



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Δίκτυα Επικοινωνιών ΙΙ

## Ενότητα 4: Δικτύωση Πολυμέσων

Διδάσκων: Λάζαρος Μεράκος

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

# Δίκτυα Επικοινωνιών ΙΙ

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Εθνικό & Καποδιστριακό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών

## Θεματικές Ενότητες (ΘΕ) μαθήματος:

ΘΕ1: Εισαγωγή

(Κεφ. 1 του βιβλίου)

ΘΕ2: Συστήματα Αναμονής (M/M/1 και παραλλαγές, M/G/1, συστήματα με προτεραιότητες, δίκτυα ουρών)

ΘΕ3: Ασύρματα/Κινητά Δίκτυα (ασύρματα τοπικά δίκτυα, υποστήριξη κινητικότητας στο διαδίκτυο, κινητά δίκτυα 3ης γενιάς)

(Κεφ. 6 του βιβλίου)

**ΘΕ4: Δικτύωση Πολυμέσων**

(Κεφ. 7 του βιβλίου)

ΘΕ5: Ασφάλεια Δικτύων

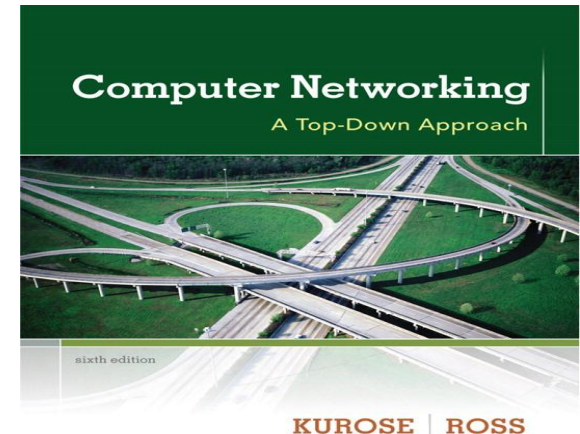
(Κεφ. 8 του βιβλίου)

Συνιστώμενο Βιβλίο:

**Computer Networking: A Top-Down Approach**, by Kurose & Ross, Addison-Wesley

Ελληνική Μετάφραση:

Εκδόσεις : Μ. Γκιούρδας



Οι περισσότερες από τις διαφάνειες αυτές αποτελούν προσαρμογή και απόδοση στα ελληνικά των διαφανειών που συνοδεύουν το βιβλίο *Computer Networking : A Top-Down Approach*, J.F Kurose and K.W. Ross, 6/E, Addison-Wesley.

All material copyright 1996-2012  
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

Προσαρμογή και επιμέλεια της απόδοσης των πρωτότυπων διαφανειών στα ελληνικά :  
Λάζαρος Μεράκος

# Δικτύωση Πολυμέσων: Διάρθρωση

- 7.1 Εφαρμογές δικτύωσης πολυμέσων
- 7.2 Ροή αποθηκευμένου βίντεο
- 7.3 Voice-over-IP
- 7.4 Πρωτόκολλα εφαρμογών συνομιλίας πραγματικού χρόνου
- 7.5 Υποστήριξη δικτύου για πολυμέσα

# Δικτύωση Πολυμέσων: Διάρθρωση

7.1 Εφαρμογές δικτύωσης πολυμέσων

7.2 Ροή αποθηκευμένου βίντεο

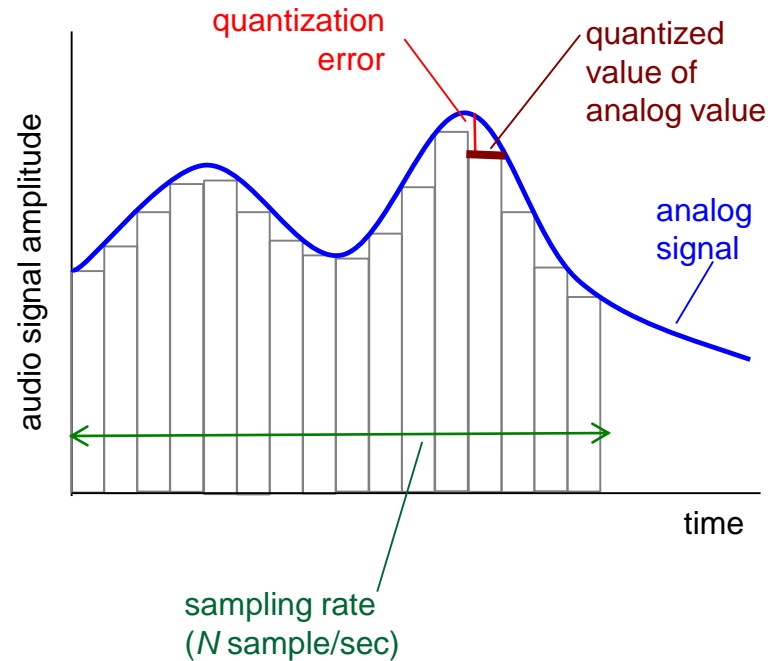
7.3 Voice-over-IP

7.4 Πρωτόκολλα εφαρμογών συνομιλίας πραγματικού χρόνου

7.5 Υποστήριξη δικτύου για πολυμέσα

# Πολυμέσα: Ήχος

- Αναλογικό σήμα ήχου σε δειγματοληψία σταθερού ρυθμού
  - τηλέφωνο: 8.000 δείγματα/sec
  - CD μουσικής: 44.100 δείγματα/sec
- Κάθε δείγμα κβαντίζεται, στρογγυλοποιείται
  - π.χ.,  $2^8=256$  πιθανές κβαντισμένες τιμές
  - κάθε κβαντισμένη τιμή αναπαρίσταται από bits, π.χ., 8 bits για 256 τιμές

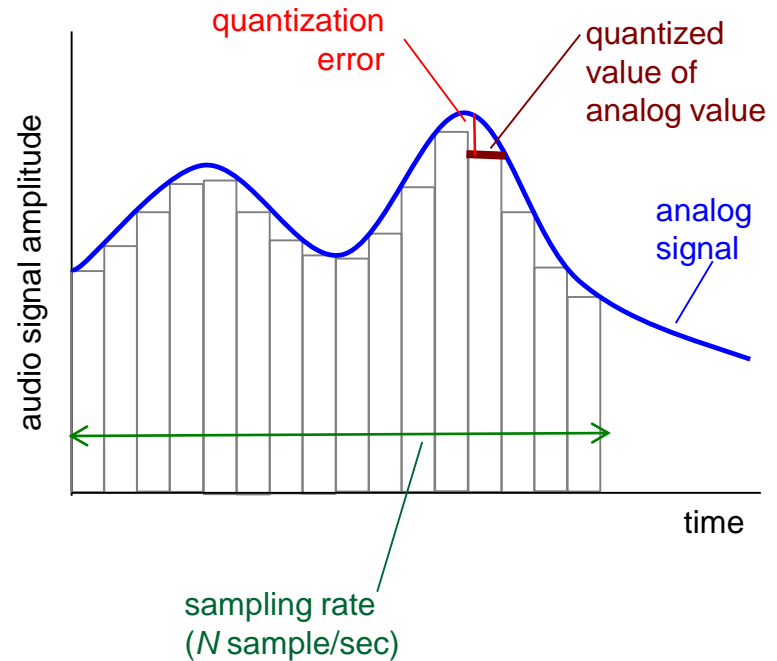


# Πολυμέσα: Ήχος

- παράδειγμα: 8.000 δείγματα/sec, 256 κβαντισμένες τιμές: 64.000 bps
- ο δέκτης μετατρέπει τα bits σε αναλογικό σήμα:
  - μικρή μείωση ποιότητας

## παραδείγματα ρυθμών

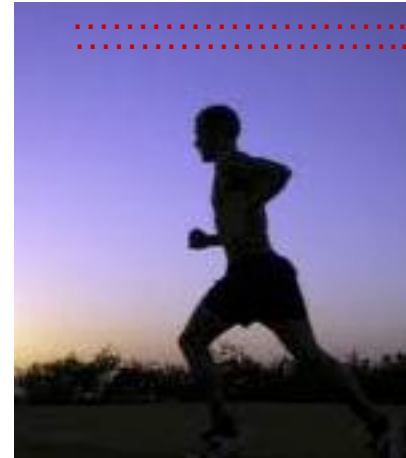
- CD: 1.411 Mbps
- MP3: 96, 128, 160 kbps
- Internet-τηλεφωνία: 5.3 kbps και πάνω



# Πολυμέσα: Βίντεο

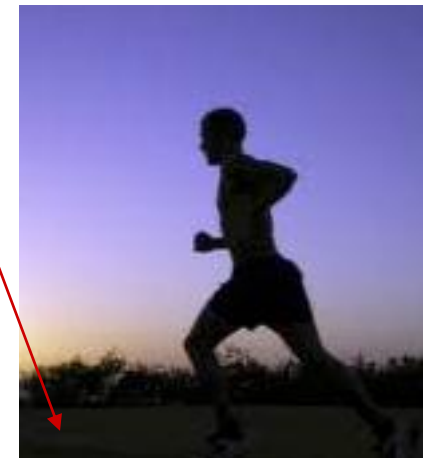
- video: ακολουθία εικόνων που εμφανίζονται με σταθερό ρυθμό
  - π.χ. 24 εικόνες/sec
- ψηφιακή εικόνα: πίνακας pixels
  - κάθε pixel αναπαρίσταται από bits
- κωδικοποίηση: χρησιμοποίησε πλεονασμό *εντός* και *μεταξύ* των εικόνων για να μειωθεί ο # bits που χρησιμοποιούνται για κωδικοποίηση της εικόνας
  - χωρικό (εντός της εικόνας)
  - χρονικό (από μια εικόνα στην άλλη)

*παράδειγμα χωρικής κωδικοποίησης:* αντί να στείλει  $N$  τιμές ίδιου χρώματος (όλα μωβ), στέλνει μόνο 2 τιμές: τιμή χρώματος (μωβ) και αριθμό επαναλαμβανόμενων τιμών ( $N$ )



πλαίσιο  $i$

*παράδειγμα χρονικής κωδικοποίησης:* αντί να στείλει ολόκληρο το πλαίσιο στο  $i+1$ , στέλνει μόνο τις διαφορές από το πλαίσιο  $i$

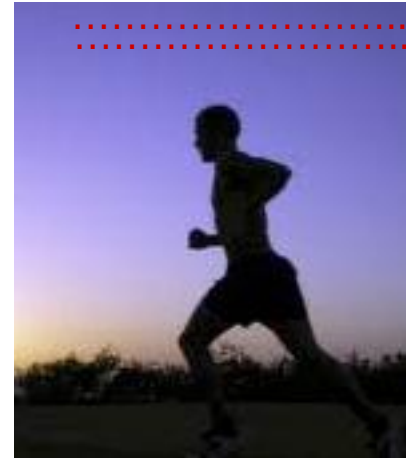


πλαίσιο  $i+1$

# Πολυμέσα: Βίντεο

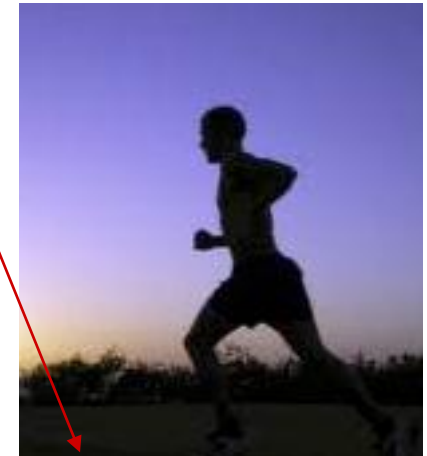
- ❖ ***CBR (constant bit rate):*** σταθερός ρυθμός κωδικοποίησης video
- ❖ ***VBR (variable bit rate):*** ο ρυθμός κωδικοποίησης video αλλάζει καθώς αλλάζει το ποσό χωρικής, χρονικής κωδικοποίησης
- ❖ ***παραδείγματα:***
  - MPEG 1 (CD-ROM) 1.5 Mbps
  - MPEG2 (DVD) 3-6 Mbps
  - MPEG4 (συχνά χρησιμοποιείται στο Internet, < 1 Mbps)

***παράδειγμα χωρικής κωδικοποίησης:*** αντί να στείλει  $N$  τιμές ίδιου χρώματος (όλα μωβ), στέλνει μόνο 2 τιμές: τιμή χρώματος (μωβ) και αριθμό επαναλαμβανόμενων τιμών ( $N$ )



***πλαίσιο  $i$***

***παράδειγμα χρονικής κωδικοποίησης:*** αντί να στείλει ολόκληρο το πλαίσιο στο  $i+1$ , στέλνει μόνο τις διαφορές από το πλαίσιο  $i$



***πλαίσιο  $i+1$***



# Δικτύωση πολυμέσων: 3 τύποι εφαρμογών

## □ ροή αποθηκευμένου ήχου, video

- ροή: μπορεί να ξεκινήσει το playout πριν κατεβάσει ολόκληρο το αρχείο
- αποθηκευμένο (στο server): μπορεί να μεταδώσει ταχύτερα από ότι θα αναπαράγεται ο ήχος/video (υπονοεί αποθήκευση/ενταμίευση στον πελάτη)
- π.χ. YouTube, Netflix, Hulu

## □ συνδιάλεξη φωνής/video over IP

- διαδραστική φύση συνομιλίας ανθρώπου με άνθρωπο, περιορίζει την ανοχή στις καθυστερήσεις

## □ ζωντανή ροή ήχου, video

- π.χ., ζωντανό αθλητικό γεγονός (ποδόσφαιρο)

# Δικτύωση Πολυμέσων: Διάρθρωση

7.1 Εφαρμογές δικτύωσης πολυμέσων

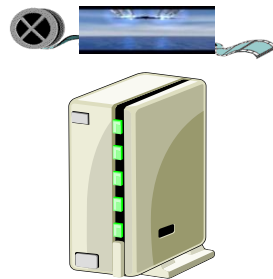
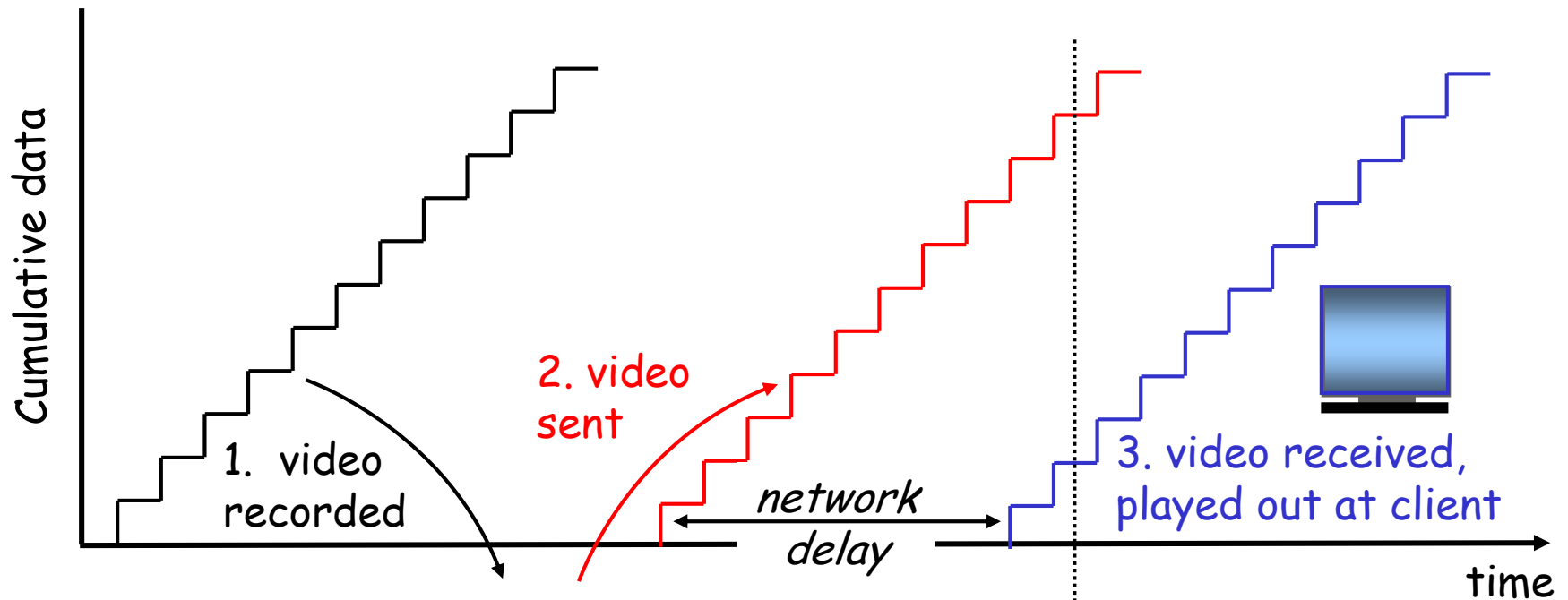
7.2 Ροή αποθηκευμένου βίντεο

7.3 Voice-over-IP

7.4 Πρωτόκολλα εφαρμογών συνομιλίας πραγματικού χρόνου

7.5 Υποστήριξη δικτύου για πολυμέσα

# Συνεχής ροή αποθηκευμένου video

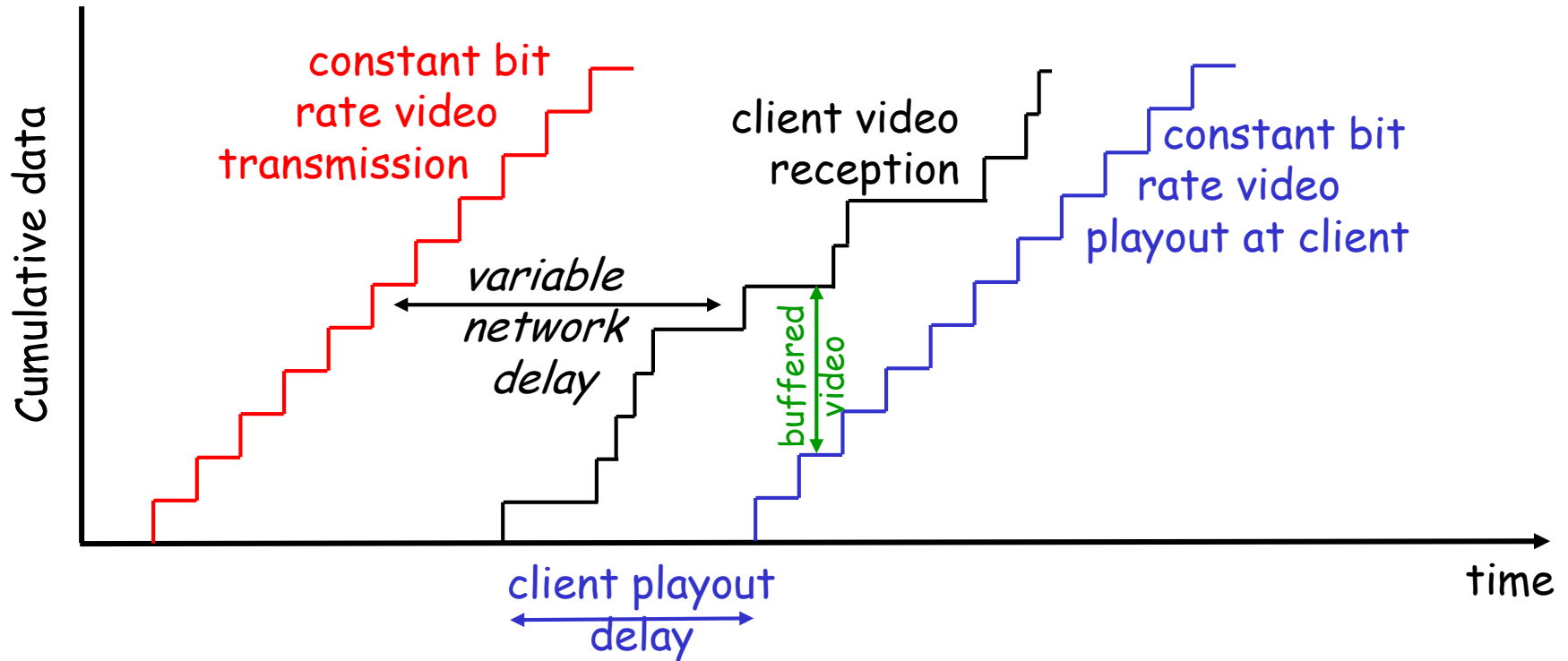


streaming: αυτή τη στιγμή, ο πελάτης αναπαράγει ένα προηγούμενο κομμάτι του βίντεο, ενώ ο server στέλνει επόμενο κομμάτι του βίντεο.

