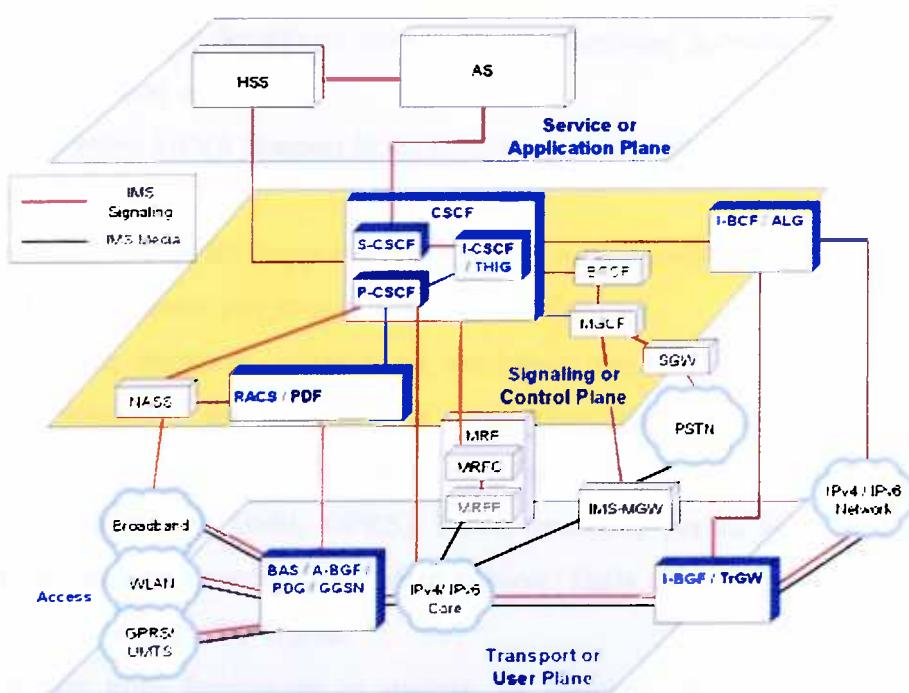
Ο σχεδιασμός αυτός αλλάζει εντελώς την παραδοσιακή διαδικασία της επικοινωνίας. Μέχρι σήμερα, οι τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες (π.χ φωνητικές κλήσεις ή μεταφορά δεδομένων από server) περιορίζονται σε μια υπηρεσία ανά φορέα, διαφορετικά η πολυπλοκότητα οδηγούσε σε σπατάλη πόρων του δικτύου. Το IMS εισάγει την έννοια της σύναψης συνόδων (sessions), στις οποίες μπορούν να συμμετέχουν πολλαπλοί χρήστες ή συσκευές. Επίσης πολλές υπηρεσίες μπορούν να συνδυαστούν σε ένα κανάλι, ενώ ακόμα και υπηρεσίες πραγματικού και μη-πραγματικού χρόνου μπορούν να συνδυαστούν σε μία σύνοδο.

Η χρήση της αρχιτεκτονικής του IMS απλοποιεί τις λειτουργίες του δικτύου και έτσι επιτρέπει στους παρόχους να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη εφαρμογών που μπορούν να τους αποφέρουν πολλαπλάσια κέρδη. Οι νέες εφαρμογές, ακόμα και αν

αναπτύσσονται από ξένες ως προς το δίκτυο εταιρείες μπορούν να ενσωματώνονται εύκολα σε αυτό χάρη στην ιδιαίτερη αρχιτεκτονική του.

3.2 Αρχιτεκτονική του IP Multimedia Subsystem (IMS)

Η αρχιτεκτονική του IMS χωρίζει την υπάρχουσα αλλά και μελλοντική δικτυακή υποδομή σε ανεξάρτητες λειτουργίες (functions) που διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω προτυποποιημένων διεπαφών. Κάποιες από αυτές τις λειτουργίες έχουν επίσης προδιαγραφεί, ενώ κάποιες άλλες βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των λειτουργιών αυτών ονομάζονται «σημεία αναφοράς» (reference points), μια έννοια διαδεδομένη στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών. Η διαφορά της σε σχέση με την έννοια του interface είναι ότι τα reference points περιγράφουν όλη την κίνηση μεταξύ δύο πόρων, συμπεριλαμβανομένων πολλαπλών πρωτοκόλλων για διάφορα ήδη κίνησης καθώς και το ποια στοιχεία μπορούν να επικοινωνήσουν με κάθε πόρο. Είναι λοιπόν μια πιο αυστηρή και περιοριστική έννοια.



Εικόνα 3.1 - Η Αρχιτεκτονική του IMS

Το IMS ξεφεύγει από το παραδοσιακό μοντέλο σχεδίασης τηλεπικοινωνιακών δικτύων όπου η σηματοδοσία, η μεταφορά και η εφαρμογή βρίσκονταν στην ίδια οντότητα. Τα τρία επίπεδα στα οποία χωρίζεται η αρχιτεκτονική του IMS είναι:

Επίπεδο Εφαρμογής ή Υπηρεσίας (Service or Application Plane)

Το επίπεδο αυτό παρέχει την απαραίτητη υποδομή για παροχή και διαχείριση των προσφερόμενων υπηρεσιών και εφαρμογών. Στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνονται υποδομές όπως data centers και web servers αλλά και υπηρεσίες όπως user groups και presence που διαχειρίζονται άλλες οντότητες. Η σύνδεση με τους χρήστες γίνεται μέσω του Επιπέδου Ελέγχου που περιγράφεται παρακάτω.

Επίπεδο Σηματοδοσίας ή Ελέγχου (Signaling or Control Plane)

Το επίπεδο Ελέγχου είναι υπεύθυνο για την έναρξη, τον τερματισμό, τον έλεγχο και τη διαχείριση συνόδου. Επίσης διαθέτει πληροφορίες σχετικά με την αυθεντικοποίηση και εξουσιοδότηση του χρήστη και τη θέση του μέσα στο δίκτυο. Δρομολογεί τα σήματα κλήσεων, πληροφορεί το Επίπεδο Μεταφοράς για το είδος της κίνησης που πρέπει να επιτρέπει να περάσει και δημιουργεί πληροφορίες χρέωσης σχετικά με τη χρήση του δικτύου.

Επίπεδο Μεταφοράς ή Χρήστη (Transport or User Plane)

Το Επίπεδο Χρήστη δανείζεται την κύρια αρχιτεκτονική δικτύου από το GPRS, το οποίο αποτελείται από:

- Ένα Serving GPRS Support Node (SGSN) για υπηρεσίες δεδομένων σε κινητούς σταθμούς.
- Ένα Gateway GPRS Support Node (GGSN) για διασύνδεση με το Internet ή άλλα δίκτυα δεδομένων (π.χ εταιρικά δίκτυα WAN).

Οι τερματικές συσκευές μπορούν να συνδεθούν απευθείας στον IMS μέσω μιας μεγάλης ποικιλίας από δίκτυα, είτε αυτά είναι σταθερά (π.χ DSL, Ethernet, καλωδιακό), είτε ασύρματα (π.χ WiFi, WiMax), είτε κινητής τηλεφωνίας (π.χ W-CDMA, CDMA2000, GSM, GPRS). Μόνη απαίτηση για να γίνει αυτό είναι να χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο IPv6 (η έκδοση “Early IMS³” υποστηρίζει και IPv4) καθώς και να υπάρχει SIP Agent.

Στο επίπεδο αυτό βρίσκονται οι routers, τα switches, τα firewalls, οπτικές ίνες μεταφοράς καθώς και μια σειρά από πύλες, που μεταφράζουν ανάμεσα στα διάφορα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν τα διαφορετικά διασυνδεδεμένα δίκτυα αλλά και ανάμεσα σε packet-based και circuit-based κίνηση. Η δρομολόγηση και μεταγωγή

³ Το “Early IMS” είναι μια υλοποίηση που προσφέρει παρόμοια χαρακτηριστικά με το full-IMS θέτοντας λιγότερες απαιτήσεις συμβατότητας. Συγκεκριμένα, ο χρήστης δεν χρειάζεται να υποστηρίζει IPv6, IPSec και USIM/ISIM για να συνδεθεί με τον IMS. Ενδείκνυνται σαν μεταβατικό στάδιο για το full IMS

στο IMS είναι αρκετά πολύπλοκη γιατί οι διαφορετικές υπηρεσίες που πρέπει να διαλειτουργούν και οι διαφορετικές πολιτικές που ισχύουν στα διάφορα δίκτυα απαιτούν συγκεκριμένες προσαρμογές. Έτσι, η δρομολόγηση βασίζεται σε παραμέτρους ποιότητας όπως το QoS, η συμφόρηση και η διαχείριση συνόδου. Οι πολιτικές που καθορίζουν αυτές τις παραμέτρους τίθενται σε ανώτερο επίπεδο αλλά επιβάλλονται στο Επίπεδο Μεταφοράς.

3.3 Περιγραφή των Υποσυστημάτων του IMS

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η λειτουργικότητα κάθε υποσυστήματος της αρχιτεκτονικής του IMS που φαίνεται στο σχήμα 3.1.

3.3.1 Proxy-CSCF

Η *Proxy Call Session Control Function* είναι το πρώτο σημείο επαφής των χρηστών με το IMS. Όλη σηματοδοσία από ή προς τον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη (User Equipment – UE) περνάει μέσω της P-CSCF. Όπως λέει και το πρόθεμα proxy, η εν λόγω λειτουργική μονάδα δρα ως πληρεξούσιος του χρήστη, δηλαδή εξακριβώνει την αίτηση, την προωθεί στον συγκεκριμένο προορισμό της και επεξεργάζεται και προωθεί την απάντηση. Μέσα σε ένα δίκτυο μπορεί να υπάρχει μία ή πολλαπλές Proxy-CSCF. Αναλυτικά, όλες οι λειτουργίες που επιτελεί η P-CSCF περιγράφονται στο [TS 23.228]. Οι πιο σημαντικές από αυτές συνοψίζονται παρακάτω:

- Η προώθηση της αίτησης εγγραφής (SIP Register) στην κατάλληλη Interrogating-CSCF βάσει του ονόματος του home domain που δίνεται από το UE μέσα στο μήνυμα της αίτησης.
- Η προώθηση των SIP μηνυμάτων από το UE στην S-CSCF και αντίστροφα.
- Η προώθηση μηνυμάτων από και προς τον UE.
- Η διατήρηση μετρητών της συνόδου για την απελευθέρωση πόρων όταν αυτοί δεν χρησιμοποιούνται.
- Η επιβολή της πολιτικής του operator στις πολυμεσικές υπηρεσίες. Η P-CSCF είναι αυτή που ελέγχοντας το SDP (Session Description Protocol), εξετάζει αν περιέχει τύπους ή codecs πολυμέσων που δεν επιτρέπονται για κάποιον χρήστη. Αν το SDP δεν ταιριάζει με την πολιτική του Operator, τότε η P-CSCF απορρίπτει την αίτηση για σύναψη συνόδου.

3.3.2 Interrogating-CSCF

H *Interrogating Call Session Control Function* είναι ένα σημείο επαφής στο δίκτυο ενός operator για όλες τις συνδέσεις που κατευθύνονται προς κάποιον συνδρομητή του operator αυτού του δικτύου. Όπως και για την P-CSCF μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές I-CSCF μέσα στο ίδιο δίκτυο. Οι λειτουργίες που επιτελεί η I-CSCF είναι οι παρακάτω:

- H επικοινωνία με τον Home Subscriber Server για την ανάκτηση του ονόματος του Serving-CSCF που εξυπηρετεί τον κάθε χρήστη.
- H προώθηση μηνυμάτων από και προς τον S-CSCF.
- H απόκρυψη της λειτουργικότητας του IMS. H I-CSCF έχει μια λειτουργία που ονομάζεται Topology Hiding Inter-network Gateway (THIG) η οποία μπορεί να αποκρύπτει την διαμόρφωση, χωρητικότητα και τοπολογία του δικτύου για όσους βρίσκονται έξω από το δίκτυο του Operator.

3.3.3 Serving-CSCF

H *Call Session Control Function* βρίσκεται στο home δίκτυο. Πραγματοποιεί έλεγχο συνόδου (session control) και υπηρεσίες καταχώρησης (registration services) για τις τερματικές συσκευές του χρήστη. Όσο μια UE βρίσκεται σε σύνοδο, η S-CSCF διατηρεί πληροφορίες για την σύνοδο, αλληλεπιδρά με πλατφόρμες υπηρεσιών και επικοινωνεί με άλλα στοιχεία του δικτύου (π.χ υπηρεσίες χρέωσης) σύμφωνα με τις απαιτήσεις του operator. Αναλυτικά, όλες οι λειτουργίες που επιτελεί η P-CSCF περιγράφονται στο [TS 23.228]. Οι πιο σημαντικές από αυτές συνοψίζονται παρακάτω:

- H εγγραφή του χρήστη, καθώς μόνο ο S-CSCF γνωρίζει την διεύθυνση του UE και τον P-CSCF που του παρέχει είσοδο στον IMS.
- H αυθεντικοποίηση του χρήστη
- H δρομολόγηση τερματικής κίνησης στην P-CSCF και εξερχόμενης κίνησης στις I-CSCF, BGCF ή σε κάποιον AS.
- O έλεγχος της συνόδου.
- H διατήρηση μετρητών της συνόδου για την απελευθέρωση πόρων όταν αυτοί δεν χρησιμοποιούνται.
- H αλληλεπίδραση με του Application Servers με την έννοια ότι αποφασίζει πότε μια αίτηση πρέπει να δρομολογηθεί και πότε όχι καθώς και σε ποιόν AS.

- Η εκτέλεση της πολιτικής του operator όπως και με τον P-CSCF.

3.3.4 PDF

Η *Policy Decision Function* είναι υπεύθυνη για την λήψη αποφάσεων που έχουν να κάνουν με την πολιτική που επιθυμεί να εφαρμόσει ο Operator στο δίκτυο του (Service based Local Policy – SBLP). Οι αποφάσεις αυτές βασίζονται στην συγκεκριμένη σύνοδο που έχει συνάψει η UE καθώς και πληροφορίες που παίρνει από την P-CSCF. Οι κύριες λειτουργίες της PDF συνοψίζονται παρακάτω:

- Η αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με τη σύνοδο και τα media (π.χ IP διευθύνσεις, αριθμοί ports, διαθέσιμο εύρος ζώνης κτλ.)
- Η παροχή πληροφοριών στην P-CSCF για τη λήψη απόφασης αυθεντικοποίησης ή μη του χρήστη καθώς και η αλλαγή της απόφασης αυτής όταν αλλάξουν οι παράμετροι της συνόδου με τέτοιο τρόπο ώστε να παραβιάζεται η SBLP.
- Η αναστολή της απόφασης αυθεντικοποίησης ενός χρήστη.
- Ο καθορισμός του χρησιμοποιούμενου μέσου για την εξαγωγή της SBLP (π.χ PDP) καθώς και η αναστολή αυτής της χρήσης

3.3.5 HSS

Ο *Home Subscriber Server* είναι ο κύριος αποθηκευτικός χώρος για όλες τις πληροφορίες που αφορούν τον συνδρομητή και τις υπηρεσίες του IMS. Οι πληροφορίες που αποθηκεύονται περιλαμβάνουν ταυτότητα και προτιμήσεις χρήστη, πληροφορίες εγγραφής σε υπηρεσίες, παραμέτρους πρόσβασης και πληροφορίες ενεργοποίησης υπηρεσιών βάσει γεγονότων.

Επιπλέον των παραπάνω λειτουργιών του IMS, ο HSS περιλαμβάνει τις λειτουργίες του Home Location Register (HLR) και Authentication Center (AUC). Η HLR λειτουργικότητα απαιτείται για να υποστηριχτούν οντότητες του PS domain όπως το SGSN και GGSN καθώς και του CS domain όπως οι MSC servers. Το AUC χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει δυναμικά δεδομένα που θα επιτρέψουν την αμοιβαία αποκλειόμενη αυθεντικοποίηση του συνδρομητή και του δικτύου καθώς και την προστασία της ακεραιότητας και την κρυπτογράφηση του συνδέσμου ανάμεσα σε UE και δίκτυο.

3.3.6 SLF

Η *Subscription Location Function* χρησιμοποιείται σε δίκτυα με πολλαπλές HSS προκειμένου να επιτρέπει στις I-CSFC, S-CSCF και στους Application Servers να βρίσκουν τη διεύθυνση του HSS που πρέπει να εξυπηρετήσει την εκάστοτε αίτηση με βάση την ταυτότητα του χρήστη.

3.3.7 MRFC

Ο *Multimedia Resource Function Controller* χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των λειτουργιών πολυμεσικών πόρων. Μεταφράζει τα SIP μηνύματα που λαμβάνει μέσω του S-CSCF και ελέγχει σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής του MRFP που αναλαμβάνει την επεξεργασία των media streams.

3.3.8 MRFP

Ο *Multimedia Resource Function Processor* παρέχει τους πόρους σε Επίπεδο Εφαρμογής που έχει ζητήσει ο ελεγκτής MRFC. Μπορεί να δημιουργήσει, να πολυπλέξει και να επεξεργαστεί media streams. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κάποιον Application Server και μπορεί να διαχειριστεί πολλαπλούς διαμοιραζόμενους πόρους π.χ. σε περιβάλλον συνδιάσκεψης.

3.3.9 Application Server

Σύμφωνα με τη σχεδίαση του IMS σε πολλαπλά επίπεδα, οι Διακομιστές Εφαρμογών (*Application Servers – AS*) δεν είναι καθαρά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του IMS, αλλά βρίσκονται «πάνω» από αυτόν. Ήα περιγράψουμε όμως στο σημείο αυτό την λειτουργία τους καθώς είναι εκείνες οι μονάδες που παρέχουν εφαρμογές πολυμέσων προστιθέμενης αξίας, οι οποίες κάνουν ελκυστική τη σχεδίαση του IMS σαν κεντρικό στοιχείο του Next Generation Network.

Η τοπολογία των AS μέσα στο δίκτυο δεν είναι καθορισμένη καθώς η αρχιτεκτονική του είναι τέτοια που προσδίδει μεγάλη ευελιξία. Καταρχήν, ένας AS μπορεί να βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο με τον χρήστη ή και σε διαφορετικό δίκτυο. Επίσης ένας AS μπορεί να είναι αφιερωμένος σε μια υπηρεσία ή και να εξυπηρετεί παραπάνω από μία υπηρεσίες. Έτσι κάθε χρήστης που έχει παραπάνω από μία υπηρεσίες μπορεί να χρησιμοποιεί πολλαπλούς AS ή ακόμα και μία μόνο υπηρεσία μπορεί να χρησιμοποιεί παραπάνω από δύο AS για να επιτελέσει την λειτουργία της. Οι



λειτουργίες που μπορεί να επιτελέσει ο AS σε σχέση με το υπόλοιπα στοιχεία του IMS, είναι:

- Η δυνατότητα να επεξεργαστεί μία εισερχόμενη SIP σύνοδο ή να επιδράσει σε αυτή.
- Η δυνατότητα να ξεκινήσει μια αίτηση SIP.
- Η δυνατότητα να στείλει λογιστικές πληροφορίες σε αρμόδιες μονάδες (π.χ CCF).

3.3.10 BGCF

Η *Breakout Gateway Control Function* είναι υπεύθυνη για την προώθηση μιας συνόδου εκτός IMS, δηλαδή προς το CS δίκτυο. Συγκεκριμένα καλείται να επιλέξει αν η σύνοδος θα προωθηθεί στο ίδιο δίκτυο με αυτό που βρίσκεται η BGCF ή σε διαφορετικό δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση, η BGCF επιλέγει μια Media Gateway Control Function (MGCF) για να χειριστεί περαιτέρω τη σύνοδο, ενώ στη δεύτερη επιλέγεται μια BGCF του άλλου δικτύου και η σύνοδος προωθείται εκεί. Τέλος η BGCF μπορεί να συλλέξει στατιστικά στοιχεία καθώς και να αναφέρει λογιστικές πληροφορίες στην CCF.

3.3.11 MGCF

Η *Media Gateway Control Function* είναι μια πύλη που επιτρέπει την επικοινωνία σε Επίπεδο Εφαρμογής μεταξύ του IMS και CS δικτύου. Όλα τα εισερχόμενα σήματα από το CS δίκτυο κατευθύνονται προς την MGCF που πραγματοποιεί μετατροπή των πρωτοκόλλων του CS (ISUP και BICC⁴) σε SIP και τα προωθεί στο IMS και η αντίστροφη διαδικασία ακολουθείται για σήματα που εκκινούν από το IMS. Επιπλέον όπως και η BGCF μπορεί να αναφέρει λογιστικές πληροφορίες στην CCF.

3.3.12 IMS-MGCF

Η *IMS Media Gateway Control Function* είναι μια λειτουργία, ελεγχόμενη από την MGCF, που προσφέρει διασύνδεση σε επίπεδο χρήστη του IMS με τα CS δίκτυα (PSTN, GSM). Τερματίζει τα κανάλια από το CS δίκτυο καθώς και τα media streams από το δίκτυο κορμού και κάνει τις απαραίτητες μετατροπές, κωδικοποιήσεις και επεξεργασίες σήματος στο επίπεδο χρήστη όταν είναι αναγκαίο. Επιπρόσθετα, μπορεί να παρέχει τόνους και ανακοινώσεις στους χρήστες του CS δικτύου.

⁴ ISUP: ISDN User Part για ISDN δίκτυο και BICC: Bearer Independent Call Control για PSTN δίκτυο

3.3.13 SGW

Η *Signaling GateWay* διασυνδέει δίκτυα που χρησιμοποιούν διαφορετική σηματοδοσία. Πραγματοποιεί μετατροπές σημάτων και προς τις δύο κατευθύνσεις στο Επίπεδο Μεταφοράς (π.χ από SS7 σε IP) και όχι στο Επίπεδο Εφαρμογής όπου αρμόδια είναι η MGCF.

3.3.14 SEG

Η *Security Gateway* χρησιμοποιείται για να προστατεύει την κίνηση του Επιπέδου Ελέγχου μεταξύ των domains. Όλη η κίνηση περνάει από αυτή την πύλη πριν εισέλθει στο domain ασφάλειας. Συνήθως τοποθετείται στα όρια του domain ασφαλείας και εφαρμόζει την πολιτική ασφάλειας του συγκεκριμένου domain ασφάλειας ενάντια σε άλλες SEG στο domain ασφάλειας προορισμού. Συχνά χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία SEG για καλύτερη απόδοση αλλά και για να αποκλειστεί το single point of failure.

3.4 Τα Οφέλη του IMS

Η ανάπτυξη του IMS προσφέρει μια σειρά από οφέλη σε όλους τους συμμετέχοντες στην αλυσίδα αξίας της τηλεπικοινωνιακής αγοράς: τους χρήστες, τους operators και τους παρόχους υπηρεσιών. Παράλληλα όμως ανακατεύει εκ νέου την τράπουλα και στο νέο αυτό παιχνίδι θα υπάρχουν κερδισμένοι και χαμένοι.

3.4.1 Οφέλη για τον χρήστη

Προσωποποιημένη Multimedia επικοινωνία

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που κάνουν ριζοσπαστική τη σχεδίαση του IMS είναι η αποκλειστική χρήση του πρωτοκόλλου IP για τη μεταφορά των νέων υπηρεσιών. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι υπηρεσίες που θα παρέχονται από αυτό θα χρησιμοποιούν ένα μοναδικό standard, κοινό για όλο τον κόσμο των τηλεπικοινωνιών, των πληροφοριακών συστημάτων και της διασκέδασης. Αυτό στην πράξη σημαίνει ότι ο χρήστης θα είναι σε θέση να ζητάει την υπηρεσία που επιθυμεί και να τη λαμβάνει στο μέσο εκείνο που τον εξυπηρετεί καλύτερα εκείνη τη στιγμή (π.χ κινητό τηλέφωνο, PDA, υπολογιστής, laptop συνδεδεμένο σε WiFi δίκτυο, τηλεόραση, multimedia σύστημα αυτοκινήτου κτλ) ή ακόμα και να αλλάζει μέσο κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας (π.χ από τον υπολογιστή στο PDA). Ακόμα θα μπορεί να

χρησιμοποιεί ταυτόχρονα πολλαπλές υπηρεσίες όπως π.χ να μιλάει στο τηλέφωνο και ταυτόχρονα να κλείνει εισιτήρια και να στέλνει μια φωτογραφία. Με τον τρόπο αυτό βιώνει μια πιο πλούσια εμπειρία επικοινωνίας και είναι διατεθειμένος όχι μόνο να δεχτεί τη νέα υπηρεσία αλλά και να πληρώσει παραπάνω για αυτήν.

Ενοποιημένες Υπηρεσίες – Ευκολία Χρήσης

Ο IMS προσφέρει ανοικτά πρότυπα στους παροχείς υπηρεσιών για να κατασκευάσουν εφαρμογές που να συνεργάζονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Με το πρωτόκολλο SIP, η πρόσβαση στις νέες υπηρεσίες είναι άμεση και δεν είναι αναγκαίο η εφαρμογή να εγκατασταθεί στη συσκευή ή να ενσωματωθεί στη σουίτα του παρόχου. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν ποικιλία IP-υπηρεσιών συνδυάζοντας εικόνα, κείμενο, βίντεο, διαμοιραζόμενα αρχεία, όποτε και με όποιο τρόπο το θελήσουν. Για παράδειγμα, όταν κάποιος χρήστης θέλει να καλέσει ένα φίλο του, δεν θα είναι υποχρεωμένος να θυμάται το νούμερο ή να το ψάξει στον κατάλογο του τηλεφώνου του. Αρκεί να γράψει το όνομά του και η υπηρεσία τηλεφωνίας θα συνδεθεί με την υπηρεσία τηλεφωνικού καταλόγου που θα βρει τα διαθέσιμα νούμερα. Έπειτα μπορεί να συνδεθεί με την υπηρεσία εύρεσης της θέσης του χρήστη (π.χ σπίτι, γραφείο, στο δρόμο) και να τον καλέσει ανάλογα (στο σταθερό του σπιτιού ή του γραφείο ή στο κινητό τηλέφωνο).

Η ενοποίηση των υπηρεσιών και δικτύων κάνει την επικοινωνία πιο απλή και εύχρηστη και αυξάνει την προστιθέμενη αξία για το χρήστη και μαζί την πιθανότητα αποδοχής των νέων υπηρεσιών.

Αύξηση της δύναμης του χρήστη στην αγορά

Στη νέα εποχή του IMS, ο πελάτης αναβαθμίζει την δύναμή του μέσα στην αγορά καθώς οι επιλογές αυξάνονται. Η εύκολη ενσωμάτωση νέων υπηρεσιών στον IMS αυξάνει τον αριθμό των παρόχων που δραστηριοποιούνται ενώ η ευελιξία ως προς το δίκτυο για την πρόσβαση στις υπηρεσίες αυτές αυξάνει τον ανταγωνισμό ανάμεσα στους operators διαφορετικών δικτύων. Το αποτέλεσμα είναι μείωση των τιμών και προσφορά καλύτερων υπηρεσιών.

3.4.2 Οφέλη για τους Operators

Σύγκλιση Ενσύρματων – Ασύρματων Δικτύων

Το IMS αποτελεί τον καταλύτη για την τελική σύγκλιση ανάμεσα στα διαφορετικά δίκτυα που υφίστανται σήμερα. Αποτελεί μια εξ' αρχής σχεδίαση, και τόσο το Επίπεδο Εφαρμογής όσο και το Επίπεδο Ελέγχου μπορούν να χειριστούν και ενσύρματη και ασύρματη επικοινωνία, εξαλείφοντας το κενό μεταξύ των δύο.

Τα διαφορετικά είδη υπηρεσιών έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά το εύρος ζώνης, τις καθυστερήσεις και την επεξεργαστική ισχύ. Έτσι, το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά και τις μεθόδους πρόσβασης για να τις εξυπηρετήσει ανάλογα. Η δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης είναι χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής του IMS και επιτρέπει στις υπηρεσίες που εξυπηρετεί να προσαρμόζονται σύμφωνα με τις δυνατότητες των συσκευών λήψης. Στα δίκτυα επόμενης γενιάς λοιπόν, δεν έχει σημασία ο τύπος του δικτύου αλλά ο τύπος της διαθέσιμης συσκευής.

Διαλειτουργικότητα Εφαρμογών

Οι ενοποιημένες και προσωποποιημένες υπηρεσίες που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα σε συνδυασμό με την διαλειτουργικότητα δικτύων και εφαρμογών έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αξίας των προσφερόμενων υπηρεσιών για το χρήστη. Αυτό αυξάνει την ανάπτυξη ολόκληρης της αγοράς καθώς όλοι και περισσότεροι χρήστες χρησιμοποιούν πολλαπλάσιο αριθμό υπηρεσιών από ότι στο παρελθόν. Αυτή η ανάμειξη υπηρεσιών μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση εσόδων έως και 3 φορές⁵.

Χαμηλότερο Κόστος Ανάπτυξης και Λειτουργίας

Ο κύριος μοχλός που κινεί την αγορά των τηλεπικοινωνιών προς την ανάπτυξη NGN με βάση το IMS είναι φυσικά ο περιορισμός του κόστους. Η μικρή διαλειτουργικότητα των δικτύων μέχρι σήμερα, τόσο μεταξύ τους όσο και ανάμεσα στα διάφορα επίπεδά τους εσωτερικά, οδηγούσε στην ανάπτυξη κάθετων αρχιτεκτονικών. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την παροχή της ίδιας λειτουργικότητας (π.χ αυθεντικοποίηση χρήστη, μηχανισμοί διόρθωσης λαθών, υπηρεσίες χρέωσης κτλ.) από διαφορετικές οντότητες μέσα στο ίδιο ή σε διαφορετικού τύπου δίκτυα

⁵ Πηγή: Siemens σύμφωνα με στοιχεία των πελατών της.

αυξάνοντας τόσο το κόστος ανάπτυξης όσο και την πολυπλοκότητας διαχείρισης. Το IMS, αντίθετα, αποτελείται από ανεξάρτητες λειτουργικές μονάδες (βλ. Ενότητα 3.3) που δομούνται τμηματικά και επιτρέπουν την ανακάλυψη και επικοινωνία των χρηστών με τις εφαρμογές αλλά και των εφαρμογών μεταξύ τους, ενώ επιπρόσθετα αυτές οι μονάδες επαναχρησιμοποιούνται σε πολλαπλές υπηρεσίες. Αυτή η επαναχρησιμοποίηση πόρων επιτρέπει τη μείωση των *CAPEX* και *OPEX* του operator, ενώ παράλληλα η τμηματική ανάπτυξη του δικτύου παρέχει ευελιξία στον operator να πραγματοποιεί σταδιακά τις επενδύσεις του στη νέα υποδομή σύμφωνα με τις ενδείξεις της αγοράς.

Τέλος, η προσφορά νέων καινοτόμων υπηρεσιών που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών αυξάνει την αξία που προσθέτει το δίκτυο στο χρήστη και μαζί και το *ARPU* για τον operator.

Μείωση της απώλειας πελατών (*churn*)

Ένα θέμα που απασχολεί τους operators είναι ο αριθμός των πελατών που επιλέγουν να αλλάξουν πάροχο για κάποιο ανταγωνιστή, ενέργεια που οφείλεται στην δυσαρέσκεια του χρήστη. Με την ανάμειξη υπηρεσιών – σύμφωνα μάλιστα με τις επιθυμίες του χρήστη – που επιτυγχάνεται από το IMS ο αριθμός των δυσαρεστημένων χρηστών μειώνεται δραστικά. Όσο περισσότερες υπηρεσίες αγοράζει ένας πελάτης από ένα μοναδικό πάροχο τόσο λιγότερο πιθανό είναι να τον αλλάξει⁶. Μάλιστα όσο πιο αυτόματα, γρήγορα και απλά γίνονται οι λειτουργίες των νέων υπηρεσιών (π.χ μία αυθεντικοποίηση στην αρχή, διατήρηση κοινού brand menu για όλες τις υπηρεσίες κ.α) τόσο μειώνεται η επιθυμία του χρήστη να αλλάξει εταιρεία, καθώς αυξάνει το switching cost για την εκμάθηση του νέου συστήματος.

Έλεγχος στην αγορά υπηρεσιών

Ίσως το σημαντικότερο όφελος των operators από την ανάπτυξη του IMS είναι η δυνατότητα που τους δίνεται να επαναποθετηθούν στην αλυσίδα αξίας της τηλεπικοινωνιακής αγοράς, σε σαφώς πλεονεκτικότερη θέση. Με τον τρόπο που σχεδιάζονται σήμερα οι εφαρμογές, όλη η λειτουργικότητα της υπηρεσίας βρίσκεται στην ίδια την εφαρμογή, δηλαδή στους servers και clients. Αυτό καθιστά τον operator του δικτύου έναν απλό μεταφορέα bit, μειώνοντας έτσι την αξία του στην αγορά των

⁶ Ο ρυθμός απώλειας πελατών (*churn rate*) για μια μοναδική υπηρεσία είναι 1,7-2,5%, ενώ για πολλαπλές υπηρεσίες 1-1,5%. Αξίζει να σημειωθεί ότι βελτίωση του *churn rate* κατά 5% μεταφράζεται σε αύξηση κερδών 80%. Πηγή: Lucent Technologies.

υπηρεσιών. Εταιρείες όπως η E-bay, Google, Yahoo, Pay-Pal κτλ θησαυρίζουν προσφέροντας killer-applications και αποκομίζοντας το σύνολο των κερδών με τους Operators που τους εξυπηρετούν να παίρνουν μόνο ένα σταθερό ποσό από τις συνδρομές των πελατών τους.

Με την μετάβαση στον IMS, η κατάσταση αυτή αλλάζει. Μέρος της λειτουργικότητας μετατοπίζεται πλέον στο εσωτερικό του δικτύου, επιτρέποντας έτσι τους Operators να διεκδικήσουν ένα κομμάτι των εσόδων από την παροχή υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, έχοντας τον έλεγχο του δικτύου είναι σε θέση να επηρεάσουν την ποιότητα της υπηρεσίας, αναβαθμίζοντας τη διαπραγματευτική τους θέση απέναντι στους παροχείς υπηρεσιών.

3.4.3 Οφέλη για τους Παροχείς Υπηρεσιών

Ανεξαρτησία Υπηρεσίας από Δίκτυο Πρόσβασης

Σήμερα, με εξαίρεση το Internet, όλες οι υπηρεσίες που προσφέρονται στα δίκτυα τηλεφωνίας και καλωδιακής τηλεόρασης εξαρτώνται από τον διαχειριστή του δικτύου. Η χρήση κλειστών προτύπων περιορίζει την χρήση της υπηρεσίας μόνο από όσους έχουν πρόσβαση στο συγκεκριμένο δίκτυο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κάθε operator ενός δικτύου να αναπτύσσει υπηρεσίες και εφαρμογές μόνος του ή με αποκλειστικές συνεργασίες με τρίτες εταιρείες που παραμένουν εξαρτημένες από αυτόν. Η ανάγκη στήριξης μια μοναδικής πλατφόρμας υπηρεσιών και η ιδιαιτερότητα κάθε δικτύου καθυστερούν τους χρόνους ανάπτυξης και ενσωμάτωσης κάθε υπηρεσίας. Αυτή η κατάσταση μπορεί να λειτουργεί για μικρό αριθμό υπηρεσιών αλλά έχει προφανή μειονεκτήματα όσο ο αριθμός αυτός αυξάνει.

Με το IMS και την απεξάρτηση της υπηρεσίας από το δίκτυο, αλλά και με την διασύνδεση όλων των δικτύων πρόσβασης μεταξύ τους μέσω IMS, τα προβλήματα αυτά αναιρούνται. Οι operators χάνουν την ολιγοπωλιακή θέση τους και δεν είναι σε θέση να καθορίζουν τις εξελίξεις. Αυτό θα οδηγήσει στην ένταση του ανταγωνισμού ανάμεσα στις εταιρείες, αλλά και σε αυξημένα κέρδη για όποια εταιρεία κατορθώσει να κερδίσει την εμπιστοσύνη του καταναλωτικού κοινού αφού αυτή η υπηρεσία θα είναι προσβάσιμη από όλα τα δίκτυα.

