

**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΟΝΟΜΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ

ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

(ΑΜ : 706)

ΤΙΤΛΟΣ

**«Η ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΜΕΣΩ
ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ »**

***«A STUDY ON ARCHITECTURES FOR NODE INTERCONNECTION THROUGH
SATELLITE FEATURING BANDWIDTH MANAGEMENT CAPABILITIES»***

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΞΥΛΟΥΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ – 2009 – ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Αφιερωμένη

Με ιδιαίτερο σεβασμό και αγάπη

*Στους γονείς μου
Γιώργο και Ελένη*

*για την πολύτιμη συμπαράστασή τους
καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου*

Ευχαριστίες

*Η πτυχιακή μου εργασία, που εκπονήθηκε
στο Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων
του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Κρήτης
(ΑΤΕΙ – Ηρακλείου Κρήτης),
ήταν η αφορμή να γνωρίσω
τις ιδιαίτερες γνώσεις και τα ανθρώπινα χαρίσματα,
του **Καθηγητή μου κ. Γεώργιου Ξυλούρη**,
του εκφράζω την ιδιαίτερη εκτίμησή μου
στο πρόσωπό του και τις θερμές ευχαριστίες μου,
για την ευκαιρία που μου έδωσε για την εκπόνηση αυτής της εργασίας και
την αμέριστη στήριξη και η βοήθειά του
Οι γνώσεις που αποκόμισα από την συνεργασία μαζί του, - ως Επιβλέπων
Καθηγητής- κατά την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας,
θα μου είναι φωτεινός οδηγός
για την μετέπειτα επιστημονική και επαγγελματική πορεία μου .*

*Επίσης θερμές ευχαριστίες οφείλω και εκφράζω, με ιδιαίτερη τιμή και σεβασμό,
στους Καθηγητές μου, κ. **Πάλλη Ευάγγελο** και κ. **Γαρδίκη Γεώργιο**, για την
πολύτιμη βοήθεια τους, καθώς επίσης
και στον σεβαστό μου Καθηγητή κ. **Ζαχαρόπουλο Βασίλειο**.*

*Κατά την διάρκεια των σπουδών μου
στο Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων
και της παραμονής μου στο Ηράκλειο Κρήτης, γνώρισα αξιόλογους ανθρώπους
με πλούσια επιστημονική γνώση και ανθρωπιά, καθώς η καθημερινή επαφή μαζί
τους, μου έδωσε αρκετά εφόδια που θα μου είναι απαραίτητα στη συνέχεια της
επιστημονικής και κοινωνικής μου πορείας.*

*Ευχαριστίες θερμές,
με σεβασμό και εκτίμηση,
στον κ. **Κώστα Ξυλούρη**, μέλος ΕΤΕΠ
του Φυσικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Κρήτης
για την πολύτιμη βοήθεια του,
καθώς επίσης και στην κα **Σταυρακάκη Μαρία**,
Προϊσταμένη Γραμματείας
του Τμήματος ΕΠΠ,
η οποία δείχνοντας ιδιαίτερη ευαισθησία,
ήταν πάντα αρωγός
για την αντιμετώπιση και επίλυση κάθε προβλήματος,
μέσα στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων της.*

Γρηγοριάδης Γρηγόριος
Νοέμβριος 2009 – Ηράκλειο Κρήτης

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΟΝΟΜΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ

ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

(ΑΜ : 706)

ΤΙΤΛΟΣ

**«Η ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΜΕΣΩ
ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ »**

***«A STUDY ON ARCHITECTURES FOR NODE INTERCONNECTION THROUGH
SATELLITE FEATURING BANDWIDTH MANAGEMENT CAPABILITIES»***

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΞΥΛΟΥΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ – 2009 – ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται μια εισαγωγή στο πεδίο των δορυφορικών επικοινωνιών και συγκεκριμένα η απαραίτητη εισαγωγική θεωρία στο γνωστικό πεδίο καθώς και απαραίτητοι ορισμοί. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις δυνατότητες των δορυφορικών επικοινωνιών καθώς και στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει κάθε δορυφορική σύνδεση έτσι ώστε να εξασφαλίζεται το απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας στις διάφορες περιπτώσεις δορυφορικών υπηρεσιών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορες εκδοχές διαχείρισης πόρων για βελτιστοποίηση των δορυφορικών επικοινωνιών με τη βοήθεια επικοινωνίας μεταξύ επιπέδων γειτονικών και μη.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται μεγάλες ερευνητικές δράσεις στην Ευρώπη με στόχο την ανάπτυξη των δορυφορικών επικοινωνιών δείχνοντας πως το συγκεκριμένο θέμα αποτελεί στρατηγικό στόχο της Ευρώπης αλλά και τα επιπλέον οφέλη που μπορούμε να αποκομίσουμε από την περαιτέρω ανάπτυξη των δορυφορικών επικοινωνιών.

SUMMARY

The present essay is consisted of four chapters.

The first chapter is an introduction to the subject of satellite communications. In particular, the introductory theory and the necessary definitions of relevant terms are presented. Furthermore, the chapter addresses the capabilities of satellite communications and the unresolved problems.

The second chapter focuses on the necessary characteristics a satellite connection should have in order to guarantee the demanded quality of service for each case of satellite service.

In the third chapter there are various versions of resource management techniques for optimization of satellite communications through the exploitation of communication among adjacent and non-adjacent layers.

Finally, in the fourth chapter, major research acts in Europe are presented which suggests that the development in this area consists a strategic goal of Europe and implies the additional benefits that we expect to obtain from further development in satellite communications.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή στις δορυφορικές επικοινωνίες και στη διαχείριση πόρων

1.1	Δορυφορικές Τηλεπικοινωνίες	9
1.2	Βασικά θέματα στον σχεδιασμό των συστημάτων δορυφορικής επικοινωνίας	16
1.3	Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης	18
1.4	Μελέτη ασύρματης διασύνδεσης και περιπτώσεις	22
	1.4.1 S-UMTS	22
	1.4.2 Τυποποίηση DVB-S	23
	1.4.3 Τυποποίηση DVB-RCS	25
	1.4.4 Τυποποίηση DVB-S2	33
1.5	Δορυφορικά Δίκτυα	37
	1.5.1 Περίληψη διασύνδεσης SI-SAP	41
1.6	Καινοτόμες προσεγγίσεις για τα δορυφορικά δίκτυα	43
	1.6.1 Οριζόντια προσέγγιση	44
	1.6.2 Κατακόρυφη προσέγγιση	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Απαιτήσεις QoS για υπηρεσίες πολυμέσων

2.1	Εισαγωγή	48
2.2	Απαιτήσεις υπηρεσιών QoS	49
	2.2.1 Απαιτήσεις απόδοσης για συνομιλητικές υπηρεσίες	51
	2.2.2 Απαιτήσεις απόδοσης για διαδραστικές υπηρεσίες	54
	2.2.3 Απαιτήσεις απόδοσης για υπηρεσίες συνεχούς ροής	56
	2.2.4 Απαιτήσεις απόδοσης για υπηρεσίες – εφαρμογές που λειτουργούν στο υπόβαθρο	57
2.3	Μοντέλα / πλαίσια εργασίας IP QoS	58
2.4	Υπηρεσίες ευρείας εκπομπής και πολλαπλών εκπομπών	63
	2.4.1 Υπηρεσία καθυστερημένου πραγματικού χρόνου σε γεωσύγχρονα δορυφορικά συστήματα διανομής	67
	2.4.2 Χαρακτηρισμός σεναρίων και αποτελέσματα	70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Προσεγγίσεις διεπιπέδων για διαχείριση πόρων

3.1	Εισαγωγή	75
3.2	Η ανάγκη ενός σχεδιασμού εναέριας σύνδεσης διεπιπέδων	75
3.3	Σχεδιασμός διεπιπέδων: απαιτήσεις ανάλογα του δορυφορικού σεναρίου	79
3.3.1	Απαιτήσεις περίπτωσης ευρυζωνικού δορυφόρου (DVB-S/S2)	79
3.3.2	Δορυφορικές απαιτήσεις στην περίπτωση κινητών χρηστών (S-UMTS)	83
3.3.3	Απαιτήσεις περίπτωσης δορυφόρων χαμηλής τροχιάς	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Δραστηριότητα στην διαχείριση δορυφορικών πόρων

4.1	Εισαγωγή	88
4.2	Σχετικά προγράμματα στην Ευρώπη	90
4.2.1	TWISTER	91
4.2.2	MAESTRO	92
4.2.3	SatNEx	92
4.2.4	NEWCOM	93
4.2.5	VIRTUOUS	93
4.2.6	Δράσεις COST	94
4.2.7	Η πρωτοβουλία ISI	95

Συμπεράσματα	97
---------------------	----

Βιβλιογραφία	
Αναφορές-References	98-100

Ακρωνύμια	101-104
------------------	---------

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΚΟΝΕΣ – ΠΙΝΑΚΕΣ - ΣΧΗΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εικόνα 1.1	Περιγραφή των τροχιών δορυφόρων	11
Εικόνα 1.2	Βασική αρχιτεκτονική δορυφορικού δικτύου	15
Εικόνα 1.3	Παράδειγμα αρχιτεκτονικής συστήματος DVB-S/DVB-RCS	25
Εικόνα 1.4	Οργάνωση των πόρων στην εναέρια διασύνδεση MF-TDMA	27
Εικόνα 1.5	Παραδείγματα για την χρησιμοποίηση των δορυφορικών συνδέσεων στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα	37
Εικόνα 1.6	Γενική αρχιτεκτονική δικτύου BSM	38
Εικόνα 1.7	Τυποποιημένη στοίβα πρωτοκόλλου	40
Εικόνα 1.8	Διαχειριστής πρωτοκόλλου και αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου BSM	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εικόνα 2.1	Χαρτογράφηση κατηγοριών QoS τελικών χρηστών	50
Εικόνα 2.2	Μηχανισμοί QoS στην διασύνδεση δρομολογητή	59
Εικόνα 2.3	Αρχιτεκτονική Υπηρεσίας DRT	69
Εικόνα 2.4	Επανεκπομπή δεδομένων χρησιμοποιώντας προτεραιότητα επανεκπομπής ανάλογη του απαιτούμενου εύρους ζώνης	74
Εικόνα 2.5	Απώλεια και λήψη δεδομένων επανεκπομπής χρησιμοποιώντας μια προτεραιότητα επανεκπομπής ανάλογη του απαιτούμενου εύρους ζώνης	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εικόνα 3.1	Σύγχρονη όψη της στοίβας πρωτοκόλλου Διαδικτύου	76
Εικόνα 3.2	(α) Πιθανή εναέρια διασύνδεση διεπιπέδων βασισμένη στον παγκόσμιο συντονιστή. (β) Πιθανή εναέρια διασύνδεση διεπιπέδων κεντροποιημένο ως προς το επίπεδο MAC.	79

ΠΙΝΑΚΕΣ – ΣΧΗΜΑΤΑ

Πίνακας 2.1	Προσδοκίες απόδοσης τελικού χρήστη υπηρεσιών συνομιλίας	52
Πίνακας 2.2	Προσδοκίες απόδοσης χρήστη για διαδραστικές υπηρεσίες	55
Πίνακας 2.3	Προσδοκίες απόδοσης χρήστη για υπηρεσίες ροής	57
Πίνακας 2.4	Παραδείγματα εφαρμογών σε όρους QoS	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή στις δορυφορικές επικοινωνίες και στη διαχείριση πόρων

1.1 Δορυφορικές τηλεπικοινωνίες

Οι επικοινωνίες πολυμέσων έχουν υποστηριχθεί ευρέως με επίγειες υποδομές που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες για να επιτύχουν μεγάλη χωρητικότητα. Μια τεχνολογικά εναλλακτική λύση εμφανίζεται με την χρήση των δορυφόρων και συγκεκριμένα με την παροχή πολυμεσικών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε σταθερούς και κινούμενους χρήστες σε διάφορες περιπτώσεις όπου τα επίγεια δίκτυα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή είναι υπερφορτωμένα.

Σήμερα, ένας μεγάλος αριθμός ατόμων που ζουν σε απομακρυσμένες ή υποανάπτυκτες περιοχές δεν έχουν προοπτική για πρόσβαση σε Διαδίκτυο υψηλών ταχυτήτων για πολλά χρόνια. Αυτό το πρόβλημα αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο στην προσπάθεια τα οφέλη της Κοινωνίας της Πληροφορίας να γίνουν προσιτά σε όλους. Το εν λόγω ψηφιακό χάσμα μπορεί να λυθεί με τις δορυφορικές επικοινωνίες οι οποίες μπορούν εύκολα να προσεγγίσουν διαφορετικές περιοχές της Γης παρέχοντας παντού το ίδιο είδος υπηρεσιών. Οι δορυφόροι είναι ένας σπουδαίος τρόπος παροχής υπηρεσιών της Κοινωνίας Πληροφορίας, όπως η αλληλεπιδραστική τηλεόραση, τα κινητά και η πρόσβαση σε διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας.

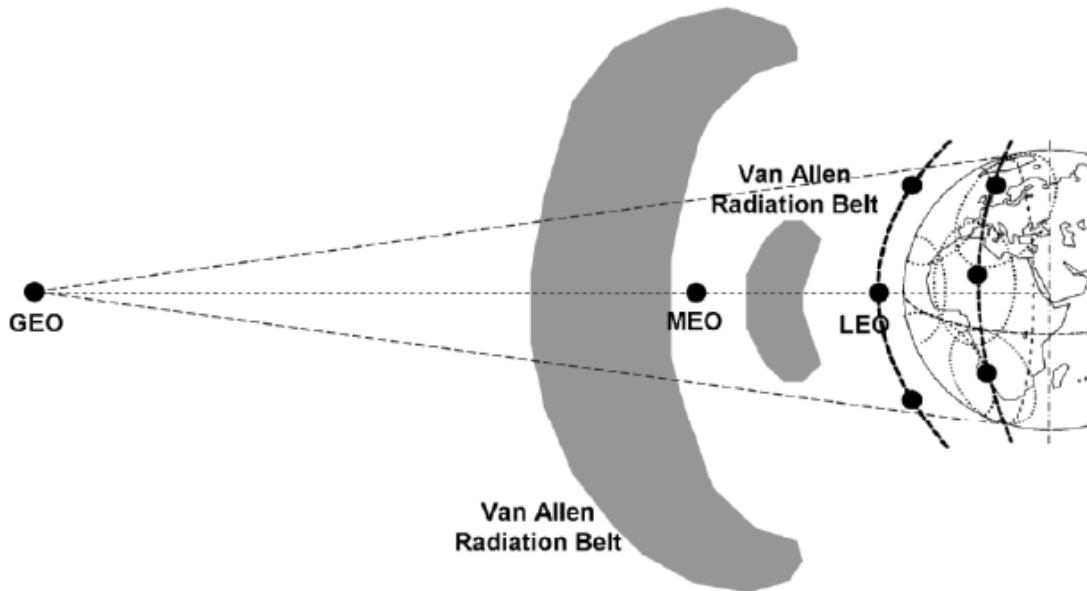
Οι πιο σημαντικοί λόγοι για την διάχυση των δορυφορικών επικοινωνιών μπορεί να δοθεί περιληπτικά όπως παρακάτω [1]:

- ✓ Η ευρέως διαδεδομένη κάλυψη: ένας δορυφόρος μπορεί να εξυπηρετήσει οποιονδήποτε εν δυνάμει χρήστη σε μια ολόκληρη ήπειρο. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό, ιδιαιτέρως σε αραιοκατοικημένες περιοχές ή πάνω από την θάλασσα, όπου η υλοποίηση επίγειων υποδομών δεν είναι βιώσιμη.
- ✓ Η υποστήριξη στους κινούμενους χρήστες: ένας κινούμενος χρήστης, ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης του δορυφόρου, μπορεί να επικοινωνήσει εύκολα με άλλους σταθερούς ή κινούμενους χρήστες.
- ✓ Το μειωμένο κόστος: με τις δορυφορικές επικοινωνίες, το κόστος είναι ανεξάρτητο της απόστασης. Επιπλέον, τα δίκτυα δορυφόρων μπορούν εύκολα να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος της Γης, και κατά συνέπεια να προσεγγίσουν μια πολύ μεγάλη αγορά εν δυνάμει πελατών. Αυτό είναι μια σημαντική ευκαιρία έτσι ώστε να παρέχουν υπηρεσίες σε αποδεκτό κόστος.

- ✓ Η ποικιλία συνδεσιμότητας: είναι δυνατόν να παρέχουν, με έναν απλό και οικονομικό τρόπο, επικοινωνία μεταξύ πολλών σημείων και ευρέως εκπεμπόμενες επικοινωνίες, χωρίς πολύπλοκα πρωτόκολλα δρομολόγησης (που χρησιμοποιούνται στα επίγεια δίκτυα επικοινωνίας).
- ✓ Η γρήγορη ανάπτυξη και εύκολη διαχείριση του δικτύου: από την στιγμή που θα απογειωθεί ένας δορυφόρος έχει πρόσβαση αμέσως σε έναν μεγάλο αριθμό χρηστών. Με τους δορυφόρους, οι υπηρεσίες πολυμέσων μπορούν να χορηγηθούν σε ένα ευρέως πλήθος χρηστών σε μεγάλες περιοχές με πιο γρήγορο τρόπο από ότι με τις επίγειες υποδομές.
- ✓ Η ποικιλία δυνατοτήτων εύρους ζώνης: είναι δυνατόν να παρέχουν μονοκατευθυντικό, δικατευθυντικό, στενής ζώνης, συμμετρικό και ασύμμετρο εύρος ζώνης. Επιπλέον οι δορυφόροι μπορούν να επιτρέπουν μεγάλου εύρους ζώνης πρόσβαση στους χρήστες, και με αυτόν τον τρόπο να αποτελεί μια πιθανή λύση στο πρόβλημα παροχής σε απομακρυσμένες περιοχές.

Οι δορυφόροι τοποθετούνται σε κατάλληλες τροχιές γύρω από την Γη. Με βάση το ύψος στο οποίο βρίσκονται μπορούμε να ταξινομήσουμε τους δορυφόρους σε τρεις κυρίως κατηγορίες (Εικόνα 1.1):

- Χαμηλής τροχιάς (LEO – Low Earth Orbit) δορυφόροι σε ένα ύψος τροχιάς μεταξύ 500 και 2000 km. Ο χρόνος περιστροφής γύρω από τη Γη είναι περίπου 100 λεπτά και ο χρόνος ορατότητας του δορυφόρου από σταθερό σημείο είναι 15 λεπτά περίπου. Αυτές οι τροχιές μπορεί να είναι πολικές ή κεκλιμένες.
- Μεσαίας τροχιάς (MEO – Medium Earth Orbit) δορυφόροι των οποίων η τροχιά μπορεί να είναι κυκλική ή ελλειπτική σε σχήμα σε ένα ύψος μεταξύ 8000 και 12000 km. Ο χρόνος περιστροφής είναι 5 – 12 ώρες και η ορατότητα του δορυφόρου είναι για 2 – 4 ώρες.
- Γεωσύγχρονης τροχιάς (GEO – Geosynchronous Earth Orbit) δορυφόροι οι οποίοι βρίσκονται στο ισημερινό επίπεδο της Γης σε ένα ύψος περίπου 35780 km με μια περίοδο περιστροφής 24 ωρών και με ορατότητα δορυφόρου 24 ώρες. Πολύ GEO δορυφόροι είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένες θέσεις στο ισημερινό επίπεδο τροχιάς. Το ύψος τροχιάς των δορυφόρων GEO και η ισημερινή τροχιά έχουν καθοριστεί για να επιτρέψουν στους GEO δορυφόρους να περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα που περιστρέφεται η Γη. Επομένως, ένας γεωσύγχρονος δορυφόρος παραμένει σε σταθερή θέση στον ουρανό σε σχέση με ένα σταθερό σημείο πάνω στην γη. Αυτό είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς.



Εικόνα 1.1: Περιγραφή των τροχιών δορυφόρων

Ένα δορυφορικό σύστημα επικοινωνίας αποτελείται από ένα πλήθος δορυφόρων, τυπικά με το ίδιο είδος τροχιάς (δηλ. γεωσύγχρονοι, μεσαίας ή χαμηλής τροχιάς) που καλύπτουν μια περιοχή ή ολόκληρη την Γη, και έτσι αποτελούν μια συστοιχία δορυφόρων.

Τρεις γεωσύγχρονοι δορυφόροι είναι επαρκείς για να καλύψουν όλη τη Γη, αποκλείοντας όμως τις Πολικές Περιοχές. Οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι είναι κατάλληλοι για παγκόσμια κάλυψη ευρέως εκπεμπόμενων υπηρεσιών καθώς και για κινητές και σταθερές υπηρεσίες επικοινωνίας. Οι μεσαίας και χαμηλής τροχιάς δορυφόροι είναι μη στατικοί σε σχέση με τον χρήστη στη Γη. Επομένως, διαφορετικοί δορυφόροι παρέχουν επιλεκτική κάλυψη υπηρεσιών επικοινωνίας σε μια δεδομένη περιοχή της Γης. Ένα παγκόσμιο σύστημα μεσαίας τροχιάς θέλει ένα σύνολο 10 – 12 δορυφόρων για να εξασφαλίσουν μια ελάχιστη γωνία ανύψωσης μεγαλύτερη των 30° . Τα συστήματα χαμηλής τροχιάς χαρακτηρίζονται από συστοιχία επιπλέον των 40 δορυφόρων με ελάχιστη γωνία ανύψωσης από 10° μέχρι 40° . Μια ελάχιστη γωνία ανύψωσης των 40° (30°) προτείνεται στην περίπτωση των μεσαίας (χαμηλής) τροχιάς έτσι ώστε να έχουμε διαθέσιμη μεγάλη σύνδεση και αποδεκτές μεταβολές καθυστέρησης. Επιπλέον, τα συστήματα δορυφόρων χαμηλής και μεσαίας τροχιάς επιτρέπουν μικρότερες καθυστερήσεις διάδοσης και επομένως, μικρότερη καθυστέρηση στην διάδοση δεδομένων από ότι στους γεωσύγχρονους δορυφόρους.

Οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι είναι πολύ μεγάλοι σε μέγεθος και μπορούν να φιλοξενήσουν μεγάλο φορτίο. Η μεγάλη ισχύς και οι μεγάλες κεραίες είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση αξιόπιστης σύνδεσης με τους επίγειους σταθμούς. Οι δορυφόροι μεσαίας τροχιάς είναι μικρότεροι

από τους γεωσύγχρονους, έτσι ώστε οι διαδικασίες εκτόξευσης να είναι λιγότερο ακριβές. Τελικά, οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς είναι μικρότεροι και πιο φθηνοί στην κατασκευή και εκτόξευση από ότι οι γεωσύγχρονοι και οι μεσαίας τροχιάς. Εκτοξευτήρες που επιτρέπουν την μεταφορά πολλαπλών δορυφόρων μειώνουν το κόστος της ύπαρξης ενός λειτουργικού συστήματος δορυφόρων χαμηλής τροχιάς.

Η περιοχή κάλυψης ενός δορυφόρου διαιρείται σε πολλά κελιά (που το καθένα δέχεται εκπομπές από μια κεραία σημειακής εκπομπής) με στόχο να συγκεντρωθεί η ενέργεια σε μια μικρή περιοχή. Έτσι, είναι επίσης δυνατό να μορφοποιήσουμε την περιοχή πάνω στην Γη που εξυπηρετείται από έναν δορυφόρο. Επιπρόσθετα, η κάλυψη πολλαπλών σημειακών εκπομπών επιτρέπει αξιόλογα πλεονεκτήματα, όπως αποδοτική κατανομή των πόρων (π.χ. επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων) ή μικρότερο κόστος του επίγειου εξοπλισμού (π.χ. κεραίες με μικρό μέγεθος, από την στιγμή που μικρότερες περιοχές στην επιφάνεια της Γης δέχονται εκπομπές, και κατά συνέπεια έχουν μεγαλύτερη ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας).

Οι ζώνες συχνοτήτων (που μας ενδιαφέρουν για τις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες) και οι σχετικές ονομασίες τους καταγράφονται παρακάτω [1], [2], [3]:

- Ζώνη L από 1 μέχρι 2 GHz
- Ζώνη S από 2 μέχρι 4 GHz
- Ζώνη C από 4 μέχρι 8 GHz
- Ζώνη X από 8 μέχρι 12 GHz
- Ζώνη Ku από 12 μέχρι 18 GHz
- Ζώνη K από 18 μέχρι 26 GHz
- Ζώνη Ka από 26 μέχρι 40 GHz
- Ζώνη V από 40 μέχρι 75 GHz

Αυτές οι ζώνες, που αποτελούν το μικροκυματικό φάσμα, χρησιμοποιούνται ήδη στις εμπορικές και στρατιωτικές δορυφορικές τηλεπικοινωνίες. Παρακάτω περιγράφεται η τυπική κατανομή των ζωνών συχνοτήτων για δορυφορικές τηλεπικοινωνίες, που υιοθετούνται για διάφορες υπηρεσίες, και λαμβάνοντας υπόψη την περίπτωση άνω και κάτω σύνδεσης:

- *Σταθερή Δορυφορική Υπηρεσία (FSS – Fixed Satellite Service):* 6/4 GHz (Ζώνη C), 8/7 GHz (Ζώνη X), 14/12-11 GHz (Ζώνη Ku), 30/20 GHz (Ζώνη Ka), 50/40 GHz (Ζώνη V). Αυτές οι υπηρεσίες αφορούν τηλεπικοινωνίες με σταθερό επίγειο εξοπλισμό. Συνήθως είναι μεγάλου εύρους ζώνης (τυπικά στο εύρος 1-200 Mbit/s) λόγω

του διαθέσιμου εύρους ζώνης *ραδιοσυχνοτήτων* καθώς και της κατάλληλης απόδοσης της σύνδεσης χρησιμοποιώντας σταθερές κατευθυντικές επίγειες κεραίες. Ακόμα και στην περίπτωση που οι υπηρεσίες αρχικά είχαν τοποθετηθεί σε γεωσύγχρονους δορυφόρους, είναι δυνατή η εφαρμογή τους και σε μη γεωσύγχρονα συστήματα.

- *Δορυφορική Υπηρεσία Ευρείας Εκπομπής (BSS – Broadcasting Satellite Service):* 2/2.2 GHz (Ζώνη S), 12 GHz (Ζώνη Ku), 2.6/2.5 GHz (Ζώνη S). Αυτές οι υπηρεσίες ασχολούνται με τις απευθείας ευρείας ζώνης και ευρείας εκπομπής μετάδοση μέσω δημόσιων διαχειριστών. Συγκεκριμένα, το τμήμα ζώνης Ku του BSS έχει διατεθεί για καθορισμό τροχιάς και καθορισμένα κανάλια για ιδιαίτερη εθνική χρήση. Αυτή η υπηρεσία έχει κυρίως καθοριστεί για τους γεωσύγχρονους δορυφόρους, αλλά, όπως και στην περίπτωση των FSS, είναι δυνατή και στους μη γεωσύγχρονους δορυφόρους.
- *Κινητές Υπηρεσίες Δορυφόρων:* 1.6/1.5 GHz (ζώνη L), 30/20 GHz (ζώνη Ka). Αυτές οι υπηρεσίες σχετίζονται με τις επικοινωνίες με κινητούς επίγειους σταθμούς (π.χ. πλοία, οχήματα, αεροπλάνα και ανθρώπους). Ένα παράδειγμα των κινητών υπηρεσιών δορυφόρων είναι το σύστημα Inmarsat, που λειτουργεί στην ζώνη L με γεωσύγχρονους δορυφόρους για επίγειες κινητές υπηρεσίες. Αυτές οι ζώνες συχνοτήτων αργότερα έχουν ανατεθεί και σε μη γεωσύγχρονους δορυφόρους.

Ας σημειωθεί ότι οι ζώνες L, S και C είναι ήδη υπερφορτωμένες: η ζώνη X είναι τυπικά προορισμένη για κυβερνητική χρήση (στρατιωτικές επικοινωνίες), η ζώνη Ku χρησιμοποιείται από την πλειονότητα των δορυφορικών συστημάτων ψηφιακών εκπομπών καθώς και για τα σύγχρονα συστήματα πρόσβασης στο διαδίκτυο. Τέλος, η ζώνη Ka επιτρέπει μεγαλύτερα εύρη ζωνών με μικρότερες κεραίες (σε σχέση με την ζώνη Ku), αλλά παρουσιάζει το πρόβλημα της σημαντικής εξασθένισης του σήματος στην παρουσία κακών καιρικών συνθηκών (π.χ. βροχή).

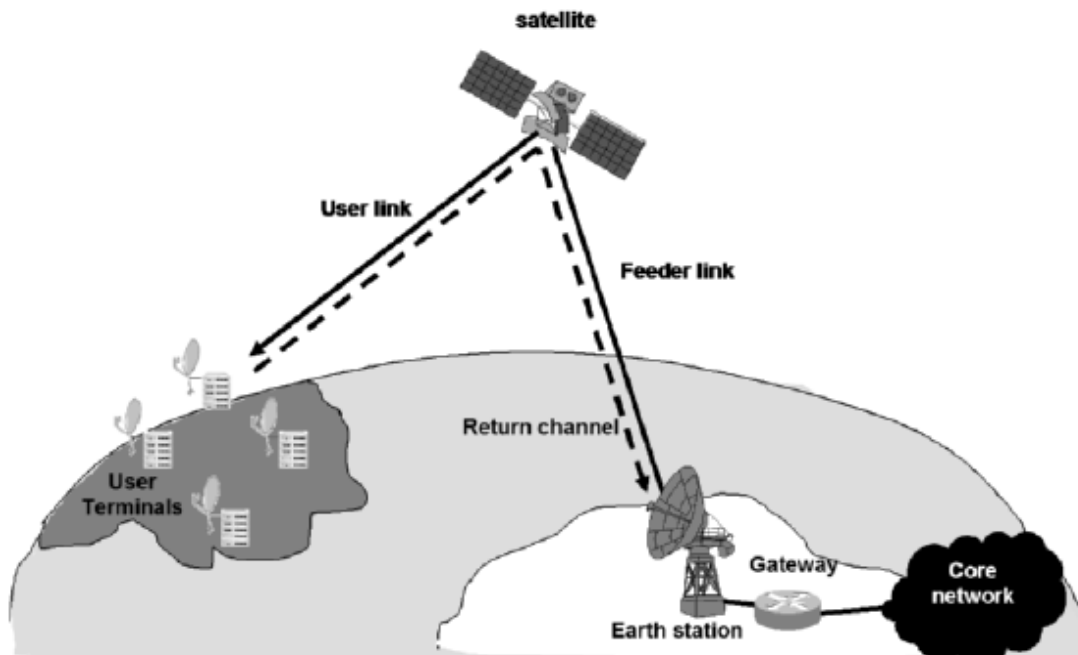
Ο πομποδέκτης είναι μια μονάδα λήψης – εκπομπής σε έναν δορυφόρο επικοινωνιών. Λαμβάνει ένα σήμα από την Γη, το επεξεργάζεται και το επανεκπέμπει στη Γη σε διαφορετική συχνότητα. Ο δορυφόρος έχει διάφορους πομποδέκτες στο ωφέλιμο φορτίο του. Δύο είδη πομποδεκτών μπορούν να διακριθούν όπως παρακάτω:

- **Πομποδέκτης κυρτού σωλήνα (*Bent-pipe transponder*)** (δηλ. ένας πομποδέκτης που λειτουργεί ως ένας απλός επαναλήπτης): Το σήμα απλώς ενισχύεται και επανεκπέμπεται από τον δορυφόρο, αλλά δεν υπάρχει καμία βελτίωση στον λόγο σήματος προς θόρυβο από την στιγμή που και ο θόρυβος υποβάθρου επίσης ενισχύεται.
- **Πομποδέκτης με ανάκτηση σήματος (*Regenerating transponder*)**: ένας πομποδέκτης αποδιαμορφώνει και αποκωδικοποιεί το λαμβανόμενο σήμα, και με αυτό τον τρόπο πραγματοποιεί επανάκτηση του σήματος προτού το επανεκπέμψει. Από την στιγμή που σήματα βασικών ζωνών είναι διαθέσιμα μέχρι ενός σημείου, είναι δυνατές και άλλες δραστηριότητες, όπως δρομολόγηση και εναλλαγή δέσμης (στην περίπτωση δορυφορικής κεραίας πολλαπλών εκπομπών). Δορυφόροι με αυτού του είδους τους πομποδέκτες και δυνατότητες επεξεργασίας στο σκάφος του δορυφόρου μπορούν επίσης να εφαρμόσουν διαδορυφορικές συνδέσεις (*ISL – inter-satellite link*) με άλλους δορυφόρους της ίδιας ομάδας, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την δρομολόγηση του σήματος στον ουρανό.

Στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζεται μια τυπική δομή ενός δικτύου δορυφόρων, όπου παρατηρούμε τον επίγειο σταθμό να επιτρέπει την διασύνδεση με το βασικό δίκτυο μέσω μιας πύλης.

Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι στη φύση τους τηλεπικοινωνίες. Συνεπώς, οι δορυφόροι δεν προσφέρουν επαρκή αξιοπιστία από την άποψη της (ιδιωτικής) ασφάλειας. Πρακτικά, είναι δυνατόν ένας κακοπροαίρετος χρήστης να μπορεί να ακούσει τις επικοινωνίες άλλων. Επομένως, είναι απαραίτητο να υιοθετηθούν κατάλληλοι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που να ελέγχουν την πρόσβαση στο δίκτυο και να προστατεύουν τις εκπομπές.

Εικόνα 1.2: Βασική αρχιτεκτονική δορυφορικού δικτύου.



Πρόσφατα, το σύστημα *Broadband Global Area Network* (BGAN) έχει αποκτήσει ανάπτυξη τέτοια ώστε να παρέχει διάφορες υπηρεσίες μέσω των δορυφόρων Inmarsat-4 (π.χ. τηλεφωνικές και ISDN κλήσεις, συνδέσεις Δια-/Ενδο-δικτύου, SMS και MMS, υπηρεσίες UMTS που βασίζονται στην τοποθεσία όπως πληροφορίες για χάρτες ή τοπικές ταξιδιωτικές πληροφορίες), κατά πρώτο λόγο σε σταθερούς τερματικούς σταθμούς χρηστών, και κατά δεύτερο σε κινητούς τερματικούς σταθμούς σε αεροπλάνα, πλοία ή επίγειες περιοχές. Οι δορυφόροι BGAN λειτουργούν στην ζώνη L. Είναι δυνατόν να προσαρμόσουν την ισχύ εκπομπής, το εύρος ζώνης, τον ρυθμό κωδικοποίησης και τρόπο διαμόρφωσης στις δυνατότητες του τερματικού σταθμού, στις συνθήκες εκπομπής με σκοπό να επιτευχθεί υψηλή απόδοση εκπομπής και ευελιξία. Το βασικό σύστημα επιτρέπει επικοινωνίες από 4.5 μέχρι 512 kbit/s σε 3 ομάδες κινητών τερματικών σταθμών. Το ενισχυμένο σύστημα (BGAN-X, *BGAN Extension project*) έχει αναπτυχθεί για να εξυπηρετεί

1.2 Βασικά θέματα στον σχεδιασμό των συστημάτων δορυφορικής επικοινωνίας

Οι δορυφορικές επικοινωνίες αποτελούν μια ελκυστική λύση στην παροχή ευρυζωνικών και πολυμεσικών υπηρεσιών. Για να καταστήσουμε τα μελλοντικά συστήματα δορυφορικών δικτύων πλήρως υλοποιήσιμα, ανταποκρινόμενα σε απαιτήσεις νέων υπηρεσιών και εφαρμογή της ποιότητας υπηρεσιών (QoS – Quality of Service), πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές τεχνικές προκλήσεις όπως περιγράφονται παρακάτω.

Καθυστέρηση διάδοσης μετ' επιστροφής (RTD – Round Trip propagation Delay)

RTD είναι η καθυστέρηση διάδοσης σε μια σύνδεση. Στην περίπτωση του δορυφόρου, η τιμή του εξαρτάται από την τροχιά του δορυφόρου, την σχετική θέση του χρήστη στην Γη και τον τύπο του δορυφόρου [1], [2], [3]. Συγκεκριμένα, αν ο δορυφόρος ανακτά το σήμα, η RTD περιλαμβάνει μία μόνο διαδρομή από την Γη στον δορυφόρο και πίσω στην Γη. Ενώ, αν ο δορυφόρος είναι κυρτού σωλήνα, η RTD τυπικά περιλαμβάνει μια διπλή διαδρομή (από την Γη στον δορυφόρο στην Γη και πίσω πάλι) από την στιγμή που οι λειτουργίες ελέγχου δεύτερου επιπέδου είναι στον επίγειο σταθμό.

Οι τιμές της RTD αυξάνουν με το ύψος της τροχιάς του δορυφόρου και μειώνεται με την γωνία ανύψωσης. Οι δορυφόροι χαμηλής και μεσαίας τροχιάς είναι τοποθετημένοι σε χαμηλά ύψη, και κατά συνέπεια επιτρέπουν μικρότερες τιμές RTD από τους γεωσύγχρονους δορυφόρους. Οι μεγάλες τιμές RTD προκαλούν διάφορα προβλήματα για τις διαδραστικές και πραγματικού χρόνου εφαρμογές (π.χ. μια προφανή και ενοχλητική ηχώ στις τηλεφωνικές κλήσεις). Επιπλέον, αξιόπιστα πρωτόκολλα μεταφοράς μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα από την στιγμή που ο βρόγχος καθυστέρησης μεταξύ δύο τερματικών σταθμών κυριαρχείται από την συνεισφορά της καθυστέρησης διάδοσης λόγω του δορυφορικού τμήματος. Η μέγιστη τιμή RTD (RTD_{max}) για συγκεκριμένη ομάδα δορυφόρων εξαρτάται επίσης από την ελάχιστη γωνία ανύψωσης (*mask angle*), δηλ. την γωνία ανύψωσης στο άκρο της περιοχής κάλυψης.

Ατμοσφαιρικές επιδράσεις

Η ατμόσφαιρα (που μπορεί να διακριθεί σε τροπόσφαιρα και ιονόσφαιρα) επηρεάζει το διαδιδόμενο σήμα μεταξύ δορυφόρων και επίγειων τερματικών σταθμών (και αντιστρόφως) [4]. Οι κύριες αιτίες επιρροής του σήματος είναι τα ατμοσφαιρικά αέρια (οξυγόνο – ξηρός

αέρας, και υδρατμοί), η βροχή, η ομίχλη (ή/και τα σύννεφα) και ο σπινθηρισμός. Το σήμα κατά γενικό κανόνα εξασθενεί από αυτές τις επιδράσεις, εκτός από εξαιρετικές περιπτώσεις στο φαινόμενο του σπινθηρισμού (το οποίο είναι το φαινόμενο της μικρής και γρήγορης αυξομείωσης της έντασης του σήματος λόγω μερικών ανωμαλιών στον διαθλαστικό δείκτη της τροπόσφαιρας). Η βροχή και η ομίχλη (ή / και τα σύννεφα) μπορούν να προκαλέσουν την μεγαλύτερη εξασθένηση του σήματος. Στην περίπτωση της ομίχλης (ή / και των σύννεφων) η εξασθένηση του σήματος εξαρτάται και από την συχνότητα του διαδιδόμενου κύματος, μεταξύ άλλων παραμέτρων. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση των ατμοσφαιρικών αερίων, όπου φυσικά το εύρος συχνοτήτων όπου γίνεται αισθητή και μεγιστοποιείται η εξασθένηση εξαρτάται από το είδος του αερίου. Τέλος, επειδή η βροχή και η ομίχλη (ή / και τα σύννεφα) είναι φαινόμενα που μπορούν να παρατηρηθούν «λεπτομερώς» από απόσταση και λόγω της σπουδαιότητάς τους στην εξασθένηση του σήματος χρησιμοποιούνται μοντέλα πρόβλεψης αυτών των δύο φαινομένων ατμοσφαιρικής επίδρασης.

Απώλειες καναλιού

Στα δίκτυα δορυφόρων, ο *Ρυθμός Λανθασμένων Δυαδικών Ψηφίων* (BER – *Bit Error Rate*) είναι πολύ μεγάλος, λόγω των προαναφερόμενων ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Η ποιότητα δορυφορικής σύνδεσης μπορεί να υπόκειται σε γρήγορη υποβάθμιση που μπορεί να προκαλέσει μεγάλες ακολουθίες λανθασμένων δυαδικών ψηφίων. Αυτά τα εκρηκτικά σφάλματα προκαλούν μια συμπεριφορά ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του καναλιού. Με την χρήση κώδικα *Forward Error Correction* (FEC) (π.χ. κώδικες Reed-Solomon, συνελκτικούς κώδικες, κλπ.), είναι δυνατόν να μειώσουμε σημαντικά τον BER αλλά με κόστος ένα χαμηλότερο ρυθμό πληροφορίας (δηλ. μέρος της διαθέσιμης χωρητικότητας ξοδεύεται στην αποστολή bit πλεονασμού).

