

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ

Σχολή Διοίκησης Οικονομίας

Τμήμα Επιχειρηματικού Σχεδιασμού και Πληροφοριακών
Συστημάτων

**Τίτλος: «Τεχνικές Μετάδοσης Video σε
Ενσύρματα Δίκτυα»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

των

Βουτσά Βασιλεία ΑΜ: 1224

Κωνσταντινοπούλου Αρχοντία ΑΜ: 1339

Εισηγητής: Μάνδαλος Λουκάς

Πάτρα, Νοέμβριος 2009

Περιεχόμενα

Πρόλογος	4
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	
1.1 – Έννοια του δικτύου υπολογιστών	6
1.2 – Χαρακτηρισμός δικτύων υπολογιστών	6
1.3 – Είδη δικτύων υπολογιστών	7
1.4 – Ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα	8
1.4.1 – Ενσύρματο δίκτυο	8
1.4.2 – Ασύρματο δίκτυο	10
1.5 – Εξέλιξη του δικτύου	13
1.5.1 – Δεκαετία του 60: Η εκκίνηση	13
1.5.2 – Δεκαετία του 70: Οι πρώτες συνδέσεις	14
1.5.3 – Δεκαετία του 80: Ένα παγκόσμιο δίκτυο για την ακαδημαϊκή κοινότητα	14
1.5.4 – Δεκαετία του 90: Ένα παγκόσμιο δίκτυο για όλους	15
1.6 – Εφαρμογές πραγματικού χρόνου	15
Κεφάλαιο 2 – Ποιότητα υπηρεσιών (QoS)	
2.1 – Εισαγωγή	18
2.2 – Ορισμοί	19
2.3 – Περιγραφή	20
2.4 – Απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών	23
2.5 – Μέθοδοι	24
Κεφάλαιο 3 – Πολυμέσα στο δίκτυο	
3.1 – Τι είναι τα multimedia	26
3.1.1 – Η ανάγκη για χειρισμό πολύπλοκων τύπων δεδομένων	27
3.1.2 – Multimedia networking	28
3.1.3 – Επικοινωνία πραγματικού χρόνου	29
3.1.4 – Multimedia στο Internet	30

3.2 – Γιατί τα παραδοσιακά πρωτόκολλα μεταφοράς δεν είναι κατάλληλα για multimedia networking	31
3.2.1 – Δομή των πρωτοκόλλων	32
3.2.2 – Πολύπλεξη	33
3.2.3 – Έλεγχος Ροής	33
3.2.4 – Έλεγχος λαθών	34
3.2.5 – Πληροφορίες ελέγχου	35
3.2.6 – Έλλειψη QoS χαρακτηριστικών	36
3.3 – Video και εφαρμογές	36
3.3.1 – Συμπίεση/Αποσυμπίεση video	37
3.4 – Απαιτήσεις για μεταφορά δεδομένων πραγματικού χρόνου σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων	41
3.5 – Χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα πρωτόκολλα πραγματικού χρόνου	43
3.5.1 – Υψηλό throughput	44
3.5.2 – Δυνατότητα multicast	45
3.5.3 – Χαρακτηριστικά QoS	45
Κεφάλαιο 4 – Τα πρωτόκολλα RTP/RTCP	
4.1 – Εισαγωγή	46
4.2 – Ορισμοί	49
4.3 – Το RTP (Real-Time Transport Protocol)	53
4.3.1 – Η κεφαλίδα (header) του RTP	53
4.3.2 – Πολύπλεξη συνόδων RTP	57
4.4 – Το RTCP (Real-Time Control Protocol)	58
4.4.1 – Αναφορές αποστολέα και παραλήπτη	63
4.4.1.1 – SR – Πακέτο RTCP αναφοράς αποστολέα	63
4.4.1.2 – RR – Πακέτο RTCP αναφοράς παραλήπτη	67
4.4.1.3 – Στατιστικές πληροφορίες που μπορούν να ανακτηθούν από τα SR και RR	68
4.4.2 – SDES – Πακέτο RTCP περιγραφής πηγής	69
4.4.3 – BYE – Πακέτο RTCP «Αντίο»	72

Κεφάλαιο 5 – Το πρωτόκολλο RSVP	
5.1 – Εισαγωγή	74
5.2 – RSVP (Resource reSerVation Protocol)	75
5.3 – Χαρακτηριστικά του RSVP	76
5.4 – Η λειτουργία του RSVP	77
Κεφάλαιο 6 – Το πρωτόκολλο RTSP	
6.1 – Γενική περιγραφή	84
6.2 – Ανάγκες ύπαρξης του πρωτοκόλλου RTSP	84
6.3 – Λειτουργίες του πρωτοκόλλου	86
6.4 – Βασικές έννοιες	87
6.5 – Ιδιότητες του πρωτοκόλλου	87
6.6 – Η γενική λειτουργία του πρωτοκόλλου	89
6.7 – Καταστάσεις του RTSP	91
6.8 – Σχέση με άλλα πρωτόκολλα	92
6.9 – Συνδέσεις	93
Συμπεράσματα	95
Βιβλιογραφία	97

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποσκοπεί στην προσέγγιση του θέματος της μετάδοσης βίντεο μέσω ενσύρματων δικτύων και πιο συγκεκριμένα στα τέσσερα βασικά πρωτόκολλα πραγματικού χρόνου.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια και την εξέλιξη των δικτύων. Περιγράφονται τα ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα και τέλος, πραγματοποιείται μία σύντομη εισαγωγή στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Στο 2^ο κεφάλαιο περιγράφεται η έννοια, η χρησιμότητα αλλά και οι μέθοδοι της ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service – QoS).

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το ιστορικό και η έννοια του πιο χρησιμοποιημένου όρου των τελευταίων είκοσι χρόνων, τα πολυμέσα. Έπειτα αναφέρονται αναλυτικά οι λόγοι για τους οποίους δεν είναι κατάλληλα τα παραδοσιακά πρωτόκολλα μεταφοράς για multimedia networking. Τέλος, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα πρωτόκολλα πραγματικού χρόνου.

Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται το πρωτόκολλο μεταφοράς RTP και το πρωτόκολλο ελέγχου του RTP (το RTCP).

Στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφεται το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων RSVP.

Στο 6^ο κεφάλαιο περιγράφεται το τελευταίο από τα τέσσερα βασικά πρωτόκολλα πραγματικού χρόνου, το πρωτόκολλο ροής RTSP.

Το 7^ο κεφάλαιο περιέχει τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας.

Η ανάθεση της πτυχιακής εργασίας έγινε τον Μάρτιο του 2009 με εισηγητή τον καθηγητή κ. Αθανασόπουλο Σταύρο. Όμως, λόγω αποχώρησης του καθηγητή από το τμήμα, η επίβλεψη της πτυχιακής εργασίας, μετά από αίτησή μας στην γραμματεία του τμήματος, ανατέθηκε στον διδάσκοντα κ. Μάνδαλο Λουκά.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Μάνδαλο Λουκά για την καθοριστική καθοδήγησή του και την εποπτεία αυτής της εργασίας.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Έννοια του δικτύου υπολογιστών

Ένα δίκτυο υπολογιστών είναι ένα σύνολο από αυτόνομους ή μη αυτόνομους διασυνδεδεμένους υπολογιστές. Οι υπολογιστές θεωρούνται διασυνδεδεμένοι όταν είναι σε θέση να ανταλλάξουν πληροφορίες μεταξύ τους και αυτόνομοι όταν δεν είναι δυνατό κάποιος υπολογιστής να ελέγξει τη λειτουργία (π.χ. εκκίνηση ή τερματισμό) κάποιου άλλου.



Εικόνα 1.1: Μία τοπολογία δικτύου, η τοπολογία αστέρα

1.2 Χαρακτηρισμός δικτύων υπολογιστών

Τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών φέρουν τους εξής χαρακτηρισμούς, που καθορίζουν και την κατηγορία τους:

- Ανάλογα με το φυσικό μέσο διασύνδεσής τους χαρακτηρίζονται ως *ενσύρματα* ή *ασύρματα*.
- Ανάλογα με τον τρόπο πρόσβασης σε αυτά χαρακτηρίζονται ως *δημόσια* ή *ιδιωτικά* δίκτυα.
- Ανάλογα με την γεωγραφική κάλυψη του δικτύου χαρακτηρίζονται ως *τοπικά* (*LAN* και *WLAN*), *μητροπολιτικά* (*MAN* και *WMAN*), *ευρείας κάλυψης* (*WAN* και *WWAN*) και *προσωπικά* (*PAN* και *WPAN*).

Ακόμη ένα κριτήριο ταξινόμησης των δικτύων είναι η κλίμακά τους. Στην κορυφή της ιεραρχίας βάση αυτού του κριτηρίου βρίσκονται οι μηχανές ροής δεδομένων, που είναι υπολογιστές υψηλού βαθμού παραλληλίας με πολλές λειτουργικές μονάδες να δουλεύουν για το ίδιο πρόγραμμα. Ακολουθούν οι πολλαπλοί υπολογιστές, που είναι συστήματα τα οποία επικοινωνούν στέλνοντας μηνύματα μέσω μικρών και πολύ γρήγορων αρτηριών.

Πέρα από τους πολλαπλούς υπολογιστές είναι τα αληθινά δίκτυα στα οποία οι υπολογιστές επικοινωνούν ανταλλάσσοντας μηνύματα μέσω καλωδίων μεγαλύτερου μήκους. Διαιρούνται σε τοπικά, μητροπολιτικά και ευρείας περιοχής, ενώ η σύνδεση δύο ή περισσότερων δικτύων ονομάζεται διαδίκτυο. Η απόσταση στην οποία εκτείνεται το καθένα από τα παραπάνω είναι σημαντική επειδή χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές σε διαφορετικές κλίμακες.

1.3 Είδη δικτύων υπολογιστών

I. Τοπικά δίκτυα:

Τα τοπικά δίκτυα (LAN - local area network) είναι δίκτυα που συνδέουν υπολογιστές σε κοντινές αποστάσεις (π.χ. από υπολογιστές που βρίσκονται σε ένα δωμάτιο μέχρι υπολογιστές που απέχουν μερικά χιλιόμετρα μεταξύ τους). Χρησιμοποιούνται συνήθως για να συνδέουν προσωπικούς υπολογιστές και σταθμούς εργασίας σε γραφεία εταιρειών, εργοστάσια, πανεπιστήμια κ.τ.λ.

II. Μητροπολιτικά δίκτυα:

Ένα μητροπολιτικό δίκτυο (MAN – metropolitan area network) είναι μια μεγαλύτερη εκδοχή ενός τοπικού δικτύου καθώς καλύπτει μεγαλύτερες αποστάσεις (π.χ. από μία ομάδα γειτονικών γραφείων μιας εταιρείας έως μια πόλη).

III. Δίκτυα ευρείας περιοχής:

Τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN – wide area network) καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. από σύνδεση μεταξύ διαφορετικών πόλεων μέχρι μιας ολόκληρης ηπείρου). Μπορούν ακόμη να συνδέσουν περισσότερα από ένα τοπικά δίκτυα καθώς και ομάδες τοπικών δικτύων. Τα περισσότερα δίκτυα ευρείας περιοχής χρησιμοποιούν τηλεφωνικά δίκτυα ή τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους.

IV. Διαδίκτυα:

Τα διαδίκτυα είναι δίκτυα ευρείας περιοχής τα οποία καλύπτουν γεωγραφικές περιοχές μίας ή περισσότερων ηπείρων διασυνδέοντας επιμέρους δίκτυα. Σε ένα διαδίκτυο μπορούν να συνυπάρχουν διασυνδεδεμένοι υπολογιστές και δίκτυα που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες και λειτουργικά συστήματα. Το διαδίκτυο (internet) είναι το μεγαλύτερο τέτοιου είδους δίκτυο.

1.4 Ενσύρματα και Ασύρματα δίκτυα

1.4.1 Ενσύρματο δίκτυο

Η ενσύρματη επικοινωνία περιλαμβάνει όλων των ειδών τις εναέριες, τις επίγειες ή τις υπόγειες συνδέσεις αυτού του είδους. Υπάρχουν συνδέσεις από ζεύγη χάλκινων αγωγών (συνεστραμμένα ζεύγη – twisted wires), από ομοαξονικά καλώδια, ή από οπτικές ίνες.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό μιας σύνδεσης (ή γραμμής μεταφοράς) είναι ο ρυθμός μεταφοράς ή μετάδοσης δεδομένων. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων (Data Transfer Rate) ή απλά η ταχύτητα μετάδοσης είναι ένα μέγεθος που δείχνει πόσα bits δεδομένων μπορεί να μεταφέρει μία σύνδεση ή γραμμή μεταφοράς στην μονάδα του χρόνου. Σε μία δεδομένη γραμμή μεταφοράς το μέγεθος αυτό μειώνεται καθώς αυξάνει η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη των δεδομένων.

Καλώδια συνεστραμμένων ζευγών

Είναι τα γνωστά χάλκινα σύρματα των τηλεφωνικών γραμμών. Αποτελούνται από τέσσερις ή περισσότερους χάλκινους αγωγούς συνεστραμμένους σε ζεύγη. Το «πλέξιμο» των καλωδίων συνεπάγεται μεγαλύτερη αντοχή σε παρεμβολές – θορύβους.

Ομοαξονικά καλώδια

Στο ομοαξονικό καλώδιο δύο αγωγοί είναι τοποθετημένοι ο ένας μέσα στον άλλον και χωρίζονται μεταξύ τους από ένα μονωτικό υλικό. Υπάρχουν δύο κατηγορίες: βασικής ζώνης (baseband coaxial) – ψηφιακό σήμα (LAN) και ευρείας ζώνης (broadband coaxial) – αναλογικό σήμα (TV, cable internet).

Σε σχέση με τα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών:

- Έχουν καλύτερη θωράκιση,
- Έχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης,
- Είναι λιγότερο ευάλωτα σε θορύβους και εξασθένηση,
- Παρέχουν κάλυψη ίσων ή/και μεγαλύτερων αποστάσεων,
- Οι ρυθμοί μετάδοσης είναι ίσοι ή/και μεγαλύτεροι,
- Έχουν υψηλότερο κόστος.

Οπτικές ίνες

Η ανάπτυξη των οπτικών ινών στην τεχνολογία μετάδοσης έχει ανοίξει μία νέα εποχή για την επικοινωνία. Οι ίνες μεταδίδουν διαμορφωμένο φως αντί για διαμορφωμένα ηλεκτρικά σήματα όπως αυτά χρησιμοποιούνται στα μεταλλικά καλώδια. Με άλλα λόγια οι ίνες μεταδίδουν φωτόνια αντί για ηλεκτρόνια. Μία οπτική ίνα σήμερα μπορεί να μεταδώσει μέχρι και 2500 εκατομμύρια bits ανά δευτερόλεπτο και υποστηρίζει 32000 παράλληλες τηλεφωνικές κλήσεις. Μπορεί επίσης να υποστηρίξει χιλιάδες συμπιεσμένα ψηφιακά κανάλια TV κάθε φορά. Οι οπτικές ίνες είναι η βάση για την εξάπλωση της τεχνολογίας τοπικών δικτύων υψηλών ταχυτήτων (LAN). Στις αναπτυσσόμενες χώρες, η τηλεπικοινωνιακή υποδομή βασίζεται στις οπτικές

ίνες. Αυτή η υποδομή έχει μορφοποιηθεί από τα βασικά καλώδια και τα συστήματα μετάδοσης τα οποία υποστηρίζουν όλους τους τύπους επικοινωνίας, αρχίζοντας από τη τηλεφωνία και φτάνοντας ως τις σημείο προς σημείο γραμμές.

Οι οπτικές ίνες είναι σχετικά ένα φθηνό φυσικό μέσο ειδικά για τις μακρινές αποστάσεις. Αυτό που κοστίζει πιο πολύ είναι τα συστήματα μετάδοσης τα οποία είναι προσαρτημένα κατά μήκος της ίνας, ειδικά αυτά που λειτουργούν σε υψηλή ταχύτητα. Αλλά αφότου εγκατασταθούν, μια οπτική ίνα δεν απαιτεί να εκμεταλλευθεί αμέσως όλη η χωρητικότητα. Πιο αργός και φθηνός εξοπλισμός μετάδοσης μπορεί αρχικά να χρησιμοποιηθεί, ενώ σχεδόν απεριόριστη χωρητικότητα είναι ενδεχομένως διαθέσιμη για μελλοντικές αναπτύξεις.

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται κάποια χαρακτηριστικά αυτών των τριών μέσων μετάδοσης:

	Συνεστραμμένων ζευγών	Ομοαξονικό καλώδιο	Οπτική ίνα
Ρυθμός μετάδοσης	Ανάλογα με την κατηγορία, έως 100 Mbps	Ίδιος ή υψηλότερος από τα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών	Από 100 Mbps έως 50 Gbps
Απόσταση	Δεκάδες μέτρα	Εκατοντάδες μέτρα	Πολλά χιλιόμετρα
Ευαισθησία σε παρεμβολές	Μέτρια	Μέτρια	Χαμηλή
Τεχνολογική κατάσταση	Ώριμη	Ώριμη	Αναπτυσσόμενη
Ευκολία εγκατάστασης	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Ανάγκη αναμεταδοτών	Κάθε 3-4km	Κάθε 3-4km	Κάθε 40-60km

Εικόνα 1.2: Χαρακτηριστικά των καλωδίων μέσων μετάδοσης.

1.4.2 Ασύρματο δίκτυο

Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα ως

φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Σε παλαιότερες εποχές τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, αλλά σήμερα όλα τα ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία και, επομένως, κατά μία έννοια, είναι ουσιαστικώς δίκτυα υπολογιστών.

Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Η τηλεόραση και το ραδιόφωνο, αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα καθώς η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο δίκτυο τηλεπικοινωνιακών κόμβων (συσκευών) με τη συνήθη έννοια. Επιπλέον, τα μεταφερόμενα δεδομένα συνήθως είναι αναλογικά και επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν δίκτυα υπολογιστών.



Εικόνα 1.3: Ένας φορητός υπολογιστής που επικοινωνεί ασύρματα, μέσω ραδιοκυμάτων, με ένα σημείο πρόσβασης το οποίο συνδέεται στο Internet ή σε κάποιο ασύρματο LAN.

Ασύρματα τοπικά και προσωπικά δίκτυα

Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα παρέχουν εύκολη διασύνδεση ετερογενών, φορητών ψηφιακών συσκευών τοποθετημένων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Αν και είναι δίκτυα υπολογιστών, δεν σχεδιάζονται για ενσωμάτωση σε μεγαλύτερα δίκτυα καθώς, στοχεύουν σε καταναλωτικές φορητές συσκευές περιορισμένων πόρων (κινητά τηλέφωνα, συσκευές αναπαραγωγής πολυμέσων κ.τ.λ.). Αντιθέτως, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) συνήθως αποτελούν δίκτυα κανονικών υπολογιστών (κατά ελάχιστων PDA) με δυνατότητα ενσωμάτωσης σε ευρύτερα (ενσύρματα ή ασύρματα) WAN. Συγκριτικά με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν ευελιξία, κινητικότητα και –υπο προϋποθέσεις- χαμηλότερο κόστος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Για ασύρματη επέκταση ενός προϋπάρχοντος ενσύρματου δικτύου, με έναν κύριο κόμβο να συνδέεται μέσω Ethernet με το LAN και να επικοινωνεί ασύρματα με άλλους σταθμούς.
- Για διασύνδεση LAN σε διαφορετικά κτίρια, συνήθως με συνδέσεις από σημείο σε σημείο μεταξύ γεφυρών ή δρομολογητών των επιμέρους LAN.
- Για παροδική ασύρματη ζεύξη μεταξύ LAN και κινητού τερματικού.
- Για δικτύωση ad hoc/ αδόμητη – ασύρματα δίκτυα ομότιμων κόμβων και αυθαίρετα μεταβαλλόμενης τοπολογίας τα οποία δεν απαιτούν καμία προϋπάρχουσα υποδομή και δημιουργούνται δυναμικά με κόμβους να προστίθενται αυτομάτως στο δίκτυο όταν βρίσκονται εντός της εμβέλειάς του.

Ασύρματα μητροπολιτικά και ευρείας περιοχής δίκτυα

Μία δυνατότητα για ένα μητροπολιτικό δίκτυο είναι να πρόκειται για δορυφορικό ή επίγειο ασύρματο σύστημα. Κάθε δρομολογητής διαθέτει μια κεραία μέσω της οποίας μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει. Όλοι οι δρομολογητές μπορούν να «ακούσουν» την έξοδο από τον δορυφόρο και σε μερικές περιπτώσεις ακόμη και τις μεταδόσεις γειτονικών δρομολογητών προς

τον δορυφόρο. Μερικές φορές, οι δρομολογητές συνδέονται σε υποδίκτυο σημείου προς σημείο, με μερικούς από αυτούς να διαθέτουν δορυφορική κεραία. Τα δορυφορικά δίκτυα είναι από τη φύση τους δίκτυα εκπομπής και είναι πολύ χρήσιμα όταν η ιδιότητα εκπομπής καθίσταται σημαντική.

Στα περισσότερα δίκτυα ευρείας περιοχής, το δίκτυο συμπεριλαμβάνει τηλεφωνικές γραμμές, καθεμία από τις οποίες συνδέει δύο δρομολογητές.

1.5 Εξέλιξη του δικτύου

1.5.1 Δεκαετία του 60: Η εκκίνηση

Το σημερινό Internet αποτελεί εξέλιξη του ARPANET, ενός δικτύου που άρχισε να αναπτύσσεται πειραματικά στα τέλη της δεκαετίας του 60 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στα πανεπιστήμια των ΗΠΑ οι ερευνητές ξεκινούν να πειραματίζονται με τη διασύνδεση απομακρυσμένων υπολογιστών μεταξύ τους. Το δίκτυο ARPANET γεννιέται το 1969 με πόρους του προγράμματος ARPA (Advanced Research Project Agency) του Υπουργείου Άμυνας, με σκοπό να συνδέσει το Υπουργείο με στρατιωτικούς ερευνητικούς οργανισμούς και να αποτελέσει ένα πείραμα για τη μελέτη της αξιόπιστης λειτουργίας των δικτύων. Στην αρχική του μορφή, το πρόγραμμα απέβλεπε στον πειραματισμό με μια νέα τεχνολογία γνωστή σαν μεταγωγή πακέτων (packet switching), σύμφωνα με την οποία τα προς μετάδοση δεδομένα κόβονται σε πακέτα και πολλοί χρήστες μπορούν να μοιραστούν την ίδια επικοινωνιακή γραμμή.

Στόχος ήταν η δημιουργία ενός διαδικτύου που θα εξασφάλιζε την επικοινωνία μεταξύ απομακρυσμένων δικτύων, έστω και αν κάποια από τα ενδιάμεσα συστήματα βρίσκονταν προσωρινά εκτός λειτουργίας. Κάθε πακέτο θα είχε την πληροφορία που χρειαζόνταν για να φτάσει στον προορισμό του, όπου και θα γινόταν η επανασύνθεσή του σε δεδομένα τα οποία μπορούσε να χρησιμοποιήσει ο τελικός χρήστης. Το παραπάνω σύστημα θα επέτρεπε σε υπολογιστές να μοιράζονται δεδομένα και σε ερευνητές να υλοποιήσουν το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο.

1.5.2 Δεκαετία του 70: Οι πρώτες συνδέσεις

Το 1973, ξεκινά ένα νέο ερευνητικό πρόγραμμα που ονομάζεται Interneting Project (Πρόγραμμα Διαδικτύωσης) προκειμένου να ξεπεραστούν οι διαφορετικοί τρόποι που χρησιμοποιεί κάθε δίκτυο για να διακινεί τα δεδομένα του. Στόχος είναι η διασύνδεση πιθανώς ανόμοιων δικτύων και η ομοιόμορφη διακίνηση δεδομένων από το ένα δίκτυο στο άλλο. Από την έρευνα γεννιέται μια νέα τεχνική, το Internet Protocol (IP) (Πρωτόκολλο Διαδικτύωσης), από την οποία θα πάρει αργότερα το όνομά του το Internet. Διαφορετικά δίκτυα που χρησιμοποιούν το κοινό πρωτόκολλο IP μπορούν να συνδέονται και να αποτελούν ένα διαδίκτυο. Σε ένα δίκτυο IP όλοι οι υπολογιστές είναι ισοδύναμοι, οπότε τελικά οποιοσδήποτε υπολογιστής του διαδικτύου μπορεί να επικοινωνεί με οποιονδήποτε άλλον. Επίσης, σχεδιάζεται μια άλλη τεχνική για τον έλεγχο της μετάδοσης των δεδομένων, το Transmission Control Protocol (TCP) (Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης). Ορίζονται προδιαγραφές για τη μεταφορά αρχείων μεταξύ υπολογιστών (FTP) και για το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (E-mail). Σταδιακά συνδέονται με το ARPANET ιδρύματα από άλλες χώρες, με πρώτα το University College of London (Αγγλία) και το Royal Radar Establishment (Νορβηγία).

1.5.3 Δεκαετία του 80: Ένα παγκόσμιο δίκτυο για την ακαδημαϊκή κοινότητα

Το 1983, το πρωτόκολλο TCP/IP (δηλ. ο συνδυασμός των TCP και IP) αναγνωρίζεται ως πρότυπο από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ. Η έκδοση του λειτουργικού συστήματος Berkeley UNIX το οποίο περιλαμβάνει το TCP/IP συντελεί στη γρήγορη εξάπλωση της διαδικτύωσης των υπολογιστών. Εκατοντάδες Πανεπιστήμια συνδέουν τους υπολογιστές τους στο ARPANET, το οποίο επιβαρύνεται πολύ και το 1983, χωρίζεται σε δύο τμήματα: στο MILNET (για στρατιωτικές επικοινωνίες) και στο νέο ARPANET (για χρήση αποκλειστικά από την πανεπιστημιακή κοινότητα και συνέχιση της έρευνας στη δικτύωση). Το 1985, το National Science Foundation (NSF) δημιουργεί ένα δικό του γρήγορο δίκτυο, το **NSFNET** χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο TCP/IP, προκειμένου να συνδέσει πέντε κέντρα υπερ-υπολογιστών μεταξύ

τους και με την υπόλοιπη επιστημονική κοινότητα. Στα τέλη της δεκαετίας του '80, όλο και περισσότερες χώρες συνδέονται στο NSFNET (Καναδάς, Γαλλία, Σουηδία, Αυστραλία, Γερμανία, Ιταλία, κ.α.). Χιλιάδες πανεπιστήμια και οργανισμοί δημιουργούν τα δικά τους δίκτυα και τα συνδέουν πάνω στο παγκόσμιο αυτό δίκτυο το οποίο αρχίζει να γίνεται γνωστό σαν INTERNET και να εξαπλώνεται με τρομερούς ρυθμούς σε ολόκληρο τον κόσμο. Το 1990, το ARPANET πλέον καταργείται.

1.5.4 Δεκαετία του 90: Ένα παγκόσμιο δίκτυο για όλους

Όλο και περισσότερες χώρες συνδέονται στο NSFNET, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα το 1990. Το 1993, το εργαστήριο CERN στην Ελβετία παρουσιάζει τον Παγκόσμιο Ιστό (www - World Wide Web) που αναπτύχθηκε από τον Tim Berners-Lee. Πρόκειται για ένα σύστημα διασύνδεσης πληροφοριών σε μορφή πολυμέσων (multimedia) που βρίσκονται αποθηκευμένες σε χιλιάδες υπολογιστές του Internet σε ολόκληρο τον κόσμο και παρουσιάσής τους σε ηλεκτρονικές σελίδες, στις οποίες μπορεί να περιηγηθεί κανείς χρησιμοποιώντας το ποντίκι. Το γραφικό αυτό περιβάλλον έκανε την εξερεύνηση του Internet προσιτή στον απλό χρήστη. Παράλληλα, εμφανίζονται στο Internet διάφορα εμπορικά δίκτυα που ανήκουν σε εταιρίες παροχής υπηρεσιών Internet (Internet Service Providers - ISP) και προσφέρουν πρόσβαση στο Internet για όλους. Οποιοσδήποτε διαθέτει PC και modem μπορεί να συνδεθεί με το Internet σε τιμές που μειώνονται διαρκώς. Το 1995, το NSFNET καταργείται πλέον επίσημα και το φορτίο του μεταφέρεται σε εμπορικά δίκτυα.

