

Αδιαμφισβήτητα, στις μέρες μας, λιγосτοί είναι οι χρήστες που δεν έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Οι περισσότεροι οικιακοί χρήστες, κι όχι μόνο, το χρησιμοποιούν για να παρακολουθούν ταινίες ή τηλεοπτικά προγράμματα κατ'απαίτηση (on demand), να έχουν πρόσβαση σε διαφόρους ιστοτόπους για να αναφορτώσουν ή να διανύουν περιεχόμενο (άρα γίνονται εν δυνάμει παραγωγοί και καταναλωτές βίντεο και οι ίδιοι), πραγματοποιούν τηλεφωνικές κλήσεις, διασκεύεις μεταξύ πολλών ατόμων (video conference) κ.α. Συνεπώς, παρατηρούμε ότι οι περισσότερες διανομές βίντεο και οι συνομιλίες φωνής θα διεξάγονται από άκρο σε άκρο στο διαδίκτυο με ασύρματο τρόπο, αντικαθιστώντας πλήρως την παραδοσιακή τηλεφωνία και την τηλεόραση.

Εν γένει, μια εφαρμογή πολυμέσων μπορεί να καταταχθεί στις παρακάτω τρεις ευρύτερες κατηγορίες:

1. Συνεχούς ροής αποθηκευμένου ήχου/ βίντεο
2. Συνομιλίας φωνής/VoIP (συνομιλία ήχου/βίντεο πάνω από IP)
3. Συνεχούς ροής ζωντανού ήχου/βίντεο

Κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες (κλάσεις εφαρμογών) έχει το δικό της σύνολο απαιτήσεων υπηρεσίας, ενώ αξίζει να αναφερθεί πως αυτές οι απαιτήσεις διαφέρουν σημαντικά από τις λεγόμενες ελαστικές εφαρμογές (email, Web Browsing, remote login, κοινωνικά δίκτυα κ.ο.κ.), είναι δηλαδή ευαίσθητες. Όπως θα δούμε και παρακάτω στην εργασία, η ευαισθησία τους έγκειται ως προς την καθυστέρηση πακέτων από άκρο σε άκρο (end to end delay) και τη μεταβλητότητα καθυστέρησης (delay variation), αν και μπορούν να είναι ανεκτικές σε περιστασιακές απώλειες δεδομένων/πακέτων (packet loss). Ειδικότερα, στην εργασία μας, μελετάμε μια δικτυακή εφαρμογή πολυμέσων που χρησιμοποιεί βίντεο. Εξ ορισμού, οι δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων χρησιμοποιούν ήχο και βίντεο. Σε πλήρη αντιστοιχία με τα παραπάνω, μια διαδικτυακή εφαρμογή πολυμέσων μπορεί να καταταχθεί στις τρεις ευρύτερες κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω (streaming stored audio/video, conversational voice/video-over-IP, streaming live audio/video).

Αρχικά, θα αναφερθούμε στη Συνεχή Ροή Αποθηκευμένου Ήχου και Βίντεο, συγκεκριμένα αποθηκευμένου βίντεο συνεχούς ροής, που συνδυάζει συστατικά ήχου και βίντεο, και που μελετάμε και στην εργασία μας. Εκ των προτέρων εγγεγραμμένα βίντεο (ταινίες, τηλεοπτικά προγράμματα, εγγεγραμμένα αθλητικά γεγονότα ή εγγεγραμμένα βίντεο από κάποιο χρήστη) είναι τοποθετημένα σε εξυπηρετητές και οι χρήστες στέλνουν αιτήσεις στους εξυπηρετητές αυτούς για να δουν τα βίντεο κατ'απαίτηση (on demand).

Για τα βίντεο συνεχούς ροής ειδικότερα, ισχύουν τα εξής χαρακτηριστικά.

