

Real Time Protocol / Real Time Control Protocol (RTP/RTCP)

A. Δικτύωση πολυμέσων

Περιεχόμενα

1. Σύνοψη των RTP/RTCP.....	3
1.1 RTP – Real-time Transport Protocol.....	3
1.2 RTCP – RTP Control Protocol.....	4
2. Αναλυτική περιγραφή των πρωτόκολλων RTP/RTCP	6
2.1 Εισαγωγή.....	6
2.2 Χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου	8
Μεταφορά δεδομένων μέσω RTP	9
2.3 Το πρωτόκολλο ελέγχου RTCP	12

1. Σύνοψη των RTP/RTCP

1.1 RTP – Real-time Transport Protocol

Το RTP είναι ένα πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς. Παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς από-άκρη-σε-άκρη (end-to-end) για δεδομένα με χαρακτηριστικά πραγματικού χρόνου. Αυτές οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν αναγνώριση τύπου φορτίου (payload type), ταξινόμησης σε σειρά των πακέτων και χρονοσήμανσης. Το RTP τοποθετείται σχεδόν πάντα πάνω από το UDP, αν και τυπικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε μηχανισμός μεταφοράς. Το RTP έχει σχεδιαστεί για να δουλεύει σε συνδυασμό με το πρωτόκολλο ελέγχου RTCP, που θα δούμε στην αμέσως επόμενη ενότητα, μπορεί όμως να υλοποιηθεί και ανεξάρτητα.

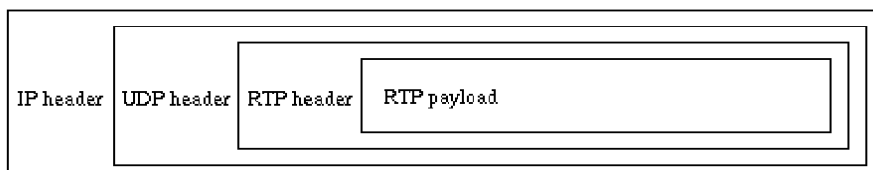
Η *χρονοσήμανση* (timestamping) είναι η σημαντικότερη πληροφορία για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Ο αποστολέας τοποθετεί το κατάλληλο χρονόσημο στα πακέτα που στέλνει και ο παραλήπτης το χρησιμοποιεί για να πετύχει το σωστό χρονισμό των δεδομένων. Η χρονοσήμανση χρησιμοποιείται και για το συγχρονισμό διαφορετικών ροών, όπως βίντεο και ήχος. Ωστόσο, το RTP δεν είναι υπεύθυνο για το συγχρονισμό, που πρέπει να γίνει από την εφαρμογή.

Επειδή το UDP δεν εγγυάται την παράδοση σε χρονικά σωστή σειρά, από το RTP χρησιμοποιούνται *αριθμοί σειράς* (sequence numbers), ώστε τα εισερχόμενα πακέτα να τοποθετηθούν στη σωστή σειρά. Χρήσιμοι είναι επίσης και για την ανίχνευση απώλειας πακέτων.

Το *αναγνωριστικό τύπου φορτίου* (payload type identifier) προσδιορίζει τον τύπο του φορτίου, καθώς και τύπους κωδικοποίησης/συμπίεσης των δεδομένων. Έτσι, η εφαρμογή που παραλαμβάνει τα πακέτα ξέρει πώς να ερμηνεύσει και να αναπαράγει τα δεδομένα.

Μια ακόμη υπηρεσία είναι η *αναγνώριση της πηγής* (source identification), που επιτρέπει στον παραλήπτη να γνωρίζει από πού προέρχονται τα δεδομένα.

Οι παραπάνω μηχανισμοί υλοποιούνται μέσω της επικεφαλίδας του RTP πακέτου, η οποία περιλαμβάνει πεδία με τις αντίστοιχες πληροφορίες. Στην εικόνα 1 φαίνεται ένα RTP πακέτο μέσα σε ένα UDP/IP πακέτο.



Εικόνα 1: RTP δεδομένα σε ένα IP πακέτο.

Τα RTP και RTCP πακέτα μεταφέρονται από το UDP. Αυτό επιλέχθηκε να γίνει για δύο λόγους. Καταρχήν, το RTP σχεδιάστηκε για multicast μεταδόσεις, κάτι για το οποίο το TCP δεν είναι κατάλληλο. Δεύτερον, για δεδομένα πραγματικού χρόνου η έγκαιρη μεταφορά είναι σημαντικότερη από την αξιοπιστία.

Το RTP υλοποιείται στο χώρο της εφαρμογής που το χρησιμοποιεί. Έτσι, για λειτουργίες όπως συγχρονισμός, ανακατασκευή περιεχομένου, αναζήτηση χαμένων πακέτων, έλεγχος συμφόρησης, υπεύθυνη είναι η εφαρμογή. Για την αποστολή/λήψη RTP δεδομένων χρησιμοποιείται ένα οποιοδήποτε άρτιο UDP port. Το επόμενο περιττό UDP port χρησιμοποιείται για την μεταφορά RTCP πακέτων.