Μικρότερος χρόνος ανάπτυξης υπηρεσιών

Η ευελιξία που προσφέρει το IMS στην ανάπτυξη νέων υπηρεσιών μέσω της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης λειτουργιών οι οποίες μάλιστα είναι διαθέσιμες από το ίδιο το δίκτυο (π.χ αυθεντικοποίηση, μηχανισμοί χρέωσης, δυνατότητα συνδυασμού με άλλες υπηρεσίες κτλ) έχει σαν αποτέλεσμα και την μείωση του χρόνου ανάπτυξης και ενεργοποίησης μιας υπηρεσίας (time to market). Αυτό επιτρέπει στον πάροχο της υπηρεσίας να ακολουθεί πιο στενά τις ανάγκες των χρηστών αλλά και να αποκτήσει το lead-in στην αγορά αυξάνοντας όχι μόνο τις πιθανότητες επιτυχίας της υπηρεσίας αλλά και τα οικονομικά οφέλη που αυτή θα αποφέρει. Ένας πάροχος υπηρεσίας που αποκτά το lead-in έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους προελκύοντας τα τμήματα του καταναλωτικού κοινού που ακολουθούν την τεχνολογία, μέχρι οι ανταγωνιστές του να κατασκευάσουν ένα ανταγωνιστικό προϊόν και να ξεκινήσουν οι μειώσεις των τιμών.

3.4.4 Η διελκυνστίδα της αγοράς

Παρατηρώντας τα οφέλη που αποκομίζει ο κάθε συμμετέχον στην αλυσίδα αξίας της τηλεπικοινωνιακής αγοράς διακρίνουμε μια αλλαγή ισορροπιών. Είναι σαφές ότι η αλλαγή αυτή, όπως κάθε αλλαγή, προσφέρει ευκαιρίες. Από την παραπάνω ανάλυση των πλεονεκτημάτων του IMS, προκύπτει ότι όλοι βγαίνουν κερδισμένοι. Οι χρήστες λόγω αυξημένου ανταγωνισμού και περισσότερων υπηρεσιών, οι operators λόγω χαμηλότερου κόστους και της απόκτησης ελέγχου στην αγορά των υπηρεσιών αλλά και οι παροχείς υπηρεσιών λόγω της αποδέσμευσής τους από τους Operators. Αυτό σημαίνει ότι το IMS δεν είναι μια τεχνολογία που θα επανιδρύσει την αγορά. Η αγορά θα παραμείνει περίπου ως έχει με τους μεγάλους παίκτες να παραμένουν μεγάλοι και τους μικρούς να αποσπούν μικρά μερίδια.

Στην πραγματικότητα, από τις τρεις ομάδες, οι operators είναι αυτοί που ωφελούνται περισσότερο σε σχέση με τους υπόλοιπους, καθώς αυτοί είναι που αντιμετωπίζουν το σημαντικότερο πρόβλημα με την υπάρχουσα κατάσταση στην αγορά. Τόσο πολύ μάλιστα που απειλείται το μέλλον τους. Ανοίγοντας τα δίκτυα στον ανταγωνισμό και χάνοντας τα σίγουρα έσοδα από τις υπηρεσίες φωνής λόγω VoIP, οι κάτοχοι και operators των δικτύων μένουν με μοναδική δραστηριότητα την παροχή γραμμών δεδομένων, δηλαδή απλοί «μεταφορείς bit». Με τα μικρά περιθώρια κέρδους εξαιτίας

του υψηλού κόστους συντήρησης αλλά και τον πόλεμο τιμών λόγω εμφάνισης εναλλακτικών δικτύων πρόσβασης (ασύρματα, κινητά) η κατάσταση επιδεινώνεται.

Το IMS είναι η σανίδα σωτηρίας, καθώς επιτρέπει τον έλεγχο σημαντικού μέρους της λειτουργικότητας των εφαρμογών από τον operator του δικτύου. Οι operators κάνοντας το δίκτυο «έξυπνο» αποσκοπούν στην εξασφάλιση εσόδων για την προσφορά των «έξυπνων» υπηρεσιών στους παρόχους υπηρεσιών απαιτώντας πληρωμή για αυτό. Με τον τρόπο αυτό παρεμβαίνουν στην φιλοσοφία του σημερινού Internet που θέλει την νοημοσύνη στα άκρα και το δίκτυο να παραμένει απλό. Το θέμα της ουδετερότητας του δικτύου είναι τεράστιο και στην ενότητα αυτή θίχτηκε μόνο επιφανειακά, όσο απαιτούνταν για τις ανάγκες αυτού του κεφαλαίου.

3.5 Προβλήματα στη μετάβαση στον IMS

Η ανάπτυξη του IMS παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα και ευκαιρίες για όλους τους εμπλεκομένους. Υπάρχουν όμως και μια σειρά ανοιχτά θέματα, η αντιμετώπιση των οποίων θα κρίνει την έκταση που θα έχει η αποδοχή του τόσο από τη βιομηχανία όσο και από τους χρήστες.

Κόστος Ανάπτυξης

Το κόστος ανάπτυξης του IMS είναι τεράστιο παρόλο που η τμηματική διάρθρωση της αρχιτεκτονικής του, επιτρέπει αυτή η ανάπτυξη να γίνει σταδιακά και άρα και το κόστος να μοιραστεί σε βάθος χρόνου. Όπως κάθε επιχειρηματική επένδυση, πρέπει να αποσβέσει το κόστος αυτό στο πολλαπλάσιο σε όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο.

Τα πράγματα στο πεδίο αυτό δεν είναι απολύτως ενθαρρυντικά. Οι operators των δικτύων καλούνται να αλλάξουν ολόκληρο το δίκτυό τους και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν για ένα πρότυπο που είναι ακόμα υπό εξέλιξη και για υπηρεσίες που μπορούν εν μέρη να προσφερθούν με το σημερινό δίκτυο και οι οποίες δεν είναι αποδεδειγμένα απαραίτητες για τους χρήστες. Από την άλλη, η αρχιτεκτονική του IMS έχει προχωρήσει σε τέτοιο σημείο που δεν φαίνεται να έχει αντίπαλο καθώς έχει γίνει αποδεκτή από όλους τους μεγάλους παίκτες του χώρου. Μάλιστα η δυνατότητα τμηματικής ανάπτυξης που δίνει η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει στον κάθε operator να ακολουθήσει τον δικό του ρυθμό στην πορεία προς τον IMS ανάλογα με τις δικές του εκτιμήσεις για την πορεία της αγοράς, τα διαθέσιμα κεφάλαια και το ρίσκο που είναι διατεθειμένος να πάρει.

Τεχνολογικά Θέματα – Τερματικές συσκευές

Ένα επιπλέον θέμα είναι οι δυνατότητες των τερματικών συσκευών να υποστηρίζουν τις νέες πολυμεσικές υπηρεσίες. Ο πλούτος των υπηρεσιών που γίνονται διαθέσιμες μέσω του IMS σημαίνει ότι θα χρειαστούν υψηλά standards σε MMI (Man-Machine Interface) όπως οθόνες υψηλής ανάλυσης, αποδοτικά ηχοσυστήματα, μίνι-browsers, εύχρηστα καταδεικτικά συσκευών και αρκετή μνήμη για να τρέχουν οι διαθέσιμες υπηρεσίες και να αποθηκεύονται οι clients των νέων εφαρμογών. Ασφαλών η πορεία των συσκευών της κινητής τηλεφωνίας είναι προς αυτή την κατεύθυνση. Τσως κρίνεται σκόπιμο να οριστεί ένα ελάχιστο επίπεδο δυνατοτήτων για τις τερματικές συσκευές, το οποίο να ικανοποιείται από όλες τις εφαρμογές.

Τεχνολογικά Θέματα – QoS

Τα υπάρχοντα δίκτυα με τα οποία θα συνδεθεί το IMS δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις ελάχιστης καθυστέρησης και jitter που χρειάζονται οι εφαρμογές πολυμέσων και η VoIP φωνή. Έτσι ακόμα και αν το δίκτυο του IMS παρέχει εγγυήσεις QoS, όταν η κίνηση βγαίνει έξω από αυτό τότε οι εγγυήσεις παύουν να ισχύουν. Στα σταθερά δίκτυα, οι operators έχουν εισάγει την τεχνολογία του VoIP με ποιότητα αντίστοιχη του PSTN δικτύου κατασκευάζοντας MPLS δίκτυα, δηλαδή αυτόνομα δίκτυα μέσα στο δίκτυο τους τα οποία έχουν αρκετό εύρος ζώνης για να αποφεύγονται οι καθυστερήσεις και ελέγχουν την πρόσβαση σε αυτό. Επίσης επιταχύνει τις αποφάσεις δρομολόγησης στους κόμβους μειώνοντας το χρόνο επεξεργασίας και άρα και το jitter. Η λύση αυτή δεν λύνει ολόκληρο το πρόβλημα, παρέχει όμως μια διέξοδο για τη διασύνδεση με τα υπάρχοντα δίκτυα.

Αποδοχή από τους χρήστες

Το IMS προσφέρει μια κατεύθυνση προς ενοποιημένες εφαρμογές επικοινωνίας εμπλουτισμένες με πολυμεσικό περιεχόμενο με μια όσο το δυνατόν πιο φυσική και απλή προς τον χρήστη διαδικασία, ανεξαρτήτως του δικτύου που τον εξυπηρετεί. Αυτή ακριβώς η ενοποίηση που αυτοματοποιεί πολλές πολύπλοκες διαδικασίες είναι που μπορεί να μετατρέψει έναν αγανακτισμένο χρήστη που προσπαθεί να εκτελέσει πολλαπλές λειτουργίες σε μια δύσχρηστη συσκευή σε έναν ικανοποιημένο πελάτη διατεθειμένο να πληρώσει για περισσότερες υπηρεσίες. Δεδομένου όμως ότι πολλές από τις νέες υπηρεσίες μπορούν να υποστηριχτούν και χωρίς το IMS ή με τμηματικά

υποκατάστατά του, υπάρχει η πιθανότητα να μην συγκεντρωθεί η κρίσιμη μάζα καταναλωτών που να επιτρέψει την περεταίρω επέκτασή του.

Το προηγούμενο της αποτυχίας των υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} γενιάς σε αντιδιαστολή με την ταχύτατη διάδοση της 2^{ης} είναι χαρακτηριστικό. Οι καταναλωτές εκτίμησαν τη δυνατότητα τηλεφωνικής επικοινωνίας εν κινήσει και κάποιες περιορισμένες, απλές υπηρεσίες (SMS) που τους πρόσφερε για πρώτη φορά η 2^η γενιά⁷ και την αντάμειψαν με μια καθολική διείσδυση (γύρω στο 80% του πληθυσμού στην Ευρώπη). Αντίθετα απέρριψαν τις πολυδιαφημιζόμενες αλλά περιορισμένες και χωρίς αξία για αυτούς υπηρεσίες της 3^{ης} γενιάς οδηγώντας τεράστιες επενδύσεις στην αχρηστία.

Οι χρήστες έχουν καταναλωτική συνείδηση και αυτό το γνωρίζουν πλέον καλά όλοι οι εμπλεκόμενοι στη βιομηχανία. Μάλιστα επειδή οι νέες υπηρεσίες παρουσιάζουν network externalities⁸, δηλαδή η αξία που δημιουργεί η υπηρεσία στο χρήστη εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που τη χρησιμοποιούν, πρέπει να υπάρξει συντονισμός από όλους τους παρόχους για το roll-out των υπηρεσιών αυτών ώστε να απευθύνονται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η ζήτηση υπάρχει⁹, απαιτούνται σωστές κινήσεις και σωστό timing για να μεταφραστεί αυτό σε αυξημένες πωλήσεις.

Σύγκλιση Ενσύρματης – Κινητής Τηλεφωνίας

Η σύγκλιση ασύρματης – ενσύρματης επικοινωνίας σε ένα ενιαίο δίκτυο είναι ίσως το πιο σημαντικό στοιχείο της εφαρμογής του IMS. Η επίτευξή του όμως δεν είναι δεδομένη. Τα δύο είδη επικοινωνίας παρουσιάζουν θεμελιώδεις διαφορές όχι μόνο τεχνολογικά αλλά και από πλευράς φιλοσοφίας σχεδίασης: οι κινητές συσκευές ελέγχονται από τους operators του δικτύου, έχουν περιορισμένες δυνατότητες και λειτουργίες, είναι ευαίσθητες στην κατανάλωση ενέργειας, στο θόρυβο και την απόσταση από τη βάση. Αντίθετα στις συσκευές σταθερής επικοινωνίας οι operators δεν έχουν κανένα έλεγχο και οι δυνατότητες και οι διαθέσιμες λειτουργίες είναι απεριόριστες. Εκτός αυτού, υπάρχουν διαφορετικοί περιορισμοί από τις ρυθμιστικές

⁷ Η πρώτη γενιά στην Ευρώπη δε γνώρισε εμπορική ανάπτυξη σε αντίθεση με τις Η.Π.Α. Έτσι η κινητή τηλεφωνία στην Ευρώπη εισήλθε κατευθείαν στη δεύτερη γενιά.

⁸ Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. κεφάλαιο 5.7 στο βιβλίο “Pricing Communication Networks” των Courcoubetis, Weber, Coe.

⁹ Σύμφωνα με έρευνα της MORI για λογαριασμό της Nokia, το 33-43% των χρηστών κινητής τηλεφωνίας σε Μεγάλη Βρετανία, Γερμανία και ΗΠΑ θα χρησιμοποιούσε IP υπηρεσίες μέσα στα επόμενα 2 χρόνια. Οι πιο αποδεκτές υπηρεσίες είναι το Push to Talk, το Instant messaging και το Video Sharing.

αρχές, το QoS, τις υποστηριζόμενες συσκευές, τις απαιτήσεις ασφάλειας και διαχείρισης του δικτύου. Έτσι αναμένεται, οι παροχείς σταθερών υπηρεσιών θα κυνηγήσουν την σύγκλιση με την κινητή τηλεφωνία, ενώ οι παροχείς κινητής τηλεφωνίας θα είναι οι τελευταίοι που θα μετατρέψουν το δίκτυο τους ακόμα και σε VoIP καθώς διαθέτουν μικρό σχετικά εύρος ζώνης ανά χρήστη και άρα ωφελούνται λιγότερο από τη σύγκλιση.

Αυτός ο διαφορετικός ρυθμός σύγκλισης ανάμεσα σε σταθερούς και κινητούς – αλλά και παλαιούς πρώην μονοπωλιακούς και νέους παίκτες – πιθανόν να επηρεάσει και την αποτελεσματικότητα της διεπικοινωνίας. Οι διαφορετικές ανάγκες θα οδηγήσουν στην παρουσίαση διαφορετικών λύσεων από τις εταιρίες προμήθειας εξοπλισμού, με διαφορετικό βαθμό ενσωμάτωσης των χαρακτηριστικών της αρχιτεκτονικής του IMS, που θα έχει σαν αποτέλεσμα την δυσκολότερη επικοινωνία μεταξύ τους.

Επιπρόσθετα, το IMS προέρχεται από τον κόσμο της κινητής τηλεφωνίας και έχουν γίνει κάποιες τροποποιήσεις σε βασικές λειτουργικές μονάδες (HSS, S-CSCF, P-CSCF, MGCF, SLF) ώστε να υποστηρίζει τις ενσύρματες επικοινωνίες. Παρόλα αυτά οι operators των ενσύρματων δικτύων συνεχίζουν να αντιμετωπίζουν προβλήματα στην ενσωμάτωση του IMS στο κορμό του δικτύου τους. Αν αυτά τα προβλήματα δεν επλυθούν και προκληθεί ρήγμα στην σύγκλιση των δύο ειδών δικτύωσης, τότε το μέλλον του IMS τίθεται σε αμφιβολία.

3.6 Σενάρια Υλοποίησης του IMS

Όπως αναφέρθηκε, ένα από τα πλεονεκτήματα του IMS είναι η δυνατότητα τμηματικής υλοποίησής του σε βάθος χρόνου. Το στοιχείο αυτό μαζί με την ευελιξία ως προς την διάρθρωση του δικτύου δίνουν τέσσερα διαφορετικά σενάρια που πρέπει να εξετάσει ο υποψήφιος επενδυτής σχετικά με την απόφασή του να προχωρήσει στην υλοποίηση. Δεν υπάρχει βέλτιστη απόφαση. Κάθε σενάριο έχει τις δικές του παραμέτρους κόστους και ρίσκου και ταιριάζει σε operators με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

3.6.1 No-IMS

Σε αυτή την περίπτωση, ο operator αποφασίζει να μην ενσωματώσει το IMS στο δίκτυο του με στόχο να αποφύγει την δαπάνη μεγάλων κεφαλαίων στην ανάπτυξη δικτύου. Το σενάριο αυτό ταιριάζει σε μικρούς τοπικούς παρόχους που δεν έχουν την

κεφαλαιακή βάση των μεγάλων διεθνών παικτών. Στόχος είναι η εστίαση στις βασικές και ανταγωνιστικές λειτουργίες και ο περιορισμός της πολυπλοκότητας του δικτύου. Παρόλο που η λύση αυτή εμπεριέχει μεγάλο επενδυτικό ρίσκο λόγω του μικρού εύρους προσφερόμενων υπηρεσιών, αποτελεί όμως μια συνεπή στρατηγική αφού ο οργανισμός επικεντρώνεται σε αυτό που κάνει καλά, την παροχή αποτελεσματικών δικτυακών λειτουργιών.

Το μικρότερο εύρος ζώνης και η αδυναμία του δικτύου να θέσει προτεραιότητες επιβαρύνει με μεγάλες καθυστερήσεις και jitter τις υπηρεσίες VoIP φωνής και πολυμέσων, ειδικά σε ζεύξεις του δικτύου με μεγάλη κίνηση. Έτσι ακολουθώντας τη φιλοσοφία της απλότητας παρέχονται μόνο υπηρεσίες οικονομικής πρόσβασης όπως βασικές υπηρεσίες ποιοτικής φωνής και υπηρεσίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας. Στόχος είναι η ανάπτυξη υπηρεσιών και εταιρικών σχέσεων που θα μεγιστοποιούν την κίνηση, γι' αυτό επιδιώκονται συμφωνίες συνεργασίας με τρίτους operators και παροχείς υπηρεσιών. Η τιμολογιακή πολιτική ακολουθεί την αγορά, και επειδή τα περιθώρια κέρδους είναι χαμηλά, τα έξοδα πρέπει να διατηρηθούν στον ελάχιστο και η κίνηση στο μέγιστο της δυνατότητας του δικτύου. Μεγαλύτερο βάρος θα πρέπει να δοθεί στις υπηρεσίες δεδομένων μια και τα έσοδα από τις υπηρεσίες φωνής θα παρουσιάζουν κάμψη τα επόμενα χρόνια λόγω συμπίεσης των τιμών.

Παρόλο που κάποιες υπηρεσίες του IMS μπορούν να προσομοιωθούν σε non-IMS δίκτυα, ο πάροχος θα πρέπει να κρατήσει συνεπή στρατηγική και να αποφύγει κινήσεις που αυξάνουν το κόστος. Η εξοικονόμηση κεφαλαίων δίνει τη δυνατότητα βελτίωσης του υφιστάμενου δικτύου (π.χ επέκταση, αύξηση του εύρους ζώνης ανά χρήστη κτλ) και των προσφερόμενων υπηρεσιών, ενώ και η αξιοποίησή τους σε άλλους τομείς όπως η διαφήμιση για προσέλκυση πελατών μπορεί να αποφέρει πολλαπλάσια οφέλη στα έσοδα.

3.6.2. Full-IMS

Στον αντίποδα του No-IMS, βρίσκεται η λύση του Full-IMS, όπου υλοποιούνται όλα τα υποσυστήματα της αρχιτεκτονικής που αναλύθηκε παραπάνω αμέσως μόλις το τελικό προϊόν γίνει διαθέσιμο¹⁰. Το σενάριο αυτό ταιριάζει σε ένα μεγάλο operator με μεγάλο μερίδιο αγοράς και διεθνή δραστηριότητα που λόγω των πτωτικών εσόδων από την παραδοσιακή τηλεφωνία ψάχνει τρόπους να ανακτήσει τις απώλειες από

¹⁰ Οι εκτιμήσεις για πλήρη ανάπτυξη του IMS στις Releases 5/6 είναι στα τέλη του 2007



άλλες υπηρεσίες. Το μέγεθος και η πολυπλοκότητα του δικτύου του δεν του επιτρέπουν να παίρνει μεγάλα ρίσκα ως προς τις επενδύσεις υποδομής. Έτσι προτιμά την ενσωμάτωση του IMS όταν αυτός θα είναι πλήρως έτοιμος και οι προμηθευτές του θα μπορούν να εγγυηθούν την διαλειτουργικότητά του.

Η στρατηγική του οργανισμού είναι να διατηρήσει την μεγάλη πελατειακή του βάση αυξάνοντας το ARPU μέσω νέων υπηρεσιών. Επειδή το πελατολόγιο έχει μεγάλο εύρος ως προς τις ηλικίες, το εισόδημα και τη δημογραφική κατανομή, είναι αναγκασμένος να παρέχει πληθώρα προϊόντων σε ανταγωνιστικές τιμές. Με το IMS, το δίκτυο έχει τη δυνατότητα να προσφέρει QoS και προσωποποιημένες, πραγματικού χρόνου υπηρεσίες πολυμέσων. Μάλιστα η προσθήκη των MGW παρόλο που προσθέτει πολυπλοκότητα στο σχεδιασμό επιτρέπει μετατροπές στα format των διακινούμενων media ώστε να είναι προσαρμόζονται στους περιορισμούς του δικτύου αλλά και της τερματικής συσκευής του χρήστη. Έτσι τα πολυμέσα μπορούν να παρέχονται με το μικρότερο δυνατό κόστος αλλά και την κατάλληλη ποιότητα στο χρήστη.

3.6.3. Closed-IMS

Η λύση του closed-IMS περιλαμβάνει την ανάπτυξη όλης της απαιτούμενης υποδομής του IMS, χρησιμοποιώντας όμως κλειστά πρότυπα και απεμπολώντας έτσι την δυνατότητα διασύνδεσης με άλλα IP δίκτυα. Ο operator που επιλέγει αυτή τη λύση προτιμά να προσαρμόσει τα standards και την τεχνολογία προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες της δικής του αγοράς. Οι λόγοι για τους οποίους μπορεί να προβεί ένας Operator σε μια τέτοια κίνηση είναι δύο. Ο πρώτος είναι το πλεονέκτημα της διαφοροποίησης σε σχέση με τους ανταγωνιστές του που θα προτιμήσουν τα προτυποποιημένα standards, δηλαδή η δυνατότητα να παρέχει επιπλέον υπηρεσίες που δεν περιλαμβάνονται στο IMS. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι με τη μη διασύνδεση με άλλα δίκτυα θα διατηρήσει όλο τον έλεγχο και τα έσοδα από τις προσφερόμενες υπηρεσίες για αυτόν, αντί να αφήσει τρίτους να παρέχουν υπηρεσίες μέσω του δικτύου του και να χρεώνουν τους χρήστες για αυτό.

Στόχος του είναι να κερδίσει με αυτό τον τρόπο τμήματα της αγοράς που αναζητούν καινοτόμες, μοναδικές υπηρεσίες χωρίς να απαιτούν διαλειτουργικότητα. Έτσι η τιμολογιακή πολιτική μπορεί να μην ακολουθεί σφικτά τον ανταγωνισμό αφού η διαφοροποίηση δεν επιτρέπει σύγκριση τιμών, με αποτέλεσμα τα υψηλότερα περιθώρια κέρδους. Το προφίλ operator που ταιριάζει περισσότερο σε αυτό το

σενάριο είναι αυτό του τοπικού, ανεξάρτητου παίκτη που απευθύνεται σε συγκεκριμένο κοινό και γι' αυτό πρώτος στόχος του είναι η μεγιστοποίηση του ARPU, παρά η κατάληψη μεγάλου μεριδίου αγοράς. Με τον IMS προσφέρονται πραγματικού χρόνου προσωποποιημένες υπηρεσίες με QoS που καλύπτουν το απαιτητικό κοινό. Βέβαια η χρήση τους περιορίζεται στους χρήστες μέσα στο δίκτυο του operator, αλλά αυτό δεν είναι πρόβλημα εφόσον απευθύνεται σε μια τοπική αγορά. Το κόστος μιας τέτοιας λύσης είναι παρόμοιο με την λύση του Full-IMS, ή λίγο μικρότερο αν επιλεγούν να μην τοποθετηθούν κάποια υποσυστήματα. Υπάρχει βέβαια το ρίσκο της εξέλιξης και ενσωμάτωσης των κλειστών προτύπων στο πολύπλοκο IMS.

3.6.4. Early-IMS

Στην περίπτωση του Early-IMS, ο operator αναπτύσσει το IMS άμεσα με πλήρη διαλειτουργικότητα με άλλα δίκτυα IP. Επειδή όμως ακόμα και σήμερα – και πολύ περισσότερο πριν από 1-2 χρόνια – δεν έχει οριστικοποιηθεί πλήρως η οριστική διαμόρφωση του IMS, ο operator αναπτύσσει πρώτα ένα μικρό τμήμα του IMS και του SIP με ένα μικρό υποσύνολο των χαρακτηριστικών του που του επιτρέπει να παρέχει κάποιες αρχικές υπηρεσίες IMS. Φυσικά πριν την ολοκλήρωση της υλοποίησης δεν επιτρέπεται η αλληλεπίδραση με άλλα δίκτυα, λόγω των τεχνικών ασυμβατοτήτων της μη προτυποποιημένης πρώιμης υλοποίησης. Κατά τη φάση αυτή, κάποια υποσυστήματα του IMS δεν είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν, όπως αυτά που σχετίζονται με τη διαχείριση του QoS και τις προηγμένες υπηρεσίες πολυμέσων αφού δεν είναι έτσι κι αλλιώς δυνατόν να παρέχουν τις υπηρεσίες τους. Επίσης, επειδή η συνδρομητική βάση για τις πρώτες αυτές υπηρεσίες θα είναι μικρή, οι απαιτήσεις για τις IMS πλατφόρμες θα είναι επίσης μικρές μειώνοντας το αναγκαίο αρχικό κόστος. Το σενάριο αυτό ταιριάζει επίσης σε έναν μεγάλο, διεθνή οργανισμό. Σε αντίθεση όμως με το Full-IMS, ο operator που επιλέγει αυτή τη λύση διαθέτει ένα πιο ομογενοποιημένο και σύγχρονο δίκτυο που του επιτρέπει πιο ασφαλή ενσωμάτωση νέων υποσυστημάτων. Επίσης είναι περισσότερο διατεθειμένος να πάρει το ρίσκο της πρώτης υλοποίησης και μαζί την ευκαιρία να είναι ο πρώτος που θα προσφέρει τις καινοτόμες υπηρεσίες του IMS. Στρατηγική του είναι η διαφοροποίηση μέσω νέων καινοτόμων υπηρεσιών που τον φέρνουν μπροστά από τον ανταγωνισμό.

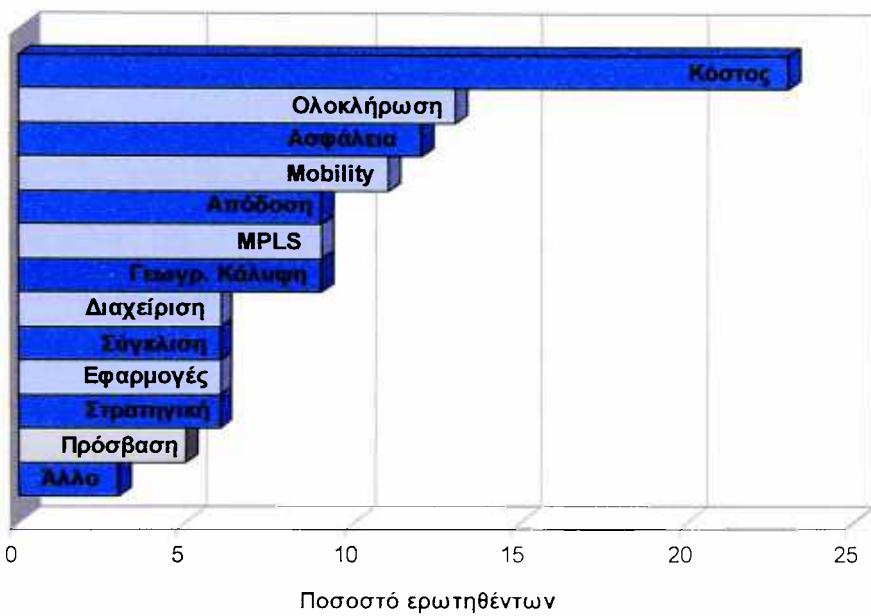
Μετά την ολοκλήρωση της προτυποποίησης όμως, το IMS θα πρέπει να υλοποιηθεί πλήρως, με πιθανή την αποκατάσταση κάποιων υποσυστημάτων που υλοποιήθηκαν

κατά την πρώιμη φάση ανάπτυξης. Το συνολικό κόστος λοιπόν αυτού του σεναρίου είναι μεγαλύτερο από το Full-IMS καθώς περιλαμβάνει και τις επιπλέον αυτές μετατροπές. Δίνει όμως τη δυνατότητα στον πάροχο που θα το επιλέξει να πάρει προβάδισμα στην αγορά παρέχοντας πιο δοκιμασμένες υπηρεσίες, να αποσπάσει εκείνο το τμήμα των πελατών που είναι διατεθειμένοι να υποστηρίξουν νέες υπηρεσίες, αλλά και να εκμεταλλευτεί τα υψηλά περιθώρια κέρδους μέχρι την είσοδο όλων των παικτών της αγοράς.

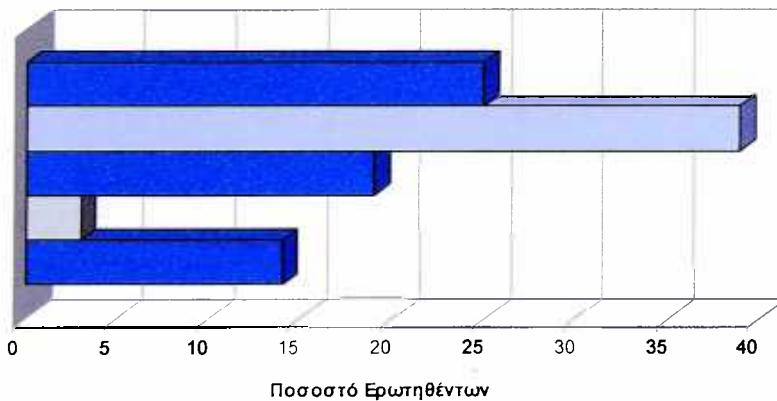
3.7 Επίλογος – Το μέλλον του IMS

Η άνοδος του IMS στην εκτίμηση των ειδικών της αγοράς των τηλεπικοινωνιακών δικτύων τα τελευταία χρόνια είναι εντυπωσιακή. Μέχρι τα τέλη του 2003 θεωρούνταν απλά ένας ενδιαφέρον αλλά περιορισμένων δυνατοτήτων μηχανισμός για την παροχή νέων πολυμεσικών εφαρμογών στην κινητή τηλεφωνία 3^{ης} γενιάς. Πλέον θεωρείται η λύση για τα δίκτυα νέας γενιάς (NGN), ο μηχανισμός για την παροχή υπηρεσιών IP σε κλάσμα του σημερινού κόστους, η βάση για την τελική σύγκλιση ενσύρματων και κινητών δικτύων αλλά και η μεγάλη ελπίδα των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών για να αναστρέψουν την πορεία συρρίκνωσης των εσόδων τους.

Από την άλλη πλευρά, η προτυποποίηση του IMS, ίσως το σημαντικότερο πλεονέκτημά του, θα ολοκληρωθεί ακόμα σε 2 περίπου χρόνια. Είναι ακριβό, πολύπλοκο και βασίζεται σε υποσυστήματα που δεν έχουν δοκιμαστεί ακόμα εκτενώς (IPv6, SIP, QoS). Όλες οι ενδείξεις πάντως συγκλίνουν στο γεγονός ότι το IMS θα είναι η βάση για το NGN, αλλά μέχρι την επίσημη παρουσίασή μιας πρότασης με λυμένα τα τεχνολογικά προβλήματα τίποτα δεν είναι σίγουρο. Επίσης σημαντικό είναι να διατηρηθεί η αποδοχή του IMS από την αγορά καθώς υπάρχει ήδη σκεπτικισμός και διστακτικότητα μετά και από την αποτυχία των επενδύσεων του 2000. Στο γράφημα της εικόνας 3.2 απεικονίζονται τα αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας σχετικά με τους βασικούς λόγους ανησυχίας των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών ως προς την ενσωμάτωση του IMS και την ανάπτυξη του NGN δικτύου γενικότερα, ενώ στο γράφημα της εικόνας 3.3 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις τους σχετικά με την προοπτική πλήρους ανάπτυξης του IMS στο δίκτυό τους.



Εικόνα 3.2 - Γράφημα με τις ανησυχίες των Telcos¹¹



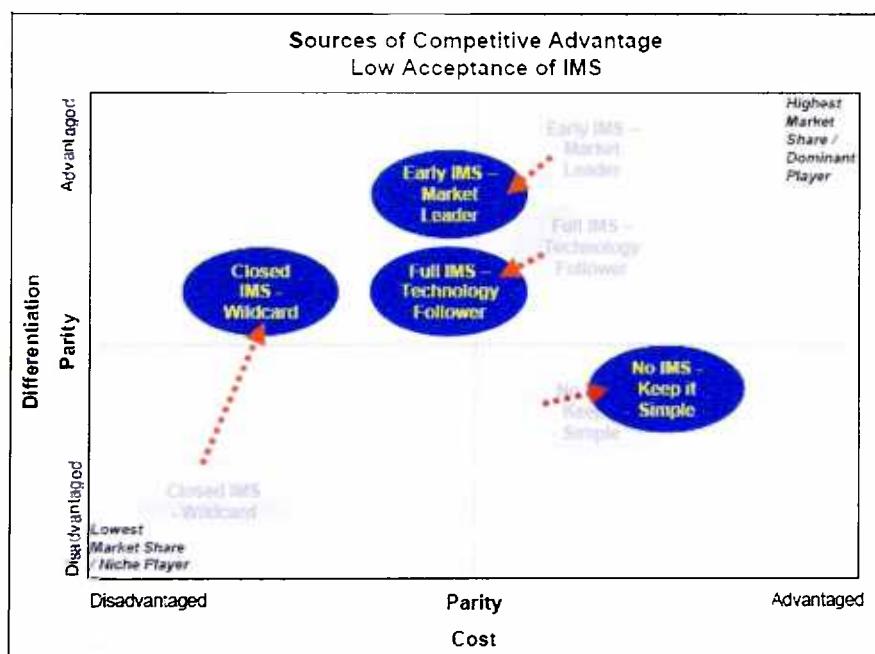
Εικόνα 3.3 – Εκτιμήσεις πλήρους ανάπτυξης του IMS στο δίκτυο των Telcos

Ακολουθεί η ανάλυση δύο σεναρίων, ενός θετικού και ενός αρνητικού, ως προς το μέλλον του IMS, καθώς και του αντίκτυπου που θα έχει καθένα στην αγορά των τηλεπικοινωνιών.

¹¹ Απαντήσεις ερωτηθέντων Telcos για τις 3 κυριότερες ανησυχίες τους σχετικά με το μέλλον του IMS και του NGN. ITU-T Workshop on “Next Generation Networks” Hanoi, Vietnam, 15-16 May 2006

Σενάριο 1 - Γενική Αποδοχή του IMS

Στο πρώτο αυτό σενάριο που είναι και το πιο πιθανό, ο IMS εξελίσσεται σύμφωνα με το όραμα των σχεδιαστών του. Οι λειτουργίες του και η διαλειτουργικότητα με άλλα δίκτυα αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην επιλογή των χρηστών και οι IMS υπηρεσίες παρουσιάζουν τεράστια εξάπλωση. Έτσι οι operators που δεν προσφέρουν τέτοιες υπηρεσίες (βλ. No-IMS και Closed-IMS) χάνουν το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και παρουσιάζουν χαμηλό ARPU. Επιπλέον χάνουν το πλεονέκτημα στο κόστος μια και δεν μπορούν να επωφεληθούν από τις οικονομίες κλίμακας που προσφέρει ένα all-IP δίκτυο¹². Η μόνη λύση είναι να αναπροσαρμοστούν και να αναπτύξουν τον IMS περιορίζοντας τις απώλειες.