1. Ο πελάτης τυπικά αρχίζει την αναπαραγωγή του βίντεο λίγα δευτερόλεπτα αφού αρχίσει να λαμβάνει το αρχείο από τον εξυπηρετητή. Δλδ., τη στιγμή που ο χρήστης αναπαράγει από μια συγκεκριμένη θέση του βίντεο, ταυτόχρονα λαμβάνει επόμενα κομμάτια του βίντεο από τον εξυπηρετητή. Αυτή η τεχνική ονομάζεται συνεχής ροή (streaming) κι εξυπηρετεί στην αποφυγή μεγάλων χρονικών καθυστερήσεων, που προκύπτουν από την χρονική αναμονή μέχρι να καταφορτωθεί ολόκληρο το αρχείο του βίντεο. Έτσι, ξεκινάει η αναπαραγωγή του βίντεο, χωρίς να έχει χρειαστεί πρώτα να καταφορτωθεί ολόκληρο.
2. Σε ένα προεγγεγραμμένο μέσο, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επέμβει στη ροή του (να κάνει παύση, γρήγορη προώθηση κ.ο.κ.). Ωστόσο, ο χρόνος που θα μεσολαβήσει από τη στιγμή που θα γίνει μια τέτοια αίτηση μέχρι να εκδηλωθεί η ενέργεια στον πελάτη πρέπει να είναι αρκετά σύντομος, ώστε να έχουμε απόκριση. Άρα, για τα βίντεο συνεχούς ροής, πρέπει να εξασφαλίζουμε ότι θα έχουν διαδραστικότητα.
3. Πρέπει να ικανοποιείται η απαίτηση για συνεχή αναπαραγωγή (continuous playout). Όταν θα ξεκινήσει η αναπαραγωγή του βίντεο, αυτή πρέπει να είναι πλήρως συγχρονισμένη με τον αρχικό χρονισμό της εγγραφής, ώστε να αποφεύγονται πιθανά παγώματα της οθόνης ή προσπέραση στιγμιότυπων του βίντεο (αναμονή καθυστερημένων καρτέ του βίντεο και προσπέραση καθυστερημένων καρτέ αντίστοιχα). Άρα, τα δεδομένα πρέπει να λαμβάνονται από τον εξυπηρετητή έγκαιρα ώστε να αναπαραχθούν στον πελάτη στο σωστό χρόνο.

Στην εργασία μας, θα δούμε παρακάτω, πώς η χρήση ενταμίευσης (και η εκ των προτέρων φόρτωση) θα ενισχύσουν την διεκπεραιωτική ικανότητα (η μέση διεκπεραιωτική ικανότητα συγκεκριμένα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το ρυθμό κατανάλωσης του βίντεο), εξασφαλίζοντάς μας συνεχή αναπαραγωγή.

Βασικό χαρακτηριστικό όλων των μορφών βίντεο συνεχούς ροής είναι η χρήση ενταμίευσης στην πλευρά του πελάτη, ώστε να μετριασθούν οι επιπτώσεις των μεταβαλλόμενων καθυστερήσεων από άκρο σε άκρο (και γενικότερα του μεταβαλλόμενου διαθέσιμου εύρους ζώνης ανάμεσα σε εξυπηρετητή και πελάτη). Οι χρήστες μπορούν να ανεχθούν μια μικρή χρονική καθυστέρηση από τη στιγμή που ο πελάτης ζητά ένα βίντεο μέχρι τη στιγμή που αρχίζει η αναπαραγωγή του βίντεο στον πελάτη. Άρα, όταν το βίντεο αρχίζει να φτάνει στον πελάτη, ο πελάτης δε χρειάζεται να αρχίσει αμέσως την αναπαραγωγή, αλλά μπορεί να δημιουργήσει μία αποθήκη βίντεο σε έναν ενταμιευτή εφαρμογής. Συνεπώς, όταν ο πελάτης έχει γεμίσει επαρκώς με αρκετά βίντεο που ακόμα δεν έχει αναπαράξει, μπορεί τότε να αρχίσει την αναπαραγωγή του βίντεο. Έτσι, η ενταμίευση στον πελάτη (client buffering) μπορεί να απορροφήσει μεταβλητότητες στην καθυστέρηση ανάμεσα στον πελάτη και στον εξυπηρετητή. Π.χ., εάν ένα συγκεκριμένο κομμάτι του βίντεο καθυστερήσει, αρκεί να φτάσει πριν εξαντληθεί η αποθήκη του αποθηκευμένου κι όχι του αναπαραγόμενου βίντεο, αυτή η καθυστέρηση δε θα γίνει αντιληπτή. (Ακόμη, κι αν μειωθεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης και πέσει αρκετά

πιο κάτω από το ρυθμό κατανάλωσης του βίντεο, ο χρήστης θα συνεχίσει να βλέπει συνεχή αναπαραγωγή, εφόσον ο ενταμιευτής της εφαρμογής του πελάτη δεν αδειάζει πλήρως.) Αξίζει επίσης να σημειωθούν οι εξής περιπτώσεις. Όταν ο διαθέσιμος ρυθμός μέσα στο δίκτυο είναι μικρότερος από το ρυθμό αναπαραγωγής του βίντεο, θα υπάρχουν εναλλαγές ανάμεσα σε περιόδους συνεχούς αναπαραγωγής και περιόδους παγώματος. Ακόμη, όταν ο διαθέσιμος ρυθμός μέσα στο δίκτυο είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό του βίντεο, μετά την αρχική καθυστέρηση ενταμίευσης, ο χρήστης θα απολαμβάνει συνεχή αναπαραγωγή μέχρι να τελειώσει το βίντεο.

