ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η χρήση του Generalized Processor Sharing αλγορίθμου για την εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας στο GPRS Μελέτη Περίπτωσης»

Ζιώγας Βασίλειος
M3990014

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2001

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η χρήση του Generalized Processor Sharing αλγορίθμου για την εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας στο GPRS Μελέτη Περίπτωσης»

Ζιώγας Βασίλειος
M3990014

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Α. Κουρκουμπέτης
Εξωτερικός Κριτής: Καθηγητής Γ. Πολύζος

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2001

στην οικογένειά μου …

Πρόλογος και ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών σε Πληροφοριακά Συστήματα του Τμήματος Πληροφορικής του Ο.Π.Α. το ακαδημαϊκό έτος 2000 – 20001. Στη συγγραφή της, συνέβαλλαν, με διαφορετικό τρόπο ο καθένας, πολλοί άνθρωποι τους οποίους και θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το δάσκαλό μου Καθηγητή Κωνσταντίνο Κουρκουμπέτη, για τις ώρες που αφιέρωσε σε εμένα, κατά τη διάρκεια της συγγραφής, της διπλωματικής μου εργασίας, για τους προβληματισμούς που έθεσε και οι οποίοι αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας της παρούσης. Κυρίως όμως θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για όσα έμαθα κοντά του σε τομείς που δεν περιορίζονται μόνο στην επιστήμη και την έρευνα.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Γιώργο Πολύζο για τις πολύτιμες συμβουλές και οδηγίες που μου έδωσε για τη συγγραφή της παρούσης εργασίας.

Πολύτιμες και ουσιαστικές ήταν επίσης οι παρατηρήσεις του Καθηγητή Γιώργου Σταμούλη, τον οποίο και ευχαριστώ γι' αυτές.

Ευχαριστώ επίσης τον υποψήφιο διδάκτορα Παναγιώτη Αντωνιάδη για τις εύστοχες παρατηρήσεις του στο κείμενο της παρούσης εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και συναδέλφους μου Ρεμούνδου Δήμητρα και Σούρσο Σέργιο για την ποιοτική συνεργασία, την ειλικρινή συμπαράστασή τους και τις ατέλειωτες ώρες που περάσαμε μαζί.

Πίνακας Περιεχομένων

I. Πίνακας Εικόνων

II. Ευρετήριο Πινάκων

III. Συντομογραφίες

AA	Anonymous Access
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
APN	Access Point Name,
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BCS	Block Check Sequence
BG	Border Gateway
BS	Base Station
BSSAP+	Base Station System Application Part +
BSSGP	Base Station System GPRS Protocol
BTS	Base Transceiver Station
BVCI	BSSGP Virtual Connection Identifier
CCU	Channel Codec Unit
CDR	Call Detail Record
CFG	Charging gateway Functionality
CGI	Cell Global Identification
CLNP	Connectionless Network Protocol
CLNS	Connectionless Network Service
CONS	Connection-Oriented Network Service
CS	Circuit Switched
DNS	Domain Name Server
DSL	Digital Subscriber Line
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
FDMA	Frequency – Division Multiple Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMM/MM	GPRS Mobility Management and Session Management
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
GSN	GPRS Support Node
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HDSL	High bit (data) rate Digital Subscriber Line
HLR	Home Location Register
ICMP	Internet Control Message Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IHOSS	Internet-Hosted Octet Stream Service
IP	Internet Protocol
IPX	Internet Packet eXchange
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
L2TP	Layer-2 Tunnelling Protocol
LATA	Local Access and Transport Area
LLC	Logical Link Control
LL-PDU	LLC PDU
MAC	Medium Access Control
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
NS	Network Service
NSAPI	Network layer Service Access Point Identifier

NSDU	Network Service Data Unit
NSS	Network SubSystem
OSP	Octet Stream Protocol
PACCH	Packet Associated Control CHannel
PAGCH	Packet Access Grant CHannel
PBCCH	Packet Broadcast Control CHannel
PCCCH	Packet Common Control CHannel
PCU	Packet Control Unit
PDCH	Packet Data CHannel
PDN	Packet Data Network
PDP	Packet Data Protocol
PDTCH	Packet Data Traffic CHannel
PDU	Packet Data Unit
PLMN	Public Land Mobile Network
PPCH	Packet Paging CHannel
PPP	Point to Point Protocol
PRACH	Packet Random Access CHannel
PTP	Point To Point
PVC	Permanent Virtual Circuit
QoS	Quality of Service
RADIUS	Remote Authentication Dial-In User Service
RLC	Radio Link Control
SAP	Service Access Point
SBC	Base Station Controller
SDSL	Single line/Symmetric Digital Subscriber Line
SDU	Service Data Unit
SGSN	Serving GPRS Support Node
SM	Short Message
SMS	Short Message Service
TBF	Temporary Block Flow
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time – Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TID	Tunnel IDentifier
TLLI	Temporary Link level identity
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VADSL	Very high speed Digital Subscriber Line (another term for VDSL)
VDSL	Very high data rate Digital Subscriber Line
VLR	Visiting Location Register

IV. Ελληνική Ερμηνεία

Acceptance Region	Περιοχή αποδοχής
Access Point Name	Όνομα σημείου πρόσβασης
Authentication	Αυθεντικοποίηση
Bandwidth	Εύρος Ζώνης
Channel	Κανάλι
Ciphering	Κρυπτογράφηση
Circuit-switched	Μεταγωγή κυκλώματος
Congestion	Συμφόρηση
Corrupted data	Κατεστραμμένα δεδομένα
Datagram	Αυτοδύναμο πακέτο
Delay	Καθυστέρηση
Demodulation	Αποδιαμόρφωση
Downlink	Καθοδική ζεύξη
Frame	Πλαίσιο
Internet	Διαδίκτυο
Logical	Λογικό
Logical Link Management	Διαχείριση λογικής σύνδεσης
Medium Access Control	Έλεγχος προσπέλασης στο μέσο
Mobility Management	Διαχείριση μεταφερσιμότητας
Modulation	Διαμόρφωση
Packet Data Protocol	Πρωτόκολλο δεδομένων πακέτου
Packet-switched	Μεταγωγή πακέτου
Priority	Προτεραιότητα
Radio resource	Ασύρματος πόρος
Reliability	Αξιοπιστία
Session Management	Διαχείριση συνόδου
Switch	Μεταγωγέας
Throughput	Ρυθμός μετάδοσης
Time slot	Χρονοθυρίδα
Uplink	Ανοδική ζεύξη
Value chain	Αλυσίδα αξίας

Abstract

A universal revolution is underway in telecommunications. The changes taking place are having a dramatic impact on how individuals and institutions communicate and do business with one another. Government at all levels, retailing and finance, health care, education, and entertainment are among the areas of human activity profoundly affected by the technological advances now underway.

The two most remarkable technological developments of the late 20^{th} century have been mobile communications and the Internet. Arriving at the market at the same time in the early 1990s, both technologies stimulate the public imagination and have achieved tremendous success. The number of subscribers to the mobile networks and the Internet have risen dramatically, numbering many hundreds of millions, while the growth curve is pointing straight up.

GPRS is an extremely important step, bringing IP into mobile networks and evolution to the third generation technology, that will bring the required bandwidth and capacity for a multitude of new services. GPRS refers to a high-speed packet data technology, which is expected to be deployed until the end of 2001. It is expected to profoundly alter and improve the end-user experience of mobile data computing, by making it possible and cost-effective to remain constantly connected, as well as to send and receive data at much higher speeds than today. It increases data transmission speeds from the current 9.6 Kbps to over 120 Kbps and extends the Internet connection all the way to the mobile PC. GPRS will complement rather than replace the current data services available through today's GSM digital cellular networks, such as circuit-switched data and Short Message Service.

Organization of the master thesis

Chapter 1, 'GPRS network' describes the technical specifications of the GPRS networks, and explains the main feature of his specifications about QoS.

Chapter2, 'Technical methods for ensuring QoS in GPRS network' describes how we can use the Generalized Processor Sharing Algorithm in order to ensure QoS. We examine three possible solutions, the deterministic of lossless multiplexing, the average mean rate guarantee and the statistical multiplexing.

Chapter3, 'GPS in order to provide QoS to GPRS, A case study', describes a case study with numerical results which help us to understand the differences between the three solutions.

Chapter 4, ' Conclusions' offers a review of the thesis and proposing topics for further work.

Εισαγωγή

Μια παγκόσμια επανάσταση είναι σε εξέλιξη τα τελευταία χρόνια στο χώρο των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής. Οι αλλαγές που λαμβάνουν χώρα έχουν δραματικές επιπτώσεις στο τρόπο επικοινωνίας τόσο μεταξύ των ανθρώπων όσο και μεταξύ των επιχειρήσεων. Η κοινωνία σε όλο το φάσμα της (οικονομία, εκπαίδευση, διασκέδαση, υγεία κ.α.) επηρεάζεται σημαντικά από τις τεχνολογικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα.

Σημαντικότερος εκπρόσωπος αυτών των τεχνολογικών αλλαγών είναι κατά κοινή ομολογία η ανάπτυξη και η εξάπλωση του διαδικτύου. Ο όγκος των μεταφερόμενων δεδομένων έχει αυξηθεί με εκθετικούς ρυθμούς την τελευταία δεκαετία και κάθε μέρα όλο και περισσότερες νέες εφαρμογές αναπτύσσονται πάνω από το πρωτόκολλο IP (Internet Protocol), το οποίο αποτελεί το θεμέλιο λίθο του διαδικτύου.

Η σημαντική επίσης ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων με πρωταρχικό στόχο τη μεταφορά φωνής και δευτερεύοντα τη μεταφορά δεδομένων είναι άλλο ένα στοιχείο που δείχνει την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των εταιριών κινητής τηλεφωνίας, ο αριθμός των συνδρομητών έχει ξεπεράσει κατά πολύ και τις πιο ευνοϊκές αρχικές εκτιμήσεις με αποτέλεσμα το υπάρχον δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM (Global System for Mobile Communication) να παρουσιάζει φαινόμενα κορεσμού και να οδηγεί τους πάροχους κινητής τηλεφωνίας καθώς και τις εταιρίες παραγωγής εξοπλισμού κινητής τηλεφωνίας στη σχεδίαση νέων προϊόντων, λύσεων και υπηρεσιών.

Η εξάπλωση του ηλεκτρονικού εμπορίου αποτέλεσε τέλος το συνδετικό κρίκο μεταξύ του διαδικτύου και των κινητών επικοινωνιών. Η χρησιμότητα που έχει ο καταναλωτής όταν έχει πρόσβαση στη σωστή πληροφορία την κατάλληλη στιγμή έχει μεγάλη αξία, την οποία είναι διατεθειμένος αυτός να πληρώσει προκειμένου να την έχει. Η αγορά επίσης που αποτελούν οι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας είναι επαγγελματικός στόχος αρκετών εταιριών που πιστεύουν ότι μπορούν να προσφέρουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας σε αυτούς και να αποκομίσουν κέρδη.

Αποτέλεσμα αυτών είναι η απόφαση για τη δημιουργία ενός εντελώς καινούργιου δικτύου κινητών επικοινωνιών (έως το φυσικό επίπεδο) το οποίο θα είναι το UMTS (Universal Mobile Telecommunication Service) και το οποίο υπολογίζεται ότι θα είναι έτοιμο στα μέσα του 2003. Η μετάπτωση όμως από το GSM στο UMTS δε θα γίνει με τη μια αλλά περνάει από δύο άτυπες φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η τεχνολογία WAP (Wireless Application Protocol) η οποία είναι ήδη σε εφαρμογή, εκμεταλλεύεται την υποδομή του GSM και προσφέρει Internet υπηρεσίες. Μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι στηρίζεται σε μεταγωγή κυκλώματος, προσφέρει χαμηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων (14 Kbps) με συνέπεια να είναι ακριβή στον τελικό χρήστη.

Η δεύτερη φάση είναι το GPRS (General Packet Radio Service) το οποίο αναμένεται να λειτουργήσει στα μέσα του 2001 και το οποίο έρχεται να διορθώσει τα μειονεκτήματα του WAP προσφέροντας υπηρεσίες διαδικτύου, στηριζόμενο σε μεταγωγή πακέτου και με ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που σε μέσους όρους φτάνουν τα 120 Kbps.

Το γεγονός ότι το GPRS συνεχίζει να συνυπάρχει με το GSM εξακολουθεί να δημιουργεί μειονεκτήματα και για το GPRS. Το κυριότερο είναι ο διαμερισμός του φάσματος (δηλαδή των ραδιοσυχνοτήτων) το οποίο είναι σπάνιος πόρος, μεταξύ του GSM και του GPRS. Αυτό μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει το GPRS.

<u>Η παρούσα εργασία</u>

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει μια περιγραφή της GPRS υπηρεσίας (με ποιες τεχνολογίες υλοποιείται) και να προταθούν διάφοροι τρόποι τους οποίους μπορεί να ακολουθήσει ένας πάροχος κινητής τηλεφωνίας που επιθυμεί να προσφέρει εγγυημένη GPRS υπηρεσία.

Σε ότι αφορά το τεχνολογικό κομμάτι, η υπάρχουσα βιβλιογραφία είναι αρκετή και οι σχεδιαστικές προδιαγραφές καλά ορισμένες[Π1],[Π2],...,[Π11]. Ενώ όμως οι σχεδιαστικές προδιαγραφές είναι καλά ορισμένες, υπάρχει σοβαρό πρόβλημα στον τρόπο με τον οποίο θα υλοποιηθούν οι προδιαγραφές για την ποιότητα υπηρεσίας. Ελάχιστη έως μηδαμινή είναι η βιβλιογραφία που αφορά ποιοι είναι οι πιθανοί τρόποι υλοποίησης της ποιότητας υπηρεσίας στο GPRS.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να δώσει μια πρώτη απάντηση σε αυτό το ερώτημα. Έτσι στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του GPRS, με το μεγαλύτερο βάρος να δίνεται στα χαρακτηριστικά της ποιότητας υπηρεσίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται το θεωρητικό κομμάτι της εξασφάλισης της ποιότητας υπηρεσίας – ως προς το ρυθμό μετάδοσης με τη χρήση του Generalized Processor Sharing αλγόριθμου, ο οποίος έχει ευρύτατα χρησιμοποιηθεί σε σύγχρονα δίκτυα. Το τρίτο κεφάλαιο περιέχει μια μελέτη περίπτωσης, δηλαδή δοκιμάζονται πειραματικά οι ιδέες και τα συμπεράσματα του 2ου κεφαλαίου, υπάρχουν κάποια αριθμητικά αποτελέσματα και γίνονται ορισμένες συγκρίσεις. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση της διπλωματικής και αναπτύσσονται κάποιοι προβληματισμοί για μελλοντική διερεύνηση.

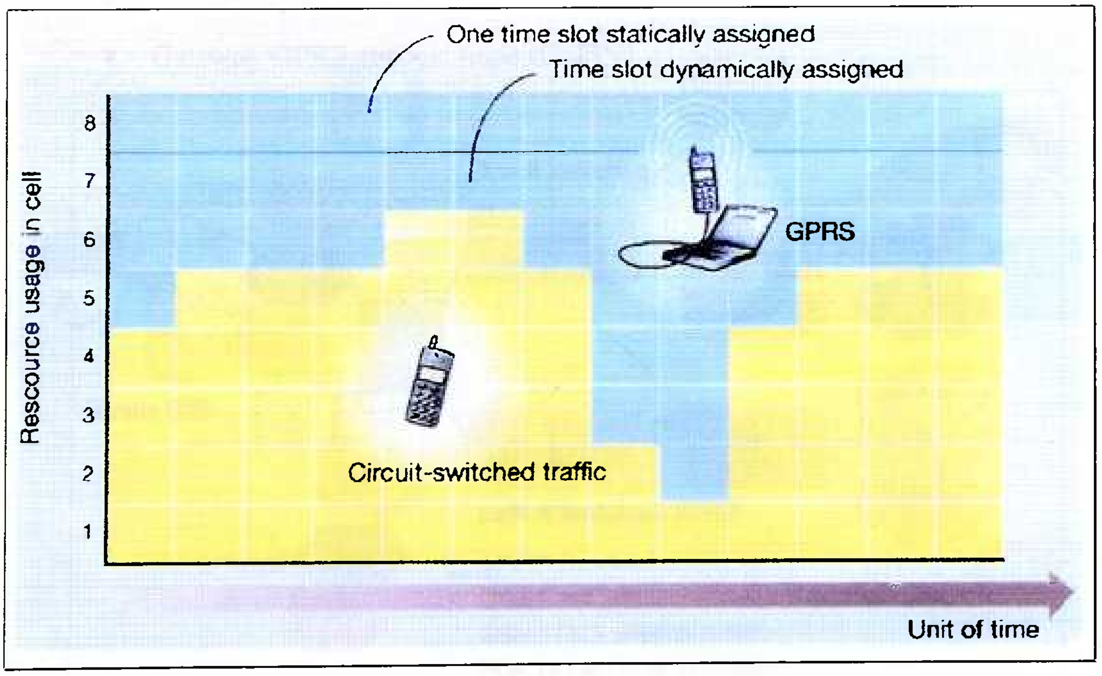
1. GPRS δίκτυο

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι μια εισαγωγή σε θέματα που σχετίζονται με το GPRS δίκτυο. Περιγράφεται η αρχιτεκτονική του, ο τρόπος λειτουργίας του, ενώ ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ποιότητα υπηρεσίας (QoS) που αυτό προσφέρει.