# Συνεχής ροή αποθηκευμένου video: προκλήσεις

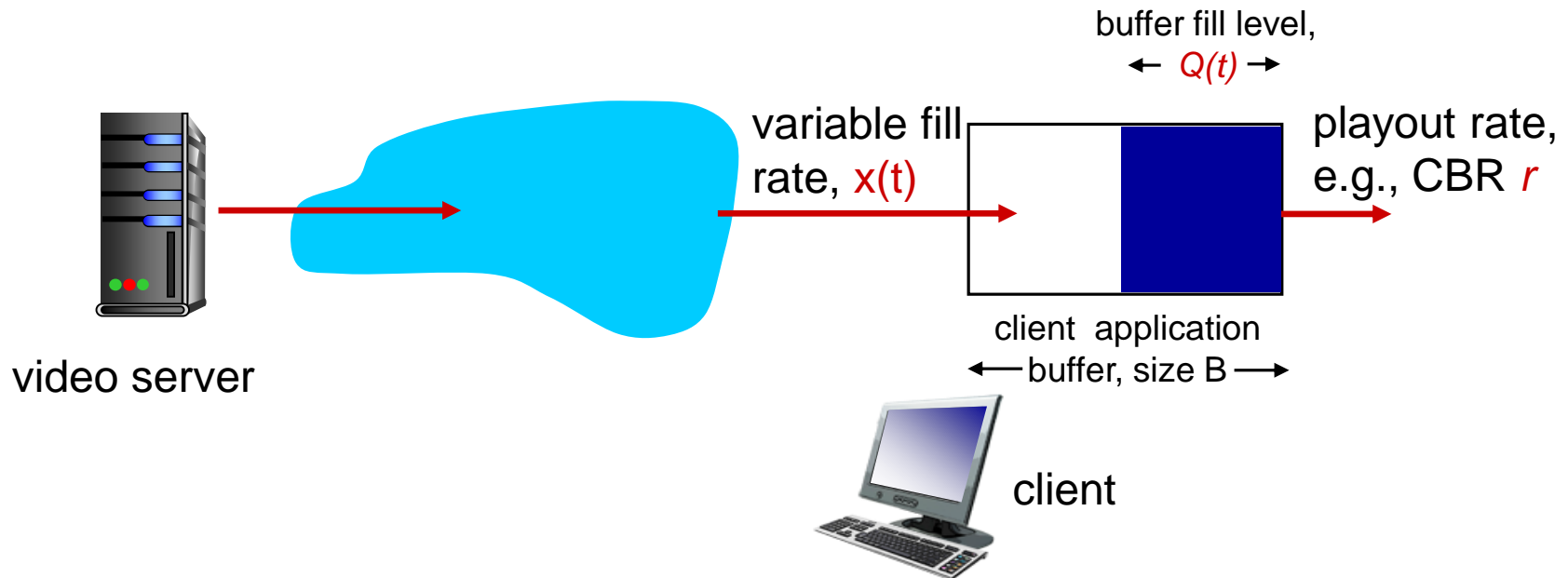
- **περιορισμός συνεχούς αναπαραγωγής:** μόλις ξεκινήσει η αναπαραγωγή από τον πελάτη, πρέπει να ταιριάζει με τον αρχικό συγχρονισμό
  - ... αλλά **οι καθυστερήσεις στο δίκτυο ποικίλλουν (jitter)**, οπότε θα χρειαστεί ενταμιευτής **στην πλευρά του πελάτη** για να ταιριάξει τις απαιτήσεις αναπαραγωγής
- άλλες προκλήσεις:
  - αλληλεπίδραση πελάτη: pause, fast-forward, rewind, εναλλαγή μεταξύ video
  - πακέτα video μπορεί να χαθούν, αναμεταδοθούν

# Συνεχής ροή αποθηκευμένου video: επανάληψη

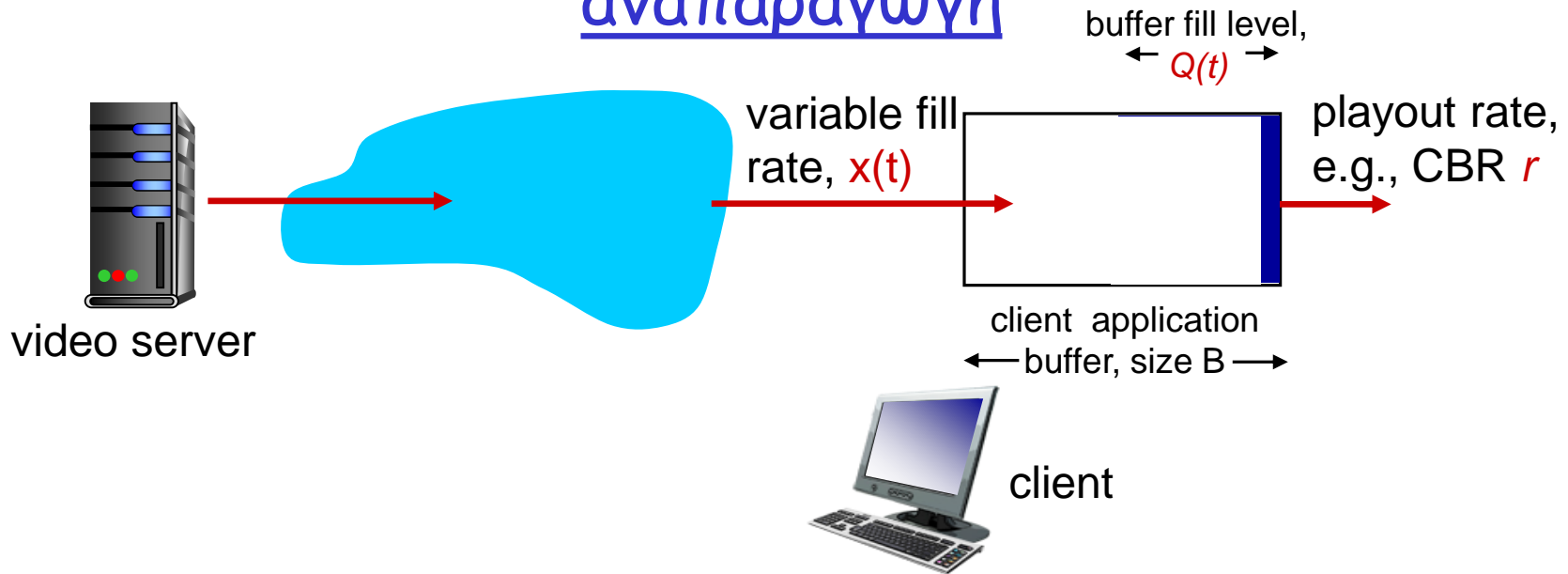


- **ενταμίευση στον πελάτη και καθυστέρηση αναπαραγωγής:** καθυστερεί λίγο ώστε να εξαλείψει την οφειλόμενη στο δίκτυο διακύμανση της καθυστέρησης

# Ενταμίευση στην πλευρά του πελάτη, αναπαραγωγή

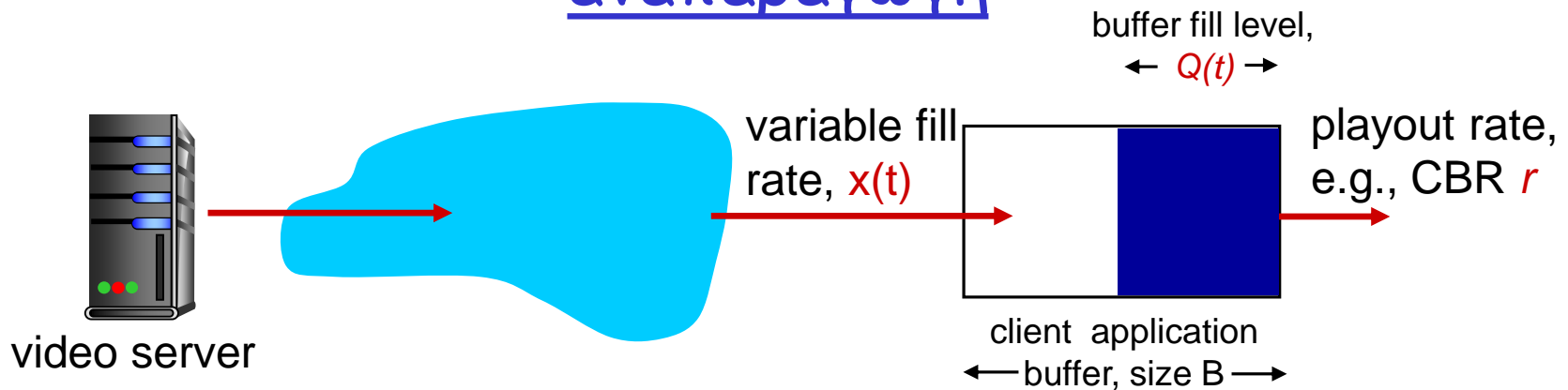


# Ενταμίευση στην πλευρά του πελάτη, αναπαραγωγή



1. Αρχικό γέμισμα ενταμιευτή μέχρι να ξεκινήσει η αναπαραγωγή στο  $t_p$
2. Η αναπαραγωγή ξεκινά στο  $t_p$
3. Το επίπεδο γεμίσματος του ενταμιευτή ποικίλλει ανάλογα με τον χρόνο, καθώς ο ρυθμός γεμίσματος  $x(t)$  ποικίλλει, ενώ ο ρυθμός αναπαραγωγής  $r$  είναι σταθερός

# Ενταμίευση στην πλευρά του πελάτη, αναπαραγωγή



Ενταμίευση αναπαραγωγής: μέσος ρυθμός γεμίσματος ( $x$ ), ρυθμός αναπαραγωγής ( $r$ ):

- $x < r$ : ο ενταμιευτής τελικά αδειάζει (προκαλώντας το πάγωμα της αναπαραγωγής του video μέχρι να ξαναγεμίσει)
- $x > r$ : ο ενταμιευτής δεν θα αδειάσει, αρκεί η αρχική καθυστέρηση να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να απορροφήσει τη μεταβλητότητα στο  $x(t)$ 
  - δίλημμα αρχικής καθυστέρησης αναπαραγωγής: το άδειασμα του ενταμιευτή είναι λιγότερο πιθανό με μεγαλύτερες καθυστερήσεις, αλλά αργεί περισσότερο ο χρήστης να ξεκινήσει να βλέπει

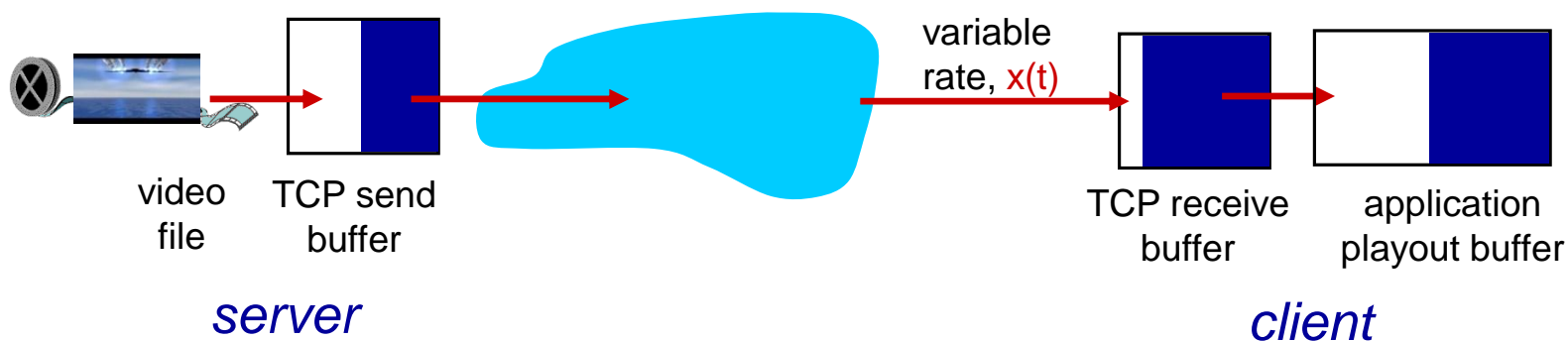


# Streaming Multimedia: UDP

- ❑ Ο εξυπηρετητής στέλνει στον κατάλληλο για τον πελάτη ρυθμό
  - συχνά, ρυθμός αποστολής = ρυθμός κωδικοποίησης = σταθ.
  - ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να αγνοεί τα επίπεδα συμφόρησης
- ❑ Μικρή καθυστέρηση αναπαραγωγής (2-5 seconds) ώστε να εξαλείψει την οφειλόμενη στο δίκτυο διακύμανση της καθυστέρησης
- ❑ Ανάκαμψη από σφάλματα: επίπεδο εφαρμογής, να επιτρέπεται από χρονικούς περιορισμούς
- ❑ RTP [RFC 2326]: τύποι φορτίου πολυμέσων
- ❑ Το UDP μπορεί να μην περνά μέσα από firewalls

# Streaming Multimedia: HTTP

- Το αρχείο πολυμέσων ανακτήθηκε μέσω HTTP GET
- Στέλνει με τον μέγιστο δυνατό ρυθμό μέσω TCP



- Ο ρυθμός παροχής παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω του ελέγχου συμφόρησης του TCP, αναμεταδόσεις (παράδοση σε σειρά)
- Μεγάλη καθυστέρηση αναπαραγωγής: εξομάλυνση του ρυθμού παροχής TCP
- HTTP/TCP διέρχεται ευκολότερα από τα firewalls

# Streaming multimedia: DASH

□ **DASH: D**ynamic, **A**daptive **S**treaming over **H**TTP

□ **server:**

- χωρίζει το αρχείο video σε πολλαπλά κομμάτια
- κάθε κομμάτι αποθηκεύεται, κωδικοποιείται σε διαφορετικούς ρυθμούς
- **αρχείο manifest:** παρέχει URL σε διαφορετικά κομμάτια

□ **πελάτης:**

- περιοδικά μετράει το εύρος ζώνης από τον εξυπηρετητή στον πελάτη
- συμβουλευεται το manifest, ζητάει ένα κομμάτι τη φορά
  - ❖ επιλέγει το μέγιστο δυνατό ρυθμό κωδικοποίησης δεδομένου του τρέχοντος εύρους ζώνης
  - ❖ μπορεί να επιλέξει διαφορετικούς ρυθμούς κωδικοποίησης σε διαφορετικά χρονικά σημεία ( εξαρτάται από το διαθέσιμο εύρος ζώνης)

# Streaming multimedia: DASH

- **DASH: Dynamic, Adaptive Streaming over HTTP**
- “ευφυΐα” στον πελάτη: ο πελάτης καθορίζει
  - **πότε** να ζητήσει κομμάτι (ώστε να μην αδειάσει ή υπερχειλίσει ο ενταμιευτής)
  - **τί ρυθμό κωδικοποίησης** να ζητήσει (υψηλή ποιότητα όταν είναι διαθέσιμο περισσότερο εύρος ζώνης)
  - **πού** να ζητήσει το κομμάτι (μπορεί να ζητήσει από URL server που είναι “κοντά” στον πελάτη ή έχει πολύ διαθέσιμο εύρος ζώνης)

# Δίκτυα διανομής περιεχομένου

- **πρόκληση:** πώς να κάνει streaming περιεχομένου (επιλεγμένου από εκατομμύρια video) σε εκατοντάδες χιλιάδες ταυτόχρονων χρηστών;
  - **επιλογή 1:** ένας μεγάλος "mega-server"
    - ένα μόνο σημείο αποτυχίας (single point of failure)
    - σημείο δικτυακής συμφόρησης
    - μεγάλη απόσταση για μακρινούς πελάτες
    - πολλαπλά αντίγραφα του video στέλνονται μέσω της εξερχόμενης ζεύξης
- ... απλά: η λύση αυτή **δεν κλιμακώνεται**