Ανακεφαλαιώνοντας, να διευκρινίσουμε ότι παρόλο που το RTP χαρακτηρίζεται πρωτόκολλο μεταφοράς, στην πραγματικότητα δεν υλοποιεί μεταφορά δεδομένων, αλλά κατά κάποιο τρόπο δρα υποστηρικτικά στη μεταφορά real-time δεδομένων. Ο χαρακτηρισμός του οφείλεται στο ότι έχει τις κυριότερες ιδιότητες ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς, δηλαδή παρέχει από-άκρη-σε-άκρη μεταφορά και κάνει αποπολυπλεξία δεδομένων (demultiplexing). Επίσης, ο τίτλος real-time που του αποδίδεται είναι παραπλανητικός, αφού δεν εξασφαλίζει τη real-time παράδοση. Δεν θα μπορούσε άλλωστε να εγγυηθεί πραγματική real-time παράδοση, αφού είναι πρωτόκολλο μεταφοράς και εξαρτάται από τα πρωτόκολλα που βρίσκονται στα χαμηλότερα στρώματα.

1.2 RTCP – RTP Control Protocol

Κατά κάποιο τρόπο, το RTCP αποτελεί ένα συνοδευτικό πρωτόκολλο προς το RTP, αφού δεν υλοποιείται ανεξάρτητα. Σε μια RTP σύνοδο, οι συμμετέχοντες στέλνουν περιοδικά RTCP μηνύματα αναφοράς και ελέγχου σχετικά με την ποιότητα μεταφοράς των RTP δεδομένων.

Καθορίζονται πέντε τύποι RTCP πακέτων:

- **RR: receiver report** (αναφορά παραλήπτη) – Στέλνονται από τους παραλήπτες και περιέχουν αναφορές για ποιοτικά χαρακτηριστικά της μεταφοράς, όπως αριθμό λαμβανομένων πακέτων, χαμένων πακέτων, χρονοσήμανση για υπολογισμό του round-trip κλπ.
- **SR: sender report** (αναφορά αποστολέα) – Παρέχονται από τους αποστολείς, σε απάντηση προς τα RR μηνύματα. Περιέχουν μετρητές πακέτων, πληροφορίες συγχρονισμού μέσω κλπ.
- **SDES: source description items** (περιγραφείς πηγής) – Πληροφορία που περιγράφει τις πηγές.
- **BYE:** Επισημαίνει το τέλος της συμμετοχής.
- **APP:** Λειτουργίες που αφορούν την εφαρμογή. Προορίζεται για πειραματικές και μελλοντικές χρήσεις.

Μέσω αυτών των πληροφοριών, το RTCP παρέχει τις εξής λειτουργίες:

- Παρακολούθηση Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) και έλεγχο συμφόρησης – Αυτή είναι η πρωταρχική λειτουργία του RTCP. Προσφέρει πληροφόρηση χρήσιμη στους αποστολείς και τους παραλήπτες κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, ώστε να γίνουν βελτιωτικές ρυθμίσεις όταν χρειάζεται.
- Αναγνώριση πηγής – Παρέχεται πληροφόρηση για τα στοιχεία του αποστολέα.
- Συγχρονισμός διαφορετικών μέσων – Με βάση αναφορές χρονοσήμανσης του RTCP μπορούν να συγχρονιστούν αποτελεσματικά διαφορετικά μέσα.
- Κλιμάκωση της πληροφορίας ελέγχου – Ο ρυθμός μετάδοσης RTCP πακέτων ρυθμίζεται ανάλογα με τον αριθμό των συμμετεχόντων σε μια ομάδα multicast.