Ωστόσο, μέσα σε ένα δίκτυο, μπορεί να παρατηρηθεί κι ένα επιπλέον ανεπιθύμητο φαινόμενο, αυτό της απώλειας πακέτων, που αν το ποσοστό αυτής μάλιστα υπερβεί κάποια ανεκτή τιμή, επηρεάζεται το QoS. Ειδικότερα το γέμισμα των ενταμιευτών με πακέτα μέχρι κάποιο συγκεκριμένο άνω όριο, μπορεί να οδηγήσει στην απόρριψη των νέων αφικνούμενων πακέτων. Στο Β' μέρος, θα παρουσιαστούν πολιτικές διαχείρισης των ενταμιευτών των δρομολογητών του δικτύου μας.

Κάθε πακέτο που ταξιδεύει στο δίκτυό μας έχει κάποιο latency. Θα ορίσουμε ως latency τη χρονική διαφορά από τη στιγμή που ένα πακέτο ξεκίνησε από ένα σημείο του δικτύου μέχρι να φτάσει σε ένα άλλο σημείο ενδιαφέροντος του δικτύου που μελετάμε. Πάνω σε αυτό, θα πατήσουμε ώστε να σχολιάσουμε ένα ζωτικής σημασίας συστατικό της καθυστέρησης από άκρο σε άκρο, που είναι οι μεταβαλλόμενες καθυστερήσεις των πακέτων στους δρομολογητές του δικτύου. Επειδή αυτές οι καθυστερήσεις είναι μεταβαλλόμενες, ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που παράγεται ένα πακέτο στην προέλευση μέχρι να παραληφθεί στον προορισμό μπορεί να κυμαίνεται από πακέτο σε πακέτο. Το φαινόμενο αυτό αποκαλείται jitter – διακύμανση καθυστέρησης. Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα εξήγησης του φαινομένου αυτού είναι το εξής. Έστω ότι ένα πακέτο φτάνει σε δρομολογητή του οποίου η ουρά αναμονής είναι σχεδόν άδεια και πριν φτάσει το δεύτερο πακέτο στην ουρά, καταφθάνει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικής προέλευσης πακέτων (στην ίδια ουρά). Επειδή το πρώτο πακέτο στην ουρά έχει μικρή καθυστέρηση και το δεύτερο πολύ μεγαλύτερη, το χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο πακέτων στον παραλήπτη αυξάνει. (Σε αντίθετο σενάριο, το χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο αυτών πακέτων μπορεί να μειώνεται.) Το jitter είναι ένα φαινόμενο που υπάρχει στα δίκτυα. Η διαχείρισή του μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας χρονοσφραγίδες (timestamps), αριθμούς ακολουθίας (sequence numbers) και καθυστέρηση αναπαραγωγής (playout delay), τους οποίους προσεγγιστικά χρησιμοποιούμε και στην εργασία μας. Στην εργασία μας ειδικότερα, προσδίδουμε σε κάθε πακέτο ένα μοναδικό αναγνωριστικό ID και στέλνουμε ένα πακέτο ανά slot, ενώ επίσης, εισάγουμε καθυστέρηση αναπαραγωγής, ώστε να παραλάβουμε ένα ικανό ποσοστό πακέτων πριν τον προγραμματισμένο χρόνο αναπαραγωγής. Όταν τα πακέτα φτάνουν στον προορισμό τους πριν από τους προκαθορισμένους χρόνους αναπαραγωγής τους, δεν υπάρχει απώλεια πακέτων. Μπορούμε μάλιστα να πούμε πώς αυξάνοντας την καθυστέρηση της αναπαραγωγής μείωσαμε την πιθανότητα απώλειας πακέτων, αφού τα πακέτα θα προλάβουν να φτάσουν έγκαιρα. Ιδιανικά, βέβαια, θέλουμε να έχουμε μικρή χρονική καθυστέρηση αναπαραγωγής και να ανεχθούμε μικρά ποσοστά απωλειών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι απώλεια πακέτων θεωρείται τόσο όταν το πακέτο δε φτάνει στον παραλήπτη, αλλά και όταν φτάσει μετά τον προκαθορισμένο χρόνο αναπαραγωγής του.