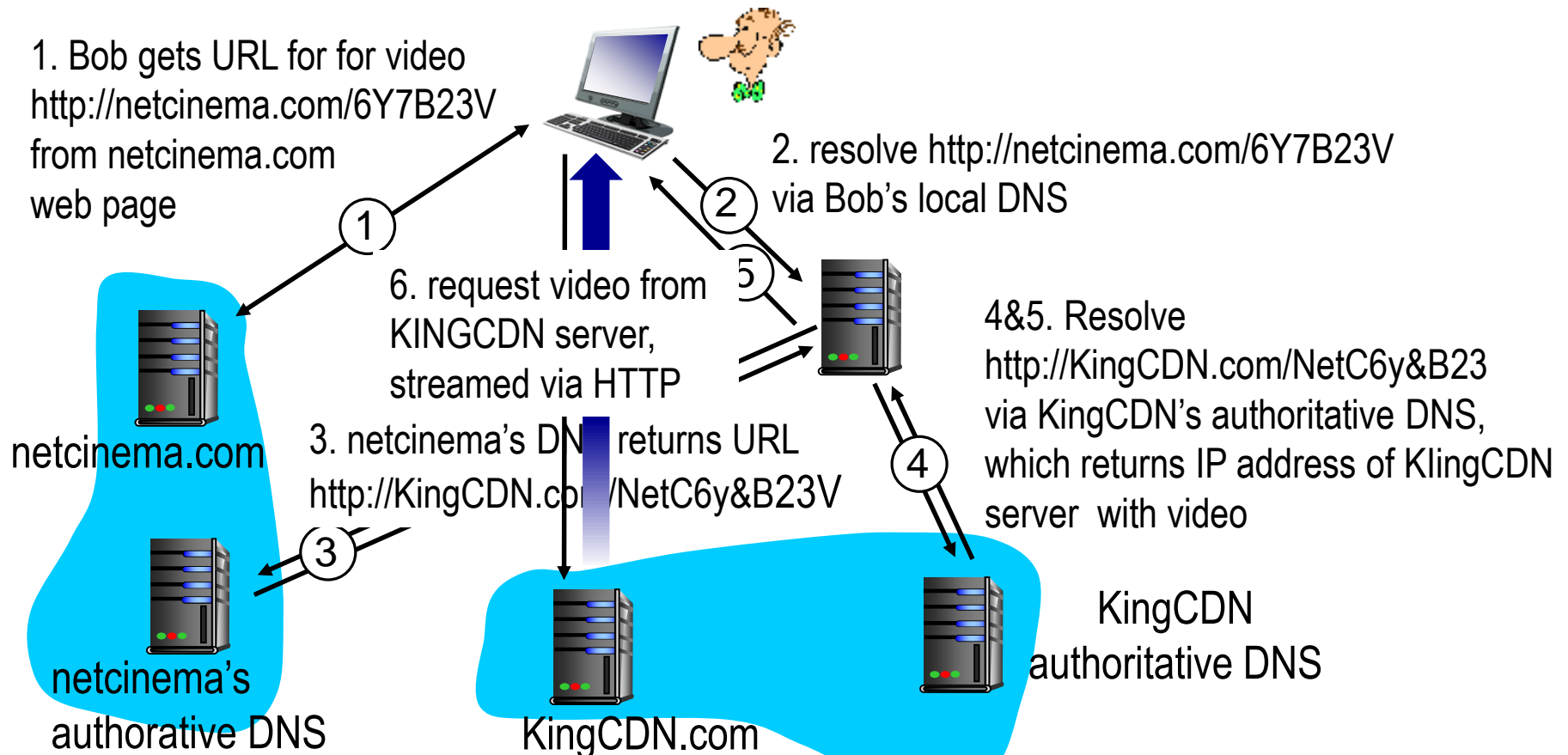
# Δίκτυα διανομής περιεχομένου

- **πρόκληση:** πώς να κάνει streaming περιεχομένου (επιλεγμένου από εκατομμύρια video) σε εκατοντάδες χιλιάδες ταυτόχρονων χρηστών
- **επιλογή 2:** αποθήκευσε/εξυπηρέτησε πολλαπλά αντίγραφα των video σε πολλαπλές γεωγραφικά κατανεμημένες τοποθεσίες (**CDN**)
  - **εισέρχονται βαθιά:** σπρώξε τους CDN servers βαθιά σε πολλά δίκτυα πρόσβασης
    - κοντά στους χρήστες
    - χρησιμοποιείται από το Akamai, 1700 τοποθεσίες
  - **κοντά στο σπίτι:** μικρότερος αριθμός (δεκάδες) από μεγαλύτερα clusters σε POPs κοντά (αλλά όχι μέσα) σε δίκτυα πρόσβασης
    - χρησιμοποιείται από το Limelight

# CDN: "απλό" σενάριο πρόσβασης περιεχομένου

Ο Bob (πελάτης) ζητάει ένα video <http://netcinema.com/6Y7B23V>

- το video είναι αποθηκευμένο στο CDN στο <http://KingCDN.com/NetC6y&B23V>



# CDN στρατηγική επιλογής cluster

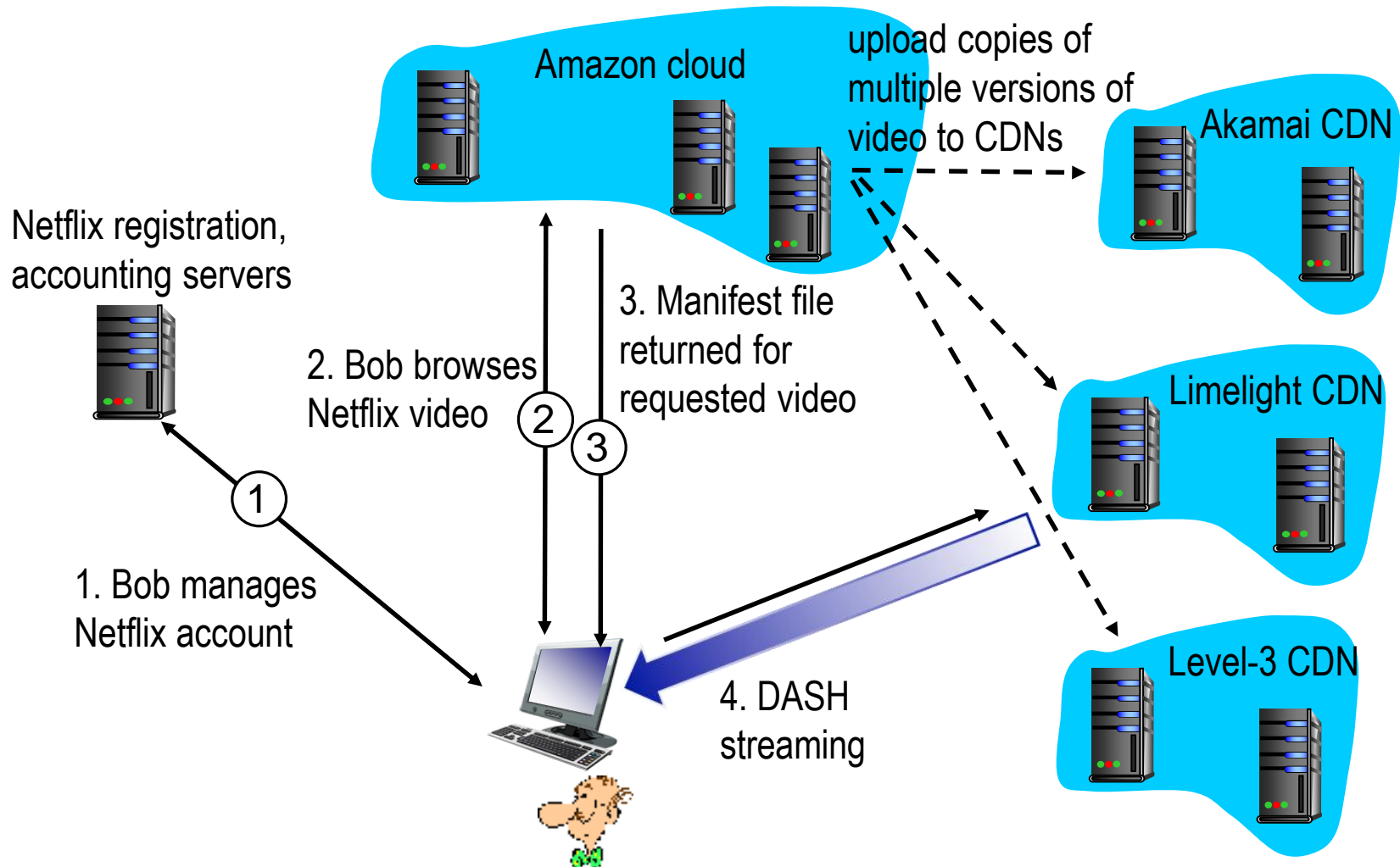
- **πρόκληση:** πώς το CDN DNS επιλέγει “καλό” CDN κόμβο για streaming στον πελάτη;
  - επέλεξε CDN κόμβο πιο κοντά γεωγραφικά στον πελάτη
  - επέλεξε CDN κόμβο με μικρότερη καθυστέρηση (ή ελάχιστο # αλμάτων) προς τον πελάτη (οι CDN κόμβοι περιοδικά κάνουν ping στους ISPs πρόσβασης και αναφέρουν τα αποτελέσματα στο CDN DNS)
  - IP anycast
  
- **εναλλακτική:** άσε τον πελάτη να αποφασίσει - δώσε στον πελάτη μία λίστα από μερικούς CDN servers
  - ο πελάτης κάνει ping στους servers, επιλέγει τον “καλύτερο”
  - προσέγγιση του Netflix



# Μελέτη περίπτωσης: Netflix

- ❑ 30% της κατερχόμενης κίνησης στις ΗΠΑ το 2011
- ❑ κατέχει πολύ λίγη υποδομή, χρησιμοποιεί υπηρεσίες τρίτων:
  - δική του η εγγραφή, με πληρωμή οι servers
  - cloud υπηρεσίες της Amazon (τρίτος):
    - το Netflix ανεβάζει studio master στο cloud της Amazon
    - δημιουργεί πολλαπλές εκδόσεις της ταινίας (διαφορετικές κωδικοποιήσεις) στο cloud
    - ανεβάζει τις εκδόσεις από το cloud στα CDN
    - το cloud φιλοξενεί τις ιστοσελίδες του Netflix για την περιήγηση του χρήστη
  - 3 CDN τρίτων φιλοξενούν περιεχόμενο του Netflix: Akamai, Limelight, Level-3

# Μελέτη περίπτωσης: Netflix



# Δικτύωση Πολυμέσων: Διάρθρωση

7.1 Εφαρμογές δικτύωσης πολυμέσων

7.2 Ροή αποθηκευμένου βίντεο

7.3 *Voice-over-IP*

7.4 Πρωτόκολλα εφαρμογών συνομιλίας πραγματικού χρόνου

7.5 Υποστήριξη δικτύου για πολυμέσα

# Voice-over-IP (VoIP)

- **VoIP απαίτηση καθυστέρησης από-άκρο-σε-άκρο:** χρειάζεται για να διατηρηθεί το στοιχείο της συνομιλίας
  - μεγαλύτερες καθυστερήσεις παρατηρήσιμες, βλάπτουν τη διαδραστικότητα
  - < 150 msec: καλό
  - > 400 msec: κακό
  - περιλαμβάνει καθυστερήσεις δικτύου επιπέδου εφαρμογής (πακετάρισμα, αναπαραγωγή)
- **εκκίνηση συνόδου:** πώς ο καλούμενος διαφημίζει την IP δ/νση, τον αριθμό θύρας και τους αλγόριθμους κωδικοποίησης;
- **υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας:** προώθηση κλήσης, έλεγχος, καταγραφή
- **υπηρεσία έκτακτης ανάγκης:** 911

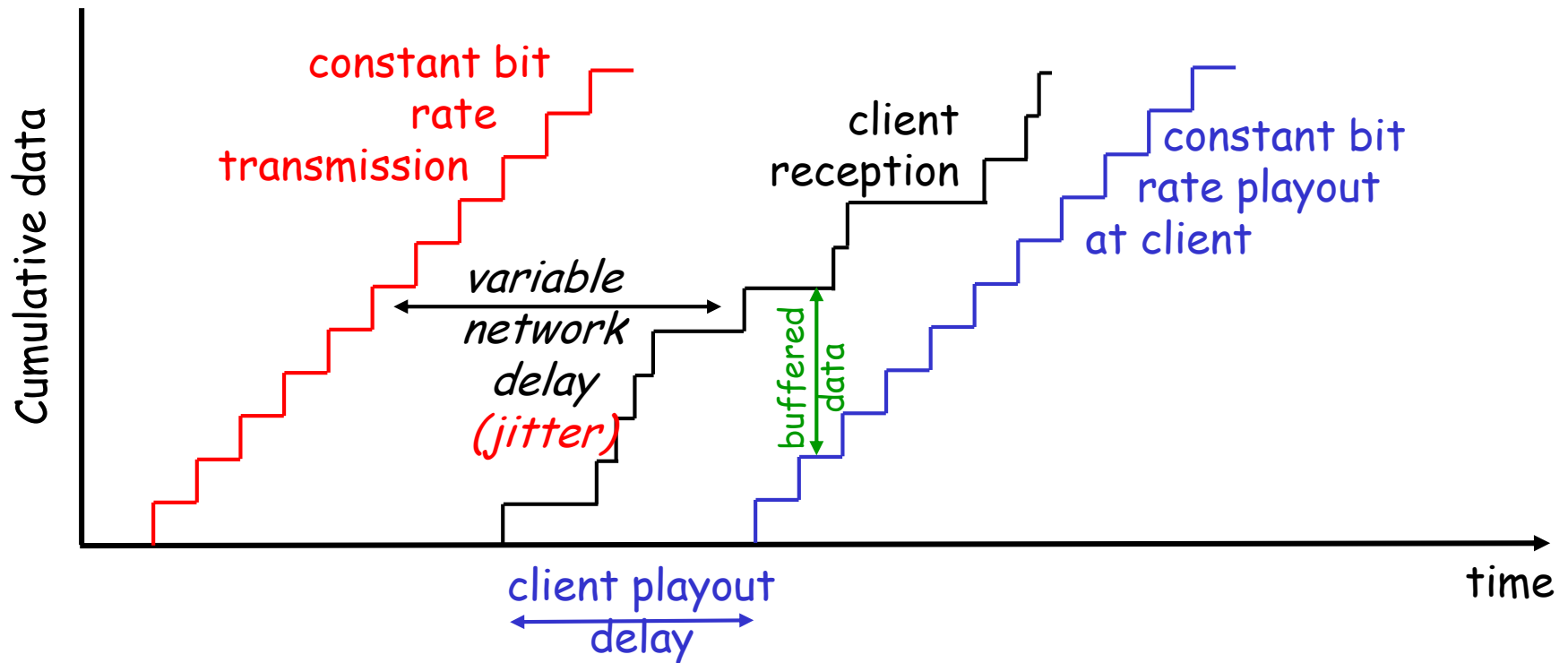
# Χαρακτηριστικά VoIP

- ❑ Ήχος του ομιλητή: εναλλασσόμενες περιόδους ομιλίας (talk spurts), περιόδους σιγής (silent periods).
  - 64 kbps κατά την περίοδο ομιλίας
  - Παράγονται πακέτα μόνο όταν μιλάει ο ομιλητής
  - Τμήματα διάρκειας 20 msec με 8 Kbytes/sec: 160 bytes δεδομένων
- ❑ Κεφαλίδες επιπέδου εφαρμογής προστίθενται σε κάθε τμήμα.
- ❑ Τμήμα + κεφαλίδα ενθυλακώνονται σε UDP ή TCP τμήμα.
- ❑ Η εφαρμογή στέλνει το UDP τμήμα στο socket κάθε 20 msec κατά την διάρκεια της ομιλίας.

# VoIP: απώλεια πακέτων και καθυστέρηση

- ❑ **Απώλειες δικτύου:** Το IP datagram χάνεται λόγω συμφόρησης του δικτύου (υπερχείλιση στους buffers των δρομολογητών)
- ❑ **Απώλειες καθυστέρησης:** Το IP datagram φτάνει πολύ αργά για αναπαραγωγή στον δέκτη
  - καθυστερήσεις: επεξεργασίας, αναμονής στην ουρά, καθυστερήσεις στα τερματικά συστήματα (αποστολέας, παραλήπτης)
  - Τυπική τιμή μέγιστης ανεκτής καθυστέρησης: 400 ms
- ❑ **Ανοχή στις απώλειες:** εξαρτάται από την κωδικοποίηση της φωνής, συγκάλυψη των απωλειών, ρυθμός απώλειας πακέτων μεταξύ 1% και 10% είναι συχνά ανεκτός

# Διακύμανση της καθυστέρησης (Delay Jitter)



- Σκεφτείτε την από άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση δύο διαδοχικών πακέτων: η διαφορά μπορεί να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη των 20 msec

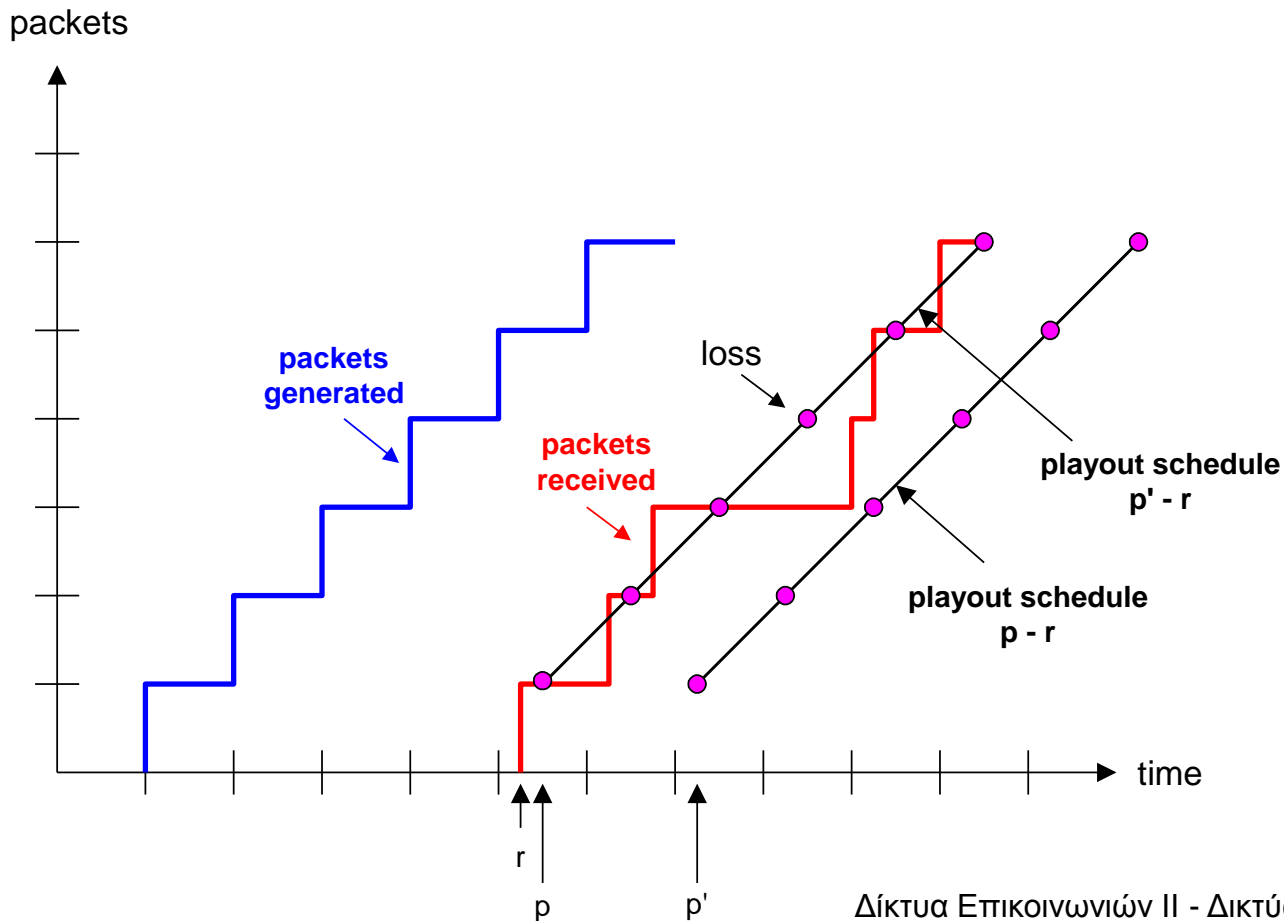
## VoIP: σταθερή καθυστέρηση πριν την αναπαραγωγή

- Ο παραλήπτης επιχειρεί να αναπαράγει κάθε κομμάτι ακριβώς  $q$  msecs μετά την παραγωγή του.
  - Το απόσπασμα έχει χρονοσφραγίδα  $t$
  - Ο παραλήπτης το αναπαράγει σε χρόνο  $t+q$ .
  - Τα κομμάτια που φτάνουν μετά από τον χρόνο  $t+q$ : τα δεδομένα φτάνουν πολύ αργά για αναπαραγωγή, τα δεδομένα θεωρούνται «χαμένα»
- Επιλογή κατάλληλης τιμής για το  $q$ :
  - **μεγάλο  $q$ : λιγότερες απώλειες πακέτων**
  - **μικρό  $q$ : καλύτερη διαδραστική εμπειρία**



# VoIP: Σταθερή καθυστέρηση πριν την αναπαραγωγή

- Ο αποστολέας παράγει πακέτα κάθε 20 msec κατά την ομιλία (talk spurts)
- Το πρώτο πακέτο λαμβάνεται σε χρόνο  $r$
- Πρώτη προγραμματισμένη αναπαραγωγή: ξεκινά σε χρόνο  $p$
- Δεύτερη προγραμματισμένη αναπαραγωγή: ξεκινά σε χρόνο  $p'$



# Προσαρμοζόμενη καθυστέρηση αναπαραγωγής, I

- **Στόχος:** ελαχιστοποίηση καθυστέρησης αναπαραγωγής, διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα του ρυθμού απώλειας πακέτων λόγω καθυστέρησης
- **Προσέγγιση:** ρυθμιζόμενη καθυστέρηση αναπαραγωγής:
  - Εκτίμηση της καθυστέρησης δικτύου, προσαρμογή της καθυστέρησης αναπαραγωγής στην αρχή των διαστημάτων ομιλίας (talk spurts).
  - Συμπύεση και επιμήκυνση των διαστημάτων σιωπής
  - Τα αποσπάσματα (chunks) αναπαράγονται κάθε 20 msec κατά την ομιλία.