Χρόνος ζωής δορυφόρου

Οι δορυφόροι έχουν έναν μέσο όρο ζωής λόγω διαδικασιών γήρανσης των συστατικών μερών, τις επιδράσεις της ακτινοβολίας, την αναγκαιότητα νέων συστατικών κλπ. Οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι έχουν χρόνο ζωής 10 με 15 έτη. Οι δορυφόροι μεσαίας τροχιάς έχουν λειτουργική περίοδο ζωής 10 με 12 έτη. Οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς είναι λειτουργικοί μεταξύ 5 με 8 έτη, κυρίως λόγω των επιδράσεων ακτινοβολίας.

1.3 Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης

Πολλαπλή πρόσβαση είναι η ικανότητα ενός μεγάλου αριθμού επίγειων σταθμών να διασυνδέουν ταυτόχρονα τις αντίστοιχες κυκλοφορίες τους πολυμέσων μέσω δορυφόρου [1], [5]. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν τον καταμερισμό της διαθέσιμης χωρητικότητας ενός εκπομπού δορυφόρου μεταξύ διάφορων επίγειων σταθμών. Οι πιο κοινές τεχνικές είναι:

- ✓ Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας (FDMA – *Frequency Division Multiple Access*)
- ✓ Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου (TDMA – *Time Division Multiple Access*)
- ✓ Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα (CDMA – *Code Division Multiple Access*)
- ✓ Ένας συνδυασμός των παραπάνω τεχνικών (π.χ. συνδυασμός TDMA και CDMA ή FDMA και TDMA).

Αυτές οι διαφορετικές τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης μελετούνται παρακάτω. Σημειώστε ότι επιτρέπεται και άλλη τεχνική πολλαπλών προσβάσεων στην παρουσία μιας κεραίας πολλαπλών σημειακών εκπομπών σε έναν δορυφόρο. Αυτή η τεχνική ονομάζεται Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χώρου (SDMA – *Spatial Division Multiple Access*). Με μια κεραία πολλαπλών σημειακών εκπομπών μερικές εκπομπές μπορεί να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα, δεδομένου ότι η δια-αλληλεπίδραση (λόγω των πλευρικών λοβών του διαγράμματος ακτινοβολίας της δέσμης) είναι αμελητέα. Συνήθως, δέσμες που διαχωρίζονται από δύο ή τρία πλάτη δέσμης ημι-ισχύος μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια συχνότητα. Αυτή η τεχνική επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων επιτρέπει την αξιοποίηση των εναέριων πόρων διασύνδεσης.

FDMA

Στην FDMA, το συνολικό εύρος ζώνης διαχωρίζεται σε τμήματα ίσου μεγέθους. Ένας επίγειος σταθμός ορίζεται μόνιμα με ένα τμήμα γύρω από ένα φέρον κύμα ή κύματα. Η FDMA απαιτεί ζώνες επιφυλακής για να διατηρεί τα σήματα καλά διαχωρισμένα. Η χωρητικότητα κυκλοφορίας ενός επίγειου σταθμού περιορίζεται από το αποδιδόμενο εύρος ζώνης και από τον λόγο ισχύος της ισχύος του φέροντος προς τον θόρυβο (C/N – *Carrier power-to-Noise power ratio*). Οι συχνότητες του φέροντος και τα εύρη ζώνης που αναθέτονται σε όλους τους επίγειους σταθμούς αποτελούν το σχέδιο συχνοτήτων των δορυφόρων. Η FDMA απαιτεί την ταυτόχρονη εκπομπή πολλαπλών φερόντων κυμάτων μέσω

ενός κοινού *Ενισχυτή Οδεύοντος Κυματοδηγού* (TWTA – *Travelling-Wave-Tube Amplifier*) στον δορυφόρο. Ο TWTA είναι ισχυρά μη γραμμικός (παράγει μέγιστη ισχύ εξόδου στο σημείο κορεσμού, όπου ο TWTA λειτουργεί στην μη γραμμική περιοχή των χαρακτηριστικών του) και τα προϊόντα της δια-διαμόρφωσης (IM – *Inter-Modulation*) που παράγονται από την παρουσία πολλαπλών φερόντων κυμάτων προκαλούν παράσιτα. Ο μόνος τρόπος για να μειώσουμε την παραμόρφωση της δια-διαμόρφωσης είναι η μείωση του σήματος εισόδου, έτσι ώστε ο TWTA να μπορεί να λειτουργήσει σε μια πιο γραμμική περιοχή.

TDMA

Στην TDMA, το συνολικό εύρος ζώνης συνήθως χωρίζεται σε χρονικές θέσεις, οργανωμένες σύμφωνα με μια περιοδική δομή, που ονομάζεται πλαίσιο. Κάθε θέση χρησιμοποιείται για να μεταφέρει ένα πακέτο. Κατά συνέπεια η TDMA είναι κατάλληλη για κυκλοφορία πακέτων. Στις TDMA εκπομπές προς τον δορυφόρο, οι επίγειοι σταθμοί εναλλάσσονται στην αποστολή δεδομένων μέσω ενός δορυφορικού εκπομπού. Όσον αφορά τις TDMA εκπομπές προς τη Γη, χρησιμοποιείται μόνο ένα φέρον κύμα. Κατά συνέπεια η TDMA παρέχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, από την στιγμή που επιτρέπει τον εκπομπό του TWTA να λειτουργεί στον ή κοντά στον κορεσμό, και με αυτόν τον τρόπο να επιτρέπει την μεγιστοποίηση του λόγου C/N κατά την σύνδεση με την Γη. Παρόλα αυτά, η παρεμβολή δεν εξαλείφεται ολοκληρωτικά, από την στιγμή που είναι παρούσα στη μορφή παρεμβολής ενδοσυμβόλων που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί μέσω κατάλληλου φιλτραρίσματος. Η TDMA είναι εύκολο να διαμορφωθεί εκ νέου με αλλαγή στην κυκλοφοριακή απαίτηση, είναι ανθεκτική στον θόρυβο και την παρεμβολή και επιτρέπει την πολύπλεξη ροών κυκλοφορίας πολυμέσων.

Ενώ στην *Πολύπλεξη Διαιρέσης Χρόνου* (TDM – *Time Division Multiplexing*) όλα τα δεδομένα προέρχονται από τον ίδιο εκπομπό και οι ωρολογιακές και χρονικές συχνότητες δεν αλλάζουν, στην TDMA κάθε πλαίσιο περιέχει ένα πλήθος ανεξάρτητων εκπομπών. Κάθε σταθμός πρέπει να γνωρίζει πότε να εκπέμψει και πρέπει να είναι ικανός να ανακτήσει το φέρον και τον συγχρονισμό δεδομένων για κάθε λαμβανόμενη εκπομπή σε κατάλληλο χρόνο έτσι ώστε να διαχωρίσει όλα τα επιθυμητά κανάλια βασικών ζωνών. Αυτή η λειτουργία δεν είναι εύκολη σε χαμηλές τιμές C/N. Ένα μακρύ πρόδρομο σήμα είναι γενικά απαραίτητο, το οποίο όμως μειώνει την απόδοση του συστήματος.

Μια ομάδα επίγειων σταθμών, ο καθένας σε διαφορετική απόσταση από τον δορυφόρο, πρέπει να εκπέμψει ξεχωριστά πακέτα δεδομένων με τέτοιο τρόπο που οι εκπομπές να φτάνουν στον δορυφόρο

την χρονική στιγμή της έναρξης των καθορισμένων θέσεων. Οι σταθμοί πρέπει να προσαρμόζουν τις εκπομπές τους για να αντισταθμίζουν τις αλλαγές στην κίνηση του δορυφόρου, και πρέπει να έχουν την δυνατότητα να συνδέονται και να αποσυνδέονται με το δίκτυο χωρίς να δημιουργούν πρόβλημα στην λειτουργία του. Αυτός ο στόχος πετυχαίνεται με την αξιοποίηση της οργάνωσης TDMA σε πλαίσια, που περιέχουν εκρηκτικά σήματα αναφοράς που δίνουν την δυνατότητα για απόλυτο χρονισμό του δικτύου.

Οι εκρηκτικές εκπομπές αναφοράς παράγονται από έναν κεντρικό σταθμό στο έδαφος σε ένα δορυφορικό δίκτυο κεντροποιημένου ελέγχου. Κάθε εκρηκτική εκπομπή αρχίζει με ένα πρώιμο σήμα που παρέχει συγχρονισμό και πληροφορίες σηματοδότησης και προσδιορίζει τον εκπέμποντα σταθμό. Οι εκρηκτικές εκπομπές αναφοράς και τα πρώιμα σήματα αποτελούν την υπερκείμενη κεφαλίδα του πλαισίου. Όσο μικρότερη είναι η υπερκείμενη κεφαλίδα, τόσο πιο λειτουργικό είναι το σύστημα TDMA, αλλά μεγαλώνει η δυσκολία στην απόκτηση και διατήρηση του συγχρονισμού.

Η χρονική πρόσβαση στην δορυφορική σύνδεση μπορεί να επιτευχθεί είτε με κεντρική ή με κατανεμημένη δομή. Ο κεντροποιημένος έλεγχος είναι γενικά πιο ευσταθής. Από την άλλη μεριά, ο κατανεμημένος έλεγχος ανταποκρίνεται πιο γρήγορα στις αλλαγές της κυκλοφορίας, από την στιγμή που επιτρέπει ανανέωση σε μια RTD.

CDMA

Τα σήματα είναι κωδικοποιημένα, έτσι ώστε ένας ανεξάρτητος πομπός να μπορεί να ανιχνευθεί και να ανακτηθεί μόνο από έναν κατάλληλα συγχρονισμένο σταθμό δέκτη που γνωρίζει τον χρησιμοποιούμενο κώδικα για τις εκπομπές. Για ένα αποκεντροποιημένο δορυφορικό δίκτυο, μόνο τα ζεύγη των σταθμών που επικοινωνούν χρειάζεται να συντονίσουν τις εκπομπές τους (δηλ. χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν τον ίδιο κώδικα). Η βασική ιδέα στην CDMA είναι η διάδοση του μεταδιδόμενου σήματος σε μια κατά πολύ ευρύτερη ζώνη (*Επέκταση Φάσματος – Spread Spectrum*). Αυτή η τεχνική έχει αναπτυχθεί ως ένα μέτρο αντιμετώπισης παρεμβολών για στρατιωτικές εφαρμογές στην δεκαετία του 1950. Αντίστοιχα, το σήμα καλύπτει μια ζώνη κατά *PG* φορές μεγαλύτερη από την αρχική, μέσω μιας κατάλληλης διαμόρφωσης που βασίζεται στον κώδικα *Ψευδοθορύβου* (PN – Pseudo Noise). Το *PG* ονομάζεται Κέρδος Επεξεργασίας (Processing Gain). Όσο μεγαλύτερο είναι το *PG*, τόσο μεγαλύτερη είναι η ζώνη που καλύπτει το σήμα και τόσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα του συστήματος. Κατάλληλοι κώδικες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να διακρίνουν τις διαφορετικές ταυτόχρονες εκπομπές στην ίδια ζώνη. Ο δέκτης πρέπει να χρησιμοποιεί

μια ταυτόχρονη με το ληφθέν σήμα σειρά κωδικοποίησης έτσι ώστε να αποκαθιστά σωστά το επιθυμητό σήμα. Υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνικές για την λήψη εκπομπών εκτεινόμενες στο φάσμα:

- Άμεσης Ακολουθίας (DS – *Direct Sequence*), όπου το δυαδικό σήμα του χρήστη πολλαπλασιάζεται από τον κώδικα PN με δυαδικά ψηφία (που ονομάζονται chips) των οποίων το μήκος είναι βασικά PG φορές μικρότερο από τα αρχικά δυαδικά ψηφία. Αυτό το σχέδιο επέκτασης είναι κατάλληλο για διαμορφώσεις *Κλειδώματος Μετατόπισης Δυαδικής Φάσης* (BPSK – *Binary Phase Shift Keying*) και *Τετραγωνικής Φάσης* (QPSK – *Quadrature Phase Shift Keying*).
- *Αναπήδηση Συχνότητας* (FH – *Frequency Hopping*) όπου ο κώδικας PN χρησιμοποιείται για να αλλάξει την συχνότητα των εκπεμπομένων συμβόλων. Έχουμε γρήγορη αναπήδηση αν η συχνότητα αλλάζει σε κάθε νέο σύμβολο, ενώ έχουμε αργή αναπήδηση αν η συχνότητα μεταβάλλεται μετά από έναν συγκεκριμένο αριθμό συμβόλων. Η διαμόρφωση *Κλειδώματος Μετατόπισης Συχνότητας* (FSK – *Frequency Shift Keying*) είναι κατάλληλη για την αναπήδηση συχνότητας.

Σχόλια και συγκρίσεις μεταξύ των τεχνικών πρόσβασης

Το μειονέκτημα της TDMA είναι η ανάγκη να κατασκευαστούν οι επίγειοι σταθμοί για την συνολική χωρητικότητα του συστήματος (εύρος ζώνης πομποδέκτη), παρόλο που ένας τερματικός σταθμός χρησιμοποιεί μόνο ένα μικρό μέρος αυτού. Μια ενδιαφέρουσα λύση δίνεται από τον υβριδικό συνδυασμό των *Πολλαπλών Συχνοτήτων* (MF – *Multi-Frequency*) με τα συστήματα TDMA, που παίρνει μερικά από τα πλεονεκτήματα των FDMA και TDMA. Στην MF-TDMA το φάσμα του πομποδέκτη χωρίζεται σε διάφορα φέροντα, επιτρέποντας την κατασκευή του σταθμού σε πιο στενό εύρος ζώνης. Κάθε φέρον, με τη σειρά του, μοιράζεται το εύρος ζώνης μέσω TDMA. Η εκπομπή της κυκλοφορίας συμβαίνει σε χρονικές θέσεις που μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικά φέροντα. Όταν χρησιμοποιείται ένας μοναδικός διαμορφωτής, οι θέσεις μίας εκπομπής πρέπει να μην επικαλύπτονται στον χρόνο (δηλ. ταυτόχρονες εκπομπές σε διαφορετικές συχνότητες δεν είναι επιτρεπτές). Η τεχνική MF-TDMA υποστηρίζει αποδοτικά την ροή κυκλοφορίας, ενώ διατηρεί ευκαμψία στην κατανομή χωρητικότητας.

1.4 Μελέτη ασύρματης διασύνδεσης και περιπτώσεις

Διάφορες τυποποιημένες εναέριες διασυνδέσεις είναι διαθέσιμες για συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών. Συγκεκριμένα εστιάζουμε στην δορυφορική επέκταση του επίγειου *Παγκόσμιου Συστήματος Κινητών Τηλεπικοινωνιών* (UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System*) και του *Ψηφιακού Βίντεο Ευρείας Εκπομπής μέσω Δορυφόρου* (δηλ. DVB-S, DVB-S2 και DVB-RCS) [6], [7]. Επιπλέον αυτού έχουν ληφθεί υπόψη περιπτώσεις που συνδυάζουν διαφορετικές λεπτομέρειες, όπως: είδος τροχιάς δορυφόρου, κινητούς ή σταθερούς χρήστες, την υιοθετημένη εναέρια σύνδεση. Συγκεκριμένα έχουν αναγνωριστεί οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- **1^η περίπτωση:** Δορυφορικό UMTS (S-UMTS) για κινητούς χρήστες μέσω γεωστατικών δορυφόρων κυρτού σωλήνα
- **2^η περίπτωση:** DVB-S/DVB-RCS για σταθερές εκπομπές ευρείας ζώνης μέσω γεωσύγχρονων δορυφόρων κυρτού σωλήνα
- **3^η περίπτωση:** Συστοιχία δορυφόρων ανάκτησης σήματος χαμηλής τροχιάς για την παροχή πολυμεσικών υπηρεσιών για κινητούς χρήστες που χρησιμοποιούν συσκευές χειρός.

1.4.1 S-UMTS

Τα συστήματα επικοινωνίας θα έπρεπε να είναι ικανά για να παρέχουν στους χρήστες των κινητών τα ίδια χαρακτηριστικά πρόσβασης των αντίστοιχων επιγείων. Εδώ αναφερόμαστε στην παροχή υπηρεσιών κινητής επικοινωνίας 3^{ης} Γενιάς (3G) μέσω δορυφόρων. Συγκεκριμένα, το ενδιαφέρον είναι από την επέκταση της τυποποίησης UMTS στο περιβάλλον των δορυφόρων (S-UMTS). Οι προδιαγραφές ETSI S-UMTS Family G βάζουν στόχο την επίτευξη δορυφορικών εναέριων συνδέσεων συμβατών πλήρως με το επίγειο σύστημα UMTS που βασίζεται στο W-CDMA. Το S-UMTS δεν θα είναι μόνο συμπληρωματικό της κάλυψης του επίγειου UMTS (T-UMTS) αλλά θα επεκτείνει τις υπηρεσίες του σε περιοχές όπου η κάλυψη του T-UMTS θα ήταν είτε τεχνικά είτε οικονομικά μη βιώσιμη.

Το δορυφορικό δίκτυο ασύρματης πρόσβασης τύπου S-UMTS θα πρέπει να συνδέεται με το βασικό δίκτυο UMTS μέσω της διασύνδεσης Iu. Το S-UMTS αναμένεται να είναι ικανό για να υποστηρίζει ρυθμούς αποστολής στους χρήστες μέχρι 114 kbit/s ο οποίος ρυθμός φαίνεται να είναι αρκετός για να παρέχουν πολυμεσικές υπηρεσίες σε χρήστες εν κινήσει, που τυπικά κατέχουν μικρές συσκευές.

Με την εξέλιξη της τυποποίησης των επίγειων συστημάτων 3G, η *Πρόσβαση Υψηλής Ταχύτητας Πακέτων Κάτω Σύνδεσης* (HSDPA – *High*

Speed Downlink Packet Access) έχει οριστεί για να αναβαθμίσει τα σύγχρονα επίγεια συστήματα 3G (W-CDMA) έτσι ώστε να παρέχουν εκπομπή κάτω σύνδεσης υψηλής ταχύτητας στους χρήστες. Η βελτιωμένη απόδοση φάσματος του HSDPA δίνει την δυνατότητα στους χρήστες για ταχύτητες κάτω σύνδεσης τυπικά από 1 μέχρι 3 Mbit/s. Επομένως, είναι δυνατές εφαρμογές που έχουν απαιτήσεις σε χωρητικότητα, όπως για την ροή βίντεο. Ο υποχρεωτικός κωδικο-αποκωδικοποιητής για τις εφαρμογές ροής είναι ο H.263, με ρυθμίσεις που εξαρτώνται από το είδος του περιεχομένου ροής και την εφαρμογή που την εκτελεί.

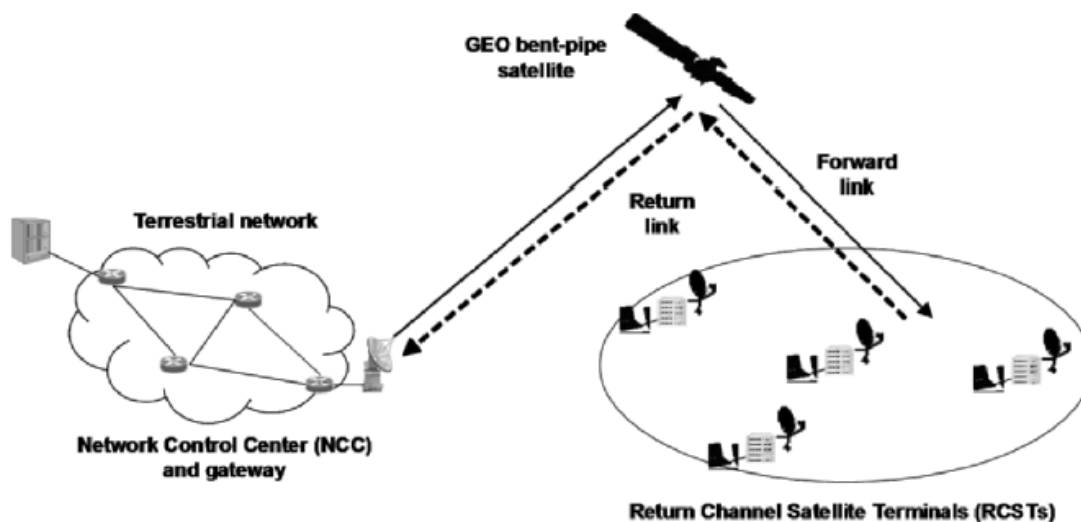
Η καινοτόμα εναέρια διασύνδεση HSDPA βασίζεται στην εφαρμογή *Προσαρμόσιμης Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης (ACM – Adaptive Coding and Modulation)* και στη λειτουργία πολλαπλών κωδικών που εξαρτώνται από τις συνθήκες καναλιού (σύνδεση προώθησης) που αναδρούν από τον εξοπλισμό του χρήστη στον Β κόμβο. Η μελέτη επικεντρώνεται στην πιθανή επέκταση του HSDPA μέσω δορυφόρων, ως μια αναβάθμιση των προδιαγραφών S-UMTS. Σε αυτήν την περίπτωση, ο σταθμός βάσης (δηλ. τον Κόμβο – Β) στην Γη που είναι απευθείας συνδεδεμένος με τον *Ελεγκτή Ασύρματου Δικτύου (RNC – Radio Network Controller)*, ο οποίος λειτουργεί ως πύλη προς το βασικό δίκτυο, διαχειρίζεται όλες τις λειτουργίες διαχείρισης πόρων για την εναέρια διασύνδεση S-HSDPA.

1.4.2 Τυποποίηση DVB-S

Το DVB-S έχει σχεδιαστεί για πρωταρχική και δευτερεύουσα κατανομή στις ζώνες των FSS και BSS. Τέτοια συστήματα θα έπρεπε να είναι ικανά να παρέχουν υπηρεσίες άμεσου τρόπου (*απευθείας στο σπίτι, DHT – Direct-to-Home*) στον καταναλωτή που έχει έναν ενσωματωμένο δέκτη-αποκωδικοποιητή, αλλά και σε συστήματα με συλλογική κεραία και σε τερματικούς σταθμούς καλωδιακής τηλεόρασης. Οι ζώνες συχνότητας για τον προμηθευτή και των συνδέσεων του χρήστη μπορεί να καλύπτουν τις ζώνες Ku/Ku, Ku/Ka και K/Ka.

Κάτω από το επίπεδο μεταφοράς και το επίπεδο IP η *Ενθυλάκωση Πολλαπλών Πρωτοκόλλων (MPE – Multi Protocol Encapsulation)* παρέχει λειτουργίες κατάτμησης και επανασυναρμολόγησης για την παραγωγή πακέτων MPEG2-TS (*Moving Picture Experts Group 2 – Transport System*) των 188 byte (σταθερό μήκος). Μια κεφαλίδα TCP των 20 byte, μια κεφαλίδα IP των 20 byte και μια κεφαλίδα MPE + μια κατάληξη CRC των 12 και 4 bytes προσθέτονται στα πακέτα από το επίπεδο της εφαρμογής. Οι προκύπτουσες οντότητες πληροφορίας είναι τεμαχισμένες σε φορτία πακέτων MPEG2-TS. Όλες οι ροές δεδομένων που μεταφέρονται σε ένα MPEG2-TS είναι TDM τύπου. Στο τμήμα

προσαρμογής καναλιού, γίνεται επεξεργασία των πακέτων σε διάφορα βήματα, όπως κωδικοποίηση καναλιού, μορφοποίηση των παλμών βασικής ζώνης, και διαμόρφωση QPSK. Οι προκύπτουσες μεταδώσεις μέσω δορυφόρου είναι πολύ δυνατές, θεωρώντας ένα ελάχιστο BER των 10^{-11} . Ως παράδειγμα, ένας τυπικός ρυθμός δεδομένων των περίπου 38 Mbit/s πετυχαίνεται με τους μοντέρνους δορυφορικούς πομποδέκτες που έχουν ένα εύρος των 33 MHz.



Εικόνα 1.3: Παράδειγμα αρχιτεκτονικής συστήματος DVB-S/DVB-RCS

1.4.3 Τυποποίηση DVB-RCS

Ένας από τους λόγους του ορισμού μια τυποποίησης DVB με δορυφορικό κανάλι επιστροφής (DVB – *Return Chanel via Satellite*, DVB-RCS) υπήρξε η αυξανόμενη ζήτηση των αλληλεπιδραστικών εφαρμογών και υπηρεσιών με μεγάλους πληροφοριακούς όγκους που δεν μπορούσαν να επιτευχθούν από ένα σύστημα βασισμένο σε DVB-S, όπου το κανάλι επιστροφής (υλοποιημένο μέσω μιας επίγειας σύνδεσης μέσω μόντεμ) δεν μπορεί να επιτρέψει μια επαρκή χωρητικότητα μετάδοσης δυαδικών ψηφίων (μέγιστη ταχύτητα 64 kbit/s).

Οι προδιαγραφές του DVB-RCS χρησιμοποιούν και τροποποιούν τα DVB-S. Επιπλέον, είναι ανεξάρτητα της συχνότητας, καθιστώντας πιο εύκολη την υλοποίηση μηχανισμών δικτύου και ασφάλειας με ένα αποδοτικό επίπεδο μεταφοράς. Το κανάλι DVB-S έχει ονομαστεί *Κανάλι Προώθησης*, ενώ το *Κανάλι Επιστροφής* σχετίζεται με την σύνδεση από τον τελικό χρήστη πίσω προς το δίκτυο περιεχομένου (Εικόνα 1.3). Το κανάλι επιστροφής έχει έναν μεταβαλλόμενο ρυθμό μετάδοσης ψηφίων μέχρι ένα μέγιστο των 2 Mbit/s και μπορεί να απονέμει δυναμικά τους πόρους χρόνου-συχνότητας (σύμφωνα με μια εναέρια σύνδεση MF-TDMA) στους αιτούμενους τερματικούς σταθμούς. Η χωρητικότητα εκπομπής του *Τερματικού Δορυφορικού Σταθμού Καναλιού Επιστροφής* (RCST – *Return Channel Satellite Terminal*) είναι περιορισμένη. Σύμφωνα με την τυποποίηση, το RCST μπορεί να είναι ένας απλός χρήστης (144-384 kbit/s) ή μία εταιρεία (2 Mbit/s).

Η τυποποίηση ορίζει ένα κανάλι αναφοράς για την αρχιτεκτονική *Δορυφορικού Διαδραστικού Δικτύου* (ISN – *Interactive Satellite Network*),

που αποτελείται από έναν συγκεκριμένο αριθμό RCST, έναν γεωσύγχρονο δορυφόρο κυρτού σωλήνα, και τα ακόλουθα στοιχεία:

- *Κέντρο Δικτυακού Ελέγχου (NCC – Network Control Center):* Παρέχει *Λειτουργίες Ελέγχου και Καταγραφής (CMF – Control and Monitoring Functions)*. Επιπλέον, παράγει τα σήματα χρονισμού και ελέγχου, τα οποία εκπέμπουν ένας ή περισσότεροι *Σταθμοί Τροφοδοσίας* για τις λειτουργίες ISN.
- *Πύλη Κυκλοφορίας (GW – Traffic Gateway):* είναι ένας δρομολογητής που στέλνει/λαμβάνει δεδομένα προς/από τα RCST, διαχειρίζοντας την ανταλλαγή δεδομένων με δημόσιους, ιδιόκτητους και προσωπικούς παροχείς.
- *Τροφοδότης:* είναι ο επίγειος σταθμός ο οποίος εκπέμπει το σήμα *Σύνδεσης Προώθησης (DVB-S)*, όπου τα δεδομένα του χρήστη και τα σήματα ελέγχου και χρονισμού πολυπλέκονται μαζί.

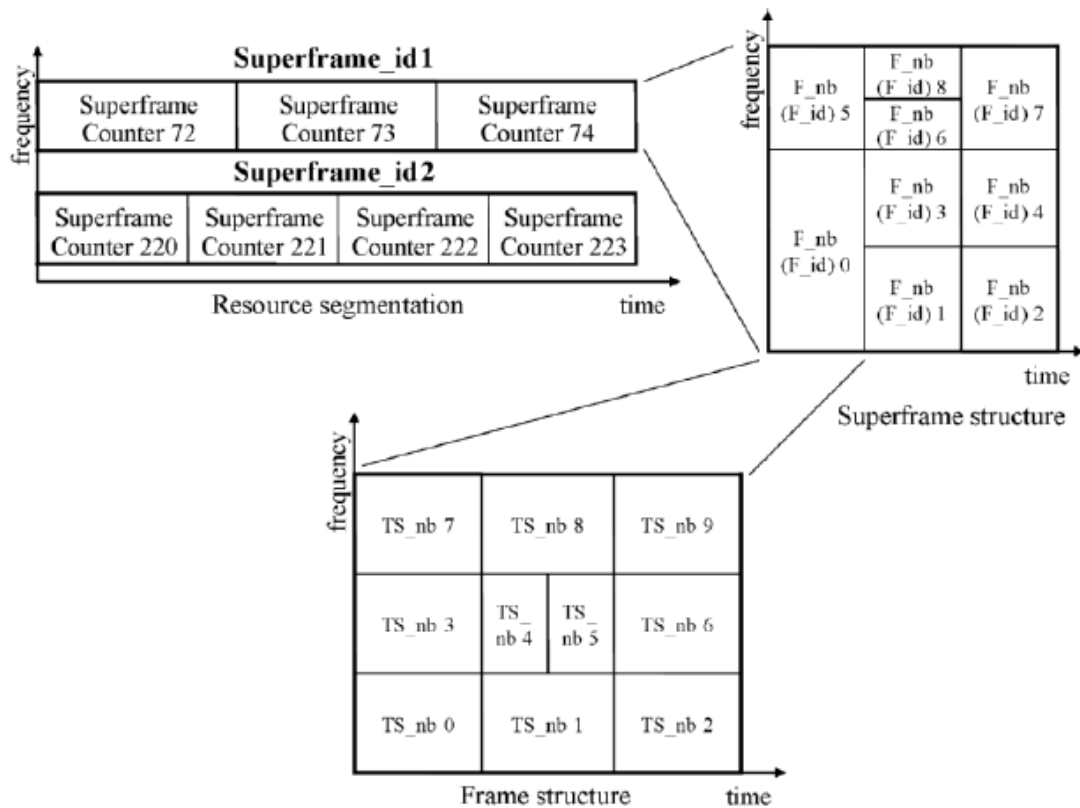
Τα χαρακτηριστικά εναέριας σύνδεσης του DVB-RCS

Για να μπορέσουμε να λειτουργήσουμε επιτυχώς ένα ISN, είναι σημαντικό να χρησιμοποιήσουμε τους διαθέσιμους πόρους όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά. Επομένως, τα σχέδια *Εύρος Ζώνης υπό Ζήτηση (BoD – Bandwidth on Demand*, γνωστά επίσης με το όνομα τεχνικές *Πολλαπλής Πρόσβασης και Κατανομής ανά Ζήτηση, DAMA – Demand Assignment Multiple Access)* έχουν εισαχθεί στην τυποποίηση DVB-RCS με στόχο να βελτιώσουν την χρήση των δορυφορικών πόρων στην παρουσία διακριτών ομάδων κυκλοφορίας πληροφοριών.

Η τυποποίηση DVB-RCS καθορίζει ένα επίπεδο MAC στο οποίο το NCC ελέγχει την κατανομή της χωρητικότητας άνω σύνδεσης για εκπομπές RCST. Το BoD ορίζεται ως ένα σύνολο πρωτοκόλλων MAC και αλγορίθμων που επιτρέπουν στο RCST να ζητήσει πόρους στο NCC, όταν το RCST έχει κυκλοφορία να περάσει από την GW.

Οι εκπομπές σύνδεσης επιστροφής βασίζονται στην εναέρια διασύνδεση MF-TDMA, όπου το RCST εκπέμπει τα δεδομένα του χρησιμοποιώντας ένα εύρος συχνοτήτων για το φέρον (με πιθανά διαφορετικά μεγέθη εύρους ζώνης), με το καθένα να είναι οργανωμένο σε υπερ-πλαίσια, πλαίσια και χρονο-θέσεις. Το NCC αναθέτει σε κάθε ενεργό RCST ένα σύνολο εκρηκτικών εκπομπών, το καθένα ορίζεται από μια συχνότητα, εύρος ζώνης, χρόνο έναρξης και διάρκεια. Διαφορετικά φέροντα μπορεί να έχουν τα ίδια ή διαφορετικά χαρακτηριστικά χρονοθέσεων, κατά συνέπεια να έχουν σταθερή ή δυναμική δομή χρονοθέσεων. Στην πρώτη περίπτωση, οι χρονοθέσεις έχουν σταθερά χαρακτηριστικά, σε όρους εύρους ζώνης και διάρκειας. Ενώ, στην τελευταία περίπτωση, επιπλέον του εύρους ζώνης και της διάρκειας της χρονοθέσης, ο ρυθμός εκπομπής

και κωδικοποίησης μπορούν να αλλάξουν μαζί σε διαδοχικές θέσεις. Τέτοια προσαρμοστικότητα επιτρέπει καλύτερη ανταπόκριση του RCST στις διάφορες απαιτήσεις των πολυμεσικών μεταδόσεων.



Εικόνα 1.4: Οργάνωση των πόρων στην εναέρια διασύνδεση MF-TDMA

Η οργάνωση της συχνότητας και του χρόνου της ζεύξης επιστροφής απεικονίζεται στην Εικόνα 1.4. Κάθε υπερ-πλαίσιο χαρακτηρίζεται από ένα αναγνωριστικό υπερπλαisiού (*superframe_id*), και μπορεί να ανατεθεί σε ένα σύνολο RCST. Κάθε υπερ-πλαίσιο με τη σειρά του διαιρείται σε πλαίσια, που προσδιορίζονται από τον αριθμό πλαisiού (*frame_number*, F_{nb}) ή από το αναγνωριστικό πλαisiού (*frame_ID*, F_{id}). Τα πλαίσια μπορούν να έχουν διαφορετική διάρκεια, εύρος ζώνης και σύνθεση χρονοθέσης. Κάθε πλαίσιο διαχωρίζεται σε χρονοθέσεις που χαρακτηρίζονται από τον αριθμό χρονοθέσης (*timeslot_number*, TS_{nb}); επίσης οι χρονοθέσεις μπορούν να οργανωθούν σε ομάδες θέσεων με παρόμοια χαρακτηριστικά.

Το RCST είναι υπεύθυνο για την ανάλυση, εκτίμηση και αίτηση της απαιτούμενης χωρητικότητας για εκπομπές άνω σύνδεσης (η περίπτωση DAMA), και για την διανομή της κατανεμημένης χωρητικότητας στις εσωτερικές εφαρμογές σύμφωνα με μερικούς κανόνες. Συγκεκριμένα, όταν το RCST έχει δεδομένα για εκπομπή, πρώτα αιτείται ρητώς την απαιτούμενη χωρητικότητα από το NCC (μήνυμα *Αίτησης*

Χωρητικότητας, CR – *Capacity Request*). Το NCC κατανέμει τις θέσεις χρόνου στο κανάλι επιστροφής βασιζόμενο σε κάθε αίτημα και ενημερώνει όλα τα RCST για τις επιτρεπτές θέσεις εκπομπής χρησιμοποιώντας μηνύματα *Σχέδιο Χρόνου Εκρηκτικών Εκπομπών των Τερματικών Σταθμών* (TBTP – *Terminal Burst Time Plan*), που αποστέλλονται συχνά (π.χ. μια φορά σε κάθε υπερπλαίσιο) στο κανάλι *Προώθησης*. Κάθε RCST διαβάζει από το ληφθέν TBTP και μεταδίδει δεδομένα κατά την κατανομή των θέσεων χρόνου.

Μέθοδοι κατανομής και ομάδες κυκλοφορίας στην DBV-RCS

Πέντε μέθοδοι κατανομής χωρητικότητας (επίπεδο 2) ορίζονται από την τυποποίηση DVB-RCS:

- *Απόδοση Συνεχούς Ρυθμού* (CRA – *Continuous Rate Assignment*)
- *Δυναμική Χωρητικότητα Βασιζόμενη στον Ρυθμό* (RBDC – *Rate Based Dynamic Capacity*)
- *Δυναμική Χωρητικότητα Βασιζόμενη στον Όγκο* (VBDC – *Volume Based Dynamic Capacity*)
- *Δυναμική Χωρητικότητα Βασιζόμενη στον Απόλυτο Όγκο* (AVBDC – *Absolute Volume Based Dynamic Capacity*) και
- *Απόδοση Ελεύθερης Χωρητικότητας* (FCA – *Free Capacity Assignment*).

Σημειώστε ότι η CRA είναι ένας σταθερός καταμερισμός χωρητικότητας, ενώ τα RBDC, VBDC και AVBDC είναι DAMA σχέδια. Τελικώς, με την FCA το NCC αναθέτει μη αξιοποιημένους πόρους σε ένα υπερ-πλαίσιο (μετά την εκπλήρωση άλλων ειδών αιτήσεων), χωρίς να γίνονται ιδιαίτερες αιτήσεις από τα RCST. Στον καταμερισμό πόρων, το NCC υιοθετεί την ακόλουθη σειρά προτεραιότητας:

$$CRA > RBDC > (A)VBDC > FCA.$$

Πληροφορίες στις μεθόδους καταμερισμού χωρητικότητας παρέχονται παρακάτω.

Απόδοση Συνεχούς Ρυθμού (CRA): Η CRA είναι χωρητικότητα ρυθμού που πρέπει να παρέχεται πλήρης για κάθε υπερ-πλαίσιο όταν απαιτείται. Η CRA είναι ένας σταθερός (και στατικός) καταμερισμός των πόρων μετά από μια φάση αρχικής ρύθμισης με μια διαπραγμάτευση μεταξύ του RCST και του NCC. Με την CRA, ένας δεδομένος αριθμός χρονοθέσεων (δηλ. πακέτων) αναθέτονται συνεχώς στο RCST σε κάθε υπερ-πλαίσιο μέχρι που το RCST στείλει το μήνυμα απελευθέρωσης της κατανομής. Το CRA κανονικά θα ήταν βάση συνδρομής: ο χρήστης να

πληρώνει σε συγκεκριμένο σταθερό ρυθμό και το RCST να κατανέμει αυτόματα αυτόν τον σταθερό ρυθμό με την είσοδό του στο σύστημα. Το CRA τυπικά πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την κυκλοφορία, η οποία απαιτεί έναν σταθερό δεδομένο ρυθμό, με ελάχιστη καθυστέρηση και ελάχιστη μεταβλητότητα καθυστέρησης, όπως το *Constant Bit Rate* (CBR) των δικτύων ATM. Η μέθοδος κατανομής CRA θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το RBDC για να μπορεί διαχειριστεί κυκλοφορία *Μεταβαλλόμενου Ρυθμού Μετάδοσης* (VBR - *Variable Bit Rate*) που δεν μπορεί να «ανεχτεί» την καθυστέρηση του βρόγχου αίτησης – κατανομής. Σε αυτή την περίπτωση το CRA θα εγγυόταν έναν ελάχιστο ρυθμό επεξεργασίας δεδομένων και το RBDC θα παρείχε επιπλέον δυναμική χωρητικότητα.

Δυναμική Χωρητικότητα Βασιζόμενη στον Ρυθμό (RBDC): Το RBDC είναι χωρητικότητα ρυθμού που αιτείται δυναμικά από το RCST. Η χωρητικότητα RBDC θα παρέχεται σε ανταπόκριση ρητών μηνυμάτων CR από το RCST στο NCC, με αυτές τις αιτήσεις να είναι *απόλυτες* (δηλ, αντιστοιχούν στον πλήρη ρυθμό που αιτείται αυτή τη στιγμή). Κάθε αίτηση υπερσχύει όλων των προηγούμενων αιτήσεων RBDC από το ίδιο RCST, και υπόκειται σε ένα μέγιστο όριο ρυθμού $RBDC_{max}$ που είναι υπό διαπραγμάτευση απευθείας μεταξύ του RCST και του NCC,. Για να αποφύγουμε οποιαδήποτε ανωμαλία RCST που θα μπορούσε να έχει αποτέλεσμα στην απόρριψη απόδοσης χωρητικότητας, η τελευταία RBDC αίτηση που λαμβάνεται από το NCC από ένα δεδομένο κανάλι RCST θα λήξει αυτόματα μετά από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό όριο, το οποίο έχει ως προεπιλεγμένη τιμή 2 υπερπλαίσια, με αποτέλεσμα αυτό το όριο να επαναφέρει το RBDC σε μηδενικό ρυθμό. Τα CRA και RBDC θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως. Μια τυπική εφαρμογή για το RBDC σε γεωσύγχρονους δορυφόρους θα μπορεί να ήταν η υποστήριξη της ομάδας κυκλοφορίας *Available Bit Rate* (ABR) των ATM δικτύων.

Δυναμική Χωρητικότητα Βασιζόμενη στον Όγκο (VBDC): Το VBDC είναι χωρητικότητα όγκου, που αιτείται δυναμικά από το RCST. Η χωρητικότητα VBDC θα παραχωρηθεί ως απάντηση σε ρητά μηνύματα CR από το RCST στο NCC. Τέτοιες αιτήσεις είναι αθροιστικές, δηλ. κάθε αίτηση θα αθροίζεται σε όλες τις προηγούμενες αιτήσεις από το ίδιο RCST. Η αίτηση δείχνει έναν σύνολο αριθμό απαιτούμενων χρονοθέσεων (δηλ. πακέτων) που μπορούν να μοιραστούν μεταξύ διάφορων υπερ-πλαισίων. Διαδοχικές αιτήσεις VBDC αθροίζονται. Το VBDC θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί μόνο για κυκλοφορία που μπορεί να «ανεχτεί» μεταβλητότητα κυκλοφορίας, όπως η ομάδα κυκλοφορίας *Απροσδιόριστου Ρυθμού Μετάδοσης* (UBR - *Unspecified Bit Rate*) των

ΑΤΜ ή τυπική κυκλοφορία IP. Τα VBDC και RBDC μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ABR κυκλοφορία, με την VBDC συνιστώσα να παρέχει μια επέκταση (πάνω από το εγγυημένο όριο της κατηγορίας RBDC) χωρητικότητας μικρής προτεραιότητας. Οι παράμετροι MAC είναι η αίτηση ελάχιστου ($VBDC_{min}$) και μέγιστου όγκου ($VBDC_{max}$).