1.1. Γενικά Χαρακτηριστικά του GPRS

Το GPRS είναι στη πραγματικότητα ένα νέο σύνολο υπηρεσιών πάνω από GSM δίκτυα. Αφορά τη μετάδοση δεδομένων με μεταγωγή πακέτου, σε αντίθεση με το κλασσικό GSM όπου η μετάδοση πραγματοποιείται με μεταγωγή κυκλώματος.

Στο GSM έχουμε 124 κανάλια (φέρουσες συχνότητες) που προκύπτουν από πολύπλεξη στο πεδίο των συχνοτήτων (FDMA). Κάθε μια φέρουσα συχνότητα (κανάλι) πολυπλέκεται επίσης και στο πεδίο του χρόνου (TDMA), με αποτέλεσμα την ύπαρξη 8 χρονοθυρίδων ανά πλαίσιο. Κάθε χρονοθυρίδα έχει διάρκεια 0.577 ms, ενώ η διάρκεια του πλαισίου είναι 4.615 ms. Οι ταχύτητες μεταφοράς μετάδοσης που επιτυγχάνονται στο GSM είναι της τάξης των 9.6 Kbps για φωνή και 14.4 Kbps για δεδομένα. [Π5]



Εικόνα 1: Μια χρονοθυρίδα αφιερώνεται αποκλειστικά στο GPRS

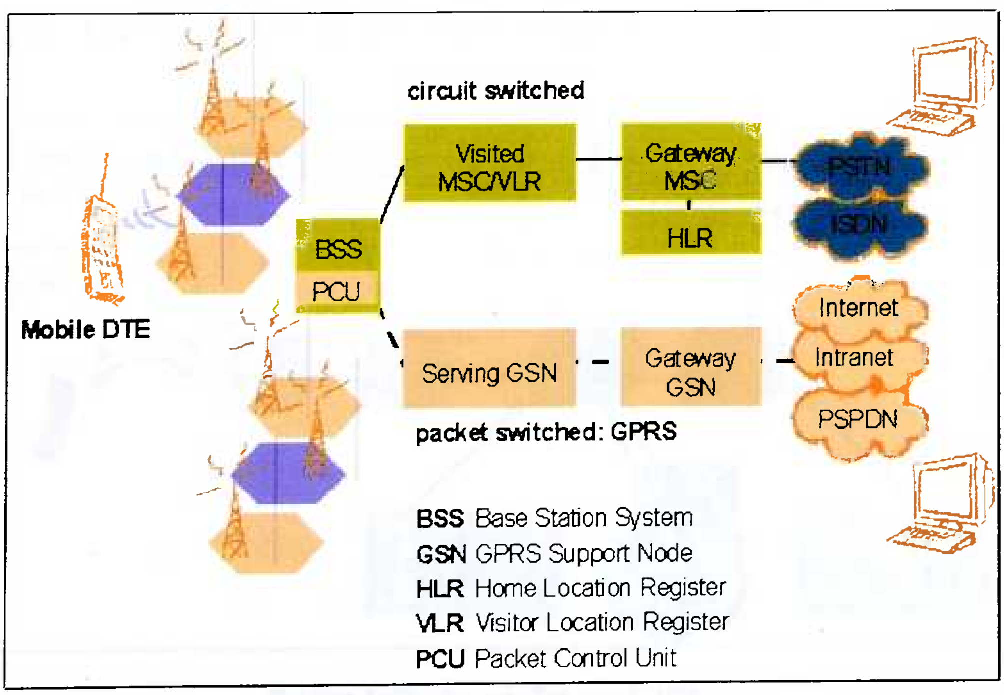
Η ενσωμάτωση του GPRS στα υπάρχοντα GSM δίκτυα, έχει ως αποτέλεσμα οι τελικοί χρήστες να συνδέονται σε εξωτερικά δίκτυα δεδομένων με ταχύτητες μετάδοσης που φτάνουν έως και 115 Kbps, ενώ επίσης τους προσφέρεται η δυνατότητα να χρεώνονται μόνο όταν είναι ενεργοί (στέλνουν ή δέχονται δεδομένα). Κερδισμένοι βγαίνουν επίσης και οι οργανισμοί παροχής GSM υπηρεσιών καθώς μπορούν πια να προσφέρουν ικανοποιητική ασύρματη πρόσβαση σε IP δίκτυα, όπως το διαδίκτυο και ιδιωτικά δίκτυα. Αυτό που έχει όμως ιδιαίτερη σημασία είναι ότι αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να αυξήσουν τα κέρδη τους εκμεταλλευόμενοι την αλματώδη ανάπτυξη του διαδικτύου και γινόμενοι μέλη της αλυσίδας αξίας αυτού.

Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι το GPRS είναι η μεταβατική φάση στην ασύρματη μετάδοση δεδομένων, καθώς ήδη αυτή τη στιγμή σχεδιάζεται και εκχωρούνται άδειες για ένα εντελώς νέο δίκτυο, που δε σχετίζεται με το GSM, το UMTS που υπόσχεται ταχύτητες έως και 2 Mbps.

1.2. Η αρχιτεκτονική του GPRS

Το GPRS χρησιμοποιεί την ίδια αρχιτεκτονική με αυτή του GSM. Για να δουλέψει όμως προσθέτει δύο νέους κόμβους στο υπάρχον GSM δίκτυο (εικ. 2), τους:

- Serving GPRS support node (SGSN) και
- Gateway GPRS support node (GGSN).



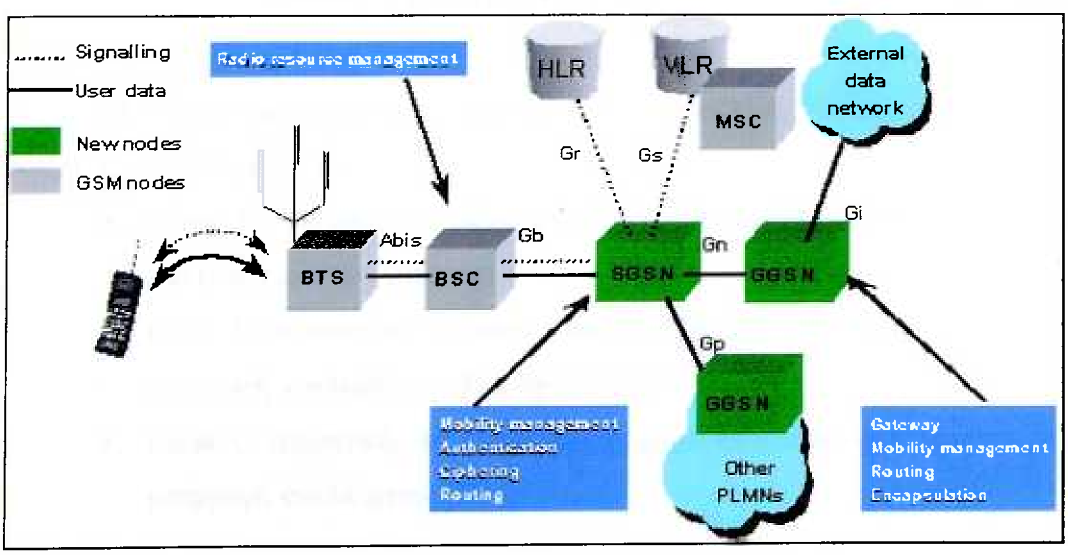
Εικόνα 2: Η αρχιτεκτονική του GPRS δικτύου

Ο SGSN συνδέεται με τα BSS με Frame Relay συνδέσεις, ενώ ιεραρχικά βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το MSC / VLR. Ο SGSN είναι υπεύθυνος για τα εξής:

- Κρυπτογράφηση και αυθεντικοποίηση,
- Διαχείριση συνόδου,
- Διαχείριση μεταφερσιμότητας,
- Διαχείριση λογικής σύνδεσης (του ασύρματου πόρου),
- Προώθηση / Δρομολόγηση των πακέτων στα σωστά BSS,
- Εξασφάλιση της ζητούμενης από τους χρήστες ποιότητας υπηρεσίας.

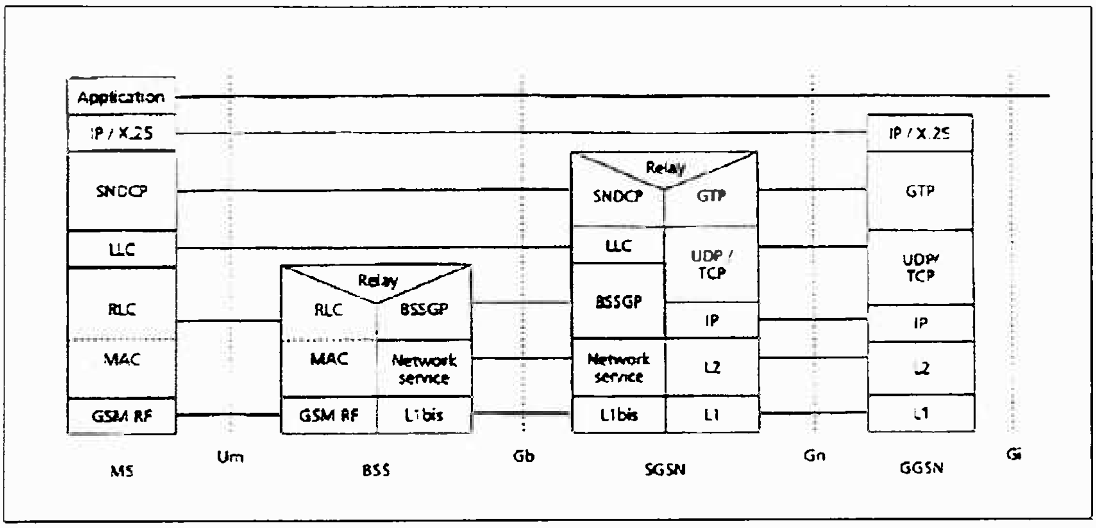
Αντίστοιχα ο GGSN είναι ο συνδετικός κόμβος μεταξύ ενός external packet data network (IP) ή ενός packet-switched data network (X.25 / X.75) και του GPRS δικτύου. Στην περίπτωση ενός εξωτερικού IP δικτύου, ο GGSN συμπεριφέρεται σαν ένας συνηθισμένος δρομολογητής, ο οποίος εξυπηρετεί όλα τα MS τα οποία έχουν IP διεύθυνση. Αυτός ο κόμβος μπορεί να έχει firewall ή packet-filtering μηχανισμούς. Επίσης, μέρος των εργασιών του είναι η εύρεση και σύνδεση του σωστού SGSN για ένα MS, εξαρτώμενο πάντα από τη γεωγραφική θέση του MS.

Το πρωτόκολλο IP είναι εκείνο που χρησιμοποιείται ως πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου για το GPRS backbone (πχ. Για να συνδεθεί ο SGSN με το GGSN). Το GTP πρωτόκολλο είναι εκείνο που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ GGSN και SGSN. Το GTP χρησιμοποιεί TCP ή UDP, ανάλογα με το αν χρειάζονται αξιόπιστες συνδέσεις ή όχι (πχ. X.25 πακέτα ή IP πακέτα αντίστοιχα). [Π5], [Π6],[A10]



Εικόνα 3: Οι νέοι κόμβοι του GPRS

Για να ολοκληρωθεί η αρχιτεκτονική του GPRS θα περιγραφούν περιληπτικά και οι λοιποί κόμβοι. Ο BSS αποτελείται από δύο κόμβους. Ο πρώτος είναι ο BSC που περιέχει το PCU το οποίο είναι υπεύθυνο για τη σωστή επικοινωνία όλων των GPRS πρωτοκόλλων στον αέρα. Οι λειτουργίες των PCU περιλαμβάνουν την εγκατάσταση, επίβλεψη και αποσύνδεση packet-switched κλήσεων, καθώς επίσης υποστήριξη αλλαγής κυψέλης, ρύθμιση των ασύρματων πόρων καθώς και εγκατάσταση καναλιών. Ο δεύτερος είναι ο BTS, στον οποίο δεν τρέχει κανένα πρωτόκολλο και είναι υπεύθυνος για τη διαμόρφωση των φέρουσων συχνοτήτων και την αποδιαμόρφωση των σημάτων. Ο MSC / VLR, ο HLR, και το SMS Center είναι λειτουργικές οντότητες του κλασικού circuit-switched GSM.



Εικόνα 4: Σχεδιάγραμμα μετάδοσης στο GPRS

Σε ότι αφορά τέλος τις κινητές τερματικές συσκευές, το πρότυπο του GPRS ορίζει τρεις νέους τύπους:

- Class A τερματικό, το οποίο υποστηρίζει ταυτόχρονα μεταγωγή πακέτου και μεταγωγή κυκλώματος,
- Class B τερματικό, το όποίο υποστηρίζει και μεταγωγή πακέτου και μεταγωγή κυκλώματος αλλά όχι ταυτόχρονα,
- Class C τερματικό, το οποίο υποστηρίζει είτε μεταγωγή πακέτου, είτε μεταγωγή κυκλώματος.[Π6]

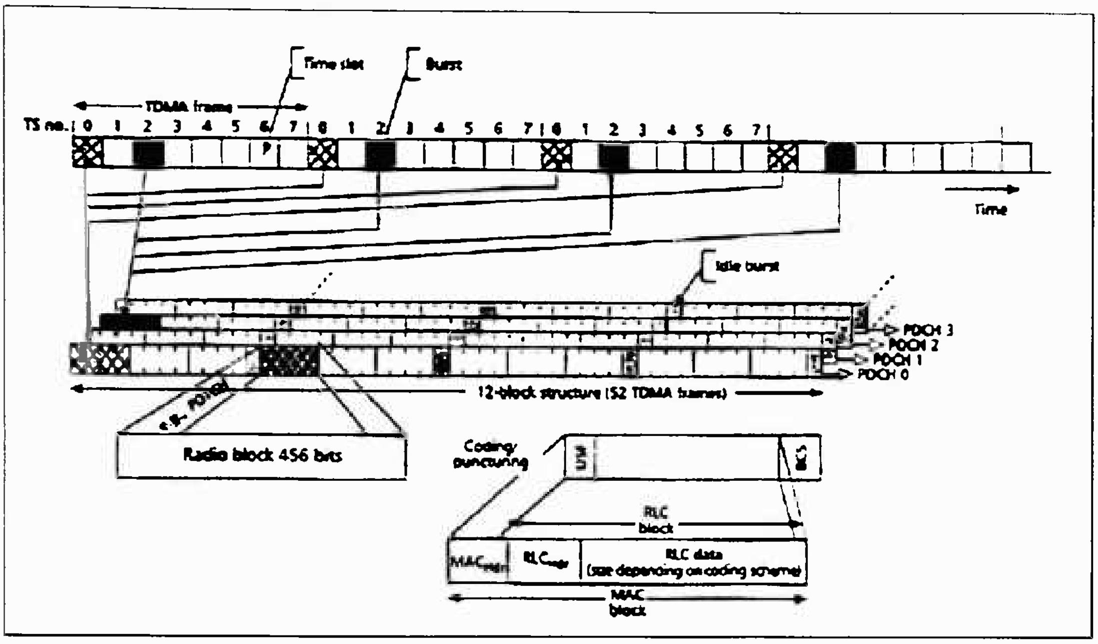
1.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά του GPRS

Όπως έχει ήδη λεχθεί το GPRS είναι μια επέκταση του GSM, ως εκ τούτου χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες και μοιράζεται τα ίδια φυσικά κανάλια (πχ. χρονοθυρίδες) Κάθε χρονοθυρίδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε από το GPRS, μεταδίδοντας πακέτα με τη τεχνική της μεταγωγή πακέτου, είτε από το GSM για κλήσεις με μεταγωγή κυκλώματος. Οι χρονοθυρίδες που χρησιμοποιούνται από το GPRS ονομάζονται PDCH.