Δυναμική εκτίμηση της μέσης καθυστέρησης στον παραλήπτη:

$$d_i = (1 - u)d_{i-1} + u(r_i - t_i)$$

όπου  $u$  είναι μια σταθερά (π.χ.,  $u = 0.1$ ).

# Προσαρμοζόμενη καθυστέρηση αναπαραγωγής, II

Είναι επίσης χρήσιμο να εκτιμήσουμε την μέση απόκλιση καθυστέρησης,  $v_i$ :

$$v_i = (1 - u)v_{i-1} + u |r_i - t_i - d_i|$$

Οι εκτιμήσεις  $d_i$  και  $v_i$  υπολογίζονται για κάθε πακέτο που λαμβάνεται, παρόλο που χρησιμοποιούνται στην αρχή των διαστημάτων ομιλίας (talk spurts).

Για το **πρώτο πακέτο σε ένα διάστημα ομιλίας**, ο χρόνος αναπαραγωγής είναι (έστω πακέτο  $i$ ):

$$p_i = t_i + d_i + Kv_i$$

όπου  $K$  μια θετική σταθερά.

Τα εναπομείναντα πακέτα σε ένα διάστημα ομιλίας αναπαράγονται περιοδικά.

# Προσαρμοζόμενη αναπαραγωγή, ΙΙΙ

**Q:** Πώς ο παραλήπτης αντιλαμβάνεται ότι ένα πακέτο είναι το πρώτο ενός διαστήματος ομιλίας;

- **Καμία απώλεια**, ο παραλήπτης εξετάζει διαδοχικές χρονοσφραγίδες.
  - Διαφορά διαδοχικών χρονοσφραγίδων  $> 20$  msec  $\rightarrow$  ξεκινά νέο διάστημα ομιλίας.
- **Μερικές απώλειες πακέτων**, ο παραλήπτης πρέπει να εξετάσει και τις χρονοσφραγίδες και τους αριθμούς ακολουθίας (sequence numbers).
  - Διαφορά διαδοχικών χρονοσφραγίδων  $> 20$  msec **και** αριθμοί ακολουθίας χωρίς «κενά»  $\rightarrow$  ξεκινά νέο διάστημα ομιλίας.

# VoIP: Ανάκαμψη από την απώλεια πακέτων (1)

**Πρόκληση:** ανάκαμψη από απώλεια πακέτων με μικρή ανεκτή καθυστέρηση μεταξύ της αρχικής μετάδοσης και της αναπαραγωγής

- ❑ κάθε ACK/NACK παίρνει  $\sim 1$  RTT
- ❑ Εναλλακτική: *Forward Error Correction (FEC)*
  - στείλε αρκετά bits για να επιτρέψεις την ανάκαμψη χωρίς αναμετάδοση

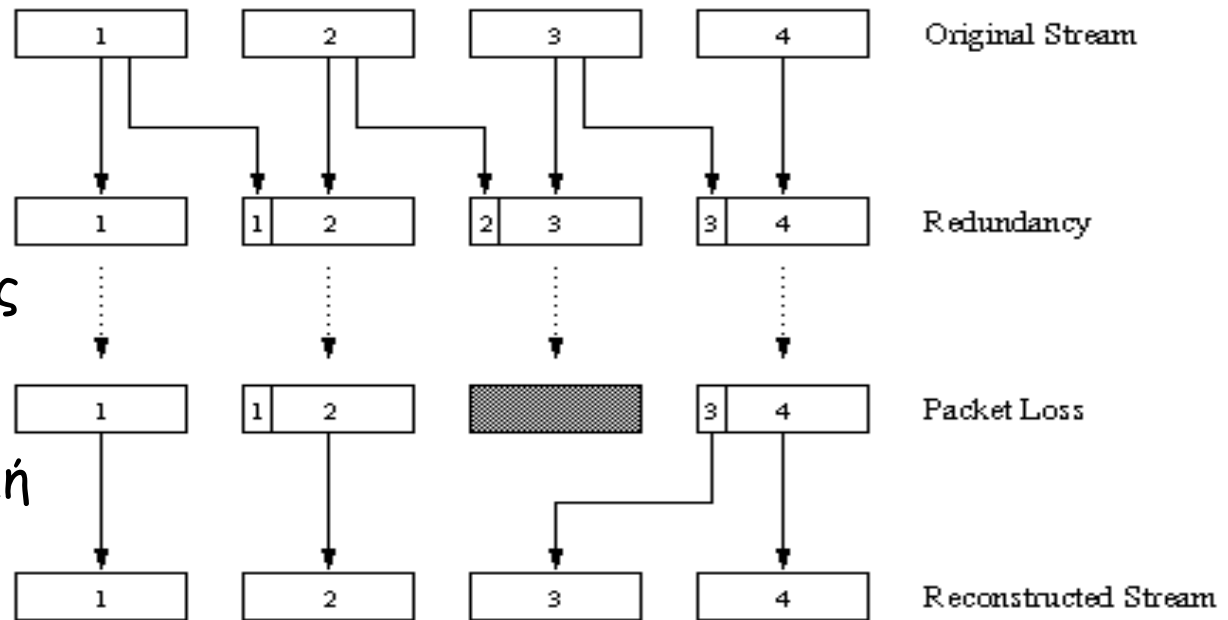
## Απλό FEC

- ❑ Για κάθε ομάδα  $n$  αποσπασμάτων (chunks) δημιουργείται ένα πλεονασματικό chunk εφαρμόζοντας exclusive OR στις  $n$  αρχικές
- ❑ Στέλνει  $n+1$  chunks, αυξάνοντας το απαιτούμενο bandwidth κατά  $1/n$ .
- ❑ Μπορεί να ανακατασκευάσει τα αρχικά  $n$  chunks εάν χαθεί το πολύ ένα chunk από τα  $n+1$ .

# Ανάκαμψη από την απώλεια πακέτων (2)

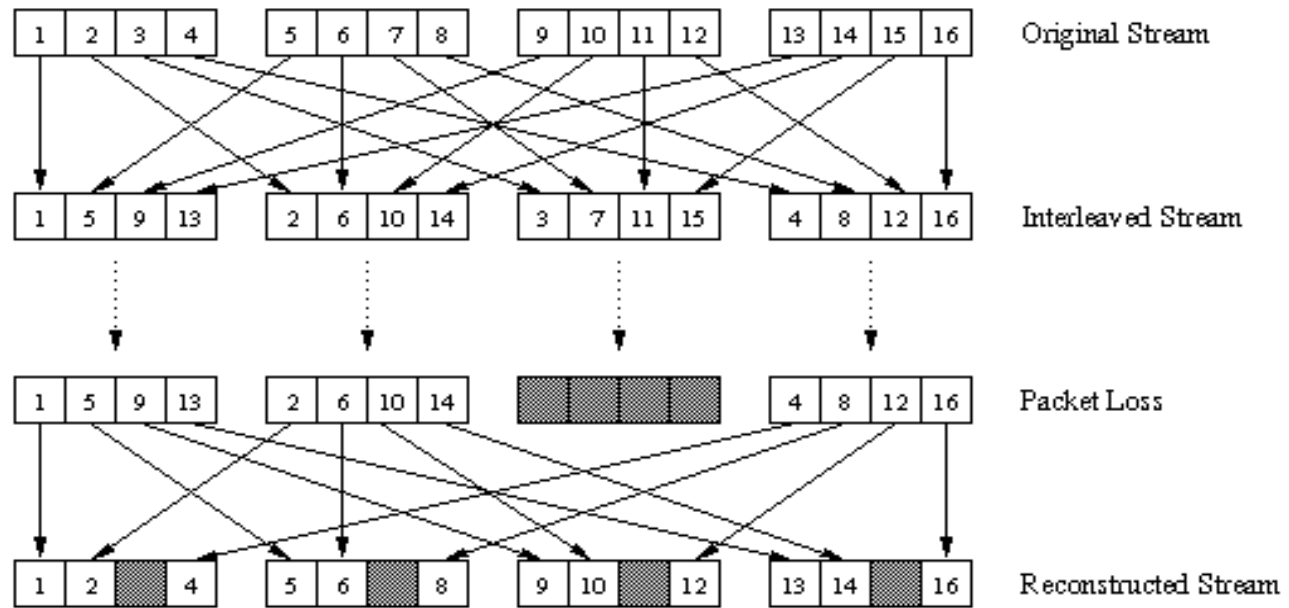
## 2<sup>ο</sup> σχήμα FEC

- “piggyback lower quality stream”
- παράλληλη αποστολή μικρότερης ανάλυσης ροής δεδομένων ήχου ως πλεονάζουσα πληροφορία
- για παράδειγμα, κανονική ροή PCM στα 64 kbps και πλεονάζουσα ροή GSM στα 13 kbps



- Σε απώλεια μη-διαδοχικών πακέτων, ο παραλήπτης μπορεί να συγκαλύψει την απώλεια.
- Μπορεί επίσης να προσθέσει το (n-1)-ιοστό και (n-2)-ιοστό από την χαμηλού ρυθμού bit έκδοση του υλικού.

## Ανάκαμψη από την απώλεια πακέτων (3)



### Διάπλεξη (Interleaving)

- ❑ Τα αρχικά πακέτα διασπώνται σε μικρότερα κομμάτια
- ❑ Για παράδειγμα, 4 κομμάτια (των 5 msec) για κάθε αρχικό πακέτο
- ❑ Τα μεταδιδόμενα πακέτα περιλαμβάνουν μικρά κομμάτια από διαφορετικά chunks
- ❑ Αν χαθεί ένα πακέτο, εξακολουθούμε να έχουμε το μεγαλύτερο μέρος κάθε αρχικό πακέτο
- ❑ Δεν προσθέτει πλεονασμό
- ❑ Όμως αυξάνει την καθυστέρηση αναπαραγωγής

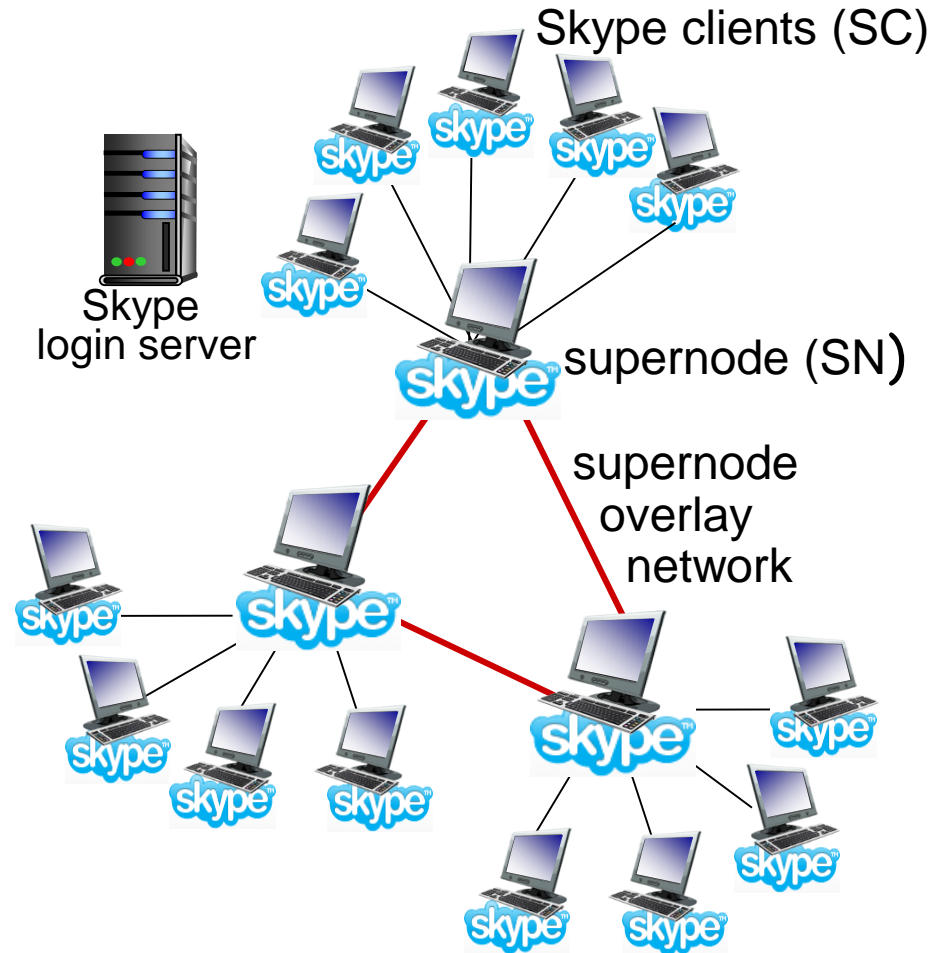
# Voice-over-IP: Skype

□ Ιδιοταγές πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής (προκύπτει μέσω αντίστροφης μηχανικής / reverse engineering)

- κρυπτογραφημένα μηνύματα

□ P2P συστατικά:

- **πελάτες (SCs)** : οι ομότιμοι του skype συνδέονται απευθείας μεταξύ τους για VoIP κλήση
- **υπερ-κόμβοι (super nodes - SN)**: ομότιμοι skype με ειδικές λειτουργίες
- **δίκτυο επικάλυψης**: μεταξύ SNs για να εντοπίσει SCs
- **login server**

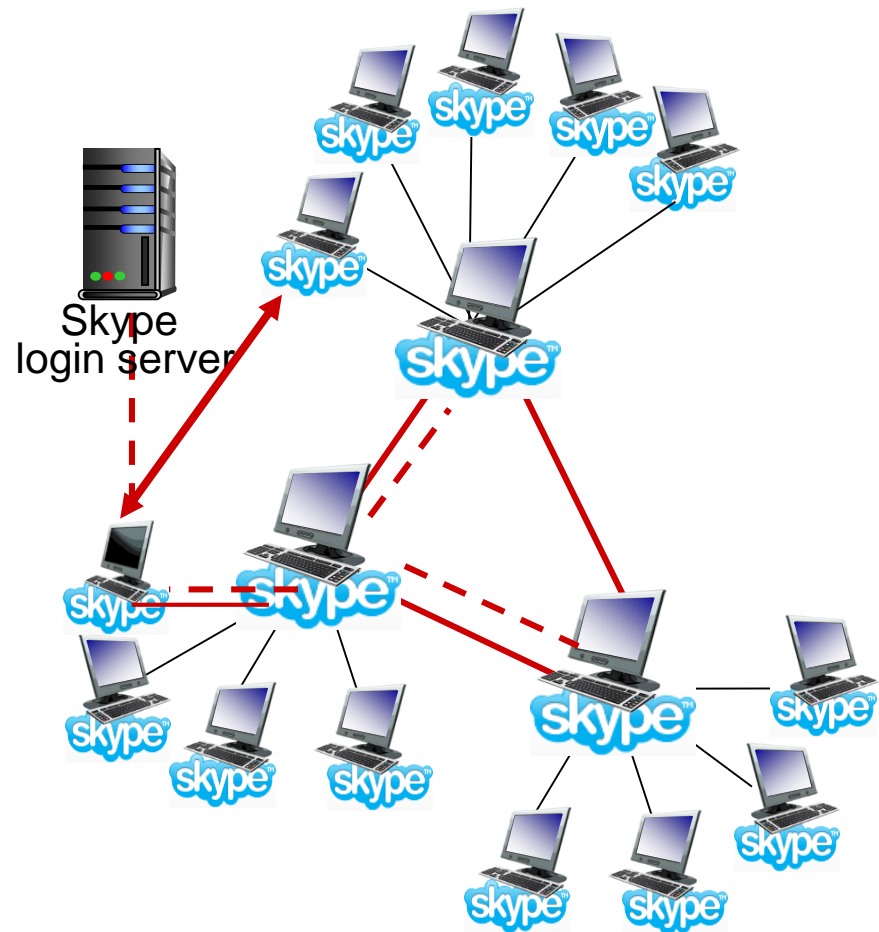




# P2P Voice-over-IP: skype

## Λειτουργία πελάτη skype:

1. Συνδέεται στο δίκτυο skype, ερχόμενος σε επαφή με τα SN (αποθηκευμένη IP διεύθυνση) χρησιμοποιώντας TCP
2. Κάνει log-in (username, password) στον κεντρικό skype login server
3. Αποκτά την IP διεύθυνση του καλούμενου από τον SN και το SN δίκτυο επικάλυψης
4. Εκκινεί κλήση απευθείας στον καλούμενο