Δυναμική Χωρητικότητα Βασιζόμενη στον Απόλυτο Όγκο (AVBDC):

Η AVBDC είναι μια χωρητικότητα όγκου που αιτείται δυναμικά από το RCST. Αυτή η χωρητικότητα AVBDC πρέπει να παρέχεται σε απάντηση ρητών μηνυμάτων CR από το RCST στο NCC, με αυτές τις αιτήσεις να είναι απόλυτες (δηλ. κάθε αίτηση αντικαθιστά τις προηγούμενες από το ίδιο RCST). Η αίτηση υποδεικνύει τον συνολικό αριθμό θέσεων κυκλοφορίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοινώς μεταξύ διάφορων υπερ-πλαισίων. Ένας καινούριος καταμερισμός AVBDC ακυρώνει τους προηγούμενους. Ο AVBDC είναι παρόμοιος του VBDC και θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί αντί του VBDC για την αρχική αίτηση ή όταν το RCST αισθάνεται ότι η αίτηση VBDC μπορεί να χαθεί (επανεκκίνηση μιας προηγούμενης αίτησης). Αυτό μπορεί να συμβεί όταν αποστέλλονται αιτήσεις σε εκρηκτικούς ανταγωνισμούς ή όταν οι συνθήκες των καναλιών (π.χ. ρυθμός λάθους του πακέτου E_b/N_0) υποβαθμίζονται. Το AVBDC είναι κατάλληλο να υποστηρίξει τις ίδιες κατηγορίες κυκλοφορίας με το VBDC.

Απόδοση Ελεύθερης Χωρητικότητας (FCA): FCA είναι χωρητικότητα όγκου που θα αποδοθεί στο RCST από την χωρητικότητα, που θα ήταν κατά τα άλλα μη χρησιμοποιημένη. Τέτοια ανάθεση χωρητικότητας θα είναι αυτόματη, μην περιλαμβάνοντας οποιαδήποτε αιτήματα από το RCSTs στο NCC. Ειδικότερα, η FCA δεν πρέπει να χαρτογραφηθεί σε οποιαδήποτε κατηγορία κυκλοφορίας δεδομένου ότι η διαθεσιμότητα είναι ιδιαίτερα μεταβλητή. Η εκχωρημένη χωρητικότητα προορίζεται ως επιπλέον, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει τις καθυστερήσεις σε οποιοδήποτε τύπο κυκλοφορίας που μπορεί να ανεχτεί την μεταβλητότητα καθυστέρησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος «ελεύθερος» σε FCA αναφέρεται στην «εφεδρική» χωρητικότητα συστημάτων. CRA και FCA μπορούν επίσης να αντιμετωπισθούν ως δύο μηχανισμοί για να χορηγήσουν δυναμικά χωρητικότητα σε ένα RCST χωρίς ρητά αιτήματα. Οι πόροι FCA πρέπει να διανεμηθούν σε RCSTs σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια που ταξινομούνται από την προτεραιότητα:

1. Βελτιστοποίηση απόδοσης TCP/IP προκειμένου να μειωθεί το περιστατικό των διαλειμμάτων TCP

2. Ισοκατανομή (δηλ., ίση διανομή των πόρων σύμφωνα με ένα σχέδιο round-robin).

Οι μέθοδοι RBDC και VBDC είναι αρκετά παρόμοιες, αλλά διαφοροποιούνται κατά :

- Τον τύπο ζητούμενης χωρητικότητας (δηλ., χωρητικότητα που εκφράζεται ως ρυθμός δυαδικών ψηφίων σε RBDC, ή χωρητικότητα εκφρασμένη από άποψη πακέτων σε VBDC)
- Χαρακτηριστικών αιτήματος, απόλυτα σε RBDC και συσσωρευτικά σε VBDC

Το RBDC εμφανίζεται ως ένα πιο σύνθετο σχέδιο δεδομένου ότι περιλαμβάνει μια τεχνική για να υπολογιστεί ο ζητούμενος ρυθμός δυαδικών ψηφίων. Με ένα τέτοιο σχέδιο, εντούτοις, είναι πιθανό να ακολουθήσει καλύτερα τα εκρηκτικά χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας εισόδου.

Προκειμένου να σταλούν μηνύματα CR από το RCSTs στο NCC δύο μέθοδοι σηματοδότησης είναι διαθέσιμες:

- *Σηματοδότηση εντός Ζώνης (In-band signaling)*. Τα CRs περικλείονται σε Έλεγχο Πρόσβασης Δορυφόρου (SAC - *Satellite Access Control*) μορφοποίηση και μπορούν να αποσταλούν σε SYNC εκπομπές ή εκπομπές κανονικών δεδομένων MPEG 2 χρησιμοποιώντας *Μεθόδους Περιγραφής Μονάδων Δεδομένων (DULM – Data Unit Labeling Method)*, που εφαρμόζονται τυπικά για να αποσταλούν πληροφορίες ελέγχου και εκτέλεσης στο NCC.
- *Σηματοδότηση εκτός Ζώνης (Out-of-band signaling)*. Χρησιμοποιείται μία μέθοδος μικροθέσεων (με ή χωρίς ανταγωνισμό): οι μικροθέσεις αναθέτονται περιοδικά σε ένα RCST (ή σε μια ομάδα RCSTs) για μικρότερες εκρηκτικές εκπομπές από αυτές που χρησιμοποιούνται για κυκλοφοριακούς σκοπούς.

Για κάθε αίτημα εκπομπής που πραγματοποιείται από ένα RCST, ο χρόνος αναμονής σχετίζεται κυρίως λόγω του RTD. Η *Ελάχιστη Καθυστέρηση Χρονοδρομολόγησης (MSL – Minimum Scheduling Latency)* είναι η ελάχιστη καθυστέρηση μεταξύ του υπολογισμού ενός CR και του χρόνου κατά τον οποίο είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η αιτούμενη χωρητικότητα από το RCST. Στην περίπτωση ενός δορυφόρου κυρτού σωλήνα, το MSL συνεπάγεται τις ακόλουθες συνεισφορές:

- Υπολογισμός και μετάδοση του CR

- Χρόνο αποστολής και επιστροφής μεταξύ του RCST και του NCC (~500 ms για έναν γεωσύγχρονο δορυφόρο κυρτού σωλήνα)
- Καθυστέρηση επεξεργασίας στο NCC (~80 ms)
- Χρόνο εκπομπής TBTP από το NCC
- Καθυστέρηση επεξεργασίας στο RCST

Μια τυπική επιλογή για το μήκος του υπερ-πλασιού είναι 500 ms που ανταποκρίνεται στην περιοδικότητα εκπομπής του TBTP και του CR. Μια πιθανή τιμή για το μήκος του πλασιού είναι 50 ms.

Η τυποποίηση DVB-RCS οραματίζεται 4 προτεραιότητες (δηλ., ομάδες κυκλοφορίας) που καταγράφονται παρακάτω με σκοπό να μειωθεί το επίπεδο επιτακτικότητας:

- Η ομάδα *Πραγματικού Χρόνου* (RT – *Real Time*) για τις εφαρμογές που απαιτούν αυστηρά χρονικά περιθώρια (π.χ. VoIP και τηλεδιάσκεψη)
- Η ομάδα *Πραγματικού Χρόνου – Μεταβαλλόμενου Ρυθμού* (VR-RT, *Variable Rate – Real Time*) είναι για κυκλοφορία ευαίσθητη στο μεταβαλλόμενο ρυθμό της ψηφιακής μεταβλητότητας
- Η ομάδα *Μεταβλητού Ρυθμού Ανεκτική Μεταβλητότητας* (VR-JT, *Variable Rate – Jitter Tolerant*) για μεταβαλλόμενη ψηφιακή κυκλοφορία ανεκτική στην μεταβλητότητα
- Η ομάδα κυκλοφορίας *Προτεραιότητας Ανεκτική Μεταβλητότητας* (*Jitter Tolerant Priority*)

Ένα RCST μπορεί να τοποθετήσει σε ουρά όλη την κυκλοφορία που έρχεται από την αλληλεπίδραση χρηστών, χρησιμοποιώντας διαφορετικές ουρές για ροές που υπόκεινται σε διαφορετικές προτεραιότητες εκπομπής (π.χ., ομάδα υπηρεσιών). Για παράδειγμα, θα προμηθευτεί μια ουρά δευτέρου επιπέδου για κάθε μια από τις προτεραιότητες (δηλ., RT, VR-RT, VR-JT, JT). Κάθε ουρά πρέπει να εξυπηρετηθεί με μια μέθοδο απόδοσης χωρητικότητας (ή ένα συνδυασμό αυτών). Για παράδειγμα: CRA για RT, RBDC για CR, VBDC/AVBDC+FCA για JT.

Τυπικά, στο επίπεδο IP μπορεί να γίνει διαχείριση 4-16 ουρών σύμφωνα με συγκεκριμένες ομάδες IP QoS, ενώ στο δεύτερο επίπεδο προβλέπονται μόνο τέσσερις ουρές. Κατά συνέπεια, οι ομάδες εξυπηρέτησης IP QoS (δηλ., ουρές τρίτου επιπέδου) πρέπει να χαρτογραφηθούν επαρκώς στις αντίστοιχες MAC QoS ομάδες (δηλ., ουρές δευτέρου επιπέδου).

Η κυκλοφορία που παράγεται στο RCST πρώτα ταξινομείται και τα πακέτα αποθηκεύονται σε μία από τις διάφορες ουρές των τριών

επιπέδων. Στο τρίτο επίπεδο έχουμε ενθυλάκωση MPE και την παραγωγή πακέτων δεύτερου επιπέδου (π.χ., MPEG2-TS) που προμηθεύονται σε κατάλληλες ουρές, αναμένοντας την εκπομπή.

Σε ένα δίκτυο χωρίς συνδέσεις, η απόδοση προτεραιότητας στα ηχητικά πακέτα και προς τις δύο κατευθύνσεις είναι κρίσιμη για την αποφυγή της υποβάθμισης της ποιότητας του ήχου. Συνεπώς, το στοιχείο της προτεραιότητας παίζει έναν σημαντικό ρόλο στην αρχιτεκτονική BoD και πρέπει να είναι παρόν σε όλα τα βήματα της εκπομπής.

1.4.4 Τυποποίηση DVB-S2

Μετά από 10 χρόνια από τον ορισμό του DVB-S το 2003, η Ευρωπαϊκή κοινοπραξία DVB έχει αναπτύξει μια τυποποίηση δεύτερης γενιάς για δορυφορικές εκπομπές που ονομάζεται DVB-S2. Ένα τέτοιο σύστημα εφαρμόζει τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στην κωδικοποίηση καναλιών (π.χ. Έλεγχος Ισοτιμίας Χαμηλής Πυκνότητας, LDPC – *Low Density Parity Check*, που περιγράφονται παρακάτω) σε συνδυασμό με διάφορους τρόπους διαμόρφωσης (π.χ. QPSK, 8PSK, 16APSK και 32APSK).

Πέρα από τις υπηρεσίες εκπομπής, το DVB-S2 μπορεί να εφαρμοστεί για αλληλεπιδραστικές εφαρμογές σημείο προς σημείο (π.χ. πρόσβαση στο διαδίκτυο) χρησιμοποιώντας νέα σχέδια διαμόρφωσης και νέους τρόπους λειτουργίας για βελτιστοποίηση της διαμόρφωσης και σχεδίων κωδικοποίησης εξαρτώμενα από τις συνθήκες καναλιών. Με σκοπό το DVB-S να συνεχίζει να λειτουργεί κατά τη μεταβατική περίοδο, η τυποποίηση DVB-S2 παρέχει επίσης μέσα μετάδοσης συμβατά με τους δορυφορικούς αποκωδικοποιητές πρώτης γενιάς (*Set-Top-Box*, STB).

Ένας εκπομπός DVB-S2 αποτελείται από τα ακόλουθα λειτουργικά τμήματα που περιγράφονται παρακάτω: προσαρμογή τρόπου λειτουργίας, προσαρμογή ροής, κωδικοποίηση FEC, χαρτογράφηση διαμόρφωσης, πλαισιοποίηση φυσικού επιπέδου (physical layer framing), φιλτράρισμα βασικής ζώνης και τετραγωνική διαμόρφωση.

Προσαρμογή τρόπου λειτουργίας

Υπάρχουν τρεις τρόποι λειτουργίας (εξαρτώμενοι από την εφαρμογή) για το DVB-S2: Διαμόρφωση Σταθερής Κωδικοποίησης (CCM – *Constant Coding Modulation*), Μεταβαλλόμενη Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση (VCM – *Variable Coding and Modulation*) και Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση (ACM – *Adaptive Coding and Modulation*).

- Το CCM είναι ένα σταθερό σύστημα προστασίας, το οποίο αντιστοιχεί στο απλούστερο τρόπο λειτουργίας του DVB-S2. Είναι παρόμοιο του πρώτου DVB-S, από τη στιγμή που όλα τα πλαίσια δεδομένων κωδικοποιούνται και διαμορφώνονται με τις ίδιες σταθερές παραμέτρους. Σε αντίθεση με το DVB-S, το DVB-S2 χρησιμοποιεί εσωτερικό κώδικα διόρθωσης λαθών LDPC.
- Το VCM μπορεί να εφαρμοστεί για διακριτά επίπεδα προστασίας λαθών σε διαφορετικές υπηρεσίες (π.χ. εύρωστη προστασία για SDTV και χωρίς εύρωστη προστασία για HDTV, ήχο, πολυμέσα). Όντως, η τυποποίηση DVB-S2 υποστηρίζει την μετάδοση διαφορετικών υπηρεσιών στο ίδιο φέρον, με το καθένα να λειτουργεί με τον δικό του σχέδιο διαμόρφωσης και ρυθμό κωδικοποίησης. Το VCM εκτελεί ένα είδος λειτουργίας πολύπλεξης στο φυσικό στρώμα για να παρέχει διακριτές υπηρεσίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά.
- Το ACM είναι μια λειτουργικότητα που προσφέρεται από το DVB-S2, στην περίπτωση αλληλεπιδραστικών εφαρμογών και εφαρμογών σημείου προς σημείο, όταν είναι διαθέσιμο ένα κανάλι επιστροφής. Το ACM επιτρέπει να αλλάζει δυναμικά ο ρυθμός κωδικοποίησης και το σχέδιο διαμόρφωσης βάση των συνθηκών του μετρούμενου καναλιού στην τοποθεσία που πρέπει να αποσταλεί το πλαίσιο. Η αποστέλλουσα τοποθεσία αποκτά δυναμικά πληροφορίες για τις συνθήκες λήψης μέσω του καναλιού επιστροφής.

Η ακόλουθη περιγραφή εξετάζει τις διαφορετικές περιπτώσεις υπηρεσιών όπου το DVB-S2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, μελετούμε τις ακόλουθες περιοχές εφαρμογής: *Υπηρεσίες εκπομπών*, *Υπηρεσίες αλληλεπίδρασης*, *Συνεισφορά Ψηφιακής Τηλεόρασης (Digital TV Contribution)* και *Συλλογή Δορυφορικών Νέων (Satellite News Gathering)* και άλλες *Επαγγελματικές Υπηρεσίες και Εφαρμογές*. Περισσότερες πληροφορίες παρέχονται παρακάτω σε σχέση με τον τρόπο λειτουργίας.

- Οι υπηρεσίες εκπομπών παρέχονται μέσω DVB-S2 με την ευελιξία του VCM. Υπάρχουν επίσης *Υπηρεσίες Ευρείας Εκπομπής Συμβατές με Προηγούμενες (Backwards Compatible-Broadcast Services)* που χρησιμοποιούνται για συνδυασμένο αλληλοχειρισμό με DVB-S αποκωδικοποιητές, και βελτιστοποιημένες *Υπηρεσίες Ευρείας Εκπομπής Μη Συμβατές με Προηγούμενες (Non-Backwards Compatible-Broadcast Services)*.
- Οι υπηρεσίες αλληλεπίδρασης σχεδιάζονται για να λειτουργούν με την υπάρχουσα τυποποίηση DVB του καναλιού επιστροφής (π.χ., RC-PSTN, RCS κλπ). Το DVB-S2 μπορεί να χρησιμοποιήσει ταυτόχρονα CCM και ACM.

- Οι εφαρμογές *Συνεισφορά Ψηφιακής Τηλεόρασης και Συλλογή Δορυφορικών Νέων* αναφέρονται σε επικοινωνίες σημείο προς σημείο, ή σημείο προς πολλαπλά σημεία πολλαπλών ή ενός MPEG-TS, διαμέσου τρόπων λειτουργίας CCM ή ACM.
- Οι *επαγγελματικές Υπηρεσίες και Εφαρμογές* αποτελούνται κυρίως από επαγγελματικές εφαρμογές σημείου προς σημείο και σημείου προς πολλαπλά σημεία (π.χ. διανομή πληροφοριακού περιεχομένου). Για αυτές τις υπηρεσίες το DVB-S2 χρησιμοποιεί τις τεχνικές CCM, VCM ή ACM.

Προσαρμογή ροής

Αυτή η λειτουργία εφαρμόζεται για να πραγματοποιήσει πλήρωση (ολοκλήρωση ενός πλαισίου βασικής ζώνης) και περίπλεξη βασικής ζώνης.

FEC κωδικοποίηση

Το FEC επιτρέπει να πετύχουμε εξαιρετική απόδοση ακόμα και στην παρουσία υψηλών επιπέδων θορύβου και παρεμβολών. Το FEC επιτυγχάνεται με την συνένωση των BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) εξωτερικών κωδικών και των LDPC εσωτερικών κωδικών. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την επίτευξη μιας λειτουργίας αρκετά κοντά στο όριο Shannon. Οι εξωτερικοί κωδικοί BCH χρησιμοποιούνται για να αποφύγουμε error floors σε χαμηλές τιμές BER. Οι επιλεγμένοι κώδικες LDPC λειτουργούν με ρυθμούς κωδικοποίησης των $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{8}{9}$ και $\frac{9}{10}$, εξαρτόμενοι από την υιοθετημένη διαμόρφωση και τις απαιτήσεις του συστήματος. Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται ρυθμοί κωδικοποίησης $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ και $\frac{2}{5}$, συνδυασμένοι με διαμόρφωση QPSK στην παρουσία ελαττωματικών συνθηκών σύνδεσης. Ανάλογα με την περιοχή εφαρμογής, τα τμήματα κώδικα FEC έχουν πολύ μεγάλα μήκη (64800 bits για εφαρμογή ανεκτικές σε καθυστέρηση, ή 16200 bits). Στις περιπτώσεις των VCM και ACM, το FEC και ο τρόπος διαμόρφωσης μπορεί να μεταβάλλεται σε διαφορετικά πλαίσια, αλλά είναι σταθερός σε ένα πλαίσιο.

Τέλος, η παρεμβολή bit θα εφαρμοστεί στο 8PSK, 16APSK και 32APSK FEC κωδικοποιημένα bits.

Χαρτογράφηση διαμόρφωσης

Τέσσερις ομάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το μεταδιδόμενο φορτίο, εξαρτώμενο από την περιοχή εφαρμογής, όπως περιγράφεται παρακάτω:

- QPSK και 8PSK τυπικά προτείνονται για εφαρμογές εκπομπών, από τη στιγμή που έχουν μια σχεδόν σταθερή περιβάλλουσα έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν μέσα στην μη γραμμική περιοχή των δορυφορικών πομποδεκτών (δηλ. κοντά στον κορεσμό).
- Οι τρόποι λειτουργίας 16APSK και 32APSK, που έχουν προταθεί κυρίως για επαγγελματικές εφαρμογές (αυτές οι διαμορφώσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επίσης για εκπομπή), απαιτούν ένα μεγαλύτερο επίπεδο διαθέσιμου C/N και την υιοθέτηση εξελιγμένων μεθόδων προ-παραμόρφωσης για να μειώσουν τις μη γραμμικές επιδράσεις στους πομποδέκτες.

Το DVB-S2 αναμένεται να πετυχαίνει φασματικές αποδόσεις που κυμαίνονται από 0.5 bit/s/Hz μέχρι 4.5 bit/s/Hz.

Πλαισίωση φυσικού στρώματος

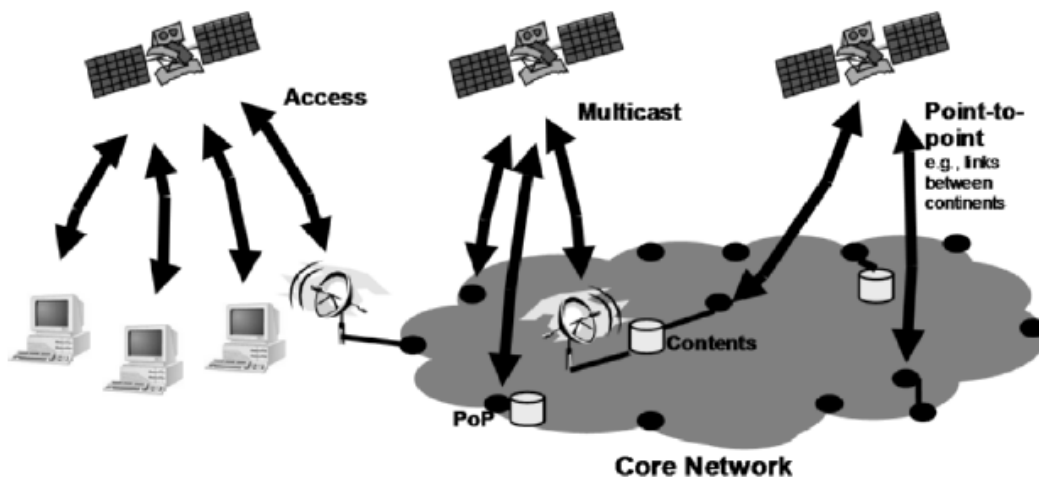
Σε συγχρονισμό με τα πλαίσια FEC, αυτό το υπο-σύστημα παράγει το πλαίσιο φυσικού στρώματος (PLFRAME – *Physical Layer Frame*) υποστηρίζοντας επίσης κάποιες λειτουργίες όπως: dummy PLFRAME insertion, σηματοδότηση φυσικού στρώματος, εισαγωγή προαιρετικών πιλοτικών συμβόλων και περίπλεξη φυσικού στρώματος για διασπορά ενέργειας.

Ένα DVB-S2 σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο ρυθμίσεις: ένα φέρον ανά πομποδέκτη και πολλαπλά φέρον ανά πομποδέκτη (το εύρος ζώνης του πομποδέκτη διαιρείται με *Πολύπλεξη Διάρθρωσης Συχνότητας*, FDM (*Frequency Division Multiplexing*), μεταξύ διαφορετικών φερόντων και σχετικών ζωνών).

Στην περίπτωση του τρόπου λειτουργίας ACM, η εναέρια σύνδεση DVB-S2 αλλάζει ευέλικτα τεχνικές κωδικοποίησης και διαμόρφωσης για να μεγιστοποιήσει απόδοση και κάλυψη. Αυτό πετυχαίνεται μέσω της εκπομπής TDM μιας ακολουθίας PLFRAME, όπου η μορφοποίηση της κωδικοποίησης και διαμόρφωσης μπορεί να αλλάζει σε κάθε νέο PLFRAME.

Φιλτράρισμα βασικής ζώνης και τετραγωνική διαμόρφωση

Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για σχηματισμό πιο στενού εύρους ζώνης (συνημίτονο υψωμένο σε τετραγωνική ρίζα) και για παραγωγή σήματος ραδιοφωνικής συχνότητας.



Εικόνα 1.5: Παραδείγματα για την χρησιμοποίηση των δορυφορικών συνδέσεων στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.

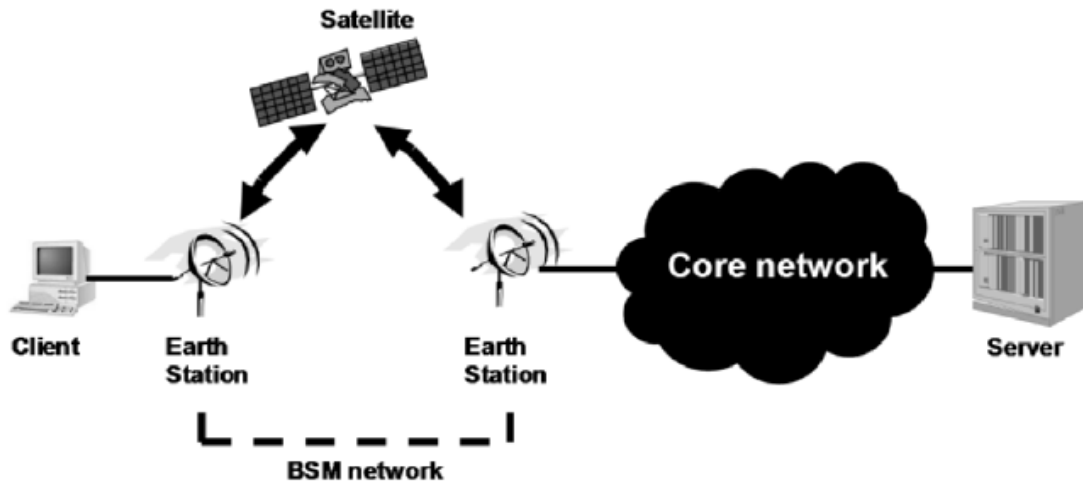
1.5 Δορυφορικά δίκτυα

Ένα δορυφορικό δίκτυο μπορεί να παίξει διάφορους ρόλους [8]. Συγκεκριμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δίκτυο πρόσβασης για τους τελικούς χρήστες ή μπορεί να είναι μέρος του βασικού δικτύου. Μερικά παραδείγματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.5.

Η λειτουργική ομάδα ETSI TC-SES/BSM (*Επίγειοι Δορυφορικοί Σταθμοί και Συστήματα (Satellite Earth Stations and Systems) / Δορυφορικά Πολυμέσα Ευρείας Ζώνης (Broadband Satellite Multimedia)*) είχε το έργο να επικεντρωθεί στην εσωτερική λειτουργία επιπέδων IP, να ορίσει μια καινούρια αρχιτεκτονική δικτύου και να συμπεριλάβει εναλλακτικές οικογένειες εναέριων διεπαφών χαμηλότερων στρωμάτων. Ένα δίκτυο *Πολυμέσων Δορυφόρων Ευρείας Ζώνης (BSM – Broadband Satellite Multimedia)* διαιρείται σε 5 περιοχές, όπως προσδιορίζεται στο ETSI TR 101 984:

- Περιοχή χρήστη, που αντιπροσωπεύει την ομάδα τελικών χρηστών
- Περιοχή πρόσβασης που δεικνύει το δίκτυο πρόσβασης που χρησιμοποιείται για να συνδέσει τον παροχέα υπηρεσιών (π.χ. ADSL, UMTS, δορυφόρος)
- Δίκτυο διανομής: αυτό είναι ένα ενδιάμεσο δίκτυο που υπερθέτεται μεταξύ του δικτύου πρόσβασης και του βασικού δικτύου
- Βασικό δίκτυο, που αντιπροσωπεύει το βασικό δίκτυο μεταφοράς που χρησιμοποιείται για να συνδέσει τους δρομολογητές σε μια γεωγραφική περιοχή

- Περιοχή περιεχομένου που αντιπροσωπεύει την περιοχή όπου περιεχόμενα και πληροφορίες αποθηκεύονται για να γίνουν διαθέσιμα στους χρήστες.



Εικόνα 1.6: Γενική αρχιτεκτονική δικτύου BSM

Ο χρήστης που αιτείται περιεχόμενα θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε αυτά με την αίσθηση ότι συνδέεται απευθείας με την πηγή της πληροφορίας, την Περιοχή Περιεχομένου. Πρακτικά, ο χρήστης διασχίζει πολλές περιοχές οι οποίες είναι διαφανές ως προς αυτόν.

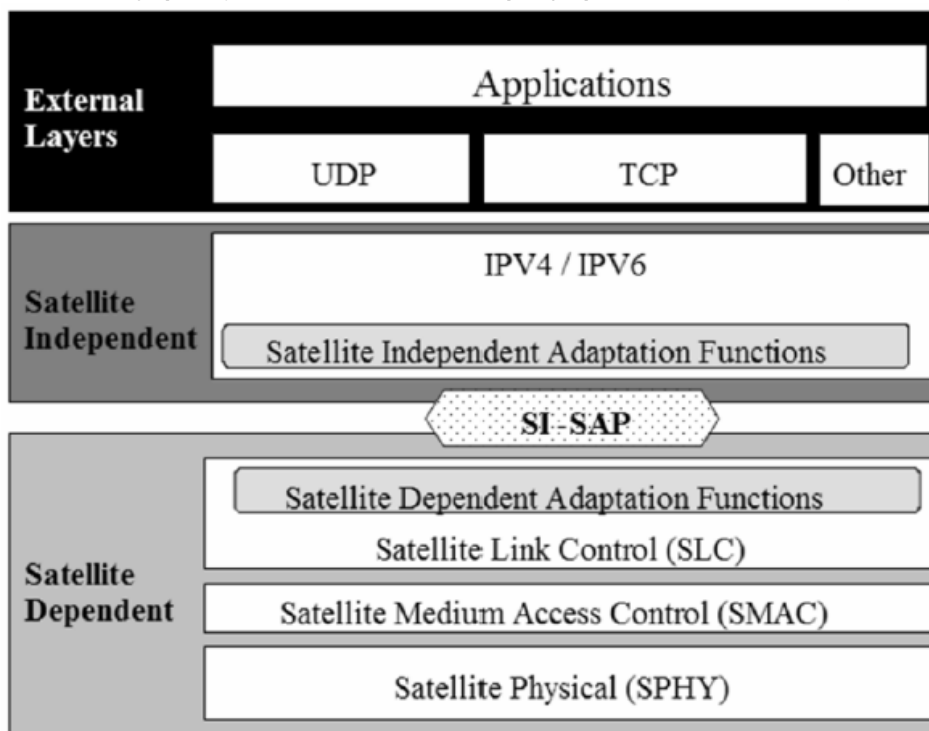
Ας μελετήσουμε τις λειτουργίες δικτύου BSM από την μεριά στοίβας πρωτοκόλλου (Εικόνα 1.6) που μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικά επίπεδα, όπως προσδιορίζεται στο ETSI TR 101 985:

- Το δίκτυο BSM λειτουργεί σε δεύτερο επίπεδο, σαν μια γέφυρα
- Το δίκτυο BSM λειτουργεί σε τρίτο επίπεδο, έτσι ώστε οι δορυφορικοί και επίγειοι σταθμοί να είναι δρομολογητές
- Το δίκτυο BSM λειτουργεί σε ένα επίπεδο πάνω από το τρίτο: οι δορυφορικοί και επίγειοι σταθμοί είναι δρομολογητές. Σε αυτήν την περίπτωση, αυτοί οι σταθμοί μπορούν να εκτελέσουν μια πιο ακριβή δρομολόγηση βασιζόμενοι όχι μόνο στην κεφαλίδα του IP διαγράμματος, αλλά επίσης σε πληροφορίες κεφαλίδων υψηλότερων επιπέδων. Σε αυτή την περίπτωση, ο επίγειος σταθμός μπορεί να πραγματοποιήσει ειδικές λειτουργίες όπως *Αντικαταστάτης Ενίσχυσης Απόδοσης* (PEPs – Performance Enhancing Proxies) που είναι σημαντικές για να βελτιώσουν την απόδοση TCP στα δορυφορικά δίκτυα.

Δίκτυα *Τερματικών Σταθμών Πολύ Μικρού Ανοίγματος* (VSAT – Very Small Aperture Terminal) είναι μια ειδική περίπτωση δικτύων BSM όπου ο χρήστης τερματικού σταθμού εφαρμόζει μια μικρή κεραία (δηλ. VSAT) και απλοποιημένο εξοπλισμό για να μειωθεί το κόστος. Αυτός ο τερματικός σταθμός μικρού δορυφόρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μονόδρομες ή/και αλληλεπιδραστικές επικοινωνίες. Τα VSAT μπορούν να υποστηρίξουν διάφορες εφαρμογές, όπως: συγκέντρωση δορυφορικών νέων, εποπτικό έλεγχο και απόκτηση πληροφοριών, αναζήτηση/απόκριση, εκπομπή ήχου και τηλεόρασης, διανομή δεδομένων. Τα δίκτυα VSAT βασίζονται στους γεωσύγχρονους δορυφόρους (τυπικά είδους κυρτού σωλήνα) σύμφωνα προς τοπολογία αστέρα: ένας επίγειος σταθμός λειτουργεί ως κόμβος (= πύλη στο επίγειο δίκτυο και κύριος σταθμός ελέγχου), λαμβάνοντας και εκπέμποντας όλες τις ροές δεδομένων από / προς τα VSAT. Η προς τα πάνω σύνδεση είναι μέσω ενός γεωσύγχρονου δορυφόρου. Η σύνδεση επιστροφής (από το VSAT στον κόμβο) είναι τυπικά μέσω ενός επίγειου συνδέσμου *Τηλεφωνικού Δικτύου Δημόσιας Μεταγωγής* (PSTN – Public Switched Telephone Network) (για να απλοποιήσει τον σχεδιασμό κεραίας στο VSAT). Επομένως, οι άνω συνδέσεις και οι συνδέσεις επιστροφής έχουν μια ασύμμετρη χωρητικότητα. Σε κάθε περίπτωση πρόσφατες εξελίξεις σε αυτό το πεδίο επιτρέπουν και την σύνδεση επιστροφής μέσω δορυφόρου. Αναφερόμενοι στην αρχιτεκτονική δικτύου της Εικόνας 1.6, το VSAT περιλαμβάνει τον πελάτη και τον επίγειο σταθμό στα αριστερά. Ενώ, ο κόμβος συμπίπτει με τον επίγειο σταθμό στα δεξιά. Διαφορετικοί σχεδιασμοί VSAT χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες έτσι ώστε να έχουν πρόσβαση στο τμήμα δορυφορικού ραδιοφωνικού χώρου και να το μοιράζονται μεταξύ πολλαπλών χρηστών. Ένα από τα προβλήματα που έχουν αντιμετωπίσει τα δίκτυα VSAT κατά την διάρκεια της εξέλιξής τους ήταν η έλλειψη συμμόρφωσης σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη τυποποίηση. Στα τελευταία έτη, σώματα τυποποίησης έχουν καθιερώσει νέες τυποποιήσεις για να υποστηρίξουν το δορυφορικό Διαδίκτυο. Η τυποποίηση DVB είναι η πρώτη που δημοσιοποιήθηκε, και το ETSI υιοθέτησε το DVB-RCS για δορυφορικές εκπομπές σύνδεσης επιστροφής. Μια άλλη τυποποίηση είναι η IPoS (*Internet Protocol over Satellite – Δορυφορικό Πρωτόκολλο Διαδικτύου*) που αναπτύχθηκε από το HNS (*Hughes Network Systems*) και τυποποιήθηκε από την ETSI. Τελικά, έχει προταθεί το DOCSIS-S (*Data Over Cable Service Interface Specification for Satellite – Προδιαγραφές Διασύνδεση Δεδομένων μέσω Καλωδιακών Υπηρεσιών για Δορυφόρους*), μια τροποποίηση του DOCSIS καλώδιο-μόντεμ για να υιοθετηθεί για τις δορυφορικές εκπομπές.

Ας επικεντρωθούμε στα δορυφορικά δίκτυα IP. Η λειτουργική ομάδα ETSI TC-SES/BSM έχει ορίσει την αρχιτεκτονική στοίβας πρωτοκόλλου

που παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.7 όπου τα χαμηλότερα επίπεδα εξαρτώνται από την υλοποίηση συστήματος του δορυφόρου (*Satellite-Dependent* – Εξαρτώμενα από τον δορυφόρο, SD, επίπεδα) και τα



Εικόνα 1.7: Τυποποιημένη στοίβα πρωτοκόλλου

υψηλότερα επίπεδα είναι τυπικά του Διαδικτυακού πρωτοκόλλου στοίβας (*Satellite-Independent* – Ανεξάρτητα του δορυφόρου, SI, επίπεδα). Αυτά τα δύο τμήμα πρωτοκόλλων στοίβας διασυνδέονται μέσω της διασύνδεσης SI-SAP (*Satellite-Independent – Service Access Point* – Σημείο Πρόσβασης Υπηρεσίας Ανεξάρτητο του Δορυφόρου). Μόνο ένας μικρός αριθμός των γενικής χρήσης λειτουργιών πρέπει να περάσουν το SI-SAP. Συγκεκριμένα: η ανάλυση διευθύνσεων, η διαχείριση πόρων, οι ομάδες κυκλοφορίας QoS.

Η διασύνδεση SI-SAP λογικά διαιρείται σε τρία SAP, με το καθένα να έχει μια κατάλληλη λειτουργία και χαρακτηριστικά ασφάλειας, όπως περιγράφονται στην τυποποίηση ETSI TS 102 465. Συγκεκριμένα έχουμε:

- SI-U-SAP (*SAP-Χρήστη*): μεταφορά πακέτων IP μεταξύ των χρηστών
- SI-C-SAP (*SAP-Ελέγχου*): μεταφορά δεδομένων ελέγχου και σηματοδότησης υπηρεσιών για SI-U-SAP
- SI-M-SAP (*SAP-Διαχείρισης*): μεταφορά πληροφοριών διαχείρισης.

1.5.1 Περίληψη διασύνδεσης SI-SAP

Το SI-SAP ορίζει μια διασύνδεση μεταξύ των άνω επιπέδων SI και των χαμηλότερων επιπέδων SD που εφαρμόζεται σε όλες τις οικογένειες εναέριων διασυνδέσεων για συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών. Τα SI-SAP αντιστοιχούν στα τελικά σημεία των κομιστών υπηρεσιών BSM. Το SI-SAP χρησιμοποιείται για να ορίσει τυποποιημένες υπηρεσίες κομιστών SI που υλοποιούνται πάνω σε υπηρεσίες εκπομπών χαμηλότερων επιπέδων. Σημείο προς σημείο, σημείο προς πολλαπλά σημεία, πολλαπλά σημεία προς πολλαπλά σημεία και υπηρεσίες κομιστών ευρείας εκπομπής ορίζονται ως οι υπηρεσίες από άκρη έως άκρη που παρέχονται από τα υποδίκτυα BSM. Το SI-SAP παρέχει μια συνοπτική διασύνδεση που επιτρέπει τα πρωτόκολλα BSM (ανάλυση διευθύνσεων BSM, διαχείριση πόρων BSM, κλπ) να λειτουργήσουν σε οποιαδήποτε οικογένεια BSM (δηλ. τεχνολογία επιπέδου 1 και 2). Το SI-SAP χρησιμοποιεί αναγνωριστικό BSM (BSM_ID) και αναγνωριστικά ουράς (QIDs – Queuing Identifiers) για χειρισμό κυκλοφορίας.

- Το BSM_ID αναγνωρίζει με μοναδικό τρόπο ένα σημείο σύνδεσης δικτύου BSM και επιτρέπει στα πρωτόκολλα ανάλυσης διευθύνσεως επιπέδου IP (ισοδύναμα του πρωτόκολλου ανάλυσης διευθύνσεως ARP (Address Resolution Protocol) για IPv4 και ανακάλυψης γείτονα ND (Neighbor Discovery) για IPv6) να χρησιμοποιηθούν στο BSM.
- Τα QIDs είναι συνοπτικές ουρές (επιπέδου SI-SAP) που αντιπροσωπεύουν τις ουρές δεύτερου επιπέδου με έναν γενικό τρόπο για να επιτρέψουν την χαρτογράφηση με ουρές τρίτου επιπέδου (σημειώστε ότι χρησιμοποιώντας μηχανισμούς υποστήριξης QoS στο τρίτο επίπεδο χρειάζονται διαφορετικές ουρές). Τα QIDs είναι ένας τρόπος να κρύψουμε συγκεκριμένες υλοποιήσεις του επιπέδου SD (δηλ. την τεχνολογία BSM) από το επίπεδο του IP. Κάθε ουρά QID χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες παραμέτρους QoS προδιαγραφές κυκλοφορίας, ετικέτα διαδρομής ή σήμανση διαφοροποιημένης υπηρεσίας (DiffServ – *Differentiated Service*) και σχετίζεται με ικανότητες μετάδοσης χαμηλότερων επιπέδων (δηλ. μεθόδων κατανομής χωρητικότητας) και τακτικές διαχείρισης προσωρινών καταχωρητών. Τα επίπεδα SD είναι υπεύθυνα για την εκχώρηση χωρητικότητας σε αυτές τις συνοπτικές ουρές (π.χ., στο DVB-RCS μπορούμε να μελετήσουμε τις μεθόδους ανάθεσης όπως οι CRA, VBDC κλπ και συνδυασμό αυτών). Η χαρτογράφηση των ουρών IP στα QIDs είναι ευέλικτη: δεν υπάρχει κανένας αυστηρός περιορισμός για χαρτογράφηση ένα προς ένα, αλλά πρέπει να

λάβουμε επίσης υπόψη ότι περισσότερες ουρές IP αντιστοιχούν στο ίδιο QID (σε αυτή την περίπτωση ένας χρονοδρομολογητής θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί στο τρίτο επίπεδο για να καθορίσει την σειρά υπηρεσιών των διαφορετικών ουρών που χαρτογραφούνται στο ίδιο QID). Τα δίκτυα BSM χρησιμοποιούν μια κατάλληλη και γενική κατηγοριοποίηση των ροών κυκλοφορίας στις ομάδες κυκλοφορίας που μπορούν να χαρτογραφηθούν σε κλασσικές ομάδες IP QoS. Συγκεκριμένα, 8 ομάδες κυκλοφορίας, δηλ. επίπεδα προτεραιότητας υπηρεσιών, ορίζονται από το 0 (για επείγουσες υπηρεσίες) μέχρι 7 (για χαμηλής προτεραιότητας κυκλοφορία εκπομπής/πολυεκπομπής).