1.6 Εφαρμογές πραγματικού χρόνου

Η εξέλιξη που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη και βελτίωση των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι ραγδαία. Οι δυνατότητες και οι επιδόσεις των υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία μάλιστα είναι προσιτά στο ευρύ κοινό, αυξάνονται με ολοένα και μεγαλύτερο ρυθμό. Πρόοδος επίσης παρατηρείται και στον τομέα της διασύνδεσης των υπολογιστικών συστημάτων. Αναπτύσσονται τοπικά δίκτυα υψηλών

ταχυτήτων, όπως επίσης και γραμμές διασύνδεσης απομακρυσμένων δικτύων πολύ μεγάλης χωρητικότητας.

Η ανάπτυξη αυτή δίνει το περιθώριο για τη δημιουργία μιας πληθώρας εφαρμογών, που χρησιμοποιούν και εκμεταλλεύονται αυτές τις δυνατότητες. Στην παρούσα μελέτη επικεντρώνουμε σε ένα μικρό υποσύνολο εφαρμογών αυτές που έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό τους τη μετάδοση και λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που ανήκουν στην παραπάνω κατηγορία. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών πραγματικού χρόνου είναι:

- η τηλεδιάσκεψη με χρήση ήχου, video και διαμοιραζόμενων εγγράφων με συμμετέχοντες δύο ή περισσότερα άτομα,
- η παρακολούθηση επιλεγμένου video από video server,
- η υπηρεσία τηλεϊατρικής από την τηλεδιάγνωση έως την τηλεχειρουργική,
- η διαδικασία συγχρονισμού μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων και
- συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου συστημάτων.

Οι μέχρι σήμερα κλασσικές υπηρεσίες στο Internet, όπως για παράδειγμα το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-Mail), ο παγκόσμιος ιστός πληροφοριών (www) και η μεταφορά αρχείων (File-Transfer), θέτουν σαν σημεία προς αντιμετώπιση τη χωρητικότητα του χρησιμοποιούμενου δικτύου, τη συνολική καθυστέρηση και την αξιοπιστία του. Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου αντιμετωπίζουν διαφορετικά ζητήματα, κατά κύριο λόγο χρονισμού και πιο συγκεκριμένα ρυθμού μετάδοσης και λήψης δεδομένων, καθώς επίσης της μέγιστης καθυστέρησης μετάδοσης δεδομένων από άκρο σε άκρο. Τα θέματα της αξιόπιστης μετάδοσης δεδομένων έρχονται σε δεύτερη μοίρα και αποκτούν μεγάλη σημασία μόνο σε ιδιαίτερα απαιτητικές, βιομηχανικές συνθήκες εφαρμογές.

Από τη στιγμή που εφαρμογές πραγματικού χρόνου χρησιμοποιούν το Internet για τη μετάδοση δεδομένων, αποκτούν στη συμπεριφορά τους στοιχεία που χαρακτηρίζει τη μετάδοση σε δίκτυα IP. Το πιο σημαντικό από

αυτά είναι η διαρκώς μεταβαλλόμενη απόδοση του δικτύου, η οποία εξαρτάται από τον εκάστοτε φόρτο του.

Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου διαχωρίζονται σε αυστηρές-απαιτητικές (hard) και σε ελαστικές (soft), ανάλογα με την ανοχή τους σε απώλειες δεδομένων ή μεγάλες διακυμάνσεις καθυστέρησης μετάδοσης. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν εφαρμογές παρακολούθησης και ελέγχου συστημάτων ή ακόμα τηλεϊατρικής και τηλεχειρουργικής, στις οποίες δεν υπάρχουν περιθώρια για μεγάλες καθυστερήσεις μετάδοσης ή αλλοιώσεις πακέτων, ενώ στη δεύτερη εφαρμογές τηλεδιάσκεψης ή παρακολούθησης video από video server.

Οι εφαρμογές διαφοροποιούνται επίσης και στη φύση των δεδομένων που μεταδίδουν. Υπάρχουν λοιπόν υπηρεσίες που μεταδίδουν ψηφιακά δεδομένα και άλλες που χρειάζεται να ψηφιοποιούν αναλογικά δεδομένα ή συνεχή μέσα-ροές (π.χ. ήχο ή video). Καμία από τις παραπάνω κατηγορίες δε συνεπάγεται και συγκεκριμένο τρόπο στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ή στο μέγεθος των πακέτων που μεταδίδονται κάθε φορά.

Κεφάλαιο 2 - Ποιότητα υπηρεσιών (QoS)

2.1 Εισαγωγή

Η **ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service - QoS)** αναφέρεται στην «ικανότητα του δικτύου να εγγυηθεί την κατάλληλη απόδοση ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις μιας εφαρμογής». Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί πολυσύνθετη, αφού λαμβάνει τελείως διαφορετικές διαστάσεις ανάλογα με την εφαρμογή η οποία μας ενδιαφέρει. Οι εφαρμογές IP πραγματικού χρόνου, όπως η βιντεοδιάσκεψη (videoconference) και το VoIP είναι πολύ πιο ευαίσθητες στην QoS του δικτύου σε σχέση με τις εφαρμογές αποθήκευσης και προώθησης όπως π.χ. το e-mail ή η μεταφορά αρχείων. Γενικός στόχος είναι να μην χάνονται σημαντικά κομμάτια πληροφορίας (ήχου ή βίντεο), ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να φτάνουν στον παραλήπτη τους σε περιορισμένο χρόνο.

Στα πρόσφατα χρόνια έχει εμφανιστεί ένας αριθμός νέων καταναμημένων εφαρμογών, όπως απομακρυσμένο video, πολυμεσική διάσκεψη, συγχώνευση δεδομένων (data fusion), οπτικοποίηση (visualization) και εικονική πραγματικότητα. Η ανάπτυξη από υπηρεσίες data – oriented σε πολυμεσικές π.χ. από μη πραγματικού χρόνου σε πραγματικού χρόνου, απαιτεί εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσιών αντί καλύτερης προσπάθειας παράδοσης (best effort delivery).

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ποιότητας υπηρεσίας:

Δέσμευση πόρων (μοντέλο ενοποιημένων υπηρεσιών): οι δικτυακοί πόροι διανέμονται σύμφωνα με το αίτημα ποιότητας υπηρεσίας μιας εφαρμογής, και «υπακούουν» στην πολιτική διαχείρισης του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Προτεραιότητα (μοντέλο διαφοροποιημένων υπηρεσιών): η τηλεπικοινωνιακή κίνηση είναι ταξινομημένη και οι δικτυακοί πόροι έχουν διανεμηθεί σύμφωνα με τα κριτήρια της πολιτικής διαχείρισης εύρους ζώνης. Για να υποστηρίξουν

την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας, τα στοιχεία του δικτύου δίνουν προνομιακή μεταχείριση στις κλάσεις με τις πιο αυστηρές απαιτήσεις.

2.2 Ορισμοί

Υπάρχουν πολύ τρόποι για να χαρακτηριστεί η QoS. Γενικά ποιότητα υπηρεσίας είναι η δυνατότητα ενός δικτυακού στοιχείου (π.χ. μια εφαρμογή, ένας υπολογιστής ή ένας δρομολογητής) να παράσχει κάποιο επίπεδο διαβεβαίωσης για τη συνεπή παράδοση των δεδομένων.

Ο βασικός ορισμός της ποιότητας υπηρεσιών έχει δοθεί από την διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών (ITU): *«Η συνολική εικόνα της επίδοσης μιας υπηρεσίας που καθορίζει το επίπεδο ικανοποίησης του χρήστη.»*

Ο ορισμός αυτός εστιάζει στην αντίληψη του χρήστη, κάτι που είναι θεμελιώδους σημασίας για την ποιότητα υπηρεσιών. Ο χρόνος σύνδεσης στο δίκτυο είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας, σε μια έρευνα ποιότητας υπηρεσιών, διαπίστωσαν ότι μια μείωση του χρόνου σύνδεσης (κάτι που θα σήμαινε αντικατάσταση ενός μεγάλου μέρους του δικτύου με μεγάλη οικονομική επιβάρυνση) δεν θα βελτίωνε την ποιότητα υπηρεσιών, αφού οι χρήστες είχαν ήδη συνηθίσει στον απαιτούμενο χρόνο. Η εισαγωγή της υποκειμενικής εκτίμησης ορίζει την ποιότητα υπηρεσιών ως χαλαρό σύστημα (soft system), δηλαδή ένα σύστημα που δεν μπορεί να οριστεί σαφώς με τεχνικές παραμέτρους. Στην πράξη τα συστήματα αυτά αντιμετωπίζονται με μετρήσεις και ερωτηματολόγια και γίνεται χρήση δεικτών, οι οποίοι συνήθως αποκρύπτουν ένα κομμάτι της πληροφορίας.

Μια οργάνωση που ασχολείται αποκλειστικά με την ποιότητα υπηρεσιών είναι το QoS Forum, σύμφωνα με το οποίο ο στόχος της ποιότητας υπηρεσιών είναι: *«Να παρέχει εγγυήσεις για την ικανότητα ενός δικτύου να προσφέρει προβλεπόμενα αποτελέσματα.»*

Στον ορισμό αυτό δίνεται έμφαση στην εγγύηση ποιότητας, που στην αγορά εκφράζεται μέσω των συμβολαίων ποιότητας (Service Level Agreement - SLA). Η εγγύηση για λειτουργία σε ορισμένα επίπεδα ποιότητας αποκτά

ιδιαίτερη σημασία στο απρόβλεπτο ασύρματο κανάλι. Για το λόγο αυτό, η προσπάθεια να επιτευχθεί σταθερή ποιότητα στα ασύρματα δίκτυα έδωσε έναν ακόμα ορισμό της ποιότητας υπηρεσιών:

«Η προσπάθεια να προσφερθεί εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών σε ένα δίκτυο με αναξιόπιστο υπόβαθρο.»

Η εγκυκλοπαίδεια των ασύρματων επικοινωνιών, αναφέρεται στην ποιότητα υπηρεσιών ως:

«Ένα κατώφλι ή μια σειρά από κατώφλια, που καθορίζουν το επίπεδο υπηρεσίας που προσφέρεται από τον πάροχο υπηρεσίας.»

Ενώ η εταιρεία κατασκευής τηλεπικοινωνιακών δικτύων Cisco© χρησιμοποιεί τον ορισμό:

«Η Ποιότητα Υπηρεσίας αναφέρεται στην ικανότητα ενός δικτύου να προσφέρει καλύτερη εξυπηρέτηση στη δεδομένη ζήτηση, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες.»

Ποιότητα υπηρεσιών (QoS): *Είναι ένα μέτρο του πόσο καλά συμπεριφέρεται το δίκτυο και μια προσπάθεια να καθορίσουμε τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες συγκεκριμένων υπηρεσιών.*

Οι παραπάνω ορισμοί συνυπάρχουν μαζί με άλλους, με αποτέλεσμα η έννοια της ποιότητας υπηρεσιών να παραμένει ομιχλώδης. Η αλήθεια είναι ότι η έκφραση «Ποιότητα Υπηρεσιών» ταυτίζεται με παραπάνω από μία έννοιες.

2.3 Περιγραφή

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι πολλοί είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα υπηρεσίας σε ένα δίκτυο. Ανάλογα με το είδος της μεταδιδόμενης πληροφορίας, τη σπουδαιότητά της, τον αποστολέα-παραλήπτη αλλά και με της παράγοντες η ποιότητα υπηρεσίας διαφέρει. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικότερα κάποιοι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν το QoS σε πολυμέσα πραγματικού χρόνου:

- **Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (end-to-end latency):** Αναφέρεται στο συνολικό χρόνο μετάδοσης που κάνει ένα πακέτο σε μια ροή δεδομένων για να φτάσει στο απομακρυσμένο τελικό σημείο. Το άνω όριο της καθυστέρησης για πακέτα ήχου και βίντεο δεν πρέπει να ξεπερνά τα 150ms (μπορεί να επεκταθεί στα 200-250ms για εφαρμογές που αναπτύσσονται από απλούς χρήστες του δικτύου και όχι από μεγάλους τηλεπικοινωνιακούς φορείς). Το μέσο μέγεθος για τα πακέτα βίντεο είναι συνήθως μεγάλο (800-1500 bytes) ενώ τα πακέτα ήχου είναι γενικά μικρά (480 bytes ή λιγότερα). Αυτό σημαίνει ότι η μέση καθυστέρηση για ένα πακέτο ήχου είναι συνήθως μικρότερη από αυτή της πακέτου βίντεο, αφού συνήθως οι δρομολογητές δίνουν προτεραιότητα στα μικρά πακέτα έναντι των μεγάλων όταν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο.
- **Jitter:** Είναι η τυπική απόκλιση των καθυστερήσεων των πακέτων σε μια συγκεκριμένη ροή δεδομένων και δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20-50ms. Με άλλα λόγια οι χρονικές διαφορές μεταξύ των αφίξεων των πακέτων ήχου ή βίντεο στο δέκτη θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν σταθερές. Για παράδειγμα αν στην πλευρά του δέκτη αναπαράγεται μία ηχητική κυματομορφή με μη σταθερό ρυθμό, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να λαμβάνουμε ήχο που «κολλάει» και δε γίνεται εύκολα ή και καθόλου αντιληπτός.
- **Καθυστέρηση μεταξύ των ροών (Inter-stream latency):** Αναφέρεται της σχετικές καθυστερήσεις που μπορούν να εμφανιστούν μεταξύ των ροών ήχου και βίντεο και βασίζεται στο πόσο οι σχετικοί μέσοι χρόνοι μετάδοσης μεταξύ των ροών διαφέρουν μεταξύ της. Έτσι, όταν μία ροή ήχου προηγείται κατά περισσότερο από 30ms της αντίστοιχής της ροής βίντεο, ο μέσος άνθρωπος καταλαβαίνει ότι υπάρχει πρόβλημα συγχρονισμού. Όταν η ροή ήχου έπεται, το πρόβλημα γίνεται αντιληπτό όταν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από 40ms.
- **Απώλεια πακέτων (packet loss):** Αναφέρεται στο ποσοστό επί τοις εκατό των πακέτων που δεν φτάνουν στον προορισμό της ή φτάνουν πολύ καθυστερημένα για διάφορους λόγους. Τα χαμένα πακέτα

υποβαθμίζουν την ποιότητα του ήχου και του βίντεο. Το βίντεο φαίνεται να χάνει καρέ και η κίνηση να μην είναι ομαλή, ενώ ο ήχος παρουσιάζει κενά και διαλείψεις. Το ποσοστό των χαμένων πακέτων δε θα πρέπει να ξεπερνά το 3-5%.

- **Εύρος ζώνης (bandwidth):** είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να διατηρηθεί μεταξύ δύο σημείων του δικτύου. Ο παράγοντας της περιορίζεται τόσο από τη φυσική διαμόρφωση του μονοπατιού κίνησης των δεδομένων (που επιφέρει ένα άνω όριο στο διαθέσιμο εύρος ζώνης) όσο και από τον αριθμό των μονοπατιών που μοιράζονται τον ίδιο σύνδεσμο του φυσικού μέσου με κάθε τμήμα του συγκεκριμένου μονοπατιού.
- **Αξιοπιστία (Reliability):** αναφέρεται ως ένα από τα χαρακτηριστικά της συστήματος μετάδοσης και μετράει τον μέσο ρυθμό λαθών που οφείλονται στο μέσο μετάδοσης. Η αξιοπιστία μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα αποτέλεσμα της λάθος ρύθμισης ή της χαμηλής απόδοσης του switching του συστήματος, οπότε η σειρά των μεταδιδόμενων πακέτων μπορεί να αλλοιωθεί εφόσον η άφιξη των πακέτων στον δέκτη γίνεται με άλλη σειρά από αυτή που μεταδόθηκαν αρχικά από τον αποστολέα ή κάποια πακέτα απορρίπτονται λόγω προσωρινών loops. Μη αξιόπιστα ή επιρρεπή σε λάθη μονοπάτια μετάδοσης σε ένα δίκτυο επιφέρουν την επαναμετάδοση των χαμένων πακέτων.

Κανένα πρωτόκολλο του VoIP, ούτε το RTP παρέχουν εγγυήσεις για την ποιότητα υπηρεσιών.

Traffic Class	QoS Metrics						
	Timeliness			Preciseness			Accuracy
	Response time Expected by Users	Delay (ms)	Jitter (ms)	Data Rate (bps)	Required Bandwidth (bps)	Loss Rate	Error Rate
Audio Broadcasting	2-5 Seconds	<150	<100	56-64K	60-80K	<0.1%	<0.1%

Video Broadcasting	2-5 Seconds Lip-synch: <100ms	<150	<100				
Interactive Video on Demand	Response to Interactive function: 2-5 Seconds Lip-synch: <100ms				Local: 1.5M (typical application) Backbone: hundreds of mega		
Video Conferencing	Lip-synch: <100ms	<150	<400			<0.01%	<0.01%

Εικόνα 2.1: Χαρακτηριστικά μετάδοσης για video και ήχο

2.4 Απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών

Η αναγκαιότητα της ποιότητας υπηρεσιών στη μελέτη των δικτύων εμφανίστηκε όταν χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων ως φορείς της υπηρεσίας φωνής. Τότε έγινε αντιληπτή η ανάγκη ρύθμισης των εσωτερικών χαρακτηριστικών κάθε δικτύου, με σκοπό τη βελτίωση της τελικής προσφερόμενης ποιότητας στο χρήστη. Ιδιαίτερα στα ασύρματα δίκτυα, όπου το απρόβλεπτο στη συμπεριφορά ασύρματο κανάλι προκαλεί μεγάλες διακυμάνσεις στην προσφερόμενη ποιότητα. Η ποιότητα υπηρεσιών είναι από τα σημαντικότερα αντικείμενα μελέτης των σύγχρονων και μελλοντικών δικτύων.

Οι απαιτήσεις για QoS στην περίπτωση των μέσων πραγματικού χρόνου είναι κατά βάση οι παρακάτω:

- Μικρή συνολική καθυστέρηση από άκρο-σε-άκρο
- Μικρή διακύμανση στους χρόνους αφίξεων των πακέτων στο δέκτη
- Μικρή απώλεια πακέτων κατά τη μετάδοση και λήψη τους

- Μικρή παραμόρφωση του λαμβανόμενου σήματος σε σχέση με το αρχικό.

Το θέμα είναι ότι οι παραπάνω απαιτήσεις είναι μεταξύ τους «ανταγωνιστικές». Δηλαδή, στην προσπάθεια ικανοποίησης της μίας από αυτές, οι υπόλοιπες «αδικούνται». Συνεπώς, ο μηχανικός ή ο σχεδιαστής του συστήματος πρέπει να κάνει ένα «συμβιβασμό» ή «εξισορρόπηση» (trade-off) μεταξύ των απαιτήσεων και να προσδιορίσει τη βέλτιστη λύση που θα παρέχει την υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών. Η εύρεση της βέλτιστης λύσης δεν είναι καθόλου απλή υπόθεση και απαιτεί αρκετή προσπάθεια και πειραματισμό. Επιπλέον, για την αξιολόγηση του τελικού αποτελέσματος υπάρχουν κάποια αντικειμενικά αλλά και αρκετά υποκειμενικά κριτήρια. Έτσι, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ενώ υπάρχει κάποια μεθοδολογία για την παροχή ικανοποιητικής ποιότητας υπηρεσιών για το μέσο άνθρωπο, ο προσδιορισμός του βέλτιστου αποτελέσματος δεν είναι εύκολα εφικτός.

Όσον αφορά το διαδίκτυο, οι απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών είναι οι παρακάτω:

- Να εξυπηρετεί προηγμένες εφαρμογές
- Να μπορεί να εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα και να είναι κλιμακούμενη
- Να είναι εύκολη η διαχείριση των δικτύων που θα προκύψει
- Να είναι δυνατή η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών υλοποιήσεων τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού όσο και στο επίπεδο δικτύων
- Να μπορεί να υποστηριχθεί από διαφορετικά λειτουργικά συστήματα και middleware.

2.5 Μέθοδοι

Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ποιότητας υπηρεσιών σε συστήματα και εφαρμογές πραγματικού χρόνου, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής:

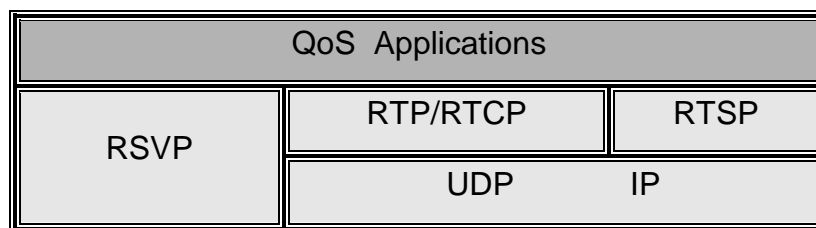
- Δέσμευση πόρων του δικτύου
- Εξοικονόμηση εύρους ζώνης (bandwidth)
- Εύρεση βέλτιστου αλγορίθμου αναπαραγωγής στην πλευρά του δέκτη.

Για τη δέσμευση πόρων του δικτύου υπάρχουν πολλές προτάσεις όπως για παράδειγμα παραχώρηση προτεραιότητας σε πακέτα RTP, διασπορά των πακέτων RTP από πολλαπλές διαδρομές κ.ά.. Η δέσμευση δικτυακών πόρων, όμως, παρόλο που μάλλον είναι η καλύτερη εγγύηση για ποιοτικές υπηρεσίες, προαπαιτεί είτε κάποιο ιδιοκτησιακό καθεστώς για τους πόρους του δικτύου, είτε κάποια σύμβαση με τον ιδιοκτήτη κάποιων πόρων του.

Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα που θα πρέπει να αναλυθούν είναι αυτό της παροχής του απαραίτητου bandwidth για την ικανοποίηση των επικοινωνιακών αναγκών. Υπάρχουν τέσσερα βασικά πρωτόκολλα (τα οποία αναλύονται διεξοδικά στα επόμενα κεφάλαια) που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο υποστηρίζονται υπηρεσίες πραγματικού χρόνου πάνω από το IP:

- Real-Time Transport Protocol (RTP),
- Real-Time Control protocol (RTCP),
- Resource reSerVation Protocol (RSVP),
- Real-Time Streaming Protocol (RTSP).

Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζεται η δομή της ποιότητας υπηρεσιών με τα τέσσερα βασικά πρωτόκολλα:



Εικόνα 2.2: Δομή ποιότητας υπηρεσιών.

Κεφάλαιο 3 – Πολυμέσα στο δίκτυο

3.1 Τι είναι τα multimedia

Τα πολυμέσα (multimedia) είναι πιθανόν ένας από τους πιο χρησιμοποιημένους όρους της δεκαετίας του ενενήντα. Το πεδίο είναι μία διασταύρωση από πέντε σημαντικές βιομηχανίες: της πληροφορικής, των τηλεπικοινωνιών, των ηλεκτρονικών εκδόσεων, της βιομηχανίας ήχου και βίντεο καθώς και της βιομηχανίας της τηλεόρασης και του κινηματογράφου. Η εμφάνιση στην δεκαετία του εβδομήντα ενός τεχνολογικού πεδίου, της δικτύωσης υπολογιστών, οδήγησε στην πρώτη φάση της ενεργής συνεργασίας μεταξύ του υπολογισμού και των τηλεπικοινωνιών.

Τα πολυμέσα δεν έφεραν μόνο τρεις νέες βιομηχανίες στο χώρο αλλά πρόσθεσαν και μία νέα διάσταση στη δυναμική αγορά: όσο η δικτύωση υπολογιστών στοχεύει ουσιαστικά σε μία επαγγελματική αγορά, τα πολυμέσα αφορούν και εμπορικούς και καταναλωτικούς τομείς. Έτσι, η σύνθεση της αγοράς τηλεπικοινωνιών δεν είναι μόνο επαγγελματικά και βιομηχανικά δίκτυα ή υψηλής ταχύτητας μισθωμένα κυκλώματα ή συνεταιρικά δίκτυα δεδομένων, αλλά καλύπτει επίσης και την πρότυπη τηλεφωνία ή χαμηλής ταχύτητας *Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες Ψηφιακών Δικτύων (Integrated Services Digital Networks , N-ISDN)*. Ομοίως, δεν εμπλέκεται μόνο η επαγγελματική αγορά βίντεο και ήχου, αλλά και η αντίστοιχη καταναλωτική όπως και η σχετική τηλεόραση, οι κινηματογραφικές ταινίες, και ο τομέας εκπομπής.

Έτσι τελικά, δεν είναι έκπληξη ότι τα πολυμέσα βρίσκουν δυσκολίες στο να αποφύγουν ασάφειες στο σκοπό, την πολλαπλότητα των ορισμών και στην ασταθή ορολογία, για να καθιερωθούν.

Όταν στις αρχές της δεκαετίας του ενενήντα οι επαγγελματίες αναρωτιόνταν τι είναι τα πολυμέσα, οι περισσότεροι έπρεπε να παραδεχτούν τη δυσκολία να δώσουν κάποιο ορισμό. Επαγγελματικά περιοδικά συχνά αναγνωρίζουν την ασάφειά τους: «*Τα πολυμέσα είναι εξ ορισμού απροσδιόριστα*» ή «*αν ρωτήσεις 10 διαφορετικά άτομα να σου δώσουν ένα ορισμό για τα πολυμέσα, τότε σίγουρα θα πάρεις 10 διαφορετικές απαντήσεις*»

αναφέρει ο G.R. Wichman το Δεκέμβριο του 1991 (Wichman. 1991). Με την εφαρμογή σε εξειδικευμένα περιβάλλοντα, η δυσκολία στον ορισμό τους παραμένει: «Στο χώρο εργασίας η έννοια είναι θολή», αναφέρει ο A.Speed (Speed, 1991).

Ένας ορισμός που μπορούμε να δώσουμε αναλογιζόμενοι τον τρόπο χρήσης των όρων “multi” και “media” είναι ο εξής:

Πολυμέσα στον χώρο της τεχνολογίας πληροφορίας (information field) σημαίνει “πολλαπλοί μεσολαβητές” μεταξύ της πηγής και του παραλήπτη της πληροφορίας ή “πολλαπλά μέσα” μέσω των οποίων η πληροφορία αποθηκεύεται, μεταδίδεται, παρουσιάζεται ή γίνεται αντιληπτή..

Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, ένα σύστημα που συνδυάζει, για παράδειγμα, τον έλεγχο βιντεοκασέτας και οπτικών μέσων αποθήκευσης μπορεί να χαρακτηριστεί ως σύστημα πολυμέσων. Επίσης συστήματα πολυμέσων θα είναι η εφημερίδα, που συνδυάζει κείμενο και εικόνα, και η τηλεόραση, που συνδυάζει ήχο και κινούμενη εικόνα. Εδώ δεν αναφερόμαστε σε τόσο ευρύ φάσμα συστημάτων. Περιοριζόμαστε σε αυτά στα οποία η πληροφορία είναι ψηφιακή (ή ψηφιοποιημένα - digitized) και ελέγχεται από υπολογιστή. Ενδιαφερόμαστε δηλαδή για ψηφιακά πολυμέσα τα οποία και ορίζουμε ως εξής:

Ψηφιακά πολυμέσα είναι ο τομέας που ασχολείται με την ελεγχόμενη από υπολογιστή ολοκλήρωση κειμένου, γραφικών, ακίνητης και κινούμενης εικόνας, animation, ήχου, και οποιοδήποτε άλλου μέσου ψηφιακής αναπαράστασης, αποθήκευσης, μετάδοσης και επεξεργασίας της πληροφορίας

3.1.1 Η ανάγκη για χειρισμό πολύπλοκων τύπων δεδομένων

Τα αντικείμενα πολυμέσων επιβάλλουν αρκετές λειτουργικές απαιτήσεις στην υποδομή της επεξεργασίας δεδομένων σαν αποτέλεσμα της ανάγκης για χειρισμό πολύ μεγάλων και πολύπλοκων τύπων δεδομένων. Αυτά παρουσιάζουν ειδικά θέματα αναπαράστασης, παραποίησης, διαχείρισης και αποθήκευσης δεδομένων. Το παλαιάς τεχνολογίας υλικό και λογισμικό και τα συστήματα πελάτη-εξυπηρετητή (server-client) σήμερα δεν είναι σχεδιασμένα για να χειρίζονται μαζικούς τύπους multimedia δεδομένων και πρέπει να

εμπλουτιστούν με επιπρόσθετο υλικό και λογισμικό ή να αντικατασταθούν με νέες συσκευές με ενσωματωμένες multimedia δυνατότητες.