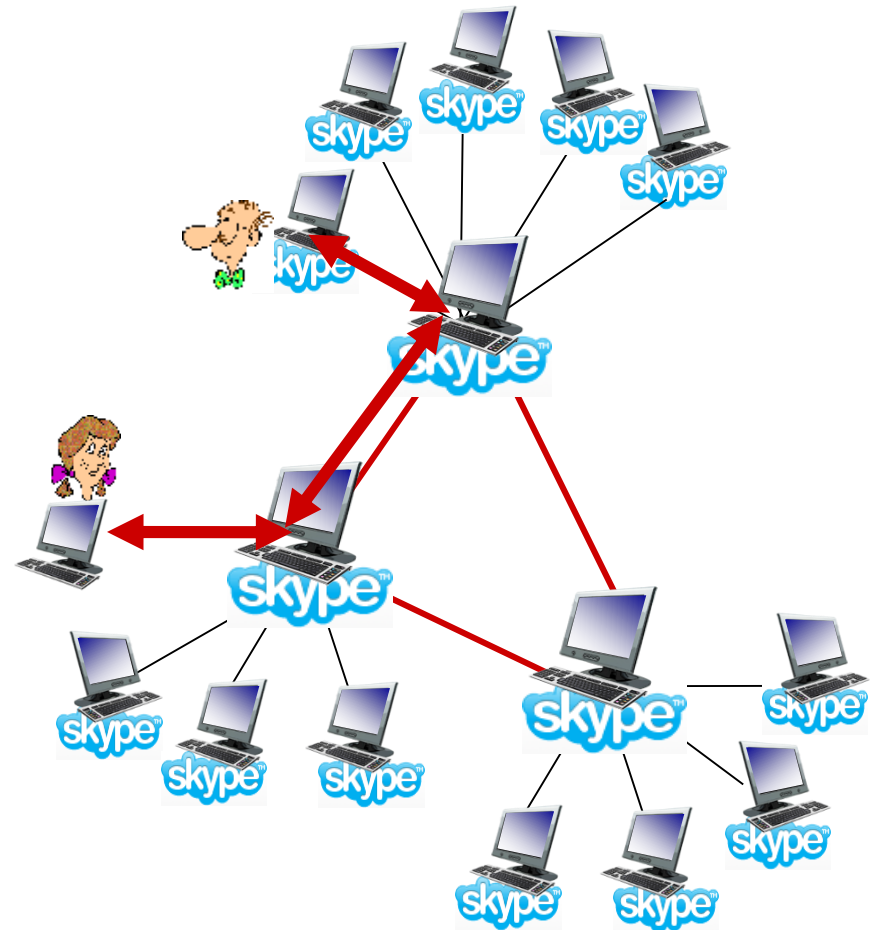
# Skype: ομότιμοι ως αναμεταδότες

□ **πρόβλημα:** και η Alice και ο Bob βρίσκονται πίσω από **NAT**

- Το NAT αποτρέπει εξωτερικούς ομότιμους να εκκινήσουν σύνδεση στους εσωτερικούς
- Ο εσωτερικός ομότιμος μπορεί να ξεκινήσει σύνδεση προς τα έξω

□ **λύση αναμετάδοσης:** Οι Alice, Bob διατηρούν ανοιχτές τις συνδέσεις προς τους SN τους

- Η Alice ειδοποιεί τον SN της να συνδεθεί στον Bob
- Ο SN της Alice συνδέεται στον SN του Bob
- Ο SN του Bob συνδέεται με τον Bob μέσω της ανοιχτής σύνδεσης που αρχικά εκκινήθηκε από τον Bob στον SN του



# Δικτύωση Πολυμέσων: Διάρθρωση

7.1 Εφαρμογές δικτύωσης πολυμέσων

7.2 Ροή αποθηκευμένου βίντεο

7.3 Voice-over-IP

7.4 Πρωτόκολλα εφαρμογών συνομιλίας πραγματικού χρόνου: RTP, SIP

7.5 Υποστήριξη δικτύου για πολυμέσα

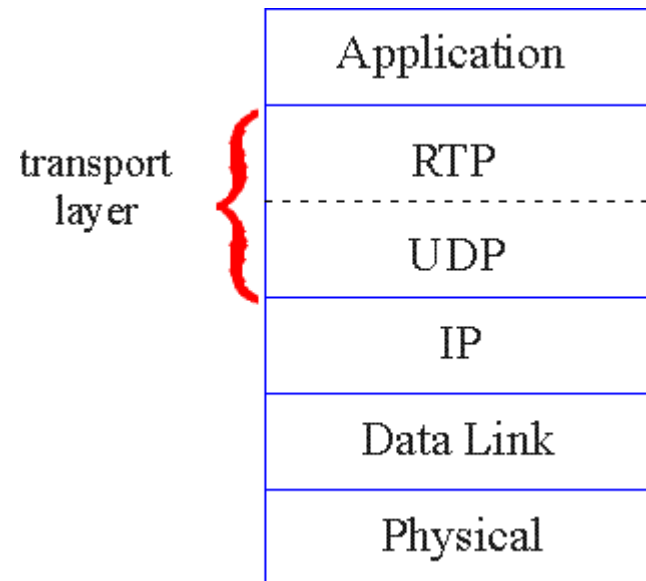
# Πρωτόκολλο πραγματικού χρόνου (Real-Time Protocol, RTP)

- ❑ Το πρωτόκολλο RTP προσδιορίζει μια δομή για πακέτα που μεταφέρουν δεδομένα ήχου/βίντεο (RFC 3550)
- ❑ Ένα RTP πακέτο παρέχει
  - Αναγνώριση του είδους του ωφέλιμου φορτίου (payload type)
  - Αρίθμηση σειράς των πακέτων
  - Χρονοσφραγίδες (timestamping)
- ❑ Το RTP «τρέχει» στα τερματικά συστήματα.
- ❑ Τα πακέτα RTP ενθυλακώνονται σε UDP segments
- ❑ Διαλειτουργικότητα (Interoperability): αν δυο εφαρμογές διαδικτυακής τηλεφωνίας «τρέχουν» RTP, τότε ενδεχομένως μπορούν να συνεργαστούν

# Το RTP «τρέχει» πάνω από το UDP

Οι βιβλιοθήκες του RTP παρέχουν μια διεπαφή επιπέδου Μεταφοράς που επεκτείνει το UDP:

- αριθμός θύρας, διεύθυνση IP
- αναγνώριση είδους του ωφέλιμου φορτίου
- αριθμός ακολουθίας πακέτου
- χρονοσφραγίδες



# Παράδειγμα RTP

- ❑ Θεωρήστε την αποστολή φωνής κωδικοποιημένης σε PCM (64 kbps) με RTP.
- ❑ Η εφαρμογή συλλέγει τα κωδικοποιημένα δεδομένα σε chunks, π.χ., κάθε 20 msec = 160 bytes σε ένα chunk.
- ❑ Το απόσπασμα ήχου μαζί με την επικεφαλίδα RTP αποτελούν το πακέτο RTP, που ενθυλακώνεται στο UDP segment.
- ❑ Η επικεφαλίδα RTP υποδεικνύει τον τύπο κωδικοποίησης της φωνής σε κάθε πακέτο
  - ο αποστολέας μπορεί να αλλάξει κωδικοποίηση κατά την διάρκεια μιας διάσκεψης.
- ❑ Η επικεφαλίδα RTP επίσης περιλαμβάνει τους αριθμούς ακολουθίας και τις χρονοθυρίδες.

# RTP και QoS

- ❑ Το RTP **δεν** παρέχει κανένα μηχανισμό που να διασφαλίζει την έγκαιρη παράδοση των δεδομένων ή κάποιον άλλο που να εγγυάται την ποιότητα υπηρεσίας (QoS)
  
- ❑ Η ενθυλάκωση RTP είναι αντιληπτή μόνο στα τερματικά συστήματα: **δεν** είναι αντιληπτή στους ενδιάμεσους δρομολογητές
  - Οι δρομολογητές που παρέχουν υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας δεν κάνουν καμία ιδιαίτερη προσπάθεια ώστε να διασφαλίσουν ότι τα RTP πακέτα φτάνουν στον προορισμό έγκαιρα.

# Κεφαλίδα RTP

|              |                 |            |                           |                      |
|--------------|-----------------|------------|---------------------------|----------------------|
| payload type | sequence number | time stamp | Synchronization Source ID | Miscellaneous fields |
|--------------|-----------------|------------|---------------------------|----------------------|

**Payload Type (7 bits):** Υποδεικνύει την τρέχουσα μέθοδο κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται. Αν ο αποστολέας αλλάξει κωδικοποίηση κατά την διάρκεια μίας κλήσης, ο αποστολέας ενημερώνει τον παραλήπτη διαμέσου αυτού του πεδίου.

Payload type 0: PCM  $\mu$ -law, 64 kbps

Payload type 3, GSM, 13 kbps

Payload type 7, LPC, 2.4 kbps

Payload type 26, Motion JPEG

Payload type 31. H.261

Payload type 33, MPEG2 video

**Sequence Number (16 bits):** Αυξάνει κατά ένα για κάθε RTP πακέτο που στέλνεται

- μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση απωλειών πακέτων και για την αναδιάταξη των πακέτων



# Κεφαλίδα RTP (2)

|              |                 |            |                           |                      |
|--------------|-----------------|------------|---------------------------|----------------------|
| payload type | sequence number | time stamp | Synchronization Source ID | Miscellaneous fields |
|--------------|-----------------|------------|---------------------------|----------------------|

- **Timestamp field (32 bits):** Απεικονίζει την στιγμή της δειγματοληψίας του πρώτου byte σε ένα RTP πακέτο δεδομένων.
  - Για τον ήχο, το ρολόι των χρονοσφραγίδων αυξάνει κατά ένα για κάθε περίοδο δειγματοληψίας (για παράδειγμα, κάθε 125 μsecs για ένα ρολόι δειγματοληψίας με συχνότητα 8 KHz)
  - Αν η εφαρμογή παράγει chunks των 160 κωδικοποιημένων δειγμάτων, τότε η χρονοσφραγίδα αυξάνει κατά 160 για κάθε RTP πακέτο όταν η πηγή είναι ενεργή. Το ρολόι των χρονοσφραγίδων συνεχίζει να αυξάνει με σταθερό ρυθμό όταν η πηγή δεν είναι ενεργή (αδρανής)
- **SSRC field (32 bits):** Προσδιορίζει την πηγή της RTP συνεχούς ροής (stream). Κάθε πηγή ροής σε ένα RTP session πρέπει να έχει ένα διακριτό SSRC

# Real-Time Control Protocol (RTCP)

- Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το RTP
- Κάθε μέλος σε μια σύνοδο επικοινωνίας RTP μεταδίδει περιοδικά RTCP πακέτα ελέγχου σε όλα τα άλλα μέλη
- Κάθε πακέτο RTCP περιέχει αναφορές από τον αποστολέα και/ή τον παραλήπτη
- Αναφέρουν στατιστικά στοιχεία που είναι χρήσιμα στην εφαρμογή
  - πλήθος των πακέτων που εστάλησαν, πλήθος των χαμένων πακέτων, μεταβλητότητα χρόνου μεταξύ διαδοχικών αφίξεων (interarrival jitter), κτλ.
- Η ανάδραση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της απόδοσης
  - Οι αποστολείς μπορούν να τροποποιήσουν τις ταχύτητες μετάδοσής τους με βάση την πληροφορία ανάδρασης

# RTCP πακέτα

## Πακέτα αναφοράς παραλήπτη:

- Ποσοστό απωλεσθέντων πακέτων, ο τελευταίος αριθμός ακολουθίας, μέση τιμή της μεταβλητότητας της καθυστέρησης (average interarrival jitter)

## Πακέτα αναφοράς παραλήπτη:

- Το SSRC του ρεύματος δεδομένων RTP, την τρέχουσα ώρα, αριθμός απεσταλμένων πακέτων και bytes

## Πακέτα περιγραφής πηγής:

- Διεύθυνση e-mail του αποστολέα, το όνομα του αποστολέα, το προσδιοριστικό SSRC του σχετιζόμενου RTP ρεύματος δεδομένων
- Επιτρέπουν την αντιστοίχιση μεταξύ του προσδιοριστικού SSRC και του ονόματος χρήστη/συστήματος

# Συγχρονισμός των ροών δεδομένων

- Το RTCP μπορεί να συγχρονίσει διαφορετικές ροές δεδομένων πολυμέσων εντός μιας συνόδου RTP
- Π.χ. μια εφαρμογή βιντεοδιασκέψεων όπου κάθε αποστολέας παράγει μια ροή δεδομένων RTP για την εικόνα/ βίντεο και μια για τον ήχο
- Οι χρονοσφραγίδες στα πακέτα RTP διασυνδέονται με την συχνότητα δειγματοληψίας ήχου και βίντεο
  - Όχι με τον πραγματικό χρόνο (wall-clock time)
- Κάθε πακέτο αναφοράς RTCP του αποστολέα περιέχει (για το πακέτο που έχει παραχθεί πιο πρόσφατα στο συγκεκριμένο ρεύμα δεδομένων RTP):
  - Χρονοσφραγίδα του πακέτου RTP
  - Τον πραγματικό χρόνο δημιουργίας του πακέτου (wall-clock time)
- Οι παραλήπτες μπορούν να χρησιμοποιούν αυτόν τον συσχετισμό για να συγχρονίσουν την αναπαραγωγή του ήχου και του βίντεο.

# SIP: Session Initiation Protocol [RFC 3261]

## Μακροπρόθεσμο «όραμα» του SIP:

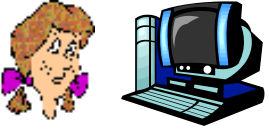
- ❑ Όλες οι τηλεφωνικές κλήσεις και οι βιντεοδιασκέψεις να πραγματοποιούνται μέσω του Internet.
- ❑ Οι χρήστες αναγνωρίζονται από τα ονόματά τους ή από τις e-mail διευθύνσεις τους, παρά από τον αριθμό του τηλεφώνου.
- ❑ Μπορείς να φτάσεις τον καλούμενο (αν το επιθυμεί), ανεξάρτητα με το που βρίσκεται, ανεξάρτητα από την IP συσκευή που χρησιμοποιεί.

# Υπηρεσίες του SIP

- Εγκαθίδρυση μιας κλήσης
  - Παρέχει μηχανισμούς στον καλούντα να ειδοποιήσει τον καλούμενο ότι θέλει να εκκινήσει μια κλήση.
  - Παρέχει μηχανισμούς ώστε ο καλών και ο καλούμενος να συμφωνήσουν στο είδος του μέσου και την κωδικοποίηση που θα χρησιμοποιήσουν.
  - Παρέχει μηχανισμούς να τερματίζουν τις κλήσεις.
- Προσδιορισμός τρέχουσας διεύθυνσης IP του καλούμενου.
  - Απεικονίζει έναν μνημονικό identifier στην τρέχουσα διεύθυνση IP.
- Διαχείριση κλήσης
  - Προσθήκη νέων μέσων κατά την διάρκεια της κλήσης
  - Αλλαγή κωδικοποίησης κατά την διάρκεια της κλήσης
  - Πρόσκληση άλλων
  - Μεταφορά κλήσης και κλήση σε αναμονή

# Εγκαθίδρυση κλήσης σε μια γνωστή διεύθυνση IP

Alice

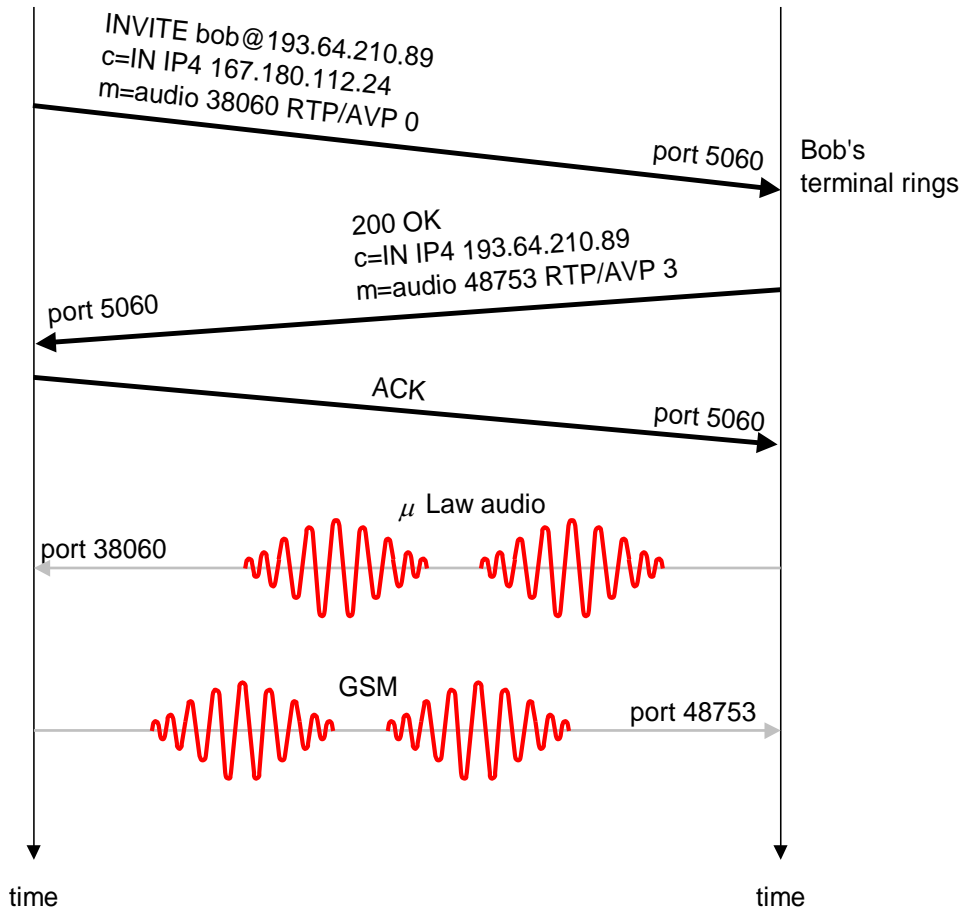


167.180.112.24

Bob



193.64.210.89



- Το μήνυμα SIP invite της Alice υποδεικνύει τον αριθμό θύρας της & την IP διεύθυνση της. Υποδεικνύει την μέθοδο κωδικοποίησης που προτιμά να λαμβάνει η Alice (PCM  $\mu$ -law)

- Το μήνυμα 200 OK του Bob υποδεικνύει τον αριθμό θύρας του, την IP διεύθυνσή του & την προτιμώμενη μέθοδο κωδικοποίησης (GSM)

- Τα μηνύματα SIP μπορούν να σταλούν πάνω από TCP ή UDP. Ενώ RTP/UDP.
  - Προεπιλεγμένος αριθμός θύρας SIP: 5060.