Άλλα λειτουργικά τμήματα περιλαμβάνονται στην διαχείριση των ουρών στην αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων BSM.

Όλες οι υπηρεσίες BSM (μεταφορά δεδομένων, διαχείριση διευθύνσεων, διαφήμιση ομάδων κλπ) χρησιμοποιούν πρωτογενείς λειτουργίες (primitives) SI-SAP. Αυτές οι πρωτογενείς λειτουργίες ταξινομούνται σε λειτουργικές ομάδες μέσα στο επίπεδο του χρήστη (U – user plane), επίπεδο ελέγχου (C – control plane) και επίπεδο διαχείρισης (M – management plane). Οι πρωτογενείς λειτουργίες (οι οποίες ανταλλάσσονται μεταξύ των άνω και των χαμηλότερων επιπέδων) είναι των παρακάτω τεσσάρων ειδών:

- Η πρωτογενής λειτουργία ΑΙΤΗΣΗΣ (REQUEST) χρησιμοποιείται όταν το επίπεδο SI αιτείται μια υπηρεσία από το επίπεδο SD.
- Η πρωτογενής λειτουργία ΥΠΟΔΕΙΞΗΣ (INDICATION) χρησιμοποιείται από το επίπεδο SD για να ειδοποιήσει το επίπεδο SI για δραστηριότητες. Αυτό το είδος μπορεί είτε να σχετίζεται με μία ΑΙΤΗΣΗ στην ομότιμη οντότητα, ή μπορεί να είναι ένδειξη ενός γεγονότος χαμηλότερου επιπέδου που δεν έχει αιτηθεί.
- Η πρωτογενής λειτουργία ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (RESPONSE) χρησιμοποιείται από το επίπεδο SI για να γνωστοποιήσει την λήψη της ΥΠΟΔΕΙΞΗΣ από το επίπεδο SD.
- Η πρωτογενής λειτουργία ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗΣ (CONFIRM) χρησιμοποιείται από το επίπεδο SD για να επιβεβαιώσει ότι η αιτούμενη δραστηριότητα από μια προηγούμενη πρωτογενή λειτουργία ΑΙΤΗΣΗΣ έχει ολοκληρωθεί.

Οι υπηρεσίες που παρέχονται στο επίπεδο SI-SAP διαχωρίζονται σε λειτουργικές ομάδες επιπέδου U, C και M, όπως περιγράφονται παρακάτω. Κάθε υπηρεσία χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα διαφορετικά είδη των παραπάνω αναφερόμενων πρωτογενών λειτουργιών.

- Υπηρεσίες επιπέδου U
 - *Μεταφορά Δεδομένων*: Αυτές οι υπηρεσίες χρησιμοποιούνται για αποστολή και λήψη δεδομένων χρήστη μέσω του SI-SAP. Οι υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταφορά δεδομένων σε έναν και πολλαπλούς δέκτες.
- Υπηρεσίες επιπέδου C
 - *Ανάλυση Διευθύνσεων*: Ένας μηχανισμός συσχέτισης μιας διεύθυνσης BSM_ID σε μια δεδομένη διεύθυνση ενός ή πολλαπλών δεκτών IPv4. Μια επιτυχής υπηρεσία ανάλυσης διεύθυνσης επιστρέφει την σχετική BSM_ID. Το BSM_ID μπορεί να είναι είτε Unicast_ID για υπηρεσίες μίας αποστολής ή Group_ID για υπηρεσίες πολλαπλών αποστολών.
 - *Δέσμευση Πόρων*: Αυτές οι υπηρεσίες χρησιμοποιούνται για να ανοίξουν, μετατρέψουν και κλείσουν ουρές επιπέδου SD (για ροές μίας ή πολλαπλής αποστολής) για να χρησιμοποιηθούν από τα επίπεδα SI. Αυτή η λειτουργία εκχωρεί την QID και ορίζει ή τροποποιεί τις ιδιότητες της συνοπτικής ουράς που σχετίζεται με αυτό το QID. Η δέσμευση πόρων απαιτείται μόνο για αποστολή δεδομένων (όχι για λήψη δεδομένων).
 - *Ομαδική Λήψη/Αποστολή*: Είναι οι μηχανισμοί για ενεργοποίηση και ρύθμιση των επιπέδων SD για αποστολή / λήψη μιας απαιτούμενης υπηρεσίας πολλαπλών εκπομπών. Αυτές οι υπηρεσίες χρησιμοποιούνται για να συσχετίσουν μια ομαδική διεύθυνση πολλαπλών αποστολών (π.χ. μια διεύθυνση IPv4 ομάδας D, ή μια διεύθυνση πολλαπλών αποστολών IPv6) με μια ακολουθία παραμέτρων SD.
 - *Έλεγχος Ροής*: Αυτές οι πρωτογενείς λειτουργίες επιτρέπουν ενεργοποίηση και προσαρμογή των επιπέδων SD για να παρέχουν έλεγχο ροής SI-SAP για μια συγκεκριμένη QID (δηλ. σε μια ή περισσότερες ουρές επιπέδου SD).
- Υπηρεσίες επιπέδου M
 - Προς το παρόν δεν ορίζονται υπηρεσίες επιπέδου M στην τυποποίηση.

1.6 Καινοτόμες προσεγγίσεις για δορυφορικά δίκτυα

Η αυξανόμενη ζήτηση για ευρυζωνικές υπηρεσίες πολυμέσων και υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω δορυφόρου χρειάζεται τον ορισμό ενός βελτιστοποιημένου πρωτοκόλλου στοίβας καθώς και την πλήρη ενοποίηση του δορυφορικού δικτύου με τα επίγεια. Επομένως, δύο καινοτόμες προσεγγίσεις έχουν επινοηθεί [9], ονομαστικά η *οριζόντια προσέγγιση* και η *κατακόρυφη*.

1.6.1 Οριζόντια προσέγγιση

Περιμένουμε ότι διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες (π.χ. τοπικά ασύρματα δίκτυα, κυψελωτά συστήματα, δορυφορικά δίκτυα) πρέπει να συνεργάζονται για να επιτρέπουν την καλύτερη ασύρματη κάλυψη στους χρήστες, σε σχέση με την θέση τους, τα χαρακτηριστικά κινητικότητας, τις εφαρμογές, το προφίλ του χρήστη κλπ. Αυτό είναι σε συμφωνία με την γενική αρχή *Πάντα Καλύτερα Συνδεδεμένοι* (ABC – Always Best Connected). Επομένως είναι απαραίτητο η χρήση των πόρων σε διαφορετικά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης (RANs – Radio Access Networks) να συντονίζεται παγκόσμια μέσω μιας μεσιτικής λειτουργίας πόρων (resource brokerage function). Αυτή η λειτουργία είναι συγκεντρωμένη και κατανέμει συνόδους στα RAN ή εκτελεί μεταγωγή από το ένα στο άλλο, όταν ικανοποιούνται κάποιες συνθήκες.

1.6.2 Κατακόρυφη προσέγγιση

Το μοντέλο αναφοράς ISO/OSI και το διαδικτυακό πρωτόκολλο βασίζονται στο παράδειγμα επιπέδων. Κάθε πρωτόκολλο επιλύει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες που παρέχονται από μονάδες κάτω από αυτό και δίνει μια νέα υπηρεσία στα ανώτερα επίπεδα. Τα μειονεκτήματα σε μια τέτοια προσέγγιση μπορούν να αναφερθούν όπως παρακάτω:

- Οι ανάγκες μιας παρεχόμενης υπηρεσίας από το σύστημα επικοινωνιών στους χρήστες του ορίζονται στο ανώτατο επίπεδο, αλλά η ιεραρχία και η συνολική απόδοση του συστήματος χτίζεται πάνω στο κατώτατο επίπεδο.
- Το κατώτατο επίπεδο δεν επικοινωνεί άμεσα, αλλά μέσω ενδιάμεσων επιπέδων με το ανώτατο επίπεδο. Κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας μεταξύ των επιπέδων χάνεται πληροφορία.
- Τα επίπεδα βελτιστοποιούνται ανεξάρτητα. Παρόλα αυτά, σε πολλές περιπτώσεις, η στενή αλληλεπίδραση μεταξύ τους θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.

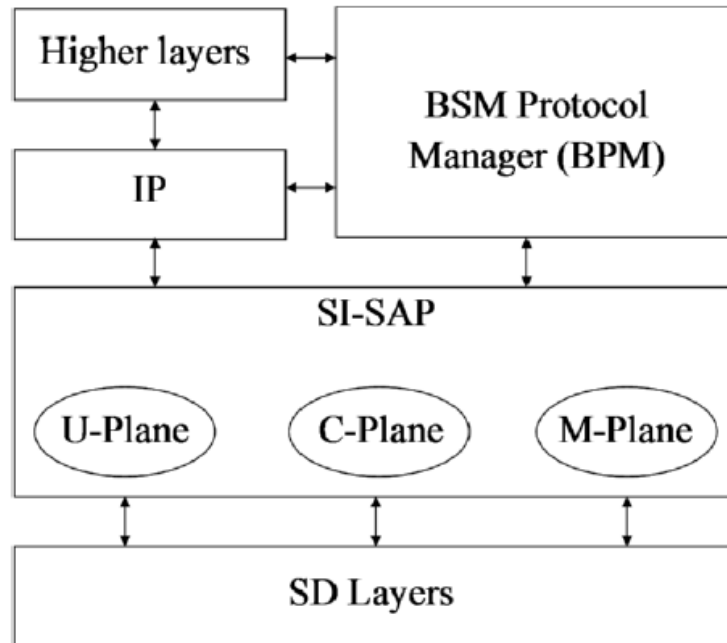
Η αυστηρή διάσπαση σε μονάδες και η ανεξαρτησία των επιπέδων μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστη λειτουργία σε δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας επόμενης γενιάς που βασίζονται σε IP. Τελικά, από τη στιγμή που οι πόροι ενέργειας και ασύρματης επικοινωνίας είναι ισχυρά περιορισμένοι στους δορυφόρους, η βελτιστοποίηση πρωτοκόλλου είναι υποχρεωτική. Μια τέτοια βελτιστοποίηση απαιτεί έναν κατακόρυφο σχεδιασμό της στοίβας πρωτοκόλλου εναέριας διασύνδεσης. Μια τέτοια διεπίπεδη προσέγγιση συνεπάγεται νέες

διασυνδέσεις μεταξύ των επιπέδων, που ανταλλάζουν πληροφορίες ελέγχου πέρα από την τυποποιημένη δομή ISO/OSI. Οι διασυνδέσεις μεταξύ επιπέδων μπορεί να είναι μεταξύ ή και πέραν των γειτονικών επιπέδων πρωτοκόλλου. Παρόλο που οι διασυνδέσεις μεταξύ γειτονικών επιπέδων είναι γενικά προτιμητέες, μπορεί να υπάρξει η ανάγκη για λειτουργικές και απευθείας διασυνδέσεις μεταξύ μη γειτονικών επιπέδων. Γενικά, ένα επίπεδο πρέπει να είναι ενήμερο της εσωτερικής κατάστασης των άλλων επιπέδων της στοίβας πρωτοκόλλου. Για παράδειγμα, το τρίτο επίπεδο OSI (π.χ. το IP) και τα παραπάνω συχνά χρειάζονται απευθείας διασυνδέσεις με το δεύτερο επίπεδο OSI, π.χ. για υποστήριξη μεταπομπής. Ένα άλλο παράδειγμα αφορά παραμέτρους μετάδοσης (π.χ. τρόπος λειτουργίας μετάδοσης, κωδικοποίηση καναλιού και βαθμός επιμονής του επιπέδου σύνδεσης για επανάληψη μετάδοσης) που πρέπει να συσχετίζονται με χαρακτηριστικά εφαρμογών (π.χ. είδος πληροφοριών, πηγαία κωδικοποίηση κλπ) χαρακτηριστικά δικτύου, προτιμήσεις χρήστη και περιβάλλον χρήσης. Τελικά, τα χαμηλότερα επίπεδα (π.χ. 1 και 2) πρέπει να είναι ενήμερα της συμπεριφοράς των υψηλότερων επιπέδων (π.χ. 3 και 4) έτσι ώστε να λάβουν κατάλληλες αποφάσεις για την διαχείριση κυκλοφορίας. Οι μέθοδοι διεπιπέδων μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ευρείες ομάδες όπως ακολούθως:

- *Έμμεση σχεδίαση διεπιπέδων*: δεν υπάρχει ανταλλαγή σημάτων μεταξύ διαφορετικών επιπέδων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, αλλά κατά την διάρκεια του σχεδιασμού οι αλληλεπιδράσεις διεπιπέδων λαμβάνονται υπόψη για συλλογική βελτιστοποίηση.
- *Άμεση σχεδίαση διεπιπέδων*: εφαρμόζονται αλληλεπιδράσεις σηματοδότησης μεταξύ (μη) γειτονικών επιπέδων πρωτοκόλλου έτσι ώστε η εσωτερική κατάσταση ενός πρωτοκόλλου να είναι διαθέσιμη ως πληροφορία στα διαφορετικά επίπεδα για δυναμική προσαρμογή των.

Όσον αφορά τις μεθόδους άμεσων διεπιπέδων, απαιτούνται νέες διασυνδέσεις πέρα από τα γειτονικά επίπεδα. Έχουν προταθεί διαφορετικές λύσεις για να υποστηρίξουν την ανταλλαγή σηματοδότησης πληροφορίας μεταξύ επιπέδων. Μια ενδιαφέρουσα μέθοδος που έχει ανακύψει είναι ο «παγκόσμιος συντονιστής» των διαφορετικών επιπέδων επιτρέποντας να λαμβάνει πληροφορίες κατάστασης από τα διάφορα πρωτόκολλα, να τις αποθηκεύει σε μια μνήμη κοινής χρήσης και με αυτό τον τρόπο να επιτρέψει στην εσωτερική κατάσταση των πρωτοκόλλων να είναι ευπροσάρμοστη σε διαφορετικά γεγονότα. Μια πιθανή υλοποίηση του παγκόσμιου συντονιστή θα μπορούσε να είναι η εκμετάλλευση της δυνατότητας του

επιπέδου διαχείρισης της στοίβας πρωτοκόλλου που μπορεί να αλληλεπιδράσει και να συντονίσει τα διαφορετικά επίπεδα. Το επίπεδο διαχείρισης θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί τα σημεία πρόσβασης υπηρεσιών ελέγχου μεταξύ των επιπέδων για να στείλει ευρυζωνικά σήματα ελέγχου σε όλα τα επίπεδα για τις αντίστοιχες ενέργειές τους.



Εικόνα 1.8: Διαχειριστής πρωτοκόλλου και αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου BSM

Τελικά, αναφερόμενοι στην αρχιτεκτονική στοίβας πρωτοκόλλων ETSI TC-SES/BSM που παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.7, είναι σημαντικό να σημειώσουμε εδώ ότι οι μέθοδοι διεπιπέδων που περιλαμβάνουν SD και SI επίπεδα θα χρειαστούν να υιοθετήσουν κατάλληλες πρωτογενείς λειτουργίες που θα δρουν αντίθετα της διασύνδεσης SI-SAP. Με σκοπό την εξήγηση των διεπιπέδων αλληλεπιδράσεων BSM και τις σχέσεις τους με το SI-SAP, προτείνονται μερικά παραδείγματα παρακάτω για περιπτώσεις σχεδιασμού άμεσων και έμμεσων διεπιπέδων.

Διαχειριστής πρωτοκόλλου BSM

Ο διαχειριστής πρωτοκόλλου BSM (BPM – BSM protocol manager) έχει επινοηθεί στην στοίβα πρωτοκόλλου BSM για να διατηρεί QoS και να εκτιμά την απόδοση του BSM. Το BSM ανήκει στο SI-SAP και ορίζει το πώς διερμηνεύονται τα πρωτόκολλα IP και οι σημάσεις πακέτων και μεταδίδονται μέσω του BSM, ποια πρωτόκολλα SI χρησιμοποιούνται και πως με την σειρά τους ενεργοποιούν τις λειτουργίες SD (Εικόνα 1.8). Το BPM έχει διασυνδέσεις με διαφορετικά επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων BSM. Συγκεκριμένα το BPM αλληλεπιδρά με ένα

συγκεκριμένο ενδιάμεσο λογισμικό για να καταστήσει PEP επιπέδου μετάδοσης και εφαρμογής, επικοινωνεί με μεσίτες (broker) εύρους ζώνης και ενδεχομένως με ανεύρεση υπηρεσιών και λειτουργίες ασφάλειας/πιστοποίησης. Το BPM αλληλεπιδρά απευθείας με πρωτόκολλα IP, συμπεριλαμβανομένου της *Μεταγώγισης Ετικετών Πολλαπλών Πρωτοκόλλων* (MPLS – Multiprotocol Label Switching) για ανεύρεση δρομολόγησης και μοντέλων *Ολοκληρωμένης Υπηρεσίας* (IntServ – Integrated Service) ή *Διαφορικής Υπηρεσίας* (DiffServ – Differentiated Service). Για όλους αυτούς τους λόγους το BPM θα μπορούσε να είναι μια βιώσιμη λύση υλοποίησης του «παγκόσμιου συντονιστή» (σχεδιασμός άμεσης προσέγγισης διεπιπέδων). Σε μια τέτοια περίπτωση κατάλληλες πρωτογενείς λειτουργίες πρέπει να σχεδιασθούν για να υποστηρίξουν στην σηματοδότηση διεπιπέδων μέσω του επιπέδου C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Απαιτήσεις QoS για υπηρεσίες πολυμέσων

2.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη του διαδικτύου και η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για εύρος ζώνης ωθεί την αγορά για δορυφορικές λύσεις. Η πρόοδος της τεχνολογίας που οδηγεί σε νέες δορυφορικές δυνατότητες και η διαθεσιμότητα εύρους ζώνης σε χαμηλότερο κόστος επιτρέπει αυτόν τον αυξανόμενο ρόλο των δορυφόρων στον Διαδικτυακό κόσμο. Οι δορυφορικές λύσεις χρησιμοποιούνται για εφαρμογές ευρείας εκπομπής / πολλαπλών εκπομπών και υπηρεσίες σημείο προς σημείο. Η πρόσβαση τελικού χρήστη συνδυάζει υπηρεσίες πολλαπλών εκπομπών και σημείου προς σημείο ενώ η κατανομή περιεχομένου στα «άκρα» του Διαδικτύου (δηλ. στα σημεία παρουσίας των παροχέων υπηρεσιών που εξυπηρετούν την πρόσβαση τοπικών βρόχων) είναι μια πραγματική εφαρμογή πολλαπλών εκπομπών.

Οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι και οι χαμηλής τροχιάς δορυφορικές ομάδες παίζουν ουσιαστικά έναν συμπληρωματικό ρόλο, έτσι ώστε να παρέχουν ένα ολοκληρωμένο εύρος υπηρεσιών. Λόγω της μεγάλης ποσότητας χωρητικότητας που παρέχουν και των μικρής καθυστέρησης χαρακτηριστικών, τα συστήματα χαμηλής τροχιάς είναι κατάλληλα για υψηλής ποιότητας υπηρεσίες σημείο προς σημείο ενώ οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι είναι πολύ αποδοτικοί για ευρεία εκπομπής και πολλαπλές εκπομπές και για υπηρεσίες πρόσβασης που περιλαμβάνουν ένα σημαντικό ποσοστό πολλαπλών εκπομπών. Για να υποστηρίξουν τις διαφορετικές υπηρεσίες είναι σημαντικό να μελετήσουν τις απαιτήσεις QoS.

Αυτό το Κεφάλαιο περιγράφει κυρίως τις απαιτήσεις QoS για υπηρεσίες πολυμέσων που βασίζονται σε διεθνείς τυποποιήσεις. Η ενότητα 2.2 δείχνει μια ταξινόμηση εφαρμογών σύμφωνα με την ανεκτικότητα σφάλματος και καθυστέρησης. Αυτή η εργασία βασίζεται στην τυποποίηση ITU G.1010 που έχει υιοθετηθεί από άλλα σώματα τυποποίησης όπως το 3GPP. Η Ενότητα 2.3 παρουσιάζει τα κύρια μοντέλα υποστήριξης QoS στα IP δίκτυα, ενώ η Ενότητα 2.4 δείχνει τις βασικές αρχές για την εκπομπή υπηρεσιών πολυμέσων και ευρείας εκπομπής στα δορυφορικά δίκτυα.

2.2 Απαιτήσεις υπηρεσιών QoS

Σήμερα είναι πολύ σημαντικό να υποστηρίξουμε QoS στα συστήματα τηλεπικοινωνιών, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται όταν παρέχονται οι υπηρεσίες. Αυτή η εργασία πρέπει να λαμβάνει υπόψη ότι ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται για τον τρόπο με τον οποίο μια συγκεκριμένη υπηρεσία παρέχεται, αλλά για το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας που εν τέλη απολαμβάνει.

Η QoS αναφέρεται στην ικανότητα ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος να παρέχει καλύτερη υπηρεσία σε επιλεγμένη κυκλοφορία υπό ετερογενή δίκτυα (τεχνολογίες ή περιοχές). Ο πρωταρχικός στόχος του QoS είναι η παροχή προτεραιότητας, συμπεριλαμβανομένου δεσμευμένου εύρους ζώνης, ελεγχόμενη μεταβλητότητα και καθυστέρηση (απαιτείται από μερικές πραγματικού χρόνου και αλληλεπιδραστικές κυκλοφορίες), και βελτιωμένα χαρακτηριστικά απωλειών. Επιπλέον, είναι σημαντικό η επιβεβαίωση ότι η παροχή προτεραιότητας για μία η περισσότερες ροές δεν προκαλεί σφάλματα στις άλλες ροές. Σε διαισθητικό επίπεδο, η QoS αντιπροσωπεύει ένα είδος απαιτήσεων που πρέπει να εγγυηθεί στους χρήστες (π.χ. πόσο γρήγορα μπορούν να μεταφερθούν τα δεδομένα, πόσο πρέπει να περιμένει ο λήπτης, πόσο σωστά τα ληφθέντα δεδομένα πιθανόν να είναι, πόσα δεδομένα πιθανόν να χαθούν κλπ.)

Οι απαιτήσεις για κυκλοφορία πολυμέσων έχει καλυφθεί από διαφορετικές ομάδες τυποποίησης, όπως ITU, ETSI ή 3GPP. Η κύρια εργασία που παρέχεται από την ITU είναι στις Recommendations Y.1541 [10], F.700 [11] και G.1010 [12]. Οι εφαρμογές έχουν κατηγοριοποιηθεί σε οκτώ ομάδες σύμφωνα με την ανοχή σε σφάλματα και καθυστερήσεις, όπως παρουσιάζεται περιληπτικά στην Εικόνα 2.1 [12], [13].

Αναφερόμενοι στο παραπάνω Σχήμα, είναι δυνατόν να μελετήσουμε τις ακόλουθες τιμές στον άξονα y όσον αναφορά τους ρυθμούς σφάλματος:

- Οι εφαρμογές ανεκτικές σφαλμάτων
 - Ρυθμός Διαγραφής Πλαισίων¹ (FER) συνομιλητικού ήχου/βίντεο < 3%
 - FER ανταλλαγής μηνυμάτων ήχου/βίντεο < 3%
 - FER ρέοντος ήχου/βίντεο < 1%
 - Ρυθμός Λανθασμένων Bit² τηλεομοιοτυπίας < 10⁻⁶
- Εφαρμογές μη ανεκτικές σε σφάλματα
 - Απώλεια πληροφορίας = 0

¹ Frame Erasure Rate

² Bit Error Rate

Error tolerant	Conversational voice and video	Voice/video messaging	Streaming audio and video	Fax
Error intolerant	Command/control (e.g., Telnet, interactive games)	Transactions (e.g., E-commerce, WWW browsing, Email access)	Messaging, Downloads (e.g., FTP, still image)	Background (e.g., Email arrival)
	Interactive (delay <<1 sec)	Responsive (delay ~2 sec)	Timely (delay ~10 sec)	Non-critical (delay >>10 sec)

Εικόνα 2.1: Χαρτογράφηση κατηγοριών QoS τελικών χρηστών

Η ομάδα εργασίας ETSI BSM παρέχει τεχνικές αναφορές και τυποποιήσεις ορίζοντας ένα πλαίσιο εργασίας για προσδιορισμό των απαιτήσεων QoS για ευρείας ζώνης δορυφορικά δίκτυα που βασίζονται στο Διαδικτυακό Πρωτόκολλο. Αυτές οι τυποποιήσεις (ακολουθώντας αυτές που αναπτύχθηκαν από την ETSI και άλλα σώματα) προσδιορίζουν το πώς οι Διαδικτυακές τυποποιήσεις που σχετίζονται με την ποιότητα μπορούν να υιοθετηθούν, να μεταφραστούν και να γίνουν διαυγή στα δορυφορικά πρωτόκολλα μετάδοσης και στον εξοπλισμό. Μερικά από τα αποτελέσματα από αυτήν την εργασία τυποποίησης υπήρξε ο ορισμός της αρχιτεκτονικής στοίβας πρωτοκόλλων που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1 (Ενότητα 1.5), όπου τα χαμηλότερα επίπεδα εξαρτώνται από την υλοποίηση των δορυφορικών συστημάτων (επίπεδα εξαρτώμενα από τους δορυφόρους) και τα υψηλότερα επίπεδα είναι τα τυπικά μιας στοίβας πρωτοκόλλου Διαδικτύου (επίπεδα ανεξάρτητα των δορυφόρων). Οι ομάδες κυκλοφορίας που καθιερώθηκαν από την BSM βασίζονται στο ITU-T, Tiphon, 3GPP, και αποφάσεις UMTS με προσαρμογή στο δορυφορικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η τυποποίηση BSM ασχολείται με μεταβλητές συνθήκες σύνδεσης επιπέδων, μεγάλη ασυμμετρία και μεγαλύτερη καθυστέρηση τα οποία είναι χαρακτηριστικά των δορυφορικών δικτύων. Ο στόχος είναι να δώσουμε την δυνατότητα στα δορυφορικά δίκτυα και στον παροχέα υπηρεσιών διαδικτύου (ISP) να εξασφαλίσει αποδεκτά επίπεδα QoS και να συσχετίσει αυτά τα ζητήματα με την αρχιτεκτονική BSM για συστήματα ευρείας ζώνης.

Στην UMTS, και κατ' επέκταση, στα δορυφορικά δίκτυα, ορίζονται τέσσερις βασικές ομάδες υπηρεσιών (επίπεδο 7): *συνομιλίας, ροής, αλληλεπιδραστικές* και *υποβάθρου*. Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι δεν υπάρχει καμία αυστηρή ένα προς ένα χαρτογράφηση μεταξύ αυτών των ομάδων υπηρεσιών και των συνονόματων ομάδων κυκλοφορίας (επίπεδο 2): μια αλληλεπιδραστική εφαρμογή μπορεί κάλλιστα να

χρησιμοποιεί έναν κοιμιστή της συνομιλητικής ομάδας κυκλοφορίας, αν η εφαρμογή / υπηρεσία ή ο χρήστης έχει στενές απαιτήσεις καθυστέρησης. Σημειώστε ότι οι τιμές καθυστέρησης στους Πίνακες στις ακόλουθες υπο-Ενότητες αντιπροσωπεύουν μονόδρομη καθυστέρηση (δηλ. από την προερχόμενη οντότητα στην καταληκτική οντότητα)

2.2.1 Απαιτήσεις απόδοσης για συνομιλητικές υπηρεσίες

Η πιο κοινή υπηρεσία σε αυτή την κατηγορία είναι η συνομιλία πραγματικού χρόνου, όπως η τηλεφωνική ομιλία. Το voice over IP (VoIP) καθώς και η συνδιάσκεψη μέσω βίντεο ανήκουν επίσης σε αυτή την κατηγορία, με αυξανόμενη συνάφεια καθώς το Διαδίκτυο αναπτύσσεται γρήγορα. Αυτή είναι η μόνη ομάδα της οποίας τα χαρακτηριστικά καθορίζονται αυστηρά από την ανθρώπινη αντίληψη (αισθήσεις). Επομένως, αυτό το σχέδιο έχει τις πιο αυστηρές απαιτήσεις QoS: ο χρόνος μετάδοσης πρέπει να είναι μικρός και την ίδια στιγμή, η χρονική σχέση των πληροφοριακών οντοτήτων της ροής πρέπει να διατηρείται. Το όριο για αποδεκτή καθυστέρηση μεταφοράς είναι πολύ αυστηρό (αποτυχία παροχής μεταφοράς χαμηλής καθυστέρησης θα έχει ως αποτέλεσμα σε μη αποδεκτή έλλειψη ποιότητας). Παρόλα αυτά, υπάρχουν χαλαρές απαιτήσεις στο FER λόγω της ανθρώπινης αντίληψης. Για συνομιλία πραγματικού χρόνου, τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά QoS είναι:

- Διατήρηση της χρονικής συσχέτισης των πληροφοριακών οντοτήτων στην ίδια ροή
- Μοτίβο συνομιλίας (αυστηρό και χαμηλή καθυστέρηση)

Μερικά παραδείγματα εφαρμογών που βασίζονται σε συνομιλητικές υπηρεσίες είναι: φωνή συνομιλίας, τηλέφωνο με βίντεο, αλληλεπιδραστικά παιχνίδια, τηλεμετρία ελέγχου δύο δρόμων και Telnet. Ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζει περιληπτικά αυτές τις εφαρμογές παρέχοντας τις αυστηρές απαιτήσεις για κάθε από αυτές [12], [13].

Φωνή συνομιλίας

Οι απαιτήσεις καθυστέρησης μεταφοράς ήχου εξαρτώνται από το επίπεδο διαδραστικότητας των τερματικών χρηστών. Για να προληφθούν δυσκολίες που σχετίζονται με την δυναμική των επικοινωνιών ήχου, η Recommendation G.114 της ITU-T προσδιορίζει τα ακόλουθα γενικευμένα όρια για μονόδρομες καθυστερήσεις μετάδοσης (υποθέτοντας ότι έχει εφαρμοστεί έλεγχος ηχούς):

- 0 έως 150 ms: προτιμώμενο εύρος (κάτω από 30 ms ο χρήστης δεν παρατηρεί καθόλου καθυστέρηση, ενώ για πάνω από 100 ms ο χρήστης δεν παρατηρεί καθυστέρηση αν παρέχεται εξουδετέρωση ηχούς και δεν υπάρχουν αλλοιώσεις στην σύνδεση)
- 150 με 400 ms αποδεκτό εύρος (αλλά με αυξανόμενη υποβάθμιση)
- πάνω από 400 ms: μη αποδεκτό εύρος

Medium	Application	Degree of symmetry	Data rate	Key performance parameters and target values		
				End-to-end one-way delay	Delay variation within a cell	Information loss
Audio	Conversational voice	Two-way	4-25 kbit/s	< 150 ms preferred < 400 ms limit	< 1 ms	< 3% FER
Video	Videophone	Two-way	32-384 kbit/s	< 150 ms preferred < 400 ms limit Lip-synch: < 100 ms		< 1% FER
Data	Telemetry-two-way control	Two-way	< 28.8 kbit/s	< 250 ms	NA	Zero
Data	Interactive games	Two-way		< 250 ms	NA	Zero
Data	Telnet	Two-way (asymmetric)		< 250 ms	NA	Zero

Πίνακας 2.1: Προσδοκίες απόδοσης τελικού χρήστη υπηρεσιών συνομιλίας

Θα πρέπει να θυμόμαστε εδώ ότι υπάρχουν τρία είδη δορυφορικών συστημάτων: χαμηλής, μέσης τροχιάς και γεωσύγχρονων. Λόγω της διαφορετικής απόστασης από την επιφάνεια της Γης, η καθυστέρηση διάδοσης του μεταδιδόμενου σήματος (από την Γη στον δορυφόρο και πίσω στην Γη) κυμαίνεται από 10 ms έως 250 ms. Αυτό σημαίνει ότι για τα χαμηλής και μέσης τροχιάς δορυφορικά συστήματα το προτιμώμενο εύρος που περιγράφεται παραπάνω είναι εφικτό. Παρόλα αυτά, ένα γεωσύγχρονο σύστημα δεν μπορεί να πετύχει μια καθυστέρηση τελικό

προς τελικό χρήστη κάτω από 250 ms. Αυτό σημαίνει ότι, σύμφωνα με το δορυφορικό σύστημα που χρησιμοποιείται, ο σχεδιαστής δικτύου πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός όταν επιλέγει λειτουργικές καταστάσεις. Άλλες ομάδες έχουν πιο χαλαρές απαιτήσεις και μπορούν να υποστηριχθούν από τους γεωσύγχρονους δορυφόρους.

Το ανθρώπινο αυτί είναι κατά πολύ μη ανεκτικό σε βραχυπρόθεσμη μεταβλητότητα καθυστέρησης, επομένως πρέπει να κρατηθεί πολύ χαμηλή. Έχει προταθεί ότι το 1 ms είναι ένα επαρκές όριο. Παρόλα αυτά, το ανθρώπινο αυτί είναι ανεκτικό σε μέτρια παραμόρφωση του σήματος ομιλίας. Μια αποδεκτή απόδοση τυπικά πετυχαίνεται με FER μέχρι 3%. Τέλος, μια σύνδεση για συνομιλία απαιτεί κανονικά την απόδοση συμμετρικών πόρων επικοινωνίας.

Τηλεφωνικό βίντεο

Το τηλεφωνικό βίντεο απαιτεί ένα πλήρες αμφίδρομο σύστημα, που φέρει και οπτικό και ακουστικό σήμα, και προορίζεται για περιβάλλον συνομιλίας. Επομένως, οι ίδιες απαιτήσεις καθυστερήσεων για φωνή συνομιλίας θα εφαρμοστούν, δηλ. καθόλου ηχώ και ελάχιστες επιδράσεις στην δυναμική της συνομιλίας, με την επιπρόσθετη απαίτηση ότι ο ήχος και το βίντεο πρέπει να συγχρονιστούν μέσα σε κάποια συγκεκριμένα επίπεδα για να παρέχει «συγχρονισμό χειλιών» (δηλ. συγχρονισμό των χειλιών του ομιλητή με τις λέξεις που ακούει ο τελικός χρήστης). Στην πραγματικότητα, είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν αυτές οι απαιτήσεις, λόγω των μεγάλων καθυστερήσεων που πραγματοποιούνται στους κωδικο-αποκωδικοποιητές του βίντεο. Το ανθρώπινο μάτι είναι ανεκτικό σε μερική απώλεια πληροφορίας, έτσι ώστε κάποιος βαθμός απώλειας πακέτων είναι αποδεκτός. Αναμένεται ότι κωδικο-αποκωδικοποιητές υψηλής απόδοσης θα παρέχουν αποδεκτή ποιότητα βίντεο με FER μέχρι περίπου 1%. Στα δορυφορικά δίκτυα, οι ίδιες σκέψεις για φωνή συνομιλίας ισχύουν για αυτή την περίπτωση.

Διαδραστικά παιχνίδια

Διαδραστικά παιχνίδια είναι παιχνίδια που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο για να αλληλεπιδράσουν με άλλους χρήστες ή συστήματα. Οι απαιτήσεις στα διαδραστικά παιχνίδια εξαρτώνται κατά πολύ από το συγκεκριμένο παιχνίδι όσον αφορά το εύρος ζώνης και τις καθυστερήσεις. Πολλά διαδραστικά παιχνίδια προσπαθούν να εναλλάσσουν μεγάλους όγκους δεδομένων, αλλά απαιτούν πολύ μικρές καθυστερήσεις, και μια καθυστέρηση των 250 ms είναι λογική.

Τηλεμετρία αμφίδρομου ελέγχου

Η τηλεμετρία είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει τις μετρήσεις εξ αποστάσεως, την λειτουργία και την αναφορά πληροφοριών ενδιαφέροντος. Η αμφίδρομη τηλεμετρία ελέγχου περιλαμβάνεται εδώ ως ένα παράδειγμα υπηρεσίας πληροφοριών που απαιτεί απόδοση συνομιλίας πραγματικού χρόνου. Ο αμφίδρομος έλεγχος υπονοεί πολύ στενά όρια στην επιτρεπόμενη καθυστέρηση και μια τιμή 250 ms προτείνεται, αλλά η ειδοποιός διαφορά με τις υπηρεσίες φωνής και βίντεο είναι ότι δε μπορεί να επιτραπεί απώλεια πληροφορίας. Είναι καλά γνωστό ότι το δορυφορικό κανάλι έχει τάση για λάθη και για να πετύχουμε μηδενική απώλεια πληροφορίας χρειάζεται περίπλοκες τεχνικές ελέγχου σφαλμάτων για να την εξασφαλίσουμε. Η καθυστέρηση είναι ένα σχετικό θέμα για αυτή την ομάδα κυκλοφορίας. Όσο ένα δορυφορικό δίκτυο μπορεί να ικανοποιήσει τα χρονικά όρια που μια συγκεκριμένη τηλεμετρική υπηρεσία επιβάλλει, τότε μπορεί να υποστηρίξει αυτή την υπηρεσία.

Telnet

Το Telnet (TELEtype NETwork) είναι ένα πρωτόκολλο δικτύου που χρησιμοποιείται στο Διαδίκτυο ή σε συνδέσεις τοπικού δικτύου. Σε αυτό το περιβάλλον, το Telnet αναφέρεται στο πρόγραμμα που παρέχει το μέρος του πρωτοκόλλου που ανταποκρίνεται στον πελάτη. Επιτρέπει απομακρυσμένη πρόσβαση στον εξυπηρετητή. Λόγω της διαδραστικότητας του προγράμματος, το Telnet χρειάζεται μικρή καθυστέρηση για να επιτρέψει σε έναν χρήστη αντίληψη της διαδραστικότητας. Αυτή η εφαρμογή περιλαμβάνεται εδώ με μια απαίτηση για χαμηλή καθυστέρηση έτσι ώστε να παρέχει πίσω στιγμιαίες αντιλήψεις χαρακτήρων. Κατ' επέκταση θα θεωρούσαμε στην ίδια ομάδα εφαρμογών / υπηρεσιών κάθε εφαρμογή απομακρυσμένης πρόσβασης όπως *rlogin* (*remote login*) ή *ssh* (*secure shell*).

2.2.2 Απαιτήσεις απόδοσης για διαδραστικές υπηρεσίες

Αυτή η δεύτερη ομάδα συμπεριλαμβάνει διαδραστικές υπηρεσίες (δηλ. μια αίτηση από άνθρωπο ή μηχάνημα για δεδομένα από έναν απομακρυσμένο εξυπηρετητή). Χαρακτηρίζεται από το σχέδιο αίτησης-απόκρισης του τελικού χρήστη. Μια οντότητα στον προορισμό συνήθως περιμένει ένα μήνυμα απόκρισης μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρόνο. Επομένως, ο χρόνος *καθυστέρησης διάδοσης διαδρομής μετ' επιστροφής* (RTD) είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι το περιεχόμενο των πακέτων πρέπει να

μεταφέρεται αμιγώς (με χαμηλό BER). Η επακόλουθη συνολική απαίτηση για αυτό το σχέδιο επικοινωνίας είναι η υποστήριξη διαδραστικών υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου με χαμηλό RTD.

Τα βασικά χαρακτηριστικά QoS για διαδραστική κυκλοφορία είναι:

- Το πρότυπο αίτησης – απόκρισης
- Διατήρηση του περιεχομένου του φορτίου

Μερικά παραδείγματα αυτού του είδους υπηρεσιών είναι: η ανταλλαγή ηχητικών μηνυμάτων και υπαγόρευση, δεδομένα, περιήγηση στο διαδίκτυο, υπηρεσίες συναλλαγής υψηλής προτεραιότητας (ηλεκτρονικό εμπόριο) και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (πρόσβαση εξυπηρετητή). Οι σχετικές απαιτήσεις παρουσιάζονται περιληπτικά στον Πίνακα 2.2 [13].