Συμπερασματικά, το τρέμουλο χαρακτηρίζει τη μεταβλητότητα της παρατηρούμενης καθυστέρησης μεταξύ διαδοχικών αφίξεων πακέτων μιας συγκεκριμένης ροής και είναι ενδεικτικό της συμφόρησης στην οποία υπόκεινται τα πακέτα μιας ροής πολυμέσων/δεδομένων μέσα στο δίκτυο κατά μήκος ενός μονοπατιού. Στις επικοινωνίες πολυμέσων και ειδικά στις εφαρμογές ήχου/εικόνας (ιδίως πραγματικού χρόνου) το τρέμουλο πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο. Μικρότερο τρέμουλο αντιστοιχεί σε μικρότερες διακυμάνσεις καθυστέρησης άφιξης των πακέτων μιας ροής, κι επομένως σε πιο προβλεπόμενο (στρωτό) ρυθμό άφιξης δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός αναπαραγωγής μπορεί να ρυθμιστεί καλύτερα στον τελικό χρήστη, ώστε το τελικό αποτέλεσμα αναπαραγωγής να προσεγγίζει καλύτερα καλύτερα στις επιθυμητές προδιαγραφές του χρήστη.

ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η καταιγιστική κίνηση (bursty traffic) σε ένα δίκτυο οδηγεί στη συμφόρησή του. Η αντιμετώπιση της συμφόρησης γίνεται με αλγορίθμους μορφοποίησης της κίνησης (traffic shaping) όπως ο αλγόριθμος κάδου με σκυτάλη (token bucket algorithm) και ο αλγόριθμος διαρρέοντος κάδου (leaky bucket algorithm), που μελετάμε στην εργασία, και σύμφωνα με τους οποίους επιβάλλουμε στους κόμβους να μεταδίδουν πακέτα με πιο προβλέψιμους και ομοιόμορφους ρυθμούς, ορίζοντας κατάλληλο κάθε φορά μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Αυτή η αστυνόμευση, η ρύθμιση του ρυθμού με τον οποίο επιτρέπεται μία κλάση ή ροή (πολυμεσική κλάση) να εισάγει πακέτα στο δίκτυο είναι ένας σημαντικός μηχανισμός QoS.

Ο διαρρέων κάδος χρησιμοποιείται κυρίως στη διακριτή του μορφή, για να ελεγχθεί ότι οι μεταδόσεις δεδομένων είναι σύμμορφες με τα καθορισμένα όρια εύρους ζώνης κι εκρηκτικότητας κίνησης. Ένα χαρακτηριστικό της κίνησης των πακέτων πριν την είσοδό τους στο leaky bucket, όπως προείπαμε, είναι η εκρηκτικότητά της, που αποτελεί και μέτρο της ανομοιομορφίας και των μεταβολών που μπορεί να παρουσιάζει εν γένει μια ροή δεδομένων. Ένα πακέτο που φτάνει στο leaky bucket προστίθεται στην ουρά αν υπάρχει χώρος, αλλιώς απορρίπτεται. Σε κάθε μονάδα χρόνου ένα πακέτο από την ουρά μεταδίδεται στο επόμενο στοιχείο δικτύου, εκτός κι αν ο κάδος είναι άδειος.

Στην περίπτωση που ο κάδος είναι άδειος, η ροή εξόδου είναι επίσης μηδενική, ενώ όταν η ροή εισόδου είναι διαρκώς μεγαλύτερη από τη ροή εξόδου, το περιεχόμενο στον κάδο αυξάνει συσσωρευτικά μέχρι του σημείου όπου ο κάδος θα υπερχειλίσει. Ο leaky bucket επιβάλλει έναν αυστηρό ρυθμό εξόδου με καθορισμένο μέσο ρυθμό εκπομπής, ανεξάρτητα από το πόσο εκρηκτική είναι η κίνηση εισόδου, υπό την προϋπόθεση ότι η ουρά του κάδου δεν αδειάζει ποτέ. Επίσης, αν ο ρυθμός άφιξης είναι χαμηλότερος από το ρυθμό εξυπηρέτησης της ουράς ή αν η είσοδος είναι τόσο εκρηκτική ώστε οι απώλειες να κατεβάζουν τον εναπομείναντα ρυθμό χαμηλότερα από το χρόνο εξυπηρέτησης της ουράς (παρατεταμένα κενά στην ουρά εισόδου και ουρά μικρής χωρητικότητας που αδειάζει γρήγορα), τότε θα έχουμε και κενά στην έξοδο. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του είναι ότι μεταδίδει πακέτα μόνο στις ακέραιες χρονικές στιγμές, οπότε εισάγει επιπλέον μια μεταβλητότητα καθυστέρησης, κι επομένως οδηγεί στην εμφάνιση τρέμουλου (jitter) που αναφέρθηκε κι εκτενώς προηγουμένως. Τα δεδομένα που αναγκάζουν τον κάδο να υπερχειλίσει ονομάζονται προφανώς μη-σύμμορφα, ενώ τα δεδομένα που δεν οδηγούν σε υπερχειλίση του ονομάζονται σύμμορφα.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί η αναγκαιότητα της ύπαρξης τρόπων μορφοποίησης της κίνησης, καθώς τα σύγχρονα δίκτυα καλούνται να διαχειριστούν τη συνύπαρξη διαφορετικών τύπων κίνησης όπως τηλεπικοινωνιακή (περισσότερο ευαίσθητη σε χρονικές καθυστερήσεις και ομαλή) και καταιγιστική κίνηση που αφορά τα δίκτυα υπολογιστών. Επίσης, τα διάφορα πρωτόκολλα ολισθαίνοντος παραθύρου χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν την ποσότητα των δεδομένων που θα κινηθούν στο δίκτυο κάποια χρονική στιγμή κι όχι το ρυθμό με τον οποίο αποστέλλονται, ο οποίος όπως αναφέραμε καθορίζεται από τους αλγορίθμους μορφοποίησης κίνησης.