Σχήμα	Ρυθμός κώδικα (convolutional coding)	RLC πλαίσιο δεδομένων Χωρίς RLC επικεφαλίδες	αναμενόμενη LLC ρυθμοαπόδοση
		(octets)	(Kb/s)
CS-1	1 / 2	20	8
CS-2	2 / 3	30	12
CS-3	3 / 4	36	14.4
CS-4	1	50	20

Πίνακας 1: Τα σχήματα κωδικοποίησης του GPRS

Η βασική μονάδα μετάδοσης ενός PDCH καλείται **radio block**. Για να μεταδοθεί ένα radio block χρησιμοποιούνται έως και 4 χρονοθυρίδες (TSs) σε τέσσερα συνεχόμενα TDMA πλαίσια (συνολικά 16 χρονοθυρίδες). Όπως μπορεί κανείς να δει στην εικόνα 5, all bursts of TS 0 (γραμμοσκιασμένη) ανήκουν στο PDCH 0. Ένα PDCH δομείται ως multiframes αποτελούμενα από 52 TDMA πλαίσια, τα οποία αντιστοιχούν σε μια χρονική διάρκεια 240 ms. Το 13^{ο} burst (το οποίο λέγεται και idle burst) δε χρησιμοποιείται για μετάδοση δεδομένων, αφήνοντας 12 radio blocks σε ένα multiframe. Έτσι ο μέσος χρόνος μετάδοσης για κάθε radio block είναι 20 ms. Ένα radio block περιέχει 456 bits, αλλά επειδή υπάρχει και έλεγχος λαθών, τα ωφέλιμα bits για μετάδοση δεδομένων είναι λιγότερα. Η δομή και ο αριθμός των ωφέλιμων bits για ένα radio block εξαρτώνται από το τύπο του μηνύματος και το σχήμα της κωδικοποίησης. Το GPRS προβλέπει τέσσερα σχήματα κωδικοποίησης.[Π1],[Π2],[Π4]



Εικόνα 5: Κατάτμηση των PDCH και των PDU

Ένα radio block ξεκινάει με τις MAC και RLC επικεφαλίδες, ενώ στο τέλος υπάρχει πάντα το BCS, το οποίο χρησιμοποιείται ως άθροισμα ελέγχου. Ανάλογα με τον τύπο του προς μετάδοση μηνύματος σε ένα radio block, μια αλληλουχία από radio blocks σχηματίζουν ένα λογικό κανάλι (πχ. κάθε PDCH μπορεί να μεταφέρει πολλά λογικά κανάλια). Ένα παράδειγμα είναι το PDTCH, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων του χρήστη. Τα πιο σημαντικά λογικά κανάλια που χρησιμοποιούνται από το πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο είναι τα:

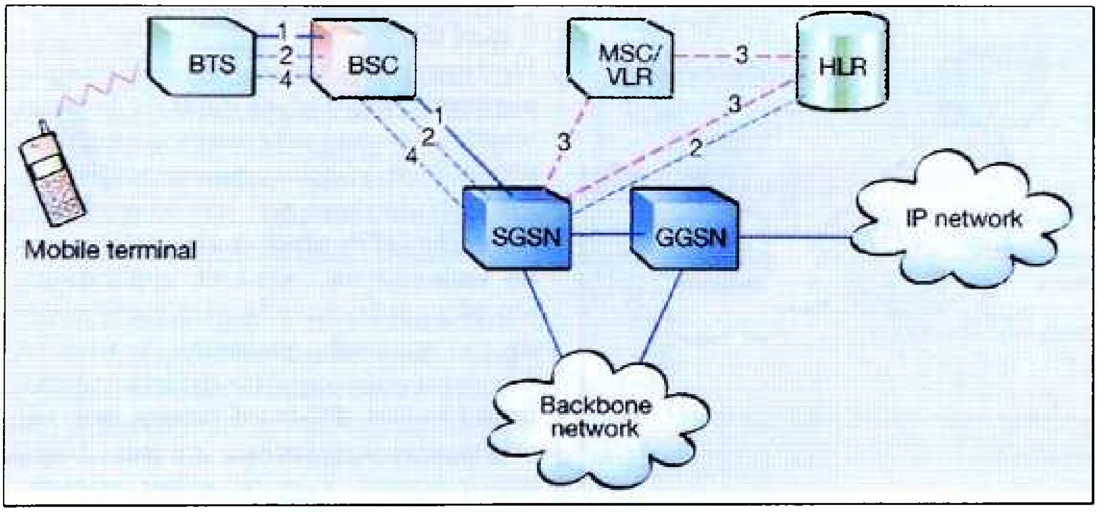
- **PRACH,** uplink – Πρόκειται για το κανάλι που χρησιμοποιείται από τα MSs, για να αρχικοποιήσουν ανοδική ζεύξη.
- **PPCH,** downlink – Πρόκειται για το κανάλι που χρησιμοποιείται από το BSC προκειμένου να γνωστοποιήσει στα MSs, την προτεραιότητα για μετάδοση δεδομένων σε καθοδική ζεύξη.
- **PAGCH,** downlink – Οι εκχωρήσεις των πόρων για up και downlink μεταφορά στέλνονται σε αυτό το κανάλι.
- **PBCCH,** downlink – Σε αυτό το κανάλι το GPRS μεταδίδει broadcast πληροφορία.
- **PDTCH,** up and downlink - Τα πακέτα δεδομένων στέλνονται σε αυτό το κανάλι. Ένας MS μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα ή περισσότερα PDTCHs.

- **PACCH,** up and downlink – Το κανάλι αυτό μεταφέρει πληροφορία σηματοδοσίας η οποία σχετίζει ένα δεδομένο MS και τα ανταποκρινόμενα PDTCHs του.

Για να συνδεθεί ένας χρήστης GPRS με εξωτερικά δίκτυα δεδομένων θα πρέπει να έχουν εκτελεστεί πρώτα οι παρακάτω διαδικασίες:

- GPRS attach
- Ενεργοποίηση PDP context

Τα κινητά τερματικά γνωστοποιούν την ύπαρξή τους στο δίκτυο με τη διαδικασία GPRS attach, η οποία αντιστοιχεί στην IMSI attach που χρησιμοποιείται στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος. Μόλις ένα τερματικό γίνει μέλος του δικτύου, το δίκτυο γνωρίζει τη θέση του και τις δυνατότητές του. Αν το τερματικό είναι class A ή class B, μπορεί να πραγματοποιηθεί και IMSI attach.



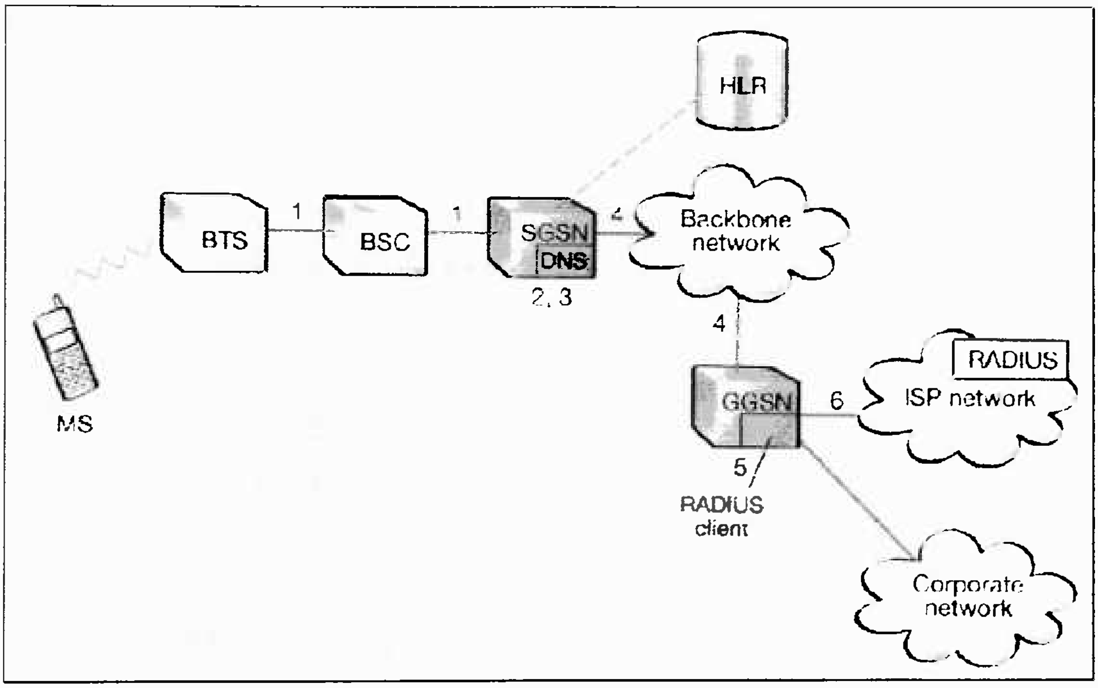
Εικόνα 6: GPRS attach

Τα βήματα που ακολουθούνται για να επιτελεστεί η διαδικασία είναι τα εξής:

1. Το κινητό τερματικό στέλνει μία αίτηση για να συνδεθεί στο δίκτυο. Η αίτηση του στέλνεται στον SGSN και περιλαμβάνει αν έχει multi-slot δυνατότητες, τον αλγόριθμο κρυπτογράφησης που υποστηρίζει, και αν θέλει να συνδεθεί στην υπηρεσία μεταγωγής πακέτου ή μεταγωγής κυκλώματος.
2. Η αυθεντικοποίηση γίνεται μεταξύ του τερματικού και του HLR.

3. Τα δεδομένα του συνδρομητή αποστέλλονται από τον HLR στον SGSN και τον MSC/VLR.
4. Ο SGSN πληροφορεί το τερματικό ότι συνδέθηκε στο δίκτυο.

Πριν το κινητό τερματικό ξεκινήσει να επικοινωνεί με ένα εξωτερικό δίκτυο δεδομένων, θα πρέπει να έχει ενεργοποιηθεί το PDP context. Το PDP context περιγράφει τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης με το εξωτερικό δίκτυο, όπως το τύπο του δικτύου, τη διεύθυνση του δικτύου, το όνομα του σημείου πρόσβασης, την ποιότητα υπηρεσίας, τη προτεραιότητα στον αέρα κ.α.



Εικόνα 7: Ενεργοποίηση του PDP context

Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Το κινητό τερματικό ζητά την ενεργοποίηση ενός PDP context.
2. Ο SGSN ελέγχει το αίτημα, βασιζόμενος στις πληροφορίες συνδρομής που έλαβε από τον HLR στη διάρκεια του GPRS attach
3. Το όνομα του σημείου πρόσβασης, αποστέλλεται στο DNS που έχει ο SGSN για να βρεθεί η IP διεύθυνση του οικείου GGSN.
4. Δημιουργείται μια λογική σύνδεση μεταξύ του SGSN και του GGSN (GTP Tunnel)

5. Ο GGSN εκχωρεί μια δυναμική IP διεύθυνση στο κινητό τερματικό, από ένα εύρος διευθύνσεων που αυτός διαθέτει, ενώ ταυτόχρονα ο GGSN αυθεντικοποιείται μέσω του RADIUS με τα εξωτερικά δίκτυα.

Στο σημείο αυτό έχει εγκατασταθεί η επικοινωνία μεταξύ ενός GPRS χρήστη και του εξωτερικού δικτύου.[Π9],[Π10]

1.4. Αρχές πολυπλεξίας στο MAC επίπεδο

1.4.1. Temporary Block Flow (TBF)

Το TBF είναι μία φυσική σύνδεση η οποία εγκαθίσταται μεταξύ MS και BSS με σκοπό τη μονόδρομη μεταφορά LLC PDUs σε φυσικά κανάλια δεδομένων πακέτου (packet data physical channel). Το TBF είναι δεσμευμένος εναέριος πόρος σε ένα ή περισσότερα PDCHs και περιλαμβάνει έναν αριθμό από RLC/MAC blocks μεταφέροντας ένα ή περισσότερα LLC PDUs. Το TBF είναι προσωρινό και υφίσταται μόνο για τη διάρκεια της μετάδοσης των δεδομένων. [Π3],[Π4],[Π9],[Π10]

1.4.2. Temporary Flow Identity (TFI)

Σε κάθε TBF αντιστοιχίζεται ένα TFI από το δίκτυο. Ο MS γνωρίζει ότι η τιμή του TFI είναι μοναδική ανάμεσα στα TBFs που μεταδίδονται ταυτόχρονα προς την ίδια κατεύθυνση (ανοδική ή καθοδική ζεύξη) σε όλα τα PDCHs που χρησιμοποιούνται για το TBF. Η ίδια τιμή του TFI μπορεί να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα για TBFs σε άλλα PDCHs προς την ίδια κατεύθυνση ή για TBFs στην αντίθετη κατεύθυνση. [Π3],[Π4],[Π9],[Π10]

1.4.3. Uplink State Flag (USF)

Η USF μεταβλητή βρίσκεται στην επικεφαλίδα κάθε ενός RLC/MAC block σε ένα PDCH καθοδικής ζεύξης. Χρησιμοποιείται από το δίκτυο για να κοντρολάρει την πολυπλεξία διαφορετικών MSs σε PDCH ανοδικής ζεύξης. [Π3],[Π4],[Π9],[Π10]

1.5. Περιγραφή υπηρεσίας του GPRS

Η από άκρη σε άκρη (PTP) υπηρεσία παρέχει μια μετάδοση ενός ή περισσοτέρων πακέτων μεταξύ δύο χρηστών, αρχής γενομένης με μια αιτούμενη υπηρεσία και λήψη αυτής από ένα παραλήπτη. Υπάρχουν δύο PTP υπηρεσίες, οι:

- PTP Connectionless Network Service (PTP-CLNS)
- PTP Connection Orientated Network Service (PTP-CONS)

Η πρόσβαση στις υπηρεσίες μπορεί να γίνεται είτε από σταθερά είτε από κινητά σημεία πρόσβασης.

1.5.1. Από άκρη σε άκρη υπηρεσία χωρίς σύνδεση (PTP-CLNS)

Η PTP-CLNS είναι μια υπηρεσία στην οποία ένα (ή περισσότερα) απλά (single) πακέτα, αποστέλλονται από έναν απλό συνδρομητή της υπηρεσίας «Α» σε έναν απλό παραλήπτη χρήστη «Β». Κάθε πακέτο είναι ανεξάρτητο από το προηγούμενο και το επόμενο πακέτο. Αυτή η υπηρεσία υποστηρίζει αυτοδύναμα πακέτα, και είναι σχεδιασμένη για να υποστηρίζει bursty εφαρμογές. Στη διεπαφή του αέρα, η PTP-CLNS υποστηρίζει τον τύπο μετάδοσης με αναγνωριστικά για αξιόπιστη μεταφορά. Αυτού του είδους η υπηρεσία μπορεί να υποστηρίξει το IP πρωτόκολλο δικτύου.

1.5.2. Από άκρη σε άκρη υπηρεσία προσανατολισμένη σε σύνδεση (PTP-CONS)

Η PTP-CONS είναι μια υπηρεσία στην οποία πολλαπλά (multiple) πακέτα στέλνονται από έναν απλό συνδρομητή της υπηρεσίας «Α» σε έναν απλό παραλήπτη χρήστη «Β». Αυτή η υπηρεσία παρέχει μια λογική σύνδεση μεταξύ των χρηστών που μπορεί να διαρκέσει από λίγα δευτερόλεπτα έως μερικές ώρες. Η υπηρεσία σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει bursty transactive ή interactive εφαρμογές. Στη διεπαφή του αέρα χρησιμοποιεί το τύπο μετάδοσης με αναγνωριστικά για αξιόπιστη μεταφορά. Αποτέλεσμα αυτού είναι το GPRS να μπορεί να υποστηρίζει πρωτόκολλα δικτύου προσανατολισμένα σε σύνδεση, όπως είναι το X.25 Packet Level Protocol for Data Terminal Equipment.

1.6. Χαρακτηριστικά μετάδοσης

Οι μηχανισμοί πολυπλεξίας του πακέτου που υλοποιεί το GPRS είναι ανεξάρτητοι από ένα δοσμένο τύπο καναλιού. Θα πρέπει να είναι δυνατόν το GPRS να λειτουργήσει σε κανάλια με μεγάλη ή μικρή χωρητικότητα. Στο πίνακα 2 περιγράφονται τα χαρακτηριστικά μετάδοσης. [Π7],[Π8]

Ιδιότητες		Υποστηριζόμενες δυνατότητες
Πληροφορία μεταδοτικής ικανότητας		Απεριόριστη ψηφιακή πληροφορία
Πληροφορία μεταδιδόμενου τύπου	τύπος σύνδεσης	προσανατολισμός σε σύνδεση, χωρίς σύνδεση
	τύπος κίνησης (1)	Μεταβλητός ρυθμός δυφίων και μεταβλητή καθυστέρηση
	Χρόνος από άκρη σ' άκρη (2)	Ασύγχρονος
Πληροφορία ρυθμού μετάδοσης (3)		Μέγιστος ρυθμός δυφίων. Οι τιμές συμπεριλαμβάνουν ένα TCH
Δομή πληροφορίας		-Υπηρεσία ακεραιότητας δεδομένων μονάδας -Ακεραιότητα σειράς δεδομένων
Διαμόρφωση επικοινωνίας		Από σημείο σε σημείο
Εγκαθίδρυση της επικοινωνίας (4)		προερχόμενη από ζήτηση κινητού ή τερματισμό κινητού
Διαπραγμάτευση		- Εκτός συχνότητας - Εντός συχνότητας
Συμμετρία		- Αμφίδρομη - Μονόδρομη
Εκχώρηση ασύρματου καναλιού		κοινά διαμοιραζόμενου, πολλαπλών χρηστών

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά μετάδοσης

(1) τύπος κίνησης: Περιγράφει ομάδες δεδομένων με σταθερό ή μεταβλητό ρυθμό δυφίων ως χαρακτηριστικό.

(2) Χρόνος από άκρη σ' άκρη: Περιγράφει τη χρονική συσχέτιση μεταξύ της πηγής και του παραλήπτη των σημάτων.

(3) Ευέλικτα κανάλια με ένα μέγιστο αριθμό δυφίων ο οποίος εξαρτάται από το τύπο του καναλιού και τον αριθμό των χρονοθυρίδων που χρησιμοποιούνται. Αυτή η δυνατότητα προσδιορίζει τη μέγιστη δυνατότητα που σχετίζεται με το κανάλι(α).

(4) Εγκαθίδρυση της επικοινωνίας: μπορεί να είναι σε βάση ζήτησης, δεσμευμένη ή μόνιμη

1.7. Χαρακτηριστικά υπηρεσίας

2.1.1. 1.7.1. Το προφίλ του συνδρομητή

Το προφίλ του συνδρομητή κρατάει πληροφορίες για τη συνδρομή, οι οποίες αφορούν στις προσφερόμενες υπηρεσίες καθώς σε και άλλες παραμέτρους, οι οποίες έχουν συμφωνηθεί και εκχωρηθεί για το διάστημα που προβλέπει το αντίστοιχο συμβόλαιο παροχής της GPRS υπηρεσίας. Στο προφίλ περιλαμβάνονται οι κάτωθι υπηρεσίες:

- Ο τύπος της προσφερόμενης υπηρεσίας (PTP-CLNS, PTP-CONS)
- Τα χαρακτηριστικά της ποιότητας υπηρεσίας που προσφέρει η συνδρομή. (προτεραιότητα, αξιοπιστία, καθυστέρηση, ρυθμό μετάδοσης).

