



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ  
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΚΙΝΗΤΩΝ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ  
ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ  
ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ  
ΣΕ WCDMA ΔΟΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ Ν. ΠΗΤΑ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
Φ.ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2003



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ  
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ  
ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ  
ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ  
ΣΕ WCDMA ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
του  
**ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ Ν. ΠΗΤΑ**

Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17<sup>η</sup> Ιουλίου 2003

Φίλιππος Κωνσταντίνου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Χρήστος Καψάλης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Νικόλαος Ουζούνου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2003

**ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ Ν. ΠΗΤΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΣ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ Ε.Μ.Π.

© Copyright 2003 – Ch.N.Pitas

All rights reserved

Στους γονείς μου,  
Νίκο και Ευαγγελία.



## **Ευχαριστίες**

Η ανακείρας διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Κινητών Τηλεπικοινωνιών Ε.Μ.Π. κατά το ακαδημαϊκό έτος 2002-2003. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Φίλιππο Κωνσταντίνου για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την παροχή του απαραίτητου εξοπλισμού του εργαστηρίου για την εκπόνησή της. Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται προς τον υπεύθυνό μου Υ.Δ. Μηχανικό Ευάγγελο Αγγέλου για την υποστήριξη, τις προτάσεις και την βοήθειά του τόσο κατά την διάρκεια της εκπόνησης όσο και κατά την συγγραφή της διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστίες επίσης ανήκουν στον Υ.Δ. Μηχανικό Νεκτάριο Κουτσοκέρα για τις εύστοχες παρατηρήσεις και την βοήθειά του. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου για την βοήθεια που προσέφεραν οποιεδήποτε την χρειάστηκα.



## Περίληψη

Σε αυτή την διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστεί η τεχνολογία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης και το σύστημα διαχείρισης φυσικών πόρων, με έμφαση στον χρονοπρογραμματιστή εκπομπής πακέτων, σε μελλοντικό δορυφορικό σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών. Δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην έννοια της ποιότητας υπηρεσίας και πώς μπορεί αυτή να υποστηριχτεί σε ένα πολυμεσικό ευρυζωνικό GEO-δορυφορικό δίκτυο. Περιγράφεται το δορυφορικό κανάλι και παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του S-UMTS συστήματος βασισμένου στις τεχνολογίες WCDMA και IP. Για την εξέταση της επίδοσης ενός τέτοιου συστήματος υλοποιήθηκε προσομοιωτής και εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα.

### Λέξεις-Κλειδιά :

*GEO-Δορυφορικές Επικοινωνίες, WCDMA, S-UMTS, IP, Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση, Ποιότητα Υπηρεσίας, Διαχείριση Φυσικών Πόρων, Αλγόριθμος Ελέγχου Αποδοχής Κλήσης, Αλγόριθμος Ελέγχου Φορτίου, Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Εκπομπής Πακέτων, Αλγόριθμοι Διαχείρισης Ενταμιευτών.*





## Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Οι τεχνολογίες της επιστήμης του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών που έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην ταχέως εξελισσόμενη «Κοινωνία της Πληροφορίας» είναι οι Κινητές Επικοινωνίες και το Διαδίκτυο. Τα κύρια θέματα που απασχολούν τις δυο παραπάνω τεχνολογίες είναι εφενός η παγκόσμια κάλυψη και εφετέρου η ποιότητα υπηρεσίας. Μελλοντικές προτάσεις σε αυτά τα κρίσιμα θέματα αποτελούν η εισαγωγή των δορυφορικών κινητών επικοινωνιών με κατάλληλο σύστημα διαχείρισης πόρων που να εγγυάται την ποιότητα στις παρεχόμενες προχωρημένες υπηρεσίες σε ένα σύστημα μεταγωγής πακέτων.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση της τεχνολογίας της τηλεπικοινωνιακής κίνησης και του συστήματος διαχείρισης πόρων, με έμφαση στον χρονοπρογραμματιστή εκπομπής πακέτων, με σκοπό την υποστήριξη και διαχείριση ποιότητας υπηρεσίας σε πολυμεσικό WCDMA GEO-δορυφορικό σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών. Για τον σκοπό αυτό υλοποιήθηκε προσομοιωτής και εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα για την επίδοση του συστήματος.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται περιληπτικά τα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας:

Στο Κεφάλαιο 1, γίνεται μια επισκόπηση τα δορυφορικών συστημάτων κινητών τηλεπικοινωνιών, παρουσιάζονται οι προοπτικές του 3G συστήματος S-UMTS και οι δυνατότητες διασύνδεσης και κοινής λειτουργίας με το T-UMTS.

Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα της τεχνολογίας WCDMA η οποία χρησιμοποιείται για τις νέες δορυφορικές κινητές τηλεπικοινωνίες.

Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται η διάδοση των δορυφορικών σημάτων και το μοντέλο καναλιού. Γίνεται εκτενή αναφορά στον χαρακτηρισμό του καναλιού και εξηγείται το μοντέλο «καλή/κακή» κατάστασης. Επίσης, παρουσιάζονται οι παράμετροι και η επίδοση του συστήματος.

Στο Κεφάλαιο 4, γίνεται μια εκτενή αναφορά στο δίκτυο 3<sup>ης</sup> γενιάς, το UMTS. Παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος, της ποιότητας υπηρεσίας και των πρωτοκόλλων. Ιδιαίτερα, αναφέρονται τα λογικά κανάλια, τα κανάλια μεταφοράς και τα

φυσικά κανάλια που έχουν σχέση με την μεταγωγή πακέτων καθώς και με την λειτουργία κάτω ζεύξης.

Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα σενάρια αρχιτεκτονικής του S-UMTS. Ειδική αναφορά γίνεται στον ρόλο της ενδιάμεσης υπομονάδας, στις υπηρεσίες ευρείας εκπομπής και πολυεκπομπής. Παρουσιάζεται η σχέση της τεχνολογίας IP και του συστήματος UMTS, οι μελλοντικές τάσεις και το θέμα της κινητικότητας χρηστών.

Στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζεται το σύστημα Διαχείρισης Φυσικών Πόρων (RRM) του S-UMTS συστήματος. Παρουσιάζονται οι κύριες συνιστώσες με εκτενή παρουσίαση στην Κατανομή και Αντιστοίχιση Φορέων, τον Έλεγχο Αποδοχής Κλήσης και τον Έλεγχο Φορτίου. Επίσης, αναφέρονται οι επιμέρους αλληλεπιδράσεις των παραπάνω συνιστωσών.

Στο Κεφάλαιο 7, γίνεται αναφορά στην βασική συνιστώσα του συστήματος διαχείρισης πόρων, το Προγραμματιστή Εκπομπής Πακέτων. Παρουσιάζονται αλγόριθμοι τόσο από την ενσύρματη περιοχή όσο και από την ανσύρματη.

Στο Κεφάλαιο 8, παρουσιάζεται η περιοχή των αλγορίθμων προγραμματισμού εκπομπής πακέτων για την άνω ζεύξη. Αν και το S-UMTS δεν προβλέπει την περίπτωση αυτή, εντούτοις το ενδιαφέρον που έχει η μελέτη αυτής της περίπτωσης είναι αξιόλογο.

Στο Κεφάλαιο 9, αναφέρονται οι διάφοροι αλγόριθμοι διαχείρισης ενταμιευτών. Ένα σύστημα προγραμματισμού εκπομπής πακέτων αποτελεί συνάμα και ένα σύστημα αναμονής για το οποίο θα πρέπει να διαθέτει ένα κατάλληλο σύστημα διαχείρισης των ενταμιευτών ώστε να διαχειρίζεται κατάλληλα η ποιότητα υπηρεσίας.

Στο Κεφάλαιο 10, παρουσιάζεται εκτενώς η τεχνολογία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης στο μελλοντικό πολυμεσικό δορυφορικό δίκτυο. Το πρότυπο ON-OFF κίνησης είναι κατάλληλο για την περιγραφή κίνησης πακέτων δεδομένων. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά κίνησης, οι κλάσεις, τα μοντέλα και οι εφαρμογές των IP υπηρεσίες. Ιδιαίτερα, η υπηρεσία ροής βίντεο/ήχου και η αλληλοδραστική WWW αποτελούν το επίκεντρο του κεφαλαίου με τις ιδιαιτερότητές τους. Επίσης, παρουσιάζεται η διαχείριση της ποιότητας υπηρεσίας στο UMTS σύστημα και η σημασία αυτής. Τέλος, παρουσιάζονται οι μελλοντικές υπηρεσίες του S-UMTS.

Στο Κεφάλαιο 11, παρουσιάζεται ο Προσομοιωτής S-UMTS ο οποίος υλοποιήθηκε εξολοκλήρου σε περιβάλλον Matlab. Κύρια μέρη του προσομοιωτή είναι η παραγωγή της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, η εξυπηρέτηση αυτής στον Προγραμματιστή Εκπομπής Πακέτων και η διασύνδεση με τον Έλεγχο Αποδοχής Κλήσης, τον Έλεγχο Φορτίου και την Κατανομή και Αντιστοίχιση Φορέων. Παρέχει δυνατότητες καταγραφής δεδομένων, στατιστικής επεξεργασίας και γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων.

Στο Κεφάλαιο 12, παρουσιάζονται χρήσιμα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ W-CDMA ΓΙΑ UMTS .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΝΑΛΙΟΥ .....</b>	<b>7</b>
3.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ .....	7
<b>4</b>	<b>ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS .....</b>	<b>13</b>
4.1	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ UMTS.....	13
4.1.1	Δίκτυο Κορμού (CN).....	14
4.1.1.1	Οντότητες περιοχής PS .....	14
4.1.2	Ραδιοδίκτυο Πρόσβασης (Radio Access Network - RAN).....	15
4.1.2.1	Αρχιτεκτονική UTRAN .....	15
4.1.3	UMTS με μεταγωγή πακέτων .....	16
4.2	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ UMTS.....	17
4.2.1	Διαχείριση Κινητικότητας (Mobility Management -MM).....	17
4.2.2	Αρχιτεκτονική QoS στο UMTS.....	18
4.2.2.1	Λειτουργίες Επιπέδου Ελέγχου .....	19
4.2.2.2	Λειτουργίες Επιπέδου Δεδομένων.....	20
4.3	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ .....	21
4.3.1.1	Επίπεδο Χρήστη (User Plane) .....	22
4.3.1.2	Επίπεδο Ελέγχου (Control - Plane).....	23
4.4	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ .....	25
4.5	ΣΤΡΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ .....	26
4.6	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	28
4.7	ΛΟΓΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ – LOGICAL CHANNELS .....	28
4.8	ΚΑΝΑΛΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ – TRANSPORT CHANNELS .....	29
4.9	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ .....	29
4.9.1	Αποκλειστικό Κανάλι Κάτω Ζεύξης .....	33
4.9.2	Μοιραζόμενο Κανάλι Κάτω Ζεύξης.....	34
4.9.3	Forward Access Channel (FACH) για Μετάδοση Δεδομένων Χρήστη .....	35
4.10	ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ – PHYSICAL CHANNELS.....	35
4.10.1	Κύριο Κοινό Φυσικό Κανάλι Ελέγχου.....	35
4.10.2	Δευτερεύον Κοινό Φυσικό Κανάλι Ελέγχου.....	36
<b>5</b>	<b>ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ S-UMTS.....</b>	<b>39</b>
5.1	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ S-UMTS.....	39
5.2	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	40
5.2.1	Προσανατολισμένη Κάλυψη.....	40

5.2.1.1	Άμεση πρόσβαση στη δορυφορική σύνθεση.....	41
5.2.1.2	Έμμεση πρόσβαση στη δορυφορική σύνθεση.....	43
5.2.2	<i>Μαζική Σύνθεση</i> .....	44
5.2.3	<i>Μεμονωμένη σύνθεση</i> .....	44
5.2.4	<i>Προσανατολισμένη Broadcast Μετάδοση</i> .....	45
5.3	ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΜΟΝΑΔΑΣ ΕΛΛΑΦΟΥΣ .....	47
5.3.1.1	Αστικό και προαστιακό περιβάλλον.....	47
5.3.1.2	Περιβάλλον σε αυτοκίνητο ή αυτοκινητοδρόμων.....	48
5.3.1.3	Περίπτωση πλοίου, αεροπλάνου και UMTS νησίδων.....	49
5.3.2	<i>Λειτουργία Ενδιάμεση υπομονάδας</i> .....	50
5.3.2.1	Ενδιάμεση υπομονάδα ως απλός επανλήπτης.....	50
5.4	MULTICASTING/BROADCASTING ΜΕΤΑΔΟΣΗ .....	52
5.5	IP ΚΑΙ UMTS: ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ.....	55
5.6	ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (MOBILITY).....	56
<b>6</b>	<b>ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΡΩΝ ΣΤΟ S-UMTS .....</b>	<b>59</b>
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	59
6.2	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΦΟΡΕΩΝ.....	61
6.2.1.1	Γενική περιγραφή.....	61
6.2.1.2	Στρατηγική RBAM .....	61
6.3	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΛΗΣΗΣ (CALL ADMISSION CONTROL).....	67
6.3.1	<i>Γενική Περιγραφή</i> .....	67
6.3.2	<i>Παρουσίαση Αλγορίθμου</i> .....	67
6.3.3	<i>Αλληλεπιδράσεις του AC με τις άλλες λειτουργίες RRM</i> .....	68
6.3.4	<i>Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων</i> .....	68
6.3.5	<i>Στρατηγική Ελέγχου Αποδοχής</i> .....	69
6.3.6	<i>Αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής βασισμένος στην Ρυθμοαπόδοση</i> .....	73
6.4	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (LOAD CONTROL) .....	75
6.4.1	<i>Γενική περιγραφή</i> .....	75
6.4.2	<i>Αλληλεπιδράσεις LC και άλλες λειτουργιών RRM</i> .....	75
6.4.3	<i>Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων</i> .....	76
6.4.4	<i>Στρατηγική Αλγορίθμου Ελέγχου Φορτίου</i> .....	77
6.4.5	<i>Αλγόριθμος Ελέγχου Φορτίου βασισμένος στη Ρυθμοαπόδοση</i> .....	78
6.4.6	<i>Αλγόριθμος Ελέγχου Αποδοχής και Προληπτικού Ελέγχου Φορτίου</i> .....	79
<b>7</b>	<b>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ .....</b>	<b>81</b>
7.1	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ ΣΕ ΕΝΣΥΡΜΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	81
7.1.1	<i>Πρώτο Μέσα Πρώτο Έξω / Πρώτο Εισερχόμενο Πρώτο Εξυπηρετημένο</i> .....	81
7.1.2	<i>Αναμονή με Αυστηρή Προτεραιότητα ή Αναμονή με Προτεραιότητες</i> .....	82
7.1.3	<i>Generalized Processor Sharing (GPS)</i> .....	83
7.1.4	<i>Αλγόριθμος Κυκλικής Επαναφοράς με Βάρη</i> .....	84
7.1.5	<i>Στοχαστική Δίκαιη Αναμονή</i> .....	84

7.1.6	Ελλειμματικός Αλγόριθμος Κυκλικής Επαναφοράς.....	85
7.1.7	Δίκαιη Αναμονή με Βάρη.....	85
7.1.8	Δίκαιη Αναμονή με Χρόνους Έναρξης.....	86
7.1.9	Χερίστη Περίπτωση Δίκαιου WFQ.....	87
7.1.10	Worst-Case Fair Weighted Fair Queuing + (WF <sup>2</sup> Q+).....	88
7.2	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	89
7.2.1	Εξιδανικευμένος Ασύρματη Δίκαιη Αναμονή.....	89
7.2.2	Ασύρματος Χρονοπρογραμματισμός Εκπομπής Πακέτων.....	90
7.2.3	Δίκαιη Αναμονή Πακέτων Ανεξάρτητη από Κατάσταση Καναλιού.....	91
7.2.4	Ασύρματη Δίκαιη Εξυπηρέτηση.....	92
7.2.5	Ασύρματη Χερίστη Περίπτωση Δίκαιου WFQ.....	93
7.2.6	Server Based Fairness Approach.....	95
7.2.7	Channel State Independent Wireless Fair Queueing (CS-WFQ).....	95
7.2.8	Wireless Multiclass Priority Fair Queueing (MPFQ).....	96
<b>8</b>	<b>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ ΑΝΩ ΖΕΥΞΗΣ.....</b>	<b>99</b>
8.1	ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ.....	99
8.1.1	Αλγόριθμος.....	102
8.1.2	Παράμετροι Αλγορίθμου.....	102
8.1.3	Μέθοδος με προτεραιότητες.....	103
8.1.4	Πλεονεκτήματα.....	103
8.1.5	Μειονεκτήματα.....	103
8.2	ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ.....	103
8.2.1	Αλγόριθμος.....	104
8.2.2	Παράμετροι Αλγορίθμου.....	106
8.2.3	Μέθοδος με Προτεραιότητες.....	106
8.2.4	Πλεονεκτήματα.....	106
8.2.5	Μειονεκτήματα.....	107
8.3	ΤΥΧΑΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ.....	107
8.3.1	Αλγόριθμος.....	109
8.3.2	Παράμετροι Αλγορίθμου.....	109
8.3.3	Μέθοδος με Προτεραιότητες.....	110
8.3.4	Πλεονεκτήματα.....	111
8.3.5	Μειονεκτήματα.....	111
<b>9</b>	<b>ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΤΑΜΙΕΥΤΩΝ.....</b>	<b>113</b>
9.1	ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΤΑΜΙΕΥΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ.....	113
9.1.1	Αλγόριθμος Τυχαίας Έγκαιρης Ανίχνευσης.....	114
9.2	ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΤΑΜΙΕΥΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ.....	115
9.2.1	Στρατηγικές non-Push-Out.....	116
9.2.2	Στρατηγικές Push-Out.....	116



<b>10</b>	<b>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟ S-UMTS.....</b>	<b>119</b>
10.1	ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ON-OFF.....	119
10.2	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΦΕΡΟΝΤΟΣ.....	125
10.2.1	Κατηγορία Σταθερού Ρυθμού Μετάδοσης (Constant Bit Rate – CBR).....	125
10.2.2	Κατηγορία Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης (Variable Bit Rate – VBR).....	125
10.2.3	Κατηγορία Διαθέσιμου Ρυθμού Μετάδοσης (Available Bit Rate – ABR).....	125
10.2.4	Κατηγορία Ακαθόριστου Ρυθμού Μετάδοσης (Uncertain Bit Rate – UBR).....	126
10.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΠΗΓΩΝ.....	126
10.3.1	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (Peak Bit Rate).....	126
10.3.2	Μέσος ρυθμός μετάδοσης (Average Bit Rate).....	126
10.3.3	Ανεκτός ρυθμός μετάδοσης (Sustainable Bit Rate).....	126
10.3.4	Εκρηκτικότητα (Burstiness).....	126
10.3.5	Μέγιστο μήκος έκρηξης (Maximum Burst Size).....	126
10.3.6	Διακύμανση της καθυστέρησης πακέτου (Packet Delay Variation).....	127
10.4	ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟ S-UMTS.....	128
10.4.1	Κίνηση Επιπέδου Χρήστη – User Plane Traffic.....	128
10.4.2	Χαρακτηριστικά Υπηρεσιών Φέροντος UMTS (UMTS Bearer Service).....	129
10.5	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΙΝΗΣΗΣ UMTS.....	132
10.5.1	Ορολογία Μοντελοποίησης Κίνησης.....	132
10.6	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ IP.....	134
10.6.1	Εφαρμογές κλάσης «Conversational».....	134
10.6.2	Εφαρμογές κλάσης «Streaming».....	135
10.6.3	Εφαρμογές κλάσης «Interactive».....	136
10.6.4	Εφαρμογές κλάσης «Background».....	137
10.7	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	138
10.7.1	Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών.....	138
10.7.2	Μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών.....	140
10.8	ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΟ S-UMTS.....	143
10.8.1	Υπηρεσία Φωνής – Τηλεφωνία.....	143
10.8.2	Υπηρεσία Συνεχούς Ροής Κινούμενης Εικόνας (Video Streaming).....	144
10.8.2.1	Ανάλυση Σχημάτων Κωδικοποίησης.....	146
10.8.2.2	Προτεινόμενο Μοντέλο.....	148
10.8.2.3	Μοντελοποίηση Υπηρεσίας Βίντεο.....	157
10.8.3	Υπηρεσία WWW.....	159
10.8.4	Υπηρεσία Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου ( e-mail ).....	163
10.8.4.1	Υπηρεσία Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου χωρίς Επισυνάψεις Αρχείων.....	163
10.8.4.2	Υπηρεσία Υβριδικού Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου.....	163
10.9	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	167
10.9.1	Θεμελιώδες Μοντέλο Ποιότητας Υπηρεσίας.....	168
10.9.2	Διαχείριση Ποιότητας Υπηρεσίας.....	169

10.10	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ S-UMTS.....	173
<b>11</b>	<b>S-UMTS SIMULATOR .....</b>	<b>179</b>
11.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	179
11.2	ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ S-UMTS (S-UMTS CONFIGURATION).....	179
11.3	ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	180
11.3.1	Υπηρεσία WWW.....	183
11.3.2	Ροή Βίντεο (Video Streaming).....	186
11.3.3	Ροή Ήχου – Μουσικής (Audio Streaming).....	188
11.4	ΤΜΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΔΟΧΗΣ (AC) ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (LC).....	190
11.5	ΤΜΗΜΑ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ.....	190
11.6	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ.....	193
11.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	199
11.7.1	Σενάριο A.....	199
11.7.2	Σενάριο B.....	212
11.7.3	Σενάριο C.....	215
<b>12</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>217</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</b>	<b>219</b>
	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	219
	ΕΠΙΔΟΣΗ FACH ΣΕ AWGN ΚΑΝΑΛΙ.....	222
	ΕΠΙΔΟΣΗ FACH ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ SAT-IMR ΚΑΝΑΛΙ.....	225
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>228</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1: Σενάριο Δορυφορικού Συστήματος Κινητών Τηλεπικοινωνιών 3 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	2
Εικόνα 1-2: Πλήρως IP το σύστημα (S/T)UMTS .....	2
Εικόνα 2-1: Τεχνολογία WCDMA .....	5
Εικόνα 3-1: Μοντέλο "καλής/κακής" κατάστασης καναλιού .....	8
Εικόνα 3-2: Μοντέλο Καναλιού "Καλή / Κακή Κατάσταση" .....	10
Εικόνα 4-1: IMT-2000 αρχιτεκτονική .....	13
Εικόνα 4-2: 3GPP αρχιτεκτονική UMTS με IP .....	14
Εικόνα 4-3: Αρχιτεκτονική UTRAN.....	15
Εικόνα 4-4: Αρχιτεκτονική UTRAN.....	19
Εικόνα 4-5: Αρχιτεκτονική Διαχείρισης QoS στο επίπεδο ελέγχου .....	19
Εικόνα 4-6: Αρχιτεκτονική διαχείρισης QoS στο επίπεδο δεδομένων (χρήστη) .....	20
Εικόνα 4-7: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου επιπέδου χρήστη για το επίγειο μέρος (T-UMTS).....	23
Εικόνα 4-8: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου επιπέδου χρήστη για το δορυφορικό μέρος (S-UMTS) .....	23
Εικόνα 4-9: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου επιπέδου ελέγχου για το επίγειο μέρος (T-UMTS) .....	24
Εικόνα 4-10: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου επιπέδου ελέγχου για το δορυφορικό μέρος (S-UMTS) .....	24
Εικόνα 4-11: Πρωτόκολλο MAC .....	26
Εικόνα 4-12: Λειτουργίες RLC για την κάτω ζεύξη .....	27
Εικόνα 4-13: Λειτουργίες RLC για την κάτω ζεύξη .....	27
Εικόνα 4-14: Αντιστοίχιση των LoCHs σε TrCHs και των TrCHs σε PhCHs. ....	29
Εικόνα 4-15: Μορφοποίηση των καναλιών μεταφοράς .....	31
Εικόνα 4-16: Εξαγωγή TFCS από το καρτεσιανό γινόμενο των TFSs των TrCHs .....	32
Εικόνα 4-17: Πολυπλεξία των καναλιών μεταφοράς σε φυσικά κανάλια. ....	33
Εικόνα 4-18: Δομή Πλαισίου P-CCPCH .....	36
Εικόνα 4-19: Δομή Πλαισίου P-CCPCH .....	36
Εικόνα 5-1: Αρχιτεκτονική αναφοράς GEO ή/και μη-GEO για το S-UMTS (transparent payload).....	42
Εικόνα 5-2: Αρχιτεκτονική αναφοράς GEO ή/και μη- GEO για το S-UMTS (regenerative payload) .....	42
Εικόνα 5-3: Έμμεση πρόσβαση στο δορυφόρο – μαζική σύνθεση .....	44
Εικόνα 5-4: Έμμεση πρόσβαση στο δορυφόρο - μεμονωμένη σύνθεση .....	45
Εικόνα 5-5: Έμμεση λήψη από το δορυφόρο .....	46
Εικόνα 5-6: Άμεση λήψη από το δορυφόρο.....	46
Εικόνα 5-7: Ενδιάμεση υπομονάδα εδάφους στο αστικό περιβάλλον .....	47
Εικόνα 5-8: Περιβάλλον σε αυτοκίνητο ή αυτοκινητοδρόμων .....	48
Εικόνα 5-9: Μακρινό περιβάλλον (πλοίο, αεροπλάνο και UMTS νησίδων) .....	49
Εικόνα 5-10: Τύπος I: Επαναλήπτης δύο τρόπων.....	50
Εικόνα 5-11: Τύπος II: Ένας επαναλήπτης τρόπων.....	50
Εικόνα 5-12 Ίδιο σήμα μέσω των διαφορετικών ενδιάμεσων υπομονάδων .....	51
Εικόνα 5-13: Παράδειγμα του broadcasting δικτύου .....	53
Εικόνα 5-14: Οικείο δίκτυο και τα ξένα δίκτυα .....	56
Εικόνα 5-15:IP σε ένα εξελιγμένο δίκτυο UMTS.....	57

Εικόνα 6-1: Παρουσίαση των οντοτήτων AC,LC και PS - Καταστάσεις του συστήματος .....	59
Εικόνα 6-2: Πρότυπο των οντοτήτων RRM στο S-UMTS .....	60
Εικόνα 6-3: Πολυπλεξία FACHs και αντιστοίχιση σε S-CCPCH.....	65
Εικόνα 6-4: Αλληλεπίδραση μεταξύ του AC και των άλλων λειτουργιών RRM.....	68
Εικόνα 6-5: Η μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων (FSM) του λειτουργικού διαγράμματος AC.....	68
Εικόνα 6-6: Αλληλεπίδραση μεταξύ LC και άλλων λειτουργιών RRM.....	76
Εικόνα 6-7: Μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων (FSM) του λειτουργικού διαγράμματος LC .....	77
Εικόνα 8-1: Διάγραμμα Καταστάσεων για συστήματος UMTS με τον Περιοριστικό Αλγόριθμο. ....	101
Εικόνα 8-2: Διάγραμμα καταστάσεων συστήματος UMTS με τον προειδοποιητικό αλγόριθμο.....	105
Εικόνα 8-3: Διάγραμμα Καταστάσεων συστήματος UMTS με τον Τυχαίο Αλγόριθμο.....	108
Εικόνα 9-1: Αλγόριθμος RED .....	114
Εικόνα 9-2: Αλγόριθμος RIO .....	115
Εικόνα 9-3: Διάγραμμα Ροής στρατηγικής CP .....	116
Εικόνα 9-4: Διάγραμμα Ροής στρατηγικής PO .....	117
Εικόνα 9-5: Διάγραμμα Ροής στρατηγικής POT.....	118
Εικόνα 10-1: ON-OFF Μοντέλο Κίνησης .....	119
Εικόνα 10-2: Λεπτομέρεια ON-OFF Μοντέλου.....	120
Εικόνα 10-3: Αλυσίδα Classifier-Queues-Packet Scheduler .....	120
Εικόνα 10-4: Έλεγχος Αποδοχής και ανάθεση εύρους ζώνης.....	121
Εικόνα 10-5: Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών .....	140
Εικόνα 10-6: Αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών.....	141
Εικόνα 10-7 : ON-OFF Μοντέλο Φωνής .....	143
Εικόνα 10-8: Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας .....	144
Εικόνα 10-9: Εναλλαγή πλαισίων σε ροή βίντεο .....	155
Εικόνα 10-10: Η αλυσίδα Markov περιγράφει τις μεταβάσεις μεταξύ των μεταδόσεων P- και PB-πλαισίων .....	156
Εικόνα 10-11: Ρυθμός μετάδοσης ροής βίντεο .....	157
Εικόνα 10-12: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.....	158
Εικόνα 10-13: Υπηρεσία WWW.....	159
Εικόνα 10-14: Υπηρεσία Υβριδικού Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου.....	165
Εικόνα 10-15 : Θεμελιώδες μοντέλο QoS αρχιτεκτονικής.....	168
Εικόνα 10-16: Ποιότητα Υπηρεσίας έναντι Επίδοσης Δικτύου.....	169
Εικόνα 11-1: Αφίξεις Κλήσεων στον Simulator .....	183
Εικόνα 11-2: Λειτουργικό Διάγραμμα Προσομοιωτή .....	192

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1: Κύριες Παράμετροι του WCDMA.....	5
Πίνακας 3-1: Τυπικές τιμές παραμέτρων για το μοντέλο καναλιού.....	8
Πίνακας 6-1: Μεταβάσεις Καταστάσεων AC FSM .....	69

Πίνακας 6-2: Αλληλεπίδραση LC με PS και AC .....	76
Πίνακας 6-3: LC FSM μεταβάσεις καταστάσεων .....	77
Πίνακας 10-1: Κλάσεις κίνησης UMTS .....	128
Πίνακας 10-2: Χαρακτηριστικά UMTS φέροντος για κάθε κλάση κίνησης .....	129
Πίνακας 10-3: Τυπικοί χρόνοι εγκατάστασης υπηρεσιών UMTS.....	134
Πίνακας 10-4: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών RT-Streaming.....	135
Πίνακας 10-5: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών NRT-Streaming .....	136
Πίνακας 10-6: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών κλάσης "Interactive" και "Background" .....	137
Πίνακας 10-7: Κωδικοποίηση ταινίας «Jurasic Park» χρήσει κωδικοποιητή MPEG.....	150
Πίνακας 10-8: Κωδικοποίηση ταινίας «Jurasic Park» χρήσει κωδικοποιητή H.263 .....	152
Πίνακας 10-9: Παράμετροι ροής βίντεο .....	155
Πίνακας 10-10: Χαρακτηριστικά κίνησης WWW .....	163
Πίνακας 11-1: Κατάλογος Προσφερόμενων Υπηρεσιών.....	180
Πίνακας 11-2: Χαρακτηριστικά κίνησης πηγών .....	181
Πίνακας 11-3: SessionTraffic .....	193
Πίνακας 11-4: IPTraffic.....	194
Πίνακας 11-5: SessionHistoryTable.....	195
Πίνακας 11-6: BurstyTable. ....	196
Πίνακας 11-7 : Πίνακας Monitor .....	198

## Ακρωνύμια

<b>2G / 3G</b>	2nd / 3rd Generation
<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project
<b>AAL5</b>	ATM Adaptation Layer 5
<b>AC</b>	Admission Control
<b>ACK</b>	ACKnowledged
<b>AM</b>	Acknowledged Mode
<b>APN</b>	Access Point Name
<b>ARQ</b>	Automatic Repeat reQuest
<b>ASC</b>	Access Service Class
<b>ASMS</b>	Advanced Satellite Mobile Systems
<b>ASYM</b>	ASYMmetrical
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode
<b>AWGN</b>	Additive White Gaussian Noise
<b>B/M</b>	Broadcast/Multicast
<b>BCCH</b>	Broadcast Control Channel (logical control channel)
<b>BCH</b>	Broadcast CHannel (transport channel)
<b>BE</b>	Best Effort
<b>BER</b>	Bit Error Ratio
<b>BLER</b>	Block Error Ratio
<b>BMC</b>	Broadcast/Multicast Control
<b>BM-IWF</b>	Broadcast/Multicast Inter Working Function
<b>BM-SC</b>	Broadcast Multicast Service Center in MBMS
<b>BO</b>	Buffer Occupancy
<b>BS</b>	Base Station
<b>CAC</b>	Call Admission Control
<b>CB</b>	Cell Broadcast
<b>CBC</b>	Cell Broadcast Centre
<b>CBE</b>	Cell Broadcast Entity
<b>CBMC</b>	Control BMC
<b>CBQ</b>	Class Based Queuing

<b>CBR</b>	Constant Bit Rate
<b>CBS</b>	Cell Broadcast Service
<b>CCCH</b>	Common Control Channel
<b>CCTrCH</b>	Coded Composite Transport CHannel
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>CIFQ</b>	Channel-Condition Packet Fair Queuing
<b>CN</b>	Core Network
<b>CONT</b>	CONTent Delivery
<b>CPCH</b>	Common Packet Channel
<b>CPICH</b>	Common Pilot Channel
<b>CRC</b>	Cyclic Redundancy Check
<b>CRLC</b>	Control RLC
<b>CRNC</b>	Controlling RNC
<b>CRNTI</b>	Control RNTI
<b>CS</b>	Circuit Switched
<b>CS-WFQ</b>	Channel State Independent Wireless Fair Queuing
<b>CTCH</b>	Common Traffic Channel
<b>CTCH-BS</b>	Common Traffic Channel Block Set
<b>DCCH</b>	Dedicated Control Channel (logical channel)
<b>DCH</b>	Dedicated Channel (transport channel)
<b>DL</b>	Downlink
<b>DPDCH</b>	Dedicated Physical Data CHannel
<b>DRR</b>	Deficit Fair Queuing
<b>DRR</b>	Deficit Round Robin
<b>DRX</b>	Discontinuous Reception
<b>DSCH</b>	Downlink Shared Channel
<b>DTCH</b>	Dedicated Transport Channel
<b>E<sub>b</sub>/N<sub>o</sub></b>	Energy per Bit over Noise power density ratio
<b>E-BIA</b>	Enhanced Internet Access
<b>E<sub>c</sub>/N<sub>o</sub></b>	Energy per chip over Noise power density ratio
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute

<b>FACH</b>	Forward Access Channel
<b>FCFS</b>	First Come First Served
<b>FCFS</b>	First Come First Served
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiple Access
<b>FER</b>	Frame Error Ratio
<b>FES</b>	Fixed Earth Station
<b>FIFO</b>	First In First Out
<b>FL</b>	Forward Link
<b>FSM</b>	Finite State Machine
<b>GEO</b>	Geo-stationary Earth Orbit
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS Support Node
<b>GoS</b>	Grade of Service
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GPS</b>	Generalized Processor Sharing
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSM</b>	Global System for Mobile communications
<b>GSN</b>	GPRS Support Node
<b>GSO</b>	Geo-Stationary Orbit
<b>GTP</b>	GPRS Tunnelling Protocol
<b>GTP-C</b>	GPRS Tunnelling Protocol for Control plane
<b>GTP-U</b>	GPRS Tunnelling Protocol for User plane
<b>GW</b>	Gateway
<b>HARQ</b>	Hybrid ARQ
<b>HC</b>	Handover Control
<b>HFN</b>	Hyper Frame Number
<b>HLR</b>	Home Location Register
<b>HOL packet</b>	Head of Line packet
<b>HSD</b>	High Speed Data
<b>HSPA</b>	High Speed Packet Access
<b>HS-PDSCH</b>	High Speed-Physical Downlink Shared Channel
<b>HS-SCCH</b>	High Speed Shared Control Channel



<b>I-4</b>	INMARSAT-4th Generation
<b>ICH</b>	Indicator CHannel
<b>ICT</b>	Information & Communication Technologies
<b>ID</b>	Identity
<b>IE</b>	Information Element
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force
<b>IGMP</b>	Internet Group Management Protocol
<b>IMR</b>	Intermediate Module Repeater
<b>IMSI</b>	International Mobile Subscriber Identity
<b>IMT-2000</b>	International Mobile Communications 2000
<b>Internet2</b>	Next generation Internet
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IPv4</b>	Internet Protocol version 4
<b>IPv6</b>	Internet Protocol version 6
<b>ISP</b>	Internet Service Provider
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>IWFQ</b>	Idealized Wireless Fair Queuing
<b>Kbps</b>	Kilo bits per second
<b>L1</b>	Layer 1
<b>L3</b>	Layer 3
<b>LA</b>	Location Area
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>LBS</b>	Location Based Service(s)
<b>LC</b>	Load Control
<b>LCFS</b>	Last Come First Served
<b>LEO</b>	Low Earth Orbit
<b>LI</b>	Length Indicator
<b>LLr</b>	Linked List of addresses of packets to be re-emitted
<b>MAC</b>	Medium Access Control
<b>MAC-b</b>	Medium Access Control broadcast
<b>MAC-c</b>	Medium Access Control common
<b>MAC-d</b>	Medium Access Control dedicated

<b>MAC-hs</b>	Medium Access Control high speed
<b>MAC-sh</b>	Medium Access Control shared
<b>MBMS</b>	Multimedia Broadcast Multicast Services
<b>Mbps</b>	Mega bit per second
<b>M-commerce</b>	Mobile commerce
<b>Mcps</b>	Mega chips per second
<b>MEO</b>	Medium Earth Orbit
<b>MIB</b>	Master Information Block
<b>MLP</b>	MAC Logical channel Priority
<b>MM</b>	MultiMedia or Mobility Management
<b>MMS</b>	Multimedia Messaging Service
<b>MP-MP</b>	Multipoint-to-Multipoint
<b>MS</b>	Mobile Station
<b>MT</b>	Mobile Terminal
<b>MUI</b>	Message Unit Identifier
<b>N/A</b>	Non available
<b>NACK</b>	Negative ACKnowledgement
<b>NAS</b>	Non Access Stratum
<b>NI</b>	Non Interactive
<b>NIC</b>	Network Interface Card
<b>NRT</b>	Non Real Time
<b>nrt-VBR</b>	Non real time Variable Bit Rate
<b>NW-RRC</b>	NetWork Radio Resource Control
<b>OVSF</b>	Orthogonal Variable Spreading Factor
<b>PAD</b>	Padding
<b>PBR</b>	Peak Bit Rate
<b>PC</b>	Power Control
<b>PCCC</b>	Parallel Concatenated Convolutional Code
<b>PCCH</b>	Paging Control CHannel (logical channel)
<b>P-CCPCH</b>	Primary Common Control Physical Channel
<b>PCH</b>	Paging CHannel
<b>P-CPICH</b>	Primary Common Pilot CHannel

<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant
<b>PDCP</b>	Packet Data Convergence Protocol
<b>PDP</b>	Packet Data Protocol
<b>PDU</b>	Packet Data Unit
<b>PGPS</b>	Packet Generalised Processor Sharing
<b>PHY</b>	PHYSical layer
<b>PI</b>	Page Indicator
<b>PICH</b>	Paging Indicator Channel
<b>PIM</b>	Protocol Independent Multicast
<b>PLMN</b>	Public Land Mobile Network
<b>PMM</b>	Packet Mobility Management (in GPRS)
<b>P-MP</b>	Point-to-Multipoint
<b>PQ</b>	Priority Queuing
<b>PRACH</b>	Physical Random Access CHannel
<b>PS</b>	Packet Switched
<b>PSC</b>	Primary Synchronization Code
<b>P-SCH</b>	Primary Synchronisation CHannel
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>QRT</b>	Quasi Real Time
<b>RA</b>	Routing Area
<b>RAB</b>	Radio Access Bearer
<b>RACH</b>	Random Access Channel
<b>RAN</b>	Radio Access Network
<b>RANAP</b>	RAN Application Part
<b>RAT</b>	Radio Access Technology
<b>RB</b>	Radio Bearer
<b>RBAM</b>	Radio Bearer Allocation and Mapping
<b>RF</b>	Radio Frequency
<b>RL</b>	Return Link
<b>RLC</b>	Radio Link Control
<b>RM</b>	Resource Management
<b>RNC</b>	Radio Network Controller

<b>RNP</b>	Radio Network Planning
<b>RNS</b>	Radio Network Sub-system
<b>RNTI</b>	Radio Network Temporary Identity
<b>RR</b>	Round Robin
<b>RRC</b>	Radio Resource Control
<b>RRM</b>	Radio Resource Management
<b>RT</b>	Real Time
<b>RTCP</b>	Real Time Control Protocol
<b>RTP</b>	Real Time Protocol
<b>RTSP</b>	Real Time Streaming Protocol
<b>Rx</b>	Receive
<b>SABP</b>	Service Area Broadcast Protocol
<b>SAP</b>	Service Access Point
<b>Sat</b>	Satellite
<b>SBFA</b>	Server Based Fairness Approach
<b>SCCH</b>	Shared Control Channel
<b>SCCP</b>	Signalling Connection Control Part
<b>S-CCPCH</b>	Secondary Common Control CHannel
<b>SDU</b>	Service Data Unit
<b>SES</b>	Satellite and Earth Systems
<b>SF</b>	Spreading Factor
<b>Sf</b>	Interface between Satellite and Gateway
<b>SFN</b>	System Frame Number
<b>SFQ</b>	Start-time Fair Queuing
<b>SGO</b>	Satellite Gateway Operator
<b>SGSN</b>	Serving GPRS Support Node
<b>SHCCH</b>	SHared Common Control CHannel
<b>SICH</b>	Signalling Indication CHannel
<b>SIR</b>	Signal to Interference Ratio
<b>SMS</b>	Short Message Service
<b>SMS-CB</b>	Short Message Service Cell Broadcast
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio

<b>SPQ</b>	Strictly Priority Queuing
<b>SRB</b>	Signalling Radio Bearer
<b>SRI</b>	Satellite Radio Interface
<b>S-RNC</b>	Satellite RNC
<b>SSC</b>	Secondary Synchronization Code
<b>S-SCH</b>	Secondary Synchronisation CHannel
<b>SS-TDMA</b>	Satellite-Switched TDMA
<b>STFQ</b>	Stochastic Fair Queuing
<b>S-UMTS</b>	Satellite UMTS
<b>SW-CDMA</b>	Satellite Wideband CDMA
<b>SYM</b>	Symmetrical
<b>T</b>	Terrestrial
<b>TB</b>	Transport Block
<b>TBS</b>	Transport Block Set
<b>TCP</b>	Transport Control Protocol
<b>TDD</b>	Time Division Duplex
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>TEID</b>	Tunnelling Endpoint Identifier
<b>TFC</b>	Transport Format Combination
<b>TFCI</b>	Transport Format Combination Indicator
<b>TFCS</b>	Transport Format Combination Set
<b>TFI</b>	Transport Format Indicator
<b>TFS</b>	Transport Format Set
<b>TM</b>	Transparent Mode
<b>TrCH</b>	Transport CHannel
<b>TS</b>	Time Slot
<b>TTI</b>	Transmission Time Interval
<b>T-UMTS</b>	Terrestrial UMTS
<b>UBR</b>	User Bit Rate
<b>UDL</b>	Uni-Directional Link
<b>UDLR</b>	Uni-Directional Link Routing (protocol)
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol

<b>UE</b>	User Equipment
<b>UL</b>	Uplink
<b>UM</b>	Unacknowledged Mode
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>UNI</b>	UNIdirectional
<b>UO</b>	UMTS (network) Operator
<b>U-plane</b>	User plane
<b>U-RNTI</b>	Utran RNTI
<b>USRAN</b>	UMTS Satellite Radio Access Network
<b>UTRA</b>	UMTS Terrestrial Radio Access (ETSI)
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>VBR</b>	Variable Bit Rate
<b>VoD</b>	Video on Demand
<b>VoIP</b>	Voice over IP
<b>VPN</b>	Virtual Private Network
<b>VSAT</b>	Very Small Aperture Terminal
<b>W2F2Q</b>	Wireless Worst-case Weighted Fair Queuing
<b>WCDMA</b>	Wideband CDMA
<b>WF2Q</b>	Worst Case Fair Queuing
<b>WF2Q+</b>	Worst Case Fair Queuing+
<b>WFQ</b>	Weighted Fair Queuing
<b>WFS</b>	Wireless Fair Scheduling
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network
<b>WMPFQ</b>	Wireless Multicast Priority Fair Queuing
<b>WPS</b>	Wireless Packet Scheduling
<b>WRR</b>	Weighted Round Robin



# 1 Εισαγωγή στις Δορυφορικές Επικοινωνίες

¶ Η επιτυχία του GSM στις αρχές της δεκαετίας του '90 στην Ευρώπη ήταν το κύριο κίνητρο πίσω από τις προσπάθειες της δορυφορικής βιομηχανίας να προσφέρει προσωπικές επικοινωνίες μέσω του δορυφόρου. ¶ Ο αρχικός στόχος ήταν η παροχή GSM-υπηρεσιών έξω από την επίγεια κάλυψη GSM. ¶ Έως τότε η υπόθεση που έγινε ήταν ότι το GSM θα απαιτούσε πολύ χρόνο να επεκταθεί σε όλη την υδρόγειο, ενώ ο δορυφόρος θα μπορούσε να επεκταθεί γρήγορα και ως εκ τούτου να στοχεύσει στη μαζική αγορά. ¶ Με βάση εκείνη την υπόθεση, τα κινητά δορυφορικά συστήματα (Mobile Satellite Systems-MSS) όπως το IRIDIUM και Globalstar αναπτύχθηκαν βασισμένα στους δορυφόρους LEO. ¶ Ολόκληρη η περίοδος ανάπτυξης διάρκεσε περίπου 5 έτη. Κατά την διάρκεια της περιόδου αυτής ¶ **Κακκας** το κυψελοειδές GSM διαδίδεται στις περισσότερες από τις κατοικημένες περιοχές σε όλη την υδρόγειο, περιορίζοντας σημαντικά τις πιθανότητες στα MSS να κερδίσουν μεγάλο μέρος της μαζικής αγοράς. ¶ Επομένως, τα συγκεκριμένα MSSs αναγκάστηκαν να στηριχθούν στις παραδοσιακές αγορές όπως η ναυτιλία και η αεροπορία για το εισόδημά τους, το οποίο ήταν πάρα πολύ μικρό όταν συγκρίνεται με τις δαπάνες του σχεδίου ανάπτυξης και συντήρησης. ¶ Τελικά, αυτά τα κινητά δορυφορικά συστήματα αντιμετώπισαν την πτώχευση. ¶ Αυτή η εμπειρία σαφώς κατέδειξε ότι η τεχνολογική επιτυχία δεν είναι αρκετή για ένα επιτυχές σύστημα επικοινωνιών και ότι η κατάλληλη ανάλυση αγοράς και επιχειρήσεων είναι εξίσου σημαντική προκειμένου να επιτευχθεί η γενική επιτυχία. ¶ Κατά συνέπεια, οι βιομηχανίες δορυφορικών επικοινωνιών έχουν αναθεωρήσει τις στρατηγικές τους προς την προσωπική κινητή επικοινωνία. ¶

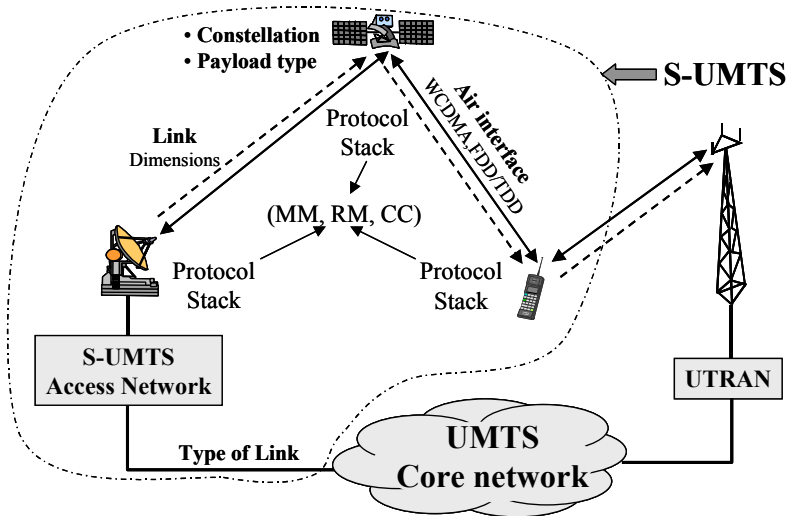
¶ Υπήρξε ένας αγώνας ταχύτητας μεταξύ των επίγειων και 2ας γενεάς κινητών δορυφορικών συστημάτων έως το 1999 η οποία τελικά κατέκτησε την κινητή αγορά και τα κινητά δορυφορικά συστήματα απέτυχαν. ¶ Αυτό ήταν ένα καλό μάθημα για τη δορυφορική κοινότητα. ¶ Εντούτοις η έννοια πολυμέσων, που ενσωματώθηκε έντονα μέσα στο UMTS, εισήγαγε μια νέα προοπτική για τα δορυφορικά συστήματα ως συνεργάσιμα μέρη του επίγειου UMTS (Terrestrial-UMTS ή T-UMTS) παρά ως αυτόνομα συστήματα. ¶

¶ Το δορυφορικό συστατικό της αρχιτεκτονικής συστημάτων UMTS (S-UMTS) έχει μελετηθεί εκτενώς σε διάφορα ερευνητικά προγράμματα κατά τη διάρκεια των τελευταίων πέντε ετών και μερικές βασικές αρχές έχουν προτυποποιηθεί. ¶ Η απαίτηση για τη διαλειτουργικότητα και την ολοκλήρωση με το T-UMTS ήταν ένας από τους κύριους οδηγούς αυτών των μελετών ενώ η έννοια της διάκρισης μεταξύ των ραδιο-ανεξάρτητων (radio-independent) και ραδιο-εξαρτώμενων (radio-dependent) λειτουργιών στον σχεδιασμό συστημάτων φαίνεται να επιτυγχάνει την ευρεία αποδοχή. ¶

¶ Εντούτοις οι πρόσφατες εξελίξεις στην αρχιτεκτονική συστημάτων T-UMTS παράγουν μερικές νέες προκλήσεις για τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής συστημάτων. ¶ Η εισαγωγή της μεταγωγής πακέτων στον καθορισμό συστημάτων και η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση του

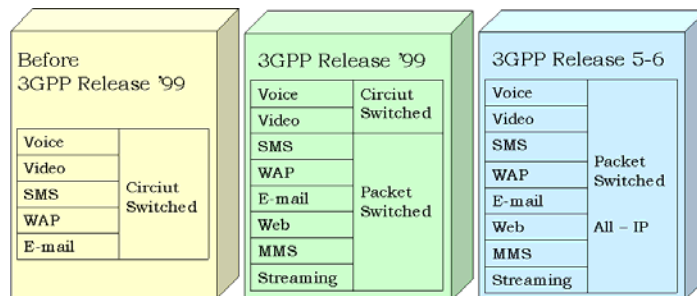


πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol – IP) στις λειτουργίες συστημάτων αποτελούν τους βασικούς λόγους για μια αναθεώρηση των προτεινόμενων αρχιτεκτονικών συστημάτων μέχρι τώρα και της τροποποίησης/της βελτιστοποίησής τους (modification/optimisation).



Εικόνα 1-1: Σενάριο Δορυφορικού Συστήματος Κινητών Τηλεπικοινωνιών 3<sup>ης</sup> Γενιάς

¶ Η αρχιτεκτονική του συστήματος κινητής επικοινωνίας εξαρτάται όχι μόνο από την υιοθετημένη τεχνολογία αλλά και από τις υποψήφιες υπηρεσίες. ¶ Επομένως η νέα τεχνολογία επικοινωνιών που στηρίζεται στο IP και το σύνολο υπηρεσιών που το δορυφορικό σύστημα αναμένεται να παραδώσει θεωρούνται ως δύο κύριες κατευθυντήριες δυνάμεις για τον καθορισμό της αρχιτεκτονικής S-UMTS. ¶ Ένας τρίτος κρίσιμος παράγοντας για αυτόν τον καθορισμό συσχετίζεται με την τυποποιημένη απαίτηση που επιβάλλεται στο S-UMTS για τη μέγιστη διαλειτουργικότητα (interoperability) με το επίγειο αντίστοιχό του.



Εικόνα 1-2: Πλήρως IP το σύστημα (S/T)UMTS ¶

Συνεπώς, ο κύριος στόχος των μελετών είναι ο καθορισμός μιας αρχιτεκτονικής S-UMTS μεταγωγής πακέτων σύμφωνα με τις απαιτήσεις υπηρεσιών ταυτόχρονα συντηρώντας τη μέγιστη συμβατότητα με το T-UMTS .

## 2 Χαρακτηριστικά W-CDMA για UMTS

Οι κύριες παράμετροι που σχετίζονται με την ασύρματη διεπαφή του WCDMA είναι :

- Το WCDMA είναι ένα ευρυζωνικό σύστημα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα ευθείας ακολουθίας (Wideband Direct Sequence Code Division Multiple Access – DS-SS-CDMA). Τα bits της πληροφορίας του χρήστη εξαπλώνονται σε μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων με τον πολλαπλασιασμό των δεδομένων χρήστη με ημιτυχαία ακολουθία bits (που λέγονται chips) που προέρχονται από CDMA κώδικες εξάπλωσης. Για να υποστηριχθούν πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (πάνω από 2Mbps), υποστηρίζεται μεταβλητός παράγοντας εξάπλωσης (spreading factor) και πολυκωδικές συνδέσεις.
- Ο ρυθμός chip των 3.84Mcps χρησιμοποιείται για να οδηγήσει το φέρον εύρος ζώνης περίπου 5MHz. Τα συστήματα DS-SS-CDMA με εύρος ζώνης περίπου 1MHz, όπως το IS-95, συνήθως αναφέρονται στενής ζώνης CDMA συστήματα (Narrowband CDMA – N-CDMA). Το φέρον εύρος ζώνης του WCDMA υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων χρήστη και ιδιαίτερα πλεονεκτήματα, όπως αυξημένη πολυδιαδρομική διαφορική λήψη (multipath diversity). Ανάλογα με την άδεια λειτουργίας, η τηλεπικοινωνιακή εταιρία μπορεί να αναπτύσσει πολλαπλά τέτοια φέροντα των 5MHz για να αυξήσει την χωρητικότητα.
- Το WCDMA υποστηρίζει υψηλούς μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων χρήστη, με άλλα λόγια υποστηρίζει την αρχή της εξασφάλισης του Εύρους Ζώνης κατά Απαίτηση (Bandwidth on Demand - BoD). Κάθε χρήστης κατανέμεται σε πλαίσια (frames) διάρκειας 10ms, κατά την διάρκεια του οποίου ο ρυθμός μετάδοσης του χρήστη διατηρείται σταθερός. Εντούτοις, η χωρητικότητα δεδομένων μεταξύ των χρηστών μπορεί να μεταβάλλεται από πλαίσιο σε πλαίσιο. Αυτή η γρήγορη ασύρματη κατανομή της χωρητικότητας τυπικά ελέγχεται από το δίκτυο για να επιτευχθεί βέλτιστη ρυθμαπόδοση για τις υπηρεσίες δεδομένων με πακέτα.
- Το WCDMA υποστηρίζει δυο βασικές καταστάσεις λειτουργίας : Αμφίδρομη Διαίρεση Συχνότητας (Frequency Division Duplex – FDD) και Αμφίδρομη Διαίρεση Χρόνου (Time Division Duplex – TDD). Στην κατάσταση FDD, χρησιμοποιούνται δυο ξεχωριστές φέρουσες των 5MHz για την άνω (uplink) και κάτω (downlink) ζεύξη αντίστοιχα, ενώ στην κατάσταση TDD μόνο μια φέρουσα των 5MHz που μοιράζεται χρονικά στην άνω και κάτω ζεύξη. Η άνω ζεύξη είναι η σύνδεση από το κινητό στον σταθμό βάσης και η κάτω ζεύξη από τον σταθμό βάσης στο κινητό. Η κατάσταση TDD είναι βασισμένη σε μεγάλο βαθμό σε αρχές της κατάστασης FDD και προστέθηκε για

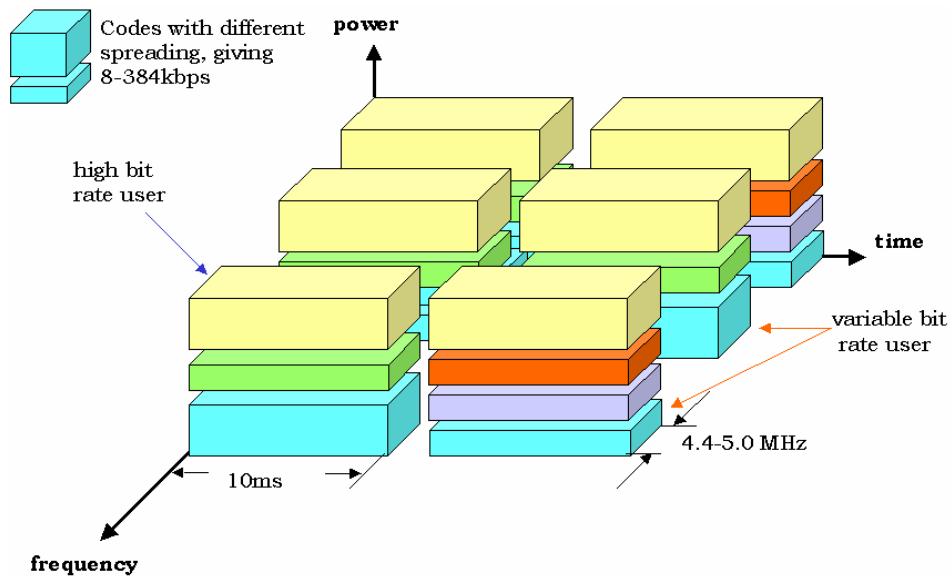
να αυξήσει την αποδοτικότητα του βασικού WCDMA συστήματος επίσης και για τις αζευγάρωτες κατανομές φάσματος της ITU για τα συστήματα IMT-2000.

- Το WCDMA υποστηρίζει ασύγχρονους σταθμούς βάσης, σε αντίθεση με το σύγχρονο σύστημα IS-95, δεν είναι απαραίτητη η αναφορά σε ένα κεντρικό ρολόι (global clock), όπως στο GPS.
- Το WCDMA παρέχει coherent detection στην άνω και κάτω ζεύξη βασισμένη στην χρήση πιλοτικών συμβόλων (pilot symbols) ή κοινά σύμβολα (common symbols). Η χρήση του coherent detection την συνολική αύξηση της χωρητικότητας και της κάλυψης στην άνω ζεύξη.
- Η ασύρματη διεπαφή WCDMA έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι προχωρημένες αρχές του CDMA δέκτη, όπως multiuser ανίχνευση και έξυπνες προσαρμοστικές κεραιές, μπορούν να αναπτυχθούν από την τηλεπικοινωνιακή εταιρία ως επιλογή για την αύξηση της χωρητικότητας και/ή της κάλυψης.
- Το WCDMA έχει σχεδιαστεί για να αναπτυχθεί συνυπάρχοντας με το GSM. Έτσι, διαπομπές μεταξύ GSM και WCDMA με σκοπό να αυξήσει την χωρητικότητα του GSM με την εισαγωγή του WCDMA.

## Κύριες Παράμετροι του WCDMA

Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης	DS-SS-SSMA
Μέθοδος αμφιδρόμησης	FDD/TDD
Συγχρονισμός Σταθμών Βάσης	Ασύγχρονη λειτουργία
Ρυθμός chip	3.84Mcps
Διάρκεια πλαισίου (frame)	10ms
Πολυπλεξία υπηρεσιών	Πολλαπλές υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας πολυπλεγμένες σε μια σύνδεση
Αρχή πολλαπλού ρυθμού (multirate)	Μεταβλητός παράγοντας εξάπλωσης και πολυκώδικας
Ανίχνευση	Coherent χρησιμοποιώντας pilot symbols ή common symbols
Multiuser ανίχνευση, έξυπνες κεραιές	Υποστηρίζονται από το πρότυπο, προαιρετικά στην υλοποίηση

Πίνακας 2-1: Κύριες Παράμετροι του WCDMA



Εικόνα 2-1: Τεχνολογία WCDMA



### 3 Διάδοση Σημάτων και Μοντέλο Καναλιού

Η διαθεσιμότητα και η ποιότητα υπηρεσίας που μπορούν να προσφέρουν οι δορυφορικές κινητές επικοινωνίες επηρεάζονται έντονα από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της διάδοσης σημάτων στη ζεύξη μεταξύ του κινητού χρήστη (mobile or personal user) και του επικοινωνιακού δορυφόρου. Για να εξεταστεί το θέμα αυτό, εκτελέστηκαν αρκετές μετρήσεις διάδοσης και εξήχθησαν αρκετά μοντέλα καναλιού τα οποία περιγράφουν τη διαδρομή μετάδοσης (Transmission Path) μεταξύ κινητού τερματικού και ενός GEO ή μη-GEO δορυφόρου.

Στη ζεύξη κινητού – δορυφόρου, εμφανίζεται πολυδιαδρομική εξασθένιση λόγω του γεγονότος ότι το λαμβανόμενο σήμα δεν περιέχει μόνο το απευθείας σήμα αλλά και τις συνιστώσες ηχούς που ανακλώνται από περιβάλλοντα αντικείμενα. Η ολική λαμβανόμενη ισχύς των συνιστωσών ηχούς εξαρτάται κύρια από τον τύπο του περιβάλλοντος του χρήστη (αστικό, ημιαστικό, αγροτικό, κλπ) και τα χαρακτηριστικά της κεραίας του κινητού τερματικού. Κεραίες ευρυγωνικού τύπου τείνουν να συλλέγουν περισσότερη ισχύ ηχούς σε σχέση με τις κατευθυντικές κεραίες. Η μεταβλητότητα της λαμβανόμενης ισχύος στον χρόνο οφείλεται στην κινητικότητα του χρήστη, την κίνηση του μη γεωστατικού δορυφόρου ή των ανακλαστικών/σκεδαστών αντικειμένων.

Η σκίαση του δορυφορικού σήματος προκαλείται από εμπόδια στη διαδρομή διάδοσης, όπως κτήρια, γέφυρες και δένδρα. Το ποσοστό των σκιασμένων περιοχών, επιπρόσθετα και η γεωμετρική δομή τους εξαρτάται από τον τύπο του περιβάλλοντος. Για περιπτώσεις χαμηλής γωνίας ανύψωσης οι σκιασμένες περιοχές είναι μεγαλύτερες σε σχέση με περιπτώσεις υψηλής γωνίας ανύψωσης. Ειδικά, για δρόμους σε αστικές ή ημιαστικές περιοχές, το ποσοστό του σκιαζόμενου σήματος επίσης εξαρτάται από γωνία αζιμουθίου του δορυφόρου.

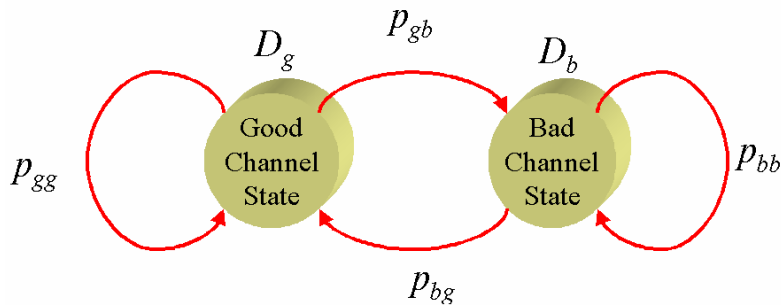
Κατά την κίνηση μη γεωστατικών δορυφόρων ο γεωμετρικός τύπος των σκιασμένων επιφανειών αλλάζει με τον χρόνο. Όμοια, η κίνηση ενός κινητού χρήστη μετασχηματίζει τον γεωμετρικό τύπο των σκιασμένων επιφανειών σε μια χρονική αλληλουχία καλών και κακών καταστάσεων καναλιού (good/bad channel states). Η μέση διάρκεια της καλής και κακής κατάστασης, αντίστοιχα, εξαρτάται από τον τύπο του περιβάλλοντος, την ανύψωση του δορυφόρου και την ταχύτητα του κινητού χρήστη.

#### 3.1 Χαρακτηρισμός Καναλιού

Το στατιστικό μοντέλο που έχει προκύψει μετά από σειρά μετρήσεων και χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία είναι η μοντελοποίηση των καταστάσεων καλού και κακού καναλιού. Η διαδικασία της εξασθένισης αλλάζει μεταξύ της Rician εξασθένισης, η οποία αντιπροσωπεύει ασκίαστες επιφάνειες με υψηλή λαμβανόμενη ισχύ (καλή κατάσταση καναλιού), και της Rayleigh – lognormal εξασθένιση, η οποία αντιπροσωπεύει περιοχές με

καμηλή λαμβανόμενη ισχύ σήματος. Η Rician εξασθένηση χαρακτηρίζεται από τον λόγο ισχύος απευθείας – πολυδιαδρομικού σήματος (παράγοντας Rice)  $c$ . Η Rayleigh – lognormal εξασθένηση καθορίζεται από την μέση ελάττωση της στάθμης ισχύος  $\mu$  (σε dB) και την τυπική απόκλιση  $\sigma$  (σε dB) της στάθμης ισχύος.

Η διαδικασία αλλαγής μεταξύ Rician και Rayleigh – lognormal εξασθένησης μοντελοποιείται με μια αλυσίδα Markov δυο καταστάσεων η οποία χαρακτηρίζεται από τις μέσες διάρκειες  $D_g$  και  $D_b$  όταν το κανάλι παραμένει σε καλή ή κακή κατάσταση, αντίστοιχα. Για προσωπικές επικοινωνίες πεζών χρηστών οι διάρκειες  $D_g$  και  $D_b$  μπορεί να δίδονται σε μέτρα και για κινητές εφαρμογές με μια καθορισμένη ταχύτητα μπορεί να μεταφράζονται σε διάρκειες bit. Ο χρονικός παράγοντας της σκίασης,  $A$ , αναπαριστά το ποσοστό του χρόνου όταν το κανάλι βρίσκεται στην κακή κατάσταση και δίδεται από την σχέση  $A = D_b / (D_g + D_b)$ .



Εικόνα 3-1: Μοντέλο "καλής/κακής" κατάστασης καναλιού

Περιβάλλον	Πόλη	Αυτοκινητόδρομος
Ανύψωση	10°...30°...50°	10°...30°...50°
$D_g$	7m...25m...50m	10²m...10³km...10⁴km
$D_b$	70m...50m...35...	50m...30m...20m
$c$	5dB...9dB...10dB	10dB...14dB...18dB
$A$	0.9...0.7...0.4	0.3...0.2...0
$-\mu$	12dB...12dB...15dB	9dB...10dB...14dB
$\sigma$	4dB	4dB

Πίνακας 3-1: Τυπικές τιμές παραμέτρων για το μοντέλο καναλιού

Αναλυτικότερα, όταν το κανάλι είναι στην καλή κατάσταση η στιγμιαία λαμβανόμενη ισχύς  $S$  ακολουθεί κατανομή Rice με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας [3.1]:

$$p_{Rice}(S) = c \cdot e^{-c(S+1)} I_0(2c\sqrt{S}) \quad [3.1]$$

όπου  $I_0$  η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel μηδενικής τάξης. Η ισχύς της δορυφορικής ζεύξης χωρίς εξασθένηση κανονικοποιείται στην μονάδα. Υπό την συνθήκη της ανυπαρξίας σκίασης η μέση ολική λαμβανόμενη ισχύς είναι σύμφωνα με την εξίσωση [3.2] :

$$E\{S | no - shadowing\} = 1 + \frac{1}{c} \quad [3.2]$$

Όταν είναι παρούσα η σκίαση, θεωρείται ότι δεν υπάρχει απευθείας διαδρομή σήματος και ότι η πολυδιαδρομική εξασθένηση έχει Rayleigh χαρακτηριστικά με μέση λαμβανόμενη ισχύ  $S_0$ . Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της λαμβανόμενης ισχύος δεδομένης της μέσης τιμής ισχύος  $S_0$  υπολογίζεται από την σχέση [3.3] :

$$p_{Rayleigh}(S/S_0) = \frac{1}{S_0} e^{-S/S_0} \quad [3.3]$$

Η αργή διαδικασία σκίασης προκύπτει από την χρονική μεταβολή της μέσης λαμβανόμενης ισχύος για την οποία θεωρείται η παρακάτω lognormal κατανομή [3.4]:

$$p_{LN}(S_0) = \frac{10}{\sqrt{2\pi \ln 10}} \cdot \frac{1}{S_0} \cdot \exp\left[-\frac{(10 \log S_0 - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad [3.4]$$

Για να λάβουμε την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της λαμβανόμενης ισχύος πρέπει να συνδυαστούν οι παραπάνω σχέσεις. Χρησιμοποιώντας τον παράγοντα  $A$ , οποίος έχει ορισθεί προηγουμένως, λαμβάνουμε την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας [3.5]:

$$p(S) = (1 - A) \cdot p_{Rice}(S) + A \cdot \int_0^{\infty} p_{Rayleigh}(S/S_0) p_{LN}(S_0) dS_0 \quad [3.5]$$

Η παραπάνω συνάρτηση  $p(S)$  είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα  $v$  του κινητού χρήστη.

Η μέση ολική λαμβανόμενη ισχύς [3.6] είναι :

$$E\{S\} = (1 - A) \cdot \left(1 + \frac{1}{c}\right) + A \cdot 10^{\ln 10 (\sigma/10)^2 / 2 + \mu/10} \quad [3.6]$$

Βέβαια, αναμένεται ότι η μετάδοση κατά την διάρκεια διαστημάτων ύπαρξης σκίασης δεν θα είναι επιτυχής αν δεν υπάρχει ένας καλός προϋπολογισμός ισχύς από τον Αλγόριθμο Ελέγχου Ισχύος (Power Control). Η πιο σημαντική παράμετρος του καναλιού είναι το ποσοστό της σκίασης,  $A$ . Ο παράγοντας  $1-A$  είναι το τμήμα του χρόνου κατά την διάρκεια του οποίου η μετάδοση είναι δυνατή και άρα αναπαριστά μια αυστηρή εκτίμηση για την επιτεύξιμη ολική ρυθμοαπόδοση (achievable gross throughput) των ψηφιακών συστημάτων μετάδοσης.

Κατά την διάρκεια των περιόδων χωρίς σκίαση, το κανάλι μοντελοποιείται ως Rician κανάλι, με εξασθενητική συμπεριφορά που περιγράφεται με τον παράγοντα  $c$ . Μεγάλες τιμές του παράγοντα  $c$  δηλώνουν μικρή πολυδιαδρομική εξασθένηση ( $c \rightarrow \infty$  για κανάλι Gauss) ως



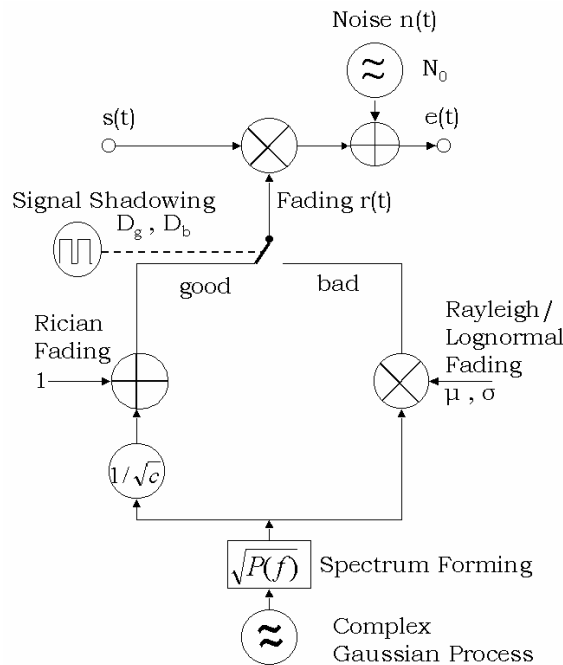
αποτέλεσμα καλών χαρακτηριστικών μετάδοσης. Μικρές τιμές του  $c$  αντιστοιχούν σε πολλές διαλείψεις ( $c \rightarrow 0$  για κανάλι Rayleigh).

Η Εικόνα 3-2 παρουσιάζει ένα δυναμικό μοντέλο κινητών δορυφορικών επικοινωνιών το οποίο αναπαράγει την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος όπως επίσης και την δυναμική συμπεριφορά της διαδικασίας των διαλείψεων και της σκίασης. Το μεταδιδόμενο σήμα  $s(t)$  'επιδεινώνεται' από το διάλειψη  $r(t)$  και από τον προσθετικό θόρυβο Gauss  $n(t)$  με φασματική πυκνότητα ισχύος  $N_0$ .

Το λαμβανόμενο σήμα [3.7] είναι :

$$e(t) = s(t) \cdot r(t) + n(t) \quad [3.7]$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία της διάλειψης  $r(t)$  η οποία παράγεται από το μοντέλο του καναλιού λαμβάνει μιγαδικές τιμές. Το τμήμα της διάλειψης μπορεί να πολλαπλασιαστεί με το σήμα  $s(t)$  όταν το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος  $s$  είναι μικρό σε σχέση με το εύρος ζώνης συνοχής (coherence bandwidth) της διάλειψης.



Εικόνα 3-2: Μοντέλο Καναλιού "Καλή / Κακή Κατάσταση"

Για δοσμένη ταχύτητα  $v$  (m/s) και ρυθμό  $R$  (bps) , η πιθανότητες μετάβασης  $p_{gb}$  και  $p_{bg}$  μπορούν να σχετιστούν με την διάρκεια του bit. Σύμφωνα με το μοντέλο Markov, η μέση διάρκεια της περιόδου καλής (κακής) κατάστασης καναλιού δίνεται από τις σχέσεις [3.8][3.9] :

$$D_g \text{ bits} = \frac{1}{p_{gb}} = \frac{R}{\nu} D_g m \quad [3.8]$$

$$D_b \text{ bits} = \frac{1}{p_{bg}} = \frac{R}{\nu} D_b m \quad [3.9]$$

Η πιθανότητα μία καλή (κακή) κατάσταση καναλιού να διαρκέσει περισσότερο από  $n$  bits [3.10] [3.11] είναι :

$$p_g(>n) = p_{gg}^n \quad [3.10]$$

$$p_b(>n) = p_{bb}^n \quad [3.11]$$

Οι πιθανότητες μετάβασης στο μοντέλο Markov μπορούν να εξαχθούν από τις κατανομές πιθανότητας  $p_g(>n)$  [3.12] και  $p_b(>n)$  [3.13]:

$$p_{gb} = 1 - p_{gg} \quad [3.12]$$

$$p_{bg} = 1 - p_{bb} \quad [3.13]$$

Όπως έχει προαναφερθεί, το χρονικό τμήμα της σκίασης σχετίζεται με τις διάρκειες  $D_g$  και  $D_b$  :

$$A = \frac{D_b}{D_g + D_b} \quad [3.14]$$

Οι διάρκειες  $D_g$  και  $D_b$  που αποτιμώνται από τις κατανομές πιθανότητας  $p_g(>n)$  και  $p_b(>n)$  συνήθως δεν ικανοποιούν την προηγούμενη σχέση ακριβώς. Έτσι, οι μέσες τιμές υπολογίζονται σύμφωνα τις σχέσεις :

$$\bar{D}_g = \frac{1}{2} \left[ D_g + \frac{1-A}{A} D_b \right] \quad [3.15]$$

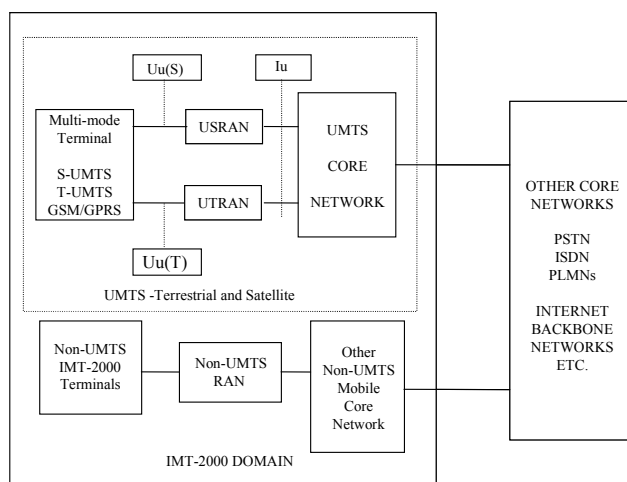
$$\bar{D}_b = \frac{1}{2} \left[ D_b + \frac{1-A}{A} D_g \right] \quad [3.16]$$



## 4 Επισκόπηση Αρχιτεκτονικής Δικτύου UMTS

Μια επισκόπηση της αρχιτεκτονικής UMTS δίνεται σε αυτή την παράγραφο. Περιγράφεται η επικρατούσα κατάσταση σχετικά με τη διείσδυση του IP στο σύστημα UMTS και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μελλοντικές τάσεις (σύμφωνα με μελέτες που διεξάγονται στο πλαίσιο διεθνών και ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων).

Η Εικόνα 4-1 παρουσιάζει τη θέση του S-UMTS σύμφωνα με το IMT-2000 και το UMTS. Αναμένεται ότι τα 2G δίκτυα θα υιοθετήσουν το GPRS και το EDGE για να παρέχουν περιορισμένες 3G υπηρεσίες κατά τη διάρκεια της αρχικής φάσης επέκτασης του UMTS και θα στηριχθεί στα πολλαπλού τύπου (multi-mode) τερματικά συμπεριλαμβανομένου του δορυφορικού τύπου. Κατά συνέπεια είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό το επίγειο σύστημα κινητών επικοινωνιών και να εφαρμοστεί η ίδια τεχνολογία στο S-UMTS προκειμένου να διατηρηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο τα κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα σε όλα τα τμήματα του UMTS με στόχο το S-UMTS να είναι περισσότερο ελκυστικό και φτηνό για τους πελάτες.



Εικόνα 4-1: IMT-2000 αρχιτεκτονική

### 4.1 Αρχιτεκτονική και αρχές του UMTS

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική του UMTS, με το S-UMTS μαζί με το T-UMTS και το GSM και εξηγούνται τα στοιχεία του UMTS.

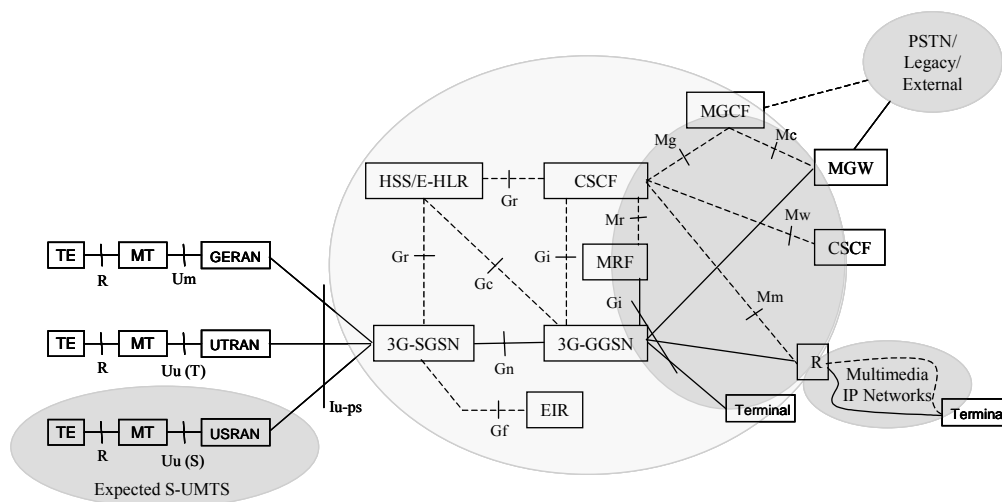
Ένα 3G δίκτυο κινητών επικοινωνιών θεωρείται λογικά ως συνδυασμός ενός Δικτύου Κορμού (Core Network - CN) και ενός ή περισσότερων δικτύων πρόσβασης (Access Networks - AN). Το CN μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός μιας περιοχής μεταγωγής κυκλώματος (Circuit Switched (CS) domain), μιας περιοχής μεταγωγής πακέτου (Packet Switched (PS) domain) και ένα υποσύστημα IP πολυμέσων (IP multimedia (IM) subsystem). Το AN καλείται υποσύστημα σταθμών βάσεων (Base Station Subsystem - BSS) στο GSM ή εμπλουτισμένο

ραδιοδίκτυο πρόσβασης GSM (GSM enhanced radio access network - GERAN) και σύστημα ραδιοδικτύου (Radio Network System - RNS) στο UMTS. Αυτό το RNS μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω στο επίγειο ραδιοδίκτυο πρόσβασης UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access Network - UTRAN) και στο δορυφορικό ραδιοδίκτυο πρόσβασης UMTS (UMTS Satellite Radio Access Network - USRAN).

#### 4.1.1 Δίκτυο Κορμού (CN)

##### 4.1.1.1 Οντότητες περιοχής PS

Οι κόμβοι υποστήριξης PS-περιοχής του UMTS (ή GPRS) (GPRS Support Nodes - GSN) είναι η πύλη GSN (Gateway GSN - GGSN) και η εξυπηρετητής GSN (Serving GSN - SGSN). Αποτελούν τη διεπαφή μεταξύ του ραδιοσυστήματος και των σταθερών δικτύων για υπηρεσίες βασισμένες σε πακέτα. Το GSN εκτελεί όλες τις απαραίτητες λειτουργίες προκειμένου να χειριστεί την μετάδοση πακέτων από και προς τους κινητούς σταθμούς.



Εικόνα 4-2: 3GPP αρχιτεκτονική UMTS με IP

##### 4.1.1.1.1 Εξυπηρετητής κόμβος που υποστηρίζει GPRS (Serving GPRS Support Node - SGSN)

Η λειτουργία καταχώρησης θέσης (location register function) στο SGSN αποθηκεύει δύο τύπους στοιχείων συνδρομητή που απαιτούνται για να χειριστεί τη έναρξη και λήξη της μεταφοράς πακέτων δεδομένων:

- Πληροφορίες συνδρομητή
  - Το IMSI
  - Μια ή περισσότερες προσωρινές ταυτότητες
  - Καμία ή περισσότερες διευθύνσεις πρωτοκόλλου PDP (Packet Data Protocol)

- Πληροφορίες θέσης
  - Ανάλογα με το κατάσταση λειτουργίας των MS, της κυψέλης ή της δρομολογούσας περιοχής που έχει καταχωρηθεί το MS.
  - Τον αριθμό VLR του σχετικού VLR (εάν η διεπαφή Gs είναι υλοποιημένη)
  - Την διεύθυνση GGSN κάθε GGSN για το οποίο υπάρχει ένα ενεργό περιεχόμενο PDP

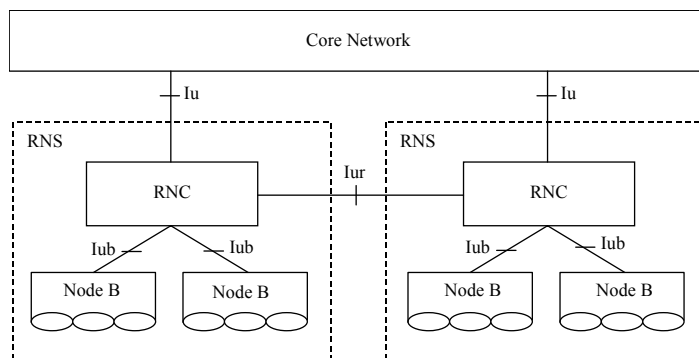
#### 4.1.1.1.2 Κόμβος υποστήριξης πύλης GPRS (Gateway GPRS Support Node - GGSN)

Η λειτουργία καταχωρητή θέσης στον GGSN αποθηκεύει δεδομένα συνδρομητή που λαμβάνονται από τον HLR και το SGSN. Υπάρχουν δύο τύποι δεδομένων συνδρομητή που απαιτούνται για τον χειρισμό της έναρξης και λήξης της μεταφοράς πακέτων δεδομένων:

- Πληροφορίες συνδρομής
  - Το IMSI
  - Καμία ή περισσότερες διευθύνσεις PDP.
- Πληροφορίες θέσης
  - Την διεύθυνση SGSN για το SGSN όπου καταχωρείται το MS.

#### 4.1.2 Ραδιοδίκτυο Πρόσβασης (Radio Access Network - RAN)

##### 4.1.2.1 Αρχιτεκτονική UTRAN



Εικόνα 4-3: Αρχιτεκτονική UTRAN

Το UTRAN, δίκτυο πρόσβασης UMTS μέσω επίγειου ραδιοδικτύου, (UMTS Terrestrial Radio Access Network) αποτελείται από ένα σύνολο υποσυστημάτων ραδιοδικτύου (Radio Network Controller - RNS) που συνδέονται με το Δίκτυο Κορμού CN μέσω της διεπαφής Iu. Ένα RNS αποτελείται από έναν Ελεγκτή Ραδιοδικτύων (Radio Network Controller - RNC) και μια ή περισσότερες αφηρημένες οντότητες αποκαλούμενες αυτήν την περίοδο Κόμβοι B (Node B). Ο Κόμβος B αποτελείται από στοιχεία που συνδέονται με το RNC μέσω της διεπαφής Iub. Ένας Κόμβος B μπορεί να υποστηρίξει FDD , TDD ή λειτουργία δυο

καταστάσεων (dual-mode). Το RNC περιλαμβάνει μια λειτουργία combiner/splitter για να υποστηρίξει τη μακρο-διαφορική λήψη μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων του Κόμβου B.

#### 4.1.3 UMTS με μεταγωγή πακέτων

Κυρίως η αυξανόμενη διάδοση του Διαδικτύου και των εφαρμογών βασισμένων σε IP υπαγόρευσε μια αποδοτικότερη επεξεργασία της κίνησης δεδομένων από τα μελλοντικά ασύρματα επίγεια δίκτυα σε σύγκριση με τα παρόντα δεύτερης γενεάς.

Τα πακέτα δεδομένων παρουσιάζουν ριζικά διαφορετικά χαρακτηριστικά κίνησης. Η κίνηση είναι περισσότερο εκρηκτική με μεγάλες ανενεργές περιόδους. Η ικανοποιητική υποστήριξη αυτών των υπηρεσιών χωρίς σπατάλη των πόρων του δικτύου (εύρος ζώνης) υπονοεί μια διαφορετική προσέγγιση από τη συμβατική προσανατολισμένη στη μεταγωγή κυκλώματος που προσφέρεται μέχρι τώρα από το GSM. Τα πακέτα δεδομένων υποστηρίζονται στο UMTS αλλά αυτός ο τρόπος δεν είναι ο πρωταρχικός όπως εφαρμόζεται σε WLANs για παράδειγμα, όπου πραγματοποιείται χωρίς σύνδεση μεταγωγή πακέτου.