# Εγκαθίδρυση κλήσης (συνέχεια)

- Διαπραγμάτευση Codec:
  - Υποθέστε ότι ο Bob δεν διαθέτει τον κωδικοποιητή PCM μ-law.
  - Ο Bob θα απαντήσει με το μήνυμα 606 Not Acceptable Reply και μια λίστα κωδικοποιητών που δύναται να χρησιμοποιήσει.
  - Η Alice τότε μπορεί να στείλει ένα καινούργιο INVITE message, αναγγέλλοντας έναν κατάλληλο κωδικοποιητή.
- Απόρριψη κλήσης
  - Ο Bob μπορεί να απορρίψει μια κλήση απαντώντας ότι είναι "busy," "gone," "payment required," "forbidden".
- Τα μέσα μπορούν να μεταδοθούν μέσω του RTP ή άλλου πρωτοκόλλου.



# Παράδειγμα μηνύματος SIP

```
INVITE sip:bob@domain.com SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 167.180.112.24
From: sip:alice@hereway.com
To: sip:bob@domain.com
Call-ID: a2e3a@pigeon.hereway.com
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 885

c=IN IP4 167.180.112.24
m=audio 38060 RTP/AVP 0
```

## Σημειώσεις:

- ❑ Σύνταξη όπως τα HTTP μηνύματα.
- ❑ sdp = session description protocol
- ❑ Call-ID: μοναδικό για κάθε κλήση.

- εδώ δεν γνωρίζουμε την IP διεύθυνση του Bob. Θα χρειαστούν ενδιάμεσοι SIP servers.
- η Alice στέλνει και λαμβάνει μηνύματα SIP χρησιμοποιώντας την προεπιλεγμένη θύρα 506.
- η Alice προσδιορίζει στην επικεφαλίδα Via ότι: ο πελάτης SIP στέλνει και λαμβάνει SIP μηνύματα μέσω UDP.

# Μετάφραση ονομάτων και Θέση χρήστη

- ❑ Ο καλών επιθυμεί να καλέσει τον καλούμενο, όμως διαθέτει μόνο το όνομα του καλούμενου ή την e-mail διεύθυνσή του.
- ❑ Χρειάζεται να πάρει την διεύθυνση IP του host του καλούμενου:
  - Ο χρήστης μετακινείται
  - Πρωτόκολλο DHCP
  - Ο χρήστης έχει διάφορες IP συσκευές (PC, PDA, συσκευή αυτοκινήτου)
- ❑ Τα αποτελέσματα μπορεί να εξαρτώνται από:
  - Την ώρα της ημέρας (δουλειά, σπίτι)
  - Τον καλούντα (δεν θέλεις ο εργοδότης σου να σου τηλεφωνεί στο σπίτι σου)
  - Την κατάσταση του καλούμενου (κλήσεις στέλνονται στο φωνητικό ταχυδρομείο ενώ ο καλούμενος συνομιλεί με κάποιον άλλο).

# SIP Registrar

- ❑ Μία λειτουργία του SIP server: **registrar**
- ❑ Όταν ο Bob ξεκινά τον πελάτη SIP, ο πελάτης στέλνει μήνυμα SIP REGISTER στον registrar server του Bob.

## Μήνυμα Register:

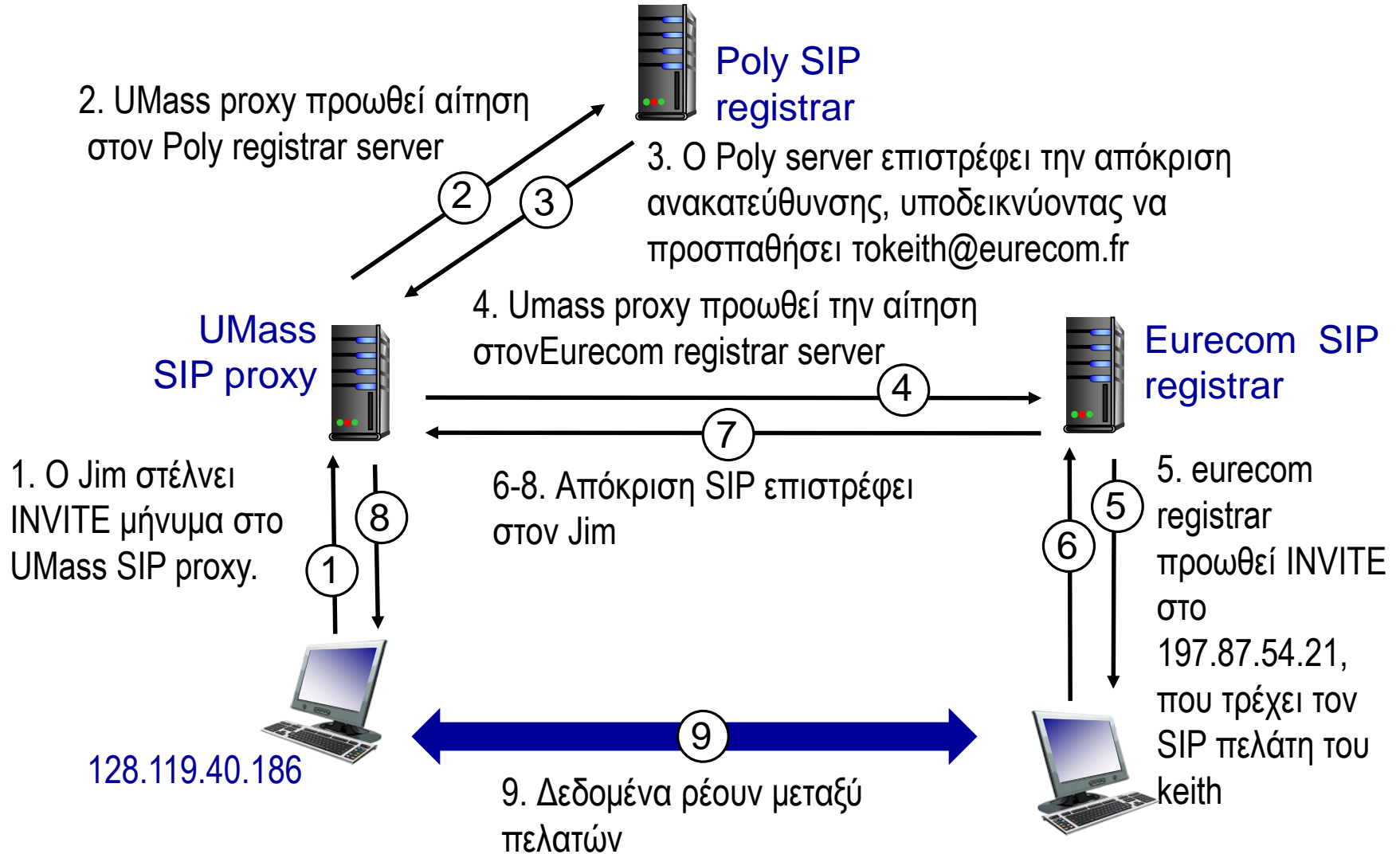
```
REGISTER sip:domain.com SIP/2.0  
Via: SIP/2.0/UDP 193.64.210.89  
From: sip:bob@domain.com  
To: sip:bob@domain.com  
Expires: 3600
```

# SIP Proxy

- ❑ Άλλη μία λειτουργία του SIP server: **proxy**
- ❑ Η Alice στέλνει μήνυμα invite στον δικό της proxy server
  - Περιλαμβάνει την διεύθυνση sip:bob@domain.com
  - Ο Proxy server είναι υπεύθυνος για την δρομολόγηση των μηνυμάτων SIP στον καλούμενο, πιθανώς μέσω πολλών proxies
- ❑ Ο καλούμενος (Bob) στέλνει απάντηση (response) μέσω των ίδιων proxy servers.
- ❑ Ο proxy επιστρέφει το απαντητικό μήνυμα SIP στην Alice
  - Περιλαμβάνει την IP διεύθυνση του Bob.
- ❑ Ο proxy server είναι ανάλογος του τοπικού DNS server συν το TCP setup

# Παράδειγμα

Ο jim@umass.edu κάνει κλήση στον keith@upenn.edu



# Σύγκριση με το H.323

- Το H.323 είναι επίσης ένα πρωτόκολλο σηματοδότησης σε πραγματικό χρόνο, διαδραστικό
- Το H.323 είναι ένα πλήρες, κάθετα ενοποιημένο σύνολο (suite) πρωτοκόλλων για διασκέψεις πολυμέσων: σηματοδότηση, δήλωση, έλεγχος παραλαβής, μετάδοση και codecs.
- Το SIP είναι ένα μεμονωμένο συστατικό. Συνεργάζεται με το RTP, αλλά δεν απαιτεί την χρήση του. Μπορεί να συνδυαστεί με άλλα πρωτόκολλα και υπηρεσίες.
- Το H.323 αναπτύχθηκε από την ITU (τηλεφωνία).
- Το SIP αναπτύχθηκε από το IETF: δανείζεται πολλά στοιχεία από το HTTP. Το SIP έχει μια γεύση Web, ενώ το H.323 έχει μια γεύση τηλεφωνίας.
- Το SIP χρησιμοποιεί την αρχή **KISS** : *Keep it simple stupid!*

# Δικτύωση Πολυμέσων: Διάρθρωση

7.1 Εφαρμογές δικτύωσης πολυμέσων

7.2 Ροή αποθηκευμένου βίντεο

7.3 Voice-over-IP

7.4 Πρωτόκολλα εφαρμογών συνομιλίας πραγματικού χρόνου: RTP, SIP

7.5 Υποστήριξη δικτύου για πολυμέσα

# Υποστήριξη δικτύων για πολυμέσα

| Approach                           | Granularity                 | Guarantee                        | Mechanisms  | Complex | Deployed?      |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---|---------|----------------|
| Making best of best effort service | All traffic treated equally | None or soft                     | No network support (all at application)             | low     | everywhere     |
| Differentiated service             | Traffic “class”             | None of soft                     | Packet market, scheduling, policing.                | med     | some           |
| Per-connection QoS                 | Per-connection flow         | Soft or hard after flow admitted | Packet market, scheduling, policing, call admission | high    | little to none |



# Διαστασιολόγηση δικτύων βέλτιστης προσπάθειας

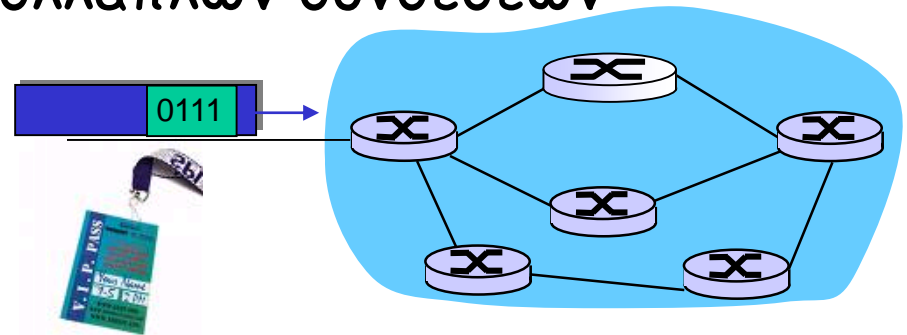
- **προσέγγιση:** δώσε αρκετή χωρητικότητα στη ζεύξη ώστε να μην υπάρξει συμφόρηση, τα δεδομένα πολυμέσων ρέουν χωρίς απώλειες ή καθυστερήσεις
  - χαμηλή πολυπλοκότητα για δικτυακούς μηχανισμούς (χρήση παρόντος δικτύου "βέλτιστης προσπάθειας")
  - υψηλό κόστος εύρους ζώνης
- **προκλήσεις:**
  - **διαστασιολόγηση δικτύου:** πόσο εύρος ζώνης είναι "αρκετό;"
  - **υπολογισμός ζήτησης δικτυακής κίνησης:** χρειάζεται για να καθορισθεί πόσο εύρος ζώνης είναι "αρκετό" (για τόση κίνηση)

# Παροχή πολλαπλών κλάσεων υπηρεσίας

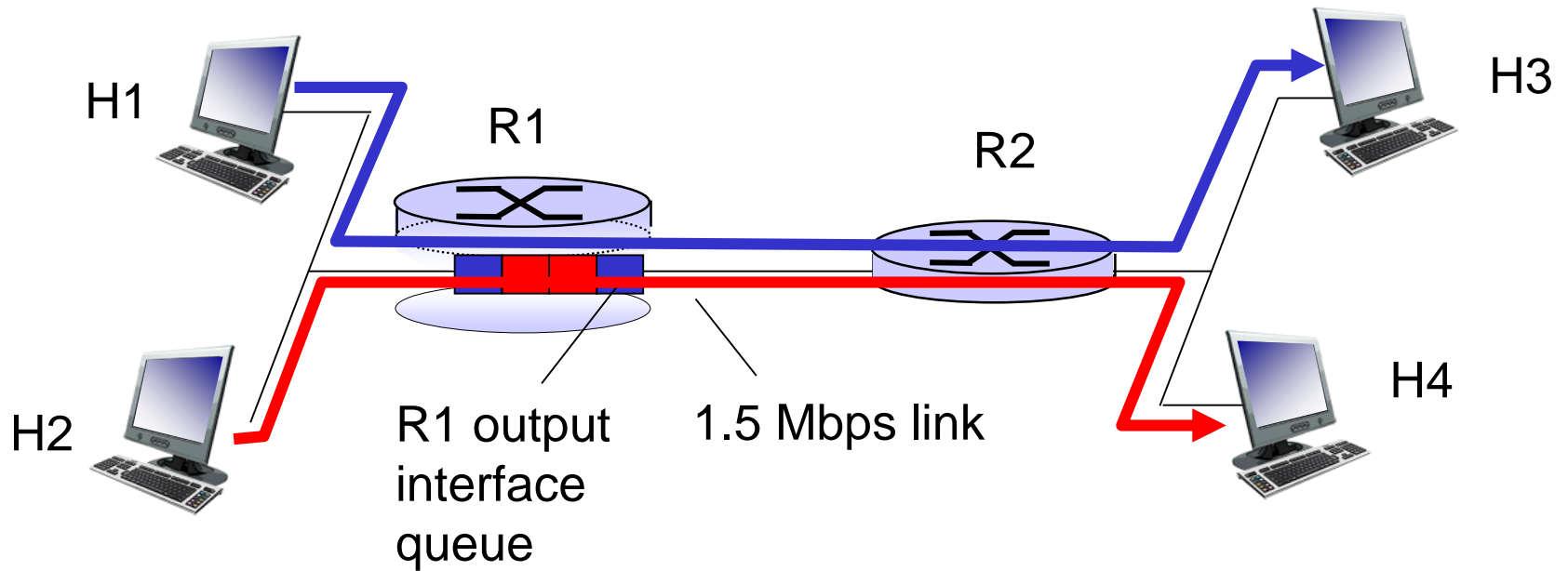
- Έως τώρα: "κάνουμε την βέλτιστη προσπάθεια"
  - ένα «μέγεθος» για όλα τα μοντέλα υπηρεσιών
- Εναλλακτική: πολλαπλές κλάσεις υπηρεσίας
  - διαμέριση κίνησης σε κλάσεις
  - το δίκτυο αντιμετωπίζει διαφορετικές κλάσεις κίνησης διαφορετικά (αναλογία: VIP έναντι κανονικής εξυπηρέτησης)
- Διακριτότητα: διαφοροποιημένη υπηρεσία μεταξύ πολλαπλών **κλάσεων**, όχι πολλαπλών συνδέσεων

□ Ιστορία:

ToS (Type of Service)bits

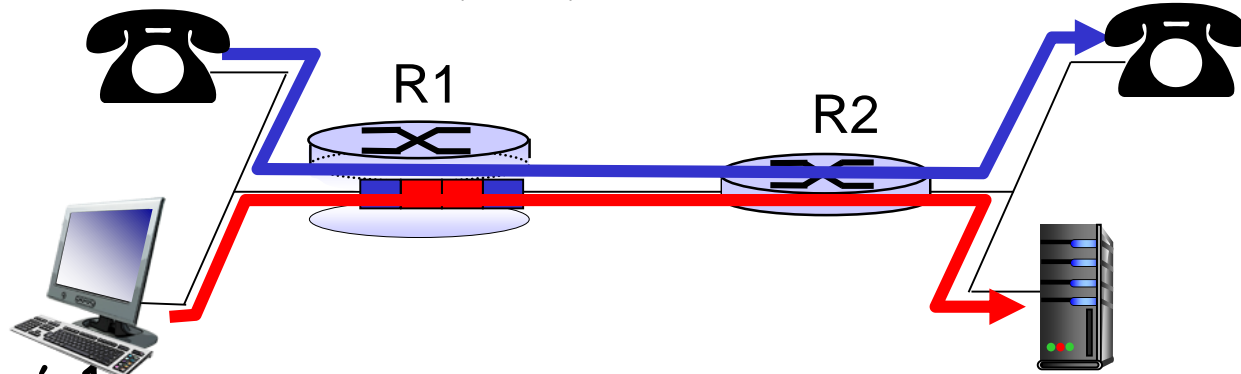


# Πολλαπλές κλάσεις υπηρεσίας: σενάριο



# Σενάριο 1: μίξη HTTP και VoIP

- Παράδειγμα: 1Mbps VoIP, HTTP διαμοιράζονται γραμμή 1.5 Mbps.
  - Ριπές από πακέτα HTTP μπορεί να προκαλέσουν συμφόρηση στον δρομολογητή, να προκαλέσουν απώλεια πακέτων ήχου
  - Θέλουμε να δώσουμε προτεραιότητα στην φωνή έναντι του HTTP



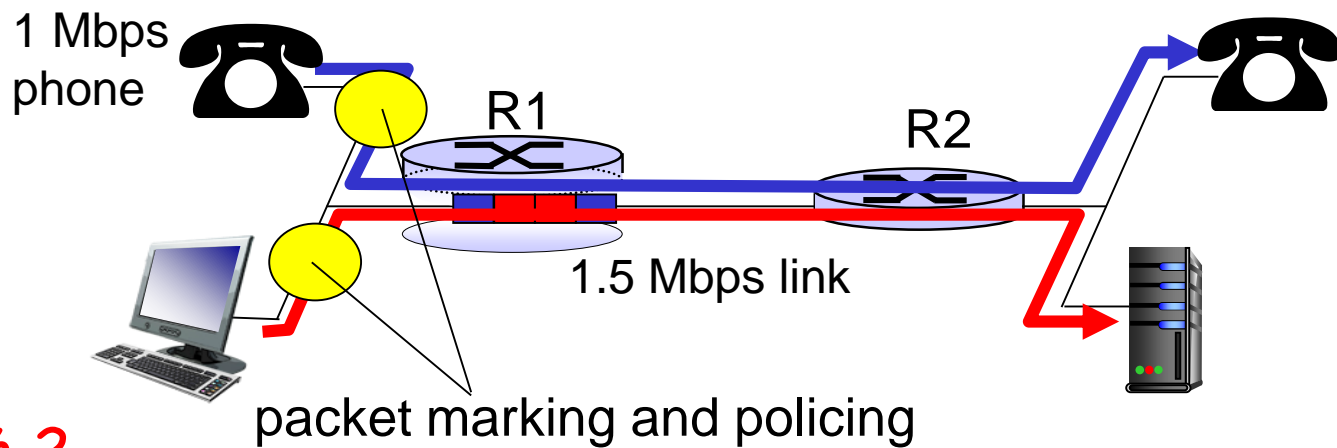
Αρχή 1

Χρειάζεται **κατηγοριοποίηση των πακέτων** για να μπορεί ο δρομολογητής να ξεχωρίζει τα πακέτα διαφορετικών κατηγοριών κίνησης;