Η μετάδοση και αποθήκευση τέτοιων συμπαγών και μη δομημένων δεδομένων, ειδικά σε δικτυωμένες εφαρμογές πολλών χρηστών, μπορούν να δημιουργήσουν ταινίες ασφαλείας σε πολλά υπάρχοντα συστήματα των οποίων η χωρητικότητα του εύρους ζώνης είναι συχνά ανεπαρκής να χειρίζεται εντάσεις οι οποίες συχνά λειτουργούν σε mode πραγματικού χρόνου.

Σαν αποτέλεσμα, υπάρχει ανάγκη για hardware και software λύσεις οι οποίες πρέπει να περιέχουν χαρακτηριστικά για χειρισμό μετάδοσης και αποθήκευσης συμπαγών multimedia δεδομένων χωρίς να βλάπτουν την απόδοση του όλου συστήματος.

Οι interactive εφαρμογές πολυμέσων δεν μπορούν να υπάρξουν χωρίς τη συμπίεση και την αποσυμπίεση στην ανταλλαγή πολυμέσων. Το υπαρκτό υλικό και τα δίκτυα μπορεί να έχουν επαρκές εύρος ζώνης για να χειριστούν τη μετάδοση βίντεο, αλλά αυτές οι δυνατότητες μπορούν να μελετούνται μαζί με όλες τις άλλες διακινήσεις στα δίκτυα LAN και WAN τα οποία πρέπει να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα. Αυτά τα δίκτυα ραγδαία έρχονται στον κορεσμό ακόμη και χωρίς τη διακίνηση πολυμέσων καθώς ο αριθμός των χρηστών και η διακίνηση δεδομένων αυξάνεται σε σημείο που η απαίτηση χρόνου γίνεται αφόρητη.

3.1.2 Multimedia networking

Τα δίκτυα υπολογιστών σχεδιάστηκαν για να συνδέονται υπολογιστές που βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Παλιότερα, όλα τα δεδομένα που μεταφέρονταν μέσω δικτύου ήταν κείμενα (textual). Σήμερα, με την ανάπτυξη των πολυμεσικών και δικτυακών τεχνολογιών, η πολυμεσική πληροφορία έχει κυριαρχήσει στο Internet. Το animation, ο ήχος και τα video clips γίνονται όλο και πιο δημοφιλή.

Multimedia networking σημαίνει να χτίσουμε το hardware, το software και τα εργαλεία των εφαρμογών με τέτοιο τρόπο ώστε οι χρήστες να μπορούν να επικοινωνούν με πολυμεσική πληροφορία. Η μετάδοση πολυμεσικής

πληροφορίας θα μετατρέψει τον υπολογιστή σε ένα ισχυρό επικοινωνιακό εργαλείο με αποτέλεσμα να είναι πολύ πιθανό στο μέλλον τα δίκτυα αυτά να αντικαταστήσουν το τηλέφωνο, την τηλεόραση και άλλες εφευρέσεις που επηρέασαν τη ζωή του ανθρώπου.

3.1.3 Επικοινωνία πραγματικού χρόνου

Το multimedia networking δεν είναι απλή διαδικασία. Μερικά από τα προβλήματα που παρουσιάζονται είναι τα παρακάτω:

Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές εφαρμογές που υποστηρίζουν μόνο κείμενο (textual applications), οι πολυμεσικές εφαρμογές απαιτούν συνήθως πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα (bandwidth).

Οι περισσότερες πολυμεσικές εφαρμογές απαιτούν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Στη μετάδοση του ήχου και της εικόνας πρέπει να υπάρχει συνέχεια (να μη διακόπτεται η μετάδοση). Αν τα δεδομένα δε φτάνουν στην ώρα τους για να μεταδοθούν, δημιουργούνται κενά που γίνονται αντιληπτά από το χρήστη και υποβαθμίζουν την ποιότητα της (πολυμεσικής) πληροφορίας. Στη διαδικτυακή τηλεφωνία, μια καθυστέρηση μέχρι 250 ms θεωρείται ανεκτή. Αν η καθυστέρηση ξεπεράσει την τιμή αυτή, η ποιότητα της επικοινωνίας είναι χαμηλή. Ο φόρτος του δικτύου παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία πραγματικού χρόνου. Αν υπερφορτωθεί το δίκτυο τα δεδομένα πραγματικού χρόνου δε μπορούν να φτάσουν στην ώρα τους. Στην περίπτωση που ξαναστέλνονται τα πακέτα που δεν έφτασαν στον προορισμό τους, το πρόβλημα γίνεται εντονότερο, και μπορεί να οδηγήσει μέχρι και στην κατάρρευση του δικτύου.

Η ροή πολυμεσικών δεδομένων (*multimedia data stream*), είναι συνήθως καταιγιστική (bursty). Το να αυξήσουμε τη χωρητικότητα δε θα λύσει το πρόβλημα αυτό. Για τις περισσότερες πολυμεσικές εφαρμογές, ο παραλήπτης έχει ένα περιορισμένου μεγέθους buffer. Αν δε ληφθούν μέτρα για την εξομάλυνση του data stream, μπορεί να έχουμε υπερχείλιση του buffer της εφαρμογής. Όταν τα δεδομένα έρχονται πολύ γρήγορα, ο buffer μπορεί να υπερχείλισει και να χαθούν μερικά πακέτα με αποτέλεσμα να υποβαθμιστεί η

ποιότητα. Όταν πάλι τα δεδομένα έρχονται σε πολύ αργούς ρυθμούς, η εφαρμογή υπολειτουργεί και η ποιότητα είναι προφανώς χαμηλή.

Το πρόβλημα με τα δίκτυα είναι ότι συνδέουν χιλιάδες και εκατομμύρια δέκτες, έχουν περιορισμένη χωρητικότητα, καθυστερήσεις και φόρτο που δε μπορούν να προβλεφθούν.

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών είναι μία πρόκληση η οποία πρέπει να αντιμετωπιστεί με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες τόσο σε software όσο και σε hardware. Η βάση του Internet (TCP/IP και UDP/IP) παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι πολυμεσικές εφαρμογές. Γρήγορα δίκτυα (Gigabit Ethernet, FDDI, ATM) παρέχουν τις υψηλές χωρητικότητες που απαιτούνται για τη μετάδοση video και ήχου.

3.1.4 Multimedia στο Internet

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι για τη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων (μισθωμένες γραμμές, ATM). Παρόλα αυτά, η ιδέα της διακίνησης πολυμεσικής πληροφορίας μέσω του Internet είναι εξαιρετικά ελκυστική αφού, το Internet εξαπλώνεται ταχύτατα και έχει εξελιχθεί στην πλατφόρμα των περισσότερων δικτυακών δραστηριοτήτων. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για την ανάπτυξη πρωτοκόλλων για τη μετάδοση πολυμεσικής πληροφορίας πάνω από το Internet.

Σήμερα, τα πρωτόκολλα IP και Ethernet είναι τα περισσότερο διαδεδομένα για desktops και LANs, ενώ το ATM χρησιμοποιείται κυρίως στα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN).

Το Internet δεν είναι κατασκευασμένο για real time επικοινωνία και συνεπώς η μετάδοση πολυμεσικής πληροφορίας συναντάει προβλήματα που πρέπει να λυθούν:

- Η απαιτούμενη πληροφορία είναι μεγάλη σε όγκο. Συνεπώς το hardware θα πρέπει να παρέχει αρκετή χωρητικότητα.

- Συνήθως τα πολυμεσικά δεδομένα δε στέλνονται σε ένα χρήστη, αλλά σε μία ομάδα χρηστών. Στους χρήστες στέλνεται ένα data stream και όχι πολλαπλά αντίγραφα (multicast) και αυτό θα πρέπει να προβλέπεται από το πρωτόκολλο.
- Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου απαιτούν εγγυημένη χωρητικότητα κατά τη διάρκεια μετάδοσης των δεδομένων, και αυτό δεν ισχύει στο Internet. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχουν κάποιοι μηχανισμοί για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, οι οποίοι θα δεσμεύουν πόρους κατά μήκος του μονοπατιού μετάδοσης.
- Το Internet είναι ένα packet-switching datagram δίκτυο όπου τα πακέτα δρομολογούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Το γεγονός αυτό είναι δυνατό να εισαγάγει ανεπιθύμητες καθυστερήσεις. Χρειάζονται συνεπώς ειδικά πρωτόκολλα που να λαμβάνουν υπόψη τους χρονικούς περιορισμούς.
- Είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιων λειτουργιών για το χειρισμό της παρουσίασης των πολυμεσικών πληροφοριών.

Οι απαντήσεις στα παραπάνω προβλήματα είναι τα πρωτόκολλα που θα συζητηθούν στην εργασία αυτή.

3.2 Γιατί τα παραδοσιακά πρωτόκολλα μεταφοράς δεν είναι κατάλληλα για multimedia networking

Τα παραδοσιακά πρωτόκολλα μεταφοράς (TCP / UDP) έχουν σχεδιαστεί για αξιόπιστες επικοινωνίες δεδομένων σε δίκτυα με χαμηλό εύρος ζώνης και υψηλό ρυθμό σφαλμάτων. Συνεπώς δεν είναι βελτιστοποιημένα για λειτουργία σε υψηλές ταχύτητες. Το TCP, ως γνωστόν, χρησιμοποιείται για παράδειγμα από τα πρωτόκολλα HTTP ή το FTP, όπου η ακεραιότητα των αρχείων είναι απαραίτητη. Όταν ένα πακέτο χάνεται ή καταστρέφεται, επαναμεταδίδεται. Η επιβάρυνση για την εγγυημένη μεταφορά δεδομένων, όμως, επιβραδύνει το συνολικό ρυθμό μετάδοσης. Επειδή στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου η έγκαιρη παράδοση των δεδομένων είναι σαφώς πιο σημαντική από την

ακεραιότητά τους, το TCP δεν προτιμάται. Από την άλλη, το UDP είναι αναξιόπιστο πρωτόκολλο, αφού δεν εγγυάται την παράδοση των πακέτων ούτε την παράδοσή τους με την σωστή σειρά. Επίσης, δεν υποστηρίζουν QOS και multicast. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι είναι ακατάλληλα για επικοινωνίες πολυμέσων. Παρακάτω περιγράφουμε ορισμένα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων αυτών που είναι ακατάλληλα για υψηλής ταχύτητας εφαρμογές πολυμέσων.

3.2.1 Δομή των πρωτοκόλλων

Οι δύο κύριοι στόχοι των συνόλων πρωτοκόλλων OSI και TCP/IP ήταν να σπάσουν το πρόβλημα της κατασκευής δικτύου σε απλά διαχειρίσιμα στρώματα ή επίπεδα λειτουργιών και να επιτρέψουν συνεργασία ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα λειτουργικότητας των πρωτοκόλλων δικτύου. Η υψηλή απόδοση ξεκάθαρα δεν ήταν ανάμεσα στους στόχους των πρωτοκόλλων με στρώματα.

Η φύση των πρωτοκόλλων που είναι υλοποιημένα με στρώματα εισάγει μια έμφυτη συμφόρηση στην επικοινωνία. Τα ακατέργαστα δεδομένα μετακινούνται από το ένα στρώμα στο άλλο και σε κάθε στρώμα υφίστανται επεξεργασία ξανά. Στην τυπική περίπτωση αντιγράφονται σε ένα νέο χώρο διευθύνσεων στη μνήμη και ένα νέο header προστίθενται σε αυτά. Το πακέτο δεδομένων αποθηκεύεται και προωθείται από κάθε στρώμα. Αυτή η περιττή αντιγραφή συνεισφέρει στην καθυστέρηση του δικτύου. Η αντιγραφή δεδομένων είναι χρονοβόρα επειδή η προσπέλαση μνήμης είναι μια αργή διαδικασία συγκρινόμενη με την ταχύτητα της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας, και κάθε byte δεδομένων πρέπει να μετακινείται κάθε φορά που γίνεται αντιγραφή δεδομένων.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να μειώσουμε τον όγκο των δεδομένων που αντιγράφονται και να περνάμε δείκτες ανάμεσα στα στρώματα αντί να αντιγράφουμε κάθε φορά τα ίδια τα δεδομένα.

3.2.2 Πολύπλεξη

Η πολύπλεξη είναι μια λειτουργία σύμφωνα με την οποία stream πολλών εφαρμογών πολυπλέκονται με σκοπό να "περάσουν" μέσα από μια μόνο σύνδεση. Το κύριο αποτέλεσμα της πολύπλεξης είναι το γεγονός ότι οι ανώτεροι πελάτες μοιράζονται τους πόρους ενός χαμηλότερου επιπέδου. Μερικές φορές η πολύπλεξη είναι απαραίτητη, όπως στην περίπτωση που πολλές συνδέσεις μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης. Εντούτοις η πολύπλεξη σε μεγάλο αριθμό επιπέδων μειώνει την απόδοση και αυτό γιατί: Η πολύπλεξη καθώς και η αντίστροφη λειτουργία αυξάνουν την πολυπλοκότητα των πρωτοκόλλων και των υλοποιήσεών τους, καταλήγοντας τελικά να προσφέρουν χαμηλό throughput.

Οι ροές δεδομένων σε διαφορετικές συνδέσεις επηρεάζουν η μία την άλλη, προκαλώντας καθυστέρηση.

Συνδέσεις που δυσλειτουργούν δεν μπορούν να αναγνωριστούν και να αντιμετωπιστούν στο κατώτερο στρώμα, προκαλώντας έτσι καθυστέρηση στα δεδομένα άλλων συνδέσεων.

Διαφορετικές συνδέσεις με διαφορετικές QOS απαιτήσεις αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο, με αποτέλεσμα να έχουμε είτε σπατάλη πόρων είτε αδυναμία να ικανοποιήσουμε όλες τις QOS απαιτήσεις.

Η λύση σε αυτά τα προβλήματα είναι να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά threads για διαφορετικές ροές ή να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές στοίβες μεταφοράς για διαφορετικές ροές.

3.2.3 Έλεγχος ροής

Ο παραδοσιακός μηχανισμός ελέγχου ροής είναι ο έλεγχος ροής ολισθαίνοντος παραθύρου, ο οποίος επιτρέπει να μεταδοθεί ένας σταθερός αριθμός από bytes (ένα παράθυρο από bytes), χωρίς να χρειάζεται επιβεβαίωση ή βεβαίωση λήψης από τον παραλήπτη. Μετά από τη μετάδοση αυτού του σταθερού αριθμού από bytes, ο πομπός μπορεί να μεταδώσει περισσότερα δεδομένα μόνο όταν του το επιτρέψει ο παραλήπτης στέλνοντας μία βεβαίωση λήψης. Το μέγεθος παραθύρου που χρησιμοποιεί το TCP είναι 64 kbytes. Για ένα αργό δίκτυο, αυτό το μέγεθος παραθύρου θεωρείται πολύ μεγάλο. Για παράδειγμα, αν η ταχύτητα μετάδοσης είναι 64 kbps, χρειάζονται

8 δευτερόλεπτα για να μεταδοθούν 64 kbytes δεδομένων. Ο συνηθισμένος round trip χρόνος του δικτύου είναι αρκετά μικρότερος των 8 δευτερόλεπτών, οπότε πριν ο πομπός τελειώσει να μεταδίδει τα δεδομένα του τρέχοντος παραθύρου, λαμβάνει μια βεβαίωση λήψης για το αν η ενδιάμεση μνήμη (buffer) του παραλήπτη δεν είναι γεμάτη έτσι ώστε ο πομπός να μπορεί να μεταδίδει δεδομένα συνεχώς.

Για μετάδοση υψηλής ταχύτητας ο έλεγχος ροής ολισθαίνοντος παραθύρου δεν είναι κατάλληλος και αυτό γιατί:

Το μέγεθος παραθύρου είναι υπερβολικά μικρό και ο πομπός την περισσότερη ώρα θα περιμένει για την άδεια μετάδοσης από τον παραλήπτη. Έτσι, το εύρος ζώνης της μετάδοσης δε χρησιμοποιείται πλήρως. Για παράδειγμα, ένας πομπός θα στείλει 64 kbytes μέσα σε 50 ms με μια ταχύτητα των 10 Mbps. Για ένα WAN, ο round trip χρόνος είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερος από 50 ms. Μια μερική λύση για το πρόβλημα αυτό είναι η χρησιμοποίηση ενός μεγαλύτερου μεγέθους παραθύρου.

Ο έλεγχος ροής ολισθαίνοντος παραθύρου από μόνος του δεν είναι κατάλληλος για δεδομένα πολυμέσων. Ο έλεγχος ροής ολισθαίνοντος παραθύρου υποθέτει ότι ο ρυθμός μετάδοσης bits μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου και του παραλήπτη. Αυτό δεν είναι δυνατό για συνεχή μέσα, τα οποία πρέπει να στέλνονται με τον εσωτερικό τους ρυθμό δεδομένων. Διακοπτόμενη μετάδοση και λήψη δεδομένων ήχου και εικόνας είναι άχρηστη για εφαρμογές πολυμέσων πραγματικού χρόνου.

3.2.4 Έλεγχος λαθών

Τα TCP παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία δεδομένων. Όταν κάποιο πακέτο χάνεται ή αλλοιώνεται, τότε το πακέτο αυτό μεταδίδεται ξανά. Αυτή η στρατηγική δεν είναι κατάλληλη για επικοινωνίες πολυμέσων και αυτό γιατί:

- Στα δεδομένα πολυμέσων είναι ανεκτά κάποια λάθη ή απώλειες.
- Η επαναμετάδοση προκαλεί καθυστέρηση στα επόμενα δεδομένα, με αποτέλεσμα ο παραλήπτης να λαμβάνει

περισσότερα άχρηστα δεδομένα (μετέπειτα δεδομένα είναι άχρηστα όσο και τα χαμένα δεδομένα όταν πρόκειται για συνεχή μέσα).

- Η υλοποίηση μηχανισμού επαναμετάδοσης απαιτεί κάποιον αριθμό χρονομέτρων (timers) και μεγάλες ενδιάμεσες μνήμες (buffers), καθιστώντας έτσι το πρωτόκολλο μεταφοράς πολύπλοκο και αργό.

Για επικοινωνίες πολυμέσων, πρέπει να παρέχεται ανίχνευση λαθών και να αποφασίζει η εφαρμογή αν χρειάζεται επαναμετάδοση ή όχι. Όταν απαιτείται επαναμετάδοση, μια επιλεκτική επαναμετάδοση είναι προτιμότερη από μια στρατηγική N-οπισθοδρόμησης. Στην επιλεκτική επαναμετάδοση, μόνο τα χαμένα πακέτα ή τα πακέτα με λάθη επαναμεταδίδονται. Σε μια τεχνική N-οπισθοδρόμησης, επαναμεταδίδονται όλα τα πακέτα από το τελευταίο λάθος ή απώλεια, παρόλο που τα περισσότερα πακέτα έχουν φτάσει σωστά στον προορισμό τους.

Μια άλλη λύση είναι να χρησιμοποιήσουμε κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων, σύμφωνα με τον οποίο στέλνονται και άλλες πληροφορίες ώστε να καθίσταται δυνατή η διόρθωση σφαλμάτων στον παραλήπτη χωρίς να υπάρχει ανάγκη για επαναμετάδοση. Το μειονέκτημα της παραπάνω τεχνικής είναι ότι καταναλώνει πρόσθετο εύρος ζώνης.

3.2.5 Πληροφορίες ελέγχου

Όλα τα πρωτόκολλα λειτουργούν ανταλλάσσοντας πληροφορίες κατάστασης πρωτοκόλλου, είτε με το να επισυνάπτουν αυτές τις πληροφορίες σε ένα πακέτο με headers είτε με το να στέλνουν ειδικά πακέτα ελέγχου πρωτοκόλλου που δεν περιέχουν δεδομένα είτε και τα δύο. Σε κάθε περίπτωση, η μηχανή κατάστασης πρωτοκόλλου πρέπει να αναλύσει τις πληροφορίες ελέγχου πρωτοκόλλου για να αποκωδικοποιήσει τα περιεχόμενά τους.

Αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν την πολυπλοκότητα της υλοποίησης και το throughput του πρωτοκόλλου:

- Ο πρώτος παράγοντας είναι αν η θέση της πληροφορίας ελέγχου είναι σταθερή μέσα στο κάθε πακέτο. Η σταθερή θέση επιτρέπει πιο απλή υλοποίηση και υψηλότερο throughput.
- Ο δεύτερος παράγοντας είναι αν η πληροφορία ελέγχου είναι ευθυγραμμισμένη με τα bytes της μηχανής ή τα όρια των λέξεων (words). Η ευθυγράμμιση με τα bytes ή τις λέξεις επιτρέπει γρηγορότερη υλοποίηση.

3.2.6 Έλλειψη QOS χαρακτηριστικών

Τα παραπάνω θέματα ασχολούνται κυρίως με την αποδοτικότητα και το throughput των πρωτοκόλλων μεταφοράς. Αυτά τα θέματα μπορούν να αντιμετωπιστούν ως ένα βαθμό και πρωτοκόλλα μεταφοράς υψηλής ταχύτητας μπορούν να επιτευχθούν με βελτιστοποίηση, παράλληλα με υλοποίηση στο υλικό. Πραγματικά, αναφέρεται ότι μια ταχύτητα που είναι κοντά σε gigabits ανά δευτερόλεπτο μπορεί να επιτευχθεί βελτιστοποιώντας την υλοποίηση του TCP. Όπως έχει σημειωθεί νωρίτερα, η υψηλή ταχύτητα είναι απαραίτητη, αλλά άλλα χαρακτηριστικά, QOS εγγύηση και multicast, απαιτούνται για επικοινωνίες πολυμέσων. Στο TCP, δεν υπάρχει η έννοια του QOS.

3.3 Video και Εφαρμογές

Η παρουσίαση των πρώτων εφαρμογών για προσωπικούς υπολογιστές που έκαναν χρήση video δημιούργησε ένα πολύ μεγάλο ενδιαφέρον. Παρ' όλα αυτά, ο τρόπος με τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί αυτή η νέα τεχνολογία στο μέλλον δεν είναι ακόμα ξεκάθαρος. Οι υπάρχουσες εφαρμογές μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες: αναπαραγωγή αποθηκευμένου οπτικοακουστικού υλικού και πραγματικού χρόνου οπτικοακουστική επικοινωνία.

Η πρώτη κατηγορία είναι πιο καλά καθορισμένη και ήδη ευρέως χρησιμοποιούμενη. Υπάρχουν πολλές εκπαιδευτικές και ψυχαγωγικές

εφαρμογές στις οποίες μέρος της πληροφορίας βρίσκεται σε μορφή video που αναπαράγεται ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Τέτοιου είδους δικτυακές εφαρμογές είναι ακόμα περιορισμένες λόγω τεχνολογικών προβλημάτων. Μια πιθανή εφαρμογή είναι η χρήση εξυπηρετητών που θα αποθηκεύουν μεγάλες βιβλιοθήκες video-clips και θα τα μεταδίδουν κατόπιν αιτήσεως του χρήστη (video-on-demand).

Η οπτικοακουστική επικοινωνία μπορεί να είναι ένας-προς-έναν, όπως για παράδειγμα η συνομιλία δύο ατόμων μέσω υπολογιστή που είναι εφοδιασμένος με κάμερα και συνδεδεμένος σε δίκτυο. Σε σύγκριση με τις εξειδικευμένες συσκευές τηλεδιάσκεψης, αυτά τα συστήματα προσωπικών υπολογιστών υστερούν σημαντικά σε ποιότητα. Η ανάλυση της εικόνας, το βάθος χρώματος και ο ρυθμός ανανέωσης των πλαισίων είναι πολύ μικρά. Κατά συνέπεια, για εφαρμογές που η οπτική επαφή είναι σημαντική, για παράδειγμα η συνέντευξη ενός νέου υπαλλήλου, τα συστήματα αυτά δεν είναι κατάλληλα. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που η ποιότητα βρίσκεται σε δεύτερη μοίρα και τα συστήματα αυτά βρίσκουν εφαρμογή. Η ενημέρωση ενός διευθυντή από υπαλλήλους που εργάζονται σε διαφορετικά σημεία μέσω ενός κοινού χώρου εργασίας (shared workspace) είναι ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής.

Σε πολλές περιπτώσεις το μοντέλο επικοινωνίας ένας-προς-πολλούς είναι πιο κατάλληλο. Για παράδειγμα, οι υπάλληλοι μιας εταιρείας ή οι φοιτητές ενός πανεπιστημίου μπορούν να παρακολουθούν ένα σεμινάριο που γίνεται σε κάποια άλλη τοποθεσία λαμβάνοντας την εικόνα μέσω δικτύου και αναπαράγοντας την στον υπολογιστή τους. Αυτές οι εφαρμογές έχουν το μεγάλο μειονέκτημα ότι για να σταλεί το σήμα σε πολλούς παραλήπτες απαιτούνται ταχύτατα δίκτυα και εξυπηρετητές.

3.3.1 Συμπίεση/Αποσυμπίεση βίντεο

Τα πολυάριθμα σχέδια συμπίεσης και αποσυμπίεσης υπάρχουν και αυτό κάνει την επεξεργασία των πολυμέσων μια πρακτική πραγματικότητα χρησιμοποιώντας υλικό, λογισμικό ή και συνδυασμό των δύο. Τα δεδομένα βίντεο μπορούν να συμπιεστούν σε πραγματικό χρόνο αφού πρώτα

συλληφθούν και ψηφιοποιηθούν ή αφού αποθηκευθούν σε ένα σύστημα. Η αποθήκευση συνεπάγεται ότι επαρκής και γρήγορη αποθηκευτική ικανότητα είναι διαθέσιμη μέσα στο σύστημα.

Η συμπίεση βίντεο εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι το ανθρώπινο μάτι είναι λιγότερο ευαίσθητο στις διακυμάνσεις του χρώματος και των σχημάτων από ότι στη λάμψη της εικόνας. Η συμπίεση συνεπώς βασίζεται στην επινόηση αλγορίθμων οι οποίοι συνοψίζουν μέσα στο ψηφιακό βίντεο όλες τις λεπτομέρειες οι οποίες δε γίνονται αντιληπτές κανονικά από το ανθρώπινο μάτι. Αυτό επιτρέπει σε κάθε πλαίσιο βίντεο να περιέχει λιγότερα δεδομένα, δηλαδή μειώνεται το μέγεθος της αποθήκευσης, επιταχύνεται η μετάδοση της εικόνας, και οδηγεί σε συμπίεση των πλαισίων.

Υπάρχουν δύο φόρμες συμπίεσης που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η συμμετρική συμπίεση παίρνει τον ίδιο χρόνο για συμπίεση και αποσυμπίεση. Η ασυμμετρική συμπίεση παίρνει περισσότερο χρόνο για να κωδικοποιήσει αλλά συνήθως οδηγεί σε υψηλά ποσοστά συμπίεσης και σε καλύτερη ποιότητα εξόδου. Υπάρχουν επίσης ειδικά σχέδια συμπίεσης χρησιμοποιώντας κλασματικά αντικείμενα τα οποία θεωρητικά μπορούν να φτάσουν ποσοστά συμπίεσης της τάξης 10000:1 αλλά παίρνουν πολύ χρόνο για να διεκπεραιωθούν ώστε να αποκτήσουν αξία σε απρόβλεπτες μεταδόσεις όπως οι διασκέψεις πολυμέσων πραγματικού χρόνου.