Το UMTS μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τα πακέτα δεδομένων με δύο τρόπους:

- Εγκαθιστώντας ένα αποκλειστικό κανάλι κίνησης (dedicated traffic channel) κατά τη διάρκεια μιας κλήσης πακέτων (*packet call*) και να το αποδεσμεύσει αμέσως μετά. Αυτό υπονοεί ότι υπάρχει μια υπερφόρτωση για την ξεχωριστή εγκατάσταση και απελευθέρωση της σύνδεσης για κάθε κλήση πακέτων. Όσο πιο εκρηκτική είναι η πηγή κίνησης, τόσο περισσότερο σημαντική γίνεται η υπερφόρτωση.
- Χρησιμοποιώντας τα κοινά ή μοιραζόμενα κανάλια (common or shared channels : RACH, CPCH (FDD), USCH (TDD)) για τα μικρά πακέτα δεδομένων. Αυτά τα κανάλια μοιράζονται στο χρόνο μεταξύ των διάφορων χρηστών. Σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει καμία ρητή εγκατάσταση σύνδεσης, αλλά είναι απαραίτητος ένας πρόσθετος μηχανισμός για τη γρήγορη κατανομή του πόρου (κανάλι/κώδικας) μεταξύ των χρηστών και την αποφυγή σύγκρουσης (collision).

Επομένως η επεξεργασία της κίνησης πακέτων δεδομένων εισάγει μια ανταλλαγή (δεδομένου της ύπαρξης διαδικασιών διαχείρισης φυσικών πόρων) μεταξύ της ποιότητας υπηρεσιών που παρέχεται στον τελικό χρήστη και της αποδοτικότερης χρησιμοποίηση των πόρων του συστήματος (εδώ σχετικά με την υπερφόρτωση λόγω της σηματοδότησης).

Η μεταγωγή πακέτων στο UMTS έχει διάφορες επιπτώσεις στα στοιχεία και τις λειτουργίες του συστήματος. ¶ Η υποστήριξή της μέσα στο UMTS επιτράπηκε κυρίως από: ¶

- τον καθορισμό ενός νέου καναλιού μετάδοσης (CPCH για FDD, USCH για TDD) και την εισαγωγή πρόσθετων επιλογών σχετικά με τη χρήση άλλων καναλιών μετάδοσης (π.χ. RACH, DSCH) προκειμένου να διευθετηθεί η κίνηση πακέτων δεδομένων. ¶

- την προσθήκη ενός νέου στοιχείου καλούμενο *Προγραμματιστή Εκπομπής Πακέτων (Packet Scheduler - PS)* στον κόμβο RNC για να ελέγξει τις διανομές πακέτων. ¶Ο PS διαθέτει και κατανέμει την χωρητικότητα (capacity) στους χρήστες πακέτων, αποφασίζει για τα κανάλια μετάδοσης που θα χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση πακέτων, παρακολουθεί και ελέγχει το φορτίο του συστήματος και αποτελεί ένα μείζονος σημασίας κομμάτι της διαχείρισης πόρων, που αλληλεπιδρά άμεσα με τις άλλες μονάδες διαχείρισης πόρων (Ελεγκτή Αποδοχής Κλήσης (CAC), Ελεγκτή Διαπομπής (Handover Control), κλπ). ¶

## 4.2 Λειτουργίες UMTS ¶

Μερικές από τις κύριες λειτουργίες του συστήματος παρουσιάζονται παρακάτω. ¶Ο στόχος δεν είναι να περιγραφεί όλο το εύρος των λειτουργιών του συστήματος, ¶απλά γίνεται μια προσπάθεια να εισαχθούν οι κύριες έννοιες των λειτουργιών. ¶Οι επιπτώσεις του IP σε αυτές θα προσδιοριστούν αργότερα. ¶

### 4.2.1 ¶ΔΔΔιαχείριση Κινητικότητας (Mobility Management -MM) ¶

Οι λειτουργίες κινητικότητας μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύρια μέρη αποκαλούμενα *Διαπομπή (Handoff) (ραδιο-κινητικότητα)* και *Διαχείριση Θέσης (κινητικότητα δικτύου) (Location Management - (Network Mobility))*. ¶Η διαπομπή συμβαίνει προκειμένου να παρασχεθεί η συνέχεια μιας κλήσης και να υποστηριχθεί ένα διευκρινισμένο QoS όταν κινούνται οι χρήστες από την περιοχική κάλυψη ενός σταθμού βάσης προς την περιοχική κάλυψη ενός άλλου σταθμού βάσης ή από ένα σημείο πρόσβασης προς ένα άλλο σημείο πρόσβασης. ¶Η διαπομπή πραγματοποιείται από τη διαχείριση φυσικών πόρων. Εντούτοις, η ¶ διαχείριση θέσης, χειρίζεται την παρακολούθηση των κινητών τερματικών και τη δρομολόγηση των εισερχόμενων κλήσεων στα κινητά και πραγματοποιείται από τη διαχείριση κινητικότητας. ¶

Στις προδιαγραφές ¶3GPP, η κινητικότητα διαιρείται σε τέσσερις κατηγορίες: ¶

1. Κινητικότητα διά-περιοχών (inter-domain): Η θ¶έση του χρήστη από την άποψη της περιοχής (CS)/υποσυστήματος (IP πολυμέσα) κατά τον χρόνο που εξυπηρετεί το χρήστη. ¶
2. CSCF (Call State Control Function) Περιαγωγή: Η θέση του χρήστη από την πλευρά του CSCF που εξυπηρετεί την συγκεκριμένη τον χρήστη. ¶Ο χρήστης μπορεί να είναι μέσα σε οποιοδήποτε ασύρματο ή σταθερό δίκτυο. ¶
3. ¶Αλλαγή Σημείου του Δικτύου της Σύνδεσης: Η ¶θέση του χρήστη από την πλευρά της διεύθυνσης στην οποία ο χρήστης μπορεί να βρεθεί, ανάλογα με τον τρόπο καταχώρησης. ¶Ο χρήστης μπορεί να είναι μέσα σε οποιοδήποτε ασύρματο ή σταθερό δίκτυο. ¶



4. ¶Κινητικότητα Ασύρματης Πρόσβασης: ¶Διαχείριση θέσης και διαχείριση του τερματικού που συνδέεται με τις αλλαγές στο RA/LA σε ένα σύστημα ή τις αλλαγές στην κυψέλη και στο RNC εντός της RA/LA. ¶

Η κινητικότητα ασύρματης πρόσβασης μπορεί να αναφέρεται ως "μικρο-κινητικότητα" σε αντιδιαστολή με τους άλλους τύπους κινητικότητας (μακρο-κινητικότητα), οι οποίοι ασκούν επίδραση στο υποσύστημα πολυμέσων IP. ¶

¶Οι διαδικασίες διαχείρισης κινητικότητας στην περιοχή UMTS PS υπηρεσιών είναι PS συνδέση, PS αποσύνδεση, ασφάλεια, ενημέρωση περιοχής δρομολόγησης, ενημέρωση θέσης, ενεργοποίηση πλαισίου PDP και διαδικασίες απενεργοποίησης πλαισίου PDP. ¶

¶ΤοΤΤο UMTS αναμένεται να είναι συμβατό με το GSM για λόγους περιαγωγής και διαπομπής. ¶Το Δίκτυο Κορμού καλύπτει δύο περιοχές, μια περιοχή του PSTN/ISDN και μια περιοχή IP. ¶Τα ακόλουθα σημεία εξακολουθούν να ισχύουν: ¶

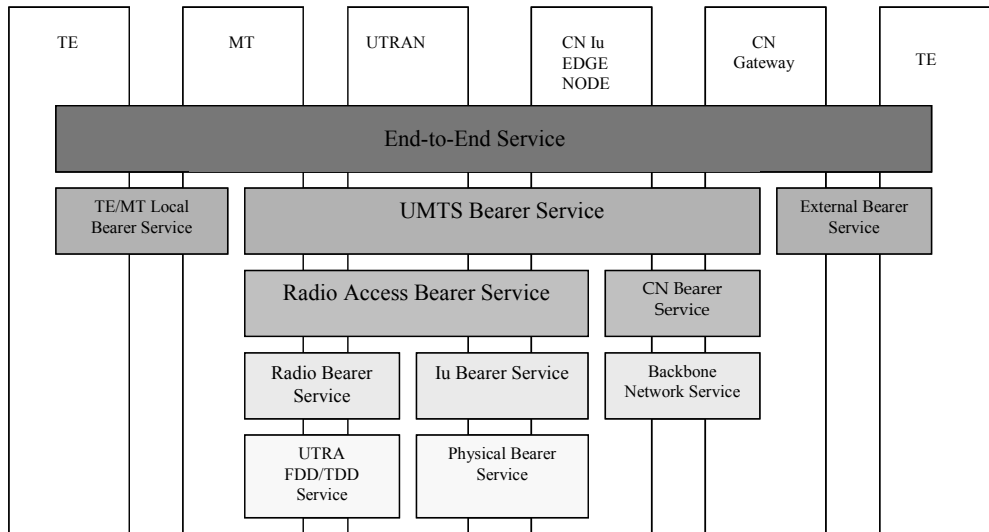
- Η ¶IMSI θα χρησιμοποιηθεί ως κοινή ταυτότητα χρηστών στις δύο περιοχές CB
- ¶ΗΗΗ κοινή MAP σηματοδότηση θα εφαρμοστεί και στο GSM και στο UMTS. ¶Οι GSM MAP κινητές υπηρεσίες θα εξελιχθούν και θα επαναχρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο. ¶
- ¶Οι παράμετροι ραδιοδικτύου και η διαχείριση πόρων πρέπει να απομονωθούν στο UTRAN. ¶

#### 4.2.2 ¶Αρχιτεκτονική QoS στο UMTS ¶

Το QoS μοντέλο που υιοθετήθηκε στο UMTS επιλέχθηκε για να είναι ανεξάρτητο από τους μηχανισμούς QoS που αναπτύχθηκαν στα εξωτερικά δίκτυα, εντούτοις η συνεχής ολοκλήρωση με άλλα υπάρχοντα QoS σχήματα είναι προφανώς μια από τις κύριες απαιτήσεις του. ¶

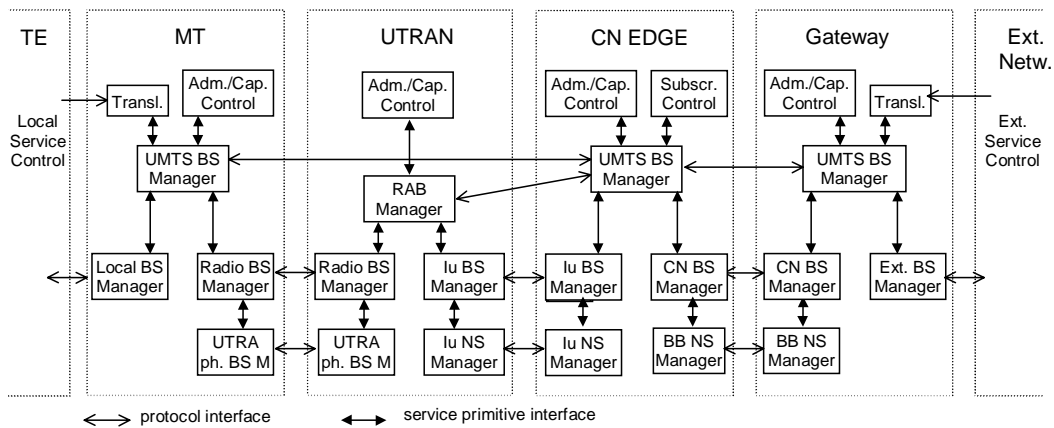
¶Τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσίας καθορίστηκαν στο UMTS Release '99 : conversational, streaming, interactive and best-effort, που διαφέρουν κυρίως στην ανοχή καθυστέρησης και προσδιορίζονται από μια σειρά παραμέτρων τα οποία καλούνται χαρακτηριστικά (attributes).

Το πλήρες σύνολο των μηχανισμών του UMTS δικτύου που επικαλούνται προκειμένου να παρασχεθεί συνεπές QoS σε έναν χρήστη μιας υπηρεσίας UMTS δικτύου συνοψίζεται στο όρο UMTS φέρον (UMTS Bearer) και περιλαμβάνει λειτουργίες των επιπέδων χρήστη, σηματοδότησης και τη διαχείρισης. ¶Το UMTS χαρακτηρίζει μια αρχιτεκτονική επιπέδων φερόντων με τα υψηλότερου επιπέδου φέροντα να αναλύονται σε αντίστοιχους χαμηλότερου επιπέδου. ¶Οι δομικές μονάδες της αρχιτεκτονικής UMTS QoS παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. ¶Οι λειτουργίες διαχείρισης QoS στο UMTS είναι χωρισμένες σε δύο επίπεδα: ¶το επίπεδο δεδομένων (data-plane) και το επίπεδο ελέγχου (control plane).



Εικόνα 4-4: Αρχιτεκτονική UTRAN

#### 4.2.2.1 Λειτουργίες Επιπέδου Ελέγχου



Εικόνα 4-5: Αρχιτεκτονική Διαχείρισης QoS στο επίπεδο ελέγχου ¶

#### Διαχειριστής Υπηρεσίας (Service manager) ¶

Ο Διαχειριστής Υπηρεσίας έχει την ευθύνη της διασύνδεσης των λειτουργιών επιπέδου ελέγχου με τις λειτουργίες του επιπέδου χρήστη (παροχή χαρακτηριστικών/παραμέτρων στις τελευταίες), διασυνδέει τους διαχειριστές υπηρεσίας με άλλους κόμβους και συντονίζει τις λειτουργίες στρώματος έλεγχου (control-layer) για την παροχή της συγκεκριμένης υπηρεσίας. ¶

#### Λειτουργία Μετασχηματισμού (Translation function)

¶

Αυτή εμφανίζεται όπου πραγματοποιείται η αντιστοίχιση (mapping) των μηνυμάτων ελέγχου (control messages) οποιωνδήποτε υπηρεσιών εξωτερικού δικτύου (π.χ. μηνύματα RESV) στα UMTS- μηνύματα ελέγχου. ¶ Αυτή η λειτουργία είναι το ανάλογο της λειτουργίας αντιστοίχισης στο επίπεδο δεδομένων. ¶

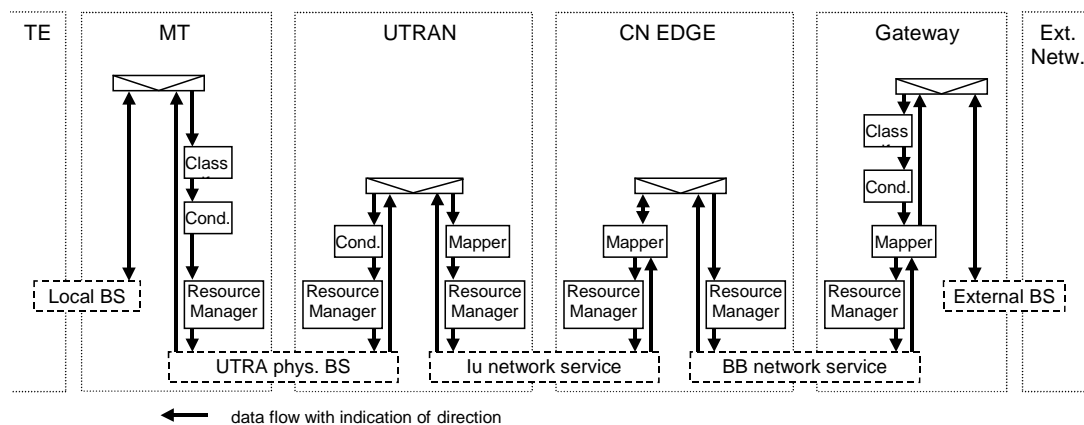
#### Έλεγχος αποδοχής/υποστήριξης (Admission/capability control) ¶

Είναι αρμόδιος για την λήψη απόφασης εάν μια συγκεκριμένη υπηρεσία UMTS φέροντος μπορεί να παρασχεθεί από το δίκτυο UMTS, βασισμένος στις πληροφορίες που έχει (ή μπορεί να έχει πρόσβαση) σχετικά με τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου. Εντούτοις, η απόφαση αποδοχής λαμβάνεται, συνυπολογίζοντας όχι μόνο τη διαθεσιμότητα των πόρων αλλά και τις πτυχές διαχείρισης. ¶ Αυτό αναφέρεται ως έλεγχος αποδοχής βασισμένος σε πολιτική. ¶ Ο έλεγχος αποδοχής σύνδεσης είναι προφανώς ένα μέρος αυτής της λειτουργίας. ¶

#### Λειτουργία ελέγχου συνδρομής (Subscription control function) ¶

Συμμετέχει στην λειτουργία ελέγχου αποδοχή/υποστήριξη με την παροχή των πληροφοριών διαχειριστικού χαρακτήρα σχετικά με το χρήστη μιας ζητούμενης υπηρεσίας φέροντος UMTS. ¶

#### 4.2.2.2 Λειτουργίες Επιπέδου Δεδομένων



Εικόνα 4-6: Αρχιτεκτονική διαχείρισης QoS στο επίπεδο δεδομένων (χρήστη)

#### Αντιστοίχιση (Mapping) ¶

Είναι αρμόδια για να καταγράφει κατάλληλα τα δεδομένα χρήστη σε κάθε κόμβο του συστήματος έτσι ώστε η επεξεργασία τους από τα διαφορετικά υπο-φέροντα (sub-bearers) στους διάφορους κόμβους συστήματος να αντιστοιχούν στη συμφωνηθείσα συνολική άκρη-σε-άκρη (end-to-end) υπηρεσία φέροντος UMTS. ¶

### **Ταξινόμηση πακέτων (Packet classification)**

Πραγματοποιείται άκρη-σε-άκρη, στην άκρη του δικτύου UMTS, δηλαδή είναι μια φορά στο MS και μια φορά στο GGSN. Στηρίζεται στις πληροφορίες που φέρονται στις κεφαλίδες δεδομένων (data headers), περνά τα πακέτα των εξωτερικών φερόντων (π.χ. IntServ guaranteed ή υπηρεσίες ελεγχόμενου φορτίου, DiffServ Assured services) στις αντίστοιχες υπηρεσίες φέροντος UMTS. Χρησιμοποιεί το αποτέλεσμα της λειτουργίας μετασχηματισμού στο επίπεδο ελέγχου.

### **Διαχειριστής πόρων (Resource manager)**

Είναι αρμόδιος για τη διαχείριση/κατανομή των πόρων δικτύου. Ανάλογα με τη θέση του, οι πόροι υπό τον έλεγχο του μπορούν να ποικίλουν: εύρος ζώνης, ενταμιευτές ή - στην περίπτωση του ραδιο δικτύου πρόσβασης - ισχύς τερματικού χρήστη. Οι στόχοι του εξετάζονται περαιτέρω, στο πλαίσιο της γενικότερης διαδικασίας διαχείρισης πόρων.

### **Ρύθμιση κίνησης (Traffic conditioning)**

Ο στόχος της είναι να επιβάλει την προσαρμογή σε ένα προκαθορισμένο ρυθμό μετάδοσης, το οποίο συμφωνήθηκε μεταξύ του χρήστη και του δικτύου στο πλαίσιο της αίτησης σύνδεσης (σημειώνεται ότι και οι 4 κατηγορίες QoS πρέπει να παρέχουν στον ελεγκτή πόρων ένα ανώτερο όριο στο απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης).

Ο θεμελιώδης αλγόριθμος για την εφαρμογή του ρυθμιστή είναι ο αλγόριθμος του κάδου με σκυτάλες (token bucket algorithm), που είναι γνωστός καλά στις κοινότητες ATM και IETF. Ο κάδος γεμίζει με σκυτάλες ενός συγκεκριμένου μεγέθους και ενός συγκεκριμένου ρυθμού  $\rho$  υποκείμενος στον περιορισμό ότι το περιεχόμενό του δεν μπορεί να υπερβεί ένα μέγιστο αριθμό σκυταλών  $\beta$  οποιαδήποτε στιγμή. Οι σκυτάλες καταναλώνονται από το χρήστη οποτεδήποτε στέλνει πακέτα και ο αλγόριθμος εγγυάται ότι το ποσό των μεταδιδόμενων δεδομένων από το χρήστη δεν θα υπερβεί την ποσότητα  $\rho \cdot T + \beta$ , μέσα σε οποιοδήποτε διάστημα μέτρησης  $T$ .

Η κατηγορία υπηρεσίας που θα μεταφέρει την κίνηση του χρήστη καθώς επίσης και την αξία των χαρακτηριστικών της κατηγορίας καθορίζεται για κάθε πλαίσιο PDP σχετικό με το MS. Μια από τις σημαντικότερες εμπλουτίσεις του UMTS σε σύγκριση με GPRS phase 1 ήταν ότι επέτρεψε τη διανομή των πολλαπλών πλαισίων PDP ανά διεύθυνση IP, έτσι ώστε οι ροές με διαφορετικές απαιτήσεις QoS μπορούν να αντιμετωπιστούν διαφορετικά και μέσα στο (QoS ενήμερο) μέρος του δικτύου UMTS και του εξωτερικού δικτύου, υπό τον όρο ότι υπάρχουν ικανοποιητικοί μηχανισμοί αντιστοίχισης στα σύνορα των δικτύων (GGSN).

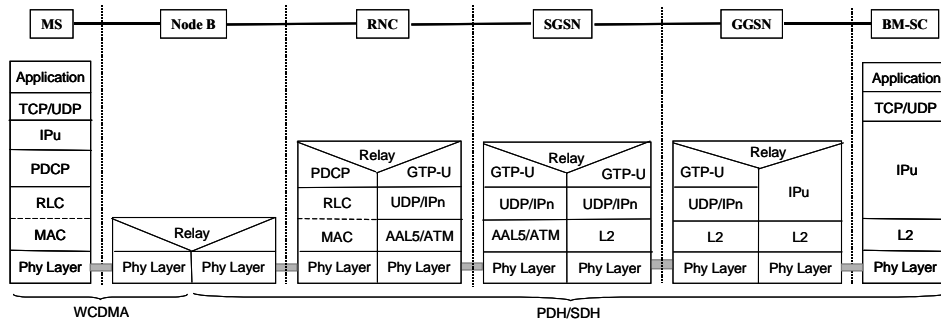
## **4.3 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων**

Τα πρωτόκολλα επιπέδου χρήστη και επιπέδου ελέγχου για τα επίγεια και δορυφορικά μέρη παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Μια συνοπτική εισαγωγή για κάθε

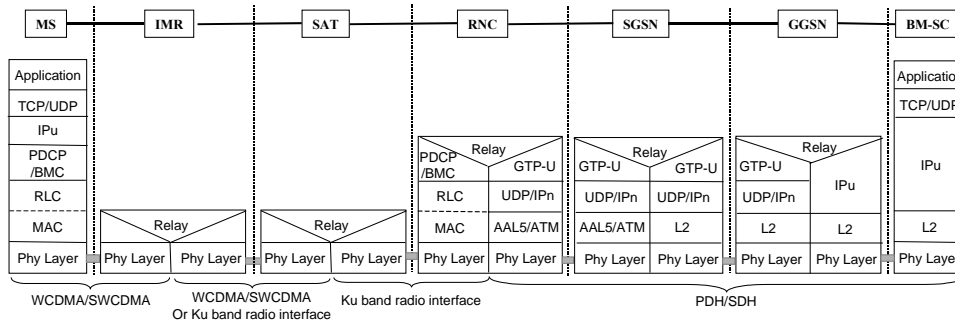
στρώμα πρωτοκόλλου που περιλαμβάνεται στο επιπέδου χρήστη και επιπέδου ελέγχου δίνεται στη συνέχεια.

#### 4.3.1.1 Επίπεδο Χρήστη (User Plane)

- **GPRS Tunnelling Protocol για το χρήστη (GTP-U)** : Αυτό το πρωτόκολλο «σηραγγοποιεί» τα δεδομένα χρηστών μεταξύ UTRAN και του SGSN, και μεταξύ των GSNs στο δίκτυο κορμού (backbone network). Το GTP θα ενθυλακώνει όλα τα PDP PDUs.
- **UDP/IP**: Αυτά είναι τα πρωτόκολλα δικτύου κορμού (backbone network protocols) που χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση των δεδομένων χρηστών και της σηματοδότησης ελέγχου.
- **Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode - ATM)**: Οι πληροφορίες που πρέπει να μεταδοθούν διαιρούνται σε κελιά (cells) καθορισμένου μεγέθους (53 octets), πολυπλέκονται και μεταδίδονται. .
- **Στρώμα Προσαρμογής του ATM (ATM Adaptation Layer 5 -AAL5)**: Αυτό το πρωτόκολλο στρώματος προσαρμογής παρέχει την υποστήριξη για τις προσανατολισμένες προς τη σύνδεση ή χωρίς σύνδεση υπηρεσίες δεδομένων μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης.
- **Πρωτόκολλο σύγκλισης πακέτων δεδομένων (Packet Data Convergence Protocol PDCP)**: Αυτή η λειτουργία μετάδοσης αντιστοιχεί τα υψηλότερου επιπέδου χαρακτηριστικά επάνω στα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων ασύρματων διεπαφών. Το PDCP παρέχει τη διαφάνεια πρωτοκόλλου για τα πρωτόκολλα υψηλός-στρώματος. Το PDCP υποστηρίζει π.χ. IPv4, PPP και IPv6. Η εισαγωγή των νέων πρωτοκόλλων υψηλού-στρώματος θα είναι δυνατή χωρίς αλλαγές στα πρωτόκολλα ασύρματων διεπαφών. Το PDCP παρέχει τη συμπίεση πληροφοριών ελέγχου πρωτοκόλλου.
- **Έλεγχος Ασύρματων Ζεύξεων (Radio Link Control - RLC)**: Το πρωτόκολλο RLC παρέχει το λογικό έλεγχο ζεύξης της ασύρματης διεπαφής. Μπορούν να υπάρξουν διάφορες ταυτόχρονες ζεύξεις RLC ανά MS. Κάθε σύνδεση προσδιορίζεται από μια ταυτότητα Bearer Id.
- **Έλεγχος Πρόσβασης στο Μέσο (Medium Access Control - MAC)**: Το πρωτόκολλο MAC ελέγχει σηματοδοσία πρόσβασης (request και grant) διαδικασίες για το φυσικό κανάλι.



Εικόνα 4-7: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου επιπέδου χρήστη για το επίγειο μέρος (T-UMTS)

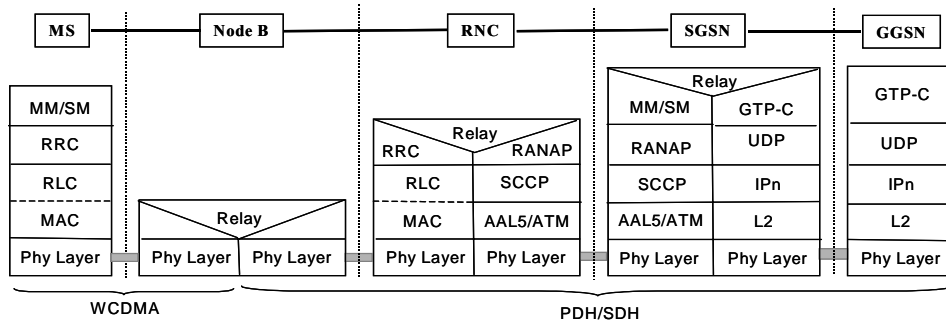


Εικόνα 4-8: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου επιπέδου χρήστη για το δορυφορικό μέρος (S-UMTS)

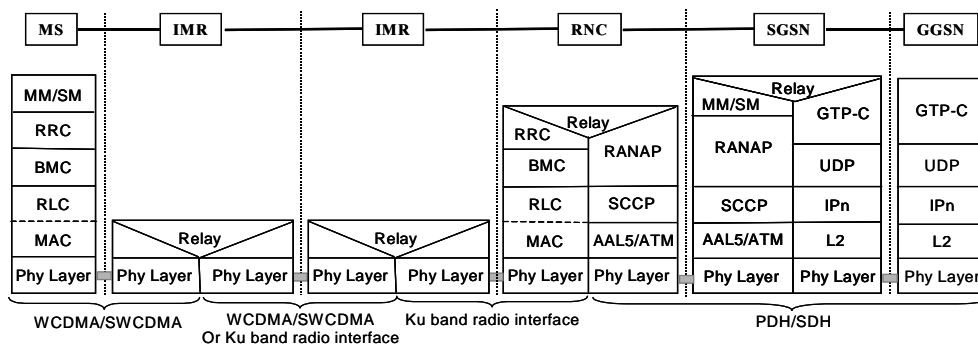
#### 4.3.1.2 Επίπεδο Ελέγχου (Control - Plane)

- **Πρωτόκολλο Εφαρμογών Ασύρματου Δικτύου Πρόσβασης (Radio Access Network Application Protocol - RANAP):** Αυτό το πρωτόκολλο ενθυλακώνει και φέρει την σηματοδοσία υψηλότερων στρωμάτων, χειρίζεται τη σηματοδοσία μεταξύ του SGSN και της διεπαφής Iu και διαχειρίζεται τις GTP συνδέσεις στη διεπαφή Iu.
- **GPRS Tunnelling Protocol για το επίπεδο ελέγχου (GTP-C):** Αυτό το πρωτόκολλο συραγοποιεί τα μηνύματα σηματοδοσίας μεταξύ των SGSNs και των GGSNs (Gn), και μεταξύ των SGSNs στο δίκτυο κορμού (backbone network)(Gp).
- **Τμήμα Ελέγχου Σηματοδοσίας Συνδέσεων (Signalling Connection Control Part - SCCP):** Στηρίζεται στο πρωτόκολλο σηματοδοσίας SS7 για να προσφέρει νοημοσύνη (intelligence) για τις διάφορες ανάγκες σηματοδοσίας προσαρμοσμένες στις εφαρμογές.
- **Έλεγχος Φυσικών (Ασύρματων) Πόρων (Radio resource control - RRC):** Χειρίζεται τους φυσικούς πόρους του συστήματος και ελέγχει άλλες οντότητες πρωτοκόλλων χαμηλότερων στρωμάτων (PDCP, RLC, MAC, και φυσικό στρώμα (physical layer)).
- **Πρωτόκολλο Broadcast/Multicast Μετάδοσης (Broadcast Multicast Protocol - BMC):** Είναι πραγματικά μέρος του πρωτοκόλλου επιπέδου χρήστη. Ο

χρονοπρογραμματισμός πακέτων και η παράδοση του broadcast μηνύματος κυψέλης (cell broadcast message) στα UEs είναι ο κύριος στόχος αυτού του πρωτοκόλλου.



Εικόνα 4-9: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου επιπέδου ελέγχου για το επίγειο μέρος (T-UMTS)



Εικόνα 4-10: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου επιπέδου ελέγχου για το δορυφορικό μέρος (S-UMTS)

## 4.4 Πρωτόκολλο Προσπέλασης στο Μέσο Μετάδοσης

### Medium Access Control (MAC) Protocol

Το MAC είναι υπεύθυνο για μετάδοση των λογικών καναλιών (Logical Channels - LoCH) στα κατάλληλα κανάλια μεταφοράς (Transport Channels - TrCH). Το MAC παρέχει μια αποτελεσματική χρήση των TrCHs, βασισμένη στους στιγμιαίους ρυθμούς των πηγών κίνησης. Επιλέγει την κατάλληλη δομή μεταφοράς (Transport Format - TF) μέσα από ένα προσδιορισμένο σύνολο TFS (Transport Format Set) για κάθε ενεργό TrCH. Το TF επιλέγεται βάσει του συνόλου των συνδυασμών TF (Transport Format Combination Set - TFCS) το οποίο αναγνωρίζεται από το RRC πρωτόκολλο και παράγεται από τον έλεγχο αποδοχής κλήσης (Admission Control - AC) στο RNC όταν το RAB (Radio Access Bearer) εγκαθίσταται και τροποποιείται.

Η λειτουργικότητα του Στρώματος MAC περιλαμβάνει τον χειρισμό προτεραιοτήτων μεταξύ των ροών δεδομένων μιας σύνδεσης, χειρισμό προτεραιοτήτων μεταξύ UE(s) υπό την έννοια δυναμικού προγραμματισμού εκπομπής και αναγνώρισης των UEs σε κοινά κανάλια μεταφοράς. Το MAC υποστηρίζει λειτουργίες πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας των Λογικών Καναλιών (Logical Channels - LoCHs) από και προς τα κοινά κανάλια (Common Channels - CCHs), καθώς επίσης των LoCHs στα Αποκλειστικά Κανάλια (Dedicated Channels). Το MAC είναι επίσης υπεύθυνο για την μέτρηση της έντασης της κίνησης στα LoCHs, και αναφέρεται στο RRC βασισμένο όπως λόγου χάρη αποφάσεις για την μεταγωγή των TrCHs, εκτέλεση μεταγωγής μεταξύ CCHs και DCHs, κρυπτογράφηση.

Το Στρώμα MAC αποτελείται από τρεις διαφορετικές οντότητες :

- **MAC-b**

Είναι υπεύθυνο για τον χειρισμό του καναλιού BCH.

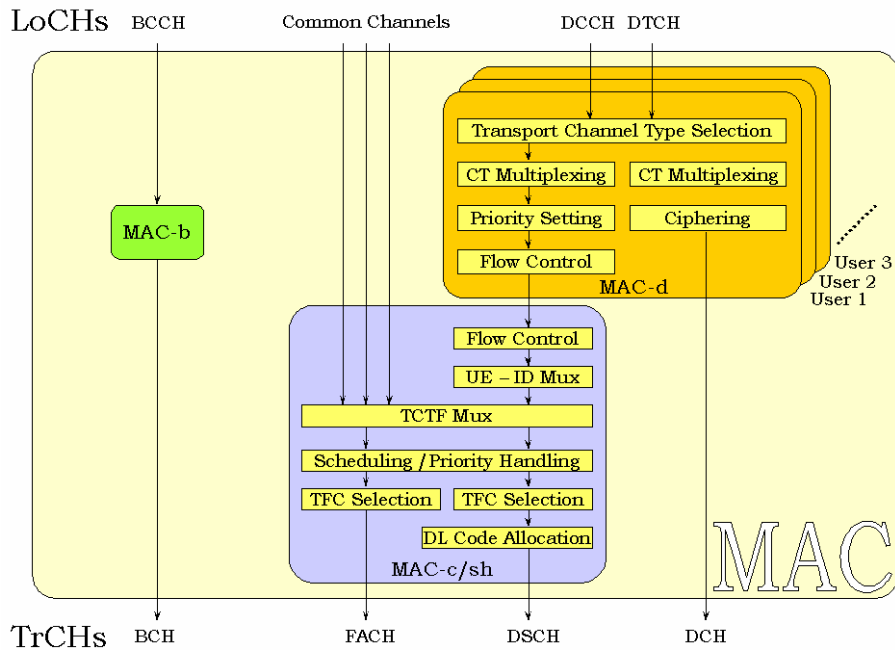
- **MAC-c/sh**

Ελέγχεται η πρόσβαση στα κανάλια FACH και DSCH.

- **MAC-d**

Ελέγχεται η πρόσβαση στα κανάλια DCHs.





Εικόνα 4-11: Πρωτόκολλο MAC

#### 4.5 Στρώμα Ελέγχου Ασύρματης Ζεύξης

##### Radio Link Control Protocol (RLC)

Το RLC πρωτόκολλο υποστηρίζει λειτουργίες τεμαχισμού/ανασύνθεσης (segmentation/reassembly) καθώς και επανεκπομπής (retransmission) μαζί δεδομένων χρήστη (Radio Bearer) και ελέγχου (Signalling Radio Bearer).

Κάθε στάδιο του RLC ελέγχεται από το RRC και λειτουργεί σε μια από τις παρακάτω τρεις καταστάσεις :

- **Transparent Mode (TM)**

Παρέχει απλή μετάδοση ροής δεδομένων ανώτερων στρωμάτων. Σε αυτή την κατάσταση καμία επιπρόσθετη κεφαλή πρωτοκόλλου δεν προσαρτάται στα δεδομένα ανώτερων στρωμάτων. Έτσι, το μέγεθος RLC-PDU είναι ίσο με το μέγεθος UMT Bearer SDU. Εν τούτοις απλός τεμαχισμός μπορεί να υλοποιηθεί. Εάν συμβεί λάθος κατά την μετάδοση δεν είναι δυνατή αναμετάδοση. Έτσι, γίνεται μετάδοση PDUs ανώτερων στρωμάτων χωρίς καμία εγγύηση. Το TM είναι κατάλληλο για υπηρεσίες ευαίσθητες στην καθυστέρηση οι οποίες δεν απαιτούν αναμετάδοση, έτσι το TM είναι πιο αποτελεσματικό.

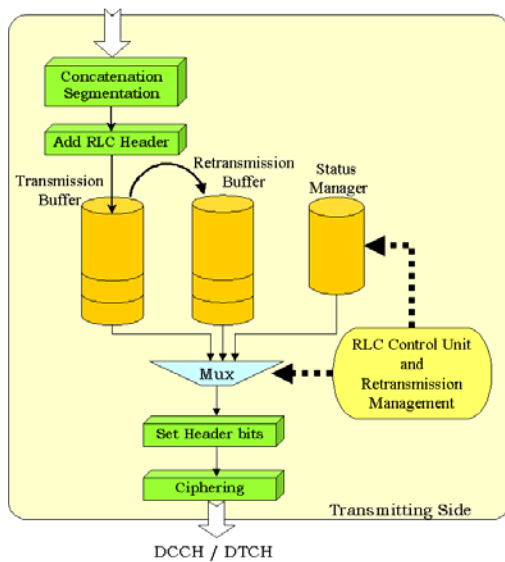
- **Unacknowledgement Mode (UM)**

Σε αυτή την κατάσταση, κανένα πρωτόκολλο αναμετάδοσης δεν χρησιμοποιείται και η παράδοση των δεδομένων δεν είναι εγγυημένη. Το UM παρέχει μια αναξιόπιστη ζεύξη. Χρησιμοποιείται για υπηρεσίες στις οποίες η αναμετάδοση είναι μέρος του ανώτερου στρώματος ή για υπηρεσίες ευρείας εκπομπής

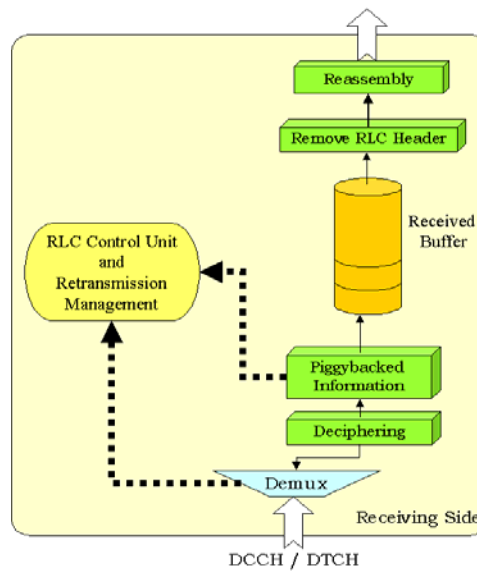
- **Acknowledgement Mode (AM)**

Σε αυτή την κατάσταση ο μηχανισμός αυτόματης αίτησης για επανάληψη (Automatic Repeat Request - ARQ) χρησιμοποιείται για διόρθωση λαθών. Χρησιμοποιείται για υπηρεσίες οι οποίες δεν είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση όπως η κίνηση Interactive και Background. Το AM παρέχει αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων.

Για όλες τις καταστάσεις, χρησιμοποιείται η ανίχνευση λαθών με CRC εκτελείται στο φυσικό στρώμα και το αποτέλεσμα του CRC παραδίδεται στο RLC μαζί με τα υπόλοιπα δεδομένα.



Εικόνα 4-12: Λειτουργίες RLC για την κάτω ζεύξη



Εικόνα 4-13: Λειτουργίες RLC για την κάτω ζεύξη

## 4.6 Πρωτόκολλο Σύγκλισης Πακέτων Δεδομένων

### Packet Data Convergence Protocol – PDCP

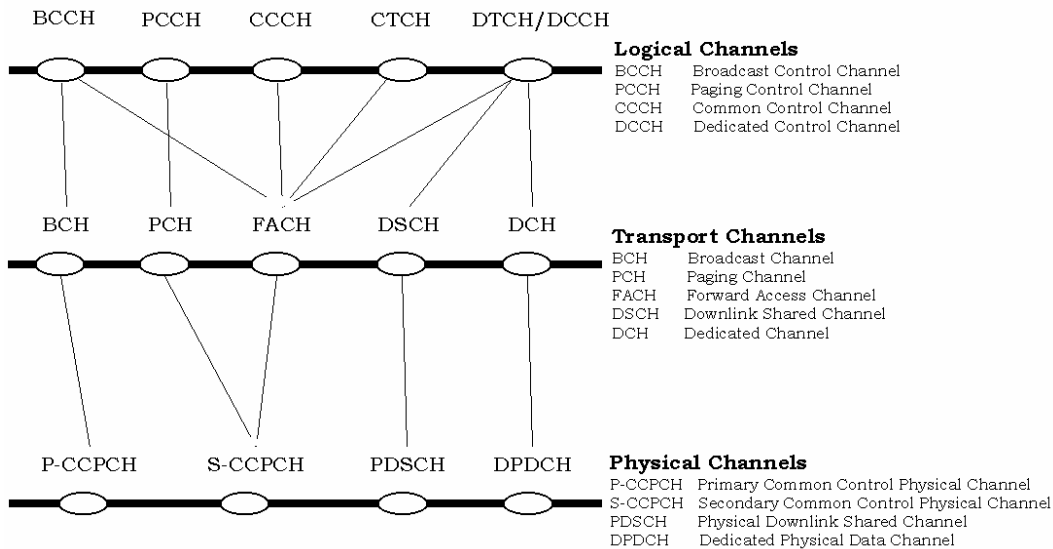
Το πρωτόκολλο αυτό υπάρχει μόνο στο επίπεδο του χρήστη (UE plane) και μόνο για τις υπηρεσίες της περίπτωσης μεταγωγής πακέτων (PS domain). Η κύρια λειτουργία του πρωτοκόλλου αυτού είναι η συμπίεση των πληροφοριών ελέγχου των ανωτέρων στρωμάτων (π.χ. TCP-UDP/IP επικεφαλίδες των πακέτων) στην οντότητα εκπομπής και κατόπιν η αποσυμπίεση αυτών στην οντότητα του δέκτη.

## 4.7 Λογικά Κανάλια – Logical Channels

Οι υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων στο Στρώμα MAC υποστηρίζονται στα LoCHs. Ο τύπος της μεταφερόμενης πληροφορίας ορίζει τον κάθε τύπο LoCH. Μια γενική ταξινόμηση των LoCHs είναι αυτή των δυο ομάδων : τα κανάλια ελέγχου (control channels) και τα κανάλια κίνησης (traffic channels). Τα κανάλια ελέγχου χρησιμοποιούνται για την μεταφορά πληροφορίας επιπέδου ελέγχου (control plane information) και τα κανάλια κίνησης μόνο για την μεταφορά πληροφορίας επιπέδου χρήστη (user plane information).

<b>Λογικά Κανάλια</b> <b>Logical Channels</b>	<b>Κανάλια Ελέγχου – Control Channels</b>
	Broadcast Control Channel – BCCH
	Paging Control Channel – PCCH
	Common Control Channel – CCCH
	Dedicated Control Channel – DCCH
<b>Κανάλια Κίνησης – Traffic Channels</b>	
Dedicated Traffic Channel – DTCH	
Common Traffic Channel – CTCH	

Πίνακας 4-1: Λογικά Κανάλια Ελέγχου και Κίνησης



Εικόνα 4-14: Αντιστοιχισή των LoCHs σε TrCHs και των TrCHs σε PhCHs.

#### 4.8 Κανάλια Μεταφοράς – Transport Channels

#### 4.9 Χαρακτηριστικά Καναλιών Μεταφοράς

Για να γίνει κατανοητή η μορφοποίηση των καναλιών μεταφοράς καθώς και ο τρόπος παρουσίασης και ελέγχου αυτών στο Επίπεδο 1 (Layer 1 – L1) θα πρέπει να εισαχθούν κάποιοι γενικοί ορισμοί και όροι, θεμελιώδεις για όλους τους τύπους των Καναλιών Μεταφοράς – Transport Channels (TrCHs).

- **Τμήμα Μεταφοράς – Transport Block (TB)**

Είναι η βασική μονάδα η οποία ανταλλάσσεται μεταξύ του L1 και MAC για την επεξεργασία L1. Ένα TB αντιστοιχεί με ένα RLC-PDU ή με μια αντιστοιχική μονάδα. Το L1 προσθέτει ένα τμήμα CRC σε κάθε TB.

- **Σύνολο Τμημάτων Μεταφοράς – Transport Block Set (TBS)**

Ορίζεται ως το σύνολο TB τα οποία ανταλλάσσονται μεταξύ L1 και MAC την ίδια χρονική στιγμή, χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι μεταφοράς.

- **Μέγεθος Τμήματος Μεταφοράς – Transport Block Size**

Ορίζεται ως το πλήθος των bits σε ένα TB και είναι πάντα σταθερό σε ένα TBS, για παράδειγμα όλα τα TB σε ένα TBS έχουν το ίδιο μέγεθος.

- **Χρονικό Διάστημα Μετάδοσης – Transmission Time Interval (TTI)**

Ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών αφίξεων TBS και είναι ίσο με την περίοδο στην οποία ένα TBS μεταφέρεται από το φυσικό στρώμα στην ασύρματη διεπαφή. Είναι πάντα πολλαπλάσιο της ελάχιστης περιόδου, 10ms το μήκος ενός ράδιο πλαισίου (radio frame).

- **Δομή Μεταφοράς – Transport Format (TF)**

Είναι η δομή η οποία προσφέρεται από το L1 στο MAC, και αντίστροφα, για την παράδοση ενός TBS κατά την διάρκεια ενός TTI σε ένα δομημένο κανάλι μεταφοράς (TrCH). Αποτελείται από ένα δυναμικό μέρος (Μέγεθος TB , μέγεθος TBS) και από ένα ημιστατικό τμήμα (TTI, τύπος προστασίας λαθών [turbo κώδικας, συνελλικτικός κώδικας ή μη κωδικοποίηση καναλιού], ρυθμός κώδικα, στατική RM παράμετρος, μέγεθος CRC). Ένα κενό TF ορίζεται ως ένα TF του οποίου το μέγεθος του TBS είναι ίσο με μηδέν.

- **Σύνολο Δομών Μεταφοράς – Transport Format Set (TFS)**

Είναι ένα σύνολο από TF το οποίο σχετίζεται με το κανάλι μεταφοράς TrCH. Τα ημιστατικά μέρη του TFS είναι τα ίδια με αυτά του TBS. Το μέγεθος το TB, το μέγεθος του TBS και το TTI καθορίζουν τον ρυθμό bit στο TrCH. Ανάλογα με τον τύπο της υπηρεσίας η οποία μεταφέρεται από το TrCH, ο μεταβλητός ρυθμός bit μπορεί να πετυχαίνεται είτε με την αλλαγή των μεταξύ τους TTI είτε με το μέγεθος του TBS μόνο, είτε μαζί του μεγέθους TB και του TBS.

- **Συνδυασμός Δομών Μεταφοράς – Transport Format Combination (TFC)**

Είναι ένας εξουσιοδοτημένος συνδυασμός των τρεχόντων ισχυόντων TF τα οποία μπορούν να παραδοθούν στο L1 σε ένα κωδικοποιημένο σύνθετο κανάλι CCTrCH του τερματικού του χρήστη UE.

- **Σύνολο Συνδυασμών Δομών Μεταφοράς – Transport Format Combination Set (TFCS)**

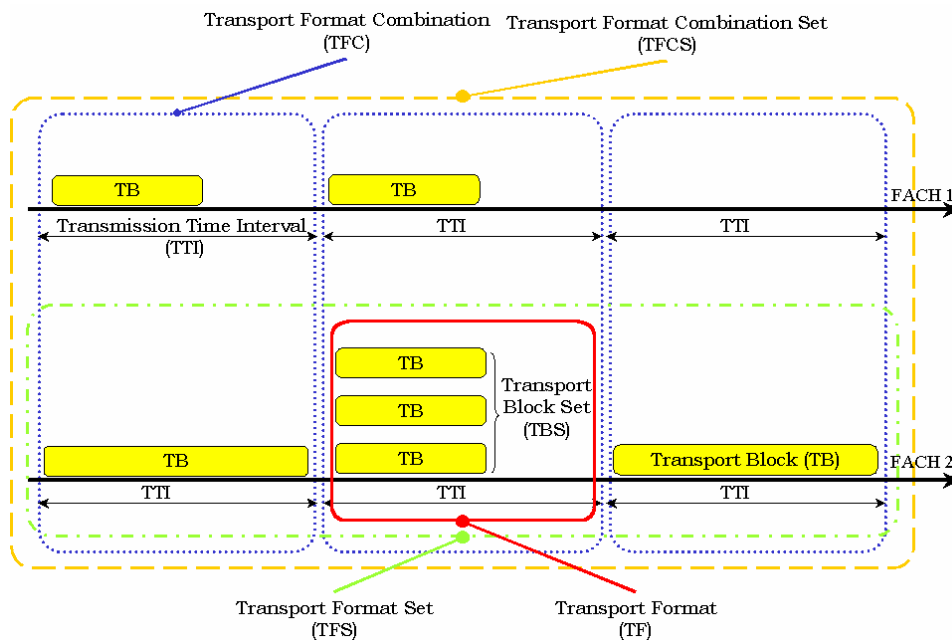
Ορίζεται ως ένα σύνολο από TFC και παράγεται με κατάλληλο αλγόριθμο στον Ελεγκτή Ασύρματου Δικτύου RNC. Το TFCS είναι τι παραδίδεται στο MAC από το L3 με σκοπό τον έλεγχο. Όταν δομούνται τα δεδομένα στο L1, το MAC επιλέγει μεταξύ των διαφορετικών συνδυασμών TFC οι οποίοι βρίσκονται στο TFCS. Το MAC έχει τον έλεγχο μόνο στο δυναμικό μέρος του TFC, αφού το ημιστατικό μέρος αντιστοιχεί στα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας (ποιότητα, καθυστέρηση μεταφοράς) τα οποία καθορίζονται από τον Ελεγκτή Αποδοχής Σύνδεσης CAC στο RNC. Η επιλογή του των TFC φαίνεται να είναι το γρήγορο μέρος του ελέγχου φυσικών πόρων το οποίο εντοπίζεται στο MAC, κοντά στο L1.

- **Δείκτης Δομής Μεταφοράς – Transport Format Indicator (TFI)**

Αποτελεί μια ετικέτα για ένα συγκεκριμένο TF σε ένα TFS. Χρησιμοποιείται για την διαστρωματική επικοινωνία μεταξύ του MAC και του L1, κάθε φορά όταν ένα TBS ανταλλάσσεται μεταξύ των δυο στρωμάτων σε ένα κανάλι μεταφοράς.

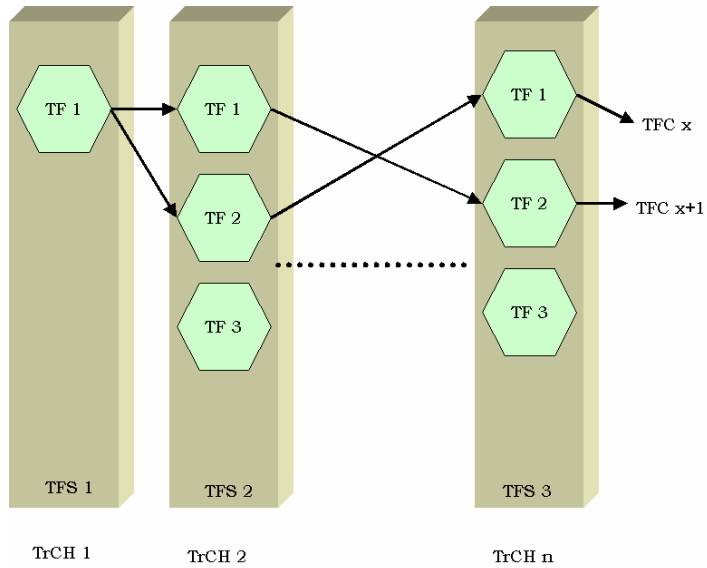
- **Δείκτης Συνδυασμού Δομών Μεταφοράς – Transport Format Combination Indicator (TFCI)**

Χρησιμοποιείται για να ενημερώσει την πλευρά του δέκτη για την συγκεκριμένη τιμή του TFC. Έτσι, ακολουθεί η αποκωδικοποίηση, η αποπολυπλεξία και η μεταφορά των ληφθέντων δεδομένων στο MAC στα κατάλληλα κανάλια μεταφοράς TrCHs. Το MAC δηλώνει το TFI στο L1 σε κάθε παράδοση των TBS σε κάθε TrCH. Κατόπιν, το L1 συμπληρώνει το TFCI από τις τιμές των TFI όλων των παράλληλων καναλιών TrCHs του UE, επεξεργάζεται τα TB και προσαρτίζει κατάλληλα το TFCI στην σηματοδότηση ελέγχου φυσικού στρώματος.



Εικόνα 4-15: Μορφοποίηση των καναλιών μεταφοράς

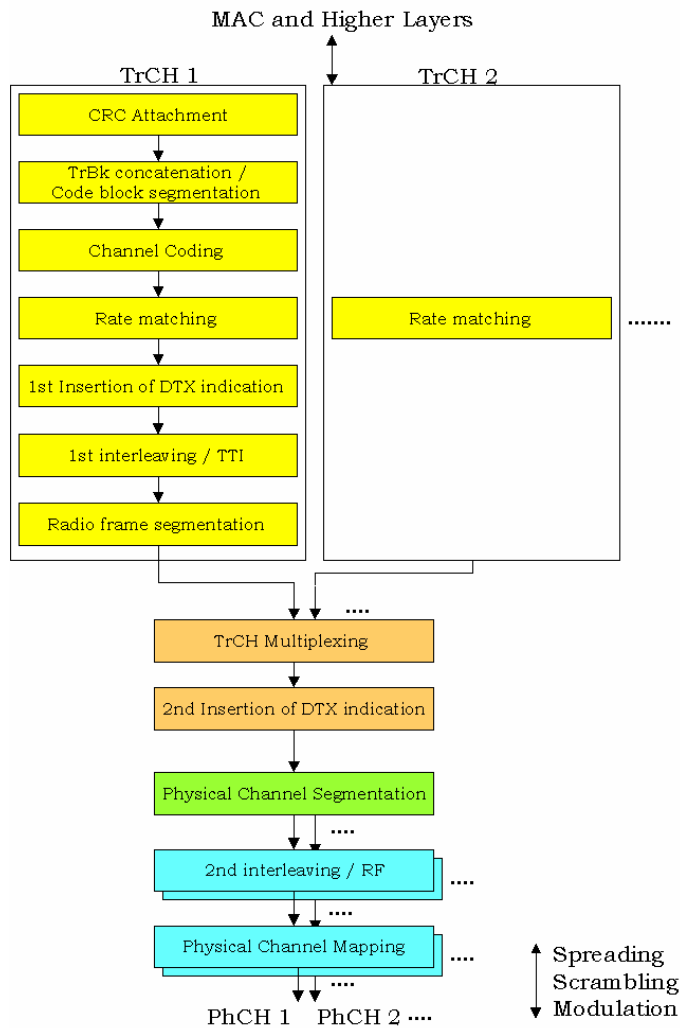
Το TFCS μπορεί να εξαχθεί ως το καρτεσιανό γινόμενο μεταξύ των TFSs των TrCHs τα οποία πολυπλέκονται σε ένα CCTrCH



Εικόνα 4-16: Εξαγωγή TFCs από το καρτεσιανό γινόμενο των TFSs των TrCHs

Η σχέση η οποία συνδέει μέγεθος TF, μέγεθος TB, μέγεθος CRC, RM και ρυθμό κώδικα CR είναι :

$$TF_{Size} = [TB_{Size} + CRC] \cdot CR \cdot RM \cdot N / (FramesPerTTI)$$



Εικόνα 4-17: Πολυπλεξία των καναλιών μεταφοράς σε φυσικά κανάλια.

#### 4.9.1 Αποκλειστικό Κανάλι Κάτω Ζεύξης

##### Downlink Dedicated Channel DCH

Το αποκλειστικό κανάλι κάτω ζεύξης (Downlink Dedicated Channel – Downlink DCH) μεταδίδεται στο Αποκλειστικό Φυσικό Κανάλι Κάτω Ζεύξης (*Downlink Dedicated Physical Channel – Downlink DPCH*). Το *DPCH* κάτω ζεύξης εφαρμόζει πολυπλεξία χρόνου για την πληροφορία φυσικού ελέγχου και την μετάδοση δεδομένων χρήστη. Από την 3GPP χρησιμοποιούνται οι όροι Αποκλειστικό Φυσικό Κανάλι Δεδομένων (*Dedicated Physical Data Channel – DPDCH*) και Αποκλειστικό Φυσικό Κανάλι Ελέγχου (*Dedicated Physical Control Channel – DPCCH*).



Ο παράγοντας εξάπλωσης για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης καθορίζει τον κώδικα καναλιού που πρέπει να δεσμευτεί από το δοσμένο δένδρο κωδικών. Οι μετάδοση μεταβλητού ρυθμού μπορεί να υλοποιηθεί με δυο τρόπους :

- Στην περίπτωση όπου το TFCI δεν είναι παρόν, οι θέσεις των DPDCH bits είναι σταθερές. Από την στιγμή που ο παράγοντας εξάπλωσης είναι σταθερός, οι χαμηλότεροι ρυθμοί υλοποιούνται με την Ασυνεχής Μετάδοση (Discontinuous Transmission - DTX) ελέγχοντας την on/off μετάδοση. Ο ρυθμός μετάδοσης, στην περίπτωση περισσότερων του ενός εναλλακτικών, καθορίζεται από την Ανίχνευση Σχήματος Τυφλής Μεταφοράς (Blind Transport Format Detection – BTFD) το οποίο βασίζεται σε ένα οδηγό κανάλι μεταφοράς ή κανάλια που έχουν διαφορετικές θέσεις CRC για διαφορετικούς TFCs.
- Αν είναι διαθέσιμο το TFCI, αυτό είναι επίσης πιθανό να χρησιμοποιεί ευέλικτες θέσεις και εξαρτάται από το δίκτυο να επιλέξει ποια κατάσταση λειτουργίας θα χρησιμοποιήσει. Με ευέλικτες θέσεις είναι πιθανό να διατηρείται συνεχής μετάδοση και να υλοποιείται η DTX με επανάληψη των bits. Σε τέτοια περίπτωση, το πλαίσιο είναι πάντα συμπληρωμένο.

Στην κάτω ζεύξη οι παράγοντες εξάπλωσης κυμαίνονται από 4 έως 512, με κάποιους περιορισμούς στην χρήση του παράγοντα εξάπλωσης 512 (περίπτωση απλής διαπομπής).

#### **4.9.2 Μοιραζόμενο Κανάλι Κάτω Ζεύξης**

##### **Downlink Shared Channel DSCH**

Το Μοιραζόμενο Κανάλι Κάτω Ζεύξης (Downlink Shared Channel – DSCH) έχει καθορισθεί για να είναι πάντα συνδεδεμένο με ένα Αποκλειστικό Κανάλι Κάτω Ζεύξης (Downlink DCH). Το DCH προβλέπει ένδειξη προς το τερματικό πότε πρέπει να αποκωδικοποιήσει το DSCH και ποιον παράγοντα εξάπλωσης πρέπει να χρησιμοποιήσει για το despread. Για αυτή την ένδειξη υπάρχουν δυο επιλογές : είτε βάσει του TFCI βασισμένο σε πλαίσιο με πλαίσιο (frame-by-frame) είτε βάσει σηματοδοσίας ανωτέρου επιπέδου. Έτσι ο ρυθμός δεδομένων DSCH χωρίς κωδικοποίηση είναι απευθείας και ο ρυθμός του καναλιού για το DCH κάτω ζεύξης.

Με το DSCH ο χρήστης μπορεί να πετύχει διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων, για παράδειγμα 384kbps με SF=8 και 192kbps με SF=16. Ο ορισμός του DSCH δένδρου κωδικών επιτρέπει το μοίρασμα της χωρητικότητας του DSCH βασισμένου σε πλαίσιο με πλαίσιο. Το DSCH μπορεί να σχεδιαστεί και στην περίπτωση πολλών κωδικών εξίσου καλά.

Το φυσικό κανάλι που μεταφέρει το DSCH είναι Μοιραζόμενο Φυσικό Κανάλι Κάτω Ζεύξης (*Downlink Physical Shared Channel PDSCH*). Η χρονική σχέση του PDSCH με το σχετικό DPCH φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

#### **4.9.3 Forward Access Channel (FACH) για Μετάδοση Δεδομένων Χρήστη**

Το FACH μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση πακέτων δεδομένων του χρήστη. Το κανάλι αυτό τυπικά πολυπλέκεται με το κανάλι σελιδοποίησης στο ίδιο φυσικό κανάλι, αλλά μπορεί να υπάρξει και ως μοναδικό κανάλι. Η κύρια διαφορά με τα αποκλειστικά και τα μοιρασμένα κανάλια είναι ότι το FACH δεν επιτρέπει γρήγορο έλεγχο ισχύος και εφαρμόζει αργό έλεγχο ισχύος ή εντελώς καθόλου. Ο έλεγχος ισχύος για το FACH είναι επίσης τυπικά πολύ αργός ή ανύπαρκτος λόγω του γεγονότος ότι η μετάδοση των δεδομένων του FACH ελέγχεται από το RNC.

Κατά πόσο το FACH περιέχει πιλοτικά σύμβολα ή όχι αυτό εξαρτάται από το αν αυτό εφαρμόζει τεχνικές μορφοποίησης λοβού. Κανονικά το FACH δεν περιέχει πιλοτικά σύμβολα και οι δέκτες χρησιμοποιούν το κοινό πιλοτικό κανάλι ως αναφορά φάσης.

Καθώς το FACH πρέπει να ληφθεί από όλα τα τερματικά, το κύριο FACH δεν μπορεί να χρησιμοποιεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Αν υπήρχαν στην διάθεση υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης για δεδομένα από το FACH, αυτό θα απαιτούσε ένα ξεχωριστό φυσικό κανάλι όπου μόνο οι κωρητικότητες σε σχέση με τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων εκείνων των καναλιών που κατανεμήθηκαν σε εκείνο το κανάλι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Το FACH έχει σταθερό παράγοντα εξάπλωσης και το εφεδρικό FACH για πολύ υψηλούς ρυθμούς δε βελτιστοποιείται από την πλευρά της πηγής κωδίκων, ειδικά όταν δεν μπορούν όλα τα τερματικά να αποκωδικοποιήσουν τα FACHs υψηλών ρυθμών.

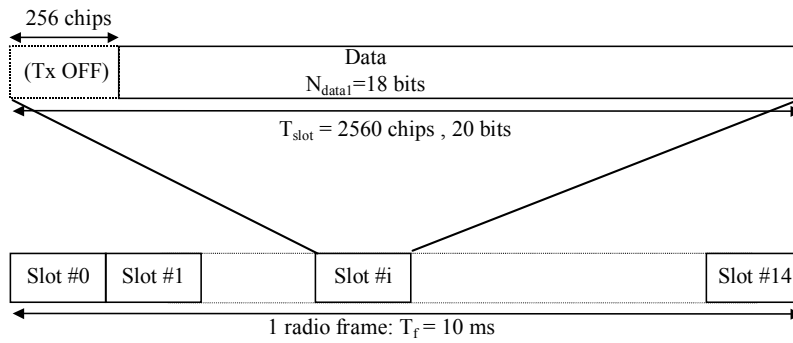
Τα κοινά κανάλια μεταφοράς Common Transport Channels που προορίζονται για μετάδοση δεδομένων με πακέτα στην κάτω ζεύξη είναι το DSCH και το FACH. Το DSCH μεταφέρεται από το φυσικό κανάλι PDSCH και το FACH από το S-CCPCH το οποίο περιγράφεται στη συνέχεια.

### **4.10 Φυσικά Κανάλια – Physical Channels**

#### **4.10.1 Κύριο Κοινό Φυσικό Κανάλι Ελέγχου**

##### **Primary Common Control Physical Channel (P-CCPCH)**

Το P-CCPCH είναι το φυσικό κανάλι το οποίο μεταφέρει το Κανάλι Ευρείας Εκπομπής (Broadcast Channel – BCH). Το P-CCPCH δεν περιέχει πληροφορία ελέγχου Επιπέδου 1 (Layer 1) και χρησιμοποιείται από όλους τους δέκτες της κυψέλης.



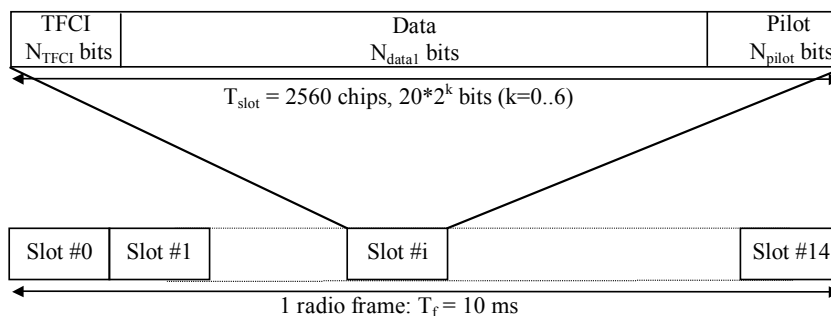
Εικόνα 4-18: Δομή Πλαισίου P-CCPCH

Ο ρυθμός του καναλιού είναι 30kbps με λόγο εξάπλωσης του μόνιμα δεσμευμένου κώδικα 256. Ο ολικός ρυθμός μειώνεται ακόμα περισσότερο στα 27kbps αφού το P-CCPCH εναλλάσσεται με το κανάλι συγχρονισμού SCH. Η κωδικοποίηση του καναλιού P-CCPCH είναι  $\frac{1}{2}$  ρυθμού συνελλικτικής κωδικοποίησης με χρονικό διάστημα 20ms ανά δυο διαδοχικά πλαίσια.

#### 4.10.2 Δευτερεύον Κοινό Φυσικό Κανάλι Ελέγχου

##### Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH)

Το S-CCPCH μεταφέρει δυο διαφορετικά Κοινά Κανάλια Μεταφοράς : το FACH και το PCH. Τα δυο κανάλια μπορούν να μοιραστούν ένα απλό S-CCPCH ή μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικά φυσικά κανάλια. Στην περίπτωση του απλού S-CCPCH υπάρχουν λιγότεροι βαθμοί ελευθερίας όσον αφορά του ρυθμούς δεδομένων, από την στιγμή που όλα τα τερματικά πρέπει να είναι ικανά να ανιχνεύουν το FACH και το PCH. Ωστόσο για τα επιπρόσθετα S-CCPCHs οι ρυθμοί δεδομένων μπορεί να κυμαίνονται περισσότερο, αφού τα τερματικά δεν είναι ικανά να αποδιαμορφώσουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων χρησιμοποιώντας άλλο S-CCPCH, χαμηλότερου ρυθμού.



Εικόνα 4-19: Δομή Πλαισίου P-CCPCH

Ο παράγοντας εξάπλωσης που χρησιμοποιείται στο S-CCPCH είναι σταθερός και καθορίζεται σύμφωνα με τον μέγιστο ρυθμό δεδομένων. Ο ρυθμός δεδομένων μπορεί να αλλάξει με το DTX ή με τις παραμέτρους καθορισμού ρυθμού, αλλά ο κώδικας του καναλιού δεσμεύεται σύμφωνα με τον μέγιστο ρυθμό δεδομένων.

Το S-CCPCH δεν περιέχει πληροφορία ελέγχου ισχύος και για τις άλλες πληροφορίες ελέγχου Επιπέδου 1 μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω συνδυασμοί :

- Χωρίς πιλοτικά σύμβολα και χωρίς πληροφορία ρυθμού (TFCI). Χρησιμοποιείται με FACH και PCH όταν ένα κανάλι θέλει να ανιχνευτεί από όλα τα τερματικά.
- Χωρίς πιλοτικά σύμβολα αλλά με πληροφορία ρυθμού TFCI. Χρησιμοποιείται τυπικά με FACH όταν ζητείται να χρησιμοποιηθεί FACH ή μετάδοση δεδομένων με μεταβλητή δομή μεταφοράς και μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων. Σε μια τέτοια περίπτωση οι μεταβλητοί ρυθμοί μετάδοσης υλοποιούνται με DTX ή επανεκπομπή.
- Πιλοτικά σύμβολα με ή χωρίς πληροφορία ρυθμού (TFCI).



## 5 Σενάρια αρχιτεκτονικής συστημάτων S-UMTS

Η διαλειτουργικότητα υπηρεσιών είναι μόνο ένα από τα διαφορετικά επίπεδα διαλειτουργικότητας που χαρακτηρίζουν την θέση του S-UMTS όσον αφορά το T-UMTS. Η διαλειτουργικότητα υπηρεσιών μεταξύ του επίγειου και δορυφορικού συστατικού μπορεί να προκύψει από τις διαφορετικές αρχιτεκτονικές εκθέτοντας τους διαφορετικούς βαθμούς ολοκλήρωσης μεταξύ των δύο συστημάτων με έναν άμεσο αντίκτυπο στο κόστος συστημάτων. Ιδανικά αυτή η διαλειτουργικότητα θα επεκτεινόταν στο επίπεδο τερματικού (terminal level), προκειμένου να γίνει το σύστημα S-UMTS περισσότερο «ελκυστικό» στον τελικό χρήστη. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορες πιθανές εκδόσεις S-UMTS με αναφορά - πάντα - το T-UMTS.

### 5.1 Στοιχεία συστήματος S-UMTS

Το S-UMTS αποτελείται, από τη γενική άποψη ενός δορυφορικού συστήματος, από ένα τμήμα χρήστη (user segment) και ένα τμήμα δικτύου (network segment). Το διαστημικό τμήμα αποτελείται από GEO δορυφόρο(ους) ή/και από ένα δίκτυο δορυφόρων non-GEO, με ή χωρίς διαδορυφορικές ζεύξεις. Το τμήμα χρήστη αποτελείται από τον εξοπλισμό χρήστη (User Equipment - UE) καλούμενο συχνά κινητό τερματικό (Mobile Terminal - MT). Το τμήμα δικτύου περιλαμβάνει το(τα) κέντρο(α) ελέγχου δικτύου (Network Control Center(s) - NCC), το σταθερό γήινο σταθμό (Fixed Earth Station(s) - FES) και τις εγκαταστάσεις επικοινωνίας μεταξύ των περιοχών. Το NCC παρέχει τις λειτουργίες χειρισμού σφαιμάτων, διαμόρφωση, απόδοση και ασφάλειας για τη διαχείριση του δικτύου και την διασύνδεση του(των) FES(s) με άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Επίσης, προβλέπεται η δορυφορική διαφορική λήψη.

Τα ακόλουθα στοιχεία που λαμβάνονται από τις προδιαγραφές 3GPP οι οποίες χρησιμοποιούνται για τους ορισμούς αρχιτεκτονικής σε αυτό το τμήμα:

1. **Ελεγκτής Ραδιοδικτύου (Radio Network Controller - RNC)**. Ελέγχει τους ασύρματους πόρους. Μπορεί να συνδυαστεί με το FES και είναι ισοδύναμο με τον ελεγκτή σταθμών βάσης (Base Station Controller BSC) του GSM
2. **Κόμβος B (Node B)**. Αυτός είναι ένας σταθμός βάσης ή ένα σύνολο σταθμών βάσης. Συνδυάζεται συνήθως με το FES. Η 3GPP προδιαγραφή απαιτεί για το σταθμό βάσης (Κόμβος B) να προσαρμόζεται για να αντιμετωπίζει τη μετακίνηση των δορυφόρων LEO. Η δυναμική κατανομή των δορυφορικών σημειακών δεσμών κάνει τη διεπαφή μεταξύ των Κόμβων B και του τερματικού χρηστών πιο σύνθετη απ'ό,τι στην επίγεια περίπτωση. Ο Κόμβος B είναι ισοδύναμος με το σταθμό πομποδεκτών βάσεων (Base Transceiver Station - BTS) του GSM

3. **Υποσύστημα Ραδιοδικτύου (RNS-Radio Network Subsystem).** Αυτό αποτελείται από ένα RNC και ένα Node B. Είναι ισοδύναμο με το υποσύστημα σταθμών βάσεων (Base Station Subsystem - BSS) του GSM και συνδυάζεται με το FES.

Εκτός από τα προηγούμενα στοιχεία, ένα **Κέντρο Ελέγχου Δικτύου (Network Control Centre - NCC)** έχει εισαχθεί προκειμένου να συντονιστεί η χρήση των δορυφορικών πόρων μεταξύ όλων των πυλών (gateways).

Οι διεπαφές περιγράφονται ως εξής:

1. Η διεπαφή **Iu (Iu interface)** είναι η διεπαφή μεταξύ του RNS και του κεντρικού δικτύου. Είναι ισοδύναμο με τη διεπαφή A (A interface) του GSM. Η διεπαφή Iu καθορίζεται ήδη για το επίγειο τμήμα του UMTS το οποίο μπορεί να μοιραστεί με το S-UMTS με τις ελάχιστες προσαρμογές όσον αφορά τις τρέχουσες προδιαγραφές
2. Η διεπαφή **Uu (Uu interface)** είναι η ασύρματη διεπαφή που βρίσκεται μεταξύ του τερματικού χρηστών και του δορυφόρου.

## 5.2 Κατηγορίες Συστημάτων

Οι αρχιτεκτονικές που θα αναλυθούν σε αυτό το τμήμα μπορούν να ταξινομηθούν κάτω από δύο κύριες κατηγορίες:

- **Προσανατολισμένη Κάλυψη:**
  - Άμεση πρόσβαση στο δορυφόρο
  - Έμμεση πρόσβαση στο δορυφόρο
- **Προσανατολισμένη Broadcast Μετάδοση:**
  - Άμεση δορυφορική λήψη
  - Έμμεση δορυφορική λήψη

Για κάθε δορυφορικό τύπο συστημάτων, περιγράφονται οι βασικές αρχές και παρουσιάζεται η σύνθεση του συστήματος. Θα γίνει μια προσπάθεια να προσδιοριστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε ενός από αυτά όσον αφορά τις απαιτήσεις.

### 5.2.1 Προσανατολισμένη Κάλυψη

Λόγω της μεγάλης κάλυψης που προσφέρεται από τους δορυφόρους, το S-UMTS μπορεί να συμπληρώσει το T-UMTS στους ακόλουθους τομείς:

- **Ολοκλήρωση της κάλυψης:** Η επίγεια επέκταση κινητών συστημάτων ελέγχεται κατά ένα μεγάλο μέρος από τα οικονομικά και το δημογραφικά στοιχεία της σχετικής περιοχής. Το δορυφορικό τμήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ολοκληρώσει την κάλυψη του επίγειου τμήματος. Επιπλέον, οι αεροναυτικοί και θαλάσσιοι χρήστες μπορούν να εξαρτηθούν από το δορυφορικό τμήμα για την παροχή υπηρεσιών.
- **Επέκταση κάλυψης:** το δορυφορικό τμήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επεκτείνει τα όρια κάλυψης του επίγειου τμήματος.

- **Διαθεσιμότητα σε περίπτωση καταστροφής:** τα δορυφορικά συστήματα μπορούν να παρέχουν μια υπηρεσία εξυπηρέτησης εάν κάποια μορφή φυσικής ή προκαλούμενης από τον άνθρωπο καταστροφής μειώσει την αποτελεσματικότητα του επίγειου τμήματος.
- **Γρήγορη επέκταση:** το δορυφορικό τμήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επεκτείνει γρήγορα την κάλυψη του επίγειου τμήματος.
- **Παγκόσμια περιαγωγή (global roaming):** το S-UMTS μπορεί να παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα παγκόσμιας περιαγωγής.

Για να συνοψίσουμε, το δορυφορικό τμήμα μπορεί να συμπληρώσει το T-UMTS στην παροχή κάλυψης στις περιοχές που:

- Δεν καλύπτονται ακόμα από το T-UMTS εκμεταλλεύοντας το χαρακτηριστικό γνώρισμα γρήγορης επέκτασης του δορυφορικού συστήματος.
- Δεν μπορούν να καλυφθούν από το επίγειο τμήμα, παραδείγματος χάριν τις θαλάσσιες και αεροναυτικές αγορές.
- Δεν θα καλυφθούν από το T-UMTS για οποιουδήποτε λόγους.

Υπάρχουν δύο τρόποι να παρασχεθεί η κάλυψη, είτε μέσω μιας άμεσης σύνδεσης μεταξύ του τερματικού και του δορυφόρου είτε έμμεσα χρησιμοποιώντας ενδιάμεσο εξοπλισμό. Το ενδιαφέρον για ένα S-UMTS είναι να εκπληρωθεί ο ρόλος κάλυψης, κάτι που εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από το βαθμό κάλυψης που προσφέρεται από το επίγειο συστατικό. Αυτός ο βαθμός κάλυψης στηρίζεται σε δύο κύριους παράγοντες:

- Η σχετική αύξηση της πολυμεσικής κίνησης (multimedia traffic) σε σχέση με την μη-πολυμεσική κίνηση που υποστηρίχθηκε ήδη στα υπάρχοντα 2G δίκτυα.
- Η πιθανή συμφόρηση των 2G συστημάτων που μπορεί να οδηγήσει στην ανάγκη μιας επιταχυνόμενης ανάπτυξης του συστήματος UMTS

#### **5.2.1.1 Άμεση πρόσβαση στη δορυφορική σύνθεση**

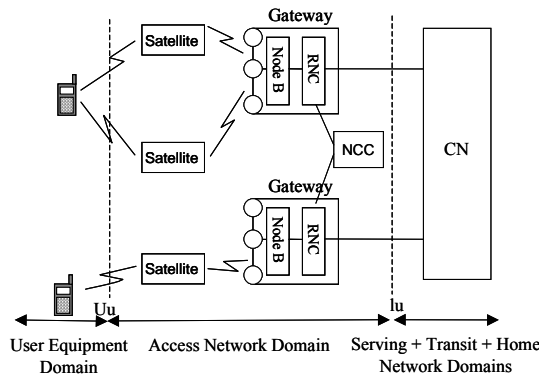
Οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται είναι βασικά οι ίδιες με αυτές που παρέχονται από το επίγειο τμήματος. Λόγω του προϋπολογισμού των χαρακτηριστικών των ζεύξεων (link budget) , η λειτουργία στους εσωτερικούς χώρους είναι περιορισμένη. Εντούτοις, το κόστος για τη χρήση του δορυφορικού συστατικού θα παραμείνει υψηλότερο απ' ό,τι για το επίγειο. Συνεπώς, όλα τα δορυφορικά τερματικά θα υποστηρίξουν επίσης το χαρακτηριστικό γνώρισμα για να λειτουργούν άμεσα με το επίγειο συστατικό. Όποτε το T-UMTS θα διατίθεται, το δυο καταστάσεων τερματικό θα λειτουργεί στην επίγεια κατάσταση.

Το μέγεθος της προσπελάσιμης αγοράς μέσα σε εκείνο τον τομέα εξαρτάται ιδιαίτερα από το ταίριασμα του τελικού κόστους και της απόδοσης καθώς επίσης και την προσφορά υπηρεσιών στην προσδοκία αγοράς. Ένα τέτοιο σύστημα θα επιτρέπει να παρασχεθεί η ευρεία κάλυψη περιοχής (τελικά μια παγκόσμια) για το φορητό τερματικό. Εύστοχα,

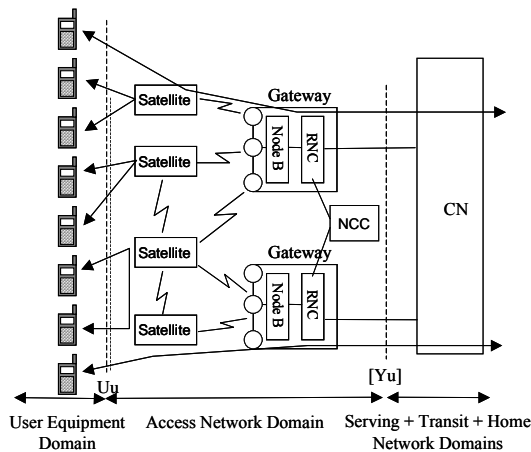


ταιριάζει ο χαρακτηρισμός του στόχου με την φράση "οπουδήποτε, οποτεδήποτε" ("whenever-wherever").

Η αρχιτεκτονική αναφοράς S-UMTS για το transparent payload (GEO μη- GSO) παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 5-1: Αρχιτεκτονική αναφοράς GEO ή/και μη-GEO για το S-UMTS (transparent payload)



Εικόνα 5-2: Αρχιτεκτονική αναφοράς GEO ή/και μη- GEO για το S-UMTS (regenerative payload)

Η αρχιτεκτονική αναφοράς S-UMTS για τον αναμεταδότη δορυφόρο (GEO μη-GEO, με ή χωρίς ISL) παρουσιάζεται στην παραπάνω εικόνα.

Σε αυτό το πρότυπο μπορούμε να δούμε ότι το δορυφορικό τμήμα εκτελεί και την πρόσβαση και καθοδηγεί τις λειτουργίες. Λόγω αυτού, οι χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν άμεσα χωρίς να περάσουν από την πύλη (gateway). Σε αυτό το πρότυπο μόνο η διεπαφή  $Uu$  μπορεί να τυποποιηθεί. Δεν υπάρχει κανένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ της πρόσβασης και του εξυπηρετούν δικτύου. Λόγω αυτού, το γενικό σύστημα θα ενεργήσει ως ανεξάρτητο δίκτυο, το οποίο συνδέει με άλλα δίκτυα διέλευσης μέσω της διεπαφής  $Yu$ .

### 5.2.1.2 Έμμεση πρόσβαση στη δορυφορική σύνθεση

Ένας άλλος τρόπος να εξεταστεί το πρόβλημα κάλυψης είναι να σχεδιαστούν τα δορυφορικά συστήματα που υποστηρίζουν οποιοδήποτε τερματικό συμβατό χωρίς τροποποίηση. Αυτό απαιτεί μια ενδιάμεση ενότητα μεταξύ του τερματικού και του δορυφόρου. Αυτή η ενότητα προσαρμόζει τα δορυφορικά σήματα στις τελικές διεπαφές και αντίστροφα.

Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει την πλήρη ανεξαρτησία από το τελικό τμήμα. Το S-UMTS εξασφαλίζει μεταφορά κίνησης μεταξύ των τοπικών δικτύων (local networks) και του δημόσιου δικτύου (public network). Αυτό έχει διάφορα πλεονεκτήματα:

- Μειωμένη επένδυση και καθυστέρηση στην ανάπτυξη λόγω μιας πιθανής μείωσης της πολυπλοκότητας/περιορισμών στο τελικό σχέδιο.
- Πιθανή εξέλιξη του δορυφορικού τμήματος με έναν διαφανή τρόπο στα τερματικά τελικών χρηστών.
- Συμβατότητα με τα υπάρχοντα τερματικά, τα οποία επιτρέπουν στα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών να μειώσουν την εισαγωγική φάση της υπηρεσίας.

Μια τέτοια συμβατότητα με το επίγειο συστατικό τερματικό επιτρέπει μια τεχνολογική ανεξαρτησία με το S-UMTS. Το τερματικό προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

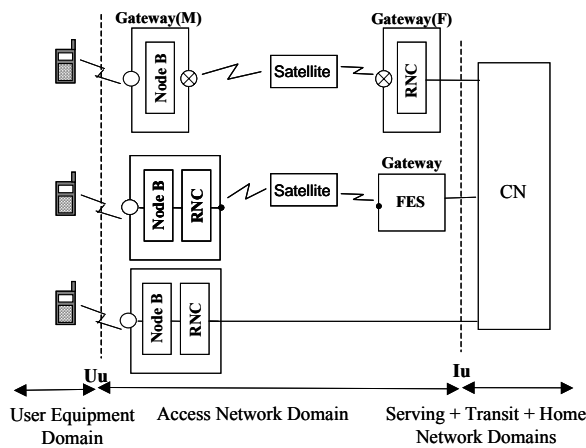
- Τα επίγεια συστατικά τερματικά ωφελούνται φυσικά από τις τάσεις της τεχνολογίας που επιτρέπουν τις βελτιώσεις παραμέτρου μάρκετινγκ, όπως το κόστος και η μείωση μεγέθους, εκτεταμένη αυτονομία, βελτιώσεις διεπαφών μηχανών ατόμων, επέκταση χαρακτηριστικών γνωρισμάτων (προσωπικός ψηφιακός βοηθός, πληρωμή με πιστωτική κάρτα κλπ) όπως και την απόκλιση κατάτμησης αγοράς.
- Το S-UMTS μπορεί να βελτιωθεί και να βελτιστοποιηθεί στην κατανάλωση απόδοσης ικανότητας καθώς επίσης και εύρους ζώνης υπό τον όρο ότι η ενδιάμεση ενότητα είναι εξοπλισμένη με τα νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ή τα προηγμένα δορυφορικά συστατικά.
- Για να ωφελείται από τις δορυφορικές υπηρεσίες, ο χρήστης δεν είναι απαραίτητο να μάθει τη χρήση ενός άλλου τερματικού με μια διαφορετική διεπαφή ανθρώπου-μηχανής. Το περιβάλλον του δεν επηρεάζεται. Αυτό θα γίνει όλο και περισσότερο σπουδαιότητας δεδομένου ότι ο αριθμός χαρακτηριστικών γνωρισμάτων σε ένα τερματικό θα αυξηθεί.
- Στη συνέχεια, αυτή η σύνθεση επιτρέπει στο S-UMTS να αποσπάσει ενδεχομένως ένα μερίδιο της επίγειας αγοράς δεδομένου ότι ο συνδρομητής μπορεί να έχει πρόσβαση στη δορυφορική υπηρεσία με ένα πρόσθετο κόστος παρά μια συγκεκριμένη βελτίωση υλικού.