Πληροφοριακά, ο Διαρρέων Κάδος είναι ένα σύστημα αναμονής με ένα εξυπηρετητή σταθερού χρόνου εξυπηρέτησης και ουράς πεπερασμένου μεγέθους που μεσολαβεί μεταξύ χρήστη και δικτύου κορμού. Ο χρήστης τοποθετεί τα πακέτα που παράγει η υπηρεσία που χρησιμοποιεί στην ουρά του Κάδου, εκτός αν η ουρά του Κάδου είναι ήδη γεμάτη, οπότε τα αφικνούμενα πακέτα απορρίπτονται. Τα πακέτα στην ουρά του κάδου εγχύονται στο δίκτυο κορμού με σταθερό ρυθμό. Έτσι η ανομοιογενής κίνηση του χρήστη εξομαλύνεται κατάλληλα για να μεταδοθεί στο δίκτυο.

Ο συσσωρευτής αναπαραγωγής (playback buffer) λειτουργεί παρόμοια με το διαρρέοντα κάδο, μόνο που βρίσκεται στη μεριά της συσκευής χρήστη, δλδ. στο άκρο του καταναλωτή πολυμεσικού περιεχομένου. Διαθέτει ένα συγκεκριμένο μέγεθος αποθήκευσης συσσωρευτή, ένα συγκεκριμένο ρυθμό εξυπηρέτησης και μια συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου, που αντιστοιχεί στο ποσοστό του συσσωρευτή που πρέπει να έχει πληρωθεί προκειμένου να ξεκινήσει η εξυπηρέτηση των δεδομένων, δλδ. η αναπαραγωγή του βίντεο. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η κύρια χρήση τους είναι εν γένει η εξομάλυνση κυρίως πολυμεσικών ροών με τρόπο ώστε παρά την ακανόνιστη και καθυστερημένη, εν γένει, άφιξη των δεδομένων, στην έξοδο να εξασφαλίζεται η ομαλή αναπαραγωγή τους με σταθερό ρυθμό, ώστε να ικανοποιούνται τα QoS και το quality of experience, για την αναπαραγωγή του πολυμεσικού περιεχομένου στο χρήστη. Έτσι, έχοντας επιλέξει κατάλληλα την τιμή κατωφλίου συσσωρευτή, το ρυθμό αναπαραγωγής και τη ροή δεδομένων στην είσοδο, μπορούμε να πετύχουμε συνεχή και σταθερή αναπαραγωγή στην έξοδό τους, παρά τις όποιες δυσμενείς συνθήκες είχαμε να αντιμετωπίσουμε στην είσοδό του (καθυστερήσεις, ακανόνιστη σειρά αφίξεως των πακέτων).