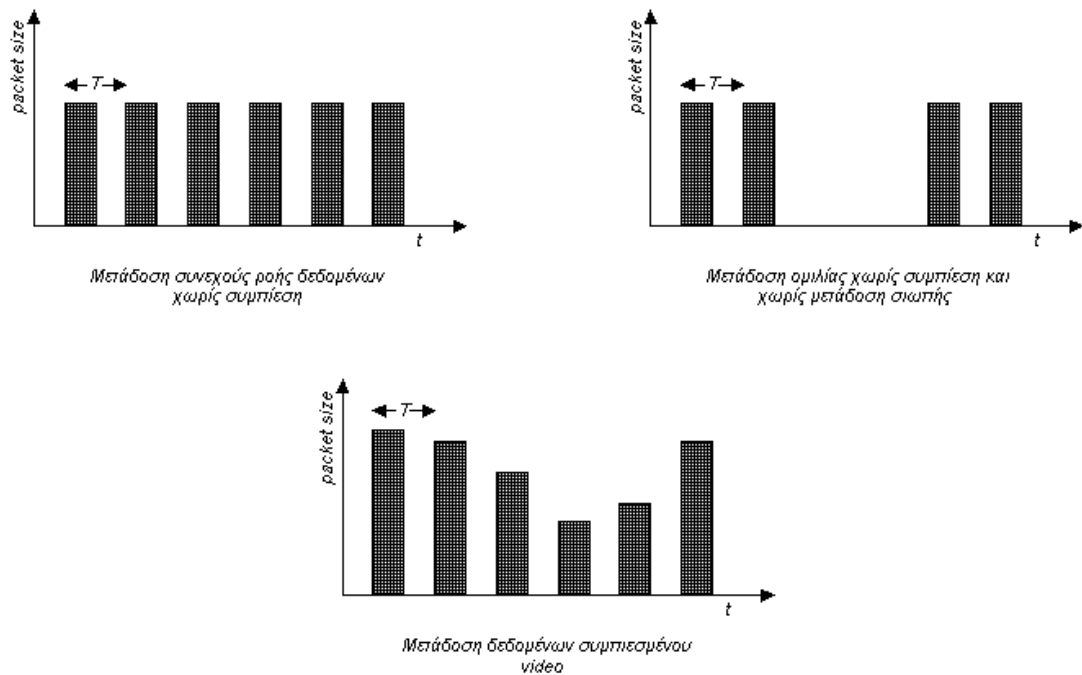
Η βασική λειτουργία της ψηφιακής συμπίεσης είναι η αναγνώριση και η εξάλειψη των περιττών δεδομένων μέσα αλλά και μεταξύ των διαδοχικών πλαισίων, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν. Το ανθρώπινο μάτι έχει δυσκολία στο να αντιληφθεί τις αλλαγές από το ένα πλαίσιο στο άλλο. Η εξάλειψη των περιττών δεδομένων μεταξύ των πλαισίων και η κωδικοποίηση μόνο των αλλαγών είναι γνωστή ως interframe συμπίεση, η οποία επιτρέπει πολύ υψηλότερα ποσοστά συμπίεσης. Η interframe συμπίεση συγκρίνει τα δεδομένα στα συνεχόμενα πλαίσια ενώ η intraframe συμπίεση αναλύει τις παρόμοιες εμφανιζόμενες περιοχές μέσα σε ένα πλαίσιο. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται στα σχέδια συμπίεσης όπως τα JPEG , MPEG και το ψηφιακό interactive βίντεο (DVI).

Τα σχέδια συμπίεσης διακρίνονται σε lossy και lossless και αυτό εξαρτάται από το αν όλα τα αρχικά δεδομένα αποκαθίστανται μετά την

αποσυμπίεση. Οι περισσότερες μορφές συμπίεσης είναι της μορφής lossy αλλά το μέγεθος των χαμένων δεδομένων ποικίλει ανάλογα με το ρυθμό των πλαισίων, το τελικό μέγεθος της εικόνας, το βάθος χρώματος, την εμβέλεια των συχνοτήτων ήχου αλλά και από παράγοντες όπως η αδρότητα και η αντίθεση της εικόνας. Αυτό σημαίνει ότι πολλές ανταλλαγές μπορούν να γίνουν μεταξύ της αναλογίας συμπίεσης και της αποδεκτής ποιότητας.

Ο κώδικας συμπίεσης και αποσυμπίεσης μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας ειδικά DSP μικροσίπ, ρουτίνες λογισμικού, ή και συνδυασμό και των δύο. Ο χρόνος επεξεργασίας του κώδικα είναι καθοριστικό σημείο στον υπολογισμό της καθυστέρησης ή της λανθάνουσας κατάστασης στις μεταδόσεις interactive βίντεο. Η ύπαρξη τους συνεισφέρει στην καθυστέρηση κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, της λήψης και σε άλλα στάδια όπου η διαδικασία συμπίεσης πρέπει να λάβει χώρα. Αυτή η καθυστέρηση δεν είναι πολύ καθοριστική στις εφαρμογές βίντεο αποθήκευσης και προώθησης, αλλά μελέτες έχουν δείξει ότι αθροιστικά η καθυστέρηση δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 100 ms σε ένα μονό κανάλι για ιδανική λειτουργία.

Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου επιλέγουν διαφορετικές μεθόδους για την αποστολή δεδομένων και αυτό εξαρτάται από τη φύση των δεδομένων, αλλά και από τον τρόπο επεξεργασίας τους (κωδικοποίησης και συμπίεσης) πριν από την αποστολή. Σε μία εφαρμογή αποστολής ομιλίας σε πραγματικό χρόνο, θα ανέμενε κανείς να στέλνονται πακέτα με ψηφιοποιημένη ομιλία κατά τακτά χρονικά διαστήματα, χωρίς καμία εξαίρεση. Είναι όμως καλύτερο κατά το χρονικό διάστημα που ο ομιλητής σιωπά (έστω και για 1 δευτερόλεπτο) να μην αποστέλλουμε καθόλου δεδομένα εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο χωρητικότητα δικτύου (silence suppression). Επίσης σε εφαρμογές αποστολής video ο κανόνας είναι πως η πληροφορία είναι συμπίεσμένη. Μάλιστα το αποτέλεσμα της συμπίεσης του ενός καρέ εξαρτάται από το πόσο συσχετίζεται με το αμέσως προηγούμενο. Στην περίπτωση αυτή η εφαρμογή αποστέλλει σε τακτά χρονικά διαστήματα πακέτα δεδομένων, τα οποία όμως δεν έχουν σταθερό μέγεθος. Αυτά τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται διαγραμματικά στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα : Παραδείγματα μορφών κυκλοφορίας για διάφορα μέσα.

Σε μία εικόνα εντοπίζεται και απορρίπτεται το χωρικό πλεόνασμα πληροφορίας. Στην κινούμενη εικόνα, υπάρχει ένα ακόμα είδος πλεονάσματος το χρονικό πλεόνασμα. Πιο συγκεκριμένα, όταν κινείται ένα αντικείμενο τα διαδοχικά πλαίσια μοιάζουν σημαντικά. Κάποια τμήματα των πλαισίων δεν επηρεάζονται καθόλου από την κίνηση ενώ κάποια άλλα πιθανόν να αλλάζουν απλώς θέση με μικρή ή και καμία αλλαγή του περιεχομένου τους.

Ένας αλγόριθμος συμπίεσης κινούμενης εικόνας μπορεί να στηρίζεται μόνο στην εξάλειψη του χωρικού πλεονάσματος ή να συνδυάζει εξάλειψη και των δύο ειδών πλεονασμάτων. Το MJPEG είναι ένα παράδειγμα της πρώτης κατηγορίας και το MPEG της δεύτερης. Πλεονέκτημα των αλγορίθμων της πρώτης κατηγορίας είναι η ευκολία επέμβασης στην εικόνα σε επίπεδο πλαισίου και η ανθεκτικότητα σε λάθη κατά την μετάδοση μέσω δικτύου. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε πλαίσιο είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα και κάθε λάθος επηρεάζει μόνο αυτό. Αντίθετα σε τεχνικές όπως το MPEG υπάρχει συσχέτιση κάθε πλαισίου με τα προηγούμενα του, οπότε και είναι δύσκολο να γίνει η εξαγωγή των πλαισίων και κάθε λάθος έχει επιπτώσεις σε όλα τα συσχετιζόμενα πλαίσια. Αναμφισβήτητα, η εξάλειψη και του χωρικού και του

χρονικού πλεονάσματος οδηγεί σε σημαντικά μεγαλύτερους λόγους συμπίεσης γι' αυτό και το ενδιαφέρον εστιάζεται σε αυτούς.

3.4 Απαιτήσεις για μεταφορά δεδομένων πραγματικού χρόνου σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων

Για την αποτελεσματική λειτουργία υπηρεσιών πραγματικού χρόνου είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συνόλου μηχανισμών, που λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας των εφαρμογών και εξασφαλίζουν πως θα λειτουργούν μέσα στα επιθυμητά όρια. Στην ενότητα αυτή αναλύουμε διεξοδικά τις απαιτήσεις των εφαρμογών πραγματικού χρόνου από το δίκτυο IP.

Η πρώτη απαίτηση έχει να κάνει με την καθυστέρηση μετάδοσης. Αυτή πρέπει να είναι *προβλέψιμη* και με σταθερή συμπεριφορά. Για παράδειγμα το jitter να μην ξεπερνά ένα όριο, το οποίο να είναι εκ των προτέρων υπολογίσιμο, έστω και αν έχει κάπως μεγάλη τιμή. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να εκτιμήσουμε με ακρίβεια το μέγεθος του buffer που απαιτείται για την προσωρινή αποθήκευση των λαμβανόμενων δεδομένων και επιτυγχάνουμε για παράδειγμα την αναπαραγωγή ομιλίας χωρίς καμία διακοπή ή απώλεια.

Επιθυμητό βεβαίως και σε σχέση πάντα με την καθυστέρηση μετάδοσης είναι η διαταραχή καθυστέρησης μετάδοσης να είναι μικρή, ώστε η εφαρμογή να χρησιμοποιεί μικρούς buffers και να μην επηρεάζεται τόσο από τις διακυμάνσεις απόδοσης του δικτύου εξαιτίας του μεταβαλλόμενου φόρτου του. Άλλη μία απαίτηση έχει να κάνει με την *μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης*, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις επιβάλλεται να είναι πολύ μικρή (π.χ. τηλεχειρουργική), ενώ σε άλλες είναι απλά επιθυμητό να είναι μικρή (π.χ. videosever).

Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται και να ανταπεξέρχονται στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου. Όταν για παράδειγμα η διαθέσιμη χωρητικότητα μιας σύνδεσης μειωθεί, πρέπει να αλλάξει η μέθοδος συμπίεσης δεδομένων, με ενδεχόμενο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα επικοινωνίας. Όταν η

διαθέσιμη χωρητικότητα αυξηθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερη συμπίεση, προκειμένου τα μέλη μιας τηλεσυνδιάσκεψης να έχουν επικοινωνία πολύ καλύτερης ποιότητας.

Ένα άλλο επιθυμητό χαρακτηριστικό έχει να κάνει με τη διατήρηση υψηλής ποιότητας επικοινωνίας ανεξάρτητο από τον αριθμό των μελών που μετέχουν στην τηλεδιάσκεψη, καθώς επίσης και από το πόσο εξαπλωμένη είναι η δικτυακή περιοχή που αυτά βρίσκονται. Πολυμεσικές εφαρμογές με δυνατότητα επικοινωνίας για περισσότερα από δύο μέλη πρέπει να ανταποκρίνονται περίπου το ίδιο καλά για 10, 100 ή 1000 μέλη, επίσης πολύ καλά ανεξάρτητα από το αν τα μέλη αυτά συνδέονται στο ίδιο τοπικό δίκτυο ή σε πολλά και απομακρυσμένα μεταξύ τους δίκτυα.

Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου εξαιτίας της απαίτησης για άμεση εξυπηρέτηση τόσο στην επεξεργασία δεδομένων όσο και στη μετάδοσή τους στο δίκτυο πρέπει να κάνουν τη μέγιστη δυνατή χρήση της διαθέσιμης χωρητικότητας δικτύου, επίσης να χρησιμοποιούν τους ελάχιστους μηχανισμούς ελέγχου που είναι απαραίτητοι για την πραγματοποίηση των αναγκαίων λειτουργιών. Η πρόσθετη πληροφορία ελέγχου θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή τόσο σε απόλυτους αριθμούς όσο και σαν ποσοστό επί της καθαυτής χρήσιμης πληροφορίας που μεταδίδεται, για παράδειγμα του ήχου και της εικόνας. Το κόστος επεξεργασίας της πληροφορίας πρέπει επίσης να μειωθεί στο ελάχιστο. Όλοι οι περιορισμοί οφείλονται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου έχουν πολλούς περιορισμούς χρονισμού.

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από τις υπόλοιπες όσον αφορά τις απώλειες δεδομένων. Αν πρόκειται για κρίσιμες εφαρμογές τότε δεν υπάρχουν καθόλου περιθώρια για απώλειες. Στην περίπτωση όμως συνηθισμένων πολυμεσικών εφαρμογών πακέτα που έχουν αλλοιωθεί κατά τη μετάδοση δεν απορρίπτονται αλλά αναπαράγονται έστω και με απώλειες. Είναι δηλαδή προτιμότερο να ακούγεται ομιλία με κάποιο ποσοστό θορύβου από το να χάνεται τελείως ο ομιλητής.

Οι απαιτήσεις υστέρησης (latency) και bit ρυθμού (bit rate) των παραπάνω υπηρεσιών ποικίλλουν:

Τα δεδομένα πραγματικού χρόνου μπορούν να δημιουργούν μόνο λίγα bits ανά sec, στην επαρκή ποιοτικά φωνητική επικοινωνία 8 έως 32 kb/s, στην

καλύτερη ποιοτικά 64 kb/s, ενώ το video από λίγες δεκάδες kb/s (slow-scan QCIF images) έως αρκετές δεκάδες megabits (HDTV), σε συνάρτηση πάντα με το μέγεθος της εικόνας, το επίπεδο κβάντωσης και το ρυθμό πλαισίων.

Η ανοχή στη μέγιστη καθυστέρηση επίσης διαφοροποιείται αρκετά, από 12ms σε επικοινωνία από σημείο σε σημείο, χωρίς ακύρωση της ηχούς (echo cancellation) έως 400ms εάν υφίστανται καθυστερήσεις συνομιλίας και ομιλίας προς τις δύο κατευθύνσεις. Για εφαρμογές όπως το video-on-demand, οι καθυστερήσεις μπορούν να είναι μεγαλύτερες, ίσως 500ms ίσως και μεγαλύτερες, κυρίως εξαρτώμενες από τις εντολές τύπου VCR και την δυνατότητα του λήπτη να απομονώνει τα δεδομένα.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι τα ρολόγια του λήπτη και του αποστολέα δεν συγχρονίζονται, ούτε μεταξύ τους ούτε με κάποιο κεντρικό ρολόι. Έτσι για κάποιες υπηρεσίες όπως MPEG με συγχρονισμό πλαισίου, είναι απαραίτητο ο λήπτης να εκτελεί ανάκληση (recovery) του ρολογιού από τα δεδομένα, δηλαδή για να αποφευχθεί η απώλεια δεδομένων ο παραλήπτης πρέπει να εκτιμήσει τον ρυθμό του ρολογιού του αποστολέα και να προσαρμόσει σύμφωνα με αυτόν και τον δικό του ρυθμό ρολογιού.

3.5 Χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα πρωτόκολλα πραγματικού χρόνου

Η λύση για multimedia over IP, είναι να κατηγοριοποιήσουμε τις εφαρμογές, να δώσουμε προτεραιότητες στις διάφορες κατηγορίες και να δεσμεύουμε τους πόρους του δικτύου με βάση τις προτεραιότητες αυτές. Το Integrated Services working group στο IETF (Internet Engineering Task Force), ανέπτυξε ένα εξελιγμένο μοντέλο υπηρεσιών Internet που καλείται Integrated Services και περιλαμβάνει best-effort service και real-time service. Το Resource ReSerVation Protocol (RSVP), μαζί με το Real Time Transport Protocol (RTP), το Real Time Control Protocol (RTCP) και το Real Time Streaming Protocol (RTSP), παρέχουν τη βάση για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου.

Ένα πρωτόκολλο μεταφοράς πολυμέσων διαφέρει από ένα συμβατικό πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων στο ότι θα πρέπει να παρέχει QOS εγγυήσεις σε εφαρμογές πολυμέσων. Γνωρίζουμε ότι, υπό κατάλληλες προϋποθέσεις, είναι δυνατό να υποστηριχτούν οι επικοινωνίες πολυμέσων στο επίπεδο δικτύου. Η λειτουργία του πρωτοκόλλου μεταφοράς είναι να εγκαθιστά και να συντηρεί μια σύνδεση με χαρακτηριστικά QOS για χρήση από τις εφαρμογές. Τρεις κύριες απαιτήσεις που πρέπει να έχει ένα πρωτόκολλο πραγματικού χρόνου είναι ότι το throughput πρέπει να είναι υψηλό, ότι το πρωτόκολλο πρέπει να υποστηρίζει multicast, και ότι ένα πρωτόκολλο πραγματικού χρόνου θα πρέπει να έχει χαρακτηριστικά QOS.

3.5.1 Υψηλό throughput

Τα δεδομένα πολυμέσων, και ειδικά το video, απαιτούν συνεχές εύρος ζώνης υψηλής μετάδοσης. Για παράδειγμα, ένα συμπιεσμένο video υψηλής ποιότητας απαιτεί ένα εύρος ζώνης των 5 Mbps περίπου. Ένα μη συμπιεσμένο video απαιτεί ένα εύρος ζώνης 50 με 100 φορές μεγαλύτερο από το παραπάνω. Οπότε το πρωτόκολλο μεταφοράς θα πρέπει να είναι αρκετά γρήγορο ώστε να υποστηρίζει τις απαιτήσεις της εφαρμογής σε εύρος ζώνης. Εφόσον μια εφαρμογή μπορεί να χρειάζεται έναν αριθμό από συνεχείς ροές δεδομένων, η ταχύτητα του πρωτοκόλλου μεταφοράς πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τις απαιτήσεις των παραπάνω ροών σε αθροιστικό εύρος ζώνης.

Ένας άλλος τρόπος να δούμε την απαιτήσεις ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς σε throughput είναι από τη σκοπιά του συνολικού συστήματος επικοινωνιών. Το throughput ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς πρέπει να είναι υψηλότερο από την ταχύτητα προσπέλασης του δικτύου. Διαφορετικά, το εύρος ζώνης που παρέχεται από τα σημεία προσπέλασης του δικτύου δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλήρως, και το πρωτόκολλο μεταφοράς γίνεται το σημείο συμφόρησης του συνολικού συστήματος επικοινωνιών.

3.5.2 Δυνατότητα multicast

Σε πολλές εφαρμογές πολυμέσων απαιτείται η μετάδοση της ίδιας πληροφορίας σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Σε αυτή την περίπτωση είναι χρήσιμο τα πρωτόκολλα πραγματικού χρόνου να υποστηρίζουν την multicast μετάδοση δεδομένων.

3.5.3 Χαρακτηριστικά QoS

Ροές δεδομένων πολυμέσων απαιτούν συνολικές QOS εγγυήσεις σχετικά με το εύρος ζώνης, την καθυστέρηση, και την διαταραχή καθυστέρησης. Για να ικανοποιήσει αυτές τις απαιτήσεις, ένα σύστημα μεταφοράς πρέπει να παρέχει ένα μηχανισμό στις εφαρμογές ώστε να μπορούν να καθορίζουν και να διαπραγματεύονται QOS απαιτήσεις.

Οι QOS απαιτήσεις που δίνονται στο πρωτόκολλο μεταφοράς περνούν στο πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου. Το πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου, το οποίο καλείται πρωτόκολλο δέσμευσης, διαδίδει αυτές τις απαιτήσεις και δεσμεύει τους απαραίτητους πόρους πάνω από μια σύνδεση δικτύου. Αυτή η σύνδεση συχνά είναι μια multicast σύνδεση σε εφαρμογές πολυμέσων.

Η παροχή QOS εγγυήσεων απαιτεί τη συνεργασία όλων των υποσυστημάτων ενός συστήματος μεταφοράς, περιλαμβάνοντας διαχείριση πόρων, έλεγχο της πρόσβασης στο δίκτυο, και διαχείριση ουρών σε *διακόπτες (switches)* δικτύου. Το λειτουργικό σύστημα θα πρέπει επίσης να μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές πολυμέσων.

Κεφάλαιο 4 – Τα πρωτόκολλα RTP/RTCP

4.1 – Εισαγωγή

Το *Πρωτόκολλο Μεταφοράς Πραγματικού Χρόνου (Real-time Transport Protocol – RTP)* εκδόθηκε ως σύσταση της IETF (Internet Engineering Task Force) το 1996 και δημοσιεύθηκε στο RFC 1889, με τίτλο «RTP, ένα πρωτόκολλο μεταφοράς για εφαρμογές πραγματικού χρόνου» (“RTP, A Transport Protocol for Real-Time applications”). Το RTP αναθεωρήθηκε το 2003, στο RFC 3550 της IETF.

Το RTP παρέχει δικτυακές λειτουργίες μεταφοράς από άκρο-σε-άκρο, κατάλληλες για εφαρμογές που μεταδίδουν μέσα πραγματικού χρόνου, όπως (διαδραστικό) ήχο και βίντεο, είτε σε δίκτυα αποκλειστικής διανομής (unicasting), είτε σε δίκτυα πολυδιανομής (multicasting). Οι λειτουργίες αυτές περιλαμβάνουν προσδιορισμό του τύπου των μεταφερόμενων δεδομένων, αρίθμηση της σειράς των πακέτων, χρονοσφραγίδες κ.ά. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πρωτόκολλο μεταφοράς που υλοποιείται στο επίπεδο εφαρμογών. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει επίσης και τη χρήση μεταφραστών και μικτών επιπέδου RTP.

Το RTP δεν υπαγορεύει δέσμευση πόρων του δικτύου και δεν εγγυάται την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, η οποία έγκειται σε λειτουργίες χαμηλότερων επιπέδων. Δεν εγγυάται την έγκαιρη διανομή των πακέτων, ούτε το ότι τα πακέτα θα φτάσουν στον προορισμό τους, ούτε ότι θα φτάσουν χωρίς να έχουν υποστεί κάποια καταστροφή, ούτε ότι το υποκείμενο δίκτυο είναι αξιόπιστο και διανέμει τα πακέτα με τη σειρά που στάλθηκαν. Οι αριθμοί σειράς που έχει το κάθε πακέτο, όμως, επιτρέπουν στον αποδέκτη τους να ανακατασκευάσει την αλληλουχία τους κατά την αναπαραγωγή τους και να ανιχνεύσει τυχόν απώλειες ή καθυστερήσεις.

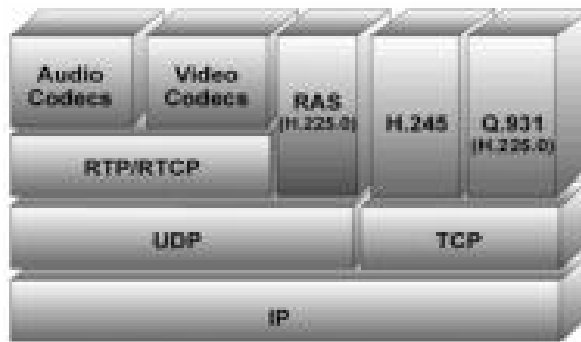
Η μεταφορά των δεδομένων ελέγχεται από το πρωτόκολλο **RTCP (Real Time Control Protocol)**, που επιτρέπει την παρακολούθηση της διανομής των δεδομένων και της ποιότητας υπηρεσιών με τρόπο κλιμακωτό έως και για μεγάλα δίκτυα πολυδιανομής, και παρέχει ελάχιστο έλεγχο και λειτουργίες ανάγνωσης.

Το RTP είναι πρωτίστως σχεδιασμένο για να ικανοποιεί τις ανάγκες για διασκέψεις πολυμέσων πολλών συμμετεχόντων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι περιορίζεται σε αυτή μόνο την εφαρμογή. Γενικά, χρησιμοποιείται από σχεδόν κάθε εφαρμογή που κάνει μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων πραγματικού χρόνου. Ας αναφέρουμε εν συντομία μερικές εφαρμογές όπου η χρήση του RTP είναι σχεδόν επιβεβλημένη.

- Διάσκεψη φωνής μέσω πολυδιανομής (multicast audio conference)
- Διάσκεψη φωνής και βίντεο (audio & video conference)
- Τηλεφωνία μέσω IP
- Ραδιοφωνικός σταθμός μέσω IP
- Τηλεόραση μέσω IP
- Και πολλές άλλες εφαρμογές.

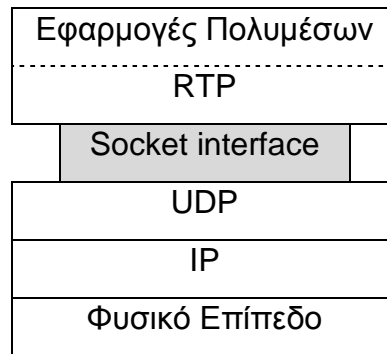
Το RTP και το RTCP είναι σχεδιασμένα ώστε να είναι ανεξάρτητα από τα υποκείμενα επίπεδα μεταφοράς και δικτύου. Παρόλα αυτά, συνήθως τρέχουν πάνω από το UDP (User Datagram Protocol) και όχι πάνω από το TCP (Transport Control Protocol).

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η τοποθεσία των πρωτοκόλλων RTP και RTCP:



Εικόνα 4.1: Τοποθεσία πρωτοκόλλων RTP/RTCP.

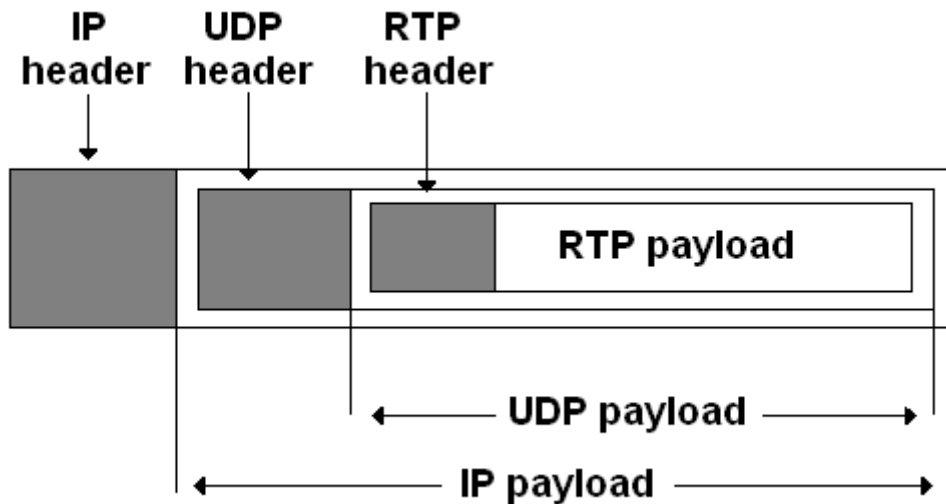
Ενώ στην επόμενη εικόνα φαίνεται πού τοποθετείται το RTP στη στοίβα πρωτοκόλλων του δικτύου TCP/IP.



Εικόνα 4.2: Θέση του RTP στη στοίβα πρωτοκόλλων του TCP/IP

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, η μορφή των πακέτων που τελικά μεταδίδονται ακολουθεί ακριβώς την ίδια λογική με οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή του IP. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ένα πακέτο ήχου (που περιέχει κάποια ηχητική πληροφορία), για να μεταδοθεί λαμβάνει μία κεφαλίδα RTP (RTP header) και περνά στο υποκείμενο δίκτυο μεταφοράς, έστω το UDP. Εκεί ενθυλακώνεται σε ένα πακέτο UDP, δηλαδή προσλαμβάνει μία κεφαλίδα UDP (UDP header) ενώ η κεφαλίδα RTP μαζί με την ηχητική πληροφορία γίνονται το ωφέλιμο φορτίο (payload) για το πακέτο UDP. Ομοίως, το πακέτο UDP γίνεται ωφέλιμο φορτίο για ένα πακέτο IP (επίπεδο δικτύου). Στη συνέχεια το πακέτο IP αποστέλλεται. Στην πλευρά του αποστολέα ακολουθείται η αντίστροφη

διαδικασία. Καθώς ανεβαίνουμε στη στοίβα πρωτοκόλλων οι αντίστοιχες κεφαλίδες αφαιρούνται, μέχρι τελικά να ανακτηθεί η ηχητική πληροφορία. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 4.3: Ενθυλάκωση ωφέλιμου φορτίου RTP σε πακέτα κατώτερων επιπέδων.

4.2 – Ορισμοί

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των πακέτων του RTP και του RTCP, καλό θα ήταν να παραθέσουμε κάποιους ορισμούς οι οποίοι θα βοηθήσουν στην κατανόηση σημαντικών εννοιών και θα αποδειχθούν χρήσιμοι για την συνέχεια.