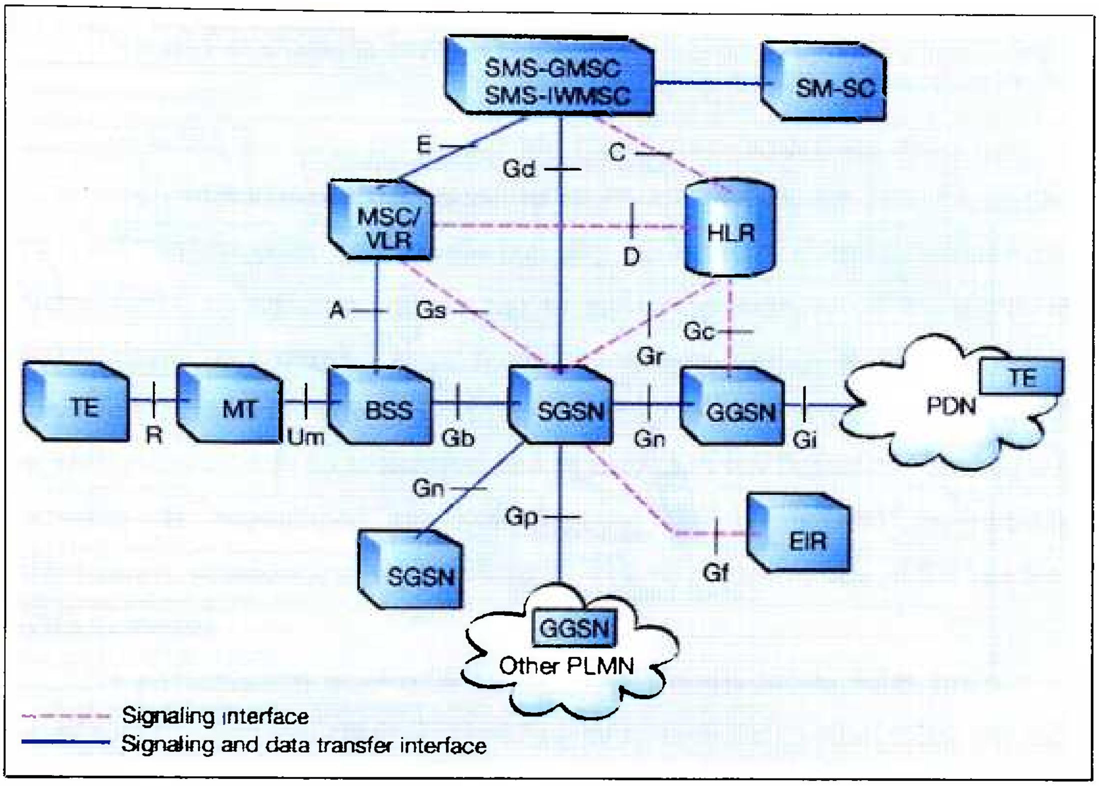
2.1.2. Ποιότητα υπηρεσίας

Το προφίλ της ποιότητας υπηρεσίας συνδυάζεται με κάθε PDP context και θεωρείται ότι είναι μια απλή παράμετρος με πολλαπλές τιμές για τη μετάδοση των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα η ποιότητα υπηρεσίας εκφράζεται από τις εξής μεταβλητές:

- Προτεραιότητα
- Καθυστέρηση
- Αξιοπιστία
- Μέσος ρυθμός μετάδοσης
- Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης

Ο συνδυασμός των παραπάνω μπορεί να δώσει πολλά πιθανά σενάρια ποιότητας υπηρεσίας, αλλά τα ήδη υπάρχοντα PLMN μπορούν να υποστηρίξουν ένα υποσύνολο αυτών. Το προκαθορισμένο προφίλ ποιότητας υπηρεσίας για κάθε χρήστη φυλάσσεται στον HLR, ενώ τον έλεγχο για την υλοποίηση και παρακολούθηση της ποιότητας υπηρεσίας, τον ασκεί ο SGSN.

Η διαδικασία της εκχώρησης των πόρων για την επίτευξη μιας ποιότητας υπηρεσίας λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια των διαδικασιών ενεργοποίησης (Activation Procedures), ενώ παρέχεται η δυνατότητα στο MS να ζητήσει ξεχωριστά τιμές για κάθε παράμετρο του QoS, με αρχικές τιμές αυτές που υπάρχουν αποθηκευμένες στο HLR. Το δίκτυο δύναται να διαπραγματευτεί κάθε μια παράμετρο, υπό τη προϋπόθεση ότι υπάρχουν ελεύθεροι GPRS πόροι. Το δίκτυο θα πρέπει τέλος να μεριμνά, ώστε να υπάρχουν οι απαιτούμενοι πόροι, οι οποίοι υποστηρίζουν τις προκαθορισμένες ποιότητες υπηρεσίας που θέλουν οι χρήστες.



Εικόνα 8: Το μοντέλο αναφοράς του GPRS

1.7.2.1. Προτεραιότητα

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, το δίκτυο θα πρέπει να προσπαθεί να εξυπηρετήσει όλες τις δεσμεύσεις για QoS που έχει αναλάβει απέναντι στους χρήστες του. Η παράμετρος της προτεραιότητας υποδηλώνει τη σημαντική σημασία που έχει η διατήρηση και εξυπηρέτηση των δεσμεύσεων για QoS σε μη-κανονικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα ποια πακέτα θα πεταχτούν στην περίπτωση που υπάρχουν περιορισμένοι πόροι ή συμφόρηση στο δίκτυο. Ο πίνακας 3 περιέχει τις τιμές που μπορεί να πάρει η μεταβλητή της προτεραιότητας.[Π5]

Προτεραιότητα	Χαρακτηρισμός	Περιγραφή
1	Υψηλή (High)	Οι συνδέσεις με αυτή την προτεραιότητα προηγούνται σε εξυπηρέτηση από του τύπου 2 και 3.
2	Κανονική (Normal)	Οι συνδέσεις με αυτή την προτεραιότητα έπονται του τύπου 1 και προηγούνται του τύπου 3
3	Χαμηλή (Low)	Οι συνδέσεις με αυτή τη προτεραιότητα έπονται των συνδέσεων τύπου 1 και 2.

Πίνακας 3: Προτεραιότητες στο QoS

1.7.2.2. Καθυστέρηση

Το GPRS δεν είναι ένα δίκτυο του τύπου «αποθήκευση και προώθηση», αν και τα δεδομένα που μεταφέρει, μπορεί να αποθηκεύονται προσωρινά στους κόμβους του κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Ως εκ τούτου, η όποια καθυστέρηση αναπτύσσεται, προκαλείται καθαρά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μετάδοσης στο σύστημα, και σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση αυτής. Η παράμετρος της καθυστέρησης ορίζεται ως οι μέγιστες τιμές για τη μέση καθυστέρηση και για το 95% της καθυστέρησης που θα αναπτυχθεί από τη μεταφορά των δεδομένων στο(α) GPRS δίκτυο(α). Η παράμετρος της καθυστέρησης ορίζει την από άκρη-σε-άκρη καθυστέρηση μετάδοσης που αναπτύσσεται από τη μετάδοση των SDUs μέσα στο GPRS δίκτυο(α).

Η καθυστέρηση περιλαμβάνει την radio channel access delay (σε ανοδική ραδιοζεύξη) ή την radio channel scheduling delay (καθοδική ραδιοζεύξη), την radio channel transit delay (uplink and/or downlink paths) και την GPRS-network transit delay (multiple hops). Δεν περιλαμβάνει τη καθυστέρηση μετάδοσης των εξωτερικών δικτύων. Η καθυστέρηση μετράται μεταξύ των σημείων R και Gi.[Π6]

Κατηγορίες Καθυστέρησης	Καθυστέρηση (μέγιστες τιμές)			
	μέγεθος SDU : 128 octets		μέγεθος SDU : 1024 octets	
	Μέση καθυστέρηση μετάδοσης (sec)	95 percentile καθυστέρηση (sec)	Μέση καθυστέρηση μετάδοσης (sec)	95 percentile καθυστέρηση (sec)
1. (αναμενόμενη)	< 0.5	< 1.5	< 2	< 7
2. (αναμενόμενη)	< 5	< 25	< 15	< 75
3. (αναμενόμενη)	< 50	< 250	< 75	< 375
4. (Best Effort)	Μη ορισμένη			

Πίνακας 4: Καθυστέρηση στο QoS

1.7.2.3. Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία των δεδομένων εκφράζεται από τις στοχαστικές κλίμακες λάθους για τις εξής κατηγορίες:

- Πιθανότητα απώλειας δεδομένων
- Πιθανότητα λήψης δεδομένων εκτός σειράς
- Πιθανότητα λήψης διπλών αντιγράφων
- Πιθανότητα λήψης κατεστραμμένων δεδομένων.

Η παράμετρος της αξιοπιστίας εκφράζει τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης που απαιτούνται από μια εφαρμογή. [Π6]

Κατηγορίες αξιοπιστίας	Πιθανότητα χαμένων SDU (a)	Πιθανότητα διπλότυπων SDU	Πιθανότητα SDU εκτός σειράς	Πιθανότητα κατεστραμμένων SDU (b)	Παραδείγματα χαρακτηριστικών εφαρμογής
1	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	ευαίσθητες σε λάθη, χωρίς δυνατότητα διόρθωσης λαθών, περιορισμένη δυνατότητα ανοχής λαθών
2	10^{-9}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	ευαίσθητες σε λάθη, περιορισμένη δυνατότητα διόρθωσης λαθών, καλή δυνατότητα ανοχής λαθών.
3	10^{-9}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-2}	όχι ευαίσθητες σε λάθη, με δυνατότητα διόρθωσης λαθών και με πού καλή ανοχή λάθους

Πίνακας 5: Η αξιοπιστία στο QoS

1.7.2.4. Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης

Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης μετριέται μεταξύ των σημείων αναφοράς Gi και R σε octets per second. Ορίζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης, ο οποίος μπορεί να επιτευχθεί κατά μήκος του GPRS δικτύου για ένα δεδομένο PDP context. Δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι αυτός ο ρυθμός μπορεί να επιτευχθεί ή να διατηρηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτό εξαρτάται από τις δυνατότητες του κινητού τερματικού και τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου. Το δίκτυο μπορεί επίσης να περιορίζει το χρήστη στον αρχικό συμφωνημένο ρυθμό μετάδοσης, ακόμα και αν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι (εύρος ζώνης). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης είναι ανεξάρτητος από την καθυστέρηση, που ορίζει την ανά πακέτο καθυστέρηση στο GPRS δίκτυο.[Π5]

Κατηγορίες μέγιστης ρυθμοαπόδοσης	Μέγιστη ρυθμοαπόδοση σε οκτάδες ανά δευτερόλεπτο
1	Μέχρι και 1000 (8 Kbit/s)
2	Μέχρι και 2000 (16 Kbit/s)
3	Μέχρι και 4000 (32 Kbit/s)
4	Μέχρι και 8000 (64 Kbit/s)
5	Μέχρι και 16000 (128 Kbit/s)
6	Μέχρι και 32000 (256 Kbit/s)
7	Μέχρι και 64000 (512 Kbit/s)
8	Μέχρι και 128000 (1024 Kbit/s)
9	Μέχρι και 256000 (2048 Kbit/s)

Πίνακας 6: Μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης στο GPRS

1.7.2.5. Μέσος ρυθμός μετάδοσης

Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης μετριέται μεταξύ των σημείων αναφοράς Gi και R σε octets per hour. Δηλώνει το μέσο ρυθμό με τον οποίο αναμένεται να μεταφερθούν τα δεδομένα κατά μήκος του GPRS δικτύου στον υπόλοιπο ενεργό χρόνο ενός PDP context. Το δίκτυο μπορεί επίσης να περιορίζει το χρήστη στον αρχικό συμφωνημένο μέσο ρυθμό μετάδοσης, ακόμα και αν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι (εύρος ζώνης). Μπορεί να υπάρχει επίσης και best effort μέσος ρυθμός μετάδοσης, ο οποίος υποδηλώνει ότι ο ρυθμός μετάδοσης θα είναι διαθέσιμος στο MS σε βάση ζήτησης και διαθεσιμότητας.[Π5]

Κατηγορίες μέσης ρυθμοαπόδοσης	Μέσος ρυθμός σε οκτάδες ανά ώρα
1	100 (~0.22 bit/s).
2	200 (~0.44 bit/s).
3	500 (~1.11 bit/s).
4	1 000 (~2.2 bit/s).
5	2 000 (~4.4 bit/s).
6	5 000 (~11.1 bit/s).
7	10 000 (~22 bit/s).
8	20 000 (~44 bit/s).
9	50 000 (~111 bit/s).
10	100 000 (~0.22 kbit/s).
11	200 000 (~0.44 kbit/s).
12	500 000 (~1.11 kbit/s).
13	1 000 000 (~2.2 kbit/s).
14	2 000 000 (~4.4 kbit/s).
15	5 000 000 (~11.1 kbit/s).
16	10 000 000 (~22 kbit/s).
17	20 000 000 (~44 kbit/s).
18	50 000 000 (~111 kbit/s).
31	Best effort.

Πίνακας 7: Μέσοι ρυθμοί μετάδοσης στο GPRS

1.8. Θέματα χρέωσης στο GPRS

Το GPRS είναι ένα εντελώς διαφορετικό είδος υπηρεσίας από αυτά που υπάρχουν διαθέσιμα στα σημερινά ασύρματα κινητά δίκτυα. Οι προδιαγραφές του GPRS ορίζουν ρητώς τις ελάχιστες πληροφορίες χρέωσης που θα πρέπει να συλλέγονται από το δίκτυο. Αυτές περιλαμβάνουν τη διεύθυνση του αποστολέα και του παραλήπτη, τη χρησιμότητα του εναέριου μέσου μετάδοσης, τη χρησιμότητα των πόρων του GPRS δικτύου, τη θέση του τερματικού, τη χρησιμότητα της PDP διεύθυνσης και τη χρησιμότητα των external Packet Data Networks. Καθώς οι τεχνικές περιγραφές του GPRS ορίζουν ότι όλες αυτές οι παραπάνω πληροφορίες υπάρχουν στα πακέτα μετάδοσης, το δίκτυο θα πρέπει μόνο να διαθέτει ένα μηχανισμό μέτρησης των πακέτων και να χρεώνει σε πρώτη φάση τους πελάτες του, βάση των πακέτων που στέλνουν και λαμβάνουν.

Υπάρχουν επίσης μερικές πρώτες ιδέες σε θέματα που αφορούν την τιμολόγηση της GPRS υπηρεσίας. Η πρώτη ιδέα είναι αυτή της χρέωσης επιπέδου ρυθμού, η οποία είναι και η απλούστερη πολιτική χρέωσης καθώς δε λαμβάνει υπόψιν της το μέγεθος της χρήσης της υπηρεσίας, το οποίο μεταφράζεται σε πόρους του δικτύου. Η προσφερόμενη υπηρεσία θα χρεώνεται σε συνδρομητική βάση μέσω της καταβολής ενός σταθερού μηνιαίου ποσού.

Μια δεύτερη ιδέα είναι αυτή της χρέωσης βασισμένης στη χρήση, η οποία χρεώνει τους χρήστες λαμβάνοντας υπόψιν τους πόρους του δικτύου οι οποίοι απαιτούνται για την παροχή της επιθυμητής υπηρεσίας στους χρήστες. Σε αυτή την περίπτωση οι ταρίφες αυτής της πολιτικής χρέωσης θα λαμβάνουν υπόψιν τα πραγματικά μετρούμενα μεγέθη τα οποία δηλώνουν το μέγεθος της χρήσης και τα οποία είναι ο όγκος (volume) της εισαχθείσας στο δίκτυο πληροφορίας και η διάρκεια (time) χρήσης της υπηρεσίας.

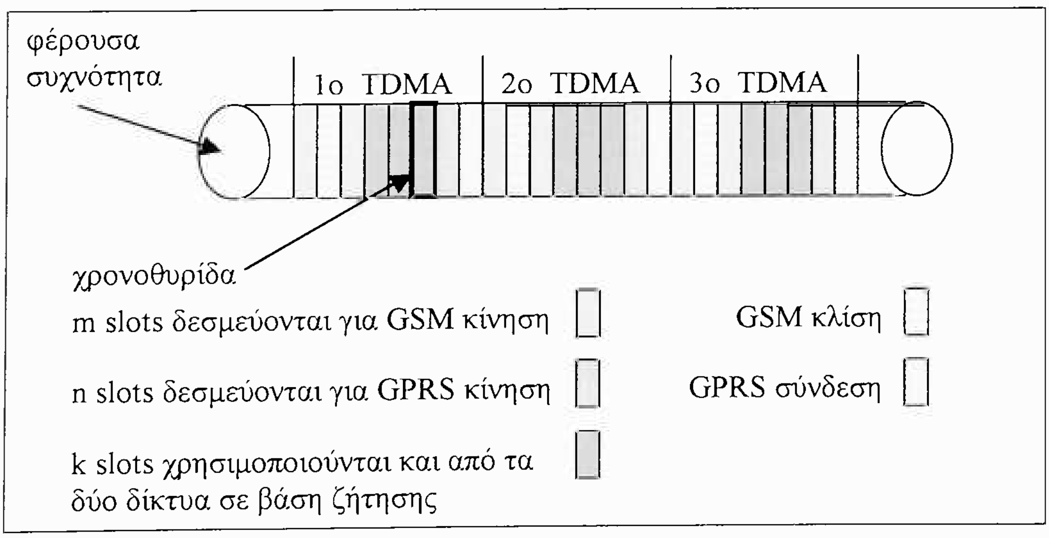
2. Τεχνικές εξασφάλισης της ποιότητας υπηρεσίας στο GPRS

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να περιγραφούν τεχνικές και αλγόριθμοι, που αν χρησιμοποιηθούν από το GPRS δίκτυο θα έχουν ως αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται τα κριτήρια της ποιότητας υπηρεσίας που αυτό προσφέρει, με κριτήριο πάντα τη δέσμευση των ελάχιστων πόρων που απαιτούνται, ώστε να μεγιστοποιείται η χωρητικότητα που διατίθεται για best effort υπηρεσία.