2. Αναλυτική περιγραφή των πρωτόκολλων RTP/RTCP

2.1 Εισαγωγή

Η φιλοσοφία. Το *RTP* (Real Time Protocol) δημιουργήθηκε ως ένα δικτυακό πρωτόκολλο προορισμένο να καλύψει τις ανάγκες επικοινωνίας σημείου-προς-σημείο για δεδομένα με χαρακτηριστικά πραγματικού χρόνου, όπως αλληλεπιδραστικό ήχο και βίντεο. Οι ανάγκες αυτές απαιτούν υπηρεσίες όπως προσδιορισμό του τύπου του μεταφερόμενου περιεχομένου (content), σειριακή αρίθμηση, χρονοδρομολόγηση και επιτήρηση της επικοινωνίας. Οι εφαρμογές τυπικά χρησιμοποιούν *RTP* πάνω από πρωτόκολλο *UDP* προκειμένου να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες πολυπλεξίας και ελέγχου που προσφέρει το πρώτο– και τα δύο πρωτόκολλα αυτά όμως συνεισφέρουν στη λειτουργικότητα ενός πρωτόκολλου μετάδοσης (transfer protocol). Εντούτοις, το *RTP* μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνδιασμό με άλλα υποκείμενα πρωτόκολλα μετάδοσης ή δρομολόγησης.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι το *RTP* από μόνο του δεν προσφέρει κάποιο μηχανισμό για να διασφαλίσει την εμπρόθεσμη παράδοση του περιεχομένου ή για να προμηθεύσει άλλες εγγυήσεις ποιότητας-υπηρεσίας, αλλά βασίζεται στις υπηρεσίες των υποκείμενων δικτυακών πρωτοκόλλων για να επιτύχει κάτι τέτοιο. Επίσης δεν διασφαλίζει την παράδοση των πακέτων δεδομένων με τη σειρά που στάλθηκαν, ούτε και υποθέτει πως τα υποκείμενα πρωτόκολλα έχουν τέτοιες εγγυήσεις. Η σειριακή αρίθμηση των πακέτων που προσφέρει το *RTP* επιτρέπει όμως στον παραλήπτη να ανακατασκευάσει τα δεδομένα σύμφωνα με τη σειρά που τα έστειλε ο αποστολέας, αλλά και για να προσπελαθούν αυτά με τυχαία σειρά (π.χ. να αποκωδικοποιηθεί ένα συγκεκριμένο πακέτο βίντεο χωρίς να χρειάζεται να γίνει το ίδιο και με όλα τα προηγούμενα).

Εφαρμογές. Αν και το *RTP* σχεδιάστηκε κυρίως για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της αμφίδρομης πολυμεσικής επικοινωνίας μεταξύ πολλαπλών μερών, δεν περιορίζεται σε καμία περίπτωση αποκλειστικά σε εφαρμογές αυτού του είδους. Εφαρμογές αποθήκευσης συνεχών ροών δεδομένων, κατανεμημένες αλληλεπιδραστικές εφαρμογές προσομοίωσης, και εφαρμογές ελέγχου και μετρήσεων μπορούν να βρουν τις υπηρεσίες που παρέχει το *RTP*

χρήσιμες. Σήμερα ήδη πολλές εφαρμογές, πειραματικές αλλά και εμπορικές, έχουν ήδη υποστηρίξει τη λειτουργικότητα του πρωτοκόλλου αυτού. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν προγράμματα για τη μετάδοση βίντεο ή/και ήχου σε πραγματικό χρόνο, σε συνδιασμό με διαγνωστικά εργαλεία όπως αναλυτές δικτυακής κίνησης. Παρ' όλα αυτά, το σημερινό Ίντερνετ δεν μπορεί να υποστηρίξει πλήρως τις απαιτήσεις για διανομή πολυμεσικού περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο. Υπηρεσίες απαιτητικές σε εύρος ζώνης, όπως μετάδοση βίντεο, μπορούν να υποβαθμίσουν σημαντικά την ποιότητα υπηρεσιών για τους άλλους χρήστες του δικτύου. Έτσι, απαιτείται προσεκτική υλοποίηση για να περιοριστεί όσο είναι δυνατό η σπατάλη δικτυακών πόρων από εφαρμογές αυτού του είδους.

Ένα παράδειγμα χρήσης του *RTP* θα μπορούσε να είναι σε μια εφαρμογή τηλεδιάσκεψης, όπου κάθε μέρος που συμμετέχει λαμβάνει και εκπέμπει ήχο από και προς όλα τα άλλα μέρη (ή υποσύνολο αυτών). Για την εγκαθίδρυση της επικοινωνίας, αρκεί το κάθε μέρος που θέλει να συμμετάσχει να διανείμει στους υπόλοιπους τη δικτυακή του διεύθυνση (π.χ. IP address και δύο ports, ένα για την καθεαυτή επικοινωνία και ένα για τη σηματοδότηση μέσω *RTCP*). Εάν είναι επιθυμητό, μπορεί να υπάρχει και κρυπτογράφηση των διακινούμενων πακέτων σύμφωνα με τον τρόπο που περιγράφεται στο αντίστοιχο internet draft. Αξίζει να σημειωθεί πως η ακριβής υλοποίηση όλων των παραπάνω λεπτομερειών δεν καθορίζεται από την προδιαγραφή του *RTP*.