Παρ' όλα αυτά δεν είναι πάντοτε εφικτό να εξασφαλίζουμε μια απόλυτα συνεχή και στρωτή αναπαραγωγή δεδομένων. Ωστόσο, μόλις τα πακέτα γεμίσουν τον συσσωρευτή κατά το καθορισμένο ποσοστό κατωφλίου κι αρχίσει η αναπαραγωγή, η ροή της κίνησης θα είναι στρωτή για όσο το δυνατό περισσότερο χρονικό διάστημα μέχρι να αδειάσει ο συσσωρευτής. Μετά η αναπαραγωγή θα παύσει προσωρινά, μέχρι να πληρωθεί ο συσσωρευτής ξανά στο καθορισμένο ποσοστό κατωφλίου, προκειμένου να ξεκινήσει νέος κύκλος αναπαραγωγής. Έτσι, ακόμα κι αν μην μπορούσαμε να έχουμε μία μοναδική, συνεχή και ομαλή αναπαραγωγή, εξασφαλίζουμε διαδοχικές, στρωτές και συνεχείς επιμέρους ροές. Το τελικό αποτέλεσμα στο χρήστη θα είναι ότι ο χρήστης παρακολουθεί το βίντεο με κανονική ποιότητα, κάποια στιγμή αυτό σταματά, όσο δλδ. ο συσσωρευτής μαζεύει δεδομένα – buffering), κι ακολούθως ξεκινά η αναπαραγωγή με τον ίδιο ρυθμό/ποιότητα όπως πριν. Βέβαια το ιδανικότερο σενάριο θα ήταν ο χρήστης να μπορεί να βλέπει το βίντεο σε μια συνεχή μετάδοση χωρίς διακοπή και με τη ζητούμενη ποιότητα (αυτό θα συνέβαινε αν ο συσσωρευτής αναπαραγωγής εξασφάλιζε μια συνεχή ομαλή ροή βίντεο χωρίς διακοπές). Ωστόσο, κι αυτό το λιγότερο ιδανικό σενάριο είναι αποδεκτό από την περίπτωση ανεπεξέργαστης ροής (πάγωμα εικόνας, αλλοιωμένος ήχος, ασυνεχής κίνηση κ.λ.π. Επομένως, σκοπός του συσσωρευτή αναπαραγωγής είναι η ομαλοποίηση τέτοιων ροών και η εξασφάλιση καλύτερης ποιότητας αναπαραγωγής στο χρήστη, καταπιέζοντας κατά μία έννοια την καθυστέρηση που εισάγεται στη ροή δεδομένων στο δίκτυο (πλήρης εξομάλυνση της εισερχόμενης ροής). Τέλος, στην εργασία μας θα παρατηρήσουμε ότι στο δίκτυο που εξετάζουμε, όπου δεν έχουμε απώλειες στα links, παρά μόνο μεταβλητές καθυστερήσεις ενώ ταυτόχρονα έχουμε εξασφαλίσει ένα σταθερό ρυθμό μετάδοσης, ο συσσωρευτής αναπαραγωγής δεν αδειάζει ποτέ και παράγει μια σταθερή, συνεχή έξοδο με σταθερό ρυθμό. Με το συσσωρευτή αναπαραγωγής στη μεριά του χρήστη, στο τέλος, ανακτάται η σταθερότητα αναπαραγωγής των δεδομένων.

Αναφορά αξίζει να γίνει στο εξής κομμάτι. Τόσο ο leaky bucket όσο και ο playback buffer εξυπηρετούν με σταθερό ρυθμό, κι επομένως η συνάρτηση εξόδου θα έχει την “ίδια” μορφή για δεδομένη συνάρτηση εισόδου. Στην έξοδο λαμβάνουμε μια συγκεκριμένη χρονοσειρά εξυπηρέτησης πακέτων (traffic shaping).

Η καθυστέρηση δικτύου αναφέρεται σε χρόνο καθυστέρησης που προκύπτει στην παράδοση ενός πακέτου εντός μιας υποδομής δικτύου. Παράμετροι καθυστέρησης ενός δικτύου είναι η καθυστέρηση μεταδόσης πακέτου σε μια ασύρματη ζεύξη, ο χρόνος επεξεργασίας/δρομολόγησης και η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο σε μια διαδρομή δρομολογητών δικτύου. Τα πακέτα εν γένει, πολυπλέκονται στις ουρές των δρομολογητών καθώς οι ροές δεδομένων, προκειμένου να εξυπηρετηθούν, υποχρεούνται να δρομολογηθούν μέσω κοινών δρομολογητών δικτύου ανταγωνιζόμενες κοινούς πόρους. Είναι εμφανές ότι περισσότερη καθυστέρηση εισάγεται όταν οι διαθέσιμοι πόροι εξαντλούνται και συνεπώς αυτοί οι πόροι πρέπει να διαμοιραστούν κατάλληλα μεταξύ ανταγωνιζόμενων ροών. Ο κανόνας που καθορίζει τον τρόπο (σειρά) με την οποία λαμβάνουν εξυπηρέτηση οι εισερχόμενοι πελάτες (πακέτα, στην εργασία μας) αναφέρεται ως πολιτική εξυπηρέτησης (service policy) και επηρεάζει με καθοριστικό τρόπο τη λειτουργία του συστήματος αναμονής που μελετάμε κάθε φορά. Επιπλέον, η δρομολόγηση καθυστερεί, διότι γίνεται επεξεργασία των παραμέτρων που καθορίζουν τις κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας (δρομολόγηση ποιότητας υπηρεσίας).