Εικόνα 3.4 - Απόκτηση Ανταγωνιστικού Πλεονεκτήματος λόγω IMS

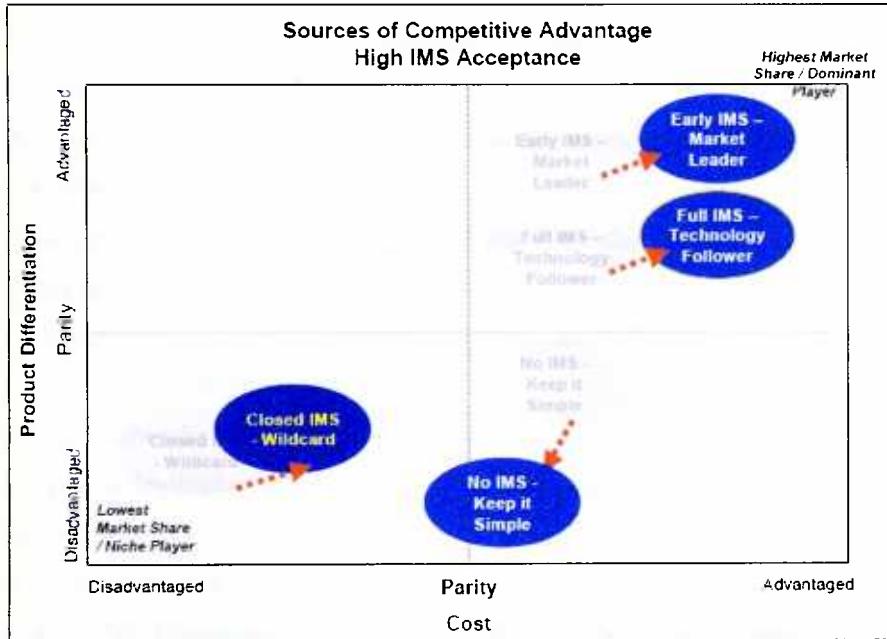
Αντίθετα όσοι έχουν υλοποιήσει τον Early-IMS εκτός από την πρωτοκαθεδρία στην αγορά, έχουν αποκτήσει και έσοδα από τις αρχικές υπηρεσίες. Ακολουθούν αυτοί που επέλεξαν τη λύση του Full-IMS καθώς έχουν κάνει ήδη σχέδια για ενσωμάτωση του IMS στο δίκτυο και η διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί σύντομα.

Σενάριο 2- Προβληματική Αποδοχή του IMS

Το δεύτερο σενάριο περιλαμβάνει την περίπτωση αποτυχίας του IMS η οποία μπορεί να οφείλεται είτε σε τεχνικούς λόγους (ατελής ολοκλήρωση, αποτυχία βασικού μηχανισμού, προβλήματα διαλειτουργικότητας κτλ) είτε σε επιχειρηματικούς

¹² το οποίο μπορεί να μειώσει το κόστος λειτουργίας του δικτύου έως και 90%. Πηγή: Siemens

(απόσυρση ενδιαφέροντος, υιοθέτηση ανταγωνιστικής λύσης κτλ) είτε σε εμπορικούς (μη αποδοχή από τους χρήστες). Σε κάθε περίπτωση, οι νέες καινοτόμες υπηρεσίες του IMS θα αποφέρουν μικρά έσοδα οπότε όσοι έχουν επενδύσει στον IMS δεν θα αποσβέσουν την επένδυση και δε θα αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Το μόνο θετικό είναι το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας του δικτύου.



Εικόνα 3.5 - Απόκτηση Ανταγωνιστικού Πλεονεκτήματος λόγω IMS

Οι πλέον κερδισμένοι από αυτή την εξέλιξη είναι όσοι είχαν επενδύσει στον closed-IMS, οι οποίοι παρόλη τη μικρότερη συνδρομητική τους βάση, έχουν αποσπάσει ένα τμήμα της αγοράς με ενδιαφέρον στις καινοτόμες υπηρεσίες αλλά όχι στη διαλειτουργικότητα του IMS. Αυτοί παρουσιάζουν ένα υψηλότερο ARPU που τους επιτρέπει να βγουν κερδισμένοι σχετικά με τους υπόλοιπους.

Βιβλιογραφία 3^{ου} Κεφαλαίου

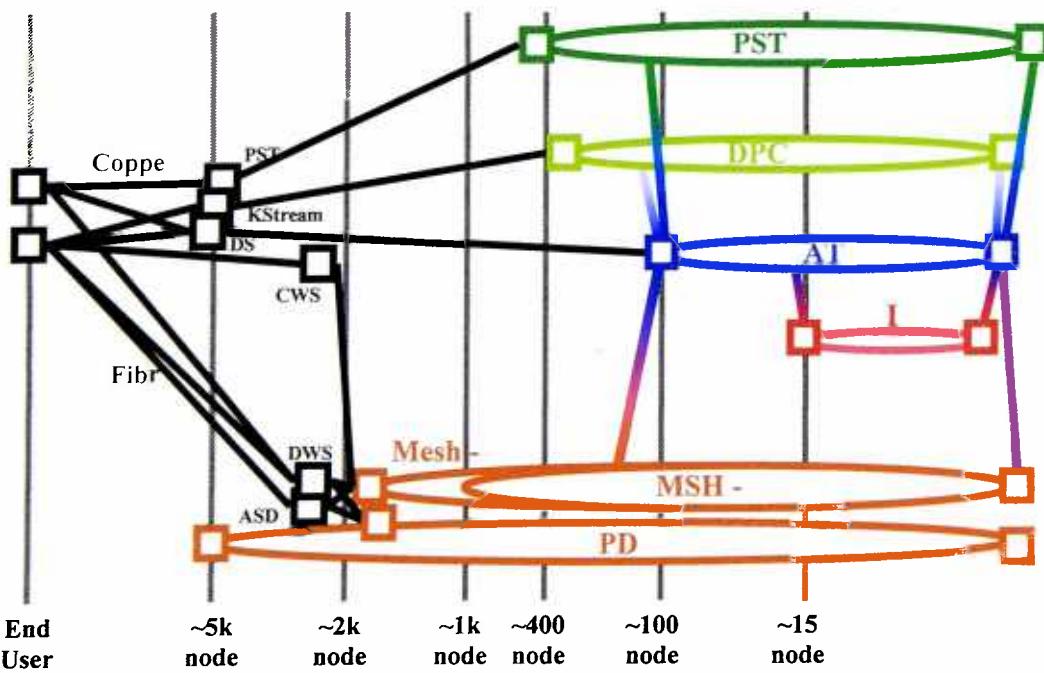
- 3G Americas - “*IP Multimedia Subsystem (IMS) Overview and Applications*” 2004
- 3GPP TS - “*23.228 V6.7.0 - IP Multimedia Subsystem (IMS), Stage 2(Release 6)*” 2004
- Alcatel - “*IMS inside the Enterprise*” Technology white paper” 2006
- Bellman Bob, “From Softswitching to IMS: Are we there yet?” Business Communications Review /April 2006
- Ericsson, - “*IMS – IP Multimedia Subsystem, The value of using the IMS architecture*” White Report, Ericsson 2004
- G. Xylomenos, V. Vogkas - “*Wireless Multimedia in 3G Networks*” Athens University of Economics and Business 2005
- Juniper Networks - “*Building IMS Capable Core networks*” White Paper, 2006
- Lucent Technologies - “*Next Generation Communications networks*” White Paper, 2005
- M. Poikselka, G. Mayer, H. Khatabil, A. Niemi, - “*The IMS IP Multimedia Concepts and Services in the mobile domain*” Chapters 2-3, Wiley 2004
- Nokia – “*IP Multimedia – a new era in communications*” White Paper, 2004
- UMTS Forum - “*Report No.20: IMS Service Vision for 3G Markets*” 2002
- UMTS Forum - “*Annex to Report No.20: IMS Service Vision for 3G Markets*” 2002
- UMTS Forum - “*Report No.27: Strategic Considerations for IMS – the 3G evolution*” 2003

4

Case Study: BT 21 CN

4.1 Εισαγωγή

Το 21CN [1] είναι το Next Generation Network (NGN) της British Telecom, του πρώην κρατικού και μεγαλύτερου τηλεπικοινωνιακού οργανισμού της Μ. Βρετανίας και ενός από τους μεγαλύτερους στον κόσμο. Στόχος του προγράμματος είναι ο μετασχηματισμός του σημερινού δίκτυου από το παραδοσιακό PSTN στο IP. Το σημερινό δίκτυο της BT, όπως και κάθε άλλου τηλεπικοινωνιακού οργανισμού, αποτελείται από 16 ξεχωριστά δίκτυα που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες, όπως PSTN, DPCN, ATM, IP/MPLS, MSH-SDH, PDH κτλ. Αυτό οφείλεται στην κάθετη οργάνωση της αρχιτεκτονικής του Δικτύου, όπου για την παροχή μιας καινούριας υπηρεσίας, έπρεπε να υλοποιηθεί μια ξεχωριστή στοίβα πρωτοκόλλων που να την υποστηρίζει.



Εικόνα 4.1 – Τεχνολογίες στο δίκτυο της BT πριν την έναρξη του 21CN

Αντικειμενικός σκοπός του προγράμματος είναι να ενσωματώσει τις απαιτούμενες αλλαγές τόσο σε επίπεδο τεχνολογίας όσο και διαδικασιών. Το νέο all-IP δίκτυο, δημιουργεί οικονομίες κλίμακας και μείωση των εξόδων συντήρησης και

υποστήριξης όλων αυτών των τεχνολογιών. Αυτή η ενοποίηση όμως πέρα από οικονομικά, θα φέρει και επιχειρησιακά οφέλη τα οποία αναλύονται στην Ενότητα 4.2.1.

4.2 Το πρόγραμμα

Το πρόγραμμα 21CN της BT είναι το πιο ριζοσπαστικό σχέδιο NGN που έχει ανακοινωθεί μέχρι σήμερα, καθώς περιλαμβάνει την αντικατάσταση ολόκληρου του δικτύου PSTN μέσα σε χρονικό διάστημα 5 χρόνων, ακόμα και στα πιο απομακρυσμένα σημεία της χώρας. Έτσι, αν το εγχείρημα ολοκληρωθεί σύμφωνα με το σχέδιο, το 2011 θα έχουμε το πρώτο, τόσο μεγάλης κλίμακας All-IP δίκτυο που θα καλύπτει όλο το φάσμα των υπηρεσιών ενσύρματης επικοινωνίας (βλ. Εικόνα 4.4).

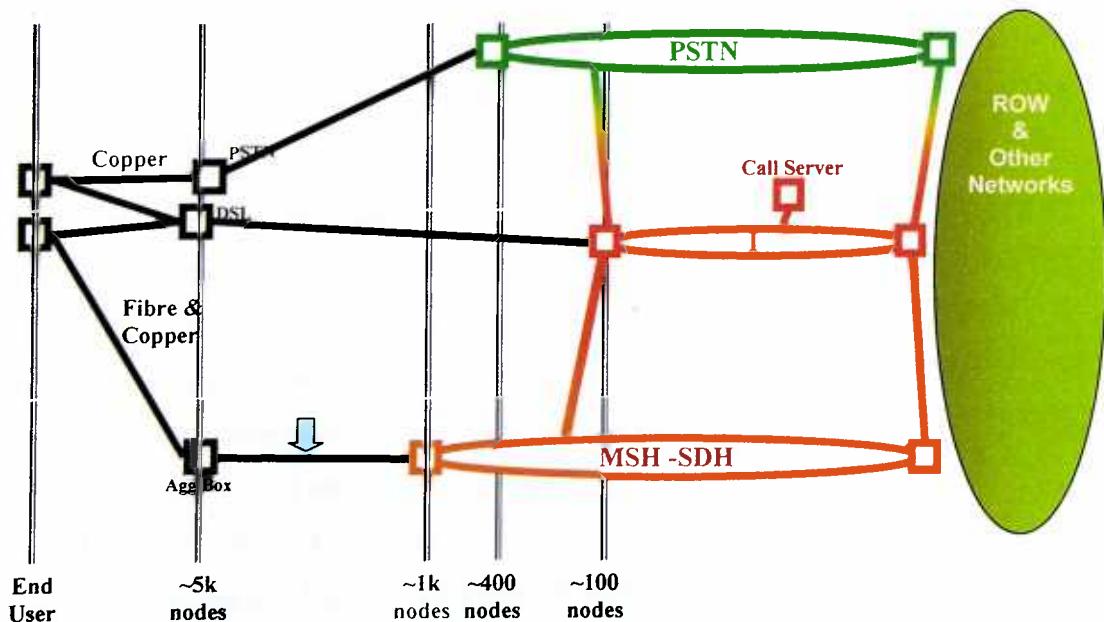
Το πρόγραμμα θα διαρκέσει από τον Ιούνιο του 2004 οπότε ανακοινώθηκε έως τα τέλη του 2010 και αναμένεται να κοστίσει πάνω από 10δις£, ποσό που αποτελεί το 75% των συνολικών εξόδων που θα διαθέσει η British Telecom για το δίκτυο της το διάστημα αυτό.

Το δίκτυο θα δοκιμαστεί σε πραγματικές συνθήκες στην Ουαλία όπου στα τέλη του καλοκαιριού όλη η περιοχή, όπου κατοικούν 350000 άτομα θα έχει περάσει πλήρως στο NGN. Πρόσφατα (Νοέμβριος του 2006) ξεκίνησε επιτυχώς η πρώτη φάση υλοποίησης που περιλαμβάνει το 10% του προαναφερθέντος πληθυσμού. Για ένα εξάμηνο θα δοκιμαστεί ώστε να εντοπιστούν οι «παιδικές ασθένειες της υλοποίησης και μετά από αυτό η διαδικασία θα επιταχυνθεί ώστε μέχρι το 2008 το 50% της ευρυζωνικής κίνησης και το 15% των γραμμών PSTN να περνάει μέσα από το νέο δίκτυο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συνοπτικά τα κύρια milestones του προγράμματος.

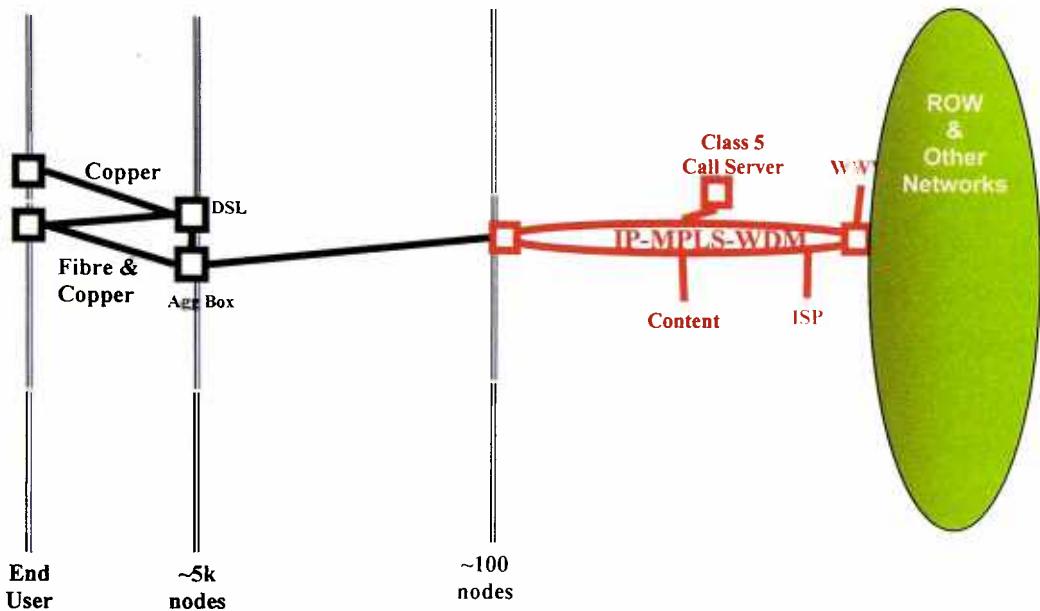


Εικόνα 4.2 – Το χρονοδιάγραμμα των προγράμματος BT 21 CN

Αν και το παραπάνω χρονοδιάγραμμα θεωρήθηκε πολύ αυστηρό και φιλόδοξο, η BT έχει καταφέρει να το ακολουθήσει μέχρι σήμερα. Στην Εικόνα 4.3 φαίνεται η σύσταση του δικτύου της Εικόνας 4.1 όπως θα είναι το 2008, στο μέσον περίπου του προγράμματος. Ακολουθεί η Εικόνα 4.4 με την τελική μορφή κατά τη λήξη το 2011 όπου το δίκτυο κορμού αποτελείται πλέον μόνο από IP δίκτυα.



Εικόνα 4.3 – Ενδιάμεση μορφή των δικτύων



Εικόνα 4.4 – Τελική μορφή του δικτύου 21CN – 2011

4.2.1 Οφέλη από το 21CN

Ο κύριος παράγοντας που οδηγεί την εξέλιξη στο 21CN είναι η μείωση των εξόδων. Σύμφωνα με τις προβλέψεις της BT, μόλις το νέο δίκτυο τεθεί σε λειτουργία θα προσφέρει ετήσια μείωση των λειτουργικών εξόδων κατά 1δις £, όταν ο κύκλος εργασιών του οργανισμού το 2005 ήταν 18 δις £ και τα κέρδη 2,5δις £. Τα έσοδα αυτά θα προέρθουν κυρίως από την μείωση των σημείων παρουσίας της BT λόγω του ότι το σύνολο της λειτουργίας του δικτύου θα γίνεται σε μόλις 100 περίπου κόμβους (από 6000 σήμερα). Αυτό με τη σειρά του σημαίνει μείωση του απαραίτητου προσωπικού κατά περίπου 5.000 υπαλλήλους κάθε χρόνο για τα επόμενα 5 χρόνια, όταν ο συνολικός αριθμός των εργαζομένων στη BT ανέρχεται σε 100.000 άτομα.

Εκτός αυτού όμως, με την ολοκλήρωση του προγράμματος 21CN, η British Telecom θα διαθέτει το πιο σύγχρονο εθνικής κλίμακας δίκτυο στον κόσμο, βασισμένο σε IP. Αυτό της δίνει μια σειρά από οφέλη όπως:

Ευελιξία: Το IP είναι πολύ πιο ευέλικτο από το παραδοσιακό δίκτυο βασισμένο στη μεταγωγή κυκλώματος. Όλες οι υπηρεσίες περνούν μέσα από ένα ενιαίο δίκτυο και έτσι οι δυνατότητες χωρητικότητας και διασύνδεσης μπορούν να συνδυαστούν αποτελεσματικά ώστε να δώσουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά σε κάθε υπηρεσία.

Αποτελεσματικότητα: Το 21CN δίνει τη δυνατότητα οι απαιτήσεις των χρηστών να ικανοποιούνται με πιο οικονομικό και αποτελεσματικό όσον αφορά τη χρήση των πόρων τρόπο.

Συμβατότητα: Το σημαντικότερο ίσως χαρακτηριστικό σε ένα τέτοιο εγχείρημα είναι η συμβατότητα του δικτύου και των διαδικασιών με το NGN. Η αλλαγή δεν θα πρέπει να γίνεται αντιληπτή από τους χρήστες, ενώ επίσης υποχρεώσεις της εταιρίας με άλλους πελάτες θα πρέπει να συνεχίσουν να ικανοποιούνται από το νέο δίκτυο.

Εξέλιξη: Η ριζική αλλαγή του δικτύου της BT, δεν σημαίνει ότι η εξέλιξη θα σταματήσει εκεί. Νέες υπηρεσίες και επιχειρηματικά μοντέλα θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται και το δίκτυο θα πρέπει να εξελίσσεται ανάλογα προκειμένου να τις ακολουθήσει. Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό η νέα δομή να παρέχει την επεκτασιμότητα εκείνη που έλειπε από το προηγούμενο δίκτυο. Η κάθετη αρχιτεκτονική και μηχανισμοί ελέγχου όπως η πλατφόρμα IMS είναι σε θέση να προσφέρουν τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά.

Ποιότητα: Μέσα από τους μηχανισμούς εξασφάλισης QoS (πχ MPLS) οι υπηρεσίες του νέου δικτύου θα παρέχουν ποιότητα φωνής αντίστοιχη ή και καλύτερη του παραδοσιακού μοντέλου.

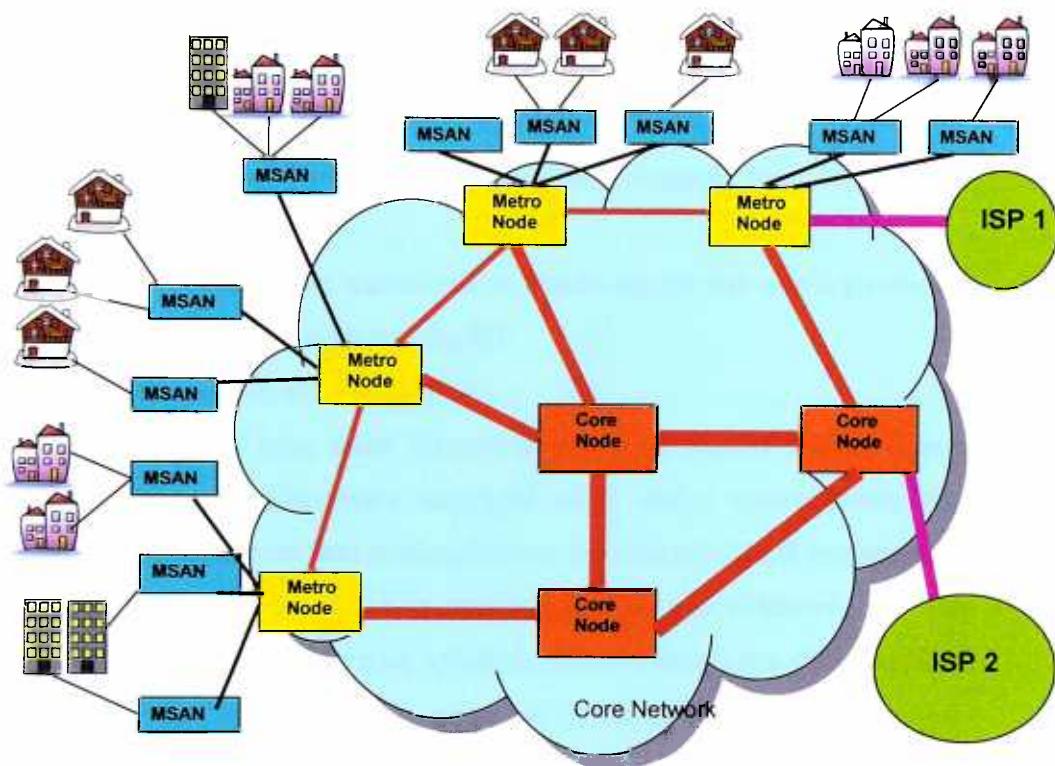
Ασφάλεια: Μερικές δεκαετίες πριν, όταν σχεδιάζονταν η υπάρχουσα αρχιτεκτονική του τηλεφωνικού δικτύου, η ασφάλεια δεν αποτελούσε σημαντική προτεραιότητα. Όταν μέσα από το δίκτυο αυτό άρχισαν να διακινούνται δεδομένα, αναπτύχθηκαν κάποιες λύσεις που προσπαθούσαν να καλύψουν τα κενά ασφάλειας. Με το NGN δίκτυο δίνεται για πρώτη φορά η δυνατότητα να ενσωματωθούν μηχανισμοί ασφάλειας στον κορμό της σχεδίασης του δικτύου, λύνοντας έτσι χρόνια προβλήματα (πχ ενσωματωμένοι μηχανισμοί authorization/authentication, η εφαρμογή anti-spam filters σε επίπεδο δικτύου κτλ.)

4.3 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του BT 21CN αποτελείται από πέντε είδη κόμβων, καθένα από τα οποία έχει διαφορετικό ρόλο και επιτελεί διαφορετικές λειτουργίες. Συνοπτικά αυτά είναι:

- Access Node
- Metro Node
- Core Node

- I-Node
- Υποδομές μεταφοράς (Transmission)



Εικόνα 4.5 – Αρχιτεκτονική του Δικτύου 21CN

4.3.1 Access Node

Είναι το σημείο πρόσβασης στο 21CN δίκτυο, αποτελώντας ταυτόχρονα και το σημείο διασύνδεσης με το σημερινό δίκτυο της BT. Τα Multi-service Access Nodes (MSAN) όπως λέγονται αντικαθιστούν τον ειδικό εξοπλισμό κάθε υπηρεσίας του παραδοσιακού δικτύου (πχ System X για το PSTN ή ISDN και DSLAM για το ευρυζωνικό δίκτυο). Αποτελούν στοιχεία Επιπέδου 2 στη στοίβα πρωτοκόλλων και ο ρόλος τους είναι να ενσωματώνουν τις διάφορες τεχνολογίες του δικτύου πρόσβασης στο κεντρικό (backhaul) δίκτυο όπου αυτό είναι δυνατό (πχ λειτουργώντας ως Media Gateways μετατρέποντας την αναλογική φωνή σε VoIP).

Υπάρχουν 2 είδη MSANs:

- **Copper MSAN:** που τερματίζουν τα καλώδια χαλκού από τα σημεία σύνδεσης των πελατών. Εκτελεί τη λειτουργία των σημερινών DSLAM και PSTN RCUs.
- **Fiber MSAN:** που τερματίζουν τα καλώδια οπτικών ινών από τα σημεία σύνδεσης των πελατών. Εκτελεί τη λειτουργία των σημερινών SDH ADMs και MUX πρόσβασης.

Περίπου 5.500 στοιχεία πρόσβασης θα εγκατασταθούν για να καλύψουν την πρόσβαση στο δίκτυο της BT. Ο αριθμός αυτός είναι ο ίδιος με τον αριθμό των σημείων πρόσβασης που υπάρχουν στο σημερινό δίκτυο.

4.3.2 Metro Node

Μεταξύ των Metro Nodes ορίζεται το δίκτυο κορμού του 21CN. Οι κόμβοι αυτοί παρέχουν:

- IP δρομολόγηση: αποτελούν το πρώτο σημείο στο οποίο γίνεται δρομολόγηση της κίνησης στο δίκτυο της BT.
- Ethernet και SDH switching
- Gateways προς άλλα δίκτυα: Σε αυτό το σημείο γίνεται η διασύνδεση με δίκτυα εναλλακτικών παρόχων αλλά και η εγκατάσταση Provider edge δρομολογητών που αναλαμβάνουν την παροχή MPLS υπηρεσιών.
- Υλοποίηση των IP εφαρμογών: Ο έλεγχος των κλήσεων (call control) γίνεται επίσης σε αυτούς τους κόμβους μέσω softswitches (βλ. κεφάλαιο 2) ή IMS CSCF (βλ. κεφάλαιο 3), αν και τα στοιχεία αυτά αποτελούν τμήμα του i-Node.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου προβλέπει την εγκατάσταση 100 metro nodes σε ολόκληρο το δίκτυο. Αυτός ο σχετικά μικρός αριθμός σε συνδυασμό με το ότι ουσιαστικά όλη η λειτουργία σε επίπεδο δικτύου γίνεται εκεί, έχει προκαλέσει μια σειρά από θέματα που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

4.3.3 Core Node

Είναι ουσιαστικά MPLS δρομολογητές που μεταφέρουν κίνηση πάνω σε οπτική τεχνολογία DWDM. Ο ρόλος τους είναι να προσφέρουν μεγάλης κλίμακας και χωρητικότητας, οικονομικά αποδοτική διασύνδεση ανάμεσα στα Metro Nodes.

4.3.4 i-Node

Το i-Node είναι ο κόμβος όπου βρίσκεται όλη η λειτουργικότητα για την εκτέλεση των υπηρεσιών. Παρέχει δηλαδή τον έλεγχο των υπηρεσιών αυτών χρησιμοποιώντας τους άλλους 4 κόμβους. Περιλαμβάνει softswitches, στοιχεία του IMS, μηχανισμούς network intelligence καθώς και μηχανισμούς διαχείρισης bandwidth. Στα σχέδια της BT είναι η ανάπτυξη i-Nodes με δυνατότητες παροχής υπηρεσιών IMS αν και στην αρχική φάση του προγράμματος δεν έχει συμπεριληφθεί τέτοια υλοποίηση, καθώς πρωταρχικός στόχος είναι η αντικατάσταση του PSTN. Δυνατότητες που μπορεί να

προσφέρει το IMS σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι ενδεικτικά διαχείριση sessions, μηχανισμοί αυθεντικοποίησης, προφίλ χρήστη και βιβλίο διευθύνσεων (address book), presence και location-based υπηρεσίες. Συνδυασμοί αυτών των βασικών υπηρεσιών, προσφερόμενων από το δίκτυο, μπορούν να συνδυαστούν ώστε να προσφέρονται διάφορα είδη και λειτουργίες υπηρεσιών. Περισσότερες λεπτομέρειες για αυτές τις υπηρεσίες και τη χρησιμότητά τους βρίσκονται στο Κεφάλαιο 7. Στα σχέδια της εταιρίας είναι να αναπτυχθούν 10 κόμβοι i-Nodes σε όλη την επικράτεια.

4.3.5 Transmission

Αποτελεί την υποδομή οπτικών ινών που διασυνδέει όλους τους παραπάνω κόμβους στο 21CN καθώς και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό που κάνει τις απαραίτητες μετατροπές για τη μεταφορά της σηματοδοσίας.

4.5 Θέματα Ρύθμισης (Regulation)

Η ανακοίνωση του προγράμματος 21CN για το μετασχηματισμό του Δικτύου της BT αντιμετωπίζεται όπως είναι φυσικό με σκεπτικισμό από τους υπόλοιπους παίκτες της εγχώριας αγοράς τηλεπικοινωνιών. Ο λόγος είναι ότι παρ' όλη την απελευθέρωση της αγοράς εδώ και πάνω από 15 χρόνια, η BT εξακολουθεί να διατηρεί την πλειοψηφία των πελατών και των δικτυακών υποδομών της χώρας. Έτσι οι υπόλοιποι εναλλακτικοί πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών επηρεάζονται άμεσα από αυτή την εξέλιξη. Η ριζική αλλαγή της δομής και της αρχιτεκτονικής του δικτύου της, τής δίνει τη δυνατότητα να κατευθύνει την αγορά προς όφελός της.

Για το λόγο αυτό, η Ofcom [2], η ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή για τις τηλεπικοινωνίες στην Μ. Βρετανία, σύστησε μια ειδική ομάδα που παρακολουθεί την εξέλιξη του προγράμματος και επεμβαίνει στις διενέξεις μεταξύ BT και άλλων παρόχων. Από τον «διάλογο» αυτό, προκύπτουν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τα προβλήματα που εμφανίζονται στην αγορά από την αναπόφευκτη εξέλιξη της τεχνολογίας δικτύων.

4.5.1 Διασύνδεση 21CN με ανταγωνιστικά δίκτυα

Μια από τις σημαντικότερες αλλαγές στην αρχιτεκτονική του 21CN είναι ο περιορισμός της διασύνδεσης με άλλα δίκτυα στα Metro Nodes. Συγκεκριμένα στα MSANs του Access Domain γίνεται η αποδεσμοποίηση του τοπικού βρόγχου (local

loop unbundling) Επιπέδου 2, ενώ η Επιπέδου 3 διασύνδεση γίνεται στα περίπου 100 Metro και Core Nodes. Στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική η διασύνδεση με το δίκτυο της BT μπορούσε να γίνει και στο Access Domain (πχ DLSAM), δηλαδή σε περίπου 5500 σημεία σε όλη τη χώρα. Αυτό σημαίνει ότι κάποιοι πάροχοι που σήμερα διασυνδέονται σε κάποιο Access Domain της BT θα πρέπει να μεταφέρουν τη διασύνδεση σε κάποιο κοντινό Metro Node που μπορεί να είναι χιλιόμετρα μακριά.

Οι λύσεις σε αυτό το πρόβλημα είναι δύο:

- Είτε υποχρεώνεται η BT να πληρώσει το κόστος αυτό ως υπεύθυνη για την αλλαγή ώστε να λάβει υπόψη την ανάπτυξη των Metro Nodes και τις τοποθεσίες διασύνδεσης των υπόλοιπων παρόχων
- Είτε επιβάλλεται η διατήρηση των υφιστάμενων διασυνδέσεων στα σημεία που είναι σήμερα.

Η Ofcom κινήθηκε προς τη δεύτερη λύση επιβάλλοντας προσωρινά τη διατήρηση των PSTN διασυνδέσεων και χρεώσεων. Η λύση αυτή όμως δεν μπορεί να είναι μόνιμη γιατί έτσι καταργείται η φύλοσοφία σχεδίασης του 21CN που επιβάλει την απλότητα στο δίκτυο πρόσβασης και την υλοποίηση όλης της λειτουργικότητας στο Core δίκτυο. Διατηρώντας όμως αυτό το καθεστώς η ρυθμιστική αρχή πέτυχε να προστατεύει τους εναλλακτικούς παρόχους και να δώσει κίνητρο στη BT να βρει λύση στο πρόβλημα της χρέωσης της διασύνδεσης (πχ πληρώνοντας η ίδια το κόστος μεταφοράς στο νέο σημείο διασύνδεσης). Διαφορετικά δε θα μπορέσει ποτέ να απαλλαχθεί από το PSTN που είναι και ο κύριος λόγος ανάπτυξης του νέου δικτύου.

4.5.2 Χρέωση της διασύνδεσης

Ένα άλλο θέμα που προκύπτει σχετικά με τη διασύνδεση είναι οι χρεώσεις. Σήμερα η σύνδεση ενός εναλλακτικού παρόχου με το δίκτυο της BT και η χρήση του έχουν προκαθορισμένη χρέωση που βγαίνει από μία φόρμουλα. Με τη μετάβαση στο NGN, αλλάζει τόσο ο τρόπος διασύνδεσης όσο και το κόστος για την εξυπηρέτησης μιας κλήσης. Είναι προφανές λοιπόν ότι χρειάζεται ένα νέο μοντέλο χρέωσης που να αντανακλά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του NGN. Αυτό είναι δύσκολο να γίνει πριν το νέο δίκτυο ξεκινήσει τη λειτουργία του.

Για το λόγο αυτό, η BT ζήτησε και η Ofcom ενέκρινε την επέκταση του υπάρχοντος μοντέλου του PSTN και για το NGN. Δηλαδή ο μηχανισμός χρέωσης του 21CN θα προσομοιώνει τη λειτουργία του σαν PSTN και θα υπολογίζει από εκεί τη χρέωση με το υπάρχον μοντέλο του NCC (Network Charging Control). Η λύση αυτή:

- Εξασφαλίζει σταθερότητα στα επιχειρηματικά μοντέλα που ανέπτυξαν οι εναλλακτικοί πάροχοι και βασίζονται στο υπάρχον μοντέλο.
- Δίνει κίνητρα στην BT να συνεχίσει την ανάπτυξη του δικτύου της καθώς θα εξασφαλίζει μεγαλύτερο κέρδος, αφού θα έχει το χαμηλότερο κόστος του NGN και τις χρεώσεις του PSTN.

Και τα δύο παραπάνω αποτελέσματα είναι θετικά, αρκεί η κατάσταση να είναι προσωρινή. Τόσο οι εναλλακτικοί πρέπει να προσαρμοστούν στη νέα πραγματικότητα του NGN, όσο και η BT πρέπει να τους επιτρέψει να πάρουν ένα μερίδιο από τα μειωμένα έξοδα του νέου δικτύου. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η εξεύρεση ενός νέου μηχανισμού χρέωσης προσαρμοσμένου στο NGN, έργο που παραμένει ανοικτό τόσο σε επίπεδο ερευνητικό όσο και σε επίπεδο αγοράς [6].