Το πρόγραμμα της τηλεδιάσκεψης που χρησιμοποιείται από κάθε συμμετέχοντα μπορεί να στέλνει ηχητική πληροφορία σε μικρά πακέτα, λ.χ. των 20msec. Σε κάθε τέτοιο πακέτο επικολλάται μια επικεφαλίδα *RTP* (*RTP header*), και στη συνέχεια υποβάλλεται στο *UDP* για αποστολή. Η επικεφαλίδα *RTP* περιγράφει τον τύπο της κωδικοποίησης του ήχου (π.χ. PCM, ADPCM κοκ.) και η πληροφορία αυτή περιέχεται σε κάθε πακέτο έτσι ώστε η κωδικοποίηση να μπορεί να αλλάζει με δυναμικό τρόπο. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να είναι απαραίτητο π.χ. για να υποστηριχθεί ένας νέος συμμετέχοντας με σύνδεση περιορισμένου εύρους ζώνης ή για να αντιμετωπιστεί μια πιθανή δικτυακή συμφόρηση. Το Ίντερνετ, όπως και άλλα δίκτυα μεταγωγής πακέτων, περιοδικά χάνει ή καθυστερεί πακέτα ή και τα παραδίδει με άλλη σειρά από εκείνη που στάλθηκαν. Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά, η επικεφαλίδα *RTP* περιέχει πληροφορία χρονισμού και μια σειριακή αρίθμηση των πακέτων προκειμένου να είναι δυνατή η ανακατασκευή της ροής από τους δέκτες και, στο παράδειγμα αυτό, τα ηχεία του παραλήπτη να συνεχίζουν να αναπαράγουν ένα πακέτο ήχου κάθε 20msec. Αυτή η χρονική ανακατασκευή γίνεται χωριστά για κάθε αποστολέα *RTP* πακέτων που συμμετέχει στην τηλεδιάσκεψη. Η σειριακή αρίθμηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί από τον παραλήπτη για να εκτιμηθεί ο αριθμός των πακέτων που χάνονται στο δίκτυο.

Εφόσον στην τηλεδιάσκεψη συνεχώς προσέρχονται και αποχωρούν μέρη, είναι χρήσιμο να γνωρίζουν όλοι ανά πάσα στιγμή ποιος συμμετέχει και πόσο καλά λαμβάνει τον ήχο. Για το

λόγο αυτό, η εφαρμογή που τρέχει σε κάθε μέρος περιοδικά εκπέμπει προς όλους μια αναφορά λήψης μαζί με το όνομα του μέρους στο port του *RTCP* (ελέγχου). Η αναφορά λήψης περιγράφει πόσο καλά λαμβάνεται ένας συγκεκριμένος αποστολέας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προσαρμοστικούς αλγορίθμους κωδικοποίησης. Πλέον του ονόματος, μπορούν επίσης να προστεθούν και άλλα χαρακτηριστικά του συμμετέχοντος όπως περιγραφικά στοιχεία, ποιότητα σύνδεσης με το δίκτυο ή δυνατότητες του εξοπλισμού του. Τέλος, όταν ένα μέρος πρόκειται να εγκαταλείψει τη διάσκεψη, εκπέμπει ένα ειδικό *RTCP Bye* πακέτο.

Στην περίπτωση που έχουμε τηλεδιάσκεψη με κινούμενη εικόνα πλέον του ήχου, οι δύο αυτές ροές μεταδίδονται σε ξεχωριστές συνεδρίες *RTP* (*RTP sessions*), με δύο ζεύγη από *UDP ports* και αντίστοιχες διευθύνσεις. Δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ των συνεδριών του βίντεο και του ήχου, τουλάχιστον στο επίπεδο του *RTP* πρωτοκόλλου, παρά μόνο στο ότι και οι δυο συνεδρίες θα πρέπει να χρησιμοποιούν το ίδιο χαρακτηριστικό όνομα στα αντίστοιχα *RTCP* πακέτα έτσι ώστε να μπορούν να αναπαραχθούν μαζί. Ένα πλεονέκτημα αυτού του διαχωρισμού είναι πως επιτρέπει σε όσους συμμετέχοντες της τηλεδιάσκεψης το επιθυμούν να λάβουν μόνο τον ήχο (ή μόνο το βίντεο). Ακόμα και διαχωρισμένες όμως, οι δυο ροές βίντεο και ήχου μπορούν να αναπαραχθούν συγχρονισμένα χρησιμοποιώντας την πληροφορία χρονισμού που εμπεριέχεται στις επικεφαλίδες *RTP*, καθώς και επιπλέον παρόμοιες πληροφορίες που μπορούν να φέρουν τα πακέτα σηματοδότησης *RTCP*.

2.2 Χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου

Το *RTP* προσφέρει τη λειτουργικότητά του ως ένα πρωτόκολλο επιπέδου συνεδρίας (*session level* ή *level 5* κατά *OSI*), το οποίο μάλιστα υλοποιείται στον κώδικα της εφαρμογής (δηλ. δεν αποτελεί μέρος του λειτουργικού συστήματος όπως π.χ. το *TCP/IP*). Με τον τρόπο αυτό τα προς μετάδοση δεδομένα «συσκευάζονται» σε ένα ή περισσότερα πακέτα *RTP*, τα οποία στη συνέχεια παραδίδονται στο αμέσως χαμηλότερο στην ιεραρχία πρωτόκολλο προς μετάδοση. Για την περίπτωση του Ίντερνεντ, αυτό σημαίνει μια ιεραρχία πρωτοκόλλων *RTP/UDP/IP*. Το *UDP*, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για μετάδοση δεδομένων χωρίς απαιτήσεις αξιοπιστίας, αποτελεί ένα εναλλακτικό πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς (*transport level*, 4 κατά *OSI*) του περισσότερο γνωστού *TCP*. Σε αντίθεση με το τελευταίο, το οποίο προσφέρει αξιόπιστες *IP* συνδέσεις με συναρμολόγηση των πακέτων στη σωστή τους σειρά, αυτόματη επανεκπομπή των ελλειψών ή χαμένων πακέτων και πρόβλεψη δικτυακής συμφόρησης μέσω ανάδρασης στο ρυθμό εκπομπής, το *UDP* υλοποιεί απλές *IP* συνδέσεις σε επίπεδο απλής μεταγωγής πακέτων και με αποκλειστική εγγύηση την ορθότητα των πακέτων που καταφθάνουν στον παραλήπτη. Αυτό σημαίνει πως ο αποστολέας (και όχι το πρωτόκολλο) έχει