Οι πολιτικές διαχείρισης ουρών που θα αναφέρουμε είναι ενεργές (active queue management – ARQ policies), δλδ., ενεργούν με δυναμικό τρόπο πάνω στη λειτουργία των ουρών σε πραγματικό χρόνο, τη στιγμή που εμφανίζεται το πρόβλημα. Ακολουθούν οι πολιτικές διαχείρισης συσσωρευτών ουράς που θα εξετάσουμε στην εργασία.

- Πολιτική Αποκοπής Ουράς (Tail Drop)

Η εξυπηρέτηση των πακέτων γίνεται με σειριακό τρόπο ακολουθώντας τη χρονική σειρά άφιξής τους (FIFO) και κατά ένα πακέτο ανά κύκλο αποστολής. Όταν η ουρά γεμίσει κι έρθει ένα νέο πακέτο, η πολιτική Tail Drop απορρίπτει το πακέτο που μόλις αφίχθηκε. Είναι ο απλούστερος δυνατός και οικονομικός τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων που εμφανίζονται στους συσσωρευτές εξαιτίας υπερφόρτωσης των ουρών και η πληροφορία που εξετάζεται σχετικά με τον έλεγχο των πακέτων είναι η κατάσταση της ουράς του δρομολογητή, δλδ., το ποσοστό πλήρωσης της ουράς. Ωστόσο, επειδή τα πακέτα που φτάνουν στο δρομολογητή σε μία ήδη γεμάτη ουρά απορρίπτονται αδιακρίτως, είναι δυνατό μία και μόνο ροή να μονοπολήσει το δρομολογητή, οδηγώντας σε αποκλεισμό των υπολοίπων ροών (lockout). Προφανές είναι επίσης βέβαια, ότι ο δρομολογητής θα λειτουργεί με μεγάλα μεγέθη ουράς τον περισσότερο χρόνο. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την εκρηκτικότητα της κίνησης, και συνεπώς των αφίξεων, οδηγεί συχνά σε ομαδικές απώλειες πακέτων (bulk packet losses).

- Πολιτική Τυχαίας Αποκοπής Πλήρωσης (Random Drop on full)

Επενεργεί σε μια ουρά που εμπλέκονται διαφορετικές ροές . Όταν φτάσει ένα νέο πακέτο σε μια γεμάτη ουρά, απορρίπτεται με τυχαίο τρόπο ένα από αυτά που βρίσκονται ήδη μέσα στην ουρά του δρομολογητή. Με ομοιόμορφη κατανομή πιθανότητας επιλέγεται ένα πακέτο από την ουρά και απορρίπτεται, αφήνοντας μια ελεύθερη θέση στο τέλος της ουράς για το πακέτο που μόλις έφθασε, με διαδοχική ολίσθηση των πακέτων που ακολουθούν (του πακέτου που επιλέχθηκε να απορριφθεί από την ουρά). Με την τυχαία επιλογή του πακέτου που θα απορριφθεί, αφενός μεν είναι αποδεκτή ως σχεδιαστική τεχνική καθώς δεν απορρίπτεται πάντα η ίδια συγκεκριμένη θέση στην ουρά του δρομολογητή (επίδραση στο ποσοστό απωλειών μιας συγκεκριμένης ροής), αφετέρου δε, δεν επηρεάζεται το μέσο αναμενόμενο ποσοστό απωλειών σχετικά με αυτήν την πολιτική διαχείρισης. Μάλιστα, αυτό το ποσοστό απωλειών θα είναι αντίστοιχο του ποσοστού απωλειών που θα συνοδεύει την πολιτική διαχείρισης Tail Drop. Ακόμη, επειδή και η Random Drop on full όπως και η Tail Drop χρησιμοποιούν ως κριτήριο για την επενέργεια της πολιτικής το ποσοστό πληρότητας της ουράς, μια συγκεκριμένη ροή δύναται και πάλι να μονοπολήσει την ουρά και να αποκόψει τις υπόλοιπες ροές από το δρομολογητή (προβλήματα ισοτιμίας διαχείρισης ροών).