Ωφέλιμο φορτίο RTP (RTP payload): Τα δεδομένα που μεταφέρονται από το RTP σε ένα πακέτο, για παράδειγμα δείγματα ήχου ή συμπιεσμένα δεδομένα βίντεο.

Πακέτο RTP (RTP packet): Ένα πακέτο δεδομένων που αποτελείται από την σταθερή κεφαλίδα του RTP, μια πιθανώς άδεια λίστα από συμβάλλουσες πηγές (βλ. παρακάτω) και το ωφέλιμο φορτίο.

Πακέτο RTCP (RTCP packet): Ένα πακέτο ελέγχου που αποτελείται από ένα σταθερό μέρος κεφαλίδας (όμοιας με αυτής του πακέτου RTP), ακολουθούμενης από δομημένα στοιχεία που ποικίλουν ανάλογα με το είδος του πακέτου RTCP. Τα είδη θα αναφερθούν στην αντίστοιχη παράγραφο. Συνήθως, πολλά πακέτα RTCP στέλνονται μαζί ως ένα σύνθετο πακέτο RTCP σε ένα μόνο πακέτο του υποκειμένου πρωτοκόλλου (UDP).

Θύρα (port): Η αφηρημένη έννοια που χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα μεταφοράς για να ξεχωρίσουν κάποιο προορισμό σε έναν δεδομένο υπολογιστή. Τα πρωτόκολλα του TCP/IP προσδιορίζουν τις θύρες με τη χρήση ενός θετικού αριθμού small integer.

Διεύθυνση μεταφοράς (Transport address): Ο συνδυασμός μιας διεύθυνσης δικτύου και μιας θύρας που προσδιορίζει ένα τελικό σημείο του επιπέδου μεταφοράς, για παράδειγμα μια διεύθυνση IP και μια θύρα UDP. Εναλλακτικά ονομάζεται και socket. Τα πακέτα μεταδίδονται από μία διεύθυνση προέλευσης (source transport address) σε μία διεύθυνση προορισμού (destination transport address).

Σύνοδος πολυμέσων (multimedia session): Ένα σύνολο από ταυτόχρονες συνόδους RTP. Για παράδειγμα μια βιντεοδιάσκεψη, μπορεί να περιέχει μια σύνοδο RTP ήχου και μια σύνοδο RTP βίντεο.

Σύνοδος RTP (RTP session): Μία σχέση μεταξύ ενός συνόλου συμμετεχόντων που επικοινωνούν μέσω RTP. Ένας συμμετέχων μπορεί να εμπλέκεται σε πολλές συνόδους RTP ταυτόχρονα. Σε μια σύνοδο πολυμέσων, κάθε μέσο συνήθως μεταφέρεται σε μία ξεχωριστή σύνοδο RTP με τα δικά της πακέτα RTCP εκτός και αν η κωδικοποίηση πολυπλέκει πολλά μέσα σε μία μόνο ροή δεδομένων. Ένας συμμετέχων ξεχωρίζει τις διαφορετικές συνόδους RTP, χρησιμοποιώντας για τη λήψη της καθεμίας διαφορετικά ζεύγη διευθύνσεων προορισμού, όπου ένα ζεύγος διευθύνσεων (μεταφοράς) αποτελείται από μία διεύθυνση δικτύου συν ένα ζεύγος από θύρες για το RTP και το RTCP αντίστοιχα. Όλοι οι συμμετέχοντες σε μία σύνοδο RTP μπορεί να χρησιμοποιούν ένα κοινό ζεύγος διευθύνσεων

προορισμού, όπως στην περίπτωση της πολυδιανομής (IP multicast) ή τα ζεύγη μπορεί να είναι διαφορετικά για κάθε συμμετέχοντα, όπως στην περίπτωση της αποκλειστικής διανομής (IP unicast). Στην περίπτωση του unicast ένας συμμετέχων μπορεί να λαμβάνει από όλους τους υπόλοιπους συμμετέχοντες στη σύνοδο χρησιμοποιώντας το ίδιο ζεύγος θυρών, ή ένα ξεχωριστό ζεύγος θυρών για τον καθένα.

Το διακριτικό χαρακτηριστικό μιας συνόδου RTP είναι ότι διατηρεί ένα ξεχωριστό χώρο από προσδιοριστές SSRC (βλ. παρακάτω). Το σύνολο των συμμετεχόντων που συμπεριλαμβάνονται σε μία σύνοδο RTP αποτελείται από αυτούς που μπορούν να λάβουν ένα προσδιοριστή SSRC που μεταδίδεται από οποιονδήποτε άλλο συμμετέχοντα είτε μέσω RTP είτε μέσω RTCP. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε μία διάσκεψη τριών μερών που υλοποιείται μέσω UDP unicast με κάθε συμμετέχοντα να λαμβάνει από τους υπόλοιπους δύο σε διαφορετικά ζεύγη θυρών. Αν κάθε συμμετέχων στέλνει ανατροφοδότηση RTCP για τα δεδομένα που ελήφθησαν από ένα συμμετέχοντα, μόνο σε αυτό το συμμετέχοντα, τότε η συνδιάσκεψη αποτελείται από τρεις ξεχωριστές συνόδους RTP (από σημείο-σε-σημείο). Αν κάθε συμμετέχων παρέχει ανατροφοδότηση RTCP για τη λήψη του από ένα συμμετέχοντα και στους δύο υπόλοιπους συμμετέχοντες, τότε η συνδιάσκεψη αποτελείται από μία πολύ-μερή σύνοδο RTP. Η τελευταία περίπτωση προσομοιώνει τι θα συνέβαινε σε επικοινωνία μέσω IP multicast μεταξύ αυτών των τριών συμμετεχόντων.

Πηγή συγχρονισμού (Synchronization source – SSRC): Η πηγή μιας ροής πακέτων RTP, που προσδιορίζεται από έναν 32-bit αριθμητικό προσδιοριστή SSRC, που μεταφέρεται στην κεφαλίδα του RTP έτσι ώστε να είναι ανεξάρτητος από τη διεύθυνση του δικτύου. Όλα τα πακέτα από πηγή συγχρονισμού αποτελούν μέρος του ίδιου αριθμητικού χώρου όσον αφορά το χρονισμό και τον αριθμό ακολουθίας τους, ώστε ο αποδέκτης τους να τα ομαδοποιεί κατά πηγή συγχρονισμού και να τα αναπαράγει. Παραδείγματα πηγών συγχρονισμού περιλαμβάνουν τον αποστολέα μιας ροής πακέτων που προέρχονται από μία πηγή σήματος (π.χ. ένα μικρόφωνο, μια κάμερα), ή ένα μίκτη RTP (βλ. παρακάτω). Μία πηγή συγχρονισμού μπορεί να αλλάξει το

φορμάτ των δεδομένων της (π.χ. την κωδικοποίηση του ήχου) κατά την διάρκεια μιας συνόδου. Ο προσδιοριστής SSRC είναι μία τιμή που επιλέγεται τυχαία και πρέπει να είναι μοναδική εντός μίας συνόδου RTP. Ένας συμμετέχων δεν είναι ανάγκη να χρησιμοποιεί τον ίδιο προσδιοριστή SSRC για όλες τις συνόδους RTP σε μία σύνοδο πολυμέσων· η σύνδεση μεταξύ των προσδιοριστών SSRC παρέχεται από το RTCP. Αν ένας συμμετέχων παράγει πολλαπλές ροές μέσα σε μία σύνοδο RTP, για παράδειγμα από δύο διαφορετικές κάμερες, κάθε μία επιβάλλεται να έχει το δικό της προσδιοριστή SSRC. Με άλλα λόγια, στη γενική περίπτωση ο προσδιοριστής SSRC χαρακτηρίζει τις διαφορετικές ροές πολυμέσων.

Συμβάλλουσα πηγή (Contributing source – CSRC): Η πηγή μιας ροής από πακέτα RTP που συνέβαλλε στη συνδυασμένη ροή που παρήχθη από έναν μίκτη RTP (βλ. παρακάτω για μίκτη). Ο μίκτης εισάγει μια λίστα προσδιοριστών SSRC των πηγών που συνέβαλλαν στην παραγωγή ενός συγκεκριμένου πακέτου RTP, στην κεφαλίδα RTP αυτού του πακέτου. Αυτή η λίστα ονομάζεται λίστα CSRC.

Τελικό σύστημα (End system): Μια εφαρμογή που παράγει το περιεχόμενο που θα αποσταλεί με πακέτα RTP και/ή αναπαράγει/αποθηκεύει/επεξεργάζεται το περιεχόμενο των πακέτων RTP που έλαβε. Ένα τελικό σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ως μία ή περισσότερες SSRC σε μία ξεχωριστή σύνοδο RTP, αλλά συνήθως μόνο ως μία.

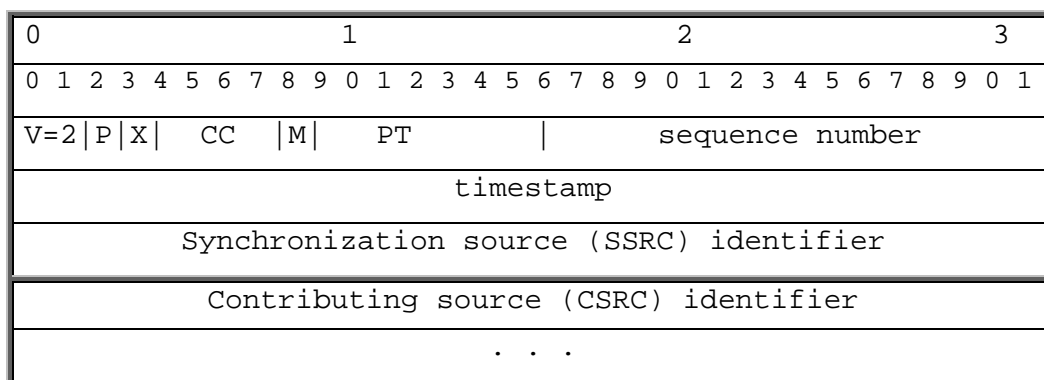
Μίκτης (mixer): Ένα ενδιάμεσο σύστημα που λαμβάνει πακέτα RTP από μία ή περισσότερες πηγές, ενδεχομένως αλλάζει το φορμάτ των δεδομένων, συνδυάζει τα πακέτα με κάποιο τρόπο και προωθεί ένα νέο πακέτο RTP. Επειδή συνήθως οι πηγές δε θα είναι συγχρονισμένες μεταξύ τους, ο μίκτης μπορεί να είναι χρονικές προσαρμογές μεταξύ των ροών και να δημιουργήσει το δικό του χρονισμό για τη συνδυασμένη ροή. Έτσι όλα τα πακέτα που προέρχονται από τον μίκτη θα προσδιορίζονται από το SSRC του μίκτη.

Μεταφραστής (Translator): Ένα ενδιάμεσο σύστημα που προωθεί πακέτα RTP χωρίς να αλλάζει το SSRC τους. Παραδείγματα μεταφραστών περιλαμβάνουν συσκευές που αλλάζουν την κωδικοποίηση των δεδομένων και αντιγραφείς από multicast σε unicast.

4.3 – Το RTP (Real-time Transport Protocol)

4.3.1 – Η κεφαλίδα (header) του RTP

Η τυποποιημένη κεφαλίδα του RTP φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.4: Η κεφαλίδα του RTP

Τα πρώτα 12 bytes της κεφαλίδας υπάρχουν σε κάθε πακέτο RTP, ενώ η λίστα των προσδιοριστών CSRC υπάρχει μόνο όταν εισάγεται από κάποιο μίκτη. Η σημασία του κάθε πεδίου επεξηγείται στη συνέχεια:

Version (V) – Έκδοση: 2 bits

Το πεδίο αυτό προσδιορίζει την έκδοση του RTP. Η τρέχουσα έκδοση είναι η δεύτερη, οπότε αυτό το πεδίο είναι πάντα 2.

Padding (P) – Γέμισμα: 1 bit

Αν το bit του padding είναι στο '1', τότε το πακέτο περιέχει ένα ή περισσότερα πρόσθετα bytes στο τέλος, που δεν είναι μέρος του ωφέλιμου φορτίου του. Το

τελευταίο byte του padding περιέχει έναν αριθμό που δηλώνει πόσα bytes γεμίσματος υπάρχουν στο πακέτο, συμπεριλαμβανομένου και του ιδίου. Το padding μπορεί να απαιτείται από κάποιους αλγόριθμους κρυπτογράφησης με συγκεκριμένο μέγεθος μπλοκ ή για τη μεταφορά πολλών πακέτων RTP σε μία μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου κατώτερου επιπέδου.

Extension (X) – Επέκταση: 1 bit

Όταν το bit X είναι στο '1', η τυποποιημένη κεφαλίδα πρέπει να ακολουθείται από ακριβώς μία «επέκταση κεφαλίδας», με φορμάτ που ορίζεται στο πρωτόκολλο RTP. Η επέκταση κεφαλίδας δε θα μας απασχολήσει στο παρόν κείμενο, διότι χρησιμοποιείται σπάνια.

CSRC count (CC) – Μετρητής CSRC: 4 bits

Περιέχει τον αριθμό των προσδιοριστών CSRC που ακολουθούν την τυποποιημένη κεφαλίδα.

Marker (M) – Σημειωτής: 1 bit

Η σημασία του marker bit ορίζεται από κάποιο ξεχωριστό προφίλ. Γενικά, προορίζεται για να προσδιορίσει σημαντικά γεγονότα, όπως πχ το τέλος ενός frame βίντεο σε μία ροή πακέτων. Ένα ξεχωριστό προφίλ, μπορεί να ορίζει επιπλέον marker bits ή ότι δεν υπάρχει marker bit, αλλάζοντας αναλόγως τον αριθμό των bits του πεδίου PT.

Payload type (PT) – Τύπος ωφέλιμου φορτίου: 7 bits

Αυτό το πεδίο προσδιορίζει το φορμάτ του ωφέλιμου φορτίου του RTP και καθορίζει την διερμηνεία του από την εφαρμογή. Ένα προφίλ μπορεί να ορίζει μια στατική αντιστοιχία από κωδικούς ωφέλιμου φορτίου σε φορμάτ ωφέλιμου φορτίου. Επιπλέον τύποι ωφέλιμου φορτίου μπορεί να ορίζονται δυναμικά μέσω τρόπων που δεν προδιαγράφονται στο RTP. Ένα σύνολο προεπιλεγμένων αντιστοιχιών για ήχο και βίντεο προδιαγράφεται στο συνοδευτικό του RTP, το RFC 3551. Μια πηγή RTP μπορεί να αλλάξει τον τύπο του ωφέλιμου φορτίου της κατά τη διάρκεια μιας συνόδου, αλλά αυτό το πεδίο δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για την πολύπλεξη διαφορετικών ροών πολυμέσων.

Ένας αποδέκτης πρέπει να αγνοεί πακέτα με τύπους ωφέλιμου φορτίου που δεν καταλαβαίνει.

Sequence number – Αριθμός αλληλουχίας: 16 bits

Ο αριθμός αλληλουχίας αυξάνεται κατά ένα για κάθε RTP πακέτο που στέλνεται, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον αποδέκτη για την ανίχνευση χαμένων πακέτων και για την αποκατάσταση της σειράς των πακέτων. Η αρχική τιμή του αριθμού αλληλουχίας πρέπει να είναι τυχαία (απρόβλεπτη) για να δυσκολέψει τις επιθέσεις απλού κειμένου επί της κρυπτογράφησης, που αν και δε γίνεται συνήθως από την πηγή, μπορεί να γίνει από ένα μεταφραστή.

Timestamp – Χρονοσφραγίδα: 32 bits

Η χρονοσφραγίδα αντανακλά τη στιγμή δειγματοληψίας του πρώτου byte του ωφέλιμου φορτίου του πακέτου RTP. Η στιγμή δειγματοληψίας πρέπει να προέρχεται από ένα ρολόι που αυξάνει μονοτονικά και γραμμικά με το χρόνο, για να επιτρέπει το συγχρονισμό και τον υπολογισμό του jitter. Η ανάλυση του ρολογιού πρέπει να είναι αρκετή, για την ακρίβεια του συγχρονισμού και για την μέτρηση του jitter μεταξύ των αφίξεων των πακέτων (ένα tick για κάθε πλαίσιο βίντεο συνήθως δεν είναι αρκετό). Η συχνότητα του ρολογιού εξαρτάται από το φορμάτ των δεδομένων που μεταφέρονται ως ωφέλιμο φορτίο και ορίζεται στατικά στις προδιαγραφές του φορμάτ του ωφέλιμου φορτίου. Αν τα πακέτα RTP παράγονται περιοδικά, θα χρησιμοποιηθεί η ονομαστική τιμή δειγματοληψίας όπως καθορίζεται από το ρολόι δειγματοληψίας, όχι μία ανάγνωση του ρολογιού του συστήματος. Για παράδειγμα, για ήχο σταθερού ρυθμού, η χρονοσφραγίδα θα αυξανόταν κατά ένα για κάθε περίοδο δειγματοληψίας. Αν μία εφαρμογή ήχου διαβάζει μπλοκ από τη συσκευή εισόδου που καλύπτουν 160 περιόδους δειγματοληψίας, η χρονοσφραγίδα θα αυξάνεται κατά 160 για κάθε τέτοιο μπλοκ, ανεξάρτητα αν αυτό το μπλοκ θα μεταδοθεί σε ένα πακέτο ή θα παραληφθεί ως σιωπή (μη ύπαρξη ήχου πάνω από μία συγκεκριμένη στάθμη).

Η αρχική τιμή της χρονοσφραγίδας θα πρέπει να είναι τυχαία, όπως και αυτή του αριθμού σειράς. Πολλά συνεχόμενα πακέτα RTP μπορεί να έχουν ίσες χρονοσφραγίδες αν (λογικά) παράγονται μαζί (π.χ. ανήκουν στο ίδιο

πλαίσιο βίντεο). Συνεχόμενα πακέτα RTP ενδεχομένως να περιέχουν χρονοσφραγίδες που δεν είναι μονοτονικές αν τα δεδομένα δεν μεταδίδονται με τη σειρά που δειγματοληπτήθηκαν, όπως στην περίπτωση των πλαισίων του interlaced βίντεο MPEG (Οι αριθμοί αλληλουχίας των πακέτων όπως μεταδίδονται θα συνεχίσουν να είναι μονοτονικοί).

Οι χρονοσφραγίδες RTP διαφορετικών ροών μέσω μίας ροής μπορεί να αυξάνονται με διαφορετικούς ρυθμούς και συνήθως έχουν ανεξάρτητες, τυχαίες αρχικές τιμές. Έτσι, ενώ αυτές οι χρονοσφραγίδες επαρκούν για την ανακατασκευή του χρονισμού μιας μόνο ροής (stream), το να συγκρίνουμε απ' ευθείας τις χρονοσφραγίδες από διαφορετικά μέσα δεν εξυπηρετεί για το συγχρονισμό τους. Αντί γι' αυτό, για κάθε μέσο, η χρονοσφραγίδα RTP σχετίζεται με τη στιγμή δειγματοληψίας συνδυάζοντας τη με μία χρονοσφραγίδα NTP (NTP timestamp) από ένα ρολόι αναφοράς (wallclock) που δείχνει την ώρα που δειγματοληπτήθηκαν τα δεδομένα που αντιστοιχούν στη χρονοσφραγίδα RTP. Το ρολόι αναφοράς είναι κοινό για όλα τα μέσα που πρόκειται να συγχρονιστούν. Τα ζεύγη χρονοσφραγίδων δε μεταδίδονται σε κάθε πακέτο δεδομένων, αλλά με χαμηλότερο ρυθμό στα πακέτα RTCP SR, που θα περιγραφούν στη συνέχεια.

SSRC: 32 bits

Το πεδίο SSRC προσδιορίζει την πηγή συγχρονισμού. Όπως προαναφέρθηκε, ο προσδιοριστής SSRC πρέπει να επιλέγεται τυχαία, με τον περιορισμό ότι κανένα ζεύγος πηγών συγχρονισμού στην ίδια σύνοδο RTP δε θα έχει τον ίδιο προσδιοριστή SSRC. Παρόλο που η πιθανότητα περισσότερες από μία πηγές να έχουν το ίδιο SSRC είναι μικρή, όλες οι εφαρμογές RTP πρέπει να είναι έτοιμες να ανιχνεύσουν και να επιλύσουν τυχόν συγκρούσεις (collisions). Αν μια πηγή αλλάξει τη διεύθυνση προορισμού της, τότε πρέπει να επιλέξει και ένα καινούριο προσδιοριστή SSRC.

CSRC list – Λίστα CSRC: 0 – 15 πεδία, 32 bits το καθένα

Η λίστα CSRC προσδιορίζει τις συμβάλλουσες πηγές για το ωφέλιμο φορτίο που μεταφέρεται στο συγκεκριμένο πακέτο RTP. Ο αριθμός των

προσδιοριστών δίνεται από το πεδίο CC. Αν υπάρχουν περισσότερες από 15 συμβάλλουσες πηγές, μόνο 15 μπορούν να προσδιοριστούν. Οι προσδιοριστές CSRC εισάγονται από τους μίκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν τους προσδιοριστές SSRC των συμβαλλουσών πηγών.

4.3.2 – Πολύπλεξη συνόδων RTP

Για την αποτελεσματική επεξεργασία του πρωτοκόλλου, ο αριθμός των σημείων πολύπλεξης (μίκτες) θα πρέπει να ελαχιστοποιείται. Στο RTP, η πολύπλεξη γίνεται στις διευθύνσεις προορισμού (διεύθυνση δικτύου + θύρα) που είναι διαφορετικές για κάθε σύνοδο RTP. Για παράδειγμα, σε μία τηλεδιάσκεψη, που αποτελείται από μέσα βίντεο και ήχου που κωδικοποιούνται ξεχωριστά, το κάθε μέσο θα ήταν καλό να μεταφέρεται σε μια ξεχωριστή σύνοδο RTP με τη δική της διεύθυνση μεταφοράς.

Ξεχωριστές ροές ήχου και βίντεο δεν είναι καλό να μεταφέρονται σε μία σύνοδο RTP και να αποπολυπλέκονται βάσει του τύπου ωφέλιμου φορτίου ή του προσδιοριστή SSRC. Παρεμβάλλοντας πακέτα με διαφορετικούς τύπους μέσων που χρησιμοποιούν το ίδιο SSRC θα προκαλούσε αρκετά προβλήματα:

- Ας πούμε, αν δύο ροές ήχου μεταδίδονται από την ίδια σύνοδο RTP, είχαν το ίδιο SSRC, και μία από τις δύο έπρεπε να αλλάξει κωδικοποίηση –άρα και να αλλάξει η τιμή στο πεδίο PT-, δε θα υπήρχε κάποιος γενικός τρόπος να προσδιορίσουμε ποια από τις δύο ροές άλλαξε κωδικοποίηση.
- Ένας προσδιοριστής SSRC υποτίθεται ότι προσδιορίζει έναν διαφορετικό αριθμητικό χώρο από χρονοσφραγίδες και αριθμούς αλληλουχίας. Παρεμβάλλοντας πολλούς τύπους ωφέλιμου φορτίου θα απαιτούσε διαφορετικούς χρονικούς χώρους αν οι αριθμοί ρολογιού των μέσων ήταν διαφορετικοί και θα απαιτούσε διαφορετικούς χώρους αριθμών αλληλουχίας για να μπορούμε να πούμε ποιος από τους δύο

τύπους ωφέλιμου φορτίου υπέστη απώλεια πακέτων κατά την μετάδοση.

- Οι αναφορές RTCP αποστολέα και παραλήπτη (βλ. επόμενη παράγραφο) μπορούν να περιγράψουν μόνο ένα χώρο αριθμών αλληλουχίας για κάθε SSRC και δε φέρουν πεδίο προσδιορισμού τύπου ωφέλιμου φορτίου, οπότε επί της ουσίας θα ήταν άχρηστες.
- Ένας μίκτης RTP δε θα μπορούσε να συνδυάσει αλληλοπαρεμβαλλόμενες ροές από ασύμβατα μέσα σε μία ροή.
- Η μεταφορά πολλών μέσων σε μία σύνοδο RTP αποκλείει: τη χρήση διαφορετικών διαδρομών δικτύου ή τη δέσμευση πόρων του δικτύου αν χρειάζεται· τη λήψη ενός υποσυνόλου των μέσων αν επιθυμείται (π.χ. μόνο του ήχου αν η μεταφορά του βίντεο δεν είναι εφικτή ή η ποιότητα δεν είναι ικανοποιητική με το διαθέσιμο εύρος ζώνης)· και τις εφαρμογές στην πλευρά του παραλήπτη που εφαρμόζουν διαφορετική επεξεργασία για διαφορετικούς τύπους μέσων (π.χ. αναπαραγωγή και αποθήκευση του ήχου και απλή αναπαραγωγή του βίντεο), ενώ η χρήση ξεχωριστών συνόδων RTP επιτρέπει υλοποιήσεις μεμονωμένες ή πολλαπλής επεξεργασίας.

Η χρήση διαφορετικών προσδιοριστών SSRC για κάθε μέσο αλλά η αποστολή τους μέσω της ίδιας συνόδου RTP θα έλυne τα τρία πρώτα προβλήματα αλλά όχι και τα δύο τελευταία. Άρα, ως γενικό συμπέρασμα, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ευεξία και η επεκτασιμότητα των εφαρμογών RTP, καλό θα ήταν το κάθε μέσο να προσδιορίζεται από διαφορετικό SSRC και να μεταφέρεται από μια ξεχωριστή σύνοδο RTP.

4.4 – Το RTCP (Real-time Control Protocol)

Το πρωτόκολλο ελέγχου του RTP, το RTCP, βασίζεται στην περιοδική μετάδοση πακέτων ελέγχου σε όλους τους συμμετέχοντες στη σύνοδο, με τη χρήση του ίδιου μηχανισμού μετάδοσης με τα πακέτα δεδομένων. Το υποκείμενο επίπεδο πρέπει να παρέχει κάποιο μηχανισμό πολύπλεξης των πακέτων ελέγχου και δεδομένων, για παράδειγμα με τη χρήση διαφορετικών

θυρών μέσω UDP. Κατά σύμβαση τα πακέτα δεδομένων αποστέλλονται σε άρτιες θύρες ενώ τα πακέτα ελέγχου που τους αντιστοιχούν στις κατά ένα μεγαλύτερες μονές θύρες. Το RTCP εκτελεί τέσσερις λειτουργίες.

- Η κύρια λειτουργία του RTCP είναι να παρέχει ανατροφοδότηση για την ποιότητα της διανομής των δεδομένων. Αυτό είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι του ρόλου του RTP ως πρωτόκολλο μετάδοσης και σχετίζεται με τις λειτουργίες ελέγχου ροής και συμφόρησης άλλων πρωτοκόλλων μετάδοσης. Η ανατροφοδότηση μπορεί να χρησιμεύσει άμεσα στον έλεγχο προσαρμοστικών κωδικοποιήσεων, ή για την διάγνωση λαθών κατά την διανομή των δεδομένων. Η αποστολή αναφορών αποδέκτη RR (βλ. παρακάτω) σε όλους τους συμμετέχοντες επιτρέπει σε κάποιον ο οποίος εποπτεύει το δίκτυο να εκτιμήσει αν αυτά τα προβλήματα είναι τοπικά ή γενικά. Ακόμη είναι δυνατόν, μία οντότητα – όπως ένας πάροχος υπηρεσιών δικτύου- που δεν συμμετέχει στη σύνοδο, να λειτουργήσει ως τρίτος παρατηρητής (*third party monitor*) για να διαγνώσει προβλήματα του δικτύου. Η λειτουργία της ανατροφοδότησης εκτελείται μέσω των αναφορών αποστολέα και παραλήπτη, που παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.
- Το RTCP μεταφέρει έναν μόνιμο προσδιοριστή επιπέδου μεταφορών για μια πηγή RTP που ονομάζεται «κανονικοποιημένο όνομα» (*canonical name, CNAME*). Από τη στιγμή που ένας προσδιοριστής SSRC μπορεί να αλλάξει λόγω μιας αποτυχίας ή επανεκκίνησης της εφαρμογής, οι αποδέκτες χρειάζονται το CNAME (το οποίο δεν αλλάζει αλλά εξαρτάται από την μηχανή του αποστολέα) για να ανιχνεύσουν ξανά το συγκεκριμένο συμμετέχοντα. Οι αποδέκτες επίσης, χρειάζονται το CNAME για να συνδέσουν πολλές ροές δεδομένων από ένα συγκεκριμένο συμμετέχοντα σε ένα σύνολο συσχετισμένων συνόδων RTP, για παράδειγμα για το συγχρονισμό του ήχου και του βίντεο. Ακόμη, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, ο συγχρονισμός απαιτεί και τις *χρονοσφραγίδες NTP* και *RTP* που περιλαμβάνονται στα πακέτα RTCP.