4.5.3 Μοντέλο χρέωσης Υπηρεσιών και “Termination Monopoly”

Στις περισσότερες χώρες, αυτός που ξεκινάει μια κλήση (καλών) λαμβάνει και τη χρέωση για αυτή είτε βάσει της διάρκειας της κλήσης είτε βάσει της απόστασης ανάμεσα στους δύο συμμετέχοντες είτε με συνδυασμό των δύο. Ο καλούμενος δεν πληρώνει τίποτα για την κλήση αυτή. Το μοντέλο αυτό λιανικής χρέωσης ονομάζεται *Calling Party Pays* (CPP). Στις υπόλοιπες χώρες εφαρμόζεται ένα εναλλακτικό σύστημα που ονομάζεται *Receiving Party Pays* (RPP), στο οποίο τόσο ο καλών όσο και ο καλούμενος μπορούν να λάβουν κάποια χρέωση από τον πάροχό τους.

Τα μοντέλα χονδρικής χρέωσης για το PSTN ανάμεσα στους operators των δικτύων αντανακλούν τα αντίστοιχα της λιανικής. Έτσι υπάρχει το μοντέλο *Calling Party's Network Pays* (CPNP) όπου ο operator του δικτύου λαμβάνει ένα προκαθορισμένο ποσό από τον operator του καλώντος για κάθε λεπτό που ο τελευταίος χρησιμοποιεί το δίκτυο του και το μοντέλο του *Bill and Keep* όπου δεν υπάρχουν τέτοιες χρεώσεις. Σε περίπτωση που τα δύο μέρη το επιθυμούν μπορούν να συνάψουν μια συμφωνία μεταξύ τους σε επίπεδο χονδρικής (πχ αν η κίνηση που δέχεται ο ένας είναι πολύ μεγαλύτερη από την κίνηση που στέλνει στον άλλο).

Με το CPP μοντέλο λιανικής χρέωσης, ο πελάτης νιώθει ότι ελέγχει τα έξοδα από τη χρήση της υπηρεσίας αφού ο ίδιος ελέγχει τις κλήσεις που πραγματοποιεί. Αυτό τον κάνει να εμπιστεύεται γρηγορότερα μια νέα τεχνολογία αυξάνοντας έτσι τους ρυθμούς διείσδυσης. Αντίθετα το RPP μοντέλο δημιουργεί μεγαλύτερη αβεβαιότητα και είναι ενάντια στη λογική που έχει καθιερωθεί τόσα χρόνια στην αγορά.

Από την άλλη μεριά όμως το CPP μοντέλο δημιουργεί το πρόβλημα του “*termination monopoly*” Συγκεκριμένα, για να πραγματοποιηθεί μια κλήση, συνήθως μπορεί να ξεκινήσει από διάφορα δίκτυα (πχ σταθερό, εναλλακτικός πάροχος, κινητό, VoIP) αλλά μπορεί να τερματίσει μόνο σε ένα για ένα δεδομένο νούμερο. Αυτό δίνει διαπραγματευτική ισχύ στον τερματικό πάροχο για να ζητήσει μεγαλύτερη χρέωση σε επίπεδο χονδρικής. Μάλιστα όσο μικρότερο είναι το τερματικό δίκτυο τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαπραγματευτική ισχύς του παρόχου αφού τότε η ζήτηση είναι ανελαστική. Αντίθετα ένας μεγάλος πάροχος με μεγάλη συνδρομητική βάση πρέπει να λάβει υπόψη του τον αντίκτυπο των τιμών χονδρικής προς στις εισερχόμενες κλήσεις από δίκτυα ανταγωνιστών.

Παράλληλα, τελευταία παρατηρείται μια στροφή των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών από τις χρεώσεις αναλόγως χρήσης (usage based) προς πιο πάγιες χρεώσεις ανεξαρτήτως χρήσης (flat rate) [7]. Ο λόγος είναι ότι η κανονικοποιημένη και προβλέψιμη ελαστικότητα της ζήτησης (demand elasticity) που είναι επιθυμητή από τους operators, αλλά και το μηδενικό οριακό κόστος (marginal cost) της υπηρεσίας. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί τους χρήστες στο να καταναλώνουν περισσότερο την υπηρεσία αυξάνοντας το κοινωνικό όφελος (social welfare) που επίσης είναι επιθυμητό.

Το *termination monopoly* και η ανάγκη παροχής flat rate χρεώσεων λιανικής προκρίνουν το Bill and Keep μοντέλο. Μάλιστα στις χώρες που εφαρμόζεται έχουν παρατηρηθεί σημαντικά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τις χώρες που εφαρμόζεται το CPP [7]. Τίθεται λοιπόν θέμα όσον αφορά το μοντέλο χρέωσης που θα εφαρμοστεί στο NGN. Είναι δυνατό να υποστηριχτούν και τα δύο και να εφαρμόζονται κατά περίπτωση. Για παράδειγμα οι νέες υπηρεσίες θα ωφελούνταν από το γρηγορότερο penetration rate του CPP, ενώ καθιερωμένες υπηρεσίες (πχ κλήσεις φωνής) μπορούν να γυρίσουν στο Bill & Keep.

4.5.4 Προσφορά καθολικής υπηρεσίας

Η παροχή τηλεφωνίας και βασικής πρόσβασης στο Internet θεωρείται, τουλάχιστον στον ανεπτυγμένο κόσμο είδος πρώτης ανάγκης. Πρέπει λοιπόν να εξασφαλίζεται κάθε φορά ότι τέτοιες υπηρεσίες προσφέρονται σε όλους (Universal Service Offering - USO). Για την περίπτωση του 21CN κάτι τέτοιο αποτελούσε εξαρχής στόχο εξαιτίας της επιθυμίας της BT να απαλείψει το δίκτυο του PSTN που είναι USO σήμερα. Δεν είναι όμως βέβαιο ότι αυτό θα συνεχιστεί όταν ξεκινήσουν να

προσφέρονται οι νέες υπηρεσίες για τις οποίες το δίκτυο αυτό φτιάχτηκε. Ο λόγος είναι ότι το κόστος και το ρίσκο που εμπεριέχουν οι NGN υπηρεσίες είναι μεγάλο και οι εταιρίες θέλουν να τις προσφέρουν μόνο σε περιοχές που έχουν εξασφαλισμένη γρήγορη απόσβεση (πχ αστικά κέντρα).

Όταν πριν από δύο δεκαετίες όλοι οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί (μεταξύ αυτών και η BT) ήταν κρατικά μονοπώλια, τέτοιο πρόβλημα δεν υφίστατο: θυσιάζονταν ένα μέρος της κερδοφορίας προς όφελος της κοινωνικής πολιτικής. Σήμερα όλοι οι οργανισμοί λειτουργούν σε απελευθερωμένες αγορές και επιδιώκουν το κέρδος. Τον κοινωνικό αυτό ρόλο καλούνται να παίξουν οι ανεξάρτητες αρχές επιτήρησης του ανταγωνισμού που έχουν ιδρυθεί σε όλες τις χώρες. Αρμοδιότητά τους είναι να εξασφαλίσουν την πρόσβαση στις νέες υπηρεσίες για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, χωρίς όμως να περιορίζουν τα κίνητρα των επιχειρήσεων για επενδύσεις. Η ρυθμιστική αρχή θα πρέπει να προσφέρει ένα ελκυστικό περιβάλλον για την ανάπτυξη μιας υπηρεσίας, να εποπτεύει και μόλις η υπηρεσία αυτή αποσβέσει ένα μέρος της αρχικής επένδυσης να πιέσει ώστε η προσφορά της να εξαπλωθεί περιορίζοντας τα κέρδη.

Βιβλιογραφία 4^{ου} Κεφαλαίου

- [1] www.btplc.com/21CN
- [2] www.ofcom.org.uk
- [3] Ofcom "*Next Generation Networks: Future arrangements for access and interconnection*" 2005
- [4] Ofcom "*Next Generation Networks: Further Consultation*" Ofcom 2005
- [6] Ofcom "*Next Generation Networks: Developing the regulatory framework*" Ofcom 2006
- [7] ITU "*Interconnection in an NGN environment*" ITU Workshop on "What rules for IP-enabled NGNs? 2006
- [8] V. Stango "*The economics of standards wars*" 2004

ΜΕΡΟΣ Β'

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΟ NEXT GENERATION INTERNET



5

Grid και NGN

5.1 To Grid στο νέο οικονομικό περιβάλλον

Η έννοια του Grid υπάρχει εδώ και περίπου δύο δεκαετίες και σχετίζεται με τον διαμοιρασμό, την επιλογή και τη νοητή συνάθροιση, πόρων που είναι γεωγραφικά κατανεμημένοι με βάση τις δυνατότητες, τη διαθεσιμότητα, το κόστος αλλά και τις επιθυμίες των χρηστών. Τα συστήματα Grid γεννήθηκαν και αναπτύχθηκαν για να εξυπηρετήσουν τις αυξημένες ανάγκες υπολογισμών της επιστημονικής έρευνας, όπως προσομοιώσεις και μοντελοποιήσεις συστημάτων. Το αρχικό μοντέλο λειτουργίας τους (utility computing), που αντέγραψε το αντίστοιχο μοντέλο του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (electric grid), μεγάλοι οργανισμοί παρέχουν υπολογιστικούς πόρους σε χρήστες-συνδρομητές με προσυμφωνημένη χρέωση.

Το μοντέλο αυτό αν και εξελίσσεται προς ένα πιο εμπορικό Grid, απέχει πολύ από τη σύγχρονη φιλοσοφία για την ανάπτυξη υπηρεσιών. Πιο συχνά αποτελεί ένα χαλαρό όρο μάρκετινγκ, με εφαρμογές περιορισμένες σε ένα μόνο τομέα ή ακόμα και εσωτερικά σε μία μόνο επιχείρηση με κίνητρο την καλύτερη εκμετάλλευση των IT πόρων. Το νέο οικονομικό περιβάλλον προτάσσει την διασύνδεση και σύγκλιση όλων των τεχνολογιών ώστε η πληροφορία και οι εφαρμογές να έρθουν όσο το δυνατόν πιο κοντά στον χρήστη. Αυτό σημαίνει μια εικονικά ενιαία τεχνολογική υποδομή που να περιλαμβάνει όλους τους IT πόρους και να επιτρέπει την ευρύτερη δυνατή επικοινωνία ανάμεσα σε αγοραστές, πωλητές, πελάτες και συνεργάτες.

Προϋπόθεση για να γίνει κάτι τέτοιο είναι η στροφή από το σημερινό purpose-oriented μοντέλο, προς ένα πιο service-oriented μοντέλο, που να περιλαμβάνει πολλαπλές εφαρμογές και ποικιλία πόρων σε μια πιο αφαιρετική αρχιτεκτονική. Έτσι θα παρέχεται ευελιξία για να εξυπηρετήσει πολλαπλούς χρήστες και παρόχους υπηρεσιών αλλά και να υποστηρίξει τα σύγχρονα επιχειρηματικά μοντέλα.

5.2 Κοινά στοιχεία ανάμεσα σε Grid και NGN

Από την προηγούμενη ενότητα, γίνεται αντιληπτό ότι το Grid τοποθετούμενο στο νέο οικονομικό περιβάλλον, παρουσιάζει κάποιες ελλείψεις που μπορούν να

αντιμετωπιστούν από το NGN, όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα 4 κεφάλαια. Στις επόμενες 3 ενότητες θα εξερευνηθεί η συμπληρωματικότητα των δύο τεχνολογιών και η τοποθέτησή τους στη νέα ψηφιακή δικτυακή οικονομία.

Μετάβαση σε νέο Business Model

Τόσο το Grid όσο και το NGN βρίσκονται σε ένα στάδιο μετάλλαξης ώστε να προσαρμοστούν στο νέο οικονομικό περιβάλλον. Το Grid εισήχθη σαν έννοια πριν τέσσερις δεκαετίες και εξελίχθηκε προς την κατεύθυνση του “utility computing”, δηλαδή της προσφοράς υπολογιστικής ισχύος σε χρήστες, εδώ και δύο δεκαετίες. Τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται η ανάγκη να ξεφύγει από το περιοριστικό αυτό πλαίσιο και η αρχιτεκτονική του Grid να χρησιμοποιηθεί ευρύτερα για τη διάθεση πληροφοριών, πόρων και υπηρεσιών. Για αυτό είναι αναγκαίο ένα πιο δυναμικό περιβάλλον όπου ο παραγωγός ενός πόρου μπορεί να είναι και καταναλωτής δημιουργώντας έτσι συνθήκες αγοράς (marketplace) για την αγοραπωλησία πόρων. Ταυτόχρονα το συναλλασσόμενο αγαθό δε χρειάζεται να περιορίζεται μόνο σε υπολογιστική ισχύ (computing power) αλλά να περιλαμβάνει και εφαρμογές ή ολόκληρες υπηρεσίες. Στο νέο αυτό παράδειγμα (paradigm) που ονομάζεται “service Grid”, υπηρεσίες και εφαρμογές διανέμονται ανεξάρτητα από την τοποθεσία, την υλοποίηση και το χρησιμοποιούμενο hardware. Μια τέτοια υπηρεσία είναι μια σύνθεση από “service components”, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε άλλες υπηρεσίες, ακόμα και από ανταγωνιστικούς παρόχους.

Παρόμοια εξέλιξη γνώρισε και το Internet. Αρχικά δημιουργήθηκε σαν ένα περιορισμένο μέσο διασύνδεσης της επιστημονικής κοινότητας, και την περασμένη δεκαετία με την εμφάνιση του Web εξελίχθηκε στον de facto τρόπο διασύνδεσης ξεχωριστών δικτύων. Σήμερα, το όραμα του NGN προτάσσει την προσφορά υπηρεσιών πάνω από το Δίκτυο σε κάθε συσκευή, οποιαδήποτε στιγμή. Οι κάθετες αρχιτεκτονικές, όπου κάθε υπηρεσία μεγάλης κλίμακας απαιτούσε τη δική της δικτυακή υποδομή, σταδιακά εξαφανίζονται και αντικαθίστανται από οριζόντιες αρχιτεκτονικές όπου κάθε στοιχείο του δικτύου έχει την ευελιξία να χρησιμοποιείται από πολλαπλές υπηρεσίες. Με τον τρόπο αυτό οι υπηρεσίες και εφαρμογές του NGN μπορούν να προσφέρονται σε οποιονδήποτε ανεξάρτητα από την τοποθεσία, το υφιστάμενο δίκτυο και τη διαθέσιμη από το χρήστη συσκευή.



Ετερογένεια και κατανομή των πόρων

Ένα σύστημα Grid βασίζεται σε ετερογενείς πλατφόρμες, τόσο ως προς τις δυνατότητες όσο και ως προς τις πολιτικές που εφαρμόζουν. Ένας πόρος μπορεί να προέρχεται από ένα PC ή σταθμό εργασίας μέχρι ένα cluster ή έναν υπερυπολογιστή. Επίσης μπορεί να βρίσκεται τοπικά στο ίδιο μηχάνημα ή σε κάποιο διασυνδεδεμένο μηχάνημα χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά. Ταυτόχρονα οι εφαρμογές των υπηρεσιών Grid και οι απαιτήσεις των χρηστών ποικίλουν ανάλογα με το αντικείμενο (επιστημονικό, μηχανικό, οικονομικό). Οι παραγωγοί (πάροχοι των πόρων) και οι καταναλωτές (χρήστες των πόρων) παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος στόχων, στρατηγικών καθώς και μοτίβων προσφοράς ζήτησης. Σε αυτό το πολύπλοκο και ευμετάβλητο περιβάλλον, οι παραδοσιακές τεχνικές βελτιστοποίησης του συστήματος δεν μπορούν να λειτουργήσουν.

Αντίστοιχα το Internet αποτελείται από επιμέρους δίκτυα που βρίσκονται εξαπλωμένα σε όλη την υφήλιο. Το μέγεθος αυτών των δικτύων και οι διασυνδέσεις μεταξύ τους ποικίλουν από μικρά LAN συνδεδεμένα με απλή γραμμή μερικών εκατοντάδων Kbps μέχρι ολόκληροι εθνικοί ISPs με συνδέσεις πολλών Gbps. Επίσης η πρόσβαση του χρήστη σε αυτά τα δίκτυα μπορεί να γίνεται από μια ευμετάβλητη, ασύρματη, ad-hoc σύνδεση από μια φορητή συσκευή μέχρι μια ευρυζωνική σύνδεση πολλών Mbps. Μια υπηρεσία που καλείται να παρασχεθεί σε όλους τους εν δυνάμει χρήστες του Διαδικτύου πρέπει να αντιμετωπίσει αυτή την ετερογένεια, και να είναι σε θέση να προσφέρει ένα αποδεκτό QoS από άκρο σε άκρο για κάθε περίπτωση.

Abstraction στην πληροφορία

Το Grid καλείται να αντιμετωπίσει τις ανάγκες ενός συνόλου χρηστών με πολύ διαφορετικές απαιτήσεις. Κάποιοι χρήστες μπορεί να ενδιαφέρονται μόνο για τη λειτουργία μιας υπηρεσίας, άλλοι για την απόδοση ή τη συνολική ρυθμαπόδοση (throughput), ενώ άλλοι να θεωρούν το κόστος το σημαντικότερο παράγοντα. Κοινό σημείο όλων είναι η απαίτηση για απλότητα και ευκολία ώστε η πολυπλοκότητα αυτή να μην είναι ορατή στο χρήστη. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται ένα abstraction στην απαιτούμενη πληροφόρηση που πρέπει να έχει ο χρήστης σχετικά με την υποκείμενη κατάσταση του συστήματος, όπως οι δυνατότητες ή οι διαθέσιμοι πόροι. Η λογική του Grid περιλαμβάνει αυτό το abstraction, τουλάχιστον σε επίπεδο χρηστών του ίδιου toolkit, αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο και με τα Δίκτυα σήμερα. Όπως είπαμε το Διαδίκτυο αποτελείται από μια σειρά ετερογενών δικτύων καθένα

από τα οποία μπορεί να υποστηρίξει μια σειρά από υπηρεσίες και ο χρήστης πρέπει να είναι ενήμερος για την κάλυψη αυτών των υπηρεσιών στο συγκεκριμένο δίκτυο. Για παράδειγμα μια υπηρεσία Video on Demand έχει μια σειρά από ελάχιστες απαιτήσεις ως προς τις δυνατότητες του δικτύου σε από άκρο σε άκρο καθυστέρηση και εύρος ζώνης αλλά και ως προς τις δυνατότητες της συσκευής λήψης σε επεξεργαστική ισχύ, μνήμη και ανάλυση οθόνης. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης πρέπει να ξέρει ότι το υφιστάμενο δίκτυο και η χρησιμοποιούμενη συσκευή μπορούν να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις. Επίσης η υποστήριξη του Mobility, δηλαδή της δυνατότητας αλλαγής δικτύου ή συσκευής κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της υπηρεσίας βρίσκεται ακόμα σε εμβρυονακό στάδιο. Το NGN κινείται προς την σωστή κατεύθυνση της σύγκλισης στο πρωτόκολλο IP, που θα επιτρέψει την σύγκλιση των αντίστοιχων υπηρεσιών σε επίπεδο μεταφοράς και θα καταργήσει την εξάρτησή τους από το επίπεδο αυτό. Ταυτόχρονα με την εισαγωγή ανοικτών, τυποποιημένων πρωτοκόλλων στα επίπεδα σηματοδοσίας και εφαρμογής (πχ IMS, Web-services), είναι δυνατή η προσαρμογή και η εκτέλεση μιας εφαρμογής σε οποιοδήποτε δίκτυο.

5.3 To Grid σαν υπηρεσία του NGN

5.3.1 Σενάρια

Υπάρχουν τρία σενάρια εμπλοκής των παρόχων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών με το Grid:

1. Εξειδίκευση στην παροχή SLAs και γενικά QoS για την λειτουργία των Grid: επειδή τα NGN δίνουν τη δυνατότητα διασφάλισης δικτυακών πόρων, πάνω από ετερογενή δίκτυα, η δυνατότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να επωφεληθούν οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν τα Grid σήμερα (computational Grid) ώστε να κάνουν τις λειτουργίες τους με εγγυημένο QoS.
2. Χρησιμοποίηση των Grid εσωτερικά για την υποστήριξη των IT αναγκών: οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί έχουν ανάγκη από πόρους που διαθέτουν τα Grid τόσο για την λειτουργία των δικτύων τους όσο και για την υποστήριξη της λειτουργίας των ίδιων των οργανισμών (IT). Το μοντέλο του Grid μπορεί να τους προσφέρει ένα πιο οικονομικό και ευέλικτο τρόπο για την κάλυψη των αναγκών αυτών.
3. Προσφορά υπηρεσιών Grid πάνω από το Δίκτυο: οι operators των δικτύων ενσωματώνουν τις υπηρεσίες Grid στην ευρύτερη μορφή τους (όχι μόνο

υπολογιστικοί πόροι) στο δίκτυο τους παρέχοντας τες στους πελάτες τους ανεξάρτητα από πλατφόρμες και toolkits.

Από τα παραπάνω τρία σενάρια, το τελευταίο είναι το μόνο που ταιριάζει με το σημερινό οικονομικό περιβάλλον που αναπτύχθηκε στην ενότητα 5.1. Το πρώτο χρησιμοποιεί το NGN προκειμένου να βελτιώσει το υφιστάμενο μοντέλο λειτουργίας του Grid, δηλαδή το “utility computing”, προσθέτοντας εγγυήσεις για QoS. Το υπάρχον όμως μοντέλο είναι πλέον ξεπερασμένο και ανταποκρίνεται στις ανάγκες μικρής μόνο μερίδας χρηστών. Στο δεύτερο σενάριο, το NGN χρησιμοποιεί την τεχνολογία του Grid για να υποστηρίξει τις εσωτερικές ανάγκες του δικτύου σε πόρους. Δεν προσφέρει τίποτα στην εξέλιξη του Grid, ενώ και τα κέρδη για το ίδιο το δίκτυο είναι αμφισβητήσιμα. Αντίθετα, στο τρίτο σενάριο των “managed Grid υπηρεσιών”, τόσο το Grid όσο και το NGN λειτουργούν συμπληρωματικά για την μετάβαση στο νέο paradigm, που επιβάλλει την παροχή οποιασδήποτε διαθέσιμης πληροφορίας οπουδήποτε και οποτεδήποτε.

5.3.2 Προϋποθέσεις

Για την ενσωμάτωση του Grid στο NGN τίθενται μια σειρά από προϋποθέσεις [BT workshop]:

Απαιτήσεις Επιχειρήσεων

- Τυποποίηση: προκειμένου να μειωθεί το ρίσκο της επένδυσης και να αυξηθούν οι δυνατότητες συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών οργανισμών.
- Ευχρηστία: στην χρήση από τους πελάτες, στο στήσιμο της υπηρεσίας και στη διαχείριση της εφαρμογής και των παρελκομένων αυτής.
- Ubiquitous: δηλαδή δυνατότητα πρόσβασης από οποιοδήποτε μέσο, σε οποιοδήποτε δίκτυο, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες όπως επιτάσσει η νέα ψηφιακή πραγματικότητα.
- Αξιοπιστία και διαφάνεια: καθώς το επιχειρηματικό περιβάλλον απαιτεί μεγαλύτερη ασφάλεια από το ερευνητικό στο οποίο χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα. Ταυτόχρονα μηχανισμοί εμπιστοσύνης (trust) ανάμεσα σε οργανισμούς θα βοηθούσαν στην ταχύτερη διάδοση των υπηρεσιών.
- Scalability: ώστε να αντιμετωπιστεί η πολυπλοκότητα των νέων σύνθετων εφαρμογών και να εξασφαλιστεί η απρόσκοπη εξάπλωση της υπηρεσίας στην κλίμακα του Διαδικτύου.

Απαιτήσεις χρηστών

- Προβλέψιμη απόδοση και τιμή: πράγμα που θα μειώσει το ρίσκο από τη χρησιμοποίηση της υπηρεσίας και θα την κάνει συγκρίσιμη με ανταγωνιστικές τεχνολογίες (πχ ιδιόκτητος εξοπλισμός, ανάπτυξη ή αγορά εφαρμογής/υπηρεσίας κτλ). Στην κατεύθυνση αυτή θα βοηθούσε η ενσωμάτωση Service Level Agreements (SLA) στην διαδικασία διαπραγμάτευσης της υπηρεσίας, ενώ είναι απαραίτητη και η δημιουργία πραγματικής αξίας για την επιχείρηση (business value) από την χρήση της υπηρεσίας.
- Ευελιξία και έλεγχος: όσον αφορά τη δυνατότητα συνδυασμού υπηρεσιών από διαφορετικούς παρόχους αλλά και την διατήρηση των υφιστάμενων επιχειρηματικών διαδικασιών πάνω από τις καινούριες υπηρεσίες.

Απαιτήσεις Operators

- Προβλέψιμη απόδοση και κόστος: όπως και στην περίπτωση των άλλων δύο εμπλεκόμενων ομάδων, το κόστος αποτελεί σημαντικό παράγοντα σε συνδυασμό πάντα με την προσφερόμενη απόδοση. Γι' αυτό είναι αναγκαία η ποσοτικοποίηση του κόστους και της αναμενόμενης ανταπόδοσης της επένδυσης για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας και της διαδικασίας μετάβασης στη νέα τεχνολογία.
- Μη εξειδικευμένη Υποδομή: ώστε πάνω από την ίδια υποδομή να μπορούν να υποστηριχτούν πελάτες και εφαρμογές με διαφορετικές ανάγκες, σημειώνοντας οικονομίες κλίμακας.
- Αποτελεσματικότητα και ευελιξία: στόχος είναι η δημιουργία απλούστερων διαδικασιών και η μείωση της πολυπλοκότητας μέσα από την αυτοματοποίηση.

Τεχνικά προβλήματα

- Abstraction και virtualization: σε υπολογιστικούς πόρους, αποθηκευτικό χώρο αλλά και στη δικτυακή υποδομή. Αν και για τους πόρους του “κλασικού Grid”, το abstraction και virtualization αποτελεί δεδομένο, για τα δίκτυα κάτι τέτοιο αποτελεί πρόκληση μια και πολλή από την απαιτούμενη πληροφορία διατίθεται κεντρικά.
- Αυτοματοποίηση: Η εισαγωγή στοιχείων του NGN στο Grid αλλά και αντίστροφα, αυξάνει εκθετικά την πολυπλοκότητα των νέων υπηρεσιών. Καθίσταται λοιπόν

απαραίτητη η εισαγωγή μηχανισμών που να αυτοματοποιούν διαδικασίες και να επαναφέρουν την διαχείριση της πολυπλοκότητας σε εφικτά επίπεδα.

- **Αλλαγή προσανατολισμού προς τις υπηρεσίες**: Μέχρι σήμερα οι πάροχοι προσέφεραν βασικές μόνο υπηρεσίες και παρείχαν όλη την υποδομή για αυτό. Σήμερα υπάρχει η ανάγκη για προσφορά μια ευρείας γκάμας υπηρεσιών και πόρων ώστε ο κάθε χρήστης να μπορεί να συνδύσει υπηρεσίες, ακόμα και από διαφορετικούς παρόχους, ώστε να πάρει την υπηρεσία που επιθυμεί. Αυτός ο νέος προσανατολισμός δεν είναι εύκολος και απαιτεί συνεργασία από όλους τους εμπλεκόμενους καθώς και εισαγωγή standards που θα τυποποιήσουν κάποιες διαδικασίες.
- **Ασφάλεια και εμπιστοσύνη**: οι ενσωμάτωση μηχανισμών Grid σε ευρεία εμπορική κλίμακα και μάλιστα σε στην έκταση του Internet, δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας και εμπιστοσύνης (trust). Οι οργανισμοί που θα χρησιμοποιήσουν τις τεχνολογίες αυτές διακινούν δεδομένα και πληροφορίες ζωτικής σημασίας και έχουν περισσότερες απαιτήσεις στον τομέα αυτό από τους παραδοσιακούς χρήστες του Grid.

5.4 Τεχνολογίες του NGN για το Grid

Πολλές από τις απαιτήσεις και τα προβλήματα που παρατέθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, τις έχουμε ξανασυναντήσει όταν αναλύαμε τις διάφορες αρχιτεκτονικές των πρώτων Κεφαλαίων. Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν συγκεκριμένες τεχνολογίες που προτείνει το NGN, και οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να λύσουν συγκεκριμένα προβλήματα ή να καλύψουν συγκεκριμένες αδυναμίες του Grid.

5.4.1 SIP και SDP

To Session Initiation Protocol (SIP) είναι ο βασικός μηχανισμός σηματοδοσίας του NGN. Είναι ένα πρωτόκολλο ελέγχου, επιπέδου εφαρμογής, για την εγκαθίδρυση, τροποποίηση και τερματισμό συνόδων μεταξύ ενός ή περισσότερων συμμετεχόντων. Στην περίπτωση του Grid μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανακάλυψη πόρων, ενώ μέσω του Session Description Protocol που μεταφέρεται εντός του SIP μηνύματος μπορεί να δηλώσει τις δυνατότητες που μπορεί να παρέχει (βλ. σενάριο στην Ενότητα 5.5.1).

Επίσης, μπορεί να αποτελέσει το συνδετικό κρίκο ανάμεσα στην best effort και QoS δρομολόγηση. Μέχρι σήμερα, η προσπάθεια εισαγωγής κριτηρίων QoS στα δίκτυα στηριζόταν συχνά στις αρχές του RSVP που θεωρεί ότι τα τερματικά γνωρίζουν για το μοντέλο QoS που εφαρμόζεται. Αυτό όμως είτε καθιστά τις υπάρχουσες συσκευές άχρηστες είτε υπερφορτώνει τις τερματικές συσκευές αποκλείοντας χαμηλών δυνατοτήτων τερματικά (πχ. κινητά τηλέφωνα). Με το SIP, όλη η λειτουργία του QoS μετακινείται από τα τερματικά στους SIP servers. Έτσι για όσες συσκευές υποστηρίζουν κάποιο QoS μοντέλο, ο αντίστοιχος SIP server φροντίζει να παρασχεθεί αυτό, ενώ όσες δεν υποστηρίζουν χρησιμοποιούν το best-effort μοντέλο. Τονίζουμε εδώ ότι το ίδιο το SIP δεν προσφέρει από μόνο του QoS δρομολόγηση. Απλά εισάγει μια κοινή σηματοδοσία για best effort δρομολόγηση και QoS δρομολόγηση και επιτρέπει σε όσα στοιχεία του δικτύου υποστηρίζουν το καθένα να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να παρεμποδίζουν την λειτουργία των άλλων.

5.4.2 IP Multimedia Subsystem (IMS)

Παρόλο που το IMS σχεδιάστηκε με σκοπό την υποστήριξη Multimedia εφαρμογών, διαθέτει την επεκτασιμότητα και για άλλες υπηρεσίες, μεταξύ αυτών και του Grid. Η αρχιτεκτονική του περιγράφτηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3, οπότε στην παράγραφο αυτή θα περιοριστούμε στο πως μπορούν να υποστηριχθούν υπηρεσίες Grid πάνω από το IMS. Οι πάροχοι και οι καταναλωτές των πόρων αλλά και οι πάροχοι των Grid εφαρμογών θεωρούνται όλοι χρήστες του IMS.

Αυθεντικοποίηση Χρήστη

Αρχικά ο χρήστης-πάροχος των πόρων πρέπει να εγγραφεί στην αντίστοιχη υπηρεσία ώστε να δηλώσει τους πόρους που διαθέτει και τη διεύθυνση πρόσβασης σε αυτούς (ένα SIP URI). Επειτα ο χρήστης-καταναλωτής αυθεντικοποιείται στο δίκτυο στέλνοντας ένα SIP REGISTER μήνυμα, το οποίο χειρίζεται από το Επίπεδο Ελέγχου Εφαρμογής (application control plane) και συγκεκριμένα από τα στοιχεία CSFC (βλ. παράγραφο 3.3.1) και HSS (βλ. παράγραφο 3.3.5). Με τον τρόπο αυτό ο operator του δικτύου γνωρίζει την ταυτότητα των χρηστών που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες, πράγμα απαραίτητο τόσο για λόγους αυξημένης ασφάλειας όσο και ευέλικτης χρέωσης της υπηρεσίας.

Ανακάλυψη και Επιλογή πόρων

Για να χρησιμοποιήσει την υπηρεσία Grid, ο χρήστης ξεκινάει μια σύνοδο (session) στέλνοντας ένα SIP INVITE μήνυμα στο URI της υπηρεσίας, το οποίο περιέχει την περιγραφή της συνόδου. Περνώντας από τους ενδιάμεσους SIP proxies, φτάνει σε ένα server που διατηρεί όλη την πληροφορία σχετικά με τη θέση και τη διαθεσιμότητα των πόρων¹³. Στο σημείο αυτό θα γίνει η επιλογή των πόρων που θα λάβουν το SIP INVITE μήνυμα, λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις των χρηστών, τις δυνατότητες εξυπηρέτησης της υπηρεσίας, το φόρτο δικτύου, τα κριτήρια για QoS κτλ.

Διαπραγμάτευση συνόδου

Μόλις ένας πάροχος πόρων λάβει το SIP INVITE μήνυμα με μια συγκεκριμένη αίτηση, πρέπει να γίνει μια διαπραγμάτευση της συνόδου ανάμεσα στα συμμετέχοντα μέρη. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει μέσω του SDP και του offer/answer μοντέλου [RFC 3264] που υποστηρίζεται στο IMS για την διαπραγμάτευση codec, και QoS σε multimedia εφαρμογές. Για να γίνει αυτό απαιτείται μια επέκταση του πρωτοκόλλου SDP [GridoIMS] προκειμένου να υποστηρίζει τις εξειδικευμένες ανάγκες των υπηρεσιών Grid.

Χρέωση

Το IMS δίνει τεράστια ευελιξία στη χρέωση των υπηρεσιών καθώς αυτή μπορεί να γίνει ανά χρήστη ή ανά σύνοδο. Το σημαντικότερο όμως είναι ότι βασίζεται σε προτυποποιημένους μηχανισμούς, οι οποίοι μπορούν πολύ εύκολα να ενταχθούν στις νέες Grid υπηρεσίες.

5.4.3 Web-Services

Σήμερα, η πρόσβαση και χρήση υπηρεσιών καθορίζεται από στατικές συμφωνίες που έχουν συναφθεί εκ των προτέρων. Στο περιβάλλον του Grid όμως, όπου δραστηριοποιείται ένας μεγάλος αριθμός από παρόχους και ένας ακόμα μεγαλύτερος αριθμός από καταναλωτές με ετερογενείς και μεταβλητές δυνατότητες και ανάγκες, η στατική αυτή προσέγγιση είναι πολύ περιοριστική. Στόχος των Web-services είναι να προσφέρουν έναν αξιόπιστο μηχανισμό για τη δημιουργία ηλεκτρονικών συμφωνιών, μεταξύ διαφορετικών μερών που ενδιαφέρονται για δυναμικές συνεργασίες με

¹³ Αυτό το centralized μοντέλο οργάνωσης της πληροφορίας δεν είναι το μοναδικό που μπορεί να υποστηριχθεί, αյώνα επιλέγεται στην ενότητα αυτή ως αρκετά γενικό και απλό. Στο Κεφάλαιο 6 μετείχανται αναλυτικά εναλλακτικές λύσεις.

αμοιβαίες υποχρεώσεις. Δίνουν τη δυνατότητα και στα δύο μέρη να καταρτίσουν ένα ηλεκτρονικό συμβόλαιο που να καθορίζει τις ad-hoc επιχειρηματικές σχέσεις ανάμεσα σε δύο μέρη όπου το ένα μέρος προσφέρει μια υπηρεσία την οποία χρειάζεται το δεύτερο μέρος. Η διάρκεια και οι όροι αυτού του συμβολαίου καταγράφονται σε ένα Service Level Agreement (SLA) που είναι το αντικείμενο της επόμενης παραγράφου.

Μέσα από τις Web Services, οι υπηρεσίες μπορούν:

- Να διαφημίσουν τις δυνατότητες των παρόχων
- Να ελέγξουν τη συμμόρφωση με προκαθορισμένα πρότυπα (πχ πολιτική παρόχου)
- Να δημιουργήσουν συμφωνίες βασισμένες σε on-demand ζήτηση

Στις Υπηρεσίες Grid, οι Web-Services μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για το ευρύτερο πλαίσιο λειτουργίας τους. Με τους μηχανισμούς διαφήμισης λύνεται το πρόβλημα της δυναμικής εύρεσης πιθανά διαθέσιμων πόρων καθώς όλοι οι πάροχοι που είναι σε θέση να προσφέρουν, θα γνωστοποιούν τις δυνατότητές τους σε όλους τους ενδιαφερόμενους.