Δύο συνθέσεις συστημάτων μπορούν έπειτα να προβλεφθούν, μαζική και μεμονωμένη. Ένα σύστημα που υποστηρίζει και τις δύο μπορεί επίσης να προβλεφθεί.

### 5.2.2 Μαζική Σύνθεση

Το δορυφορικό σύστημα παρεμβάλλεται μέσα σε ένα ραδιοδίκτυο πρόσβασης του T-UMTS. Το σύστημα μεταφέρει την κίνηση που ανταλλάσσεται μεταξύ του επίγειου δικτύου και του εξυπηρετούμενου τοπικού δικτύου χρησιμοποιώντας ζεύξεις. Η ενδιάμεση ενότητα αποτελεί ένα σημείο εισόδων για ένα τοπικό δίκτυο. Αποτελεί μέρος του ραδιοδικτύου πρόσβασης ή ενός ενιαίου σταθμού βάσεων. Παρέχει τις υπηρεσίες UMTS σε όλα τα τερματικά μέσα στην περιοχική κάλυψη.

Η γρήγορη εγκατάσταση της ενδιάμεσης ενότητας θα μπορούσε να είναι ένα συμφέρον χαρακτηριστικό γνώρισμα. Η εγκατάσταση στη στέγη κτιρίου ή σε ένα επίγειο ιστό για καθορισμένη επίγεια κάλυψη, σε ένα όχημα που μεταφέρει επιβάτες καθώς επίσης και τις θαλάσσιες και αεροναυτικές εφαρμογές μπορεί να προβλεφθεί.



Εικόνα 5-3: Έμμεση πρόσβαση στο δορυφόρο – μαζική σύνθεση

### 5.2.3 Μεμονωμένη σύνθεση

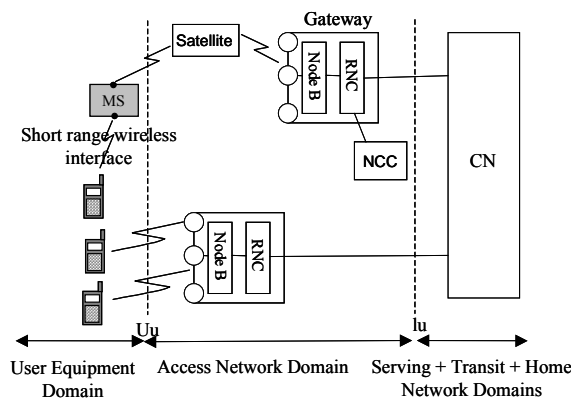
Η προσέγγιση είναι παρόμοια με αυτή της άμεσης πρόσβασης στο δορυφορικό σύστημα εκτός από το χαρακτηριστικό ότι είναι βασισμένη σε μια κατακεκολλημένη τερματική έννοια (MS: Mobile Station). Αποτελείται από έναν συμπληρωματικό εξοπλισμό και ένα τυποποιημένο επίγειο τερματικό. Ο ενισχυτής μετατρέπει τα δορυφορικά σήματα σε ένα συμβατό σήμα στην περιορισμένου φάσματος ασύρματη διεπαφή του επίγειου τερματικού.

Για να φθάσουν στη ευρεία αγορά, τα διαφορετικά είδη τερματικών μπορούν να προβλεφθούν σύμφωνα με:

- **Κριτήρια δυνατότητας κινητικότητας (mobility)**
  - Οι μεταφερόμενοι ή ομαδικοί τύποι, μεγαλύτεροι στο μέγεθος αλλά μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα όχημα ή να τοποθετηθούν εύκολα σε μια βαλίτσα.
- **Κριτήρια υπηρεσίας**
  - Φωνή και χαμηλοί ρυθμοί δεδομένων μόνο

- Βίντεο, φωνή και υψηλοί ρυθμοί δεδομένων
- Ασύμμετρη κίνηση για βίντεο, φωνή, υψηλοί ρυθμοί δεδομένων στην κάτω ζεύξη. Για την άνω ζεύξη φωνή και χαμηλοί ρυθμοί δεδομένων.

Βασικά ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να απευθυνθεί σχεδόν στην ίδια αγορά με την άμεση πρόσβαση στη δορυφορική σύνθεση δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς που προσδιορίζεται μπορεί να στοχεύσει με ένα τερματικό σε μια κατακευματισμένη σύνθεση (διάφορα μέρη). Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα ομαδικό τερματικό είναι σε θέση να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών. Μπορεί είτε να είναι ένα μεταφερόμενο τερματικό είτε ένα εγκατεστημένο τερματικό επί του σκάφους ενός οχήματος.

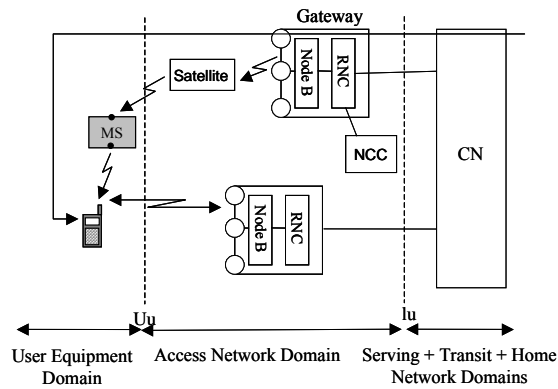


Εικόνα 5-4: Έμμεση πρόσβαση στο δορυφόρο - μεμονωμένη σύνθεση

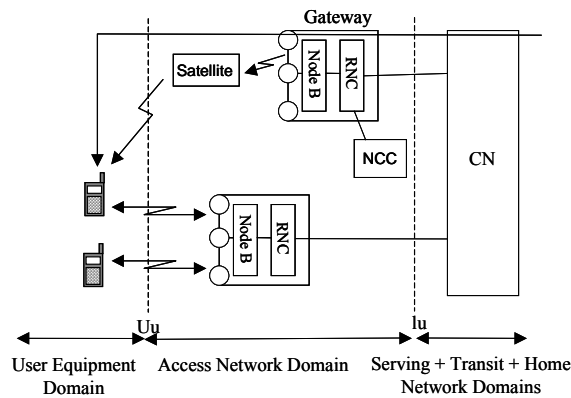
#### 5.2.4 Προσανατολισμένη Broadcast Μετάδοση

Το δορυφορικό τμήμα είναι βασισμένο στις παρόμοιες δυνατότητες μετάδοσης που παρέχονται από το S-UMTS, το DAB ή/και την τεχνολογία DVB. Ο τελικός χρήστης ωφελείται από τις επίγειες υπηρεσίες και μπορεί ταυτόχρονα να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες που προσφέρονται από το δορυφορικό τμήμα χρησιμοποιώντας δύο πιθανές τελικές συνθέσεις:

- Έμμεση πρόσβαση στη δορυφορική ή Κατακευματισμένη τερματική σύνθεση: μια εξωτερική υπομονάδα επιτρέπει σε ένα επίγειο τερματικό να ωφεληθεί από τις υπηρεσίες broadcast μετάδοσης που προσφέρονται από το δορυφορικό τμήμα. Η διασύνδεση μεταξύ της τερματικής και εξωτερικής ενότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας την περιορισμένου φάσματος ασύρματη τεχνολογία.
- Άμεση πρόσβαση στη δορυφορική ή Ολοκληρωμένη τελική σύνθεση: το επίγειο τερματικό περιέχει τις ενσωματωμένες λειτουργίες για να ωφεληθεί από τις υπηρεσίες broadcast μετάδοσης.



Εικόνα 5-5: Έμμεση λήψη από το δορυφόρο



Εικόνα 5-6: Άμεση λήψη από το δορυφόρο

Τα δύο παραπάνω σχήματα δείχνουν ότι ο χρήστης ωφελείται από τη broadcast/multicast υπηρεσία είτε με ένα ολοκληρωμένο είτε κατακευθυσμένο τερματικό. Μια άλλη σύνθεση που θα μπορούσε να προβλεφθεί, θα παρείχε τη μεταφορά για την broadcast/multicast κίνηση προς τους σταθμούς βάσης, χαρακτηριστικά ο Κόμβος Υψηλού Ρυθμού Πακέτων (High Rate Packet Node). Αυτό θα επέτρεπε τη χαμηλότερη συμφόρηση μέσα στο ραδιοδίκτυο πρόσβασης του επίγειου τμήματος.

Το σύστημα στοχεύει στην υποστήριξη όλων των **μονοκατευθυνόμενων** υπηρεσιών:

- Παθητικές οπτικοακουστικές υπηρεσίες όπως Ήχος/Βίντεο μετά από την απαίτηση (ροή Ήχου/Βίντεο) (Audio/Video on Demand – AoD/VoD, Audio/Video Streaming)
- Παθητικές ακουστικές υπηρεσίες όπως τα ραδιοφωνικά προγράμματα, μουσική ψυχαγωγία, δημόσιες πληροφορίες
- Παθητικές υπηρεσίες δεδομένων για πληροφορίες γενικού σκοπού όπως καιρική πρόβλεψη, ειδήσεις, κυβερνητικές ανακοινώσεις κ.λπ.

Η broadcast μετάδοση θα υποστηριχθεί για τις δημόσιες πληροφορίες και η multicast μετάδοση για τις υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας. Τα τερματικά που εξοπλίζονται με

συσκευές προσδιορισμού θέσης μπορούν να φιλτράρουν τις χρήσιμες broadcast/multicast πληροφορίες σύμφωνα με τη γεωγραφική θέση τους, το συνδρομητικό προφίλ τους ή άλλα κριτήρια. Αυτό απαιτεί ότι η σχετική εντός ζώνης σηματοδότηση χαρακτηρίζει τις μεταδιδόμενες πληροφορίες.

### 5.3 Σενάρια Ενδιάμεσης Υπομονάδας Εδάφους

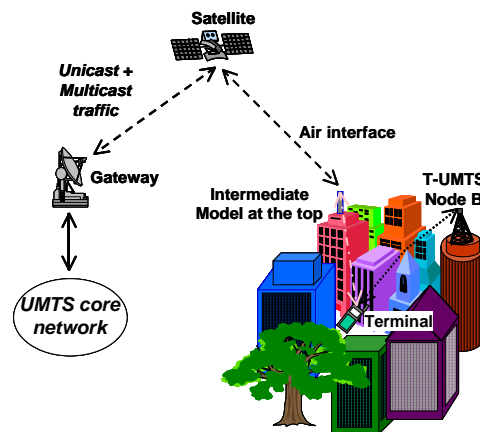
Η έννοια της τοποθέτησης μιας ενδιάμεσης υπομονάδας στο S-UMTS συλλήφθηκε προκειμένου να επεκταθεί η κάλυψη των υπηρεσιών που υποστηρίζονταν από το δορυφορικό σύστημα προς τη μαζική αγορά. Επομένως όταν ο σχεδιασμός της ενδιάμεσης υπομονάδας και ο καθορισμός των διεπαφών μεταξύ του δορυφόρου - ενδιάμεσης υπομονάδας και ενδιάμεσης υπομονάδας-τερματικού διερευνώνται, τα ακόλουθα σημεία πρέπει να ληφθούν υπόψη.

1. Οι υπηρεσίες broadcast/multicast μετάδοσης μπορούν να εξυπηρετηθούν καλά από το δορυφόρο
2. Αναμένεται ότι ο δορυφόρος θα μπορεί να είναι φτηνός για τη διεθνή περιαγωγή σε σύγκριση με τα επίγεια συστήματα.
3. Η πολυπλοκότητα τερματικού δεν θα πρέπει να αυξηθεί σημαντικά λόγω της εισαγωγής της ενδιάμεσης υπομονάδας.

Ένας μεγάλος περιορισμός που βιώθηκε από το επίγειο σύστημα ήταν η τοποθέτηση των σταθμών βάσης με έναν οικονομικώς αποδοτικό και ευνοϊκό για το περιβάλλον τρόπο. Επομένως η δορυφορική βιομηχανία μπορεί επίσης να αντιμετωπίσει το ίδιο πρόβλημα εγκαθιστώντας τις ενδιάμεσες υπομονάδες.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η πιθανή ένταξη της Ενδιάμεσης Υπομονάδας Εδάφους στο S-UMTS και ο ρόλος της.

#### 5.3.1.1 Αστικό και προαστιακό περιβάλλον

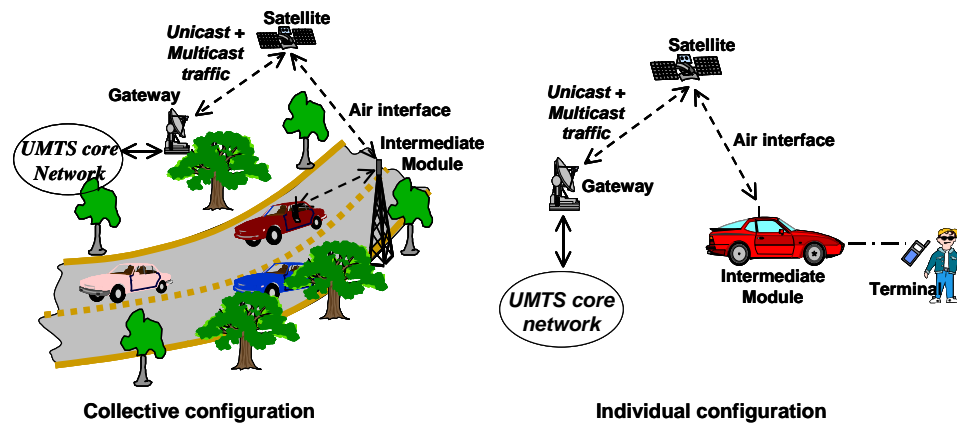


Εικόνα 5-7: Ενδιάμεση υπομονάδα εδάφους στο αστικό περιβάλλον

Το παραπάνω σχήμα [Εικόνα 5-7] παρουσιάζει την εγκατάσταση μιας ενδιάμεσης υπομονάδας με δυνατότητα δορυφορικής λήψης στην περιοχική συγκέντρωση και στα κτήρια. Εδώ είναι δυνατό να εξεταστούν δύο σενάρια υπηρεσιών, στο πρώτο όπου παρέχονται οι broadcast και multicast υπηρεσίες μέσω του δορυφόρου στους τοπικούς χρήστες και το δεύτερο όπου προσφέρονται υπηρεσίες εξολοκλήρου μέσω του δορυφόρου στους διεθνείς περιαγωγητές. Αυτά τα δύο είναι παρόμοια με τις αρχιτεκτονικές που παρουσιάζονται. Εντούτοις η ενδιάμεση υπομονάδα (Intermediate Module) μπορεί επίσης να είναι ένας απλός επαναλήπτης χωρίς να ενσωματώνει οποιοσδήποτε λειτουργίες του RNC ή του Node B. Οι ακόλουθοι παράγοντες που πρέπει να καθοριστούν για αυτήν την περίπτωση:

- Λειτουργίες Ενδιάμεσης Υπομονάδας (π.χ. απλός επαναλήπτης για να ενισχύσει το σήμα, κλπ)
- Διεπαφή μεταξύ δορυφόρου και ενδιάμεσης υπομονάδας, και της ενδιάμεσης υπομονάδας με το τερματικό που εξετάζει την παρεμβολή από τα τερματικά και της ενδιάμεσης υπομονάδας στο δορυφόρο, την παρεμβολή από την ενδιάμεση υπομονάδα και του δορυφόρου στα τερματικά. (Εάν η ενδιάμεση υπομονάδα είναι απλός επαναλήπτης, τότε η ίδια συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις διεπαφές: δορυφόρου-ενδιάμεσης υπομονάδας και για την ενδιάμεση υπομονάδας-τερματικού. Αυτό θα αποφύγει την πολυπλοκότητα στο τερματικό και θα βοηθήσει στην αποτελεσματική χρησιμοποίηση το φάσματος).
- Αρχιτεκτονική κεραιών για να χειρισμό των δύο διαφορετικών πολώσεων (σήμα άμεσα από τη δορυφορική και ενδιάμεση ενότητα)
- Διαπομπή όταν το τερματικό κινείται μέσα και έξω η επίγεια κάλυψη και μεταξύ των ενδιάμεσων υπομονάδων.

### 5.3.1.2 Περιβάλλον σε αυτοκίνητο ή αυτοκινητοδρόμων



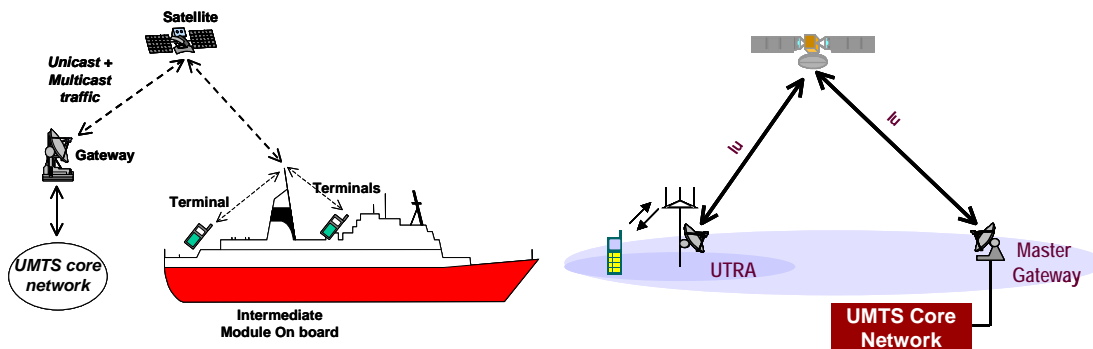
Εικόνα 5-8: Περιβάλλον σε αυτοκίνητο ή αυτοκινητοδρόμων

Αυτή η περίπτωση είναι παρόμοια με την προηγούμενη. Επομένως η αρχιτεκτονική ενδιάμεση υπομονάδας και οι λειτουργίες της πρόκειται να είναι οι ίδιες. Αλλά πρέπει να

ληφθεί μια απόφαση εάν οι ενδιάμεσες υπομονάδες πρέπει να εγκατασταθούν κατά μήκος της πλευράς των εθνικών οδών.

Οι θέσεις της ενδιάμεσης υπομονάδας για τη εφαρμογή στο αυτοκίνητο και η αντίστοιχη σύνθεση έχουν παρουσιαστεί στις δυο παραπάνω εικόνες. Υπάρχουν δύο δυνατότητες για την ανωτέρω ενδιάμεση υπομονάδα. Μπορεί να είναι απλός επαναλήπτης και έτσι το τερματικό μπορεί να χρησιμοποιήσει το δορυφορική κατάσταση (satellite mode) ή η υπομονάδα μπορεί να μετασχηματίσει το σήμα στην επίγεια μορφή έτσι ώστε το τερματικό μπορεί να χρησιμοποιήσει τον επίγειο κατάσταση.

### 5.3.1.3 Περίπτωση πλοίου, αεροπλάνου και UMTS νησίδων



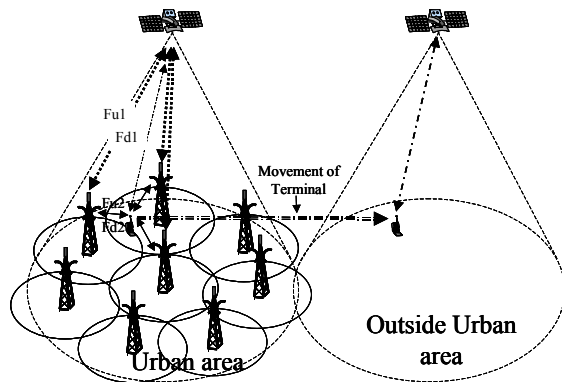
Εικόνα 5-9: Μακρινό περιβάλλον (πλοίο, αεροπλάνο και UMTS νησίδων)

Σε αυτό το σενάριο (εκτός από τις UMTS νησίδες), η ενδιάμεση υπομονάδα μπορεί να χαρακτηρίσει τον Κόμβο Β ή την λειτουργία απλού επαναλήπτη.

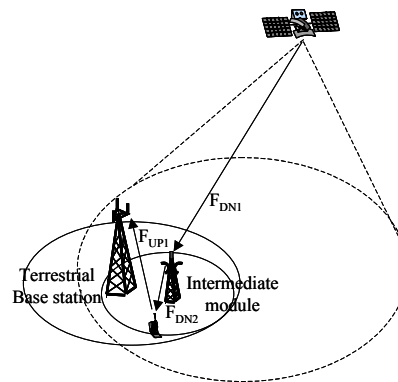


### 5.3.2 Λειτουργία Ενδιάμεση υπομονάδας

#### 5.3.2.1 Ενδιάμεση υπομονάδα ως απλός επαναλήπτης



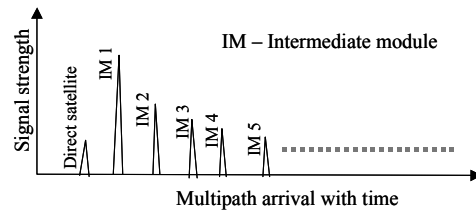
Εικόνα 5-10: Τύπος I: Επαναλήπτης δύο τρόπων



Εικόνα 5-11: Τύπος II: Ένας επαναλήπτης τρόπων

#### Απλή περίπτωση επαναληπτών

Σε αυτήν την περίπτωση η ενδιάμεση υπομονάδα λειτουργεί ως απλό επαναλήπτης. Η ενδιάμεση ενότητα λαμβάνει το σήμα στη ζώνη S-UMTS από το δορυφόρο, το ενισχύει και το αναμεταδίδει προς το τερματικό όπως φαίνεται στο σχήμα. Ομοίως, λαμβάνει το σήμα από τα τερματικά και το μεταδίδει προς το δορυφόρο. Η ζώνη ίδιας συχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις δύο ζεύξεις, δηλαδή η ζεύξη δορυφόρου-ενδιάμεσης υπομονάδας και η ζεύξη ενδιάμεσης υπομονάδας-τερματικού. Εναλλακτικά, διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάθε ζεύξη, στην τελευταία περίπτωση η ενδιάμεση υπομονάδα έχει την δυνατότητα μετατροπής συχνότητας (frequency conversion). Επομένως, το τερματικό μπορεί να λάβει το ίδιο σήμα από δύο ή περισσότερες ενδιάμεσες υπομονάδες, περίπτωση παρόμοια με την πολυδιαδρομική διάδοση (multipath propagation). Το ερώτημα εδώ είναι εάν υπάρχει η ανάγκη για τον έλεγχο ισχύος (power control) στην ενδιάμεση υπομονάδα προκειμένου να αποφευχθεί η ενδοκυψελική παρεμβολή ή όχι. Όταν το τερματικό κινείται από την κάλυψη της ενδιάμεσης υπομονάδας, μπορεί άμεσα να επικοινωνήσει με το δορυφόρο δεδομένου ότι η μείωση σημάτων είναι πολύ χαμηλή έξω από την περιοχική συγκέντρωσης. Ως εκ τούτου η κατάσταση S-UMTS μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο τερματικό μέσα και έξω από στις περιοχές συγκέντρωσης. Η δυνατότητα πραγματοποίησης αυτής της ιδέας πρέπει να ερευνηθεί μέσω των προϋπολογισμών ισχύος.



Εικόνα 5-12 Ίδιο σήμα μέσω των διαφορετικών ενδιάμεσων υπομονάδων

Αντίθετα με την επίγεια περίπτωση όπου το σήμα που λαμβάνεται από άλλες κυψέλες θεωρείται ως παρεμβολή, το σήμα από άλλες ενδιάμεσες υπομονάδες μπορεί να θεωρηθεί ως πολυδιαδρομικό σήμα εκτός από την περίπτωση όπου οι ενδιάμεσες υπομονάδες ανήκουν σε διαφορετική περιοχή κάλυψης σημειακής δέσμης.

## 5.4 Multicasting/Broadcasting Μετάδοση ¶

Μέσα στο 3GPP πλαίσιο, η πολυεκπομπή (multicast) αναφέρεται στη σύνθεση μιας πηγής-πολλών δεκτών, η οποία είναι ένα από τα πιθανά σενάρια υλοποίησης του multicasting. ¶ Αρχικά είχαν προβληθεί τέσσερις κατηγορίες σημείου-σε-πολλά σημεία (point-to-multipoint) υπηρεσιών: ¶

- υπηρεσία broadcast μετάδοσης σε κυψέλη (Cell Broadcast Service - CBS)¶
- Point-to-Multipoint multicast μετάδοση ¶
- Point-to-Multipoint ομαδική κλήση ¶
- IP Multicast ¶

Εντούτοις, στα πιο πρόσφατα έγγραφα του UMTS Release 99/Release 4 αναφέρονται μόνο δύο από αυτές τις υπηρεσίες: ¶

- υπηρεσία broadcast μετάδοσης σε κυψέλη που επιτρέπει χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε όλους τους συνδρομητές σε ένα σύνολο κυψελών μέσω ενός κοινού broadcast καναλιού.¶ Αυτή είναι η μόνη υπηρεσία που τυποποιείται μέσα στο Release '99, ενώ άλλες θα εκδοθούν στα επόμενα Releases. ¶ Η εφαρμογή CBS ερμηνεύεται - σε πρώτο επίπεδο - στην ακόλουθη επιλογή διαδικασίας: ¶
  - μη αναγνωρισμένη κατάσταση RLC ¶
  - CTCH ως λογικό κανάλι
  - ¶ MAC - υπηρεσίες c/sh
  - ¶ FACH ως κανάλι μετάδοσης MAC
  - ¶ Δευτερεύον Κοινό Φυσικό Κανάλι Ελέγχου (Secondary Common Control Physical Channel (Secondary CCPCH))
  - ¶ ένα ξεχωριστό κανάλι ελέγχου (BCCH) ¶

Η σύνθεση των χαμηλότερων στρωμάτων (RLC, MAC και φυσικό στρώμα) εκτελείται από το RRC στο UE και το RNC. ¶ Το αντίστοιχο πρωτόκολλο στο μέρος χρήστη είναι το Broadcast/Multicast πρωτόκολλο¶. ¶ Υπάρχει ένα υπόστρωμα BMC στο UE και στην πλευρά του δικτύου (RNC). Το ¶ BMC διασυνδέεται μέσω ορισμένων στοιχείων με το ανώτερο στρώμα στο UE, τις οντότητες RRC (στο UE και το RNC) καθώς επίσης και το στρώμα BMC/IW στο RNC που αναμεταδίδει τα μηνύματα broadcast κυψέλης μεταξύ του CBC (Cell Broadcast Center) (που τοποθετείται συνήθως στο δίκτυο κορμού) και του RNC (υπάρχει μόνο μια οντότητα BMC ανά κυψέλη στο RNC). ¶ Τελευταία το RRC χρησιμοποιεί τα σημεία πρόσβασης ελέγχου υπηρεσίας (Control Service Access Points – C-SAPs), ενώ στο UE η αντίστοιχη σύνθεση πραγματοποιείται μέσω των μηνυμάτων πληροφοριών συστήματος (System Information Messages).

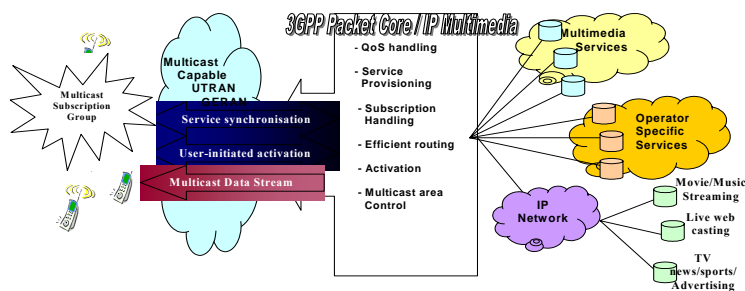
¶

- μια προαιρετική IP-Multicast υπηρεσία - που επιτρέπει στους κινητούς συνδρομητές να λαμβάνουν multicast κίνηση. ¶ Η υποστήριξη αυτής της υπηρεσίας δεν είναι υποχρεωτική για το GGSN. Το GGSN αναπαράγει τα εισερχόμενα multicast πακέτα και τα αναμεταδίδει στα ήδη ενεργά TEIDs. ¶ Αυτά τα TEIDs είναι εκείνα των MSs που έχουν προσχωρήσει σε μια multicast ομάδα. ¶ Αυτή η υπηρεσία, το όνομα της οποίας είναι μάλλον παραπλανητικό, δεν επιτρέπει τους multicast συνδρομητές να μοιραστούν τους πόρους του ραδιοδικτύου ή δικτύου κορμού και υπό αυτήν τη μορφή δεν προσφέρει πλεονεκτήματα όσον αφορά στη χρησιμοποίηση των πόρων μέσα στο PLMN και πέρα από το ραδιο δίκτυο πρόσβασης. ¶

Εντούτοις το όφελος της multicast υπηρεσίας στο δίκτυο είναι ότι τα δεδομένα στέλνονται μία φορά σε κάθε σύνδεση: ¶ ένα SGSN πρέπει να στείλει τα δεδομένα μια φορά σε ένα RNC ανεξάρτητα από τον αριθμό Κόμβων B και των UEs που επιθυμούν να τα λάβουν. ¶ Το όφελος του multicast για την ασύρματη διεπαφή θα προερχόταν από τη χρήση ενός κοινού καναλιού, μέσω του οποίου οι χρήστες μπορούν να λάβουν τα ίδια δεδομένα. ¶ Αυτό θα μείωνε τις απαιτήσεις σε πόρους που οδηγούν σε μια πιο αποδοτική οικονομικώς διανομή του εύρους ζώνης. ¶

¶ Η διαδικασία τυποποίησης των point-to-multipoint υπηρεσιών παρουσιάζεται στο Release 5. ¶ Η αντίστοιχη αρχιτεκτονική ονομάζεται **Multicast Broadcast Υπηρεσίες Πολυμέσων (Multimedia Multicast Broadcast Services (MBMS))** και φαίνεται ότι η αντίστοιχη αρχιτεκτονική δεν θα βασιστεί στην CBS/CBC. ¶

Οι Multicast Broadcast Υπηρεσίες Πολυμέσων - MBMS χωρίζονται σε δυο τύπους, δηλαδή ευρείας εκπομπής (broadcast) και πολυεκπομπής (multicast). Στις ¶ **ΤΟΟΣΙΣ** ο multicast είναι κατάλληλος να χρησιμοποιηθούν οι πλατφόρμες υπηρεσιών IP και να μεγιστοποιηθεί η διαθεσιμότητα των εφαρμογών και περιεχομένου έτσι ώστε οι τρέχουσες και μελλοντικές υπηρεσίες να μπορούν να παραδοθούν κατά αποδοτικότερη χρήση των πόρων. ¶ Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει γενικά την επισκόπηση υψηλού επιπέδου ενός δικτύου πολλαπλής διανομής, που συνοψίζει τις κύριους λειτουργίες και τους ρόλους σχετικά με αυτό. ¶



Εικόνα 5-13: Παράδειγμα του broadcasting δικτύου

Οι γενικές αρχές αρχιτεκτονικής ενός δικτύου MBMS είναι: ¶

- η αρχιτεκτονική θα επιτρέψει την αποδοτική χρήση πόρων του ραδιοδικτύου και του δικτύου κορμού, με την κύρια εστίαση στη αποδοτικότητα ραδιοδιεπαφών. ¶ Συγκεκριμένα, οι χρήστες πρέπει να είναι σε θέση να μοιραστούν τους κοινούς πόρους κατά την λήψη της ίδιας κίνησης. ¶
- η αρχιτεκτονική MBMS θα υποστηρίξει τα κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα για MBMS του broadcast και multicast τρόπου, π.χ. και οι δύο τρόποι θα χρησιμοποιήσουν κατά προτίμηση τον ίδιο φορέα χαμηλού-στρώματος για τη μεταφορά δεδομένων μετά τη ραδιοδιεπαφή. ¶
- η αρχιτεκτονική MBMS θα υποστηρίξει τις εξωτερικές πηγές δεδομένων και με τους δύο τρόπους. ¶ Θα υποστηρίξει και τις πηγές IP multicast και IP unicast. ¶
- η αρχιτεκτονική MBMS πρέπει να επαναχρησιμοποιήσει, στο μέτρο του δυνατού, τα υπάρχοντα 3GPP τμήματα δικτύων και τα στοιχεία πρωτοκόλλου που ελαχιστοποιούν τις απαραίτητες αλλαγές στην υπάρχουσα υποδομή και που παρέχουν μια λύση βασισμένη στις γνωστές έννοιες. ¶
- Το MBMS θα είναι point-to-multipoint υπηρεσία φέροντος για τα πακέτα IP στην περιοχή PS. ¶
- Το MBMS θα είναι διαλειτουργικό με IETF IP multicast. ¶
- Το MBMS θα υποστηρίξει την IETF IP multicast διευθυνσιοδότηση (addressing). ¶

*Σημείωση: ¶ Δεν συμφωνήθηκε και είναι για περαιτέρω μελέτη εάν το MBMS θα είναι συμβατό με την ήδη διευκρινισμένη multicast υποστήριξη IETF IP σε GGSN. ¶*

- θα είναι δυνατό για τα UEs να λαμβάνουν MBMS όταν συνδέεται το τερματικό. ¶
- θα είναι δυνατό για τα UEs να λαμβάνουν τα MBMS δεδομένα παράλληλα σε άλλες υπηρεσίες και σηματοδότηση (π.χ. σελιδοποίηση, κλήση φωνής). ¶
- το MBMS θα υποστηρίξει την ποιότητα υπηρεσίας διαφορετικών επιπέδων. ¶ Οι μηχανισμοί σε αυτή την περιοχή είναι για περαιτέρω μελέτη.
- οι περιοχές υπηρεσιών MBMS θα καθοριστούν ανά μεμονωμένη υπηρεσία. ¶
- το MBMS δεν υποστηρίζεται στην CS περιοχή. ¶
- όταν το UE λαμβάνει ήδη MBMS, θα είναι δυνατό για το UE να ειδοποιηθεί για άλλες υπηρεσίες MBMS. ¶
- τα στοιχεία χρέωσης θα παρασχεθούν ανά συνδρομητή για τον multicast τρόπο MBMS. ¶

Η έννοια υπηρεσιών φέροντος MBMS πρέπει να περιέχει τη διαδικασία λήψης απόφασης για την επιλογή των από point-to-point ή point-to-multipoint συνθέσεων. ¶

¶ Η αρχιτεκτονική πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει τις οικείες MBMS multicast υπηρεσίες στους χρήστες κατά την περιαγωγή έξω από το δίκτυο κορμού τους ως θέμα στις συμφωνίες μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών (inter-operators agreements). ¶

Μια διαφορά μεταξύ του broadcast και multicast τρόπου είναι στο γεγονός ότι το τελευταίο απαιτεί γενικά μια συνδρομή στην πολλαπλής διανομής συνδρομητική ομάδα (multicast subscription group) και έπειτα την ενεργοποίηση της υπηρεσίας. Αντίθετα, για τον τρόπο broadcast, αναμένεται ότι τα δεδομένα χρέωσης δεν θα παραχθούν για τον τελικό χρήστη.

## 5.5 IP και UMTS: σημερινή κατάσταση και μελλοντικές τάσεις

Το Διαδίκτυο (Internet) θεωρείται μια από τις πιο επιτυχημένες περιπτώσεις στον κόσμο τηλεπικοινωνιών. Η κίνηση IP είναι αναμφισβήτητα ο κυρίαρχος τύπος κίνησης στα τρέχοντα δίκτυα δεδομένων. Πιο πρόσφατα το IP έχει κερδίσει την αποδοχή ως πλατφόρμα για την παράδοση των υπηρεσιών πολυμέσων (το ATM ήταν υποψήφιο στις αρχές της δεκαετίας του '90). Στην πραγματικότητα σήμερα το IP είναι το πρωτόκολλο και φαίνεται - περισσότερο από ποτέ - να είναι το πρωτόκολλο του μέλλοντος.

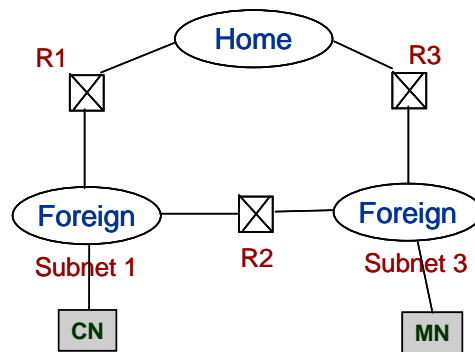
Το UMTS (γενικά 3G συστήματα) έχει διαφημίσει αρκετά νωρίς το όραμά του για να «παντρέψει» τις δύο επιτυχημένες τεχνολογίες της δεκαετίας του '90: η μια η είναι τα κυψελωτά κινητά δίκτυα και η άλλη το Διαδίκτυο. Το IP είναι βεβαίως παρόν στην πρώτη έκδοση του T-UMTS (Release '99). Το IP επεκτείνεται για μεταφορά και των δεδομένων και της σηματοδότησης στο δίκτυο κορμού UMTS (Core UMTS Network) μέσα από τις σήραγγες GTP ενώ οι διευθύνσεις IP διατίθενται στατικά ή δυναμικά στους κινητούς χρήστες. Εντούτοις το επίπεδο αυτής της παρουσίας είναι περιορισμένο έτσι ώστε να μιλάμε για την αλληλεπίδραση των δύο τεχνολογιών (Διαδίκτυο και κυψελωτές επικοινωνίες) παρά την πραγματική ολοκλήρωση.

Από τα μέσα του 1999, η εργασία προδιαγραφών του UMTS έχει οδηγηθεί προς μια δικτυακή αρχιτεκτονική UMTS πλήρως IP. Αυτή η μετατόπιση αποτέλεσε τη βάση για τις Release '00 προδιαγραφές, οι οποίες αντικατέστησαν τις τεχνολογίες μεταγωγής κυκλώματος που χρησιμοποιήθηκαν στο UMTS Release '99, με την τεχνολογία μεταγωγής πακέτων και εισήγαγαν την υποστήριξη πολυμέσων στο δίκτυο κορμού UMTS. Επιπλέον, έξω από τους επίσημους οργανισμούς τυποποίησης (δηλ. 3GPP, 3GPP2), διάφορα φόρουμ και συνεργασίες, μεταξύ των κατασκευαστών και των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών (operators) (π.χ. 3G.IP, MWIF), έχουν συμβάλει στη μεγάλη επιτυχία της αρχιτεκτονικής δικτύου UMTS πλήρως-IP στη βιομηχανία.

Το Mobile-IP, το πρωτόκολλο έναρξης συνόδου (Session Initiation Protocol - SIP), οι ολοκληρωμένες και διαφοροποιημένες IP υπηρεσίες είναι συστατικά του IP συνόλου που προβλέπονται να εισαχθούν στις επόμενες εκδόσεις του UMTS. Το επίπεδο διείσδυσης IP στην αρχιτεκτονική UMTS συνεχώς αυξάνεται, τροποποιώντας τον τρόπο που εφαρμόζονται ορισμένες λειτουργίες του συστήματος.

## 5.6 Κινητικότητα (Mobility)

Η κινητικότητα μέσα στο Διαδίκτυο μπορεί να υποστηριχθεί από το Mobile-IP. ¶Ο κινητός κόμβος (Mobile Node - MN) επιτρέπεται να χρησιμοποιεί δύο διευθύνσεις IP, μια σταθερή οικεία διεύθυνση (*home address*) και μια προσωρινή διεύθυνση (*care-of-address*) που αλλάζει σε κάθε νέο σημείο σύνδεσης. ¶Το δίκτυο που αντιστοιχεί στη οικεία διεύθυνση καλείται οικείο δίκτυο (*home network*) και τα άλλα δίκτυα καλούνται ξένα δίκτυα (*foreign networks*). ¶Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ένα υποσύνολο της τοπολογίας Διαδικτύου με το οικείο δίκτυο και τα ξένα δίκτυα.



Εικόνα 5-14: Οικείο δίκτυο και τα ξένα δίκτυα

¶Ο δρομολογητής στο οικείο δίκτυο που παραδίδει τα δεδομενογραφήματα (*datagrams*) στο MN και διατηρεί τρέχουσες πληροφορίες θέσης του MN καλείται Πράκτορας Οικείων (*Home Agent - HA*) και ένας δρομολογητής στο ξένο δίκτυο βοηθά τον HA να παραδώσει τα δεδομενογραφήματα όταν είναι το MN στο ξένο δίκτυο καλείται Πράκτορας Ξένων (*Foreign Agent - FA*). ¶Οι κύριες λειτουργίες που περιλαμβάνονται στο χειρισμό της κινητικότητας των κόμβων στο Mobile-IP είναι η ανακάλυψη της προσωρινή διεύθυνσης, η καταχώρηση της προσωρινής διεύθυνσης, η δημιουργία σήραγγας και διαπομπή. ¶

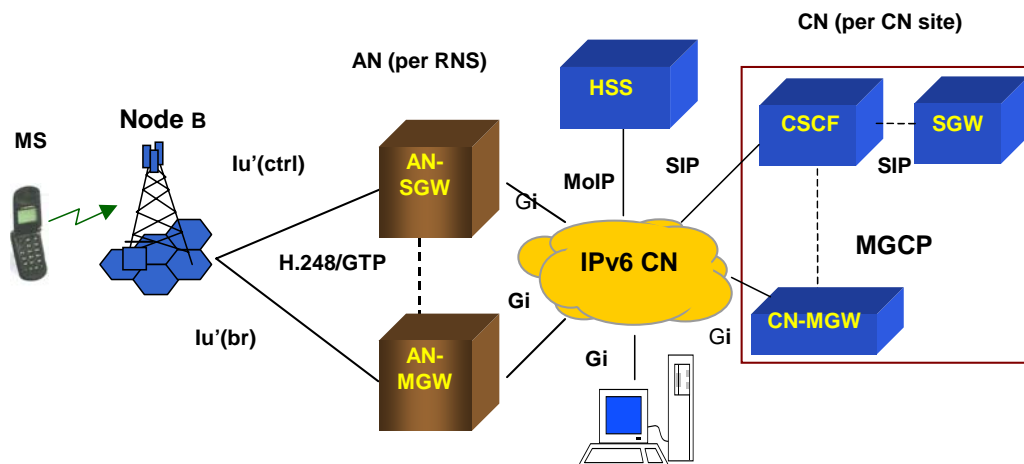
¶Όποτε το MN κινείται, παρακολουθεί το μήνυμα του πράκτορα για να πάρει την προσωρινή διεύθυνση (*Care-of-Address - CoA*). ¶Το HA και τα FAs μεταδίδουν broadcast σε όλους το μήνυμα πράκτορα σε τακτά χρονικά διαστήματα. ¶Εάν ένα MN επιθυμήσει να πάρει ένα CoA γρήγορα, το MN μπορεί να μεταδώσει broadcast ή multicast μια ερώτηση που θα απαντηθεί από οποιοδήποτε FA ή HA. ¶Αυτό καλείται ανακάλυψη CoA. ¶Τότε καταχωρεί τη νέα προσωρινή διεύθυνση του με το HA του. ¶Όταν το πακέτο φθάνει στο MN, το HA ανακατευθύνει το πακέτο στην προσωρινή διεύθυνση χρησιμοποιώντας σήραγγα (*ενθυλάκωση*). ¶

¶Ανάστροφη σήραγγα μπορεί να εφαρμοστεί σε ορισμένες περιπτώσεις όπου οι δρομολογητές υποστηρίζουν το φιλτράρισμα εισόδου (*ingress filtering*), δηλ. ελέγχοντας τη διεύθυνση προέλευσης πριν αναμεταδώσουν τα IP δεδομενογραφήματα. ¶Ο πράκτορας ξένων ενθυλακώνει τα IP δεδομενογραφήματα από τον κινητό κόμβο μέσω σήραγγας στον πράκτορα

οικείων. ¶Στη συνέχεια, ο πράκτορας οικείων θα ανακτήσει τα αρχικά IP δεδομενογραφήματα πριν τα αναμεταδώσει στη διεύθυνση προορισμού. ¶

¶Η βελτιστοποίηση διαδρομών (Route Optimisation) είναι μια προτεινόμενη μέθοδος που επιτρέπει στον αντίστοιχο κόμβο (Correspondent Node - CN) να στείλει τα πακέτα άμεσα στον κινητό κόμβο, δηλ. παρακάμπτοντας τον πράκτορα οικείων. ¶Αυτή η μέθοδος οφείλεται στις πύο σύντομες διαδρομές μετάδοσης και τη μειωμένη πιθανότητα συμφόρησης. ¶Υπάρχουν ορισμένοι λόγοι που ευνοούν τη χρήση του IPv6 αντί του τρέχοντος IPv4, όταν το Mobile-IP είναι υπό εξέταση: ¶

- υποστήριξη της βελτιστοποίησης δρομολόγησης και των δρομολογητών που χρησιμοποιούν φίλτράρισμα εισόδου - εξαλείφοντας την ανάγκη για την τριγωνική δρομολόγηση.¶
- Ανακάλυψη Γειτονιάς (Neighbour Discovery) και δυνατότητα αυτοσύνθεσης διευθύνσεων (Address Auto-configuration) που μειώνει την απαίτηση για τους αφιερωμένους πράκτορες ξένων.¶
- υποστήριξη των πληροφοριών ελέγχου piggybacking, anycast, IPSec.¶
- βελτιωμένοι μηχανισμοί ανίχνευσης μετακίνησης, λιγότερες επιπρόσθετες επικεφαλίδες.¶



Εικόνα 5-15: ¶IP σε ένα εξελιγμένο δίκτυο UMTS ¶

Όσον αφορά το UMTS μπορεί να γίνει διάκριση δύο διαφορετικών τύπων (επίπεδα) κινητικότητας: ¶

- ¶(α) μακρο-κινητικότητα (macro-mobility)- αυτή είναι κινητικότητα μεταξύ διαφορετικών RNCs/SGSNs



¶β) μικρο-κινητικότητα (micro-mobility)- αυτή είναι η κινητικότητα μεταξύ διαφορετικών Κόμβων Β μέσα στο ίδιο RAN - που ελέγχεται από ίδιο RNC.

¶Στο UMTS Release '99, η μακρο-κινητικότητα αντιμετωπίζεται από τους κόμβους/οντότητες Δικτύου Κορμού, SGSN, GGSN και HLR/VLR, που υποστηρίζεται από το πρωτόκολλο GTP που τρέχει πέρα από τις διεπαφές Iu και GP/Gn. ¶Οι σήραγγες GTP εγκαθιστώνται και απελευθερώνονται όταν το κινητό είναι σε κίνηση, με την βεβαίωση ότι ο χρήστης και οι πληροφορίες σηματοδοσίας δρομολογούνται μέσω του κατάλληλου 3G-SGSN. ¶Μια IP-ορισμένη λύση βασισμένη σε IPv6 εξετάζεται και φαίνεται να τυγχάνει την υποστήριξη από τη βιομηχανία. ¶Η βασική ιδέα είναι να αντικατασταθεί το κεντρικό GPRS δίκτυο με μια πύλη UTRAN-IP που θα ολοκληρώσει την σηματοδοσία του μη-πρόσβασης στρώματος (Non Access Stratum) από την πλευρά των σταθερών δικτύων και θα χρεώσει το Mobile-IP και εμπλουτίσεις του με στόχο την διαχείριση μακρο-κινητικότητας. ¶

¶Όσον αφορά την μικρο-κινητικότητα, διάφορα σχέδια βασισμένα σε IP έχουν προταθεί για την υποστήριξη της κινητικότητας στο ραδιοδίκτυο πρόσβασης. ¶Αυτές οι λύσεις υιοθετούν την IP μεταφορά στο RAN και προωθούν την αντικατάσταση των τυποποιημένων μηχανισμών UMTS (soft handoff). ¶Εντούτοις υπάρχουν πολλές αντιρρήσεις σχετικές με τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών των προτάσεων στην περίπτωση UMTS. ¶Τα κύρια εμπόδια είναι: ¶

- τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του UMTS RAN ραδιοδικτύου, δηλαδή τις αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης για την ήπια διαπομπή (soft handoff), την απουσία ενός άκρη-σε-άκρη προτύπου δρομολόγησης IP και τη μεταφορά IP μέσα στο RAN, η διαστρωμάτωση των κόμβων. ¶
- η έλλειψη ώριμων μηχανισμών βασισμένων σε IP που θα μπορούσαν, ακόμη και στην περίπτωση που μερικοί από τους ανωτέρω περιορισμούς υπερνικούνταν, να παρέχουν έναν αποδοτικότερο μηχανισμό κινητικότητας από τον εξειδικευμένο που επεκτείνεται αυτήν την περίοδο. ¶

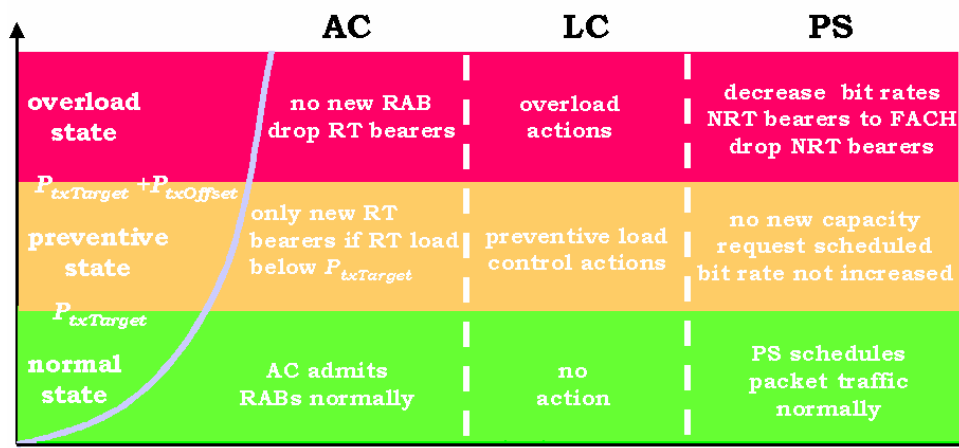
Αυτά τα πολύ εξειδικευμένα χαρακτηριστικά του UMTS RAN καθιστούν επίσης ακατάλληλη τη χρήση λύσεων επιπέδου εφαρμογής (application-level) στο πρόβλημα μικρο-κινητικότητας. ¶

## 6 Στρατηγική Διαχείρισης Πόρων στο S-UMTS

### S-UMTS Radio Resource Management Strategy

#### 6.1 Εισαγωγή

Η κύρια λειτουργία της διαχείρισης πόρων (RRM) είναι να διατίθενται οι φυσικοί πόροι όταν ζητούνται από το στρώμα ελέγχου πόρων (RRC). Το RRM στοχεύει στη μεγιστοποίηση της φασματικής αποδοτικότητας και στην ικανοποίηση των απαιτήσεων QoS, επίσης προσπαθεί να προλάβει τη συμφόρηση δικτύου. Οι λειτουργίες RRM είναι υπεύθυνες για την παροχή της βέλτιστης κάλυψης, την προσφορά της μέγιστης σχεδιασμένης χωρητικότητας, την εξασφάλιση της απαραίτητης ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και την εξασφάλιση της αποδοτικής χρήσης φυσικών πόρων. Σε ένα χαρακτηριστικό δίκτυο UMTS το RRM αποτελείται από τον έλεγχο ισχύος (Power Control-PC), τον έλεγχο διαπομπών (Handover Control-HC), τον έλεγχο αποδοχής (Admission Control-AC), τον έλεγχο φορτίου (Load Control-LC) και τον προγραμματιστή εκπομπής πακέτων (Packet Scheduler-PS). Στο S-UMTS το RRM αποτελείται βασικά από το AC, LC και PS.



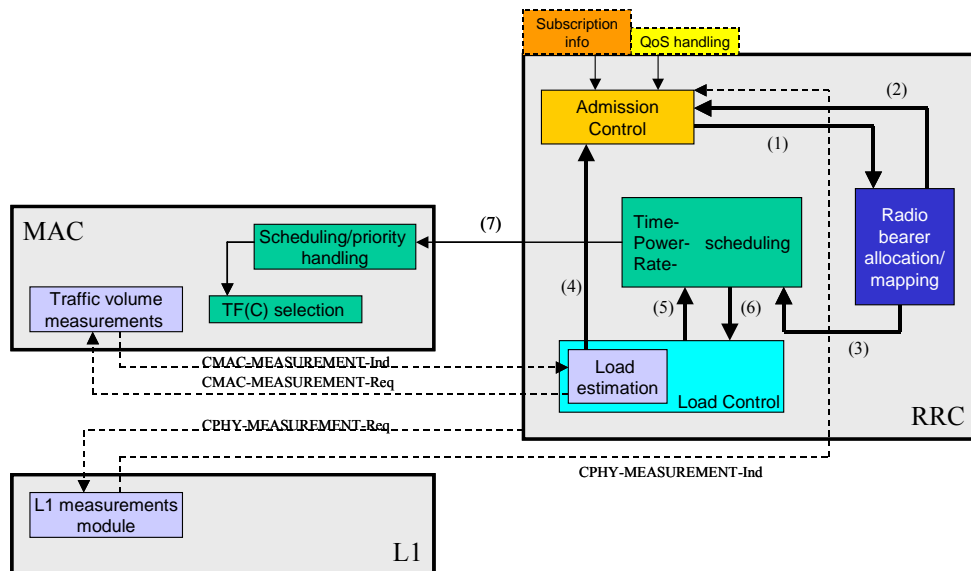
Εικόνα 6-1: Παρουσίαση των οντοτήτων AC,LC και PS - Καταστάσεις του συστήματος

Ο αλγόριθμος AC αποδέχεται χρήστες να εγκαταστήσουν ή για να διαπραγματευτούν ένα φέρον ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Bearer-RAB) μόνο εάν αυτός δεν θα υπερφόρτωνε το σύστημα και δεδομένου ότι οι απαραίτητοι πόροι είναι διαθέσιμοι. Ο αλγόριθμος LC παρακολουθεί τότε ένα σύστημα που πηγαίνει προσωρινά στην υπερφόρτωση (overload) και το επιστρέφει στην κανονική κατάσταση. Ο κύριος στόχος του αλγορίθμου PS είναι να αντιμετωπίσει όλη η μη-πραγματικού-χρόνου-κίνησης π.χ. διαθέτει τους βέλτιστα ρυθμούς μετάδοσης και σχεδιάζει τη χρονοπρογραμματίζει την εκπομπή των πακέτων δεδομένων, εξασφαλίζοντας το απαραίτητο QoS σε επίπεδο ρυθμοαπόδοσης και

καθυστερήσεων. Το δορυφορικό RRM εντοπίζεται στο S-RNC στη δορυφορική πύλη (Satellite Gateway).

Μια άλλη λειτουργία, που δεν θεωρείται πάντα ως χωριστή οντότητα στην περιγραφή του RRM, είναι η αρμόδια για τη κατανομή και αντιστοίχιση (mapping) των ασύρματων φέροντων. Στη συνέχεια η λειτουργία κατανομής πόρων διατηρείται ως χωριστή οντότητα δεδομένου ότι αυτό διευκολύνει την περιγραφή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων RRM.

Ο σχετική θέση των διάφορων λειτουργιών RRM μέσα στο σύνολο ασύρματων διεπαφών και των μεταξύ τους διεπαφών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 6-2: Πρότυπο των οντοτήτων RRM στο S-UMTS

## 6.2 Κατανομή και Αντιστοίχιση Φορέων

### (Radio Bearer Allocation and Mapping - RBAM)

#### 6.2.1.1 Γενική περιγραφή

Ένα υποχρεωτικό βήμα στη διαδικασία RRM είναι η RB σύνθεση (configuration), δηλ. ο αριθμός καναλιών (transport/physical) που απαιτούνται και η αντιστοίχισή τους μαζί με το πραγματικό TFCS για κάθε φυσικό κανάλι. Γενικά, αυτό φαίνεται να είναι μια χωριστή λειτουργία μέσα στο RRC που είναι σε στενή επαφή με τις άλλες λειτουργίες RRM. Αυτή η λειτουργία καλείται κατανομή και αντιστοίχιση των ασύρματων φορέων (RBAM).

#### 6.2.1.2 Στρατηγική RBAM

Ο στόχος του RBAM είναι να εκτελεσθεί κάποια διαστασιολόγηση του συστήματος, βάσει του μίγματος κίνησης (traffic mix), η υπόθεση είναι ότι υπάρχει κάποια επαρκή περιγραφή του μίγματος κίνησης : ρυθμός άφιξης, διάρκεια και ο ζητούμενος ρυθμός για κάθε τύπο υπηρεσίας. Αυτό είναι ισοδύναμο με την παροχή μιας κατάλληλης σύνθεσης των φορέων (αριθμός των FACHs, ρυθμών και αντιστοίχισης στο S-CCPCH). Η λειτουργία RBAM μπορεί να χωριστεί σε περισσότερα από ένα βήματα και το πραγματικό πλαίσιο τους εξαρτάται από τις υποθέσεις στο χαρακτηρισμό υπηρεσιών:

**Επιλογή 1 (fixed):** Υποτίθεται ότι όλοι οι τύποι υπηρεσιών περιγράφονται από έναν ρυθμό άφιξης  $\lambda_i$ , μια διάρκεια  $\mu_i$  και έναν ρυθμό μετάδοσης  $R_i$ .

**Επιλογή 2 (ad-hoc):** Υποτίθεται ότι μερικοί τύποι υπηρεσιών (κλάσεις) μπορούν να περιγραφούν κατ' αυτό τον τρόπο αλλά υπάρχουν άλλοι τύποι υπηρεσιών που εξυπηρετούνται από το δίκτυο κατά τρόπο ελεύθερο, π.χ. περιεχόμενο που μπορεί να μεταφερθεί (download) με οποιονδήποτε ρυθμό (και συνεπώς διάρκεια) και μπορεί να εξυπηρετηθεί για οποιονδήποτε ρυθμό άφιξης.

Τα βήματα σχετικά με την λειτουργία RBAM είναι:

##### **Βήμα 1**

Εκτίμηση του απαραίτητου αριθμού του FACHs για την παροχή των υπηρεσιών υπό εξέταση. Στην επιλογή 1, η εκτίμηση περιλαμβάνει όλους τους τύπους υπηρεσιών, ενώ σύμφωνα με την επιλογή 2 η εκτίμηση αφορά ένα υποσύνολο των υπηρεσιών (π.χ. RT υπηρεσίες, μαζί ροές (streaming) και υπόβαθρο). Στη δεύτερη περίπτωση υπολογίζεται η υπόλοιπη χωρητικότητα που περισσεύει μετά από τον υπολογισμό FACHs για αυτό το υποσύνολο των υπηρεσιών.

##### **Βήμα 2**

Αντιστοίχιση των FACHs στα διαθέσιμα S-CCPCHs και - ενδεχομένως - την παραγωγή των TFCS για κάθε S-CCPCH.

### Βήμα 1: Εκτίμηση των απαραίτητων FACHs

Αυτή η εργασία μπορεί να στηριχθεί στην κλασσική θεωρία αναμονής. Ένα πεπερασμένο εύρος ρυθμών μετάδοσης  $R_i$  υποτίθεται για τους πιθανούς ρυθμούς μετάδοσης υπηρεσιών/ροών Η ακριβής, σε επίπεδο πακέτου συμπεριφορά των ροών (CBR ή εκρηκτική) δεν έχει ενδιαφέρον σε αυτή τη φάση. Εστιάζουμε μόνο στον μέσο ρυθμό (η δυναμική σε επίπεδο πακέτου μπορεί να ελεγχθεί από το TFCS που περνούν στο χρονοπρογραμματιστή πακέτων).

Για κάθε πιθανό ρυθμό  $i$ , διαφορετικές διάρκειες  $j$  είναι δυνατές (πάλι υποθέτουμε κάποια σειρά των μέσων τιμών) και για κάθε τύπο υπηρεσίας, δηλ. καθορίζεται ο συνδυασμός  $\{\mu_{ij}, R_{ij}\}$  ενός ρυθμού άφιξης  $\lambda_{ij}$ . Ας παρουσιαστεί ο τρόπος αυτός:

Εστω  $S$  μια μήτρα  $N \times M$ , όπου το  $N$  είναι οι πιθανοί ρυθμοί υπηρεσιών και  $M$  οι πιθανές διάρκειες υπηρεσιών. Καμία υπόθεση δεν γίνεται για την εκρηκτικότητα της ροής (μπορεί να είναι CBR ή VBR, αλλά στην τελευταία περίπτωση υποτίθεται η μέση τιμή), ενώ η διάρκεια υπηρεσίας μπορεί επίσης να είναι οποιασδήποτε κατανομής που έχει μετασχηματισμό Laplace με πράξεις. Κατόπιν κάθε στοιχείο  $s_{ij}$  αντιστοιχεί σε έναν τύπο υπηρεσίας, δηλ. συνδυασμός ρυθμού υπηρεσίας και διάρκεια.

Εστω επίσης  $L$  μια άλλη μήτρα  $N \times M$ , κάθε στοιχείο  $\lambda_{ij}$  αντιστοιχεί στο ρυθμό άφιξης της υπηρεσίας του τύπου  $s_{ij}$  και  $P_{bl}$  μια τρίτη μήτρα  $N \times M$  που αντιστοιχεί στις πιθανότητες αποκλεισμού (blocking probabilities) που χαρακτηρίζει κάθε υπηρεσία, δηλ. υπάρχει ένα προς ένα αντιστοιχισμός μεταξύ  $s_{ij}$  και  $P_{bl_{ij}}$ .

Κατόπιν η εκτίμηση των απαραίτητων FACHs για κάθε ένα  $s_{ij}$  μπορεί να παραχθεί σύμφωνα με τους ακόλουθους τρόπους:

α) Από το σύστημα αναμονής απώλειας m-εξυπηρετητών (Erlangian), για κάθε τύπο υπηρεσιών  $s_{ij}$  χωριστά, δηλ. εφαρμογή της φόρμουλα  $N \times M$  φορές.

β) Μέσω της εφαρμογής της αναδρομικής φόρμουλα που παράγεται σχεδόν ταυτόχρονα και σε όλους τους τύπους ροών  $s_{ij}$  που ζητούν τον ίδιο ρυθμό  $R_i$ , ανεξάρτητα από τις διάρκειες των αντίστοιχων υπηρεσιών. Ο τύπος είναι μια επέκταση του τύπου Erlangian στο σενάριο πολλαπλών υπηρεσιών και μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου τα FACHs μπορούν να μοιραστούν πλήρως μεταξύ των κλάσεων ζητώντας τους ίδιους ρυθμούς.

Και στις δύο περιπτώσεις ο απαραίτητος αριθμός FACHs είναι εκείνος ο αριθμός εξυπηρετητών (ρυθμού ίσου με  $R_i$ ) που θα εγγυηθούν τις πιθανότητες αποκλεισμού  $P_{bl_{ij}}$ .

## Βήμα 2: Αντιστοίχιση των FACHs στα S-CCPCHs

Ένας αριθμός κανόνων πρέπει να καθοριστούν και είναι απαραίτητο να εξεταστούν άλλες ιδιότητες των εξεταζόμενων υπηρεσιών, δηλαδή μέγιστος /εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης, μέγιστο μέγεθος έκρηξης, μέγιστη καθυστέρηση μεταφοράς της υπηρεσίας, και του μεγέθους SDU.

Οι ακριβείς κανόνες ή αλγόριθμοι για αυτόν τον σκοπό είναι δύσκολο να βρεθούν. Εν πάση περιπτώσει, η παραγωγή του TFCS a priori, βάσει των προβλέψεων κίνησης δεν είναι τόσο αποδοτική. Το TFCS θα πρέπει να είναι αρκετά ευρύ για να συλλάβει την δυναμική επιπέδου πακέτου των υπηρεσιών που αναμένονται μετά από κάποιο μελλοντικό χρονικό διάστημα. Όσο πιο ευρύ είναι το σύνολο των υπηρεσιών, τόσο ευρύτερο το TFCS πρέπει να είναι με τον άμεσο αντίκτυπο στις τελικές απαιτήσεις επεξεργασίας. Μερικοί κανόνες να είναι:

- Προσπάθησε να συνδυάσεις τις εκρηκτικές RT υπηρεσίες με τις υπηρεσίες nRT που δεν έχουν τους περιορισμούς καθυστέρησης στο ίδιο S-CCPCH. Κατ' αυτό τον τρόπο η χρησιμοποίηση των πόρων μπορεί να βελτιωθεί με να αφήσει το BE, υπηρεσίες nRT να συμπληρώνουν το S-CCPCHs όποτε δεν καταλαμβάνονται πλήρως από RT δεδομένα.
- Εάν οι εκρηκτικές RT υπηρεσίες πρόκειται να συνδυαστούν με τις CBR RT υπηρεσίες, βεβαιώσου ότι οι απαιτήσεις καθυστέρησης (ενδεχομένως) των τελευταίων μπορούν να ικανοποιηθούν. Αυτό μπορεί να βεβαιωθεί με τον κατάλληλο καθορισμό TFCS ή μερικούς γενικούς ελέγχους, και εξαρτάται επίσης από την ιδιαίτερη στρατηγική σχεδιασμού, παραδείγματος χάριν σε περίπτωση δύο υπηρεσιών, κάτω από την πειθαρχία αυστηρής-προτεραιότητας, η ουρά αναμονής υπηρεσιών πιο υψηλής προτεραιότητας δεν πρέπει να χαρακτηρίζεται από ενεργές περιόδους που διαρκούν περισσότερο από τη μέγιστη καθυστέρηση μεταφοράς της δευτερεύουσας προτεραιότητας CBR υπηρεσίας.
- Τα επιλεγμένα μεγέθη TB πρέπει να συμφωνούν με τα μεγέθη πακέτων που αναμένονται από τις εφαρμογές, έτσι ώστε τα οι επιπρόσθετη πληροφορία (overhead) να είναι ελάχιστη. Οι ίδιοι λόγοι (δηλ. ελαχιστοποίηση του overhead και της αποδοτικότητας χρησιμοποίησης πόρων) υπαγορεύουν TFs για κάθε FACH, το οποίο μπορεί να καλύψει το πλήρες εύρος των βραχυπρόθεσμων διακυμάνσεων του ρυθμού μετάδοσης.
- Οι απαιτήσεις  $E_b/N_0$  των υπηρεσιών (FACHs) που πολυπλέκονται σε ένα μόνο S-CCPCH δεν πρέπει να είναι παρόμοια προκειμένου να εξοικονομηθεί ισχύς. Σημειώνεται ότι οι πραγματικές  $E_b/N_0$  απαιτήσεις δεν εξαρτώνται από την πραγματική χρησιμοποίηση των TBSs που παρέχονται στο FACH TF.

Στην επιλογή 2, αντί να γίνει διαστασιολόγηση για τις υπηρεσίες υποβάθρου σε όρους  $\{\lambda, \mu, R_s\}$  και μιας επιθυμητής πιθανότητας αποκλεισμού, θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε την υπόλοιπη χωρητικότητα που αντιστοιχεί σε FACHs από τους υπόλοιπους ρυθμούς ανά S-CCPCH, δηλ. άπλωσε τα FACHs στα διαθέσιμα S-CCPCHs και συμπλήρωσέ τα με ένα FACH του υπόλοιπου ρυθμού. Αυτό είναι ένα ρεαλιστικότερο σενάριο για τις υπηρεσίες υποβάθρου

της χαμηλότερης προτεραιότητας, η παράδοση της οποίας ελέγχεται με πρωτοβουλία του δικτύου παρά από αίτημα των χρηστών. Σε αυτήν την περίπτωση το δίκτυο καθιστά διαθέσιμα αυτά τα FACHs σε αυτές τις υπηρεσίες και το AC διαπραγματεύεται τον αποδεκτό ρυθμό κατ'επανάληψη (υποθέτοντας ότι οποιοσδήποτε προσφερθέν ρυθμός θα γίνει αποδεκτός τελικά από την υπηρεσία). Τα περαιτέρω (ήπια) επίπεδα προτεραιοτήτων μπορούν να ισχύσουν εδώ βάσει του συνολικού χρόνου μεταφοράς της ροής, δηλ. το υψηλού-ρυθμού FACHs μπορεί να διατεθούν στις υψηλότερα (μεταξύ των χαμηλών) ροών.

Κατόπιν το δίκτυο, γνωρίζοντας τα διαθέσιμα FACHs για τέτοιες υπηρεσίες χαμηλής-προτεραιότητας, προγραμματίζει τον ρυθμό άφιξης αυτών των υπηρεσιών.

#### 6.2.1.2.1 Μια γενική προσέγγιση για την παραγωγή TFS και TFCS

Βάσει της περιγραφής και των δυνατοτήτων των καναλιών μεταφοράς, παρουσιάζεται στη συνέχεια μια γενική προσέγγιση για την παραγωγή των TFS/TFCS.

#### Παραγωγή TFS

Σύμφωνα με τον ορισμό, ένα TF αποτελείται από τα ακόλουθα δύο μέρη:

- Το δυναμικό μέρος {TB\_size, TBS\_size}
- Το ημι-στατικό μέρος {TTI, κωδικοποίηση, CR, RM, CRC}

Ορίζουμε TB\_size και TBS\_size :

$$TB\_size = K * step$$

όπου *to step* είναι το Min\_TB\_size (πιθανές τιμές 320, 160, 80, 40, 122, 244 κ.λπ) και *to K* είναι ο αριθμός ακέραιων αριθμών steps ένα TB.

$$TBS\_size = TB\_size * N = (K * step) * N$$

όπου *N* είναι ο αριθμός των TBs σε ένα TBS.

Η σχέση TBS\_size και του μέγιστου/ελάχιστου ρυθμού μετάδοσης και TTI μπορεί να δοθεί από τις ακόλουθες σχέσεις αντίστοιχα:

$$Max\_TBS\_size = \frac{Maximum\ bit\ rate}{100} * \#\ frames\ per\ TTI \quad [6.1]$$

$$Min\_TBS\_size = \frac{Minimum\ bit\ rate}{100} * \#\ frames\ per\ TTI \quad [6.2]$$

όπου 100 είναι τα πλαίσια (frames) που μεταδίδονται σε ένα δευτερόλεπτο.

Για την επιλογή TFS χρειαζόμαστε εκείνους τους συνδυασμούς του *K*, *N*, έτσι ώστε

$$Min\_TBS\_size \leq (K * step) * N \leq Max\_TBS\_size \quad [6.3]$$

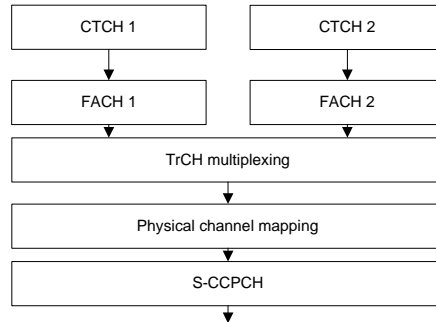
Για *to K*, έχουμε :

$$K * step \leq 5000$$

[6.4]

### Παραγωγή TFCS

Υποθέστε ότι διάφορα κανάλια μεταφορών πολυπλέκονται σε ένα S-CCPCH όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 6-3: Πολυπλεξία FACHs και αντιστοίχιση σε S-CCPCH

Πρέπει έπειτα να επιλέξουμε τους πιθανούς συνδυασμούς που ικανοποιούν την ακόλουθη εξίσωση:

$$\sum_{i=1}^I \frac{(TFsize)_i}{(\#of\ frames\ per\ TTI)_i} \leq 20 * \frac{256 * 15}{SF_{S-CCPCH}} \quad [6.5]$$

όπου  $i$  είναι το  $i^{th}$  TrCH και  $I$  είναι ο συνολικός αριθμός του TrCHs που πολυπλέκονται σε ένα S-CCPCH.

Ο παράγοντας εξάπλωσης  $SF$  για το S-CCPCH είναι ίσος με το  $256/2^k$ , όπου  $k=[0...6]$ .

Ο παράγοντας  $(20*256*15/SF)$  προέρχεται από το γεγονός ότι  $T_{slot}=2560$  chips,  $20*2^k$  bits ανά slot και 15 slots ανά πλαίσιο.

Στο S-UMTS, έχουμε  $SF_{S-CCPCH} = 8$ .

Σε αυτήν την περίπτωση για το απλό S-CCPCH, έχουμε ότι  $Bits/frame = 9600$ , τα οποία παράγουν:

$$Max\_TBS\_size=1440*1=1440\ bits$$



Η σχέση TF\_size, TB\_size, CRC size, Rate Matching, Coding rate, μπορεί να δοθεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$(TFsize)_i = [(TB\_size)_i + \underbrace{CRC_i}_{\text{ημιστατικό τμήμα}}] * \underbrace{CR_i * RM_i}_{\text{δυναμικό τμήμα}} * N / \# \text{ of frames per TTI}$$

Επομένως, για ένα S-CCPCH με SF=8 πρέπει να επιλέξουμε τους πιθανούς συνδυασμούς που ικανοποιούν την εξίσωση:

$$\sum_{i=1}^I \frac{[(TB\_size)_i + CRC_i] * CR_i * RM_i * N}{(\# \text{ of frames per TTI})_i} \leq 20 * \frac{256 * 15}{8} = 9600 \quad [6.6]$$

πού  $i$  είναι το  $i^{th}$  TrCH και  $I$  είναι ο συνολικός αριθμός του TrCH.

Αυτή η παραγωγή των αποδεκτών TFS/TFCS μπορεί να είναι :

- καθαρισμένη, ειδικότερα εξετάζοντας ένα ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης που υποστηρίζεται από το TFCS (που αντιστοιχεί στο άθροισμα των ελάχιστων ρυθμών μετάδοσης των υπηρεσιών που αντιστοιχούν στο S-CCPCH).
- προσαρμοσμένη/αναθεωρημένη εξετάζοντας έναν διαφορετικό προσδιορισμό των Min/Max Transport Block Set sizes, δεδομένου ότι εκείνοι χαρακτηρίζουν πραγματικά το εύρος του "στιγμιαίου ρυθμού μεταφοράς" (ανά TTI), και μπορεί να μην ικανοποιείται η απαίτηση της υπηρεσίας σε QoS (εγγυημένο, μέγιστος ρυθμός μετάδοσης). Ο μέγιστος στιγμιαίο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να είναι υψηλότερος από την τιμή του χαρακτηριστικού της υπηρεσίας (service attribute , RAB), π.χ. σε περίπτωση ασυνεχούς μετάδοσης των NRT υπηρεσιών στην περιοδική βάση μεταφοράς (όπως "a la CBS" CTCH περίοδο μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της συνόδου, ιδανικά χωρίς αλλαγή στο TFCS ώστε να αποφευχθεί η ανασύνθεση του S-CCPCH). Ο στιγμιαίος ρυθμός μετάδοσης μπορεί επίσης να τεθεί κάπως χαμηλότερος από τον αποδεκτό μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (δηλ. RAB χαρακτηριστικό), υπό τον όρο ότι η επαρκής αποθήκευση για τον χειρισμό της μέγιστης διάρκειας της έκρηξης.

Το έγκυρο σύνολο που υποβάλλεται για την επιλογή TFC θα πρέπει να συμμορφωθεί με τις απαιτήσεις σε μέγιστο αριθμό TFCs που μπορεί να αποθηκευτεί στα τερματικά. Τα συμπληρωματικά στοιχεία για την κατάλληλη αντιστοίχιση και τον προσδιορισμό TFCS (που στοχεύουν στο μειωμένο σύνολο) πρέπει προέλθει από την αξιολόγηση της διαδικασίας του χρονοπρογραμματιστή πακέτων μέσω της ανάλυσης της κατανομής των επιλεγμένων TFCs.

## **6.3 Αλγόριθμος Ελέγχου Αποδοχής Κλήσης (Call Admission Control)**

### **6.3.1 Γενική Περιγραφή**

Ο έλεγχος αποδοχής σύνδεσης (AC) είναι αρμόδιος για την αποδοχή ή την απόρριψη των νέων ή επαναδιαπραγματευμένων συνδέσεων στοχεύοντας στη συντήρηση του απαραίτητου QoS/ GoS κάνοντας την χρησιμοποίηση πόρων του δικτύου αποδοτική.

Στο UMTS, ο αλγόριθμος AC ανήκει στη διαχείριση πόρων (RRM) και είναι μια λειτουργία του ραδιο υποσυστήματος ελέγχου πόρων (Radio Resource Control subsystem). Η διαδικασία AC στο RNC περιλαμβάνει τα στρώματα RANAP και RRC μέσω των ακόλουθων βημάτων:

1. Το δίκτυο κορμού (CN) ζητά από το εξυπηρετόν RNC να εγκαθιστήσει ένα RAB δείχνοντας τις παραμέτρους QoS.
2. Σύμφωνα με τις παραμέτρους QoS, η αιτούμενη υπηρεσία προσδιορίζει έναν τύπο υπηρεσίας. Το AC εκτελείται σύμφωνα με τον τύπο υπηρεσίας.
3. Οι πόροι διατίθενται σύμφωνα με το αποτέλεσμα του AC.
4. Η επιβεβαίωση στέλνεται πίσω στο CN σύμφωνα με το αποτέλεσμα του AC. Τα υποστρώματα αναδιαμορφώνονται αναλόγως.

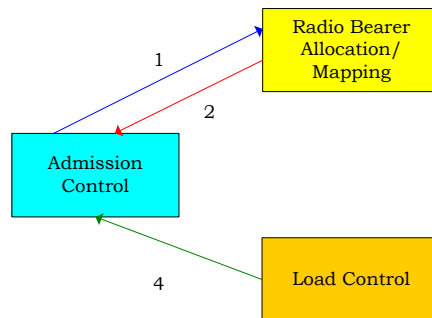
Ο έλεγχος αποδοχής και ο έλεγχος φορτίου, μαζί με το χρονοπρογραμματιστή πακέτων, εξασφαλίζει ότι το δίκτυο διατηρείται μέσα στον προγραμματισμένο όριο.

### **6.3.2 Παρουσίαση Αλγορίθμου**

Ο έλεγχος αποδοχής είναι μια διαδικασία που ελέγχει την προσπέλαση στο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης. Αποτρέπει την υπερδέσμευση (overallocation) των πόρων. Ο σκοπός του ελέγχου αποδοχής είναι να εξασφαλιστεί ότι υπάρχουν ελεύθεροι φυσικοί πόροι για το προοριζόμενο RAB με το απαραίτητο ποσοστό του SIR και ρυθμού μετάδοσης. Ο έλεγχος αποδοχής εκτελείται όταν ο χρήστης προσπαθεί να εγκαταστήσει μια νέα σύνδεση ή να επαναπραδιαγματοτευτεί μια παλιά. Η διαδικασία ελέγχου ελέγχει εάν οι ζητούμενοι πόροι μπορούν να χορηγηθούν χωρίς να προκαλέσουν προβλήματα υπερφόρτωσης δικτύου αργότερα. Το πρόβλημα του AC σε ένα σύστημα W-CDMA είναι σύνθετο, επειδή ένα νέο RAB αυξάνει το γενικό επίπεδο παρεμβολής στην δορυφορική δέσμη, με αποτέλεσμα να έχει μια άμεση επίδραση στην ποιότητα της υπηρεσίας των άλλων χρηστών, στην περιοχική υπηρεσίας. Η αυξανόμενη παρεμβολή μειώνει την αποτελεσματική κάλυψη του δορυφόρου. Κατά συνέπεια μπορεί να συμβεί το γεγονός ένα νέο RAB στην δορυφορική δέσμη να «ρίξει» ένα άλλο RAB, ή ακόμα και περισσότερα RABs, κοντά στο όριο δεσμών.

### 6.3.3 Αλληλεπιδράσεις του AC με τις άλλες λειτουργίες RRM

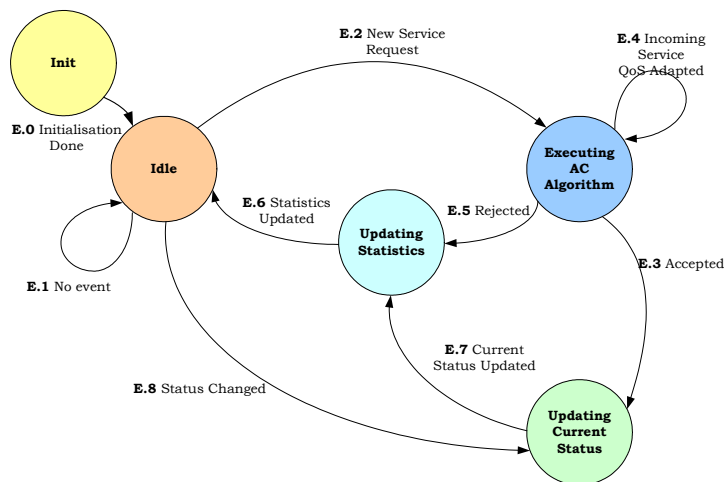
Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτού του AC και άλλων οντοτήτων RRM παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Οι διεπαφές τους ακολουθούν την αριθμημένη σύμβαση περιγράφονται σε λεπτομερώς.



Εικόνα 6-4: Αλληλεπίδραση μεταξύ του AC και των άλλων λειτουργιών RRM

### 6.3.4 Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων

Αυτό το τμήμα παρουσιάζει την μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων (Finite State Machine (FSM)) του λειτουργικού διαγράμματος του ελέγχου αποδοχής.



Εικόνα 6-5: Η μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων (FSM) του λειτουργικού διαγράμματος AC

#### Περιγραφή των καταστάσεων

- **Init:** εκτελούνται όλες οι λειτουργίες για να αρχικοποιηθούν το AC διάγραμμα κατά τη διάρκεια αυτού του κράτους.
- **Idle:** κατάσταση στην οποία αναμένονται εξωτερικές αιτήσεις και οι ειδοποιήσεις.
- **Executing AC Algorithm:** κατά τη διάρκεια αυτής της κατάστασης ο αλγόριθμος AC εκτελείται και τα σχετικά κριτήρια εξετάζονται, μετά από την άφιξη ενός νέου αιτήματος υπηρεσίας.

- **Updating Current Status:** κατά τη διάρκεια αυτής της κατάστασης ενημερώνεται για να περιγράψει τις αλλαγές μετά από την αποδοχή ενός αιτήματος υπηρεσίας ή τις αλλαγές που εκτελούνται από τον χρονοπρογραμματιστή πακέτων ή τον έλεγχο φορτίου.
- **Updating Statistics:** σε αυτή την κατάσταση συγκεκριμένες AC-στατιστικές ενημερώνονται.

Γεγονός-όνομα	Παράμετροι	Περιγραφή
<b>E.0</b>		Όλες οι εργασίες έναρξης έχουν ολοκληρωθεί.
<b>E.1</b>		Δεν υπάρχει κανένα αίτημα υπηρεσίας, το σύστημα παραμένει στην IDLE κατάσταση.
<b>E.2</b>	QoS παράμετροι, ταυτότητα υπηρεσιών	Αυτό το γεγονός δείχνει ότι ένα νέο αίτημα υπηρεσίας έχει φθάσει.
<b>E.3</b>	QoS παράμετροι, ταυτότητα υπηρεσιών	Αυτό το γεγονός δείχνει ότι το εισερχόμενο αίτημα υπηρεσιών έχει γίνει αποδεκτό.
<b>E.4</b>		Αυτό το γεγονός δείχνει ότι η εκτέλεση αλγορίθμου AC θα επαναληφθεί με την προσαρμογή του απαραίτητου QoS.
<b>E.5</b>	Ταυτότητα υπηρεσιών	Αυτό το γεγονός δείχνει ότι το αίτημα υπηρεσίας δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό από το σύστημα λόγω έλλειψης των πόρων.
<b>E.6</b>		Αυτό το γεγονός δείχνει ότι οι απαραίτητες στατιστικές ενημερώθηκαν και η αιτούσα υπηρεσία έχει ενημερωθεί για την απόρριψη.
<b>E.7</b>		Αυτό το γεγονός δείχνει ότι η παρούσα κατάσταση έχει ενημερωθεί επιτυχώς.
<b>E.8</b>	Σύνθεση κατανομής πόρων	Αυτό το γεγονός δείχνει μια αλλαγή στη θέση λόγω των ενεργειών που λαμβάνονται από τον έλεγχο RBAM ή φορτίου.

Πίνακας 6-1: Μεταβάσεις Καταστάσεων AC FSM

### 6.3.5 Στρατηγική Ελέγχου Αποδοχής

Ο έλεγχος αποδοχής είναι το σύνολο ενεργειών που λαμβάνονται από το δορυφορικό δίκτυο κατά τη διάρκεια της φάσης εγκατάστασης υπηρεσίας ή επαναδιαπραγμάτευσης υπηρεσίας για να αποφασίσει αν θα δεχτεί ή θα απορρίψει το αίτημα υπηρεσίας. Ένα νέο αίτημα υπηρεσίας μπορεί να γίνει αποδεκτό μόνο όταν υπάρχουν επαρκείς διαθέσιμοι πόροι δικτύου για να εξασφαλίσουν την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) για όλες τις υπάρχουσες και τις αιτούμενες υπηρεσίες.

Στο δορυφορικό σύστημα WCDMA S-UMTS όλοι οι χρήστες μοιράζονται το κοινό εύρος ζώνης και κάθε νέος χρήστης που εμφανίζεται αυξάνει το επίπεδο παρεμβολής όλων των άλλων χρηστών που έχουν επιπτώσεις στο QoS τους. Με βάση τη βασική γραμμή και τα

προαιρετικά σενάρια υπηρεσιών τα πιθανά σχέδια AC πρέπει να ακολουθήσουν τα χαρακτηριστικά υπηρεσιών.

Δεδομένου ότι το δίκτυο S-UMTS είναι βασισμένο σε μια αρχιτεκτονική WCDMA Layer1, είναι χρήσιμο να αναλυθούν οι περιορισμοί (κριτήρια) που καθορίζουν την αποδοχή ή όχι ενός νέου RAB. Τα κριτήρια επάνω στα οποία ο αλγόριθμος AC θα χορηγήσει τους πόρους δικτύου θα πρέπει να ικανοποιούν τους όρους πολυπλεξίας. Καταρχήν ένας εφικτός αλγόριθμος πρέπει να βασιστεί στις εύκολα ανακτήσιμες παραμέτρους. Αυτές οι παράμετροι πρέπει να καλύπτουν μια ευρεία ποικιλία των προϋποθέσεων QoS και επιπλέον πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικές της παρούσας κατάστασης του δικτύου. Σε ένα πραγματικό δορυφορικό δίκτυο το ασύρματο δίκτυο που σχεδιάζει και διαστασιολογεί κανονικά παρέχει τις παραμέτρους και τις τιμές κατώτατων ορίων που μετριοούνται εύκολα.