την ευθύνη της διαχείρισης της σύνδεσης, με καθήκοντα όπως της επαναποστολής χαμένων / κατεστραμμένων πακέτων, προσαρμογής στο διαθέσιμο εύρος ζώνης και τεμαχισμού των δεδομένων σε πακέτα ικανά μικρού μεγέθους ώστε να μπορούν να διέλθουν από όλους τους κόμβους του δικτύου. Αυτή ακριβώς η ελευθερία είναι που χρειαζόμαστε σε μια εφαρμογή μετάδοσης δεδομένων πραγματικού χρόνου, η οποία μπορεί π.χ. να θυσιάσει χαμένα δεδομένα ή και την πιθανότητα δικτυακής συμφόρησης προς όφελος της εμπρόθεσμης μετάδοσης. Τα περισσότερα από τα καθήκοντα του *TCP* που αναφέρθηκαν παραπάνω στην πραγματικότητα περνάνε στο *RTP*, το οποίο τα ασκεί με βέλτιστο, ως προς τη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο, τρόπο.

Ακολουθώντας τη σύγχρονη αντίληψη στην υλοποίηση πρωτοκόλλων επικοινωνίας, το *RTP* σχεδιάστηκε από την αρχή με ευέλικτη αρχιτεκτονική, προσαρμοζόμενη στις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Για κάθε πιθανή χρήση του *RTP*, και πέρα από το αρχικό (γενικό) πρότυπο, χρησιμοποιούνται δύο επιπλέον προτυποποιήσεις (που βέβαια μπορούν να συνυπάρχουν στην ίδια σύσταση): μια προτυποποίηση για τη μορφή (*profile*) των δεδομένων πολυμέσων που πρόκειται να μεταφερθούν μέσω του *RTP*, ως προς τα *formats* που αναγνωρίζονται, και μια προτυποποίηση για τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων αυτών (απεικόνιση σε *RTP* πακέτα), καθώς δεν υπάρχει πάντα ένας προφανής/τετριμμένος (*trivial*) τρόπος για να οριστεί κάτι τέτοιο.

Μεταφορά δεδομένων μέσω RTP

Η υλοποίηση του πρωτοκόλλου *RTP* για τη μεταφορά δεδομένων συνίσταται στα εξής δυο βήματα:

- κατάτμηση των δεδομένων σε πακέτα ανάλογα με τους κανόνες που προβλέπει η προτυποποίηση γενικά του *RTP* ή για την ειδική περίπτωση του συγκεκριμένου *format* των δεδομένων, και
- προσθήκη στην αρχή των πακέτων αυτών της επικεφαλίδας *RTP*, και πάλι σύμφωνα με τις οδηγίες του προτύπου.

Στη συνέχεια αυτά τα πακέτα *RTP* (πλέον) παραδίδονται στο *UDP* για τη μετάδοση στο δίκτυο. (Παράλληλα με τη διαδικασία αυτή βέβαια, λαμβάνει χώρα και η σηματοδότηση μέσω *RTCP* με την οποία θα ασχοληθούμε σε επόμενη παράγραφο.) Γενικά, η κατάτμηση γίνεται έτσι ώστε σε κάθε πακέτο *RTP* να απεικονίζεται μία – σχετικά – αυτόνομη μονάδα πληροφορίας βίντεο ή ήχου (η οποία καλείται *πλαίσιο*), με την προϋπόθεση πως το μέγεθος του πλαισίου επιτρέπει κάτι τέτοιο. Έτσι, κάθε πλαίσιο εφοδιάζεται με μια επικεφαλίδα *RTP* της οποίας τα πεδία είναι κοινά (σχεδόν) σε όλα τα πακέτα και περιγράφουν το είδος της πληροφορίας που μεταφέρεται και άλλα στοιχεία χρήσιμα για τη μεταφορά και την παράδοση (π.χ. χρονική ετικέτα).

Η επικεφαλίδα RTP

Ξεκινώντας από το πρώτο bit (0) της τελικής συμβολοσειράς που παραδίδεται προς μετάδοση στο *UDP*, και σε συνεχόμενα πεδία για τα επόμενα τουλάχιστον 12 bytes, συναντάμε την επικεφαλίδα *RTP*. Στη συνέχεια κάνουμε μια σύντομη αναφορά στα πεδία που απαρτίζουν την επικεφαλίδα αυτή, αρχίζοντας από το bit 0 (σε παρένθεση ο αριθμός των bit που καταλαμβάνουν στην επικεφαλίδα).