Με την δυνατότητα δημιουργίας ad-hoc συμφωνιών, οι χρήστες δεν χρειάζεται να προσυμφωνήσουν με κάποιο πάροχο σχετικά με την ζητούμενη υπηρεσία όπως γίνεται σήμερα. Αυτό δίνει ευελιξία στο χρήστη να παίρνει κάθε φορά ακριβώς την ποιότητα υπηρεσίας που επιθυμεί τροποποιώντας την υπάρχουσα συμφωνία. Παράλληλα διευρύνει τις επιλογές του ως προς τον πάροχο που θα τον εξυπηρετήσει αφού η ύπαρξη συμβολαίου παύει να αποτελεί προϋπόθεση για την επιλογή του.

Τέλος ο έλεγχος της συμμόρφωσης της υπηρεσίας με την πολιτική του παρόχου βελτιστοποιεί την λήψη αποφάσεων και συνάδει με την γενικότερη στροφή των υπηρεσιών προς την εξυπηρέτηση βάσει πολιτικών.

5.4.4 Service Level Agreements (SLA)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μια SLA είναι ένα ηλεκτρονικό συμβόλαιο που δημιουργείται ανάμεσα στα δύο μέρη που συμμετέχουν σε μια υπηρεσία (παροχέας και καταναλωτής) και περιγράφει λεπτομερώς τις παραμέτρους της υπηρεσίας και τις αμοιβαίες υποχρεώσεις των δύο αντισυμβαλλομένων. Τέτοια συμβόλαια υπογράφονται και σήμερα ανάμεσα σε παρόχους υπηρεσιών αλλά συνήθως έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια (μήνες), οπότε δεν επιτρέπουν την σύναψη ευέλικτων σχέσεων.

Η ευρεία διάδοση όμως των Web-services, επιτρέπει την ευκολότερη και γρηγορότερη διαπραγμάτευση SLA αλλά και τον έλεγχο μιας υπηρεσίας με βάση την υφιστάμενη SLA. Στα πλαίσια του Grid, οι SLAs μπορούν να συναφθούν μεταξύ ενός παρόχου της υπηρεσίας και ενός χρήστη αλλά και μεταξύ παρόχων για εξειδικευμένους πόρους ή για την κάλυψη αιχμών στη ζήτηση. Οι παράμετροι που πρέπει να ορίζονται σε μια SLA που αφορά υπηρεσία Grid μπορούν να είναι:

- Bandwidth
- Καθυστέρηση (end-to-end ή πιο εξειδικευμένη)
- QoS (τόσο για τον επεξεργαστή όσο και για το δίκτυο)

5.4.5 Quality of Service

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του σημερινού Internet είναι η αδυναμία του να προσφέρει πραγματικές εγγυήσεις QoS, γεγονός που δυσχεραίνει την εισαγωγή προηγμένων υπηρεσιών πολυμέσων. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται και στις υπηρεσίες Grid. Ως γνωστό, το Grid αναθέτει πόρους σε χρήστες ώστε να καλύψει το QoS (πχ καθυστέρηση, throughput) που αυτοί επιθυμούν. Οι εγγυήσεις που δίνει αφορούν μόνο το κομμάτι που διαχειρίζεται, δηλαδή τον επεξεργαστή ή τον δίσκο αποθήκευσης. Αυτό που ενδιαφέρει όμως το χρήστη είναι το από άκρο σε άκρο QoS. Για να διθούν όμως άκρο σε άκρο εγγυήσεις πρέπει να υπάρχει ένα είδος έλεγχου και των πόρων του δικτύου από τον πάροχο της υπηρεσίας Grid. Αυτός ο έλεγχος θα περιλαμβάνει την δυνατότητα δέσμευσης πόρων του δικτύου και απόδοσής τους στο χρήστη, σε συνδυασμό με τη χρήση των «κλασικών» πόρων του Grid, όταν χρειαστεί. Η παροχή QoS στο NGN αποτελεί μια τεράστια πρόκληση και είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που ωθούν την επέκταση του. Για το λόγο αυτό, το θέμα αυτό παρουσιάζεται λεπτομερώς στο επόμενο Κεφάλαιο.

5.5 Σενάρια Χρήσης Use Case Scenarios

5.5.1 Transcoding αρχείου video

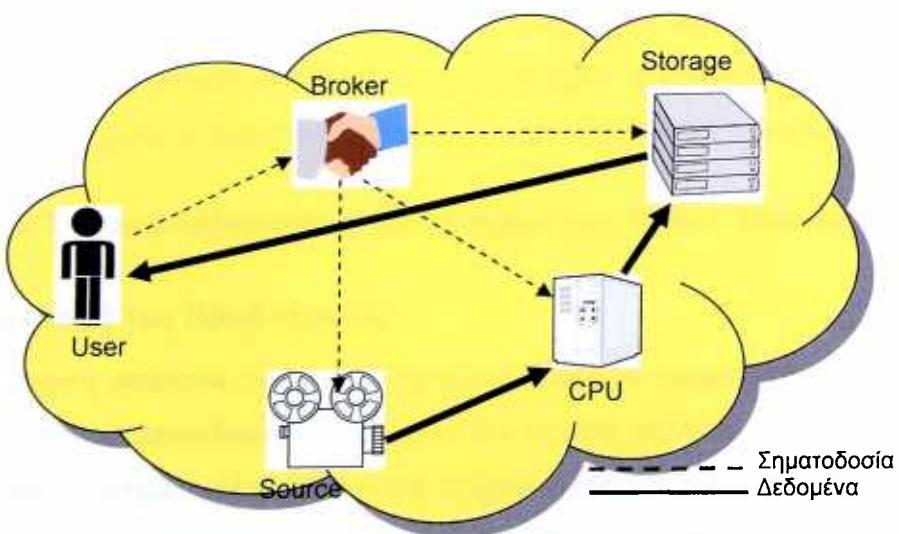
Περιγραφή Προβλήματος

Η ετερογένεια των τερματικών συσκευών σήμερα παρουσιάζεται τόσο ανάμεσα σε διαφορετικές κατηγορίες συσκευών (PC, PDA, κινητά τηλέφωνα κτλ) όσο και ανάμεσα σε διαφορετικές μάρκες συσκευών. Επίσης η τάση σύγκλισης των

τηλεπικοινωνιών με τη βιομηχανία της διασκέδασης, επιβάλει να συνδέονται όλο και περισσότερες συσκευές στο Δίκτυο (πχ τηλεοράσεις, ηχοσυστήματα). Αυτή η ετερογένεια δημιουργεί μια πληθώρα διαφορετικών αναγκών για την υποστήριξη μιας υπηρεσίας σε ευρεία κλίμακα. Διαφορετικές συσκευές υποστηρίζουν διαφορετικά codecs (πχ mpeg, divx, avi, mov κτλ.), αναλύσεις εικόνας (VGA, Wide, High Definition, True HD), ποιότητες ήχου (πχ Stereo, 5.1, dolby, THX κτλ.) και συνδέσεις στο δίκτυο. Η αποθήκευση σε κάθε server όλων των πιθανών συνδυασμών των παραπάνω θα δημιουργούσε τεράστιο πρόβλημα, ενώ θα ακύρωνε και κάθε προσπάθεια ομαδοποίησης των χρηστών (βλ. επόμενο σενάριο) για βελτιστοποίηση της υπηρεσίας. Είναι λοιπόν αναγκαία η υποστήριξη της μετατροπής ανάμεσα στα διάφορα formats και αυτό μπορεί να γίνει σε συνδυασμό με μια υπηρεσία Grid.

Υλοποίηση Σεναρίου

Ένας χρήστης U ζητάει μια υπηρεσία Video-on-Demand από έναν πάροχο, του οποίου είναι πελάτης. Η συσκευή λήψης του χρήστη έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει μόνο αρχεία τύπου mpeg, αλλά το ζητούμενο video προσφέρεται από τον πάροχο μόνο σε αρχείο τύπου divx. Παρόλα αυτά ο τελευταίος δέχεται να προσφέρει την υπηρεσία που ζήτησε ο χρήστης, δεσμευόμενος να περάσει το video stream που κατευθύνεται στο συγκεκριμένο χρήστη από ένα φίλτρο που θα μετατρέπει την διατιθέμενη κωδικοποίηση divx στην κωδικοποίηση mpeg που ζήτησε. Το φίλτρο αυτό αποτελείται από επεξεργαστική ισχύ και κάποιο προσωρινό αποθηκευτικό χώρο, κατάλληλου μεγέθους ώστε να καλύψουν τις ανάγκες.



Εικόνα 5.1 - Σενάριο Transcoding

Στην Εικόνα 5.1 φαίνεται η εκτέλεση της υπηρεσίας. Πριν ο πάροχος απαντήσει θετικά στην αίτηση του χρήστη, την οποία δεν μπορεί να καλύψει με τους υφιστάμενους πόρους, αναζητεί μια υπηρεσία transcoding κοντά στην τοποθεσία του χρήστη. Διαπραγματεύεται με τον πάροχο της εν λόγω υπηρεσίας και κλείνει τους απαραίτητους πόρους. Η υπηρεσία είναι έτοιμη να ξεκινήσει. Πλέον το video stream δεν πηγαίνει από τον server του παρόχου απευθείας στον χρήστη (Source→User), αλλά από την πηγή στη CPU, όπου γίνεται η μετατροπή από divx σε mpeg, μετά σε ένα προσωρινό αποθηκευτικό χώρο (buffer) και από εκεί στον τελικό χρήστη U (Source→CPU→ Storage→ User).

Για να υλοποιηθεί η παραπάνω υπηρεσία, πρέπει να γίνει χρήση πολλών από τις υπηρεσίες που περιγράψαμε παραπάνω. Αρχικά ο χρήστης πρέπει να μάθει για την προσφορά υπηρεσιών του συγκεκριμένου παρόχου. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με εγγραφή του χρήστη ως συνδρομητή οπότε λαμβάνει ένα κατάλογο με τα διατιθέμενα πρόγραμμα, είτε με κάποιο μηχανισμό Web-service που ανακαλύπτει τέτοιες υπηρεσίες είτε με κάποιο άλλο τρόπο. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή για παρακολούθηση ενός προγράμματος, σημαίνει την αποστολή ενός SIP μηνύματος σε κάποιο κοντινό SIP-Server ο οποίος αναλαμβάνει να δρομολογήσει το μήνυμα στο σωστό Service Broker. Αυτός με τη σειρά του βλέποντας τις απαιτήσεις του χρήστη μέσα στο SDP, που περιλαμβάνεται στο SIP μήνυμα, πρέπει να αποφασίσει αν μπορεί να εξυπηρετήσει την αίτηση (call admission control). Αυτός κλείνει τους κατάλληλους πόρους (Server, CPU και Storage στην περίπτωσή μας) και πιθανόν και τα αντίστοιχα link μέσα στο δίκτυο ώστε να προσφέρει εγγυημένο QoS (βλ. Κεφάλαιο 6). Για να μπορεί να διαπραγματεύει τα παραπάνω, ο Broker πρέπει πρώτα να έχει συνάψει SLAs με τους αντίστοιχους παρόχους των πόρων, οι οποίες και περιγράφουν τα πλαίσια στα οποία μπορούν να κινηθούν οι αιτήσεις.

5.5.2 Τοπικό replication προγράμματος Video Streaming

Περιγραφή του Προβλήματος

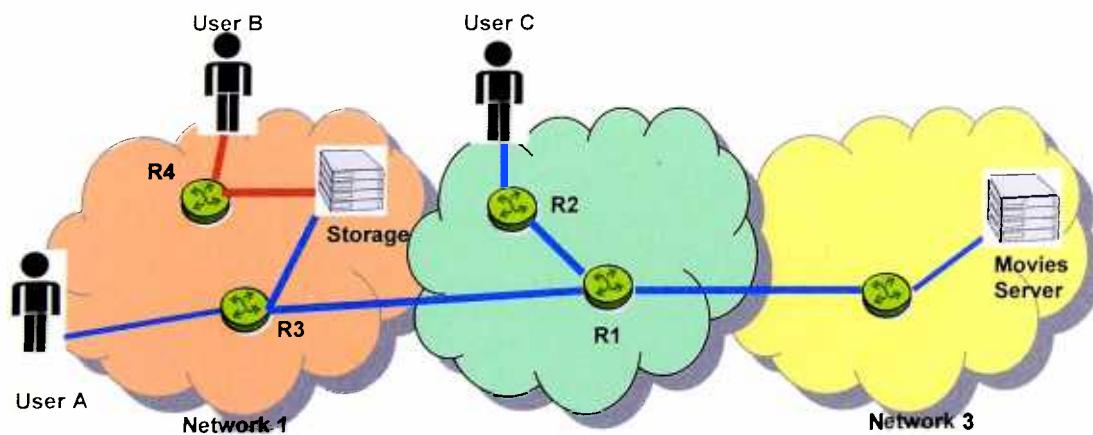
Μια τυπική υπηρεσία Video on Demand επιτρέπει σε απομακρυσμένους χρήστες να αναπαράγουν οποιοδήποτε video, από μια μεγάλη συλλογή, οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Τα αρχεία video βρίσκονται αποθηκευμένα σε ειδικούς servers μέσα στο δίκτυο. Για την λειτουργία της υπηρεσίας λοιπόν είναι απαραίτητο ο server να έχει αρκετό I/O εύρος ζώνης ώστε να μπορεί να στέλνει στο δίκτυο όλα τα video streams

που του ζητούνται και από κει και πέρα, το δίκτυο πρέπει να έχει αρκετό εύρος ζώνης ώστε να μεταφέρει το αρχείο μέχρι το σημείο του χρήστη. Πιο συγκεκριμένα οι απαιτήσεις που θέτει στο δίκτυο μια τέτοια εφαρμογή είναι [MultiVoD]

- Σύνοδοι μεγάλης χρονικής διάρκειας: Μία ταινία για παράδειγμα μπορεί να διαρκεί 90-180 λεπτά.
- Μεγάλο εύρος ζώνης δικτύου: Ένα αρχείο MPEG-1 απαιτεί 1.5Mbps για streaming.
- Υποστήριξη VCR αλληλεπίδρασης: Ο χρήστης απαιτεί να του προσφέρεται η λειτουργικότητα ενός Dvd-player, δηλαδή “play”, “pause”, “forward”, “reverse”.

Μια υπηρεσία “True Video on Demand” (TVoD) χρησιμοποιεί ένα ξεχωριστό κανάλι για κάθε αίτηση χρήστη ώστε να καλύπτει τις ανάγκες του. Αν και ένα τέτοιο σύστημα είναι πολύ απλό να σχεδιαστεί, συνεπάγεται πολύ υψηλό κόστος κυρίως σε εύρος ζώνης δικτύου ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει χαμηλό scalability και αποτελεσματικότητα (απόδοση/κόστος). Ήτοι χρησιμοποιείται η τεχνική της ομαδοποίησης (batching), όπου αιτήσεις που αφορούν δημοφιλή αρχεία τα οποία ζητούνται συχνά και αποτελούν την κύρια κίνηση της υπηρεσίας¹⁴, εξυπηρετούνται μαζί με multicasting. Επίσης αρχεία που ζητούνται συχνά αντιγράφονται σε διάφορα σημεία του δικτύου ώστε να είναι πιο κοντά στον τελικό χρήστη.

Υλοποίηση Σεναρίου



Eικόνα 5.2 - Σενάριο Streaming VoD server Replication

Έστω λοιπόν ότι ο χρήστης User A ζητάει μια δημοφιλή ταινία σε κάποια χρονική στιγμή. Μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα και πριν ξεκινήσει η μετάδοση, ζητάει την

¹⁴ Έχει υπολογιστεί ότι οι αιτήσεις προς τα 10-20 πιο δημοφιλή video αποτελούν το 60-80% των συνολικών αιτήσεων σε μια τέτοια υπηρεσία.

ίδια ταινία και ο χρήστης C. Το σύστημα αποφασίζει να ομαδοποιήσει την αποστολή και να στείλει ένα stream μέχρι τον δρομολογητή R1 και μετά να το στείλει και προς τον R2 (για τον User C) και προς τον R3 (για τον User A). Μετά από λίγο, και ενώ έχει ξεκινήσει η μετάδοση, ο χρήστης User B, ζητάει την ίδια ταινία. Δεν είναι δυνατόν όμως να ενσωματωθεί και αυτός στο προηγούμενο multicast stream καθώς έτσι θα έχανε ένα κομμάτι της ταινίας. Πρέπει λοιπόν να φτιαχτεί πάλι ένα stream από τον server → R1 → R3 → R4. Αυτή η διαδικασία πέρα του ότι είναι ακριβή καθώς κρατούνται δεσμευμένοι δικτυακοί πόροι, δημιουργεί και προβλήματα scalability στην υπηρεσία καθώς περιορίζει τον αριθμό των εξυπηρετούμενων χρηστών.

Αν το δίκτυο υποστήριζε Grid υπηρεσίες θα μπορούσε να δεσμεύσει αποθηκευτικό χώρο στο domain του χρήστη B για κάποιο χρόνο και να αντιγράψει εκεί την ταινία ώστε να εξυπηρετεί χρήστες του domain αυτού. Έτσι μαζί με την αποστολή της ταινίας στους χρήστες A και C, στέλνει το stream και στο Storage του δικτύου N1. Έτσι ο χρήστης B και όσοι άλλοι χρήστες στην περιοχή ζητούσαν τη ίδια ταινία αργότερα, θα την έπαιρναν από το Storage αυτό σε λιγότερο χρόνο και με καλύτερο QoS. Όταν οι αιτήσεις για αυτή την ταινία μειώνονταν αρκετά ώστε να μη συμφέρει η διατήρησή της στο Storage, θα σβήνονταν και τυχόν αιτήσεις θα εξυπηρετούνταν πάλι από τον κεντρικό server στο δίκτυο N3.

Βιβλιογραφία 5^{ου} Κεφαλαίου

- [WS-Agreement] A. Andrieux, K. Czajkowski, A. Dan, K. Keahey, H. Ludwig, T. Nakata, J. Pruyne, J. Rofrano, S. Tuecke, M. Xu “*Web Services Agreement Specification (WS-Agreement)*” 2005
- [BTworkshop] British Telecom “*ITU-T/OGF Workshop on Next Generation Networks and Grids*” Geneva 2006
- [GridEconModels] R. Buyya, D. Abramson, J. Giddy, H. Stockinger “*Economic Models for Resource Management and Scheduling in Grid Computing*”, 2002
- [ICCT03] Pu Juhua, Xiong Zhang and Wu Zhenxing “*The Research on QoS for Grid Computing*” Proceedings of ICCT 2003
- [MultiVoD] H. Ma, K. Shin “*Multicast Video-on-Demand Services*” 2002
- [GridoIMS] A. Pichot, O. Audouin “*Grid services over IP Multimedia Subsystem*” 2006
- [GFD.37] V. Sander “*Networking Issues for Grid Infrastructure*” Open Grid Forum 2004

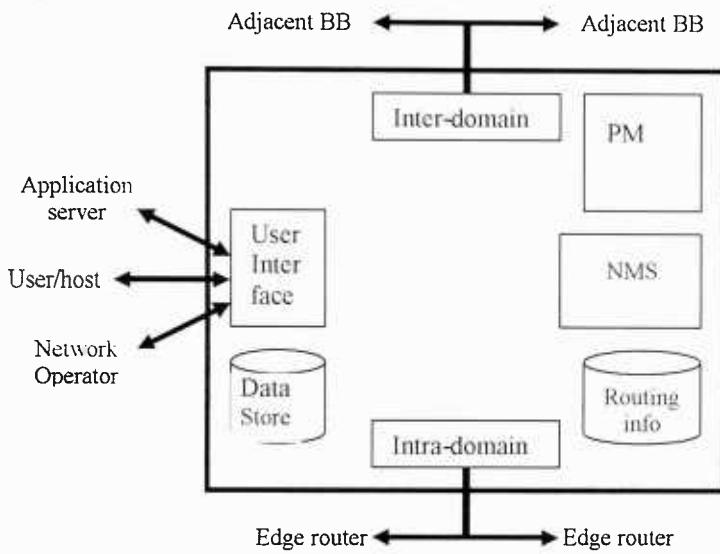
6

ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΟ NGN

6.1. Bandwidth Brokers

Το πλέον σημαντικό ζήτημα στην ανάπτυξη μιας υπηρεσίας QoS είναι η δυνατότητα παροχής των απαραίτητων πόρων του δικτύου ώστε η υπηρεσία αυτή να παρέχεται από άκρο σε άκρο. Διαφορετικά η ανάπτυξη είναι αρκετά πολύπλοκη καθώς εμπλέκονται πολλά μέρη και υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες που μπορούν να αλλοιώσουν την συνολική απόδοση της εφαρμογής. Έτσι το ζητούμενο είναι η αυτόματη παροχή και διαχείριση της υπηρεσίας ανάμεσα σε όλα τα συμμετέχοντα δίκτυα μέσω προσυμφωνημένων διεπαφών. Το ρόλο αυτό καλούνται να παίζουν οι Bandwidth Brokers.

Ο *Bandwidth Broker* (BB) είναι ένας agent που έχει κάποια γνώση για τις προτεραιότητες και την πολιτική ενός οργανισμού και κατανέμει το διαθέσιμο εύρος ζώνης σύμφωνα με αυτές [RFC 2638]. Οι λειτουργίες ενός Bandwidth Broker είναι το admission control, η διαχείριση πόρων (εύρος ζώνης) και η διαπραγμάτευση πόρων σε ένα Diffserv [RFC 2475] domain. Κάθε domain πρέπει να διαθέτει το δικό του BB για λόγους αυτονομίας αλλά και για να έχει έλεγχο πάνω στους πόρους του[QBone]. Αναλυτικά, οι Bandwidth Brokers είναι επιφορτισμένοι με τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ικανοποίηση αιτήσεων για παροχή QoS με βάση την πολιτική του domain, καθώς και τη ρύθμιση των δρομολογητών ώστε να εφαρμόσουν την πολιτική αυτή. Επίσης κάνουν aggregation κίνησης της ίδιας κλάσης σε μία ροή επιτυγχάνοντας καλύτερο Scalability των υπηρεσιών που προσφέρουν. Τέλος διαχειρίζονται πόρους τόσο μέσα στο ίδιο το domain τους (intra-domain) όσο και μεταξύ διαφορετικών domains (inter-domain). Το πρώτο είναι σχετικά εύκολο λόγω της αυτονομίας κάθε domain και της δυνατότητας ελέγχου πάνω στους πόρους του. Το δεύτερο είναι δυσκολότερο καθώς απαιτεί την επικοινωνία και το συντονισμό με γειτονικούς Bandwidth Brokers οι οποίοι ελέγχουν τους πόρους των αντίστοιχων domains.



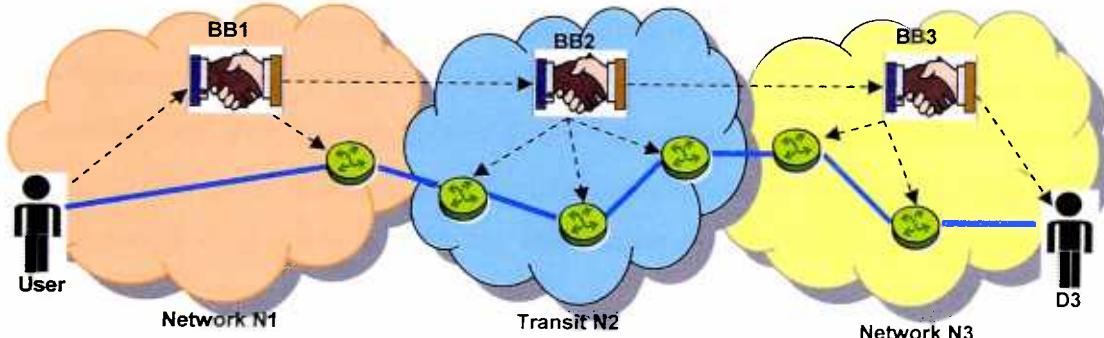
Εικόνα 6.1 - Λειτουργίες Bandwidth Broker

Στην Εικόνα 6.1 φαίνεται η λειτουργική δομή ενός Bandwidth Broker. Τα components από τα οποία αποτελείται είναι:

- Ένα Inter-domain interface: χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ γειτονικών (adjacent) Bandwidth Brokers.
- Ένα Intra-domain interface: χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τους edge routers του domain για την μετάδοση εντολών με τη μορφή παραμέτρων ρύθμισης για λειτουργία QoS.
- Ένα User/Application interface: χρησιμοποιείται για την επίδοση αιτήσεων για κράτηση πόρων από στοιχεία εντός του δικτύου (χρήστες, εφαρμογές, άλλα στοιχεία του δικτύου κτλ)
- Μια τοπική βάση δεδομένων με πληροφορίες δρομολόγησης: παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες δρομολόγησης τόσο inter-domain για την εύρεση των egress routers καθώς και των επόμενων domains που πρέπει να ερωτηθούν για την κράτηση πόρων, όσο και intra-domain για την κράτηση πόρων εσωτερικά στο domain.
- Ένα Policy Management Interface, ένα Network Management Interface και μια Βάση Δεδομένων με άλλα τοπικά δεδομένα: οι πληροφορίες αυτές μπορεί να είναι κοινές μεταξύ των παραπάνω στοιχείων και περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως Service Level Specifications (SLS) για όλους τους routers, τρέχουσα κατάσταση πόρων, ρυθμίσεις για τους routers, πληροφορίες πολιτικής και διαχείρισης του δικτύου, monitoring πληροφορίες από τους routers καθώς και δεδομένα authorization/authentication για χρήστες ή peer BBs.

Στις παρακάτω ενότητες ακολουθεί η περιγραφή της αρχιτεκτονικής και της λειτουργίας καθενός από τα παραπάνω components.

6.2. Γενική Αρχιτεκτονική



Εικόνα 6.2

Ένας χρήστης ή μια εφαρμογή που λειτουργεί για λογαριασμό του χρήστη βρίσκεται στο δίκτυο N1 της Εικόνας 6.2 και προσπαθεί να κλείσει ένα path με συγκεκριμένο QoS μέχρι ένα πόρο στο δίκτυο N3. Για το λόγο αυτό πρέπει να επικοινωνήσει με έναν Bandwidth Broker ο οποίος θα αναλάβει να συνθέσει την υπηρεσία και να διαπραγματευτεί με όλους τους εμπλεκόμενους. Η αίτηση αυτή περιλαμβάνει διεύθυνση αποστολής και προορισμού καθώς και το επιθυμητό εύρος ζώνης. Όπως προαναφέρθηκε, κάθε Administrative domain διαθέτει το δικό του Bandwidth Broker με γνωστή διεύθυνση σε όλους τους χρήστες του domain.

Αν η διεύθυνση προορισμού του ζητούμενου link βρίσκεται εντός του domain που διαχειρίζεται ο Bandwidth Broker, τότε ο τελευταίος μπορεί να αναλάβει εξ ολοκλήρου την παροχή της υπηρεσίας χωρίς να επικοινωνήσει με άλλα domains. Χρησιμοποιώντας το Intra-domain πρωτόκολλό του και ένα μηχανισμό λήψης αποφάσεων, θα υπολογίσει το κατάλληλο διαθέσιμο path και θα επικοινωνήσει με τους αντίστοιχους δρομολογητές ώστε να γίνει η κράτηση και ενεργοποίηση της υπηρεσίας. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται αναλυτικά στην Ενότητα 6.4.

Στην περίπτωση όπου η διεύθυνση προορισμού βρίσκεται σε διαφορετικό Administrative Domain από αυτό που ελέγχει ο Bandwidth Broker, ο τελευταίος θα πρέπει να εντοπίσει το domain του δικτύου προορισμού και πιθανόν και τα ενδιάμεσα domains μέχρι αυτό και να επικοινωνήσει με τους αντίστοιχους BB, οι οποίοι θα ελέγξουν τοπικά αν έχουν την δυνατότητα να εξυπηρετήσουν την αίτηση (call admission control). Αν η απάντηση είναι θετική θα ενεργοποιήσουν την κράτηση

χρησιμοποιώντας το intra-domain πρωτόκολλο που προαναφέρθηκε. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στην Ενότητα 6.5.

6.3. Διαπραγμάτευση των SLA

Η δυνατότητα παροχής QoS από το δίκτυο προϋποθέτει τη δυνατότητα του παρόχου και του πελάτη της υπηρεσίας, πρώτα να εκφράσουν και έπειτα να συμφωνήσουν στις δυνατότητες αλλά και τις απαιτήσεις τους. Αυτά τα διαπραγματεύσιμα, μετρήσιμα επίπεδα QoS ονομάζονται *Service Level Agreements* (SLA). Οι SLAs συνάπτονται μεταξύ δύο (peer) domains, λογικά γειτονικών, πρέπει να είναι κοινά αποδεκτές και από τους δύο. Η σχέση μεταξύ των δύο domains είναι σχέση παρόχου-πελάτη. Στις μέρες μας η σύναψη μιας SLA γίνεται με ανθρώπινη παρέμβαση και ως εκ τούτου η διάρκειά της ισχύος της είναι μεγάλη (πχ μήνας). Σήμερα, η παροχή QoS αποτελεί απαίτηση όλο και περισσότερων «απλών» εφαρμογών με αποτέλεσμα να δημιουργείται η ανάγκη για ένα πιο ευέλικτο μηχανισμό διαπραγμάτευσης SLAs, αντικείμενο με το οποίο θα ασχοληθούμε σε αυτήν την Ενότητα.

Οι Bandwidth Brokers που αναφέρθηκαν στην Ενότητα 6.1 αναλαμβάνουν να υλοποιήσουν το τεχνικό μέρος της συμφωνίας. Πιο συγκεκριμένα, μια SLA εγγυάται ότι η κίνηση που προέρχεται από το peer domain και υπόκειται σε κάποιες προϋποθέσεις (πχ μέγιστος ρυθμός μετάδοσης), θα μεταφερθεί από τον πάροχο σε ένα ή περισσότερα σημεία συμμορφούμενη με ένα ή περισσότερα επίπεδα QoS (πχ καθυστέρηση, συνολικός χρόνος κτλ). Οι εγγυήσεις αυτές μπορεί να είναι αυστηρές ή περισσότερο ευέλικτες, να περιλαμβάνουν συγκεκριμένες ταρίφες (tariffs) ή και πρόστιμα αν δεν παρασχεθούν.

Οι SLAs είναι ένα νομικοτεχνικό κείμενο που υπογράφεται μεταξύ δύο μερών και περιλαμβάνει το πλαίσιο και τις παραμέτρους της συμφωνίας σχετικά με την προσφερόμενη υπηρεσία. Δεν περιλαμβάνει όλες τις τεχνικές λεπτομέρειες της συμφωνίας ή τις ενέργειες που είναι υποχρεωμένος να κάνει ο πάροχος για την εξασφάλιση της υπηρεσίας. Συνεπώς οι Bandwidth Brokers δεν συμμετέχουν στη διαδικασία της συμφωνίας ούτε ανταλλάσουν μεταξύ τους SLAs. Οι Service Level Specifications (SLS) κάνουν ακριβώς αυτό, αποτελούν δηλαδή το τεχνικό μέρος της SLA που περιλαμβάνει όλες τις μετρικές και τα δεδομένα που χρειάζονται για την παροχή του απαιτούμενου QoS.

Ακολουθούν δύο προσεγγίσεις στην διαπραγμάτευση SLA μεταξύ δύο μερών στο πλαίσιο της QoS επικοινωνίας. Το πρώτο βασίζεται στο πρωτόκολλο Common Open Policy Service (COPS) [RFC 2748], το οποίο χρησιμοποιείται σε διαφορετικές παραλλαγές (clients) τόσο στο User Interface όσο και στο Intra-domain interface (βλ Εικόνα 6.1) του Bandwidth Broker. Η παραλλαγή του πρωτοκόλλου για SLA negotiation λέγεται COPS-SLS και παρουσιάζεται στην Ενότητα 6.3.1. Η δεύτερη προσέγγιση είναι πιο μοντέρνα και εισάγει την έννοια του QoS στις Web-Services, χρησιμοποιώντας το WS-Agreement Framework [WS-Agree]. Παρουσιάζεται στην Ενότητα 6.3.2.

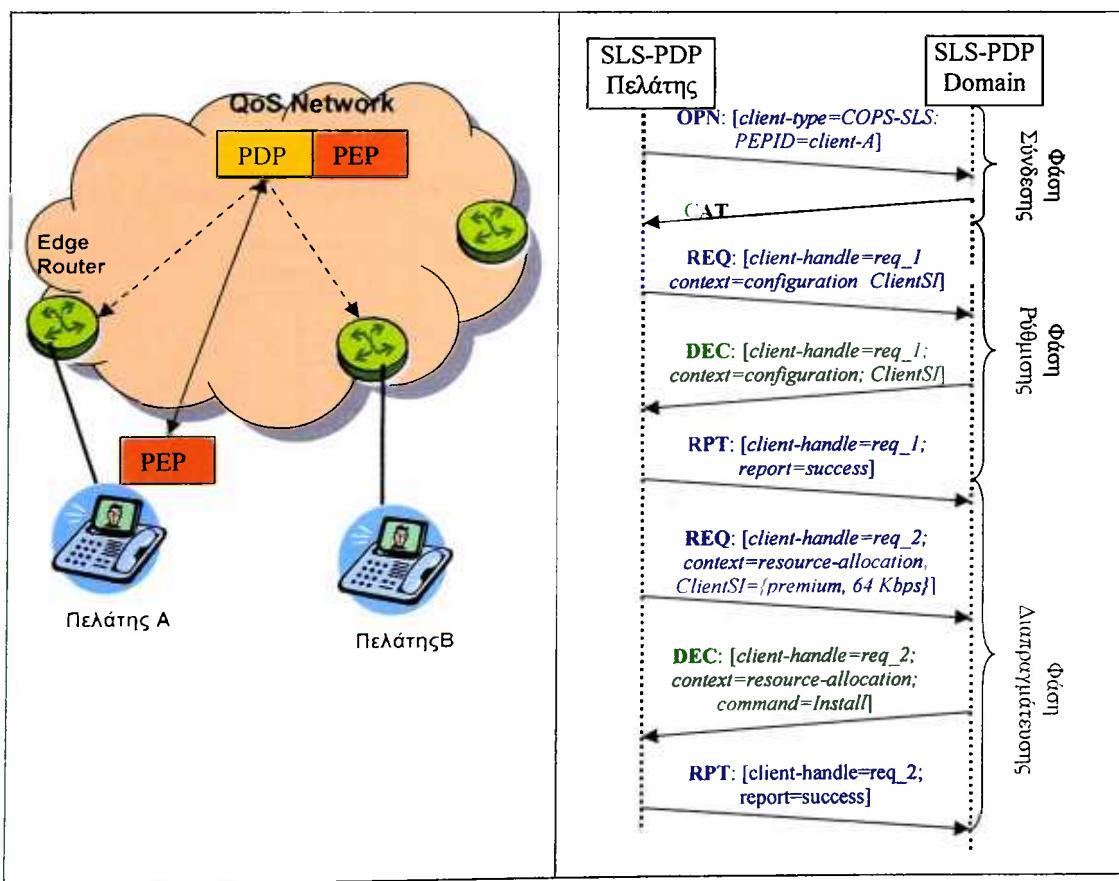
6.3.1 COPS-SLS

Το COPS-SLS είναι ένα γενικό πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης SLA, που παρέχει όλες τις λειτουργίες για την διαπραγμάτευση και την κατάρτιση ενός συμβολαίου μεταξύ ενός πελάτη και ενός παρόχου. Πελάτης μπορεί να είναι ένας χρήστης, ένα τοπικό δίκτυο ή ένας άλλος πάροχος (ISP). Πάροχος μπορεί να είναι ένα τοπικό δίκτυο ή ένας ISP. Το COPS-SLS ανήκει στην κατηγορία των policy-based πρωτοκόλλων, με την έννοια ότι κάθε απόφαση σχετικά με την παροχή μιας υπηρεσίας παίρνεται από μια οντότητα που ονομάζεται Policy Decision Point (PDP) και πραγματοποιείται από μια άλλη οντότητα που ονομάζεται Policy Enforcement Point (PEP). Ο πάροχος ενός πόρου αντιστοιχεί στο ρόλο του PDP και ο καταναλωτής αυτού στο PEP. Έτσι ο κάτοχος του πόρου έχει κάθε φορά τον τελευταίο λόγο για τη διάθεση ή μη της υπηρεσίας στον πελάτη. Το πρωτόκολλο τρέχει τόσο στον PDP όσο και στον PED, ενώ ένα στοιχείο του δικτύου (πχ ένας router) μπορεί να είναι ταυτόχρονα και PDP και PEP στην ίδια διαπραγμάτευση (πχ σαν PDP ανάμεσα στο router και τον χρήστη και σαν PEP ανάμεσα στον router και τον bandwidth broker).