2.2. Περιγραφή του προβλήματος

Όπως έχει αναφερθεί το GPRS είναι ένα νέο δίκτυο που συνυπάρχει με το GSM δίκτυο και εκμεταλλεύεται τις υποδομές αυτού. Ως εκ τούτου μερικοί περιορισμοί του GPRS είναι απόρροια του GSM δικτύου. Οι κυριότεροι περιορισμοί που αφορούν τη δέσμευση των πόρων, στο κομμάτι του αέρα, για τη λειτουργία του GPRS δικτύου είναι οι εξής:

- Όταν έχει ενεργοποιηθεί ένα PDP context, τα TBF που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαφορετικές συχνότητες.
- Ένα TBF όταν ξεκινήσει να μεταδίδεται δε μπορεί να αλλάξει συχνότητα.
- Οι χρονοθυρίδες μιας συχνότητας χρησιμοποιούνται για GSM και για GPRS κίνηση, ειδικότερα δε υπάρχει ένας ελάχιστος αριθμός αποκλειστικά αφιερωμένος στο συγκεκριμένο τύπο δικτύου (GSM ή GPRS).



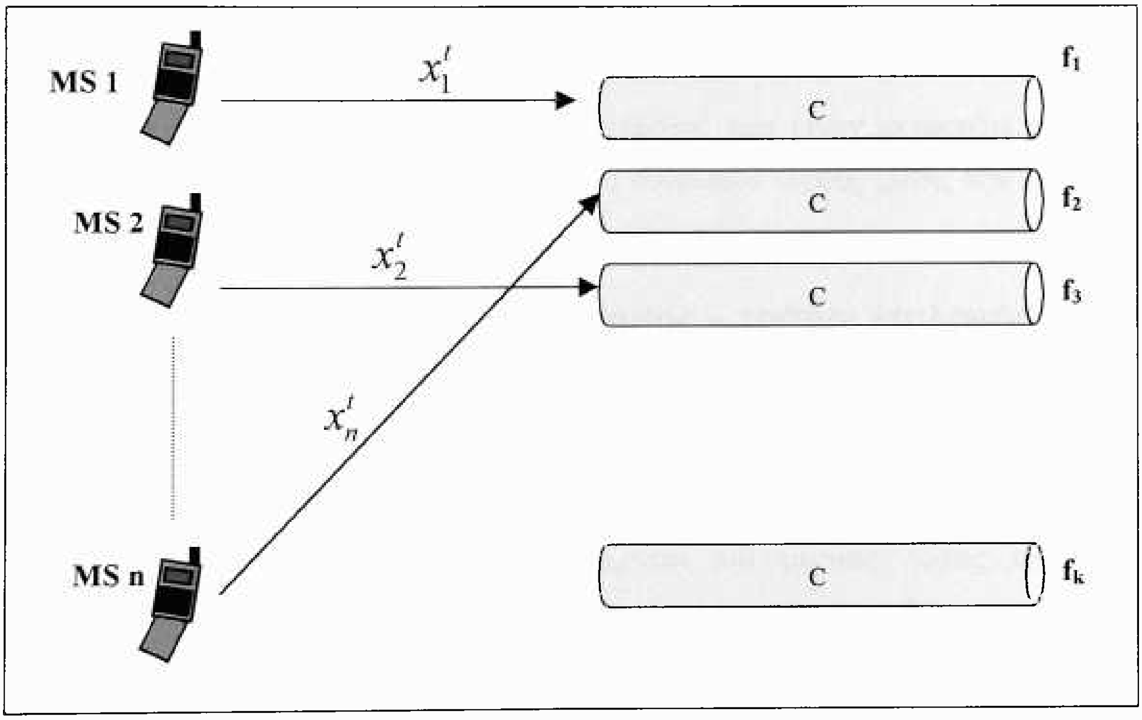
Εικόνα 9: Χρονοθυρίδες και TDMA πλαίσιο

Έστω ότι h είναι το πλήθος των χρονοθυρίδων που εξυπηρετούν GPRS συνδέσεις σε μια φέρουσα συχνότητα, τότε θα ισχύει ότι:

$$\mathbf{n \leq h \leq 8 - m} \quad (1)$$

δηλαδή το πλήθος των χρονοθυρίδων που μπορούν να εξυπηρετήσουν GPRS συνδέσεις είναι μεγαλύτερο του ελάχιστου αφιερωμένου σε GPRS συνδέσεις αριθμού χρονοθυρίδων και μικρότερο του 8 – m, όπου m ο ελάχιστος αριθμός χρονοθυρίδων αφιερωμένων σε GSM κλήσεις. Με αυτό τον τρόπο το δίκτυο καταφέρνει να εξασφαλίζει ένα ελάχιστο αριθμό GSM κλήσεων, ένα ελάχιστο εύρος ζώνης για το GPRS και να διαθέτει μια πισίνα χρονοθυρίδων οι οποίες σε βάση ζήτησης διατετίθονται άλλοτε στο GSM και άλλοτε στο GPRS.

Επόμενο βήμα είναι η περιγραφή και η μοντελοποίηση του προβλήματος δέσμευσης των πόρων (resource allocation problem).



Εικόνα 10: Μοντέλο δέσμευσης των πόρων

Για την καλύτερη κατανόηση του μοντέλου και για την απλούστευση αυτού υποθέτουμε ότι σε όλες τις φέρουσες συχνότητες υπάρχει η ίδια χωρητικότητα **C** για GPRS κίνηση.

Αν συμβολίσουμε με:

- **n** το πλήθος των ενεργών (active) PDP συνδέσεων (context)
- **k** το πλήθος των διαθέσιμων συχνοτήτων
- **t** το χρονικό διάστημα ενός TDMA frame

και ορίσουμε:

- $\mathbf{I_t}$ το σύνολο όλων των ενεργών TBFs, $I_t \subseteq \{1 \ldots n\}$
- x_i^t το ρυθμό μετάδοσης του MS i τη χρονική στιγμή t
- $h_i^j = \begin{cases} 1 & \text{Αν ο χρήστης i χρησιμοποιεί τη συχνότητα j} \\ 0 & \text{Αν ο χρήστης i δε χρησιμοποιεί τη συχνότητα j} \end{cases}$

τότε θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$\sum_{i \in I_t} x_i^t h_i^j \leq C \qquad \forall t \text{ και } \forall j \in \{1,2..,n\} \quad (2)$$

δηλαδή το άθροισμα όλων των ρυθμών μετάδοσης που έχουν εκχωρηθεί στους κινητούς σταθμούς είναι μικρότερο ή ίσο του συνολικού εύρους ζώνης που έχει η κάθε συχνότητα για κάθε χρονική στιγμή.

2.3. Το πρόβλημα της δρομολόγησης – τρόποι επιλογής της συχνότητας

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η περιγραφή διάφορων πολιτικών επιλογής της συχνότητας η οποία θα φιλοξενήσει μια GPRS σύνδεση, η οποία ζητά εγγυημένη υπηρεσία, τα προβλήματα που παρουσιάζονται και μερικές λύσεις αυτών. Προτεινόμενες λύσεις είναι αυτές του καλύτερου ταιριάσματος (best fit), του πρώτου ταιριάσματος (first fit) και του πρώτου κυκλικού ταιριάσματος (cyclic first fit).

2.3.1. Καλύτερο ταίριασμα (Best Fit)

Η μέθοδος αυτή προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την απώλεια ελεύθερων χρονοθυρίδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές GPRS συνδέσεις, με το να διαλέξει το μικρότερο δυνατό αριθμό χρονοθυρίδων, οι οποίες εξασφαλίζουν τη ζητούμενη ποιότητα υπηρεσίας από τις διαθέσιμες χρονοθυρίδες που έχουν οι διαθέσιμες φέρουσες συχνότητες. Για να δουλέψει αυτή η μέθοδος, ο BSS θα πρέπει να κρατάει μια ταξινομημένη λίστα των διαθέσιμων χρονοθυρίδων στις συχνότητες που διαχειρίζεται σύμφωνα με το πλήθος αυτών. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι πως δημιουργεί πολλές μικρές ελεύθερες χρονοθυρίδες που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φιλοξενήσουν μελλοντική εγγυημένη GPRS υπηρεσία. Αυτές οι χρονοθυρίδες μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν για best effort υπηρεσία.

2.3.2. Πρώτο ταίριασμα (First fit)

Ο αλγόριθμος αυτός διαλέγει την πρώτη ομάδα διαθέσιμων χρονοθυρίδων, εξετάζοντας ιεραρχικά τις συχνότητες, η οποία είναι αρκετά μεγάλη για να φιλοξενήσει τη GPRS σύνδεση που θα εγκαθιδρυθεί. Τα πλεονεκτήματα της στρατηγικής αυτής είναι πως:

α) ο σταθμός εδάφους σπαταλά λιγότερο χρόνο για την επιλογή της ομάδας των διαθέσιμων χρονοθυρίδων και

β) απομένουν ομάδες διαθέσιμων χρονοθυρίδων σχετικά μεγάλου μεγέθους.

Το μόνο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου, του πρώτου ταιριάσματος, είναι πως θα τείνει να συγκεντρώνει τις προσπάθειες στην αρχή του εύρους των συχνοτήτων (διότι από εκεί αρχίζει το ψάξιμο).

2.3.3. Κυκλικό πρώτο ταίριασμα (Cyclic first fit)

Η μέθοδος αυτή, γνωστή και ως επόμενο ταίριασμα (next fit) ή και ως διαφοροποιημένο πρώτο ταίριασμα (modified first fit), αποφεύγει το μειονέκτημα του πρώτου ταιριάσματος με το να ψάχνει τη λίστα των διαθέσιμων χρονοθυρίδων κυκλικά. Η λίστα των ελευθέρων χρονοθυρίδων είναι οργανωμένη κυκλικά και κάθε φορά το ψάξιμο αρχίζει από το στοιχείο που σταμάτησε την προηγούμενη φορά. Η στρατηγική αυτή τείνει να κατανείμει τον κατακερματισμό των χρονοθυρίδων ομοιόμορφα σε ολόκληρο το φάσμα των συχνοτήτων και να ελαττώσει το χρόνο που ξοδεύει ο σταθμός εδάφους για την επιλογή των χρονοθυρίδων. Μειονέκτημά της είναι ότι καθυστερεί μισό κύκλο κατά μέσο όρο, για να λάβει ξανά υπ΄ όψιν τις νέες διαθέσιμες χρονοθυρίδες που προκύπτουν από το τέλος μιας GPRS σύνδεσης.

Είναι στην κρίση του πάροχου της GPRS υπηρεσίας ποια μέθοδο θα χρησιμοποιήσει από τις παραπάνω συνεκτιμόντας την πολυπλοκότητα της υλοποίησης και τυχόν τεχνικές δυσλειτουργίες που μπορεί να έχει αυτή.

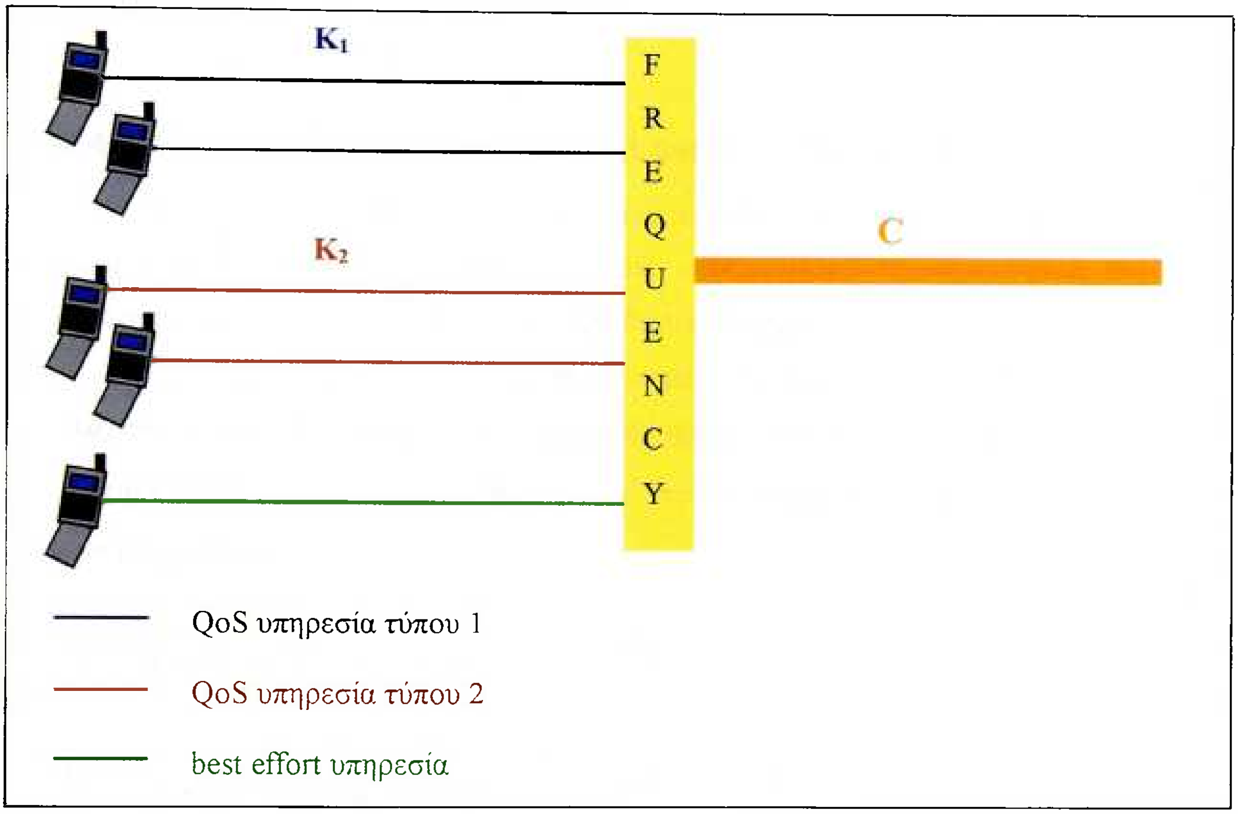
2.4. Εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας με τη χρήση του Generalized Processor Sharing αλγορίθμου

Όπως είναι γνωστό ο Generalized Processor Sharing (GPS) αλγόριθμος, είναι ο κύριος αλγόριθμος για τον προγραμματισμό της μελλοντικής επιλογής των πακέτων στους IP δρομολογητές καθώς επίσης και των ATM μεταγωγέων. Η μέχρι τώρα προσέγγιση υλοποίησης του GPS βασίζεται σε ντετερμινιστικές εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας με αποτέλεσμα να είναι γενικά αποδεκτό ότι τα όρια που προκύπτουν από την εφαρμογή του είναι αρκετά συντηρητικά, με αποτέλεσμα να περιορίζουν τη χρησιμότητα των δικτύων. [A8],[B4]

Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η προσαρμογή του GPS αλγορίθμου στις λειτουργικές ανάγκες του GPRS δικτύου, και ειδικότερα στο ασύρματο κομμάτι, δηλαδή στο πώς θα πρέπει να μοιράζονται οι χρονοθυρίδες στις διάφορες συνδέσεις οι οποίες είναι ενεργές και ζητούν κάποια ποιότητα υπηρεσίας, με μετρήσιμο χαρακτηριστικό το ρυθμό μετάδοσης. Είναι μια πρώτη προσέγγιση στο πρόβλημα του πως μπορεί να διασφαλιστεί η ποιότητα υπηρεσίας στο GPRS. Εκτός όμως από αυτό δε θα περιοριστούμε μόνο στη ντετερμινιστική εκδοχή του GPS, αλλά θα δώσουμε και δύο στατιστικές εκδοχές αυτού, μια σε σχέση με το μέσο εγγυημένο εύρος ζώνης και μια σε σχέση με την πιθανότητα να μην επιτευχθούν οι εγγυήσεις της ποιότητας υπηρεσίας. Στο επόμενο κεφάλαιο τέλος υπάρχει μια μελέτη περίπτωσης στην οποία υπάρχουν αριθμητικά δεδομένα και βοηθάει στο να εξαχθούν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα.

2.4.1. Περιγραφή του προβλήματος

Για την απλότητα του προβλήματος υποθέτουμε ότι ο πάροχος της GPRS υπηρεσίας προσφέρει δύο διαφορετικές κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας, οι οποίες συνυπάρχουν με την best effort υπηρεσία. Οι δύο κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας χαρακτηρίζονται από την από άκρη σε άκρη καθυστέρηση, καθώς επίσης και από τον ελάχιστο και το μέσο ρυθμό μετάδοσης. Στόχος της παραγράφου είναι η μοντελοποίηση του προβλήματος με σκοπό τη μεγιστοποίηση της διαθέσιμης χωρητικότητας η οποία είναι διαθέσιμη για τη best effort κίνηση, ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούνται οι εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας που υπόσχονται οι κλάσεις. Η μελέτη του προβλήματος θα γίνει για μια συχνότητα καθώς η λύση του προβλήματος μπορεί να εφαρμοστεί και στις άλλες συχνότητες.