Medium	Application	Degree of symmetry	Data rate	Key performance parameters and target values		
				One-way delay	Delay variation	Information loss
Audio	Voice messaging	Primarily one-way	4-13 kbit/s	< 1 s (playback) < 2 s (record)	< 1 ms	< 3% FER
Data	Web-browsing - HTML	Primarily one-way		< 4 s/page	NA	Zero
Data	Transaction services - high priority e.g., e-commerce, ATM	Two-way		< 4 s	NA	Zero
Data	E-mail (server access)	Primarily one-way		< 4 s	NA	Zero

Πίνακας 2.2: Προσδοκίες απόδοσης χρήστη για διαδραστικές υπηρεσίες

Ανταλλαγή ηχητικών μηνυμάτων και υπαγόρευση

Οι απαιτήσεις για απώλειες πληροφορίας είναι ουσιαστικά η ίδια με την ηχητική συνομιλία, αλλά, αντιθέτως, υπάρχει μεγαλύτερη ανέχεια στην καθυστέρηση από την στιγμή που δεν έχουμε απευθείας συνομιλία. Επομένως, η κύρια εργασία είναι ο καθορισμός της καθυστέρησης που είναι ανεκτή μεταξύ του χρήστη, που δίνει εντολή να ακούσει ένα ηχητικό μήνυμα, και την στιγμή έναρξης του ήχου. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα δεδομένα για αυτήν την περίπτωση αλλά μια καθυστέρηση της τάξεως μερικών δευτερολέπτων θεωρείται λογική για αυτή την εφαρμογή.

Περιήγηση στο διαδίκτυο

Ο κύριος παράγοντας απόδοσης είναι ο χρόνος οπτικής απόκρισης, μετά από μια αίτησης ιστοσελίδας. Μια τιμή 2-4 s ανά σελίδα προτείνεται. Παρόλα αυτά, μια μείωση σε 0.5 s θα ήταν επιθυμητή.

2.2.3 Απαιτήσεις απόδοσης για υπηρεσίες συνεχούς ροής

Αυτή η ομάδα υπηρεσιών είναι κυρίως μονοκατευθυντική με υψηλή συνεχή χρησιμοποίηση (ελάχιστες περιόδους αναμονής/παύσης) και μικρή μεταβολή χρόνων μεταξύ πληροφοριακών οντοτήτων μέσα σε μια ροή. Όμως, δεν υπάρχει ένα αυστηρό όριο για καθυστέρηση και μεταβολή της καθυστέρησης, από την στιγμή που η ροή κανονικά είναι απευθείας συνδεδεμένη με τον προορισμό. Επιπλέον, δεν υπάρχει κανένα αυστηρό άνω όριο για τον ρυθμό απώλειας πακέτων.

Για ροές πραγματικού χρόνου, τα βασικά χαρακτηριστικά QoS είναι:

- Μονοκατευθυντικές συνεχής ροές
- Η διατήρηση χρονικών σχέσεων (μεταβλητότητα) μεταξύ πληροφοριακών οντοτήτων της ροής

Η επακόλουθη συνολική απαίτηση για αυτό το σχέδιο επικοινωνίας είναι η υποστήριξη υπηρεσιών ροής πραγματικού χρόνου με συνεχείς μονοκατευθυντικές ροές δεδομένων. Ο Πίνακας 2.3 δίνει λεπτομέρειες μερικών παραδειγμάτων εφαρμογών και τους αντίστοιχους περιορισμούς.

Ηχητική ροή

Η ηχητική ροή αναμένεται να παρέχει καλύτερη ποιότητα από ότι η συμβατική τηλεφωνία, συνεπώς οι απαιτήσεις απωλειών πακέτων θα είναι σημαντικά πιο αυστηρές. Όμως, δεν υπάρχουν στοιχεία συνομιλίας και κατά συνέπεια οι απαιτήσεις καθυστερήσεων γίνονται πιο χαλαρές.

Μονόδρομο βίντεο

Το κύριο διακρινόμενο χαρακτηριστικό του μονόδρομου βίντεο είναι η απουσία στοιχείων συνομιλίας. Κατά συνέπεια, οι απαιτήσεις καθυστέρησης δεν θα είναι τόσο αυστηρές.

Σταθερή εικόνα

Όσον αφορά τις σταθερές εικόνες, το ανθρώπινο μάτι είναι ανεκτικό στην απώλεια πληροφορίας. Όμως, λάθη ενός bit μπορούν να

προκαλέσουν μεγάλες αλλαγές στην διάταξη σταθερών εικόνων. Συνεπώς, είναι γενικά αναμενόμενο να υπάρχει μηδενικό λάθος στην εκπομπή σταθερών εικόνων. Οι απαιτήσεις καθυστέρησης είναι χαμηλές.

Medium	Application	Degree of symmetry	Data rate	Key performance parameters and target values		
				Start-up delay	Transport delay variation	Packet loss at session layer
Audio	Speech, mixed speech and music, medium and high quality music	Primarily one-way	5-128 kbit/s	< 10 s	< 2 s	< 1% Packet loss ratio
Video	Movie clips, surveillance, real-time video	Primarily one-way	20-384 kbit/s	< 10 s	< 2 s	< 2% Packet loss ratio
Data	Bulk data transfer/retrieval, layout and synchronization information	Primarily one-way	< 384 kbit/s	< 10 s	NA	Zero
Data	Still image	Primarily one-way		< 10 s	NA	Zero

Πίνακας 2.3: Προσδοκίες απόδοσης χρήστη για υπηρεσίες ροής

2.2.4. Απαιτήσεις απόδοσης για υπηρεσίες-εφαρμογές που λειτουργούν στο υπόβαθρο

Αυτή η ομάδα υπηρεσιών ισχύει όταν ο τελικός χρήστης, τυπικά ένας υπολογιστής, αποστέλλει και λαμβάνει αρχεία δεδομένων στο υπόβαθρο. Είναι ένα κλασικό σχέδιο επικοινωνίας δεδομένων όταν ο προορισμός δεν περιμένει δεδομένα μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό όριο. Έτσι, η καθυστέρηση διάδοσης (όπως στα δορυφορικά συστήματα) δεν είναι τόσο σημαντική σε αυτή την περίπτωση. Όμως, ο έλεγχος λαθών είναι πάρα πολύ σημαντικός, από την στιγμή που τα σφάλματα πρέπει να κρατηθούν σε πολύ χαμηλά επίπεδα (στην περίπτωση δορυφόρου τέτοια χαρακτηριστικά απαιτούν επαρκή προστασία κωδικοποίησης και σχέδια επαναμετάδοσης).

Για κυκλοφορία υποβάθρου οι βασικές απαιτήσεις QoS είναι:

- Ο προορισμός δεν περιμένει δεδομένα πριν από ένα συγκεκριμένο χρονικό όριο

- Διατήρηση του περιεχομένου του φορτίου

Η επακόλουθη συνολική απαίτηση για αυτό το σχέδιο επικοινωνίας είναι η υποστήριξη υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου χωρίς καμιά ιδιαίτερη απαίτηση για την καθυστέρηση. Μια εφαρμογή υποβάθρου δεν έχει περιορισμό καθυστέρησης. Κατά κανόνα, η μόνη απαίτηση για τις εφαρμογές σε αυτήν την κατηγορία είναι η παράδοση της πληροφορίας χωρίς σφάλματα. Παρόλα αυτά, υπάρχει ένας περιορισμός καθυστέρησης, από την στιγμή που τα δεδομένα είναι άχρηστα αν ληφθούν αργά πλέον. Παραδείγματα αυτών των εφαρμογών είναι: τηλεομοιοτυπία, χαμηλής προτεραιότητας υπηρεσίες συναλλαγών, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (από εξυπηρετητή σε εξυπηρετητή), SMS (*Short Message Service* – Υπηρεσία Σύντομων Μηνυμάτων), λήψη βάσεων δεδομένων και εγγραφών μετρήσεων.

Τηλεομοιοτυπία

Η τηλεομοιοτυπία δεν θεωρείται κανονικά επικοινωνία πραγματικού χρόνου. Παρόλα αυτά, υπάρχει μια προσδοκία ότι η εκπομπή τηλεομοιοτυπίας θα πραγματοποιηθεί σε λιγότερο από 30 s.

Service class	Conversational (delay \ll 1 s)	Interactive (delay \sim 1 s)	Streaming (delay < 10 s)	Background (delay > 10 s)
Error tolerant	Conversational voice and video	Voice messaging	Streaming audio and video	Fax
Error intolerant	Telnet interactive games	e-commerce Web browsing	FTP, still image, paging	e-mail arrival notification

Πίνακας 2.4: Παραδείγματα εφαρμογών σε όρους QoS

Υπηρεσίες συναλλαγών χαμηλής προτεραιότητας

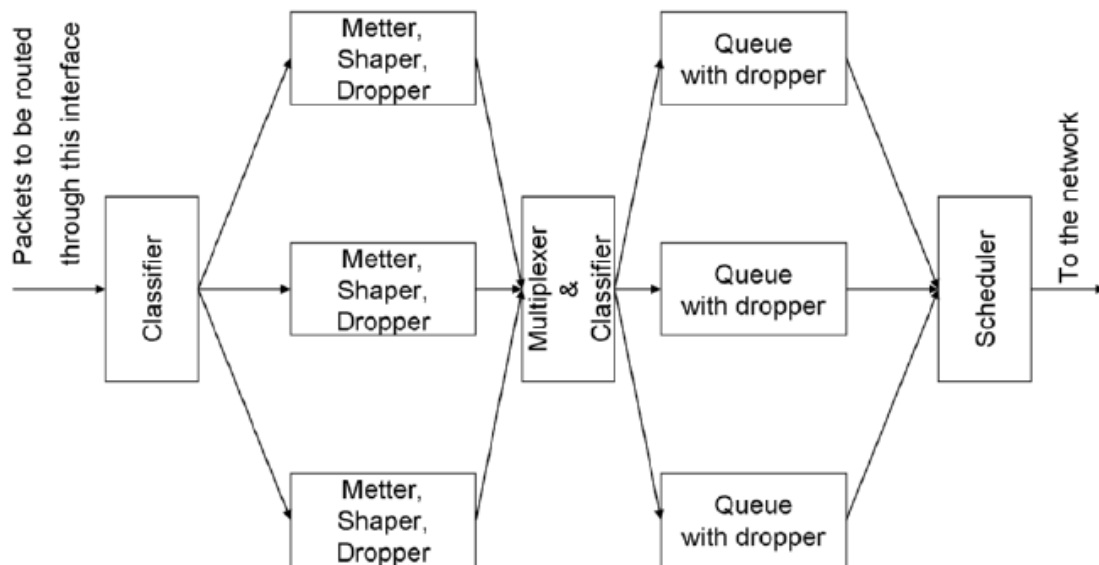
Ένα παράδειγμα σε αυτήν την κατηγορία είναι τα SMS. Μια αποδεκτή καθυστέρηση παράδοσης είναι τα 30 s. Ο Πίνακας 2.4 συγκρίνει τις εφαρμογές βάση την ομάδα υπηρεσίας και τις σχετικές απαιτήσεις καθυστέρησης.

2.3 Μοντέλα/πλαίσια εργασίας IP QoS

Πολύ παράγοντες επηρεάζουν την ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης μιας υπηρεσίας τηλεπικοινωνιών, από τους κωδικο-αποκωδικοποιητές που εφαρμόζονται μέχρι την απόδοση του δικτύου. Οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις έχουν παρουσιαστεί στην προηγούμενη ενότητα 2.2. Σε αυτήν την ενότητα θα αναλύσουμε τους μηχανισμούς

που σχεδιάστηκαν για τα δίκτυα IP για να αποκτήσουν QoS. Αυτή η ενότητα μελετά το επίπεδο IP και γι' αυτό η αναφορά είναι πολύ γενική, έτσι ώστε το δορυφορικό δίκτυο να μπορεί να είναι ένα από τα πιθανά σενάρια.

Είναι ευρέως γνωστό ότι τα δίκτυα IP δεν σχεδιάστηκαν για να παρέχουν εγγυήσεις QoS. Όμως, οι εφαρμογές που παραδοσιακά χρησιμοποιούν IP ως τεχνολογία επικοινωνίας θα μπορούσαν αντιμετωπίσουν επιτυχώς αυτήν την έλλειψη. Η τηλεφωνία ή επαναληπτικές εφαρμογές πάνω στο IP επίπεδο (που σήμερα αρχίζουν να χρησιμοποιούνται) χρειάζονται δίκτυα μεταφοράς με πολύ αυστηρή υποστήριξη QoS. Τέτοιοι τρόποι ποικίλουν από 100% εγγύηση λύσεων (εφαρμόζοντας τεχνικές που μπορούν να αφομοιωθούν σε εικονικά κυκλώματα δημιουργίας / παροχής) μέχρι άλλες λύσεις που δεν παρέχουν 100% εγγύηση. Η προσέγγιση υπερ-παροχής μελετείται επίσης αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυο ασύρματης πρόσβασης ανεπαρκούς εύρους ζώνης. Εξάλλου, η προσφορά διαφορετικών ποιοτήτων για υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων θα δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για παροχή διάφορων επιπέδων ποιότητας σε διαφορετικές τιμές. Συμπεραίνουμε ότι, στο μέλλον, η μεταφορά δεδομένων IP θα είναι με QoS.



Εικόνα 2.2: Μηχανισμοί QoS στην διασύνδεση δρομολογητή

Ο τρόπος για παροχή QoS στα δίκτυα IP έχει συζητηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι πιο αποδεκτές λύσεις είναι IETF's IntServ και DiffServ: και τα IntServ και DiffServ δίνουν στους δρομολογητές μηχανισμούς QoS, όπως η δημιουργία ουρών, χρονοδρομολόγηση και shaping (όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2). Αυτοί οι μηχανισμοί ενσωματώνονται στην διασύνδεση του δρομολογητή. Η κύρια διαφορά

μεταξύ IntServ και DiffServ υπόκειται στο επίπεδο λεπτομέρειας που χρησιμοποιείται από τους ταξινομητές και από την ανάγκη διατήρησης πληροφοριών κατάστασης.

Το μοντέλο IntServ παρέχει εγγυήσεις QoS από χρήστη σε χρήστη κρατώντας πόρους ανά-ροή (χρησιμοποιώντας κανονικά το πρωτόκολλο RSVP [14]) σε όλους του κόμβους κατά μήκος της διαδρομής. Ενώ αυτή η αρχιτεκτονική παρέχει εξαιρετικές εγγυήσεις QoS, έχει προβλήματα κλιμάκωσης στο βασικό δίκτυο λόγω της διατήρησης κατάστασης ανά ροή και την λειτουργία ανά ροή στους δρομολογητές. Είναι αξιοσημείωτο ότι το RSVP δεν είναι το μόνο IP πρωτόκολλο κράτησης, αλλά είναι το πιο ευρέως αποδεκτό και έχει γίνει «εσωτερικό» μέρος των δικτύων IntServ. Υπάρχουν ακόμη και μερικοί εμπορικοί δρομολογητές με δυνατότητα RSVP.

Το RSVP αναγνωρίζει μια συνεδρία επικοινωνίας από τον συνδυασμό της διεύθυνσης προορισμού, το είδος πρωτοκόλλου επιπέδου μεταφοράς και τον αριθμό θύρας προορισμού. Στο IPv6 αυτές οι δύο τελευταίες παράμετροι μπορούν να αντικατασταθούν από την ετικέτα ροής. Το RSVP χρησιμοποιείται για να κρατήσει πόρους στους δρομολογητές κατά μήκος μιας διαδρομής μεταξύ αποστολέα και δέκτη. Το RSVP επίσης επιτρέπει απελευθέρωση αυτών των πόρων όταν δεν είναι πλέον απαραίτητοι. Κανονικά αυτές οι δεσμεύσεις και φύλαξη πρέπει να τηρούνται υπό έλεγχο και είναι ευνόητο να υπάρχει μια οντότητα με τον όρο μεσίτης (broker) εύρους ζώνης (ή επίσης QoS broker) που λαμβάνει την απόφαση ελέγχου και την επικοινωνεί στους δρομολογητές. Αυτή η οντότητα θα μελετηθεί αργότερα σε αυτήν την ενότητα.

Τα πρωταρχικά μηνύματα που χρησιμοποιούνται από το RSVP είναι το μήνυμα «Διαδρομής», που προέρχεται από τον αποστολέα κυκλοφορίας, και το μήνυμα «Δέσμευσης», που προέρχεται από τον λήπτη κυκλοφορίας. Χρησιμοποιούνται στην διεργασία δέσμευσης πόρων. Το RSVP μπορεί επίσης εύκολα να λήξει μια συνεδρία QoS χρησιμοποιώντας RSVP μηνύματα λήξης. Τα μηνύματα λήξης μπορούν να εκκινήσουν από μια εφαρμογή στο τελικό σύστημα (αποστολέα ή λήπτη) ή σε έναν δρομολογητή ως αποτέλεσμα της λήξης χρόνου της κατάστασης. Το RSVP υποστηρίζει δύο είδη μηνυμάτων λήξης: «λήξη διαδρομής» και «λήξη αίτησης κράτησης». Τα μηνύματα λήξης διαδρομής διαγράφουν την κατάσταση διαδρομής (καθώς διαγράφουν την κατάσταση κράτησης), ταξιδεύουν προς όλους τους παραλήπτες από το σημείο εκκίνησης, και δρομολογούνται όπως μηνύματα διαδρομής. Τα μηνύματα λήξης αιτήσεων κράτησης διαγράφουν την κατάσταση κρατήσεων, ταξιδεύουν προς όλους του αποστολείς που ταιριάζουν από το σημείο εκκίνησης της λήξης, και δρομολογούνται όπως τα συσχετιζόμενα μηνύματα αιτήσεων κράτησης.

Από την άλλη, το DiffServ δεν απαιτεί έλεγχο ανά ροή στο βασικό δίκτυο, και, κατά συνέπεια, οι δρομολογητές δεν διατηρούν ως πληροφορία την κατάσταση ανά ροή και την λειτουργία. Δεν υπάρχει πρωτόκολλο κράτησης. Σαν αποτέλεσμα, το DiffServ είναι σχετικά κλιμακωτό στο επίπεδο προώθησης/δεδομένων, αλλά δεν προσφέρει αυστηρές εγγυήσεις QoS. Το κριτήριο για ταξινόμηση των πακέτων στους βασικούς δρομολογητές υπόκειται στο πεδίο DiffServ Code Point (DSCP) στην αρχή του πακέτου. Το DSCP ορίζει τρεις κατηγορίες προτεραιοτήτων:

- Βέλτιστης Προσπάθειας (BE – *Best Effort*): για να παρέχει την υπηρεσία με τον ίδιο τρόπο όπως το σύγχρονο Διαδίκτυο, όπου δεν υπάρχουν εγγυήσεις QoS. Το IETF προτείνει ότι η τιμή DSCP θα έπρεπε να είναι 000000.
- Εγγυημένης Προώθησης (AF – *Assured Forwarding*): Η ομάδα AF περιλαμβάνει τέσσερις ανεξάρτητες κατηγορίες, με την κάθε μία με τρεις διαφορετικές τιμές προτεραιότητας απόρριψης στις ουρές. Δεν υπάρχει συγκεκριμένος αλγόριθμος για την κάθε τιμή, αλλά οι πιθανότητες απόρριψης πρέπει να αυξάνονται και τα πακέτα να σηματοδοτούνται με την τιμή AF DSCP και πρέπει να παραδίδονται στον προορισμό με την σωστή σειρά. Στην περίπτωση συμφόρησης η πιθανότητα απόρριψης εξαρτάται από την τιμή προτεραιότητας απόρριψης.
- Επισπευσμένης προώθησης (EF – *Expedited Forwarding*): Το EF έχει σχεδιαστεί ως η καλύτερη ομάδα. Θα έπρεπε να παρέχει πολύ μικρή πιθανότητα απόρριψης, καθυστέρησης και μεταβλητότητας καθυστέρησης. Για αυτό το λόγο αυτή η υπηρεσία θεωρείται σαν *Εικονική Μισθωμένη Γραμμή* (VLL – *Virtual Leased Line*). Αυτή η *Per-Hop Συμπεριφορά* (PHB – *Per-Hop Behavior*) είναι προκαθορισμένη να χειρίζεται τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου σαν ροές βίντεο. Όταν πακέτα EF έρχονται σε έναν δρομολογητή DiffServ, πρέπει να γίνει ο χειρισμός τους σε πολύ μικρές ουρές, να εξυπηρετηθούν γρήγορα για να διατηρήσουν μικρή καθυστέρηση, απώλεια πακέτων και διακύμανση καθυστέρησης. Το ποσοστό επιτυχής αποστολής της ροής EF θα πρέπει να περιοριστεί στην τιμή που μπορεί να χειριστεί κάθε κόμβος. Είναι απαραίτητη η αποφυγή της περίπτωσης όπου η ουρά θα εκχειλίσει και θα προκαλέσει υποβάθμιση της ροής. Το IETF προτείνει ότι η ομάδα EF πρέπει να χαρακτηριστεί με την DSCP τιμή 101110 (δυναμικός).

Οι δρομολογητές πρέπει να δεσμεύουν αρκετούς πόρους για υψηλής προτεραιότητας DSCPs, ενώ η χαμηλότερης προτεραιότητας ή «κλασσική» ροή BE (DSCP 0) μπορεί να χρησιμοποιήσει επιπλέον διαθέσιμους πόρους. Τα δίκτυα DiffServ απαιτούν έλεγχο πρόσβασης

στους τελικούς δρομολογητές, έτσι ώστε μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να εισάγουν πακέτα με DSCP υψηλής προτεραιότητας. Ο έλεγχος πρόσβασης πρέπει να επιβάλλεται από τους shapers. Αυτός ο έλεγχος πρόσβασης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας ανάλογα με το είδος των τελικών δρομολογητών. Για παράδειγμα, στους τελικούς δρομολογητές που συνδέουν το βασικό δίκτυο με τους χρήστες (Δρομολογητές Πρόσβασης, ARs – *Access Routers*) αυτός ο έλεγχος γίνεται βάση ανά χρήστη και ανά ροή, από την στιγμή που οι ARs χειρίζονται μικρό φόρτο κυκλοφορίας. Όμως, για τους τελικούς δρομολογητές που συνδέουν το βασικό δίκτυο με το Διαδίκτυο ή άλλες περιοχές, αυτός ο έλεγχος πρόσβασης μπορεί να γίνει σε ένα πολύ χονδρικό επίπεδο λεπτομέρειας.

Πέρα από τους δρομολογητές με δυνατότητα QoS, μια άλλη οντότητα ονομαζόμενη μεσίτης QoS χρησιμοποιείται για έλεγχο και χειρισμό του δικτύου. Αυτή η οντότητα, για λόγους κλίμακας, μπορεί να αντιγραφεί στο δίκτυο. Επιπλέον, το δίκτυο μπορεί να διαχωριστεί ιεραρχικά σε διάφορες περιοχές. Με έναν απλοποιημένο τρόπο, ο μεσίτης QoS χειρίζεται και παρακολουθεί τους πόρους δικτύου σε μια συγκεκριμένη περιοχή λειτουργίας. Επίσης παρακολουθεί τα άκρα του δικτύου για εισερχόμενες και εξερχόμενες αιτήσεις δέσμευσης / χρησιμοποίησης πόρων. Οι πληροφορίες λοιπόν που λαμβάνονται χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την πληροφορία από το σύστημα αποφάσεων για να λάβουν αποφάσεις ελέγχου εισόδου και επαναρύθμισης και να τις μεταφέρουν στους δρομολογητές. Ο μεσίτης QoS είναι συνεπώς μια οντότητα που παίρνει αποφάσεις Ελέγχου Υπηρεσιών Αποδοχής κλήσεων (*Service Admission Control*) και εκτελεί ρύθμιση συσκευών δικτύου, σύμφωνα με ένα σύνολο συνθηκών που υπαγορεύονται από τις οντότητες διαχείρισης δικτύου (π.χ., το σύστημα AAA – Επαλήθευσης, Εξουσιοδότησης και Αναφοράς – *Authentication, Authorization and Accounting*) με σκοπό να πετύχουμε QoS από άκρη ως άκρη, επίσης και σε διαφορετικά δίκτυα. Ο μεσίτης QoS μπορεί επίσης να είναι υπεύθυνος για την διαχείριση των επικοινωνιών μέσα στην περιοχή με γειτονικούς μεσίτες, έτσι ώστε υπηρεσίες μεταφοράς με δυνατότητα QoS υλοποιούνται με συντονισμένο τρόπο μεταξύ διάφορων περιοχών.

Από την στιγμή που η IntServ απαιτεί δέσμευση πόρων, είναι το πιο εμφανές σενάριο για ενσωμάτωση ενός μεσίτη QoS. Στην IntServ ένας δρομολογητής με δυνατότητα RSVP μπορεί να συμβουλευτεί τον μεσίτη QoS (χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο COPS, *Common Open Policy Service* – Υπηρεσία Κοινής Ανοικτής Πολιτικής) για την απόφαση που θα πάρει όταν λαμβάνει μια διαδρομή RSVP ή μηνύματα κράτησης/δέσμευσης. Η απόφαση που λαμβάνεται από έναν μεσίτη QoS συνήθως μεταφέρεται σε ένα μήνυμα COPS και μετά ενεργείται από τον δρομολογητή. Στην DiffServ, οι ακραίοι δρομολογητές πρέπει να

εκτελέσουν έλεγχο αποδοχής και μπορούν να αποστείλουν την απόφαση στον μεσίτη QoS. Αυτή η διεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν ο δρομολογητής πρόσβασης DiffServ ανιχνεύει νέα κυκλοφορία. Το επίπεδο πληροφορίας για να ορίσει την νέα κυκλοφορία μπορεί να ποικίλει, όπως εξηγήσαμε πριν λίγο. Οι μεσίτες QoS μπορούν λειτουργικά να εξελιχθούν πέρα από την λήψη αποφάσεων πολιτικής. Γενικά είναι υπεύθυνοι για την διαχείριση του δικτύου. Ο πραγματικός ρόλος του μεσίτη QoS μπορεί να προσαρμόζεται στις διαφορετικές εκδοχές και μοντέλα εταιριών. Για παράδειγμα στην εκδοχή που περιγράφεται στην ενότητα 2.4.1, ο «παροχέας ανάκτησης» μπορεί να συμβουλευεται έναν μεσίτη QoS πριν την συλλογή δεδομένων από τους παροχείς περιεχομένου και αποστολή του στον δορυφόρο έτσι ώστε να το εκπέμψει.

Πολλές υπάρχουσες προσεγγίσεις συνδυάζουν IntServ και DiffServ: την IntServ στο μέρος πρόσβασης στο δίκτυο και την DiffServ στο βασικό δίκτυο. Φυσικά, υπάρχουν επίσης και λύσεις που βασίζονται σε άλλα παραδείγματα και είναι συμπληρωματικά σε αυτά που παρουσιάστηκαν.

2.4 Υπηρεσίες ευρείας εκπομπής και πολλαπλών-εκπομπών

Επιπρόσθετα της ευρείας εκπομπής DVB-S, η πολυεκπομπή δορυφορικού IP για κατανομή περιεχομένου στα «όρια» του Διαδικτύου και σε εταιρικές περιοχές έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα από την επίγεια τεχνολογία. Οι δορυφόροι προσφέρουν ροές δεδομένων ευρείας ζώνης που είναι κατά πολύ «ομαλές» και μια απλή εκπομπή από τον κεντρικό σταθμό λειτουργίας μπορεί να παραδοθεί σε έναν μεγάλο αριθμό τοποθεσιών. Επιπρόσθετα της μείωσης κόστους, η μία μακρινή αναπήδηση της δορυφορικής σύνδεσης αντικαθιστά όλες τις μικρές αναπηδήσεις των επίγειων κέντρων κατανομής περιεχομένου και παρακάμπτουν κυκλοφοριακές συμφορήσεις, και με αυτόν τον τρόπο παρέχει QoS σε πολλές εφαρμογές. Με αυτόν τον τρόπο, οι δορυφορικές πολλαπλές εκπομπές για κατανομή περιεχομένου και παράδοση δορυφορικού περιεχομένου σε κινητά τερματικά (είτε ευρείας εκπομπής ή πολλαπλής εκπομπής) είναι ενδιαφέρουσα περιοχή εργασίας. Σαφώς, η λήψη είναι δυνατή κυρίως όταν ο δορυφόρος είναι σε «οπτική» επαφή ή η εξασθένιση είναι μικρή. Έτσι, συμπληρωματικοί επίγειοι επαναλήπτες ενισχύουν την αρχιτεκτονική επανεκπέμποντας το δορυφορικό σήμα.

Όταν μόνο ένα δορυφορικό σήμα είναι παρόν (δηλ. δεν υπάρχουν επίγειοι επαναλήπτες), τα δορυφορικά συστήματα ευρείας εκπομπής μπορεί να χρησιμοποιήσουν χρονική ποικιλία για να ενισχύσουν την διαθεσιμότητα. Αυτή η τεχνική εκπέμπει το ίδιο περιεχόμενο δύο φορές, έτσι ώστε οι δύο εκπομπές να είναι ασυσχέτιστες σε σχέση με τους

νεκρούς χρόνους λήψης των κινητών. Ο δέκτης είναι ικανός να συνδυάσει τα δύο σήματα για να παρέχει μια σχετικά σταθερή λήψη.

Στην περίπτωση της δορυφορικής εκπομπής σε κινητά τερματικά χρησιμοποιώντας διαμορφώσεις κινητών επικοινωνιών, ο πελάτης μπορεί να αλλάξει μεταξύ δύο πηγών περιεχομένου με διαφορετικά επίπεδα QoS: δορυφόρο (ή επίγειους επαναλήπτες δορυφόρων) και επίγεια ασύρματα δίκτυα (όταν δεν είναι διαθέσιμοι ούτε δορυφόροι ούτε επίγειοι επαναλήπτες). Αυτή η μεταπομπή μεταξύ διαφορετικών φυσικών διασυνδέσεων πρόσβασης είναι προβληματική για παράδειγμα στην περίπτωση του UMTS και WiFi (πάλι, το τελευταίο θα παρείχε ένα υψηλότερο επίπεδο QoS, τουλάχιστον σε όρους κανονικότητας, αν ήταν παρόν μια δορυφορική πύλη).

Όταν τα τερματικά υποστηρίζουν διπλή πρόσβαση δικτύου, π.χ. δορυφορικές και επίγειες συνδέσεις (WiFi, UMTS, κλπ.), είναι πολύ κρίσιμο να επιλέξουμε το κατάλληλο δίκτυο για κάθε εφαρμογή που εξαρτάται και από τους δύο διαθέσιμους πόρους και το είδος της εφαρμογής που αφορά. Γενικά, η επιλογή διασύνδεσης μπορεί να ξεκινάει είτε από το δίκτυο είτε από το τερματικό. Στην πρώτη περίπτωση, ο διαχειριστής δικτύου αποφασίζει την κατάλληλη πρόσβαση δικτύου για κάθε εφαρμογή, ενώ στην δεύτερη περίπτωση το τερματικό θα αποφασίσει την καλύτερη διαδρομή. Όλες αυτές οι λειτουργίες πρέπει να εκτελεστούν κατά την διάρκεια εκκίνησης της εφαρμογής καθώς και κατά την διάρκεια των μεταπομπών, και πρέπει να λάβει υπόψη τις διαθέσιμες τεχνολογίες, το προφίλ του χρήστη (SLA, τις απαιτήσεις του χρήστη κλπ), και τις δυνατότητες QoS σύμφωνα με τους διαθέσιμους πόρους. Στην περίπτωση υπηρεσιών πολλαπλών εκπομπών και ευρείας εκπομπής, η επιλογή διασύνδεσης που ξεκινάει από το τερματικό μοιάζει η πιο φυσική προσέγγιση, από την στιγμή που θα ήταν υπερβολικά δύσκολο για έναν διαχειριστή δικτύου να επιλέξει ατομικά τις βέλτιστες διασυνδέσεις για τους μεγάλους πληθυσμούς χρηστών που υπάρχουν.

Οι δορυφόροι παραδοσιακά έχουν εξυπηρετήσει τις σημείο προς σημείο επικοινωνίες (όπως τα διηπειρωτικά κυκλώματα τηλεφωνίας) και μονοκατευθυντικές εκπομπές τηλεόρασης. Τα Τερματικά Πολύ Μικρού Διαφράγματος, VSATs (*Very Small Aperture Terminals*, δηλ. τερματικά πληροφοριών στενής ζώνης σε κατάσταση λειτουργίας συναλλαγής), εμφανίστηκαν στην δεκαετία του 90. Με μερικές εξαιρέσεις, τα τεχνολογικά μέσα πρόσβασης εκείνη την εποχή δεν επέτρεπαν παροχή υπηρεσιών ευρείας ζώνης ούτε μαζική ανάπτυξη τερματικών, αλλά 10 έως 100 μονάδες το πολύ. Από την άλλη, κατασκευαστές εξοπλισμού ανέπτυξαν ιδιόκτητες πλατφόρμες που δεν μπορούσαν να λειτουργήσουν συνδυαστικά. Το υψηλό κόστος τερματικών/υπηρεσιών κράτησε τις εν λόγω υπηρεσίες μέσα στις συνεταιρικές αγορές, και πέρα από τις δυνατότητες των SME. Αυτή η κατάσταση έχει αλλάξει ριζικά τα

τελευταία έξι χρόνια, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων όπως τα πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης. Από την μία μεριά, οι κατασκευαστές τερματικών VSAT (Hughes, Gilat κλπ) έχουν αναπτύξει πλήρη δικατευθυντικό εξοπλισμό (ακόμα ιδιόκτητο) για να παρέχει υπηρεσίες ευρείας ζώνης σε μεγάλες κοινότητες χρηστών και, σε ορισμένες περιπτώσεις (Τυποποίηση, DirectWay), σε αποδεκτό κόστος ακόμα και για οικιακούς χρήστες. Από την άλλη, ελάχιστοι από τους νέους κατασκευαστές προσφέρουν εξοπλισμό που λειτουργεί συνδυαστικά και βασίζεται στην τυποποίηση DVB, δηλ, συγκεκριμένα, MPE (*Multi Protocol Encapsulation* – Ενσωμάτωση Πολλαπλών Πρωτοκόλλων) και RCS (*Return Channel via Satellite* – Κανάλι Επιστροφής μέσω δορυφόρου).

Η άφιξη το 1997 της τυποποίησης MPE για ενσωμάτωση δεδομένων DVB IP εξαιτίας της διαλειτουργικότητας οδήγησε στο ότι οι κατασκευαστές εξοπλισμού δεν ήταν απαραίτητοι για εφοδιασμό όλης της αλυσίδας επικοινωνίας. Οι παραδοσιακοί κατασκευαστές head-end άρχισαν να περιλαμβάνουν εξοπλισμό εισαγωγής δεδομένων IP στους καταλόγους τους (Thomcast, Divicom, Rohde & Schwarz, κλπ) και μερικοί καινούριοι επικέντρωσαν τις προσπάθειές τους σε αυτή την κατεύθυνση (Logic Innovations, Tandberg κλπ.). Γενικά δεν παρείχαν τερματικά χρηστών, λόγω των μεγάλων διαφορών μεταξύ επαγγελματικών και αγορά χρηστών σε όρους ποιότητας στόχων, υποστήριξης αγορών κλπ. Για αυτό τον λόγο, πολλοί κατασκευαστές περιφερειακών υπολογιστών μπήκαν στον ανταγωνισμό με πλακέτες και πακέτα DVB-S (Adaptec, Terratec, Technotrend, κλπ).

Το MPE προκάλεσε την εισαγωγή υπηρεσιών δορυφορικού IP στην μαζική αγορά. Για εφαρμογές που απαιτούν διαδραστικότητα (δικατευθυντικά), οι υπηρεσίες αρχικά βασίστηκαν σε βοηθητικές επίγειες τεχνολογίες για το κανάλι επιστροφής, ενσύρματες (POTS, ISDN ή Frame Relay) ή ασύρματες (GSM, GPRS ή παρόμοιες). Υπήρχε μια εμφανή έλλειψη δορυφορικής τεχνολογίας για να εξαλείψει αυτήν την επίγεια εξάρτηση. Το 1999, η τυποποίηση DVB-RCS κάλυψε αυτό το κενό. Παρόλο τα μερικά αρχικά προβλήματα διαλειτουργικότητας (που συνήθως οδηγούσε στην επιλογή του ίδιου προμηθευτή για όλη την αλυσίδα επικοινωνιών), η τυποποίηση έχει ωριμάσει τα τελευταία χρόνια. Κάποιοι διαχειριστές το έχουν επιλέξει (Satlynx, Hispasat, κλπ.)

Τα τελευταία δύο χρόνια το νέο πρωτόκολλο *DOCSIS για δορυφόρους* (ή DOCSIS-S) αναδύεται ως εναλλακτικό του DVB-RCS, βασισμένο στην πολύ γνωστή τυποποίηση DOCSIS για καλωδιακά δίκτυα και προωθείται επί το πλείστον από Αμερικάνους πωλητές και παροχείς (Viasat [15] και WildBlue [16]). Σε σύγκριση με το DVB-RCS, το DOCSIS-S εκμεταλλεύεται τις οικονομίες της κλίμακας σχεδίασης πυριτίου για καλωδιακή υποδομή, καθώς και την τεράστια επιλογή πλατφορμών

Συστημάτων Υποστήριξης Λειτουργίας και Επιχειρήσεων (Operations and Business Support Systems) για την καλωδιακή αγορά. Παρόλα αυτά, το DOCSIS-S ακόμα είναι ένα πρωτόκολλο που προωθείται από τους πωλητές, όχι μια κανονική τυποποίηση. Έτσι η διαλειτουργικότητα και διαθεσιμότητα των εφοδιαστών είναι ένα ζήτημα.

Αυτά τα νέα πρωτόκολλα δίνουν την δυνατότητα για νέες περιπτώσεις πολυμεσικών εφαρμογών που βασίζονται σε διανομή πολλαπλών εκπομπών και ευρείας ζώνης. Μια από αυτές τις εφαρμογές είναι η εξ αποστάσεως μάθηση με ή χωρίς διαδραστικότητα. Σε αυτήν, ένας καθηγητής παρέχει ένα μάθημα σε ένα πλήθος απομακρυσμένων μαθητών χρησιμοποιώντας βίντεο πολλαπλών εκπομπών και ηχητική ροή και επιπρόσθετα βοηθήματα όπως ψηφιακός πίνακας, διαφάνειες κλπ. Όταν η διαδραστικότητα είναι διαθέσιμη (κανάλι επιστροφής), οι μαθητές μπορούν να στέλνουν ερωτήσεις στον καθηγητή είτε μέσω γραπτής ομιλίας (chat) ή μέσω από το δικό τους μικρόφωνο και κάμερα διαδικτύου, έτσι ώστε οι άλλοι μαθητές να παρακολουθήσουν την ερώτηση και την απάντηση. Σε αυτήν την περίπτωση, λόγω της καθυστέρησης που επάγεται από τον ίδιο τον δορυφόρο (500 ms για ένα γεωσύγχρονο σύστημα), το πρωτόκολλο πρόσβασης μέσω για το κανάλι επιστροφής (100 – 300 ms) και των κωδικο-αποκωδικοποιητών βίντεο (100 – 1000 ms), πρέπει να υλοποιηθεί ένας ηχητικός χαιρετισμός παρόμοιος των ασυρμάτων «walkie-talkie» έτσι ώστε ο καθηγητής με τον μαθητή να μην παρεμβάλλονται. Επίσης, όταν υπάρχει ένα μεγαλύτερο κοινό, η εφαρμογή πρέπει να παρέχει συγκεκριμένους ελέγχους έτσι ώστε ο καθηγητής να δρα ως διαχειριστής, επιτρέποντας ή αποτρέποντας συμμετοχή στους μαθητές. Σήμερα, συστήματα (Centra [17]) και υπηρεσίες (Hughes [18], Gilat [19]) εκμάθησης από απόσταση είναι διαθέσιμα στην αγορά και εφαρμόζονται ευρέως.

Μια άλλη κοινή εφαρμογή πολλαπλών εκπομπών που δεν απαιτεί λειτουργία σε πραγματικό χρόνο κερδίζει κατά πολύ από ένα κανάλι επιστροφής όταν είναι διαθέσιμο, είναι η μαζική διανομή περιεχομένου, όπου ένας κεντρικός σταθμός παρέχει κοινό πολυμεσικό περιεχόμενο σε έναν μεγάλο πληθυσμό απομακρυσμένων πελατών (με έναν μηχανισμό επιβεβαίωσης λήψης όταν παρέχεται η διαδραστικότητα). Οι συνήθεις απώλειες δεδομένων και τα σφάλματα αποτρέπονται α) προσθέτοντας επιπρόσθετη πληροφορία στα δεδομένα προς μετάδοση στο επίπεδο εφαρμογής μέσω κωδικοποίησης συνέλιξης, πολυωνυμική προστασία και παρεμβολή και β) υλοποιώντας ένα κανάλι επιστροφής έτσι ώστε κάθε απομακρυσμένος πελάτης να μπορεί να ενημερώνει τον κεντρικό σταθμό με τα κομμάτια πολυμεσικού περιεχομένου που λείπουν του μετά τη λήψη και διόρθωση των σφαλμάτων. Τότε, ο κεντρικός σταθμός επαναλαμβάνει την αποστολή αυτών των κομματιών δεδομένων ομαδοποιημένα σε επικαλυπτόμενα κομμάτια, για να αποφύγουν τα ίδια

δεδομενογράμματα. Λογισμικές λύσεις μαζικής διανομής περιεχομένου είναι διαθέσιμες από τις Kencast και Tandberg μεταξύ άλλων.