Οι λόγοι που το συγκεκριμένο πρωτόκολλο προτιμάται για τη λειτουργία αυτή είναι:

- Συμβατότητα με την policy-based λογική, όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων από τα στοιχεία του δικτύου, που είναι η νέα τάση στην αρχιτεκτονική των δικτύων.
- Συμβατότητα με άλλες υλοποιήσεις του πρωτοκόλλου (πχ COPS-DRA, COPS-PR) που χρησιμοποιούνται σε άλλες διεπαφές (πχ user interface).
- Ομογενοποίηση της διαχείρισης του δικτύου με τη χρήση του ίδιου πρωτοκόλλου σε διαφορετικές διαδικασίες (διαπραγμάτευση και προσφορά της υπηρεσίας).

Η λειτουργία του πρωτοκόλλου χωρίζεται σε δύο φάσεις: την ρύθμιση (*configuration*) και τη διαπραγμάτευση (*negotiation*). Στην πρώτη, το PDP χρησιμοποιεί μια push διαδικασία για να ενημερώσει το PEP για τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να ζητήσει ένα επίπεδο υπηρεσίας (πχ επίπεδα υπηρεσίας, περιθώρια διαπραγμάτευσης, χρονικό διάστημα επαναδιαπραγμάτευσης κτλ.). Μόλις το PEP λάβει αυτή την ενημέρωση, την αποθηκεύει και μπορεί πλέον να περάσει στη φάση της διαπραγμάτευσης, στέλνοντας στο PDP μια αίτηση για κάποιο επίπεδο υπηρεσίας. Το τελευταίο μπορεί να δεχτεί την αίτηση, να την απορρίψει ή και να προτείνει κάποιο άλλο επίπεδο υπηρεσίας. Οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ PEP και PDP έχουν προκαθορισμένη μορφή και αναπαρίστανται από μια δομή, την Policy Information Base (PIB). Η PIB μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύνολο από κλάσεις, καθεμιά εκ των οποίων έχει ένα όνομα και μια σειρά από προκαθορισμένες παραμέτρους.



Εικόνα 6.3 – Σενάριο COPS-SLS

Για την καλύτερη επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας του COPS-SLS πρωτοκόλλου εισάγουμε το σενάριο της Εικόνας 6.3. Σε αυτό, ο χρήστης Α θέλει να εγκαθιδρύσει μια QoS σύνδεση με τον χρήστη Β μέσα από το QoS domain του σχήματος. Η

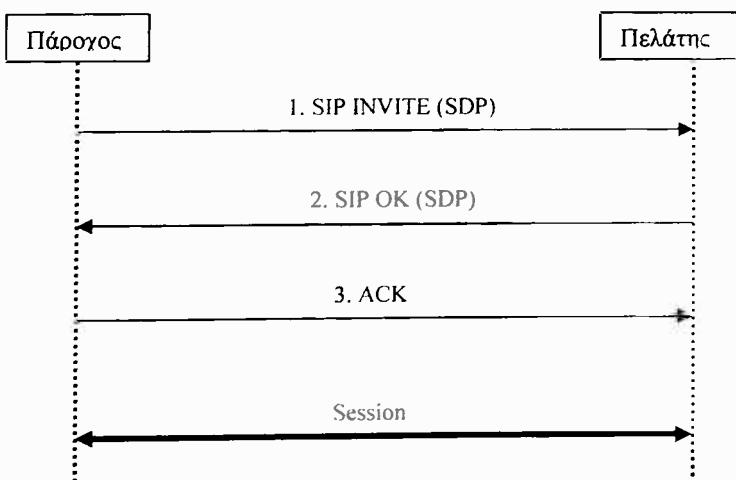
ακολουθία των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται για την σύναψη μιας SLA με το δίκτυο και την υλοποίηση της υπηρεσίας φαίνονται στο σχήμα 6.4.

Αν και στο παραπάνω σενάριο η διαπραγμάτευση εμπλέκει ένα μόνο domain, το πρωτόκολλο λειτουργεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και ανάμεσα σε στοιχεία που ανήκουν σε διαφορετικά domains. Σε αυτή την περίπτωση, η διεπαφή PEP του domain του σχήματος 6.3 θα επικοινωνούσε με την διεπαφή PDP του δεύτερου domain για την σύναψη inter-domain SLA.

6.3.2 Web-Service SLA Negotiation

Για την εισαγωγή QoS στις υπηρεσίες multimedia είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας διαδικασίας διαπραγμάτευσης ανάμεσα στα δύο μέρη, τον πάροχο και τον καταναλωτή της υπηρεσίας. Η διαδικασία που φαίνεται και στην Εικόνα 6.4 αποτελείται από τρία βήματα:

1. Την διαφήμιση (advertisement) των δυνατοτήτων ή απαιτήσεων κάθε μέρους,
2. Το συμβιβασμό ανάλογα με διάφορες παραμέτρους (δυνατότητες, χρόνος, κόστος, πόροι κτλ.)
3. Την αποδοχή και δημιουργία της συμφωνίας



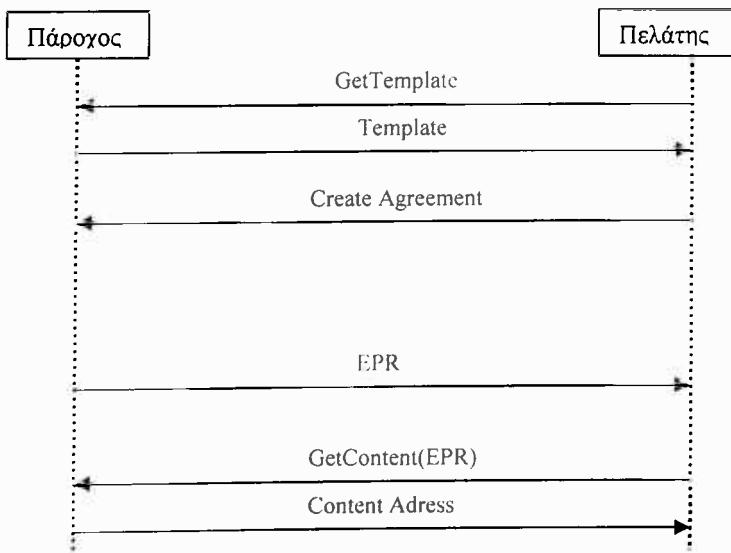
Εικόνα 6.4

Η διαδικασία διαπραγμάτευσης που ταιριάζει στις εφαρμογές πολυμέσων είναι η στρατηγική της συνεργατικής διαπραγμάτευσης (cooperative negotiation), σε αντίθεση με την ανταγωνιστική διαπραγμάτευση (competitive negotiation) που ακολουθείται όταν τα συμφέροντα των δύο μερών είναι αντικρουόμενα. Οι προδιαγραφές του WS-Agreement [WS-Agree] ακολουθούν τη λογική αυτή για την

διαφήμιση των δυνατοτήτων του παρόχου και την παροχή εγγυήσεων στον καταναλωτή για τις υπηρεσίες που θα λάβει. Έτσι η διαδικασία έχει τρία στάδια:

1. το *agreement template* που περιλαμβάνει το περιεχόμενο (χρόνος ισχύος της συμφωνίας, συμμετέχοντα μέρη κτλ.), παράμετροι του συγκεκριμένου domain και περιορισμοί πάνω σε αυτές τις παραμέτρους. Δημιουργείται από τον πάροχο και χρησιμοποιείται για τη διαφήμιση των δυνατοτήτων του.
2. το *agreement offer* που είναι ένα υποσύνολο του *agreement template* και δημιουργείται από τον πελάτη ώστε να συγκεκριμενοποιηθούν οι απαιτήσεις του.
3. To *final agreement* όπου ο πάροχος αποδέχεται τους όρους του πελάτη στο *agreement offer*.

Έτσι, αρχικά ο πελάτης ζητάει από τον πάροχο το *template* με τις δυνατότητες που μπορεί να παρέχει. Ο καταναλωτής εξετάζει τις δυνατότητες αυτές και βάζει τιμές στους όρους της συμφωνίας φροντίζοντας να μην παραβεί τους περιορισμούς που υπάρχουν στο *template*. Έπειτα στέλνει την πρότασή του (*template offer*) στον πάροχο. Ο τελευταίος εξετάζει την πρόταση τρέχοντας ένα μηχανισμό ελέγχου αποδοχής κλήσης (call admission control). Αν την αποδεχτεί, δημιουργεί το *final offer* μαζί με ένα δείκτη End-point Reference (EPR) τον οποίο στέλνει πίσω στον πελάτη ώστε αυτός να μπορεί να αναφέρεται στην υπάρχουσα συμφωνία για κάθε μελλοντική χρήση της υπηρεσίας. Η παραπάνω διαδικασία αναπαρίσταται στην Εικόνα 6.5.



Εικόνα 6.5 – Διαδικασία Διαπραγμάτευσης στη WS-Agreement

Οι προδιαγραφές του WS-Agreement καθορίζουν XML schemas για τη γενική δομή της συμφωνίας, αλλά δεν έχει ειδικούς μηχανισμούς για τη διαπραγμάτευση των

παραμέτρων των εφαρμογών. Χρησιμοποιώντας την ευελιξία της γλώσσας XML μπορούμε να εισάγουμε ένα τέτοιο μηχανισμό και συγκεκριμένα το Service Description Protocol (SDP) που περιγράφηκε στην Ενότητα 5.4.1. Το πλεονέκτημα του SDP είναι ότι βασίζεται στην ίδια λογική του offer/answer μοντέλου τριών βημάτων που βασίζεται και η διαδικασία διαπραγμάτευσης του WS-Agreement.

Μέσα από την περιγραφή της υπηρεσίας του Agreement Template, παρέχονται εναλλακτικές επιλογές για QoS στον καταναλωτή, ενώ μέσω των περιορισμών στις παραμέτρους της υπηρεσίας, ο πάροχος διαφημίζει τις δυνατότητες του. Για παράδειγμα σε μια υπηρεσία Video on Demand η περιγραφή της υπηρεσίας μπορεί να περιλαμβάνει τα διαθέσιμα codecs (πχ divx, mpeg, avi κτλ) και οι περιορισμοί να θέτουν τις τρέχουσες δυνατότητες του server (πχ μόνο mpeg). Οι παράμετροι του SDP μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν παράμετροι περιγραφής της υπηρεσίας στο Agreement Template του WS-Agreement. Στην Εικόνα 6.6 φαίνεται ένα παράδειγμα χρήσης μιας XML έκδοσης του SDP μέσα στο Agreement Template του WS-Agreement. Εδώ ο πάροχος που δημοσιεύει αυτό το template μπορεί να στείλει εκπέμψει αρχεία είτε τύπου MPV είτε H.261 όπως φαίνεται στους περιορισμούς.

```

<wsag:Template>
  <wsag:Name>StreamingTemplate</wsag:Name>
  <wsag:Context>
    [...]
  </wsag:Context>
  <wsag:Terms>
    <wsag:Alt>
      <wsag:ServiceDescriptionTerm>
        [...]
        <sdp:MediaAnnouncement rdf:ID="MediaAnnouncement">
          <sdp:MediaType>video</sdp:MediaType>
          <sdp:MediaTransportPort></sdp:MediaTransportPort>
          <sdp:MediaTransportProtocol>RTP/AVP</sdp:MediaTransportProtocol>
          <sdp:hasMediaFormat rdf:resource="#MediaFormat"/>
        </sdp:MediaAnnouncement>
        [...]
        <sdp:MediaFormat rdf:ID="MediaFormat">
          <sdp:EncodingName>MPV</sdp:EncodingName>
          <sdp:ClockRate>90000</sdp:ClockRate>
        [...]
      </wsag:ServiceDescriptionTerm>
    </wsag:Alt>
  </wsag:Terms>
  <wsag:CreationConstraints>
    [...]
    <wsag:Item>
      <wsag:Location>/sdp:MediaFormat/sdp:EncodingName</wsag:Location>
      <xsd:restriction base="xsd:string">
        <xsd:enumeration value="MPV"/>
        <xsd:enumeration value="H261"/>
      </xsd:restriction>
    </wsag:Item>
    [...]
  </wsag:CreationConstraints>
</wsag:Template>

```

To SDP χρησιμοποιείται στο πεδίο
Service Description

Constraints στα παραπάνω

Εικόνα 6.6 – Παράδειγμα χρήσης του SDP στο WS-Agreement

6.4 Παροχή QoS σε SIP-based εφαρμογές

Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε ένα μηχανισμό παροχής QoS σε Diffserv δίκτυα. Η προσέγγιση βασίζεται στο πρωτόκολλο SIP για την επικοινωνία του χρήστη με το QoS δίκτυο και στο πρωτόκολλο COPS για την επικοινωνία των στοιχείων του δικτύου μεταξύ τους ώστε να εξασφαλίσουν το απαραίτητο επίπεδο QoS. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, το μεν πρωτόκολλο SIP πρέπει να επεκταθεί ώστε να μπορεί να μεταφέρει και πληροφορίες σχετικές με το QoS, ενώ για το πρωτόκολλο COPS πρέπει να υλοποιηθεί ένας καινούριος Client.

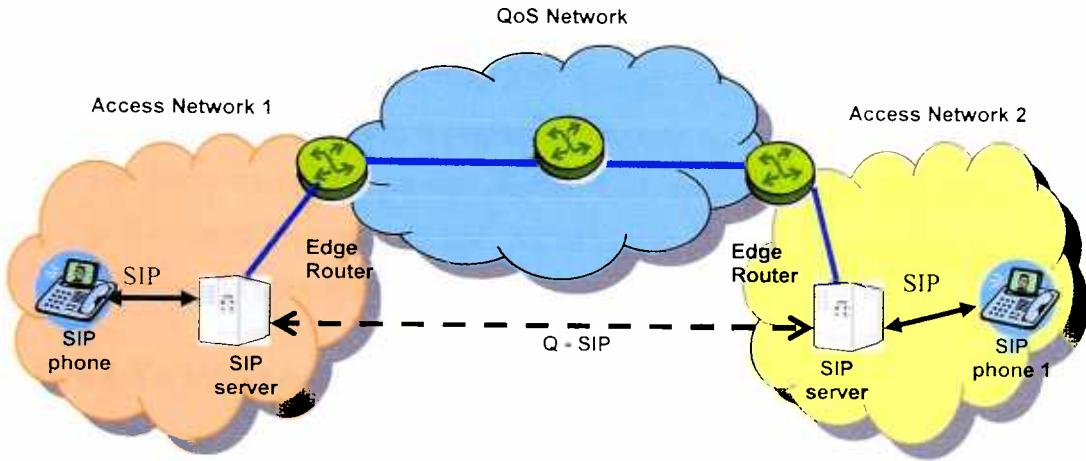
Για την παροχή QoS σε Diffserv δίκτυα, απαιτούνται δύο στοιχεία: ένας μηχανισμός ελέγχου αποδοχής των κλήσεων (call admission control) και ένας μηχανισμός σηματοδοσίας. Για το πρώτο υπεύθυνος είναι ο Bandwidth Broker που περιγράφτηκε στην Ενότητα 6.1, ενώ για το δεύτερο το πρωτόκολλο COPS-DRA που θα περιγραφεί στην Ενότητα 6.4.2

6.4.1 SIP και QoS

Το SIP είναι ένα πρωτόκολλο για τη σύναψη από άκρο-σε-άκρο συνόδων (sessions) σε επίπεδο εφαρμογής. Στην υπάρχουσα μορφή του, το SIP πρέπει να βασιστεί σε υπάρχοντα πρωτόκολλα (πχ. RSVP) για την παροχή QoS. Αυτό έχει τα εξής μειονεκτήματα:

- Η εφαρμογή του χρήστη πρέπει να γνωρίζει τον μηχανισμό QoS που χρησιμοποιείται στο δίκτυο πρόσβασης καθώς και το αντίστοιχο πρωτόκολλο σηματοδοσίας,
- Η εφαρμογή του χρήστη πρέπει να έχει υλοποίήσει το εν λόγω πρωτόκολλο, πράγμα που αυξάνει την πολυπλοκότητα της και μάλιστα σε περίπτωση που στην υπηρεσία λαμβάνουν μέρος περισσότερα του ενός μέρη (πχ. τηλεφωνία, τηλεδιάσκεψη), όλα τα μέρη πρέπει να το υποστηρίζουν.

Το Q-SIP, που αποτελεί επέκταση του απλού SIP ώστε να ενσωματώνει πληροφορίες QoS [SIPext], μπορεί να δώσει λύση στο παραπάνω πρόβλημα. Στην Εικόνα 6.7 παρουσιάζεται ένα απλό σενάριο σε μια υπάρχουσα αρχιτεκτονική δικτύου, όπου δύο χρήστες SIP τηλεφώνων θέλουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους κάνοντας χρήση QoS.



Εικόνα 6.7

Τα τερματικά (τηλέφωνα) συνδέονται μέσω του Δικτύου Πρόσβασης (Access Network) στο QoS Δίκτυο, και συγκεκριμένα στους δρομολογητές (Edge Routers) που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου. Η σύνδεση αυτή γίνεται μέσω ενός SIP proxy Server, ο οποίος αντιλαμβάνεται τυχόν πληροφορίες QoS που περιέχονται στο ενισχυμένο Q-SIP (Quality of Service SIP) πρωτόκολλο. Η αρχιτεκτονική της Εικόνας 6.7 απαλλάσσει τις τερματικές συσκευές από την ανάγκη υποστήριξης κάποιου μηχανισμού QoS, εισάγοντας την λειτουργία αυτή στον SIP Server. Έτσι ο τελευταίος εκτός από την παραδοσιακό έλεγχο της εγκαθίδρυσης κλήσης, αναλαμβάνει και την δέσμευση πόρων.

Η βασική ιδέα είναι ότι οι SIP Clients χρησιμοποιούν ένα προκαθορισμένο SIP Server που βρίσκεται στο domain τους (πχ ο ίδιος που κάνει και το call setup) τόσο για τις εισερχόμενες όσο και για τις εξερχόμενες κλήσεις. Κάθε Client στέλνει και λαμβάνει τα SIP μηνύματα μέσω αυτού. Έτσι οι SIP Servers που εμπλέκονται στην ανταλλαγή μηνυμάτων είναι αυτοί που μπορούν να προσθέσουν και να διαβάσουν QoS πληροφορία μέσα στα μηνύματα αυτά, χωρίς οι τερματικοί χρήστες να αντιλαμβάνονται αυτή τη διαδικασία. Ο SIP Server όταν κληθεί να εξυπηρετήσει το χρήστη και ανάλογα με την υπηρεσία, αποφασίζει αν θα προτείνει στον SIP Server του άλλου άκρου QoS επικοινωνία, εισάγοντας την απαραίτητη πληροφορία στο Q-SIP μήνυμα. Αν ο SIP Server του καλούμενου δεν υποστηρίζει Q-SIP, αντιλαμβάνεται το Q-SIP μήνυμα σαν απλό SIP και το προωθεί κανονικά συνάπτοντας μια best-effort επικοινωνία. Σε διαφορετική περίπτωση, εξετάζει αν μπορεί να δεχτεί την QoS επικοινωνία και αν ναι ενημερώνει το άλλο άκρο για τη σύναψη QoS επικοινωνίας μεταξύ των δύο Clients.

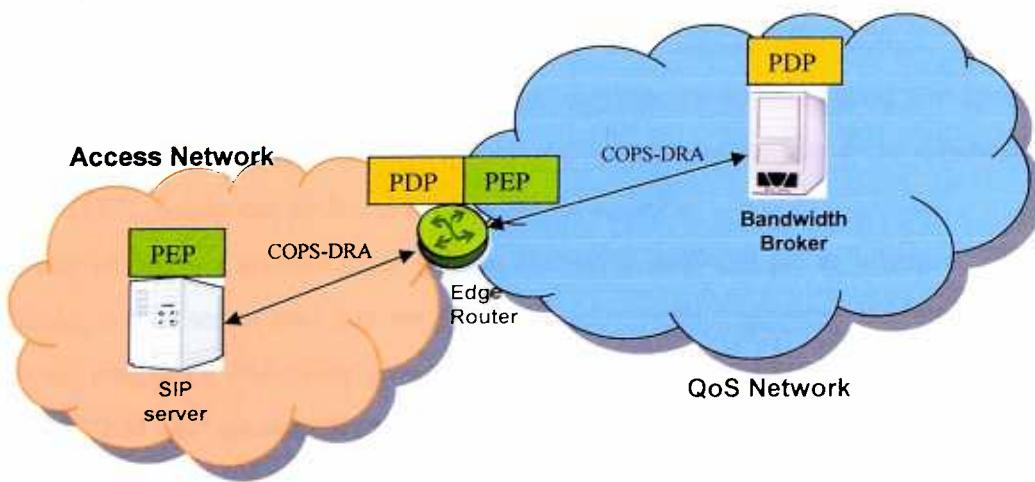
Είναι φανερό ότι η εγκαθίδρυση QoS συνόδου, χωρίζεται λογικά σε δύο λειτουργίες:

- Τον από άκρο σε άκρο μηχανισμό σηματοδοσίας για την ανταλλαγή QoS πληροφοριών ανάμεσα στους SIP Servers κάθε πελάτη, που γίνεται με το πρωτόκολλο Q-SIP όπως περιγράψαμε παραπάνω.
- Την διαπραγμάτευση για την παροχή QoS ανάμεσα στους SIP Servers και τα εμπλεκόμενα στοιχεία του QoS Δικτύου, που γίνεται με το πρωτόκολλο COPS-DRA που θα μελετήσουμε στην [Ενότητα 6.4.2](#).

6.4.2 Το πρωτόκολλο COPS-DRA

Το COPS-DRA (Common Open Policy Service for Diffserv Resource Allocation) [Draft Salsano] είναι ένας client που υλοποιεί μια επέκταση του πρωτοκόλλου COPS για την δυναμική υποστήριξη QoS σε IP-Diffserv δίκτυα. Οπως αναφέρθηκε και στην υλοποίηση του COPS-SLS για τη διαπραγμάτευση SLAs στην [Ενότητα 6.3.1](#), το COPS είναι ένα απλό “query and response” πρωτόκολλο που επιτρέπει σε policy servers (PDPs) να μεταδίδουν αποφάσεις πολιτικής σε policy clients (PEPs).

Το COPS-DRA χρησιμοποιείται τόσο στη διεπαφή μεταξύ του Client (SIP Server) και του εξωτερικού δρομολογητή του QoS Δικτύου, οπότε το πρώτο λειτουργεί σαν PEP και το δεύτερο σαν PDP, όσο και στη διεπαφή μεταξύ του εξωτερικού δρομολογητή και του Bandwidth Broker, οπότε ο δρομολογητής είναι το PEP και ο BB το PDP. Μάλιστα το ίδιο στοιχείο του δικτύου (πχ δρομολογητής μπορεί να λειτουργεί ταυτόχρονα και στις δύο διεπαφές του ([βλ. Εικόνα 6.8](#))



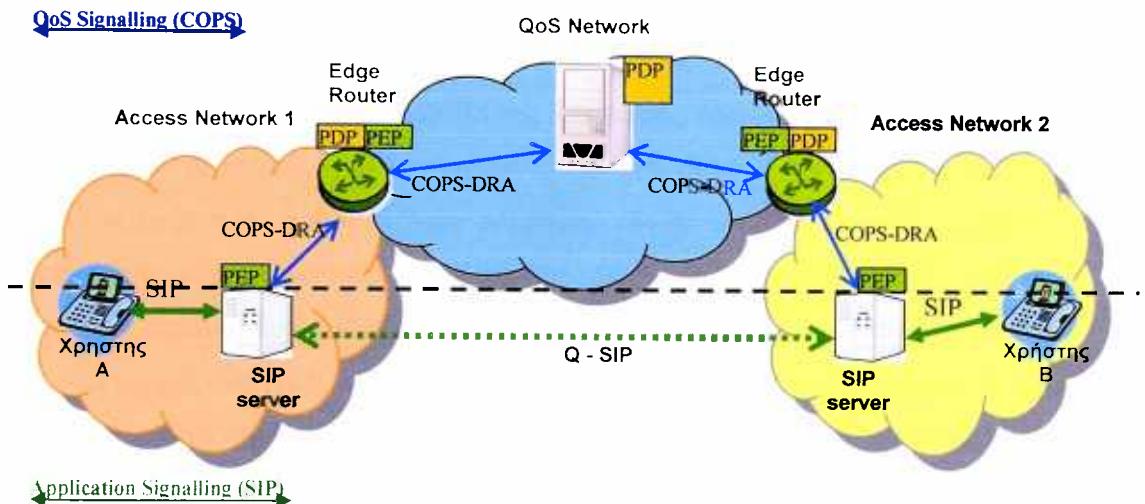
Εικόνα 6.8 – Οι διεπαφές του COPS-DRA

6.4.3 Σενάριο τηλεφωνίας SIP

Στην ενότητα αυτή θα συνδυάσουμε τα δύο πρωτόκολλα της Ενότητας 6.4.1 και 6.4.2.

Θα περιγράψουμε ένα σενάριο λειτουργίας μιας υπηρεσίας IP τηλεφωνίας

χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Q-SIP σε επίπεδο εφαρμογής για την ανταλλαγή QoS πληροφοριών και το πρωτόκολλο COPS-DRA για την δέσμευση πόρων στο δίκτυο. Μια αναπαράσταση της τοπολογίας του δικτύου φαίνεται στην Εικόνα 6.9.



Εικόνα 6.9 – Σενάριο QoS IP Τηλεφωνίας

Ένας χρήστης Α ξεκινάει μια κλήση από το δίκτυο πρόσβασης N1 προς τον χρήστη Β στο δίκτυο πρόσβασης N2 στέλνοντας ένα απλό “SIP INVITE” μήνυμα στον Q-SIP Server στο δίκτυο N1. Αυτό περιλαμβάνει το URI και το SDP με τα χαρακτηριστικά της κλήσης (πχ codecs, ports κτλ.). Ο χρήστης Α αντιλαμβάνεται τον Q-SIP server σαν ένα απλό SIP server. Ο Q-SIP server, με βάση τη διεύθυνση του Α και τα χαρακτηριστικά της ζητούμενης συνόδου αποφασίζει αν θα ξεκινήσει τη διαδικασία παροχής QoS υπηρεσίας. Σε περίπτωση που αποφασίσει θετικά, εισάγει τις πληροφορίες QoS στο “SIP INVITE” μήνυμα και το προωθεί προς τον προορισμό. Όλοι οι ενδιάμεσοι SIP servers προωθούν το μήνυμα σαν να ήταν κανονικό “SIP INVITE”, ακόμα και αν δεν υποστηρίζουν το Q-SIP.

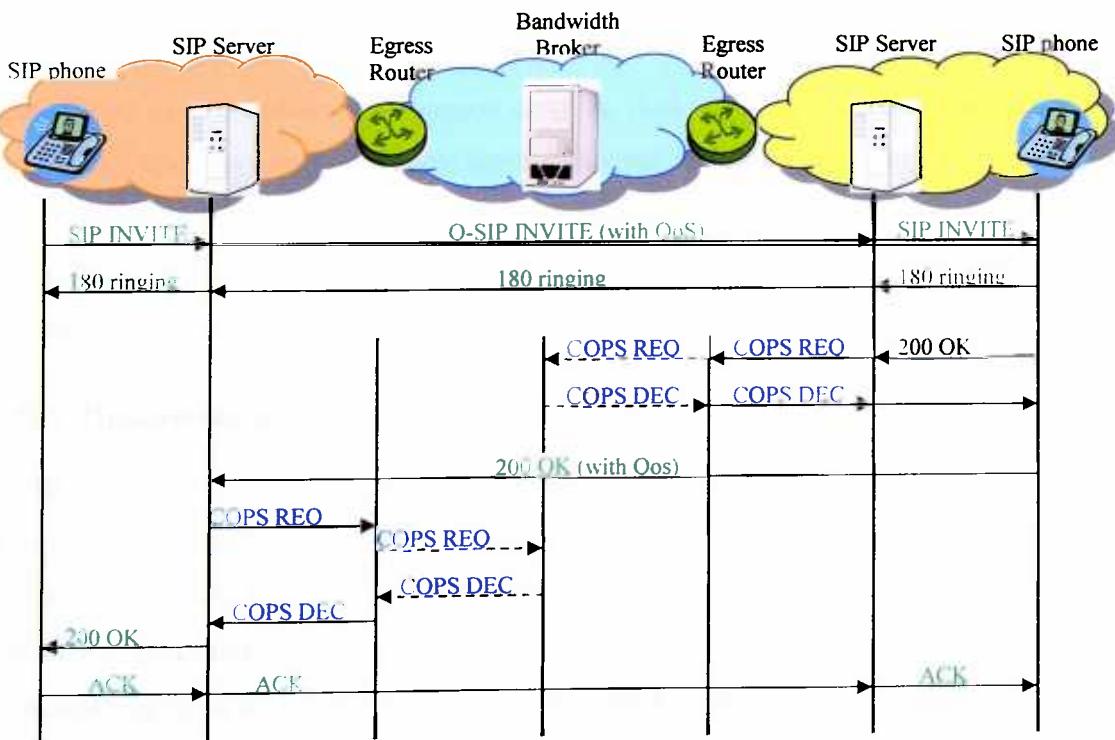
Όταν το μήνυμα φτάσει στον χρήστη Β, αυτός απαντάει με το μήνυμα “200 OK”. Μόλις ο SIP server από τον οποίο δέχεται μηνύματα ο χρήστης Β λάβει το μήνυμα αυτό, υπάρχουν δύο ενδεχόμενα: α) αν δεν υποστηρίζει QoS θα το προωθήσει σαν απλό “200 Ok” με αποτέλεσμα ο Α να το λάβει και να απαντήσει με μήνυμα ACK εγκαθιδρύοντας μια best-effort σύνδεση μεταξύ Α και Β ή β) αν υποστηρίζει Q-SIP, εξάγει όλα τα QoS χαρακτηριστικά και ζητάει από το δίκτυο την παροχή QoS από τον Β μέχρι τον Α.

Τότε μπαίνει σε λειτουργία το πρωτόκολλο COPS. Ο Q-SIP Server, λειτουργώντας σαν PEP στέλνει αίτηση για τη δέσμευση πόρων στον εξωτερικό δρομολογητή του

QoS Δικτύου. Αυτός, λειτουργώντας σαν PDP, μπορεί να πάρει απόφαση για την αποδοχή ή όχι της αίτησης είτε μόνος του είτε με τη βοήθεια του Bandwidth Broker. Στη δεύτερη περίπτωση, το πρωτόκολλο COPS λειτουργεί στην διεπαφή ανάμεσα στον εξωτερικό δρομολογητή και τον BB με τον πρώτο να έχει το ρόλο του PEP και τον δεύτερο το ρόλο του PDP.

Σε κάθε περίπτωση, όταν η διαδικασία της δέσμευσης πόρων ολοκληρωθεί επιτυχώς, αποθηκεύεται το αποτέλεσμα και στέλνεται με ένα μήνυμα “200 OK” στον Q-SIP server του χρήστη A. Αυτός ελέγχει το μήνυμα και με τον ίδιο τρόπο δεσμεύει τους απαραίτητους πόρους ώστε να συνδέσει τον χρήστη του στο QoS Δίκτυο. Μόλις το καταφέρει, στέλνει ένα απλό μήνυμα “200 OK” πίσω στον χρήστη A, ο οποίος απαντάει με μήνυμα ACK που φτάνει ως τον χρήστη B. Πλέον η από άκρη σε άκρη σύνδεση του χρήστη A με τον χρήστη B με εγγυήσεις QoS είναι γεγονός και μπορεί να ξεκινήσει η μετάδοση της φωνής.

Στην [Εικόνα 6.10](#) φαίνεται σχηματικά η παραπάνω διαδικασία με την ακολουθία των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών.



Εικόνα 6.10 – Σενάριο QoS IP Τηλεφωνίας

6.5 Inter-domain Resource Management

Στην προηγούμενη ενότητα το πρόβλημα της δέσμευσης πόρων περιορίστηκε σε ένα administrative domain, δηλαδή τόσο η πηγή όσο και ο προορισμός της αίτησης διαχειρίζονταν από τον ίδιο Bandwidth Broker. Σε αυτή την Ενότητα θα εξεταστεί το γενικότερο πρόβλημα της δέσμευσης πόρων σε διαφορετικά administrative domains, δηλαδή η περίπτωση που η διαδρομή από την προέλευση S στον προορισμό D διέρχεται από πολλαπλά domains, εμπλέκοντας περισσότερους του ενός Bandwidth Brokers. Όπως θα δούμε το πρόβλημα αυτό ανάγεται σε δέσμευση intra-domain πόρων σε διαδοχικά domains. Ουσιαστικά δηλαδή χρησιμοποιούμε μια αρχιτεκτονική δύο επιπέδων (two-tier), όπου:

1. στο πρώτο επίπεδο μια σειρά από Bandwidth Brokers σε ένα path από domains επικοινωνούν μεταξύ τους και ζητούν πόρους
2. και στο δεύτερο επίπεδο κάθε BB αναλαμβάνει χρησιμοποιώντας το δικό του εσωτερικό πρωτόκολλο, να κάνει την κράτηση των πόρων.

Το πρώτο επίπεδο, που είναι και το θέμα αυτής της Ενότητας, περιλαμβάνει τρία σκέλη: ένα μηχανισμό υπολογισμού του path που θα ακολουθηθεί από το domain προέλευσης έως το domain προορισμού ώστε να γίνει κράτηση σε όλα τα ενδιάμεσα δίκτυα, ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων για την επικοινωνία των BB μεταξύ τους και ένα μηχανισμό εγκαθίδρυσης Label Switched Paths για βελτιστοποίηση της λειτουργίας. Τα τρία αυτά συστατικά περιγράφονται στις υπο-ενότητες 6.5.1 - 6.5.3 αντίστοιχα.

6.5.1 Πρωτόκολλο QoS inter-domain Δρομολόγησης

Το BGP [RFC 1772] είναι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα για inter-domain δρομολόγηση. Μια λύση λοιπόν είναι να ενσωματωθούν οι πίνακες δρομολόγησης που παράγει στους Bandwidth Brokers ώστε οι τελευταίοι να έχουν εικόνα του Δικτύου και να ξέρουν που να κατευθύνουν τις αιτήσεις τους [BGP-QoS]. Το πρόβλημα όμως με το BGP είναι ότι δε διαθέτει πληροφορίες QoS με αποτέλεσμα μια τέτοια προσέγγιση να μη λειτουργεί. Συγκεκριμένα γνωρίζει το επόμενο hop που πρέπει να ακολουθηθεί προς τον προορισμό D αλλά δεν γνωρίζει αν το domain αυτό διαθέτει τους πόρους για την εξυπηρέτηση του QoS, ούτε μπορεί να προτείνει εναλλακτική διαδρομή.