- Μέσω των πακέτων RTCP μπορεί να γίνει γνωστός ο αριθμός των συμμετεχόντων σε μία σύνοδο RTP, ακόμα και αυτών που δεν «μιλάνε», δηλαδή δε στέλνουν παρά μόνο λαμβάνουν δεδομένα. Ακολούθως, αντιστρόφως ανάλογα με τον αριθμό των συμμετεχόντων, μπορεί να καθοριστεί ο ρυθμός αποστολής πακέτων RTCP ώστε να μην επιβαρύνεται κατά πολύ το κανάλι από τα πακέτα ελέγχου.
- Προαιρετικά, μπορεί να χρησιμεύσει για την αποστολή βασικών στοιχείων για τους συμμετέχοντες, όπως όνομα, e-mail, διεύθυνση, λόγος αποχώρησης από τη σύνοδο κ.α.

Το πρωτόκολλο προδιαγράφει διάφορα είδη πακέτων RTCP για να μεταφέρουν μια ποικιλία από πληροφορίες ελέγχου:

SR (Sender Report): Αναφορά αποστολέα, για στατιστικά μετάδοσης και λήψης από συμμετέχοντες που είναι ενεργοί αποστολείς.

RR (Receiver Report): Αναφορά παραλήπτη, για στατιστικά λήψης από συμμετέχοντες που είναι μη ενεργοί αποστολείς.

SDES (Source Description): Περιγραφή πηγής, πάντα περιλαμβάνουν το CNAME.

BYE: Αντίο, σηματοδοτεί το τέλος μιας συμμετοχής στη σύνοδο.

APP: Λειτουργίες που ορίζονται από την εφαρμογή.

Το κάθε πακέτο RTCP ξεκινά με ένα τυποποιημένο μέρος, όμοιο με αυτό των πακέτων του RTP, ακολουθούμενο από δομημένα στοιχεία που μπορεί να είναι μεταβλητού μήκους ανάλογα με το είδος του πακέτου, αλλά πρέπει να τελειώνουν σε ένα όριο των 32 bit. Πολλά πακέτα RTCP μπορούν να συνδεθούν αλυσιδωτά για να σχηματίσουν ένα *σύνθετο πακέτο RTCP (compound RTCP packet)* το οποίο στέλνεται εντός ενός πακέτου του

πρωτοκόλλου του χαμηλότερου επιπέδου, για παράδειγμα του UDP. Δεν υπάρχει πουθενά καμία αρίθμηση των μεμονωμένων RTCP πακέτων στο σύνθετο πακέτο, αφού το πρωτόκολλο κατώτερου επιπέδου παρέχει πληροφορία για το ολικό μήκος του πακέτου που καθορίζει και το τέλος του.

Κάθε ξεχωριστό πακέτο RTCP ενός σύνθετου πακέτου μπορεί να επεξεργαστεί μεμονωμένα χωρίς επιπλέον απαιτήσεις σχετικά με τη σειρά ή το συνδυασμό των πακέτων. Παρόλα αυτά, προκειμένου να εκπληρώνονται οι λειτουργίες του πρωτοκόλλου, επιβάλλονται οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- Τα *στατιστικά λήψης* (στα SR ή RR) πρέπει να στέλνονται όσο συχνότερα το επιτρέπουν οι περιορισμοί του εύρους ζώνης, ώστε να μεγιστοποιηθεί η ανάλυση των στατιστικών λήψης. Έτσι, κάθε περιοδικά μεταδιδόμενο σύνθετο πακέτο *πρέπει* να περιέχει ένα πακέτο αναφοράς.
- Οι νέοι παραλήπτες *πρέπει* να λάβουν το CNAME μιας πηγής το δυνατόν συντομότερο για να προσδιορίσουν την πηγή και να αρχίσουν το συσχετισμό των μέσων για λόγους όπως ο συγχρονισμός τους. Έτσι, κάθε σύνθετο πακέτο RTCP *πρέπει* να περιέχει το SDES CNAME.
- Ο αριθμός των ειδών πακέτων που μπορεί να εμφανιστούν πρώτα σε ένα σύνθετο πακέτο πρέπει να περιορίζεται, ώστε να αυξηθούν τα σταθερά bits στην πρώτη λέξη του header και ακολούθως να αυξηθεί η πιθανότητα επιτυχούς επικύρωσης των πακέτων RTCP έναντι λάθους διευθυνσιοδοτημένων πακέτων RTP ή άλλων άσχετων πακέτων.

Έτσι, όλα τα πακέτα RTCP *πρέπει* να στέλνονται σε ένα σύνθετο πακέτο αποτελούμενο από το λιγότερο δύο μεμονωμένα πακέτα με την ακόλουθη μορφή:

Πρόθεμα κρυπτογράφησης: (Προαιρετικά) Αν και μόνο αν το πακέτο πρόκειται να κρυπτογραφηθεί. Πρέπει να είναι 32 bits.

SR ή RR: Το πρώτο RTCP πακέτο σε ένα σύνθετο πακέτο *πρέπει* να είναι πάντα ένα πακέτο αναφοράς για να διευκολύνει την επικύρωση της κεφαλίδας. Αυτό ισχύει ακόμα και αν δεν έχουν σταλθεί ή ληφθεί καθόλου δεδομένα, οπότε και στέλνεται ένα «άδειο» πακέτο RR και ακόμα και αν το μόνο πακέτο που ακολουθεί είναι ένα πακέτο BYE (τερματισμού συνομιλίας).

SDES: Ένα πακέτο SDES που περιέχει το CNAME *πρέπει* οπωσδήποτε να συμπεριλαμβάνεται σε κάθε σύνθετο πακέτο, εκτός και αν πρόκειται να σταλεί πακέτο BYE. Άλλες πληροφορίες περιγραφής της πηγής μπορούν προαιρετικά να περιληφθούν αν απαιτούνται από κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή.

BYE ή APP: Άλλα είδη πακέτων RTCP (APP) μπορεί να ακολουθούν σε οποιαδήποτε σειρά, αλλά το πακέτο BYE *πρέπει* να είναι το τελευταίο που στέλνεται από ένα συγκεκριμένο SSRC.

Κάθε συμμετέχων σε σύνοδο RTP *πρέπει* να στέλνει *ένα μόνο σύνθετο πακέτο RTCP* κάθε φορά, ώστε το διαθέσιμο εύρος ζώνης για το RTCP για κάθε συμμετέχοντα να μπορεί να εκτιμηθεί σωστά. Μια εφαρμογή *πρέπει* να αγνοεί πακέτα RTCP που της είναι άγνωστα.

Το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της μετάδοσης των RTCP πακέτων ορίζεται αναλυτικά στο RFC 3550. Ο γενικός κανόνας πάντως είναι ότι το εύρος ζώνης που διατίθεται για το RTCP δεν θα *πρέπει* να ξεπερνά το *5% του συνολικού εύρους ζώνης* του καναλιού, ώστε να μην παρεμποδίζεται σημαντικά η μετάδοση των δεδομένων. Συνεπώς, όσο περισσότεροι είναι οι συμμετέχοντες σε μία σύνοδο RTP, αναλόγως μεγαλύτερα είναι τα διαστήματα που στέλνει ο καθένας από αυτούς πακέτα RTCP. Ακόμη, ορίζεται επακριβώς το ποσοστό του εύρους ζώνης για το RTCP που διατίθεται για τους ενεργούς και μη ενεργούς αποστολείς πακέτων δεδομένων. Τέλος, προδιαγράφεται ότι μετά τον υπολογισμό του (ιδανικού για την σύνοδο) διαστήματος μετάδοσης RTCP, ο κάθε συμμετέχων θα στέλνει πακέτα RTCP σε χρόνους που κατανέμονται τυχαία στο διάστημα [0.5, 1.5] επί το χρόνο του διαστήματος που υπολογίστηκε. Αυτό γίνεται για να μην

παρατηρηθεί το φαινόμενο της ταυτόχρονης αποστολής πακέτων RTCP από όλους τους συμμετέχοντες που θα προκαλούσε κυκλοφοριακή συμφόρηση στο δίκτυο. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι το διάστημα μετάδοσης RTCP, όταν η σύνοδος απαρτίζεται από δύο συμμετέχοντες είναι περίπου 5 sec.

4.4.1 – Αναφορές αποστολέα και παραλήπτη

Οι παραλήπτες δεδομένων RTP παρέχουν ανατροφοδότηση σχετικά με την ποιότητα της λήψης τους χρησιμοποιώντας πακέτα αναφοράς RTCP που μπορούν να πάρουν δύο μορφές, ανάλογα με το αν ο αποδέκτης είναι επίσης και αποστολέας ή όχι. Η μόνη διαφορά μεταξύ των *αναφορών αποστολέα (sender report – SR)* και των *αναφορών παραλήπτη (receiver report – RR)*, εκτός από τον κωδικό τύπου πακέτου, είναι ότι οι πρώτες περιέχουν ένα τομέα πληροφοριών αποστολέα των 20 bytes. Το SR εκδίδεται αν ο αντίστοιχος συμμετέχων έχει στείλει πακέτα δεδομένων κατά το τελευταίο διάστημα, δηλαδή από την αποστολή του προηγούμενου πακέτου RTCP. Διαφορετικά, εκδίδει ένα RR.

Τόσο τα SR όσο και τα RR περιέχουν μηδέν ή περισσότερα μπλοκ αναφοράς λήψης, ένα για κάθε πηγή συγχρονισμού από τις οποίες ο συγκεκριμένος παραλήπτης έχει λάβει δεδομένα RTP από τη στιγμή της τελευταίας αναφοράς.

4.4.1.1 – SR – Πακέτο RTCP αναφοράς αποστολέα

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
V=2 P	RC	PT=SR=200	length
SSRC of sender			
NTP timestamp, most significant word			
NTP timestamp, least significant word			
RTP timestamp			
Sender's packet count			
Sender's octet count			

SSRC_1 (SSRC of first source)	
Fraction lost	cumulative number of packets lost
Extended highest sequence number received	
Interarrival jitter	
Last SR (LSR)	
Delay since last SR (DLSR)	
SSRC_2 (SSRC of second source)	
. . .	
Profile - specific extensions	

Εικόνα 4.5: Πακέτο αναφοράς αποστολέα (SR)

Η αναφορά αποστολέα αποτελείται από τρία τμήματα. Το πρώτο, η *κεφαλίδα (header)*, έχει μήκος 8 bytes. Τα πεδία που δεν έχουν επεξηγηθεί προηγουμένως έχουν την ακόλουθη σημασία:

Reception report count (RC) – Απαριθμητής αναφορών λήψης: 5 bits

Ο αριθμός των μπλοκ αναφορών λήψης που περιέχονται σε αυτό το πακέτο. Η τιμή 0 είναι έγκυρη.

Packet type (PT) – Τύπος πακέτου: 8 bits

Περιέχει το 200 που προσδιορίζει ότι αυτό είναι ένα πακέτο RTCP SR.

Το δεύτερο τμήμα, οι *πληροφορίες του αποστολέα*, έχει μήκος 20 bytes και υπάρχει σε κάθε πακέτο SR. Συνοψίζει τις μεταδόσεις δεδομένων από τον συγκεκριμένο αποστολέα. Τα πεδία έχουν την ακόλουθη σημασία:

NTP timestamp – Χρονοσφραγίδα NTP: 64 bits

Δείχνει τη στιγμή του ρολογιού αναφοράς (wallclock time) που εστάλη αυτή η αναφορά, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με χρονοσφραγίδες που επιστρέφονται μέσα σε αναφορές παραλήπτη (RRs) από άλλους παραλήπτες για να μετρηθεί η καθυστέρηση διάδοσης ενός πακέτου για να κάνει το γύρο του δικτύου (round-trip propagation delay). Ακόμη χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό δύο ή περισσότερων ροών

πολυμέσων.

RTP timestamp – Χρονοσφραγίδα RTP: 32 bits

Αντιστοιχεί στην ίδια χρονική στιγμή με τη χρονοσφραγίδα NTP, αλλά στις ίδιες μονάδες και με την ίδια τυχαία αρχική τιμή όπως οι χρονοσφραγίδες RTP στα πακέτα δεδομένων. Αυτή η αντιστοιχία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το συγχρονισμό ροών που προέρχονται από πηγές με συγχρονισμένες τις χρονοσφραγίδες NTP τους. Ακόμη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάποιους αποδέκτες για την εκτίμηση της συχνότητας του ρολογιού RTP.

Sender's packet count – Μετρητής πακέτων αποστολέα: 32 bits

Ο συνολικός αριθμός πακέτων RTP που μεταδόθηκαν από τον αποστολέα από την αρχή της μετάδοσης μέχρι τη στιγμή που εκδόθηκε το συγκεκριμένο πακέτο SR.

Sender's octet count – Μετρητής byte αποστολέα: 32 bits

Ο συνολικός αριθμός bytes ωφέλιμου φορτίου που μεταδόθηκαν σε πακέτα RTP από την αρχή της μετάδοσης μέχρι τη στιγμή που εκδόθηκε το συγκεκριμένο πακέτο SR. Αυτό το πεδίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του μέσου ρυθμού μετάδοσης ωφέλιμου φορτίου.

Το τρίτο τμήμα του SR περιέχει μηδέν ή περισσότερα *μπλοκ αναφορών λήψης*, ανάλογα με τον αριθμό των άλλων πηγών που «άκουσε» ο αποστολέας από τη στιγμή της προηγούμενης αναφοράς (SR ή RR) που έστειλε. Κάθε μπλοκ αναφοράς λήψης μεταφέρει στατιστικά για τη λήψη πακέτων RTP από μία μόνο πηγή συγχρονισμού. Τα στατιστικά αυτά είναι:

SSRC_n – Προσδιοριστής SSRC_n: 32 bits

Ο προσδιοριστής SSRC της πηγής στην οποία ανήκει το συγκεκριμένο μπλοκ αναφοράς λήψης.

Fraction lost – Κλάσμα απωλειών: 8 bits

Το κλάσμα των χαμένων RTP πακέτων δεδομένων από την πηγή SSRC_n από τη στιγμή που στάλθηκε το τελευταίο πακέτο SR ή RR, εκφρασμένο ως

αριθμός σταθερής υποδιαστολής τοποθετημένης στο αριστερό άκρο του πεδίου. Αυτό το κλάσμα ορίζεται ως ο αριθμός των πακέτων που χάθηκαν προς τον αριθμό των πακέτων που αναμένονταν. Αν το κλάσμα είναι αρνητικό, λόγω διπλοτύπων (πακέτων που έχουν ληφθεί περισσότερες από μία φορές), τότε τίθεται στο 0.

Cumulative number of packets lost – Αθροιστικός αριθμός χαμένων πακέτων: 24 bits

Ο συνολικός αριθμός των RTP πακέτων δεδομένων από τη πηγή SSRC_n που χάθηκαν από την αρχή της λήψης. Ο αριθμός ορίζεται ως ο αριθμός των πακέτων που αναμένονται μείον τον αριθμό των πακέτων που ελήφθησαν, όπου ο αριθμός των πακέτων που ελήφθησαν περιλαμβάνει και τα διπλότυπα και όσα καθυστέρησαν σημαντικά.

Extended highest sequence number – Εκτεταμένος μέγιστος αριθμός ακολουθίας: 32 bits

Τα 16 λιγότερο σημαντικά bits περιέχουν τον μέγιστο αριθμό αλληλουχίας που ελήφθη από πακέτο RTP από την πηγή SSRC_n, και τα 16 πλέον σημαντικά bits επεκτείνουν αυτόν τον αριθμό αλληλουχίας με τον αντίστοιχο μετρητή των περιόδων αριθμών αλληλουχίας (στο πρωτόκολλο περιγράφεται πώς ακριβώς, αλλά δεν έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα και έτσι δε θα εξεταστεί λεπτομερώς).

Interarrival jitter – Jitter μεταξύ των αφίξεων: 32 bits

Μία εκτίμηση της στατικής διασποράς του χρόνου μεταξύ των αφίξεων των πακέτων RTP, μετρούμενης σε *μονάδες χρονοσφραγίδων* και εκφραζόμενη ως μη προσημασμένου ακεραίου. Το interarrival jitter ορίζεται ως η μέση απόκλιση (εξομαλυμένη απόλυτη τιμή) της *χρονικής διαφοράς D μεταξύ των πακέτων στο δέκτη σε σύγκριση με αυτή στον αποστολέα* για ένα ζεύγος πακέτων. Η *χρονική διαφορά D* είναι ισοδύναμη με τη διαφορά στο «*σχετικό χρόνο μετάδοσης*» για δύο πακέτα. Ο *σχετικός χρόνο μετάδοσης* είναι η διαφορά μεταξύ της χρονοσφραγίδας RTP ενός πακέτου και του ρολογιού του δέκτη, μετρημένη στις ίδιες μονάδες.

Last SR timestamp (LSR) – Τελευταία χρονοσφραγίδα SR: 32 bits

Τα μεσαία 32 bits της χρονοσφραγίδας NTP του πιο πρόσφατου SR που ελήφθη από την πηγή DDRC_n. Αν δεν έχει ληφθεί SR τίθεται στο 0.

Delay since last SR (DLSR) – Καθυστέρηση από το τελευταίο SR: 32 bits

Η καθυστέρηση, εκφρασμένη σε μονάδες του 1/65536 δευτερολέπτου, μεταξύ της λήψης του τελευταίου SR από την πηγή SSRC_n και της αποστολής αυτού του μπλοκ αναφοράς λήψης. Αν δεν έχουν ληφθεί SR από την SSRC_n τίθεται στο 0.

4.4.1.2 – RR – Πακέτο RTCP αναφοράς παραλήπτη

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
V=2 P	RC	PT=SR=201	length
SSRC of packet sender			
SSRC_1 (SSRC of first source)			
Fraction lost		cumulative number of packets lost	
Extended highest sequence number received			
Interarrival jitter			
Last SR (LSR)			
Delay since last SR (DLSR)			
SSRC_2 (SSRC of second source)			
. . .			
Profile - specific extensions			

Εικόνα 4.6: Αναφορά παραλήπτη (RR)

Η μορφή του πακέτου αναφοράς παραλήπτη (receiver report – RR) είναι ίδια με αυτή της αναφοράς αποστολέα (SR) με μόνες διαφορές ότι το πεδίου τύπου πακέτου περιέχει τη σταθερά 201 και οι πέντε λέξεις των 32 bit με τις πληροφορίες του αποστολέα παραλείπονται (αυτές είναι οι χρονοσφραγίδες RTP και NTP και οι μετρητές πακέτων και bytes). Τα υπόλοιπα πεδία έχουν

την ίδια σημασία και στο SR.

Όταν δεν υπάρχει κάποια μετάδοση ή λήψη δεδομένων για αναφορά, στην κορυφή ενός σύνθετου πακέτου RTCP μπαίνει μια «άδεια» αναφορά παραλήπτη.

4.4.1.3 – Στατιστικές πληροφορίες που μπορούν να ανακτηθούν από τα SR και RR.

Η ανατροφοδότηση για την ποιότητα της λήψης που παρέχεται μέσω των SR και RR μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους αποστολείς δεδομένων για να αλλάξουν την κωδικοποίηση των δεδομένων τους ή να περιορίσουν κάποιες αποστολές (π.χ. παύση του βίντεο), από τους παραλήπτες που μπορούν να εκτιμήσουν αν υπάρχουν προβλήματα στο δίκτυο και αν είναι τοπικά ή γενικά και από τρίτους παρατηρητές που θέλουν να παρακολουθούν την απόδοση των δικτύων τους, χωρίς να συμμετέχουν στις συνόδους RTP.

Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά μερικά στατιστικά δεδομένα που μπορούν να ληφθούν ή εκτιμηθούν από τα SR και RR.

Οι αθροιστικοί απαριθμητές πακέτων και bytes που χρησιμοποιούνται στα SR και RR επιτρέπουν τον υπολογισμό διαφορών μεταξύ οποιονδήποτε δύο πακέτων αναφορών, ώστε να μπορούμε να πραγματοποιούμε μετρήσεις για μικρές ή μεγάλες περιόδους. Ακόμα, οι αντίστοιχες χρονοσφραγίδες NTP επιτρέπουν τον υπολογισμό ρυθμών.

Για παράδειγμα μπορούμε να υπολογίσουμε:

- Το **ρυθμό απώλειας πακέτων** μεταξύ δύο πακέτων αναφορών RTCP από τη διαφορά των “αθροιστικών αριθμών χαμένων πακέτων” προς τη διαφορά των αντίστοιχων χρονοσφραγίδων.
- Η διαφορά των “αθροιστικών αριθμών χαμένων πακέτων” προς τη διαφορά των αντίστοιχων “εκτεταμένων μέγιστων αριθμών ακολουθίας” μας δείχνει το λόγο **απώλειας πακέτων**. Το κλάσμα αυτό θα είναι ίδιο

με τη τιμή του πεδίου “κλάσμα απωλειών” αν τα πακέτα είναι διαδοχικά, αλλά όπως είναι προφανές με τον παραπάνω τρόπο έχουμε την δυνατότητα να το υπολογίσουμε και για μεγαλύτερες περιόδους.

- Η διαφορά των “μετρητών bytes αποστολέα” προς τη διαφορά των αντίστοιχων χρονοσφραγίδων NTP μας δίνει το **μέσο ρυθμό δεδομένων ωφέλιμου φορτίου**.
- Η διαφορά των “μετρητών πακέτων αποστολέα” προς τη διαφορά των αντίστοιχων χρονοσφραγίδων NTP δίνει το **μέσο ρυθμό πακέτων**.
- Ο λόγος των δύο παραπάνω μεγεθών ισούται με το **μέσο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου**.
- Πολλαπλασιάζοντας το *μέσο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου* με τον αριθμό πακέτων που ελήφθησαν από ένα συγκεκριμένο αποδέκτη λαμβάνουμε το **φαινόμενο διαθέσιμο throughput** για το συγκεκριμένο αποδέκτη.
- Από το πεδίο “jitter μεταξύ των αφίξεων” μπορούμε να έχουμε απ’ ευθείας ένα δείγμα του **jitter** μεταξύ των πακέτων.
- Από τα πεδία LSR και DLSR που περιέχονται στα SR και RR μπορούμε να εκτιμήσουμε την καθυστέρηση αμφίδρομης διάδοσης ενός πακέτου μεταξύ δύο συμμετεχόντων (**round trip propagation delay**).

4.4.2 – SDES – Πακέτο RTCP περιγραφής πηγής.

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1
V=2 P	SC	PT=SDES=202	length
SSRC/CSRC_1			
SDES items			
...			
SSRC/CSRC_2			
SDES items			
...			

Εικόνα 4.7: Πακέτο περιγραφής πηγής (SDES)

Το πακέτο SDES (Source Description) είναι μια δομή τριών επιπέδων που αποτελείται από μια *κεφαλίδα* και μηδέν ή περισσότερα άλλα *τμήματα (chunks)*, το καθένα από τα οποία αποτελείται από *κομμάτια (items)* που περιγράφουν την πηγή που προσδιορίζεται στο συγκεκριμένο τμήμα. Η σημασία των πεδίων περιγράφεται παρακάτω.

Version (V), Padding (P), Length:

Όπως ακριβώς και στα πακέτα τύπου SR

Packet type (PT) – Τύπος πακέτου: 8 bits

Περιέχει τη σταθερά 202 που προσδιορίζει τα πακέτα RTCP SDES.

Source count (SC) – Μετρητής πηγών: 5 bits

Ο αριθμός των SSRC/CSRC τμημάτων που περιέχονται στο συγκεκριμένο πακέτο SDES.

Κάθε *τμήμα* αποτελείται από έναν *προσδιοριστή SSRC/CSRC* ακολουθούμενο από μια λίστα μηδέν ή περισσότερων *κομματιών* που φέρουν πληροφορίες για το συγκεκριμένο SSRC/CSRC.

Το κομμάτι που είναι *υποχρεωτικό* να υπάρχει σε κάθε πακέτο SDES και σε κάθε σύνθετο πακέτο RTCP –όπως προαναφέρθηκε- είναι αυτό που φέρει το *CNAME*. Το CNAME προσδιορίζει μια συγκεκριμένη μηχανή, πρέπει να είναι μοναδικό για κάθε συμμετέχοντα σε μια σύνοδο RTP και χρησιμοποιείται από τις εφαρμογές λήψης RTP για το συσχέτισμό περισσότερων από μία συνόδων RTP (τυπικά για το συγχρονισμό των μέσων που φέρει η καθεμιά) ή για τον επανεντοπισμό ενός συμμετέχοντα αν για κάποιο λόγο αλλάξει το SSRC του. Το CNAME έχει μόρφη του τύπου user@host.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η δομή του κομματιού του CNAME.

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
CNAME=1	length	user and domain name	...

Εικόνα 4.8: Κομμάτι προσδιορισμού κανονικοποιημένου ονόματος (CNAME)

Τα άλλα κομμάτια SDES περιέχουν πληροφορίες για το όνομα του συμμετέχοντα, το e-mail του, το τηλέφωνό του, την τρέχουσα τοποθεσία του κ.ά. και δεν είναι υποχρεωτικό να μεταδίδονται σε κάθε πακέτο RTCP ή μπορούν να μη μεταδίδονται και καθόλου. Συνήθως η εφαρμογή, ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης και τις σκοπιμότητες που θέλει να εξυπηρετήσει, ορίζει ένα ρυθμό με τον οποίο θα αποστέλλονται τα υπόλοιπα κομμάτια SDES (πχ το e-mail να αποστέλλεται ανά 4 σύνθετα πακέτα RTCP, η τοποθεσία ανά 10 πακέτα RTCP κοκ).

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται κάποια τέτοια κομμάτια SDES των οποίων η μορφή δε διαφέρει κατά πολύ απ' αυτή του CNAME.

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
NAME=2	length	common name of source	...

Εικόνα 4.9: Κομμάτι προσδιορισμού ονόματος

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
EMAIL=3	length	email address of source	...

Εικόνα 4.10: Κομμάτι προσδιορισμού ηλεκτρονικής διεύθυνσης

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
PHONE=4	length	phone number of source	...

Εικόνα 4.11: Κομμάτι προσδιορισμού αριθμού τηλεφώνου

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
LOC=5	length	geographic location of site	...

Εικόνα 4.12: Κομμάτι προσδιορισμού τοποθεσίας

4.4.3 – BYE – Πακέτο RTCP «Αντίο»

Η δομή του πακέτου BYE φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
V=2 P SC PT=BYE=203	length		
SSRC/CSRC			
...			
Length	reason for leaving	...	

Εικόνα 4.13: Πακέτο «Αντίο»

Το πακέτο BYE υποδεικνύει ότι μία ή περισσότερες πηγές είναι πλέον ανενεργές. Η σημασία των πεδίων του παρουσιάζεται παρακάτω:

Version (V), Padding (P), Length:

Όπως ακριβώς και στα πακέτα τύπου SR.

Packet type (PT) – (Τύπος πακέτου): 8 bits

Περιέχει τη σταθερά 203 που προσδιορίζει τα πακέτα RTCP BYE.

Source count (SC) – Μετρητής πηγών: 5 bits

Ο αριθμός των προσδιοριστών SSRC/CSRC που περιέχονται στο συγκεκριμένο πακέτο BYE.

Κεφάλαιο 5 – Το πρωτόκολλο RSVP

5.1 - Εισαγωγή

Για την παροχή εγγυήσεων για **ποιότητα υπηρεσιών (QoS)**, πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνικές διαχείρισης πόρων. Χωρίς διαχείριση πόρων σε τελικά συστήματα (αποστολείς και παραλήπτες των δεδομένων), δίκτυα και διακόπτες (switches), τα συστήματα πολυμέσων αδυνατούν να παρέχουν αξιόπιστη ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες. Μετάδοση δεδομένων πολυμέσων πάνω σε αδέσμευτους πόρους οδηγεί σε καθυστερημένα και χαμένα πακέτα λόγω της μη διαθεσιμότητας των απαιτούμενων πόρων. Συνεπώς η διαχείριση πόρων παίζει σημαντικό ρόλο στα συστήματα επικοινωνίας πολυμέσων. Για το λόγο αυτό ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των συστημάτων επικοινωνίας πολυμέσων είναι το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων στο επίπεδο δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων δεν κάνει καμία δέσμευση απαιτούμενων πόρων το ίδιο, αλλά αποτελεί απλώς ένα μέσο που μεταφέρει πληροφορίες σχετικά με τις απαιτήσεις πόρων και διαπραγματεύεται τις τιμές του QoS που επιθυμούν οι χρήστες για τις **end-to-end** εφαρμογές τους. Τα πρωτόκολλα δέσμευσης βασίζονται σε συναρτήσεις διαχείρισης πόρων σε κάθε υποσύστημα για να επιτύχουν και να προγραμματίσουν προσβάσεις σε πόρους κατά τη διάρκεια της φάσης μετάδοσης.