Για τον προτεινόμενο αλγόριθμο AC οι ακόλουθοι περιορισμοί χρησιμοποιούνται:

- QoS περιορισμοί (QoS constraints)
- Περιορισμοί ισχύος (Power constraints)
- Περιορισμοί κώδικα (Code constraints)
- Περιορισμοί ρυθμού (Rate constraints)

Κάθε υπηρεσία έχει μια ιδιαίτερη απαίτηση QoS, η οποία, στα πλαίσια του AC, διευκρινίζεται από την πλευρά του μέγιστου BER και του εγγυημένου ρυθμού μετάδοσης, που αντιστοιχούν σε ένα απαιτούμενο  $E_b/N_o$  και έναν τύπο υπηρεσίας, δηλ. μια από τις  $S_{max}$  κατηγορίες υπηρεσιών (κατηγορίες κίνησης). Κάθε τέτοια κατηγορία  $S_j$  ( $0 < S_j < S_{max}$ ) περιλαμβάνει διάφορες υποκατηγορίες που αντιστοιχούν στους διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων  $R_{ij}$  και τις απαραίτητες  $(E_b/N_o)_{ij}$  τιμές.

Κάθε νέο RAB ορίζεται σε ένα S-CCPCH σύμφωνα με τα διαθέσιμα κανάλια. Ένα συγκεκριμένο SF ορίζεται σε κάθε S-CCPCH και η αντιστοίχιση αποφασίζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις υπηρεσίας και τους διαθέσιμους πόρους.

Έστω  $n_i$ , ο  $n_{in}$  χρήστης στο δίκτυο, όπου  $n_i$  κυμαίνεται από 0 στο  $N_i$ . Έστω, επίσης, ότι το απαιτούμενο  $(E_b/N_o)$  για την υπηρεσία  $j$  του χρήστη  $n_i$  δηλώνεται με  $\gamma_j$ . Αυτή η τιμή είναι κοινή για οποιοδήποτε χρήστη  $n_i$  που θέλει να λάβει την υπηρεσία  $j$ .

Το επιτυγχάνσιμο  $\frac{Eb}{No}$  για κάθε χρήστη  $n_i$  πρέπει να ικανοποιεί την ακόλουθη συνθήκη:

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_{j,ni} = \frac{W}{u_j R_j} \frac{P_{j,ni}^r}{P_N + I_{oth,j,ni} + I_{own,j,ni}} \geq \gamma_j \quad [6.7]$$

όπου,

$R_j$  είναι ο ρυθμός της υπηρεσίας  $j$

$u_j$  είναι ο παράγοντας δραστηριότητας (activity factor) της υπηρεσίας  $j$

$P_{j,ni}^r$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς του  $n^{th}$  χρήστη για την υπηρεσία  $j^{th}$

$I_{own_{j,ni}}$  είναι η παρεμβολή στην ίδια δέσμη

$I_{oth_{j,ni}}$  είναι η παρεμβολή από άλλες δέσμες

$P_N$  είναι ο θερμικός θόρυβος

Η αναλογία  $\frac{W}{u_j R_j}$  αντιστοιχεί στο αντίστοιχο κέρδος εξάπλωσης (spreading gain).

Μπορούμε να γράψουμε δεδομένου ότι  $P_{tot}^r$  το σύνολο της μεταδιδόμενης ισχύος από κάθε φέρουσα συχνότητα για όλες τις υπηρεσίες και τους χρήστες και υποτίθεται ότι αυτή η ισχύς διατίθεται στα κανάλια δεδομένων και τα ανώτερα (overhead) κανάλια.

$$\text{Τότε } P_{tot}^r = P_{wanted}^r + P_{overhead}^r = \beta * P_{tot}^r + (1 - \beta) P_{tot}^r$$

δηλ. ένα μέρος  $\beta$  της συνολικής ισχύος διατίθεται στα επιθυμητά κανάλια δεδομένων.

Η παρεμβολή ίδιας δέσμης μπορεί να γραφτεί ως εξής :

$$I_{own_{j,ni}} = \frac{(1 - a_{ni}) \cdot P_{tot}^r}{L_{ni}} \quad [6.8]$$

όπου  $a_{ni}$  ο παράγοντας ορθογωνιότητας (orthogonality) λόγω πολλαπλών διαδρομών, ο οποίος εξαρτάται από την θέση  $n^{th}$  χρήστη και  $L_{ni}$  οι συνολικές απώλειες διαδρομής. Από

τώρα και στο εξής θα χρησιμοποιείται η σημείωση  $h_{ni} = \frac{1}{L_{ni}}$  ως κέρδος καναλιών. Έτσι

ξαναγράφεται:

$$I_{own_{j,ni}} = (1 - a_{ni}) h_{ni} P_{tot}^r \quad [6.9]$$

Για ένα δορυφορικό σύστημα CDMA, εάν υποθεθεί παράγοντα επαναχρησιμοποίησης (reuse factor) 1, η παρεμβολή των άλλων δεσμών οφείλεται στη διαρροή της κεραίας (antenna leakage) στα όρια της περιοχής της δέσμης.

Υποθέτοντας ότι για όλες τις δέσμες έχουμε τη ίδια διαδιδόμενη ισχύ,  $h_{ni}$  είναι ο ίδιος με προηγουμένως δεδομένου ότι οι δύο ακτίνες παρατίθενται στο δορυφόρο, και  $\lambda_{ni}$  είναι ένας παράγοντας χαρακτηρισμού της διαρροής της κεραίας στις παρακείμενες δέσμες, τότε:

$$I_{oth_{jmi}} = h_{ni} P_{tot}^i \lambda_{ni} \quad [6.10]$$

Ο παράγοντας  $\lambda_{ni}$  παίρνει τις τιμές από 0, για τον παράγοντα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας μεγαλύτερο από 1, μέχρι - θεωρητικά - 1 για τις κεραιές χωρίς διαρροή.

Η λαμβανόμενη δύναμη  $P_{jmi}^r$  δίνεται σύμφωνα με την σχέση :

$$P_{j,ni}^r = h_{ni} P_{ji}^i \quad [6.11]$$

Ο θερμικός θόρυβος είναι :

$$P_N = n_o W \quad [6.12]$$

όπου  $n_o$  η φασματική πυκνότητα θορύβου του front-end του κινητού τερματικού. Στην περίπτωση που έχουμε μια υπηρεσία σε μια αντιστοίχιση φυσικού καναλιού, ο *περιορισμός QoS* είναι:

$$\left( \frac{Eb}{No} \right)_{jmi} = \frac{P_j^i \cdot \frac{W}{u_j R_j}}{P_N / h_{ni} + \lambda \cdot P_{tot}^i + (1 - a_j) \cdot P_{tot}^i} \geq \gamma_j \quad [6.13]$$

Ένα άλλο σύνολο περιορισμών είναι οι περιορισμοί ισχύος. Υποθέτοντας την περίπτωση της *fixed/ad hoc* RB σύνθεσης, και της FACH πολυπλεξίας σε  $\mu$  S-CCPCHs, όπου τα  $F_k$  είναι ο μέγιστος αριθμός των FACHs για το  $k$  S-CCPCH λαμβάνουμε:

$$\sum_{k=1}^M P_k^i + P_{overhead}^i \leq P_{total\ threshold}^i$$

Εάν  $P_{overhead}^i$  γραφεί  $(1 - \beta) P_{total\ threshold}^i$ , το οποίο είναι το σενάριο στη χειρότερη περίπτωση

$$\text{τότε } \left( \sum_{k=1}^M P_k^i \right) \leq \beta P_{tot}^i \quad [6.14]$$

Από όπου λαμβάνουμε

$$\sum_{k=1}^M \left( \frac{\gamma_k}{\frac{F_k}{\sum_{j=1}^{F_k} u_{jk} R_{jk}}} \cdot (P_{tot}^i \cdot (1 - a + \lambda) + n_o W / h_{ni}) \right) \leq \beta P_{tot}^i \quad [6.15]$$

όπου  $\gamma_k$  είναι τα απαιτούμενα  $\frac{Eb}{No}$  να ικανοποιήσουν την πιο απαιτητική των υπηρεσιών (από πλευράς BER) στο S-CCPCH  $k$ ,  $a$  είναι η μέση τιμή ορθογωνιότητας της δέσμης, και  $\lambda$  είναι η μέση τιμή του παράγοντα διαρροής κεραίας.

Αν υποθέσουμε  $P'_{tot}(1-a+\lambda) \gg n_o W / h_{ni}$

η ανισότητα γίνεται:

$$\sum_{k=1}^M \left( \frac{\frac{\gamma_k}{W} \cdot (1-a+\lambda)}{\sum_{j=1}^{F_k} u_{jk} R_{jk}} \right) - \beta \leq 0 \Rightarrow \sum_{k=1}^M \frac{\gamma_k}{SF_k} \cdot (1-a+\lambda) - \beta \leq 0 \quad [6.16]$$

η οποία είναι το κριτήριο AC.

Στην περίπτωση όπου  $P'_{tot}(1-a+\lambda)$  is not  $\gg \frac{n_o W}{h_{ni}}$

τότε το κριτήριο AC γίνεται

$$\left( \sum_{k=1}^M \frac{\gamma_k}{SF_k} \right) - \beta / (1-a+\lambda + \frac{n_o W}{h_{ni} P'}) \leq 0 \quad [6.17]$$

Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός είναι ότι ο συνολικός αριθμός κωδικών που διατίθενται στα S-CCPCHs πρέπει να είναι μικρότερος από τον μέγιστο αριθμό διαθέσιμων κωδικών κάθε φορά. Αυτό θα μπορούσε να εκφραστεί είτε σε αριθμό των κωδικών είτε σε επί τοις εκατό (%) των διαθέσιμων κωδικών στο δέντρο κωδικών (code tree).

Η ανωτέρω αλγοριθμική προσέγγιση ισχύει και για τη *fixed/ad-hoc* αντιστοίχιση. Εντούτοις, συγκεκριμένα για την περίπτωση σταθερης RB αντιστοίχισης ένας πρόσθετος περιορισμός που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ο περιορισμός ρυθμού. Εάν  $R_{jk}^{\max}$  αντιπροσωπεύει το επιτρεπόμενο ρυθμό πληροφοριών για το  $FACH_{jk}$  αυτό αντιστοιχεί στο φυσικό κανάλι  $k^{th}$  S-CCPCH,  $A^{FACH}$  είναι το σύνολο των διαθέσιμων FACHs (δηλ. μη κατειλημμένα από τις ενεργές υπηρεσίες) και  $R_{new\_service}$  είναι το ζητούμενο ποσοστό για το εισερχόμενο αίτημα υπηρεσίας, τότε το κριτήριο AC θα ικανοποιηθεί εάν:

$$\exists FACH_{jk} \in A^{FACH} : R_{new\_service} \leq R_{jk}^{\max} \quad [6.18]$$

### 6.3.6 Αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής βασισμένος στην Ρυθμοαπόδοση

Σε αυτήν την προσέγγιση, ένα νέο RAB γίνεται αποδεκτό εάν το προκύπτον γενικό φορτίο δεν θα υπερέβαινε ένα προκαθορισμένο όριο κάτω ζεύξης. Με άλλα λόγια, εάν



$n_{DL}$  είναι ο παράγοντας φορτίου (load factor) των downlink συνδέσεων πριν από την είσοδο του νέου RAB στο  $w$  S-CCPCH, τότε:

$$n_{DL} = \sum_{k=1}^M \frac{\gamma_k}{SF_k} \cdot (1 - a + \lambda) \quad [6.19]$$

κατόπιν το νέο RAB θα γίνει αποδεκτό δεδομένου ότι ισχύει

$$\sum_{k=1, \neq w}^M \frac{\gamma_k}{SF_k} \cdot (1 - a + \lambda) + \frac{\gamma_w}{SF_w} \cdot (1 - a + \lambda) \leq n_{DL\_threshold} \quad [6.20]$$

όπου  $n_{DL\_threshold}$  είναι το όριο κάτω ζεύξης του παράγοντα φορτίου που τίθεται με τη διαδικασία RNP.

## **6.4 Αλγόριθμος Ελέγχου Φορτίου (Load Control)**

### **6.4.1 Γενική περιγραφή**

Ο αλγόριθμος ελέγχου φορτίου ελέγχει, ανιχνεύει και χειρίζεται τις καταστάσεις όταν φθάνει το σύστημα κοντά στην κατάσταση υπερφόρτωσης ή σε μια κατάσταση υπερφόρτωσης ενώ RABs παραμένουν ενεργά. Επομένως, όταν κάπου στο δίκτυο οι περιορισμένοι πόροι υποβιβάζουν την ποιότητα υπηρεσιών, ο αλγόριθμος ελέγχου φορτίου φέρνει το σύστημα πίσω στην ομαλή κατάσταση και αποκαθιστά τη σταθερότητα.

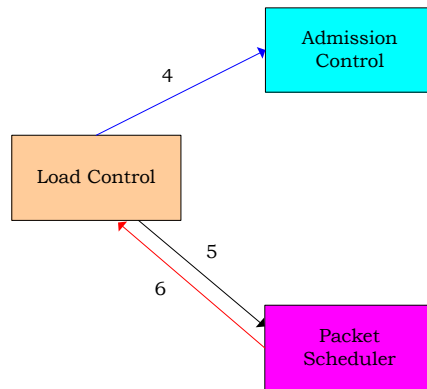
Σκοπός του ελέγχου φορτίου είναι να διατηρηθεί κατά τρόπο αντικειμενικό η χρήση των πόρων του δικτύου μέσα στα δεδομένα όρια. Ο έλεγχος φορτίου μετρά τον παράγοντα φορτίου, και, εάν ο προκαθορισμένος παράγοντας φορτίου ξεπερνιέται, το δίκτυο μειώνει τους ρυθμούς εκείνων των RABs των οποίων η σύμβαση υπηρεσίας επιτρέπει σε αυτό να γίνει. Όπως και ο έλεγχος αποδοχής, ο έλεγχος φορτίου προσπαθεί να διαχειριστεί τη χρήση των πόρων στο δίκτυο τηλεπικοινωνιών έτσι ώστε να μην είναι υπερφορτωμένο. Η διαφορά μεταξύ αυτών των διαδικασιών ελέγχου είναι ότι ο έλεγχος αποδοχής είναι μια on-off διαδικασία, ενώ ο έλεγχος φορτίου συνεχής. Η διαδικασία ελέγχου αποδοχής θεωρεί κάθε αίτημα των πόρων ως χωριστή περίπτωση, ενώ ο έλεγχος φορτίου διαχειρίζεται το δίκτυο συνολικά. Ο έλεγχος αποδοχής αποφασίζει εάν ένα νέο RAB μπορεί να εγκατασταθεί ή όχι, τότε ο έλεγχος φορτίου παρακολουθεί και διαχειρίζεται την ύπαρξη RABs.

Εάν η διαδικασία ελέγχου αποδοχής μπορούσε να προβλέψει τις αλλαγές στο μέγεθος κίνησης και των επιπέδων παρεμβολής, θα μπορούσε να αποφασίσει εάν ένα νέο φέρον θα μπορούσε να εγκατασταθεί ή όχι. Εντούτοις, στην πράξη αυτό δεν είναι πάντα δυνατό. Υπάρχουν υπηρεσίες που μπορούν να παραγάγουν ιδιαίτερα μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων, και το πραγματικό μέγεθος κίνησης δεν μπορεί να προβλεφθεί όταν γίνεται αίτηση για την υπηρεσία. Το επίπεδο παρεμβολής στην δέσμη μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Ο έλεγχος φορτίου και ο χρονοπρογραμματιστής πακέτων συνεργάζονται στενά. Δεδομένου ότι ο χρονοπρογραμματιστής πακέτων δεν εγγυάται τις καθυστερήσεις των μη-πραγματικού-χρόνου συνδέσεων, το φορτίο της κίνησης μη-πραγματικού-χρόνου πακέτων μπορεί να ελεγχθεί. Εάν το φορτίο των χρηστών πραγματικού χρόνου γίνεται πάρα πολύ υψηλό, ο χρονοπρογραμματιστής πακέτων μπορεί να μειώσει το φορτίο των ελέγχιμων μη-πραγματικού-χρόνου χρηστών.

### **6.4.2 Αλληλεπιδράσεις LC και άλλες λειτουργιών RRM**

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των LC, AC και PS παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



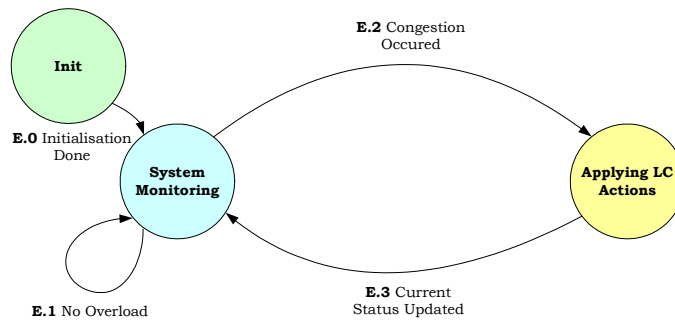
Εικόνα 6-6: Αλληλεπίδραση μεταξύ LC και άλλων λειτουργιών RRM

Διεπαφή	Γεγονότα	Παράμετροι	Σχόλια
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ο LC δηλώνει στον AC για τις συγκεκριμένες αλλαγές φορτίου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Φορτίο</li> <li>ταυτότητα απορριπτόμενου RAB</li> </ul>	Ο LC δηλώνει στο AC ότι οι συγκεκριμένες αλλαγές έχουν πραγματοποιηθεί και ότι η κατάσταση έχει ενημερωθεί (π.χ. μετάβαση στην overload κατάσταση, την απόρριψη φορέων)
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ο LC καθοδηγεί τον PS της συγκεκριμένης ενέργειας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ρυθμός</li> <li>Προτεραιότητα/βάρος</li> <li>Ταυτότητα υπηρεσιών</li> </ul>	Ο LC αποφασίζει σχετικά με τις ενέργειες που λαμβάνονται μετά από μια μετάβαση σε <b>preventive/reactive congestion</b> κατάσταση και αποστέλλει την εντολή στο PS.
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>PS δηλώνει στο LC ότι η ενέργεια εκτελέστηκε</li> </ul>		PS δηλώνει ότι τα συγκεκριμένα μέτρα έχουν ληφθεί

Πίνακας 6-2: Αλληλεπίδραση LC με PS και AC

### 6.4.3 Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων

Αυτό το τμήμα περιγράφει την εσωτερική εργασία του λειτουργικού διαγράμματος LC με τη βοήθεια μιας μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων (FSM).



Εικόνα 6-7: Μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων (FSM) του λειτουργικού διαγράμματος LC

### Περιγραφή Καταστάσεων

- **Init:** όλες οι λειτουργίες για να αρχικοποιήσουν το LC εκτελούνται κατά τη διάρκεια αυτής της κατάστασης.
- **System Monitoring:** κατά τη διάρκεια αυτής της κατάστασης, το LC ελέγχει το φορτίο του συστήματος και προετοιμάζεται για να λάβει μέτρα εάν εμφανιστεί παραβίαση των κατώτατων ορίων.
- **Applying LC Actions:** κατά τη διάρκεια αυτής της κατάστασης του LC, μετά από την παραβίαση του κατωφλίου υπερφόρτωσης αποφασίζει σχετικά με τις απαραίτητες ενέργειες που εκτελούνται από το PS έτσι ώστε το σύστημα να μπορέσει να επανέλθει σε μια σταθερή κατάσταση.

Γεγονός-όνομα	Παράμετροι	Περιγραφή
<b>E.0</b>		Όλες οι υποχρεώσεις έναρξης έχουν ολοκληρωθεί.
<b>E.1</b>		Καμία κατάσταση υπερφόρτωσης δεν ανιχνεύεται. Το σύστημα παραμένει σε αυτή την κατάσταση.
<b>E.2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μέγεθος υπερφόρτωσης</li> </ul>	Αυτό το γεγονός δείχνει ότι το κατώτατο όριο φορτίου έχει ξεπεραστεί και κατάλληλες ενέργειες πρέπει να ληφθούν για να αποκαταστήσουν την κατάσταση.
<b>E.3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ενημερωμένη θέση συστήματος</li> </ul>	Αυτό το γεγονός δείχνει ότι οι απαραίτητες ενέργειες έχουν ολοκληρωθεί και η κατάσταση του συστήματος έχει ενημερωθεί.

Πίνακας 6-3: LC FSM μεταβάσεις καταστάσεων

#### 6.4.4 Στρατηγική Αλγορίθμου Ελέγχου Φορτίου

Η κύρια λειτουργία του ελέγχου φορτίου μπορεί να διαιρεθεί σε δύο εργασίες. Σε κανονικές περιστάσεις, το LC προσέχει το δίκτυο να μην είναι υπερφορτωμένο και να παραμένει σε ένα σταθερή κατάσταση. Για να επιτύχει αυτό, το LC λειτουργεί στενά με το AC και το PS. Αυτός ο στόχος καλείται προληπτικός έλεγχος φορτίου (preventive load control).

Εντούτοις, στις πολύ εξαιρετικές καταστάσεις, το σύστημα μπορεί να οδηγηθεί σε μια κατάσταση υπερφόρτωσης. Κατόπιν ο έλεγχος υπερφόρτωσης είναι αρμόδιος για να μειώσει το φορτίο σχετικά γρήγορα και με αυτόν τον τρόπο να φέρει το δίκτυο πίσω στην επιθυμητή λειτουργούσα περιοχή που καθορίζεται από τον σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου (Radio Network Planning - RNP).

Οι λειτουργίες AC και PS εκτελούνται μαζί με τον προληπτικό έλεγχο φορτίου, το LC λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ αυτών των δύο λειτουργιών. Το LC ενημερώνει την κατάσταση φορτίου της δέσμης βασισμένο στις εκτιμήσεις και τις μετρήσεις του ασύρματου μέσου που παρέχονται από το AC και το PS. Εάν η δέσμη είναι στην κανονική κατάσταση, το AC και PS μπορούν να λειτουργήσουν κανονικά. Εάν το φορτίο υπερβαίνει τον στόχο αλλά είναι λιγότερο από το διευκρινισμένο κατώτατο όριο υπερφόρτωσης, εκτελούνται οι προληπτικές ενέργειες ελέγχου φορτίου. Το AC αναγνωρίζει μόνο τους νέους RT-φορείς. Το PS δεν αυξάνει περαιτέρω ρυθμό μετάδοσης των αναγνωρισμένων NRT φορέων. Εάν η δέσμη κινείται προς μια κατάσταση υπερφόρτωσης, το PS αρχίζει να μειώνει τους ρυθμούς μετάδοσης των NRT φορέων λαμβάνοντας υπόψη τις κατηγορίες φέροντος και τις προτεραιότητες που έχουν καθοριστεί από τον τηλεπικοινωνιακό οργανισμό (operator) στην ίδια κατηγορία κίνησης. Στην πιο ακραία περίπτωση, NRT και rt οι φορείς μπορεί ακόμη και να απορριφθούν.

Ένας αλγόριθμος ελέγχου φορτίου απαιτεί την εκτίμηση μιας περιγραφικής παραμέτρου, του παράγοντα φορτίου (load factor), που απεικονίζει τη διαθεσιμότητα των πόρων.

#### 6.4.5 Αλγόριθμος Ελέγχου Φορτίου βασισμένος στη Ρυθμοαπόδοση

Σε αυτήν την περίπτωση, ένας παράγοντας φορτίου μπορεί να υπολογιστεί αν δοθεί το άθροισμα όλων των ρυθμών bit όλων ενεργών RABs της τρέχουσας περιόδου διαιρημένο με τη μέγιστη πιθανή ρυθμοαπόδοση για την δέσμη:

$$n_{DL} = \frac{\sum_{k=1}^N R_k}{R_{\max}} \quad [6.21]$$

πού  $R_k$  είναι ο ρυθμός του RAB  $k$  και  $N$  είναι ο συνολικός αριθμός των RABs.

Είναι επίσης δυνατό να υπολογιστεί ο παράγοντας φορτίου ως εξής:

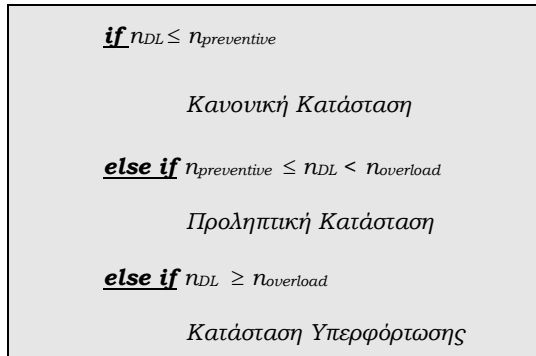
$$\eta_{DL} = \sum_{k=1}^M \frac{\gamma_k}{SF_k} \cdot (1 - a + \lambda) \quad [6.22]$$

Προκειμένου να ανιχνευθεί πότε το σύστημα έχει μπει στη προληπτική (*preventive*) ή στην κατάσταση υπερφόρτωσης (*overload*), δύο κατώτατα όρια πρέπει να καθοριστούν, αντίστοιχα:

- $n_{preventive}$
- $n_{overload}$

όπου  $n_{preventive} < n_{overload}$

Επομένως,



Τα κατώτατα όρια  $n_{preventive}$  και  $n_{overload}$  τίθενται με τη διαδικασία RNP.

#### 6.4.6 Αλγόριθμος Ελέγχου Αποδοχής και Προληπτικού Ελέγχου Φορτίου

Σε αυτή την παράγραφο προτείνεται μια στρατηγική ελέγχου αποδοχής που συνδέεται με έναν προληπτικό μηχανισμό ελέγχου φορτίου. Είναι μια στρατηγική ελέγχου αποδοχής που εφαρμόζει έναν προληπτικό αλγόριθμο ελέγχου φορτίου στοχεύοντας στον καθορισμό του αποδεκτού συνόλου του TBSs που μπορεί να υποστηριχθεί από το σύστημα, εξασφαλίζοντας το απαραίτητο QoS. Αυτή η συνδυασμένη στρατηγική μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου περισσότερα από ένα FACH πολυπλέκονται σε ένα S-CCPCH. Κάθε φορά που εξετάζεται ένα νέο αίτημα υπηρεσίας για την αποδοχή στο σύστημα, ο αλγόριθμος ψάχνει όλο το επιλέξιμο TFS:

$$Min\_TBS\_size \leq (K * step) * N \leq Max\_TBS\_size \quad [6.23]$$

όπου

$$K * step \leq 5000$$

Ο αλγόριθμος υπολογίζει στη συνέχεια τους επιτρεπόμενους συνδυασμούς βασισμένους κυρίως στο συνολικό ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών που μπορεί να μεταφερθεί από το S-CCPCH. Ο αλγόριθμος ελέγχει τα πιθανά TFCs (βήμα 2) συμπεριλαμβανομένης της νέας συνόδου σαν έχει γίνει ήδη αποδεκτή, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\sum_{i=1}^I \frac{(TFsize)_i}{(\#of\ frames\ per\ TTI)_i} \leq 20 * \frac{256 * 15}{SF_{S-CCPCH}} \quad [6. 24]$$

Στο βήμα 3, το AC ελέγχει το επιτρεπόμενο TFCs που επιλέγεται από το βήμα 2 σύμφωνα με τα κριτήρια AC. Το AC παρέχει τους επιτρεπόμενους συνδυασμούς στο RBAM, το οποίο παρέχει στη συνέχεια την αντιστοιχία TFCS στο MAC κομμάτι του PS. Αυτή η επιλογή μπορεί να θεωρηθεί ως γρήγορο μέρος του ελέγχου πόρων που αφιερώνεται στο MAC, κοντά στο L1. Με αυτόν τον τρόπο ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να αλλάξει πολύ γρήγορα και χωρίς την ανάγκη για σηματοδότηση L3.

Εάν τα κριτήρια AC ικανοποιούνται τότε αναλαμβάνει ο προληπτικός LC (βήμα 4) και ελέγχει ποιο θα ήταν το συνολικό φορτίο για κάθε TFC εάν η νέα σύννοδος είχε γίνει αποδεκτή. Εάν αυτό το κριτήριο φορτίου επίσης ικανοποιείται (η σύγκριση γίνεται μεταξύ του συνολικού μεγέθους του φορτίου από όλες τις υπηρεσίες και ενός κατωφλίου φορτίου που κανονικά αναμένεται από τη διαδικασία σχεδιασμού) έπειτα η σύννοδος γίνεται αποδεκτή και το επιλεγμένο TFCS είναι διαθέσιμο σε PS μέσω RBAM. Ιδανικά, η ανωτέρω διαδικασία θα εξασφάλιζε ότι το σύστημα δεν θα έμπαινε σε μια κορεσμένη κατάσταση (ανάλογα με το πόσο συντηρητική ή αισιόδοξη είναι η επιλογή των τιμών των κατώτατων ορίων φορτίου).

## 7 Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Εκπομπής Πακέτων

### Packet Scheduling Algorithms

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η παρουσίαση των Αλγορίθμων Προγραμματισμού Εκπομπής Πακέτων με σκοπό να εξηγηθούν οι θεμελιώδεις αρχές στις οποίες βασίζονται. Λόγω του γεγονότος ότι όλοι σχεδόν οι αλγόριθμοι εκπομπής για το ασύρματο κανάλι προέρχονται από τους ενσύρματους αλγόριθμους εκπομπής, θα παρουσιαστούν πρώτα αυτοί.

Μετά από τις ειδικές απαιτήσεις της ενσύρματης χρονοδρομολόγησης θα παρουσιαστούν κάποιοι από τους σύγχρονους αλγόριθμους στο ασύρματο περιβάλλον.

#### 7.1 Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Εκπομπής Πακέτων σε Ενσύρματο Περιβάλλον

Οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν αναπτυχθεί και αναλυθεί από την ερευνητική κοινότητα για αρκετά χρόνια. Αυτό που κάνει την χρονοδρομολόγηση σε ένα ενσύρματο περιβάλλον σχετικά πιο εύκολη είναι ότι η κωρητικότητα της ζεύξης είναι σταθερή. Έτσι, οι αλγόριθμοι στοχεύουν στην κατανομή του σταθερού εύρους ζώνης δίκαια στις διαφορετικές ροές κίνησης – συχνά λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας οι οποίες συμφωνήθηκαν κατά τον έλεγχο αποδοχής (AC) της ροής (κλήσης).

##### 7.1.1 Πρώτο Μέσα Πρώτο Έξω / Πρώτο Εισερχόμενο Πρώτο Εξυπηρετημένο

##### First In First Out (FIFO) / First Come First Served (FCFS)

Ο πιο απλός αλγόριθμος λέγεται «Πρώτο Μέσα, Πρώτο Έξω» (First In First Out -FIFO) ή «Πρώτο Εισερχόμενο, Πρώτο Εξυπηρετημένο» (First Come First Served – FCFS) και περιγράφει τι συμβαίνει σε ένα σύστημα χωρίς αυστηρή δρομολόγηση χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η κλάση της ποιότητας υπηρεσίας. Όλα τα πακέτα τα οποία φθάνουν εισάγονται σε μια απλή ουρά αναμονής για κάθε κάρτα διεπαφής δικτύου που δίνει κίνηση προς τα έξω (Network Interface Card – NIC). Εάν αυτή η ουρά γεμίσει τελείως, όλα τα υπόλοιπα πακέτα απορρίπτονται μέχρι να υπάρξει ξανά χώρος στον ενταμιευτή (buffer). Αυτή η ιδιότητα λέγεται απόρριψη ουράς (tail dropping). Οποτεδήποτε η συσκευή δικτύου είναι έτοιμη να μεταδώσει το επόμενο πακέτο, το πρώτο πακέτο στην ουρά, το οποίο καλείται πακέτο κεφαλή της γραμμής (head of line packet – HOL packet), εξέρχεται και μεταδίδεται.

Ο αλγόριθμος FIFO δεν παρέχει εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας και αυτό γιατί όλες οι ροές κίνησης αντιμετωπίζουν την ίδια πιθανότητα καθυστέρησης και απώλειας πακέτων. Για να εξασφαλισθεί ένα όριο καθυστέρησης (delay bound) θα πρέπει να περιοριστεί το μέγεθος της ουράς αποθήκευσης. Τότε, όταν ένα πακέτο μπει στην ουρά αναμονής σε χρόνο το πολύ ίσο με τον χρόνο εξυπηρέτησης της γεμάτης ουράς, θα αποσταλεί στον προορισμό



του. Από την άλλη, όμως, πακέτα που φθάνουν σε γεμάτη ουρά απορρίπτονται. Για να διασφαλισθεί ότι η πιθανότητα απόρριψης πακέτων θα είναι κάτω από ένα όριο, πρέπει να γίνει αποδεκτός μόνο ένας περιορισμένος αριθμός ροών κίνησης. Μια απλή τεχνική για την λήψη της παραπάνω απόφασης είναι η τεχνική του αποτελεσματικού εύρους ζώνης (effective bandwidth) με την οποία υπολογίζεται το εύρος ζώνης που απαιτείται σε κάθε ροή κίνησης.

Η χαμηλή απόδοση που παρουσιάζει ο αλγόριθμος FIFO/FCFS είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι το πακέτο μιας ροής μπορεί να συναντήσει στην είσοδο μιας ουράς αναμονής μια στιγμιαία έξαρση – έκρηξη (burst) κίνησης άλλων ροών, οπότε και να αυξηθεί η καθυστέρηση (χρόνος διαμονής) στην ουρά.

Πολιτικές χρονοδρομολόγησης που προέρχεται από τον αλγόριθμο FIFO είναι η « τελευταίο που έρχεται, πρώτο εξυπηρετείται» (Last Come First Served – LCFS) και η Αυστηρή Προτεραιότητα. Στην πολιτική LCFS το πακέτο που φθάνει τελευταίο εξυπηρετείται πρώτο, ενώ στην πολιτική Αυστηρής Προτεραιότητας υπάρχει διαφορετική ουρά αναμονής για κάθε προτεραιότητα πακέτου. Η δεύτερη πολιτική εξετάζεται στη συνέχεια.

### **7.1.2 Αναμονή με Αυστηρή Προτεραιότητα ή Αναμονή με Προτεραιότητες**

#### **Strict Priority Queuing (SPQ) – Priority Queuing (PQ)**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η τεχνική αυτή προέρχεται από τον αλγόριθμο FCFS και αποτελεί μια τροποποίηση ή καλλίτερα σύνθεση. Σε αυτή την πολιτική χρονοδρομολόγησης οι ροές κίνησης ταξινομούνται σε επίπεδα προτεραιότητας και υπάρχει διαφορετική ουρά αναμονής για κάθε προτεραιότητα πακέτου. Το επόμενο πακέτο που εκπέμπεται εξαρτάται μόνο από τα επίπεδα προτεραιότητας και επιλέγεται με τεχνική FCFS από την μη-άδεια ουρά της μεγαλύτερης προτεραιότητας. Τα πακέτα χαμηλότερης προτεραιότητας εξυπηρετούνται μόνο όταν οι ουρές υψηλότερης αντίστοιχα προτεραιότητας είναι κενές. Η τεχνική αυτή δεν υλοποιείται βάσει το πλήθος των πολυπλεγμένων ροών κίνησης και ως ετούτου παρέχει εξοικονόμηση εργασίας (work conserving) και επιπρόσθετα είναι ανεξάρτητη από την αρχιτεκτονική του δικτύου.

Από την περιγραφή της τεχνικής SPQ (ήPQ) φαίνεται να υποστηρίζεται ένα είδος διαφοροποιημένων υπηρεσιών, χωρίς όμως να υφίσταται η έννοια της Εγγυημένης Ποιότητας Υπηρεσίας η οποία είναι σαφώς πιο πολύπλοκη. Αυτό που εξασφαλίζεται είναι ότι μια υπηρεσία υψηλότερης κλάσης θα τυχάνει καλύτερης εξυπηρέτησης από μια άλλη χαμηλότερης αντίστοιχα. Η βελτίωση της απόδοσης του συστήματος γίνεται, όπως και στην περίπτωση της απλής FCFS πολιτικής, με μείωση του μεγέθους των ενταμιευτών. Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι θα παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση της καθυστέρησης (jitter) των πακέτων χαμηλής προτεραιότητας. Έτσι, μπορεί να εμφανισθεί το φαινόμενο κατάχρησης πόρων όλων των ουρών προτεραιότητας εκτός από αυτή της υψηλής προτεραιότητας.

### 7.1.3 Generalized Processor Sharing (GPS)

Ο αλγόριθμος GPS είναι η ιδανική πολιτική εκπομπής πακέτων την οποία οι περισσότεροι άλλοι αλγόριθμοι προσπαθούν να προσεγγίσουν όσο το δυνατόν καλύτερα μιας και ο GPS αλγόριθμος δεν είναι κατάλληλος από μόνος του για δίκτυα πακέτων.

Έστω  $N$  ροές που πρέπει να εξυπηρετηθούν από τον αλγόριθμο. Σε ένα GPS σύστημα, σε κάθε ροή εκχωρείται ένα βάρος  $\varphi_i$  το οποίο αντιστοιχεί στο τμήμα του εύρους ζώνης με τρόπο σύμφωνα με την παρακάτω συνθήκη για την οποία ισχύει :

$$\sum_{i=1}^N \varphi_i = 1$$

Αν η ποσότητα της ροής  $i$  που έχει ληφθεί σε χρονικό διάστημα  $(\tau_1, \tau_2]$  συμβολίζεται με  $S_i(\tau_1, \tau_2)$  τότε για κάθε ροή  $i$  συνεχώς συσσωρευόμενη στο διάστημα ο GPS εξυπηρετητής εγγυάται ότι :

$$\frac{S_i(\tau_1, \tau_2)}{S_j(\tau_1, \tau_2)} \geq \frac{\varphi_i}{\varphi_j}, \quad i, j \in [1, N]$$

Συγκρίνοντας τις παραπάνω δυο εξισώσεις, ένας εξυπηρετητής ρυθμού  $r$  εξυπηρετεί μια ροή  $i$  με ποσοστό εγγυημένης υπηρεσίας  $g_i = \varphi_i \cdot r$ . Επιπρόσθετα, αν υπάρχει μόνο ένα υποσύνολο  $B(\tau_1, \tau_2) \subset \{1, 2, \dots, N\}$  όλων των συσσωρευόμενων ροών, η υπόλοιπη χωρητικότητα θα κατανεμηθεί αναλογικά με βάρη  $\varphi_i$ .

$$g_i^{inc} = \frac{\varphi_i}{\sum_{j \in B} \varphi_j} \cdot r, \quad i \in B$$

Ένας GPS εξυπηρετητής έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά τα οποία τον κάνουν κατάλληλο για προγραμματισμό εκπομπής κίνησης :

- Έχει το γνώρισμα εξοικονόμησης εργασίας (work conserving).
- Μια ροή είναι εγγυημένου ρυθμού μετάδοσης ανεξάρτητο από το πλήθος της κίνησης άλλων ροών. Οι ροές είναι ανεξάρτητες.
- Είναι πολύ ευέλικτος. Για παράδειγμα θεωρώντας ένα μικρό βάρος  $\varphi_i$  σε μια ασήμαντη κίνηση υποβάθρου, το μεγαλύτερο μέρος της χωρητικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ροές υψηλότερης προτεραιότητας ( $\varphi_j \gg \varphi_i$ ) αν αυτές είναι συσσωρευόμενες ενώ η υπόλοιπη χωρητικότητα θα χρησιμοποιηθεί για την κίνηση υποβάθρου.
- Η μέγιστη καθυστέρηση μιας ροής περιορίζεται από το μέγιστο μέγεθος της ουράς αναμονής  $Q_{max}$  και το μέγιστο μέγεθος του πακέτου  $L_{max}$  :

Comment [ChP1]

$$D_i^{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot L_{\max}}{g_i} = Q_{\max} \cdot L_{\max} \cdot \frac{\sum_{j \in [1, N]} \varphi_j}{\varphi_i \cdot r}, \quad i \in [1, N]$$

#### 7.1.4 Αλγόριθμος Κυκλικής Επαναφοράς με Βάρη

##### Weighted Round Robin (WRR)

Ο αλγόριθμος WRR είναι η πιο απλή προσέγγιση του GPS για δίκτυα βασισμένα σε πακέτα. Θεωρείται ότι το μέσο μέγεθος πακέτου είναι γνωστό. Κάθε ροή έχει ένα ακέραιο βάρος  $w_i$  σύμφωνα με το ποσοστό υπηρεσίας που υποτίθεται ότι έχει. Ο εξυπηρετητής σύμφωνα με αυτά τα βάρη και με τον ρυθμό  $r$  προϋπολογίζει το πλαίσιο (frame) το οποίο εξυπηρετεί την σύνοδο  $i$  με έναν ρυθμό :

$$r_i = \frac{w_i}{\sum_j w_j} \cdot r$$

λαμβάνοντας υπόψη το μέσο μέγεθος του πακέτου.

Κατόπιν, ο εξυπηρετητής επιλέγει τις ουρές με μια ακολουθία προγραμματισμού εκπομπής, όλες οι άδειες ουρές παραλείπονται. Όταν ένα εισερχόμενο πακέτο χάσει την χρονοσχιμή του πλαισίου για να μεταδοθεί μπορεί να καθυστερήσει σημαντικά σε ένα «υπερφορτωμένο» σύστημα αφού πρέπει να περιμένει για την επόμενη χρονοσχιμή.

Ο αλγόριθμος είναι επίσης κατάλληλος όταν το μέσο μέγεθος του πακέτου είναι άγνωστο ή μεταβάλλεται πολύ αφού στην χειρότερη περίπτωση μια ροή μπορεί να χρησιμοποιήσει  $L_{\max}/L_{\min}$  φορές τον ρυθμό που προσδιορίστηκε σε αυτή.

#### 7.1.5 Στοχαστική Δίκαιη Αναμονή

##### Stochastic Fair Queuing (STFQ)

Για να αποφευχθεί η ύπαρξη μιας διαφορετικής ουράς για κάθε κίνηση όπως στον αλγόριθμο WRR, αναπτύχθηκε ο αλγόριθμος STFQ. Στο STFQ χρησιμοποιείται η πολιτική της ανάμιξης (hashing scheme) για την κατάταξη των εισερχόμενων πακέτων στις ουρές. Αφού ο αριθμός των ουρών είναι σημαντικά μικρότερος από τον αριθμό των πιθανών ροών, κάποιες ροές θα εκχωρηθούν σε ίδια ουρά. Οι ροές που συγκρούονται με αυτό τον τρόπο θα αντιμετωπίζονται με όχι δίκαιο τρόπο – έτσι η STFQ δικαιοσύνη θα εγγυάται την στοχαστικότητα.

Οι ουρές εξυπηρετούνται με κυκλικό τρόπο χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του πακέτου. Επίσης, ο αλγόριθμος STFQ χρησιμοποιεί την τεχνική αδειάματος ενταμιευτή (buffer stealing technique) ώστε να μοιράσει του διαθέσιμους ενταμιευτές σε όλες τις ουρές.

Δηλαδή, αν όλοι οι ενταμιευτές είναι γεμάτοι, τότε το πακέτο στο τέλος της μεγαλύτερης ουράς απορρίπτεται.

### 7.1.6 Ελλειμματικός Αλγόριθμος Κυκλικής Επαναφοράς

#### Deficit Round Robin (DRR)

Ο αλγόριθμος Deficit Round Robin (DRR) προτάθηκε ως επέκταση στο STFQ. Η βασική ιδέα είναι να παρακολουθήσει τα ελλειμμάτα (deficits) μιας ροής κατά τη διάρκεια ενός κύκλου για να τα αντισταθμίσει στον επόμενο κύκλο. Επομένως, όταν μια ουρά αναμονής δεν ήταν ικανή να στείλει ένα πακέτο στον προηγούμενο κύκλο επειδή το μέγεθος του HOL πακέτου ήταν μεγαλύτερο από την ορισμένη slot, το ποσό χαμένης υπηρεσίας προστίθεται στον επόμενο κύκλο.

Αυτό εφαρμόζεται με τον ακόλουθο τρόπο: Κάθε ουρά αναμονής έχει μια τιμή *Quantum* που είναι ανάλογη προς το μερίδιο υπηρεσιών που υποτιθέμενη να λάβει και μια μεταβλητή κατάστασης *DeficitCounter*. Στην αρχή κάθε κύκλου το *Quantum* προστίθεται στο *DeficitCounter* κάθε σειράς αναμονής. Κατόπιν, εάν το HOL πακέτο της ουράς αναμονής έχει ένα μέγεθος μικρότερο ή ίσο με το *DeficitCounter* αυτό υποβάλλεται σε επεξεργασία και το *DeficitCounter* μειώνεται από το μέγεθος πακέτων. Σε περίπτωση άδειας ουράς αναμονής το *DeficitCounter* τίθεται μηδέν.

Δεδομένου ότι το DRR δεν παρέχει αυστηρά όρια καθυστέρησης, εισήχθηκε μια παραλλαγή αποκαλούμενη DRR+ που διαιρεί τις ροές σε δύο κλάσεις, κρίσιμη σε καθυστέρηση και βέλτιστης-προσπάθειας. Στις κρίσιμες ροές δεν απαιτείται να μην στέλνονται περισσότερα πακέτα από ότι έχει συμφωνηθεί την στιγμή της αποδοχής αλλά είναι εγγυημένο να μην υπάρξει καθυστέρηση σε περισσότερα του ενός πακέτα οποιασδήποτε κρίσιμης ροής.

### 7.1.7 Δίκαιη Αναμονή με Βάρη

#### Weighted Fair Queuing - WFQ

Ένας άλλος αλγόριθμος που προσεγγίζει τον GPS σε επίπεδο πακέτων είναι γνωστός ως Δίκαιη Αναμονή με Βάρη (**Weighted Fair Queuing - WFQ**) ή πακέτο-με-πακέτο GPS (Packet-by-packet Generalized Processor Sharing - PGPS). Μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως έκδοση με βάρη ενός παρόμοιου αλγορίθμου βασισμένου στο bit-by-bit Round Robin (BR) καλούμενη δίκαιη αναμονή (Fair Queuing).

Ο αλγόριθμος είναι βασισμένος στις ακόλουθες υποθέσεις:

1. τα πακέτα πρέπει να διαβιβαστούν ως οντότητες.

2. το επόμενο πακέτο για να αναχωρήσει σύμφωνα με GPS μπορεί να μην είχε φθάσει ακόμα όταν ο εξυπηρετητής γίνεται ελεύθερος.
3. Κατά συνέπεια ο εξυπηρετητής δεν μπορεί να κάνει εκοικονόμηση εργασίας (work-conserving) και να επεξεργαστεί τα πακέτα κατά αυξανόμενη σειρά του GPS χρόνου άφιξης  $FP$ .

Η λύση WFQ είναι να επιλεγεί εκείνο το πακέτο για μετάδοση που θα άφηνε έναν ιδανικό εξυπηρετητή GPS μετά *εάν κανένα άλλο πακέτο δεν παραλήφθηκε*. Δεδομένου ότι και ο GPS και PGPS παρέχουν εξοικονόμηση εργασίας, πρέπει να έχουν τις ίδιες ενεργές περιόδους. Επομένως ο μέγιστος χρόνος που ένα πακέτο μπορεί να καθυστερήσει λόγω του PGPS έναντι του GPS είναι :

$$\widehat{F}_p - F_p \leq \frac{L_{\max}}{r}$$

όπου  $\widehat{F}_p$  είναι ο PGPS χρόνος αναχώρησης,  $F_p$  είναι το GPS χρόνος τερματισμού,  $L_{\max}$  είναι το μέγιστο μέγεθος πακέτου και  $r$  είναι ο ρυθμός μετάδοσης του εξυπηρετητή. Ένα σύστημα PGPS επίσης δεν ακολουθεί πίσω από το αντίστοιχο σύστημα GPS από περισσότερα του ενός πακέτα μέγιστου μεγέθους από την πλευρά πλήθος των bits που εξυπηρετήθηκαν  $W_i(\cdot)$  για κάθε σύνοδο :

$$W_{i,GPS}(0, \tau) - W_{i,WFQ}(0, \tau) \leq L_{\max}, i \in [1, N]$$

Αν και κανένα πακέτο δεν θα τελειώσει σε περισσότερο από  $\frac{L_{\max}}{r}$  χρονικές μονάδες, μπορεί να τελειώσει την εξυπηρέτηση πολύ νωρίτερα απ'ό,τι στο GPS.

### 7.1.8 Δίκαιη Αναμονή με Χρόνους Έναρξης

#### Start-time Fair Queuing (SFQ)

Μια ελαφρώς διαφορετική μέθοδος υιοθετείται από τον αλγόριθμο Start-time Fair Queuing (SFQ) ο οποία επεξεργάζεται τα πακέτα κατά σειρά με τον χρόνο-έναρξη τους (start-time) αντί της εξέτασης των ετικετών τερματισμού τους. Προσφέρει μια μικρότερη μέση και μέγιστη καθυστέρηση για τις ροές χαμηλός-ρυθμοαπόδοσης από το WFQ. Έχει επίσης την καλύτερη δικαιοσύνη και τη μικρότερη μέση καθυστέρηση από DRR και απλοποιεί τον υπολογισμό του εικονικού χρόνου  $v(t)$ .

Κατά την άφιξη ενός πακέτο  $p_j^f$  της ροής  $f$ , ορίζεται μια ετικέτα έναρξης  $S(p_j^f)$  και τερματισμού  $F(p_j^f)$  σύμφωνα με τον χρόνο άφιξης του πακέτου  $A(p_j^f)$  και της

ετικέτας τερματισμού του προηγούμενου πακέτου της ίδιας ροής. Ο υπολογισμός αυτών γίνεται βάσει των παρακάτω εξισώσεων:

$$S(p_j^f) = \max\left(v\left(A(p_j^f)\right), F(p_{j-1}^f)\right), j \geq 1$$

$$F(p_j^f) = S(p_j^f) + \frac{L(p_j^f)}{r_j}, j \geq 1$$

$$F(p_0^f) = 0$$

Ο εικονικός χρόνος  $v(t)$  του εξυπηρετητή ορίζεται ως η ετικέτα έναρξης του τρέχον πακέτου στην εξυπηρέτηση. Σε μια ανενεργή περίοδο είναι η μέγιστη ετικέτα τερματισμού όλων των πακέτων που επεξεργάστηκαν πριν. Όλα τα πακέτα υποβάλλονται σε επεξεργασία κατά αυξανόμενη σειρά των ετικετών τους έναρξης.

### 7.1.9 Χείριση Περίπτωση Δίκαιου WFQ

#### Worst-Case Fair Weighted Fair Queuing (WF<sup>2</sup>Q)

Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα ότι η υπηρεσία που προσφέρεται από WFQ μπορεί να ξεπεράσει πολύ την υπηρεσία GPS που προσεγγίζει, επεκτάθηκε ο αλγόριθμος WFQ στην έκδοση Worst-Case Fair Weighted Fair Queuing (WF<sup>2</sup>Q). Με την αποφυγή της εναλλαγής μεταξύ των καταστάσεων υψηλής υπηρεσίας και χαμηλής υπηρεσίας για μια ροή, με αυτό τον τρόπο ο WF<sup>2</sup>Q είναι επίσης καταλληλότερος για αλγορίθμους ελέγχου συμφοράς βασισμένους στην ανατροφοδότηση (feedback).

Σε ένα σύστημα WF<sup>2</sup>Q ο εξυπηρετητής επιλέγει τα επόμενα πακέτα να επεξεργαστούν μόνο μεταξύ εκείνων των πακέτων που θα είχαν αρχίσει την εξυπηρέτηση στο αντίστοιχο σύστημα GPS. Σε αυτήν την ομάδα, επιλέγεται το πακέτο με τον ελάχιστο χρόνο αναχώρησης GPS.

Για τον WF<sup>2</sup>Q οι εξισώσεις του WFQ σχετικά με την καθυστέρηση και την εργασία που ολοκληρώνονται για μια σύνοδο ισχύουν επίσης. Επιπλέον, δεδομένου ότι ένα πακέτο της ροής  $i$  που αφήνει το WF<sup>2</sup>Q σύστημα έχει τουλάχιστον αρχίσει την επεξεργασία στο GPS, μπορεί να εγγραφεί ότι:

$$W_{i,WF^2Q}(0, \tau) - W_{i,GPS}(0, \tau) \leq \left(1 - \frac{r_i}{r}\right) L_{i,max}$$

Ο WF<sup>2</sup>Q επομένως θεωρείται βέλτιστος αλγόριθμος πακέτων στην προσέγγιση του GPS.

### 7.1.10 Worst-Case Fair Weighted Fair Queuing + (WF<sup>2</sup>Q+)

Ο WF<sup>2</sup>Q+ αλγόριθμος είναι μια βελτιωμένη έκδοση του WF<sup>2</sup>Q με τα ίδια όρια καθυστέρησης αλλά μια χαμηλότερη πολυπλοκότητα αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει το ιεραρχικό GPS (Hierarchical GPS – H-GPS). Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μιας λειτουργίας εικονικού χρόνου  $V_{WF^2Q+}(t)$  η οποία εξαλείφει την ανάγκη να προσομοιωθεί το αντίστοιχο σύστημα GPS :

$$V_{WF^2Q+}(t + \tau) = \max\left(V_{WF^2Q+}(t) + W(t, t + \tau), \min_{i \in B(t)} (S_i^{h_i(t)})\right)$$

όπου  $W(t, t + \tau)$  δείχνει το συνολικό ποσό υπηρεσίας στην περίοδο και  $h_i(t)$  ο αριθμός των HOL πακέτων της ουράς  $i$ . Δεδομένου ότι τουλάχιστον ένα πακέτο έχει έναν εικονικό χρόνο έναρξης χαμηλότερο ή ίσο με τον εικονικό χρόνο του συστήματος, ο αλγόριθμος είναι work-conserving με την επιλογή του πακέτου με τον χαμηλότερο επιλέξιμο χρόνο έναρξη (όπως WF<sup>2</sup>Q) για μετάδοση. Η δεύτερη τροποποίηση στο αρχικό σχέδιο είναι ότι το WF<sup>2</sup>Q+ απλοποιεί τον υπολογισμό των ετικετών έναρξης και τέλους ενός πακέτου. Αντί του εκ νέου υπολογισμού τους για κάθε πακέτο μετά από κάθε μετάδοση/άφιξη πακέτων, υπολογίζονται μόνο όταν φθάνει ένα πακέτο στην κεφαλή της ουράς αναμονής του :

$$S_i = \begin{cases} F_i & \alpha\nu \ Q_i(a_i^k -) \neq 0 \\ \max(F_i, V(a_i^k)) & \alpha\nu \ Q_i(a_i^k -) = 0 \end{cases}$$

όπου  $Q_i(a_i^k -)$  είναι το μέγεθος της ουράς αναμονής αμέσως πριν από την άφιξη του πακέτου  $k$  της ροής  $i$ .

Έχει αποδειχθεί ότι ο αλγόριθμος WF<sup>2</sup>Q+ είναι σε θέση να επιτύχει την ίδια δικαιοσύνη στην χειρότερη περίπτωση και τις ίδιες ιδιότητες οριακής καθυστέρησης με τον αλγόριθμο WF<sup>2</sup>Q.

## 7.2 Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Εκπομπής Πακέτων σε Ασύρματο Περιβάλλον

Ο προγραμματισμός εκπομπής πακέτων σε ασύρματο περιβάλλον είναι πιο πολύπλοκος σε σχέση με την περίπτωση του αντίστοιχου ενσύρματου αφού το ασύρματο κανάλι δέχεται επιδράσεις από επιπρόσθετους παράγοντες τους οποίους ο μηχανισμός εκπομπής πρέπει να λαμβάνει υπόψη :

- Λάθη τα οποία εξαρτώνται από την θέση (π.χ. λόγω πολυδιαδρομικών διαλείψεων)
- Μεγάλη πιθανότητα μετάδοσης λαθών/εκρήξεις λαθών
- Παρεμβολές από άλλες ασύρματες πηγές
- Δυναμική αυξομείωση του αριθμού των τερματικών σταθμών (διαπομπές)

Οι περισσότεροι αλγόριθμοι θεωρούν ότι προγραμματίζουν την εκπομπή της προς τα κάτω ζεύξης ροής κίνησης σε ένα σημείο πρόσβασης και έχουν πλήρη έλεγχο του ασύρματου μέσου. Ακριβής γνώση της κατάστασης των προς τα άνω ζεύξης ουρών των κινητών τερματικών και της κατάστασης του καναλιού είναι επίσης προαπαιτούμενη για την πλειοψηφία των αλγορίθμων που θα παρουσιαστούν.

Είναι σύνηθες για σκοπούς προσομοίωσης να χρησιμοποιείται το μοντέλο της αλυσίδας Markov δυο καταστάσεων για το ασύρματο κανάλι γνωστό ως Gilbert – Elliot Μοντέλο αποτελούμενο από τις δυο καταστάσεις «καλό κανάλι» και «κακό κανάλι» με τις μεταβατικές πιθανότητες.

Αν και στην περίπτωση του ενσύρματου δικτύου όλοι οι σταθμοί υπόκεινται στην ίδια ποιότητα καναλιού, στα ασύρματα δίκτυα είναι λογικό κάποιιοι χρήστες να έχουν καλά κανάλια ενώ κάποιιοι άλλοι όχι και μια χρονική στιγμή μετά ένα διαφορετικό σύνολο χρηστών να έχουν διαθέσιμη χωρητικότητα. Έτσι θα πρέπει να εξασφαλίζεται στους χρήστες που παρατηρούνται εκρήξεις λαθών να επιπρόσθετη χωρητικότητα καναλιού ώστε να δημιουργηθούν καλές συνθήκες μετάδοσης. Ο μηχανισμός αυτός καλείται ασύρματη αντιστάθμιση (*Wireless Compensation*).

### 7.2.1 Εξιδανικευμένος Ασύρματη Δίκαιη Αναμονή

#### Idealized Wireless Fair Queuing (IWFQ)

Μια προσαρμογή του WFQ για να χειριστεί τις εκρήξεις λαθών που εξαρτώνται της θέσης είναι ο αλγόριθμος (IWFQ). Σε κάθε νέο-εισερχόμενο πακέτο ανατίθεται μια ετικέτα έναρξης  $s_{i,n}$  (start tag) και μια ετικέτα λήξης (finish tag)  $f_{i,n}$  :

$$s_{i,n} = \max(v(A(t_{i,n})), f_{i,n-1}) \quad , \quad f_{i,n} = s_{i,n} + \frac{L_{i,n}}{r_i}$$



με  $v(t)$  να υπολογίζεται από το σύνολο των backlogged ροών  $B(t)$  της υπηρεσίας χωρίς λάθη σύμφωνα με την σχέση :

$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{C}{\sum_{i \in B(t)} r_i}$$

όπου  $C$  είναι η συνολική χωρητικότητα της ζεύξης και  $r_i$  ο ρυθμός της ανεξάρτητης ροής  $i$ .

Ο αλγόριθμος τότε πάντα επιλέγει την ροή με την μικρότερη ετικέτα λήξης για την οποία παρατηρείται ένα «καλό» κανάλι για μετάδοση.

Αυτό το σχήμα έχει ανεπιφύλακτα ασύρματη αντιστάθμιση : Όταν η ροή που δεν έχει εξυπηρετηθεί για λίγο λόγω των λαθών του καναλιού θα έχει μικρές ετικέτες λήξης, θα της δοθεί ένα μερίδιο στη δέσμευση καναλιού για μικρό χρονικό διάστημα έτσι ώστε να μπορέσει να μεταδώσει ξανά. Λόγω αυτής την ποικιλομορφίας συμπεριφορών η ιδιότητα απομόνωσης του GPS είναι αναγκαία η εισαγωγή ενός ανώτατου και κατώτατου ορίου στην αντιστάθμιση. Έτσι, οι ετικέτες έναρξης και λήξης συνεχώς ανανεώνονται :

1. Μια ροή  $i$  επιτρέπεται μόνο να έχει ένα πλήθος από  $B_i$  bits σε πακέτα με μια ετικέτα τέλους χαμηλότερη από τον εικονικό χρόνο (virtual time)  $v(t)$ . Αν αυτή η τιμή ξεπεραστεί, τα πρόσφατα τελευταία εισερχόμενα πακέτα απορρίπτονται.
2. Μια ροή της οποίας το πρώτο πακέτο έχει μια ετικέτα έναρξης μεγαλύτερη από  $\frac{l_i}{r_i}$  στο μέλλον θα προσαρμοστεί σε :

$$s_{i,hol} = v(t) + \frac{l_i}{r_i}, \quad f_{i,hol} = s_{i,hol} + \frac{L_{i,hol}}{r_i}$$

Τα πακέτα στο IWFQ μπορεί να χαρακτηρίζονται από υψηλότερη (αλλά με όριο  $B = \sum_i B_i$ ) καθυστέρηση από το WFQ λόγω της ασύρματης αντιστάθμισης :

$$d_{\max, IWFQ} \leq d_{\max, WFQ} + \frac{B}{C}$$

## 7.2.2 Ασύρματος Χρονοπρογραμματισμός Εκπομπής Πακέτων

### Wireless Packet Scheduling (WPS)

Το WPS είναι μια προσέγγιση του αλγορίθμου IWFQ που χρησιμοποιεί WRR. Για να ληφθεί υπόψη η εκρηκτικότητα των λαθών του ασύρματου καναλιού, το βασικό σχήμα WRR άλλαξε για να χρησιμοποιηθεί η εξάπλωση των χρονοορισμών. Το WPS θεωρεί ότι όλα τα πακέτα έχουν το ίδιο μέγεθος (χρονοορισμής), πολλές χρονοορισμένες αποτελούν ένα πλαίσιο.

Το WPS χρησιμοποιεί δυο τεχνικές ασύρματης αντιστάθμισης :

1. *intra-frames swapping* : όταν ροή που προγραμματίζεται να μεταδοθεί έχει ένα «κακό» κανάλι, ο αλγόριθμος προσπαθεί να αντιμεταθέσει την χρονοοσιμότητα με μια άλλη χρονοοσιμότητα μιας διαφορετικής ροής σε «καλό» κανάλι.
2. *credits/debits* : Μια *backlogged* ροή που δεν μπορεί να μεταδώσει κατά την διάρκεια της χρονοοσιμότητας, της ανατίθεται ένα *credit* (σε bytes), αν υπάρχουν μια ή περισσότερες ροές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν την χρονοοσιμότητα(ές). Διαδοχικά το *credit* τους μειώνεται. Όπως και στο IWFQ οι λειτουργίες περιορίζονται από την μέγιστη τιμή *credit/debit*.

Το ενεργό βάρος (*effective weight*) μιας ροής το οποίο χρησιμοποιείται όταν εκπέμπεται ένα πλαίσιο είναι το άθροισμα του προκαθορισμένου (*default*) βάρους και του *credit/debit*.

Το WPS χρησιμοποιεί πρόβλεψη ενός σταδίου (*one-step prediction*) για την εκτίμηση του καναλιού προβλέποντας ότι το κανάλι θα παραμείνει στην κατάσταση στην οποία είχε εξεταστεί κατά την διάρκεια της προηγούμενης χρονοοσιμότητας.

### 7.2.3 Δίκαιη Αναμονή Πακέτων Ανεξάρτητη από Κατάσταση Καναλιού

#### Channel-Condition Independent Packet Fair Queuing (CIFQ)

Το σχήμα CIFQ είναι μια προσαρμογή του SFQ (*Start Time Fair Queuing*) για ασύρματο κανάλι.

Αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει :

1. βραχυπρόθεσμη δικαιοσύνη και εγγυήσεις ρυθμού/καθυστερήσης για συνόδους χωρίς λάθη.
2. μακροπρόθεσμη δικαιοσύνη για συνόδους με περιορισμένα λάθη καναλιού.
3. καλή υποβάθμιση των κύριων ροών.

Ένας αλγόριθμος με αυτές τις ιδιότητες καλείται Δίκαιος Ανεξάρτητος από Κατάσταση Καναλιού (*Channel-Condition Independent Packet Fair*).

Ο εικονικός χρόνος (*virtual time*) της επιλεγμένης ροής είναι :

$$v_i = v_i + \frac{l_i^k}{r_i}$$

Έτσι, ο αλγόριθμος έχει το δικό του ρολόι και δεν είναι αναγκαία η προσομοίωση του χρόνου σε ένα σύστημα αναφοράς. Για να καταγραφεί το σύνολο της κίνησης μια ροή πρέπει να αντισταθμιστεί, μια παράμετρος καθυστέρησης συνδέεται με κάθε σύνοδο η οποία αυξάνεται για μια σύνοδο η οποία δε μπόρεσε να μεταδώσει και μειώνεται όταν εισέρχεται μια νέα υπηρεσία.

$$\sum_i lag_i = 0$$

Τα κύρια μέρη του αλγορίθμου είναι :

1. Επέλεξε μια ροή  $i$  για μετάδοση χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο σύστημα αναφοράς.
2. Προσαύξησε τον εικονικό χρόνο  $i$  της ροής.
3. Αν η ροή είναι κύρια και της έχει παραχωρηθεί τουλάχιστον ένα ποσοστό  $\alpha$  για αντιστάθμιση των καθυστερημένων ροών ή είναι in-sync/lagging, τότε εξυπηρετείται.
4. Αν η επιλεγμένη ροή δεν μπορεί να μεταδώσει ή πρέπει να παραχωρήσει την χωρητικότητα για την αντιστάθμιση, το εύρος ζώνης κατανέμεται μεταξύ των καθυστερημένων ροών σύμφωνα με τον ρυθμό τους.
5. Αν καμία από τις καθυστερημένες ροές δε μπορεί να μεταδώσει, η ροή  $i$  ετοιμάζεται να μεταδώσει. Αν αυτή δε μπορεί να μεταδώσει κατανέμεται το εύρος ζώνης σύμφωνα με τους ρυθμούς των ροών.
6. Προσαρμόζεται η μεταβλητή καθυστέρησης (lag variable) αν η ροή που επιλέχθηκε είναι διαφορετική από την ροή θα μπορούσε να μεταδώσει στο σύστημα αναφοράς.

Όταν η καθυστερημένη σύνοδος πρέπει να αποχωρήσει, η μεταβλητή καθυστέρησης των άλλων ενεργών συνόδων αυξάνεται σύμφωνα με τον ρυθμό τους. Ο αλγόριθμος μπορεί να περιορίσει την καθυστέρηση μιας ενεργούς συνόδου σε ένα σύστημα με λάθη που εξυπηρετεί  $n$  ενεργές συνόδους σύμφωνα με τον περιορισμό :

$$d_{i,error-free} \leq (n-1) \frac{L_{max}}{R} + \frac{l_i^k}{R} + \frac{L_{max}}{r_i}$$

#### 7.2.4 Ασύρματη Δίκαιη Εξυπηρέτηση

##### Wireless Fair Service (WFS)

Ο αλγόριθμος χαρακτηρίζεται από ιδιότητες CIF και επιπρόσθετα αποσυνδέει τις απαιτήσεις εύρους ζώνης/καθυστέρησης των ροών έτσι ώστε να αντιμετωπίσει χωριστά τις ροές με ευαισθησία σε καθυστέρηση και λάθη. Επίσης αποτρέπει την διαταραχή ροών οι οποίες είναι in-sync λόγω της πιθανής ασύρματης αντιστάθμισης.

Το σχετικό μοντέλο υπηρεσίας χωρίς λάθη του WFS είναι μια επέκταση του WFQ : κάθε ροή προσδιορίζεται από ένα βάρος ρυθμού  $r_i$  και καθυστέρησης  $\Phi_i$ . Όπως και στο IWFQ ένα εισερχόμενο πακέτο δημιουργεί μια σχισμή στην ουρά αναμονής ροών και έχει μια ετικέτα έναρξης  $S(p_i^k)$  και μια ετικέτα λήξης  $F(p_i^k)$  :

$$S(p_i^k) = \max \left( V(A(p_i^k)), S(p_i^k) + \frac{L_i^{k-1}}{r_i} \right)$$

$$F(p_i^k) = S(p_i^k) + \frac{L_i^{k-1}}{\Phi_i}$$

¶Από όλα τα slots των οποίων η ετικέτα έναρξης δεν ξεπερνά τον τρέχοντα εικονικό χρόνο, το WFS επιλέγει το slot με την ελάχιστη ετικέτα τέλους για μετάδοση. ¶Το αποτέλεσμα είναι ότι τα πακέτα θα εξυπηρετηθούν από τον χρονοπρογραμματιστή ανάλογα με το  $r_i$  και τον ρυθμό  $\Phi_i$ .¶

Ο χωρισμός των slots (δικαίωμα για πρόσβαση στο κανάλι) και των πακέτων (δεδομένα για μετάδοση) επιτρέπει οποιοδήποτε σχήμα απορρίψης πακέτων σε επίπεδο ροής: ¶Για τις ευαίσθητες στα λάθη ροές ο χρονοπρογραμματιστής μπορεί να επιλέξει να απορρίψει όλα τα περαιτέρω πακέτα μόλις η σειρά αναμονής είναι πλήρης, ενώ για την ευαίσθητη στην καθυστέρηση ροή ένα HOL πακέτο που έχει παραβιάσει τα όρια καθυστέρησής του μπορεί να απορριφθεί χωρίς να χάσει το δικαίωμα της πρόσβασης στο κανάλι. ¶

Ο ασύρματος μηχανισμός αντιστάθμισης WFS είναι μάλλον περίπλοκος: ¶Οι ροές έχουν ένα *lead counter*  $E_i$  και ένα *lag counter*  $G_i$  που παρακολουθούν τα *lead/lag* τους στα slots.¶ Ο αλγόριθμος εκτελεί την αντιστάθμιση σύμφωνα με τους ακόλουθους κανόνες :¶

1. ¶Εάν μια ροή δεν μπορεί να μεταδώσει, θα προσπαθήσει να διαθέσει το slot πρώτα σε μια *backlogged lagging* ροή¶, έπειτα σε μια *backlogged leading* ροή της οποίας το *lead* είναι μικρότερο από το *lead* όριο¶  $E_{max}(i)$ , έπειτα η *inc-sync* ροή και τελικά σε οποιαδήποτε ροή. ¶Εάν καμία ροή δεν έχει καλό κανάλι, το slot χάνεται. ¶
2. ¶Το *lead/lag counter* θα τροποποιηθεί μόνο εάν μια άλλη ροή μπορεί να χρησιμοποιήσει το slot.¶ ¶Επομένως το άθροισμα όλων των  $E(i)$  είναι ίσο με το άθροισμα όλων των  $G(i)$  οποιαδήποτε στιγμή.
3. ¶Μια *leading* ροή που έχει επιλεχτεί παραχωρήσει το slot της σε μια *lagging* ροή, θα ¶επανακτήσει το slot της εάν καμία από τις *lagging* ροές δεν έχει ένα καλό κανάλι. ¶
4. Εάν μια *lagging* ροή μηδενίσει τη ουρά αναμονής της (π.χ. από την παραβίαση των ορίων καθυστέρησης) το  $G(i)$  της ροής μηδενίζεται και ¶ οι μετρητές  $E(i)$  όλων των *leading* ροών θα μειωθούν ¶ανάλογα στο *lead* τους. ¶
5. Μια *leading* ροή αναγκάζεται να σταματήσει ένα μέρος των  $\frac{E(i)}{E_{max}(i)}$  slots για την ασύρματη αντιστάθμιση (*graceful degradation*). ¶
6. ¶Τα slots που υποδεικνύονται για την ασύρματη αντιστάθμιση θα διανεμηθούν με τρόπο WRR στις *lagging* ροές¶στα  $\sigma$ , κάθε ροή έχει ένα WRR βάρος αντιστάθμισης  $G(i)$ .

## 7.2.5 Ασύρματη Χείριστη Περίπτωση Δίκαιου WFQ

### Wireless Worst-case Fair Weighted Fair Queueing (W<sup>2</sup>F<sup>2</sup>Q)

¶Όπως το όνομα προτείνει, ο αλγόριθμος W<sup>2</sup>F<sup>2</sup>Q είναι μια προσαρμογή της WFQ+ για το ασύρματο περιβάλλον. ¶Χρησιμοποιεί την ίδια έννοια του εικονικού χρόνου με WFQ+ που αποφεύγει την ανάγκη να μιμηθεί ένα αντίστοιχο σύστημα αναφοράς GPS. ¶Εκτός από την αντιστάθμιση που κληρονομείται από WFQ+, που προτιμά τις ροές που ανακτούν από μια περίοδο κακού καναλιού δεδομένου ότι έχουν τις χαμηλότερες ετικέτες έναρξης, το W<sup>2</sup>F<sup>2</sup>Q χρησιμοποιεί μια ασύρματη αντιστάθμιση λάθους που αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά: ¶

1. **Reajusting** : Αν L δηλώνει το μήκος του πακέτου, κάθε πακέτο με μια ετικέτα έναρξης μεγαλύτερη κατά  $\frac{L}{\phi_i} + \delta_{i,\max}$  μπροστά από τον τρέχον εικονικό χρόνο ονομάζεται με μια ετικέτα έναρξης  $V + \frac{L}{\phi_i} + \delta_{i,\max}$  (όρια των leading ροών). Κάθε πακέτο με ετικέτα έναρξης μεγαλύτερη από  $\frac{L}{\phi_i} + \gamma_{i,\max}$  πίσω από τον τρέχον εικονικό χρόνο εκχωρείται μια ετικέτα έναρξης  $V - \frac{L}{\phi_i} + \gamma_{i,\max}$  (τα όρια αντιστάθμισης λαμβάνονται από τις lagging ροές).

2. **Dynamic Graceful Degradation:** ¶ Αντί της χρησιμοποίησης μιας γραμμικής Graceful Degradation leading ροών όπως στο CIF-Q, το W<sup>2</sup>F<sup>2</sup>Q χρησιμοποιεί εκθετική μείωση. ¶Μια leading ροή που διαρκεί περισσότερο από ένα μήκος μετάδοσης πακέτου  $\frac{L}{\phi_i}$  μπροστά θα παραγάγει (1-α) του μεριδίου υπηρεσιών του στις μη leading ροές. ¶Η παράμετρος α υπολογίζεται ανάλογα με τον αριθμό lagging ροών:

$$\alpha = \frac{1 - \alpha_{\min} e^{1-x}}{e-1} + \frac{e\alpha_{\min} - 1}{e-1}$$

όπου x είναι η σχέση των συνδυασμένων βαρών των ροών in-sync και των ροών non in-sync :

$$x = \frac{\sum_j \text{in-sync} \phi_j}{\sum_j \text{non-in-sync} \phi_j}$$

3. **Handling of Unbacklogging in Lagging State** : Στην περίπτωση που μια lagging ροή γίνεται unbacklogged, η υπόλοιπη καθυστέρηση διανέμεται στις άλλες ροές ανάλογα προς το βάρος τους όπως γίνεται στο CIF-Q με εξαίρεση ότι αντί του εκ νέου υπολογισμού μιας μεταβλητής καθυστερήσεων η ετικέτα έναρξης μειώνεται:

$$s_j = s_j - \frac{\phi_i (V - s_i - \frac{L}{\phi_i})}{\sum_{k \in B} \phi_k}$$

### 7.2.6 Server Based Fairness Approach

Μια γενικευμένη προσέγγιση για την προσαρμογή των δικαιων αλγορίθμων αναμονής πακέτων της ασύρματης περιοχής στην ασύρματη περιοχή αναπτύχθηκε από Ramanathan και Agrawal ως προσέγγιση δικαιοσύνης βασισμένη στον κεντρικό εξυπηρετητή (Server Based Fairness Approach-SBFA). ¶Εισάγει την έννοια ενός μακροπρόθεσμου εξυπηρετητή δικαιοσύνης (long-term fairness server-LTFS) που μοιράζεται το εύρος ζώνης με τις άλλες συνόδους και είναι αρμόδιος για την παροχή της πρόσθετης χωρητικότητας σε αυτές προκειμένου να διατηρηθούν οι μακροπρόθεσμες εγγυήσεις δικαιοσύνης. Το ¶SBFA χρησιμοποιεί επίσης τις χωριστές ουρές αναμονής slots και πακέτων γνωστά από WFS . Όποτε μια ροή  $i$  αναγκάζεται να αναβάλει τη μετάδοση ενός πακέτου λόγω ενός κακού καναλιού, μια slot είναι στη LTFS ουρά αναμονής slots με την ετικέτα  $i$ . Αργότερα, όταν εξυπηρετεί ο χρονοπρογραμματιστής τη LTFS σειρά αναμονής, το slot εξέρχεται (dequeue) και ένα πακέτο της συνόδου  $i$  μεταδίδεται. ¶Κατ' αυτό τον τρόπο το LTFS διανέμει ένα πρόσθετο κβάντο του εύρους ζώνης αντιστάθμισης στις lagging ροές χωρίς τον υποβιβασμό των άλλων ροών. ¶Η ίδια διαδικασία συμβαίνει εάν μια ροή χρειάζεται την αναμετάδοση ενός πακέτου. ¶

Δεδομένου ότι οι σύνοδοι που συνδέονται με ένα συγκεκριμένο LTFS μοιράζονται το εύρος ζώνης της είναι ευεργετικό να υπάρξουν περισσότερα από ένα LTFS και να οριστούν οι σύνοδοι με τις παρόμοιες απαιτήσεις στο ίδιο LTFS. ¶ Παραδείγματος χάριν ένα LTFS θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη κίνηση πραγματικό χρόνο και έναν διαφορετικό για την αλληλοδραστική κίνηση (π.χ. WWW).

### 7.2.7 Channel State Independent Wireless Fair Queueing (CS-WFQ) ¶

¶Μια αρκετά διαφορετική μέθοδος στην ασύρματη χρονοεκπομπή πακέτων υιοθετείται από τον αλγόριθμο δικαιοσύνης ανεξάρτητη από την κατάσταση του ασύρματο καναλιού (Channel State Independent Wireless Fair Queueing (CS-WFQ)¶). ¶Το CS-WFQ περιλαμβάνει μηχανισμούς προκειμένου να εξεταστούν τα λάθη καναλιών (όπως FEC) λαμβάνοντας υπόψη τα πολλαπλά επίπεδα ποιότητας καναλιών και προσπαθεί να φθάσει στο ισοδύναμο goodput στην πλευρά του τερματικού. ¶ Το CS-WFQ είναι βασισμένο στο Start-time Fair Queueing-SFQ το που επεκτείνεται με έναν τρόπο που κάθε ροή έχει ένα χρονομεταβλητό μερίδιο υπηρεσίας . ¶Όταν το κανάλι είναι σε κακή κατάσταση το μερίδιο υπηρεσιών της συνόδου αυξάνεται. ¶Αυτή η παραλλαγή περιορίζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις QoS μιας ροής: ¶Όσο ψηλότερο το επίπεδο QoS μιας ροής είναι τόσο μεγαλύτερα είναι τα όρια στα οποία το μερίδιο επιτρέπεται για να μεταβάλλεται. ¶

Επομένως για μια ροή που γίνεται αποδεκτή στον χρονοπρογραμματιστή CS-WFQ, ορίζονται δύο τιμές τη στιγμή της αποδοχής κλήσης:

- Ένας ρυθμός ανάλογα με το fair-share  $\phi_i$  όπως και στον ενσύρματο χρονοπρογραμματιστή
- Ένα όριο  $C_i^{th}$  για το στιγμιαίο εικονικό goodput  $C_i(t)$  της ροής.

Ο χρονοπρογραμματιστής θα αντισταθμίσει μόνο μια κακή κατάσταση καναλιού όσο τα αποτελέσματα ποιότητα του καναλιού  $C_i(t)$  είναι καλύτερα ή ίσα με  $C_i^{th}$ . Το χρονομεταβλητό μερίδιο υπηρεσίας  $\psi_i$  υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση :

$$\psi_i = \begin{cases} \frac{\phi_i}{C_i(t)}, & \text{αν } C_i(t) \geq C_i^{th} \\ \frac{\phi_i}{C_i^{th}}, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

και περιορίζεται έτσι από το κατώφλι  $C_i^{th}$

### 7.2.8 Wireless Multiclass Priority Fair Queuing (MPFQ)

¶Η multiclass δίκαιη αναμονή με προτεραιότητες (MPFQ) βελτιώθηκε αργότερα με έναν μηχανισμό ασύρματης αντιστάθμισης και συνδυάζει μια προσέγγιση class-based με flow based χρονοπρογραμματισμό. ¶Εισάγει μια αντιστοίχιση των κατηγοριών κίνησης του ATM της ενσύρματης περιοχής στο ασύρματο κανάλι που ορίζει σε κάθε κατηγορία κίνησης έναν συγκεκριμένο χρονοπρογραμματιστή. ¶Δεδομένου ότι το MPFQ χωρίζει αυστηρά τις προτεραιότητες, μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός διαφορετικών ανεξάρτητων χρονοπρογραμματιστών. ¶

Οι δύο κατηγορίες πραγματικού χρόνου CBR και rtVBR χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο WPS με χωριστές ουρές αναμονής slots και πακέτων για κάθε ροή. ¶Κατά συνέπεια, οι ροές μπορούν να απορρίψουν πακέτα σύμφωνα με τις διαφορετικές πολιτικές απόρριψης χωρίς την απώλεια του δικαιώματος πρόσβασης στο κανάλι (αποσύζευξη του δικαιώματος πρόσβασης και του ωφέλιμου φορτίου όπως στο IWFQ). ¶Στην κυκλοφορία CBR δίνεται πιά υψηλή προτεραιότητα από την κυκλοφορία rtVBR προκειμένου να παρασχεθεί ένα χαμηλότερο όριο καθυστέρησης για αυτήν την κατηγορία κίνησης. ¶Το βάρος μιας ροής CBR/rtVBR καθορίζεται από το  $\phi_n = \frac{1}{\max CTD}$  αντιστρόφως ανάλογα προς τη μέγιστη ανεχθείσα καθυστέρηση της ροής.

¶Οι μη-πραγματικού χρόνου κατηγορίες με το εγγυημένο εύρος ζώνης (συμπεριλαμβανομένου του ελάχιστου εγγυημένου ρυθμού ροής ABR) σχεδιάζονται από έναν

χρονοπρογραμματιστή WRR σε μέσο επίπεδο προτεραιότητας, δεδομένου ότι που οι απαιτήσεις καθυστέρησης δεν είναι ότι σφικτά για αυτές τις κατηγορίες. ο αλγόριθμος WRR εξυπηρετεί τις ροές σύμφωνα με MCR τους.

Η τέταρτη προτεραιότητα στο σύστημα χρησιμοποιείται για εκείνο το ποσό κίνησης ABR που υπερβαίνει το MCR. Χρησιμοποιεί μια απλή ουρά αναμονής αναδιανομής slots για όλες τις ροές ABR. Μιας και μια slot περιέχει μόνο ένα δείκτη στο HOL πακέτο μιας ουράς, μια slot ενός πακέτου που δεν θα μπορούσε να μεταδοθεί λόγω των λαθών καναλιού μπορεί απλά να επανεισαχθεί στο πίσω μέρος της σειράς αναμονής. Η χαμηλότερη προτεραιότητα χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία του απροσδιόριστου ρυθμού (UBR) που συντηρείται σε μια ενιαία ουρά αναμονής βέλτιστης-προσπάθειας FIFO χωρίς οποιαδήποτε ασύρματη ασύρματη.

Στη περίπτωση χωρίς λάθη, η κίνηση στο πρώτο επίπεδο προτεραιότητας θα έχει τα ίδια όρια καθυστέρησης με το WPS αλγόριθμο. Η κίνηση rtVBR θα πρέπει πρόσθετα να περιμένει έως ότου έχουν αδειάσει όλες οι ροές της προτεραιότητας 1 τις ουρές αναμονής τους αλλά δεδομένου ότι ο κατάλληλος έλεγχος αποδοχής υποτίθεται οι ροές CBR δεν θα έχουν περισσότερα από ένα πακέτα στη ουρά αναμονής τους.

Προκειμένου το MFPQ να είναι σε θέση να καθορίσει το lead ή lag μιας ροής, παρακολουθεί δύο χρονικές μεταβλητές: ο τρέχων εικονικός χρόνος και ο shadow εικονικός χρόνος. Όταν ένα πακέτο παραλείπεται επειδή το κανάλι είναι σε κακή κατάσταση, ο εικονικός χρόνος προσαυξάνεται στο χρόνο του αντ' αυτού μεταδιδόμενου πακέτου. Ο shadow εικονικός χρόνος ενημερώνεται στην τιμή του πακέτου που έπρεπε να είχε σταλεί. Επομένως ο shadow εικονικός χρόνος παρακολουθεί τον χρόνο σε ένα αντίστοιχο χωρίς λάθη σύστημα και το lead/lag μιας ροής είναι η διαφορά της ετικέτας HOL του πακέτου στον shadow εικονικό χρόνο  $SV$ .

$$Lead(HOL_i) = \left( \left( f_{i,n} - \frac{L_p}{C} \right) - SV \right) \cdot \phi_{N_i}$$

$$Lag(HOL_i) = \left( SV - \left( f_{i,n} - \frac{L_p}{C} \right) \right) \cdot \phi_{N_i}$$

$$\phi_{N_i} = \frac{\phi_i}{\sum_{j \in F} \phi_j}$$

Η ασύρματη αντιστάθμιση στο MPFQ είναι επίσης class-bassed. Για την κίνηση CBR μιας lagging ροής επιλέγεται από ένα οχήμα WRR lagging ροών όπου κάθε ροή έχει ένα βάρος ανάλογο προς την καθυστέρησης της. Η κίνηση rtVBR αντισταθμίζεται με την υποχρέωση των leading ροών να παραδώσουν ένα μέρος του εύρους ζώνης τους στη ροή με τον πιο μικρό χρόνο τέρματος μεταξύ όλων των ροών. Για την κυκλοφορία της προτεραιότητας 3 η ροή με τη μεγαλύτερη καθυστέρηση επιλέγεται να λάβει την αντιστάθμιση. Η κυκλοφορία ABR αντισταθμίζεται από την επανεισαγωγή του slot που δεν



θα μπορούσε να μεταδώσει στη σειρά αναμονής πακέτων αναμετάδοσης. Για την κυκλοφορία UBR δεν γίνεται καμία αντιστάθμιση.