Η τυποποίηση DVB-RCS επιτρέπει άλλα σενάρια καινοτόμων εφαρμογών για δορυφορική διανομή περιεχομένου σε κινητά τερματικά, όπως υπηρεσίες *Καθυστερημένου Πραγματικού Χρόνου* (DRT – *Delayed Real-Time*) με υποστήριξη QoS για γεωσύγχρονα δορυφορικά συστήματα διανομής. Τα περιγράφουμε στην επόμενη υποενότητα.

2.4.1 Υπηρεσία καθυστερημένου πραγματικού χρόνου σε γεωσύγχρονα δορυφορικά συστήματα διανομής

Η διανομή πολυμεσικών περιεχομένων μέσω δορυφόρων, παρόλο που είναι από τις πρώτες υπηρεσίες που οραματίστηκε η κοινότητα δορυφορικών επικοινωνιών, παραμένει ένα σοβαρό θέμα για τα δορυφορικά δίκτυα. Υπάρχουν πολλά είδη υπηρεσιών πολυμεσικής επικοινωνίας. Σε αυτήν την υπο-ενότητα μελετούμε την κατηγορία των DRT υπηρεσιών, που η σπουδαιότητά τους προκύπτει στο πεδίο επικοινωνιών πραγματικού χρόνου με ενημέρωση QoS.

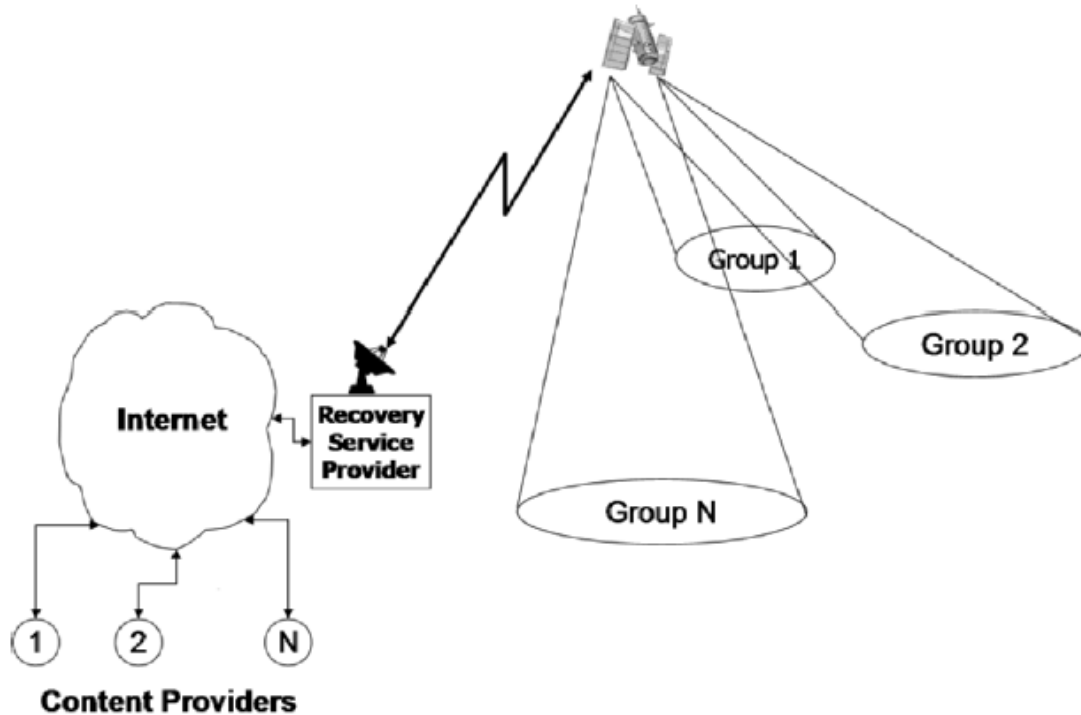
Οι υπηρεσίες DRT πέτουν στην κατηγορία των υπηρεσιών ροής των οποίων οι απαιτήσεις συζητιούνται στην υποενότητα 2.2.3. Οι υπηρεσίες DRT έχουν επινοηθεί ως μια επέκταση των υπηρεσιών μονοκατευθυντικής εκπομπής πραγματικού χρόνου και πολλαπλών εκπομπών. Μέχρι τώρα, δεν υπάρχουν τυποποιημένες αρχιτεκτονικές για υποστήριξη του DRT, αλλά διάφορες εφαρμογές έχουν προταθεί έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν οι δεδομένες απαιτήσεις QoS μέσω συγκεκριμένων μηχανισμών στο επίπεδο εφαρμογής. Αντί να περιορίσουμε την υποστήριξη του DRT απλώς στην υλοποίηση σε επίπεδο εφαρμογής, αυτή η Ενότητα παρουσιάζει μια αρχιτεκτονική που εκμεταλλεύεται χαρακτηριστικά και των εφαρμογών αλλά και του επιπέδου μεταφοράς. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική υποθέτει ότι το DVB-RCS εφαρμόζεται σε ένα γεωσύγχρονο δορυφορικό σύστημα. Παρόλα αυτά, μπορεί εύκολα να επεκταθεί και να προσαρμοσθεί σε ένα οποιοδήποτε άλλο πρωτόκολλο στοίβας επιπέδου 2 κατάλληλο για εφαρμογές ευρείας εκπομπής και πολλαπλών εκπομπών, επιτρέποντας τους πελάτες να αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο με multimedia distribution farm (π.χ. WiMAX or UMTS technologies).

Μια υπηρεσία DRT εξαλείφει απώλειες δεδομένων και σφάλματα σε αυτά με την χρήση ενδιάμεσης μνήμης και με την σειρά της εισάγοντας μια τεχνητή καθυστέρηση στην εκκίνηση της φάσης προβολής. Ένα κανάλι επιστροφής πραγματικού χρόνου είναι ουσιώδες, από την στιγμή που ο παραλήπτης πρέπει να εκκινήσει μια διαδικασία ανάκτησης των δεδομένων από την στιγμή που θα ανιχνευτεί απώλεια δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση, επιπλέον πόροι μπορούν να επικληθούν στο κανάλι

διανομής, αν βέβαιο είναι διαθέσιμοι. Η μέγιστη πιθανή διάρκεια για κάθε φάση ανάκτησης καθορίζεται από το μέγεθος της ενδιάμεσης μνήμης, και μπορεί να διαμορφωθεί από την επιλογή του κωδικο-αποκωδικοποιητή για ροή πολυμέσων.

Είναι άξιο επισήμανσης ότι μπορεί να γίνουν αιτήσεις πολλαπλών επανεκπομπών την ίδια στιγμή από διαφορετικούς χρήστες (π.χ. από τους χρήστες που ανήκουν στην ίδια ομάδα πολλαπλών εκπομπών) και κατά συνέπεια διαφορετικές επανεκπομπές μπορεί να υπερκαλύπτονται μερικώς. Ανάλογα, οι επανεκπομπές εκτελούνται σε πολλαπλές εκπομπές και γίνονται αιτητές μέσω δυναμικής συμμετοχής και απομάκρυνσης από την ομάδα επανεκπομπής πολλαπλών εκπομπών. Κατά συνέπεια, είναι δυνατή η σχεδίαση μιας αρχιτεκτονικής όπου μία κληροδοτούμενη δορυφορική υπηρεσία ευρείας ζώνης προικίζεται με έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο ανάκτησης πολλαπλών εκπομπών ικανός να μετριάσει την επίδραση των διακοπών δικτύου/δορυφόρου. Αυτή είναι η περίπτωση των αποτυχιών σύνδεσης λόγω κινητικότητας των χρηστών και των σχετικών επιδράσεων σκίασης. Το σενάριο αναφοράς (Εικόνα 2.3) αποτελείται από τα τρία κύρια στοιχεία:

- Ο παροχέας περιεχομένου (υποθέτουμε ότι έχουμε N παροχές περιεχομένου στο δίκτυο)
- Ο παροχέας υπηρεσιών ανάκτησης (μόνο ένας στο δίκτυο)
- Οι χρήστες (συγκεκριμένα, N ομάδες χρηστών, μία ομάδα για κάθε ενεργό παροχέα περιεχομένου).



Εικόνα 2.3: Αρχιτεκτονική υπηρεσίας DRT

Οι παροχείς περιεχομένου είναι οι κύριες πηγές για εφαρμογές βίντεο, δηλ. παράγουν τα δεδομένα πραγματικού χρόνου. Υποθέτουμε ότι ο παροχέας περιεχομένου βρίσκεται ακριβώς πριν την δορυφορική σύνδεση, ή, πιο γενικά, το Διαδίκτυο απλώνεται μεταξύ των.

Ο παροχέας υπηρεσιών ανάκτησης αποτελείται από έναν εξουσιοδοτημένο αντικαταστάτη ροής που έχει πρόσβαση σε δορυφορικούς πόρους και χειρίζεται την προτεραιότητα επανεκπομπής. Στην πράξη, οι αιτήσεις επανεκπομπής μπορούν να μπουν σε λίστα σύμφωνα με την προτεραιότητα που σχετίζεται με τους χρονικούς περιορισμούς της φάσης ανάκτησης, αλλά και από το είδος της υπηρεσίας και την κατηγορία του πελάτη που αναφέρεται η υπηρεσία. Είναι άξιο αναφοράς ότι οι αιτήσεις επανεκπομπής μπορούν να οργανωθούν στον χρόνο από τον εξουσιοδοτημένο αντικαταστάτη παροχέα, βασιζόμενοι σε μια μετρική που ποσοτικοποιεί την σπουδαιότητα ενός τμήματος δεδομένων για έναν αιτούντα πελάτη, έτσι ώστε μια απλή χρονοδρομολόγηση FIFO των επανεκπομπών να είναι μακριά από βέλτιστη σε όρους ισοτιμίας, ποσοστό επιτυχής αποστολής και βαθμό ικανοποίησης χρήστη.

Ο χρήστης στην πράξη πρέπει να θεωρηθεί ως ένα σύνολο πελατών (Ομάδα 1, Ομάδα 2, ..., Ομάδα N) που τοποθετείται πίσω από την δορυφορική σύνδεση, των οποίων οι εφαρμογές μοιράζονται κάποιους

κοινούς πόρους εύρους ζώνης. Η βελτιστοποίηση της χρήσης αυτών των πόρων είναι ένας από τους στόχους της εν λόγω αρχιτεκτονικής.

2.4.2 Χαρακτηρισμός σεναρίων και αποτελέσματα

Κάθε παροχέας περιεχομένου στέλνει μια πολυμεσική ροή μέσω μιας δορυφορικής σύνδεσης χρησιμοποιώντας εγγυημένο εύρος ζώνης. Σύμφωνα με την Εικόνα 2.3, υπάρχουν N παροχείς περιεχομένου και, επομένως, N στατιστικά καταναμημένα κανάλια. Τα δεδομένα στέλνονται στις εφαρμογές ροής μετά από μια καθυστέρηση προβολής (π.χ. D δευτερόλεπτα). Κάθε παραλήπτης χρησιμοποιεί μια τοπική ενδιάμεση μνήμη για αποθήκευση μέχρι το πολύ D δευτερόλεπτα δεδομένων ροής, δηλ. δεδομένα που θα προβληθούν μέχρι D δευτερόλεπτα. Αυτή η ελαστική ενδιάμεση μνήμη, που αδειάζει με σταθερό ρυθμό και γεμίζει με μεταβαλλόμενο ρυθμό, επιτρέπει να συνεχιστεί η προβολή κατά τη διάρκεια διακοπής του δορυφορικού καναλιού, εφόσον επαρκείς πληροφορίες έχουν αποθηκευθεί προηγουμένως στην ενδιάμεση μνήμη. Όταν συμβεί διακοπή του καναλιού, ο παραλήπτης (δηλ. ο αντικαταστάτης παροχέας που βρίσκεται στην ομάδα παραλαβής) αφήνει έναν κενό χώρο στην ενδιάμεση μνήμη και, όταν το κανάλι είναι πάλι διαθέσιμο, στέλνει μια αίτηση επανεκπομπής σε έναν Παροχέα Υπηρεσίας Ανάκτησης (RSP – *Recovery Service Provider*) με σκοπό να πληρωθεί το κενό στην ελαστική ενδιάμεση μνήμη. Όλες οι επανεκπομπές χρησιμοποιούν ένα κοινό κανάλι, δηλ. το $(N+1)$ κανάλι. Προτείνουμε ότι σε αυτό το κανάλι ανάκτησης, οι παροχείς περιεχομένου να επανεκπέμπουν τα πακέτα χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο μεταφοράς με σχέδιο *Αθροιστική Αύξηση Πολλαπλασιαστική Μείωση* (AIMD – *Additive Increase Multiplicative Decrease*). Συγκεκριμένα, το πλήθος των πακέτων που ένας αποστολέας μπορεί να τοποθετήσει στο δίκτυο περιορίζεται από ένα παράθυρο συνωστισμού (*cwnd* – *congestion window*) που λειτουργεί ως ακολούθως:

- Αργά (αθροιστικά) αυξάνουμε το μέγεθος του *cwnd* όσο δεν υπάρχει συμφόρηση. Τυπικά, το *cwnd* αυξάνεται ανά ένα πακέτο για κάθε παράθυρο που αποστέλλεται χωρίς απώλεια πακέτου (στην πράξη, $cwnd = cwnd + a * cwnd$ καθώς κάθε ACK επιστρέφει, με $a = 1$).
- Γρήγορα (πολλαπλασιαστικά) μειώνουμε το μέγεθος *cwnd* μόλις ανιχνεύεται ο συνωστισμός. Τυπικά, διαιρούμαι το *cwnd* με 2 για κάθε παράθυρο που περιέχει απώλεια πακέτων ($cwnd = b * cwnd$, με $b = 0.5$)

Με αυτόν τον τρόπο, το διαθέσιμο εύρος ζώνης μοιράζεται ισότιμα. Μετά την λήψη μια αίτησης επανεκπομπής, το RSP (το οποίο λειτουργεί ως αντικαταστάτης για υπηρεσίες on-demand) κατηγοριοποιεί την αίτηση σύμφωνα με την εκτιμώμενη επιτακτικότητα ως προς τον χρόνο. Η επιτακτικότητα υπολογίζεται από την αιτούμενη πληροφορία και τον διαθέσιμο χρόνο για σκοπούς ανάκτησης. Αντίστοιχα, κάθε χρήστης αποστέλλει ένα χρονικό διάστημα και δύο χρονικές στιγμές που μεταφέρονται μέσω της αίτησης επανεκπομπής:

$$\Delta T, [t_0, t_1] \quad (2.1)$$

όπου t_0 είναι ο χρόνος όταν η σύνδεση έγινε μη διαθέσιμη για τον αιτούμενο παραλήπτη, t_1 είναι ο χρόνος όταν τα δεδομένα προς επανεκπομπή πρέπει να χρησιμοποιηθούν από την εφαρμογή προβολής των πολυμέσων, και ΔT είναι το παράθυρο δεδομένων που ζητείται, δηλ. ο χώρος που πρέπει να γεμίσει στην ενδιάμεση μνήμη, σε δευτερόλεπτα προβολής.

Το RSP αποδίδει ένα κατάλληλο εύρος ζώνης σε κάθε επανεκπομπή, που υπολογίζεται από την αντίστοιχη επιτακτικότητα. Η πολιτική που καθορίζει την επιτακτικότητα μια αίτησης βασίζεται από την διαφορά $t_1 - t_{\text{current}}$ και το ΔT , δηλ., τα διαθέσιμα διαστήματα για έναρξη και πλήρωση της διαδικασίας ανάκτησης. Αυτό σημαίνει ότι η επιτακτικότητα μιας επανεκπομπής μπορεί να αλλάξει κατά την διάρκεια της ίδιας της επανεκπομπής, επομένως οι αποδόσεις εύρους ζώνης πρέπει να προσαρμοστούν δυναμικά. Πιθανόν, μια λειτουργία με τους παραπάνω όρους μπορεί να τρέχει στον κωδικο-αποκωδικοποιητή επανεκπομπής, προσπαθώντας να εξυπηρετήσει πολλαπλές αιτήσεις στο ίδιο κανάλι.

Από την στιγμή που θα επιλεγεί ένας κωδικο-αποκωδικοποιητής για μια επανεκπομπή, καθορίζεται η ποσότητα B των δεδομένων προς αποστολή, και η ακόλουθη φόρμουλα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των AIMD παραμέτρων μετάδοσης α και β :

$$B = r(\alpha, \beta) * (t_1 - t_{\text{current}}) \quad (2.2)$$

όπου B είναι η ποσότητα των δεδομένων προς αποστολή την χρονική στιγμή t_1 και r ο ρυθμός που πρέπει να επιτευχθεί για μια κατάλληλη επιλογή των α και β .

Παρακάτω δίνεται ένας τύπος [20] που συσχετίζει τον μέσο ρυθμό αποστολής AIMD r με τις παραμέτρους ελέγχου, α και β , τον ρυθμό απωλειών p , τον μέσο χρόνο με τ' επιστροφής RTT (*Round Trip Time*), την μέση τιμή λήξης, T_0 , και τον αριθμό b των πακέτων που αναγνωρίζει το ACK:

$$r(a, \beta) = \frac{1}{TD_{\alpha, \beta} + TO_{\alpha, \beta}} \quad (2.3)$$

όπου:

$$TD_{\alpha, \beta} = RTT \sqrt{\frac{2b(1-\beta)}{a(1+\beta)}} p \quad (2.4)$$

$$TO_{\alpha, \beta} = T_0 \min \left(1, 3 \sqrt{\frac{b(1-\beta^2)}{2a}} p \right) p (1+32p^2) \quad (2.5)$$

Έτσι από την τιμή του εύρους ζώνης, ο αντικαταστάτης παροχέας υπολογίζει τις παραμέτρους α και β του σχεδίου μεταφοράς AIMD, που θα αποσταλεί σε κάθε παροχέα περιεχομένου που πρέπει να επανεκπέμψει δεδομένα.

Εδώ μοντελοποιήσαμε την σύνδεση με μια διεργασία καλού – κακού με χρόνους διάρκειας εκθετικά κατανομημένους και για καλές και για κακές καταστάσεις. Οι εφαρμογές ευρείας εκπομπής πραγματικού χρόνου είναι πάντα ενεργές με σταθερή χρήση του εύρους ζώνης. Επίσης το εύρος ζώνης διαθέσιμο για επανεκπομπή είναι σταθερό και εγγυημένο από τα συστήματα κατανομής, και η καθυστέρηση προβολής για κάθε ληφθήσα εφαρμογή είναι η ίδια για όλους τους χρήστες. Επιπλέον, αναπαριστούμε κάθε ομάδα πολλαπλών εκπομπών με έναν χρήστη ο οποίος λειτουργεί ως ο χειρότερος χρήστης, έτσι ώστε η διεργασία καλού – κακού να αναφέρεται στην πραγματικότητα στην χρονική κατανομή περιόδων στις οποίες έχουμε αποτυχία ή όχι σύνδεσης, για ολόκληρη την ομάδα πολλαπλών εκπομπών. Αυτή η υπόθεση απλοποιεί την ανάλυση της προσομοίωσης ενώ διατηρεί την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Στην πράξη, στο σύστημά μας, οι επικαλυπτόμενες αιτήσεις επανεκπομπής προσθέτονται και μετατρέπονται σε μία ενιαία επανεκπομπή πολλαπλών εκπομπών. Τελικά, δεν έχει ληφθεί υπόψη καμία προσαρμογή κωδικο-αποκωδικοποιητή.

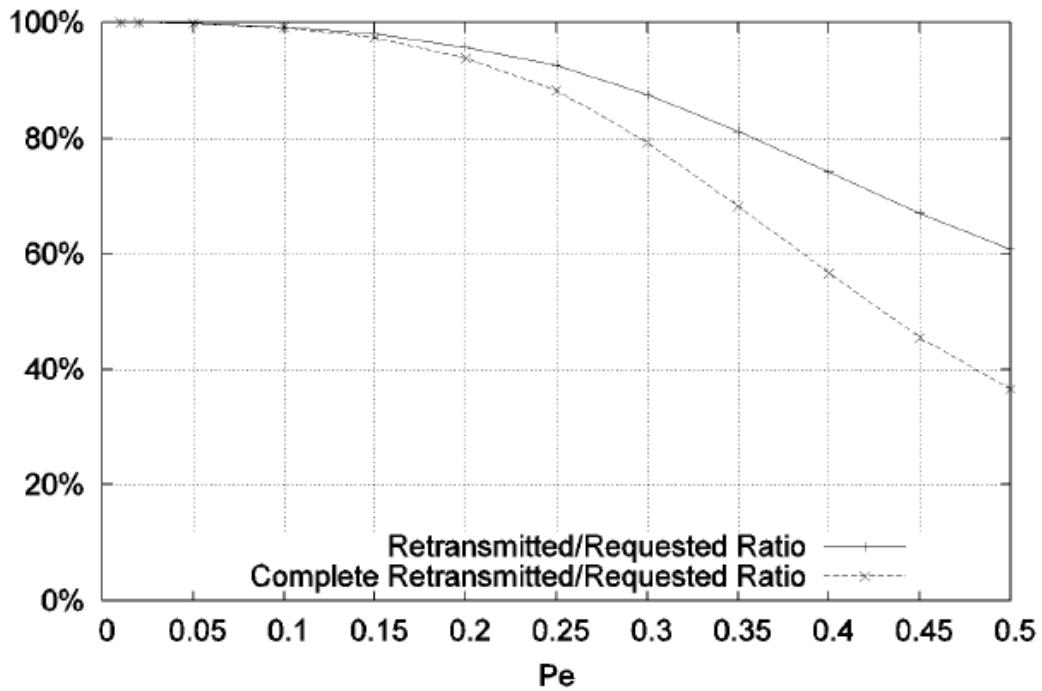
Όσο για το πρωτόκολλο μεταφοράς, έχουμε ελέγξει UDP τύπους επανεκπομπών. Παρόλα αυτά, προκαταρκτικά αποτελέσματα που λήφθηκαν από την UDP, δικαιολογούν την μελέτη συνδεδεμένων πρωτοκόλλων μεταφοράς για ενίσχυση την απόδοση του συστήματος.

Ως αναφορά, ας μελετήσουμε το σενάριο με $N = 10$ Παροχείς Περιεχομένου που παράγουν αθροιστικά 20 Mbit/s (κάθε Παροχέας Περιεχομένου παράγει σε ένα σταθερό, αλλά διαφορετικό ρυθμό των περίπου 2 Mbit/s, για να αποφύγουν επιδράσεις συγχρονισμού), και ένα εύρος ζώνης 6 Mbit/s εγγυάται για ανάκτηση. Η καθυστέρηση προβολής

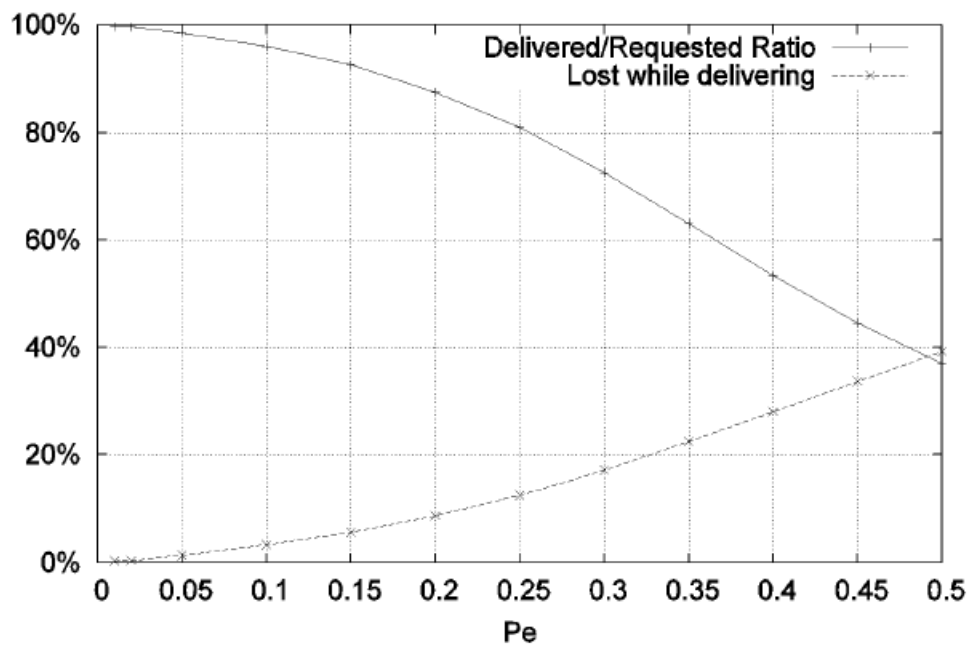
είναι 20 δευτερόλεπτα, και το πρωτόκολλο μεταφοράς είναι UDP. Η μέση διάρκεια της κακής κατάστασης κάθε συνδέσμου έχει καθοριστεί στα 5 s. Έχουμε αποκτήσει τα αποτελέσματα αλλάζοντας την μέση διάρκεια της καλής κατάστασης και συλλέγοντας αποτελέσματα προσομοίωσης για πάνω από 200000 δευτερόλεπτα.

Το Σχήμα 2.4 δείχνει την αθροιστική ποσότητα των δεδομένων επανεκπομπής όταν η υιοθετημένη προτεραιότητα επανεκπομπής είναι ανάλογη του εύρους ζώνης της ροής πραγματικού χρόνου. Οι καμπύλες έχουν κανονικοποιηθεί ως προς τον αθροιστικό αριθμό των bytes που ζητούνται από τους χρήστες. Η χαμηλότερη καμπύλη στο Σχήμα αντιπροσωπεύει δεδομένα που επανεκπέμπονται για επανεκπομπές τις οποίες το σύστημα μπόρεσε να ολοκληρώσει. Είναι εμφανές ότι ένας μεγάλος αριθμός επανεκπομπών σταματάει λόγω έλλειψης πόρων μόλις η πιθανότητα σφάλματος σύνδεσης υπερβαίνει το 0.2. Επιπλέον, Για πιθανότητα σφάλματος μεγαλύτερη του 0.1, ο αριθμός των μη ανακτώμενων byte αυξάνει (λόγω περιόδων διακοπών μεγαλύτερες από την καθυστέρηση προβολής, που είναι τώρα πιο συχνές).

Για το ίδιο σενάριο, το Σχήμα 2.5 αναπαριστά αθροιστικά τα δεδομένα που έχουν παραδοθεί και το ποσό των δεδομένων που έχουν χαθεί λόγω της αποτυχίας σύνδεσης κατά την διάρκεια της επανεκπομπής. Τα δεδομένα απωλειών κανονικοποιούνται ως προς τα δεδομένα επανεκπομπής και όχι ως προς τα αιτούμενα δεδομένα, για να δοθεί ένα σωστό μέτρο των αναγκών ενός πρωτοκόλλου συνδεδεμένης μεταφοράς κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάκτησης. Ας σημειωθεί ότι η απόδοση του συστήματος δεν είναι ικανοποιητική ακόμα και με τιμές πιθανότητας αποτυχίας σύνδεσης τόσο μικρές όσο 0.1, το οποίο δεν είναι τόσο λίγο για πολλούς χρήστες.



Εικόνα 2.4: Επανεκπομπή δεδομένων χρησιμοποιώντας προτεραιότητα επανεκπομπής ανάλογη του απαιτούμενου εύρους ζώνης



Εικόνα 2.5: Απώλεια και λήψη δεδομένων επανεκπομπής χρησιμοποιώντας μια προτεραιότητα επανεκπομπής ανάλογη του απαιτούμενου εύρους ζώνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Προσεγγίσεις διεπιπέδων για διαχείριση πόρων

3.1 Εισαγωγή

Τα τεράστια πλεονεκτήματα της προσαρμοστικότητας του φυσικού επιπέδου για επαρκή λειτουργία των ασύρματων συστημάτων σε κατά πολύ μεταβαλλόμενες συνθήκες καναλιών έχουν αποδειχθεί ευρέως. Παρόλα αυτά, μια στρατηγική βέλτιστης προσαρμογής για ένα δεδομένο σύνολο περιορισμών πόρων απαιτεί μια συνδυασμένη βελτιστοποίηση μεταξύ των επιπέδων. Τέτοια βελτιστοποίηση μεταξύ των επιπέδων εξελίσσεται σε ένα νέο πρότυπο για σχεδιασμό ασύρματων συστημάτων, που μπορεί να είναι εξαιρετικά περίπλοκα καθώς το πλήθος των παραμέτρων βελτιστοποίησης και τα επίπεδα αυξάνουν.

3.2 Η ανάγκη ενός σχεδιασμού εναέριας σύνδεσης διεπιπέδων

Το μοντέλο αναφοράς ISO/OSI και το πρωτόκολλο Διαδικτύου βασίζονται σε ένα παράδειγμα δημιουργίας επιπέδων. Ο σκοπός του μοντέλου αναφοράς ISO/OSI ήταν να καθορίσει ένα «ανοιχτό σύστημα» έτσι ώστε διαφορετικά στοιχεία του δικτύου να μπορούν να συνεργάζονται ανεξάρτητα των κατασκευαστών. Η στοίβα πρωτοκόλλου OSI περιέχει 7 διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης, που αναφέρονται σε διαφορετικές εργασίες επικοινωνίας. Κάθε πρωτόκολλο επιλύει συγκεκριμένο πρόβλημα χρησιμοποιώντας υπηρεσίες που παρέχονται από μονάδες κάτω από αυτό και δίνοντας μια νέα υπηρεσία στα ανώτερα επίπεδα. Το κύριο ενδιαφέρον είναι σε σενάρια που βασίζονται σε IP. Η στοίβα πρωτοκόλλου Διαδικτύου τροποποιείται ελαφρώς σε σχέση με το ISO/OSI και συνεπάγεται 4 επίπεδων, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1.

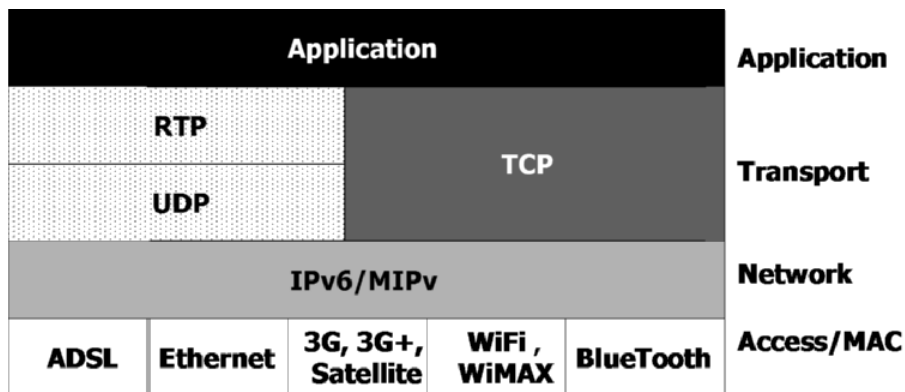
Τα σώματα τυποποίησης ορίζουν τις διαφορετικές μεθόδους που ένα σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει για να ανταλλάξουν πληροφορίες. Η υλοποίηση των αλληλεπιδράσεων είναι στην επιλογή των κατασκευαστών, με την προϋπόθεση να υποστηρίζουν τα ελάχιστα που καθορίζουν την υπηρεσία.

Τα μειονεκτήματα της προσέγγισης αυστηρών επιπέδων μπορεί να περιγραφθούν ως ακολούθως:

- Ο ανάγκες μιας υπηρεσίας που παρέχεται από ένα σύστημα επικοινωνίας στους χρήστες του καθορίζεται από το ανώτατο

επίπεδο. Η ιεραρχία και η συνολική απόδοση όμως του συστήματος χτίζεται στο κατώτατο επίπεδο.

- Το κατώτατο επίπεδο δεν επικοινωνεί απευθείας με το ανώτατο αλλά μέσω όλων των ενδιάμεσων επιπέδων. Η πληροφορία χάνεται κατά την διάρκεια μετατροπής της πληροφορίας ανά επίπεδο από πάνω προς τα κάτω.
- Τα επίπεδα βελτιστοποιούνται ξεχωριστά.



Εικόνα 3.1: Σύγχρονη όψη της στοίβας πρωτοκόλλου Διαδικτύου

Τα χαρακτηριστικά πρόκλησης των δορυφορικών επικοινωνιών είναι:

- Δυναμικά μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά καναλιού. Σε ένα σενάριο δορυφόρου υπάρχουν και η αργή και η γρήγορη μεταβλητότητα ανάλογα με το αν θεωρούνται κινητοί ή σταθεροί οι χρήστες.
- Παρόμοια με το επίγειο κινητό κανάλι, το δορυφορικό κινητό κανάλι δεν έχει αξιοπιστία (ανάγκη αντίμετρων: κωδικοποίηση, επανεκπομπές, τεχνικές διαμόρφωσης, ποικιλία, κλπ)
- Ισχυρή επίδραση των επιπέδων παρεμβολής μεταξύ των συστημάτων.
- Έλλειψη εύρους ζώνης και ανάγκη υποστήριξης ευρυζωνικών εφαρμογών. Ανάγκη διαχείρισης του εύρους ζώνης με λειτουργικό τρόπο.
- Υποστήριξη QoS για πολυμεσικές ομάδες κυκλοφορίας.
- Διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών ασύρματων δικτύων (2.5G, 3G, 4G, WiFi, WiMAX, δορυφόρων, κλπ).

Αυστηρή συναρμολογησιμότητα και ανεξαρτησία επιπέδων μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστη απόδοση σε δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας νέας γενιάς που βασίζονται σε IP. Επιπλέον, η ανάπτυξη ετερογενών δικτύων συνεπάγεται την ανάγκη ενεργειών προσαρμογής. Τελικά, από την στιγμή που και οι δύο ασύρματες πηγές και ισχύ

περιορίζονται αυστηρά, είναι απαραίτητη μια βελτιστοποίηση συστήματος. Σε αυτό το πλαίσιο εργασίας, μια καλύτερη βελτιστοποίηση της δυναμικής του συστήματος και των απαιτήσεων κυκλοφορίας μπορούν να επιτευχθούν εφαρμόζοντας μια προσέγγιση διεπιπέδων με αλληλεπιδράσεις ακόμα και μη γειτονικών επιπέδων πρωτοκόλλου.

Χωρίς σχεδιασμό διεπιπέδων στην εναέρια διασύνδεση είναι αναμενόμενη μια απώλεια στην αποδοτικότητα του συστήματος σύμφωνα με κάποια τυπικά προβλήματα που περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω.

- Τα πακέτα IP που χάνονται λόγω σφαλμάτων που επάγονται από το ασύρματο κανάλι ερμηνεύονται ως σήματα συμφόρησης στο επίπεδο TCP, και κατά συνέπεια μειώνει τον ρυθμό απόστολής (bit-rate). Χρειάζεται μεγάλος χρόνος για να ανακάμψει (σε όρους ποσοστού επιτυχής αποστολής TCP) μετά από ένα φαινόμενο απώλειας ιδιαιτέρως όταν συμβαίνουν πολλαπλές απώλειες που προκαλούν λήξη χρόνου του TCP.
- Ασύρματοι πόροι μπορούν να δεσμευθούν για κινητούς χρήστες που έχουν κακές συνθήκες καναλιών.
- Οι λειτουργίες μεταπομπής εντός ενός συστήματος και μεταξύ συστημάτων μπορεί να πάρει πάρα πολύ χρόνο και οδηγεί σε διακοπή της σύνδεσης ή περισσότερες διακοπές λόγω λήξης χρόνου από το πρωτόκολλο του επιπέδου.

Η απόδοση συστήματος είναι μια σημαντική εργασία στις δορυφορικές επικοινωνίες όπου οι ασύρματοι πόροι είναι υψηλού κόστους και σπάνια διαθέσιμοι. Η απόδοση συστήματος είναι απαραίτητη για να επιτρέψει μαζική διάχυση στην αγορά των δορυφορικών υπηρεσιών. Ενώ, η υποστήριξη QoS είναι το απαραίτητο στοιχείο που ζητείται από τους τελικούς χρήστες που δεν τους ενδιαφέρει η αξιοποίηση πόρων, αλλά περιμένουν μια καλή υπηρεσία. Η αξιοποίηση πόρων και η υποστήριξη QoS είναι τυπικά δύο αντίπαλες ανάγκες. Για παράδειγμα, η καλύτερη συνθήκη QoS για κυκλοφορία χωρίς ανέχεια στην καθυστέρηση είναι η ύπαρξη μεγάλη ποσότητας διαθέσιμων πόρων, και με αυτόν τον τρόπο έρχεται σε αντίθεση με την απόδοση του συστήματος. Αυτές οι αντικρουόμενες ανάγκες μπορούν να λυθούν μέσω ενός κατάλληλου σχεδιασμού συστήματος διεπιπέδων και εκμεταλλευόμενοι την έννοια της πολύπλεξης. Συγκεκριμένα, θα έπρεπε να βελτιστοποιήσουμε μαζί ή να προσαρμοστούν δυναμικά μαζί τα διαφορετικά επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλου OSI για να βρεθεί η χρυσή τομή μεταξύ απόδοσης αξιοποίησης πόρων και παροχής QoS.

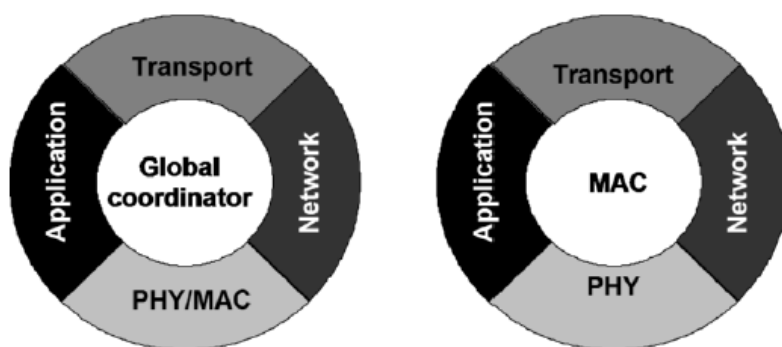
Η βασική ιδέα πίσω από τον σχεδιασμό διεπιπέδων είναι ότι μπορούμε να αποκομίσουμε σημαντικά κέρδη σε απόδοση και λειτουργία

βελτιστοποιώντας κοινώς την συμπεριφορά των διαφορετικών επιπέδων. Για παράδειγμα, η συμπίεση της πηγής στο επίπεδο της εφαρμογής μπορεί να βελτιωθεί αν είναι γνωστός ο ρυθμός μετάδοσης που χρησιμοποιείται στο επίπεδο σύνδεσης. Επιπλέον, το επίπεδο δικτύου μπορεί να κερδίσει κοιτώντας είτε προς τα πάνω είναι προς τα κάτω στη στοίβα με σκοπό να αποκτήσει ποικιλία διαδρομών και δρομολόγηση πολλαπλών συνδέσεων, όπου ο αλγόριθμος δρομολόγησης μπορεί να προσθέτει επιπλέον συνδέσεις αν το επίπεδο σύνδεσης παρέχει ένα μη αξιόπιστο κανάλι ή αν οι περιορισμοί QoS από το επίπεδο της εφαρμογής είναι πάρα πολύ αυστηροί. Η βελτιστοποίηση δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών απαιτεί έναν κατακόρυφο σχεδιασμό της στοίβας πρωτοκόλλου εναέριας σύνδεσης.

Η προσέγγιση διεπιπέδων απαιτεί νέες διασυνδέσεις μεταξύ των επιπέδων, που ανταλλάσσουν πληροφορίες ελέγχου πέρα από την τυπική δομή ISO/OSI με σκοπό να βελτιωθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ των επιπέδων. Οι διασυνδέσεις διεπιπέδων μπορεί να είναι μεταξύ ή πέρα από γειτονικά επίπεδα αφαίρεσης. Παρόλο που οι διασυνδέσεις μεταξύ γειτονικών επιπέδων είναι γενικά προτιμητέες, μπορεί να υπάρξει η ανάγκη για αποδοτική και απευθείας διασύνδεση μεταξύ δύο μη γειτονικών επιπέδων. Γενικά, ένα επίπεδο πρέπει να είναι ενήμερο των άλλων επιπέδων της στοίβας πρωτοκόλλου. Η πληροφορία διεπιπέδων μπορεί να ανταλλάσσεται από υψηλότερα σε χαμηλότερα επίπεδα (από πάνω προς τα κάτω προσέγγιση) ή από χαμηλότερα σε υψηλότερα επίπεδα (από κάτω προς τα πάνω προσέγγιση).