- **Έκδοση – Version (2).** Το πεδίο αυτό προσδιορίζει την έκδοση του *RTP*. Η τρέχουσα έκδοση (RFC1889) είναι δύο (2).
- **Συμπλήρωμα – Padding (1).** Αν το bit του συμπληρώματος είναι 1, το πακέτο περιέχει ένα ή περισσότερα επιπλέον bytes μετά το πέρας των ωφέλιμων δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή το τελευταίο byte του συμπληρώματος (και του πακέτου) περιέχει τον αριθμό των επιπλέον bytes και που θα πρέπει να αγνοηθούν κατά την ανάγνωση. Το συμπλήρωμα μπορεί να απαιτείται για ορισμένους αλγόριθμους κωδικοποίησης με πλαίσια σταθερού μήκους ή για πολυπλεξία πολλών πακέτων *RTP* σε ένα πακέτο χαμηλότερου πρωτοκόλλου.
- **Επέκταση – Extension (1).** Αν έχει τεθεί μονάδα τότε σηματοδοτείται η ύπαρξη μιας επέκτασης της επικεφαλίδας *RTP* αμέσως μετά το τέλος της κανονικής. Η επέκταση αυτή περιγράφεται παρακάτω στο κείμενο αυτό.
- **Μετρητής CSRC – CC (4).** Μια «συνεισφέρουσα πηγή» (contributing source ή CSRC) είναι μια πηγή (αποστολέας) πακέτων *RTP* τα οποία έχουν συμπεριληφθεί σε μια κοινή ροή *RTP*. Στην περίπτωση που έχουμε όντως μια τέτοια κοινή ροή πολλαπλών αποστολέων, το πεδίο αυτό περιέχει τον αριθμό των CSRC.
- **Σημάδι – Marker (1).** Η σημασία του bit σημαδιού εξαρτάται από την ειδική προτυποποίηση για το συγκεκριμένο profile, και συνήθως σηματοδοτεί γεγονότα όπως ολοκλήρωση πλαισίων που μεταφέρονται σε πολλαπλά πακέτα *RTP*.
- **Τύπος δεδομένων – Payload type (7).** Το πεδίο αυτό χαρακτηρίζει το σχήμα του «ωφέλιμου φορτίου» (payload) που φέρει το πακέτο *RTP* και αναγνωρίζεται από την εφαρμογή. Μια ειδική προτυποποίηση μορφών (profiles) απεικονίζει τα διάφορα σχήμα πολυμέσων σε επτάμπίτους αριθμούς τύπου δεδομένων. Το πεδίο αυτό προορίζεται για δυναμική μεταβολή π.χ. αλλαγή κωδικοποίησης «on-the-fly» σε ειδικές περιπτώσεις.
- **Σειριακός αριθμός – Serial number (16).** Ο σειριακός αριθμός αυξάνει κατά ένα για κάθε πακέτο που αποστέλλεται σε μια συγκεκριμένη ροή, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον παραλήπτη για ανίχνευση απωλεσθέντων πακέτων και επανασυναρμολόγηση

καθυστερημένων δεδομένων. Η αρχική τιμή του σειριακού αριθμού είναι τυχαία (απρόβλεπτη) για λόγους ασφαλείας.

- **Χρονική ετικέτα – Timestamp (32).** Η χρονική ετικέτα αντανακλά τη χρονική στιγμή στην οποία αναφέρεται το πρώτο byte των δεδομένων που περιέχει το πακέτο. Η χρονική στιγμή αυτή θα πρέπει να προκύπτει από ένα ρολόι που αλλάζει με σταθερό και γνωστό ρυθμό, έτσι ώστε να μπορούν να γίνονται υπολογισμοί για το συγχρονισμό μεταξύ διαφόρων ροών και τη μεταβλητότητα της καθυστέρησης παράδοσης (delay jitter). Η ακρίβεια του ρολογιού θα πρέπει να είναι ικανή για το συγχρονισμό αυτό και για τη μέτρηση της μεταβλητότητας (μια μονάδα ανά πλαίσιο δεν αρκεί συνήθως για κάτι τέτοιο). Η συχνότητα του ρολογιού εξαρτάται από τη μορφή των δεδομένων που μεταφέρονται και ορίζεται στατικά από την αντίστοιχη ειδικότερη προτυποποίηση, ή και δυναμικά με εξωζωνικά (δηλ. εκτός του *RTP*) μέσα. Αν τα πακέτα δημιουργούνται περιοδικά η ορθή χρονική στιγμή προσδιορίζεται από την περιοδικότητα αυτή και όχι από το ρολόι του συστήματος, π.χ. για δεδομένα ήχου σταθερού μήκους πλαισίου η χρονική ετικέτα θα πρέπει να αυξάνει κατά ένα σταθερό αριθμό από πακέτο σε πακέτο. Από την άλλη, συνεχόμενα πακέτα *RTP* μπορούν να έχουν την ίδια χρονική ετικέτα αν λογικά αποτελούν μία οντότητα (π.χ. μαζί απαρτίζουν ένα πλαίσιο δεδομένων βίντεο).
- **SSRC (32).** Το πεδίο αυτό προσδιορίζει την ταυτότητα του αποστολέα μιας ροής πακέτων *RTP* (synchronization source, SSRC), ως έναν μοναδικό τριανταδιάμητο αριθμό. Με τη βοήθεια του πεδίου αυτού μπορεί να γίνει σε μια ροή πολυπλεξία δεδομένων που προέρχονται από πολλαπλές πηγές. Το SSRC παράγεται για τον κάθε αποστολέα ψευδοτυχαία και έτσι πάντα υπάρχει ο κίνδυνος δυο αποστολείς να χρησιμοποιούν το ίδιο νούμερο – είναι ευθύνη της εφαρμογής να αποφύγει αδιέξοδα που να έχουν ως αιτία ένα τέτοιο γεγονός.
- **Κατάλογος CSRC (32CC).** Ο κατάλογος των CSRC περιέχει τις συνεισφέρουσες πηγές για μια σύνθετη ροή *RTP* (το πολύ 15), και δημιουργείται από την πηγή που εκτελεί την ομαδοποίηση της σύνθετης αυτής ροής.