Εικόνα 11: Ζήτηση πόρων για QoS

Έστω ότι υπάρχουν K_1 και K_2 κινητοί σταθμοί οι οποίοι επιθυμούν να έχουν πρόσβαση στις εγγυημένες υπηρεσίες *τύπου1* και *τύπου2* αντίστοιχα. Για απλότητα υποθέτουμε ότι οι κινητοί σταθμοί συμπεριφέρονται σαν On – Off πηγές, δηλαδή όταν έχουν κάτι να μεταδώσουν το μεταδίδουν με το μέγιστο ρυθμό, ειδάλλως παραμένουν ανενεργές. Κάθε σύνδεση (PDP context) για τις δύο κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας αντίστοιχα, χαρακτηρίζεται από μια παράμετρο, τη φ_j, που καλείται συντελεστής βάρους και προσδιορίζει το ποσοστό του εύρους ζώνης που θα αφιερωθεί σε μια σύνδεση της κλάσης j, έτσι ώστε να μην ξεπερνιέται ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης.

Το πρόβλημα θα λυθεί σε τρεις διαφορετικές εκδοχές, αυτή της πολύπλεξης χωρίς απώλειες (lossless multiplexing), αυτή της πολύπλεξης που εξετάζει το μέσο ρυθμό μετάδοσης, και τέλος αυτή της στατιστικής πολύπλεξης (statistical multiplexing). Σκοπός μας είναι να βρεθούν αν είναι δυνατόν οι αποδεκτές περιοχές τιμών των ζευγών (K_1,K_2) για τις οποίες υπάρχουν οι συντελεστές φ_1 και φ_2. για τις οποίες το συνολικό υπολειπόμενο διαθέσιμο εύρος ζώνης για τη best effort υπηρεσία είναι το μέγιστο. Τέλος θεωρούμε ότι στη best effort το γινόμενο $\phi_{be} * K_{be}$ είναι σταθερό και ίσο με BE.

2.4.2. Πολύπλεξη χωρίς απώλειες (Lossless Multiplexing)

Σε αυτή την περίπτωση η εγγύηση που προσφέρεται για ποιότητα υπηρεσίας είναι ντετερμινιστική, δεν επιτρέπεται καμιά απόκλιση από τις παραμέτρους της ποιότητας υπηρεσίας και είναι το χειρότερο δυνατό σενάριο.

Αν υποθέσουμε ότι η <u>*υπηρεσία τύπου1*</u> εξυπηρετεί τους πελάτες της με ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης $\widetilde{c}_1$ και η <u>*υπηρεσία τύπου2*</u> με ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης $\widetilde{c}_2$ και ο διαθέσιμος συνολικά ρυθμός είναι C, τότε ο διαμερισμός των πόρων δίνεται από τους τύπους:

$$c_1 = \frac{\phi_1 * C}{\phi_1 * \mathrm{K}_1 + \phi_2 * \mathrm{K}_2 + BE} \geq \widetilde{c}_1 \qquad (3)$$

$$c_2 = \frac{\phi_2 * C}{\phi_1 * \mathrm{K}_1 + \phi_2 * \mathrm{K}_2 + BE} \geq \widetilde{c}_2 \qquad (4)$$

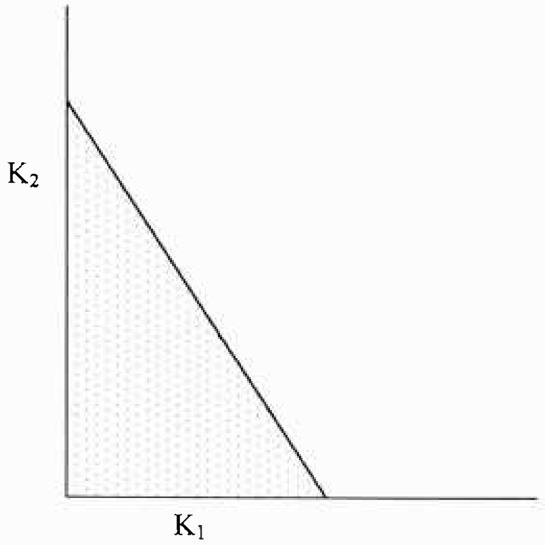
Σε αυτή τη περίπτωση αν σκοπός μας είναι η μεγιστοποίηση του συνολικού εύρους ζώνης που δίνεται στη best effort υπηρεσία, και συμβολίζεται $C_{ολBE}$, δηλαδή $\max(\frac{BE * C}{\phi_1 * \mathrm{K}_1 + \phi_2 * \mathrm{K}_2 + \mathrm{BE}})$, τότε η λύση του προβλήματος προκύπτει από την ελαχιστοποίηση του προβλήματος: $\min(\phi_1 * \mathrm{K}_1 + \phi_2 * \mathrm{K}_2)$ (5).

Η λύση του παραπάνω προβλήματος είναι τετριμμένη και στην περίπτωσή μας έχουμε ότι:

$c_1 = \widetilde{c}_1$ και $c_2 = \widetilde{c}_2$, καθώς και

$$K_1 * c_1 + K_2 * c_2 = C - C_{ολBE} \quad (6)$$

Σε αυτή την περίπτωση η περιοχή αποδοχής των αποδεκτών ζευγών (K_1,K_2) δίνεται από μια γραφική παράσταση της παρακάτω μορφής:



Εικόνα 12: Γραφική απεικόνιση του Acceptance Region στο Lossless Multiplexing

Αντίστοιχα, οι συντελεστές φ1 και φ2, προσδιορίζονται εφόσον υπάρχουν (μη αρνητικοί) από τη λύση του συστήματος των εξισώσεων (3) και (4).

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή την περίπτωση δε λαμβάνεται υπ' όψιν το ενδεχόμενο κάποιες πηγές να είναι αδρανείς, με αποτέλεσμα ο συντελεστής βάρους φ να είναι μικρότερος του αποτελεσματικού, και να δεσμεύονται πόροι οι οποίοι δε χρησιμοποιούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα.

2.4.3. Πολύπλεξη μέσου ρυθμού μετάδοσης

Σε αυτή την περίπτωση δεν εξετάζεται το ντετερμινιστικό μοντέλο, αλλά μελετάται το φαινόμενο εξετάζοντας τους μέσους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων. Έστω ότι τη χρονική στιγμή t υπάρχουν $N_{1(t)}$ ενεργοί κινητοί σταθμοί που χρησιμοποιούν την <u>*υπηρεσία τύπου1*</u> και $N_{2(t)}$ ενεργοί κινητοί σταθμοί που χρησιμοποιούν την <u>*υπηρεσία τύπου2*</u> με $N_{1(t)} \le K_1$ και $N_{2(t)} \le K_2$.

Σε αυτή τη περίπτωση ο διαμερισμός των πόρων του δικτύου γίνεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$c_{1(t)} = \frac{\phi_1 * C}{\phi_1 * N_{1(t)} + \phi_2 * N_{2(t)} + BE} \ge \widetilde{c}_1 \qquad (7)$$

και

$$c_{2(t)} = \frac{\phi_2 * C}{\phi_1 * N_{1(t)} + \phi_2 * N_{2(t)} + BE} \ge \widetilde{c}_2 \qquad (8)$$

Το δίκτυο είναι σε θέση να γνωρίζει τους μέσους όρους των ενεργών πηγών υπηρεσίας τύπου1 και τύπου2, από πληροφορία που συλλέγεται στο HLR και στο σύστημα χρέωσης και η οποία προέρχεται από τα συμβόλαια παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών που υπογράφουν οι χρήστες. Ας υποθέσουμε ότι αυτοί οι μέσοι ρυθμοί είναι $\overline{p}_1$ για την <u>*υπηρεσία τύπου1*</u> και $\overline{p}_2$ για την <u>*υπηρεσία τύπου2*</u>.

Σε αυτή τη περίπτωση η μέση τιμή των κινητών που είναι ενεργά και χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες <u>*τύπου1*</u> και <u>*τύπου2*</u> είναι: $E[N_{1(t)}] = \overline{p}_1 * K_1$ και $E[N_{2(t)}] = \overline{p}_2 * K_2$. Τότε επειδή η γραφική αναπαράσταση των (7) και (8) είναι κυρτή καμπύλη ισχύει ότι:

$$E[c_{1(t)}] \geq \frac{\phi_1 * C}{\phi_1 * E[N_{1(t)}] + \phi_2 * E[N_{2(t)}] + BE} \qquad (9)$$

και $$E[c_{2(t)}] \geq \frac{\phi_2 * C}{\phi_1 * E[N_{2(t)}] + \phi_2 * E[N_{2(t)}] + BE} \qquad (10)$$

Έχουμε δηλαδή μια συντηρητική προσέγγιση, σε ότι αφορά τους μέσους όρους, στην οποία το εύρος ζώνης που παίρνουν οι κινητοί σταθμοί είναι μικρότερο από το αναμενόμενο εύρος ζώνης για κάθε υπηρεσία. Συνεπώς υπάρχει ένα άνω όριο το οποίο μπορεί να εγγυηθεί ο πάροχος του GPRS.

Στη περίπτωση που το δίκτυο επιθυμεί να δώσει $\widetilde{c}_1$ μέσο ρυθμό μετάδοσης για την <u>*υπηρεσία τύπου1*</u> και $\widetilde{c}_2$ για την <u>*υπηρεσία τύπου2*</u> και επιθυμεί να εξασφαλίσει το μέγιστο μέσο ρυθμό μετάδοσης για τη best effort κίνηση, τότε η λύση του προβλήματος είναι παρόμοια με το προηγούμενο πρόβλημα, δηλαδή:

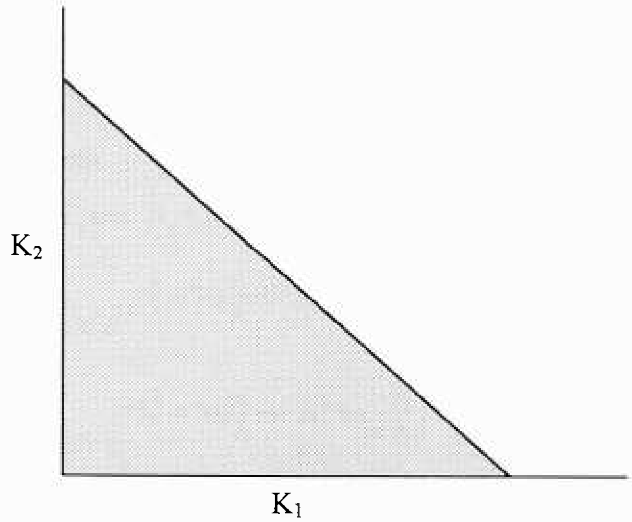
$$c_1 = \widetilde{c}_1 = \frac{\phi_1 * C}{\phi_1 * \overline{p}_1 * K_1 + \phi_2 * \overline{p}_2 * K_2 + BE} \qquad (11) \text{ και}$$

$$c_2 = \widetilde{c}_2 = \frac{\phi_2 * C}{\phi_1 * \overline{p}_1 * K_1 + \phi_2 * \overline{p}_2 * K_2 + BE} \qquad (12)$$

οπότε το σύνολο των τιμών των ζευγών των (K_1,K_2) που σχηματίζουν τη περιοχή αποδοχής είναι όλα εκείνα τα ζεύγη (K_1,K_2) για τα οποία το σύστημα των εξισώσεων (11) και (12) δίνει αποδεκτές λύσεις (μη αρνητικές) για τα φ_1 και φ_2, και έχουμε:

$$K_1 * (\overline{p}_1 * c_1) + K_2 * (\overline{p}_2 * c_2) = C - C_{\text{ολBE}} \qquad (13)$$

Σε αυτή τη περίπτωση η περιοχή αποδεκτών λύσεων για το ζεύγος (K_1,K_2) δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 13: Γραφική απεικόνιση του Acceptance Region στο Average Multiplexing

Τα αποτελέσματα είναι σαφώς καλύτερα, σε σχέση με το πρώτο πρόβλημα, καθώς αν το δίκτυο θέλει να προσφέρει τους ίδιους ρυθμούς μετάδοσης $\widetilde{c}_1$ και $\widetilde{c}_2$ κάθε στιγμή στην πρώτη περίπτωση, και κατά μέσο ρυθμό στη δεύτερη περίπτωση, τότε στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να δεχτεί περισσότερες πηγές. Η δυσκολία αυτής της υλοποίησης είναι η πολυπλοκότητα της, καθώς το δίκτυο θα πρέπει να έχει ιστορική πληροφόρηση για το τι ρυθμούς έχει πάρει μέχρι τώρα το κινητό στη διάρκεια της σύνδεσης και ποιος είναι ο εναπομένων χρόνος αυτής.

2.4.4. Στατιστική πολύπλεξη

Αυτή η περίπτωση προβλήματος είναι η ενδιάμεση μορφή των δύο προηγουμένων. Ο πάροχος της GPRS υπηρεσίας επιθυμεί να δώσει στους χρήστες μια στατιστική εγγύηση για κάθε σύνδεση, μόνο που αντί να λάβει υπόψιν του το χειρότερο δυνατό σενάριο (worst case), λαμβάνει υπόψιν του τη στατιστική συμπεριφορά του δικτύου και προσπαθεί να βρει ένα ελάχιστο ρυθμό σε κάθε κλάση υπηρεσίας *τύπου1* και *τύπου2* λαμβάνοντας υπόψιν μια πιθανότητα λάθους που μπορεί να κάνει και να μην επιτύχει τις υποσχόμενες εγγυήσεις.

Τότε ο διαμερισμός των πόρων του δικτύου, αν ο πάροχος υπόσχεται $\widetilde{c}_1$ για την υπηρεσία *τύπου1* και $\widetilde{c}_2$ για την υπηρεσία *τύπου2* με πιθανότητα a να μην επιτύχει τα ελάχιστα αυτά όρια, δίνεται από τις σχέσεις:

$$c_1 = \frac{\phi_1 * C}{\phi_1 * p_1 * K_1 + \phi_2 * p_2 * K_2 + BE} \geq \widetilde{c}_1 \quad (14) \text{ και}$$

$$c_2 = \frac{\phi_2 * C}{\phi_1 * p_1 * K_1 + \phi_2 * p_2 * K_2 + BE} \geq \widetilde{c}_2 \quad (15),$$

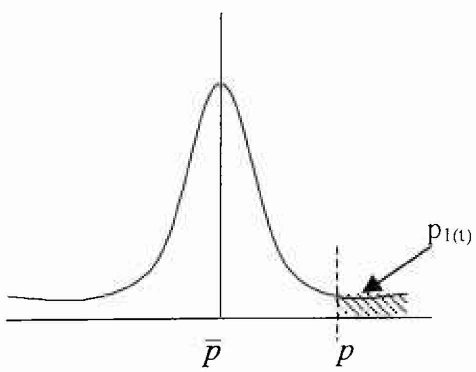
ενώ ισχύουν τα κάτωθι:

$\overline{p}_1 * K_1 < p_1 * K_1 < K_1$ και $\overline{p}_2 * K_2 < p_2 * K_2 < K_2$,

$$a = P\left[p_1(t) \geq p_1\right] \approx e^{-k_1\left(p_1 * \log\frac{p_1}{\overline{p}_1} + (1-p_1) * \log\frac{1-p_1}{1-\overline{p}_1}\right)} \quad (16)$$

$$a = P\left[p_1(t) \geq p_1\right] \approx e^{-k_1\left(p_1 * \log\frac{p_1}{\overline{p}_1} + (1-p_1) * \log\frac{1-p_1}{1-\overline{p}_1}\right)} \quad (17)$$

Οι σχέσεις (16) και (17) αναφέρονται σε large deviation προσέγγιση, περισσότερα στοιχεία για την οποία μπορεί να βρει κανείς στο [B3]. Ο συντελεστής $p_{1(t)}$ είναι η πιθανότητα με την οποία αν κάποιος κοιτάξει στο παραπάνω σύστημα των δύο τύπου πηγών, να δει περισσότερες σε αριθμό ενεργές πηγές τύπου1 από αυτές που του διασφαλίζουν την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας, όμοια ισχύει και για το $p_{2(t)}$. Συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε ένα κάτω φράγμα, πάνω από το οποίο παραβιάζονται οι προσφερόμενες εγγυήσεις. Στη περίπτωση που $p_1 = p_2 = 1$, τότε όλες οι πηγές είναι ενεργές και έχουμε οδηγηθεί στη περίπτωση της πολύπλεξης χωρίς απώλειες.



Από τις σχέσεις (16) και (17) μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές των μεταβλητών p_1 και p_2, ενώ παρατηρούμε επίσης ότι οι μεταβλητές αυτές είναι συνάρτηση των K_1 και K_2 αντίστοιχα. Επειδή οι αριθμοί K_1 και K_2 είναι στη περίπτωση του GPRS σχετικά μικροί, οι τιμές για του συντελεστές p_1 και p_2 είναι μακριά από αυτές των αντίστοιχων μέσων όρων.