Μια δεύτερη προσέγγιση είναι να υπολογίζεται από την πηγή S όλο το από άκρο σε άκρο path πριν αποσταλεί η κίνηση μέσω αυτού και αφού έχει διασφαλιστεί η παροχή του QoS. Για να γίνει αυτό όμως πρέπει κάθε BB να γνωρίζει την πλήρη τοπολογία του Δικτύου, κάτι που δεν είναι scalable ειδικά όταν μιλάμε για το Διαδίκτυο. Έχουν προταθεί πολλές ierarchical λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος, αλλά το aggregation που κάνουν στην πληροφορία ώστε να μειώσουν τον όγκο της και να πετύχουν scalability, οδηγεί σε απώλεια πληροφορίας και συνεπώς σε μεγαλύτερους χρόνους εγκαθίδρυσης (setup time) και αναποτελεσματικό υπολογισμό των paths. [RB-Arch]. Για τους παραπάνω λόγους προτείνεται μια αρχιτεκτονική που βασίζεται στο χώρισμα του Δικτύου σε περιοχές (*regions*), και χρησιμοποιεί ένα link-state πρωτόκολλο για την ανταλλαγή πληροφοριών μόνο ανάμεσα στα μέλη (BBs) ενός region. Η αρχιτεκτονική αυτή περιγράφεται στην επόμενη Ενότητα.

6.5.1.1 Αρχιτεκτονική Region-based QoS Routing

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την εξασφάλιση του QoS κατά την παροχή της υπηρεσίας χρησιμοποιείται ένα link-state πρωτόκολλο, που τρέχει στο domain όπου βρίσκεται η πηγή της αίτησης, και χωρίζει το Δίκτυο σε regions. Κάθε region είναι ένα σύνολο από Autonomous Systems (AS). Κάθε AS αντιπροσωπεύεται από ένα Bandwidth broker, ο οποίος αλληλεπιδρά με άλλους BB εντός του region στο οποίο ανήκει.

Κατασκευή των Regions

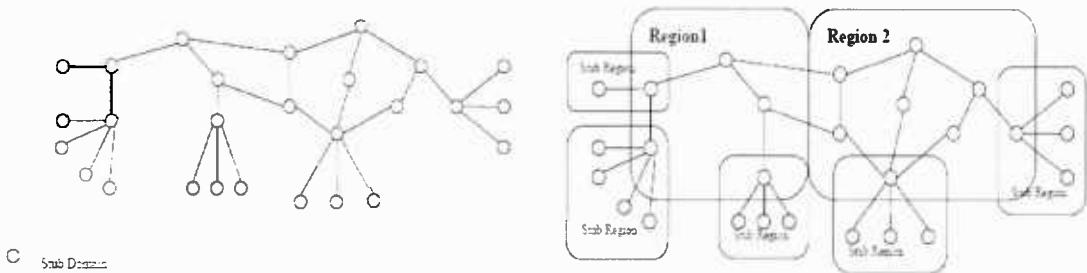
Έστω I το Διαδίκτυο, που μοντελοποιείται σαν ένας γράφος $I = (N, L)$ αποτελούμενος από πεπερασμένο αριθμό κόμβων N και πεπερασμένο αριθμό ακμών L. Κάθε κόμβος $n \in N$ σε αυτό το Δίκτυο αποτελεί ένα AS. Μια region $R_i = (V, E)$ είναι ένας γράφος, υποσύνολο του Δικτύου I (δηλαδή $R_i \subseteq I$) και το σύνολο των regions αποτελεί το Internet (δηλαδή $R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n = I$). Κάθε κόμβος N δεν μπορεί να ανήκει σε παραπάνω από μία region και κάθε κόμβος πρέπει να ανατεθεί σε ένα region. Στην Εικόνα 6.11 παρατίθεται ο αλγόριθμος κατασκευής των Regions, που ακολουθεί τη λογική του Breadth-First Search (BFS). Ο αριθμός των regions που θα χωριστεί το Δίκτυο καθώς και το μέγεθος κάθε region μπορεί να καθορίζεται από κάποιο διαχειριστή ή κάποια αρχή και τα domains μπορούν να ανατίθενται σε κάποιο region με βάση το connectivity τους.

S is the temporary set of vertices, *V* is the set of highest degree nodes in the network, and *R* is the set of regions, and *i* is the number of regions.

1. Set S_n to V_n and set R_n to the graph consisting of V_n and no edges, where $n=1,2,\dots,i$. V_n is the root of tree R_n .
2. Process vertices in S_n in order. For each vertex x in S_n add adjacent vertex y to S_n iff y is not in any R_n or S_n .
3. Replace the content of S_n with the children in R_n . Go to step 2.

Εικόνα 6.11 - Αλγόριθμος κατασκευής Regions

Στην Εικόνα 6.12β επιδεικνύεται το αποτέλεσμα της λειτουργίας του παραπάνω αλγορίθμου για το δίκτυο της Εικόνας 6.12α.



Εικόνα 6.12 - Αλγόριθμος κατασκευής Regions

Μετά την κατασκευή του γράφου, σε κάθε region και κάθε node ανατίθεται ένας αριθμός *region number* και *domain number* αντίστοιχα. Το ζεύγος αυτών των αριθμών χρησιμοποιείται για να περιορίσει την ανταλλαγή link state μηνυμάτων (flooding) μέσα στα όρια του region. Η λειτουργία αυτή φαίνεται στην επόμενη ενότητα.

Το σημαντικό με τον παραπάνω τρόπο υπολογισμού του γράφου, με τον οποίο αναπαρίσταται το Δίκτυο, είναι ότι όλες οι διασυνδέσεις μεταξύ των regions εμφανίζονται στην τοπολογία του Δικτύου. Αντίθετα, άλλες αρχιτεκτονικές (πχ ιεραρχικές) επιλέγουν ένα αντιπροσωπευτικό link και αγνοούν τα υπόλοιπα με αποτέλεσμα να χάνεται η πληρότητα της πληροφορίας. Με την Region-based αρχιτεκτονική πετυχαίνουμε σημαντική μείωση της απαιτούμενης πληροφορίας που πρέπει να αποθηκεύεται σε κάθε κόμβο, ενώ παράλληλα διατηρείται η ικανότητα υπολογισμού εναλλακτικών paths. Το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι απαραίτητο για την παροχή QoS από το Δίκτυο, όπως θα φανεί στη συνέχεια της περιγραφής.

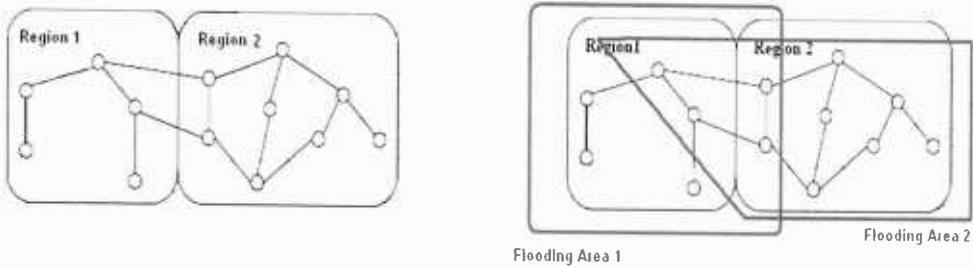
Link-state Πρωτόκολλο

Μέσα σε κάθε region, τρέχει ένα link-state πρωτόκολλο δρομολόγησης. Κάθε domain αναπαρίσταται από το ζεύγος *<domain number, region number>*. Κάθε domain μέσα

σε κάθε region διατηρεί ένα πίνακα με τα γειτονικά domain που ονομάζεται *peer table*. Επιπλέον διατηρεί ένα δεύτερο πίνακα με το ζεύγος *<ingress domain, region number>* που ονομάζεται *peer region table* και περιλαμβάνει όλα τα edge domains, δηλαδή αυτά που έχουν διασύνδεση με κάποιο άλλο domain σε κάποιο γειτονικό region.

Κάθε domain διαφημίζει τα link states του σε κάθε άλλο domain που βρίσκεται στο peer table του.

- Όταν ένα domain που δεν είναι edge domain λάβει ένα link state μήνυμα από ένα domain που βρίσκεται εντός του peer table του (δηλαδή γειτονικό domain), δέχεται το μήνυμα και ενημερώνει τη link-state βάση δεδομένων του. Έπειτα προωθεί το μήνυμα αυτό σε όλους τους γείτονές του εκτός από αυτόν από τον οποίο έλαβε το μήνυμα. Με το flooding αυτό όλα domain ενός region λαμβάνουν τα link-states των υπόλοιπων μελών του region και έχουν μια εικόνα της τοπολογίας του δικτύου μαζί με τα link states.
- Αν το domain είναι edge domain, πρέπει να εξετάσει το μήνυμα και συγκεκριμένα τον αποστολέα και τον δημιουργό (originator) του μηνύματος καθώς και τα regions αυτών πριν το δεχτεί και το διαδώσει στους peers του δικού του region (region call admission control).
 - Αν το μήνυμα προέρχεται από domain άλλου region και το domain αυτό είναι ο δημιουργός του μηνύματος, τότε δέχεται το μήνυμα, ενημερώνει τη βάση δεδομένων του και το προωθεί στα υπόλοιπα μέλη του region.
 - Αν το domain αυτό απλά προωθεί μήνυμα που δεν ξεκίνησε από το region του, τότε διαγράφει το μήνυμα χωρίς να το προωθήσει και χωρίς να ενημερώσει τη βάση του. Αυτό γίνεται για να περιοριστεί το flooding μόνο ανάμεσα σε γειτονικά domains. Συνθέτοντας τις πληροφορίες κάθε domain για τους γείτονές του, μπορούμε να πάρουμε την συνολική τοπολογία του region.
- Τέλος αν ένα domain λάβει μήνυμα από domain κάποιου άλλου region, τότε ενημερώνει τη link state βάση δεδομένων του καθώς και το peer region table. Με τον τρόπο αυτό κάθε domain σε ένα region κατασκευάζει το peer region table του, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα ingress domains για κάθε γειτονικό region. Αυτά τα ingress domains θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του path στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 6.13 - Regions και flooding Areas

Η περιοχή Flooding του link-state πρωτοκόλλου είναι ευρύτερη του region καθώς περιλαμβάνει επιπλέον τα ingress domains όλων των γειτονικών regions (βλ Εικόνα 6.13). Έτσι καθένα από τα domain ενός region έχει στην τοπολογική αντίληψή του κάθε άλλο domain του ίδιου region και τα ingress domains των γειτονικών regions.

Αυτή η επικάλυψη των regions στα ingress domains είναι που δίνει τη δυνατότητα inter-domain δρομολόγησης χωρίς να παρεμβάλλεται κάποια ιεραρχικά ανώτερη οντότητα. Και αυτό γιατί όταν ένα domain μέσα σε ένα region υπολογίσει το «καλύτερο» path μέχρι το επόμενο region, αυτό το path θα καταλήγει σε ένα ingress domain ενός γειτονικού region. Έτσι έχει ήδη επιλεχτεί το επόμενο region που πρέπει να μπει στο από άκρο σε άκρο path. Η επόμενη κίνηση είναι να σταλεί μια νέα αίτηση για υπολογισμό path σε αυτό το ingress domain και να επαναληφθεί η διαδικασία μέχρι το επόμενο ingress domain του γειτονικού region κοκ μέχρι ο προορισμός να βρεθεί εντός του region και να τερματίσει ο υπολογισμός του path.

Υπολογισμός του path

Συνοπτικά, η λογική του αλγορίθμου υπολογισμού του path είναι:

1. να βρεθεί το καλύτερο QoS path μέσα σε κάθε region
2. να υπολογιστεί το regional path από την πηγή στον προορισμό
3. να ζητηθεί από το γειτονικό ingress domain του επόμενου region στο inter-region path να υπολογίσει το intra-region path μέχρι το επόμενο region.
4. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσει στο domain προορισμού.

Έστω ότι ένας χρήστης στο domain S θέλει να στείλει κίνηση με QoS σε κάποιο domain D.

Βήμα 1: Πιο αναλυτικά, κάθε domain μέσα σε ένα region υπολογίζει ένα path προς κάθε άλλο domain μέσα στο ίδιο region. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνεται On-demand ή και να βασίζεται σε εκ των προτέρων υπολογισμό.

Βήμα 2: Ο χρήστης επικοινωνεί με το domain S στο οποίο βρίσκεται και ζητάει το QoS. Το domain S πρώτα αναγνωρίζει το region Rd στο οποίο ανήκει το domain D. Αν αυτό είναι διαφορετικό από το region Rs του S, το S υπολογίζει το *regional path* από το Rs στο Rd. Έστω ότι αυτό είναι $Pr = Rs, \dots, Rd$.

Βήμα 3: Γνωρίζοντας το Pr , το domain S αναζητεί το ingress domain για το επόμενο region στο path Pr , εξετάζοντας τον peer region table. Έπειτα υπολογίζει την καλύτερη διαδρομή (ανάλογα με τις παραμέτρους που έχουν επιλεγεί) μέχρι το ingress αυτό domain.

Βήμα 4: Μετά την εξασφάλιση του QoS μέχρι το επόμενο region, στέλνει ένα μήνυμα αίτησης για path στον παραπάνω ingress domain συμπεριλαμβάνοντας ολόκληρο το path Pr . Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα regions που βρίσκονται στο Pr , μέχρι το μήνυμα να φτάσει στο domain προορισμού D.

Το domain προορισμού D, απαντάει με ένα μήνυμα στον ingress domain του Rd που του έστειλε το μήνυμα. Κάθε ingress domain στο Path Pr προωθεί το μήνυμα προς τα πίσω πάνω στο Pr , προσθέτοντας το δικό του τμήμα Pi στο explicit path του μηνύματος απάντησης. Όταν το domain S λάβει το μήνυμα θετικής απάντησης, το από άκρο σε άκρο QoS path έχει υπολογιστεί και η QoS υπηρεσία μπορεί να ξεκινήσει.

Στην Εικόνα 6.14 παρατίθεται ο αλγόριθμος υπολογισμού του Path.

```

Path Request:
Get PReqM(source-id,destination-id,
           penultimate-id,QoS Parameters);
IF penultimate-id = my-id
    Check the QoS parameters to the destination domain
    IF available:
        Path = (destination-id)
        Return PRespM;
    IF not available:
        Return Error;
ELSE IF penultimate-region = my-region
    Calculate the QoS path:
    Path=(n1,n2...nn)
    Update the QoS parameters
    Send PReqM to nn with updated QoS parameters;
    Wait for PRespM;

IF penultimate-region != my-region
    get next-region: nr
    get ingress to the nr: nri
    Calculate the QoS path to the nri:
    Path = (n1,n2...nnri)
    Update the QoS parameters
    Send PReqM to nri with updated QoS parameters;
    Wait for PRespM;

Path Response:
IF destination-id = my-id
    Path' = null;
    Send PRespM(Path') to penultimate-id;
ELSE
    Get PRespM(Path)
    Path = Path ∪ MySubPath
    Send PRespM(Path)

```

Εικόνα 6.14 - Αλγόριθμος Υπολογισμού Inter-Region Path

6.5.2 Πρωτόκολλο SIBBS

Έχοντας υπολογίσει το path από την πηγή στον προορισμό, οι Bandwidth Brokers χρειάζονται ένα πρωτόκολλο για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και να συντονίσουν την δέσμευση πόρων σε όλα τα εμπλεκόμενα domains ώστε να εκυπηρετήσουν μια κλήση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούν το “Simple Inter-domain Bandwidth Broker Signaling” (SIBBS) πρωτόκολλο. Πρόκειται για ένα απλό “request-response” πρωτόκολλο, που χρησιμοποιεί δύο βασικούς τύπους μηνυμάτων: Resource Allocation Request (RAR) και Resource Allocation Answer (RAA). Τα μηνύματα RAR μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με την κίνηση. Η δομή ενός τέτοιου μηνύματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

SIBBS version	RAR ID
Sender ID	Sender Signature
Source Prefix	Destination Prefix
Ingress Router ID	Start Time
Stop Time	Flags
GWS ID	Service Parameter TLV
Other (Optional) TLVs	

Εικόνα 6.15 - Δομή του μηνύματος Resource Allocation Request (RAR)

Το SIBBS πρωτόκολλο λειτουργεί σειριακά με την έννοια ότι ένα RAR ξεκινάει από το domain προέλευσης και περνάει από όλους τους BB που ελέγχουν domains που βρίσκονται στη διαδρομή μέχρι τον προορισμό. Ο BB στο αρχικό domain δημιουργεί το RAR μήνυμα και ενσωματώνει σε αυτό το ακριβές QoS path που πρέπει να ακολουθήσει για να φτάσει στον προορισμό. Κάθε BB, λαμβάνοντας το RAR εξάγει τα χαρακτηριστικά QoS που περικλείονται σε αυτό (βλ. Εικόνα 6.15) και κάνει μια σειρά από ελέγχους, όπως εξουσιοδότηση του χρήστη, συμβατότητα υπηρεσίας με υπάρχουσες SLAs, συμβατότητα χρήστη με πολιτική του domain και ανάθεση της κλήσης σε κάποιο εξωτερικό δρομολογητή. Έπειτα εξετάζει αν οι διαθέσιμοι πόροι στο domain που ελέγχει ικανοποιούν το ζητούμενο QoS, τρέχοντας το intra-domain πρωτόκολλό του. Αν η απάντηση είναι θετική προωθεί το RAR στον επόμενο BB του path.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε όλους τους BB που βρίσκονται στο path μέχρι τον προορισμό. Μόλις ο καλούμενος λάβει το RAR από τον τελευταίο BB του path, αποφασίζει αν θα δεχτεί την κλήση κάνοντας τους ίδιους ελέγχους με παραπάνω. Αν ναι, απαντάει με ένα μήνυμα RAA, το οποίο προωθείται προς τα πίσω από το ίδιο ακριβώς path που πέρασε το RAR. Κάθε BB που λαμβάνει το RAA, ενεργοποιεί την δέσμευση των πόρων που του είχε ζητηθεί με το μήνυμα RAR, κάνοντας τις ανάλογες ρυθμίσεις στο εσωτερικό του domain (πχ ρύθμιση δρομολογητών). Μόλις το RAA φτάσει στον αρχικό χρήστη, η υπηρεσία έχει ενεργοποιηθεί από άκρο σε άκρο και μπορεί να ξεκινήσει η αποστολή κίνησης.

```

Originating BB:
GET RAR;
GET Inter-domain QoS Path: QoP=( BB1,BB2...BBn,BBd )
IF (authentication and Resources and SLA conformation
and Policy conformation)
THEN egress-router = egress router;
    Intra-Domain Path=(Org.-router,...,egress-router);
    IF( Label-Insert ) THEN Label = Request-Label;
    ELSE;
        RAR = RAR-swap ( BB-ID, BB-Signature );
    Next-BB = BB1
        Forward RAR(insert QoP) to Next-BB ; Wait for RAA;
    ELSE Return RAA with Error Code;

Transit BB:
get RAR(QoP);
IF (authentication and Resources and SLA conformation
and Policy conformation)
THEN egress-router = egress router;
    Intra-domain Path=(ingress-router,.., egress-router);
    IF( Label-Insert ) Label = Request-Label;
    ELSE;
        RAR = RAR-Swap ( BB-ID, BB-Signature );
    Next-BB = Next on the QoP list
        Forward RAR to Next-BB ;Wait for RAA;
    ELSE Return RAA with Error Code;

Destination Domain:
IF (authentication and Resources and SLA conformation
and Policy conformation)
THEN egress-router = dest-router;
    Intra-domain Path=(ingress-router,.., dest-router);
    IF( Label-Insert ) Label = Request-Label;
    ELSE;
        Forward RAR; // to the end-system;
    ELSE Return RAA with Error Code;

RAA Processing:
GET RAA(QoP);
IF(Label-flag) THEN
    Edge-Label=Extract Label from RAA;
    Push label to egress-router; Setup inter-domain LSP
    get label from ingress-router;
    RAA = RAA-Insert(label),
ELSE;
    RAA = RAA-Insert( BB-ID, BB-Signature );
    Allocate Intra-Domain Resources();
    Next-BB= Next BB on the QoP
    Forward RAA to next-BB.

```

Εικόνα 6.16 - Αλγόριθμος SIBBS

6.5.3 Inter-domain Label Switch Path Setup

Στην Παράγραφο αυτή θα χρησιμοποιήσουμε το μηχανισμό του MPLS για την παροχή QoS paths. Το «κλασικό» IP/MPLS δεν μπορεί να λειτουργήσει ανάμεσα σε διαφορετικά administrative domains γιατί η διανομή ετικετών (labels) για τη δημιουργία Label Switched Paths (LSP) πρέπει να γίνεται από ένα φορέα. Για να επεκτείνουμε το μηχανισμό αυτό και σε interdomain επίπεδο θα χρησιμοποιήσουμε το πρωτόκολλο SIBBS για την μεταφορά των ετικετών ανάμεσα σε γειτονικά domains.

Έτσι, τα RAR μηνύματα του SIBBS μεταφέρουν “label requests” από ένα domain στο επόμενό του. Αυτό επιτρέπει στους bandwidth brokers να γνωρίζουν ότι αυτή η αίτηση για δέσμευση πόρων πρόκειται να χτίσει ένα inter-domain LSP ανάμεσα στα

δύο domains. Το domain αυτό λοιπόν παίρνει μια ετικέτα για να την αναθέσει στο tunnel, την ενσωματώνει σε ένα μήνυμα RAA και τη στέλνει πίσω στο προηγούμενο domain. Αυτό με τη σειρά του εξάγει την ετικέτα και την στέλνει στον αντίστοιχο Label Edge Router (LER) του. Όταν η κατασκευή του inter-domain tunnel ολοκληρωθεί, ο BB φτιάχνει ένα intra-domain LSP μεταξύ του LER εισόδου και του LER εξόδου. Έτσι ο BB είναι υπεύθυνος για την κατασκευή τόσο intra-domain όσο και inter-domain LSP tunnels.

6.6 Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο αυτό, μελετήσαμε το πρόβλημα της δέσμευσης πόρων και παρουσιάσαμε μια αρχιτεκτονική, βασισμένη στις τεχνολογίες του NGN, που μπορεί να προσφέρει το απαιτούμενο QoS. Δομικά στοιχεία αυτής της αρχιτεκτονικής είναι οι Bandwidth Brokers οι οποίοι αναλαμβάνουν όλη τη διαδικασία. Αυτή αποτελείται από τρεις βασικές λειτουργίες:

- Τη διαπραγμάτευση SLAs μεταξύ γειτονικών domains για την σύναψη σχέσεων όσον αφορά την εκμετάλλευση πόρων του ενός από τον άλλο. Η ενέργεια αυτή προηγείται οποιασδήποτε άλλης και γίνεται με τη βοήθεια των Web-Services.
- Την λήψη της αίτησης ενός χρήστη για παροχή QoS και την intra-domain δέσμευση πόρων που γίνεται με το πρωτόκολλο SIP και COPS αντίστοιχα.
- Την inter-domain δέσμευση πόρων που αποτελεί συνδυασμό πολλαπλών intra-domain λειτουργιών και γίνεται με ένα link-state πρωτόκολλο για τον υπολογισμό του domain path, το πρωτόκολλο SIBBS για την ανταλλαγή QoS πληροφοριών μεταξύ των BB και τη σύναψη inter-domain και intra-domain MPLS tunnels.

Η αρχιτεκτονική που παρουσιάσαμε αποτελείται από δύο ανεξάρτητα επίπεδα (two-tier): το Inter-domain και το Intra-domain. Με το να διατηρούμε τους δύο μηχανισμούς ανεξάρτητους, δίνουμε την ελευθερία σε κάθε domain να χρησιμοποιήσει όποιο intra-domain μηχανισμό επιθυμεί για την επικοινωνία του Bandwidth Broker με τους δρομολογητές του δικτύου. Έτσι μπορεί να διατηρεί την εσωτερική αυτοτέλειά του χωρίς να είναι υποχρεωμένο να αποκαλύπτει τις δυνατότητές του σε άλλα, πιθανά ανταγωνιστικά domains, δυνατότητα εξαιρετικά σημαντική για το άνοιγμα του μοντέλου παροχής QoS υπηρεσιών σε εμπορική κλίμακα.

Επίσης, η αρχιτεκτονική της inter-domain δέσμευσης πόρων έχει δύο μηχανισμούς για την διασφάλιση του QoS: πρώτα το inter-domain link state πρωτόκολλο

υπολογίζει ένα path από domains που εξασφαλίζει QoS. Ακριβώς όμως επειδή πρόκειται για link state πρωτόκολλο, η πληροφορία στην οποία βασίζει τον υπολογισμό του path μπορεί να μην ανταποκρίνεται στην πραγματική κατάσταση του δικτύου. Έτσι ο δεύτερος μηχανισμός, οι Bandwidth Brokers, αναλαμβάνουν να επιβλέπουν την εγκαθίδρυση του path και αν το προτεινόμενο path δεν μπορεί να παρέχει το απαραίτητο QoS, η διαδικασία σταματάει.

Βιβλιογραφία 6^{ου} Κεφαλαίου

Αναφορές

- [RFC 1772] Y. Rekhter, P. Gross, “*Application of the Border Gateway Protocol in the Internet*”, 1995
- [RFC 2475] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss “*Architecture for Differentiated Services*”, RFC 2475, 1998.
- [RFC 2638] K. Nichols, V. Jacobson, L. Zhang “*A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet*” RFC 2638, 1999.
- [RFC 2748] D. Durham, J. Boyle, R. Cohen, S. Herzog, R. Rajan, A. Sastry “*The COPS (Common Open Policy Service) Protocol*”, RFC 2748, 2000
- [Draft Salsano] S. Salsano “*COPS Usage for Diffserv Resource Allocation (COPS-DRA)*” Internet Draft, 2001
- [BGP-QoS] L. Xiaoz, K. Lui, J. Wangz, K. Nahrstedt “*QoS Extension to BGP*” 2002

Βιβλιογραφία

- [QBone] QBone Signaling Design Team “*QBone Bandwidth Broker Architecture*”
- [WS-mult] W. Jouve, J. Lancia, C. Consel, C. Pu “*A Multimedia-Specific Approach to WS-Agreement*” 2006
- [WS-Agree] A. Andrieux, K. Czajkowski, A. Dan, K. Keahey, H. Ludwig, T. Nakata, J. Pruyne , J. Rofrano, S. Tuecke, Ming Xu “*Web Services Agreement Specification (WS-Agreement)*” 2005
- [GridoIMS] A. Pichot, O. Audouin “*Grid services over IP Multimedia Subsystem*” 2006
- [COPS-SLS] T. Nguyen, N. Boukhatem, Y. Doudane, G. Pujolle “*COPS-SLS: A Service Level Negotiation Protocol for the Internet*” IEEE Communications Magazine 2002
- [ExtSIP] D. Papalilo, S. Salsano, L. Veltri “*Extending SIP for QoS support*” 2001
- [SIPext] L. Veltri, S. Salsano, D. Papalilo “*SIP Extensions for QoS support*”, Internet Draft 2002
- [COPS-DRA] S. Salsano, E. Sangregorio M. Listanti “*COPS DRA: a protocol for dynamic Diffserv Resource Allocation*”, 2001
- [RB-Arch] I. Okumus, J. Hwang, S. Chapin, H. Mantar, ”*Inter-Domain QoS Routing on Diff-serv Networks: A Region-based Approach*”, 2002.
- [RB-TE] I. Okumus, J. Hwang, S. Chapin, H. Mantar, ”*Inter-Domain Traffic Engineering on a Bandwidth Broker Supported Diffserv Internet*” 2003
- [RB-scal] I. Okumus, J. Hwang, S. Chapin, H. Mantar, “*Scalability of Inter-Domain Edge Tunnels Using Bandwidth Brokers : A Region-Based Approach*” 2003
- [LSP path] I. Okumus, J. Hwang, S. Chapin, H. Mantar “*Inter-Domain LSP Setup Using Bandwidth Management Points*” 2002



7.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 5, μελετήσαμε το Grid σαν υπηρεσία του NGN, ενώ στο Κεφάλαιο 6 μελετήσαμε μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική για την παροχή QoS, μέσω δέσμευσης πόρων στο NGN. Στο κεφάλαιο αυτό θα γενικεύσουμε το πρόβλημα της ταυτόχρονης δέσμευσης δικτυακών και υπολογιστικών πόρων για την παροχή QoS Grid υπηρεσιών. Ιδανικά θα θέλαμε ένα μοντέλο που να επιλέγει τον Server που θα ικανοποιήσει την αίτηση ενός πελάτη του Grid με βάση:

- Την δυνατότητά του να καλύψει το QoS που ζήτησε ο χρήστης για το Server
- Την ύπαρξη Path ανάμεσα στον Server και τον πελάτη που να μπορεί να προσφέρει το ζητούμενο QoS για το Path.
- Το συνολικό κόστος για την δέσμευση των πόρων του Server και του Δικτύου, το οποίο πρέπει να είναι ελάχιστο.

Δυστυχώς, στην διαθέσιμη βιβλιογραφία δεν υπάρχει μοντέλο που να καλύπτει και τις τρεις παραπάνω απαιτήσεις. Έτσι θα παρουσιάσουμε 3 μοντέλα που προσεγγίζουν το πρόβλημα τμηματικά. Το πρώτο μοντέλο στην Ενότητα 7.2 καταπιάνεται με την επιλογή του βέλτιστου Path όσον αφορά το QoS και το κόστος, δεν καλύπτει δηλαδή την 1^η απαίτηση. Το δεύτερο και τρίτο μοντέλο στις Ενότητες 7.3 και 7.4 αντίστοιχα, συνδυάζουν το πρόβλημα της επιλογής του βέλτιστου path με την επιλογή του βέλτιστου server που θα ικανοποιήσει την αίτηση αλλά δεν εισάγουν την έννοια των κόστους. Μετά την παρουσίαση, στην Ενότητα 7.5 θα γίνει μια συγκριτική αξιολόγηση των τριών μοντέλων και στην Ενότητα 7.6 θα επισημανθούν οι απαραίτητες προσθήκες για την κατασκευή ενός ενιαίου μοντέλου που να καλύπτει και τις τρεις απαιτήσεις.

7.2 Μοντέλο 1

Το πρώτο μοντέλο [2] που θα μελετήσουμε, καταπιάνεται με το πρόβλημα του Multi-Constrained Path (MCP), το οποίο επιχειρεί να βρει ένα Path που να ικανοποιεί τόσο τον περιορισμό της από άκρο σε άκρο καθυστέρησης όσο και τον περιορισμό του από

άκρο σε άκρο κόστους. Η ιδέα περιλαμβάνει δύο βήματα: πρώτα οι δύο παράμετροι, καθυστέρηση και κόστος, συνδυάζονται σε μια παράμετρο και ύστερα εμπλέκεται ο αλγόριθμος του Dijkstra για να βρει το αντίστοιχο ελάχιστο Path. Σε ένα περιβάλλον όπως αυτό του Internet, το κόστος μιας ζεύξης είναι συνάρτηση του QoS που παρέχει. Οι παράμετροι που αποτελούν στοιχείο διαπραγμάτευσης για τον ορισμό του QoS είναι η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση, η διακύμανση της καθυστέρησης (jitter) και η πιθανότητα απώλειας κίνησης. Όμως όλες αυτές οι παράμετροι μπορούν να αναχθούν σε μια ισοδύναμη υπηρεσία δεδομένης καθυστέρησης αλλά χωρίς jitter και απώλειες κίνησης [6]. Συγκεκριμένα το jitter μπορεί να εξαλειφθεί με κάποιο buffer αυξάνοντας τον χρόνο αναμονής και άρα την συνολική καθυστέρηση. Ομοίως η πιθανότητα απώλειας κίνησης μπορεί να ρυθμιστεί μέσω buffer ή μέσω δέσμευσης περισσότερου εύρους ζώνης, πράγμα που συνεπάγεται και πάλι μεγαλύτερη συνολική καθυστέρηση. Οπότε η μόνη παράμετρος απόδοσης που θα χρησιμοποιήσουμε σε αυτό το μοντέλο είναι η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση.

Μοντελοποίηση του Προβλήματος

Μοντελοποιούμε το Δίκτυο σαν ένα κατευθυνόμενο γράφο $G< N, E >$, όπου N το σύνολο των κόμβων και E το σύνολο των ακμών του γράφου. Κάθε ακμή ε συσχετίζεται με ένα βάρος $w(e) \in \mathbb{R}$, και συγκεκριμένα το βάρος d σχετίζεται με την καθυστέρηση και το βάρος c με το κόστος της ακμής. Ένα Path είναι μια πεπερασμένη ακολουθία μη επαναλαμβανόμενων κόμβων $p = (n_o, n_1 \dots n_k)$.

Θεωρούμε ένα αρχικό κόμβο s , ένα κόμβο προορισμού t και ένα προσθετικό βάρος w . Ορίζουμε την συνάρτηση $Dijk(w)$, η οποία επιστρέφει το ελάχιστο Path από το s στο t σύμφωνα με τον αλγόριθμο Dijksra. Έστω $p_o = Dijk(d)$ το path ελάχιστης καθυστέρησης με καθυστέρηση $D_o = D_{p_o}$ και κόστος $C_o = C_{p_o}$ και $p_i = Dijk(c)$ το path ελάχιστου κόστους με καθυστέρηση $D_i = D_{p_i}$ και κόστος $C_i = C_{p_i}$. Με τους παραπάνω ορισμούς το πρόβλημα του MCP που προσπαθούμε να επιλύσουμε μπορεί να οριστεί ως εξής:

Δεδομένων ενός Δικτύου $G< N, E >$, δύο κόμβων $s \in N$ και $t \in N$, της καθυστέρησης d και του κόστους c του κάθε link και ενός άνω ορίου για την καθυστέρηση D και για το κόστος C , το MCP πρόβλημα είναι ένα βρεθεί ένα path p από το s στο t , ώστε $D_p \leq D$ και $C_p \leq C$.

Αλγόριθμος για τη λύση του προβλήματος

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, η βασική ιδέα για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος είναι πρώτα να συνδυαστεί η καθυστέρηση και το κόστος σε μια κοινή παράμετρο και μετά να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος του Dijkstra για την εύρεση του ελάχιστου path. Για να γίνει το πρώτο, καταρχήν πρέπει να βρεθεί μια σχέση ανάμεσα στις δύο παραμέτρους. Αυτή η σχέση αποτυπώνεται στο παρακάτω θεώρημα:

Θεώρημα 1¹⁵: Αν $p = Dijk(d + \alpha c)$ και $q = Dijk(d + \beta c)$ με $\alpha \in \mathfrak{R}_o^+$ και $\beta \in \mathfrak{R}_o^+$ τότε

1. αν $\alpha \geq \beta$, τότε $C_p \leq C_q$ και $D_p \geq D_q$
2. $C_p = C_q$ αν $D_p = D_q$

Αυτό σημαίνει απλά ότι επιλέγοντας κατάλληλα την παράμετρο α που ελέγχει το βάρος w μπορούμε να ελέγξουμε το tradeoff μεταξύ καθυστέρησης και κόστους. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της παραμέτρου αυτής, τόσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση και αντίστοιχα μικρότερο το κόστος του Path.