## **8 Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Εκπομπής Πακέτων Άνω Ζεύξης**

Διάφοροι αλγόριθμοι προγραμματισμού εκπομπής πακέτων έχουν προταθεί, με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Ένα σημαντικό κριτήριο της αξίας τους ήταν, φυσικά, η χωρητικότητα και η αποδοτικότητα του συστήματος υιοθετώντας έναν ιδιαίτερο αλγόριθμο κάθε φορά. Εντούτοις, για έναν τηλεπικοινωνιακό οργανισμό, ο κύριος παράγοντας είναι η ικανοποίηση των συνδρομητών του. Ένα σύστημα υψηλής χωρητικότητας που μπορεί να ικανοποιήσει μόνο έναν πολύ περιορισμένο αριθμό χρηστών σε μια χρονική στιγμή δεν μπορεί να επιφέρει τα ικανοποιητικά έσοδα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η αξιολόγηση των αλγορίθμων θα βασιστεί στην παραμέτρο της ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Η χωρητικότητα θα εξεταστεί ακόμα, μαζί με τα ζητήματα πολυπλοκότητας και τη γνώση που απαιτείται στο σταθμό βάσης.

Για κατάλληλη παράμετρο QoS που χρησιμοποιείται, θα πρέπει να ικανοποιηθούν οι διάφορες απαιτήσεις. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τελικοί χρήστες χωριστά, παρά τον υπολογισμό του μέσου τους, προκειμένου να καθοριστεί το επίπεδο γενικής ικανοποίησης. Κατά συνέπεια, δύο πιθανά κριτήρια κρίνονται - κανονικοποιημένη καθυστέρηση πακέτων και μέσος ρυθμός ανά χρήση.

Στα ακόλουθα τμήματα, τρεις αλγόριθμοι ενδιαφέροντος ερευνώνται και αξιολογούνται. Καλούνται περιοριστικός, προειδοποιητικός και τυχαίος αλγόριθμος εκπομπής πακέτων. Ο περιοριστικός αλγόριθμος αντιπροσωπεύει τον ελάχιστο σύνθετο, απαιτώντας λιγότερο ποσό γνώσης στο σταθμό βάσης και λιγότερη υπερφόρτωση λόγω ελέγχου. Είναι μια απλουστευμένη εφαρμογή της διαδικασίας DRAC στα πρότυπα WCDMA με τη συνεχή μετάδοση. Ο προειδοποιητικός αλγόριθμος είναι, αφ' ετέρου, βασισμένος στη συνεχώς ενημερωμένη γνώση της παραγόμενης κίνησης στα χωριστά ελεγχόμενα κανάλια, και απαιτεί ιδιαίτερη υπολογιστική πολυπλοκότητα. Συνεπώς, η γενική υπερφόρτωση ελέγχου πρέπει επίσης να είναι αρκετά μεγαλύτερη. Ο τυχαίος αλγόριθμος είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ των δύο τεχνικών. Η ιδέα πίσω από αυτόν είναι να χρησιμοποιηθούν οι τυχαίες γεννήτριες αριθμών για να ελέγξει τη μετάδοση των μεμονωμένων πακέτων. Είναι επίσης μια άμεση εφαρμογή της διαδικασίας DRAC που αναφέρθηκε νωρίτερα, με τα πακέτα να μεταδίδονται με πλαίσια περιορισμένου μήκους.

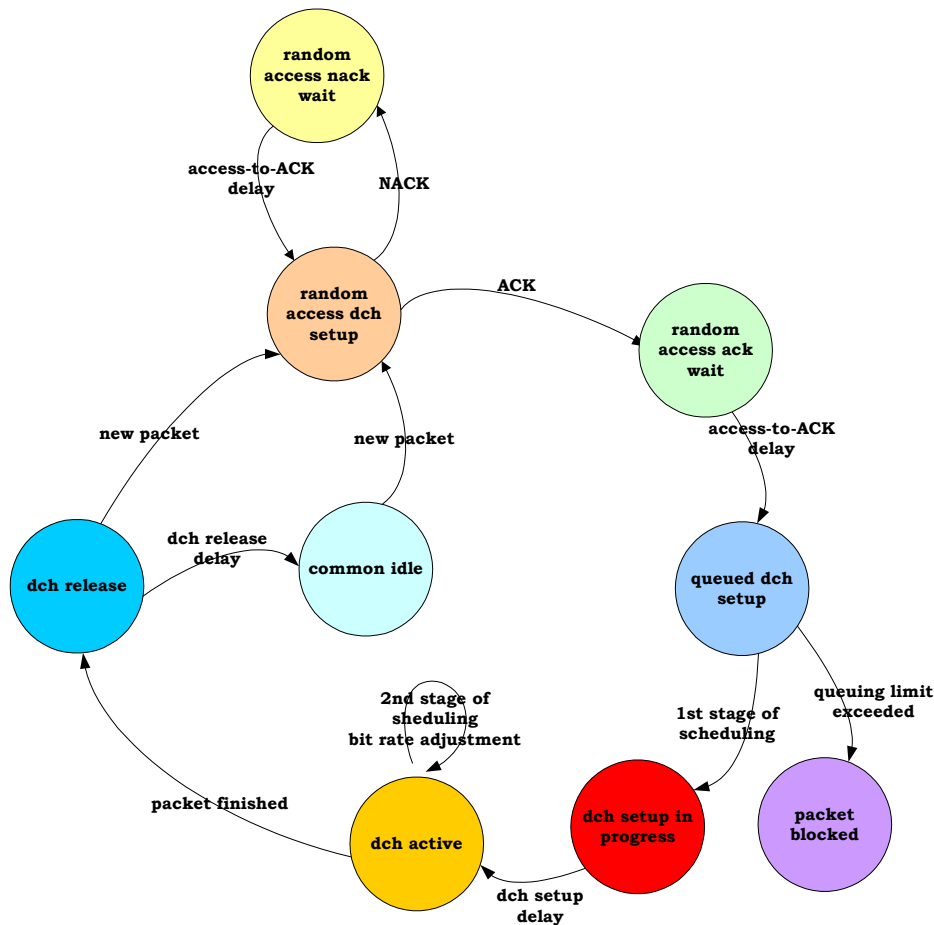
### **8.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ**

Ο περιοριστικός αλγόριθμος είναι ο απλούστερος, βασισμένος μόνο στον έλεγχο του ρυθμού μετάδοσης των ενεργών καναλιών. Η κύρια αρχή πίσω από αυτόν είναι ότι όλοι οι χρήστες που εξυπηρετούνται είναι ελεύθεροι να χρησιμοποιήσουν τους διαθέσιμους πόρους βάσει ισότητας. Αυτός επίσης σημαίνει ότι η χρήση των προτεραιοτήτων μπορεί μόνο να υιοθετηθεί στο πρώτο στάδιο του αλγορίθμου, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Διακρίνουμε αυστηρές προτεραιότητες καθορισμένες από την απαίτηση σε QoS για μια συγκεκριμένη υπηρεσία, είτε τις εξυπακουόμενες προτεραιότητες που υπολογίζονται από το σύστημα. Η εξυπακουόμενη προτεραιότητα εξαρτάται από την πολιτική αναμονής, και απαιτεί τη γνώση του χρόνου που τα δεδομένα ξοδεύουν στο σύστημα ή/και το μήκος των αποθηκευμένων δεδομένων. Παρακάτω, δεν χρησιμοποιούμε τις αυστηρές προτεραιότητες.

Οι λειτουργίες του περιοριστικού αλγορίθμου μπορούν να χωριστούν σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα πακέτα εξάγονται από τη σειρά αναμονής. Το δεύτερο στάδιο έχει μόνο τη λειτουργία του ελέγχου του συσσωρευμένου φορτίου ανά κυψέλη με την τροποποίηση του ρυθμού μετάδοσης των ενεργών καναλιών, και ενεργεί σε όλες τις ενεργές συνδέσεις μέσα στην κυψέλη με έναν ίδιο τρόπο.

Για να γίνει καλύτερα κατανοητός ο ρόλος του αλγορίθμου μέσα στο σύστημα UMTS, το πλαίσιο στο οποίο ο αλγόριθμος πραγματοποιείται πρέπει να περιγραφεί. Όταν ένα πακέτο χρήστη παραχθεί από μια εφαρμογή, το περιεχόμενο του πακέτου τοποθετείται στον ενταμιευτή του εκπομπού. Όταν το μήκος του ενταμιευτή υπερβαίνει τα προκαθορισμένα κατώτατα όρια, ο εξοπλισμός χρηστών ζητά τους πόρους για τη μετάδοση με την αποστολή των πληροφοριών ελέγχου στο δίκτυο για ένα τυχαίο κανάλι πρόσβασης (RACH). Εδώ το αίτημα περιμένει στη σειρά σύμφωνα με την εξυπακουόμενη προτεραιότητα του πακέτου. Σε αυτό το σημείο, το πρώτο στάδιο του αλγορίθμου πραγματοποιείται. Με βάση τους διαθέσιμους πόρους, ορισμένα πρώτιστα πακέτα από τη σειρά αναμονής εξάγονται, και οι αντίστοιχοι χρήστες τους ετοιμάζονται για μετάδοση. Τα κανάλια δεδομένων αρχικοποιούνται σε αυτούς τους χρήστες και μόλις το κανάλι είναι έτοιμο η πραγματική μετάδοση ξεκινά. Ο ρυθμός μετάδοσης ελέγχεται από τον ελεγκτή ραδιο δικτύου για όλα τα κανάλια στο δεύτερο στάδιο του αλγορίθμου. Κατά συνέπεια, όλα τα κανάλια δεδομένων που ανήκουν σε έναν σταθμό βάσης μεταδίδουν με έναν ρυθμό. Η απόφαση σχετικά με τον ρυθμό πραγματοποιείται επανειλημμένα σε κάθε πλαίσιο, και όποτε κάποια αλλαγή έχει καταχωρηθεί μια εντολή εκπομπής διαβιβάζεται είτε σε ένα κοινό είτε σε ένα αποκλειστικό κανάλι. Από τα ανωτέρω, οι απαραίτητες λειτουργίες που πραγματοποιούνται από τον αλγόριθμο μπορούν να απεικονιστούν, αλλά πώς ολοκληρώνονται πραγματικά εξαρτώνται από την εφαρμογή. Ακόμα, ο καταλληλότερος τρόπος να εφαρμοστεί αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί έλεγχο δυναμικής δέσμευσης πόρων (DRAC) .



Εικόνα 8-1: Διάγραμμα Καταστάσεων για συστήματος UMTS με τον Περιοριστικό Αλγόριθμο.

Η κατάσταση στο κέντρο «common idle» είναι η αρχική. Μετά από την εγγραφή ενός αιτήματος μετάδοσης πακέτων, ο χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση «queued DCH setup» όπου το πρώτο στάδιο του αλγορίθμου πραγματοποιείται. Μετά από μια φάση εγκατάσταση καναλιού, ο χρήστης πηγαίνει στην κατάσταση «DCH active» όπου το δεύτερο στάδιο του αλγορίθμου (ρύθμιση του ρυθμού) εμφανίζεται. Όταν τη μετάδοση του χρήστη τελειώσει, το κανάλι απελευθερώνεται.

Το πρώτο στάδιο αναλαμβάνει την προετοιμασία των καναλιών για τη μετάδοση επειδή η εγκατάσταση καναλιού παίρνει ιδιαίτερο χρόνο, και συμβάλλει πολύ στη γενική αποδοτικότητα του αλγορίθμου. Σηριζεται ¶στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, τα κανάλια καταναλώνουν πολύ λιγότερους πόρους από τους απαραίτητους για την πραγματική μετάδοση δεδομένων. ¶Στην περίπτωσή μας, χρησιμοποιείται μια πολύ απλή μέθοδος, βασισμένη στην κράτηση του συνόλου των καναλιών ενεργά και την κατάσταση εγκατάστασης σταθερή. ¶Λόγω της σχετικά μακροχρόνιας φάσης εγκατάστασης καναλιού, είναι πολύ πιθανό ότι αρκετοί πόροι ελευθερώνονται προτού να τελειώσει η φάση

εγκατάστασης έτσι ώστε η μετάδοση δεδομένων μπορεί να ξεκινήσει. ¶Αν όχι, ο στόχος του λόγου C/I στη κυψέλη θα ξεπεραστεί προσωρινά. ¶¶Ένας κατάλληλος τρόπος διατήρησης της παρεμβολής μέσα στο προκαθορισμένο όριο είναι με τον έλεγχο της ταχύτητας όλων των ενεργών καναλιών. ¶Η εκτίμηση παρεμβολής στο BS είναι αναπόφευκτη για αυτήν την διαδικασία.

¶¶

### 8.1.1 Αλγόριθμος

- 1 Ο αριθμός χρηστών στην ουρά είναι περιορισμένος. ¶Εάν αυτό το όριο ξεπεραστεί, οι χρήστες μπλοκάρονται. ¶
- 2 ¶Πρώτο στάδιο - τα πακέτα με την υψηλότερη προτεραιότητα εξάγονται από τη σειρά αναμονής ¶σύμφωνα με ένα κριτήριο LNQD, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η μέση καθυστέρηση πακέτων. ¶Το σύνολο των ενεργών καναλιών και των καναλιών στη φάση οργάνωσης διατηρείται σταθερό. ¶
- 3 ¶Δεύτερο στάδιο - κάθε χρήστης με δεδομένα έτοιμα για μετάδοση εγκαθιστά ένα κανάλι, και αρχίζει αμέσως στην ολοκλήρωση. ¶Η ταχύτητα της μετάδοσης ελέγχεται ¶από το ελεγκτή ραδιοδικτύου, με τη δυνατότητα της τροποποίησης μετά από κάθε πλαίσιο. ¶Οι τροποποιήσεις είναι βασισμένες στην πιο πρόσφατη εκτίμηση παρεμβολής κυψέλης έτσι ώστε το επίπεδο παρεμβολής κρατιέται κάτω από ένα όριο πέρα από τον παρασιτικό θόρυβο. ¶
- 4 ¶Μετά από την ολοκλήρωση της μετάδοσης πακέτων, το επόμενο πακέτο του χρήστη διαβιβάζεται - πίσω στο σημείο 3. ¶Εάν δεν υπάρχει κανένα διαδοχικό πακέτο, η ασύρματη ζεύξη απελευθερώνεται. ¶

### 8.1.2 ¶Παράμετροι Αλγορίθμου

#### ¶Μέγιστος αριθμός χρηστών σε αναμονή ¶

Καθορίζει την ποιότητα της υπηρεσίας σε μια κατάσταση υπερφόρτωσης στο δίκτυο. ¶Είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της μικρής μέσης καθυστέρησης, που ζητούν τα σύντομα μήκη ουρών αναμονής, και των χαμηλών ποσοστών απόρριψης, οι οποίες απαιτούν ότι πολλά αιτήματα χρηστών μπορούν να περιμένουν στην ουρά. ¶

#### Αριθμός καναλιών στην ενεργό φάση ή φάση εγκατάσταση ¶

Καθορίζει το μέγιστο αριθμό ταυτόχρονων μεταδόσεων. ¶Εάν αυτός ο αριθμός είναι μεγάλος, περισσότερα κανάλια χαμηλού ρυθμού υπό έντονο φορτίο. ¶Ο χαμηλότερος αριθμός επιτρέπει τα υψηλότερα ρυθμών σε έναν περιορισμένο αριθμό ταυτόχρονων καναλιών. ¶

### **8.1.3 Μέθοδος με προτεραιότητες¶**

Ο αλγόριθμος είναι βασισμένος στις προτεραιότητες που καθορίζονται για κάθε πακέτο στο σύστημα. ¶Η ομαλοποιημένη καθυστέρηση πακέτων έχει καθοριστεί για να ποσοτικοποιήσει πώς ο τελικός χρήστης αντιλαμβάνεται την απόδοση του δικτύου, που επιτρέπει τους πιο μακροχρόνιες μεταδόσεις για τα μεγαλύτερα πακέτα, και απαιτεί τους πιο σύντομους χρόνους για τα μικρότερα πακέτα. ¶

### **8.1.4 Πλεονεκτήματα ¶**

Αυτός ο αλγόριθμος έχει μια απλή εφαρμογή. ¶Κάτω από το ελαφρύ φορτίο η αποδοτικότητα αυτού του αλγορίθμου δεν πρέπει να μειώνεται. ¶Η κίνηση της κάτω ζεύξης που παράγεται από την χρονοπρογραμματισμό εκπομπής είναι επίσης η χαμηλότερη όλων των ερευνημένων αλγορίθμων. ¶

### **8.1.5 Μειονεκτήματα ¶**

Κάτω από το βαρύ φορτίο, ένας μεγαλύτερος αριθμός χαμηλής μετάδοσης ποσοστού δυαδικών ψηφίων ευνοείται σε λίγες υψηλές μεταδόσεις ποσοστού δυαδικών ψηφίων. ¶Αυτό μειώνει τη φασματική αποδοτικότητα του συστήματος σε έναν όρο όταν πειράζει πιο πολύ. ¶Η χρήση των προτεραιοτήτων καταστέλλεται συνήθως με την υιοθέτηση των ομοιόμορφων ρυθμών μετάδοσης για όλες τις συνδέσεις με έναν σταθμό βάσεων. ¶Οι προτεραιότητες μπαίνουν στο παιχνίδι μόνο κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου του σχεδιασμού. ¶

## **8.2 ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ¶ΠΠΡΟΠΠ¶**

Η αρχή του προειδοποιητικού αλγορίθμου είναι στον αυστηρό έλεγχο των διαθέσιμων πόρων. ¶Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το εύρος ζώνης του συστήματος αποτελεσματικά, ο αλγόριθμος περιορίζει τον αριθμό ταυτόχρονων μεταδόσεων σε ένα σχετικά μικρό αριθμό καναλιών υψηλής ταχύτητας. ¶Σε ένα περιβάλλον πακέτων, εντούτοις, με πολλούς ανταγωνιστικούς χρήστες, ο αλγόριθμος πρέπει επίσης να πετύχει στη διανομή των πόρων μεταξύ του αριθμού χρηστών φθάνοντας σε μια δίκαιη κατάσταση, βελτιστοποιώντας την παρεχόμενη ποιότητα της υπηρεσίας (μειωμένο ποσοστό απόρριψης πακέτων και ομαλοποιημένη καθυστέρηση πακέτων). ¶Για αυτόν τον λόγο, ο αλγόριθμος αξιολογεί τις προτεραιότητες των διαφορετικών χρηστών, και τους διαχειρίζεται εκ περιτροπής

χρησιμοποιώντας ένα περιορισμένο αριθμό ταυτόχρονων καναλιών δεδομένων. Ο προειδοποιητικός αλγόριθμος χρησιμοποιείται στο ίδιο πλαίσιο με τον περιοριστικό αλγόριθμο που περιγράφηκε νωρίτερα. Διαιρείται επίσης σε δύο στάδια, το πρώτο στάδιο είναι ίδιο με τον περιοριστικό αλγόριθμο. Το δεύτερο στάδιο είναι, εντούτοις, συνολικά διαφορετικό. Μόλις ένας χρήστης είναι έτοιμος για τη μετάδοση, και το κανάλι του έχει εγκατασταθεί, ο χρήστης ξεκινά την μετάδοση δεδομένων. Ο ρυθμός της μετάδοσης εξαρτάται από την συμφωνηθείσα προτεραιότητα του χρήστη. Οι χρήστες των οποίων τα αποθηκευμένα δεδομένα έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα μεταδίδονται με τον υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης. Ο χαμηλότερος ρυθμός μετάδοσης χρησιμοποιείται μόνο όταν δεν αρκούν οι πόροι του δικτύου. Μετά από κάθε πλαίσιο 10ms, οι προτεραιότητες χρηστών επαναξιολογούνται βάσει των αναφορών μέτρησης που παραλαμβάνονται από όλους τους ενεργούς χρήστες, και οι ρυθμοί δεδομένων στις αντίστοιχες συνδέσεις τους τροποποιούνται αναλόγως. Κατά συνέπεια, οι πληροφορίες ελέγχου της εκπομπής πακέτων για κάθε χρήστη διαφέρουν. Μπορεί ακόμα να είναι δυνατό να μεταδοθούν αυτές οι πληροφορίες ελέγχου σε ένα κοινό κανάλι, αλλά αυτό θα δημιουργούσε το μεγάλο φορτίο για μόνο ένα κανάλι, ενώ το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών θα ήταν άσχετη σε όλα εκτός από αυτό του UE. Κατά συνέπεια, φαίνεται λογικότερο να μεταδίδονται οι πληροφορίες εκπομπής για τα αντίστοιχα αποκλειστικά κανάλια συνδέσεων κάτω ζεύξης, και να σταλούν σε κάθε χρήστη μόνο οι πληροφορίες που χρειάζεται.

Μια εκτίμηση παρεμβολής και μια ρύθμιση ρυθμού δεδομένων του δεύτερου σταδίου έχουν τις ίδιες λειτουργίες όπως στον προηγούμενο αλγόριθμο.

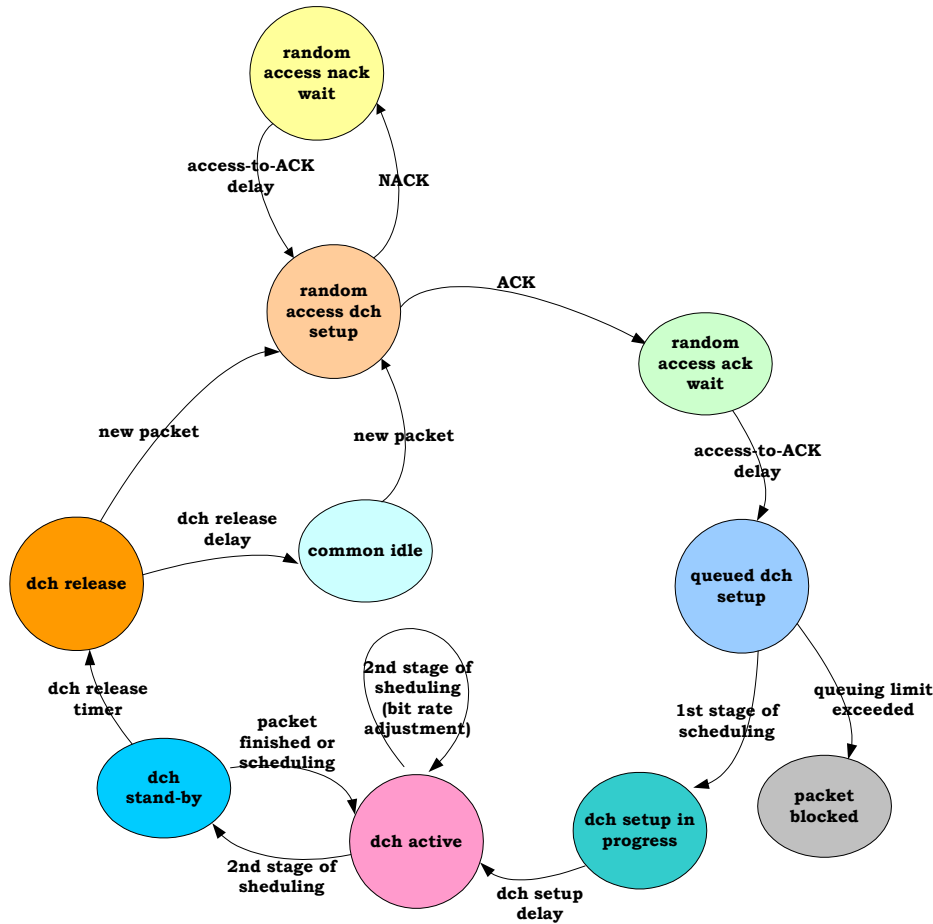
### 8.2.1 Αλγόριθμος

- Ο αριθμός των χρηστών σε αναμονή είναι περιορισμένος. Εάν αυτό το όριο ξεπεραστεί, οι χρήστες μπλοκάρονται.
- Πρώτο στάδιο - τα πακέτα με την υψηλότερη συμφωνηθείσα προτεραιότητα εξάγονται από τη σειρά αναμονής σύμφωνα με ένα κριτήριο LNQD, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η μέση καθυστέρηση πακέτων. Ο αριθμός των ενεργών καναλιών και καναλιών σε εγκατάσταση κρατιέται σταθερός.
- Δεύτερο στάδιο - πριν από κάθε πλαίσιο, οι χρήστες σε DCH συγκεντρώνονται και ταξινομούνται σύμφωνα με LNQD. Οι διαθέσιμοι πόροι διανέμονται έπειτα κατά τέτοιο τρόπο ώστε στο πακέτο πιο υψηλής προτεραιότητας ορίζεται με το υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης. Αυτό επαναλαμβάνεται για το πακέτο με την φθίνουσα σειρά της προτεραιότητας. Ο χαμηλότερος ρυθμός από τον πιθανό μέγιστο χρησιμοποιείται μόνο όταν οι πόροι δεν είναι πλέον επαρκείς για να εξυπηρετήσουν τον υψηλότερο ρυθμό. Οι πόροι μοιράζονται έτσι ώστε κάθε χρήστης στο σύστημα να μπορεί να μεταδώσει τουλάχιστον με το χαμηλότερο επιτρεπόμενο ρυθμό. Το

επίπεδο παρεμβολής κρατιέται κάτω από ένα όριο πέρα από τον παρασιτικό θόρυβο.

¶

- ¶Μετά από την ολοκλήρωση της μετάδοσης πακέτων, το επόμενο πακέτο του χρήστη μεταδίδεται - πίσω στο σημείο 3. ¶Εάν δεν υπάρχει κανένα διαδοχικό πακέτο, η ασύρματη ζεύξη απελευθερώνεται .



Εικόνα 8-2: Διάγραμμα ¶Καταστάσεωνκαταστάσεων συστήματος UMTS με τον προειδοποιητικό αλγόριθμο.

¶Η Η κατάσταση «common idle» στο κέντρο είναι η αρχική. ¶Μετά από την καταχώρηση ενός αιτήματος μετάδοσης πακέτων, ο χρήστης μεταβαίνει στην εν αναμονή «DCH setup» κατάσταση όπου το πρώτο στάδιο του αλγορίθμου πραγματοποιείται. ¶Μετά από μια φάση εγκατάσταση καναλιού, ο χρήστης πηγαίνει στην «DCH active» κατάσταση όπου η 2η φάση αλγορίθμου συμβαίνει. ¶Όταν τη μετάδοση πακέτων τελειώσει, το κανάλι απελευθερώνεται. ¶



### 8.2.2 Παράμετροι Αλγορίθμου

#### ¶ Μέγιστος αριθμός χρηστών σε αναμονή ¶

Καθορίζει την ποιότητα της υπηρεσίας σε μια κατάσταση υπερφόρτωσης στο δίκτυο. ¶ Είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της μικρής μέσης καθυστέρησης, που ζητούν τα σύντομα μήκη ουρών αναμονής, και των χαμηλών ποσοστών απόρριψης, οι οποίες απαιτούν ότι πολλά αιτήματα χρηστών μπορούν να περιμένουν στην ουρά. ¶

#### Αριθμός καναλιών στην ενεργό φάση ή φάση εγκατάσταση ¶

Καθορίζει το μέγιστο αριθμό ταυτόχρονων μεταδόσεων. ¶ Εάν αυτός ο αριθμός είναι μεγάλος, περισσότερα κανάλια χαμηλού ρυθμού υπό έντονο φορτίο. ¶ Ο χαμηλότερος αριθμός επιτρέπει τα υψηλότερα ρυθμίων σε έναν περιορισμένο αριθμό ταυτόχρονων καναλιών. ¶

¶

#### Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο σύστημα ¶

Με την επιλογή του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης που χρησιμοποιείται στο σύστημα, ο αριθμός και η ταχύτητα των ταυτόχρονων χρηστών μπορούν να ελεγχθούν. ¶ Φυσικά, ο αριθμός ταυτόχρονων χρηστών είναι βασικά καθορισμένος από την προηγούμενη παράμετρο, αλλά αυτή η παράμετρος αποφασίζει πόσοι από αυτούς που πραγματικά χρησιμοποιούν τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης. ¶

### 8.2.3 Μέθοδος με Προτεραιότητες ¶

Ο αλγόριθμος είναι βασισμένος στις προτεραιότητες που καθορίζονται για κάθε πακέτο στο σύστημα. ¶ Η ομαλοποιημένη καθυστέρηση πακέτων έχει καθοριστεί για να ποσοτικοποιήσει πώς ο τελικός χρήστης αντιλαμβάνεται την απόδοση του δικτύου, που επιτρέπει τους πιο μακροχρόνιες μεταδόσεις για τα μεγαλύτερα πακέτα, και απαιτεί τους πιο σύντομους χρόνους για τα μικρότερα πακέτα. ¶

### 8.2.4 Πλεονεκτήματα ¶

Ιδανικά, αυτός ο αλγόριθμος παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση από όλους τους αλγορίθμους που περιγράφονται εδώ. Δυστυχώς, είναι πολύ ευαίσθητος στις καθυστερήσεις του συστήματος. ¶ Λειτουργώντας σε κάθε κανάλι χωριστά, ο λόγος C/I μπορεί να ελεγχθεί ακριβώς, το οποίο βεβαιώνει τη σταθερή λειτουργία κάτω από το έντονο φορτίο. Χρησιμοποιώντας πάντα τον υψηλότερα διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης, η αποδοτικότητα φάσματος βελτιστοποιείται, η οποία οδηγεί σε υψηλούς ρυθμούς παράδοσης κίνησης. ¶ Ένα

άλλο πλεονέκτημα είναι ο πολύ καλός έλεγχος των προτεραιοτήτων επειδή ο αλγόριθμοι ενεργοποιείται επανειλημμένα πριν από κάθε πλαίσιο. ¶Οι διαφορετικές αυστηρές προτεραιότητες για τις διαφορετικές υπηρεσίες μπορούν εύκολα να υποστηριχθούν. ¶

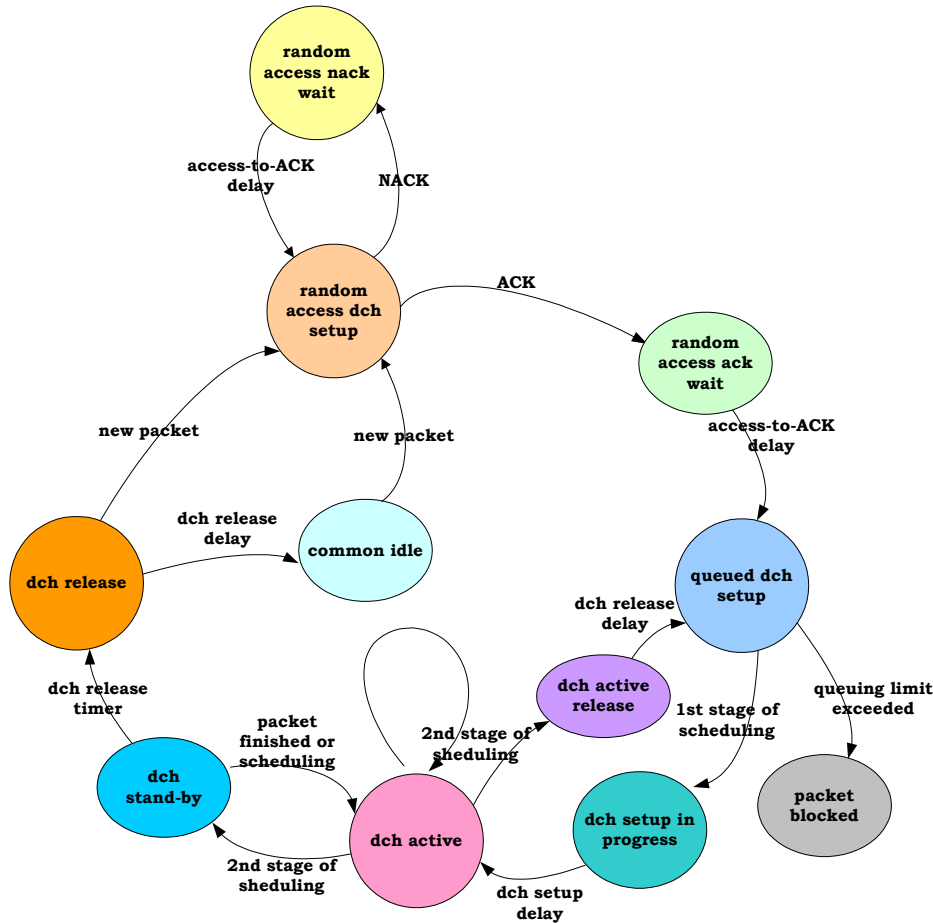
### 8.2.5 Μειονεκτήματα ¶

Αυτός ο αλγόριθμος είναι αρκετά πιο σύνθετος από τους άλλους δύο που παρουσιάζονται εδώ. ¶Ο Το σύνολο της κίνησης συνδέσεων κάτω ζεύξης που παράγεται με την εκπομπή είναι επίσης στην υψηλότερη τιμή απ'ό,τι στους άλλους δύο αλγορίθμους. ¶Η αποδοτικότητα του αλγορίθμου αυξάνεται με την αύξηση στο μέγιστο χρησιμοποιημένο ρυθμό δεδομένων, αλλά αυτό εντείνει συγχρόνως την ευαισθησία στις καθυστερήσεις του συστήματος. ¶ΓιαΓια μεγάλες καθυστερήσεις του συστήματος, αυτός ο αλγόριθμος δεν είναι ο πλέον αποδοτικότερος. ¶

## 8.3 ¶ΤΥΧΑΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ¶

Ο τυχαίος αλγόριθμος στηρίζεται στην ιδέα της τυχαίας κατανομής των πόρων στους ανταγωνιστικούς χρήστες. ¶Ενώ η τυχαία κατανομή εισάγει κάποιο βαθμό μη προβλεψιμότητας στο σύστημα, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό εκπομπής απλοποιούνται πολύ και είναι κατάλληλοι για τη κατανεμημένη διαχείριση πόρων. ¶Οι στατιστικές ιδιότητες των τυχαίων γεννητριών εξασφαλίζουν επίσης έναν υψηλό βαθμό δικαιοσύνης στη εξυπηρέτηση των χρηστών, αν και η χρήση των προτεραιοτήτων γίνεται δυσκολότερη. ¶Α Άλλη μια φορά, ασχολούμαστε μόνο με τις συμφωνηθείσες προτεραιότητες, που υποθέτουμε ότι οι εξωτερικές προτεραιότητες των χρηστών είναι ίσες επειδή επικαλούνται την ίδια υπηρεσία από το δίκτυο μεταφοράς. ¶Τα πιθανά οφέλη αυτής της τεχνικής προέρχονται από την παρατήρηση ότι, χαρακτηριστικά, τα μεγάλα πακέτα δεν έχουν κανένα πρόβλημα για να εκπληρώσουν το κριτήριο που επιβάλλεται στην ομαλοποιημένη καθυστέρηση. ¶Ακριβώς το αντίθετο, αυτά είναι τα μικρά πακέτα που είναι περισσότερο υποχρεωμένα να αποτύχουν σε αυτό το κριτήριο. ¶Επομένως, ο τυχαίος σχεδιασμός διαιρεί τα μεγάλα πακέτα σε block που μεταδίδονται ασυνεχώς, ενώ τα μικρά πακέτα μεταδίδονται σε έναν πλαίσιο. ¶Το μήκος των blocks άνω ζεύξης και οι εκπομπές μεταξύ των block ελέγχονται από τις παραμέτρους αποκαλούμενες έγκυρος χρόνος μετάδοσης και χρόνος επαναμετάδοσης, αντίστοιχα. ¶Πριν από κάθε block ένας τυχαίος αριθμός παράγεται στον εξοπλισμό χρηστών. ¶Με βάση αυτόν τον τυχαίο αριθμό και έναν προσαρμοστικό thresholding αλγόριθμο, η πραγματική μετάδοση μπορεί να ανασταλεί. ¶Ομοίως στους προηγούμενους δύο αλγορίθμους, ο τυχαίος αλγόριθμος διαιρείται επίσης σε δύο στάδια. ¶Το πρώτο στάδιο παραμένει το ίδιο όπως για τον περιοριστικό αλγόριθμο. ¶Οι χρήστες μεταβαίνουν στο δεύτερο στάδιο μετά από μια εγκατάσταση DCH. ¶Σε αυτό το σημείο, η τυχαία γεννήτρια σε κάθε εξοπλισμό χρηστών παράγει έναν τυχαίο αριθμό στη σειρά μεταξύ 0 και 1. ¶Αυτός ο αριθμός συγκρίνεται με ένα προσαρμοστικό κατώτατο όριο, και εάν το κατώτατο όριο ξεπερνιέται, αρχίζει η πραγματική μετάδοση. ¶Διαφορετικά η ίδια

διαδικασία επαναλαμβάνεται μετά από ορισμένη περίοδο επανάληψης δοκιμής. ¶Εάν το πακέτο μπορεί να μεταδοθεί εντός μιας έγκυρης περιόδου, η σύνδεση απελευθερώνεται στο τέλος της μετάδοσης. ¶Διαφορετικά, η μετάδοση αναστέλλεται μετά από αυτό το block αφότου ξαναδοκιμάσει αυτός ο φραγμός και αναβληθεί για άλλη περίοδο προσπάθειας εκπομπής. ¶



Εικόνα 8-3: ¶ΔΔΔΔιάγραμμα Καταστάσεων συστήματος UMTS με τον Τυχαίο Αλγόριθμο.

Η κατάσταση «common idle» στο κέντρο είναι η αρχική κατάσταση. ¶Μετά την καταχώρηση ενός αιτήματος μετάδοσης πακέτων, ο χρήστης μεταβαίνει στο κατάσταση «queued DCH setup» όπου το πρώτο στάδιο του αλγορίθμου πραγματοποιείται. ¶Μετά από μια φάση εγκατάστασης καναλιού, ο χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση «DCH active» όπου το δεύτερο στάδιο του αλγορίθμου (ρύθμιση ρυθμού μετάδοσης) εμφανίζεται. ¶Σύμφωνα με τον αλγόριθμο, ο χρήστης μεταδίδει τα δεδομένα σε block. ¶Μετά από κάθε block το κανάλι του χρήστη πηγαίνει είτε στη «stand-by» κατάσταση, είτε

απελευθερώνεται και περιμένει στη σειρά πάλι. Όταν τη μετάδοση πακέτων τελειώσει, το κανάλι απελευθερώνεται.

Η αρχική λειτουργία της τυχαιότητας των χρόνων έναρξης των μεμονωμένων μεταδόσεων πακέτων είναι να αποτραπούν τόσα πολλά πακέτα από τον ταυτόχρονο τερματισμό. Εάν πολλά πακέτα τερματίσουν συγχρόνως, όλα θα αναστέλλονταν για την ίδια περίοδο, και προσωρινά δεν θα υπήρχαν αρκετοί χρήστες έτοιμοι. Οι παράμετροι, καλούνται κατώφλι πρόσβασης και μέγιστος ρυθμός μετάδοσης, μεταδίδονται broadcast από UMTS επανειλημμένα μέχρι την αλλαγή της κατάστασης του δικτύου. Η περίοδος επαναληπτικής δοκιμής και η έγκυρη περίοδος καθορίζονται κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης καναλιών, και απαιτείται αρχικοποίηση ξανά σε περίπτωση που πρέπει να ενημερωθούν. Ο απλός τρόπος να εφαρμοστεί αυτός ο αλγόριθμος είναι χρησιμοποιώντας τη διαδικασία DRAC.

¶¶

### 8.3.1 Αλγόριθμος

1. Ο αριθμός των χρηστών σε αναμονή είναι περιορισμένος. Εάν αυτό το όριο ξεπεραστεί, οι χρήστες μπλοκάρονται.
2. Πρώτο στάδιο - τα πακέτα με την υψηλότερη συμφωνηθείσα προτεραιότητα εξάγονται από τη σειρά αναμονής σύμφωνα με ένα κριτήριο LNQD, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η μέση καθυστέρηση πακέτων. Ο αριθμός εφεδρικών καναλιών, ενεργών καναλιών και καναλιών σε εγκατάσταση διατηρείται σταθερός.
3. Προτού να μπορέσει να αρχίσει μια μετάδοση πακέτων, ένας τυχαίος αριθμός παράγεται στον εξοπλισμό χρηστών που βασίζεται σε έναν ανεξάρτητο φυτό (seed), και έναντι ενός κατώφλιου πρόσβασης. Αυτό το κατώφλι προσαρμόζεται βάσει του αριθμού τρεχόντων ενεργών καναλιών. Εάν το κατώφλι ξεπερνιέται, το πακέτο διαβιβάζεται για μια έγκυρη περίοδο. Μετά από αυτό, το πακέτο αναστέλλεται για την περίοδο επανάληψης προσπάθειας. Μπορεί ακόμη και να σταλεί πίσω στη σειρά αναμονής, όπου πρέπει να ανταγωνιστεί για την αποδοχή πάλι όταν παρατείνεται η ανασταλμένη περίοδος.
4. Μετά από την ολοκλήρωση της μετάδοσης πακέτων, το επόμενο πακέτο του χρήστη μεταδίδεται - πίσω στο σημείο 3. Εάν δεν υπάρχει κανένα διαδοχικό πακέτο, η ασύρματη ζεύξη απελευθερώνεται.

### 8.3.2 Παράμετροι Αλγορίθμου

### ¶ Μέγιστος αριθμός χρηστών σε αναμονή ¶

Καθορίζει την ποιότητα της υπηρεσίας σε μια κατάσταση υπερφόρτωσης στο δίκτυο. ¶ Είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της μικρής μέσης καθυστέρησης, που ζητούν τα σύντομα μήκη ουρών αναμονής, και των χαμηλών ποσοστών απόρριψης, οι οποίες απαιτούν ότι πολλά αιτήματα χρηστών μπορούν να περιμένουν στην ουρά. ¶

### Αριθμός καναλιών στην ενεργό φάση ή φάση εγκατάσταση ¶

Καθορίζει το μέγιστο αριθμό ταυτόχρονων μεταδόσεων. ¶ Εάν αυτός ο αριθμός είναι μεγάλος, περισσότερα κανάλια χαμηλού ρυθμού υπό έντονο φορτίο. ¶ Ο χαμηλότερος αριθμός επιτρέπει τα υψηλότερα ρυθμίων σε έναν περιορισμένο αριθμό ταυτόχρονων καναλιών. ¶ Ο αριθμός καναλιών αναμονής συμπεριλαμβάνεται, δεδομένου ότι τα κανάλια μπορούν σκόπιμα να κρατηθούν σε κατάσταση αναμονής. ¶

### Περίοδο επανάλιψης προσπάθειας μετάδοσης ¶

Ο αριθμός πλαισίων για τον οποίο η μετάδοση αναστέλλεται μετά από κάθε block. ¶ Καθορίζει επίσης το χρόνο μεταξύ των διαδοχικών προσπαθειών πρόσβασης. ¶ Εάν αυτή η περίοδος είναι πιο μεγάλη από σύνολο των χρόνων αποδέσμευσης και εγκατάστασης καναλιού, ο χρήστης στέλνεται πίσω στη σειρά αναμονής και το κανάλι του απελευθερώνεται. ¶

### Έγκυρη περίοδος μετάδοσης ¶

Αυτός είναι ο μέγιστος αριθμός πλαισίων που ένα block μπορεί να περιέχει. ¶ Μετά από κάθε block ο χρήστης αναστέλλεται και πρέπει να περιμένει έως ότου μπορεί να μεταδώσει πάλι. ¶

### Κατώφλι πρόσβασης ¶

Αυτό είναι ένα προσαρμοστικό κατώφλι που καθορίζει την πιθανότητα ένας χρήστης να επιτρέπεται για να μεταδώσει ένα block. ¶

### 8.3.3 Μέθοδος με Προτεραιότητες ¶

Ο αλγόριθμος είναι βασισμένος στις προτεραιότητες που καθορίζονται για κάθε πακέτο στο σύστημα. ¶ Η ομαλοποιημένη καθυστέρηση πακέτων έχει καθοριστεί για να ποσοτικοποιήσει πώς ο τελικός χρήστης αντιλαμβάνεται την απόδοση του δικτύου, που επιτρέπει τους πιο μακροχρόνιες μεταδόσεις για τα μεγαλύτερα πακέτα, και απαιτεί τους πιο σύντομους χρόνους για τα μικρότερα πακέτα. ¶

#### **8.3.4 Πλεονεκτήματα ¶**

Αυτός ο αλγόριθμος είναι μια άμεση εφαρμογή της διαδικασίας δυναμικού ελέγχου κατανομής πόρων ¶(DRAC) που τυποποιείται για μια διεπαφή WCDMA. ¶Μέσω των πολλών μεταβλητών παραμέτρων του προσφέρει την υψηλή ευελιξία στις διάφορες συνθήκες φορτίου. ¶Το γεγονός ότι οι χρήστες δεν εξυπηρετούνται χωριστά επίσης απλοποιεί τα μηνύματα προγραμματισμού εκπομπής και μειώνει την υπερφόρτωση ελέγχου. ¶

#### **8.3.5 Μειονεκτήματα ¶**

Η προσαρμογή των παραμέτρων DRAC απαιτεί την επανασύνθεση όλων των νεργών συνδέσεων. ¶Το ίδιο σύνολο παραμέτρων εγκαθιστά δυστυχώς μόνο ένα εριορισμένη εύρος φορτίων κίνησης. ¶



## 9 Πολιτικές Διαχείρισης Ενταμιευτών

Οι πολιτικές διαχείρισης των ουρών αναμονής σε ένα σύστημα ενταμιευτή χωρίζονται κύρια σε δυο κατηγορίες :

- Πολιτικές που στοχεύουν στην **αποφυγή συμφόρησης (congestion avoidance)**. Σύμφωνα με αυτές τις πολιτικές πραγματοποιείται απόρριψη πακέτων πριν εμφανιστεί η πλήρωση των ουρών, έτσι ώστε οι πηγές κίνησης πακέτων να ενημερωθούν και να ανταποκριθούν στην συμφόρηση χωρίς να προηγηθεί η υπερχειλίση των αντίστοιχων ουρών. Ο τρόπος αυτός καλείται ενεργή διαχείριση ουρών (active queue management). Έτσι, ο χρονοπρογραμματιστής εκπομπής πακέτων έχει την δυνατότητα να ελέγχει πότε και πόσα πακέτα θα καθούν.
- Πολιτικές που στοχεύουν στην **αντιμετώπιση συμφόρησης (congestion control)**. Σύμφωνα με αυτές τις πολιτικές ο έλεγχος επεμβαίνει όταν επέλθει η συμφόρηση, δηλαδή γεμίσουν οι ουρές αναμονής με πακέτα, και αποβλέπουν στην εξασφάλιση του ελάχιστου ρυθμού απόρριψης πακέτων.

Οι παραπάνω πολιτικές εφαρμόζονται ανάλογα με το είδος της κίνησης στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, οι ροές κίνησης διακρίνονται στις TCP-συμβατές ροές και αντίστοιχα στις μη TCP-συμβατές ροές.

Οι TCP-συμβατές ροές προέρχονται από πηγές κίνησης που μπορούν να προσαρμόσουν τον ρυθμό εκπομπής πακέτων σε κατάσταση συμφόρησης του δικτύου. Έτσι, αυτές οι ροές κίνησης υιοθετούν τις πολιτικές αποφυγής συμφόρησης χάρις την καλή επίδοση του πρωτοκόλλου TCP. Έτσι, ένας μεγάλος αριθμός TCP συνδέσεων μπορούν να μοιραστούν εύρυθμα το δεδομένο εύρος ζώνης του δικτύου. Αυτές οι ροές χαρακτηρίζονται από ανοχή σε καθυστέρηση. Χαρακτηριστική εφαρμογή είναι το www-browsing.

Οι μη TCP-συμβατές ροές κίνησης, συνήθως οι UDP-συμβατές, προέρχονται από πηγές πολυμεσικού χαρακτήρα όπως ήχος και κινούμενη εικόνα. Σε αυτές τις ροές δεν υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής του ρυθμού εκπομπής πακέτων σε περίπτωση συμφόρησης και επιπλέον έχουν μεγάλη ευαισθησία σε χρονική καθυστέρηση. Για αυτό τον λόγο εφαρμόζονται οι πολιτικές αντιμετώπισης συμφόρησης.

### 9.1 Πολιτικές Διαχείρισης Ενταμιευτών για την Αποφυγή Συμφόρησης

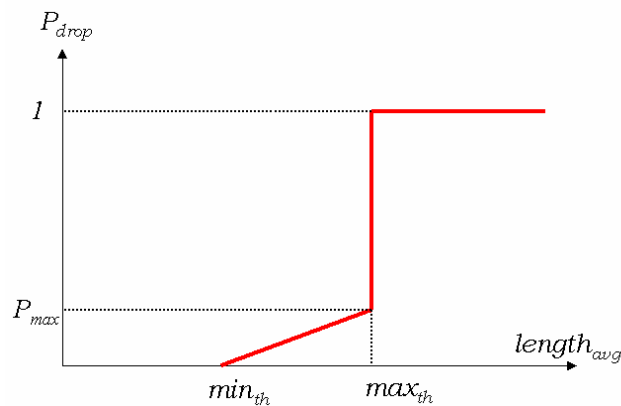
Ο κύριος στόχος των πολιτικών αποφυγής συμφόρησης είναι η ανίχνευση της επερχόμενης συμφόρησης. Κύριο μέλημα ενός αντίστοιχου αλγορίθμου διαχείρισης ενταμιευτή είναι η εξασφάλιση μικρών χρονικών καθυστερήσεων στα πακέτα και παράλληλα υψηλούς ρυθμούς εξυπηρέτησης. Έτσι, πρέπει να διατηρείται μικρό το μέγεθος των ουρών επιτρέποντας διακυμάνσεις στο μήκος τους λόγω της εκρηκτικότητας που χαρακτηρίζει τις πηγές πακέτων καθώς επίσης και λόγω των έκτακτων συμφορήσεων.



### 9.1.1 Αλγόριθμος Τυχαίας Έγκαιρης Ανίχνευσης

#### (Random Early Detection - RED)

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο **Αλγόριθμος Τυχαίας Έγκαιρης Ανίχνευσης (Random Early Detection - RED)**. Αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου αυτού σε χρονοπρογραμματιστές εκπομπής πακέτων είναι η διατήρηση του μέσου μήκους ουράς μικρό και παρέχοντας την δυνατότητα αντιμετώπισης περιστασιακών ριπών πακέτων. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι η απόρριψη πακέτων τυχαία σε περίπτωση που το μέγεθος της ουράς έχει ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο. Όταν παρατηρείται απόρριψη πακέτων, οι TCP συνδέσεις μειώνουν τον ρυθμό μετάδοσης πακέτων και με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται υψηλός ρυθμός εξυπηρέτησης από τον χρονοπρογραμματιστή εκπομπής πακέτων. Το μέσο μήκος ουράς υπολογίζεται χρήση ενός καταδιαβατού φίλτρου εκθετικής μεταβολής (Exponentially Weighted Moving Average - EWMA). Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα η μεγάλη πιθανότητα απόρριψης επιτρέπει την ανίχνευση και τον έλεγχο της συμφόρησης.



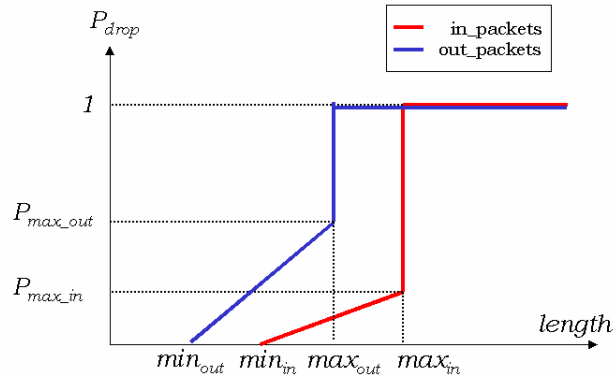
Εικόνα 9-1: Αλγόριθμος RED

Κύριες παράμετροι του αλγορίθμου είναι οι τιμές  $min_{th}$ ,  $max_{th}$  και  $P_{max}$ . Διακρίνουμε επίσης τρεις περιοχές-καταστάσεις της ουράς:

- $[0, min_{th})$  Ομαλή λειτουργία όπου το μέσο μήκος της ουράς είναι μικρότερο του  $min_{th}$ . Δεν απορρίπτεται κανένα πακέτο.
- $[min_{th}, max_{th})$  Αποφυγή συμφόρησης όπου απορρίπτονται πακέτα ενημερώνοντας τις πηγές μέσω του στρώματος μεταφοράς. Η μέγιστη πιθανότητα απόρριψης είναι  $P_{max}$ .
- $[max_{th}, \infty)$  Έλεγχος συμφόρησης όπου απορρίπτεται κάθε εισερχόμενο πακέτο.

Μια παραλλαγή του αλγορίθμου RED είναι ο **Αλγόριθμος Τυχαίας Έγκαιρης Ανίχνευσης στην Είσοδο και στη Έξοδο (Random Early Detection In Out- RIO)**. Ο αλγόριθμος RIO εφαρμόζει τον αλγόριθμο RED στα εισερχόμενα και στα εξερχόμενα πακέτα.

Οι παράμετροι του αλγορίθμου είναι το σει εισόδου ( $\min_{in}$ ,  $\max_{in}$ ,  $P_{\max_{in}}$ ) και το σει εξόδου ( $\min_{out}$ ,  $\max_{out}$ ,  $P_{\max_{out}}$ ). Ομοίως με τον αλγόριθμο RED, εμφανίζονται κι εδώ οι τρεις περιοχές της ουράς για τα εισερχόμενα και για τα εξερχόμενα πακέτα. Τυπικά, ο RIO απορρίπτει εξερχόμενα πακέτα όταν ανιχνεύει επερχόμενη συμφόρηση και στη συνέχεια απορρίπτει όλα τα εξερχόμενα αν η συμφόρηση διατηρείται. Όταν ο ενταμιευτής έχει πλημμυρίσει από εκρήξεις εισερχόμενων πακέτων τότε απορρίπτονται εισερχόμενα πακέτα με στόχο την απαλοιφή της συμφόρησης. Ο αλγόριθμος RIO είναι πιο «σκληρός» στα εξερχόμενα πακέτα σε σχέση με τα εισερχόμενα πακέτα αφού ισχύει  $\min_{out} < \min_{in}$ ,  $P_{\max_{in}} < P_{\max_{out}}$  και  $\max_{out} < \max_{in}$  όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 9-2: Αλγόριθμος RIO

## 9.2 Πολιτικές Διαχείρισης Ενταμιευτών για την Αντιμετώπιση Συμφόρησης

Οι πολιτικές αντιμετώπισης συμφόρησης στηρίζονται σε τεχνικές που διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

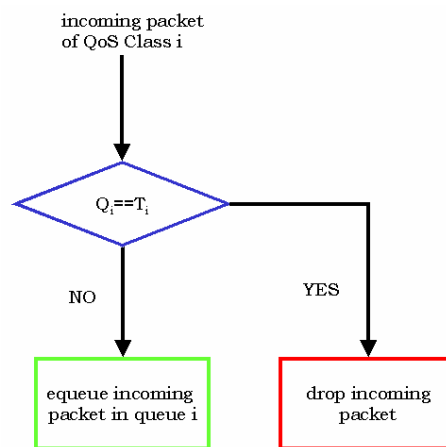
- Τεχνικές Push-Out : Επιτρέπεται η αφαίρεση πακέτου από μια ουρά και η αντικατάστασή του από άλλο πακέτο.
- Τεχνικές Non-Push-Out : η ουρά είναι αυστηρά FIFO, δηλαδή αν ένα πακέτο εισέλθει στην ουρά τότε θα φθάσει στο τμήμα εξόδου.

Το κύριο ζήτημα που προκύπτει από την αντικατάσταση πακέτων είναι ποιο πακέτο (είσοδο, έξοδο ή μέσα στην ουρά) θα αντικαταστήσει ένα νέο-εισερχόμενο πακέτο. Αποδεικνύεται ότι η τεχνική απόρριψης στην αρχή της ουράς αυξάνει τον ρυθμό εξυπηρέτησης μειώνοντας την χρονική διάρκεια της συμφόρησης. Η επιλογή αυτή είναι επίσης αμερόληπτη γιατί σε διαφορετική περίπτωση η αντικατάσταση οποιουδήποτε πακέτου στην ουρά θα οδηγούσε σε απώλειες πακέτων που θα καθοριζόταν από την κατανομή του χώρου της ουράς μεταξύ των ενεργών συνδέσεων.

### 9.2.1 Στρατηγικές non-Push-Out

Η πιο γνωστή στρατηγική non-push-out είναι η Complete Partitioning (CP). Σύμφωνα με αυτή, καθορίζεται το μέγιστο μήκος σε πακέτα της ουράς κάθε κλάσης. Πακέτα εισέρχονται στις ουρές όσο αυτές δεν έχουν ξεπεράσει το μέγιστο μήκος, σε αντίθετη περίπτωση απορρίπτεται κάθε νέο-εισερχόμενο πακέτο έως ότου να μειωθεί το μήκος της ουράς με την εκπομπή πακέτων. Κύριο μειονέκτημα της παραπάνω στρατηγικής είναι ότι είναι δυνατή η απόρριψη πακέτων ενώ ο ενταμιευτής έχει διαθέσιμο χώρο. Φυσικά, λόγω του γεγονότος ότι ένα πακέτο QoS κλάσης  $i$  αν δεν απορριφθεί θα εισαχθεί στην αντίστοιχη ουρά κλάσης  $i$ , εξασφαλίζεται έτσι η απομόνωση των ουρών (queue isolation).

Έστω  $N$  το πλήθος των κλάσεων QoS,  $T_i$  το μέγιστο μήκος της ουράς  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$  σε πακέτα,  $Q_i$  ο αριθμός των πακέτων στην ουρά  $i$  και  $B = \sum_{i=1}^N T_i$  η συνολική χωρητικότητα του ενταμιευτή. Το διάγραμμα ροής της στρατηγικής CP παρουσιάζεται στην συνέχεια.

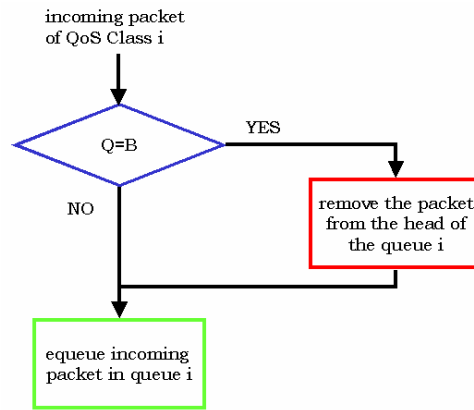


Εικόνα 9-3: Διάγραμμα Ροής στρατηγικής CP

### 9.2.2 Στρατηγικές Push-Out

Σύμφωνα με αυτές τις στρατηγικές διαχείρισης ενταμιευτών θα παρουσιαστεί απόρριψη νέο εισερχόμενων πακέτων όταν πλέον ο ενταμιευτής θα έχει γεμίσει, δηλαδή πληρότητα σε όλες τις ουρές. Έτσι, με τις push-out εξαντλείται κάθε περιθώριο για να μην απορριφθούν πακέτα. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν οι στρατηγικές απλή push-out και push-out με κατώφλι.

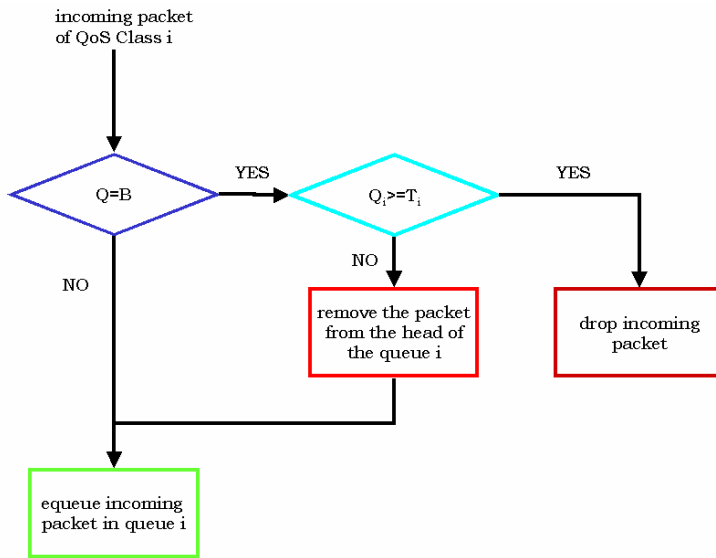
Στην περίπτωση της απλής **Push-Out (PO)**, ο χώρος  $B$  του ενταμιευτή μοιράζεται μεταξύ των κλάσεων QoS. Ο έλεγχος για την απόρριψη ενός πακέτου γίνεται με βάση του συνολικού αριθμού πακέτων  $Q = \sum_{i=1}^N Q_i$  στον ενταμιευτή και σε περίπτωση που ο ενταμιευτής γεμίσει ( $Q=B$ ) τότε το νέο εισερχόμενο πακέτο θα αντικαταστήσει το πακέτο που βρίσκεται στην κεφαλή της ουράς με το μεγαλύτερο μήκος.



Εικόνα 9-4: Διάγραμμα Ροής στρατηγικής PO

Η παραπάνω στρατηγική θεωρείται δίκαιη επιτρέποντας να στις ουρές μικρότερου μήκους να μεγαλώνουν σε βάρος των μεγαλύτερων ουρών. Λόγω του γεγονότος ότι ο κώρος του ενταμιευτή εκμεταλλεύεται συνολικά, ο συνολικός ρυθμός εξυπηρέτησης διατηρείται υψηλός. Τέλος, η πολιτική διαχείρισης push-out χαρακτηρίζεται προσαρμόσιμη (adaptive), και αυτό γιατί στην περίπτωση πολλών ενεργών ουρών το μήκος τους διατηρείται μικρό. Ακόμη και στην περίπτωση που έχουμε εισερχόμενα πακέτα μιας κλάσης τότε η μοναδική ουρά μπορεί να εκμεταλλευτεί όλη την χωρητικότητα του ενταμιευτή.

Στην περίπτωση της στρατηγικής push-out με κατώφλι (**Push-Out with Threshold (POT)**) λαμβάνεται υπόψη το μέγιστο μήκος της κάθε ουράς  $T_i$  για ένα νέο-εισερχόμενο πακέτο. Όταν ο συνολικός αριθμός των ενταμιευμένων πακέτων  $Q$  είναι ίσος με την χωρητικότητα του ενταμιευτή και ο αριθμός των πακέτων  $Q_i$  στην κλάση  $i$  είναι μεγαλύτερος από  $T_i$  τότε κάθε νέο-εισερχόμενο πακέτο απορρίπτεται αμέσως. Διαφορετικά, αν ο αριθμός των πακέτων  $Q_i$  στην κλάση  $i$  είναι μικρότερος από  $T_i$ , τότε το πακέτο εισέρχεται στην ουρά  $i$  και απορρίπτεται το πακέτο της κεφαλής της ουράς μεγαλύτερου μήκους.

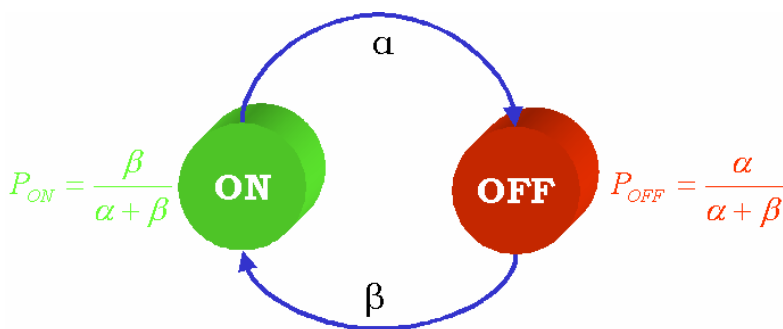


Εικόνα 9-5: Διάγραμμα Ροής στρατηγικής POT

## 10 Τεχνολογία Τηλεπικοινωνιακής Κίνησης στο S-UMTS

### 10.1 Πρότυπο Τηλεπικοινωνιακής Κίνησης ON-OFF

Το πρότυπο πηγής ON-OFF χαρακτηρίζεται από περιόδους αδράνειας και περιόδους δραστηριότητας. Τα πακέτα μεταδίδονται ακολουθώντας την συνεχή αλυσίδα Markov δυο καταστάσεων ON-OFF. Όταν η αλυσίδα Markov βρίσκεται στην ενεργή κατάσταση (ON), η πηγή μεταδίδει τα πακέτα ενώ όταν αυτή βρίσκεται στην ανενεργή κατάσταση (OFF) δε μεταδίδει πακέτα. Η διάρκεια της περιόδου ON είναι εκθετικά κατανομημένη με μέση τιμή  $1/\alpha$  sec και κατά την διάρκεια αυτής παρατηρούνται αφίξεις πακέτων κάθε T sec. Η διάρκεια της περιόδου OFF είναι επίσης εκθετικά κατανομημένη με μέση τιμή  $1/\beta$  sec και κατά την διάρκεια αυτής δεν παρατηρούνται αφίξεις πακέτων.



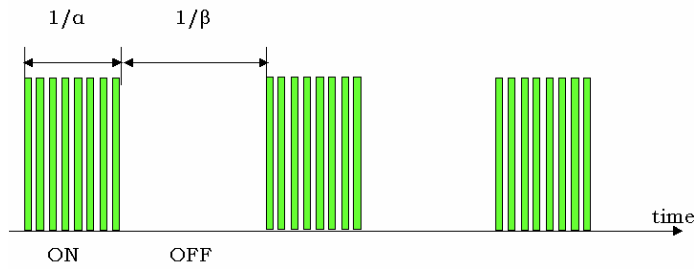
Εικόνα 10-1: ON-OFF Μοντέλο Κίνησης

Η πηγή ON-OFF χαρακτηρίζεται από τρεις παραμέτρους :

1. την μέγιστη τιμή ρυθμού μετάδοσης πακέτων  $R_p$  (packets/sec).
2. το μέσο μήκος της εκρηκτικότητας  $1/\alpha$  (sec)
3. τον μέσο ανενεργό χρόνο

Οι τρεις αυτοί παράμετροι αποτελούν τους περιγραφείς της κίνησης του προτύπου ON-OFF και πρέπει να παρέχονται από τον χρήστη/πηγή του δικτύου, σε συνδυασμό, φυσικά, με τις απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας ώστε να χρησιμοποιηθούν τόσο για τον έλεγχο αποδοχής όσο και για τον έλεγχο πρόσβασης.

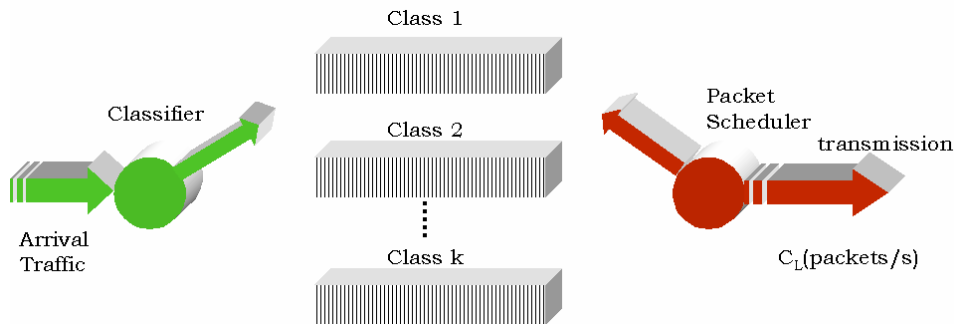
Σημειώνεται, ότι η πιθανότητα η πηγή να είναι ενεργή δίνεται από τον λόγο  $\beta/(\alpha+\beta)$ . Συνεπώς, σε κάθε κανάλι είναι δυνατό να εγκατασταθούν  $(\alpha+\beta)/\beta$  κλήσεις ή συνδέσεις.



Εικόνα 10-2: Λεπτομέρεια ON-OFF Μοντέλου

Έστω, ότι το δίκτυο υποστηρίζει  $k$ -τάξεις κίνησης, κάθε μια με τους δικούς της περιγραφείς κίνησης, που πολυπλέκονται σε μια ζεύξη χωρητικότητας  $C_L$  (packets/sec). Έστω, ότι κάθε κίνηση έχει πρόσβαση σε δικό της ενταμιευτή (ουρά αναμονής). Η επίδοση του ρυθμού διέλευσης πακέτων του δικτύου και η ποιότητα υπηρεσίας κάθε τάξης είναι στενά συσχετισμένες με τον τρόπο που κάθε ενταμιευτής εξυπηρετείται από την ζεύξη πρόσβασης. Υψηλή επίδοση και συγκεκριμένα αυξημένη διέλευση και καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας μπορεί να επιτευχθεί με δυναμική ρύθμιση της μετάδοσης πακέτων κάθε τάξης, βασισμένη στα στατιστικά κίνησης κάθε τάξης, στην πληρότητα των ενταμιευτών και στην επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας.

Για κάθε τάξη κίνησης υπάρχει ένας μέγιστος αριθμός συνδέσεων ή κλήσεων που μπορεί να εγκατασταθεί μια ζεύξη. Αυτός ο μέγιστος αριθμός εξαρτάται από τον μηχανισμό ρύθμισης, την χωρητικότητα της ζεύξης και  $C_L$ , των αριθμό των τάξεων  $k$  και τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας σε κάθε τάξη. Ο βέλτιστος μηχανισμός θα δίνει και την μέγιστη περιοχή αποδοχής κλήσεων, ενώ ο μηχανισμός FIFO την μικρότερη. Μια σύνδεση γίνεται δεκτή αν το σύστημα και με αυτή την σύνδεση εξακολουθεί να λειτουργεί μέσα σε αυτή την περιοχή. Μία σύνδεση απορρίπτεται αν η αποδοχή της θα οδηγούσε το σύστημα έξω από την περιοχή αποδοχής.



Εικόνα 10-3: Αλυσίδα Classifier-Queues-Packet Scheduler

Έστω ότι έχουμε ένα μηχανισμό ελέγχου κλήσης μιας μόνο τάξης ( $k=1$ ). Δηλαδή, κάθε σύνδεση χρήστη, με πιθανά διαφορετικούς περιγραφείς κίνησης, πρέπει να λαμβάνει

την ίδια ποιότητα υπηρεσίας. Το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι πόσες κλήσεις μπορεί να γίνουν αποδεκτές ώστε να εξυπηρετηθούν.

Μια προφανής απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι να υπολογιστεί ο μέγιστος αριθμός κλήσεων, για τις οποίες το άθροισμα των μέσων ρυθμών μετάδοσης πακέτων δεν υπερβαίνει την χωρητικότητα  $C_L$  της ζεύξης. Αυτός ο αριθμός πηγών δηλώνει και το μέγιστο δυνατό κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας, το οποίο αυξάνει με την εκρηκτικότητα των πηγών. Τονίζεται το γεγονός ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η στατιστική διακύμανση του ρυθμού με τον οποίο παράγει η πηγή τα πακέτα κάτι που οδηγεί σε μεγάλη πιθανότητα απώλειας πακέτων.

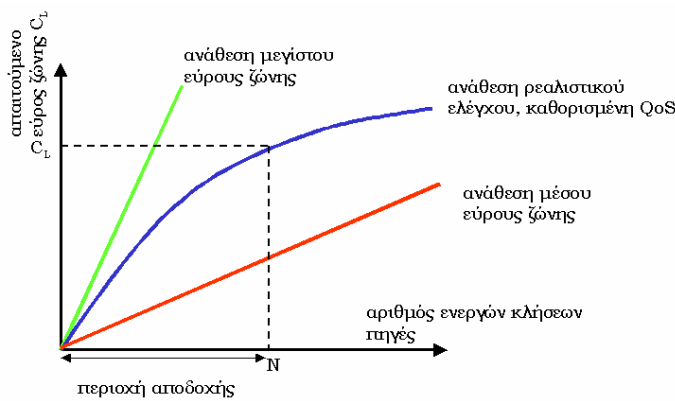
Έστω, απλός ενταμιευτής πρόσβασης FIFO που τροφοδοτεί μια ζεύξη χωρητικότητας  $C_L$ . Για χάρη απλότητας θεωρείται ότι οι πηγές είναι ομογενείς. Θα υπολογιστεί ο μέγιστος αριθμός πηγών  $N$  που μπορούν να πολυπλεχθούν ή αντίστροφα για δεδομένο αριθμό πηγών  $N$  να εκτιμηθεί το  $\eta$  χωρητικότητα που απαιτείται.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πιθανότητα μια πηγή ON-OFF να είναι σε ενεργή κατάσταση είναι  $p=\beta/(a+\beta)$  και έτσι ο μέσος ρυθμός μετάδοσης είναι  $p \cdot R_p$ . Για  $N$  όμοιες πηγές, ο μέσος ρυθμός μετάδοσης είναι  $N \cdot p \cdot R_p / C_L$  και η χρησιμοποίηση της ζεύξης  $\rho = N \cdot p \cdot R_p / C_L$ . Ο μέγιστος ρυθμός πηγών που μπορούν να πολυπλεχθούν υπολογίζεται για  $\rho=1$ , δηλαδή  $N = C_L / p \cdot R_p$ .

Όμοια για  $k$ -τάξεις, με κάθε τάξη να περιγράφεται από τους περιγραφείς κίνησης, έχουμε την μέγιστη χρησιμοποίηση για :

$$\sum_{i=1}^k N_i p_i R_{p_i} = C_L$$

Έτσι, υπολογίζονται οι διάφορες τιμές των  $N_i$ ,  $i \in [1, k]$ .



Εικόνα 10-4: Έλεγχος Αποδοχής και ανάθεση εύρους ζώνης

Η καλύτερη στρατηγική πολυπλεξίας όσον αφορά την χρησιμοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης, ή το κέρδος πολυπλεξίας, είναι η ανάθεση σε κάθε σύνδεση του



μέσου ρυθμού μετάδοσης πακέτων. Αυτή δίνει τον μέγιστο αριθμό επιτρεπτών κλήσεων  $N$  για δεδομένο  $C_L$ , αλλά μπορεί η τιμή αυτή να μην είναι αποδεκτή λόγω υψηλών απωλειών πακέτων. Επομένως, δίνει ένα άνω όριο του αριθμού κλήσεων που μπορούν να γίνουν αποδεκτές, ή αντίστροφα, ένα κάτω όριο της χωρητικότητας  $C_L$  που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο αριθμό κλήσεων. Αντιθέτως, η ανάθεση του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης πακέτων, η οποία εγγυάται ότι δεν θα υπάρχουν καθόλου απώλειες πακέτων, δίνει ένα κάτω όριο στον αριθμό των κλήσεων που μπορούν να γίνουν αποδεκτές για δεδομένο  $C_L$ . Σε αυτή την περίπτωση  $N \cdot R_p = C_L$ . Όταν πηγές γίνονται λιγότερο εκρηκτικές και εκπέμπουν πακέτα με σχεδόν σταθερό ρυθμό, δηλαδή  $p \rightarrow 1$ , όλα τα σχήματα αποδοχής κλήσης γίνονται ταυτόσημα, αφού σε μια πηγή που είναι συνεχώς ενεργή πρέπει να κατανέμεται όλο το εύρος ζώνης  $R_p$  καθ'όλη την διάρκεια της ζωής της. Όσο οι απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας γίνονται πιο αυστηρές η καμπύλη πλησιάζει την καμπύλη ανάθεσης μεγίστου εύρους ζώνης.

Έστω  $m = p \cdot N$ , ο μέσος αριθμός πηγών που είναι ενεργές, τότε ο μέσος ρυθμός μετάδοσης των  $m$ -πηγών είναι  $m \cdot R_p$ .

Ισχύει, λοιπόν,

$$C_L \geq m \cdot R_p$$

Αν ο ρυθμός μετάδοσης των  $m$  πηγών διαφέρει από την μέση τιμή ( $m \cdot R_p$ ) κατά την τυπική απόκλιση  $K \cdot \sigma \cdot R_p$ , δηλαδή πολλαπλάσια του  $R_p$ , όπου η σταθερά  $K$  εξαρτάται από την υποστηριζόμενη ποιότητα υπηρεσίας, τότε έχουμε:

$$C_L = (m + K \sigma) \cdot R_p$$

Λόγω της ισότητας  $m = p \cdot N$ , ισχύει :

$$\sigma = \sqrt{m \cdot (1 - p)}$$

Αν γίνει κανονικοποίηση της σχέσης ως προς τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης  $R_p$ , τότε :

$$C = \frac{C_L}{R_p} = m + K \cdot \sigma = N \cdot p + K \cdot \sqrt{N \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Αν  $\varepsilon$  είναι η πιθανότητα του ενδεχομένου ο ρυθμός εισόδου να ξεπερνά την τιμή  $C$ , τότε αποδεικνύεται ότι η σταθερά  $K$  σχετίζεται με την παραπάνω πιθανότητα ως εξής :

$$K = \sqrt{-\ln(2\pi) - 2 \cdot \ln \varepsilon}$$

Άρα, η τελική σχέση της κανονικοποιημένης χωρητικότητας της ζεύξης είναι :

$$C = N \cdot p + \sqrt{[-\ln(2\pi) - 2 \cdot \ln \varepsilon] \cdot [N \cdot p \cdot (1 - p)]}$$

Αν την παραπάνω σχέση την επιλύσουμε ως προς  $N$  έχουμε :

$$N = \frac{C}{p} - \frac{1}{p} \left[ \sqrt{4\alpha(C+a)} - 2a \right], \quad a = \frac{K^2(1-p)}{4}$$

Ένας έλεγχος αποδοχής, που χρησιμοποιεί την παραπάνω σχέση, αποδέχεται μια νέα κλήση εάν οι ήδη εγκατεστημένες συνδέσεις είναι λιγότερες από  $N$ .

Το κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας καθορίζεται από την επιτρεπόμενη πιθανότητα της παραμέτρου ποιότητας υπηρεσίας  $\varepsilon$  και γενικότερα από την ανεκτή πιθανότητα απώλειας πακέτων. Σύμφωνα με τον προηγούμενο έλεγχο αποδοχής κλήσης βασισμένο στον μέγιστο ρυθμό, ο αριθμός των επιτρεπόμενων συνδέσεων στο σύστημα στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει απώλεια πακέτων είναι :

$$C = \frac{C_L}{R_p}$$

Το κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας επιτυγχάνεται επιτρέποντας την αύξηση του αριθμού των πηγών  $N$  πέρα από την τιμή  $C$ , προκαλώντας απώλεια πακέτων.

Το κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας ορίζεται σύμφωνα με την σχέση :

$$G_\varepsilon = \frac{N}{C}$$

Το μέγιστο κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας επιτυγχάνεται όταν έλεγχος αποδοχής κλήσης (CAC) βασίζεται στο μέσο εύρος ζώνης. Τότε ισχύει:

$$m \cdot R_p = C_L \Rightarrow m = C$$

Όπως έχει αναφερθεί, για το πρότυπο κίνησης ON-OFF ισχύει η ισότητα:

$$m = p \cdot N$$

Έτσι, το μέγιστο κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας είναι ίσο με :

$$G_\varepsilon = \frac{N}{C} = \frac{1}{p}$$

Το εφικτό κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας, για δεδομένη κανονικοποιημένη χωρητικότητα  $C$  και μια επιτρεπόμενη πιθανότητα απώλειας πακέτων  $\varepsilon$ , δίνεται από την σχέση :

$$G_\varepsilon = \frac{1}{p} - \left\{ \sqrt{\frac{4\alpha}{C} \left[ 1 + \frac{\alpha}{C} \right]} - \frac{2}{C} \right\}, \quad a = \frac{K^2(1-p)}{4}$$

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η σταθερά  $K$  εξαρτάται από την πιθανότητα  $\varepsilon$  που εκφράζει την ποιότητα υπηρεσίας και το  $p$  από την εκρηκτικότητα της

πηγής. Παρατηρείται ότι όταν αυξάνεται το  $C$  ή μειώνεται το  $K$  τότε αυξάνεται το κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας  $G_e$ .

## 10.2 Κατηγορίες Υπηρεσιών Φέροντος

Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες υπηρεσιών φέροντος. Οι όροι είναι κύρια γνωστοί στην περιοχική των ευρυζωνικών δικτύων ATM (Broadband Networks). Το ATM χρησιμοποιείται ως στρώμα μεταφοράς των IP δικτύων (IP over ATM). Φυσικά, το δίκτυο κορμού του UMTS είναι πλήρως IP. Έτσι, θεωρείται σκόπιμο να παρουσιαστούν οι παρακάτω κατηγορίες υπηρεσιών φέροντος.

### 10.2.1 Κατηγορία Σταθερού Ρυθμού Μετάδοσης (Constant Bit Rate – CBR)

Η κατηγορία αυτή αντιπροσωπεύει τις εφαρμογές που απαιτούν σταθερό εύρος ζώνης και χαρακτηρίζονται μόνο από τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης πακέτων που πρέπει να είναι διαθέσιμος σε όλη την διάρκεια της συνόδου. Η πηγή χαρακτηρίζεται από τον παράγοντα δραστηριότητας (activity factor) με τυπική τιμή συνήθως 0.8 και μπορεί να μεταδίδει σε ρυθμό ίσο ή μικρότερο από PCR ή ακόμα και καθόλου. Θα πρέπει όμως να γίνει η κατάλληλη δέσμευση πόρων ώστε να εξασφαλίζεται η συμφωνημένη ποιότητα υπηρεσίας.

### 10.2.2 Κατηγορία Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης (Variable Bit Rate – VBR)

Η κατηγορία αυτή χαρακτηρίζεται από εκρηκτικές πηγές κίνησης. Τα βασικά χαρακτηριστικά περιγραφής αυτής της κατηγορίας είναι : ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης πακέτων, ο ανεκτός ρυθμός μετάδοσης πακέτων (ισούται με το άνω όριο του μέσου ρυθμού μετάδοσης πακέτων) και την μέγιστη διάρκεια της έκρηξης.

Για τα πακέτα εφαρμογής αναμένεται μια μικρή αναλογία χαμένων πακέτων και ένα άνω όριο στην καθυστέρηση πακέτων.

Η κατηγορία μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες :

#### ✓ Μη πραγματικού χρόνου VBR (NRT-VBR)

Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχουν αυστηροί περιορισμοί για στην καθυστέρηση καθώς και στην διακύμανση της καθυστέρησης πακέτων.

#### ✓ Πραγματικού χρόνου VBR (RT-VBR)

Σε αντίθεση με την NRT-VBR, η περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται από ευαισθησία στην καθυστέρηση.

### 10.2.3 Κατηγορία Διαθέσιμου Ρυθμού Μετάδοσης (Available Bit Rate – ABR)

Μια πηγή κίνησης αυτής της κατηγορίας έχει την δυνατότητα να προσαρμόζει τον ρυθμό μετάδοσης πακέτων. Μπορεί να καθοριστεί ένας μέγιστος και ένας ελάχιστος

ρυθμός μετάδοσης. Τονίζεται ότι δεν υπάρχει όριο στην καθυστέρηση των πακέτων και η διακύμανση των πακέτων δεν λαμβάνεται υπόψη. Οι συνδέσεις ABR μπορούν να συνυπάρχουν με συνδέσεις CBR ή VBR χωρίς να τις επηρεάζουν και να εκμεταλλεύονται το υπόλοιπο εύρος ζώνης.

#### **10.2.4 Κατηγορία Ακαθόριστου Ρυθμού Μετάδοσης (Uncertain Bit Rate – UBR)**

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας οι οποίες δεν έχουν αυστηρούς περιορισμούς στην καθυστέρηση μετάδοσης, στη διακύμανση καθυστέρησης και δεν έχουν συμφωνημένη ποιότητα υπηρεσίας. Οι πηγές κίνησης αυτής της κατηγορίας μεταδίδουν πακέτα με ασυνεχείς εκρήξεις.

### **10.3 Χαρακτηριστικά Κίνησης Πηγών**

Σε αυτό το τμήμα θα παρουσιαστούν τα κύρια χαρακτηριστικά μιας κίνησης που παράγεται από μια πηγή πακέτων όπως είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (Peak Bit Rate), ο μέσος ρυθμός μετάδοσης (Average Bit Rate), ο ανεκτός ρυθμός μετάδοσης (Sustainable Bit Rate), η εκρηκτικότητα (Burstiness), το μέγιστο μήκος έκρηξης (Maximum Burst Size) και η διακύμανση της καθυστέρησης πακέτου (Packet Delay Variation).

#### **10.3.1 Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (Peak Bit Rate)**

Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης είναι η μέγιστη τιμή του ρυθμού που μπορεί να μεταδώσει η πηγή.

#### **10.3.2 Μέσος ρυθμός μετάδοσης (Average Bit Rate)**

Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης μιας πηγής υπολογίζεται από τον λόγο των συνολικών bits που μετέδωσε κατά την διάρκεια της σύνδεσης προς αυτή την διάρκεια.

#### **10.3.3 Ανεκτός ρυθμός μετάδοσης (Sustainable Bit Rate)**

Ο ανεκτός ρυθμός μετάδοσης μιας πηγής είναι το άνω όριο του μέσου ρυθμού μετάδοσης. Είναι δηλαδή η μέγιστη τιμή του μέσου ρυθμού μετάδοσης κατά την διάρκεια των ενεργών περιόδων ON (κατά την διάρκεια των κλήσεων πακέτων).

#### **10.3.4 Εκρηκτικότητα (Burstiness)**

Η εκρηκτικότητα μιας ροής είναι ένα χαρακτηριστικό που δείχνει πόσο αραιά στέλνει η πηγή πακέτα. Μια πηγή η οποία στέλνει πολύ αραιά πακέτα θεωρείται εξαιρετικά εκρηκτική, σε αντίθεση με μια πηγή που εκπέμπει πακέτα με σταθερό ρυθμό και χαρακτηρίζεται μη εκρηκτική. Η τιμή του μεγέθους της εκρηκτικότητας υπολογίζεται από τον λόγο του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης προς τον μέσο ρυθμό μετάδοσης.

#### **10.3.5 Μέγιστο μήκος έκρηξης (Maximum Burst Size)**

Είναι ο αριθμός των bits που μεταδόθηκαν με τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης.

### 10.3.6 Διακύμανση της καθυστέρησης πακέτου (Packet Delay Variation)

Σε κάθε πακέτο που εκπέμπεται στο δίκτυο εισάγεται μια μεταβλητή καθυστέρηση που οφείλεται λόγω του φορτίου του δικτύου. Έτσι παρατηρείται μια μεταβολή της καθυστέρησης μεταξύ διαδοχικών πακέτων. Η απόκλιση αυτή αναφέρεται ως διακύμανση καθυστέρησης πακέτου ή jitter.

Έστω δυο διαδοχικά πακέτα  $P_k$  και  $P_{k+1}$  με καθυστερήσεις αντίστοιχα  $d_k$  και  $d_{k+1}$  αντίστοιχα, τότε η διακύμανση της καθυστέρησης  $D_{k+1}$  του πακέτου  $P_{k+1}$  είναι  $d_{k+1}-d_k$ .