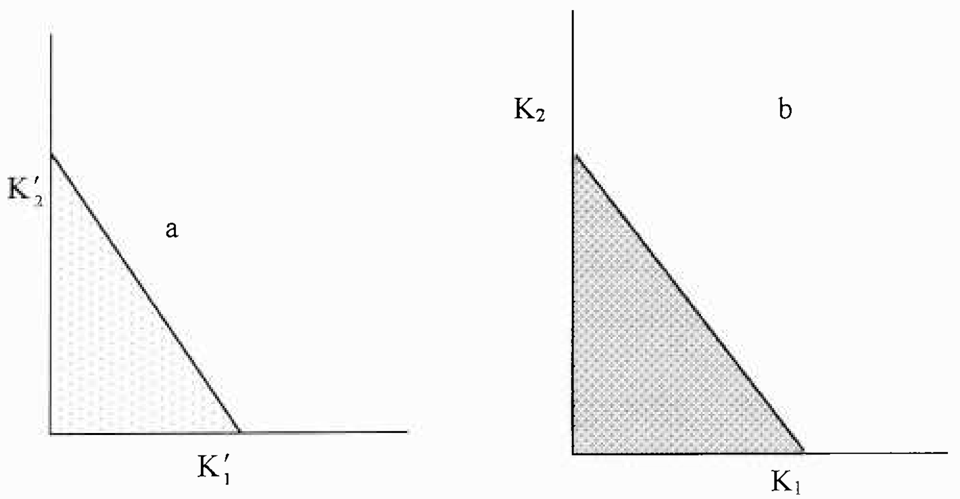
Αν τώρα θέσουμε $K_1' = p_1 * K_1$ και $K_2' = p_2 * K_2$, ενώ ο στόχος του πάροχου της GPRS υπηρεσίας παραμένει η μεγιστοποίηση του εύρους ζώνης που δίνεται στη best effort υπηρεσία, δηλαδή $\max(\frac{BE*C}{\phi_1 * \mathrm{K}_1' + \phi_2 * \mathrm{K}_2' + \mathrm{BE}})$, τότε η λύση του προβλήματος προκύπτει από την ελαχιστοποίηση του προβλήματος: $\min(\phi_1 * \mathrm{K}_1' + \phi_2 * \mathrm{K}_2')$. Συνεπώς αναγόμαστε πάλι στο αρχικό πρόβλημα, οπότε η λύση αυτού του προβλήματος είναι η κάτωθι:

$c_1 = \widetilde{c}_1$ και $c_2 = \widetilde{c}_2$, καθώς και

$K_1' * c_1 + K_2' * c_2 = C - C_{\text{ολ}BE}$ ή

$K_1 * (p_1 * c_1) + K_2 * (p_2 * c_2) = C - C_{\text{ολ}BE}$

ενώ οι γραφικές απεικονίσεις των Acceptance Regions για τα ζεύγος $(\mathrm{K}_1', \mathrm{K}_2')$ και για τα $(\mathrm{K}_1, \mathrm{K}_2)$ είναι των παρακάτω μορφών:



Εικόνα 14: Γραφική απεικόνιση των Acceptance Regions στο Statistical Multiplexing

Η απεικόνιση β προκύπτει από την απεικόνιση α και από τις σχέσεις $K_1' = p_1 * K_1$ και $K_2' = p_2 * K_2$,

Τα υπέρ και τα κατά αυτής της λύσης, όπως και μια σύγκριση με τις δύο προηγούμενες θα φανούν στο κεφάλαιο που ακολουθεί, όπου υπάρχει ένα πείραμα με πραγματικά δεδομένα.

3. Μελέτη περίπτωσης εφαρμογής του GPS για εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας στο GPRS – Αριθμητικά δεδομένα

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να διερευνηθούν πειραματικά οι θεωρητικές λύσεις που δόθηκαν στα 3 προβλήματα του $2^{ου}$ κεφαλαίου, να συγκριθούν οι λύσεις που δίνουν και να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα.

3.1. Περιγραφή της μελέτης περίπτωσης

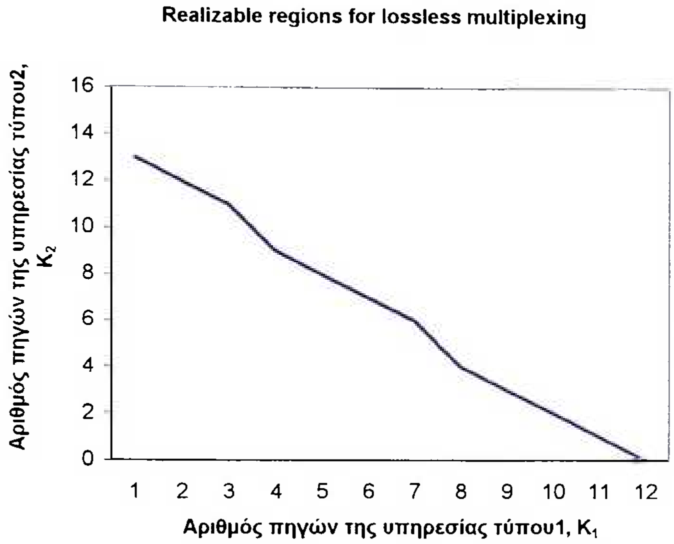
Ο πάροχος της GPRS υπηρεσίας θέλει να προσφέρει 2 υπηρεσίες στους συνδρομητές του, την υπηρεσία τύπου1 που αφορά φυλλομέτρηση ιστοσελίδων (web browsing) και η οποία χρησιμοποιείται μόνο από ομοειδή κινητούς σταθμούς τύπου1 και την υπηρεσία τύπου2 που αφορά ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail) και η οποία χρησιμοποιείται μόνο από κινητούς ομοειδής σταθμούς τύπου2. Η διαθέσιμη χωρητικότητα που έχει το GPRS δίκτυο είναι 120 Kbps, οι τιμές των εγγυήσεων που επιθυμεί να προσφέρει το δίκτυο είναι $\tilde{c}_1 = 10Kbps$ και $\tilde{c}_2 = 8Kbps$, ενώ η τιμή της παραμέτρου BE καθορίστηκε ίση με 1 χωρίς αυτό να επηρεάζει σε τίποτα τη λύση. Στόχος του πάροχου, είναι να βρει τα αποδεκτά ζεύγη τιμών των κινητών σταθμών τύπου1 και τύπου2, τους οποίους θα δεχθεί στο δίκτυό του, και θα του αφήσουν τη μεγαλύτερη δυνατή χωρητικότητα για best effort κίνηση. Τα επιμέρους στοιχεία που αφορούν την επίλυση κάθε προβλήματος θα παρατεθούν στην αντίστοιχη παράγραφο.

3.2. Διερεύνηση της τεχνικής πολύπλεξης χωρίς απώλειες

Στην περίπτωση που ο πάροχος εφαρμόζει τη τεχνική πολύπλεξης χωρίς απώλειες, περιοχή αποδοχής των λύσεων εμφανίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, ενώ παρατίθεται πίνακας με τις τιμές των K_1,K_2 και των αντίστοιχων φ_1,φ_2

K_1	K_2	φ_1	φ_2	K_1	K_2	φ_1	φ_2
0	15	1,25	1	7	6	5	4
1	13	1,66666	1,33333	8	4	1,25	1
2	12	2,5	2	9	3	1,66666	1,33333
3	11	5	4	10	2	2,5	2
4	9	1,25	1	11	1	5	4
5	8	1,66666	1,33333	12	0	1,25	1
6	7	2,5	2				

Πίνακας 8: Πίνακας τιμών στο Lossless Multiplexing

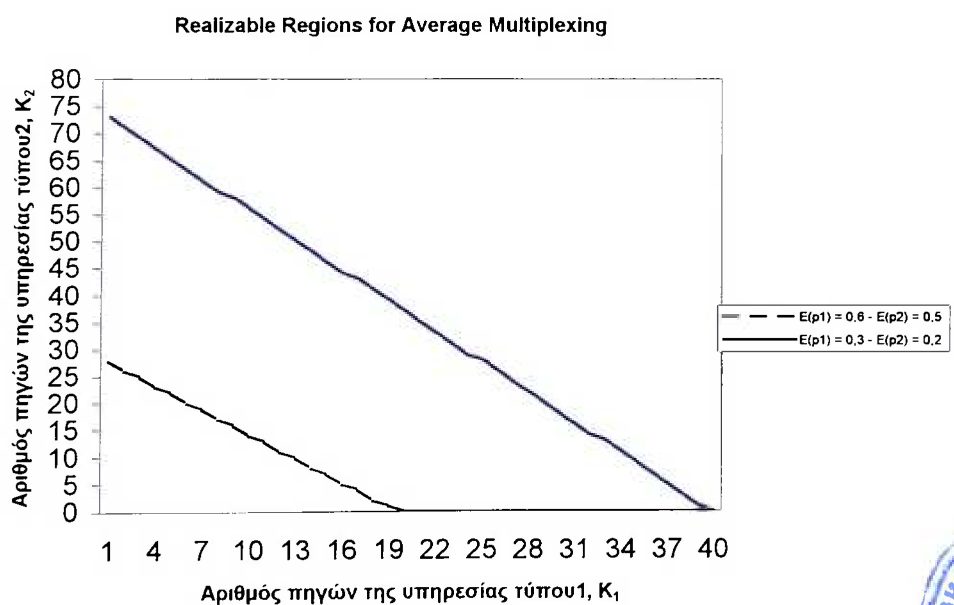


Εικόνα 15: Διάγραμμα της περιοχής αποδοχής στο lossless multiplexing

Σε αυτή την περίπτωση η διαθέσιμη συνολική χωρητικότητα για best effort κίνηση κυμαίνεται ανάμεσα από 2 έως 8 Kbps.

3.3. Διερεύνηση της τεχνικής πολύπλεξης μέσου ρυθμού

Στην περίπτωση που ο πάροχος εφαρμόζει τη τεχνική πολύπλεξης μέσης χωρητικότητας τότε το διάγραμμα αποδοχής είναι το παρακάτω:

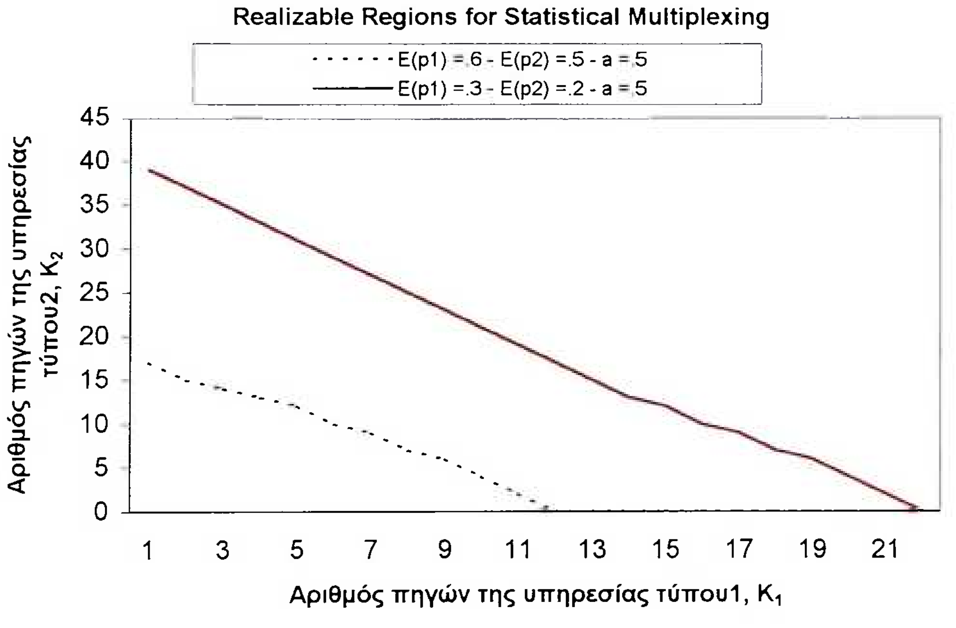


Εικόνα 16: Διάγραμμα της περιοχής αποδοχής στο average multiplexing

Στο προηγούμενο διάγραμμα απεικονίζονται δύο λύσεις, η πρώτη όταν ο μέσος ρυθμός των πηγών τύπου1 που είναι ενεργές (on) είναι 0.6 και των πηγών τύπου2 που είναι ενεργές (on) είναι 0.5 ενώ η δεύτερη όταν ο μέσος ρυθμός των πηγών τύπου1 που είναι ενεργές (on) είναι 0.3 και των πηγών τύπου2 που είναι ενεργές (on) είναι 0.2. Στην πρώτη περίπτωση συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα για best effort κίνηση κυμαίνεται από 2 έως 4 Kbps, ενώ στη δεύτερη από 0.4 έως 1.6 Kbps.

3.4. Διερεύνηση της τεχνικής της στατιστικής πολύπλεξης

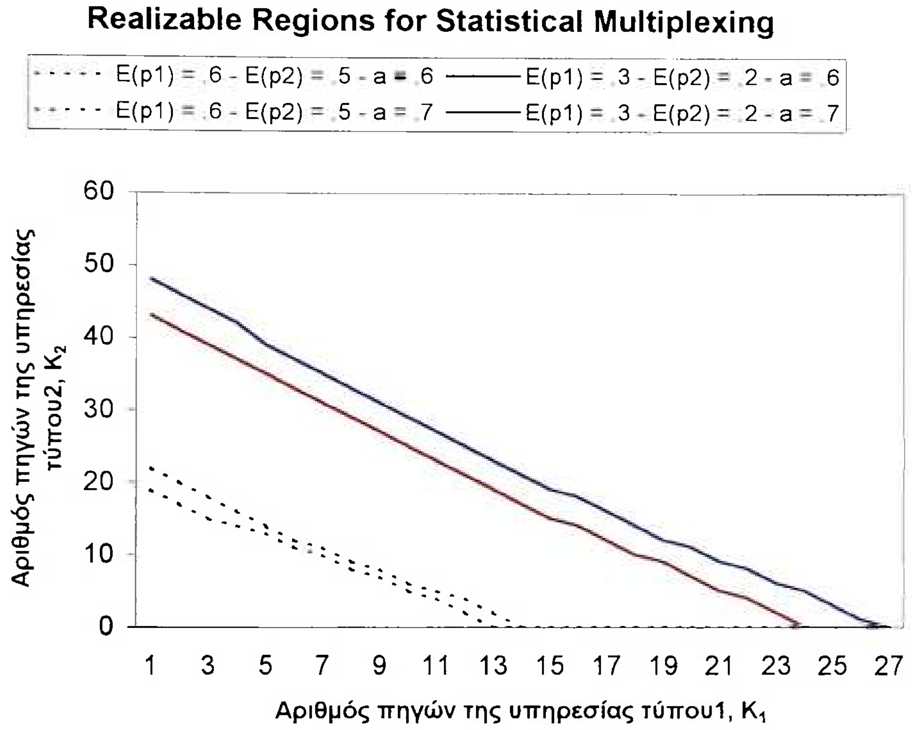
Τέλος, στη περίπτωση που ο πάροχος εφαρμόζει την τεχνική της στατιστικής πολύπλεξης με ένα περιθώριο λάθους, η περιοχή αποδοχής είναι η παρακάτω:



Εικόνα 17: Διάγραμμα της περιοχής αποδοχής στο statistical multiplexing

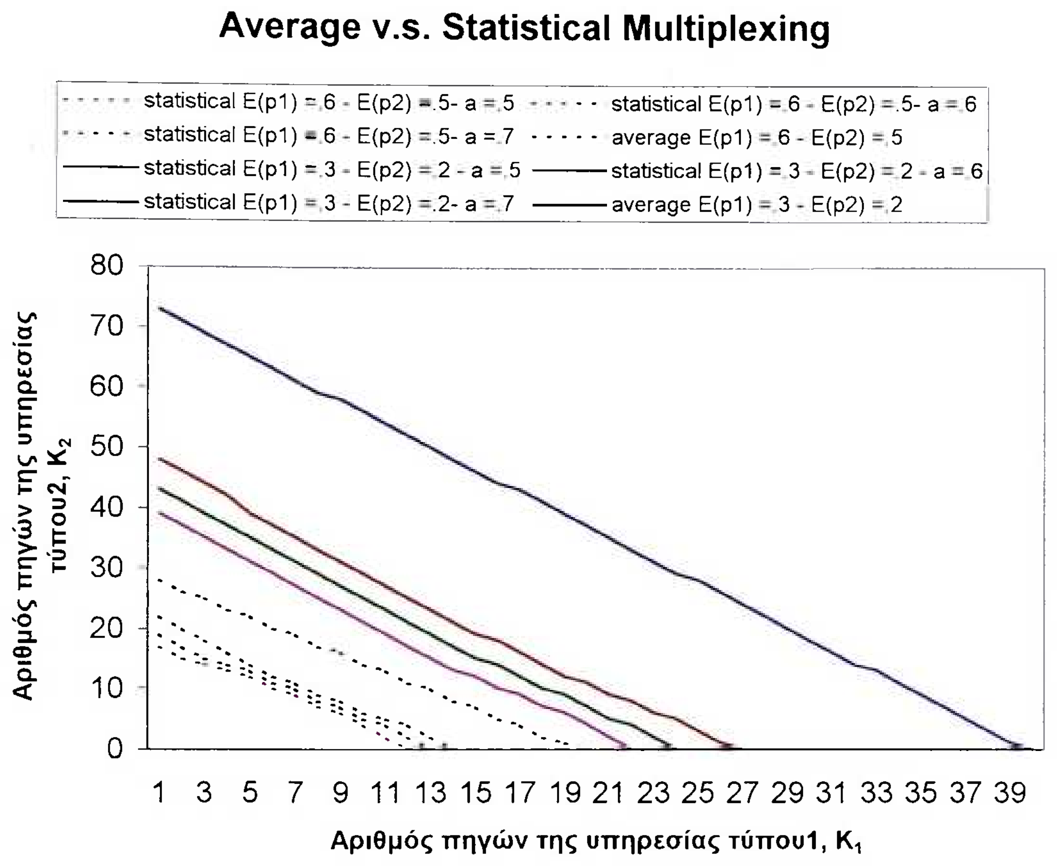
Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει την περιοχή αποδοχής των λύσεων στη περίπτωση που οι δύο προσφερόμενες υπηρεσίες δίνονται με πιθανότητα λάθους ίση με 0.5 με τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά όπως η προηγούμενη περίπτωση (average multiplexing). Σε αυτή τη λύση η συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα για best effort υπηρεσία κυμαίνεται μεταξύ 0.15 έως 5 Kbps στη πρώτη περίπτωση, και από 0.15 έως 2.7 Kbps στη δεύτερη.