Αν υποθέσουμε ότι με την επιλεγμένη παράμετρο α , δεν βρίσκεται κάποιο Path που να ικανοποιεί και τις δύο παραμέτρους, είτε γιατί ικανοποιείται ο περιορισμός της καθυστέρησης και όχι του κόστους, είτε αντίστροφα, τότε μπορούμε αλλάζοντας ελαφρώς την παράμετρο (ανεβάζοντας την στην πρώτη περίπτωση και χαμηλώνοντας την στη δεύτερη) να βρούμε ένα εφικτό Path. Αυτό αποτυπώνεται στο επόμενο θεώρημα:

Θεώρημα 2: Αν $r = Dijk(d + \alpha c)$, $p = Dijk(d + \beta c)$ και $q = Dijk(d + \gamma c)$ όπου $\beta < \gamma$, $C_p \neq C_q$ και $\alpha = \frac{D_q - D_p}{C_p - C_q}$, τότε:

1. $C_p \geq C_r \geq C_q$, $D_p \leq D_r \leq D_q$
2. $D_r + aC_r = D_p + aC_p$ αν $D_r + aC_r = D_q + aC_q$
3. $D_r + aC_r = D_p + aC_p$ αν δεν υπάρχει path h τέτοιο ώστε $C_h < C_p$ και

$$\alpha > \frac{D_h - D_p}{C_h - C_q}$$

¹⁵ Η απόδειξη του θεωρήματος παρατίθεται στο [2]

Με βάση την παραπάνω ανάλυση προτείνεται ο αλγόριθμος στην Εικόνα 7.1.

```

Algorithm MCP-IA( $G, s, t, c, d, C, D$ )
1    $q \leftarrow \text{Dijk}(c)$ 
2   if ( $c(q) > C$ ) then
3       return NULL
4   else if ( $d(q) \leq D$ ) then
5       return  $q$ 
6    $p \leftarrow \text{Dijk}(d)$ 
7   if ( $d(p) > D$ ) then
8       return NULL
9   else if ( $c(p) \leq C$ ) then
10      return  $p$ 
11   while TRUE do
12        $\alpha \leftarrow [d(q) - d(p)]/[c(p) - c(q)]$ 
13        $r \leftarrow \text{Dijk}(d + \alpha c)$ 
14       if ( $c(r) = c(q)$  or  $c(r) = c(p)$ ) then
15           return NULL
16       else if ( $c(r) > C$ ) then
17            $p \leftarrow r$ 
18       else if ( $d(r) > D$ ) then
19            $q \leftarrow r$ 
20       else
21           return  $r$ 

```

Εικόνα 7.1 – Αλγόριθμος Επίλυσης του MCP προβλήματος

Στον παραπάνω αλγόριθμο, πρώτα υπολογίζεται το Path ελάχιστου κόστους p_1 και το Path ελάχιστης καθυστέρησης p_0 . Αν $C_1 > C$ ή $D_0 > D$ τότε δεν υπάρχει εφικτό μονοπάτι και οι παράμετροι QoS πρέπει να επαναδιαπραγματευτούν. Άλλιώς αν $D_1 \leq D$ ή $C_0 \leq C$ τότε το p_1 ή p_0 αντίστοιχα είναι η λύση. Αν δεν ισχύει κανένα από τα παραπάνω, τότε τα p_1 και p_0 τίθενται στις αρχικές τιμές τους p και q αντίστοιχα. Σε κάθε επανάληψη το p ή q ενημερώνονται με ένα καλύτερο Path. Από το 3^o συμπέρασμα του Θεωρήματος 2, αν το μεικτό βάρος w του νέου path είναι το ίδιο με το p ή q , τότε ο αλγόριθμος δεν μπορεί να βρει καλύτερο path με w μικρότερο από αυτό των p ή q . Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος τερματίζει.

7.3 Μοντέλο 2

Στην Ενότητα αυτή θα μελετήσουμε το δεύτερο μοντέλο [3] όπου εξετάζεται το πρόβλημα της επιλογής του server που θα εξυπηρετήσει μια αίτηση ενός πελάτη του NGN Grid, η οποία θέτει περιορισμούς τόσο στην ποιότητα του path, όσο και του server. Αρχικά θα μοντελοποιηθεί το πρόβλημα και μετά θα παρουσιαστεί ένας αλγόριθμος για την επίλυσή του.

Προϋποθέσεις

Το μοντέλο υποθέτει την ύπαρξη ενός μηχανισμού που συλλέγει πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος και τις χρησιμοποιεί για την παροχή πόρων σε αιτήσεις χρηστών. Πιο συγκεκριμένα οι πληροφορίες περιλαμβάνουν:

- Την τοπολογία διασύνδεσης των Server με το Δίκτυο.
- Πληροφορίες για τους διαθέσιμους Servers.
- Την τρέχουσα διαθεσιμότητα πόρων του Server και του Δικτύου.

Μοντελοποίηση του Προβλήματος

Μοντελοποιούμε την αίτηση R ενός πελάτη με παραμέτρους: path, server και end-to-end quality ως: $R :<PATH_R, SERV_R, ETOE_R >$

Όπου $PATH_R :<BW_R >$, δηλαδή οι απαιτήσεις όσον αφορά το path περιλαμβάνουν το ζητούμενο εύρος ζώνης BW.

$SERV_R :<CPU_R, BUF_R, DB_R, NIC_R >$ δηλαδή οι απαιτήσεις για τον server περιλαμβάνουν τις δυνατότητες της CPU, το buffer της μνήμης, το εύρος ζώνης του δίσκου αποθήκευσης και οι δυνατότητες της κάρτας δικτύου.

$ETOE_R :<DL_R >$ δηλαδή το end-to-end quality προσδιορίζεται σαν μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση.

Μοντελοποιούμε το δίκτυο σαν ένα γράφο $G<N,E>$ όπου N οι κόμβοι και E οι ακμές του γράφου. Θεωρούμε διαθέσιμη μια υπηρεσία ευρετηρίου (directory service) που περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με:

- όλους τους πιθανά διαθέσιμους πόρους που μπορεί να χρησιμοποιήσει η υπηρεσία
- το διαθέσιμο εύρος ζώνης και την τρέχουσα καθυστέρηση για κάθε link του δικτύου
- τη διαθέσιμη χωρητικότητα των διαφόρων πόρων που περιγράφηκαν παραπάνω
- τον τρέχοντα χρόνο απόκρισης κάθε server

Έστω BW_{avail}^l το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε κάθε link l και DL^l η αντίστοιχη τρέχουσα καθυστέρηση. Τότε για κάθε path p, θα έχουμε:

$$BW_{avail}^l = \min_{l \in p} \{BW_{avail}^l\}$$

$$DL^p = \sum_{l \in p} DL^l$$

Μοντελοποιούμε τον Server χρησιμοποιώντας πέντε παραμέτρους: οι πρώτες τέσσερις αφορούν δυνατότητες του server και είναι η διαθέσιμη CPU, buffer μνήμης,

εύρος ζώνης δίσκου και εύρος ζώνης κάρτας δικτύου, ενώ η πέμπτη αφορά το χρόνο απόκρισης του server RSP^s .

Έστω $X(p,s)$ μια επιλογή Server και του αντίστοιχου Path, και EED^X η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση της επιλογής X . Τότε εξ ορισμού έχουμε:

$$EED^X = DL^p + RSP^s, p, s \in X$$

Για να χρησιμοποιήσουμε ένα ενιαίο τρόπο επιλογής server και path, ορίζουμε την έννοια της Distance Function, που εκφράζει το βαθμό συμφόρησης και υπολογίζεται με βάση την εναπομένουσα χωρητικότητα μετά την ανάθεση της ζητούμενης ποσότητας ενός πόρου σε ένα χρήστη. Για να ποσοτικοποιήσουμε την εναπομένουσα χωρητικότητα ορίζουμε την **Utilization Function**, η οποία για ένα link l , μια αίτηση r και μια παράμετρο n είναι:

$$\left\{ \begin{array}{l} UF(l, r, n) = \left(\frac{1}{BW_{avail}^l - BW_r} \right), \text{ αν } BW_{avail}^l > BW_r \\ UF(l, r, n) = \infty \text{ αλλιώς} \end{array} \right.$$

Ομοίως για ένα server s , μια αίτηση r και μια παράμετρο n είναι:

$$\left\{ \begin{array}{l} UF(s, r, n) = \left(\max \left(\frac{1}{CPU_{avail}^s - CPU_r}, \frac{1}{MEM_{avail}^s - MEM_r}, \frac{1}{DB_{avail}^s - DB_r}, \frac{1}{NIC_{avail}^s - NIC_r} \right) \right) \\ \text{αν τα διαθέσιμα CPU, MEM, DB και NIC είναι περισσότερα από αυτά που} \\ \text{ζητήθηκαν.} \\ UF(l, r, n) = \infty \end{array} \right.$$

Έτσι για ένα schedule $X\{p,s\}$ ορίζουμε την **Distance Function** ως:

$$Dist(s, r, n) = \sum_{l \in p, p \in X} UF(l, n, r) + UF(s, r, n), s \in X$$

Έτσι το πρόβλημα της επιλογής του βέλτιστου συνδυασμού server και path μπορεί να διαυπωθεί συνοπτικά ως εξής:

Δεδομένης μιας αίτησης $R : <BW_R, CPU_R, BUF_R, DB_R, DL_R>$, μια ανάθεση $X^* = \{p^*, s^*\}$ είναι βέλτιστη αν και μόνο αν ικανοποιούνται όλα τα παρακάτω:

$$BW_{avail}^{p^*} \geq BW_R \quad (1)$$

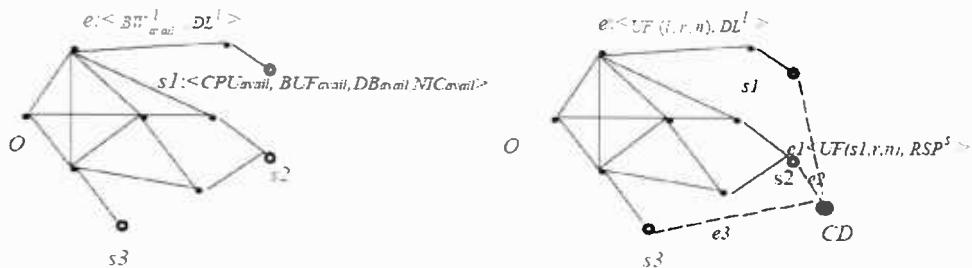
$$CPU_{avail}^{s^*} \geq CPU_R, BUF_{avail}^{s^*} \geq BUF_R, DB_{avail}^{s^*} \geq DB_R, NIC_{avail}^{s^*} \geq NIC_R \quad (2)$$

$$EED^{X^*} \geq DL_R \quad (3)$$

$$Dist(s^*, r, n) = \min\{Dist(s, r, n)\}, \text{ για κάθε } s \quad (4)$$

Αλγόριθμος για τη λύση του προβλήματος

Έστω μια αίτηση ενός χρήστη R από ένα σημείο O και μια σειρά από διαθέσιμους servers S. Επεκτείνουμε την τοπολογία $G < N, E >$ σε $G' < N', E' >$ προσθέτοντας ένα επιπλέον κόμβο CD και από μία τεχνητή ακμή Es για κάθε server s του συνόλου από servers S που να ενώνει τον κάθε s με τον κόμβο CD (βλέπε Εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.2 – Τοπολογία του δικτύου

Για κάθε ακμή e στο γράφο G' , ορίζεται ένα βάρος του e ως $W(e) := UF, DL^e$, όπου η UF και η DL είναι προσθετικές και εκφράζουν το φόρτο και την καθυστέρηση αντίστοιχα. Έτσι η έχουμε:

- $W(e) = <UF(e, r, n), DL^e>$ για κάθε ακμή e(u,v) στο E
- $W(e') = <UF(s, r, n), RT^s>$ για κάθε ακμή e'(u,v) στο E'

Έπειτα υπολογίζουμε τα όλα τα δυνατά Paths από το O έως το CD ώστε η ανάθεση X να πληρεί τον περιορισμό της από άκρο σε άκρο καθυστέρησης. Για μείωση της πολυπλοκότητας, αφαιρούμε εκ των προτέρων από το γράφο G' τις ακμές που δεν διαθέτουν την ζητούμενη χωρητικότητα. Πλέον προσπαθούμε να βρούμε το Path με το ελάχιστο Utility Function ικανοποιώντας παράλληλα τον περιορισμό του Delay. Αυτό το πρόβλημα ανάγεται σε *Restricted Shortest Path* (RSP) με μία παράμετρο τη UF και μία (προσθετική) την DL. Το πρόβλημα αυτό είναι NP-hard [5] αλλά μπορεί να λυθεί με διάφορα heuristics [4].

Στην Εικόνα 7.3 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που επιλύει το πρόβλημα της συνδυασμένης επιλογής Path και Server.

The CPSS algorithm ($G^{\langle N^*, E^* \rangle}$, R, O, n,)

1. /* initialization */

For each edge e(u,v) in G^*

If e is in E,

if $UF(e, R, n) = INFINITY$ then

 delete edge e from G^*

Else

$W(e).dist = UF(e, R, n); W(e).delay = DL_e$

Else /* e is an artificial arc, e=(s,CD). */

if $UF(s, R, n) = INFINITY$ then

 delete edge e from G^*

Else

$W(e).dist = UF(s, R, n); W(e).delay = RT_s$

2. /* run the Restricted Shortest Path algorithm to obtain the feasible path set rX .

$X_f = \{P | P \{(O, v1), (v1, v2), \dots, (s, CD)\}\}$ */

$X_f = RSP(G^{\langle N^*, E^* \rangle}, W, O, CD, DL_r)$

3. Calculate optimal assignment $X^* = \{P^* | (s^*, CD), s^*\}$, based on CPSS policy

4. Return X^*

Εικόνα 7.3 – Ο CPSS αλγόριθμος

7.4 Μοντέλο 3

Το τρίτο μοντέλο [1] που θα παρουσιάσουμε, εξετάζει το ίδιο πρόβλημα με το προηγούμενο, δηλαδή την καλύτερη συνδυασμένη επιλογή Server και του αντίστοιχου Path ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις QoS του χρήστη. Η προσέγγιση όμως είναι διαφορετική μια και η μοναδική παράμετρος που εξετάζεται είναι η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση.

Προϋποθέσεις

Το μοντέλο θεωρεί ότι κάθε κόμβος i κρατάει την τοπική καθυστέρηση όλων των εξερχόμενων ζεύξεων. Έτσι η καθυστέρηση αναμονής στην ουρά (queuing) και διάδοσης (propagation) για ένα $link(i,j)$ είναι $delay(i,j)$. Επίσης κάθε Server παρακολουθεί την κατάσταση της ουράς αναμονής του και υπολογίζει την καθυστέρηση για να εξυπηρετήσει μια αίτηση.

Μοντελοποίηση

Μοντελοποιούμε το Δίκτυο όπως και στα άλλα μοντέλα, σαν ένα γράφο $G(N,E)$, όπου N ένα σύνολο από κόμβους στο δίκτυο και E ένα σύνολο από ακμές που συνδέουν αμφίδρομα τους κόμβους μεταξύ τους. Έτσι η συνολική καθυστέρηση ενός Path είναι το άθροισμα των καθυστερήσεων σε κάθε link:

$$delay(P) = delay(i,j) + \dots + delay(k,l) \quad (5)$$

Ο Server διαθέτει C επεξεργαστές και άρα μπορεί να εξυπηρετεί μέχρι C αιτήσεις ταυτόχρονα. Έστω i μια αίτηση που φτάνει στο Server και K οι αιτήσεις που περιμένουν στην ουρά. Έστω t ο χρόνος που χρειάζεται να αναμένει η αίτηση στην ουρά μέχρι να εξυπηρετηθεί. Ορίζουμε ως W το μέσο χρόνο αναμονής. Αυτή η παράμετρος είναι πολύ σημαντική και όπως θα δούμε θα παίξει σπουδαίο ρόλο στην επιλογή του Server. Επειδή ο χρόνος αναμονής t δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από το φόρτο του Server, τον θεωρούμε σαν τυχαία μεταβλητή με εκθετική κατανομή με μέση τιμή $1/u$. Έτσι για K αιτήσεις στον Server θα έχουμε:

$$W = 0 \quad \text{αν } K < C$$

$$W = \frac{K - C + 1}{Cu} \quad \text{αν } K \geq C \quad (6)$$

Αλγόριθμος για τη λύση του προβλήματος

Μόλις ένας κόμβος s λάβει μια αίτηση για σύνδεση, δημιουργεί N tickets, τα οποία μεταφέρονται με probes από τον κόμβο s στον κόμβο προορισμού d . Κάθε probe μεταφέρει τουλάχιστον ένα ticket, αλλά μπορεί να μεταφέρει και παραπάνω. Σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο μέχρι τον προορισμό, ένα probe που μεταφέρει παραπάνω από ένα tickets μπορεί να χωριστεί σε πολλαπλά probes, αρκεί καθένα από αυτά να μεταφέρει πάλι τουλάχιστον ένα ticket.

Κάθε ενδιάμεσος κόμβος j που λαμβάνει probe με πολλαπλά tickets αποφασίζει για το αν χρειάζεται να γίνει διαχωρισμός του probe, για το ποιοι γειτονικοί κόμβοι θα λάβουν τα probes και για το πόσα από τα εναπομείναντα tickets θα λάβει κάθε νέο probe. Η απόφαση αυτή παίρνεται με βάση την τοπική καθυστέρηση κάθε εξερχόμενης ζεύξης η οποία όπως είπαμε είναι γνωστή στον κόμβο. Συγκεκριμένα τα tickets κατευθύνονται προς τις ζεύξεις με τη μικρότερη καθυστέρηση, ώστε να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα εύρεσης του Path με τη μικρότερη καθυστέρηση.

Κάθε probe μεταφέρει την καθυστέρηση $delay(p)$ που έχει συναντήσει στα links που έχει επισκεφτεί, προσθέτοντας σε κάθε κόμβο την καθυστέρηση της εξερχόμενης

ζεύξης $\text{delay}(i,j)$ στην οποία αποστέλλεται. Έτσι σε κάθε κόμβο η καθυστέρηση ενημερώνεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{delay}(p) = \text{delay}(p) + \text{delay}(i, j)$$

Ο αλγόριθμος διανομής των tickets βασίζεται στην αρχή ότι ένα probe με περισσότερα tickets πρέπει να στέλνεται στις ζεύξεις με τη μικρότερη καθυστέρηση. Για κάθε γειτονικό κόμβο j , ο κόμβος i σπάει το probe p_i σε πολλαπλά p_j με $N(p_j)$ tickets σε κάθε νέο probe ώστε $\sum N(p_j) = N(p)$. Ο αριθμός των tickets $N(p_j)$ που θα λάβει κάθε p_j υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$N(p_j) = \frac{(\text{delay}(i, j) + D_j(d))^{-1}}{\sum (\text{delay}(i, j') + D_{j'}(d))^{-1}} \times N(p) \quad (7)$$

Αν η τιμή που βγάζει η παραπάνω εξίσωση δεν είναι ακέραια, στρογγυλοποιούμε κατάλληλα ώστε να διατηρείται ο περιορισμός $\sum N(p_j) = N(p)$. Μετά τους παραπάνω υπολογισμούς, κάθε p_j έχει έναν ακέραιο αριθμό από tickets $N(p_j)$. Αν $N(p_j) > 0$ το p_j στέλνεται στο γειτονικό κόμβο j και αν $N(p_j) < 0$ απορρίπτεται.

Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο που λαμβάνει ένα probe, κάποια στιγμή, ένα ή περισσότερα probes φτάνουν στον Server d του προορισμού. Προφανώς, το probe που έφτασε πρώτο στον Server θα έχει τη μικρότερη καθυστέρηση, η οποία μάλιστα βρίσκεται αποθηκευμένη μέσα σε αυτό μαζί με τη διαδρομή που ακολουθήθηκε. Έτσι ο Server προσθέτει τη καθυστέρηση που προκαλεί ο ίδιος στην αίτηση (για το χρόνο αναμονής και επεξεργασίας) και στέλνει το probe πίσω στο domain που δημιούργησε την αίτηση. Τα υπόλοιπα probes εκτός από το πρώτο, απορρίπτονται.

Το αρχικό domain λοιπόν λαμβάνει πίσω από ένα probe p_i από κάθε Server d_i που μπορεί να εξυπηρετήσει την αίτησή του, μαζί με την εκτιμώμενη καθυστέρηση στη διαδρομή $\text{delay}(p_i)$ και το χρόνο αναμονής και επεξεργασίας στον Server T_{d_i} και T_{s_i} αντίστοιχα. Τότε η συνολική εκτιμώμενη καθυστέρηση θα είναι:

$$TRT_i = T_{\text{probe}} + 2\text{delay}(p_i) + T_{d_i} + T_{s_i} \quad (8)$$

Όπου οι χρόνοι επεξεργασίας του probe σε κάθε κόμβο T_{probe} και ο χρόνος επεξεργασίας σε κάθε Server T_{s_i} θεωρούνται ανεξάρτητοι από την επιλογή Server. Άρα για να ελαχιστοποιήσουμε την συνολική καθυστέρηση TRT, πρέπει να

ελαχιστοποιήσουμε το άθροισμα $R_i = 2\text{delay}(p_i) + T_{d_i}$. Το T_{d_i} θεωρήσαμε παραπάνω ότι είναι μια τυχαία μεταβλητή με $E(T_{d_i}) = W_i$, οπότε και το άθροισμα R_i είναι τυχαία μεταβλητή με:

$$E(R_i) = 2\text{delay}(p_i) + W_i \quad (9)$$

Συνεπώς ο αλγόριθμος επιλογής του βέλτιστου Server συνοψίζεται στην επιλογή του Server d_i του οποίου το $E(R_i)$ είναι ελάχιστο.

7.5 Συγκριτική Αξιολόγηση των Μοντέλων

Στην Ενότητα αυτή θα αξιολογήσουμε τα δύο μοντέλα των Ενοτήτων 7.3 και 7.4, που είναι συγκρίσιμα. Θα εξάγουμε κάποια βασικά συμπεράσματα και στην επόμενη Ενότητα θα αναφέρουμε τις προσθήκες και τροποποιήσεις που χρειάζονται ώστε να γρησιμοποιηθούν για την μοντελοποίηση Grid υπηρεσιών πάνω στο NGN.

Paradigm

Καταρχήν και τα δύο μοντέλα αναπτύχθηκαν για να μοντελοποιήσουν ένα ελαφρώς διαφορετικό πρόβλημα από αυτό που επιθυμούμε εμείς: το πρόβλημα της εύρεσης του βέλτιστου Server στο περιβάλλον του Internet, όπου μια πληροφορία μπορεί να βρίσκεται σε πολλά αντίγραφα. Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι Server που μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις QoS του χρήστη, θεωρούνται ίδιοι, οπότε η επιλογή από κει και πέρα κρίνεται από το βέλτιστο Path.

Στο περιβάλλον των Grid υπηρεσιών πάνω από το NGN, έχουμε μια αλλαγή του paradigm. Πλέον κάθε Server που διαθέτει ένα πόρο που επιθυμεί ο χρήστης δεν είναι ίδιος με κάθε άλλο που διαθέτει τον ίδιο πόρο: υπεισέρχεται και ο παράγοντας της χρέωσης του Server που δεν υπάρχει στο μοντέλο των “replicated servers” αφού εκεί οι πόροι κάθε Server ανήκουν στον ίδιο διαχειριστή και το επιπλέον κόστος υπολογίζεται έμμεσα (πχ σαν καθυστέρηση). Στο περιβάλλον του NGN είναι πιθανό λοιπόν ένας Server A να βρίσκεται μακρύτερα από έναν άλλο B, πράγμα που σημαίνει ότι το κόστος δικτύου είναι υψηλότερο για τον A, αλλά παρόλα αυτά ο B να χρεώνει τους πόρους του ακριβότερα ώστε η τελική τιμή να βγαίνει υψηλότερη για την περίπτωσή του. Στην Ενότητα 7.6 θα σχολιαστεί το πώς μπορεί να εισαχθεί η έννοια του κόστους στη λογική του Μοντέλου 1 της Ενότητας 7.2.

Λογική Οργάνωσης

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς, το Μοντέλο 2 θεωρεί κεντρικά διαθέσιμη όλη την απαραίτητη πληροφορία. Κάθε κόμβος όταν πρέπει να επιλέξει τον κατάλληλο Server ελέγχει μια ενημερωμένη βάση δεδομένων με τους διαθέσιμους πόρους, την τοπολογία του δικτύου και την τρέχουσα κατάσταση Δικτύου και πόρων. Έτσι εύκολα παίρνει μια απόφαση και υπολογίζει το ακριβές Path που θα ακολουθήσει η κίνηση των δεδομένων. Αντίθετα το Μοντέλο 3 είναι κατανεμημένο αφού η μόνη διαθέσιμη πληροφορία που έχει κάθε κόμβος είναι η τοπική καθυστέρηση των εξερχόμενων ζεύξεων. Η απόφαση για τον Server και το αντίστοιχο Path παίρνεται “on-the-fly” κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου πράγμα που συνεπάγεται μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.

Αποτελεσματικότητα

Στον κατανεμημένο αλγόριθμο του Μοντέλου 3 δίνεται τη δυνατότητα στον αρχικό κόμβο που δημιουργεί το αίτημα να ελέγξει την απόδοση του αλγόριθμου επιλέγοντας τον αριθμό N των αρχικών tickets που θα δημιουργηθούν. Σαφώς έχουμε ένα trade-off: όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός του N, τόσο περισσότερα probes θα δημιουργηθούν και τόσο περισσότερα paths θα ελεγχθούν, πράγμα που βελτιώνει την αποτελεσματικότητα του αλγόριθμου αλλά ταυτόχρονα δημιουργεί σημαντική επιβάρυνση στην κίνηση του δικτύου. Εφόσον κάθε probe μεταφέρει τουλάχιστον ένα ticket, το N περιορίζει τον μέγιστο αριθμό των Paths που θα ελεγχθούν μέχρι τον προορισμό. Αυτό αν και αυξάνει την προσαρμοστικότητα του αλγορίθμου στις συνθήκες του Δικτύου, εισάγει το μειονέκτημα του ότι δε βρίσκεται πάντα λύση στο πρόβλημα. Αν το N επιλεχθεί σχετικά μικρό και οι πιθανές διαδρομές είναι πολλές, ενδέχεται τα tickets να εξαντληθούν πριν προλάβουν να βρουν μια εφικτή διαδρομή. Από την άλλη μεριά το κατανεμημένο μοντέλο, δεν παρουσιάζει τέτοιο πρόβλημα αφού ο αλγόριθμος CPSS βρίσκει πάντα λύση, αν υπάρχει, σε O(N).

Scalability

Όπως οι περισσότεροι κατανεμημένοι αλγόριθμοι, έτσι και αυτός του Μοντέλου 3 μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερη κλίμακα λόγω των αποφάσεων τοπικής εμβέλειας και της μικρού όγκου ανταλλασσόμενης πληροφορίας. Αντίθετα το Μοντέλο 2 πρέπει να διατηρεί μια κεντρική βάση δεδομένων με όλες τις πληροφορίες για την απόφαση επιλογής και μάλιστα η βάση αυτή πρέπει να είναι προσβάσιμη από κάθε κόμβο. Αυτό έχει σαν επακόλουθο την ανταλλαγή μηνυμάτων ενημέρωσης της

βάσης ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου, η οποία μάλιστα πρέπει να είναι και συχνή ώστε οι πληροφορίες να είναι ακριβείς και ο αλγόριθμος να λειτουργεί σωστά. Προφανώς όσο ο αριθμός των κόμβων μεγαλώνει, αυτή η N:N επικοινωνία των κόμβων οδηγεί το δίκτυο σε κορεσμό ή στη μείωση της συχνότητας ανανέωσης της πληροφορίας με αποτέλεσμα την επιλογή μη βέλτιστων ή ακόμα χειρότερα μη εφικτών paths.

Μέτρο Κόστους

Για τη βέλτιστη επιλογή Server χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές συναρτήσεις κόστους, τις οποίες κάθε μοντέλο προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει. Το Μοντέλο 2 προκρίνει την επιλογή Server και Path που έχουν αρκετούς πόρους διαθέσιμους με τη λογική ότι θα διατίθενται σε χαμηλότερη τιμή σε σχέση με τους αντίστοιχους σε ένα domain όπου οι πόροι τελειώνουν. Έτσι ένας Server A με c από τους 10c επεξεργαστές διαθέσιμους έχει μεγαλύτερο κόστος από ένα Server B με ψ από τους 5c διαθέσιμους. Στο Μοντέλο 3 αντίθετα χρησιμοποιείται μόνο η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση σαν κριτήριο επιλογής, μια και πολλές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του QoS (πχ jitter, πιθανότητα απώλειας κτλ) μπορούν να αναχθούν σε καθυστέρηση.

7.6 Προτάσεις για Περεταίρω Μελέτη

Στην Ενότητα αυτή θα προσπαθήσουμε να εισάγουμε την έννοια του κόστους στα Μοντέλα 2 και 3, χρησιμοποιώντας τη λογική του Μοντέλου 1. Στα εν λόγω μοντέλα, το κόστος κάθε συνδυασμένης επιλογής Server και Path υπολογίζεται έμμεσα μέσα από τους διαθέσιμους πόρους και την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση αντίστοιχα. Κάθε επιλογή που αφήνει τους περισσότερους δυνατούς πόρους ελεύθερους και έχει τη μικρότερη δυνατή καθυστέρηση αντίστοιχα είναι βέλτιστη μια και στο paradigm των replicated servers δεν υπάρχει ανταγωνισμός: όλοι οι δικτυακοί και υπολογιστικοί πόροι ανήκουν στον πάροχο. Για το περιβάλλον του NGN που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τα μοντέλα χρειάζεται πιο άμεσος και ακριβής τρόπος για τον υπολογισμό του κόστους καθώς εμπλέκονται πολλοί ανταγωνιστικοί πάροχοι και η χρέωση αποτελεί κομβικό σημείο για τον καθορισμό των μεταξύ τους σχέσεων.

Μοντέλο 2

Στο κεντρικοποιημένο Μοντέλο 2, χρειάζονται δύο προσθήκες: ένας άμεσος υπολογισμός του κόστους και μια σειρά βαρών που να καθορίζουν την σχετική βαρύτητα της κάθε παραμέτρου που παίρνει μέρος στην συνάρτηση απόστασης (Distance Function).

Στο τρέχον μοντέλο μια έμμεση έννοια κόστους συνάγεται από την Distance Function. Ένας server με πολλούς διαθέσιμους πόρους έχει μικρότερη τιμή στην Distance Function και θεωρείται ότι τους πουλάει πιο φτηνά από κάποιον άλλο που έχει λίγους διαθέσιμους, οπότε και επιλέγεται. Αυτό το σκεπτικό, αν και είναι λογικό, δεν είναι ευέλικτο και δεν είναι απαραίτητο να ισχύει πάντα. Μπορεί κάποιος πάροχος με πολλούς διαθέσιμους πόρους, να έχει κάποιου είδους μονοπώλιο σε ένα τμήμα του δικτύου ή να προσφέρει πολύ υψηλότερο QoS από αυτό που ζητάει ο χρήστης και αυτό να του επιτρέπει να πουλάει ακριβότερα. Ομοίως, ένας πάροχος με λίγους πόρους μπορεί να προτιμά να κρατάει ένα σταθερό τιμολόγιο ανεξάρτητα από τον φόρτο στους πόρους του. Για να αρθεί αυτός ο περιορισμός, μπορεί στην βάση δεδομένων, εκτός από τις λοιπές πληροφορίες (κατάσταση δικτύου, διαθεσιμότητα πόρων κτλ) να δημοσιεύεται και ένα κόστος ανά μονάδα απόστασης. Έτσι για την επιλογή του Server δεν θα χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις (1)-(3) και η (4) θα μετατραπεί σε $Dist(s^*, r, n) = (\text{Min}\{Dist(s, r, n)\}) \times C$, όπου C το κόστος ανά μονάδα απόστασης.

Μια άλλη αδυναμία του Μοντέλου 2 είναι ότι με τη Utilization Function που χρησιμοποιεί, υπολογίζει με την ίδια βαρύτητα όλους τους πόρους του Server (CPU, μνήμη, δίσκος) και Path. Έτσι ένας Server με το 50% της συνολικής CPU και το 80% του συνολικού χώρου στο δίσκο διαθέσιμα έχει την ίδια Utilization Function (και άρα και Distance Function) με κάποιον άλλο που έχει το 80% της CPU και το 50% του δίσκου διαθέσιμα και όλα τα υπόλοιπα ίδια. Συνήθως όμως οι παράμετροι αυτοί δεν αποτιμώνται το ίδιο. Λύση στο πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να δοθεί αν στη Utilization Function προσθέταμε ένα βάρος w_i πριν από κάθε παράμετρο ώστε να αποτυπώνεται η σχετική βαρύτητα της κάθε παραμέτρου στον Server και στην Distance Function ένα βάρος α που να αποτυπώνει την σχετική βαρύτητα ανάμεσα στο Server και το Path όπως και στο Μοντέλο 1. Έτσι η UF του Server θα γινόταν:

$$UF(s, r, n) = \left(\text{Max} \left(w_{CPU} \times \frac{1}{CPU_{avail}^s - CPU_r}, w_{MEM} \times \frac{1}{MEM_{avail}^s - MEM_r}, w_{DB} \times \frac{1}{DB_{avail}^s - DB_r}, w_{NIC} \times \frac{1}{NIC_{avail}^s - NIC_r} \right) \right)$$

και η συνολική Distance Function:

$$Dist(s, r, n) = \sum_{l \in p, p \in X} UF(l, n, r) + a(UF(s, r, n)), s \in X$$

Μοντέλο 3

Στο κατανεμημένο Μοντέλο 3, πάλι λείπει η άμεση έννοια του κόστους. Η συγκριτική επιλογή ανάμεσα σε δύο Servers γίνεται με βάση την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση: ο Server που παρουσιάζει μικρότερη καθυστέρηση είναι λογικό να χρεώνει και μεγαλύτερη τιμή για την παροχή καλύτερου QoS. Όπως είπαμε όμως, μια τέτοια προσέγγιση δε ταιριάζει στο δυναμικό περιβάλλον του NGN. Χρειάζεται μια ρητή δήλωση του κόστους, η οποία όμως δεν είναι τόσο εύκολη όσο στο προηγούμενο μοντέλο γιατί η πληροφορία είναι κατανεμημένη.

Η τελική εξίσωση (9) του μοντέλου, με βάση την οποία γίνεται η επιλογή, περιέχει δύο όρους ένα για το Server και ένα για το Path. Μια λύση είναι να εισαχθεί πάλι μια παράμετρος α , που να δηλώνει τη σχετική βαρύτητα ανάμεσα στην καθυστέρηση του Server και του Path στην τελική επιλογή. Έτσι η εξίσωση (9) θα είναι:

$$E(R_i) = 2delay(p_i) + \alpha W_i$$

Βιβλιογραφία 7^{ου} Κεφαλαίου

- [1] H. Chang, W. Jia, and L. Zhang “*Distributed Server Selection with Imprecise State for Replicated Server Group*” IEEE 2004
- [2] G. Feng, K. Makki, N. Pissinou, C. Doulgeris “*An Efficient Approximate Algorithm for Delay-Cost Constrained QoS Routing*”
- [3] Z. Fu, N. Venkatasubramanian, “*Combined Path and Server selection in dynamic Multimedia environments*” 1999
- [4] Z. Fu, N. Venkatasubramanian, “*An Evaluation of Composite Routing and Scheduling Policies for Dynamic Multimedia Environments*” 1999
- [5] R. Hassin. “*Approximation schemes for the restricted shortest path problem*” 1992
- [6] D. Di Sorte, G. Reali “*Minimum Price Inter-domain Routing Algorithm*” IEEE Communications Letters Vol.6 No.4, 2002

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

3GPP	3rd Generation Partner Project
ARPU	Average Revenue per User
AS	Application Server
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BB	Bandwidth Broker
BGCF	Breakout Gateway Control Function
BGP	Border Gateway Protocol
BT	British Telecom
CAPEX	Capital Expenditure
COPS	Common Open Policy Service
COPS-DRA	Common Open Policy Service for Diffserv Resource Allocation
CPP	Calling Party Pays
DiffServ	Differentiated Services
DPCN	Digital Private Circuit Network
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DWDM	Dense wavelength division multiplexing
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSS	Home Subscriber Server
HLR	Home Location Register
I-CSCF	Interrogating Call Session Control Function
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMS-MGCF	IMS Media Gateway Control Function
IPv6	Internet Protocol version 6
IT	Information Technology
MGCF	Media Gateway Control Function

MGW	Media Gateway
MeGaCo	Media Gateway Controller
MSAN	Multi Service Access Network
MPLS	Multi Protocol Label Switching Protocol
MRFC	Multimedia Resource Function Controller
MRFP	Multimedia Resource Function Processor
NCC	Network Charging Control
OPEX	Operational Expenditure
P-CSCF	Proxy Call Session Control Function
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PDF	Policy Decision Function
PDP	Packet Data Protocol
PDP	Policy Decision Point
PEP	Policy Enforcement Point
PIB	Policy Information Base
PSTN	Packet Switched Transport Network
RAR	Resource Allocation Request
RPP	Receiving Party Pays
RSVP	Resource Reservation Protocol
QoS	Quality of Service
S-CSCF	Service Call Session Control Function
SBLP	Service based Local Policy
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDP	Session Description Protocol
SEG	Security Gateway
SGSN	Serving GPRS Support Node
SGW	Signaling Gateway
SIBBS	Simple Inter-domain Bandwidth Broker Signaling
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SLF	Subscription Location Function
SLS	Service Level Specification
SS7	Signaling System 7
TDM	Time Division Multiplexing
UE	User Equipment

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URI	Uniform Resource Identifier
USO	Universal Service Offering
VoIP	Voice over IP