Στην κλασική στοίβα OSI, η ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ γειτονικών επιπέδων εκτελείται μέσω στοιχειωδών λειτουργιών «αποστολής» και «λήψης». Σε μια προσέγγιση κλασικών επιπέδων, δύο μη γειτονικά επίπεδα μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο με την διαμεσολάβηση ενδιάμεσων επιπέδων. Η καινοτομία της προσέγγισης διεπιπέδων είναι να επιτρέψουμε την ανταλλαγή πληροφοριών ελέγχου (σηματοδότηση) μεταξύ μη γειτονικών επιπέδων. Για παράδειγμα μια «συνάρτηση get» μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πρωτόκολλα υψηλότερων επιπέδων για να τους γίνει γνωστή η εσωτερική κατάσταση των πρωτοκόλλων χαμηλότερων επιπέδων. Επιπλέον μια συνάρτηση set μπορεί να υιοθετηθεί από τα πρωτόκολλα υψηλότερων επιπέδων για να αλλάζουν την κατάσταση των πρωτοκόλλων χαμηλότερων επιπέδων. Διαφορετικές λύσεις έχουν προταθεί για να υποστηρίξουν την ανταλλαγή διεπιπέδων των πληροφοριών σηματοδότησης. Έχει εμφανιστεί μια ενδιαφέρουσα μέθοδο [21], [22] όπου μια οντότητα ονομαζόμενη «παγκόσμιος συντονιστής» των διαφορετικών επιπέδων επιτρέπει την λήψη πληροφοριών εσωτερικής κατάστασης από διαφορετικά πρωτόκολλα προς αποθήκευση σε μια κοινή μνήμη και την θέση της κατάστασης των πρωτοκόλλων για να είναι προσαρμόσιμα στα

διαφορετικά γεγονότα (κοίτα Εικόνα 3.2α). Ο παγκόσμιος συντονιστής μπορεί να βρίσκεται στο MAC (δηλ. προσέγγιση επικεντρωμένη ως προς το MAC), στο επίπεδο εφαρμογής (δηλ. προσέγγιση επικεντρωμένη στις εφαρμογές) ή να είναι μια εξωτερική οντότητα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε ένα αργά μεταβαλλόμενο σενάριο, όπως για παράδειγμα το διαδραστικό ευρυζωνικό δορυφορικό κανάλι με σταθερούς χρήστες, το επίπεδο MAC θα μπορούσε να ελέγχει την προσαρμοστικότητα (συντονίζοντας αλληλεπιδράσεις διεπιπέδων) με έναν βέλτιστο τρόπο [23]. Αυτή είναι η περίπτωση της προσέγγισης επικεντρωμένης στο MAC που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2b.



Εικόνα 3.2: (α) Πιθανή εναέρια διασύνδεση διεπιπέδων βασισμένη στον παγκόσμιο συντονιστή. (β) Πιθανή εναέρια διασύνδεση διεπιπέδων κεντροποιημένο ως προς το επίπεδο MAC.

3.3 Σχεδιασμός διεπιπέδων: απαιτήσεις ανάλογα του δορυφορικού σεναρίου

3.3.1 Απαιτήσεις περίπτωσης ευρυζωνικού δορυφόρου (DVB-S/S2)

Τα δορυφορικά ευρυζωνικά πολυμεσικά δίκτυα επόμενης γενιάς απαιτούν την ανάπτυξη κεντρικών τεχνολογιών για να αυξήσουν την χωρητικότητα και την αποδοτικότητα καθώς και να μειώσουν το συνολικό κόστος για τον τελικό χρήστη. Τέτοιες απαιτήσεις χρειάζονται υψηλό ποσοστό επιτυχής αποστολής, ευκαμψία, επεξεργασία πολλαπλών δεσμών και προσαρμοστικότητα συστήματος.

- **Ο ρόλος της Ζώνης Ka:** Οι σύγχρονοι δορυφόροι ζώνης Ka δημιουργούν δυσκολίες για ανάπτυξη επικερδών δορυφορικών μοντέλων πολυμέσων. Η σύγχρονη ανάπτυξη των σημειακών δεσμών της ζώνης Ku και η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας πιθανόν να είναι αποτελεσματική για ένα βραχυπρόθεσμο εταιρικό μοντέλο. Παρόλα αυτά, η κάλυψη σημειακών δεσμών, σε συνδυασμό με την συχνότητα της ζώνης Ka, μπορεί να είναι

εξαιρετικά πλεονεκτική. Οι δορυφορικοί πομποί που λειτουργούν στην ζώνη συχνότητας Ka επιτρέπουν την επίτευξη ενός υψηλότερου G/T και επομένως, υψηλότερους εκρηκτικούς ρυθμούς καναλιού επιστροφής. Με μικρότερα επίπεδα ισχύος, η τιμή του τερματικού μειώνεται σημαντικά. Το λανσάρισμα επιπρόσθετης χωρητικότητας ζώνης Ka θα επηρεάσει σημαντικά την αγορά πολυμεσικών δορυφόρων και πιθανόν να οδηγήσει σε περισσότερο επιτυχή μοντέλα και κερδοφορία.

- **Ο ρόλος του DVB-S2:** Οι συνήθεις συνδέσεις ευρείας εκπομπής ζώνης Ku σχεδιάζονται με ένα περιθώριο καθαρού ουρανού των 4 με 6 dB και με στόχο διαθεσιμότητας της υπηρεσίας περίπου 99% για τον χειρότερο μήνα (ή 99.6% για μέση ετήσια τιμή). Από την στιγμή που οι καμπύλες εξασθένισης είναι πολύ απότομες στην περιοχή 99% μέχρι 99.9% του χρόνου, πολλά dBs της εκπεμπόμενης δορυφορικής ισχύος είναι χρήσιμα, σε μια δεδομένη θέση λήψης, μόνο για μερικές δεκάδες λεπτών ανά έτος. Δυστυχώς, αυτή η σπατάλη της ισχύος / χωρητικότητας των δορυφόρων δεν γίνεται εύκολα να αποφευχθεί για ευρείας εκπομπής υπηρεσίες, όπου εκατομμύρια χρηστών, που απλώνονται σε μία πολύ μεγάλη γεωγραφική περιοχή, λαμβάνουν τα ίδια περιεχόμενα ταυτόχρονα. Παρόλα αυτά, αυτή η μεθοδολογία σχεδιασμού που επινοήθηκε για συστήματα ευρείας εκπομπής δεν είναι βέλτιστη για ενιαίας εκπομπής δίκτυα. Στην πραγματικότητα, η φύση των σημείο προς σημείο συνδέσεων επιτρέπει την εκμετάλλευση της μεταβλητότητας του χώρου και του χρόνου των συνθηκών καναλιού των τελικών χρηστών για αυξανόμενο μέσο ποσοστό επιτυχής αποστολής του συστήματος. Αυτό πετυχαίνεται μέσω της *Προσαρμοστικής Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης* (ACM) για να ταιριάζει με το SNIR του χρήστη, και κατά συνέπεια μέσω της μετατροπής του ρυθμού των ληφθέντων δεδομένων εξαρτώμενα από τον χρόνο και την τοποθεσία. Η ενσωμάτωση εξελιγμένης κωδικοποίησης και διαμόρφωσης ήταν ο πρώτος στόχος της εργασιακής ομάδας DVB-S2. Συγκεκριμένα το ACM έχει θεωρηθεί ως ένα δυνατό εργαλείο για να αυξήσουμε την χωρητικότητα του συστήματος, επιτρέποντας για καλύτερη αξιοποίηση των πόρων του πομπού και κατά συνέπεια προσφέρει επιπρόσθετο κέρδος σε σχέση με τα σύγχρονα συστήματα DVB-S. Επομένως, το ACM συμπεριλαμβάνεται ως τυποποιητικό στο DVB-S2 για τον χώρο των διαδραστικών εφαρμογών και ως επιλογή για το DSNG (*Digital Satellite News Gathering – Ψηφιακή Συγκέντρωση Δορυφορικών Ειδήσεων*) και επαγγελματικές υπηρεσίες. Η τυποποίηση της χρήσης του ACM από την τυποποίηση DVB-S2, εισάγει επομένως ένα προσαρμοστικό φυσικό επίπεδο, το οποίο απαιτεί την ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης πόρων

βέλτιστης προσαρμογής για να εκμεταλλευτεί πλήρως τις δυνατότητες του ACM.

- **Απαιτήσεις εφαρμογής:** Η απαίτηση αυξανόμενων δικατευθυντικών ρυθμών μετάδοσης έτσι ώστε οι πολυμεσικές λύσεις ευρυζωνικών δορυφόρων να είναι πιο κοντά στις προδιαγραφές των επίγειων δικτύων είναι αναμφίβολα μια βασική ανάγκη για κάθε δίκτυο που στηρίζεται στα DVB ή DOCSIS λόγω της αύξησης του βίντεο και μεγάλων αρχείων στις μεταφορές στις επιχειρήσεις. Τα μελλοντικά ευρυζωνικά δορυφορικά δίκτυα θα έπρεπε να στοχεύουν στην δημιουργία περισσότερης συμμετρίας μεταξύ συνδέσεων προώθησης και επιστροφής λόγω της ήδη αντιληπτής μελλοντικής ανάγκης για συμμετρικές εφαρμογές όπως η τηλεδιάσκεψη με οπτικοαστικό σήμα ή αλληλεπιδραστική εκπαίδευση εξ αποστάσεως. Επιπλέον, οι δορυφορικές λύσεις πρέπει να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά και λειτουργίες παρόμοιες με μια επίγεια λύση έτσι ώστε για ενσωματωθούν και να συνυπάρξουν με τις σύγχρονες υποδομές των εταιρειών.

Για να ικανοποιήσουμε απαιτήσεις εφαρμογών ιδιαίτερες μελλοντικών δορυφόρων που υλοποιούν προσαρμοστικό φυσικό επίπεδο (DVB-S2), μια λογική σκέψη είναι ότι ο σχεδιασμός διεπιπέδων είναι σημαντικός για να εκμεταλλευτούν πλήρως τις δυνατότητες των νέων τεχνολογιών αντί να τις αφήσουν ανεκμετάλλευτες περιορίζοντας τον σχεδιασμό στην συμβατική στοίβα πρωτοκόλλων με ανεξάρτητα επίπεδα.

Σε αυτό που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι απαιτήσεις ανά επίπεδο για τον σχεδιασμό διεπιπέδων των ευρυζωνικών δορυφορικών συστημάτων από την οπτική του δεύτερου επιπέδου.

- **Απαιτήσεις φυσικού επιπέδου:** Ο διαμορφωτής DVB-S2 ACM λειτουργεί σε σταθερό ρυθμό μετάδοσης συμβόλων, από την στιγμή που το εύρος ζώνης του φέροντος κάτω σύνδεσης θεωρείται σταθερό. Μεταδίδεται μια σειρά πλαισίων φυσικού επιπέδου TDM πολυπλεγμένα. Κάθε πλαίσιο μεταδίδει ένα κωδικοποιημένο τμήμα και υιοθετεί μια ομοιόμορφη δομή διαμόρφωσης. Παρόλα αυτά, όταν υλοποιείται το ACM, το σχέδιο κωδικοποίησης και η δομή διαμόρφωσης μπορεί να αλλάζουν από πλαίσιο σε πλαίσιο. Μέσω του καναλιού επιστροφής, τα *Δορυφορικά Τερματικά* (STs – *Satellite Terminals*) (το καθένα ξεχωριστά) θα παρέχει στην πύλη (GW – *Gateway*) πληροφορίες γύρω από την κατάσταση του καναλιού, σηματοδοτώντας το SNIR και το πιο αποδοτικό σχέδιο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που το ST μπορεί να υποστηρίξει. Οι υποδείξεις του ST λαμβάνονται υπόψη από την πύλη για να κωδικοποιήσει και να διαμορφώσει τα πακέτα δεδομένων που

αποστέλλονται στο κάθε ST. Είναι τότε εμφανές ότι οι λειτουργίες της διαχείρισης πόρων θα είναι ενήμερες της προσαρμογής των φυσικών επιπέδων έτσι ώστε να ακολουθήσουν την χρονική μεταβλητότητα της χωρητικότητας.

- **Απαιτήσεις επιπέδου δικτύου:** Η παροχή QoS στο επίπεδο IP θα έπρεπε να χαρτογραφηθεί επαρκώς στο δεύτερο επίπεδο πρωτοκόλλων διαχείρισης ασύρματων πόρων. Επιπλέον προσοχή θα έπρεπε να δοθεί και στις δύο προσεγγίσεις IntServ και DiffServ. Διαφορετική κυκλοφορία πολυμέσων θα έπρεπε να παρέχεται είτε με δεσμευμένη χωρητικότητα ή χωρητικότητα υπό απαίτηση και εγγυήσεις QoS. Οι ροές κυκλοφορίας AF, EF και BE του σχεδίου DiffServ θα έπρεπε να έχει μια επαρκή χαρτογράφηση στο επίπεδο 2. Κατάλληλη πληροφορία του επιπέδου 2 θα έπρεπε να εκτελεί αυτή την σημαντική εργασία. Στην περίπτωση που το ευρυζωνικό δορυφορικό υποδίκτυο χρησιμοποιείται ως ένα ξεχωριστό δίκτυο, όπου μπορεί να ελεγχθεί το QoS από άκρη σε άκρη, μια πρακτική λύση μπορεί να εφαρμόσει εγγυημένο QoS στο δίκτυο πρόσβασης. Η υλοποίηση αυτής της υβριδικής λύσης ακόμα χρειάζεται να ερευνηθεί από την στιγμή που απαιτεί συντονισμό του δικτύου από άκρη σε άκρη.
- **Απαιτήσεις επιπέδου μεταφοράς:** Τα σχέδια διαχείρισης πόρων μπορεί να εξηγούν τα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας συγκεκριμένων επιπέδων μεταφοράς, όπως το TCP, UDP και πολλαπλές εκπομπές / ευρύς εκπομπές. Σημειώστε ότι σε αυτήν την εκδοχή (δηλ. ευρυζωνικές δορυφορικές επικοινωνίες για σταθερούς χρήστες) πρέπει να έχουμε κατά νου ένα κανάλι χωρίς μνήμη το οποίο προκαλεί απώλειες τυχαίων πακέτων επιδρώντας αρνητικά κατά πολύ στην απόδοση του επιπέδου μεταφοράς. Ελάχιστα παραδείγματα παρέχονται παρακάτω.
 - Η Σαφής Ειδοποίηση Συμφόρησης (ECN – *Explicit Congestion Notification*) που δίνει σήμα για TCP κυκλοφορία θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί στο επίπεδο 2 για να τροποποιήσει συναρτήσεις διαμόρφωσης της κυκλοφορίας ή σχεδίων στρατηγικών.
 - Το παράθυρο συμφόρησης TCP (που εκτιμά το επίπεδο συμφόρησης του δικτύου) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο επίπεδο 2 για να κρατάει προσαρμοστικά χωρητικότητα για κυκλοφορία που βασίζεται σε TCP. Μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε να βελτιώσει το QoS για εφαρμογές που βασίζονται στο TCP και θα μπορούσε επίσης να βελτιώσει την αποδοτικότητα πολύπλεξης τέτοιων ροών κυκλοφορίας (ποσοστό επιτυχής αποστολής). Σημειώστε ότι η συμπεριφορά του παραθύρου συμφόρησης παίζει έναν ουσιώδη ρόλο στις

δορυφορικές επικοινωνίες που βασίζονται στο TCP λόγω των πολύ υψηλών καθυστερήσεων διάδοσης μετ' επιστροφής.

- **Απαιτήσεις στο επίπεδο της εφαρμογής:** Διαφορετικά είδη κυκλοφορίας (π.χ. πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου κυκλοφορία) θα έπρεπε να είχαν διαφορετικά SLAs και μια λειτουργία καταγραφής θα έπρεπε να εκτελείτε μαζί με το επίπεδο 2 με στόχο την προσαρμοστική τροποποίηση της προτεραιότητας των υπηρεσιών.

3.3.2 Δορυφορικές απαιτήσεις στην περίπτωση κινητών χρηστών (S-UMTS)

Το σενάριο κινητών χρηστών προσθέτει συγκεκριμένες σπουδαιότητες στην διαχείριση των πόρων λόγω των δυναμικά μεταβαλλόμενων συνθηκών διάδοσης. Τέτοιες περιπτώσεις καθιστούν ακόμα πιο κρίσιμη την ανάγκη για σχεδιασμό πρωτοκόλλων διεπιπέδων. Η διαχείριση των πόρων εναέριες διασύνδεσης (επίπεδο 2) πρέπει να βελτιωθεί για να εκμεταλλεύεται δυναμικά ανανεωμένες πληροφορίες που ανταλλάχτηκαν με όλα τα άλλα επίπεδα και συγκεκριμένα τα επίπεδα OSI, 1, 3, 4 και 7. Στην πράξη, η συμφόρηση των σπάνια διαθέσιμων δορυφορικών πόρων εναέριες διασύνδεσης καθώς και η διασύνδεση του σχετικού σταθερού δικτύου είναι πολύ σημαντικά θέματα που πρέπει να μελετηθούν στον σχεδιασμό της στοίβας πρωτοκόλλου της εναέριες διασύνδεσης και συγκεκριμένα των πρωτοκόλλων διαχείρισης πόρων του επιπέδου 2.

Εστιάζοντας στις διαθέσιμες πληροφορίες διεπιπέδων στο επίπεδο 2, μπορούμε να σκεφτούμε τις ακόλουθες συνεισφορές που προέρχονται από άλλα (ακόμα και μη γειτονικά) επίπεδα:

- **Απαιτήσεις φυσικού επιπέδου:** Οι συνθήκες του ασύρματου καναλιού θα έπρεπε να υπολογίζονται συνεχώς. Συγκεκριμένα, η ισχύς του σήματος, εκτιμήσεις των BER ή PER θα έπρεπε να γίνονται διαθέσιμες για την υλοποίηση προσαρμογής πολλαπλών μεθόδων (δηλ. διαμόρφωση και κωδικοποίηση) και επιλογής κατάλληλων δομών και επιπέδων προτεραιότητας στο επίπεδο 2. Αυτές οι ικανότητες υποστηρίζονται από μια πιθανή επέκταση των δορυφόρων της τυποποίησης *Πρόσβασης Κάτω Σύνδεσης Πακέτων Υψηλής Ταχύτητας* (HSDPA – *High Speed Downlink Packet Access*).
- **Απαιτήσεις επιπέδου δικτύου:** Στην διαχείριση κυκλοφορίας IP, η κινητικότητα του χρήστη θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη επαρκώς. Επομένως, το πρωτόκολλο επιπέδου 2 θα έπρεπε να παρέχει μια διαχείριση βάση προτεραιοτήτων για κυκλοφορία που προέρχεται από χρήσεις που επισύρουν φάσης μεταπομπής κλήσεων(αυτό μπορεί να είναι πολύ σημαντικό και κρίσιμο ως προς το χρόνο ειδικά

στην παρουσία μη γεωστατικών δορυφόρων). Επιπρόσθετα αυτού, οι μηχανισμοί για παροχή επιπέδου IP QoS θα έπρεπε να χαρτογραφηθεί επαρκώς στα πρωτόκολλα διαχείρισης ασύρματων πόρων επιπέδου 2, όπως ήδη περιγράφεται σε προηγούμενη υπο-Ενότητα (δείτε τις απαιτήσεις για επίπεδο δικτύου στη υπο-Ενότητα 3.3.1).

- **Απαιτήσεις επιπέδου μεταφοράς:** τα σχέδια διαχείρισης πόρων θα έπρεπε να βελτιωθούν για να εξηγήσουν τους κατάλληλους κανόνες για συγκεκριμένη κυκλοφορία στο επίπεδο μεταφοράς, όπως TCP, UDP και πολλαπλών εκπομπών / ευρείας εκπομπής. Σημειώστε ότι σε αυτή την περίπτωση συμβαίνουν συσχετισμένες απώλειες πακέτων που μπορεί να επηρεάζουν την συμπεριφορά του επιπέδου μεταφοράς. Τυπικά, ένα μοντέλο καναλιού πολλαπλών καταστάσεων (π.χ. καλό/κακό μοντέλο) θα έπρεπε να μελετηθεί. Για λεπτομέρειες στις απαιτήσεις, αναφερθείτε στο σχετικό τμήμα της υπο-Ενότητας 3.3.1.
- **Απαιτήσεις στο επίπεδο της εφαρμογής:** Διαφορετικά είδη κυκλοφορίας (π.χ. πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου κυκλοφορία) θα έπρεπε να είχαν διαφορετικά SLAs και μια λειτουργία καταγραφής θα έπρεπε να εκτελείτε μαζί με το επίπεδο 2 με στόχο την προσαρμοστική τροποποίηση της προτεραιότητας των υπηρεσιών.

3.3.3 Απαιτήσεις περίπτωσης δορυφόρων χαμηλής τροχιάς

Τα δίκτυα δορυφόρων χαμηλής τροχιάς αναπτύσσονται ως ενίσχυση των επίγειων ασύρματων δικτύων με σκοπό να παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες στους χρήστες ανεξάρτητα της τοποθεσίας τους. Παρέχουν, σημαντικά πλεονεκτήματα συμπεριλαμβανομένου μεγάλη περιοχή κάλυψης, μοναδική ικανότητα ευρείας εκπομπής, ικανότητα να ανταποκριθούν σε διαφορετικές απαιτήσεις QoS, η πιθανότητα να επικοινωνήσουν με συσκευές χειρός και χαμηλό κόστος πρόσβασης. Την ίδια στιγμή, αυτά τα δίκτυα παρουσιάζουν στους σχεδιαστές πρωτοκόλλων μία γκάμα σημαντικών προκλήσεων, συμπεριλαμβανομένου των διαδικασιών μεταπομπής, κινητικότητας και διαχείρισης της θέσης.

Δύο τεχνολογίες ευρυζωνικής μεταφοράς, ATM (*Asynchronous Transfer Mode – Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς*) και IP, προτείνονται για μελλοντικά ευρυζωνικά δορυφορικά δίκτυα χαμηλής τροχιάς. Στην πρόσφατη βιβλιογραφία οι περισσότερες δημοσιεύσεις προσανατολίζονται προς ATM μεταφορές στους χαμηλής τροχιάς. Για αυτούς τους λόγους, μια τέτοια περίπτωση περιγράφεται με λεπτομέρεια παρακάτω.

Στην περίπτωση των IP δορυφορικών δικτύων χαμηλής τροχιάς, με την δρομολόγηση IP να υλοποιείται στον δορυφόρο, το δορυφορικό δίκτυο μπορεί να ενσωματωθεί με το επίγειο χωρίς πρόβλημα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η υποστήριξη QoS IP χωρίς να είναι απαραίτητη αλληλεργασία με επίγειους μηχανισμούς IP QoS. Η παροχή πολλαπλών εκπομπών σε μια εφαρμογή υποστηρίζεται καλά χρησιμοποιώντας έναν δρομολογητή στον δορυφόρο. Όμως, η δρομολόγηση σε κινητά δορυφορικά δίκτυα IP θεωρείται ένα πολύπλοκο θέμα, επειδή δεν μπορεί να γίνει χρήση της επίγειας δρομολόγησης Διαδικτύου για δρομολόγηση στον δορυφόρο. Το πρωτόκολλο κινητών IPv6, που έχει ενισχυθεί για να υποστηρίξει σελιδοποίηση και μεταπομπή, πρέπει να υλοποιηθεί πάνω στο σκάφος.

Το ATM είναι ένας βασικός μηχανισμός μεταφοράς για *Ευρυζωνικές Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες Ψηφιακού Δικτύου (B-ISDN – Broadband Integrated Services Digital Network)*, ευρυζωνική πρόσβαση Διαδικτύου και άλλες τεχνολογίες. Το ATM παρέχει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς, εύρος ζώνης υπό αίτηση, συμβατότητα με προϋπάρχουσα πρωτόκολλα και εγγυημένο QoS. Τα χαμηλής τροχιάς δορυφορικά δίκτυα ATM αναμένονται να υποστηρίζουν ένα μεγάλο εύρος πολυμεσικών υπηρεσιών και εφαρμογών και να παρέχουν στον χρήστη τους με κατάλληλο QoS που βασίζεται σε ισχυρούς μηχανισμούς από άκρη σε άκρη QoS που προσφέρονται από την ATM τεχνολογία. Παρόλα αυτά, Το περιορισμένο εύρος ζώνης στο δορυφορικό κανάλι, η περιστροφή του καναλιού γύρω από την Γη και η κινητικότητα των τελικών χρηστών καθιστούν την παροχή QoS και την διαχείριση της κινητικότητας μια προκλητική δουλειά. Η ακόλουθη λίστα παρέχει μια περιγραφή των απαιτήσεων για υποστήριξη QoS στα ATM χαμηλής τροχιάς δορυφορικά συστήματα.

- **Κοινές απαιτήσεις χαμηλής τροχιάς συστημάτων:** Οι κύριοι πόροι στα δίκτυα χαμηλής τροχιάς είναι το δορυφορικό ασύρματο εύρος ζώνης και η χωρητικότητα ενδιάμεσης μνήμης των εν σκάφος διακοπών ATM. Επειδή η συνολική χωρητικότητα σύνδεσης πρέπει να διαχωριστεί μεταξύ διάφορων φερόντων, και δεδομένο της περιορισμένης χωρητικότητας της ενδιάμεσης μνήμης του διακόπτη ATM, πρέπει να αναπτυχθούν εξελιγμένοι μηχανισμοί διεπιπέδων δέσμευσης πόρων. Πρέπει να εξασφαλίζουν δίκαιη κατανομή του εύρους ζώνης και παροχή στους χρήστες με τις διαπραγματεύσιμες απαιτήσεις QoS καθώς ο τελικοί χρήστες πλανούνται στο σύστημα. Την ίδια στιγμή, το δίκτυο και τα τελικά συστήματα πρέπει να προστατευθούν από συμφόρηση. Μία από τις πιο σημαντικές παράμετροι QoS για τα δορυφορικά δίκτυα χαμηλής τροχιάς είναι η *Πιθανότητα Τερματισμού Κλήσης (CDP)*, ποσοτικοποιώντας την

πιθανότητα ότι μια υπάρχουσα σύνδεση θα τερματιστεί βιαίως λόγω ανεπιτυχής προσπάθειας μεταγωγής. Επιπλέον, Η *Πιθανότητα Απόρριψης Νέας Κλήσης* (CBP) ποσοτικοποιεί την πιθανότητα για μια καινούρια αίτηση κλήσης να απορριφθεί η είσοδός της στο σύστημα λόγω έλλειψης διαθέσιμων πόρων [24]. Η προσέγγιση διεπιπέδων προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την περιχώρηση εύρους ζώνης, και να παρέχει μικρή CDP για αξιόπιστες μεταγωγές και αποδεκτό CBR για νέες κλήσεις, ενώ διατηρούν υψηλή αξιοποίηση των πόρων.

- **Απαιτήσεις του επιπέδου ATM:** Τα ATM χαμηλής τροχιάς δορυφορικά δίκτυα θα έπρεπε να είναι ικανά να ανταποκρίνονται σε διαφορετικές απαιτήσεις QoS στο επίπεδο του ATM. Αυτές οι απαιτήσεις ορίζονται σε όρους αντικειμενικών αξιών των παραμέτρων απόδοσης του δικτύου, όπως ορίζεται στην ITU-R Recommendation S.1420. Μερικές από τις παραμέτρους QoS μπορεί να προσφέρονται ανά σύνδεση και διαπραγματεύονται μεταξύ του τελικού συστήματος και του δικτύου. Δεν μπορεί να γίνει διαπραγμάτευση για άλλες παραμέτρους QoS.
- **Απαιτήσεις επιπέδου MAC:** Η πιο σημαντική λειτουργία διαχείρισης πόρων είναι η περιχώρηση εύρους ζώνης. Ο κύριος περιορισμός είναι ότι το εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο σε όλους τους χρήστες σε μια άνω σύνδεση. Σε αντίθεση με ένα σταθερό δίκτυο ATM, ο δορυφόρος μπορεί να ελέγξει το εύρος ζώνης μόνο στην προς τα κάτω σύνδεση. Έτσι, η δυναμική περιχώρηση εύρους ζώνης θα έπρεπε να αναπτυχθεί έτσι ώστε να ικανοποιηθούν εγγυήσεις QoS για διάφορα *Εικονικά Κανάλια* (VCs – *Virtual Channels*) όπως ορίζεται στα συμβόλαια κυκλοφορίας. Επιπλέον είναι απαραίτητο να εξασφαλίσουμε την αξιοποίηση του μη χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης με συνδέσεις χωρίς σαφείς εγγυήσεις, όπως μια υπηρεσία BE. Επιπροσθέτως το πρωτόκολλο MAC θα έπρεπε να παρέχει υποστήριξη για την κατηγορία υπηρεσιών ATM. Μόνο ένα πρωτόκολλο MAC ενήμερο για QoS είναι ικανό να συμμορφωθεί με τις απαιτήσεις QoS διαφορετικών κατηγοριών υπηρεσιών ATM και σηματοδότηση ATM. Το MAC για ATM μέσω δορυφόρου έχει να αντιμετωπίσει επίσης το γεγονός ότι το κύτταρο ATM δεν έχει δεσμευμένο πεδίο για τις παραμέτρους της υπηρεσίας. Στην ATM, οι παράμετροι υπηρεσιών μιας σύνδεσης ανακοινώνονται στους διακόπτες ATM μιας σύνδεσης μαζί με την τιμή VPI/VCI κατά την διάρκεια ρύθμισης της σύνδεσης. Έτσι, οι παράμετροι υπηρεσίας των κυττάρων ATM που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη σύνδεση μπορούν να αναγνωριστούν μόνο μέσω της τιμής τους AVPI/VCI. Κατά συνέπεια, το επίπεδο MAC χρειάζεται ένα είδος πίνακα αναζήτησης με τις παραμέτρους υπηρεσιών των συνδέσεων ATM

και των αντίστοιχων τιμών VPI/VCI, αν το QoS διαφορετικών κατηγοριών υπηρεσιών ATM πρέπει να υποστηριχθούν. Αυτό καθορίζει ένα ειδικό σχέδιο της στοίβας πρωτοκόλλου.

- **Απαιτήσεις επιπέδου δικτύου:** Η πιο σημαντική λειτουργία διαχείρισης πόρων είναι η CAC. Ο CAC αλγόριθμος λειτουργεί σε επίπεδο κλήσης στο δίκτυο. Ορίζει την διαδικασία που εκτελείται από το δίκτυο κατά το τμήμα ρύθμισης της κλήσης για να καθορίσει αν η αίτηση σύνδεσης μπορεί να γίνει δεκτή χωρίς να παραβιάζει υπάρχουσες δεσμεύσεις. Αν η αίτηση υπερβαίνει το διαθέσιμο εύρος ζώνης, ο ρόλος τους CAC είναι να αρνηθεί την σύνδεση. Σε αυτή την περίπτωση, λέμε ότι η σύνδεση εμποδίζεται. Τα σχέδια CAC πρέπει να βελτιωθούν και να χαρτογραφηθούν στα πρωτόκολλα διαχείρισης ασύρματων πόρων επιπέδου 2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Δραστηριότητα στην διαχείριση δορυφορικών πόρων

4.1 Εισαγωγή

Η αποτελεσματική εκμετάλλευση των συνήθων πόρων είναι ένα σημαντικό θέμα στην διαδικτύωση, σε όλα τα επίπεδα πρωτοκόλλου. Συγκεκριμένα στην δορυφορική διαδικτύωση υπάρχει ένα πλήθος θεμάτων φυσικών επιπέδων που πρέπει να μελετηθούν από την σχεδίαση του συστήματος:

- Εξασθένιση
- Εξάπλωση της καθυστέρησης
- Μετατόπιση Doppler
- Περιορισμένο φάσμα
- Απώλειες διαδρομής και θερμικός θόρυβος

Δεδομένης της ύπαρξης αυτών των θεμάτων, ο στόχος της Διαχείρισης Ασύρματων Πόρων (RRM – *Radio Resource Management*) είναι η βελτιστοποίηση της αξιοποίησης του εύρους ζώνης (χωρητικότητα) και της ποιότητας υπηρεσιών, στην παρουσία ροών κυκλοφορίας που παράγονται από υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις. Οποτεδήποτε αιτούνται πόρους ή τη μεταβολή τους, ο στόχος του RRM είναι η βελτιστοποίηση ως προς την ικανοποίηση της αίτησης και, ταυτόχρονα, να προσπαθήσει να κρατήσει έναν βαθμό αμεροληψίας μεταξύ όλων των χρηστών.

Η ποιότητα υπηρεσιών του τελικού χρήστη στα δορυφορικά / επίγεια δίκτυα εξαρτάται από την ποιότητα υπηρεσιών που έχει επιτευχθεί σε κάθε επίπεδο του δικτύου, βασιζόμενη στις λειτουργίες εξαρτώμενες και ανεξάρτητες του δορυφόρου που πρέπει να εκτελεστούν στην διασύνδεση των επιπέδων. Η συνεργασία όλων των επιπέδων δικτύου από την κορυφή μέχρι το τελευταίο, καθώς και κάθε στοιχείο του δικτύου, είναι βασική. Κάθε επίπεδο θα έπρεπε να χρησιμοποιεί αποτελεσματικές τεχνολογίες και να λειτουργεί ενάντια σε οποιοδήποτε παράγοντα υποβάθμισης της απόδοσης με σκοπό να πραγματοποιηθούν οι απαιτήσεις απόδοσης του χρήστη.

Ως παράδειγμα δουλειάς συνεργασίας, οι ακόλουθες ενέργειες μελετούνται με σκοπό να βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος.

- Πρέπει να χρησιμοποιηθούν στο φυσικό επίπεδο αποδοτική διαμόρφωση εύρους ζώνης και σχέδια κωδικοποίησης, για να

βελτιώσουν τον ρυθμό λανθασμένων bit (BER – *Bit Error Rate*) και την απόδοση επιπέδου ισχύος υπό κακές καιρικές συνθήκες, όπως η έντονη βροχή.

- Πρέπει να παρέχεται εγγυημένο εύρος ζώνης στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων χρησιμοποιώντας αποδοτικά σχέδια πολλαπλής πρόσβασης απαιτούμενου εύρους ζώνης και μελετώντας την αλληλεπίδραση των μηχανισμών στην παρουσία συνωστισμού και εξασθένισης. Η παροχή ενός συγκεκριμένου εύρους ζώνης ως προσφορά από το φυσικό επίπεδο στα άνω επίπεδα υπονοεί την ύπαρξη ενός σχεδίου κατανομής εύρους ζώνης που μοιράζει το διαθέσιμο εύρος μεταξύ των διαφορετικών τερματικών χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες κυκλοφορίας.
- Το επίπεδο δικτύου είναι το χαμηλότερο επίπεδο που ασχολείται με την παράδοση αιτήσεων σύνδεσης (σε δίκτυα με μεταγωγή μέσω κυκλωμάτων) ή πακέτων (σε δίκτυα με μεταγωγή μέσω πακέτων). Το επίπεδο δικτύου πρέπει να γνωρίζει την τοπολογία του υποδικτύου επικοινωνίας και να επιλέγει τις κατάλληλες διαδρομές μέσω αυτού. Πρέπει να πραγματοποιηθούν πολιτικές αποδοτικής δρομολόγησης σε αυτό το επίπεδο με σκοπό την επιλογή διαδρομών με την χαμηλότερη πιθανότητα συνωστισμού. Όσον αφορά την διαχείριση κυκλοφορίας IP, πρέπει να λαμβάνεται επαρκώς υπόψη η κινητικότητα του χρήστη. Επομένως, τα πρωτόκολλα επιπέδων δικτύου πρέπει να παρέχουν μια διαχείριση με βάση την προτεραιότητα για κυκλοφορία που προέρχεται από χρήστες που παρουσιάζονται σε φάσεις μεταπομπής (όπως στην παρουσία μη γεωσύγχρονων δορυφόρων). Στα πρωτόκολλα RRM επιπέδου MAC πρέπει να χαρτογραφηθούν επαρκώς επιπλέον μηχανισμοί για παροχή ποιότητας υπηρεσιών επιπέδου IP. Πράγματι, επιπλέον της επιβάρυνσης διαστρωμάτωσης πρωτοκόλλου, η χωρητικότητα υπηρεσιών στις ουρές επιπέδων δικτύου παρέχεται από ουρές MAC οι οποίες, γενικά, δεν είναι σε μία προς μία αντιστοίχιση με τις προηγούμενες.
- Στο επίπεδο μεταφοράς, οι συνδέσεις TCP, οι οποίες αποτελούν τον όγκο κυκλοφορίας που μεταφέρεται στο Διαδίκτυο, έχουν την τάση να καταλαμβάνουν όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Η φύση της κυκλοφορίας TCP είναι επί το πλείστον ασυμμετρική, με δεδομένα να ρέουν προς μία κατεύθυνση ενώ βεβαιώσεις λήψης προς την αντίθετη φορά. Αυτό μεταφράζεται σε διαφορετικές απαιτήσεις εύρους ζώνης από τον αποστολέα και τον παραλήπτη αντίστοιχα. Η απόδοση εύρους ζώνης και η ποιότητα σύνδεσης έχουν ισχυρή επίδραση στο ποσοστό επιτυχής αποστολής TCP.
- Στο επίπεδο εφαρμογής, διαφορετικοί τύποι κυκλοφορίας (π.χ. κυκλοφορία πραγματικού και μη χρόνου) πρέπει να έχουν

συγκεκριμένες συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών και πρέπει να εκτελούν μια καταγραφή ενεργειών από κοινού με το επίπεδο δικτύου με σκοπό την προσαρμοστική τροποποίηση προτεραιοτήτων υπηρεσιών προσαρμοστικά.

Έχουν ερευνηθεί μερικές στρατηγικές για την βελτιστοποίηση της διαχείρισης πόρων. Τα σχέδια διαχείρισης πόρων σχετίζονται ισχυρώς με την κυκλοφορία. Για παράδειγμα, η υποστήριξη κυκλοφορίας υψηλού ρυθμού μεταγωγής θέτει νέες απαιτήσεις στην διαχείριση πόρων. Επιπλέον της μεταβολής στις απαιτήσεις λόγω της φύσης της κυκλοφορίας πολυμέσων, υπάρχουν άλλες μεταβολές στο σύστημα που έχουν ισχυρή επιρροή στην υιοθετημένη τεχνική RRM. Αυτό περιλαμβάνει αλλαγές στην ποιότητα σύνδεσης που υφίσταται κάθε τερματικό λόγω καιρικών συνθηκών, κινητικότητας, παρεμβολής και άλλων παραγόντων. Στην πραγματικότητα, οι πολιτικές RRM, μαζί με τον σχεδιασμό δικτύου και της εναέριας διασύνδεσης, καθορίζουν την απόδοση ποιότητας υπηρεσιών στο επίπεδο του δικτύου και στο επίπεδο κάθε ατομικού χρήστη. Οι τεχνικές RRM περικλείουν κανάλια συχνότητας και/ή χρόνου, εκπεμπόμενη ισχύ, και πρόσβαση στους σταθμούς βάσης. Ο στόχος είναι να ελέγξουν την ποσότητα των πόρων που αποδίδονται σε κάθε χρήστη για να μεγιστοποιήσουν κάποιους δείκτες απόδοσης, όπως το συνολικό ποσοστό επιτυχής αποστολής του δικτύου, η συνολική αξιοποίηση πόρων και η συνολική πρόσδοδος του δικτύου, ή η ελαχιστοποίηση άλλων δεικτών, όπως η καθυστέρηση από τερματικό χρήστη σε τερματικό χρήστη και το η μεταβλητότητα μετάδοσης πραγματικού χρόνου, που υπόκεινται σε κάποιους περιορισμούς όπως η μέγιστη απόρριψη κλήσεων και / ή ο ελάχιστος λόγος σήματος προς θόρυβο.

Όσο καλύτερη είναι η υιοθετημένη τεχνική RRM, τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συνόλου συστήματος. Παρόλα αυτά είναι εμφανές ότι η συνολική απόδοση μπορεί να βελτιωθεί με τον σχεδιασμό της συνεργασίας διάφορων επιπέδων πρωτοκόλλων, το οποίο ονομάζεται κοινώς «η προσέγγιση διεπιπέδων». Σε αυτήν την περίπτωση, νέες λειτουργίες πρέπει να εισαχθούν για να επιτρέψουν αλληλεπιδράσεις ακόμα και μεταξύ μη γειτονικών επιπέδων πρωτοκόλλου. Στο σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής διεπιπέδων για τα δορυφορικά δίκτυα (όπως και σε άλλους σχεδιασμούς διεπιπέδων), πρέπει να ληφθούν προσεκτικά υπόψη οι συνέπειες στην αρχιτεκτονική και η αρχή διαχωρισμού επιπέδων.

4.2 Σχετικά προγράμματα στην Ευρώπη

Ένα πλήθος προγραμμάτων σχετικά με δορυφόρους έχουν επιδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα Fifth και Sixth Framework Programmes

(FP5, FP6) καθώς και στις Δράσεις COST. Στις υποενότητες 2.6.1-2.6.4 περιορίζουμε την σύνοψή μας σε ελάχιστα προγράμματα του FP6. Επιπλέον πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στην διεύθυνση <http://cordis.europa.eu.int/en/home.html>. Τέλος, η υποενότητα 2.6.5 αναφέρει μια πρόσφατη Δράση COST και η υποενότητα 2.6.6 περιγράφει μια νέα πρωτοβουλία στο πεδίο των δορυφόρων για το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα FP7.

4.2.1 TWISTER³: Επίγεια Ασύρματη Υποδομή ενοποιημένη με Δορυφορικές Τηλεπικοινωνίες για Ηλεκτρονικές-Αγροτικές εφαρμογές

<http://www.twister-project.net/>

Το TWISTER είναι ένα πρόγραμμα που διευθύνεται από το EADS Astrium και επιλέχθηκε για συν-χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση στην 1^η πρόσκληση για προτάσεις του προτεραιότητα Αεροναυτικής και Διαστημικής του FP6.