Επέκταση επικεφαλίδας *RTP*

Στο πρότυπο έχει προβλεφθεί ένας μηχανισμός επέκτασης της επικεφαλίδας *RTP* προκειμένου να επιτραπεί σε υλοποιήσεις τρίτων να διευρύνουν τη χρήση του σε ειδικότερες εφαρμογές. Ο μηχανισμός αυτός έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε η επέκταση να μπορεί να αγνοηθεί από τις υπόλοιπες υλοποιήσεις που ακολουθούν τη βασική προτυποποίηση. Αν το bit στη βασική επικεφαλίδα *RTP* που σηματοδοτεί την επέκταση είναι 1, η (μεταβλητού μήκους) επέκταση προστίθεται μετά τον κατάλογο CSRC (αν υπάρχει). Αυτή περιέχει στην αρχή της ένα δεκαεξάμητο πεδίο που μετρά τον αριθμό των 32-bit λέξεων που απαρτίζουν την επέκταση,

εξαιρουμένου του εαυτού του. Για να διαχωρίζονται οι επεκτάσεις διαφορετικών υλοποιήσεων, υπάρχει και ένα δεύτερο πεδίο 16-bit, χωρίς επακριβή τεκμηρίωση, το οποίο εξαρτάται από την υλοποίηση που προσέθεσε την επέκταση. Με βάση το πεδίο αυτό, και την εσωτερική ερμηνεία που του δίνει η υλοποίηση που το δημιούργησε, μπορούν να προστεθούν επεκτάσεις πολλαπλού τύπου.

2.3 Το πρωτόκολλο ελέγχου RTCP

Το πρωτόκολλο ελέγχου του *RTP* (*RTP Control Protocol – RTCP*) βασίζεται στην περιοδική εκπομπή πακέτων ελέγχου προς όλους τους συμμετέχοντες στη συνεδρία, χρησιμοποιώντας τον ίδιο μηχανισμό μεταφοράς που χρησιμοποιούν και τα πακέτα δεδομένων. Τα υποκείμενα πρωτόκολλα είναι υπεύθυνα για να πολυπλέξουν με κάποιο τρόπο τα πακέτα δεδομένων με τα πακέτα ελέγχου π.χ. χρησιμοποιώντας διαφορετικά ports για το *UDP*. Το *RTCP* υλοποιεί τέσσερις βασικές λειτουργίες:

- Η κύρια λειτουργία είναι να προμηθεύει μέσω ανάδρασης πληροφορία για την κατάσταση της μεταφοράς των δεδομένων. Αυτό αποτελεί ευθύνη του *RTP* (καθώς τα υποκείμενα πρωτόκολλα όπως το *UDP* δεν προσφέρουν τέτοια λειτουργικότητα), και έχει να κάνει με τις λειτουργίες ροής και ελέγχου συμφόρησης άλλων πρωτοκόλλων μεταφοράς. Με το να στέλνονται αναφορές λήψης σε όλους τους συμμετέχοντες είναι δυνατός ο προσδιορισμός ενός πιθανός προβλήματος ως προς την έκτασή του. Επιπλέον μπορούν να υπάρχουν στο δίκτυο οντότητες των οποίων η δουλειά θα είναι αποκλειστικά να ελέγχουν τα *RTCP* πακέτα που ανταλλάσσονται, και τα αποτελέσματα να χρησιμοποιούνται για να παρακολουθείται η όλη κατάσταση του δικτύου.
- Το *RTCP* μπορεί να χαρακτηρίσει μια πηγή *RTP* με ένα ειδικό μόνιμο προσδιοριστικό που ονομάζεται το *τυπικό όνομα* (canonical name ή *CNAME*). Τα ψευδοτυχαία χαρακτηριστικά που έχει το *RTP* για αυτό το σκοπό, όπως το *SSRC*, μπορούν να αλλάξουν οποιαδήποτε στιγμή (π.χ. λόγω διένεξης).
- Οι δυο παραπάνω λειτουργίες προϋποθέτουν την τακτική και περιοδική αποστολή αναφορών *RTCP* από όλους τους συμμετέχοντες σε μια συνεδρία. Ο ρυθμός της αποστολής αυτός εξαρτάται από τον αριθμό των συμμετεχόντων, συνήθως ως ποσοστό του ελεύθερου εύρους ζώνης στη ζεύξη. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να είναι γνωστός κάθε στιγμή ο κατάλογος των συμμετεχόντων στη συνεδρία από όλους.