Κατάλληλη πολιτική ώστε να τα αντιμετωπίζει ανάλογα

# Αρχές παροχής εγγυήσεων QOS (συνέχεια)

- Τι γίνεται στην περίπτωση που οι εφαρμογές παρεκκλίνουν (το VoIP στέλνει με μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτή που έχει δηλώσει);
  - αστυνόμευση: αναγκάζει την πηγή να συμμορφωθεί με την ταχύτητα που είχε δηλώσει
- “μαρκάρισμα” και “αστυνόμευση” στα άκρα του δικτύου:

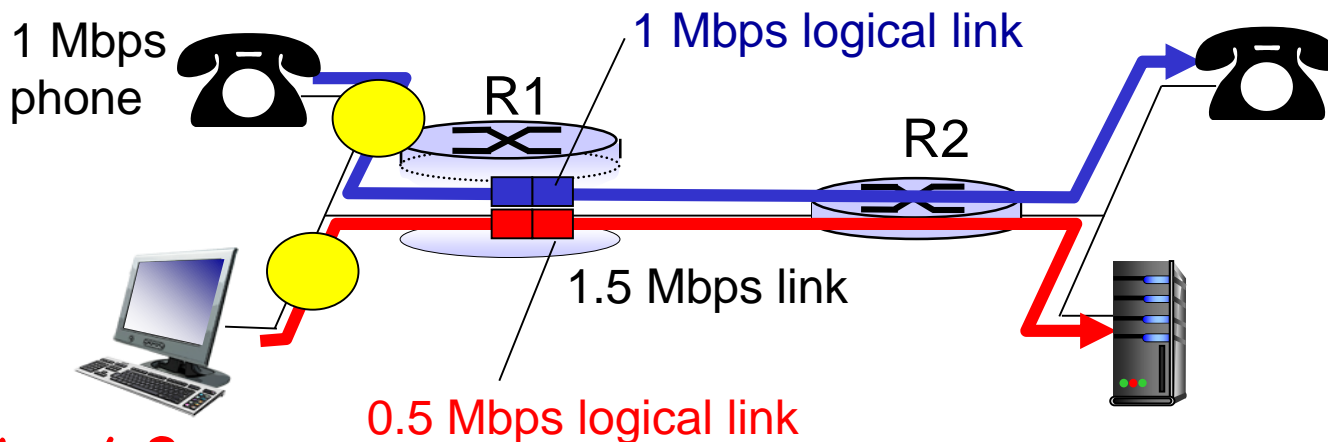


## Αρχή 2

Παροχή προσασίας (απομόνωση) σε κάθε κατηγορία από τις υπόλοιπες.

# Αρχές παροχής εγγυήσεων QOS (συνέχεια)

- Εκχώρηση σταθερής (αποκλειστικής) χωρητικότητας στις ροές: μη αποδοτική η χρήση των πόρων του δικτύου όταν οι ροές δεν απαιτούν σταθερή χωρητικότητα όλο τον χρόνο.

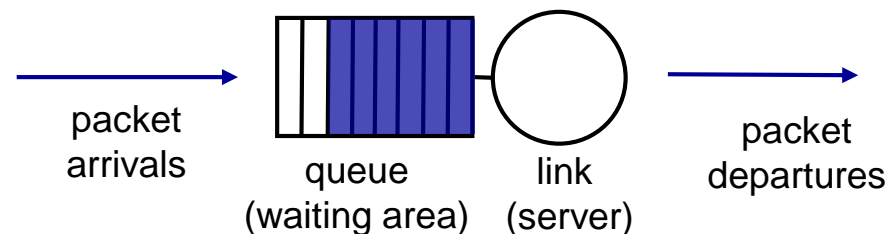


## Αρχή 3

Παράλληλα με την απομόνωση, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται οι πόροι όσο πιο αποδοτικά γίνεται.

# Μηχανισμοί Χρονοπρογραμματισμού και Αστυνόμευσης

- **Χρονοπρογραμματισμός:** επέλεξε το επόμενο πακέτο που θα σταλεί στην γραμμή
- **Προγραμματισμός FIFO (first in first out):** να σταλούν με την σειρά άφιξης στην ουρά
  - **Πολιτική απόρριψης:** αν το πακέτο φτάσει σε γεμάτη ουρά, ποιο να απορριφθεί;
    - **Απόρριψη ουράς (Tail drop):** απόρριψη του τελευταίου πακέτου
    - **Προτεραιότητες:** απόρριψη/διαγραφή βάσει προτεραιοτήτων
    - **Τυχαία:** απόρριψη/διαγραφή με τυχαία σειρά

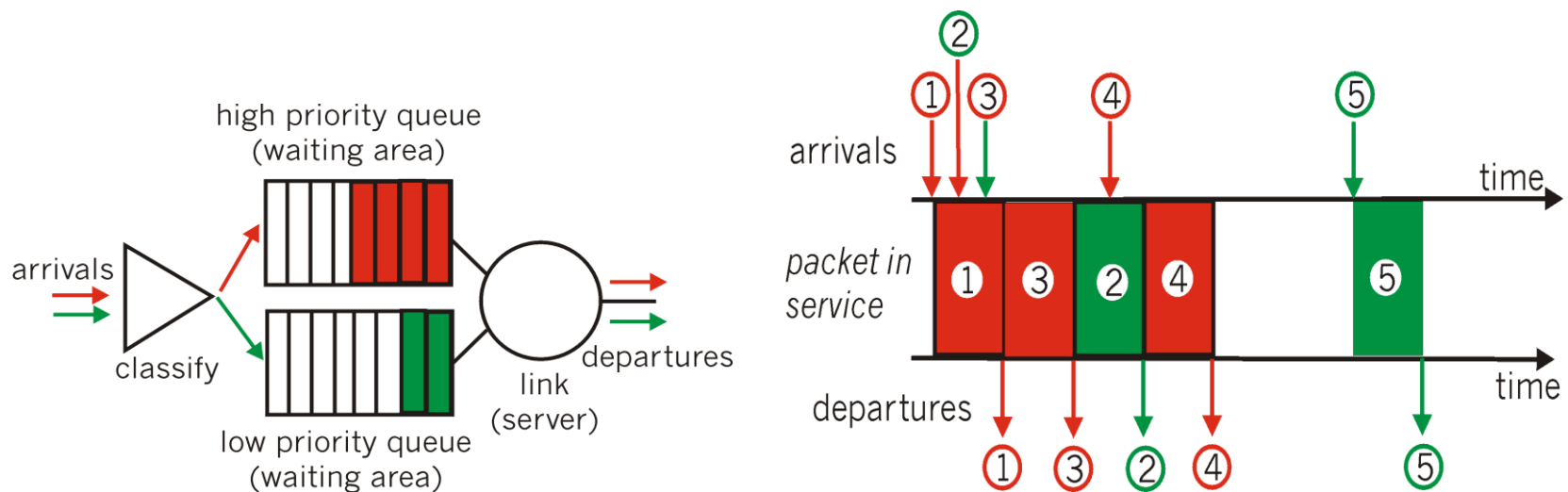


# Πολιτικές προγραμματισμού: προτεραιότητες

**Προγραμματισμός προτεραιοτήτων:** μετάδοση πακέτων που βρίσκονται στην ουρά με την μεγαλύτερη προτεραιότητα

□ Πολλαπλές κλάσεις, με διαφορετικές προτεραιότητες

- Η κατηγοριοποίηση μπορεί να εξαρτάται από το «μαρκάρισμα» ή άλλες πληροφορίες της επικεφαλίδας, π.χ. IP πηγής/προορισμού, θύρες, κτλ...

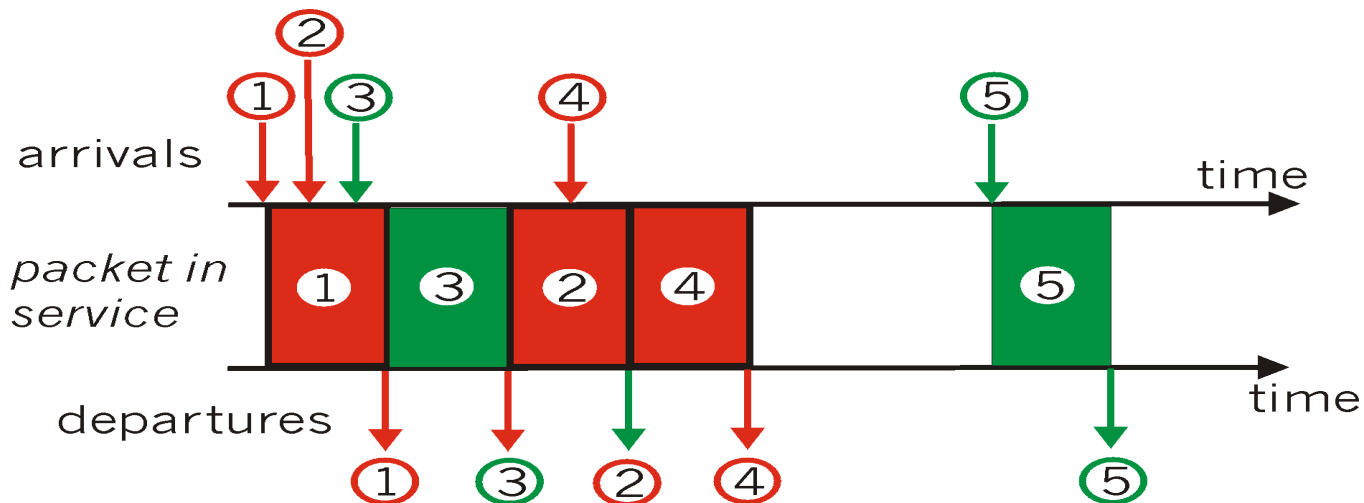




# Πολιτικές χρονοπρογραμματισμού (συνέχεια)

Χρονοπρογραμματισμός round robin (εκ περιτροπής) :

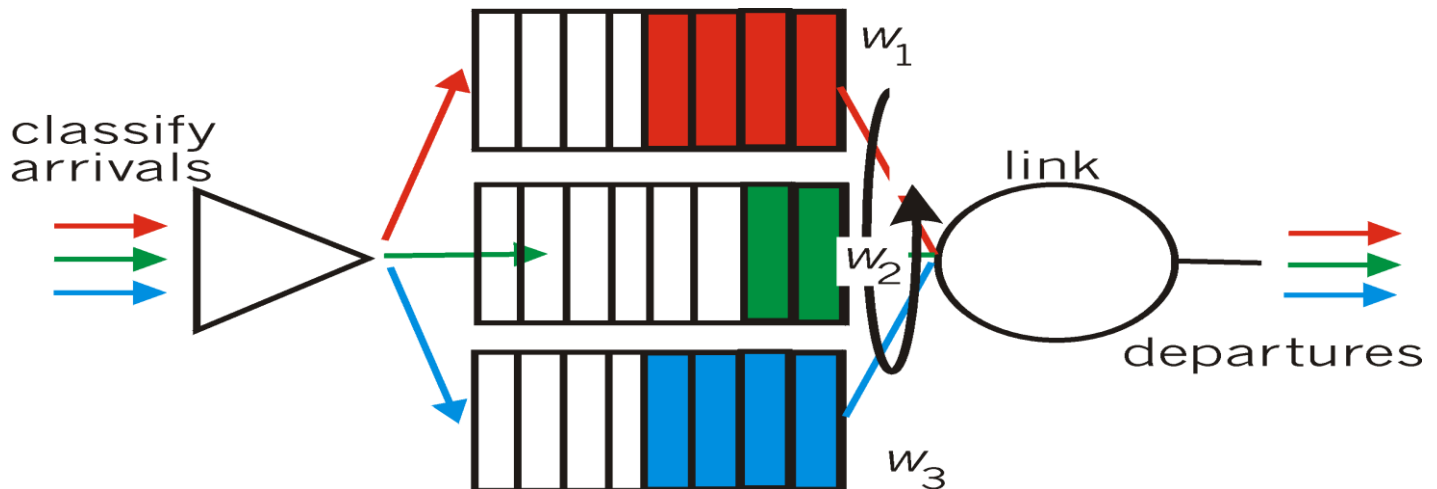
- Πολλαπλές κατηγορίες
- Κυκλική σάρωση των ουρών των κατηγοριών, εξυπηρετώντας ένα από κάθε κατηγορία (αν είναι δυνατό)



## Πολιτικές χρονοπρογραμματισμού (συνέχεια)

### Σταθμισμένα δίκαιη μεταχείριση (Weighted Fair Queuing):

- Γενικευμένο Round Robin
- Κάθε κατηγορία λαμβάνει σταθμισμένη ποσότητα υπηρεσίας σε κάθε κύκλο



# Μηχανισμοί αστυνόμευσης

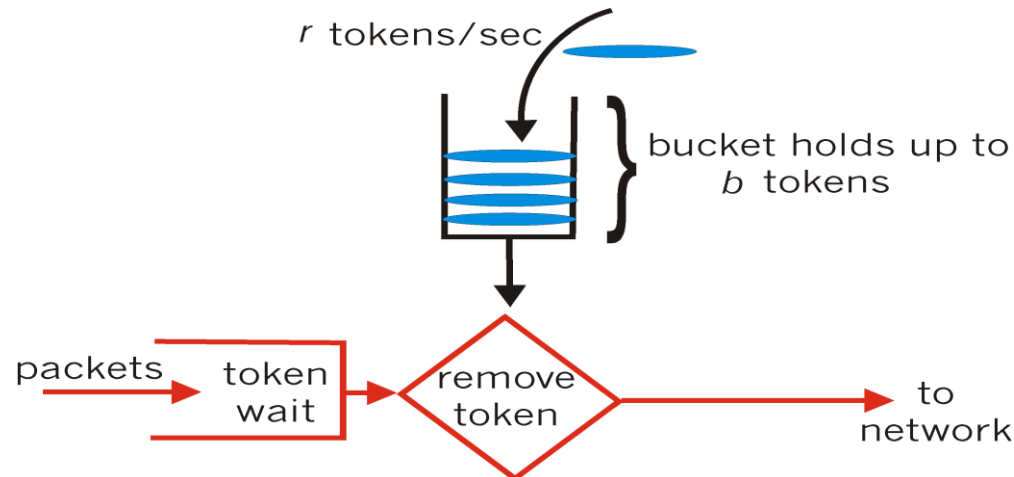
Στόχος : περιορισμός κίνησης ώστε να μην ξεπεράσει δηλωμένες παραμέτρους

Τρία κριτήρια που χρησιμοποιούνται συχνά:

- *Μέση ταχύτητα (μακροπρόθεσμα)*: πόσα πακέτα μπορούν να σταλούν στη μονάδα του χρόνου (μακροπρόθεσμα)
  - Κρίσιμη ερώτηση: ποιό είναι το μήκος του χρονικού διαστήματος;
  - 100 πακέτα/ δευτ. και 6000 πακέτα /λεπτό έχουν την ίδια μέση τιμή!
- *Μέγιστος ρυθμός*: π.χ., 6000 πκτ/λεπτό μέσο όρο, 1500 πκτ/δευτ. μέγιστο ρυθμό
- *Μέγεθος ριπής πακέτων* : μέγιστος αριθμός πακέτων που αποστέλλονται διαδοχικά (το ένα πίσω από το άλλο)

# Μηχανισμοί αστυνόμευσης: υλοποίηση

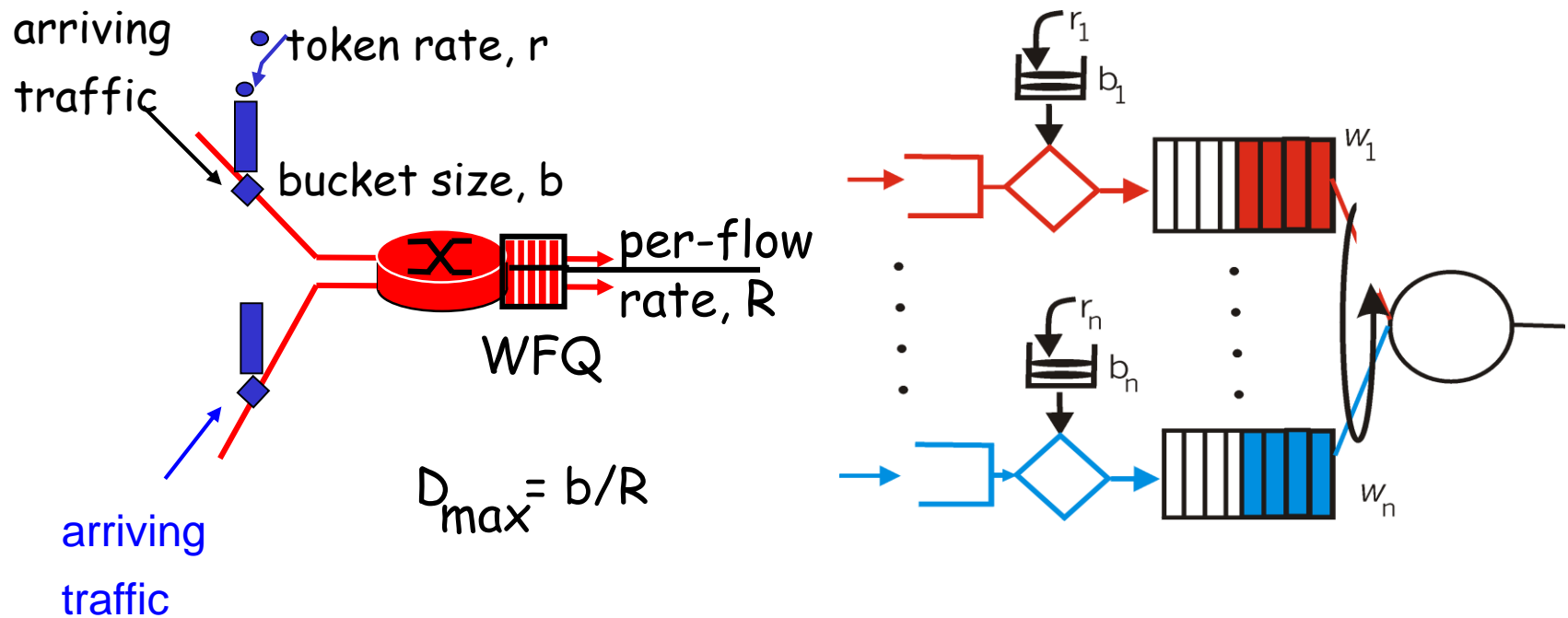
**Δοχείο με κουπόνια (Token Bucket):** περιορισμός της εισόδου σε συγκεκριμένο **πλήθος πακέτων** και **μέση ταχύτητα**.