Αυτό το πρόγραμμα άρχισε στις 1 Φεβρουαρίου 2004 και λειτουργούσε κέντρα επιβεβαίωσης σε όλη την Ευρώπη για 3 έτη, μέσω της ανάπτυξη μέχρι 105 σημείων δορυφορικής πρόσβασης σε συνδυασμό με ασύρματα δίκτυα. Αυτά τα κέντρα επιβεβαίωσης υποστηρίζουν καινοτόμες εφαρμογές για να ανταποκριθούν στις συγκεκριμένες ανάγκες κοινοτήτων αγροτικών χρηστών στην αγροκαλλιέργεια, εκπαίδευση, κοινοτικές υπηρεσίες, υγεία και e-business. Αυτό το πρόγραμμα δίνει έμφαση σε χρήσεις που κερδίζουν από την ευρυζωνική πρόσβαση. Ο στόχος του TWISTER είναι να υποστηρίξει την ανάπτυξη και την ευρέως αποδοχή των υπηρεσιών δορυφορικών τηλεπικοινωνιών (όπως εκπαιδευτικές και ιατρικές υπηρεσίες μεταξύ νησιών, ή e-business) για να παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες σε αγροτικές περιοχές. Η ικανοποίηση των χρηστών αξιολογείται έτσι ώστε να προτείνονται βελτιώσεις και να προσδιορίσουν ένα πλάνο για ανάπτυξη επιπλέον υπηρεσιών. Η ενσωμάτωση δορυφορικής υποδομής με επίγεια συστήματα στοχεύει στην επίτευξη μιας ευρυζωνικής κάλυψης στις αγροτικές περιοχές. Το TWISTER ερευνά έναν αριθμό υβριδικών αρχιτεκτονικών δορυφόρων με ασύρματες επικοινωνίες και αξιολογεί την επί τόπου απόδοση. Η διεθνής εταιρική συνεργασία TWISTER, που περιλαμβάνει πολλά ενεργά μέλη στην αλυσίδα αποτίμησης τηλεπικοινωνιών (κοινότητες χρηστών, παροχείς υπηρεσιών, διαχειριστές δορυφόρων, κατασκευαστές υλικών) δημιουργεί τις απαραίτητες συνθήκες για επιτυχή ανάπτυξη τέτοιων δορυφορικών λύσεων πάνω από

³ Terrestrial Wireless Infrastructure integrated with Satellite Telecommunications for E-Rural applications

την Ευρώπη ως συμπλήρωμα των επίγειων δικτύων για το κέρδος του πληθυσμού και της οικονομίας.

4.2.2 MAESTRO⁴: Υπηρεσίες και Εφαρμογές Κινητών βασιζόμενες σε Δορυφορική & Επίγεια Συνεργασία

<http://ist-maestr.dyndns.org/MAESTRO>

Το πρόγραμμα MAESTRO στοχεύει στην μελέτη τεχνικών υλοποιήσεων καινοτόμων δορυφορικών συστημάτων κινητών χρηστών, με σκοπό την στενή ενσωμάτωση και συνεργασία επίγειων δικτύων κινητών χρηστών 3G και μετέπειτα του 3G. Το MAESTRO αναζητά να προσδιορίσει και να αξιολογήσει τις πιο κρίσιμες υπηρεσίες, χαρακτηριστικά και λειτουργίες των αρχιτεκτονικών δορυφορικών συστημάτων, πετυχαίνοντας την κατά το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό ενοποίησης με επίγειες υποδομές. Στοχεύει όχι μόνο στην εκτίμηση της τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας των δορυφορικών συστημάτων, αλλά και στο να τονίσει τις ανταγωνιστικές πλευρές στον τρόπο που συμπληρώνουν τις επίγειες λύσεις.

Στο πλαίσιο του προγράμματος MAESTRO, καινοτόμες και συγκλίνουσες λύσεις επιδιώκουν: (i) την επιτυχή και οικονομική ανάπτυξη πολυμεσικών υπηρεσιών 3G στα δορυφορικά δίκτυα κινητών χρηστών, (ii) την μείωση του ψηφιακού χάσματος μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών εξασφαλίζοντας συνέχεια υπηρεσιών σε ετερογενή δίκτυα GPRS/UMTS.

4.2.3 SatNEx⁵: Δορυφορικό Δίκτυο Τελειότητας

<http://ww.satnex.org>

Το SatNEx είναι ένα FP6 ερευνητικό *Δίκτυο Τελειότητας* (NoE – *Network of Excellence*) που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, και συνδυάζει την ερευνητική αρτιότητα 22 φορέων στο πεδίο των δορυφορικών επικοινωνιών [25], [26]. Ο κύριος σκοπός του SatNEx είναι η επίτευξη μιας μακροχρόνιας ενοποίησης της Ευρωπαϊκής έρευνας στις δορυφορικές επικοινωνίες και η ανάπτυξη μιας κοινής βάσης στο συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο. Αυτή η συλλογική πραγματογνωμοσύνη θα υποστηρίξει την Ευρωπαϊκή δορυφορική βιομηχανία μέσω τυποποίησης, συνεργασία/συσκέψεις και εκπαίδευση. Μέσω της συνεργασίας εξάιρετων πανεπιστημίων και ερευνητικών οργανισμών με περίφημη εμπειρία στις δορυφορικές επικοινωνίες, το

⁴ Mobile Applications & sErvices based on Satellite & Terrestrial inteRwOrking

⁵ Satellite Network of Excellence

SatNEx χτίζει κατ' ουσία ένα Ευρωπαϊκό κέντρο αρτιότητας στις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες και θα συνεισφέρει στην πραγματοποίηση της *Περίοδου Ευρωπαϊκής Έρευνας* (ERA). Μια δορυφορική πλατφόρμα συνδέει συνεργάτες σε μια διάταξη ευρείας εκπομπής, πολλαπλών εκπομπών ή μονής εκπομπής, παρέχοντας εκπαίδευση και δυνατότητες τηλεδιάσκεψης με οπτικό σήμα, και προωθώντας την απλότητα και την οικονομικά αποτελεσματική χρήση δορυφόρων για αυτόν τον σκοπό. Το SatNEx έχει ιδρύσει ένα συμβουλευτικό σώμα που ενσωματώνει βασικούς αντιπροσώπους της Ευρωπαϊκής διαστημικής βιομηχανίας, χορηγών δορυφορικών υπηρεσιών, και οργανισμών τυποποίησης και κανονισμών. Το SatNEx κατευθύνεται από αυτούς τους παίκτες παρέχοντας μια αποφασιστική ποσότητα πόρων και εμπειρίας, για να καταστήσει την Ευρώπη μια παγκόσμια δύναμη στο πεδίο δορυφορικών επικοινωνιών. Μέρος της αποστολής του SatNEx είναι να διαδώσει την εσωτερική έρευνα και εμπειρία.

4.2.4 NEWCOM⁶: Δίκτυο Αρτιότητας στις Ασύρματες Επικοινωνίες

<https://newcom.ismb.it/public/index.jsp>

Το NEWCOM είναι ένα Ευρωπαϊκό NoE που συνδέει με έναν συνεργάσιμο τρόπο πολλές κυρίαρχες ερευνητικές ομάδες που ασχολούνται με το στρατηγικό θέμα «Κινητά και ασύρματα συστήματα πέρα από το 3G», ένα οριακό ερευνητικό πεδίο στην θεματική περιοχή προτεραιότητας του IST. Αυτό το δίκτυο περιλαμβάνει 54 συνεργάτες από 18 χώρες, που αποτελείται από 40 πανεπιστήμια και 14 επιχειρήσεις. Ο κύριος στόχος είναι ένα «κατανομημένο Ευρωπαϊκό πανεπιστήμιο» με κοινά ερευνητικά προγράμματα και μακροπρόθεσμα ένα κοινό χώρο για διδακτορική έρευνα. Αυτό το NoE είναι αφιερωμένο στο επίγειο ασύρματο περιβάλλον. Παρόλα αυτά, μερικά από τα ερευνητικά θέματα, όπως η βελτιστοποίηση διεπιπέδων και επαναρυθμίσιμη εκπομπή, έχουν κοινά ερευνητικά θέματα με τον δορυφορικό κόσμο.

4.2.5 VIRTUOUS⁷: Εικονικό Σπίτι UMTS στους Δορυφόρους

<http://www.ebanet.it/virtuous.htm>

Το πρόγραμμα VIRTUOUS [27] έληξε το 2002, και στόχευε στην αναγνώριση, σχεδιασμό και ανάδειξη μιας οικονομικά βιώσιμης, πρακτικής, ομαλής οδού μετάβασης προς *Επίγεια και Δορυφορικά UMTS*

⁶ Network of Excellence in Wireless COMMunications

⁷ Virtual Home UMTS on Satellite

(T-UMTS και S-UMTS αντίστοιχα). Το VIRTUOUS επιδίωκε την επίτευξη των ακόλουθων συγκεκριμένων στόχων:

- Σχεδιασμό, ανάπτυξη και υλοποίηση ενός τμήματος URAN (*UMTS Radio Access Network* – Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης) Ανεξάρτητο της Ασύρματης Τεχνολογίας και δύο τμήματα URAN Εξαρτώμενα της Ασύρματης Τεχνολογίας, ικανά να διαχειρίζονται τις επίγειες και δορυφορικές συνδέσεις αντίστοιχα.
- Ανάπτυξη δύο χώρων ελέγχου του υλικού, αντιπροσωπευτικού των δορυφορικών και επίγειων UMTS φυσικών επιπέδων αντίστοιχα.
- Καθορισμός των S-UMTS συστατικών.
- Σχεδιασμός, ανάπτυξη και υλοποίηση κατάλληλων τερματικών και δικτυακών Διασυνεργαζόμενων Μονάδων (IWUs – *Inter-Working Units*) , με στόχο την ενοποίηση των τμημάτων GPRS και UMTS.
- Υλοποίηση, ενσωμάτωση και έλεγχο κατάλληλου υλικού για επίδειξη που περιλαμβάνει τρία τμήματα: GPRS, T-UMTS και S-UMTS.
- Πειραματικές δοκιμές σημαντικών υπηρεσιών UMTS, με υποψήφια εφαρμογή την VoIP.

4.2.6 Δράσεις COST

Το Ευρωπαϊκό COST (*Co-operation in the field of Scientific and Technical Research* – Συνεργασία στο πεδίο Επιστημονικής και Τεχνολογικής Έρευνας) είναι ένα διακυβερνητικό πλαίσιο για τον συντονισμό εθνικά χρηματοδοτούμενης έρευνας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, βασιζόμενη σε μια εύκαμπτη δομή ινστιτούτων. Καθιερωμένο από το 1971, το COST έχει αναπτυχθεί σε ένα από τα μεγαλύτερα πλαίσια συνεργασίας στην έρευνα. Τα 34 μέλη χώρες του COST περιλαμβάνουν τα 25 μέλη κράτη, Βουλγαρία, Κροατία, Ισλανδία, Νορβηγία, Ρουμανία, Σερβία και Μαυροβούνιο (Montenegro), FYROM, Ελβετία και Τουρκία. Επιπλέον, το Ισραήλ είναι ένα συνεργαζόμενο κράτος. Το COST επίσης δέχεται ευπρόσδεκτα να συμμετάσχουν σε ανεξάρτητες δράσεις Ινστιτούτα από χώρες που δεν ανήκουν στο COST για κοινό όφελος. Τα δίκτυα COST ονομάζονται Δράσεις. Οι συνεργασίες παίρνουν την μορφή συνολικών δραστηριοτήτων, δηλ. την συνεργασία εθνικά χρηματοδοτούμενων ερευνητικών δραστηριοτήτων. Μερικές από τις πρώιμες δράσεις COST έχουν βοηθήσει ανοίξει τον δρόμο για άλλα Ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα, όπως τα Ευρωπαϊκού Πλαισίου Προγράμματα (από το 1983) και τις πρωτοβουλίες EUREKA (από το 1985, δείτε <http://www.eureka.be>). Το COST παίζει έναν σημαντικό ρόλο στην επιστημονική και τεχνική συνεργασία στην Ευρώπη,

ενθαρρύνοντας την Ευρωπαϊκή συνεργία και διασυνεργασία και βοηθώντας περαιτέρω την Ευρωπαϊκή ενοποίηση.

Το COST καλύπτει ένα μεγάλο εύρος επιστημονικών και τεχνολογικών περιοχών: γεωργία, βιοτεχνολογία και επιστήμες τροφίμων, χημεία, περιβάλλον, δάση και προϊόντα δασοκομίας, υλικά, φάρμακα και υγεία, μετεωρολογία, φυσική, κοινωνικές επιστήμες και ανθρωπιστικές, *Τηλεπικοινωνίες, Επιστήμη και Τεχνολογία Πληροφοριών* (TIST – *Telecommunications, Information Science and Technology*), επιστήμες συγκοινωνιακών και πολεοδομικών πολιτικών μηχανικών.

COST Δράση 272: «Παράδοση Υπηρεσιών προσανατολισμένη με Πακέτα μέσω Δορυφόρων⁸»

<http://www.tesa.prd.fr/sost272/>

Αυτή η δράση COST έχει λήξη στα μισά του 2005 και ήταν ολοκληρωτικά επικεντρωμένη στην μελέτη θεμάτων που σχετίζονται με την μεταφορά πακέτων μέσω δορυφόρων. Ο κύριος στόχος της Δράσης 272 COST ήταν η αναγνώριση θεμελιωδών απαιτήσεων, η ανάλυση, η σύγκριση αποδόσεων, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός και καθορισμός πρωτοκόλλων δορυφορικών συστημάτων επικοινωνίας προσανατολισμένα προς τα πακέτα, με καθαρή εστίαση στις αρχές συστημάτων τύπου Διαδικτύου, στις εφαρμογές και πρωτόκολλα / τεχνικές στα διάφορα επίπεδα. Αυτή η Δράση πρώτα εκτίμησε τα ενδιαφέροντα τμήματα της αγοράς για δορυφόρους και κατέληξε σε ένα σαφή σύνολο σεναρίων αναφοράς (παγκόσμιο/τοπικό, GEO/όχι GEO, ευρείας εκπομπής/πολλαπλών εκπομπών/αλληλεπιδραστικό, QoS/best-effort, all-IP/hybrid κλπ) ως μια βάση για περαιτέρω έρευνα και αναπτυξιακή εργασία, και επιπλέον παρέχοντας μερικές ενδιαφέρουσες τεχνικές λύσεις. Η Δράση COST 272 ήταν η συνέχιση της Δράσης COST 253 («Διαδικτυακή Διασύνδεση Αποδοτική προς Υπηρεσίες μέσω Δορυφόρου⁹») [28] και το σημείο εκκίνησης για την Κοινοπραξία SatNEx, που επεξεργάστηκε την πρόταση SatNEx NoE.

4.2.7 Η πρωτοβουλία ISI

<http://www.isi-initiative.eu.org/>

Η Ολοκληρωμένη Πρωτοβουλία Satcom¹⁰ (ISI) είναι μια ανοιχτή πλατφόρμα, που ξεκίνησε το 2005, της οποίας τα μέλη περιλαμβάνουν όλα τα σχετικά και ενδιαφερόμενα μέλη που συμβάλλουν ή κερδίζουν

⁸ Packet-Oriented Service Delivery via Satellite

⁹ Service Efficient Network Interconnection via Satellite

¹⁰ Integral Satcom Initiative

από την εν λόγω πρωτοβουλία. Η ISI συνεργάζεται με την European Commission, την ESA (*European Space Agency*), τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της ESA και Συνεταιρισμένα Κράτη, τους Εθνικούς Οργανισμούς Διαστήματος, Διεθνούς Οργανισμούς και άλλες Ευρωπαϊκές τεχνολογικές πλατφόρμες. Η ISI καλλιεργεί διεθνή συνεργασία υπό μια παγκόσμια προοπτική. Η πλατφόρμα τεχνολογίας ISI φέρνει μαζί για πρώτη φορά σε ένα ενοποιημένο κέντρο πληροφοριών με βιομηχανικό προσανατολισμό όλες τις θεματικές ενότητες έρευνας και τεχνολογίας που σχετίζονται με τις δορυφορικές επικοινωνίες, συμπεριλαμβανομένου εφαρμογές κινητών, ευρείας ζώνης, και ευρείας εκπομπής. Ο σκοπός είναι να καλλιεργήσουν και να αναπτύξουν όλο τον βιομηχανικό τομέα, να μεγιστοποιήσουν την αξία της ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής έρευνας και τεχνολογίας, και να συνεισφέρουν στην πολιτική της EU και της ESA. Το έγγραφο στο αναφέρει λεπτομερώς τα πρακτέα της στρατηγικής έρευνας της τεχνολογικής πλατφόρμας ISI. Αναφέρεται στην συνολική ανάπτυξη των δορυφορικών επικοινωνιών και ευρέων εκπομπών στην Ευρώπη μέχρι το έτος 2020. Με αυτό δείχνει ότι οι δορυφορικές επικοινωνίες και ευρείες εκπομπές έχουν στρατηγική σχέση για την Ευρώπη, και προσδιορίζει μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στρατηγικούς στόχους. Μεταξύ αυτών αναφέρονται ερευνητικά θέματα RRM σε διάφορα σημεία του ερευνητικού οράματος του ISI. Συγκεκριμένα: (i) ο σχεδιασμός διεπιπέδου για τεχνικές RRM, με πληροφορίες διεπιπέδων να προέρχονται από προσαρμόσιμα φυσικά επίπεδα και απαιτήσεις QoS από τα ανώτερα επίπεδα, για να πετύχουν βέλτιστη απόδοση των κινητών ευρείας ζώνης πολυμεσικών δορυφορικών υπηρεσιών, είναι ένα από τα βασικά ερευνητικά θέματα (ii) οι εξελιγμένες τεχνικές RRM μπορούν να παρέχουν βέλτιστη χρήση του περιορισμένου σε πόρους φάσματος και να συνεισφέρουν στην μείωση του επιπέδου ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο υβριδικό περιβάλλον δορυφορικού/επίγειου δικτύου. (iii) μελετώνται καινοτόμα πρωτόκολλα RRM, που περιλαμβάνουν Έλεγχο Μέσου Πρόσβασης (MAC – *Medium Access Control*) και Παραμετρικό Έλεγχο Χρήσης (UPC – *Usage Parameter Control*) μηχανισμούς για παροχή QoS υπό περιορισμό αμεροληψίας.

Συμπεράσματα

Τα δορυφορικά συστήματα είναι μια ελκυστική λύση για παροχή πολυμεσικών επικοινωνιών σε ευρείες περιοχές της Γης, αλλά και σε αυτές που έχουν έλλειψη επίγειας υποδομής τηλεπικοινωνιών. Σε αυτό το πλαίσιο στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε μια εισαγωγή στα χαρακτηριστικά των δορυφόρων για επικοινωνία, συμπεριλαμβανομένου ήδη τροχιάς (γεωστατικοί, μέσης και χαμηλής τροχιάς), φαινόμενα ατμοσφαιρικής εξασθένισης και τις σχετικές απώλειες πακέτων, σχέδια πολλαπλής πρόσβασης και τις εναέριες διασυνδέσεις που μας απασχόλησαν στην εργασία μας (δηλ. S-UMTS, DVB-S/-S2/-RCS). Λόγω των επιπλέον σπουδαίων δυνατοτήτων των δορυφορικών συστημάτων στις πολυμεσικές επικοινωνίες, η βελτιστοποίηση είναι σημαντικό ζήτημα για την επιστημονική κοινότητα και με αυτό το σκεπτικό από το πρώτο κεφάλαιο προτείνεται ήδη η προσέγγιση διασύνδεσης γειτονικών και μη επιπέδων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δόθηκε έμφαση στην σπουδαιότητα της ποιότητας παροχής των πολυμεσικών υπηρεσιών (QoS). Κάποιες εφαρμογές έχουν αυστηρές απαιτήσεις QoS οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την καθυστέρηση και την μεταβλητότητά της. Υπό συνθήκες τα δορυφορικά δίκτυα μπορεί να παρουσιάσουν μεγάλες καθυστερήσεις, συνεπώς το πρόβλημα πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά ανάλογα βέβαια με τις απαιτήσεις κάθε υπηρεσίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνεται μια αρχική προσέγγιση στο θέμα βελτιστοποίησης των δορυφορικών επικοινωνιών με την προσέγγιση διεπιπέδων για διαχείριση πόρων. Παρουσιάζεται η ανάγκη τέτοιου είδους σχεδιασμού, καθώς και οι απαιτήσεις ανά διάφορα σενάρια. Το κεφάλαιο περιέχει μια αρχική συζήτηση για το θέμα και δεν είναι δυνατόν στο περιορισμένο χώρο της εργασίας να καλυφθεί το θέμα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο περιέχονται τα πιο σημαντικά προγράμματα και δράσεις της Ευρώπης για τις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες. Από το πλήθος των δράσεων, καθώς και από εύρος των συνεργασιών, των προσπαθειών συντονισμού όλων των επιμέρους δράσεων γίνεται φανερό ότι την σπουδαιότητα που δίνεται παγκοσμίως, και ειδικότερα στην Ευρώπη, στις δορυφορικές επικοινωνίες. Στην Ευρώπη παρουσιάζεται ουσιαστικά ως στρατηγικός στόχος της ανάπτυξής της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α ν α φ ο ρ έ ς---References

1. Andreadis, G. Giambene. *Protocols for High-Efficiency Wireless Networks*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 2003.
2. L. Harte, S. Kellogg, R. Dreher, T. Schaffnit. *The Comprehensive Guide to Wireless Technologies: cellular, PCS, paging, SMR, and satellite*. Apdg Publishing, 2000.
3. Jamalipour. *Low Earth Orbital Satellites for Personal Communication Network*. Artech House, Norwood, MA, USA, 1998.
4. R. E. Sheriff, Y. F. Hu. *Mobile Satellite Communication Network*. Wiley & Sons, Ltd, Baffins Lane, Chichester, England, 2001.
5. P. Barsocchi, N. Celandroni, E. Ferro, F. Davoli, G. Giambene, A. Gotta, F. J. Gonz'alez Casta~no, J. I. Moreno, P. Todorova, "Radio Resource Management Across Multiple Protocol Layers in Satellite Networks: a Tutorial Overview", *International Journal of Satellite Communications and Networking*, Vol. 23, No.5, pp. 265-305, September/October 2005.
6. ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for 11/12 GHz Satellite Services", EN 300 421, V1.1.2, (1997).
7. ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other Broadband Satellite Applications (DVB-S2)", EN 302 307.
8. ETSI, "Satellite Earth Stations and Systems (SES); Broadband Satellite Multimedia; Services and Architectures", TR 101 984 V1.1.1 (2002-11).
9. 3GPP, "Technical Specification Group Radio Access Network, Improvement of RRM Across RNS and RNS/BSS", TR 25.881, 2001 (release 5).
10. ITU-T Recommendation Y.1541: "Network performance objectives for IP-based services", URL: <http://www.itu-t.org>.
11. ITU-T Recommendation F.700: "Framework Recommendation for audiovisual/ multimedia services", URL: <http://www.itu-t.org>.

12. ITU-T Recommendation G.1010: “End-user multimedia QoS categories”, URL: <http://www.itu-t.org>.
13. 3GPP, “Technical Specification Group Services and System Aspects Service aspects; Services and Service Capabilities”, TS 22.105 V6.0.0 (2002-09) (Release 6), URL: <http://www.3gpp.org>.
14. R. Braden *et al.*, “Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification”, IETF RFC 2205, September 1997.
15. Viasat, URL: <http://www.viasat.com>.
16. Wildblue, URL: <http://www.wildblue.com>.
17. Centra, URL: <http://www.saba.com/centra-saba/>.
18. Hughes, URL: <http://www.hughes.com>.
19. Gilat Satellite Networks, URL: www.gilat.com.
20. Y. R. Yang, S. S. Lam, “General AIMD Congestion Control”, University of Texas, *Tech. Rep.* TR-2000-09, May 2000.
21. G. Carneiro, J. Ruela, M. Ricardo, “Cross-Layer Design in 4G Wireless Terminals”, *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol. 11, No. 2, pp. 7-13, April 2004.
22. V. Vardhan, D. G. Sachs, W. Yuan, A. F. Harris, S. V. Adve, D. L. Jones, R. H. Kravets, K. Nahrstedt, “GRACE: A Hierarchical Adaptation Framework for Saving Energy”, Computer Science, University of Illinois *Technical Report* UIUCDCS-R-2004-2409, February 2004.
23. M. A. V´azquez Castro, G. Seco Granados, “Cross-Layer Packet Scheduler Design of a Multibeam Broadband Satellite System with Adaptive Coding and Modulation”, to appear on *Transactions on Wireless Communications*.
24. P. Todorova, S. Olariu, H. N. Nguyen, “A Two-Cell Lookahead Call Admission and Handoff Management Scheme for Multimedia Satellite Networks”, in *Proc. of the Thirty-Sixth Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS - 36)*, Big Island of Hawaii, USA, January 6-9, 2003.
25. G. Evans, “SatNEx - A European Network of Excellence in Satellite Communications”, *International Journal of Satellite Communications and Networking*, Vol. 23, No. 5, p. 263, September/October 2005.

26. M. Werner, A. Donner, E. Lutz, R. Sheriff, F. Hu, R. Rumeau, H. Brandt, G. Maral, M. Bousquet, B. G. Evans, G. Corazza, "SatNEx - the European Satellite Communications Network of Excellence", in *Proc. of the 59th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2004-Spring)*, Milan, Italy, Vol. 5, p. 2842, May 2004.
27. F. Del Sorbo, F. Delli Priscoli, "Multimedia Services with QoS Support in an Integrated Terrestrial and Satellite UMTS Network Demonstrator: the IST VIRTUOUS Project", *International Journal of Satellite Communications and Networking*, Vol. 22, No. 1, pp. 139-156, January/February 2004.
28. Y. Fun Hu, G. Maral, E. Ferro, "Service Efficient Network Interconnection via Satellite", *EU COST Action 253*, edited by John Wiley & Sons LTD, January 2002.
29. Giambene G., "Resource Management in Satellite Networks – Optimization and Cross-Layer Design", Springer, 2007

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Αγγλικά	Ελληνικά
<i>ABC = Always Best Connected</i>	
<i>ACM = Adaptive Coding and Modulation</i>	Προσαρμόσιμη Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση
<i>AF = Assured Forwarding</i>	Εγγυημένη Προώθηση
<i>ARP = Address Resolution Protocol</i>	Πρωτόκολλο Ανάλυσης Διεύθυνσης
<i>AVBDC = Absolute Volume Based Dynamic Capacity</i>	Δυναμική Χωρητικότητα που Βασίζεται Απόλυτα στον Όγκο
<i>ABR = Available Bit Rate</i>	Διαθέσιμος Ρυθμός μετάδοσης δυαδικών Ψηφίων
<i>AQM = Active Queue Management</i>	
<i>AR = Access Router</i>	Δρομολογητής Πρόσβασης
<i>ATM = Asynchronous Transfer Mode</i>	Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς
<i>BCH = Bose Chaudhuri Hocquenghem</i>	
<i>BE = Best Effort</i>	Κάλλιστης Προσπάθειας
<i>BER = Bit Error Rate</i>	Ρυθμός Λανθασμένων Δυαδικών Ψηφίων
<i>BGAN = Broadband Global Area Network</i>	
<i>B-ISDN = Broadband Integrated Services Digital Network</i>	Ευρυζωνικές Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες Ψηφιακού Δικτύου
<i>BoD = Bandwidth on Demand</i>	Εύρος Ζώνης υπό Ζήτηση
<i>BPM = BSM Protocol Manager</i>	
<i>BPSK = Binary Phase-Shift Keying</i>	Κλείδωμα Μετατόπισης Δυαδικής Φάσης
<i>BSA = Broadband Satellite Access</i>	Δορυφορική Πρόσβαση Εύρους Ζώνης
<i>BSM = Broadband Satellite Multimedia</i>	Δορυφορικά Πολυμέσα Ευρείας Ζώνης
<i>BSS = Broadcasting Satellite Service</i>	Δορυφορική Υπηρεσία Ευρείας Εκπομπής
<i>CAC = Call Admission Control</i>	Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων
<i>CBP = Call Blocking Probability</i>	Πιθανότητα Απόρριψης Νέων Κλήσεων
<i>CBR = Constant Bit Rate</i>	Σταθερός Ρυθμός μετάδοσης δυαδικών Ψηφίων
<i>CCM = Constant Coding Modulation</i>	Σταθερή Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση
<i>CDMA = Code Division Multiple Access</i>	Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεση Κώδικα
<i>CDP = Call Dropping Probability</i>	Πιθανότητα Τερματισμού Κλήσης
<i>CF/DAMA = Combined Free/Demand Assignment Multiple Access</i>	Πολλαπλή Πρόσβαση Συνδυασμένης Ελεύθερης / Αιτούμενης Ανάθεσης
<i>CMF = Control and Monitoring Functions</i>	Λειτουργίες Ελέγχου και Καταγραφής
<i>C/I = Carrier to Interference</i>	Φέρον προς Παρεμβολή
<i>C/N = Carrier power-to-noise ratio</i>	Λόγος ισχύος (ισχύς του φέροντος προς τον θόρυβο)
<i>COPS = Common Open Policy Service</i>	Υπηρεσία Κοινής Ανοικτής Πολιτικής
<i>CRA = Continuous Rate Assignment</i>	Απόδοση Συνεχούς Ρυθμού
<i>CP = Complete Partitioning</i>	Πλήρης Διαμερισμός
<i>CR = Capacity Request</i>	Αίτηση Χωρητικότητας
<i>CS = Complete Sharing</i>	Πλήρη Κοινή Χρήση
<i>DAMA = Demand Assignment Multiple Access</i>	Πολλαπλή Πρόσβαση και Κατανομή ανά Ζήτηση
<i>DBAC = Dynamic Bandwidth Allocation Capabilities</i>	Ικανότητες Δυναμικής Κατανομής Εύρους Ζώνης
<i>DBRA = Dynamic Bandwidth and Resource Allocation</i>	Δυναμικό Εύρος ζώνης και Διανομής Πόρων
<i>DCA = Dynamic Channel Allocation</i>	Δυναμική Ανάθεση Καναλιού
<i>DCA = Dynamic Capacity Allocation</i>	Δυναμική Κατανομή Χωρητικότητας

<i>DHT = Direct To Home</i>	<i>Απευθείας στο σπίτι</i>
<i>DiffServ = Differentiated Service</i>	<i>Διαφοροποιημένη Υπηρεσία</i>
<i>DMBS = Double-Movable Boundary Strategy</i>	<i>Στρατηγική Δι-Κινούμενων Ορίων</i>
<i>DOCSIS-S = Data Over Cable Service Interface Specification for Satellite</i>	<i>Προδιαγραφές Διασύνδεσης Δεδομένων Καλωδιακών Υπηρεσιών για Δορυφόρους</i>
<i>DPSK = Differential Phase Shift Keying</i>	<i>Κλείδωμα Μετατόπισης Διαφορικής Φάσης</i>
<i>DRT = Delayed Real Time</i>	<i>Καθυστερημένου Πραγματικού Χρόνου</i>
<i>DSCP = DiffServ Code Point</i>	
<i>DULM = Data Unit Labeling Method</i>	<i>Μέθοδος Περιγραφής Μονάδων Δεδομένων</i>
<i>DVB-S = Digital Video Broadcasting via Satellite</i>	<i>Ψηφιακό Βίντεο Ευρείας Εκπομπής μέσω Δορυφόρου</i>
<i>DVB-RCS = DVB – Return Channel via Satellite</i>	<i>Ψηφιακό Βίντεο Ευρείας Εκπομπής με Κανάλι Επιστροφής μέσω Δορυφόρου</i>
<i>ECN = Explicit Congestion Notification</i>	<i>Σαφής Ειδοποίηση Συμφόρησης</i>
<i>EF = Expedited Forwarding</i>	<i>Επισπευμένη Προώθηση</i>
<i>EHF-SATCOM = Extremely High Frequency – Satellite Communication</i>	<i>Εξαιρετικά Υψηλής Συχνότητα Δορυφορική Επικοινωνία</i>
<i>FCA = Free Capacity Assignment</i>	<i>Απόδοση Ελεύθερης Χωρητικότητας</i>
<i>FCA = Fixed Channel Allocation</i>	<i>Σταθερή Ανάθεση Καναλιού</i>
<i>FDD = Frequency Division Duplexing</i>	<i>Δίπλεξη Διαχωρισμού Συχνότητας</i>
<i>FDM = Frequency Division Multiplexing</i>	<i>Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας</i>
<i>FEC = Forward Error Correction</i>	
<i>FER = Frame Erasure Rate</i>	<i>Ρυθμός Διαγραφής Πλαισίων</i>
<i>FSS = Fixed Satellite Service</i>	<i>Σταθερή Δορυφορική Υπηρεσία</i>
<i>FDMA = Frequency Division Multiple Access</i>	<i>Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας</i>
<i>FMT = Fade Mitigation Technique</i>	<i>Τεχνική Μετρίασης Εξασθένισης</i>
<i>GM = Guaranteed Minimum</i>	<i>Εγγυημένου Ελαχίστου</i>
<i>GW = Traffic Gateway</i>	<i>Πύλη Κυκλοφορίας</i>
<i>HCA = Hybrid Channel Allocation</i>	<i>Υβριδική Ανάθεση Καναλιού</i>
<i>HNS = Hughes Network Systems</i>	
<i>HSDPA = High Speed Downlink Packet Access</i>	<i>Πρόσβαση Υψηλής Ταχύτητας Πακέτων Κάτω Σύνδεσης</i>
<i>IM = Inter-Modulation</i>	<i>Δια-Διαμόρφωση</i>
<i>IntServ = Integrated Service</i>	
<i>IPA = Infinitesimal Perturbation Analysis</i>	<i>Ανάλυση Απειροελάχιστων Διαταραχών</i>
<i>IPoS = Internet Protocol over Satellite</i>	<i>Πρωτόκολλο Διαδικτύου για Δορυφόρους</i>
<i>ISI = Integral Satcom Initiative</i>	<i>Ολοκληρωμένη Πρωτοβουλία Satcom</i>
<i>ISL = Inter-Satellite Link</i>	<i>Δια-Δορυφορική Σύνδεση</i>
<i>ISN = Interactive Satellite Network</i>	<i>Δορυφορικό Διαδραστικό Δίκτυο</i>
<i>ISO/OSI = International Standards Organization / Open Systems Interconnection</i>	<i>Οργανισμός Διεθνών Τυποποιήσεων / Διασύνδεση Ανοιχτών Συστημάτων</i>
<i>IWUs = Inter-Working Units</i>	<i>Δια-συνεργαζόμενες Μονάδες</i>
<i>LDPC = Low Density Parity Check</i>	<i>Έλεγχος Ισοτιμίας Χαμηλής Πυκνότητας</i>
<i>LUI = Last Useful Instant</i>	<i>Τελευταίας Χρήσιμης Στιγμής</i>
<i>MAC = Medium Access Control</i>	<i>Έλεγχος Μέσου Πρόσβασης</i>
<i>MBU = Minimum Bandwidth Unit</i>	<i>Ελάχιστη Μονάδα Εύρους Ζώνης</i>
<i>MCS = Master Control Station</i>	<i>Κεντρικός Σταθμός Ελέγχου</i>
<i>MF = Multi-Frequency</i>	<i>Πολλαπλή Συχνότητα</i>
<i>MPE = Multi Protocol Encapsulation</i>	<i>Ενθυλάκωση Πολλαπλών Πρωτοκόλλων</i>
<i>MSL = Minimum Scheduling Latency</i>	<i>Ελάχιστη Καθυστέρηση Χρονοδρομολόγησης</i>
<i>MTU = Maximum Transfer Unit</i>	<i>Μέγιστη Μονάδα Μεταφοράς</i>
<i>NCC = Network Control Center</i>	<i>Κέντρο Ελέγχου Δικτύου</i>

<i>ND = Neighbor Discovery</i>	<i>Ανακάλυψη Γείτονα</i>
<i>PAB = Proportional Allocation of Bandwidth</i>	<i>Αναλογική Κατανομή Εύρους Ζώνης</i>
<i>PEP = Performance Enhancing Proxy</i>	<i>Αντικαταστάτης Ενίσχυσης Απόδοσης</i>
<i>PHB = Per-Hop Behavior</i>	<i>Συμπεριφορά Per-Hop</i>
<i>PLFRAME = Physical Layer Frame</i>	<i>Πλαίσιο Φυσικού Στρώματος</i>
<i>PSTN = Public Switch Telephone Network</i>	<i>Τηλεφωνικό Δίκτυο Δημόσιας Μεταγωγής</i>
<i>RAN = Radio Access Network</i>	<i>Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης</i>
<i>RB = Reserved Bandwidth</i>	<i>Εφεδρικό Εύρος Ζώνης</i>
<i>RCST = Return Channel Satellite Terminal</i>	<i>Δορυφορικός Τερματικό Σταθμός Καναλιού Επιστροφής</i>
<i>RF = Radio Frequency</i>	
<i>RNC = Radio Network Controller</i>	<i>Ελεγκτής Ασύρματου Δικτύου</i>
<i>RBDC = Rate Based Dynamic Capacity</i>	<i>Δυναμική Χωρητικότητα Βασισμένη στον Ρυθμό</i>
<i>RRM = Radio Resource Management</i>	<i>Διαχείριση Ασύρματων Πόρων</i>
<i>RSP = Recovery Service Provider</i>	<i>Παροχέας Υπηρεσίας Ανάκτησης</i>
<i>RT = Real Time</i>	<i>Πραγματικού Χρόνου</i>
<i>RTD = Round Trip propagation Delay</i>	<i>Καθυστέρηση Διάδοσης (σήματος) μετ' Επιστροφής</i>
<i>RTT = Round Trip Time</i>	<i>Χρόνος Μετ' Επιστροφής</i>
<i>SAC = Satellite Access Control</i>	<i>Έλεγχος Πρόσβασης Δορυφόρου</i>
<i>SAP = Service Access Point</i>	<i>Σημείο Πρόσβασης Υπηρεσίας</i>
<i>SCPC = Single Channel Per Channel</i>	<i>Ένα Φέρον Ανά Κανάλι</i>
<i>SD = Satellite Dependent</i>	
<i>SDMA = Spatial Division Multiple Access</i>	<i>Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Χώρου</i>
<i>SES/BSM = Satellite Earth Stations / Broadband Satellite Multimedia</i>	<i>Επίγειοι Δορυφορικοί Σταθμοί / Δορυφορικά Πολυμέσα Ευρείας Ζώνης</i>
<i>SI = Satellite Independent</i>	
<i>SI-C-SAP = SAP Control</i>	
<i>SI-M-SAP = SAP Management</i>	
<i>SI-U-SAP = SAP User</i>	
<i>SL = Super-frame Length</i>	<i>Μήκος Υπερ-πλαisiού</i>
<i>SLA = Service Level Agreement</i>	<i>Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσίας</i>
<i>STB = Set Top Box</i>	
<i>TBTP = Terminal Burst Time Plan</i>	<i>Σχέδιο Χρόνου Εκρηκτικών εκπομπών των Τερματικών Σταθμών</i>
<i>TDM = Time Division Multiplexing</i>	<i>Πολύπλεξη Διάρθρωσης Χρόνου</i>
<i>TDMA = Time Division Multiple Access</i>	<i>Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Χρόνου</i>
<i>TR = Trunk Reservation</i>	<i>Κράτηση Γραμμής</i>
<i>T-UMTS = Terrestrial UMTS</i>	
<i>TWTA = Travelling-Wave-Tube Amplifier</i>	<i>Ενισχυτής Οδεύοντος ΚυματΟδηγού</i>
<i>UE = User Equipment</i>	<i>Εξοπλισμός Χρήστη</i>
<i>UBR = Unspecified Bit Rate</i>	<i>Μη Προσδιορισμένος Ρυθμός μετάδοσης Ψηφίων</i>
<i>UMTS = Universal Mobile Telecommunications System</i>	<i>Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών</i>
<i>UL = Upper Limit</i>	<i>Άνω Όριο</i>
<i>UPC = Usage Parameter Control</i>	<i>Παραμετρικός Έλεγχος Χρήσης</i>
<i>URAN = UMTS Radio Access Network</i>	<i>Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης URAN</i>
<i>VBDC = Volume Based Dynamic Capacity</i>	<i>Δυναμική Χωρητικότητα που Βασίζεται στον Όγκο</i>
<i>VBR = Variable Bit Rate</i>	<i>Μεταβαλλόμενος Ρυθμός μετάδοσης δυαδικών Ψηφίων</i>

<i>VC = Virtual Channel</i>	<i>Εικονικό Κανάλι</i>
<i>VCM = Variable Coding and Modulation</i>	<i>Μεταβλητή Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση</i>
<i>VLL = Virtual Leased Line</i>	<i>Εικονική Μισθωμένη Γραμμή</i>
<i>VR-JT = Variable Rate Jitter Tolerant</i>	<i>Μεταβλητός Ρυθμός μετάδοσης Ανεκτικός στην Μεταβλητότητα</i>
<i>VR-RT = Variable Rate RT</i>	<i>Μεταβλητός Ρυθμός μετάδοσης Πραγματικού Χρόνου</i>
<i>VSAT = Very Small Aperture Terminal</i>	<i>Τερματικός Σταθμός Πολύ Μικρού Ανοίγματος</i>
<i>W-CDMA = Wideband CDMA</i>	
<i>WFBoD = Weighted Fair Bandwidth-on-Demand</i>	<i>Αμερόληπτο Εύρος Ζώνης υπό Αίτηση με την βοήθεια Βαρών</i>