- Μια τελευταία, και προαιρετική, λειτουργία είναι αυτή ενός κοινού καναλιού επικοινωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων σε μια συνεδρία. Κυρίως όταν πρόκειται για «μη-συντονιζόμενες» (unmoderated) συνεδρίες, όπου συνεχώς αποχωρούν συμμετέχοντες και παράλληλα προστίθενται νέοι, το *RTCP* μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να προσπελαστούν όλοι όσοι συμμετέχουν στη συνεδρία σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Χρήση πακέτων *RTCP*. Για να καλυφθούν όλες οι λειτουργίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν προβλεφθεί αρκετοί διαφορετικοί τύποι πακέτων *RTCP*:

- **SR (sender report).** Αναφορά αποστολέα, για εκπομπή και λήψη στατιστικών από τα μέλη που συμμετέχουν ενεργά στην συνεδρία.
- **RR (receiver report).** Αναφορά παραλήπτη, για λήψη στατιστικών από τα μέλη που δε συμμετέχουν ενεργά.
- **SDES (source description items).** Πληροφοριακά στοιχεία για τον αποστολέα, συμπεριλαμβανομένου του CNAME.
- **BYE.** Σηματοδοτεί το τέλος της συμμετοχής ενός μέλους ή μιας ροής.
- **APP.** Πληροφορίες οριζόμενες από τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Κάθε πακέτο *RTCP* ξεκινά με μια ορισμένη επικεφαλίδα, παρόμοια με αυτή των πακέτων *RTP*, ακολουθούμενη από στοιχεία με συγκεκριμένη δομή που μπορούν να έχουν μεταβλητό μήκος το οποίο όμως είναι πολλαπλάσιο των 32 bit. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η «ομαδοποίηση» πολλαπλών πακέτων *RTCP* σε ένα πακέτο χαμηλότερου πρωτοκόλλου χωρίς την ανάγκη ειδικών τεχνικών. Δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των πακέτων *RTCP* που μπορεί να περιέχονται σε ένα τέτοιο πακέτο πέρα από το μέγιστο μήκος που μπορούν να έχουν σύμφωνα με τις προδιαγραφές των χαμηλότερων πρωτοκόλλων. Ένα πακέτο *RTCP* μπορεί να επεξεργαστεί ξεχωριστά από τα υπόλοιπα, παρ' όλα αυτά για τη βέλτιστη λειτουργικότητα του πρωτοκόλλου θα πρέπει η κατανομή των πακέτων να είναι τέτοια ώστε:

- τα στατιστικά λήψης (στα SR ή RR) να αποστέλλονται όσο συχνά επιτρέπουν οι πόροι του δικτύου προκειμένου να έχουμε την καλύτερη δυνατή ακρίβεια. Αυτό σημαίνει πως κάθε σύνθετο πακέτο θα πρέπει να περιέχει πέραν των άλλων και ένα πακέτο αναφοράς.
- τα νέα μέλη της συνεδρίας να λαμβάνουν τα CNAME των υπολοίπων πηγών όσο το δυνατό γρηγορότερα, μέσω ενός SDES σε κάθε σύνθετο πακέτο, και

- ο αριθμός των διαφορετικών τύπων πακέτων *RTCP* που μπορούν να εμφανιστούν πρώτα στη σειρά σε ένα σύνθετο πακέτο θα πρέπει να είναι περιορισμένος έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα λανθασμένης αναγνώρισης ενός πακέτου *RTP* ως *RTCP*.

Σημειώματα σχετικά με τα δικαιώματα Πνευματικής Ιδιοκτησίας

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2019. Παντελής Μπαλαούρας. «Εργαστήριο Δικτύων Επικοινωνίας II, Α. Δικτύωση Πολυμέσων, Α1. Αποθηκευμένο βίντεο συνεχούς ροής, Α1.1 VoD/RTSP/RTP/UDP» Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2019.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση.



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- Το Σημείωμα Αναφοράς
- Το Σημείωμα Αδειοδότησης
- Τη δήλωση διατήρησης Σημειωμάτων
- Το σημείωμα χρήσης έργων τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