## 10.4 Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση στο S-UMTS

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια περιγραφή των κύριων κατηγοριών τηλεπικοινωνιακής κίνησης στο *S-UMTS* σε Επίπεδο Χρήστη, *User-Plane* (UP). Φυσικά, η κίνηση προέρχεται και από το Επίπεδο Ελέγχου, *Control-Plane* (CP). Η αναλυτική περιγραφή της UP και CP κίνησης περιγράφεται λεπτομερώς στις 3GPP προδιαγραφές.

Η UP κίνηση αναφέρεται σε όλη την κίνηση η οποία παράγεται από τις πηγές κίνησης που εμφανίζονται πάνω από την στοίβα πρωτοκόλλων και έτσι περιλαμβάνει και την κίνηση που προέρχεται από την σηματοδότηση στο Επίπεδο Εφαρμογής (*Application Layer*).

Η CP κίνηση αναφέρεται στην κίνηση σηματοδότησης που λαμβάνει χώρα μεταξύ των στοιχείων του *S-UMTS* δικτύου. Περιλαμβάνει όλα τα πρωτόκολλα σηματοδότησης που απαιτούνται για την εγκατάσταση, διατήρηση και έλεγχο των Υπηρεσιών Φέροντος UMTS (*UMTS Bearer Service*).

### 10.4.1 Κίνηση Επιπέδου Χρήστη – User Plane Traffic

Η UP κίνηση κατηγοριοποιείται σε τέσσερις κλάσεις κίνησης (*traffic classes*). Ο κύριος παράγοντας διάκρισης μεταξύ αυτών των κλάσεων είναι η ευαισθησία στην καθυστέρηση στην αναμενόμενη κίνηση.

Κλάση κίνησης	Διαλογική πραγματικού χρόνου Conversational RT	Ροή πραγματικού χρόνου Streaming RT	Αλληλοδραστική μη πραγματικού χρόνου Interactive NRT	Βασική-Υποβάθρου μη πραγματικού χρόνου Background NRT
Βασικά χαρακτηριστικά	Διατηρεί χρονική σχέση μεταξύ των οντοτήτων πληροφορίας της ροής. Πρότυπο Συνομιλίας (περιορισμένη και χαμηλή καθυστέρηση)	Διατηρεί χρονική σχέση μεταξύ των οντοτήτων πληροφορίας της ροής.	Πρότυπο αίτησης - απόκρισης Διατήρηση του περιεχομένου της πληροφορίας στα πακέτα	Ο προορισμός δεν περιμένει τα δεδομένα μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρόνο. Διατήρηση του περιεχομένου της πληροφορίας στα πακέτα
Παράδειγμα Πηγής Κίνησης	Φωνή	Ροή Βίντεο	Πλοήγηση στο web	Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο

Πίνακας 10-1: Κλάσεις κίνησης UMTS

### 10.4.2 Χαρακτηριστικά Υπηρεσιών Φέροντος UMTS (UMTS Bearer Service)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των Υπηρεσιών Φέροντος UMTS.

Κλάση κίνησης	Conversational	Streaming	Interactive	Background
Μέγιστος ρυθμός bit	•	•	•	•
Σειρά Παράδοσης	•	•	•	•
Μέγιστο μέγεθος SDU	•	•	•	•
Διάταξη πληροφορίας SDU	•	•		
Ποσοστό λανθασμένων SDU	•	•	•	•
Ποσοστό υπολειπόμενων λανθασμένων bit	•	•	•	•
Παράδοση λανθασμένων SDU	•	•	•	•
Καθυστέρηση μεταφοράς	•	•		
Εγγυημένος ρυθμός bit	•	•		
Χειρισμός προτεραιοτήτων κίνησης			•	
Δέσμευσης / Κράτηση Προτεραιότητας	•	•	•	•
Περιγραφητής στατιστικών πηγής	•	•		

Πίνακας 10-2: Χαρακτηριστικά UMTS φέροντος για κάθε κλάση κίνησης

#### Κλάση κίνησης

##### Traffic Class (*Conversational, Streaming, Interactive, Background*)

Η κλάση κίνησης δηλώνει τον τύπο της εφαρμογής. Το δίκτυο UMTS μπορεί να κάνει υποθέσεις σχετικά με την πηγή κίνησης (traffic source) βασισμένες στην κλάση κίνησης.

##### Μέγιστο μέγεθος SDU – Maximum SDU size (bytes)

Είναι η μέγιστη τιμή SDU που επιτρέπεται. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται στον AC και στην αστυνόμευση (policing) των πακέτων.

##### Μέγιστος ρυθμός bit – Maximum Bit Rate (kbps)

Ορίζεται ως ο μέγιστος αριθμός bits που παραδίδονται από το UMTS σε ένα SAP κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου, προς την διάρκεια αυτή. Το κριτήριο προσαρμογής προς των μέγιστο ρυθμό βασίζεται στον αλγόριθμο του κάδου με σκυτάλες, όπου το μέγεθος του κάδου ισοδυναμεί με το μέγιστο μέγεθος SDU και ο ρυθμός των σκυταλών με τον μέγιστο



ρυθμό bit. Το χαρακτηριστικό αυτό καθορίζει μόνο το άνω όριο για τον ρυθμό bit. Σταθερή διαθεσιμότητα του ζητούμενου μέγιστου ρυθμού δεν εξασφαλίζεται.

#### **Εγγυημένος ρυθμός bit – Guaranteed Bit Rate (kbps)**

Ορίζεται ως ο εγγυημένος αριθμός bits που παραδίδονται από το UMTS σε ένα SAP κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου, προς την διάρκεια αυτή. Η κίνηση μορφοποιείται σύμφωνα με τον εγγυημένο ρυθμό bit αν εφαρμοστεί ο αλγόριθμος του κώδου με σκυτάλες, όπου ο ρυθμός των σκυταλών ισούται στον εγγυημένο ρυθμό bit και το μέγεθος του κώδου με  $k$  (Maximum SDU size). Το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον AC και στη δέσμευση πόρων στο UMTS Δίκτυο. Οι απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας εκφράζονται από άλλα χαρακτηριστικά, αξιόπιστα για κίνηση με εγγυημένο ρυθμό bit.

#### **Σειρά Παράδοσης – Delivery Order (•/ο)**

Δηλώνει αν η Υπηρεσία Φέροντος UMTS πρέπει να παραδίδει σε σειρά τα SDU ή όχι.

#### **Πληροφορία Δομής SDU – SDU Format Information**

Το χαρακτηριστικό αυτό κατηγοριοποιεί όλα τα δυνατά μεγέθη των SDUs.

#### **Ποσοστό Λανθασμένων SDU – SDU Error Ratio**

Το μέγεθος αυτό ορίζεται ως το κλάσμα των χαμένων ή λανθασμένων SDUs. Αν πόροι έχουν δεσμευτεί για ένα δοσμένο UMTS bearer τότε το ποσοστό αυτό δεν εξαρτάται από τις συνθήκες φορτίου.

#### **Ποσοστό υπολειπόμενων λανθασμένων bit - Residual Bit Error Ratio**

Το ποσοστό αυτό δηλώνει τον λόγο των μη ανιχνεύσιμων bits στα παραδοτέα SDU αν έχει ζητηθεί ανίχνευση, διαφορετικά δηλώνει το ποσοστό λανθασμένων bits (Bit Error Ratio - BER) στα παραδοτέα SDUs.

#### **Παράδοση Λανθασμένων SDUs – Delivery of Erroneous Bits (•/ο/-)**

Το χαρακτηριστικό αυτό δηλώνει τον χειρισμό των SDUs τα οποία αναγνωρίστηκαν ως λανθασμένα . Χρησιμοποιείται για να αποφασιστεί αν η ανίχνευση λαθών στα SDUs υποστηρίζεται και αν τα SDUs που εντοπίστηκαν ως λανθασμένα θα προωθηθούν ή όχι.

### **Καθυστέρηση Μεταφοράς – Transfer Delay**

Ορίζεται ως η μέγιστη καθυστέρηση για το 95% της κατανομής της καθυστέρηση όλων των SDUs που παραδόθηκαν κατά την διάρκεια της υπηρεσίας φέροντος (bearer service). Η καθυστέρηση για ένα SDU είναι ο χρόνος από την αίτηση μεταφοράς ενός SDU από το ένα SAP έως την παράδοσή του στο άλλο SAP.

### **Χειρισμός Προτεραιοτήτων Κίνησης – Traffic Handling Priority**

Το χαρακτηριστικό της προτεραιότητας χρησιμοποιείται στην Interactive κλάση κίνησης. Δηλώνει την σχετική σημασία των SDUs ενός φέροντος συγκρινόμενη με άλλων SDUs της Interactive κλάσης. Ο προγραμματισμός εκπομπής των SDUs της Interactive κλάσης γίνεται σύμφωνα με αυτό το χαρακτηριστικό.

### **Δέσμευση / Κράτηση Προτεραιότητας – Allocation/Retention Priority**

Αυτό το χαρακτηριστικό προτεραιότητας σχετίζεται με την συνδρομή και δεν μπορεί να διαμορφωθεί ή να διαπραγματευθεί από το UE. Καθορίζει λεπτομερώς την σπουδαιότητα του UMTS bearer συγκρινόμενη με άλλων UMTS bearers και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλα αρμόδια στοιχεία του δικτύου UMTS όταν λαμβάνει χώρα το AC και η δέσμευση πόρων.

### **Περιγραφητής Στατιστικών Πηγής – Source Statistics Descriptor**

Καθορίζει λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά της πηγής κίνησης. Το RAN,SGSN και GGSN μπορούν να χρησιμοποιούν αυτή την πληροφορία στον υπολογισμό του κέρδους στατιστικής πολυπλεξίας ώστε να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς του AC.

## 10.5 Χαρακτηριστικά Κίνησης UMTS

### 10.5.1 Ορολογία Μοντελοποίησης Κίνησης

#### **Σύνοδος – Session**

Μια «session» αναφέρεται στην σύνοδο του στρώματος μεταφοράς. Αυτή θα μπορούσε να είναι για παράδειγμα μια σύνοδος TCP, UDP ή WAP. Η κίνηση κατά την διάρκεια μιας συνόδου μεταφέρεται μέσω PDP (Packet Data Protocol) περιεχομένου, το οποίο είναι ένας εικονικός επικοινωνιακός σωλήνας (virtual communication pipe) μέσα στο δίκτυο UMTS και χρησιμοποιείται για την παράδοση των ροών/ρευμάτων κίνησης (traffic flow). Ένα PDP περιεχόμενο μπορεί να μεταφέρει κίνηση από περισσότερες των μια συνόδων, οι οποίες έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε UMTS QoS.

Ένα ή περισσότερα PDP περιεχόμενα μπορεί να μεταφέρονται από ένα Φέρον Ασύρματης Πρόσβασης (Radio Access Bearer - RAB) και ένα RAB μεταφέρεται πάντα από ένα Ασύρματο Φέρον (Radio Bearer - RB). Ένα ή περισσότερα RB(s) μπορεί να μεταφέρονται από ένα κανάλι μεταφοράς (Transport Channel - TrCH) στην ασύρματη διεπαφή (air interface).

#### **Κλήση (Αίτηση) – Ερώτημα (Query)**

Μια κλήση αναφέρεται σε μια αίτηση η οποία τίθεται ρητά από τον τελικό-χρήστη (end-user) (ή τον Εξοπλισμό Τερματικού (Terminal Equipment - TE)), στην προσπάθεια ανταλλαγής πληροφορίας με τον προορισμό την κλήσης. Για παράδειγμα, ένας χρήστης καλεί έναν τηλεφωνικό αριθμό ή υποβάλλει μια αίτηση για να ανακτήσει μια ιστοσελίδα. Το δεύτερο κανονικά λέγεται ερώτημα (query). Μια κλήση, αν είναι επιτυχής, οδηγεί σε μια ενεργή περίοδο ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των τελικών-ακρικών οντοτήτων (end-entities) της κλήσης. Ο τερματισμός μιας κλήσης αναφέρεται ρητά στις τελικές οντότητες της κλήσης.

#### **Εκρήξεις Ομιλίας (Δεδομένων) – Talk (Data) Bursts**

Κατά την διάρκεια μιας κλήσης, η κίνηση πηγής μπορεί να μην παράγεται σε έναν σταθερό ρυθμό των A bits κάθε B secs. Αντίθετα, αποτελείται από ενεργές και ήσυχες περιόδους. Η ενεργός περίοδος συνήθως είναι γνωστή ως έκρηξη (Talkburst ή Databurst).

#### **Καθυστερήση – Delay**

Πολλοί όροι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των καθυστερήσεων. Οι πιο σημαντικοί όροι δηλώνονται στην συνέχεια :

- **Καθυστέρηση Εφαρμογής – Application Delay**

Είναι ο χρόνος που απαιτεί η εφαρμογή να επεξεργαστεί την πληροφορία στα δυο άκρα της μεταφοράς. Περιλαμβάνει την καθυστέρηση κωδικοποίησης (Codec delay) για την φωνή και την κινούμενη εικόνα.

- **Καθυστέρηση Μεταφοράς – Transfer Delay (TrDelay)**

Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση της πληροφορίας στα δυο άκρα της μεταφοράς. Περιλαμβάνει την κωδικοποίηση / αποκωδικοποίηση του καναλιού, καθυστέρηση διάδοσης, κλπ.

- **Καθυστέρηση άκρη σε άκρη – end-to-end Delay (e2e Delay)**

Αποτελείται από την καθυστέρηση εφαρμογής και την καθυστέρηση μεταφοράς. Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση της πληροφορίας μέσω του συστήματος και ο χρόνος επεξεργασίας της πληροφορίας. Η e2e καθυστέρηση περιλαμβάνει κάθε είδους καθυστέρηση.

- **Μεταβλητότητα Καθυστέρησης – Delay Variation (Jitter)**

Είναι ένα μέτρο των μεταβολών στην καθυστέρηση του καναλιού, συγκρινόμενο με την μέση τιμή της καθυστέρησης. Στις συνδέσεις τύπου μεταγωγής κυκλώματος το jitter μπορεί να θεωρηθεί ασήμαντο, συνεπώς η καθυστέρηση είναι μια σταθερά.

## 10.6 Υπηρεσίες IP

Επί του παρόντος υπάρχουν δυο κύρια πρωτόκολλα μεταφοράς, το UDP και το TCP. Γενικά, οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (Real Time – RT) μεταφέρονται πάνω από UDP και οι υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου (non-real time – NRT) πάνω από TCP. Εντούτοις, υπάρχουν εξαιρέσεις, μιας και οι εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιούν TCP ή UDP ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου. Επίσης, είναι πιθανό μια πύλη (gateway) του δικτύου να αλλάζει το πρωτόκολλο για μια συγκεκριμένη διαδρομή στο δίκτυο.

Στην πράξη, το πρωτόκολλο μεταφοράς έχει νόημα για το δίκτυο μόνο όταν η πηγή εκπομπής μεταδίδει μεγάλο όγκο δεδομένων και η ροή κίνησης είναι εκρηκτική. Σε αυτή την περίπτωση το TCP προσαρμόζει τον ρυθμό μετάδοσης σύμφωνα με τις συνθήκες του δικτύου ενώ το UDP όχι. Όταν υπάρχει λίγη πληροφορία προς μετάδοση ή η ροή είναι σταθερή, τότε και τα δύο πρωτόκολλα παράγουν παρόμοιο τύπο ροής κίνησης.

Στρώμα μεταφοράς	Ρυθμός Bit	Ρυθμός απώλειας SDU	BER	Μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης	Jitter
UDP	χωρίς όριο	εξαρτάται από την εφαρμογή	$10^{-3}$	χωρίς όριο	χωρίς όριο
TCP	οποιοδήποτε	ενδεικτικά $10^{-5}$	ενδεικτικά $10^{-6}$	χωρίς όριο	χωρίς όριο

Πίνακας 10-3: Τυπικοί χρόνοι εγκατάστασης υπηρεσιών UMTS

### 10.6.1 Εφαρμογές κλάσης «Conversational»

Η πιο αντιπροσωπευτική υπηρεσία κλάσης «Conversational» είναι μια κλήση πολυμέσων (multimedia). Μπορεί να συμπεριλαμβάνει δυο ή περισσότερους χρήστες και να αποτελείται από ταυτόχρονες συνιστώσες (components) ήχου, κινούμενης εικόνας (βίντεο) και δεδομένων ή να περιορίζεται σε μια μόνο συνιστώσα. Οι εφαρμογές NetMeeting (Microsoft) και Videophone (Intel) μπορεί να θεωρηθούν ως εφαρμογές μελλοντικών κινητών τερματικών.

Η συνιστώσα ήχου είναι τυπικά εκρηκτική, αποτελούμενη από ήσυχες περιόδους και εκρήξεις φωνής (talkbursts). Το μέγεθος του πακέτου είναι μικρό. Οι εκρήξεις εξαρτώνται από τον κωδικοποιητή (Codec), την εφαρμογή και την συμπεριφορά του χρήστη. Η συνιστώσα βίντεο μιας κλήσης είναι επίσης εκρηκτική αν επιλεγεί κωδικοποιητής μεταβλητού ρυθμού bit (Variable Bit Rate – VBR). Σε αντίθεση με την συνιστώσα ήχου δεν υπάρχουν ήσυχες περίοδοι. Τα νέα πακέτα βίντεο στέλνονται ομαλά στο δίκτυο. Η εκρηκτικότητα είναι λόγω του ότι τα μεταβλητά μεγέθη των πακέτων είναι έντονα αυτοσυσχετισμένα.

Τα πακέτα ήχου και εικόνας μεταφέρονται με UDP το οποίο δεν πακετάρει τα μικρά RTP πακέτα σε μεγάλα σύνθετα πακέτα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα μεγάλο αριθμό από μικρά πακέτα και έτσι αυξάνεται ο αριθμός των επιπρόσθετων (χωρίς πληροφορία) bytes στο δίκτυο. Από την άλλη, η «πακετοποίηση» των RTP πακέτων θα αύξανε την e2e καθυστέρηση. Τα RTCP πακέτα των ρευμάτων ήχου και βίντεο αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές ροές κίνησης. Για παράδειγμα, σε μια κλήση multimedia υπάρχουν ταυτόχρονα τέσσερις συνδέσεις τουλάχιστον.

Η συνιστώσα δεδομένων, μπορεί να είναι για παράδειγμα μια μεταφορά αρχείου σε μια εφαρμογή. Αν και η συνιστώσα αυτή είναι απαραίτητο κομμάτι σε μια κλήση πολυμέσων, μπορεί να ενταχθεί στην κλάση interactive ή background.

Μέσο	Εφαρμογή	Βαθμός συμμετρίας	Παράμετροι επίδοσης, αντικειμενικές τιμές		
			Καθυστέρηση μιας κατεύθυνσης	Διακύμανση καθυστέρησης	Απώλεια πληροφορίας
Ήχος	Διαλογική φωνή	Δυο κατευθύνσεων	<150ms προτιμάται  <400ms όριο	<1ms	<3% FER
Βίντεο	Βιντεόφωνο	Δυο κατευθύνσεων	<150ms προτιμάται  <400ms όριο  Lip-synch  <100ms	-	<1% FER
Δεδομένα	Τηλεμετρία (έλεγχος δυο κατευθύνσεων)	Δυο κατευθύνσεων	<250ms	-	0
Δεδομένα	Αλληλοδραστικά παιχνίδια	Δυο κατευθύνσεων	<250ms	-	0

Πίνακας 10-4: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών RT-Streaming

### 10.6.2 Εφαρμογές κλάσης «Streaming»

Τυπικές υπηρεσίες αυτής της κλάσης είναι του είδους Εξυπηρετητή – Χρήστη (Server – User). Οι εφαρμογές streaming παράγουν ροές TCP ή UDP, εξαρτάται από τις απαιτήσεις εγκατάστασης (set-up) του δικτύου. Δίκτυα τα οποία περιέχουν Firewall απαιτούν οι εφαρμογές να χρησιμοποιούν TCP, ενώ σε ιδιωτικό ενδοδίκτυο (intranet) μπορεί να επιτρέπεται UDP. Σε μερικές εφαρμογές, ο χρήστης μπορεί να ζητά TCP σύνδεση αντί του UDP. Επίσης, τα RTCP πακέτα ενθυλακώνονται στα ίδια TCP πακέτα με RTP πακέτα. Τα TCP πακέτα είναι μεγαλύτερα και πιο αραιά σε σχέση με τα UDP πακέτα.

Η κίνηση streaming είναι πολύ ασύμμετρη. Η πλειοψηφία των bytes προέρχεται από τον εξυπηρετητή προς το UE. Στην άνω ζεύξη υπάρχει μόνο ροή πληροφορίας ελέγχου. Στην περίπτωση του TCP είναι μόνο οι επιβεβαιώσεις οι οποίες αποτελούνται μόνο από τις επικεφαλίδες. Έτσι, ο ρυθμός bit της άνω ζεύξης είναι σαφώς μικρότερος από τον ρυθμό της κάτω ζεύξης.

Μέσο	Εφαρμογή	Βαθμός συμμετρίας	Παράμετροι επίδοσης, αντικειμενικές τιμές		
			Καθυστέρηση μιας κατεύθυνσης	Διακύμανση καθυστέρησης	Απώλεια πληροφορίας
Ήχος	Διαλογική φωνή	Δυο κατευθύνσεων	<150ms προτιμάται <400ms όριο	<1ms	<3% FER
Βίντεο	Βιντεόφωνο	Δυο κατευθύνσεων	<150ms προτιμάται <400ms όριο Lip-synch <100ms	-	<1% FER
Δεδομένα	Τηλεμετρία (έλεγχος δυο κατευθύνσεων)	Δυο κατευθύνσεων	<250ms	-	0
Δεδομένα	Αλληλοδραστικά παιχνίδια	Δυο κατευθύνσεων	<250ms	-	0

Πίνακας 10-5: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών NRT-Streaming

### 10.6.3 Εφαρμογές κλάσης «Interactive»

Οι εφαρμογές «πλοήγησης» στο διαδίκτυο (web browsing) είναι οι πιο τυπικές της αλληλοδραστικής κλάσης. Στο web-browsing, ο χρήστης ζητά πληροφορίες από τον εξυπηρετητή, και μετά ο εξυπηρετητής αποκρίνεται. Τα πακέτα σε αυτή την περίπτωση είναι TCP. Η απόκριση του εξυπηρετητή μπορεί να περιέχει αρκετά πακέτα και ακόμη ξεχωριστές ροές TCP. Αν η ιστοσελίδα περιέχει εικόνες, αυτές μπορούν να μεταδοθούν σε διαφορετικές ροές από το κείμενο. Αφού κάθε ροή πακέτων TCP χρησιμοποιεί τον δικό της αλγόριθμο ελέγχου συμφόρησης, ξεκινώντας με τον αλγόριθμο αργής έναρξης, η μετάδοση δεδομένων είναι αργή στην αρχή. Στην περίπτωση του www-browsing, τα αρχεία είναι συνήθως τόσο μικρά ώστε ο ρυθμός μετάδοσης να μην προλαβαίνει να αυξηθεί γιατί η μεταφορά έχει ήδη ολοκληρωθεί.

Ένα WAP-browsing αποτελείται από τρία πακέτα: αίτηση από τον χρήστη στον εξυπηρετητή, απόκριση του δευτέρου στον πρώτο, και η επιβεβαίωση του πρώτου στον

δεύτερο. Το μέγεθος του πακέτου απόκρισης είναι τυπικά μικρό αλλά μεταβλητό. Τα πακέτα απόκρισης είναι μεγαλύτερα από τα πακέτα αίτησης αλλά τα μεγέθη διαφέρουν. Τα πακέτα μεταφέρονται πάνω από UDP ή κάποιο αντίστοιχο πρωτόκολλο τεχνολογίας WAP, WDP (Wireless Data Protocol).

Μέσο	Εφαρμογή	Βαθμός συμμετρίας	Παράμετροι επίδοσης, αντικειμενικές τιμές		
			Καθυστέρηση μιας κατεύθυνσης	Διακύμανση καθυστέρησης	Απώλεια πληροφορίας
Ήχος	Μηνύματα ήχου	Κυρίως μιας κατεύθυνσης	<1s για αναπαραγωγή <1s για εγγραφή	<1ms	<3% FER
Δεδομένα	Περιήγηση στο web – HTML	Κυρίως μιας κατεύθυνσης	<4s ανά ιστοσελίδα	-	0
Δεδομένα	Υπηρεσίες συναλλαγών – υψηλή προτεραιότητα (π.χ. e-commerce, ATM)	Δυο κατευθύνσεων	<4s	-	0
Δεδομένα	Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (πρόσβαση σε εξυπηρετητή)	Κυρίως μιας κατεύθυνσης	<4s	-	0

Πίνακας 10-6: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών κλάσης "Interactive" και "Background"

#### 10.6.4 Εφαρμογές κλάσης «Background»

Τυπικές εφαρμογές της βασικής κλάσης είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (email), τα σύντομα γραπτά μηνύματα (sms), η μεταφορά (transfer) και ανάκτηση (download) αρχείων. Εφαρμογές οι οποίες ανήκουν σε διαφορετικές QoS κλάσεις μπορεί να έχουν μια συνιστώσα η οποία μπορεί να μεταδίδεται ως κίνηση κλάσης «background». Παράδειγμα αποτελεί η μεταφορά αρχείου ως συνιστώσα δεδομένων σε μια κλήση multimedia. Το αρχείο μπορεί να μεταδοθεί σε «background» ενόσω οι συνιστώσες ήχου και βίντεο χρησιμοποιούν την κλάση «conversational».



## 10.7 Ποιότητα Υπηρεσίας στο Διαδίκτυο

Η IETF (Internet Engineering Task Force) έχει ορίσει δύο αρχιτεκτονικές Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service) στο Διαδίκτυο, η Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Service Architecture - IntServ) και το Μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Service Framework – DiffServ).

Στο Διαδίκτυο νέας γενιάς όπου θα υποστηρίζει Ποιότητα Υπηρεσίας θα πρέπει να προδιαγράφονται οι απαιτήσεις όπως :

- Η εξυπηρέτηση προηγμένων και απαιτητικών εφαρμογών
- Κλιμάκωση της ποιότητας υπηρεσίας και η εφαρμογή σε ευρεία κλίμακα, από άκρη σε άκρη (end-to-end).
- Εύκολη διαχείριση των νέων δικτύων (network management).
- Διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών υλοποιήσεων τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού όσο και σε επίπεδο δικτύων (clouds).
- Υποστήριξη της ποιότητας υπηρεσίας από διαφορετικά λειτουργικά συστήματα και μεσοσμικό (middleware).

Στη συνέχεια, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των δυο αρχιτεκτονικών Ποιότητας Υπηρεσίας.

### 10.7.1 Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (*Integrated Service Architecture - IntServ*)

Το 1994 η σχετική ομάδα (*Integrated Services Working Group*) του IETF εξέδωσε δημοσιοποίησε την πρόταση για την αρχιτεκτονική των ενοποιημένων υπηρεσιών ως μια προέκταση των ήδη υπάρχοντων πρωτοκόλλων για να υποστηριχθούν υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Βασίζεται στην ανά ροή δέσμευση πόρων σε όλους τους δρομολογητές κατά μήκος της διαδρομής από την πηγή κίνησης έως τον προορισμό.

Σε αυτό το μοντέλο τα βήματα για την εγκατάσταση μιας σύνδεσης είναι :

- Η εφαρμογή προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης κίνησης και την απαιτούμενη υπηρεσία.
- Το δίκτυο χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για τον εντοπισμό της βέλτιστης διαδρομής.
- Το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων (*Resource Reservation Protocol – RSVP*), χρησιμοποιείται για τις δεσμεύσεις σε κάθε κόμβο κατά μήκος της διαδρομής.

Σε αυτή την αρχιτεκτονική ορίζονται, πέρα από την υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (**Best Effort Service**), δυο κατηγορίες τηλεπικοινωνιακής κίνησης με διαφορετικές απαιτήσεις η κάθε μία σε ποιότητα υπηρεσίας από το δίκτυο :

- **Κλάση Εγγυημένης Ποιότητας Υπηρεσίας (Guaranteed Service).**

Κατόπιν συμφωνίας της πηγής μιας συγκεκριμένης ροής με το δίκτυο για τις παραμέτρους κίνησης, τα πακέτα της ροής που υπόκεινται στην κλάση της εγγυημένης υπηρεσίας φθάνουν στον προορισμό τους μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, χωρίς να απορριφθούν λόγω υπερχειλίσσης των ενταμιευτών στους δρομολογητές του δικτύου. Η ελάχιστη ή η μέση καθυστέρηση δεν ελέγχεται από αυτή την κλάση. Επίσης, δεν ελαχιστοποιείται η διακύμανση της μέσης χρονικής απόστασης μεταξύ δυο διαδοχικών πακέτων.

- **Κλάση Ελεγχόμενου Φορτίου (Controlled Load Service).**

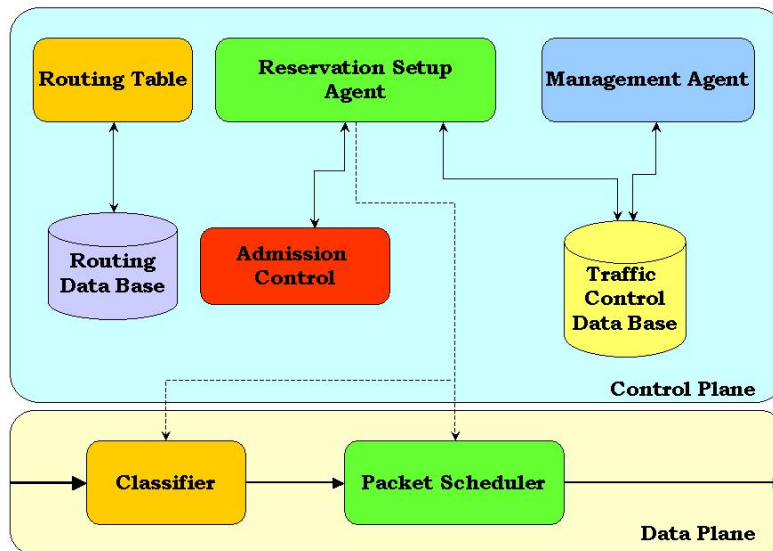
Η συγκεκριμένη κλάση ποιότητας υπηρεσίας είναι ανεξάρτητη και ανθεκτική σε οποιαδήποτε τηλεπικοινωνιακή φόρτιση του δικτύου. Ακόμα και σε περιπτώσεις υπερφόρτισης και συμφόρησης του δικτύου, διατηρείται σταθερή η ποιότητα της υπηρεσίας.

Αν και η κλάση εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας προϋποθέτει την δέσμευση πόρων για την χειρότερη περίπτωση, αυτό οδηγεί σε λιγότερο αποτελεσματική χρησιμοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Εφαρμογές οι οποίες είναι δυνατό να ανήκουν στην κλάση εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας είναι κύρια πολυμεσικές (multimedia) με αυστηρές απαιτήσεις σε χρόνους παράδοσης, όπως μεταφορά ήχου και κινούμενης εικόνα.

Η δεύτερη κλάση, κλάση ελεγχόμενου φορτίου, είναι κατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων οι οποίες είναι ανεκτικές σε μικρές καθυστερήσεις και λίγες απώλειες πακέτων. Εφαρμογές σε τέτοιου είδους υπηρεσία είναι η υπηρεσία κινούμενης εικόνας κατά απαίτηση (Video on Demand - VoD) καθώς και οι προσαρμοζόμενες εφαρμογές πραγματικού χρόνου (adaptative real time applications).

Στο μοντέλο αναφοράς ενός δρομολογητή ενοποιημένων υπηρεσιών ορίζονται επιπρόσθετα λειτουργίες επεξεργασίας μηνυμάτων έναρξης δέσμευσης πόρων, αποδοχής κλήσης, ταξινόμησης πακέτων και χρονοδρομολόγηση πακέτων.



Εικόνα 10-5: Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών

### 10.7.2 Μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services Model)

Το Μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών είναι μια άλλη τεχνολογία που προτάθηκε το 1998 και ορίστηκε από την IETF για την εισοδο της ποιότητας υπηρεσίας στο Διαδίκτυο. Κεντρικό σημείο του μοντέλου αυτού που πρέπει να τονιστεί είναι οι συσσωρευμένες ροές και επιπλέον οι συμπεριφορές προώθησης ανά κόμβο (Per-Hop Behaviour – PHB) οι οποίες εφαρμόζονται σε σύνολο κλάσεων κίνησης μέσα στο δίκτυο. Κάθε νεοεισερχόμενο πακέτο στο δίκτυο μαρκάρεται με ένα κωδικό σημείο διαφοροποιημένων υπηρεσιών (DiffServ Code Point – DSCP) στο τμήμα DS της επικεφαλίδας IP, δηλώνοντας έτσι την συμπεριφορά προώθησης ανά κόμβο που πρέπει να υποστεί. Έτσι, όλα τα πακέτα με το ίδιο DSCP ανήκουν στην ίδια συσσωρευμένη συμπεριφορά λαμβάνοντας την ίδια μεταχείριση PHB, ανεξάρτητα από την ροή στην οποία ανήκουν. Η αστυνόμευση (policing) και το μαρκάρισμα γίνεται στον δρομολογητή πρόσβασης – άκρη του δικτύου, έτσι οι ενδιαμέσοι δρομολογητές – δρομολογητές πυρήνα δικτύου – δεν παίζουν επιπρόσθετους σημαντικούς ρόλους στην ποιότητα υπηρεσίας. Μετά τον δρομολογητή πρόσβασης, κάθε ροή Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών πολυπλέκεται με άλλες ροές παρόμοιων χαρακτηριστικών και απαιτήσεων ως προς την ποιότητα υπηρεσίας.

Οι κυρίαρχες οντότητες σε ένα δίκτυο το οποίο υποστηρίζει την αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών είναι :

- **Ταξινομητής – Classifier**

Είναι μια οντότητα που επιλέγει τα πακέτα βασισμένα στο περιεχόμενο της επικεφαλίδας σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες. ¶

- **Μηχανισμός Αστυνόμευση – Policer**

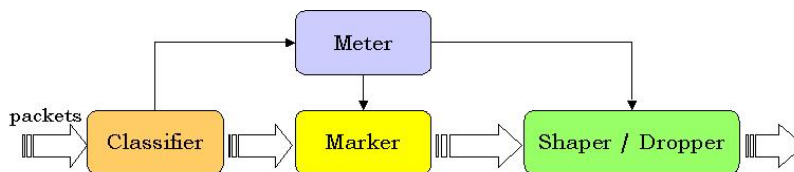
Είναι μια διαδικασία απόρριψης (dropping) των πακέτων μέσα σε ένα ρεύμα κίνησης σύμφωνα με την κατάσταση ενός μετρητή (meter) ο οποίος επιβάλλεται από ένα προφίλ κίνησης.

- **Σημαδευτής – Marker**

Είναι η οντότητα η οποία εκτελεί το μαρκάρισμα – σημάδεμα των πακέτων σύμφωνα με κάποιους συμφωνημένους κανόνες – προσήμανση (pro-marking) και επανασήμανση (re-marking).

- **Μεσίτης Εύρους Ζώνης – Bandwidth Broker**

Αποτελεί οντότητα η οποία είναι υπεύθυνη για την αποδοχή κλήσεων, την διαχείριση του δικτύου



Εικόνα 10-6: Αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών

Στην συνέχεια, γίνεται αναφορά των κλάσεων ποιότητας υπηρεσίας οι οποίες υποστηρίζονται από το μοντέλο των διαφοροποιημένων υπηρεσιών. Εκτός από την **Κλάση Βέλτιστης Προσπάθειας (Best Effort Class)**, διακρίνονται οι δυο επόμενες κλάσεις :

- **Εξαιρετική Κλάση – Premium Class**

Η κλάση αυτή υποστηρίζει υπηρεσίες οι οποίες έχουν ένα συγκεκριμένο μέγιστο εύρος ζώνης (peak bandwidth), ασήμαντη αναμονή στις ουρές των δρομολογητών, δεν δανείζεται εύρος ζώνης από άλλες υπηρεσίες και είναι εύκολα υλοποιήσιμη. Η Εξαιρετική Κλάση είναι κατάλληλη για εφαρμογές με μέτρια και μικρή εκρηκτικότητα αλλά με αρκετή ευαισθησία στην καθυστέρηση, όπως είναι οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου π.χ. τηλεφωνίας και βίντεο.

- **Εγγυημένη Κλάση – Assured Class**

Η κλάση αυτή έχει χρονικές καθυστερήσεις σχεδόν όμοιες με αυτές της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας όταν στο δίκτυο δεν παρατηρείται συμφόρηση. Οι ροές των πακέτων έχουν την δυνατότητα να δανείζονται εύρος ζώνης από κλάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας, ακόμα και από υψηλότερης προτεραιότητας όταν βέβαια αυτές έχουν μικρή κίνηση και αυτό θεωρείται αναγκαίο. Η κλάση αυτή είναι κατάλληλη για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου με υψηλή εκρηκτικότητα όπως www εφαρμογές.

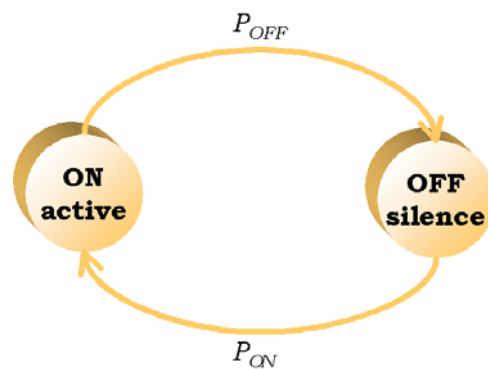


## 10.8 Μοντέλα Υπηρεσιών στο S-UMTS

### 10.8.1 Υπηρεσία Φωνής – Τηλεφωνία

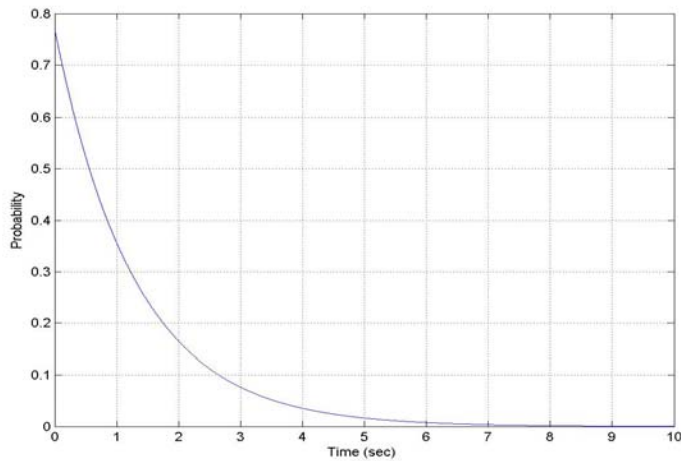
Η ομιλία αποτελείται από ενεργά και σιωπηλά μέρη, με έναν κύκλο δραστηριότητας του 40% έως 50%. Η μοντελοποίηση γίνεται με χρήση του Μοντέλου Markov δύο καταστάσεων όπως φαίνεται στην [Εικόνα 10-7] που ακολουθεί. Η χρονικές διάρκειες των καταστάσεων «ON» και «OFF» αποτελούν τυχαίες μεταβλητές εκθετικά κατανομημένες με την ίδια μέση τιμή (1.33sec) για 50% δραστηριότητα. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας PDF δίνεται από την ακόλουθη έκφραση :

$$f_x(x) = \frac{1}{\mu} \cdot e^{-\frac{x}{\mu}}$$



Εικόνα 10-7 : ON-OFF Μοντέλο Φωνής

Η παρακάτω καμπύλη δείχνει την θεωρητική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το μοντέλο ON-OFF.



Εικόνα 10-8: Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

### 10.8.2 Υπηρεσία Συνεχούς Ροής Κινούμενης Εικόνας (Video Streaming)

Για την ροή βίντεο, θεωρείται ότι οι ακολουθίες βίντεο έχουν προηγουμένως κωδικοποιηθεί (συμπιεστεί) off-line και μετά αποθηκεύονται σε έναν εξυπηρετητή για μετέπειτα πρόσβαση (προβολή). Υπάρχουν διάφορες επιλογές ως προς την διαδικασία κωδικοποίησης και την στρατηγική – εφαρμογή του εξυπηρετητή που συνδυάζεται με τον τύπο της υπηρεσίας που προσφέρεται από το(α) δίκτυο(α).

Αρχικά, η πολυπλοκότητα του κωδικοποιητή βίντεο δεν αποτελεί κύριο πρόβλημα, σε αντίθεση με τις αλληλοδραστικές εφαρμογές όπου πρέπει η συμπίεση να υποστηρίζεται από κάθε τερματικό.

Επιπρόσθετα, η διαδικασία κωδικοποίησης δεν μπορεί να προσαρμόσει δυναμικά τον ρυθμό μετάδοσης bit στο στιγμιαίο διαθέσιμο εύρος ζώνης (το οποίο είναι άγνωστο κατά την κωδικοποίηση), εκτός και αν διαφορετικές κωδικοποιημένες ροές παράγονται για κάθε συγκεκριμένο προορισμό της εφαρμογής. Έτσι, αντί να υπάρχουν προσαρμοστικοί κωδικοποιητές, η ευελιξία πετυχαίνεται αν το ίδιο το περιεχόμενο είναι κλιμακωτό και έχει την δυνατότητα προσαρμογής σε διαφορετικό δίκτυο και διαφορετικές συνθήκες δέκτη που γίνονται γνωστές μόνο κατά την διάρκεια της προβολής – μετάδοσης.

Τέλος, η ροή βίντεο μπορεί να μεταφερθεί μέσω ενός δικτύου με ρυθμό διαφορετικό του ρυθμού παρουσίασης, σε αντίθεση με το βίντεο πραγματικού χρόνου (real-time video). Το αποθηκευμένο βίντεο μπορεί να ανακτηθεί από έναν εξυπηρετητή με διαφορετικούς ρυθμούς και πλαίσια μπορούν να καταφθάσουν εκτός σειράς, για παράδειγμα η μείωση του μέγιστου ρυθμού και η εξομάλυνση της μεταβλητότητας του ρυθμού. Η μορφοποίηση της

κίνησης θα πρέπει να γίνεται βάσει των περιορισμών του πομπού και του δέκτη ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής αναπαραγωγή βίντεο.

Όταν ο κωδικοποιητής παράγει ροή συνεχούς ρυθμού (*Constant Bit Rate - CBR*), η φυσική επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί μια υπηρεσία CBR από το δίκτυο. Συνήθως, ένα κανάλι CBR συνεπάγεται ότι ο κωδικοποιητής θα πρέπει να παράγει CBR ροή.

Από την άλλη, ένας κωδικοποιητής μπορεί να παράγει ροή μεταβλητού ρυθμού bit (*Variable Bit Rate - VBR*). Ο ρυθμός μπορεί να αλλάζει με βάση το πλαίσιο βίντεο ή να μεταβάλλεται μεταξύ συνόλων πλαισίων. Οριακά, η εξομάλυνση θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα σε μια καθαρά CBR ροή αν ο αριθμός των bits ανά ομάδα πλαισίων διατηρούνταν σταθερός κατά την διάρκεια ολόκληρης της αλληλουχίας.

Θεωρώντας ότι μια ροή που παράχθηκε από έναν κωδικοποιητή VBR είναι αποθηκευμένη σε ένα εξυπηρετητή, τότε υπάρχουν δυο πιθανές εναλλακτικές στρατηγικές όταν θα γίνει η ανάκτηση (download) του περιεχομένου :

1. Να γίνει χρήση μιας υπηρεσίας VBR από το δίκτυο (έτσι γίνεται εκμετάλλευση της στατιστικής πολυπλεξίας). Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η διαπραγμάτευση με το δίκτυο των κατάλληλων τιμών των παραμέτρων κίνησης λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του αποθηκευμένου περιεχομένου.
2. Να γίνει χρήση υπηρεσίας CBR. Αυτό απαιτεί εξομάλυνση του σταθερού ρυθμού, κάτι που πρέπει να γίνει πρώτα καθορισμός και διαπραγμάτευση με το τμήμα του Ελέγχου Αποδοχής Κλήσης (*Call Admission Control - CAC*)

Η κωδικοποίηση VBR συνήθως επιλέγεται στις παρακάτω περιπτώσεις :

- Να επωφεληθεί τις VBR υπηρεσίες, όπως γίνεται στα δίκτυα ATM ή IP τα οποία υποστηρίζουν Ενοποιημένες ή Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (*Integrated or Differentiated Services*), έτσι πετυχαίνεται μαζί υψηλό στατιστικό κέρδος πολυπλεξίας και δίκαιη σταθερή ποιότητα.
- Να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου – μεταβλητή καθυστέρηση και ρυθμός χαμένων πακέτων – όπως η IP υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας, η οποία συνεπάγεται μεταβλητή ποιότητα.

Στα ασύρματα δίκτυα είναι επίσης αναγκαίο να λαμβάνεται υπόψη η ποικιλία των συσκευών δέκτη και οι διεπαφές δικτύου καθώς και η ταχεία αλλαγή των διαθέσιμων πόρων (εύρος ζώνης), λόγω των λαθών του καναλιού και την κινητικότητα του τερματικού εξοπλισμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ανθεκτικότητα στα λάθη και η κλιμάκωση φαίνονται να είναι οι κύριες επιθυμητές ιδιότητες των αλγορίθμων κωδικοποίησης.



### 10.8.2.1 Ανάλυση Σχημάτων Κωδικοποίησης

Από την στιγμή που οι εφαρμογές κινούμενης εικόνας έχουν αυστηρές απαιτήσεις σε Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS), τα συστήματα κινητών επικοινωνιών πρέπει ιδανικά να είναι ικανά να στην προσαρμογή στο επίπεδο ποιότητας σύμφωνα με το φυσικό κανάλι και τα χαρακτηριστικά των δεκτών. Ένας τρόπος επίτευξης του στόχου είναι η χρησιμοποίηση κλιμακούμενων σχημάτων κωδικοποίησης.

Οι ακόλουθες τεχνικές κωδικοποίησης βίντεο, με κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτών, έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε πειραματικές δοκιμές σε περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών :

- MPEG2 και H.263 με SNR και χωροταξική κλιμάκωση.
- Διάφορες MPEG4 προφίλ
- Βασικό κλιμακούμενο προφίλ
- Βασικό εικονικό προφίλ (χωρίς κλιμακούμενη υποστήριξη)
- ARTS (Advanced Real Time Simple)
- FGS (Fine Granular Scalability)
- Wavelet κωδικοποίηση (με φίλτρα)

Το SNR προφίλ του H.263 έχει χρησιμοποιηθεί με κάποια επιτυχία σε IP. Το σήμα βίντεο κωδικοποιείται σε διάφορα στρώματα, το στρώμα βάσης χρησιμοποιεί βασικό H.263 σχήμα κωδικοποίησης με ρυθμούς από 9.6kbps και πάνω. Τα στρώματα εμπλουτισμού κωδικοποιούνται σύμφωνα με το SNR και άλλα χωρικά προφίλ του H.263 και επιτρέπουν τον εμπλουτισμό της ποιότητας εικόνας , τόσο καλά στην χωρική ανάλυση όσο και στην χρονική.

Το βασικό κλιμακούμενο προφίλ του MPEG4 κωδικοποιεί τις ακολουθίες βίντεο σε δυο επίπεδα και υποστηρίζει διαφορετικές χρονικές αναλύσεις. Το βασικό στρώμα εγγυάται έναν βασικό ρυθμό εικόνας, ενώ το στρώμα εμπλουτισμού μεταφέρει πληροφορία που αντιστοιχεί σε ανώτερο ρυθμό εικόνας, η οποία όταν αποκωδικοποιείται μαζί με το βασικό στρώμα επιτρέπει την ανακατασκευή της ακολουθίας βίντεο με τον υψηλότερο ρυθμό εικόνας. Το βασικό στρώμα κωδικοποιείται σύμφωνα με το βασικό εικονικό προφίλ. Δοκιμές που έγιναν για το κλιμακούμενο προφίλ έδειξαν τα εξής : Ρυθμοί μεταξύ 24 και 128kbps έχουν χρησιμοποιηθεί για το στρώμα βάσης, ενώ για το στρώμα εμπλουτισμού ο ρυθμός κυμαινόταν μεταξύ 32 και 128kbps. Και για τα δυο στρώματα, χρησιμοποιήθηκαν χωρικές αναλύσεις CIF και QCIF, ενώ οι ρυθμοί εικόνας επιλέχθηκαν μεταξύ 2.5 και 30 εικόνες ανά δευτερόλεπτο, με ακολουθίες χαμηλής, μεσαίας και υψηλής πολυπλοκότητας. Ο ρυθμός των 15 εικόνων ανά δευτερόλεπτο θεωρείται ότι είναι ο ελάχιστος αποδεκτός για επικοινωνίες βίντεο πραγματικού χρόνου.

Το ARTS είναι ένα προφίλ MPEG4 για φυσικό βίντεο, ιδανικό για εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως η εικονοτηλεφωνία (*video-telephony*) και τηλεδιάσκεψη (*teleconferencing*). Δεν είναι βασισμένο στο στρώμα κωδικοποίησης και παρέχει εργαλεία για προχωρημένες τεχνικές κωδικοποίησης ανθεκτικές σε λάθη και ευστάθεια στην χρονική ανάλυση. Δοκιμές επίδοσης διεξήχθησαν σε ρυθμούς μεταξύ 32 και 128kbps με ρυθμό λαθών στο κανάλι  $10^{-3}$  και μέση διάρκεια έκρηξης λαθών 10ms. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλά και σε πολλές περιπτώσεις προσεγγίστηκε η πλήρη ευκρίνεια.

Το προφίλ FGS του MPEG4 προσφέρει κλιμακούμενη ποιότητα χωρίς αλλαγή της χρονικής και χωρικής ανάλυσης της ακολουθίας βίντεο. Έχει την δυνατότητα υποστήριξης περιπτώσεων ευρείας περιοχής μεταβλητότητας εύρους ζώνης οι οποίες είναι τυπικές για δίκτυα IP, για ρυθμούς όμως από 100kbps έως και άνω του 1Mbps. Προσανατολίζεται για εφαρμογές ροής βίντεο πραγματικού χρόνου χωρίς ευαισθησία σε καθυστερήσεις και υποστηρίζει περιεχόμενο βίντεο κλιμακούμενο και ανθεκτικότητα στις απώλειες πακέτων.

Η ακολουθία βίντεο κωδικοποιείται σε δυο στρώματα – βάσης και εμπλουτισμού. Το δεύτερο υποστηρίζει προσαυξήσεις ποιότητας, από την στιγμή που μπορεί να τερματιστεί σε διάφορους αριθμούς bits. Το στρώμα βάσης κωδικοποιείται με ρυθμό  $R_{BL}$  και το στρώμα εμπλουτισμού κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας fine-granular σχήμα με ένα μέγιστο ρυθμό  $R_{max}$ . Ο κωδικοποιητής πρέπει να γνωρίζει μόνο το την διακύμανση του εύρους ζώνης [ $R_{min}=R_{BL}$ ,  $R_{max}$ ] στο οποίο θα πρέπει να κωδικοποιήσει το περιεχόμενο. Δεν απαιτείται να ενημερώνεται για τον ρυθμό με το οποίο το περιεχόμενο θα μεταδοθεί ως ροή. Το στρώμα εμπλουτισμού κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας έναν ρυθμό  $R_{EL}=R_{max} - R_{BL}$ . Αν  $R$  το διαθέσιμο εύρος ζώνης για μια συγκεκριμένη σύνοδο, ο εξυπηρετητής μεταδίδει το στρώμα εμπλουτισμού χρησιμοποιώντας έναν ρυθμό  $R_{BL}^* = R - R_{BL}$ .

Από τα παραπάνω ανάλυση εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι διαστωματωμένοι και οι κλιμακούμενοι κωδικοποιητές θεωρούνται επαρκής για δίκτυα κινητών επικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς και συνεπώς πρέπει να καθοριστεί ο τρόπος που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ώστε να υποστηρίζουν υπηρεσίες ροής βίντεο σε ένα τέτοιο περιβάλλον.

Η διαστωματωμένη κωδικοποίηση παρέχει κάποιες επιλογές όπως:

- Να διαπραγματευόμαστε την μεταφορά του στρώματος βάσης μόνο ή μαζί με τα άλλα στρώματα. Αυτό εξαρτάται από την δυνατότητα του τερματικού, την απαιτούμενη ποιότητα και την διαθέσιμη χωρητικότητα (και κόστος) που προσφέρεται από το δίκτυο.
- Να διαπραγματευόμαστε την μεταφορά του στρώματος εμπλουτισμού με την κατώτερη ποιότητα υπηρεσίας όταν επιλέγονται μαζί τα στρώματα.

Στην περίπτωση των κλιμακούμενων κωδικοποιητών, όπως ο FGS, κάποιες ενδιαφέρουσες δυνατότητες μπορούν να γίνουν εκμεταλλεύσιμες. Ένας FGS κωδικοποιητής παράγει δυο ροές, και οι δυο σταθερού ρυθμού – το στρώμα βάσης και το στρώμα

εμπλουτισμού, το δεύτερο κωδικοποιείται με στόχο την καλλίτερη ποιότητα. Οι ροές κωδικοποιούνται συνήθως off-line και μετά αποθηκεύονται σε έναν εξυπηρετητή. Οι αποφάσεις σχετικές με το πόσο από το στρώμα εμπλουτισμού θα μεταδοθεί λαμβάνονται μόνο κατά την μεταφορά (download) της ροής και είναι ανεξάρτητες από την διαδικασία κωδικοποίησης. Αν και ο ρυθμός του στρώματος εμπλουτισμού μπορεί να μεταβάλλεται δυναμικά και συνεχώς κατά την διάρκεια μιας συνόδου, αλλά αυτό δε σημαίνει ότι είναι και η καλλίτερη προσέγγιση όταν θεωρούμε Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης (*Radio Access Network - RAN*). Καλλίτερα είναι να υποθέσουμε ότι είναι πιθανό να διαπραγματευτούμε με τον εξυπηρετητή κάθε ρυθμό μεταξύ του μηδέν και μιας μέγιστης τιμής (πιθανότατα πάγιοι ρυθμοί *fixed-rates*) και μετά εξαρτάται από τον εξυπηρετητή να επιλέξει το υποσύνολο του στρώματος εμπλουτισμού για να μεταδώσει. Γίνεται παραδεχτό ότι το στρώμα εμπλουτισμού μπορεί να μεταδοθεί με χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσίας – ακόμα και αν το δίκτυο εισάγει μεγάλες καθυστερήσεις ή απορρίπτει πακέτα, το κινητό τερματικό μπορεί ακόμα να επωφεληθεί από την λήψη του στρώματος αυτού.

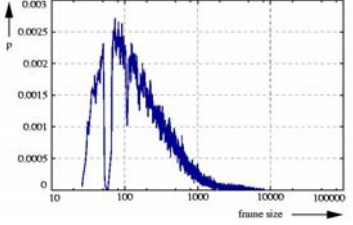
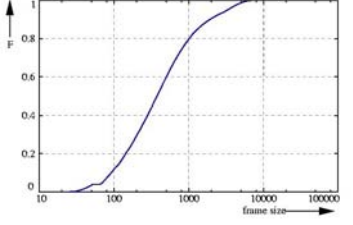
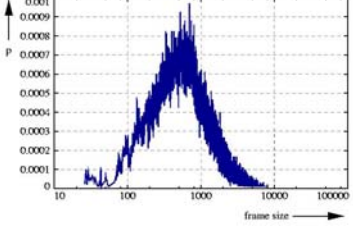
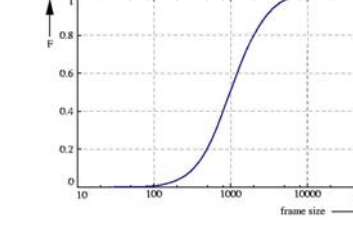
### 10.8.2.2 Προτεινόμενο Μοντέλο

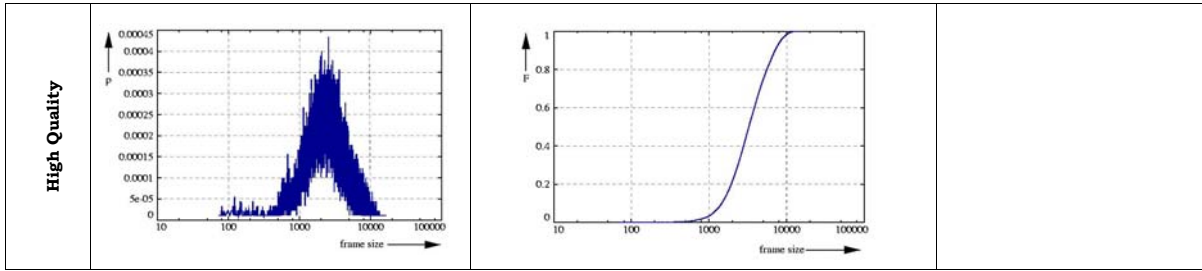
Σύμφωνα με την προηγούμενη ανάλυση κατάλληλο μοντέλο κωδικοποίησης ροής βίντεο για περιβάλλον κινητών επικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς αποτελεί το διαστρωματωμένο. Το στρώμα βάσης και το στρώμα εμπλουτισμού διαθέτουν σταθερούς ρυθμούς, αλλά το δεύτερο διαπραγματεύεται στην εγκατάσταση – αποδοχή κλήσης, με την πιθανότητα της επαναδιαπραγμάτευσης σε περίπτωση συμφόρησης. Το στρώμα εμπλουτισμού μπορεί να μεταδίδεται με μια χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσίας. Για αυτό τον σκοπό κάποια σχέδια καθυστέρησης ή απώλειας που εισάγονται στο δίκτυο κορμού (*Core Network - CN*) πρέπει να έχουν προσομοιωθεί. Και αυτό γιατί στο ασύρματο δίκτυο αυτές οι ροές πρέπει να προγραμματιστούν (*schedule*) με χαμηλότερη προτεραιότητα (*low priority*), το οποίο θα είχε αποτέλεσμα επιπρόσθετη καθυστέρηση και/ή απώλειες.

Το στρώμα εμπλουτισμού δεν παράγει πραγματική VBR ροή, αλλά CBR ροή με πιθανή αλλαγή σε στιγμές επαναδιαπραγμάτευσης όπου η πηγή μπορεί μόνο να αλλάξει τον ρυθμό σε μια νέα σταθερή τιμή κατόπιν επαναδιαπραγμάτευσης. Αυτό συνήθως αποκαλείται VBR με ξεχωριστά βήματα CBR. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση δεν είναι αναγκαίο να θεωρήσουμε μοντέλο κίνησης για VBR πηγή, από την στιγμή που οι πιθανές αλλαγές του ρυθμού είναι άμεσο αποτέλεσμα αποφάσεων που λαμβάνονται από μηχανισμούς ελέγχου (*CAC, Έλεγχος Συμφόρησης* κλπ) και όχι από την συμπεριφορά της πηγής.

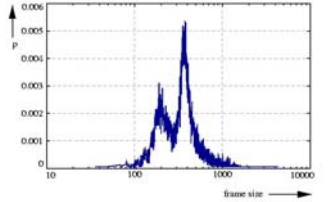
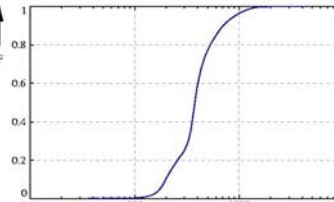
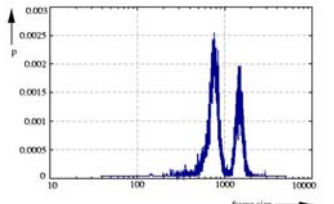
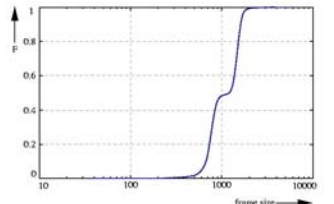
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται δυο κωδικοποιητές με δυνατότητα πολυστρωματικής ροής:

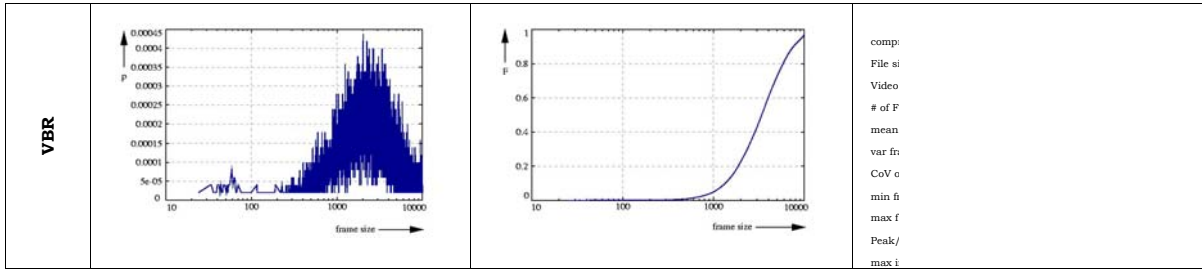
- Ο κωδικοποιητής βίντεο ITU-T H.263+ .
- Ο κωδικοποιητής βίντεο MPEG-4

MPEG	Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας	Συνάρτηση Αθροιστικής Πιθανότητας	
Low Quality			
Medium Quality			



Πίνακας 10-7: Κωδικοποίηση ταινίας «Jurassic Park» χρήσει κωδικοποιητή ΜΙ

H.263	Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας	Συνάρτηση Αθροιστικής Πιθανότητας	
16kbps			Frame comp: File si Video # of F mean var fr CoV c min fi max f Peak/ max i
64kbps			co v n C i i Pe max



Πίνακας 10-8: Κωδικοποίηση ταινίας «Jurasic Park» χρήσει κωδικοποιητή H.

Η κίνηση βίντεο MPEG-4 και H.263 αποτελούν τυπικά παραδείγματα κίνησης που είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί με στοχαστικές μεθόδους. Τα δυο πρότυπα υποστηρίζουν έναν αριθμό από χαρακτηριστικά και επιλογές που περιπλέκουν την μοντελοποίηση και ακυρώνουν απλοποιημένες υποθέσεις.

Τα αρχεία ιχνών (trace files) είναι μια λύση που συνήθως επικαλείται για να υπερκεραστούν οι δυσκολίες μοντελοποίησης σχετικά με την κίνηση βίντεο (MPEG-4 ή H.263). Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η έλλειψη ελαστικότητας, για παράδειγμα, αν η επίδραση μιας παραμέτρου πρέπει να μελετηθεί, θα πρέπει να παραχθεί ένας αρκετά μεγάλος αριθμός ιχνών ώστε να είναι δυνατή η μελέτη της παραμέτρου. Το γεγονός αυτό αυξάνει τις απαιτήσεις σε μνήμη εξίσου.

Για την αποτελεσματική και οικονομική μετάδοση βίντεο με στόχο την μεγάλη συμπίεση των δεδομένων κατά την κωδικοποίησή τους χρησιμοποιείται η Μέθοδος Εκτίμησης Κίνησης. Η εκτίμηση κίνησης στηρίζεται στην μέθοδο ταιριάσματος πλαισίων (frames).

Στα πρότυπα κωδικοποιητών (MPEG ή H.263) τα διαδοχικά πλαίσια μιας ακολουθίας βίντεο κωδικοποιούνται χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές μεθόδους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

- **I-πλαίσια** : Τα I-πλαίσια μεταδίδονται αυτούσια και κωδικοποιώντας μια DCT (Discrete Cosine Transform) μέθοδο κωδικοποίησης.
- **P-πλαίσια** : Τα P-πλαίσια κωδικοποιούνται χρησιμοποιώντας τεχνικές πρόβλεψης προς-τα-μπρος (forward prediction), στις οποίες το πραγματικό πλαίσιο κωδικοποιείται με βάση ένα προηγούμενο (I ή P) πλαίσιο. Στο πρότυπο H.263 το πλαίσιο στο οποίο βασίζεται η πρόβλεψη δεν είναι απαραίτητα το πλησιέστερο προηγούμενο πλαίσιο όπως στο MPEG. Ο βαθμός συμπίεσης που επιτυγχάνεται για τα P-πλαίσια είναι σημαντικά μεγαλύτερος από αυτό των I-πλαisiών.
- **PB-πλαίσια** : Τα πλαίσια αυτά κωδικοποιούνται χρησιμοποιώντας δυο πλαίσια, ένα προηγούμενο και ένα επόμενο και τα δυο είναι τύπου P για το πρότυπο H.263, ενώ για το πρότυπο MPEG μπορούν να είναι τύπου I ή P.

Η κωδικοποίηση των πλαισίων δεύτερου και τρίτου είδους περιλαμβάνει μια διαδικασία γνωστή ως εκτίμηση κίνησης (*motion estimation*). Η πληροφορία αυτή



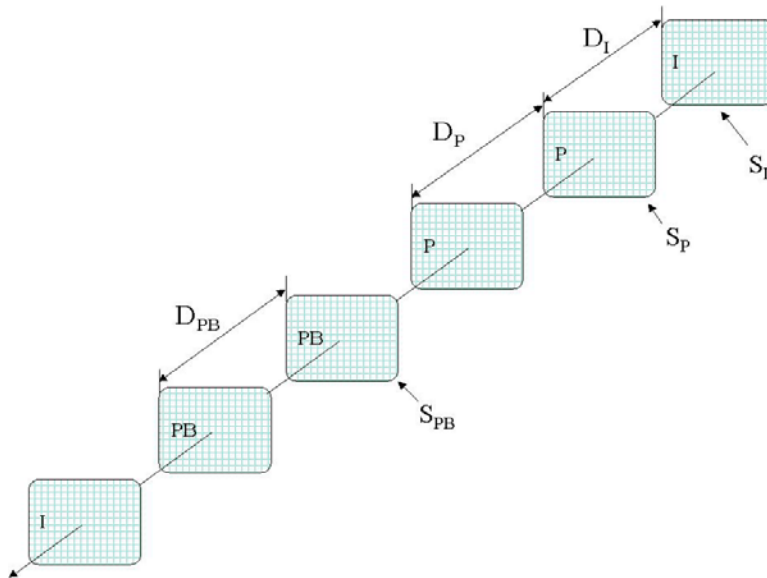
χρησιμοποιείται για να εξαχθεί η πληροφορία της κίνησης από την ακολουθία των πλαισίων (frames) ενός βίντεο.

Η εκτίμηση της κίνησης ουσιαστικά ανάγεται στην εύρεση των διανυσμάτων κίνησης (*motion vectors*), τα οποία αναπαριστούν την μετακίνηση ενός εικονοστοιχείου (pixel) ή μιας ομάδας εικονοστοιχείων (block) από ένα πλαίσιο (frame) σε ένα άλλο προηγούμενο ή επόμενο του. Από αυτή την πληροφορία κίνησης σε μια ακολουθία από πλαίσια (ακολουθία βίντεο) μπορούν να εξαχθούν αποτελέσματα που βοηθούν την αποδοτική κωδικοποίηση βίντεο, αλλά και στην μοντελοποίηση αντικειμένων που εμφανίζονται μέσα στο βίντεο.

Για να υπολογιστούν το σύνολο των διανυσμάτων κίνησης, γενικότερα το πεδίο κίνησης (*motion field*), βασιζόμαστε στις μεταβολές στον χώρο και στον χρόνο της φωτεινότητας κάθε πλαισίου σύμφωνα με διάφορες μεθόδους όπως :

- Μέθοδοι βασισμένες στην εξίσωση της οπτικής ροής (optical flow equation based methods) οι οποίες κάνουν υπολογισμό του πεδίου κίνησης βάσει χωροχρονικών βαθμίδων (gradients) της φωτεινότητας των εικόνων.
- Μέθοδοι βασισμένες σε μοντέλα κίνησης μπλοκ (block motion models) όπου θεωρείται ότι η εικόνα αποτελείται από κινούμενα μπλοκ. Ειδικότερα, υπάρχουν δυο μέθοδοι συσχέτισης των μπλοκ από πλαίσιο σε πλαίσιο : η μέθοδος συσχέτισης φάσης (phase correlation) και μέθοδος ταιριάσματος μπλοκ (block matching).
- Μέθοδοι πρόβλεψης-διόρθωσης pixels (pel-recursive methods) : Η μετακίνηση ενός pixel προβλέπεται στην προηγούμενη θέση του pixel και διορθώνεται συγκρινόμενη με τις υπολογισμένες κινήσεις των γειτονικών του pixels.
- Μέθοδοι Bayesian : αναφέρονται στην απόκλιση της διαφοράς από πλαίσιο σε πλαίσιο (displaced frame difference). Η απόκλιση μοντελοποιείται από μια τυχαία εκθετικά κατανομημένη διαδικασία. Ένας στοχαστικός περιορισμός ομαλότητας λαμβάνεται υπόψη μοντελοποιώντας το δισδιάστατο πεδίο κίνησης με μια κατανομή Gibbs.

Από τις παραπάνω μεθόδους, συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται οι τεχνικές ταιριάσματος μπλοκ (block matching).



Εικόνα 10-9: Εναλλαγή πλαισίων σε ροή βίντεο

Για την ακριβή μοντελοποίηση της κίνησης που παράγεται σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να εισαχθούν οι παρακάτω οντότητες :

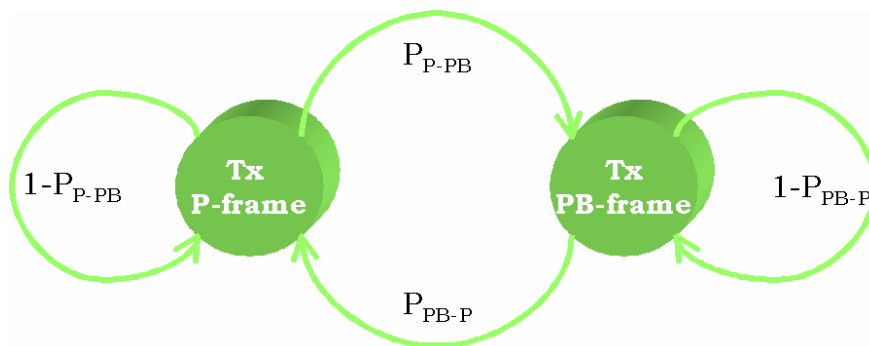
Παράμετρος	Περιεχόμενο
$S_I$	Μέγεθος I-πλαisiών
$S_P$	Μέγεθος P-πλαisiών
$S_{PB}$	Μέγεθος PB-πλαisiών
$D_I$	Διάρκεια I-πλαisiών
$D_P$	Διάρκεια P-πλαisiών
$D_{PB}$	Διάρκεια PB-πλαisiών

Πίνακας 10-9: Παράμετροι ροής βίντεο

- **Μέγεθος πλαισίου,  $S_x$**  : Κάθε ένας από τους τρεις τύπους πλαισίων παρουσιάζει τα δικά του μοναδικά του χαρακτηριστικά συσχέτισης και κατανομών.
- **Διάρκεια πλαισίου,  $D_x$**  : Τα I-πλαίσια κωδικοποιούνται με έναν καθορισμένο ρυθμό. Ο κωδικοποιητής H.263 χρησιμοποιεί PB-πλαίσια, ο οποίος κωδικοποιεί δυο πλαίσια σε ένα μόνο χωρίς καμία συγκεκριμένη προσαύξηση στο μέγεθος του πλαισίου.
- **Συσχέτιση μεταξύ μεγέθους και διάρκειας πλαισίου**. Είναι αναμενόμενο διαισθητικά ότι υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ του μεγέθους του πλαισίου και της διάρκειας του πλαισίου. Ο κωδικοποιητής απορρίπτει έναν αριθμό πλαισίων με σκοπό να προσαρμόσει τον απαραίτητο ρυθμό μετάδοσης, με αυτό τον τρόπο η διάρκεια των υπολειπόμενων πλαισίων αυξάνεται μαζί με το μέγεθός τους. Όσο χαμηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης, τόσο περισσότερο αναλογική είναι η σχέση μεταξύ των δυο οντοτήτων.

- **Μετάβαση μεταξύ των διαφορετικών τύπων πλαισίων:** Οι μεταβάσεις μεταξύ P- και PB-πλαisiών θα πρέπει να μοντελοποιηθούν. Ο σκοπός των μεταβάσεων στην αναπαραγωγή των εκρήξεων P- και PB-πλαisiών είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας των κωδικοποιητών να διατηρήσουν τον συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης.

Στο προτεινόμενο μοντέλο, μια αλυσίδα Markov καθορίζει την μετάβαση μεταξύ των τύπων των πλαισιών. Το μοντέλο επίσης εφαρμόζει την διαδικασία δεύτερης-τάξης στατιστική αντιστοίχιση, η οποία καθορίζει συγκεκριμένο μέγεθος πλαισιού και διάρκεια. Τα I-πλαίσια παράγονται ανά συγκεκριμένα διαστήματα. Επιπλέον, σύμφωνα με τον σχεδιασμό του κωδικοποιητή, ένα I-πλαίσιο ακολουθείται από ένα P-πλαίσιο. Έτσι, η αλυσίδα Markov μοντελοποιεί τις μεταβάσεις μεταξύ των δυο τύπων πλαισιών.



**Εικόνα 10-10: Η αλυσίδα Markov περιγράφει τις μεταβάσεις μεταξύ των μεταδόσεων P- και PB-πλαisiών**

Οι πιθανότητες μετάδοσης μπορεί εύκολα να εκτιμηθούν από εμπειρικά δεδομένα.

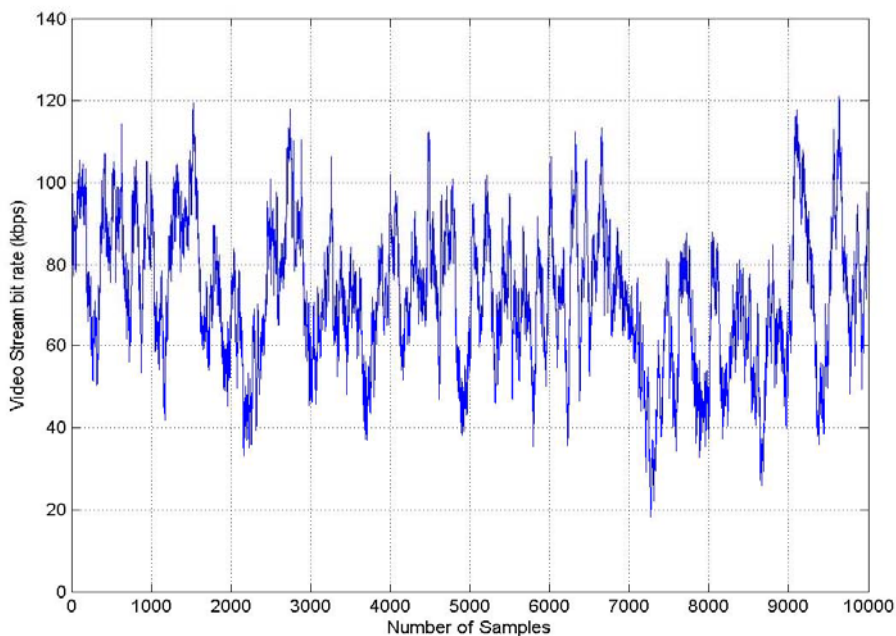
### 10.8.2.3 Μοντελοποίηση Υπηρεσίας Βίντεο

Η υπηρεσία βίντεο μοντελοποιείται ως μια αναδρομική συνάρτηση. Ο ρυθμός bit θεωρείται μια Gauss συσχετισμένη κανονική τυχαία μεταβλητή η οποία μπορεί να υπολογιστεί κάθε φορά από την παρακάτω αναδρομική σχέση :

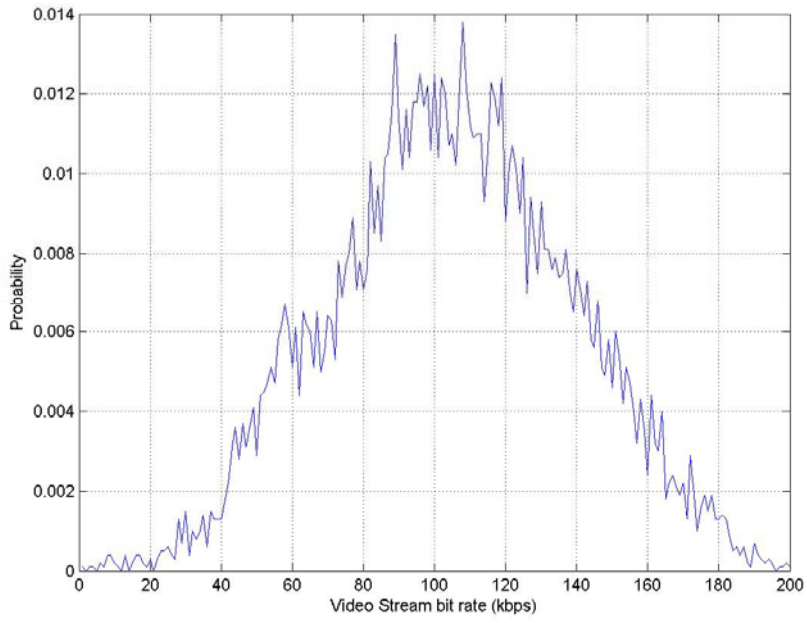
$$R(n) = a \cdot R(n-1) + b \cdot W(\mu, \sigma)$$

Όπου, οι συντελεστές  $a$  και  $b$  παίρνουν αντίστοιχα τις τιμές 0.99 και 0.14. Το μέγεθος  $W$  είναι μια τυχαία μεταβλητή κατανομής Gauss με μέση τιμή  $\mu=5kbps$  και διακύμανση  $\sigma=20kbps$ .

Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται ο ρυθμός bit της υπηρεσίας βίντεο για 1000 δείγματα και η απεικόνιση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας.



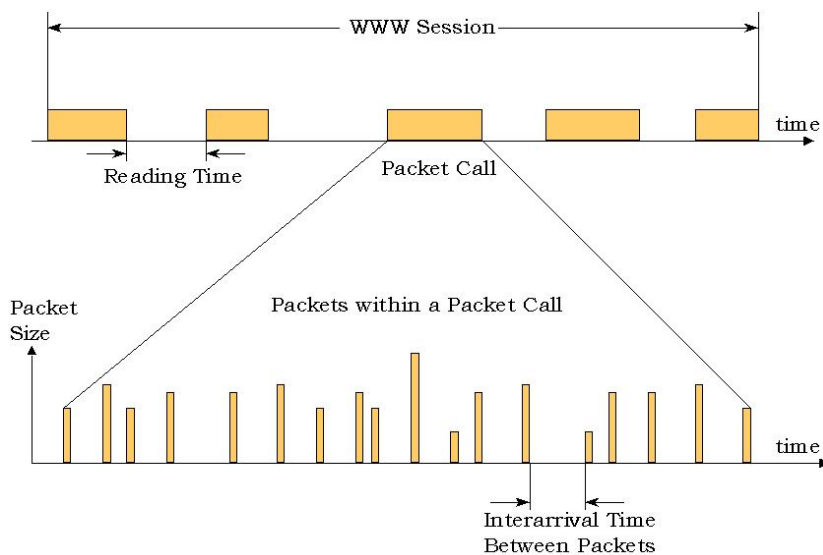
Εικόνα 10-11: Ρυθμός μετάδοσης ροής βίντεο



Εικόνα 10-12: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

### 10.8.3 Υπηρεσία WWW

Η υπηρεσία WWW ή FTP μοντελοποιούνται βάσει του σχήματος που ακολουθεί. Μια σύνοδος (*session*) πλοήγησης στον Παγκόσμιο Ιστό (*WWW-Surfing*) ή το «κατέβαση» (*download*) αρχείων μέσω υπηρεσίας μεταφοράς αρχείων *FTP* αποτελεί στην ουσία ένα σύνολο από κλήσεων πακέτων (*packet calls*). Ο χρήστης ενεργοποιεί μια κλήση πακέτων κάθε φορά που ζητά μια οντότητα πληροφορίας. Κατά την διάρκεια μιας κλήσης πακέτων παράγεται μια ακολουθία πακέτων, γεγονός που εύστοχα χαρακτηρίζεται η υπηρεσία *WWW* ως εκρηκτική. Έτσι, σε κάθε κλήση για πληροφορία παρατηρείται μια εκρηκτική ακολουθία πακέτων. Είναι πολύ σημαντικό να λάβουμε σοβαρά υπόψη για την δημιουργία του μοντέλου κίνησης. Η εκρηκτικότητα των κατά την διάρκεια μιας κλήσης πακέτων είναι κύριο χαρακτηριστικών των μεταδόσεων πακέτων σε IP δίκτυα.



Εικόνα 10-13: Υπηρεσία WWW

Μια σύνοδος υπηρεσίας πακέτων περιέχει μια ή περισσότερες κλήσεις πακέτων οι οποίες εξαρτώνται από την εφαρμογή. Για παράδειγμα σε μια σύνοδο πλοήγησης στο *WWW* μια κλήση πακέτων αντιστοιχεί σε αποθήκευση ενός αρχείου ή εμφάνιση μιας νέας ιστοσελίδας. Αφού η πληροφορία φθάσει στον χρήστη μεσολαβεί ένας χρόνος ανάγνωσης (*reading time*) και μετά ο χρήστης κάνει αίτηση (*request*) για μια νέα κλήση πακέτων. Επίσης, είναι πιθανό μια σύνοδο να περιέχει μόνο μια κλήση πακέτων, παράδειγμα αποτελεί η μεταφορά ενός αρχείου (υπηρεσία *FTP*). Έτσι, θα πρέπει να μοντελοποιηθούν τα παρακάτω μεγέθη που χαρακτηρίζουν μια σύνοδο *WWW* :

- Διαδικασία αφίξεων συνόδων (*Session Arrival Process*)

- Αριθμός των κλήσεων πακέτων ανά σύνοδο (*Number of packet calls per session -  $N_{pc}$* )
- Χρόνος ανάγνωσης μεταξύ δυο διαδοχικών κλήσεων πακέτων (*Reading Time -  $D_{pc}$* )
- Πλήθος δεδομενογραφημάτων (*datagrams*) σε μια κλήση πακέτων ( $N_d$ )
- Χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών αφίξεων πακέτων σε μια κλήση πακέτων (*Inter arrival Time between Packets -  $D_d$* )
- Μέγεθος πακέτου / δεδομενογραφήματος ( $S_d$ )

Σημειώνεται ότι η χρονική διάρκεια μιας συνόδου εξαρτάται από το πλήθος των γεγονότων της συνόδου.

Στη συνέχεια περιγράφεται τα παραπάνω μεγέθη μοντελοποιούνται. Χρησιμοποιείται κύρια η γεωμετρική κατανομή (διακριτή αναπαράσταση της εκθετικής κατανομής), λόγω του γεγονότος ότι οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν διακριτή κλίμακα του χρόνου.

#### **Διαδικασία αφίξεων συνόδων (*Session Arrival Process*)**

Περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίον γίνονται οι αφίξεις των συνόδων στο σύστημα. Η άφιξη των συνόδων που εγκαθιστά (setup) το σύστημα μοντελοποιείται σαν μια διεργασία Poisson. Για κάθε υπηρεσία υπάρχει μια ξεχωριστή διεργασία. Είναι σημαντικό να τονιστεί το γεγονός ότι η διεργασία της κάθε υπηρεσίας και μόνο είναι αυτή που παράγει τις χρονικές στιγμές όταν οι κλήσεις της υπηρεσίας ξεκινούν. Ο τερματισμός της κάθε συνόδου είναι εντελώς ανεξάρτητο από την γέννησή της. Η σύνοδος τερματίζεται την στιγμή που θα μεταδοθεί το τελευταίο πακέτο της τελευταίας κλήσης πακέτων.

#### **Αριθμός των κλήσεων πακέτων ανά σύνοδο (*Number of packet calls per session - $N_{pc}$* )**

Ο αριθμός των κλήσεων πακέτων αποτελεί μια τυχαία μεταβλητή γεωμετρικής κατανομής με μέση τιμή  $\mu_{N_{pc}}$  [κλήσεις πακέτων], δηλαδή :

$$N_{pc} \in Geom(\mu_{N_{pc}})$$

#### **Χρόνος ανάγνωσης μεταξύ δυο διαδοχικών κλήσεων πακέτων (*Reading Time - $D_{pc}$* )**

Ο χρόνος αυτός αποτελεί μια τυχαία μεταβλητή γεωμετρικής κατανομής με μέση τιμή  $\mu_{pc}$  [μονάδες χρόνου], δηλαδή :

$$D_{pc} \in Geom(\mu_{Dpc})$$

### Πλήθος δεδομενογραφημάτων (datagrams) σε μια κλήση πακέτων ( $N_d$ )

Το πλήθος των πακέτων σε μια κλήση αποτελεί μια τυχαία μεταβλητή γεωμετρικής κατανομής με μέση τιμή  $\mu_{Nd}$  [πακέτα], δηλαδή :

$$N_d \in Geom(\mu_{Nd})$$

Θα πρέπει να είναι δυνατή η επιλογή των στατιστικών κατανομών που περιγράφουν καλλίτερα την κίνηση υπό οποιαδήποτε περίπτωση. Ακραία περίπτωση αποτελεί η μετάδοση ενός μοναδικού πακέτου μεγάλου μεγέθους σε μια κλήση πακέτων.

### Χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών αφίξεων πακέτων σε μια κλήση πακέτων (Inter arrival Time between Packets – $D_d$ )

Ο χρόνος αυτός αποτελεί μια τυχαία μεταβλητή γεωμετρικής κατανομής με μέση τιμή  $\mu_{Dd}$  [μονάδες χρόνου], δηλαδή :

$$D_d \in Geom(\mu_{Dd})$$

Φυσικά, όταν υπάρχει μια μοναδική κλήση πακέτων ή έχει μεταδοθεί το τελευταίο πακέτο της τελευταίας κλήσης τότε δεν χρειάζεται αυτός ο χρόνος.