Αν και η διαβάθμιση των μέσων, η οποία ρυθμίζει την ποσότητα των πολυμεσικών δεδομένων σύμφωνα με τους πόρους τους συστήματος που είναι κάθε στιγμή διαθέσιμοι, χρησιμοποιείται σε μερικά συστήματα, κάποια εγγύηση εξακολουθεί να απαιτείται από το σύστημα. Τα μέσα μπορούν να διαβαθμιστούν μόνο μέχρι κάποιο ορισμένο βαθμό και όχι κατά βούληση. Τα συστήματα επικοινωνίας πολυμέσων πρέπει να συνδυάζουν τεχνικές διαχείρισης πόρων και διαβάθμισης των μέσων για να πετύχουν την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών με μια συγκεκριμένη ποσότητα πόρων.

5.2 - RSVP (Resource ReSerVation Protocol)

Το **Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (RSVP)** επιτρέπει στον παραλήπτη να ζητήσει μία ορισμένη end-to-end ποιότητα υπηρεσίας. Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου χρησιμοποιούν το RSVP για να δεσμεύσουν τους απαραίτητους πόρους στους δρομολογητές κατά μήκος του μονοπατιού μετάδοσης, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμη η απαιτούμενη χωρητικότητα όταν λάβει χώρα η μετάδοση.

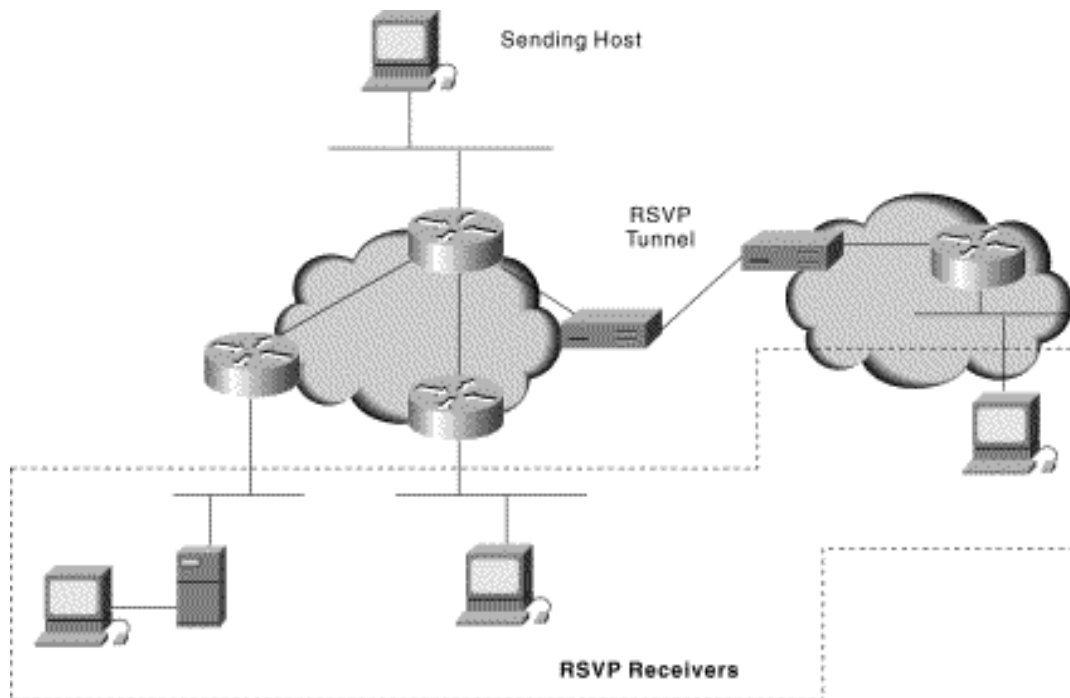
Το RSVP αποτελεί ένα πρωτόκολλο για multicasting και unicasting σηματοδότηση το οποίο σχεδιάστηκε για την εγκατάσταση και την συντήρηση σταθμών πληροφοριών σε κάθε δρομολογητή που βρίσκεται στο μονοπάτι μετάδοσης δεδομένων, κατά την μετάδοση δεδομένων. Ο χειρισμός καταστάσεων του RSVP ορίζεται στα RFC 2211 και RFC 2212 τα οποία έχουν οριστεί από την Integrated Services Work Group.

Η 1^η έκδοση του RSVP καθορίζεται από το RFC 2205 και το IETF (Internet Engineering Task Force) και έχει καταλήξει σχεδόν στην καθιέρωση των τεχνικών προδιαγραφών του πρωτοκόλλου σαν ένα Internet Proposed Standard. Το RSVP προέκυψε από τη συνεργασία μίας ομάδας εταιρειών όπως οι Xerox, Palo Alto Research Center (PARK), MIT, και του Information Sciences Institute of University California (ISI).

Για τη μετάδοση δεδομένων πολυμέσων ή δεδομένων υπερκείμενων πάνω από δίκτυο είναι αναγκαίο να ικανοποιούνται τρία βασικά χαρακτηριστικά:

- Η μεταφορά των δεδομένων να γίνεται με όσο το δυνατό πιο γρήγορο τρόπο.
- Να παρέχεται δυνατότητα multicasting (δηλαδή αποστολής δεδομένων σε πολλούς παραλήπτες με τη μεσολάβηση του δικτύου).
- Να υπάρχει δυνατότητα για εξασφάλιση στην μεταφορά των δεδομένων με βάση τις απαιτήσεις που έχει ορίσει εκ των προτέρων ο χρήστης.

Τα δεδομένα υπερμέσων είναι μεγάλα σε όγκο και επομένως πρέπει να παρέχονται αποδοτικοί μηχανισμοί αποστολής τέτοιων δεδομένων. Το RSVP δείχνει περισσότερο ενδιαφέρον στη διατήρηση των παρεχόμενων πόρων και δεν μπορεί να επέμβει στη δρομολόγηση των δεδομένων που έχουν αποσταλεί.



Εικόνα 5.1: Δικτυακό σχεδιάγραμμα συστημάτων που χρησιμοποιούν RSVP

5.3 - Χαρακτηριστικά του RSVP

Το RSVP έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

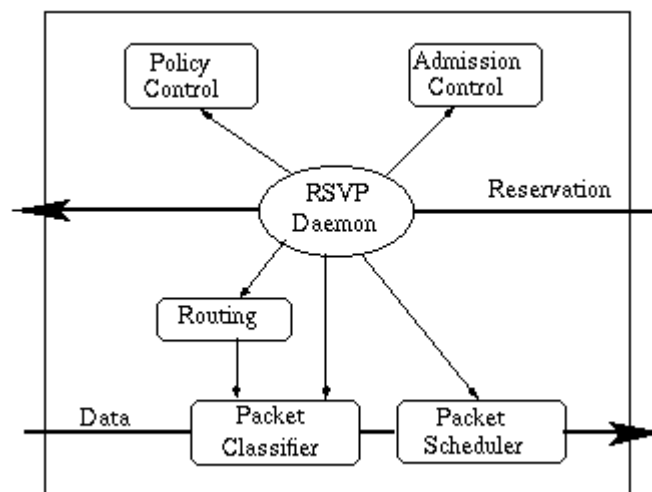
- Η ροή δεδομένων στο RSVP είναι μονής κατεύθυνσης. Το πρωτόκολλο διαχωρίζει τους αποστολείς από τους παραλήπτες. Παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις ο αποστολέας μπορεί να είναι και παραλήπτης, το RSVP δεσμεύει πόρους μόνο προς τη μία κατεύθυνση.
- Το RSVP υποστηρίζει και multicast και unicast και προσαρμόζεται στις συνεχείς αλλαγές ενός δυναμικού περιβάλλοντος.

- Το RSVP είναι receiver-oriented και μπορεί να χειριστεί διαφορετικές κατηγορίες παραληπτών. Ο κάθε παραλήπτης είναι υπεύθυνος για να διαλέξει το δικό του επίπεδο QoS. Ο αποστολέας διαχωρίζει την κίνηση σε ξεχωριστά flows, ένα για κάθε διαφορετικό επίπεδο QoS.
- Το RSVP έχει καλή συμβατότητα. Τρέχει πάνω από IPv4 και IPv6.
- Επιτρέπει μεταφορά δεδομένων σε ετερογενείς παραλήπτες, δηλαδή παρέχεται η δυνατότητα σε μια σύνδεση multicast αποστολής διαφορετικής ποσότητας (amount of multimedia data) δεδομένων σε παραλήπτες που ανήκουν στην ίδια multicast σύνοδο.
- Επιτρέπει τη δυναμική σύνδεση και αποσύνδεση παραληπτών σε multicast σύνοδο.
- Είναι αναγκαίο να υπάρχει ενημέρωση για τους διαθέσιμους πόρους πριν γίνουν αλλαγές στην δρομολόγηση.
- Το RSVP είναι συμπληρωματικό του IP ελέγχοντας τον τρόπο με τον οποίο το IP στέλνει τα “πακέτά” του. Προορίζεται κυρίως για έλεγχο των δεδομένων που αποστέλλονται και όχι για μεταφορά δεδομένων. Χρησιμοποιώντας το RSVP ένας αποστολέας δε γνωρίζει ποιοι παραλαμβάνουν τα δεδομένα που αποστέλλει.
- Παρέχει μια πληθώρα μοντέλων και «μορφών» (styles) ώστε να εξυπηρετεί μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών.

5.4 - Η λειτουργία του RSVP

Όταν μία εφαρμογή απαιτεί μία συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας, χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο αυτό για να στείλει την απαίτηση σε όλους τους δρομολογητές κατά μήκος του μονοπατιού μετάδοσης. Αν δεσμευτούν οι κατάλληλοι πόροι, το RSVP είναι υπεύθυνο για διατήρηση των πόρων αυτών. Κάθε κόμβος που έχει την ικανότητα να δεσμεύει πόρους έχει αρκετές τοπικές διαδικασίες για το σκοπό αυτό. Το **policy control** καθορίζει αν ο χρήστης έχει το δικαίωμα να δεσμεύσει πόρους. Το **admission control** ελέγχει τους πόρους και αποφασίζει για το αν ο κόμβος έχει αρκετούς πόρους για να υποστηρίξει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS).

Το **RSVP daemon** πραγματοποιεί ελέγχους με βάση τις δύο αυτές διαδικασίες. Αν κάποιος από τους δύο ελέγχους αποτύχει, το RSVP πρόγραμμα επιστρέφει ένα μήνυμα λάθους στην εφαρμογή που έκανε την αίτηση. Αν και οι δύο έλεγχοι είναι επιτυχημένοι, το RSVP daemon θέτει παραμέτρους στον **packet classifier** και στον **packet scheduler** έτσι ώστε να επιτευχθεί η ζητούμενη ποιότητα. Ο packet classifier καθορίζει την κλάση QoS για κάθε πακέτο και ο packet scheduler καθορίζει τη μετάδοση των πακέτων με στόχο την επίτευξη της ζητούμενης QoS για κάθε ροή (stream). Το **routing** παρέχει τις πληροφορίες με τις οποίες θα αποφασισθεί το μονοπάτι που θα ακολουθήσει το πακέτο, ώστε να επιτευχθεί η ζητούμενη QoS. Το RSVP daemon επικοινωνεί επίσης με τη διαδικασία δρομολόγησης, για τον καθορισμό του μονοπατιού το οποίο θα ακολουθήσουν οι αιτήσεις δέσμευσης. Η δέσμευση γίνεται μέσω δύο τύπων μηνυμάτων του RSVP, τα PATH και τα RESV μηνύματα.



Εικόνα 5.2: Δέσμευση σε ένα κόμβο του μονοπατιού μετάδοσης των δεδομένων

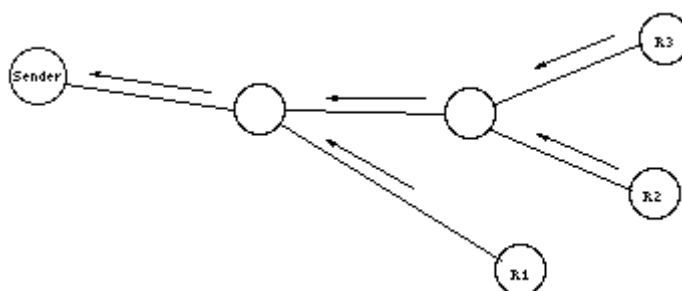
Τα PATH μηνύματα στέλνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα από τον αποστολέα στους παραλήπτες και περιλαμβάνουν το προφίλ των δεδομένων (data format, source address, source port) και άλλα χαρακτηριστικά για τη μεταφορά τους. Την πληροφορία αυτή χρησιμοποιούν οι παραλήπτες για να βρουν το αντίστροφο μονοπάτι προς τον αποστολέα και να προσδιορίσουν τους πόρους που πρέπει να δεσμευτούν.

Τα RESV μηνύματα δημιουργούνται από τους παραλήπτες και περιέχουν παραμέτρους για τη δέσμευση στις οποίες περιλαμβάνονται οι **flow spec** και **filter spec**. Η παράμετρος filter spec ορίζει ποια πακέτα πρέπει να χρησιμοποιηθούν από τον packet classifier. Η παράμετρος flow spec χρησιμοποιείται από τον packet scheduler. Τα RESV μηνύματα ακολουθούν το ακριβώς αντίθετο μονοπάτι των PATH μηνυμάτων.

Η δέσμευση που κάνει στους δρομολογητές το RSVP καλείται soft states. Το RSVP daemon πρέπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα να ανανεώνει τα μηνύματα έτσι ώστε να διατηρούνται οι δεσμευμένοι πόροι. Το γεγονός όμως αυτό καθιστά πιο εύκολες τις αλλαγές που είναι δυνατό να προκύψουν σε ένα δυναμικό περιβάλλον.

Η διαδικασία δέσμευσης πόρων είναι μια διαδικασία που εκτελείται μόνο μία φορά σε κάθε δημιουργία ροής και για αυτό δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να εγγυάται την επιτυχία της. Επίσης πρέπει να διευκρινίσουμε ότι η διαδικασία ελέγχου δεν είναι μέρος του RSVP, το οποίο συμπεριφέρεται απλά σαν ένας πράκτορας που μεταφέρει πληροφορίες χωρίς συγκεκριμένο νόημα για τον ίδιο.

Οι αιτήσεις για δέσμευση αρχικοποιούνται από τους παραλήπτες. Δε χρειάζεται όλες οι αιτήσεις να ταξιδέψουν όλη τη διαδρομή μέχρι τον αποστολέα. Αντί γι' αυτό, τα streams που συναντώνται σε κάποιο κόμβο και κατευθύνονται στον ίδιο αποστολέα ενώνονται σε ένα stream, ενώνοντας και τις απαιτήσεις τους σε πόρους. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πιο καλά η διαδικασία αυτή.



Εικόνα 5.3: Η ενοποίηση των αιτήσεων δέσμευσης

Το χαρακτηριστικό αυτό είναι και το πιο βασικό πλεονέκτημα του RSVP, που καλείται **scalability**. Ένας μεγάλος αριθμός χρηστών μπορεί να ενωθεί

σε ένα multicast group χωρίς αυτό να αυξάνει σημαντικά το φόρτο του δικτύου.

Ένα αίτημα δέσμευσης περιλαμβάνει ένα σύνολο επιλογών το οποίο ονομάζεται και *μορφή δέσμευσης (reservation style)*. Το RSVP υποστηρίζει δύο βασικές κατηγορίες επιλογών δέσμευσης: *μεμονωμένες* και *διαμοιραζόμενες* δεσμεύσεις. Οι μεμονωμένες δεσμεύσεις εγκαθιστούν μια ροή για κάθε σχετικό αποστολέα σε κάθε σύνολο. Μια διαμοιραζόμενη δέσμευση χρησιμοποιείται από ένα σύνολο αποστολέων οι οποίοι δεν παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Παρακάτω περιγράφονται όλοι οι υποστηριζόμενοι από το πρωτόκολλο συνδυασμοί στυλ/εμβέλειας δέσμευσης.

Εμβέλεια	Κρατήσεις	
	Μεμονωμένη	Διαμοιραζόμενη
Ρητή	Στυλ Fixed-Filter (FF)	Στυλ Ρητώς Διαμοιραζόμενο Shared-Explicit (SE)
Μεταβαλλόμενη (Wildcard)	Μη ορισμένο	Στυλ Wildcard-Filter (WF)

Εικόνα 5.4: Συνδυασμοί στυλ/εμβέλειας δέσμευσης

Wildcard - Filter (WF):

Το Wildcard-Filter στυλ ορίζει διαμοιραζόμενη κράτηση με Wildcard εμβέλεια. Με μια κράτηση στυλ WF, δημιουργείται μια απλή κράτηση στην οποία αναμειγνύονται ροές από όλους τους αντίρροπους αποστολείς. Μπορούμε να φανταστούμε τις κρατήσεις σαν ένα διαμοιραζόμενο pipe του οποίου το μέγεθος είναι το μεγαλύτερο των απαιτήσεων πόρων γι' αυτή τη σύνδεση από όλους του παραλήπτες, ανεξάρτητα από τον αριθμό των αποστολέων. Η κράτηση μεταδίδεται αντίρροπα προς όλους τους Hosts αποστολείς και εκτείνεται αυτόματα σε νέους αποστολείς όταν αυτοί εμφανίζονται.

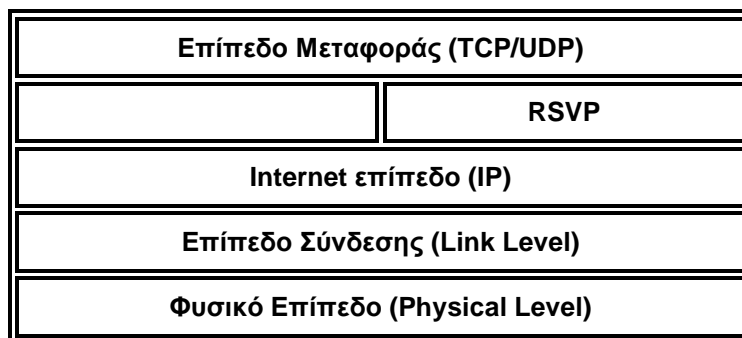
Fixed - Filter (FF):

Το στυλ Fixed-Filter ορίζει μια μεμονωμένη κράτηση με ρητή εμβέλεια. Με μια κράτηση FF στυλ, δημιουργείται μια μεμονωμένη αίτηση κράτησης για πακέτα

δεδομένων από συγκεκριμένο αποστολέα. Η εμβέλεια της κράτησης καθορίζεται από μια συγκεκριμένη λίστα αποστολέων. Η συνολική κράτηση σε μια σύνδεση για δεδομένη σύνοδο είναι το άθροισμα όλων των FF κρατήσεων για όλους τους αποστολείς. Οι FF κρατήσεις τις ζητούν διαφορετικοί παραλήπτες αλλά επιλέγουν τον ίδιο αποστολέα, ωστόσο, πρέπει να αναμειχθούν προκειμένου να διαμοιραστούν μια απλή κράτηση σε ένα δεδομένο κόμβο.

Shared - Explicit (SE):

Το συλ κράτησης SE ορίζει ένα περιβάλλον διαμοιραζόμενης κράτησης με μια ρητή εμβέλεια κράτησης. Το SE συλ δημιουργεί μια απλή κράτηση στην οποία αναμειγνύονται ροές από όλους τους αντίρροπους αποστολείς. Όπως στην περίπτωση της FF κράτησης, το σύνολο των αποστολέων (και κατά συνέπεια η εμβέλεια) ορίζεται ρητά από τον παραλήπτη που κάνει την κράτηση.



Εικόνα 5.5: Επίπεδο λειτουργίας του RSVP.

Παρόλο που το RSVP βρίσκεται ένα επίπεδο πάνω από το IP, δεν είναι scheduling πρωτόκολλο. Στην πραγματικότητα, το RSVP βασίζεται στα πρωτόκολλα δρομολόγησης που βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτό.

Η αποστολή των *παραμέτρων δέσμευσης (reservation parameters)* είναι μια διαδικασία διαφορετική από αυτή του προσδιορισμού των παραμέτρων αυτών. Το RSVP είναι υπεύθυνο μόνο για την αποστολή των παραμέτρων αυτών.

Ο τρόπος με τον οποίο το RSVP προσθέτει ή απομακρύνει παραλήπτες από μια multicast σύνοδο είναι ο ίδιος τρόπος σύνδεσης με αυτόν που παρέχει το IP-multicast. Δηλαδή, κάποιος που θέλει να παρακολουθήσει τη σύνοδο μπορεί να ζητήσει να συνδεθεί. Στην περίπτωση αυτή, ο παραλήπτης προστίθεται σε μία λίστα από παραλήπτες που ήδη παρακολουθούν τη σύνοδο αυτή. Ο αποστολέας διαδίδει ένα κατάλληλο μήνυμα στο οποίο περιγράφονται οι απαιτήσεις σε πόρους. Μόλις ένας κόμβος πάρει ένα τέτοιο μήνυμα πρέπει να απαντήσει με ένα αντίστοιχο μήνυμα. Έτσι, επιτυγχάνεται μία σύνδεση. Σε περίπτωση που κάποιος θέλει να αποχωρίσει από τη σύνοδο μπορεί απλά να το κάνει στέλνοντας ένα κατάλληλο μήνυμα. Το μήνυμα μπορεί να σταλεί είτε από το παραλήπτη που θέλει να φύγει είτε από τον αποστολέα που θέλει να “διώξει” κάποιον παραλήπτη.

Το RSVP ορίζει ότι μια *σύνοδος (session)* είναι μια ροή δεδομένων με συγκεκριμένο προορισμό και πρωτόκολλο μεταφοράς και τη μεταχειρίζεται ξεχωριστά από τις υπόλοιπες. Η τριάδα (διεύθυνση προορισμού, ταυτότητα πρωτοκόλλου, αναφορά προορισμού) καθορίζει ουσιαστικά μια σύνοδο. Η διεύθυνση προορισμού μπορεί π.χ. να είναι είτε μια multicast είτε μια unicast διεύθυνση, ενώ η τελευταία παράμετρος μπορεί να είναι η διεύθυνση μιας UDP ή TCP πόρτας ή ακόμα και μια πληροφορία που απευθύνεται σε κάποιο παραπάνω επίπεδο, της μεταφοράς ή της εφαρμογής ακόμα.

Destination Address	Protocol ID	Destination Port
---------------------	-------------	------------------

Εικόνα 5.5: Τα στοιχεία που ορίζουν μια RSVP σύνοδο

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα για διαπραγμάτευση του παρεχόμενου επιπέδου εξυπηρέτησης από πολλαπλούς αποστολείς σε πολλαπλούς παραλήπτες. Το RSVP δίνει τη δυνατότητα σε ένα παραλήπτη να διατηρήσει μόνο ένα σύνολο από πόρους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλούς αποστολείς. Ο παραλήπτης προσδιορίζει ποια πακέτα και από

ποιους παραλήπτες θα “πάρει”. Με το τρόπο αυτό, οι παραλήπτες μπορούν να “μεταπηδήσουν” από μία ροή δεδομένων σε μία άλλη.

Το RSVP δεν μπορεί να υποστηρίξει εγγυημένο επίπεδο υπηρεσιών αφού δεν υπάρχει κάποια σύνδεση ανάμεσα στο τρόπο δρομολόγησης, τη δέσμευση πόρων και τη μεταφορά των δεδομένων. Το RSVP, λόγω της δυνατότητας για μεταπήδηση από μία ροή σε κάποια άλλη, είναι ιδανικό για εφαρμογές που κάνουν μετάδοση δεδομένων σε πολλούς χρήστες, τους οποίους δε γνωρίζουν ούτε πόσοι είναι ούτε που είναι.

Κεφάλαιο 6 – Το πρωτόκολλο RTSP

6.1 Γενική περιγραφή

Το *Πρωτόκολλο Ροής Πραγματικού Χρόνου (Real Time Streaming Protocol - RTSP)* μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής το οποίο διαχειρίζεται την διανομή δεδομένων που έχουν streaming ιδιότητες πάνω από unicast ή multicast δίκτυα. Στις δυνατότητες συγκαταλέγεται το γεγονός ότι παρέχει ένα επεκτάσιμο πλαίσιο ώστε να ενεργοποιεί την ελεγχόμενη, κατά παραγγελία (on demand), διανομή δεδομένων πραγματικού χρόνου όπως είναι το βίντεο και ο ήχος. Οι πηγές των δεδομένων μπορούν να περιέχουν τόσο τροφοδοσία ζωντανών δεδομένων όσο και αποθηκευμένων.

Σκοπός του πρωτοκόλλου είναι:

- να διαχειρίζεται πολλαπλές συνεδρίες διανομής δεδομένων
- να παρέχει κάποιο μέσο για την επιλογή των καναλιών διανομής όπως είναι το UDP
- να κάνει πολυδιανομή των UDP και TCP
- και να παρέχει το μέσο για την επιλογή του μηχανισμού διανομής που βασίζεται πάνω στο RTP.

6.2 Ανάγκες ύπαρξης του πρωτοκόλλου RTSP

Το RTSP εγκαθιστά και διαχειρίζεται είτε ένα είτε πολλαπλά χρονικά συγχρονισμένα streams συνεχών μέσων όπως είναι ο ήχος και το βίντεο. Τυπικά δεν διανέμει τα συνεχή ρεύματα δεδομένων αυτά καθ' αυτά, έστω κι αν είναι δυνατή η διαστρωμάτωση των συνεχών ρευμάτων μέσων με ρεύματα ελέγχου. Με άλλα λόγια το RTSP συμπεριφέρεται ως δικτυακό «τηλεκοντρόλ» για τους εξυπηρετές πολυμέσων (*multimedia servers*).

Δεν υπάρχει καμία ένδειξη για κάποια RTSP σύνδεση, αντιθέτως ο εξυπηρετητής διατηρεί κάποια συνεδρία μαρκαρισμένη μέσω ενός δείκτη. Σε καμία περίπτωση δεν είναι κάποια RTSP συνεδρία στενά δεμένη με κάποια σύνδεση στο επίπεδο μεταφοράς π.χ. μια TCP σύνδεση. Κατά τη διάρκεια μιας RTSP συνεδρίας, μπορεί κάποιος πελάτης να ξεκινήσει ή να διακόψει πολλές αξιόπιστες συνδέσεις μεταφοράς με τον εξυπηρετητή με σκοπό να διανέμει τις RTSP αιτήσεις. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα πρωτόκολλο μεταφοράς χωρίς σύνδεση (connectionless) όπως είναι το UDP. Τα διαχειριζόμενα από το RTSP ρεύματα ροής μπορούν να χρησιμοποιήσουν το RTP, αλλά η λειτουργία του RTSP δεν εξαρτάται από τον μηχανισμό μεταφοράς που χρησιμοποιείται για την μεταφορά των συνεχών μέσων.

Το πρωτόκολλο έχει σκοπίμως παρόμοια σύνταξη και λειτουργία με το **HTTPv1.1** έτσι ώστε οι μηχανισμοί επέκτασης του HTTP να μπορούν να προστεθούν στις περισσότερες περιπτώσεις και στο RTSP. Ωστόσο το RTSP διαφέρει από το HTTP σε έναν αριθμό από σημαντικά θέματα:

- Το RTSP εισάγει νέες μεθόδους και έχει διαφορετικούς δείκτες πρωτοκόλλου.
- Σε αντιδιαστολή με την άνευ κατάστασης φύση του HTTP σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, πρέπει ένας RTSP εξυπηρετητής να διατηρεί την κατάστασή του.
- Στο RTSP μπορούν να αποστέλλουν αιτήσεις και ο πελάτης αλλά και ο εξυπηρετητής.
- Τα εκτός ζώνης (ή ομάδας) δεδομένα μεταφέρονται με άλλο πρωτόκολλο. (ωστόσο υπάρχει μια εξαίρεση σ'αυτό). Το RTSP έχει καθοριστεί να χρησιμοποιεί το ISO 10646 (UTF-8) αντί του ISO 8859-1 που είναι σύμφωνο με τις προσπάθειες για διεθνοποίηση του τωρινού HTML.
- Η **Request-URI** περιέχει πάντοτε την απόλυτη URI. Το HTTP/1.1 λόγω της συμβατότητας προς τα πίσω (backward compatibility) με ένα ιστορικό ατόπημα, μεταφέρει μόνο το απόλυτο μονοπάτι στην αίτηση και τοποθετεί το όνομα του ξενιστή (host) σε ένα ξεχωριστό

πεδίο της επικεφαλίδας. Αυτό κάνει ευκολότερο το 'virtual hosting', όπου ένας ξενιστής με μοναδική IP διεύθυνση φιλοξενεί πολλές δενδρικές δομές αρχείων (document trees).