Το επόμενο διάγραμμα απεικονίζει την περιοχή αποδοχής των λύσεων στη περίπτωση που η πιθανότητα λάθους είναι ίση με 0.6 και 0.7, ενώ τα στατιστικά χαρακτηριστικά παραμένουν όμοια με παραπάνω.



Εικόνα 18: Διάγραμμα της περιοχής αποδοχής στο statistical multiplexing με αυξανόμενη την πιθανότητα λάθους

Αυτό που μπορούμε να παρατηρήσουμε στο το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι παρόλο που αυξάνεται σημαντικά το περιθώριο του λάθους στην εγγύηση της υπηρεσίας εν τούτης δεν αυξάνεται σημαντικά η αποδεκτή περιοχή των λύσεων. Αυτό μπορεί να το εξηγήσει κανείς, στηριζόμενος στο ότι ο αριθμός των πηγών που χρησιμοποιείται ως δείγμα στη τεχνική large deviation είναι σχετικά μικρός με αποτέλεσμα οι προκύπτοντες συντελεστές p_1 και p_2 να μην είναι κοντά στους αντίστοιχους μέσους όρους, όπως αναμένεται από τη τεχνική σε περίπτωση μεγάλου πλήθους στο δείγμα. Στο επόμενο διάγραμμα συγκρίνονται οι περιοχές αποδεκτών λύσεων που προκύπτουν από πολύπλεξη μέσου ρυθμού μετάδοσης με εκείνες τις περιοχές που προκύπτουν από τη στατιστική πολύπλεξη.



Εικόνα 19: Διάγραμμα σύγκρισης των αποδεκτών περιοχών στις περιπτώσεις του average και του statistical multiplexing

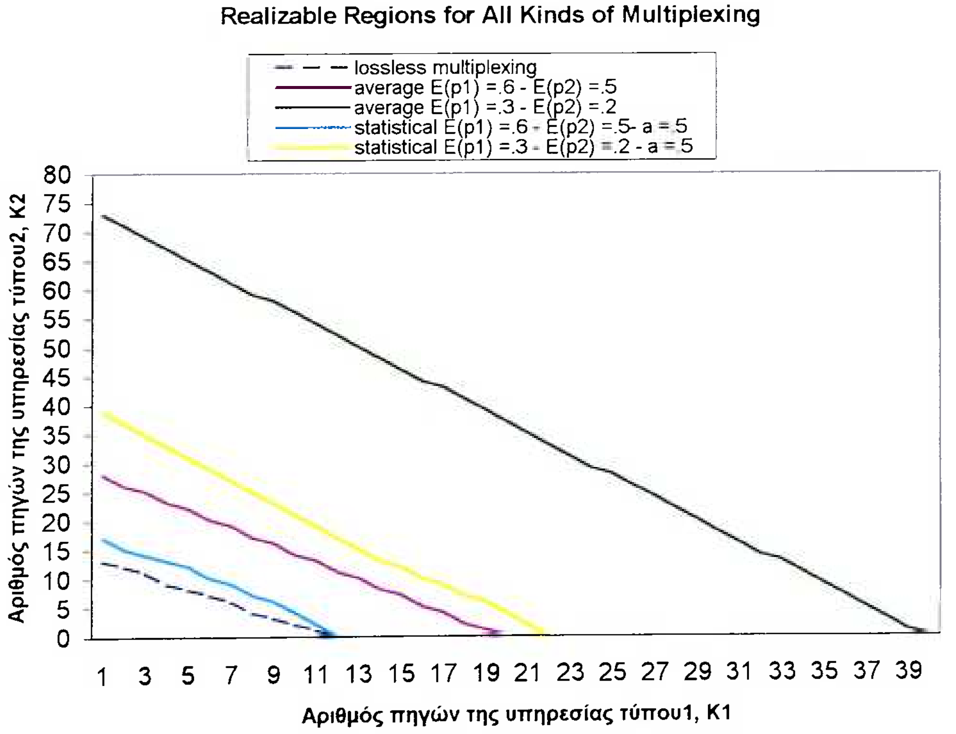
Φαίνεται καθαρά στο παραπάνω διάγραμμα ότι στη περίπτωση που έχουμε πολύπλεξη που αφορά τους μέσους ρυθμούς, αυτή δίνει και τα καλύτερα αποτελέσματα σε ότι αφορά την αποδεκτή περιοχή των πηγών, σε σχέση με τη στατιστική που δίνει λίγο χειρότερα, είναι όμως πιο εύκολη στην υλοποίησή της.

4. Συμπεράσματα

Παρόλο που οι προδιαγραφές του GPRS είναι πολύ σαφείς και ακριβείς στον ορισμό της ποιότητας υπηρεσίας που προσφέρει αυτό, εν τούτοις δεν κατέστη δυνατόν να βρεθούν πληροφορίες ή σχετικά κείμενα που να αναφέρουν τρόπους εξασφάλισης και υλοποίησης της ποιότητας υπηρεσίας.

4.1. Ανασκόπηση της εργασίας

Στόχος της παρούσης διπλωματικής εργασίας ήταν να δανειστεί μοντέλα εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας από άλλα δίκτυα (ATM) και να δει αν αυτά τα μοντέλα είναι εφαρμόσιμα στο GPRS δίκτυο. Το μοντέλο που επιλέχθηκε είναι αυτό του Generalized Processor Sharing, στο οποίο στηρίζονται οι σύγχρονοι IP δρομολογητές καθώς και οι ATM μεταγωγείς. Στη προσέγγιση που ακολουθήσαμε εξετάσαμε τρεις διαφορετικές εκδοχές εφαρμογής αυτού του μοντέλου, α) το ντετερμινιστικό χωρίς απώλειες στη πολύπλεξη, β) αυτό του εγγυημένου μέσου ρυθμού μετάδοσης και γ) αυτό της στατιστικής πολύπλεξης με πιθανότητα λάθους. Στη συνέχεια εκτελέστηκε ένα αριθμητικό πείραμα τα αποτελέσματα του οποίου συνοψίζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 20: Διάγραμμα περιοχής αποδεκτών λύσεων

Όπως παρατηρούμε η πολύπλεξη χωρίς απώλειες είναι μια πολύ συντηρητική προσέγγιση η οποία περιορίζει κατά πολύ την περιοχή αποδεκτών λύσεων, είναι όμως εύκολα υλοποιήσιμη καθώς το δίκτυο κάνει εύκολα Connection Admission Control (CAC) και εκχωρεί τους συντελεστές βάρους σε κάθε μια από τις δύο υπηρεσίες. Αυτή η λύση αφήνει επίσης και τη μεγαλύτερη συνολικά διαθέσιμη χωρητικότητα για best effort κίνηση.

Η λύση που προκύπτει από την πολύπλεξη που εξετάζει το μέσο εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης είναι η καλύτερη καθώς μπορεί να πολυπλέξει τους περισσότερους κινητούς σταθμούς από κάθε άλλη λύση. Είναι όμως και η πιο δύσκολη στην υλοποίηση της καθώς το δίκτυο θα πρέπει να γνωρίζει στατιστική και ιστορική πληροφορία για όλες τις συνδέσεις. Ως εκ τούτου η πρόσπαθεια για παροχή μέσου εγγυημένου ρυθμού για η διάρκεια ενός PDP context είναι αρκετά δύσκολη υπόθεση, ενώ πιο εύκολη φαίνεται να είναι η παροχή εγγυημένου μέσου ρυθμού, σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες, στις οποίες έχουν ενεργοποιηθεί πληθώρα ομοιειδών PDP contexts.

Η λύση τέλος που προκύπτει από τη στατιστική πολύπλεξη με ένα περιθώριο λάθους είναι αρκετά ενδιαφέρουσα καθώς είναι δίδει καλά αποτελέσματα και μπορεί να υλοποιηθεί πιο εύκολα από αυτή της πολύπλεξης μέσου ρυθμού. Η μόνη απαραίτητη προϋπόθεση είναι το δίκτυο να γνωρίζει τις μέσες τιμές των ενεργών πηγών, πληροφορία την οποία μπορεί να έχει από τα στοιχεία που μαζεύει στους κόμβους HLR και SGSN. Τοτε θα πρέπει να ενσωματωθεί το κατάλληλο λογισμικό που θα υπολογίζει τους συντελεστές βάρους που εκχωρούνται σε κάθε έναν κινητό σταθμό κάθε χρονική στιγμή ανάλογα με το πλήθος των πηγών που έχουν συνδεθεί στο GPRS δίκτυο.

4.2. Προοπτικές περαιτέρω έρευνας

Μια πρώτη προοπτική περαιτέρω έρευνας είναι η υλοποίηση του μοντέλου παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας με στατιστική πολύπλεξη με τη χρήση του GPS αλγόριθμου σε ένα πραγματικό GPRS περιβάλλον, ώστε να δειχθεί ότι η παραπάνω λύση είναι υλοποιήσιμη και να αξιολογηθούν σε πραγματικές συνθήκες τα πειραματικά δεδομένα.

Μια άλλη προοπτική συνέχισης της παραπάνω εργασίας είναι η χρησιμοποίηση των μοντέλων χρέωσης που έχουν αναπτυχθεί για άλλες εγγυημένες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν τη στατιστική πολύπλεξη (ATM – effective bandwidths) [A2],[A3],[A4],[A5],[A6] οι οποίες έχουν ωριμάσει αρκετά και έχουν αρχίσει να γίνονται αποδεκτές από τους μεγάλους παροχούς υπηρεσιών δικτύων. Η βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων που είναι αποτέλεσμα των παραπάνω τεχνικών, αποτελεί ένα σημαντικό κίνητρο για τους παρόχους της GPRS υπηρεσίας ώστε να εκμεταλλευτούν στο έπακρο τον σπάνιο πόρο του φάσματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. Κώδικας προγράμματος εύρεσης των συντελεστών στη στατιστική πολύπλεξη

```
program master1(result,input,output);

const
e = 0.00001;
c1 = 10;
c2 = 8;
c = 120;
d = 0.2;
ep1 = 0.3;
ep2 = 0.2;
x1 = 0.8;
x2 = 0.8;
N = 300;
M1 = 60;
M2 = 60;

var
k1, k2 : integer;
es1, es2, f2, f1: real;
ch : char;
found : boolean;
result : text;

function fx(xi:real;p:real;k:integer):real;
begin
  fx := (xi*((ln(xi/p))/(ln(10)))+(1-xi)*(ln((1-xi)/(1-p)) /
(ln(10)))-(ln(d)/-k));
end;

function f1x(xi:real;p:real):real;
begin
  f1x := ((ln(xi/p)/ln(10))-(ln((1-xi)/(1-p))/ln(10))+(1/(p*(1-p))));
end;

{Newton - Raphson method}
function newton(x:real;pp:real;kk:integer):real;
var
  i:integer;
  pros, res :real;
begin
i := 1;
pros := x;
while ((i<=N) and (found = false)) do
begin
  res := pros - (fx(pros,pp,kk)/f1x(pros,pp));
  if abs(res - pros) < e then found := true;
  i := i + 1;
  pros := res;
end;
newton := res;
end;
```

```
begin
writeln('********************************');
assign(result,'c:\temp\result.txt');
rewrite(result);
writeln(result,'k1  k2  f1  f2    es1  es2  comment  ');
for k1 := 4 to M1 do
  begin
  found := false;
  es1 := newton(x1,ep1,k1);
  for k2 := 4 to M2 do
    begin
     found := false;
     es2 := newton(x2,ep2,k2);
     f2 := c2/(c-c1*k1*es1-c2*k2*es2);
     f1 := c1*(1+f2*k2*es2)/(c-c1*k1*es1);
     if ((f1 > 0) and (f2 > 0)) then
       writeln(result,' ',k1:3,' ',k2:3,' ',f1:0:6,' ',f2:0:6,' ',
       es1:0:6,' ',es2:0:6,' fesible')
     else
       writeln(result,' ',k1:3,' ',k2:3,' ',f1:0:6,' ',f2:0:6,' ',
       es1:0:6,' ',es2:0:6,' no fesible');
    end;
  end;
end.
```

Βιβλιογραφία

Πρότυπα:

1. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); Mobile radio interface signaling layer 3; General aspects (GSM 04.07 ver.7.3.0 Release 1998 – ETSI)
2. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Mobile Station (MS) – Base Station System (BSS) interface; Radio Link Control / Medium Access Control (RLC / MAC) protocol (GSM 04.60 ver. 8.4.0 Release 1999 – ETSI)
3. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); Radio subsystem link control (GSM 05.08 ver. 8.4.0 Release 1999 – ETSI)
4. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Overall description of the GPRS radio interface; Stage 2 (GSM 03.64 ver. 6.0.1 Release 1997)
5. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service descriptionl Stage 1 (GSM 02.60 ver. 6.3.0 Release 1997)
6. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service descriptionl Stage 2 (GSM 03.60 ver. 7.4.0 Release 1998)
7. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); GPRS Charging (GSM 12.15 ver. 7.5.0 Release 1998)
8. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Base Station System (BSS) – Serving GPRS Support Node (SGSN) interface; Gb interface Layer 1 (GSM 08.14 ver 8.0.0 Release 1999)
9. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); Functions related to Mobile Station (MS) in idle mode and group receive mode (GSM 03.22 ver 8.3.0 Release 1999)
10. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); GPRS Tunnelling Protocol (GTP) across the Gn and Gp Interface (GSM 09.60 ver 7.4.0 Release 1998)
11. Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Base Station System (BSS) – Serving GPRS Support Node (SGSN) – BSS GPRS Protocol (BSSGP) (GSM 08.18 ver. 8.3.0 Release 1998)

Άρθρα:

1. Design of Generalized Processor Sharing Schedules Which Statistically Multiplex Hetegogeneous QoS Classes – A. Elwalid, D. Mitra – IEEE 1999
2. On the Performance of an Effective Bandwidths Formula - Costas Courcoubetis, George Fouskas, Richard Weber
3. Usage-based charging using effective bandwidths: studies and reality - V.A.Siris, D.J. Songhurst, G.D. Stamoulis, M. Stoer – Technical Report 243 – ICS Forth – January 1999
4. An Evaluation of Pricing Schemes that are based on Effective Usage – Costas Courcoubetis, V.A. Siris – IEEE ICC' 98
5. Application of the many sources asymptotic and effective bandwidths to traffic engineering – Costas Courcoubetis, V.A. Siris, G.D. Stamoulis – Telecommunication systems 12 (1999), pp.167-191
6. Many Sources Asymptotic and Effective Bandwidths: Investigation with MPEG Traffic – ICS Forth – May 1997
7. Effective Bandwidths for Stationary Sources – Costas Courcoubetis, Richard Weber – May 1994
8. Bandwidth allocation for multiple qualities of service using generalized processor sharing, G. de Veciana and G. Kesidis, IEEE Trans. Info. Theory 42, Jan 1996, pp. 268-272
9. Packet Mode in Wireless Networks: Overview of Transition to Third Generation – Behcet Sarikaya – IEEE Communications Magazine – September 2000
10. Wireless Internet Access Based on GPRS – Roger Kalden, Ingo Meirick, Michael Meyer – IEEE Personal Communications – April 2000
11. General Packet Radio Service – Hakan Granbohm, Joakim Wiklund – Ericsson Review No. 2 – 1999

Δικτυακοί Τόποι:

1. http://www.gsmworld.com/technology/yes2gprs.html
2. http://www.comsoc.org/ieee/comsoc
3. http://www.cs.hut.fi/~hhk/GPRS
4. http://www.mm-tech.com/lmds.html

5. http://webproforum.com
6. http://www.iec.org/pubs/llatsbi.html
7. http://www.3com.com/pubs/xDSL
8. http://uranus.ee.auth.gr/ADSL/start.html
9. http://www.adsl.com/adsl_tutorial.html

Βιβλία:

1. Communication Networks – A first course, Jean Walrand, McGraw-Hill, 1998
2. High-Performance Networking, L. Masters, M Starkenburg, Macmillan Computer Publishing, 1998
3. High-Performance Communication Networks, J. Warland, P. Varaiya, Morgan Kaufmann Publishing, 1996
4. An Engineering Approach to Computer Networking, S. Keshav, Addison-Wesley, MA, 1997
5. Performance Analysis and Pricing in Broadband Networks, V.A. Siris, Doctoral Dissertation, December 1997
6. Computer Networks, A. Tanenbaum, Prentice-Hall, 1996
7. Δίκτυα Υπολογιστών, Θ. Αποστολόπουλος, Ο.Π.Α. 1996
8. Εισαγωγή στις Πιθανότητες και τη Στατιστική Συμπερασματολογία, Ι.Πανάρετου, Ε. Ξεκαλάκη, Ο.Π.Α. 1995
9. Εισαγωγή στη Στατιστική Σκέψη, Ι.Πανάρετου, Ε. Ξεκαλάκη, Ο.Π.Α. 1995
10. Πιλοτικό έργο ADSL ΟΤΕ, Μελέτη Θεμάτων Χρέωσης, Σ. Σαρτζετάκης, Χ. Ρέτσας, Μάιος 2000