- Πολιτική Αποκοπής Κεφαλής (Front Drop on full)

Μόλις γεμίσει η ουρά και φθάσει ένα νέο πακέτο, απορρίπτεται πάντα το πακέτο που είναι έτοιμο να εξυπηρετηθεί, δλδ., το πακέτο που βρίσκεται στην κορυφή της ουράς (head of line packet), κι επομένως απορρίπτεται το πακέτο που έχει τον περισσότερο χρόνο αναμονής απ'όλα τα πακέτα που βρίσκονται στο συγκεκριμένο χρονικό σημείο και είναι εξάλλου το πιο πιθανό να απορριφθεί σε κάποιο από τα επόμενα βήματα, καθώς θα λήξει ο χρόνος ζωής του. Η απόρριψή του δε θα έχει σημαντική επίδραση, διότι με αυτήν την τεχνική αποφεύγεται η σπατάλη συγκεκριμένου χρόνου μετάδοσης σε ένα πακέτο που μάλλον θα απορριφθεί στη συνέχεια κι εξοικονομείται παράλληλα η χρήση του αντίστοιχου πόρου για τη μετάδοση κάποιου άλλου πακέτου. Η πολιτική αυτή δε διαφέρει από τις προηγούμενες δύο όσον αφορά το αναμενόμενο ποσοστό απωλειών και τη μονοπόληση της ουράς από μια ροή πολυμέσων.

- DiffServ (Απλοποιημένο) στην Παρούσα Άσκηση

Στην παρούσα άσκηση θα πραγματοποιηθεί μόνο η AF πολιτική του DiffServ, στην οποία όταν η ουρά γεμίσει και

έρθει ένα νέο πακέτο, η προτεραιότητα του και η εσωτερική κατάσταση της ουράς καθορίζουν τις επόμενες ενέργειες. Αν το πακέτο είναι υψηλής προτεραιότητας (priority 3) και υπάρχουν πακέτα χαμηλότερης προτεραιότητας, απορρίπτεται το πακέτο με τη χαμηλότερη προτεραιότητα που βρίσκεται πιο κοντά στην κεφαλή της ουράς και το νέο πακέτο τοποθετείται στην τελευταία θέση της ουράς που μένει ελεύθερη μετά την ολίσθηση των υπόλοιπων πακέτων που παρέμειναν στην ουρά μετά τη διαγραφή του πακέτου χαμηλότερης

Σύντομη αναφορά στην Αρχιτεκτονική Διαδικτύου Diffserv

Λειτουργεί στη λογική της ανά-βήμα συμπεριφοράς (per-hop-behavior) και προσφέρει τη δυνατότητα χειρισμού διαφορετικών κλάσεων κίνησης με διαφορετικούς τρόπους μέσα στο Διαδίκτυο, αποτελώντας μοντέλο παροχής ποιότητας υπηρεσίας. Εξασφαλίζει κατηγοριοποίηση των πακέτων (κλάση κίνησης) και συμμόρφωση κίνησης, κατάλληλη προώθηση ανά βήμα των κατηγοριοποιημένων πακέτων. Η κίνηση δικτύου η οποία εισέρχεται σε ένα διαχειριστικό τομέα DiffServ υπόκειται σε κατηγοριοποίηση με χρήση ετικέτας πακέτου. *(Ακόμη, μέσα σε κάθε κλάση, στα πακέτα ανατίθεται και προβάδισμα απόρριψης (υψηλό, μέτριο, χαμηλό) ως προς την πιθανότητα απόρριψής τους. Οπότε, εάν εν γένει, συμφεί συμφόρηση σε πακέτα της ίδιας κλάσης, τα πακέτα με μεγαλύτερο προβάδισμα απόρριψης, απορρίπτονται πρώτα.)* Κάθε κλάση κίνησης μπορεί να αντιμετωπιστεί διαφορετικά επιτρέποντας καλύτερες μετρικές ποιότητας υπηρεσίας για τα πακέτα κλάσης υψηλότερης προτεραιότητας. Η κίνηση βέβαια σε κάθε κλάση μπορεί να συμμορφωθεί με τους τρόπους μορφοποίησης κίνησης (βλ. Leaky Bucket π.χ.) που ήδη αναφέραμε προηγουμένως

Δρομολογητές με δυνατότητες DiffServ, όπως στην εργασία μας, όπου τα πακέτα ίδιας κλάσης σε κάθε δρομολογητή αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο (per-hop-behavior).

Για να είναι αποτελεσματική η εφαρμογή ενός μοντέλου DiffServ, εκτός του γεγονότος ότι οι εμπλεκόμενοι πάροχοι πρέπει να έχουν μια κοινή σχεδιαστική τεχνική, το φορτίο του δικτύου πρέπει να είναι σχετικά υψηλό. Εάν το φορτίο του δικτύου ήταν σε μέτρια επίπεδα, δε θα παρατηρούταν διαφορές μεταξύ του DiffServ κι ενός συστήματος best effort (παράγοντας οικονομικού κόστους \$). Η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο επηρεάζεται πολύ περισσότερο από τους ρυθμούς αποστολής των πακέτων και το μήκος του μονοπατιού που ακολουθούν τα πακέτα της ροής πολυμέσων, παρά από την καθυστέρηση συσσωρευτή στους δρομολογητές.