### Μέγεθος πακέτου / δεδομενογραφήματος ( Packet Size – $S_d$ )

Το μοντέλο κίνησης πρέπει να χρησιμοποιεί την κατανομή για το μέγεθος του πακέτου που θα ταιριάζει καλλίτερα στην περίπτωση κίνησης που μελετάμε. Χρησιμοποιείται η κατανομή *Pareto* με διακοπές. Η κανονική κατανομή *Pareto* ορίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_x(x) = \frac{a \cdot k^a}{x^{a+1}}, x \geq k \\ F_x(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^a, x \geq k \\ \mu = \frac{k \cdot a}{a-1}, a > 1 \\ \sigma^2 = \frac{k^2 \cdot a}{(a-2) \cdot (a-1)^2}, a > 2 \end{array} \right.$$

Το μέγεθος του πακέτου ( $S_d$ ) καθορίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$S_d = \min(P, m),$$



όπου  $P$  είναι η τυχαία μεταβλητή κατανομής *Pareto* ( $a=1.1$  ,  $k=81.5bytes$ ) και  $m$  είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος πακέτου,  $m=66666bytes$ .

Η πυκνότητα πιθανότητα του μεγέθους του πακέτου γίνεται :

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{a \cdot k^a}{x^{a+1}}, & k \leq x \leq m \\ \beta, & x = m \end{cases}$$

όπου  $\beta$  είναι η πιθανότητα το  $x > m$  και εύκολα υπολογίζεται ως εξής :

$$\beta = \int_m^{\infty} f_x(x) dx = \left(\frac{k}{m}\right)^a, a > 1$$

Η μέση τιμή του μεγέθους του πακέτου υπολογίζεται στη συνέχεια :

$$\mu_{sd} = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f_x(x) dx = \int_k^m x \cdot \frac{a \cdot k^a}{x^{a+1}} dx + m \cdot \left(\frac{k}{m}\right)^a = \dots = \frac{a \cdot k - m \cdot \left(\frac{k}{m}\right)^a}{a-1}$$

Για τις τιμές των παραμέτρων  $a$  και  $k$  υπολογίζεται η μέση τιμή του πακέτου :

$$\mu_{sd} = 480bytes$$

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένας πίνακας που δίνει τα χαρακτηριστικά των διάφορων τύπων, ρυθμών bit, για υπηρεσίες WWW χωρίς σύνδεση.

Τύπος πληροφορίας βασισμένη σε πακέτα	Μέσος αριθμός κλήσεων ανά σύνοδο $\mu_{Npc}$	Μέσος χρόνος ανάγνωσης μεταξύ δυο κλήσεων πακέτων $\mu_{Dpc} (sec)$	Μέσο πλήθος πακέτων σε μια κλήση $\mu_{Nd} (packets)$	Μέσο χρονικό διάστημα μεταξύ δυο πακέτων $\mu_{Dd} (sec)$	Παράμετροι ( $a, k$ ) για την κατανομή του μεγέθους πακέτου
8kbps	5	4	25	0.5	$a=1.1$ $k=81.5$
32kbps	5	4	25	0.125	$a=1.1$ $k=81.5$
64kbps	5	4	25	0.0625	$a=1.1$ $k=81.5$
144kbps	5	4	25	0.0277	$a=1.1$ $k=81.5$
384kbps	5	4	25	0.0104	$a=1.1$ $k=81.5$

2048kbps	5	4	25	0.00195	$\alpha=1.1$
					$k=81.5$

Πίνακας 10-10: Χαρακτηριστικά κίνησης WWW

#### 10.8.4 Υπηρεσία Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου ( e-mail )

Για το S-UMTS δεν έχει καθοριστεί μοντέλο κίνησης για την υπηρεσία του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

##### 10.8.4.1 Υπηρεσία Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου χωρίς Επισυνάψεις Αρχείων

Σύμφωνα με σχετική βιβλιογραφία (*GERAN Drafting Group/ETSI SMG2 #36*), έχει γίνει πρόταση για την υιοθέτηση του μοντέλου κίνησης FUNET email μόνο για την περίπτωση του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου χωρίς επισυναπτόμενα αρχεία (*email without attachments*). Δηλαδή, τα ηλεκτρονικά γράμματα (emails) περιέχουν μόνο κείμενο (text). Στο μοντέλο αυτό, προτείνεται ότι το μέγεθος του πακέτου ακολουθεί κατανομή Cauchy:

$$f(x) = \frac{1}{\pi \cdot (1 + (x - 0.8)^2)}$$

όπου η τυχαία μεταβλητή  $x$  : μέγεθος πακέτου, παίρνει τιμές στο διάστημα  $0 < x < M$ . Το όριο  $M$  είναι η μέγιστη τιμή του μεγέθους πακέτου και ισούται με 10Kbytes.

##### 10.8.4.2 Υπηρεσία Υβριδικού Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου

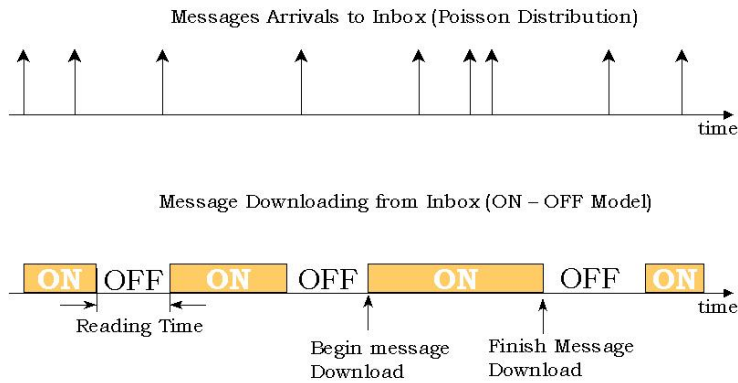
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η υπηρεσία ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με ή χωρίς επισυναπτόμενα αρχεία, υβριδικού τύπου.

Για τις περισσότερες υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου βασισμένες στο Διαδίκτυο, τα εισερχόμενα μηνύματα ενός χρήστη αποθηκεύονται σε έναν Εξυπηρετητή Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου (*Email Server*). Ο εξυπηρετητής διατηρεί ασφαλή όλα τα μηνύματα του χρήστη στο γραμματοκιβώτιο (*mailbox*) έως την στιγμή που ο χρήστης θα συνδεθεί στο δίκτυο, θα ξεκινήσει την εφαρμογή του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και θα ανακτήσει τα μηνυμάτά του. Γενικά, ο χρήστης εκτελώντας την παραπάνω εφαρμογή, κατεβάζει στο τερματικό τις κεφαλίδες όλων των διαθέσιμων μηνυμάτων από τον εξυπηρετητή. Ο χρήστης διαβάζοντας τις κεφαλίδες των μηνυμάτων επιλέγει να ανακτήσει το περιεχόμενο των μηνυμάτων το ένα μετά το άλλο. Αφού ο χρήστης

ανακινήσει ένα εισερχόμενο μήνυμα, το διαβάζει και πιθανότατα θα συντάξει μια απάντηση (*reply*) ή θα το προωθήσει (*forward*) σε άλλο χρήστη ή ομάδα χρηστών (*group*).

Ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση της βασικής αρχιτεκτονικής και των πρωτοκόλλων του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Ένα σύστημα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου αποτελείται από δυο υποσυστήματα : τους πράκτορες χρήστη (*user agents*) και του πράκτορες μεταφοράς μηνυμάτων (*transfer message agents*). Ένας πράκτορας χρήστη είναι ένα τοπικό πρόγραμμα για την διαλογική επικοινωνία με το σύστημα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και υποστηρίζει μέθοδο πρόσβασης βασισμένη σε εντολές, μενού ή γραφικά (*Graphic User Interface - GUI*) ώστε να προσφέρεται η δυνατότητα στον χρήστη για λήψη, ανάγνωση, σύνταξη και αποστολή μηνυμάτων καθώς και την διαχείριση των ταχυδρομικών θυρίδων. Οι πράκτορες μεταφοράς μηνυμάτων είναι διεργασίες δαίμονες του λειτουργικού συστήματος (*system daemons*) τα οποία τρέχουν στο παρασκήνιο (*background*) και μεταφέρουν το μήνυμα μέσω του συστήματος. Για την μεταφορά των μηνυμάτων χρησιμοποιούνται αντίστοιχα πρωτόκολλα όπως το SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) ή το ESMTP (*extended SMTP*) πάνω από το TCP πρωτόκολλο. Τέλος, η παράδοση των μηνυμάτων γίνεται με διάφορα πρωτόκολλα όπως POP3 (*Post Office Protocol*) ή IMAP (*Interactive Mail Access Protocol*) ή DMSP (*Distributed Mail System Protocol*).

Έχει αποδειχθεί ότι οι αφίξεις των μηνυμάτων στο γραμματοκιβώτιο μπορεί να προσεγγιστεί από μια διαδικασία Poisson η οποία αντιστοιχεί στην άφιξη-γέννηση μιας νέας συνόδου από την πλευρά του χρήστη. Ένας χαρακτηριστικός χρήστης της υπηρεσίας ηλεκτρονικού ταχυδρομείου παράγει καταστάσεις ON – OFF κατά την διάρκεια μιας συνόδου στην ανάκτηση των μηνυμάτων. Μια περίοδος ON είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μεταφέρεται το μήνυμα από τον εξυπηρετητή στο κινητό τερματικό του χρήστη. Μια περίοδος OFF είναι το αντίστοιχο χρονικό διάστημα μεταξύ της ολοκλήρωσης της μεταφοράς του μηνύματος και την έναρξη μιας νέας μεταφοράς μηνύματος. Η περίοδος αυτή αναπαριστά τον χρόνο ανάγνωσης ενός μηνύματος από τον χρήστη.



Εικόνα 10-14: Υπηρεσία Υβριδικού Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου

Έστω  $x_e$ ,  $x_e'$  και  $t_e$  ανεξάρτητες και όμοια κατανομημένες τυχαίες μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν το μέγεθος ενός γενικού μηνύματος, το μέγεθος ενός μηνύματος χωρίς επισυνάψεις και το μήκος της περιόδου OFF, αντίστοιχα. Σύμφωνα με εμπειρική ανάλυση πραγματικών μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, η μεταβλητή  $x_e$  ακολουθεί την κατανομή Weibull δυο καταστάσεων :

$$F(x_e) = \begin{cases} 1 - e^{-k_1 \cdot x_e^{c_1}}, & F(x_e) \leq 0.5 \\ 1 - e^{-k_2 \cdot x_e^{c_2}}, & F(x_e) > 0.5 \end{cases}$$

Η μεταβλητή  $x_e'$  ακολουθεί την κατανομή Weibull ως εξής :

$$F(x_e') = 1 - e^{-k_1 \cdot x_e'^{c_1}}$$

όπου  $c_1$  κυμαίνεται μεταξύ 1.2~3.2 με μέση τιμή 2.04,  $c_2$  κυμαίνεται μεταξύ 0.31~0.46 με μέση τιμή 0.37,  $k_1$  κυμαίνεται μεταξύ 14.0~21.0 με μέση τιμή 17.64, και  $k_2$  κυμαίνεται μεταξύ 2.8~3.4 με μέση τιμή 3.61 .

Η διάρκεια της ON περιόδου είναι συνάρτηση του μεγέθους του μηνύματος και της στιγμιαίας διαθέσιμης ρυθμαπόδοσης (throughput) στον χρήστη. Θεωρείται ότι η διάρκεια της περιόδου OFF,  $t_e$ , ακολουθεί κατανομή Pareto με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας :

$$F(t_e) = 1 - \left( \frac{k_e}{t_e} \right)^{a_e}$$

Σύμφωνα με την κατανομή Pareto, η παράμετρος  $k_e$  είναι η ελάχιστη διάρκεια της περιόδου OFF. Η παράμετρος  $a_e$  σχετίζεται με την heavy-tail συμπεριφορά της OFF περιόδου. Σύμφωνα με το μοντέλο,  $k_e=30\sim60\text{sec}$  και  $a_e=0.5\sim1.5$  .

Ο αριθμός των μηνυμάτων που πρέπει να μεταφερθούν, δηλαδή ο αριθμός των περιόδων ON) κατά την διάρκεια μιας συνόδου εξαρτάται από :

- Το πλήθος των μηνυμάτων που φθάνουν στον εξυπηρετητή μέχρι την τελευταία συνόδο της υπηρεσίας ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.
- Το πλήθος των μηνυμάτων που επιλέγει ο χρήστης να διαβάσει – μεταφέρει κατά την διάρκεια μιας συνόδου.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η άφιξη ενός μηνύματος στον εξυπηρετητή αποτελεί μια διαδικασία Poisson. Θεωρούμε ότι ο ρυθμός αφίξεων στον εξυπηρετητή είναι  $\lambda_e$  μηνύματα ανά χρήστη την ώρα και ο μέσος χρόνος μεταξύ δυο συνόδων υπηρεσίας ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ενός χρήστη είναι  $T_e$ . Έστω,  $p_e$  η πιθανότητα ένα νεοεισερχόμενο μήνυμα να διαβαστεί από τον χρήστη και  $m_e$  μια όμοια κατανεμημένη τυχαία μεταβλητή του πλήθους των μηνυμάτων προς ανάγνωση από τον χρήστη κατά την διάρκεια μιας συνόδου. Τότε η τυχαία μεταβλητή  $m_e$  ακολουθεί προσεγγιστικά κατανομή Poisson ως εξής :

$$\text{Pr}(m_e = n) = \frac{(p_e \cdot \lambda_e \cdot T_e)^n}{n!} \cdot e^{-p_e \cdot \lambda_e \cdot T_e}$$

## 10.9 Διαχείριση Ποιότητας Υπηρεσίας και Επίδοση Δικτύου

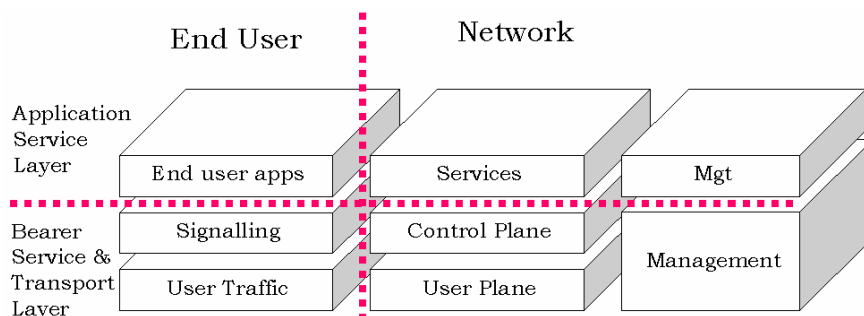
Σε αυτό το τμήμα θα γίνει μια εισαγωγή στα στρώματα διαχείρισης ποιότητας υπηρεσίας και παρουσίαση του ρόλου της στατιστικής πληροφορίας στον βρόχο διαχείρισης ποιότητας υπηρεσίας. Επίσης θα μελετηθεί η σχέση μεταξύ της επίδοσης του δικτύου και της ποιότητας υπηρεσίας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχει ξεκάθαρη διαφορά μεταξύ των απαιτήσεων QoS χρήστη/υπηρεσίας που καθορίζονται στις Συμφωνίες Επίπεδου Υπηρεσίας (Service Level Agreements – SLA), στην ποιότητα υπηρεσίας επιπέδου δικτύου/επίδοση δικτύου (Network Performance – NP) και τους εξουσιοδοτημένους μηχανισμούς QoS.

Τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς θα φέρουν νέες δυνατότητες αλλά επίσης και προκλήσεις στις τηλεπικοινωνιακές εταιρίες, στους παρόχους υπηρεσιών και στους πωλητές. Η Διαχείριση Ποιότητας Υπηρεσίας (Service Quality Management – SQM) θα δώσει την δυνατότητα στους παρόχους να διαχειρίζονται την ποιότητα υπηρεσίας και στους πελάτες SLAs να συγκρίνουν την παρεχόμενη υπηρεσία από διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών. Τα θέματα που μεταβιβάζονται από την κλασική βελτιστοποίηση δικτύου στην διαχείριση ποιότητας υπηρεσίας είναι :

- Οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες πρέπει να υποστηρίζουν την διαφοροποίηση υπηρεσιών : γρήγορη εισαγωγή νέων υπηρεσιών, εκπλήρωση και εγγύηση υπηρεσίας σε σχέση με τους επιχειρησιακούς στόχους. Είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν SLAs ως παράγοντας διαφοροποίησης.
- Οι λύσεις διαχείρισης θα παρέχουν ευέλικτα εργαλεία εκπλήρωσης και εγγύησης στα 3G δίκτυα/υπηρεσίες φέροντος για τις υπηρεσίες τελικού χρήστη και τις εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας.
- Η ποιότητα υπηρεσίας πρέπει να καθορίζεται με την προτυποποίηση, αποτελούμενη από KPIs από διαφορετικές περιοχές και επίπεδα του δικτύου υπηρεσιών και εφαρμογών.
- Η ποιότητα υπηρεσίας μεταξύ παρόχων και μεταξύ συστημάτων που με συνεργασία υλοποιούν τις υπηρεσίες πρέπει να διαχειριστεί.
- Η πληροφορία πρέπει να είναι διαθέσιμη μέσω ανοικτών διεπαφών για την χρησιμοποίηση σε άλλες εργασίες και διεργασίες σε έναν τηλεπικοινωνιακό οργανισμό.
- Τα συστήματα διαχείρισης πρέπει να παρέχουν τρόπους για την ανάθεση προτεραιοτήτων και τον προγραμματισμό ενεργειών συντήρησης σύμφωνα με το επίπεδο της επίδρασης σε μια υπηρεσία.
- Τα συστήματα διαχείρισης θα πρέπει να υποστηρίζουν σχεδιασμό δικτύου υπηρεσιών και βασισμένο σε υπηρεσίες με εργαλεία πληροφοριών και ανάλυσης, και αυτές οι διεργασίες διαχείρισης θα πρέπει να αυτοματοποιηθούν όπου είναι εφικτό.

### 10.9.1 Θεμελιώδες Μοντέλο Ποιότητας Υπηρεσίας

Για να γίνει κατανοητή μια ολοκληρωμένη εικόνα της άκρη-σε-άκρη ποιότητας υπηρεσίας θα πρέπει να εξεταστεί το θέμα σε ένα πιο αφηρημένο επίπεδο. Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια γενική εποπτεία της άκρη-σε-άκρη QoS αρχιτεκτονικής όπου περιλαμβάνονται όλα τα απαραίτητα συστατικά: το στρώμα εφαρμογής υπηρεσίας, την περιοχική στρώματος υπηρεσίας φέροντος και το στρώμα διαχείρισης.



Εικόνα 10-15 : Θεμελιώδες μοντέλο QoS αρχιτεκτονικής

Ένα σημαντικό σημείο του μοντέλου αυτού, και φυσικά του UMTS υπηρεσιών φέροντος, είναι ο διαχωρισμός των περιοχών Εφαρμογής υπηρεσίας και Δικτύου μεταφοράς υπηρεσίας. Ο ρόλος του προηγούμενου είναι να παρέχει έλεγχο QoS στο δεύτερο, από την πλευρά της ανάγκης της εφαρμογής. Ο ρόλος του στρώματος μεταφοράς δικτύου είναι βασικά η παροχή υπηρεσίας μεταφοράς. Περιληπτικά, ο ρόλος της κάθε περιοχής για QoS μπορεί να περιγραφεί από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία :

- Network service QoS : δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, Κορμός Κινητικότητας (Mobility Core) και δίκτυο μεταφοράς IP περιλαμβάνοντας το δίκτυο κορμού (backbone network), δυνατότητες υπηρεσιών και έλεγχος QoS.
- End-point QoS : τερματικό, τελικός χρήστης, και QoS ενημερότητα εφαρμογής υπηρεσίας και έλεγχος QoS.
- Network QoS control : μια λειτουργία ελέγχου η οποία διαχειρίζεται τους πόρους δικτύου για να πετύχει συνεπή συμπεριφορά υπηρεσίας για την ανάγκη μιας συγκεκριμένη υπηρεσίας QoS.
- QoS management : λειτουργίες στο επίπεδο διαχείρισης (δικτύου και NMS) για να παρέχει στατιστική ανάδραση για τον έλεγχο QoS δικτύου.

## 10.9.2 Διαχείριση Ποιότητας Υπηρεσίας

Το QoS αναφέρεται στην δυνατότητα του επικοινωνιακού συστήματος να μια κατάλληλη υπηρεσία μεταφοράς για την παράδοση κατάλληλων τύπων ροής κίνησης για διαφορετικούς χρήστες. Μερικές φορές είναι δύσκολο να καθοριστούν οι ακριβείς τεχνικοί παράμετροι που απαιτούνται για να εξασφαλιστεί τέτοια παράδοση.

Οι τέσσερις κύριοι παράγοντες που συνεισφέρουν μαζί στην συνολική ποιότητα υπηρεσίας είναι:

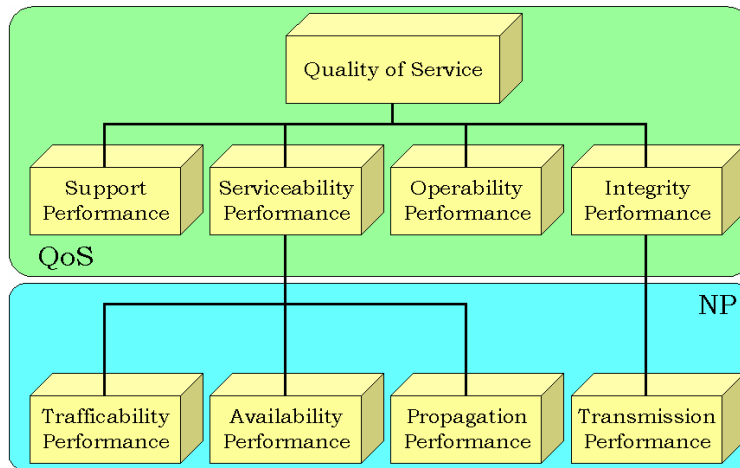
- Serviceability (εξυπηρετησιμότητα)
- Operability (λειτουργικότητα)
- Integrity (ακεραιότητα)
- Support (υποστήριξη)

Κάθε παράγοντας θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως μια αρχή που χαρακτηρίζεται από πολλές μετρήσεις και παραμέτρους.

Η εξυπηρετησιμότητα (serviceability) περιέχει την επίδοση προσβασιμότητας (accessibility performance) και την διατηρησιμότητα (retainability). Αυτές μπορούν να διαιρεθούν στη συνέχεια σε :

- Trafficability performance
- Availability (διαθεσιμότητα) performance
- Reliability (αξιοπιστία) performance
- Propagation (διάδοση) performance

Όλα αυτά είναι θέματα της επίδοσης δικτύου (network performance) που παρέχουν μια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας.



Εικόνα 10-16: Ποιότητα Υπηρεσίας έναντι Επίδοσης Δικτύου

Τα συστήματα τρίτης γενιάς θα φέρουν νέες προκλήσεις για τις τηλεπικοινωνιακές εταιρίες στον έλεγχο, την βελτιστοποίηση και την διαχείριση των δικτύων τους μέσω των υπηρεσιών. Η διαχείριση ποιότητας υπηρεσίας θα πρέπει να



υποστηρίζει διεργασίες επιπέδου υπηρεσίας με την παροχή ενημερωμένων εικόνων της ποιότητας υπηρεσίας βασισμένων στα QoS KPIs που συλλέγονται από το δίκτυο. Οι πληροφορίες επίδοσης θα πρέπει να παρέχονται από υπηρεσία με υπηρεσία και να δίνεται προτεραιότητα σε κάθε πρόγραμμα υπηρεσίας για μια αποτελεσματική βελτιστοποίηση.

Η εμπλοκή των μεθόδων των στρωμάτων 1, 2 και 3 του OSI για τον έλεγχο υπηρεσίας απαιτείται έτσι ώστε οι απαιτήσεις QoS τελικού χρήστη να μπορούν να ερμηνευτούν με QoS/NP μετρήσεις και παραμέτρους. Έτσι η παρακολούθηση του QoS καθώς επίσης και ο σχεδιασμός δικτύου απαιτούνται. Φυσικά, δεν πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη στενή σύνδεση τεχνολογίας κίνησης και QoS/NP.

Η πληροφορία σχετική με την επίδοση από το δίκτυο κινητών επικοινωνιών και των υπηρεσιών θα πρέπει να συλλεχθεί και να ταξινομηθεί για περαιτέρω χρησιμοποίηση με εργαλεία αναφοράς και βελτιστοποίησης. Οι παράγοντες εξαρτώμενοι από το δίκτυο για τις κινητές υπηρεσίες θα πρέπει να καλύπτουν :

- Επίδοση ασύρματης πρόσβασης
- Επίδοση δικτύου κορμού
- Επίδοση δικτύου μετάδοσης δεδομένων
- Εγγραφές χαρακτηριστικών κλήσης
- Σημεία παρατήρησης δικτύου (network probes)
- Δεδομένα υπηρεσιών και συστημάτων υπηρεσιών

Διαφορετικές αναφορές στην PM πληροφορία θα πρέπει να υποστηρίζουν το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και ο σχεδιασμός υπηρεσιών :

- Κλάσεις 3G UMTS υπηρεσιών (UMTS φέρον)
- Ανεξάρτητες υπηρεσίες
- Κλάση/προφίλ υπηρεσίας πελάτη
- Γεωγραφικός εντοπισμός
- Ώρα ημέρας, μέρα της εβδομάδας, κλπ
- Μετρήσεις IP QoS, μετρήσεις L1,L2.
- Τύπος τερματικού εξοπλισμού

Θα πρέπει επίσης να είναι δυνατή η καταγραφή κλήσεων και συνδέσεων των ανεξάρτητων χρηστών. Μια πηγή για τα QoS KPIs είναι οι ειδικοί πράκτορες υπηρεσίας οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των δεικτών επίδοσης για διάφορες υπηρεσίες. Ενεργή μέτρηση για την επικύρωση της ποιότητας υπηρεσίας συνεπάγεται έλεγχος της υπηρεσίας ενεργούς επικοινωνίας σε αντίθεση με την παθητική συλλογή δεδομένων από στοιχεία του δικτύου. Οι μετρήσεις δικτύου μπορούν να συλλεχθούν από διαφορετικά NEs για να εκτελέσουν τον έλεγχο των υπηρεσιών. Ειδικά probes μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να εκτελέσουν προσομοιωτικές αιτήσεις

συναλλαγής σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα. Με την εγκατάσταση των probes στην άκρη του IP δικτύου, μπορούν να μετρηθούν οι συνδυασμένες επιδράσεις του δικτύου, οι καθυστερήσεις του εξυπηρετητή και της εφαρμογής στην υπηρεσία παρέχοντας την αντίληψη του τελικού χρήστη για την ποιότητα υπηρεσίας.



### 10.10 Μελλοντικές Υπηρεσίες S-UMTS

ITU / ETSI Classification	Περιγραφή	UMTS-F Classification
<b>Conversational Services</b>	<b>Πραγματικού χρόνου (όχι αποθήκευση και προώθηση), συνήθως υπηρεσίες δυο κατευθύνσεων, όπου απαιτούνται χαμηλές άκρη-σε-άκρη καθυστερήσεις και μεγάλος βαθμός συγχρονισμού μεταξύ των στοιχείων του μέσου (δηλαδή χαμηλή μεταβλητότητα της καθυστέρησης).</b>	
<b>TEL Basic Telephony</b>	Πραγματικού χρόνου και υπηρεσία δυο δρόμων. Παρέχει προχωρημένες δυνατότητες φωνής (VoIP, πρόσβαση στο δίκτυο ενεργοποιημένη με φωνή, κλήσεις φωνής στο Διαδίκτυο), καθώς και παροχή παραδοσιακών κινητών υπηρεσιών φωνής (όπως υπηρεσίες καταλόγου, περιαγωγή).	<b>V</b>
<b>VTEL Video Telephony</b>	Μια υπηρεσία με κυρίαρχα χαρακτηριστικά με τα παραπάνω η οποία θα περιλαμβάνει πραγματικού χρόνου υψηλής/χαμηλής ποιότητας βίντεο. Θα παρέχεται στα κινητά βιντεόφωνα.	<b>HIMM</b>
<b>VCONF Video Conference</b>	Υπηρεσία κατηγορίας «Πλούσιας Φωνής» με απαιτήσεις όπως συμμετρικούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλή καθυστέρηση. Τα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας θα καθορίζονται κατά απαίτηση σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής (τηλεϊατρική, τηλε-εκπαίδευση, τηλε-εργασία, ιδιωτική τηλεδιάσκεψη κλπ). Η υπηρεσία θα είναι βασισμένη στο IP και θα κάνει χρήση MM προτύπων κωδικοποίησης τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στο επίσης πλήρως IP T-UMTS (SIP)	<b>HIMM</b>
<b>TELES Tele-Seminar</b>	Ασύμμετρη υπηρεσία για την υποστήριξη εφαρμογών βιντεοδιάσκεψης χρησιμοποιώντας μονόδρομη μετάδοση βίντεο και –κάποιες φορές- κανάλι επιστροφής δεδομένων (TV: όχι κανάλι επιστροφής, τηλεδιάλεξη: κανάλι επιστροφής για ερωτήσεις, εκπαίδευση εξ'αποστάσεως)	<b>HMM</b>

ITU / ETSI Classification	Περιγραφή	UMTS-F Classification
<b>SOS-V</b> <b>Emergency Call (voice)</b>	Υπηρεσία πρότυπης κλήσης κινδύνου (φωνή) για κλήσεις ανάγκης για υπηρεσίες διάσωσης (αστυνομία, πυροσβεστική, ασθενοφόρα, κλπ)	<b>V</b>
<b>Υπηρεσίες Μηνυμάτων (Messaging Services)</b>	<b>Υπηρεσίες επικοινωνίας χρήστη-σε-χρήστη μέσω μονάδων αποθήκευσης και προώθησης (ηλεκτρονικά γραμματοκιβώτια, συσκευές χειριζόμενες με μηνύματα, συνδυασμός φωνής και κειμένου, ήχος και εικόνες υψηλής ανάλυσης).</b>	
<b>SMS</b> <b>Short Message Service</b>	Μια υπηρεσία πελάτη/επαγγελματία, η οποία προσφέρει μη-πραγματικού χρόνου απλό κείμενο ή κωδικοποιημένα μηνύματα ήχου. Η έκδοση υπηρεσίας επαγγελματία θα περιλαμβάνει εξατομίκευση, σελιδοποίηση, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τηλεφωνητή, κλπ.	<b>M</b>
<b>MMS</b> <b>Multimedia Message Service</b>	Μια 3G υπηρεσία πελάτη/επαγγελματία η οποία προσφέρει μη-πραγματικού χρόνου, MM μηνύματα με δυνατότητες που επιτρέπουν την στιγμιαία αποστολή/λήψη μηνυμάτων. Η έκδοση υπηρεσίας επαγγελματία θα περιλαμβάνει εξατομίκευση, και χρήστη-με-χρήστη δικτύωση. Έχει στόχο μικρές ομάδες χρηστών που μπορούν να καθοριστούν από τον πάροχο υπηρεσίας ή από τον χρήστη/πελάτη.	<b>MM</b>
<b>SOS-M</b> <b>Emergency Message</b>	Υπηρεσία πρότυπης κλήσης κινδύνου (γραπτά μηνύματα) για κλήσεις ανάγκης για υπηρεσίες διάσωσης (αστυνομία, πυροσβεστική, ασθενοφόρα, κλπ)	<b>M</b>
<b>Υπηρεσίας Ανάκτησης (Retrieval Services)</b>	<b>Υπηρεσίες που βασίζονται στην ελεγχόμενη από τον χρήστη ανάκτηση πληροφορίας που είναι αποθηκευμένη σε ένα ή περισσότερα κέντρα πληροφοριών. Κάθε κέντρο πληροφοριών που είναι προσβάσιμο μπορεί να παρέχει ένα διαφορετικό πολυμεσικό περιεχόμενο (για παράδειγμα, εικόνες υψηλής ανάλυσης, ήχο και γενικές αρχειοθετημένες πληροφορίες)</b>	

ITU / ETSI Classification	Περιγραφή	UMTS-F Classification
<b>BIA</b>  <b>Basic Internet Access</b>	<p>Μια υπηρεσία που προσφέρει κινητή πρόσβαση σε πλήρως σταθερές ISP υπηρεσίες με ποιότητα και λειτουργικότητα σχεδόν αυτής της ενσύρματης μετάδοσης. Η υπηρεσία είναι ασύμμετρη παρέχοντας ένα υψηλού ρυθμού μετάδοσης forward (κάτω ζεύξης) κανάλι (προς το κινητό τερματικό) και κανάλι επιστροφής χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης. Ανάλογα με την υποστήριξη σε ρυθμούς μετάδοσης του παρόχου υπηρεσιών στη ευθεία ζεύξη, μπορούν να καθοριστούν υπηρεσίες διάφορων επιπέδων. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν υπηρεσίες πρόσβασης σε απομακρυσμένο εξυπηρετητή με αρχικοποίηση από τον χρήστη, πλήρη πλοήγηση στο Διαδίκτυο και μεταφορά αρχείων, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, ροές βίντεο και ήχου, διαδικτυακό ψηφιακό ραδιόφωνο, εικονικές ψηφιακές βιβλιοθήκες κλπ.</p>	<b>MM ή HMM</b>
<b>BIE</b>  <b>Basic Intranet/ Extranet Connect</b>	<p>Μια επιχειρησιακή υπηρεσία η οποία εκτός από την πρόσβαση στο Διαδίκτυο, παρέχει ασφαλή κινητή πρόσβαση σε εταιρικά Τοπικά Δίκτυα (Local Area Networks - LANs) και Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα (Virtual Private Networks - VPNs). Οι βασικές απαιτήσεις της υπηρεσίας είναι ίδιες με την βασική Διαδικτυακή υπηρεσία αλλά παρέχεται στον χρήστη με διάφορες (καθορισμένες από τον χρήστη) επιλογές δρομολόγησης (για παράδειγμα Διαδίκτυο, ISDN, ATM, xDSL, κλπ).</p>	<b>MM ή HMM</b>

ITU / ETSI Classification	Περιγραφή	UMTS-F Classification
<b>E-BIA</b>  <b>Enhanced Internet Access</b>	Κινητή πρόσβαση σε πλήρως σταθερές ISP υπηρεσίες με ποιότητα και λειτουργικότητα σχεδόν αυτής της ενσύρματης μετάδοσης. Η υπηρεσία είναι ασύμμετρη παρέχοντας ένα υψηλού ρυθμού μετάδοσης forward (κάτω ζεύξης) κανάλι (προς το κινητό τερματικό) και κανάλι επιστροφής χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης. Ανάλογα με την επιλογή του παρόχου υπηρεσίας για τον ρυθμό μετάδοσης που υποστηρίζεται στην ευθεία ζεύξη, μπορούν να καθοριστούν υπηρεσίες διάφορων επιπέδων.	<b>MM ή HMM</b>
<b>E-BIE</b>  <b>Enhanced Intranet/ Extranet Connect</b>	Ίδια υπηρεσία με την basic intranet/extranet υπηρεσία, αλλά με πιθανότητα ο χρήστης να επιλέγει έναν εγγυημένο ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης για την επιστροφή, την ευθεία κατεύθυνση ή και για τις δύο.	<b>MM ή HMM</b>
<b>FIND</b>  <b>Location Based Data Retrieval</b>	Μια επιχειρησιακή και καταναλωτική υπηρεσία δίνοντας την δυνατότητα στους χρήστες να εντοπίζουν άλλους ανθρώπους, αυτοκίνητα, πόρους, υπηρεσίες ή μηχανές. Δίνει επίσης την δυνατότητα να εντοπίσουν χρήστες όπως και χρήστες να αναγνωρίσουν την θέση τους μέσω του προσδιορισμού του τερματικού ή του αυτοκινήτου. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν πλοήγηση αυτοκινήτου, τηλεματική, τηλεμετρία, εντοπισμό, προσωπική ασφάλεια, κλπ.	<b>M ή MM</b>
<b>LINK</b>  <b>Broadband Interconnect</b>	Μια υπηρεσία φέροντος πολύ μεγάλης χωρητικότητας σε ρυθμούς μετάδοσης καθορισμένους κατά απαίτηση επιτρέποντας την προσωρινή ή μόνιμη σύνδεση ενός απομακρυσμένου UTRA σε ένα οικείο δίκτυο.	<b>HMM</b>

ITU / ETSI Classification	Περιγραφή	UMTS-F Classification
<b>REP Reporter</b>	Μια υπηρεσία ήχου/βίντεο ειδικά δημιουργείται για την δορυφορική συλλογή ειδήσεων και το τμήμα της αγοράς των media. Σχετίζεται με φωνή και βίντεο uploading και streaming. Η υπηρεσία είναι ασύμμετρη με έναν ελάχιστο (υψηλότερο) εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης στη κατεύθυνση επιστροφής (περίπου 384kbps) και έναν χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης στην ευθεία ζεύξη (στην κατεύθυνση προς το τερματικό).	<b>MM ή HMM</b>
<b>Υπηρεσίες Διανομής χωρίς Έλεγχο από τον Χρήστη</b>	<b>Υπηρεσίες ευρείας εκπομπής (broadcast) των οποίων η πληροφορία προέρχεται από μια κεντρική πηγή. Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε ροή πληροφορίας χωρίς καμία δυνατότητα στον έλεγχο ή στην εντολή της προβολής.</b>	
<b>RADIO Audio Broadcast</b>	Ευρείας εκπομπής μετάδοση ήχου για την εξυπηρέτηση συνδρομητών. Ευρεία εκπομπή δημόσιας πληροφορίας (πληροφορίες κυκλοφοριακής κίνησης οδών, πληροφορίες καιρού, κλπ).	<b>V</b>
<b>VoD Video on Demand</b>	Βίντεο κατά απαίτηση (Video on Demand - VoD) όπου οι συνδρομητές ζητούν περιεχόμενο βίντεο (κινηματογραφικές ταινίες, τηλεοπτικά προγράμματα, κλπ). Αυτή η υπηρεσία μοιάζει να είναι ως μια εναλλακτική με την αγορά/ενοικίαση βίντεο.	<b>HMM</b>
<b>Υπηρεσίες Διανομής με Έλεγχο από τον Χρήστη</b>	<b>Υπηρεσίες των οποίων οι πληροφορίες εκπέμπονται ευρέως ως επαναλαμβανόμενη ακολουθία και η δυνατότητα στην πρόσβαση αριθμημένης ακολουθίας εντοπισμένη σε πλαίσια πληροφορίας, δίνουν την δυνατότητα στους χρήστες (ή στο τερματικό του χρήστη) να ελέγχουν την έναρξη και την ζήτηση της εμφάνισης της πληροφορίας.</b>	



<b>ITU / ETSI Classification</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>UMTS-F Classification</b>
<b>INFO</b>  <b>Location- based data broadcast</b>	Μια υπηρεσία ευρείας εκπομπής πληροφοριών σε οποιονδήποτε συνδρομητή εντός μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής (ειδήσεις, κυκλοφοριακή ενημέρωση, τουρισμός, καιρός, αθλητικά, κλπ)	<b>M ή MM</b>
<b>CONT</b>  <b>Content delivery</b>	Μια υπηρεσία η οποία παρέχει ανεξάρτητα από την συσκευή πρόσβαση σε προσωπικό περιεχόμενο οπουδήποτε, οποτεδήποτε μέσω δομημένων μηχανισμών πρόσβασης βασισμένων σε κινητές πύλες (mobile portals). Η υπηρεσία θα πρέπει να επιτρέπει την διανομή αρχείων δεδομένων ή AV υλικού σε τερματικά χρηστών.	<b>MM ή HMM</b>

## 11 S-UMTS SIMULATOR

### 11.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το μέρος της διπλωματικής παρουσιάζεται ο προσομοιωτής του χρονοπρογραμματιστή εκπομπής πακέτων για το σύστημα S-UMTS για την περίπτωση της κάτω ζεύξης. Ο προσομοιωτής υλοποιήθηκε με το λογισμικό πακέτο Matlab, έκδοση 6.5, της εταιρίας The MathWorks Inc.

Ο προσομοιωτής αποτελείται από τα παρακάτω κύρια τμήματα :

- Τμήμα Τηλεπικοινωνιακής Κίνησης – Traffic Section
- Τμήμα Ελέγχου Αποδοχής Κλήσης και Ελέγχου Φορτίου – Admission and Load Control Section
- Τμήμα Προγραμματιστή Εκπομπής Πακέτων – Packet Scheduler Section
- Τμήμα Βάσεων Δεδομένων, Στατιστικών και Απεικόνισης Αποτελεσμάτων – Data Bases, Statistics and Results Representation Section
- Τμήμα Διαχείρισης Μνήμης Υπολογιστή – PC Memory Management Section

### 11.2 Διάρθρωση Συστήματος S-UMTS (S-UMTS Configuration)

Το σύστημα που προσομοιώνεται αποτελείται από 6 φυσικά κανάλια S-CCPCHs ρυθμού μετάδοσης 320kbps το καθένα. Δηλαδή, η μέγιστη δυνατή διεκπεραιωτική ικανότητα του συστήματος ή χωρητικότητα (capacity) είναι :

$$Capacity_{SYSTEM} = \sum_{i=1}^{\#S-CCPCH} Capacity_{S-CCPCH\ i}$$

Δηλαδή,  $MaximumThroughput_{SYSTEM} = 6 \cdot 320kbps = 1.92Mbps$ .

Ο μέγιστος αριθμός καναλιών μεταφοράς FACHs που αποδέχεται το σύστημα  $N_{FACHs/SYSTEM}$  μπορεί να καθορίζεται στην προσομοίωση, τυπικές τιμές είναι 32 και 36. Σε κάθε φυσικό κανάλι S-CCPCH μπορεί να πολυπλέκονται το πολύ  $N_{FACHs/S-CCPCH}$  κανάλια μεταφοράς FACHs, με τυπική τιμή 6. Η αντιστοίχιση των FACHs στα S-CCPCHs γίνεται στο τμήμα ελέγχου αποδοχής κλήσης.

### 11.3 Τμήμα Τηλεπικοινωνιακής Κίνησης

Σε αυτό το τμήμα του προσομοιωτή γίνεται η διάρθρωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης (traffic-configuration). Συγκεκριμένα, το τμήμα αυτό αποτελείται από δυο μέρη :

- Μέρος Σύνθεσης Κίνησης – Traffic Configuration Part
- Μέρος Γεννήσεων-Θανάτων – Births-Deaths Part

Το σύνολο των τύπων υπηρεσιών που υποστηρίζονται από τον προσομοιωτή είναι  $N_{Services}=18$  και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Κατάλογος Υπηρεσιών					
Conversational Class RT – Services		Interactive Class	Streaming Class NRT – Services		Background Class
RT-Audio	RT-Video	WWW-browsing	NRT-Audio	NRT-Video	E-mail
32 kbps	16 kbps	16 kbps	32 kbps	16 kbps	
64 kbps	64 kbps	32 kbps	64 kbps	64 kbps	
128 kbps	256 kbps	64 kbps	128 kbps	256 kbps	
		144 kbps			
		384 kbps (optional)			

Πίνακας 11-1: Κατάλογος Προσφερόμενων Υπηρεσιών

Για κάθε υπηρεσία  $i$  καθορίζεται το ποσοστό επί της εκατό εμφάνισης της  $p_i$  (ή πιθανότητα εμφάνισης) και η μέση τιμή της διάρκειας της  $\mu_i$ . Φυσικά, θα πρέπει να ισχύει ότι :

$$0 \leq p_i \leq 1, \forall i \in [1,18]$$

$$\sum_{i=1}^{N_{Services}} p_i = 1$$

Η κάθε υπηρεσία χαρακτηρίζεται από έναν τύπο *TypeOfService* έναν μέσο ρυθμό μετάδοσης *GuaranteedRate<sub>i</sub>*, έναν μέσο ρυθμό μετάδοσης *MeanRate<sub>i</sub>*, μια απαιτούμενη τιμή  $(E_b / N_0)_i$  και μια εγγυημένη τιμή *Guaranteed*( $E_b / N_0$ )<sub>i</sub>.

Υπηρεσία	TypeOfService	GuarrantedRate <sub>i</sub> (kbps)	MeanRate <sub>i</sub> (kbps)	(E <sub>b</sub> / N <sub>0</sub> ) <sub>i</sub> (dB)
www 16 kbps	1	16	16	6.65
www 32 kbps	2	32	32	6.35
www 64 kbps	3	64	64	6.3
www 144kbps	4	128	128	6.21
www 384kbps	5	384	384	6.22
NRT Audio 32 kbps	6	32	32	6.22
NRT Audio 64 kbps	7	64	64	6.23
NRT Audio 128 kbps	8	128	128	6.24
NRT Video 16 kbps	9	16	16	6.24
NRT Video 64 kbps	10	64	64	6.25
NRT Video 256 kbps	11	256	256	6.10
NRT Audio 32 kbps	12	32	32	6.05
NRT Audio 64 kbps	13	64	64	6.03
NRT Audio 128 kbps	14	128	128	6.00
NRT Video 16 kbps	15	16	16	5.96
NRT Video 64 kbps	16	64	64	5.85
NRT Video 256 kbps	17	256	256	5.60
email	18	8	8	5.45

Πίνακας 11-2: Χαρακτηριστικά κίνησης πηγών

Στο μέρος της παραγωγής των γεννήσεων και των θανάτων, ένας παράγοντας που λαμβάνεται υπόψιν είναι το κανονικοποιημένο προσφερόμενο φορτίο (normalized offered load -  $n_{load}$ ). Έτσι, το συνολικά προσφερόμενο φορτίο στο σύστημα υπολογίζεται από την σχέση :

$$OfferedLoad(Mbps) = n_{load} \cdot Capacity_{SYSTEM}(Mbps)$$

Ο ρυθμός άφιξης της υπηρεσίας  $i$  υπολογίζεται ως εξής :

$$\lambda_i = \frac{OfferedLoad \cdot p_i}{MeanRate_i \cdot \mu_i}$$

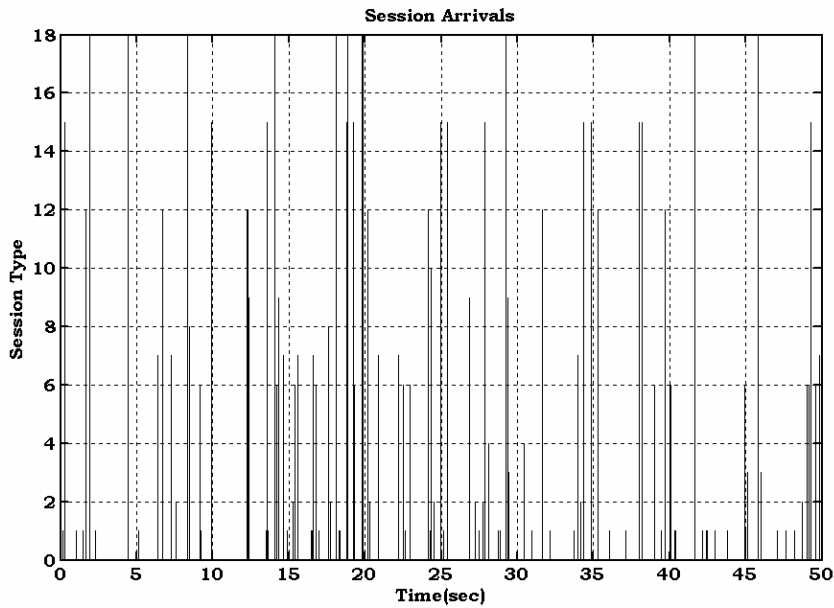
Η μέση τιμή του μεσοδιαστήματος δυο κλήσεων της υπηρεσίας τύπου  $i$  είναι :

$$MeanInterarrivalTime_i = \frac{1}{\lambda_i}$$

Οι χρονικές στιγμές άφιξης των κλήσεων τύπου  $i$  ακολουθούν κατανομή Poisson με μέση τιμή  $\lambda_i$ . Οι διάρκειες κάθε κλήσης ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή  $\mu_i$ .

Αφού καθοριστεί η διάρθρωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, στη συνέχεια παράγεται μια ακολουθία γεγονότων, «γεννήσεων» και «θανάτων» συνόδων (sessions births-deaths). Η ακολουθία παρέχει πληροφορίες για την χρονική στιγμή της «γέννησης», χρόνος άφιξης  $t_{SessionArrival,i}$ , την διάρκεια  $d_i$  και την χρονική στιγμή του «θανάτου»  $t_{SessionDeath,i}$  της κλήσης/συνόδου  $i$ .

Από όλες τις κατηγορίες υπηρεσιών, η κατηγορία της αλληλοδραστικής κλάσης, κύρια το web-browsing, είναι η πιο δύσκολη στην μοντελοποίηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν μπορεί να καθορισθεί η διάρκεια της κλήσης και επίσης χαρακτηρίζεται από υψηλή εκρηκτικότητα. Επιπλέον, η διάρκεια της κλήσης επηρεάζεται αρκετά από την κατάσταση του δικτύου. Η κάθε κλήση πακέτων, δηλαδή η μεταφορά μιας ιστοσελίδας, θα πρέπει να ολοκληρωθεί, κατόπιν να μεσολαβήσει ένας χρόνος ανάγνωσης και στη συνέχεια να αποσταλεί αίτηση μιας νέας κλήσης πακέτων. Κάθε καθυστέρηση στη ολοκλήρωση μιας κλήσης πακέτων έχει ως αποτέλεσμα να παρατείνεται η διάρκεια της κλήσης. Βέβαια, προτείνεται να καθορίζεται μια ενδεικτική τιμή της μέσης τιμής αυτού του τύπου κλήσεων. Έτσι είναι δυνατή η ένταξη της αλληλοδραστικής κλάσης στο παραπάνω μοντέλο γεννήσεων – θανάτων.

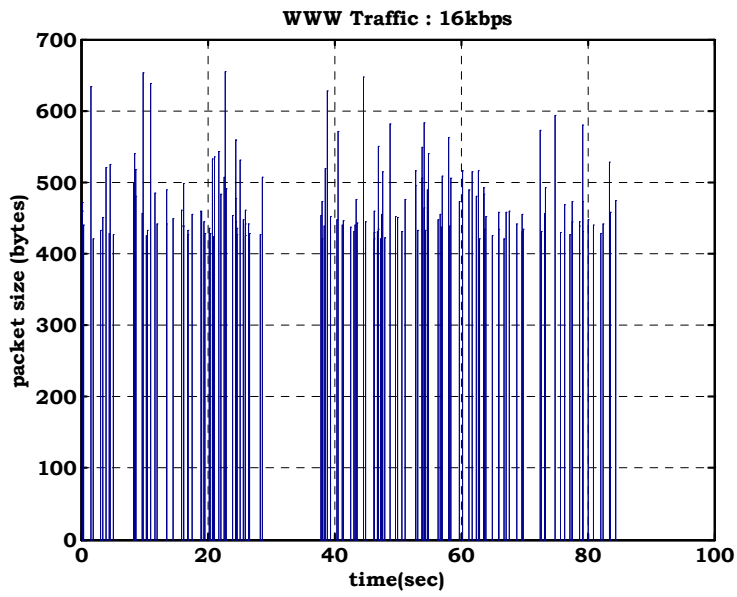


Εικόνα 11-1: Αφίξεις Κλήσεων στον Simulator

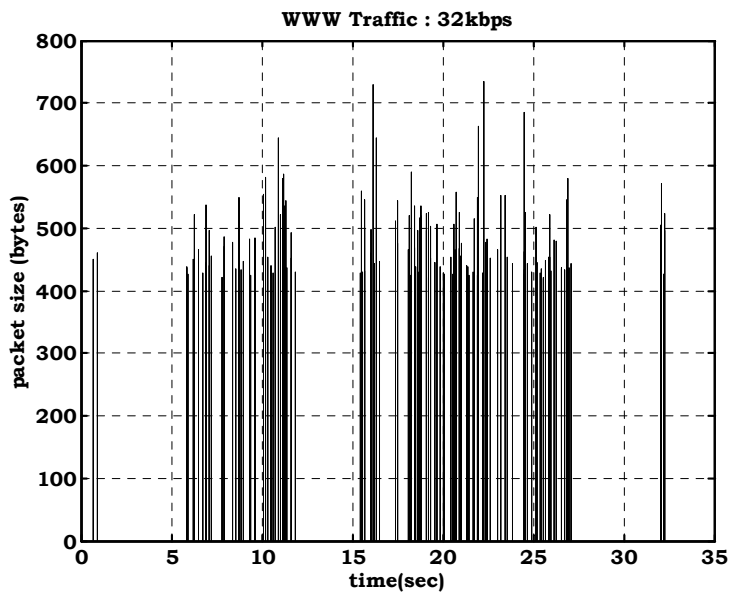
Στην συνέχεια παρουσιάζονται διάφορες υπηρεσίες που χρησιμοποιήθηκαν στον Προσομοιωτή.

### 11.3.1 Υπηρεσία WWW

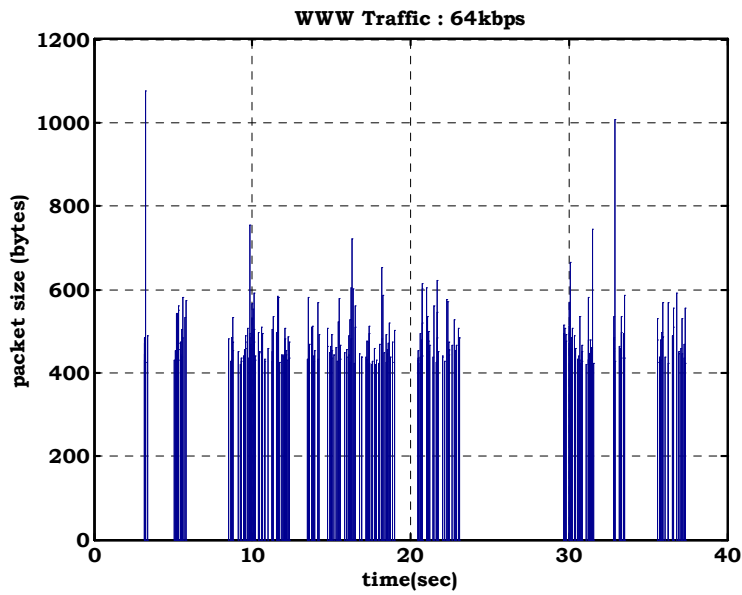
Ο προσομοιωτής έχει την δυνατότητα να εξυπηρετήσει αλληλοδραστικές υπηρεσίες τύπου WWW. Δώθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι μια κλήση πακέτων, δηλαδή η ανάκτηση μιας ιστοσελίδας, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αν προηγουμένως δεν έχει ολοκληρωθεί η μεταφορά της προηγούμενης ιστοσελίδας και να μεσολαβήσει ένας χρόνος ανάγνωσης αυτής.



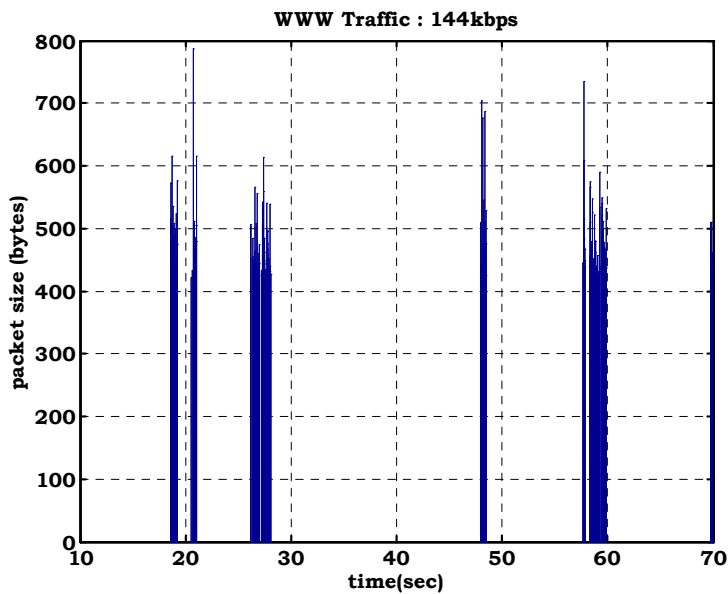
Γράφημα 11-Α: Υπηρεσία www με ρυθμό μετάδοσης 16kbps



Γράφημα 11-Β: Υπηρεσία www με ρυθμό μετάδοσης 32kbps



Γράφημα 11-C: Υπηρεσία www με ρυθμό μετάδοσης 64kbps



Γράφημα 11-D: Υπηρεσία www με ρυθμό μετάδοσης 144kbps

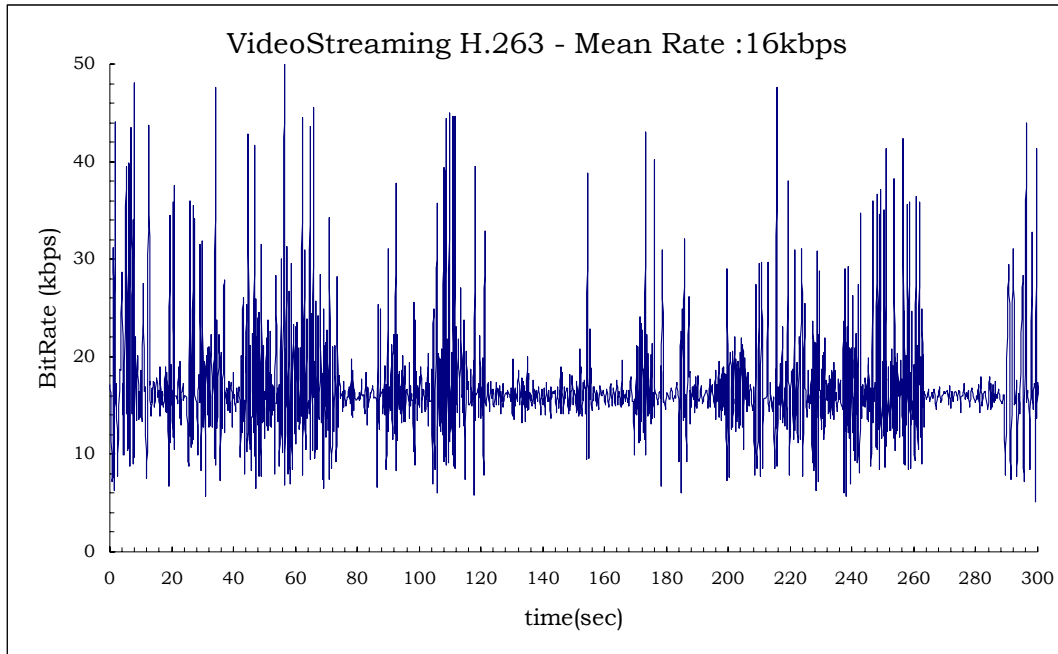
Το κύριο χαρακτηριστικό της WWW υπηρεσίας είναι η υψηλή εκρηκτικότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μετά από την ολοκλήρωση μιας κλήσης πακέτων, ακολουθεί ένας χρόνος ανάγνωσης όπου δεν παρατηρείται δραστηριότητα. Για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, σε μια κλήση πακέτων



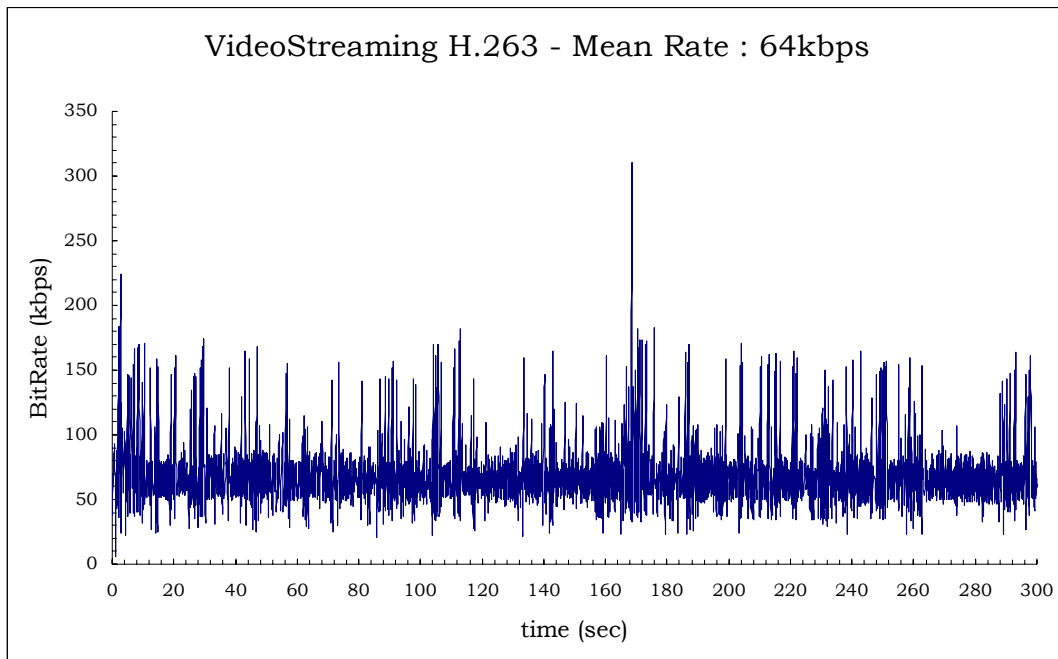
παράγονται πακέτα σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Αυτό φαίνεται στα παραπάνω γραφήματα, στις εκρήξεις/ριπές πακέτων (packet bursts).

### 11.3.2 Ποή Βίντεο (Video Streaming)

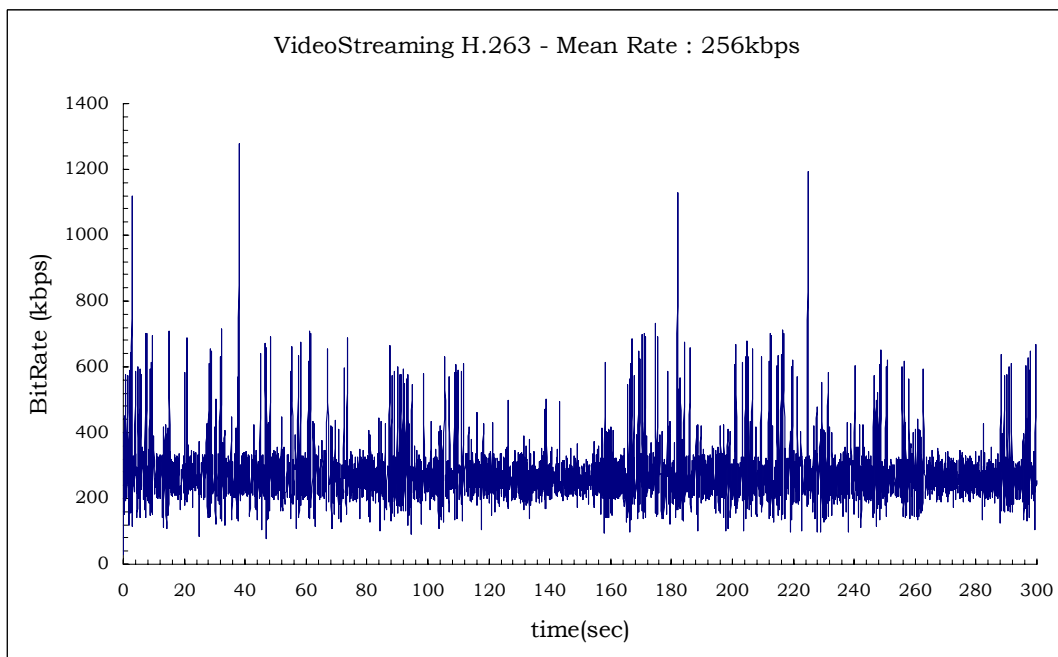
Για τον σκοπό της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν αρχεία traces από πραγματική κίνηση βίντεο και ρυθμού μετάδοσης 16kbps, 64kbps και 256kbps.



Γράφημα 11-Ε: Ποή βίντεο H.263 - 16kbps



Γράφημα 11-F: Ροή βίντεο H.263 - 64kbps



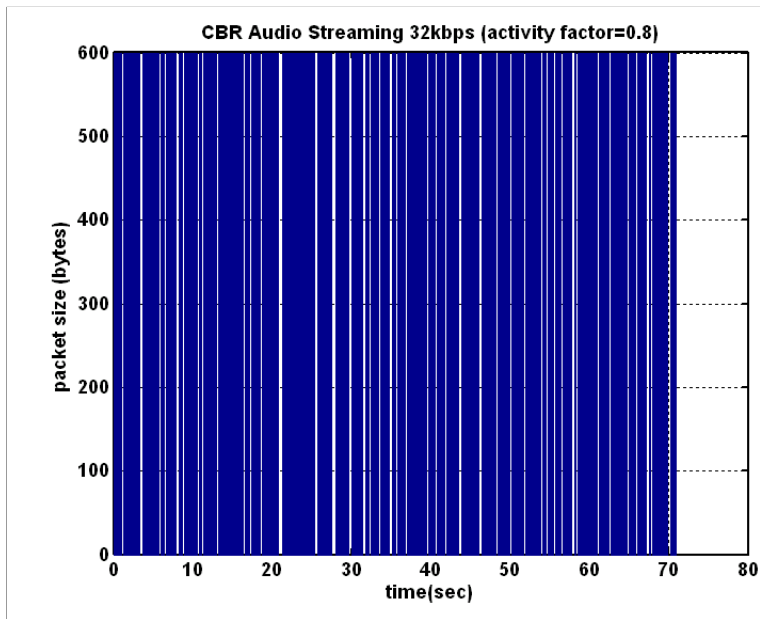
Γράφημα 11-G: Ροή βίντεο H.263 - 256kbps

Απο τα παραπάνω διαγράμματα ροής βίντεο παρατηρείται ότι η κίνηση πακέτων της συγκεκριμένης κατηγορίας χαρακτηρίζεται από υψηλή εκρηκτικότητα. Δηλαδή, ο στιγμιαίος ρυθμός μετάδοσης μπορεί να είναι

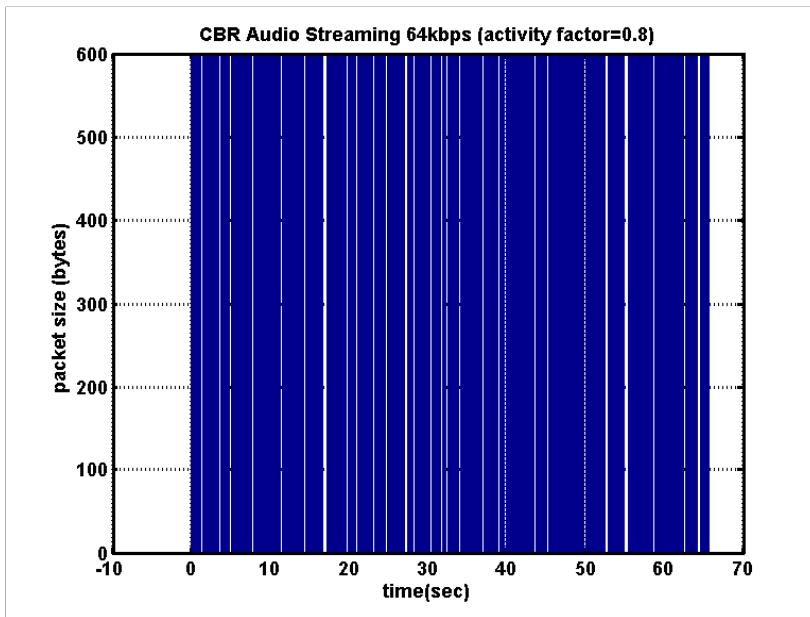
πολλαπλάσιος του αντίστοιχου ονομαστικού, γεγονός που συνεπάγει την στιγμιαία πλυμμήρα των ενταμιευτών. Τότε, παρατηρείται αύξηση της καθυστέρησης των πακέτων, διότι η ολοκληρωμένη μετάδοση ενός μεγάλου πακέτου θα απαιτεί περισσότερο του ενός TTI χρόνου μετάδοσης. Επίσης, παρατηρείται και μεγάλη μεταβολή στην καθυστέρηση των πακέτων, δηλαδή αυξάνεται το jitter.

### 11.3.3 Ροή Ήχου – Μουσικής (Audio Streaming)

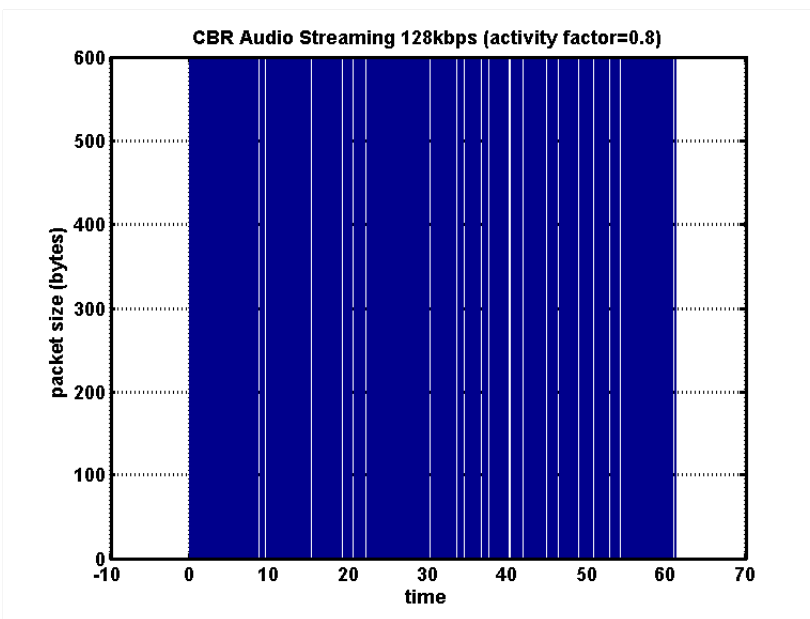
Η κίνηση ροής ήχου αποτελεί μια CBR υπηρεσία με *activity-factor*=0.9 και μέγεθος πακέτου 600bytes. Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής κίνησης με ρυθμούς μετάδοσης 32kbps, 64kbps και 128kbps.



Γράφημα 11-H : Κίνηση πακέτων από πηγή σταθερού ρυθμού μετάδοσης 32kbps ροής ήχου με μέγεθος πακέτου 600Bytes και παράγοντα δραστηριότητας 0.8.



Γράφημα 11-I: Κίνηση πακέτων από πηγή σταθερού ρυθμού μετάδοσης 64kbps ροής ήχου με μέγεθος πακέτου 600Bytes και παράγοντα δραστηριότητας 0.8.



Γράφημα 11-J: Κίνηση πακέτων από πηγή σταθερού ρυθμού μετάδοσης 32kbps ροής ήχου με μέγεθος πακέτου 600Bytes και παράγοντα δραστηριότητας 0.8.

Η κίνηση CBR χαρακτηρίζεται από παράγοντα δραστηριότητας 0.8. Αυτό δηλώνει ότι ο ρυθμός μετάδοσης κατά την ενεργό κατάσταση είναι 40kbps,

80kbps και 160kbps για ονομαστικούς ρυθμούς μετάδοσης 32kbps, 64kbps και 128kbps, αντίστοιχα.

#### **11.4 Τμήμα ελέγχου αποδοχής (AC) και ελέγχου φορτίου (LC)**

Η λειτουργία του τμήματος αυτού περιγράφεται αναλυτικά στα αντίστοιχα κεφάλαια του AC και LC.

Η λεπτομέρεια που πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό είναι η συχνότητα λειτουργίας των παραπάνω διαδικασιών ελέγχου σε σύγκριση με τον χρονοπρογραμματιστή πακέτων. Ο έλεγχος αποδοχής καθώς και ο έλεγχος φορτίου εκτελούνται όταν υπάρχει άφιξη ενός αιτήματος για την εγκατάσταση μιας νέας συνόδου-κλήσης στο σύστημα. Αυτό που λαμβάνεται υπόψιν είναι η παρούσα κατάσταση του συστήματος ( $k-1$  το πλήθος των ενεργών συνδέσεων) και η πιθανή κατάσταση που θα μεταβεί το σύστημα αν αποδεχτεί την  $k$  κλήση. Οι έλεγχοι λαμβάνουν συνήθως υπόψιν την χειρότερη κατάσταση που μπορεί να φθάσει το σύστημα και για αυτό τα κριτήρια είναι αυστηρά. Το αποτέλεσμα των αποφάσεων των ελέγχων μπορεί να μην οδηγεί το σύστημα σε ανώμαλη κατάσταση όπως η υπερφόρτωση αλλά όμως δεν πετυχαίνεται πάντα και η βέλτιστη χρησιμοποίηση του συστήματος. Έτσι, όταν το σύστημα λειτουργεί με μεταγωγή πακέτων, είναι ανάγκη η εισαγωγή της μονάδας του χρονοπρογραμματιστή εκπομπής πακέτων, ο οποίος λειτουργεί σε πολύ μεγαλύτερη συχνότητα.

Έτσι, σε αντίθεση με τον αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσης και τον αλγόριθμο ελέγχου φορτίου οι οποίοι λειτουργούν όταν μια νέα κλήση κάνει αίτηση για να γίνει αποδεκτή στο σύστημα, ο αλγόριθμος προγραμματισμού εκπομπής πακέτων έχει συχνότητα λειτουργίας  $f_{ps} = \frac{1}{TTI} (Hz)$  όπου  $TTI$  είναι ο χρονοδιάστημα εκπομπής με τυπικές τιμές 10ms ή 20ms.

#### **11.5 Τμήμα χρονοπρογραμματιστή εκπομπής πακέτων**

Ο χρονοπρογραμματιστής πακέτων λειτουργεί με συχνότητα 1kHz λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι η ακρίβεια του χρόνου άφιξης των πακέτων είναι το 1ms. Επίσης, η διαδικασία εκπομπής λειτουργεί σε συχνότητα 100Hz. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται οι οντότητες, οι βασικές διεργασίες και οι βάσεις δεδομένων του συστήματος προσομοίωσης.

Για μια νέα κλήση  $i$  που γεννιέται και γίνεται τελικά αποδεκτή στο σύστημα από τον έλεγχο αποδοχής κλήσης κατασκευάζεται η κίνηση των IP πακέτων της. Κατόπιν, τα νέα IP πακέτα πολυπλέκονται στατιστικά, δηλαδή βάση του χρόνου άφιξης, με τα IP πακέτα των υπόλοιπων ενεργών κλήσεων. Όταν το εσωτερικό ρολόι του προσομοιωτή *MasterClock* ταυτιστεί με τον χρόνο άφιξης ενός IP πακέτου τότε γίνεται έλεγχος σε ποιο εξυπηρετόν φυσικό κανάλι θα πρέπει να προσανατολιστεί το πακέτο. Η πληροφορία αυτή δίνεται από μια βάση δεδομένων που διατηρεί την αντιστοίχιση μεταξύ *FACHs* και *S-CCPCHs*. Κατόπιν, το IP πακέτο τεμαχίζεται σύμφωνα με την τιμή *TransportBlockSize* σε *TBs* με την διαδικασία του *Segmentation*.

Ο αριθμός των 10ms πλαισίων που απαιτούνται για την μετάδοση ενός IP πακέτου μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση :

$$\text{Αριθμός πλαισίων ανά IP πακέτο} = \text{RoundUp} \left[ \frac{8 \cdot \text{IP\_PacketSize[bytes]} \cdot 100}{\text{WCDMA\_BitRate[kbps]}} \right]$$

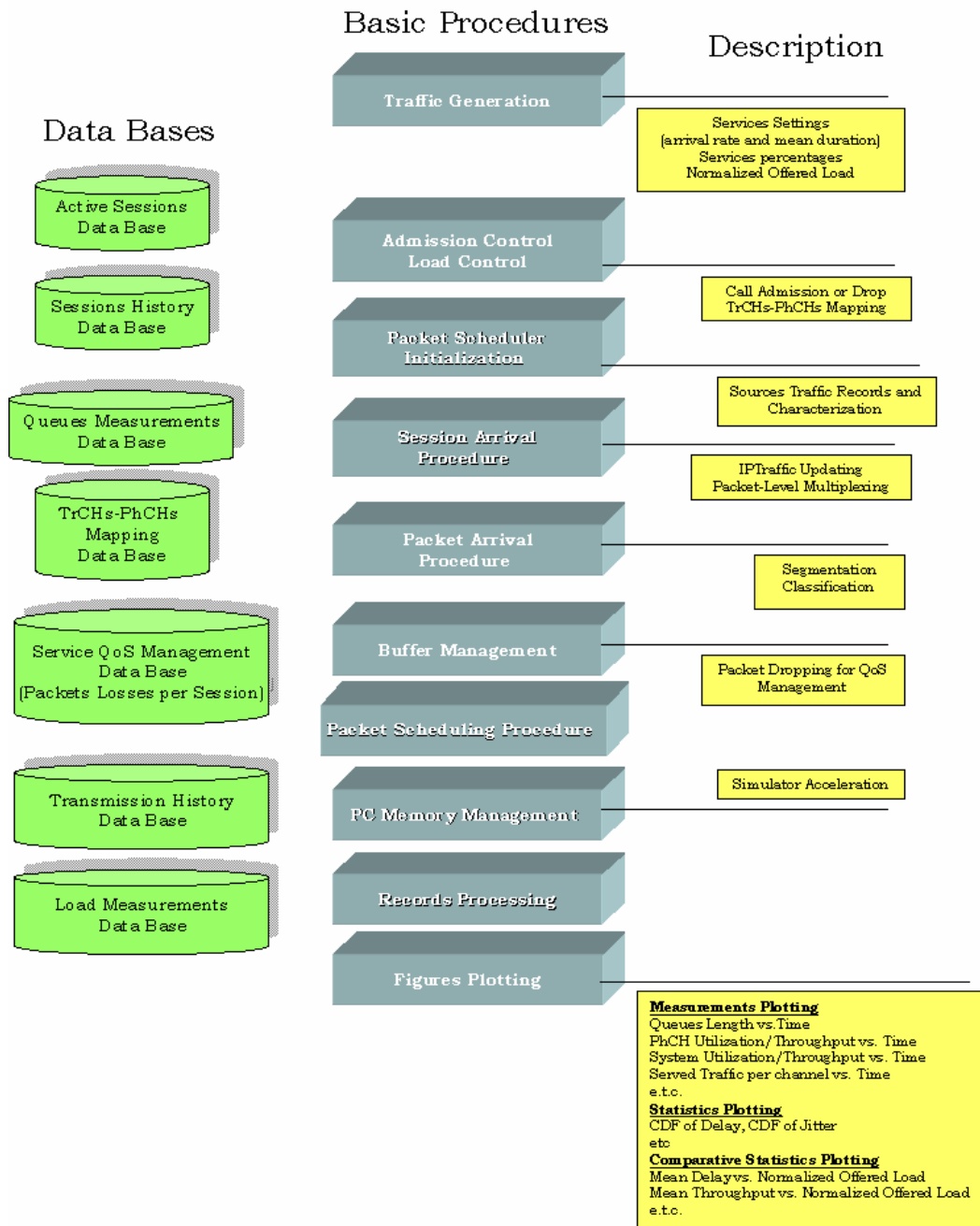
Το σύνολο το *TBs* που προέκυψαν από την προηγούμενη διαδικασία εισέρχονται με την διαδικασία *Classifier* στον ενταμιευτή βάσει της κλάσης ποιότητας υπηρεσίας που χαρακτηρίζαν το IP πακέτο από το οποίο προήλθαν. Η εκπομπή των *TBs* γίνεται βάσει της διαδικασίας *Scheduler*. Η διαδικασία *Scheduler* τρέχει ταυτόχρονα για το σύνολο των *S-CCPCHs* του συστήματος. Κατά την διαδικασία αυτή ελέγχεται η καθυστέρηση των *TBs* και πραγματοποιείται διαχείριση της ποιότητας υπηρεσίας. Έτσι, αν παρουσιάζεται μεγάλη καθυστέρηση στα *TBs*, τότε απορρίπτονται τα *TBs* από τον ενταμιευτή που ανήκουν στο ίδιο IP πακέτο.

Η πιθανότητα τουλάχιστον για ένα RLC πακέτο ενός IP πακέτου να απαιτηθεί επανεκπομπή μπορεί να εκτιμηθεί από την πιθανότητα λάθους σε ένα WCDMA block θεωρώντας ότι τα 10ms πλαίσια είναι ασυσχετίστα :

$$P(\text{Επανεκπομπή σε IP πακέτο}) = 1 - (1 - \text{BLER})^{\text{Αριθμός πλαισίων ανά IP πακέτο}}$$

Ταυτόχρονα, ενημερώνεται η αντίστοιχη βάση δεδομένων που έχει πληροφορίες σχετικές με το πλήθος των πακέτων που έχουν απορριφθεί ανά κλήση. Αν αυτό ξεπεράσει ένα ποσοστό από τα συνολικά πακέτα της κλήσης, τότε η κλήση διακόπτεται λόγω κακής ποιότητας υπηρεσίας. Τα εκπεμπόμενα *TBs* καταγράφονται σε μια αποθήκη δεδομένων για στατιστική ανάλυση στο τέλος της προσομοίωσης.

## Λειτουργικό Διάγραμμα Προσομοιωτή



Εικόνα 11-2: Λειτουργικό Διάγραμμα Προσομοιωτή

### 11.6 Παρουσίαση κύριων χαρακτηριστικών του Προσομοιωτή.

Ο πίνακας **SessionTraffic** της βάσης δεδομένων που περιέχει τις πληροφορίες για τις αφικνούμενες κλήσεις. Συγκεκριμένα περιέχει δεδομένα όπως χρόνος άφιξης-γέννησης της κλήσης (*ArrivalTime*), την διάρκεια της κλήσης (*Duration*), τον τύπο της κλήσης (*SessionType*), την ταυτότητα της κλήσης (*SessionID*) και τον αριθμό του S-CCPCH το οποίο θα την εξυπηρετήσει. Οι πληροφορίες αυτές προέρχονται από το τμήμα AC-LC.

Arrival Time	Duration	Session Type	Session ID	S-CCPCH
0.166	1	8	1	1
0.204	1.829	6	2	2
0.221	13.183	6	3	3
0.335	37.017	13	4	4
1.043	2.031	14	5	5
2.059	24.792	12	6	1
2.422	45.77	9	7	2
2.867	24.625	9	8	6
3.106	17.803	9	9	5
3.337	12.913	15	10	2
3.407	5.073	9	11	5
3.46	14.501	12	12	6
3.757	51.102	15	13	1
4.255	9.6	14	14	2
4.357	11.587	9	15	3
4.563	25.14	15	16	5
4.709	1	15	17	1
4.758	6.361	9	18	3
4.788	13.45	12	19	5
5.473	5.433	7	20	6
5.997	59.109	15	21	1
6.232	34.395	9	22	1
6.514	4.23	15	23	3
6.766	5.997	16	24	4
7.138	20.799	13	25	1
7.91	15.086	9	26	3
8.148	12.241	9	27	5
8.766	21.657	9	28	5
9.494	18.478	15	29	3
9.814	2.501	9	30	5

Πίνακας 11-3: SessionTraffic



Ο πίνακας **IPTraffic** αποτελεί την πολυπλεγμένη κίνηση IP πακέτων. Κάθε εγγραφή IP πακέτου, περιέχει πεδία με πληροφορίες σχετικές με τον χρόνο άφιξης πακέτου (*PacketArrivalTime*), το μέγεθος του πακέτου (*PacketSize*), την ταυτότητα (*SessionID*), τον τύπο (*SessionType*) και την κλάση ποιότητας υπηρεσίας (*QoSClass*) της πηγής/κλήσης από την οποία προέρχεται το κάθε πακέτο. Επίσης, υπάρχει το πεδίο καθυστέρησης, η τιμή του οποίου αρχικοποιείται στην τιμή του της καθυστέρησης διάδοσης άνω-κάτω ζεύξης (*RoundTripDelay=0.25sec*). Τέλος, υπάρχει ένα βοηθητικό πεδίο λειτουργίας (*OperationField*) το οποίο περιέχει πληροφορία όπως αν το πακέτο αποτελεί το πρώτο ή το τελευταίο της κλήσης-συνόδου (*Session First/Last*) ή ακόμα και της κλήσης πακέτων (*PacketCall First/Last*) σε μια κλήση/σύνοδο. Ο παραπάνω πίνακας προέρχεται από την στατιστική πολυπλεξία των ενεργών κλήσεων/συνόδων των οποίων τα πακέτα πολυπλέκονται με τεχνική στατιστικής πολυπλεξίας βάσει του χρόνου γέννησης των πακέτων.

Packet Arrival Time	IP packet size (bytes)	Session ID	Session Type	QoS Class	Round Trip Delay (sec)	Operation Field
1.000.011	600	1520	6	3	0.25	0
1.000.013	414	1523	9	3	0.25	0
1.000.029	600	1534	6	3	0.25	0
1000.03	600	1532	6	1	0.25	0
1.000.035	600	1552	7	3	0.25	0
1.000.037	327	1530	15	1	0.25	0
1.000.043	600	1541	7	1	0.25	0
1.000.046	386	1488	15	1	0.25	0
1.000.056	572	1506	9	3	0.25	0
1.000.063	600	1538	6	1	0.25	0
1.000.066	600	1470	6	3	0.25	0
1.000.066	600	1518	6	1	0.25	0
1.000.068	600	1453	6	1	0.25	0
1.000.076	335	1540	9	3	0.25	2
1.000.086	673	1490	16	1	0.25	0
1.000.089	273	1525	15	1	0.25	0
1.000.093	376	1523	9	3	0.25	0
1.000.096	600	1546	6	3	0.25	0
1.000.096	600	1552	7	3	0.25	0
1.000.104	600	1541	7	1	0.25	0
1.000.105	490	1553	9	3	0.25	0
1.000.109	355	1478	9	3	0.25	0
1.000.111	818	1502	16	1	0.25	0
1000.14	1470	1527	15	1	0.25	2

Πίνακας 11-4: IPTraffic

Ο πίνακας **SessionHistoryTable** της βάσης δεδομένων, περιέχει πληροφορίες οι οποίες προέρχονται από το τμήμα PS σχετικές με την κατάσταση των κλήσεων. Τα δεδομένα για μια κλήση που καταγράφονται είναι : η ταυτότητα (*SessionID*), η χρονική στιγμή άφιξης της κλήσης (*SessionArrival*), η χρονική στιγμή του θανάτου της κλήσης (*Death*) λόγω τερματισμού ή απόρριψης (υποβάθμιση ποιότητας υπηρεσίας), ο τύπος κλήσης (*SessionType*) και η κλάση της ποιότητας υπηρεσίας (*QoS Class*).