6.3 Λειτουργίες του πρωτοκόλλου

Το RTSP υποστηρίζει τις εξής λειτουργίες:

- **Ανάκτηση του μέσου από έναν εξυπηρετητή μέσων (media server):** ο πελάτης μπορεί να ζητήσει μια περιγραφική παρουσίαση των πληροφοριών μέσω του HTTP ή κάποιας άλλης μεθόδου. Αν η παρουσίαση έχει γίνει multicast, τότε η περιγραφή της περιέχει τις εν δυνάμει multicast διευθύνσεις και θύρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα συνεχή δεδομένα. Αν η παρουσίαση είναι προς αποστολή μόνο στον πελάτη μέσω unicast, τότε ο τελευταίος παρέχει τον προορισμό για λόγους ασφαλείας.
- **Πρόσκληση ενός εξυπηρετητή μέσων σε μια συνδιάσκεψη:** ένας εξυπηρετητής μέσων μπορεί να προσκληθεί για να πάρει μέρος σε μια συνδιάσκεψη, είτε για να αναπαράγει κάποιο μέσο (π.χ. βίντεο ή ήχος) στην παρουσίαση, είτε για να καταγράψει ολόκληρα ή μέρος των μέσων μιας παρουσίασης. Αυτή η κατάσταση είναι χρήσιμη σε εφαρμογές κατανεμημένης διδασκαλίας. Πολλά μέλη μιας συνδιάσκεψης μπορούν να κατευθυνθούν αλλού «απλά πατώντας τα πλήκτρα του τηλεχειριστηρίου».
- **Πρόσθεση μέσων σε μία ήδη δημιουργημένη παρουσίαση:** είναι χρήσιμο, ειδικότερα για ζωντανές παρουσιάσεις, να μπορεί ένας εξυπηρετητής να πει στον πελάτη σχετικά με το αν έχουν γίνει διαθέσιμα πρόσθετα μέσα.

Οι RTSP αιτήσεις μπορούν να διαχειριστούν από πληρεξούσιους (proxies), τούνελ (tunnels) και caches όπως γίνεται και στην περίπτωση του HTTP/1.1.

6.4 Βασικές έννοιες

Παρουσίαση (presentation): μια ολοκληρωμένη ομάδα από streams που συνιστά μια αυτοτελή οντότητα media πληροφορίας (π.χ. μια κινηματογραφική ταινία).

Περιγραφή Παρουσίασης (presentation description): Περιέχει πληροφορία, για ένα ή περισσότερα media streams μέσα σε μια παρουσίαση, που περιλαμβάνει τους τρόπους κωδικοποίησης τις διευθύνσεις στο δίκτυο και δεδομένα σχετικά με το περιεχόμενο.

6.5 Ιδιότητες του πρωτοκόλλου

Το RTSP έχει τις εξής ιδιότητες:

- **Είναι επεκτάσιμο.** Μπορούν πολύ εύκολα να προστεθούν στο RTSP νέες μέθοδοι και παράμετροι.
- **Είναι εύκολο να μεταγλωττιστεί σε μια ενδιάμεση μορφή** και αυτή η μορφή να μεταφράζεται στη συνέχεια από τους κατάλληλους μεταφραστές (parsers).
- **Είναι ασφαλές.** Το RTSP επαναχρησιμοποιεί τους μηχανισμούς ασφαλείας του web. Όλοι οι HTTP μηχανισμοί πιστοποίησης όπως η βασική ή η συνοπτική (digest) πιστοποίηση (authentication) είναι εφαρμόσιμοι απευθείας.
- **Είναι ανεξάρτητο του επιπέδου μεταφοράς.** Το RTSP μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε το unreliable datagram protocol (UDP) είτε το reliable datagram protocol ((RDP) δεν είναι πολύ διαδεδομένο), είτε ένα αξιόπιστο stream πρωτόκολλο όπως το TCP.
- **Είναι multi-server capable.** Αυτό σημαίνει ότι κάθε ρεύμα μέσων που μετέχει σε μια παρουσίαση μπορεί να παραμένει σε διαφορετικό εξυπηρετητή. Ο πελάτης εγκαθιστά αυτόματα πολλά sessions διαχείρισης, με τους διάφορους εξυπηρετητές μέσων, που

εκτελούνται παράλληλα. Ο συγχρονισμός των μέσων εκτελείται στο επίπεδο μεταφοράς.

- **Διαχειρίζεται τις συσκευές εγγραφής.** Το πρωτόκολλο μπορεί να διαχειριστεί τόσο τις συσκευές αναπαραγωγής όσο και εγγραφής καθώς και συσκευές που μπορούν να εναλλάσσονται μεταξύ των δύο ρόλων.
- **Διαχωρισμός μεταξύ της διαχείρισης του ρεύματος και της έναρξης της διάσκεψης.** Η διαχείριση του ρεύματος έχει χωριστεί από την πρόσκληση κάποιου εξυπηρετητή μέσων σε μια συνδιάσκεψη. Η μόνη απαίτηση που υπάρχει είναι το πρωτόκολλο έναρξης είτε να παρέχει είτε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει μοναδικούς δείκτες διάσκεψης.
- **Είναι κατάλληλο για επαγγελματικές εφαρμογές.** Το RTSP υποστηρίζει ακρίβεια σε επίπεδο πλαισίου (frame) μέσω των SMPTE χρονοσφραγίδων έτσι ώστε να επιτρέπει την απομακρυσμένη ψηφιακή επεξεργασία.
- **Χρησιμοποιεί ουδέτερη περιγραφή παρουσίασης.** Το πρωτόκολλο δεν επιβάλλει κάποια συγκεκριμένη μορφή περιγραφής της παρουσίασης ή κάποια ειδική metafile (συνοδευτικό αρχείο συμπληρωματικών πληροφοριών) μορφοποίηση (format) και μπορεί να μεταφέρει τον τύπο της μορφοποίησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Ωστόσο η περιγραφή πρέπει να περιέχει τουλάχιστον μια RTSP URL.
- **Είναι φιλικό προς proxy και firewall.** Το πρωτόκολλο πρέπει να βρίσκεται σε ετοιμότητα ώστε να διαχειριστεί από τους φράκτες (firewalls) τόσο επιπέδου εφαρμογής όσο και επιπέδου μεταφοράς. Ένας φράκτης πρέπει να μπορεί να κατανοήσει τη SETUP διαδικασία έτσι ώστε να ανοίξει μια «τρύπα» για το UDP ρεύμα μέσων.
- **Είναι φιλικό προς HTTP.** Το RTSP επαναχρησιμοποιεί τις αρχές που διέπουν το HTTP έτσι ώστε να μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί η υπάρχουσα υποδομή. Αυτή η υποδομή περιλαμβάνει PICS (Platform for Internet Content Selection) για την αντιστοίχιση ετικετών με το περιεχόμενο. Ωστόσο το RTSP δεν

προσθέτει απλά μεθόδους στο HTTP μιας και η διαχείριση συνεχών μέσων απαιτεί στις περισσότερες περιπτώσεις να βρίσκεται στην πλευρά του εξυπηρετητή.

- **Κάνει κατάλληλη διαχείριση του εξυπηρετητή.** Αν ένας πελάτης μπορεί να ξεκινήσει ένα stream τότε πρέπει να έχει επίσης και τη δυνατότητα να το σταματήσει. Οι εξυπηρετητές δεν πρέπει να ξεκινούν ρεύματα συνεχούς ροής δεδομένων προς τους πελάτες κατά τέτοιο τρόπο που να μην δίνεται στους πελάτες η δυνατότητα να τα σταματήσουν.
- **Διαπραγματεύσεις μεταφοράς.** Ο πελάτης μπορεί να διαπραγματευτεί κάποια μέθοδο προτού την χρειαστεί πραγματικά για να επεξεργαστεί κάποιο συνεχές ρεύμα μέσων.
- **Δυνατότητα διαπραγμάτευσης.** Πρέπει να υπάρχουν κάποιοι σαφείς μηχανισμοί από πλευράς του πελάτη που να καθορίζουν ποιες μέθοδοι δεν θα υλοποιηθούν σε περίπτωση που τα βασικά χαρακτηριστικά είναι απενεργοποιημένα. Κάτι τέτοιο επιτρέπει στους πελάτες να εμφανίζουν το κατάλληλο user interface. Αν για παράδειγμα δεν επιτρέπεται η αναζήτηση μέσα στην παρουσίαση τότε το GUI (Graphical User Interface) πρέπει να έχει τη δυνατότητα να απενεργοποιήσει την μετακίνηση του ολισθαίνοντα δείκτη θέσης της παρουσίασης.

6.6 Η γενική λειτουργία του πρωτοκόλλου

Κάθε παρουσίαση και κάθε ρεύμα μέσων μπορεί να προσδιοριστεί από μια **RTSP URL**. Η συνολική παρουσίαση και οι ιδιότητες των μέσων από τα οποία αποτελείται είναι καθορισμένα από το αρχείο περιγραφής. Αυτό το αρχείο μπορεί να αποκτηθεί από τον πελάτη χρησιμοποιώντας το HTTP ή άλλα μέσα όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (email) και μπορεί να μην αποθηκευθεί απαραίτητα στον εξυπηρετητή μέσων. Για να ικανοποιούνται αυτές οι προδιαγραφές θεωρείται ότι η περιγραφή παρουσίασης (presentation description) περιγράφει μία ή περισσότερες παρουσιάσεις, καθεμιά των οποίων διατηρεί έναν κοινό χρονικό άξονα. Θεωρούμε για λόγους

απλότητας και χωρίς να επηρεαστεί η γενικότητα ότι η περιγραφή παρουσίασης περιέχει ακριβώς μία τέτοια παρουσίαση.

Μια παρουσίαση μπορεί να περιέχει πολλά ρεύματα μέσων. Το αρχείο περιγραφής της περιέχει τις περιγραφές των ρευμάτων που την συνθέτουν περιλαμβάνοντας και τις κωδικοποιήσεις τους, την γλώσσα καθώς και άλλες παραμέτρους που εξουσιοδοτούν τον πελάτη να διαλέξει τον καταλληλότερο συνδυασμό των μέσων. Μέσα σε αυτή την περιγραφή παρουσίασης κάθε ρεύματος μέσων, που είναι ξεχωριστά διαχειριζόμενο από το RTSP, προσδιορίζεται από κάποια RTSP URL που οδηγεί στον εξυπηρετητή μέσων που διαχειρίζεται το συγκεκριμένο ρεύμα μέσων και ονομάζει το ρεύμα που είναι αποθηκευμένο σ' αυτόν. Διάφορα ρεύματα μέσων μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετικούς εξυπηρετητές. Για παράδειγμα τα ρεύματα ήχου και βίντεο μπορούν να χωριστούν σε διάφορους εξυπηρετητές έτσι ώστε να φορτώνονται κατανεμημένα. Εκτός αυτών η περιγραφή απαριθμεί τις μεθόδους μεταφοράς που έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει ο εξυπηρετητής.

Είναι αναγκαίο να καθοριστούν, εκτός των παραμέτρων των μέσων, και η δικτυακή διεύθυνση προορισμού καθώς και οι θύρες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Μπορούμε να διακρίνουμε διάφορους τρόπους λειτουργίας:

- **Unicast:** Τα μέσα μεταδίδονται στην πηγή της RTSP αίτησης με τον αριθμό θύρας που επιλέχθηκε από τον πελάτη. Εναλλακτικά, τα μέσα μεταδίδονται με το ίδιο αξιόπιστο ρεύμα όπως και το RTSP.
- **Multicast, με τον εξυπηρετητή να επιλέγει την διεύθυνση:** Σ' αυτή την περίπτωση την multicast διεύθυνση και τη θύρα την επιλέγει ο εξυπηρετητής μέσων. Αυτή είναι η τυπική περίπτωση ζωντανής ή σχεδόν media-on-demand μετάδοσης.
- **Multicast, όπου ο πελάτης επιλέγει την διεύθυνση:** Αν ο εξυπηρετητής πρόκειται να συμμετάσχει σε μία υπάρχουσα multicast συνδιάσκεψη, η διεύθυνση, η θύρα και το κλειδί κρυπτογράφησης δίνονται από την περιγραφή της συνδιάσκεψης.

6.7 Καταστάσεις του RTSP

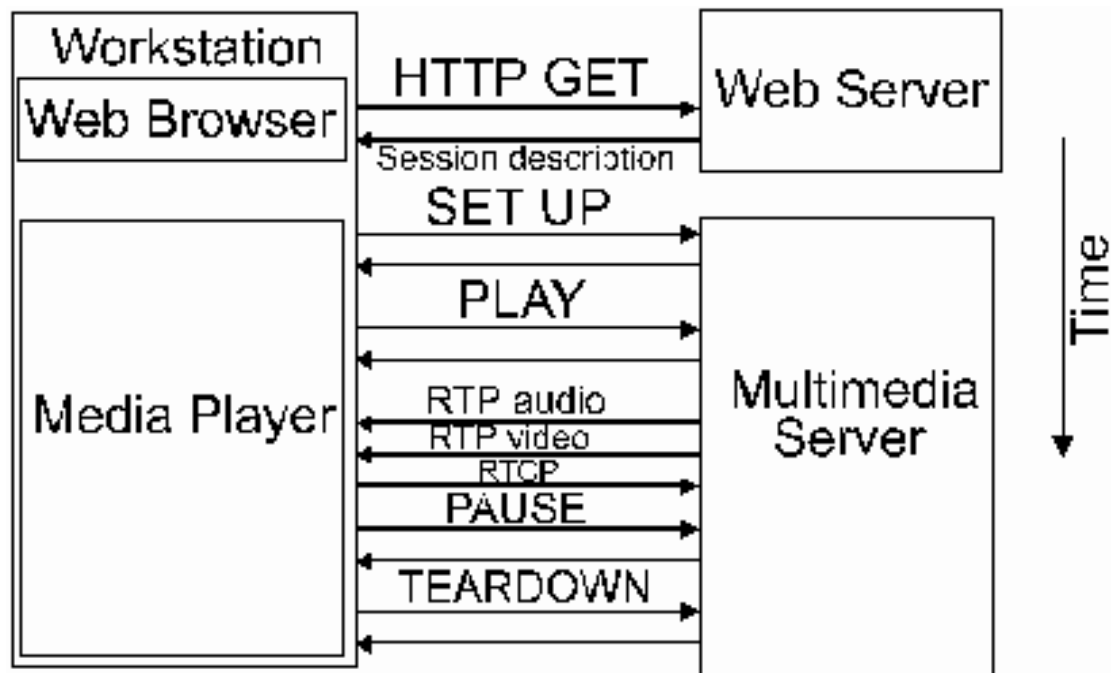
Το RTSP διαχειρίζεται ένα stream που μπορεί να έχει σταλεί μέσω κάποιου άλλου πρωτοκόλλου ανεξάρτητου από το κανάλι διαχείρισης. Η RTSP διαχείριση, για παράδειγμα, μπορεί να προκύψει σε μια TCP σύνδεση τη στιγμή που τα δεδομένα ρέουν μέσω UDP. Για αυτό η διανομή δεδομένων συνεχίζεται ακόμα κι αν δεν παραλαμβάνονται RTSP αιτήσεις από τον εξυπηρετητή. Επίσης κατά τη διάρκεια ύπαρξής του, ένα ρεύμα μέσων μπορεί να διαχειρίζεται από RTSP αιτήσεις που εκπέμπονται αλυσιδωτά από διαφορετικές TCP συνδέσεις. Για αυτό τον λόγο χρειάζεται να διατηρεί ο εξυπηρετητής την κατάσταση της συνεδρίας έτσι ώστε να είναι σε θέση να συσχετίζει τις RTSP αιτήσεις με το stream. Πολλές μέθοδοι στο RTSP δεν συνεισφέρουν στην κατάσταση.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι σημαντικότερες μέθοδοι για τον καθορισμό της δέσμευσης και χρήσης των πόρων του ρεύματος σε έναν εξυπηρετητή.

- **SETUP:** Προκαλεί τον εξυπηρετητή να δεσμεύσει πόρους για ένα stream και να ξεκινήσει μία RTSP συνεδρία.
- **PLAY και RECORD:** Ξεκινά τη μετάδοση δεδομένων ενός stream που δεσμεύτηκε μέσω της κατάστασης SETUP. Η αίτηση PLAY χρησιμοποιείται για την αναπαραγωγή του μέσου ενώ η RECORD για την εγγραφή και αποθήκευσή του.
- **PAUSE:** Σταματά προσωρινά κάποιο stream χωρίς να απελευθερώσει τους πόρους που έχει δεσμεύσει ο εξυπηρετητής για αυτό.
- **TEARDOWN:** Ελευθερώνει τους πόρους που αντιστοιχούν στο stream. Η RTSP συνεδρία σταματά να υπάρχει στον εξυπηρετητή.

Οι RTSP μέθοδοι που συνεισφέρουν στην κατάσταση χρησιμοποιούν το session πεδίο της επικεφαλίδας για την ανίχνευση της RTSP συνεδρίας του οποίου η κατάσταση τελεί υπό διαχείριση. Ο εξυπηρετητής παράγει *δείκτες συνεδρίας (session identifiers)* σε απόκριση των SETUP αιτήσεων.

Στο παρακάτω σχήμα γίνεται πιο φανερή η χρήση των παραπάνω εντολών καθώς και η αλληλεπίδρασή τους με τον εξυπηρετητή.



Εικόνα 6.1: Αλληλεπίδραση Video server με τις RTSP εντολές

6.8 Σχέση με άλλα πρωτόκολλα

Στο RTSP υπάρχει μια αλληλοεπικάλυψη όσον αφορά στη λειτουργία του με το HTTP. Μπορεί επίσης να αλληλεπιδρά με το HTTP στο ότι η αρχική σύνδεση με streaming περιεχόμενο πρόκειται να πραγματοποιηθεί μέσω μιας σελίδας του web. Οι προδιαγραφές του πρωτοκόλλου στοχεύουν στο να επιτρέπουν διάφορα σημεία συναλλαγών μεταξύ ενός εξυπηρετητή web και του εξυπηρετητή μέσων που υλοποιεί το RTSP. Για παράδειγμα να αναφέρουμε ότι η περιγραφή παρουσίασης μπορεί να ανακτηθεί είτε χρησιμοποιώντας RTSP είτε HTTP, κάτι που περιορίζει τις παλινδρομήσεις στις περιπτώσεις που βασίζονται σε πλοηγητή ιστοσελίδων (web browser) και ισχύει ακόμα και στην περίπτωση που έχουμε μεμονωμένους (standalone) RTSP εξυπηρετητές και πελάτες που δεν στηρίζονται καθόλου στο HTTP.

Ωστόσο το RTSP διαφέρει ριζικά από το HTTP στο ότι η διανομή δεδομένων πραγματοποιείται με διαφορετικό πρωτόκολλο. Το HTTP είναι ένα ασύμμετρο πρωτόκολλο όπου ο πελάτης δημιουργεί αιτήσεις και ο εξυπηρετητής ανταποκρίνεται σε αυτές. Στο RTSP μπορούν να δημιουργήσουν αιτήσεις τόσο ο πελάτης μέσω όσο και ο εξυπηρετητής μέσω. Επίσης οι RTSP αιτήσεις δεν στερούνται κατάστασης (stateless). Έτσι έχουν την δυνατότητα να συνεχίσουν να καθορίζουν παραμέτρους και να διαχειρίζονται κάποιο ρεύμα μέσω για αρκετό χρονικό διάστημα μετά την βεβαίωση της λήψης της αίτησης. Η επαναχρησιμοποίηση της λειτουργικότητας του HTTP έχει πλεονεκτήματα σε τουλάχιστον δύο περιπτώσεις κι αυτές είναι η ασφάλεια και οι proxies. Υπάρχουν σχεδόν οι ίδιες απαιτήσεις και έτσι η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ο τρόπος που λειτουργεί το HTTP στις caches (ενδιάμεσοι αποθηκευτικοί χώροι), στους proxies και στην πιστοποίηση είναι πολύτιμη.

Παρόλο που τα περισσότερα μέσα πραγματικού χρόνου (real-time media) θα χρησιμοποιήσουν το RTP ως πρωτόκολλο μεταφοράς, το RTSP δεν συνδέεται στενά με αυτό. Το RTSP θεωρεί ότι υπάρχει μια μορφοποίηση περιγραφής παρουσίασης (presentation description format) που μπορεί να εκφράσει τόσο στατικές όσο και προσωρινές ιδιότητες μιας παρουσίασης που περιέχει διάφορα ρεύματα μέσω.

6.9 Συνδέσεις

Οι RTSP αιτήσεις μπορούν να μεταδοθούν με διάφορους τρόπους:

- Να χρησιμοποιούνται για διάφορες συναλλαγές αίτησης-απόκρισης συνεχείς συνδέσεις μεταφοράς.
- Να χρησιμοποιείται μια σύνδεση ανά συναλλαγή.
- Να χρησιμοποιείται χωρίς απαίτηση σύνδεσης (connectionless) μορφή σύνδεσης.

Ο τύπος της σύνδεσης μεταφοράς (transport connection) καθορίζεται από την RTSP URL.

Σε αντίθεση με το HTTP, το RTSP επιτρέπει στον εξυπηρετητή να στέλνει αιτήσεις στον πελάτη. Ωστόσο κάτι τέτοιο υποστηρίζεται μόνο από συνεχείς συνδέσεις μιας και ο εξυπηρετητής μέσω δεν έχει σε αντίθετη περίπτωση ασφαλή τρόπο να προσεγγίσει τον πελάτη. Εκτός αυτού είναι και ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο οι αιτήσεις από τον εξυπηρετητή μέσω στον πελάτη μπορούν να διαβούν τους φράκτες (firewalls).

Συμπεράσματα

Οι δυνατότητες και οι επιδόσεις των υπολογιστικών συστημάτων, τα τελευταία χρόνια, αυξάνονται με ολοένα και μεγαλύτερο ρυθμό. Η ανάπτυξη αυτή δίνει το περιθώριο για τη δημιουργία μιας πληθώρας εφαρμογών που χρησιμοποιούν και εκμεταλλεύονται αυτές τις δυνατότητες.

Στην παρούσα μελέτη επικεντρωθήκαμε σε ένα υποσύνολο εφαρμογών-αυτές που έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό τους τη μετάδοση και λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Τέσσερα είναι τα βασικά πρωτόκολλα που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο υποστηρίζονται υπηρεσίες πραγματικού χρόνου.

Για την μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο μεταφοράς πραγματικού χρόνου (*Real-time Transport Protocol – RTP*). Το RTP παρέχει δικτυακές λειτουργίες μεταφοράς από άκρο-σε-άκρο, κατάλληλες για εφαρμογές που μεταδίδουν μέσα πραγματικού χρόνου, όπως ήχο και βίντεο. Είναι πρωτίστως σχεδιασμένο για να ικανοποιεί τις ανάγκες για διασκέψεις πολυμέσων πολλών συμμετεχόντων. Όμως, το RTP δεν υπαγορεύει δέσμευση πόρων του δικτύου και δεν εγγυάται την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Για τον λόγο αυτό, βασίζεται στο RSVP το οποίο δεσμεύει πόρους και παρέχει αιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών.

Οι πληροφορίες ελέγχου συμφόρησης και το flow του RTP παρέχονται από τις αναφορές αποστολέα και παραλήπτη του RTCP.

Το πρωτόκολλο ελέγχου του RTP το *RTCP (Real-time Control Protocol)* έχει σχεδιαστεί για να συνυπάρχει με το RTP. Επιτρέπει την παρακολούθηση της διανομής των δεδομένων και της ποιότητας υπηρεσιών, με τρόπο κλιμακωτό έως και για μεγάλα δίκτυα πολυδιανομής. Τα RTP/RTCP παρέχουν μηχανισμούς ελέγχου και λειτουργίας που είναι απαραίτητοι για την επικοινωνία πραγματικού χρόνου. Όμως δεν είναι υπεύθυνα για την

συναρμολόγηση και τον συγχρονισμό τα οποία πρέπει να γίνονται στο επίπεδο εφαρμογής.

Σε μία σύνοδο RTP, οι συμμετέχοντες στέλνουν πακέτα αναφοράς RTCP για την ανατροφοδότηση σχετικά με την ποιότητα των δεδομένων που μεταφέρονται.

Για την παροχή εγγυήσεων για ποιότητα υπηρεσιών (QoS), πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνικές διαχείρισης πόρων οι οποίες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα συστήματα επικοινωνίας πολυμέσων. Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων (*Resource reSerVation Protocol – RSVP*) ως ένα μέσο για να δεσμεύσουν τους απαραίτητους πόρους στους δρομολογητές κατά μήκος του μονοπατιού μετάδοσης. Το RSVP είναι υπεύθυνο για την διατήρηση των πόρων αυτών αλλά και για την διαπραγμάτευση των τιμών της QoS που επιθυμούν οι χρήστες για τις end-to-end εφαρμογές τους. Το πιο βασικό πλεονέκτημα του RSVP είναι ότι ένας μεγάλος αριθμός χρηστών μπορεί να ενωθεί σε ένα multicast group χωρίς αυτό να αυξάνει το φόρτο του δικτύου. Τέλος, δίνει τη δυνατότητα στους παραλήπτες να μπορούν να “μεταπηδήσουν” από μία ροή δεδομένων σε μία άλλη. Για το λόγο αυτό είναι ιδανικό για εφαρμογές που κάνουν μετάδοση δεδομένων σε πολλούς χρήστες.

Το πρωτόκολλο ροής δεδομένων πραγματικού χρόνου (*Real-time Streaming Protocol – RTSP*) είναι ένα πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής σχεδιασμένο να δουλεύει με πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου όπως είναι το RTP και το RSVP για την υλοποίηση των υπηρεσιών ροής πάνω από το διαδίκτυο. Στο RTSP μπορούν να δημιουργήσουν αιτήσεις τόσο ο πελάτης μέσω όσο και ο εξυπηρετητής μέσω. Παρέχει μέσα για την επιλογή καναλιών μεταφοράς (όπως UDP, multicast UDP και TCP) και μηχανισμούς μεταφοράς βασισμένους στο RTP. Οι βασικές λειτουργίες του πρωτοκόλλου είναι η ανάκτηση του μέσου από έναν εξυπηρετητή μέσω, η πρόσκληση ενός εξυπηρετητή μέσω σε μία συνδιάσκεψη και τέλος, η πρόσθεση μέσω σε μία ήδη δημιουργημένη παρουσίαση ειδικότερα για ζωντανές παρουσιάσεις. Το RTSP λειτουργεί τόσο για multicast όσο και για unicast δίκτυα.

Βιβλιογραφία

Communication and Computing for distributed multimedia systems, Guojun Lu
Artech House Publishers, ISBN: 0-89006-884-4

Distributed Multimedia Through Broadband Communications Services Daniel
Minoli – Robert keinath Artech House. ISBN 0-89006-689-2

Data and Computer Communications, William Stallings, Fifth Edition, Prentice
Hall International Editions, ISBN 0-13-571274-2

<http://www.it.uom.gr/project/MultimediaTechnologyNotes/>

<http://di.ionio.gr/~emagos/networks/msc/3/3%20-%20ensirmata%20sel.pdf>

<http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/>

<http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/>

<http://www.isi.edu/div7/rsvp/rsvp2.project.summary.html>

<http://ee.tamu.edu/~mmedia/notes>

<http://www.phdcc.com/qos.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/Streaming_media

<http://ru6.cti.gr/bouras/lessons.php?id=2#>

<http://elearning.upatras.gr/?q=node/21>