- ❑ Το δοχείο μπορεί να κρατήσει  $b$  κουπόνια.
- ❑ Τα κουπόνια παράγονται με ρυθμό  $r$  κουπόνια/δευτ., εκτός αν το δοχείο είναι γεμάτο
- ❑ Σε μια χρονική περίοδο μήκους  $t$ , τα πακέτα που μπορούν να εισέλθουν είναι το πολύ  $r t + b$

# Μηχανισμοί αστυνόμευσης (συνέχεια)

- Δοχείο με κουπόνια (token bucket), WFQ συνδυάζονται για να προσφέρουν εγγυήσεις σχετικά με τη μέγιστη καθυστέρηση σε μια ουρά, π.χ., *QoS guarantee!*



# Διαφοροποιημένες υπηρεσίες

- Θέλει “ποιοτικές” κλάσεις υπηρεσιών
  - συμπεριφέρεται ως «καλώδιο»
  - σχετική διαφοροποίηση υπηρεσιών: Platinum, Gold, Silver
- **Επεκτασιμότητα:** απλές λειτουργίες στον κορμό του δικτύου, λειτουργίες κλιμακούμενης πολυπλοκότητας στα τερματικά συστήματα
  - σηματοδοσία, δύσκολη η διατήρηση πληροφοριών κατάστασης για κάθε ροή δεδομένων ενός μεγάλου αριθμού ροών
- Δεν ορίζει συγκεκριμένες κατηγορίες υπηρεσιών, αλλά παρέχει τα λειτουργικά συστατικά για να δημιουργηθούν.

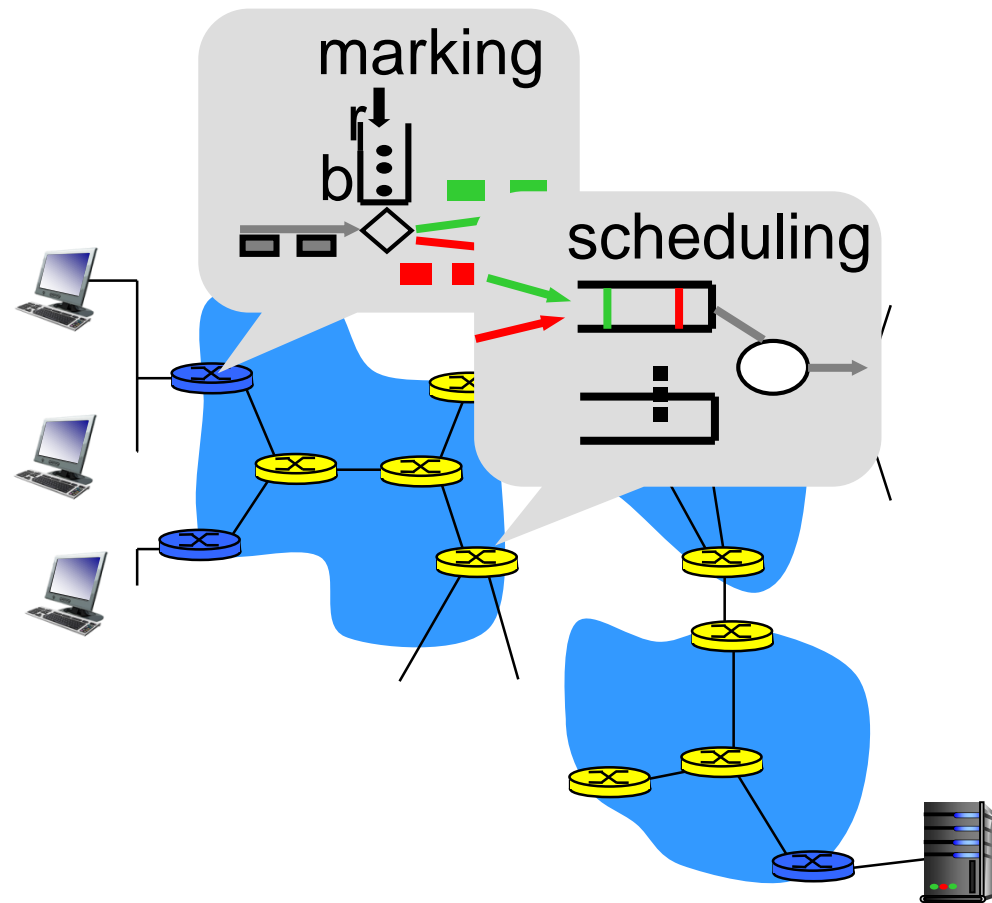
# Η αρχιτεκτονική των Diffserv

Τερματικός δρομολογητής: 

- Διαχείριση κίνησης **ανά ροή**
- μαρκάρει τα πακέτα ως **in-profile** και **out-profile**

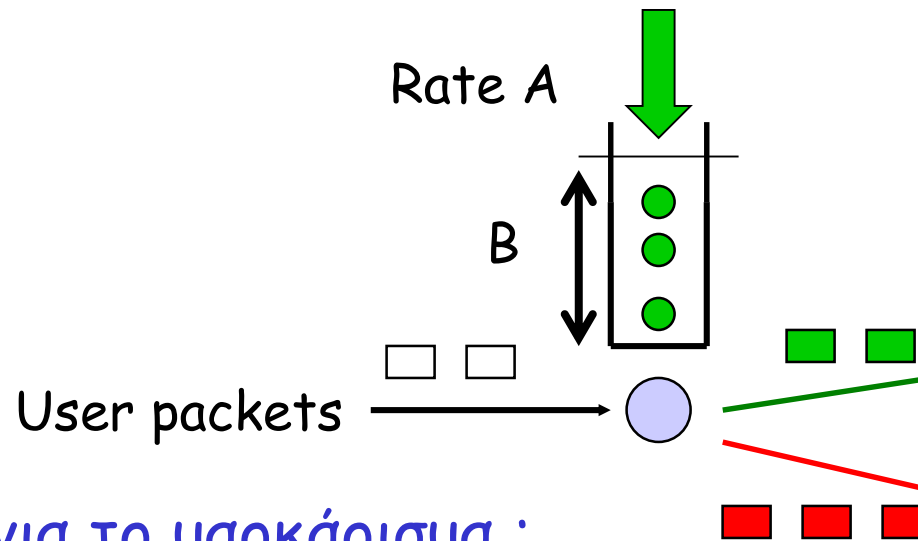
Δρομολογητής κορμού: 

- Διαχείριση κίνησης **ανά κατηγορία**
- Η ενταμίευση και ο προγραμματισμός βασίζονται στο **μαρκάρισμα** στην περίμετρο
- Προτίμηση στα **in-profile** πακέτα έναντι των **out-profile** πακέτων



# Μαρκάρισμα δρομολογητή στην περίμετρο (edge-router)

- **profile**: προ-συμφωνημένη ταχύτητα  $A$ , μέγεθος bucket  $B$
- Το μαρκάρισμα των πακέτων στην περίμετρο βασίζεται σε προφίλ **ανά ροή**



## Πιθανή χρήση για το μαρκάρισμα :

- μαρκάρισμα ανά κατηγορία: πακέτα διαφορετικών κατηγοριών μαρκάρονται διαφορετικά
- μαρκάρισμα μέσα σε κάθε κατηγορία: οι ροές που συμμορφώνονται μαρκάρονται διαφορετικά από αυτές που δεν συμμορφώνονται



# Diffserv μαρκάρισμα πακέτων

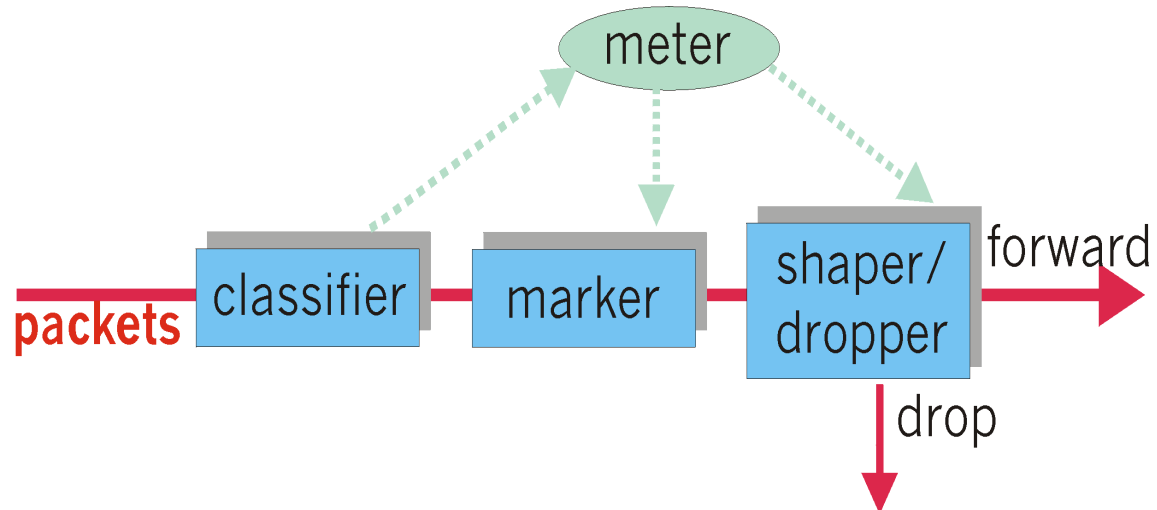
- Το πακέτο «μαρκάρεται» στο πεδίο Type of Service (TOS) στο IPv4, και στο πεδίο Traffic Class στο IPv6
- Το 6 bits υπό-πεδίο (Differentiated Service Code Point, DSCP) καθορίζει το PHB που θα πάρει το πακέτο
- 2 bits δεν χρησιμοποιούνται επί του παρόντος.



# Κατηγοριοποίηση, διατήρηση

Μπορεί να είναι επιθυμητό να περιορίζεται η ταχύτητα με την οποία «εισέρχονται» στο δίκτυο τα πακέτα μίας συγκεκριμένης κατηγορίας:

- ❑ Ο χρήστης δηλώνει το προφίλ κίνησης (π.χ., ταχύτητα, μέγεθος ριπής πακέτων)
- ❑ Η κίνηση μετριέται, προσαρμόζεται όταν δεν συμμορφώνεται



# Πρώθηση (Per-hop Behavior - PHB)

- ❑ Το PHB έχει ως αποτέλεσμα διαφορετική εξωτερικά παρατηρούμενη συμπεριφορά πρώθησης (measurable)
- ❑ Το PHB δεν υπαγορεύει τους μηχανισμούς που θα χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη PHB συμπεριφορά απόδοσης
- ❑ Παραδείγματα:
  - Η κατηγορία υπηρεσίας A λαμβάνει το  $x\%$  από το συνολικό εύρος ζώνης της σύνδεσης μέσα σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα
  - Τα πακέτα της κατηγορίας A στέλνονται πριν από τα πακέτα της κατηγορίας B

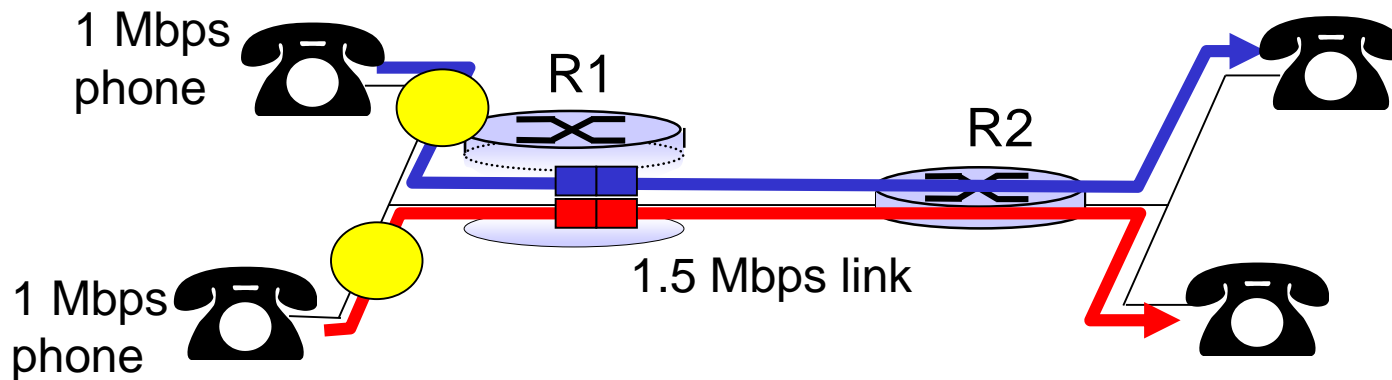
# Προώθηση (PHB)

Η ανάπτυξη του PHB:

- **Ανεμπόδιστη προώθηση:** η ταχύτητα αναχώρησης των πακέτων μιας κατηγορίας από έναν δρομολογητή πρέπει να ισούται ή να υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τιμή.
  - Παρέχει σε μια κατηγορία το ισοδύναμο μιας σύνδεσης με ελάχιστο εγγυημένο εύρος ζώνης.
- **Εγγυημένη προώθηση:** 4 κατηγορίες κίνησης
  - Σε κάθε κατηγορία παρέχεται κάποιο ελάχιστο εύρος ζώνης.
  - Σε κάθε κατηγορία υπάρχουν 3 υποκατηγορίες «προτίμησης για απόρριψη» (drop preference).

# Εγγυήσεις QoS ανά σύνδεση

- **βασικό γεγονός της ζωής:** δεν μπορεί να υποστηρίξει απαιτήσεις κίνησης που υπερβαίνουν τη χωρητικότητα της ζεύξης



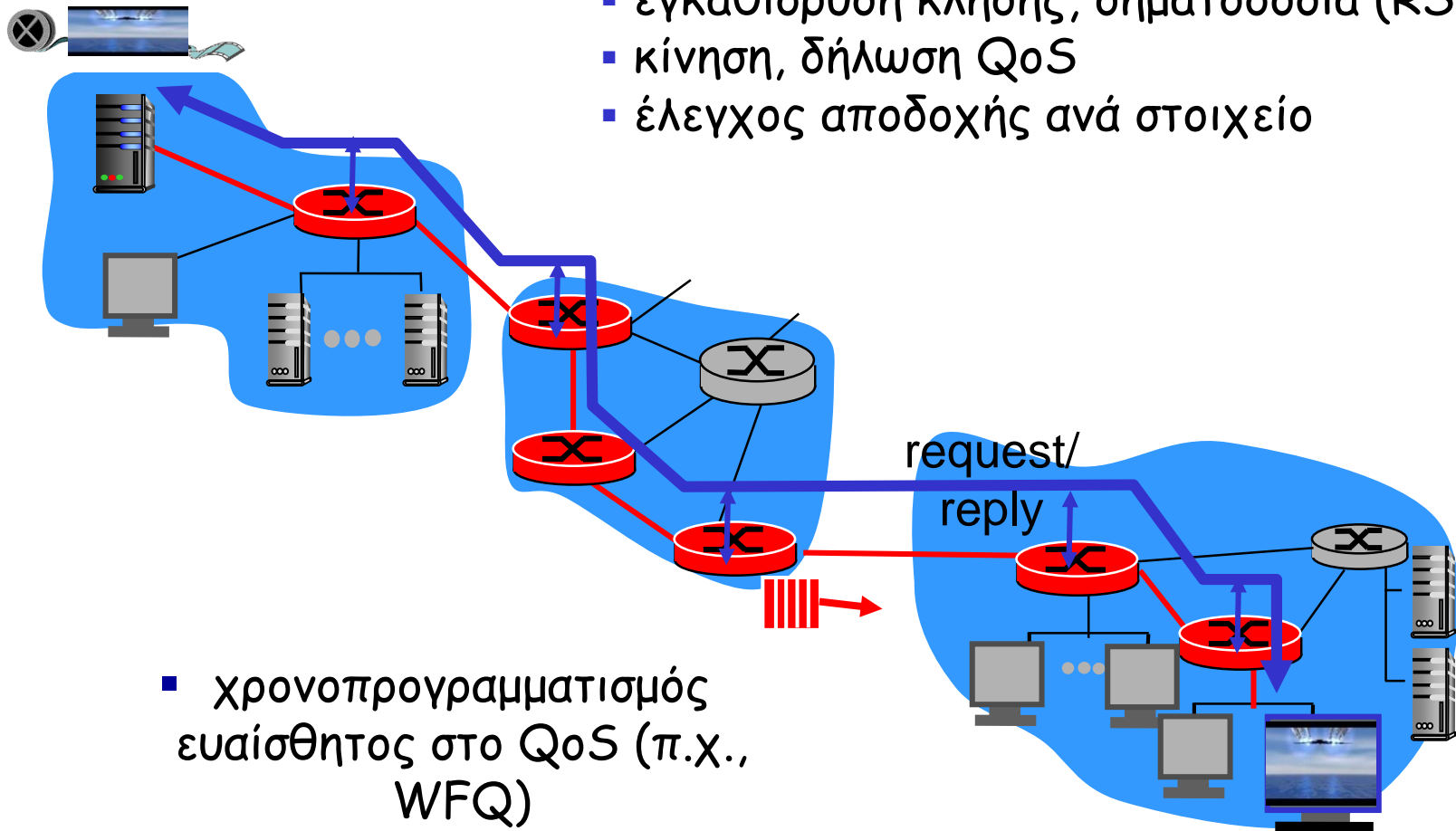
## Αρχή 4

**αποδοχή κλήσης:** η ροή δηλώνει τις ανάγκες της, το δίκτυο μπορεί να μπλοκάρει την κλήση (π.χ. σήμα κατειλημμένο) αν δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες

# Σενάριο εγγυημένου QoS

## □ δέσμευση πόρων

- εγκαθίδρυση κλήσης, σηματοδότηση (RSVP)
- κίνηση, δήλωση QoS
- έλεγχος αποδοχής ανά στοιχείο



- χρονοπρογραμματισμός ευαίσθητος στο QoS (π.χ., WFQ)

# Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Άδεια Χρήσης



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών,  
Μεράκος Λάζαρος 2014. «Δίκτυα Επικοινωνιών ΙΙ. Ενότητα 4:  
Δικτύωση Πολυμέσων». Έκδοση: 1.01. Αθήνα 2014.  
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://opencourses.uoa.gr/courses/DI15>

# Χρηματοδότηση

- ❑ Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- ❑ Το έργο «**Ανοικτά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- ❑ Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