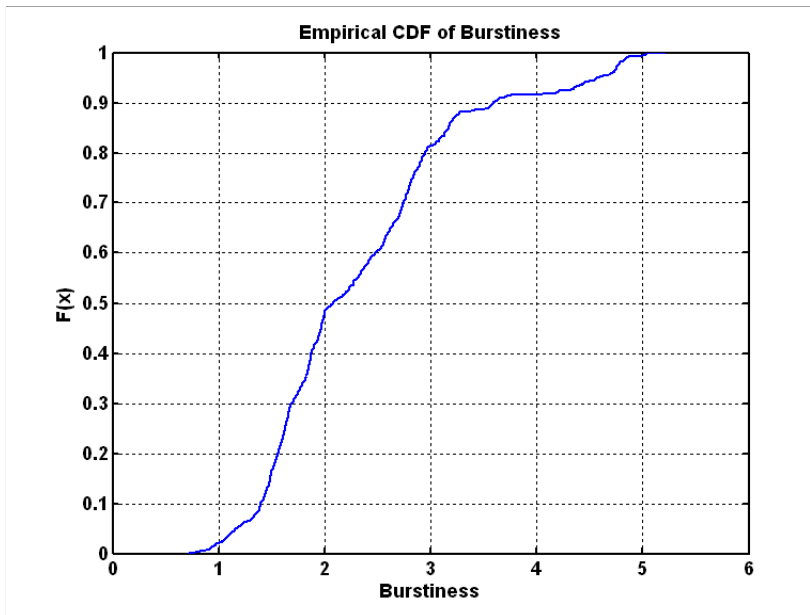
SessionID	Arrival Time	Death Time	Session Type	QoS Class
1	0.166	8.68	8	3
2	0.204	10.93	6	3
3	0.221	10.7	6	3
4	0.335	33.16	7	1
5	1.043	8.58	8	1
6	2.059	22.98	6	1
7	2.422	48.29	9	3
8	2.867	27.96	9	3
9	3.106	21.02	9	3
10	3.337	16.36	15	1
11	3.407	8.61	9	3
12	3.46	14.77	6	1
13	3.757	54.89	15	1
14	4.255	15.58	8	1
15	4.357	15.96	9	3
16	4.563	29.85	15	1
17	4.709	5.75	15	1
18	4.758	11.25	9	3
19	4.788	21.1	6	1
20	5.473	15.67	7	3
21	5.997	65.41	15	1
22	6.232	40.68	9	3
23	6.514	10.84	15	1
24	6.766	12.84	16	1
25	7.138	27.33	7	1
26	7.91	23.11	9	3
27	8.148	20.49	9	3
28	8.766	30.47	9	3
29	9.494	28.02	15	1
30	9.814	12.34	9	3

Πίνακας 11-5: SessionHistoryTable

Ο πίνακας **BurstyTable** της βάση δεδομένων καταγράφει χαρακτηριστικά των κλήσεων όπως ταυτότητα κλήσης (*SessionID*), τύπος κλήσης (*SessionType*), μέσος ρυθμός μετάδοσης της πηγής (*MeanBitRate*), μέσος ρυθμός μετάδοσης της πηγής (*MaxBitRate*), εκρηκτικότητα της πηγής (*Burstiness*) και συνολικό φορτίο κίνησης προς εξυπηρέτηση (*Load*).

<i>SessionID</i>	<i>Session Type</i>	<i>Mean Bit Rate (kbps)</i>	<i>Maximum Bit Rate (kbps)</i>	<i>Burtsiness</i>	<i>Load (bytes)</i>
1	8	127.33	184.62	14.499	1.35e+005
2	6	32.266	51.064	15.826	43200
3	6	32.119	56.471	17.582	42000
4	13	64.224	106.67	16.608	2,63E+08
5	14	130.78	184.62	14.116	1.23e+005
6	12	32.391	53.333	16.466	84600
7	9	16.095	41.5	25.785	92143
8	9	15.719	17.083	10.868	49202
9	9	16.17	48.4	29.932	36140
10	15	16.237	46.5	28.638	26385
11	9	16.382	71.6	43.708	10648
12	12	32.725	53.333	16.297	46200
13	15	16.081	57.1	35.508	1,03E+09
14	14	127.47	165.52	12.985	1.8e+005
15	9	16.199	18.6	11.482	23489
16	15	15.996	44.2	27.633	50546
17	15	18.892	38.8	20.537	2456
18	9	16.48	45	27.305	13349
19	12	32.104	64	19.935	65400
20	7	64.61	92.308	14.287	82200
21	15	15.993	45.4	28.387	1,19E+09
22	9	16.015	74	46.208	68943
23	15	16.644	42.2	25.354	8988
24	16	66.27	170.4	25.713	50034
25	13	64.936	100	1.54	1,64E+08
26	9	16.541	77.4	46.792	31346
27	9	16.212	73	45.029	24966
28	9	16.075	67.6	42.054	43562
29	15	16.092	49.8	30.947	37253
30	9	17.575	34.2	1.946	5536

Πίνακας 11-6: BurstyTable.



Γράφημα 11-Κ : Γράφημα CDF της εκρηκτικότητας των κλήσεων.

Ο πίνακας **Monitor** της βάσης δεδομένων καταγράφει στατιστικά δεδομένα που προέρχονται από την εξυπηρέτηση των κλήσεων στο τμήμα PS. Έτσι, μετά το τέλος της χρονο προσομοίωσης (SimulationTime) για κάθε εγγραφή κλήσης συμπληρώνονται τα παρακάτω πεδία του πίνακα : ταυτότητα κλήσης (SessionID), τύπος κλήσης (SessionType), μέσος ρυθμός μετάδοσης της πηγής (SourceBitRate), μέσος εξυπηρετούμενος ρυθμός μετάδοσης της κλήσης από το τμήμα PS (ServedBitRate), μέση καθυστέρηση των πακέτων της κλήσης συμπεριλαμβανομένης της καθυστέρησης διάδοσης άνω-κάτω ζεύξης (MeanDelay), μέγιστη καθυστέρηση που παρατηρήθηκε σε πακέτα της κλήσης (MaxDelay), τυπική απόκλιση της καθυστέρηση (StdDelay), μέση τιμή του jitter (MeanJitter), μέγιστη τιμή του jitter (MaxJitter) και τυπική απόκλιση του jitter (StdJitter).

Πίνακας 11-7 : Πίνακας Monitor

Session ID	Session Type	Source Bit Rate (kbps)	Served Bit Rate (kbps)	Mean Delay (sec)	Maximum Delay (sec)	Std Delay (sec)	Me.
1	8	127.33	126.91	0.26042	0.34	0.015318	6
2	6	32.266	32.239	0.26028	0.32	0.012204	9
3	6	32.119	32.092	0.25378	0.28	0.0054615	9
4	13	64.224	64.205	0.25434	0.3	0.0064031	1
5	14	130.78	130.68	0.25426	0.28	0.0057605	3
6	12	32.391	32.352	0.25563	0.3	0.0071751	9
7	9	16.095	16.074	0.2648	0.41	0.022499	2
8	9	15.719	15.688	0.29495	0.48	0.05098	4
9	9	16.17	16.152	0.25769	0.31	0.011754	2
10	15	16.237	16.212	0.25607	0.28	0.007533	2
11	9	16.382	16.382	0.26641	0.31	0.016719	
12	12	32.725	32.708	0.25425	0.31	0.0072002	6
13	15	16.081	16.078	0.25952	0.31	0.011443	3
14	14	127.47	127.21	0.25364	0.27	0.0050339	4
15	9	16.199	16.199	0.25801	0.32	0.010251	
16	15	15.996	15.996	0.2578	0.3	0.011024	
17	15	18.892	18.892	0.252	0.27	0.0053619	
18	9	16.48	16.455	0.25421	0.28	0.0070571	2
19	12	32.104	32.098	0.2548	0.29	0.0063848	
20	7	64.61	65.173	0.26019	0.37	0.017612	-
21	15	15.993	15.991	0.25475	0.3	0.0079849	3
22	9	16.015	16.019	0.261	0.34	0.015609	-
23	15	16.644	16.644	0.25017	0.26	0.0012909	

## 11.7 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

### 11.7.1 Σενάριο A

Το σενάριο κίνησης αποτελούνταν από το παρακάτω μίγμα κίνησης (Traffic Mix)

- Ροή κίνησης πραγματικού χρόνου (Real-Time) 50% – QoS Class=1
  - RT-Audio Streaming 32kbps (10%)
  - RT-Audio Streaming 64kbps (10%)
  - RT-Audio Streaming 128kbps (10%)
  - RT-Video Streaming 16kbps (10%)
  - RT-Video Streaming 64kbps (10%)
- Ροή κίνησης μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time) 50% – QoS Class=3
  - NRT-Audio Streaming 32kbps (10%)
  - NRT-Audio Streaming 64kbps (10%)
  - NRT-Audio Streaming 128kbps (10%)
  - NRT-Video Streaming 16kbps (10%)
  - NRT-Video Streaming 64kbps (10%)

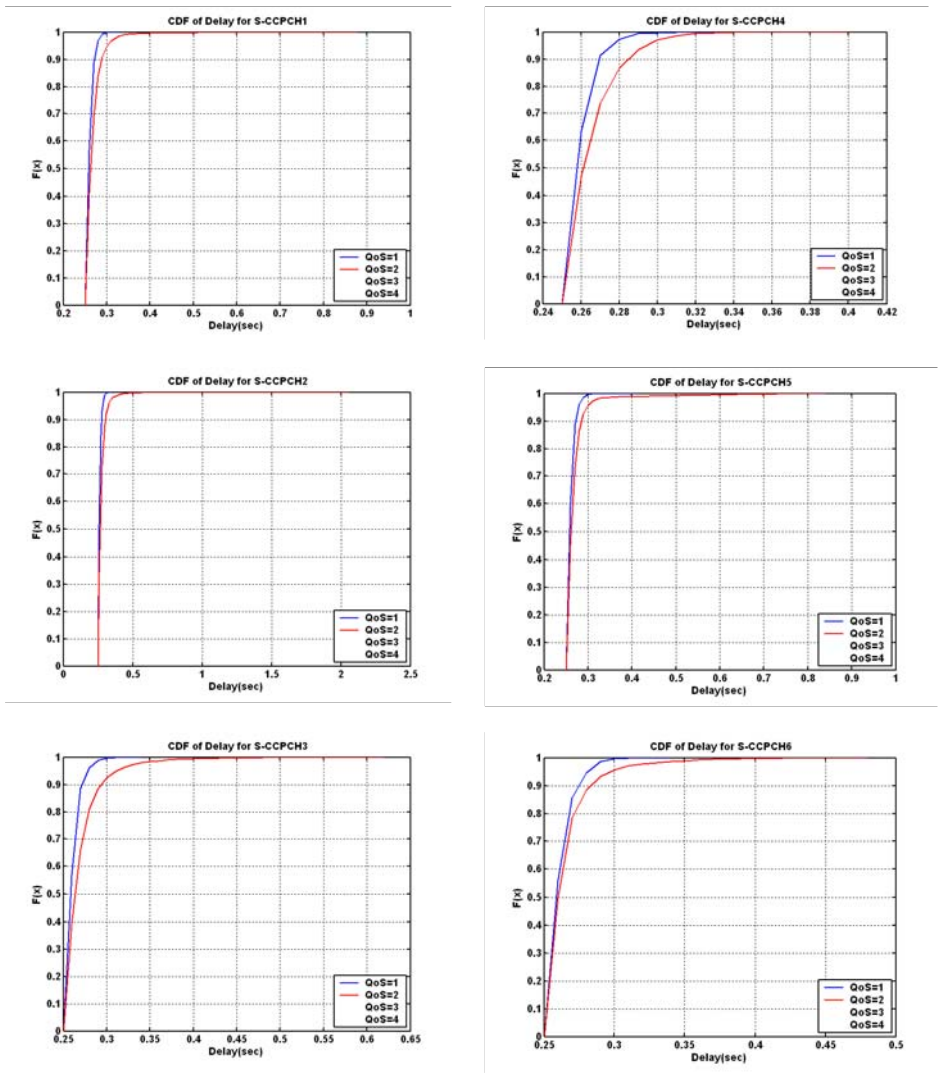
Σύνολο=100%

Το κανονικοποιημένο φορτίο κίνησης που παράγεται για το σύστημα S-UMTS είναι  $n=0.8$ .

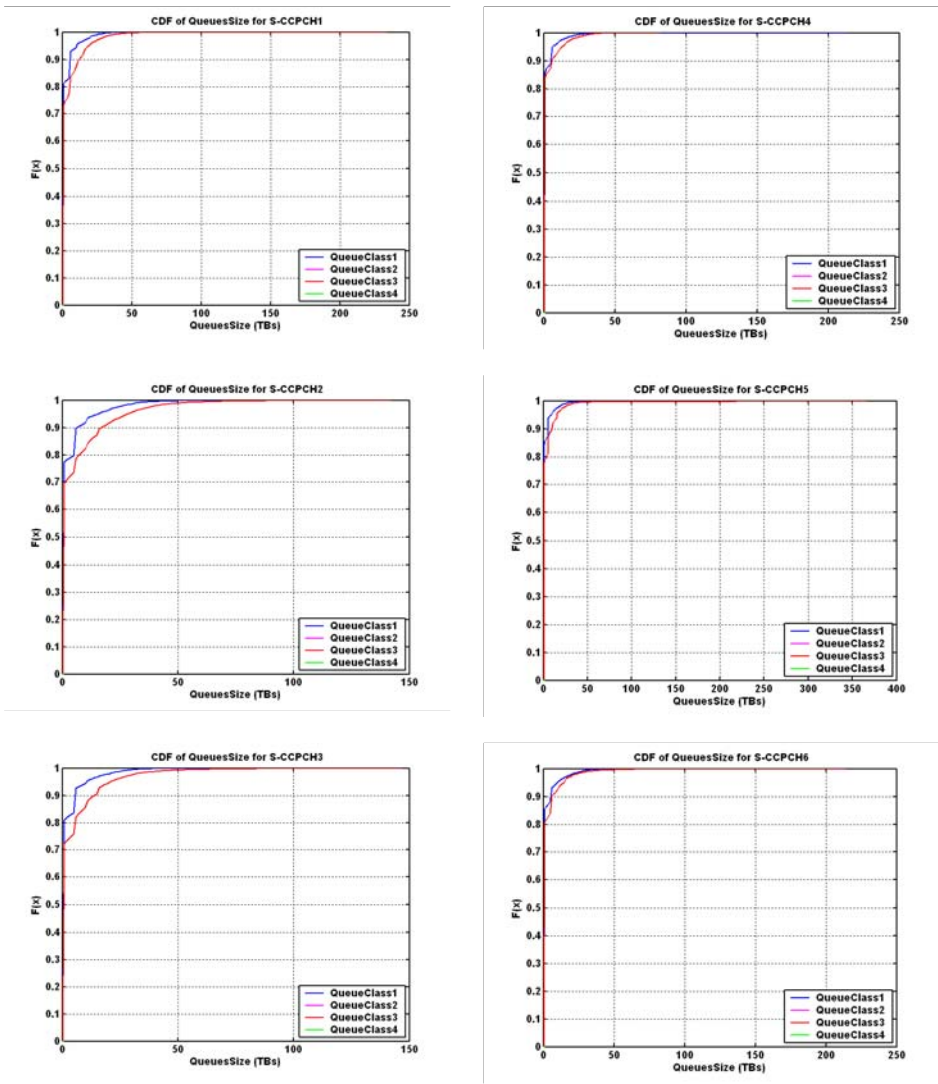
Έτσι, το συνολική προσφερόμενη κίνηση είναι:  $R=0.8 \cdot 6 \cdot 320\text{kbps}=1536\text{kbps}$ .

Η χωρητικότητα του συστήματος είναι  $C_{S-UMTS}=6 \cdot 320\text{kbps}=1920\text{kbps}$ .

Στη συνέχεια, στα γραφήματα, η RT-κίνηση παρίσταται με μπλέ χρώμα και η NRT-κίνηση με κόκκινο, αντίστοιχα.

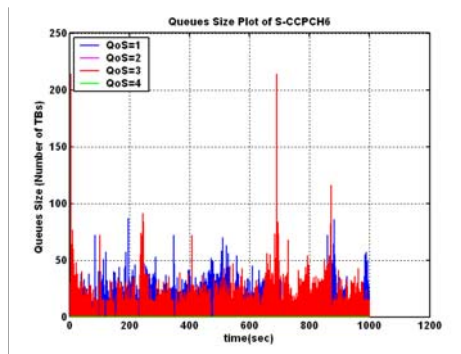
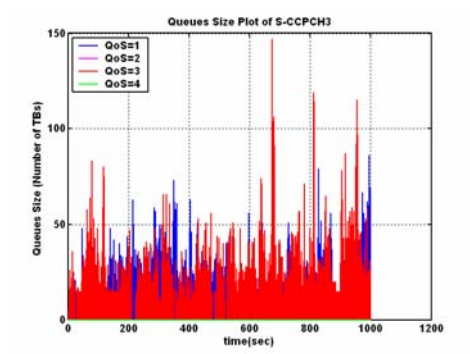
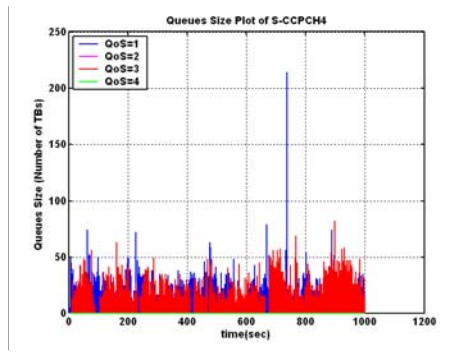
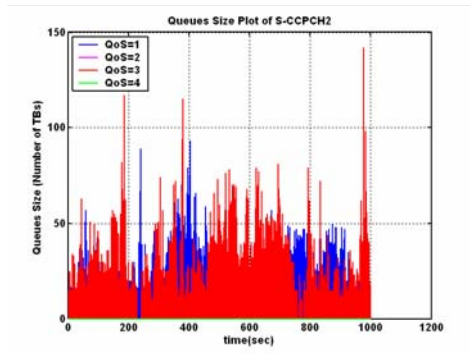
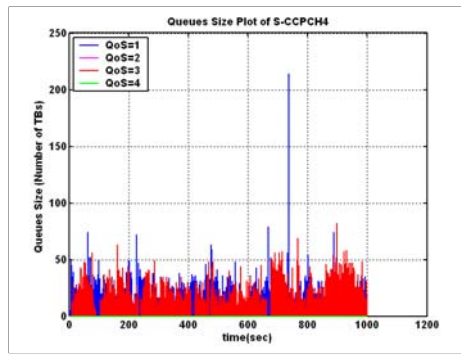
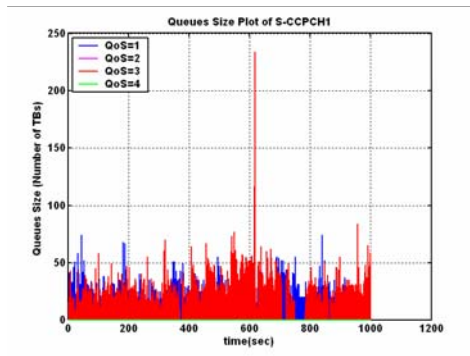


Πίνακας Γραφημάτων 11-1: Γραφήματα CDF της καθυστέρησης σε όλα τα S-CCPCHs

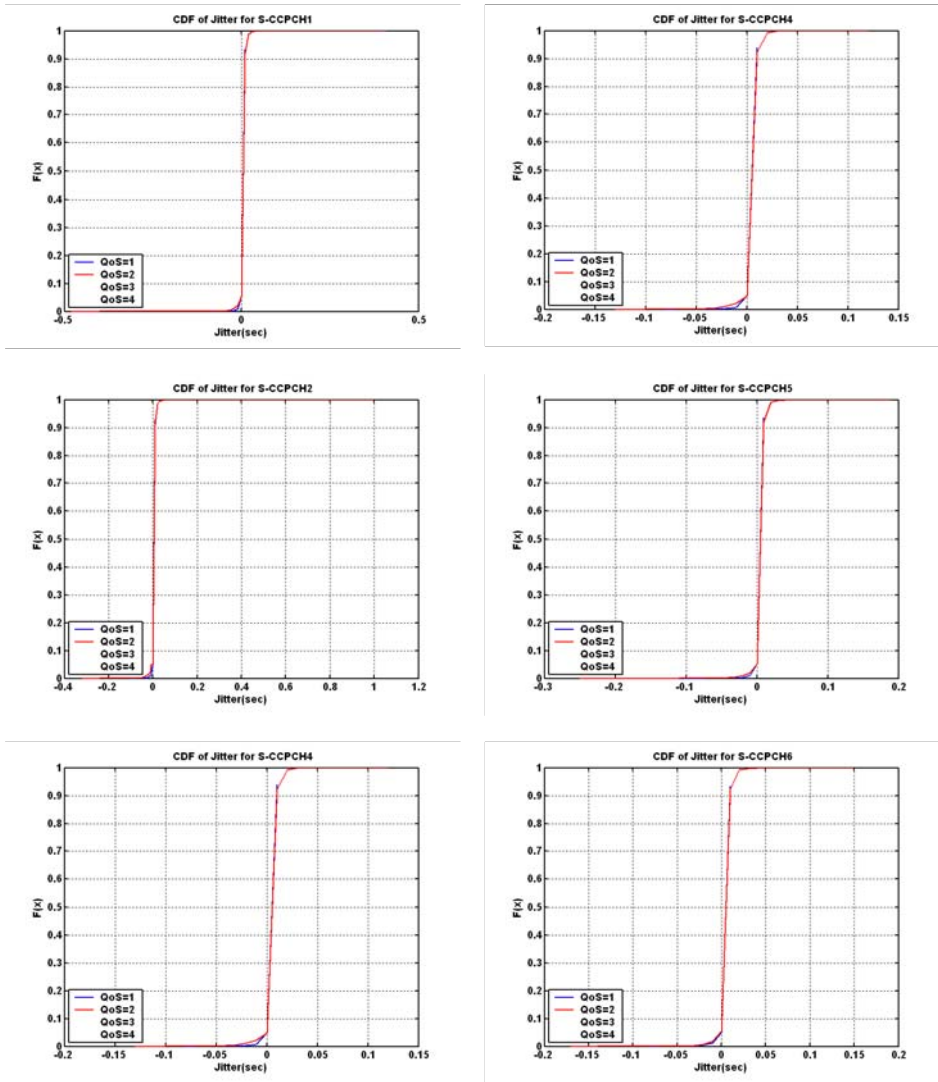


Πίνακας Γραφημάτων 11-2: Γραφήματα CDF του μεγέθους των ουρών (σε TBs)



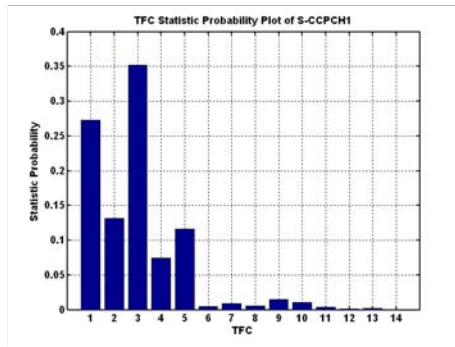


Πίνακας Γραφημάτων 11-3: Γραφήματα της κατάστασης των ουρών.

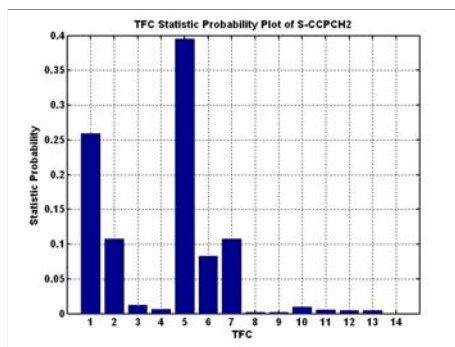


Πίνακας Γραφημάτων 11-4: Γραφήματα CDF του jitter σε όλα τα S-CCPCHs

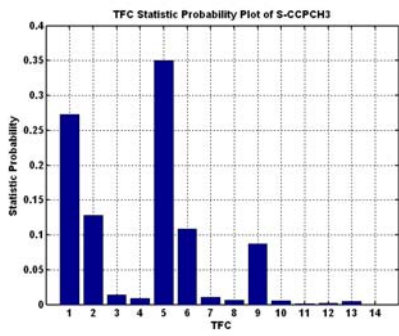
Πίνακας Γραφημάτων 11-5: Πιθανότητα εμφάνισης TFC στα S-CCPCHs



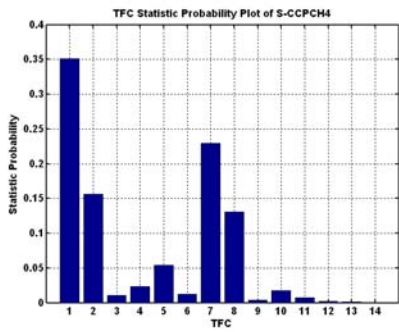
TFC	times	queue1	queue2	queue3	queue4
1	16484	0	0	10	0
2	7965	0	0	7	0
3	21232	10	0	0	0
4	4507	7	0	3	0
5	7038	7	0	0	0
6	287	8	0	0	0
7	533	9	0	0	0
8	317	9	0	1	0
9	925	0	0	9	0
10	657	0	0	8	0
11	226	8	0	2	0
12	98	7	0	1	0
13	117	7	0	2	0
14	5	8	0	1	0



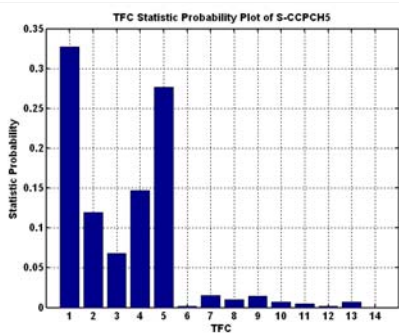
TFC	times	queue1	queue2	queue3	queue4
1	16195	0	0	10	0
2	6749	0	0	7	0
3	785	0	0	9	0
4	423	9	0	0	0
5	24711	10	0	0	0
6	5196	7	0	3	0
7	6727	7	0	0	0
8	109	7	0	1	0
9	117	7	0	2	0
10	595	0	0	8	0
11	369	9	0	1	0
12	277	8	0	2	0
13	316	8	0	0	0
14	3	8	0	1	0



TFC	times	queue1	queue2	queue3	queue4
1	16330	0	0	10	0
2	7653	0	0	7	0
3	833	0	0	9	0
4	535	0	0	8	0
5	21002	10	0	0	0
6	6526	7	0	0	0
7	639	9	0	0	0
8	395	9	0	1	0
9	5221	7	0	3	0
10	347	8	0	0	0
11	98	7	0	1	0
12	104	7	0	2	0
13	257	8	0	2	0
14	5	8	0	1	0

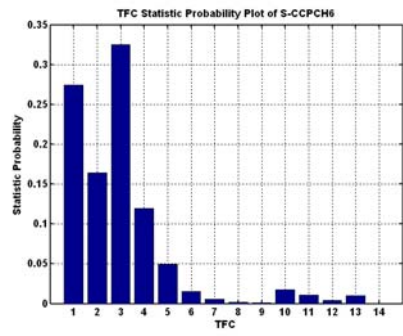


TFC	times	queue1	queue2	queue3	queue4
1	16448	10	0	0	0
2	7326	7	0	0	0
3	484	8	0	0	0
4	1083	9	0	0	0
5	2546	7	0	3	0
6	578	0	0	8	0
7	10773	0	0	10	0
8	6128	0	0	7	0
9	187	8	0	2	0
10	836	0	0	9	0
11	356	9	0	1	0
12	88	7	0	2	0
13	67	7	0	1	0
14	5	8	0	1	0

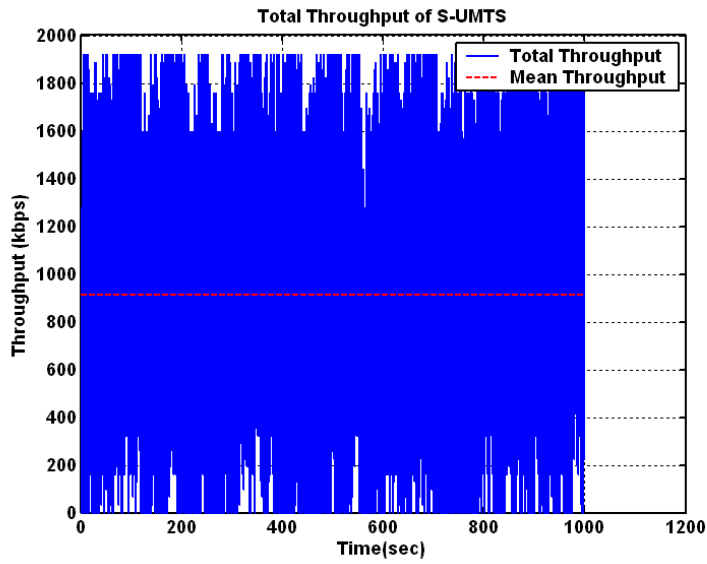


TFC	times	queue1	queue2	queue3	queue4
1	17492	10	0	0	0
2	6387	7	0	0	0
3	3625	7	0	3	0
4	7851	0	0	7	0
5	14792	0	0	10	0
6	98	7	0	2	0
7	822	0	0	9	0
8	530	0	0	8	0
9	778	9	0	0	0

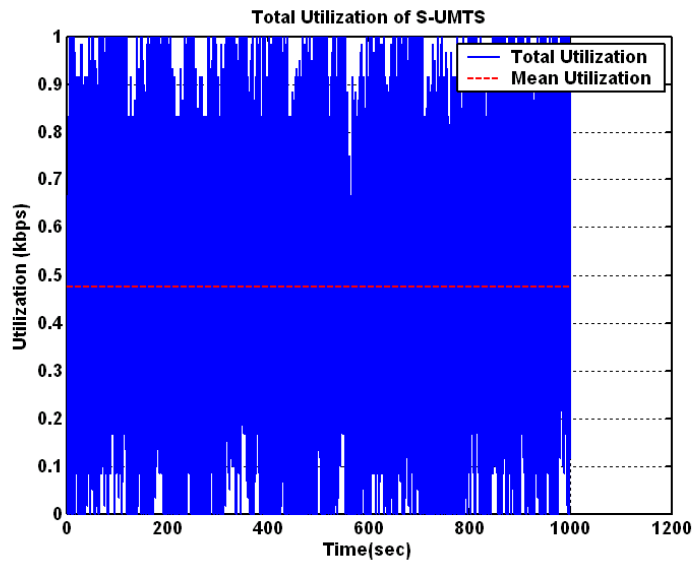
10	378	9	0	1	0
11	240	8	0	2	0
12	82	7	0	1	0
13	389	8	0	0	0
14	4	8	0	1	0



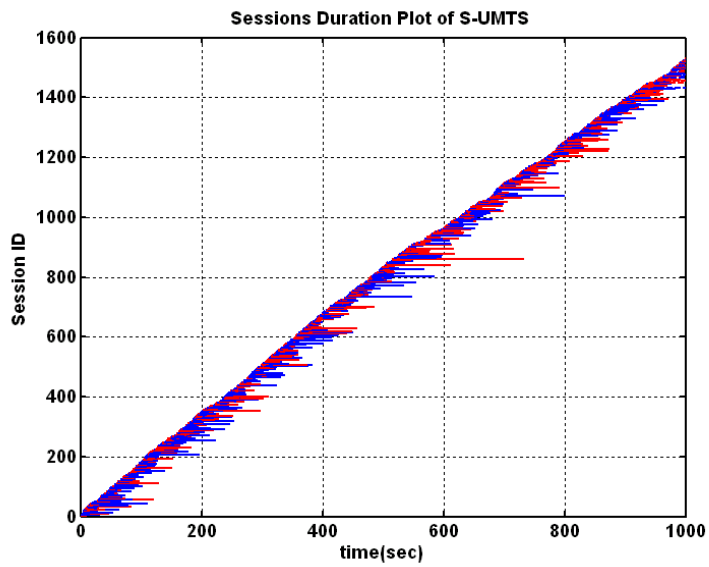
TFC	times	queue1	queue2	queue3	queue4
1	13647	0	0	10	0
2	8179	0	0	7	0
3	16167	10	0	0	0
4	5943	7	0	0	0
5	2461	7	0	3	0
6	742	0	0	9	0
7	274	9	0	1	0
8	75	7	0	2	0
9	66	7	0	1	0
10	875	9	0	0	0
11	550	0	0	8	0
12	213	8	0	2	0
13	509	8	0	0	0
14	3	8	0	1	0



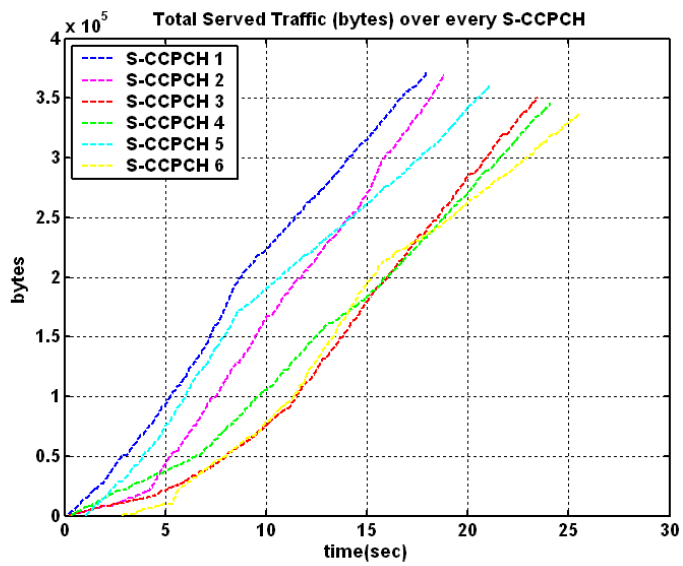
Γράφημα 11-L: Στιγμιαία και μέση ρυθμοαπόδοση του συστήματος των έξι S-CCPCHs



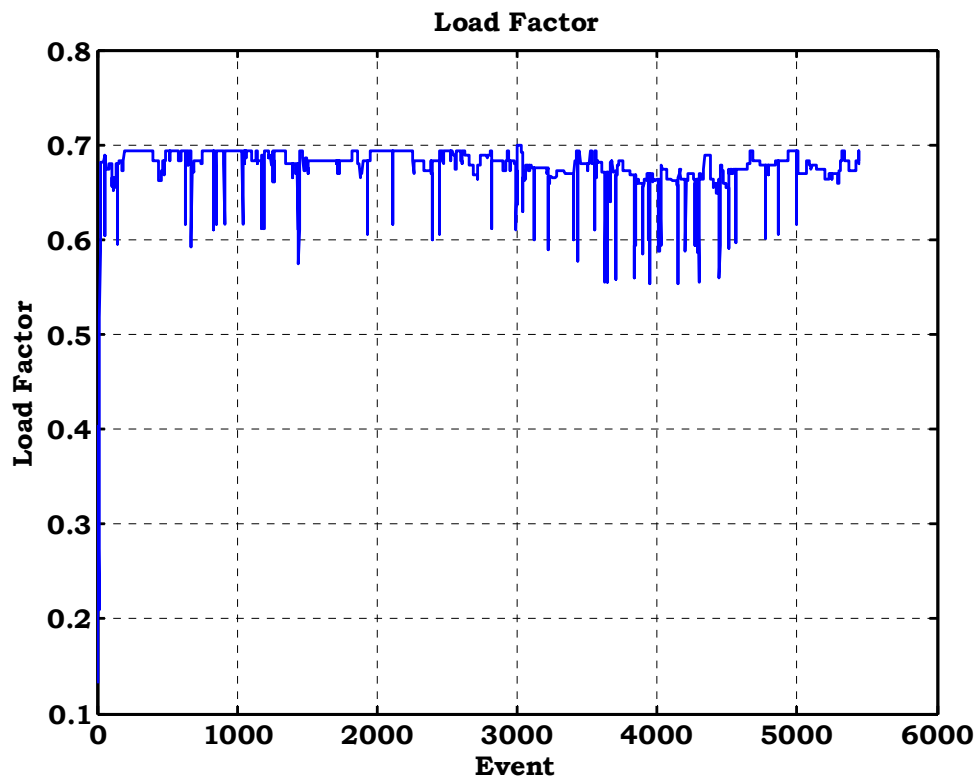
Γράφημα 11-M: Στιγμιαία και μέση χρησιμοποίηση του συστήματος των έξι S-CCPCHs



Γράφημα 11-N: Διάρκεια ζωής των κλήσεων στο σύστημα

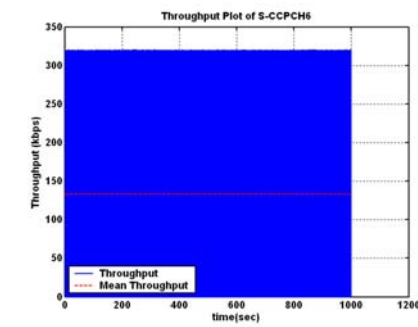
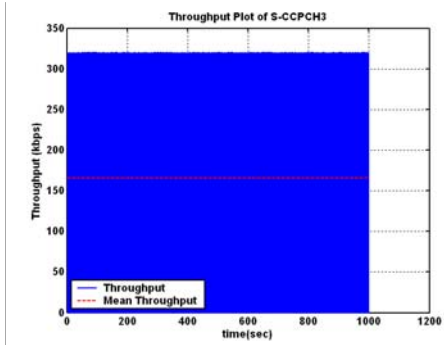
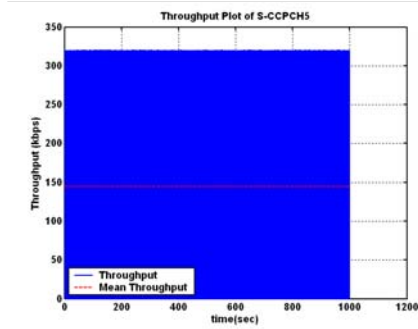
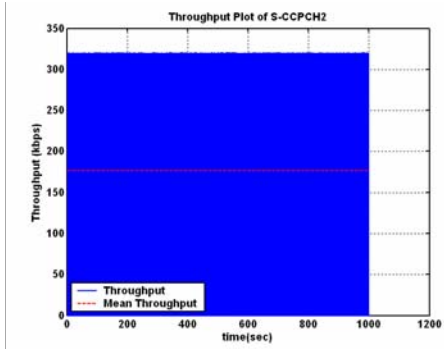
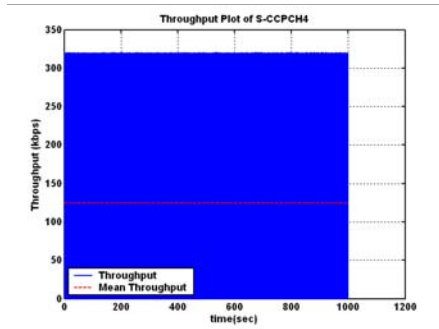
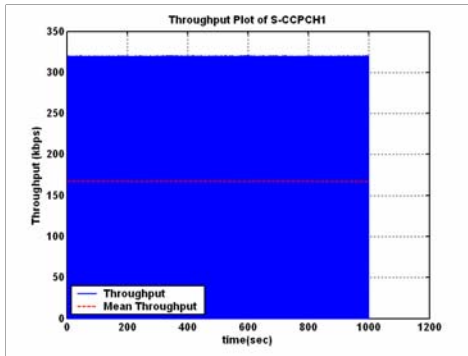


Γράφημα 11-O: Κατανομή του εξυπηρετούμενου φορτίου (σε bytes) στα έξι S-CCPCHs σύμφωνα με το σχήμα αντιστοίχισης (mapping).

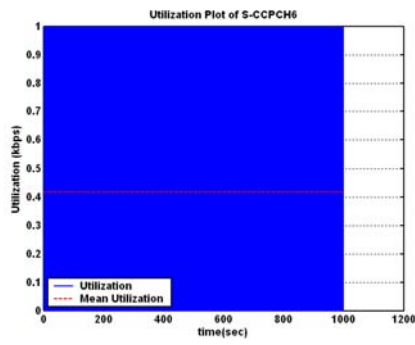
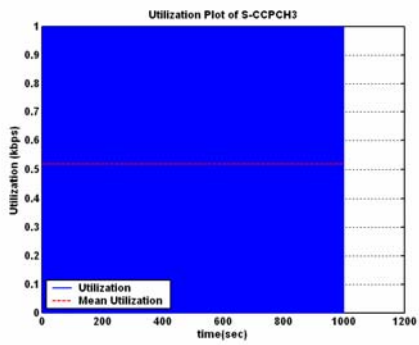
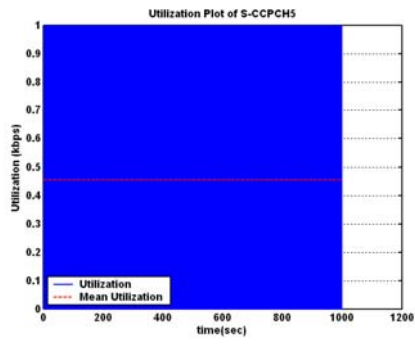
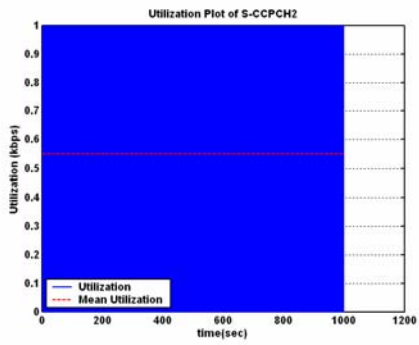
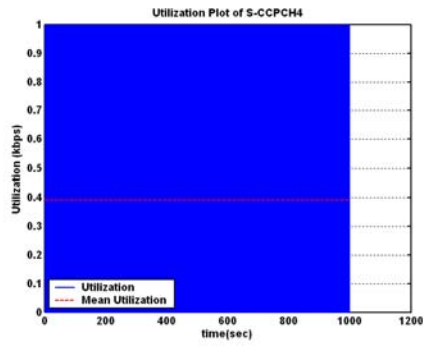
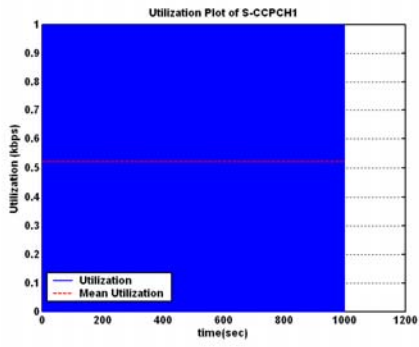


Γράφημα 11-P: Απεικόνιση του παράγοντα φορτίου σύμφωνα με AC-LC για τα διάφορα γεγονότα (γεννήσεις-θάνατοι) στο σύστημα.





Πίνακας Γραφημάτων 11-6: Στιγμαία και μέση ρυθμοαπόδοση των S-CCPCHs



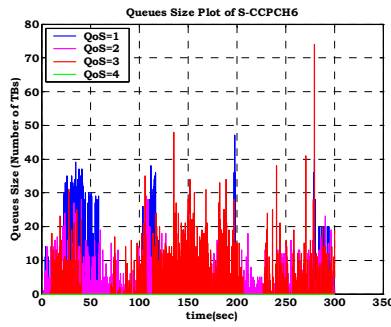
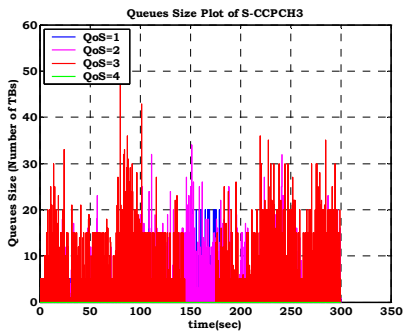
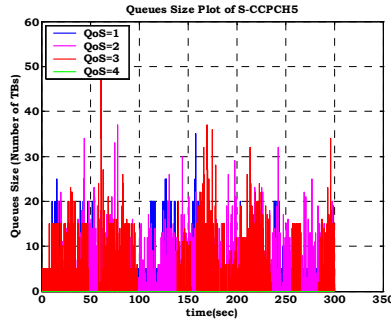
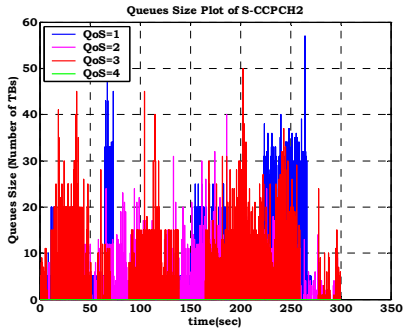
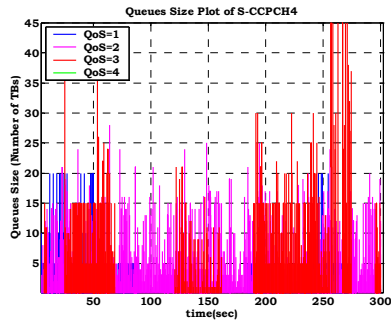
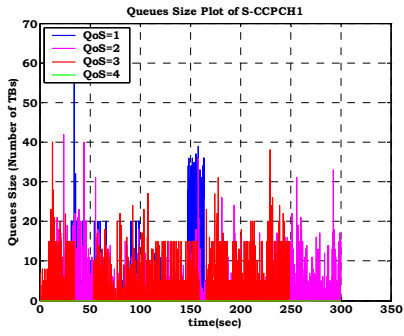
Πίνακας Γραφημάτων 11-7: Στιγμιαία και μέση χρησιμοποίηση των S-CCPCHs

### 11.7.2 Σενάριο Β

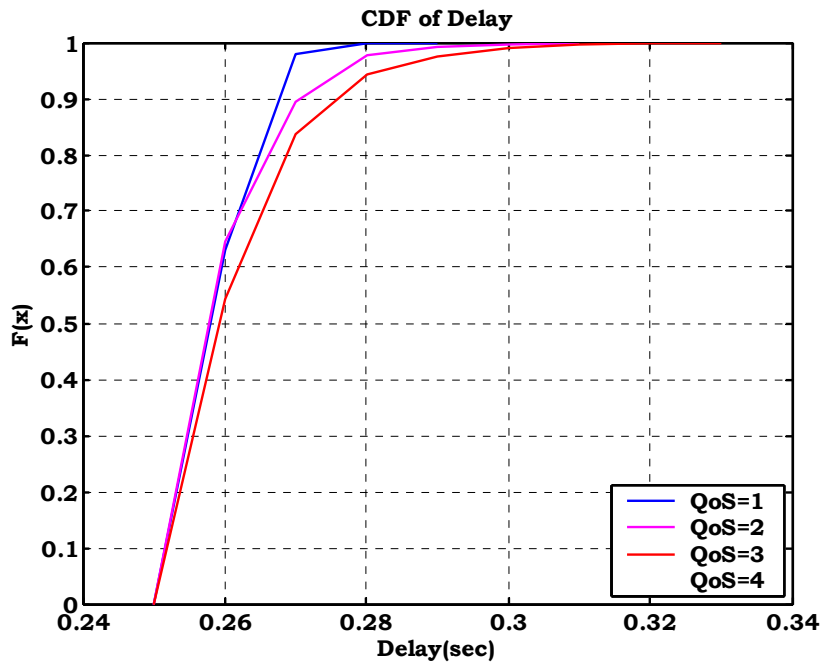
Το σενάριο κίνησης αποτελείται από το παρακάτω μίγμα κίνησης (Traffic Mix)

- Ροή κίνησης πραγματικού χρόνου (Real-Time) 40% – QoS Class=1
  - RT-Audio Streaming 32kbps (30%)
  - RT-Video Streaming 16kbps (10%)
- Ροή κίνησης υπηρεσίας www 20% - QoS Class=2
  - www – 16kbps (20%)
- Ροή κίνησης μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time) 40% – QoS Class=3
  - NRT-Audio Streaming 32kbps (30%)
  - NRT-Video Streaming 16kbps (10%)

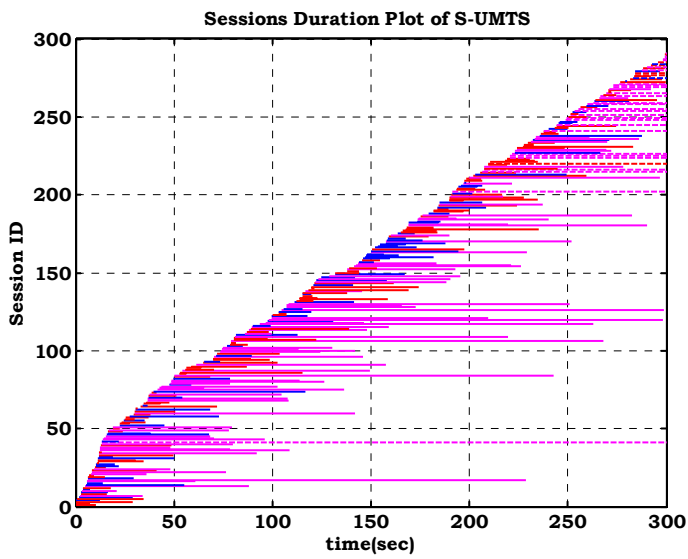
Σύνολο=100%



Πίνακας Γραφημάτων 11-8: Μέγεθος των ουρών αναμονής



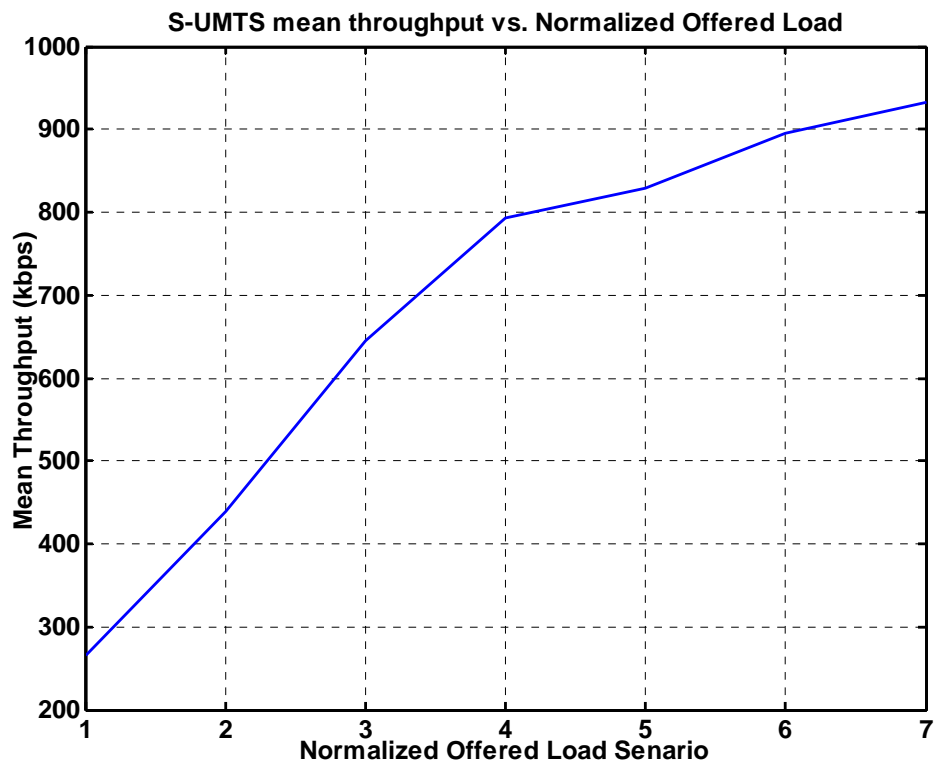
Γράφημα 11-Q: Συνάρτηση CDF της καθυστέρησης για τις τρεις κλάσεις



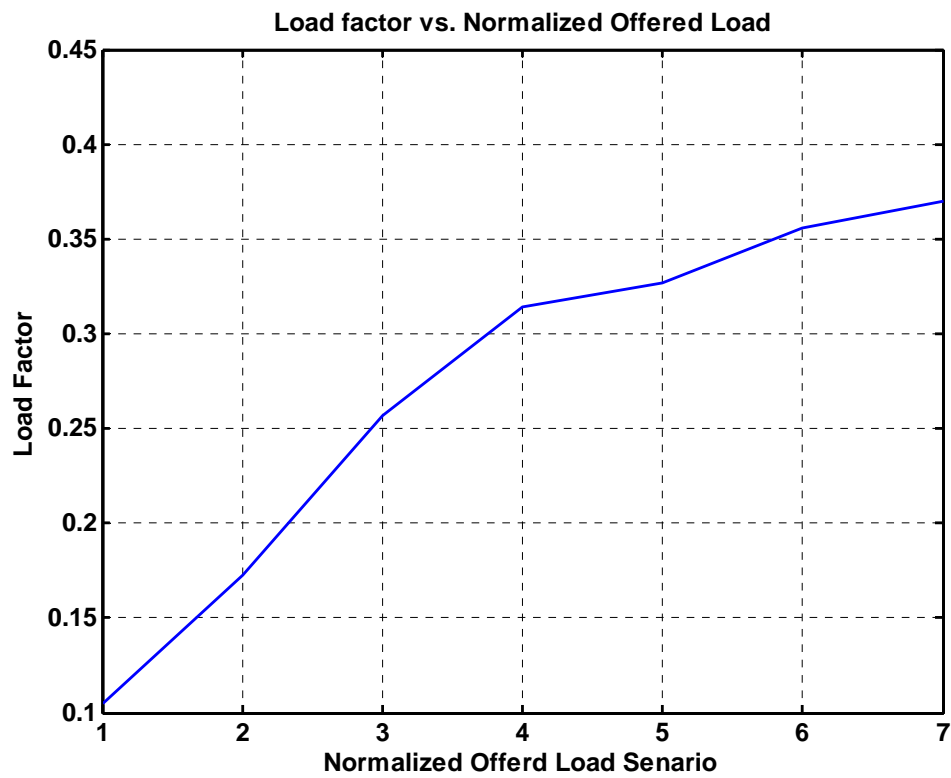
Γράφημα 11-R: Διάρκεια των κλήσεων

### 11.7.3 Σενάριο C

Σκοπός του σεναρίου αυτού είναι η παρουσίαση της επίδοσης του συστήματος S-UMTS για τις διάφορες τιμές του κανονικοποιημένου προσφερόμενου φορτίου από 0.1 έως 0.7.



Γράφημα 11-S: Επίδοση του συστήματος για τις διάφορες τιμές κανονικοποιημένου φορτίου από 0.1 έως 0.7



Γράφημα 11-T: Ο παράγοντας φορτίου συναρτήσει του προσφερόμενου φορτίου για τιμές του κανονικοποιημένου προσφερόμενου φορτίου από 0.1 έως 0.7

## 12 Συμπεράσματα

Αναμφίβολα, όλα τα νέα δίκτυα επικοινωνιών θα είναι πλήρως IP και αυτό λόγω του γεγονότος της τεράστιας επιτυχίας της διείσδυσης του διαδικτύου στην μαζική αγορά. Σε αυτή την νέα πραγματικότητα, οι κινητές και συνάμα οι δορυφορικές επικοινωνίες θα πρέπει προσαρμόσουν την τεχνολογία τους προς αυτή την κατεύθυνση. Η περίπτωση του δορυφορικού UMTS τεχνολογίας WCDMA που παρουσιάστηκε στην διπλωματική εργασία είναι μια πολλά υποσχόμενη μελλοντική πρόταση. Κεντρικό τμήμα των νέου συστήματος όπως παρουσιάστηκε στην διπλωματική εργασία είναι ο Προγραμματιστής Εκπομπής Πακέτων (Packet Scheduler).

Για να σχεδιαστεί ένας Προγραμματιστής Εκπομπής Πακέτων, μελετήθηκε διεξοδικά η τεχνολογία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Οι νέες υπηρεσίες βασίζονται στην μεταγωγή πακέτων, γεγονός που χαρίζει μεγαλύτερη ευελιξία στην διασύνδεση και ολοκλήρωση των ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Επιπλέον, η στατιστική πολυπλεξία των πακέτων παρέχει την δυνατότητα στον τηλεπικοινωνιακό πάροχο να μοιράζει τους τηλεπικοινωνιακούς πόρους σε περισσότερους χρήστες. Η εισαγωγή της έννοιας της Ποιότητας Υπηρεσίας στις τηλεπικοινωνίες εξασφαλίζει την δυνατότητα να παρέχονται υπηρεσίες διαφορετικής ποιότητας (ανοχή σε καθυστέρηση, απώλεια πακέτων κλπ). Η κατάταξη των υπηρεσιών σε κλάσεις είναι απαραίτητη σε ένα δίκτυο πολυμέσων. Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου όπως βίντεο και ήχος θα πρέπει να τυγχάνουν προτεραιότητας από το δίκτυο σε σχέση με υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου και υποβάθρου. Είναι βέβαιο ότι οι νέες απαιτητικές υπηρεσίες σε εύρος ζώνης θα πρέπει να εξυπηρετηθούν από ένα ευρυζωνικό ασύρματο δίκτυο τεχνολογίας WCDMA. Οι δορυφορικές τηλεπικοινωνίες έχουν το πλεονέκτημα της παγκόσμιας κάλυψης με την δυνατότητα της εξυπηρέτησης χρηστών οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Η εισαγωγή της τεχνολογίας του Διαδικτύου στις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες και η συνεργασία αυτών με τα επίγεια σταθερά και κινητά τηλεπικοινωνιακά συστήματα θα προσφέρει στον κινητό χρήστη πλήρη κινητικότητα και υπηρεσίες με κλιμακούμενη ποιότητα υπηρεσίας

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την μελέτη και την προσομοίωση του συστήματος S-UMTS είναι :

- Η καθυστέρηση διάδοσης άνω-κάτω ζεύξης των 250ms για υπηρεσίες με μεγάλη ευσθησία στην καθυστέρηση όπως οι υπηρεσίες πολυμέσων πραγματικού χρόνου αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα που επιδρά αρνητικά στην ποιότητα υπηρεσίας. Ίσως, η χρησιμοποίηση LEO-δορυφόρων να λύνει αυτό το πρόβλημα αλλά τότε αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος όπως οι διαπομπές.
- Η μεταγωγή πακέτων σε κοινά φυσικά κανάλια όπως τα S-CCPCHs δίνει την δυνατότητα σε μεγαλύτερο αριθμό χρηστών να έχουν πρόσβαση στο μέσο.
- Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι κατάλληλες για υπηρεσίες πολυεκπομπής και ευρείας εκπομπής.

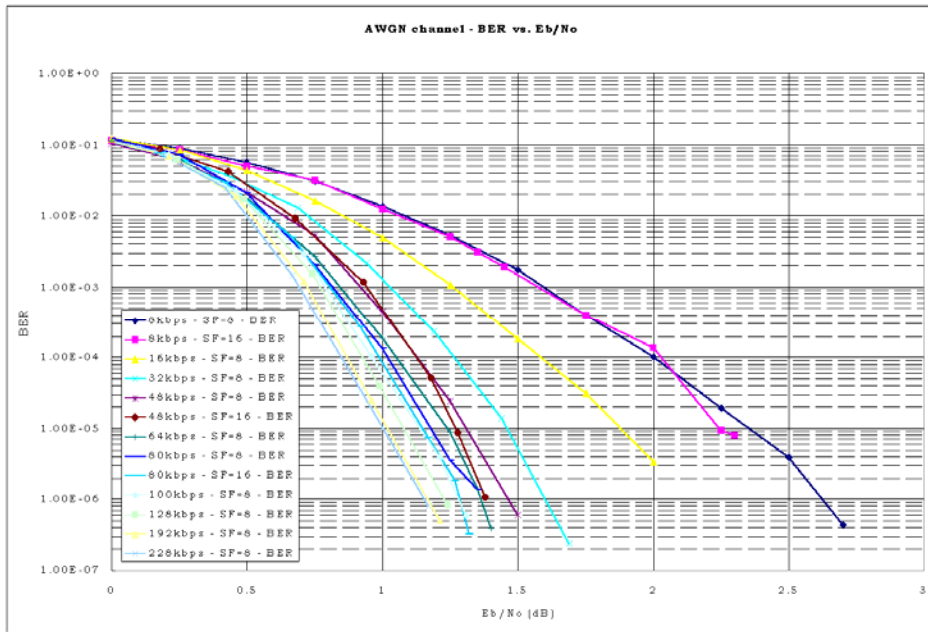


- Υπηρεσίες οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλή εκρηκτικότητα προκαλούν καθυστέρηση στα πακέτα καθώς και υψηλές τιμές του jitter. Οι υπηρεσίες σταθερού ρυθμού μετάδοσης με υψηλή τιμή του παράγοντα δραστηριότητας ελέγχονται και εξυπηρετούνται από το σύστημα καλλίτερα.
- Πολυπλεξία κλήσεων οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλες ενεργές περιόδους συνεπάγεται και υψηλότερο κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας.
- Ο Έλεγχος Αποδοχής και ο Έλεγχος Φορτίου ακόμα και για υψηλές τιμές κανονικοποιημένου φορτίου αποδείχθηκε ότι τελικά δεν πετυχαίνουν υψηλή χρησιμοποίηση του συστήματος. Ο Προγραμματιστής Εκπομπής Πακέτων παρέχει την δυνατότητα της ενημέρωσης για την κατάσταση του συστήματος (τερματισμοί κλήσεων) ακόμα και με συχνότητα 100Hz. Η δυνατότητα αυτή ίσως θα πρέπει να αξιοποιηθεί ώστε το σύστημα Διαχείρισης Πόρων να παρακολουθεί στενά την κατάσταση των κλήσεων και γενικότερα του δικτύου S-UMTS.
- Σε στιγμές χαμηλής χρησιμοποίησης του συστήματος, σκόπιμο θα ήταν να εξυπηρετούνται κλήσεις υποβάθρου όπως μετάδοση μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Οι κλήσεις υποβάθρου θα μπορούν να γίνονται αποδεκτές στο σύστημα με ένα ευέλικτο σχήμα αποδοχής κλήσης και αυτό γιατί οι κλήσεις αυτές παρουσιάζουν μεγάλη ανοχή σε καθυστέρηση.
- Παρατηρήθηκε επίσης το γεγονός, κλήσεις υψηλού ρυθμού μετάδοσης όπως ροή ήχου ή βίντεο 128kbps ή 256kbps αντίστοιχα, να απορρίπτονται από RRM τμήμα λόγω της εξυπηρέτησης πολλών κλήσεων χαμηλότερου ρυθμού. Η πιθανότητα αποκλεισμού αυτών των κλήσεων μπορεί να μειωθεί με την εισγωγή ενός συστήματος αναμονής όπου μια κλήση υψηλού ρυθμού τίθεται σε αναμονή έως ότου υπάρξουν ελεύθεροι πόροι.

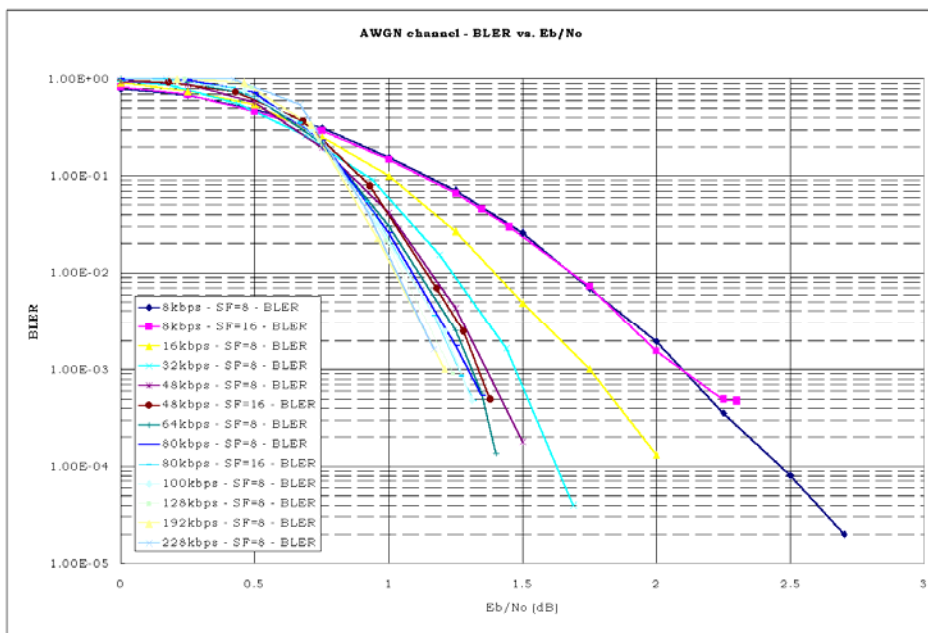
## **Παράρτημα Α**

### **Παράμετροι Συστήματος**

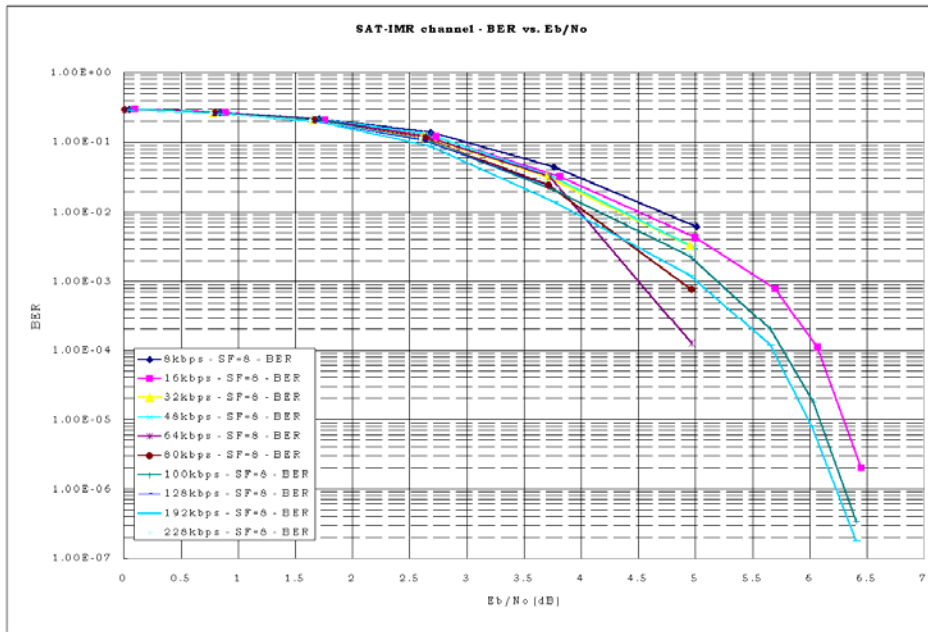
Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που παρουσιάζονται στη συνέχεια. Τα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζουν  $BER=f(E_b/N_0)$  και  $BLER=f(E_b/N_0)$  για AWGN κανάλι για το συνδυασμένο SAT-IMR κανάλι.



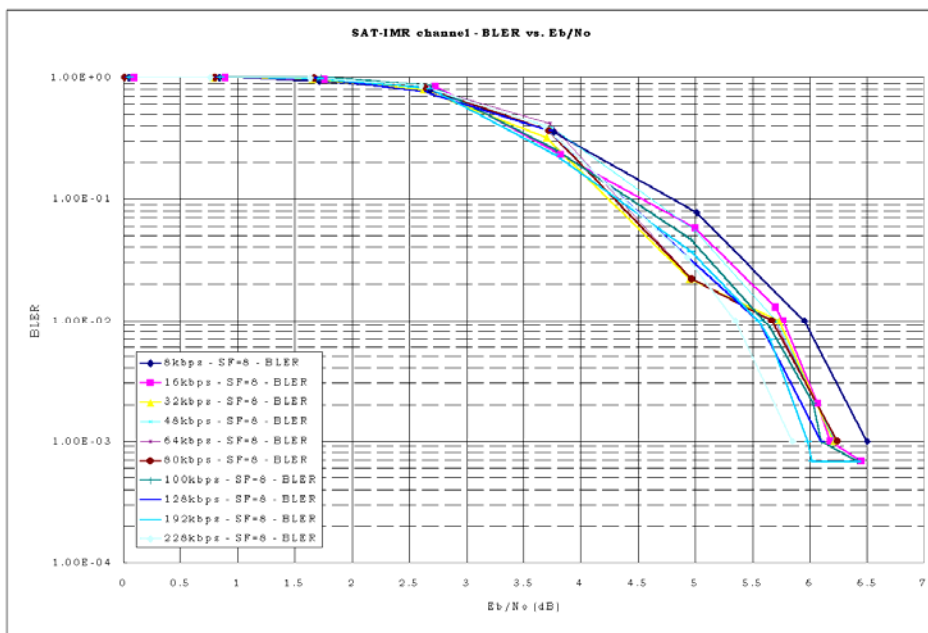
Διάγραμμα 0-1:  $BER=f(Eb/No)$  για AWGN κανάλι



Διάγραμμα 0-2:  $BLER=f(Eb/No)$  για AWGN κανάλι



Διάγραμμα 0-3:  $BER=f(Eb/No)$  για SAT-IMR κανάλι



Διάγραμμα 0-4:  $BLER=f(Eb/No)$  για AWGN κανάλι

**Επίδοση FACH σε AWGN κανάλι**

$E_b/N_0$ [dB]	BER	BLER	Erroneous Bits	Erroneous Blocks	kbps	SF	Channel	Mod	Cod	TTI (ms)
0.00	1.20E-01	7.80E-01	2206	78	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.25	8.73E-02	6.70E-01	1606	67	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.50	5.70E-02	4.85E-01	1060	49	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.75	3.11E-02	3.15E-01	1053	58	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.00	1.37E-02	1.54E-01	5629	343	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.25	5.34E-03	7.07E-02	59878	4312	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.50	1.75E-03	2.61E-02	19454	1571	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.75	3.96E-04	6.93E-03	181711	17292	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
2.00	1.01E-04	1.96E-03	952	100	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
2.25	1.91E-05	3.55E-04	990	100	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
2.50	3.88E-06	8.16E-05	874	100	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
2.70	4.36E-07	2.00E-05	400	100	8	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.00	1.15E-01	8.24E-01	4706	183	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.25	8.47E-02	6.79E-01	3882	169	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.50	4.99E-02	4.62E-01	3058	154	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.75	3.17E-02	2.95E-01	3679	186	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.00	1.23E-02	1.48E-01	5732	375	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.25	5.15E-03	6.62E-02	27888	1946	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.35	3.11E-03	4.52E-02	33384	2635	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.45	1.91E-03	2.98E-02	72420	6150	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.75	3.96E-04	7.19E-03	2008	198	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
2.00	1.36E-04	1.53E-03	3262	200	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
2.25	9.21E-06	4.92E-04	688	200	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
2.30	7.90E-06	4.69E-04	310	100	8	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.00	1.23E-01	9.10E-01	4219	91	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.25	8.41E-02	7.50E-01	2893	75	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.50	4.37E-02	5.50E-01	1640	60	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.75	1.64E-02	2.53E-01	1665	75	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.00	5.02E-03	1.00E-01	7665	445	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.25	1.09E-03	2.72E-02	36964	2685	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.50	1.86E-04	4.92E-03	1288	99	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.75	3.16E-05	1.01E-03	1076	100	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
2.00	3.40E-06	1.32E-04	888	100	16	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
-0.06	1.21E-01	9.70E-01	8044	97	32	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.19	7.59E-02	8.60E-01	5038	86	32	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.44	3.51E-02	5.54E-01	2352	56	32	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.69	1.29E-02	2.61E-01	1575	48	32	8	AWGN	QPSK	TURBO	20

0.94	2.18E-03	9.09E-02	3235	203	32	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.19	2.35E-04	1.55E-02	9512	946	32	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.44	1.39E-05	1.64E-03	558	99	32	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.69	2.40E-07	4.01E-05	397	100	32	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.00	1.04E-01	9.50E-01	10241	95	48	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.25	5.89E-02	8.81E-01	5850	89	48	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.50	2.15E-02	5.73E-01	2624	71	48	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.75	5.29E-03	1.98E-01	1889	72	48	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.00	4.54E-04	4.25E-02	2188	208	48	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.25	2.43E-05	4.30E-03	2329	419	48	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.50	6.09E-07	1.80E-04	313	94	48	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
-0.07	1.33E-01	1.00E+00	29082	222	48	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.18	8.56E-02	9.12E-01	20984	227	48	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.43	4.21E-02	7.34E-01	13779	244	48	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.68	9.12E-03	3.64E-01	5661	230	48	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.93	1.18E-03	7.86E-02	2948	199	48	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.18	5.12E-05	6.90E-03	1481	203	48	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.28	8.59E-06	2.47E-03	493	144	48	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.38	1.05E-06	4.85E-04	213	100	48	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.00	1.14E-01	1.00E+00	14844	100	64	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.25	6.11E-02	9.30E-01	7962	93	64	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.50	1.80E-02	6.61E-01	2909	82	64	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.75	2.71E-03	2.15E-01	1528	93	64	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.00	1.90E-04	3.06E-02	1155	143	64	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.25	8.84E-06	2.53E-03	1284	282	64	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.35	1.41E-06	5.61E-04	329	100	64	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.40	3.84E-07	1.35E-04	100	27	64	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.00	1.23E-01	9.90E-01	20000	99	80	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.25	7.14E-02	9.70E-01	11590	97	80	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.50	2.13E-02	7.26E-01	4284	90	80	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.75	2.05E-03	2.29E-01	1438	99	80	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.00	1.33E-04	2.61E-02	1011	122	80	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.25	3.55E-06	1.77E-03	643	197	80	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.35	1.36E-06	5.33E-04	394	95	80	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
-0.08	1.30E-01	1.00E+00	46760	222	80	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.17	7.48E-02	9.80E-01	30232	244	80	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.42	2.97E-02	8.06E-01	16065	269	80	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.67	5.03E-03	3.57E-01	5152	225	80	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.92	2.70E-04	5.43E-02	1112	138	80	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.17	7.34E-06	3.61E-03	351	106	80	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.27	1.84E-06	8.57E-04	174	50	80	16	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.32	3.23E-07	4.77E-04	212	100	80	16	AWGN	QPSK	TURBO	20

-0.04	1.21E-01	1.00E+00	24532	100	100	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.21	7.14E-02	9.50E-01	14444	95	100	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.46	2.23E-02	7.61E-01	4920	83	100	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.71	2.90E-03	3.04E-01	1738	90	100	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.96	1.04E-04	3.15E-02	934	140	100	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.21	3.87E-06	2.50E-03	773	247	100	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.31	5.85E-07	4.79E-04	247	100	100	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
-0.01	1.17E-01	1.00E+00	30170	100	128	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.24	6.19E-02	1.00E+00	15985	100	128	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.49	1.72E-02	8.06E-01	5496	100	128	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.74	1.54E-03	2.31E-01	1724	100	128	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.99	3.87E-05	2.14E-02	467	100	128	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.24	8.30E-07	8.98E-04	239	100	128	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
-0.04	1.21E-01	1.00E+00	46915	100	192	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.21	6.85E-02	1.00E+00	26452	100	192	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.46	1.94E-02	9.17E-01	8170	100	192	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.71	1.24E-03	3.38E-01	1415	100	192	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.96	2.55E-05	2.25E-02	437	100	192	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.21	5.19E-07	1.01E-03	198	100	192	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
-0.08	1.33E-01	1.00E+00	61146	100	228	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.17	8.03E-02	1.00E+00	36819	100	228	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.42	2.44E-02	9.90E-01	11287	100	228	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.67	1.43E-03	5.43E-01	1210	100	228	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
0.92	3.46E-05	4.43E-02	354	99	228	8	AWGN	QPSK	TURBO	20
1.17	7.98E-07	1.62E-03	223	99	228	8	AWGN	QPSK	TURBO	20

## Επίδοση FACH σε συνδυασμένο SAT-IMR κανάλι

(οι τιμές με κόκκινο είναι με προσέγγιση).

$E_b/N_0$ [dB]	BER	BLER	Erroneous Bits	Erroneous Blocks	kbps	SF	Channel	Speed	Mod	Cod	TTI (ms)
0.05	3.03E-01	1.00E+00	5072	91	8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.84	2.68E-01	1.00E+00	4485	91	8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.71	2.15E-01	9.34E-01	3594	85	8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.68	1.37E-01	7.80E-01	2288	71	8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.76	4.37E-02	3.52E-01	732	32	8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.01	6.03E-03	7.69E-02	101	7	8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.95		1.00E-02			8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.50		1.00E-03			8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.10	2.98E-01	1.00E+00	9318	91	16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.89	2.64E-01	1.00E+00	8249	91	16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.76	2.07E-01	9.56E-01	6479	87	16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.73	1.18E-01	8.46E-01	3696	77	16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.82	3.15E-02	2.31E-01	987	21	16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.00	4.28E-03	5.77E-02	2143	84	16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.70	7.84E-04	1.29E-02	314	15	16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.77		1.00E-02			16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.07	1.10E-04	2.06E-03	110	6	16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.18		1.00E-03			16	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.45	< 2.00E-06	< 6.87E-04	0	0	8	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
-0.01	2.98E-01	1.00E+00	18027	91	32	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.78	2.67E-01	1.00E+00	16103	91	32	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.65	2.09E-01	9.67E-01	12594	88	32	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.62	1.24E-01	7.91E-01	7446	72	32	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.70	3.22E-02	3.19E-01	1933	29	32	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
4.95	3.33E-03	2.20E-02	200	2	32	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.73		1.00E-02			32	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.21		1.00E-03			32	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.04	3.00E-01	1.00E+00	26874	91	48	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.83	2.66E-01	1.00E+00	23812	91	48	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.70	2.13E-01	9.78E-01	19047	89	48	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.67	1.29E-01	8.13E-01	11568	74	48	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.75	3.20E-02	3.85E-01	2867	35	48	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.00	3.08E-03	5.49E-02	276	5	48	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.71		1.00E-02			48	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.22		1.00E-03			48	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.01	2.95E-01	1.00E+00	34991	91	64	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20



0.80	2.64E-01	1.00E+00	31384	91	64	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.67	2.13E-01	1.00E+00	25237	91	64	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.64	1.22E-01	8.35E-01	14525	76	64	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.73	3.18E-02	4.18E-01	3770	38	64	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
4.97	1.26E-04	2.20E-02	15	2	64	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.69		1.00E-02			64	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.23		1.00E-03			64	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.01	2.93E-01	1.00E+00	43359	91	80	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.80	2.63E-01	1.00E+00	38910	91	80	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.67	2.07E-01	9.89E-01	30589	90	80	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.64	1.14E-01	8.24E-01	16888	75	80	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.72	2.40E-02	3.63E-01	3542	33	80	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
4.97	7.58E-04	2.20E-02	112	2	80	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.67		1.00E-02			80	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.24		1.00E-03			80	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.06	2.94E-01	1.00E+00	54160	91	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.85	2.63E-01	1.00E+00	48376	91	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.72	2.04E-01	1.00E+00	37621	91	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.69	1.02E-01	8.57E-01	18807	78	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.78	2.04E-02	2.53E-01	3754	23	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
4.96	2.28E-03	4.67E-02	6724	68	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.60		1.00E-02			100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.66	2.04E-04	8.59E-03	480	10	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.03	1.82E-05	2.06E-03	107	6	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.10		1.00E-03			100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.41	< 3.40E-07	< 6.87E-04	0	0	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.01	2.91E-01	1.00E+00	68368	91	128	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.80	2.59E-01	1.00E+00	60942	91	128	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.67	1.99E-01	9.89E-01	46723	90	128	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.63	1.07E-01	7.58E-01	25053	69	128	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.72	2.35E-02	3.63E-01	5522	33	128	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.55		1.00E-02			128	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.10		1.00E-03			128	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.06	2.87E-01	1.00E+00	101012	91	192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.85	2.51E-01	1.00E+00	88171	91	192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.72	1.90E-01	9.78E-01	66900	89	192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.68	8.73E-02	8.13E-01	30713	74	192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.77	1.40E-02	2.31E-01	4927	21	192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
4.96	1.23E-03	3.71E-02	6891	54	192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.55		1.00E-02			192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.66	1.18E-04	6.87E-03	529	8	192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20

5.98		1.00E-03			192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.02	7.83E-06	6.87E-04	88	2	192	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
6.41	< 1.76E-07	< 6.787E-04	0	0	100	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
-0.03	2.93E-01	1.00E+00	122141	91	228	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
0.76	2.61E-01	1.00E+00	108894	91	228	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
1.63	2.05E-01	9.89E-01	85458	90	228	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
2.60	1.17E-01	8.57E-01	48611	78	228	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
3.68	2.84E-02	3.96E-01	11861	36	228	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
4.93	2.60E-03	3.30E-02	1083	3	228	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.35		1.00E-02			228	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20
5.85		1.00E-03			228	8	SAT-IMR	50	QPSK	TURBO	20

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Βενιέρης Ι. «Δίκτυα Ευρείας Ζώνης», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2001.
- [2] Βενιέρης Ι., Νικολούζου Ε. «Τεχνολογίες Διαδικτύου», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2002.
- [3] Θεολόγου Μ. «Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2002.
- [4] Κανάτας Α., Κωνσταντίνου Φ. «Συστήματα Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών», Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών, Αθήνα 2001.
- [5] Καψάλης Χ., Κωπτής Π. «Δορυφορικές Τηλεπικοινωνίες», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2002.
- [6] Λογοθέτης Μ. «Θεωρία Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως και Εφαρμογές», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2001.
- [7] Μάγκλαρης Β., Χιώτης Τ., Καρούνος Τ., Σταματελόπουλος Φ. «Διαχείριση Δικτύων Υπολογιστών», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1994.
- [8] Μάγκλαρης Β. «Συστήματα Αναμονής», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2002.
- [9] Μόνιμη Ομάδα Τηλεπικοινωνιακής Ορολογίας (ΜΟΤΟ) «Γενική κα Ειδική Τηλεπικοινωνιακή Ορολογία», Διεύθυνση Ποιότητας, Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδας, Αθήνα 1998.
- [10] Angelou, Evangelos; Koutsokeras, Nektarios; Andrikopoulos, Ilias; Mertzanis, Ioannis; Karaliopoulos, Merkourios; Henrio, Pierre “Admission and Preventive Load Control for Delivery of Multicast and Broadcast Services via S-UMTS”, ASMS Conference 2003 First International Conference on Advanced Satellite Mobile Systems.
- [11] Information Society Technologies, Satellite UMTS IP-based Network (SATIN)  
[www.ist-satin.org](http://www.ist-satin.org)
- [12] Jens Zander, Seong-Lyun Kim «Radio Resource Management», Artech House Publishers, 2001.
- [13] Holma H., Toskala. «WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communications», 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2002.
- [14] Werner Perndl «Scheduling Algorithms for UMTS FDD Downlink», Technischen Universität Wien, Wien 2001.
- [15] Kubic M. «Uplink Packet Scheduling Algorithms in WCDMA Systems», MSc Thesis, Chalmers University of Technology, 1999.
- [16] Laiho J., Wacker A., Novosad T. «Radio Network Planning and Optimisation for UMTS», John Wiley & Sons Ltd., U.K., 2002.
- [17] Lutz E. «Issues in satellite personal communication systems», Wireless Networks 4 (1998), p.109-124.

- [18] Lutz E., Cygan D., Dippold M., Dolainsky F., Papk W. «The Land Mobile Satellite Communication Channel – Recordings, Statistics, and Channel Model», IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.40, NO.2, May 1991.
- [19] Barts M., Stutzman W. «Modeling and Simulation of Mobile Satellite Propagation» IEEE Transactions on Antennas and Propagation, VOL.40, NO.4, April 1992.
- [20] M. Allman et al., «Ongoing TCP Research related to Satellites», RFC 2760, February 2000.
- [21] Mertzanis I. «ATM QoS Provisioning over Broadband Satellite Networks», PhD Thesis, 1999.
- [22] F. Fitzek, M. Reisslein, “MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation”, TKN Technical report, October 2000,
- [23] <http://www-tkn.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.htm>
- [24] ETSI SES S-UMTS WG, «Satellite Component of UMTS: Aspects and Principles», ETSI TR 101 865
- [25] ETSI, “Satellite Component of UMTS/IMT 2000; A-family; Part 1: Physical channels and mapping of transport channels into physical channels” S-UMTS-A 25.211, December 2000
- [26] ETSI S-UMTS TR 101866 V1.1.1 : “Satellite Component of UMTS/IMT2000 Analysis and Definition of the Packet Mode”
- [27] 3GPP TS 23.107, version 3.5.0 Release 1999 Technical Specification Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); QoS Concept and Architecture, 1999.
- [28] 3GPP, “Medium Access Control (MAC); protocol specification”, 3GPP Technical Specification (TS) 25.321 v5.3.0, Dec. 2002
- [29] 3GPP TS 25.211 V5.1.0 (2002-06) Technical Specification Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)
- [30] 3GPP TS 25.302 V5.1.0 (2002-06) 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; “Services provided by the physical layer”, Release 5
- [31] 3GPP TR 23.846 V0.5.1 : “Multimedia Broadcast/Multicast Service; Architecture and Functional Description (Release 6)”
- [32] 3GPP TS 25.323: Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification
- [33] 3GPP TS 25.322: Radio Link Control (RLC) Protocol specification

- [34] 3GPP TS 25.922: Radio Resource Management Strategies
- [35] Braden R., Clark D., Shenker S. «Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview », IETF, RFC 1633, 1994.
- [36] Blake S., Black D., Carlson M., Davies E., Wang Z., Weiss W. «An architecture for Differentiated Services», IETF RFC 2475, 1998.
- [37] Rosen E., Viswanathan A. «Multiprotocol Label Switching Architecture», IETF, RFC 3031, 2001.
- [38] Postel, J.B. «Internet Protocol», IETF, RFC 791, 1981.
- [39] Postel, J.B. «Transmission Control Protocol», IETF, RFC 768, 1981.
- [40] Postel, J.B. «User Datagram Protocol», IETF, RFC 768, 1981.
- [41] Braden R., Zhang L., Berson S., Herzog S., Jamin S. «Resource Reservation Protocol (RSVP)», IETF, RFC 2475, 1997.
- [42] Schulzrinc H. «RTP: A Transport Protocol for Real Time Applications», IETF, RFC 1989, 1996.
- [43] Schulzrinc H., Lanphier R., Rao A. «RTSP: Real Time Streaming Protocol», IETF, RFC 1989, 1996.
- [44] Handley M., Schulzrinne H., Schooler E., Rosenberg J. «SIP: Session Initiation Protocol», IETF, RFC 2543, 1999.
- [45] Handley M., Jacobson V., «SDP: Session Description Protocol», RFC 2327, 1998.