

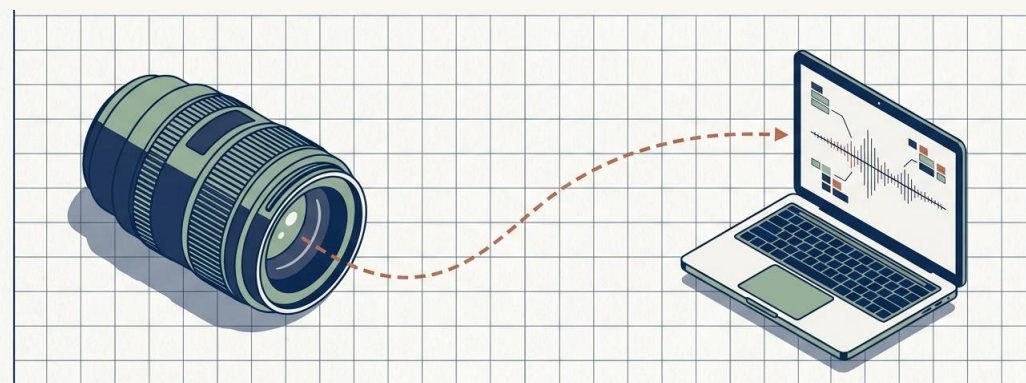


ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Εισαγωγή στα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (CDNs)



Πολυμέσα και Ασύρματη Δικτύωση

Ομάδες ασκήσεων A1 & A2

Δρ. Παντελής Μπαλαούρας, Ε.Δ.Ι.Π.

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

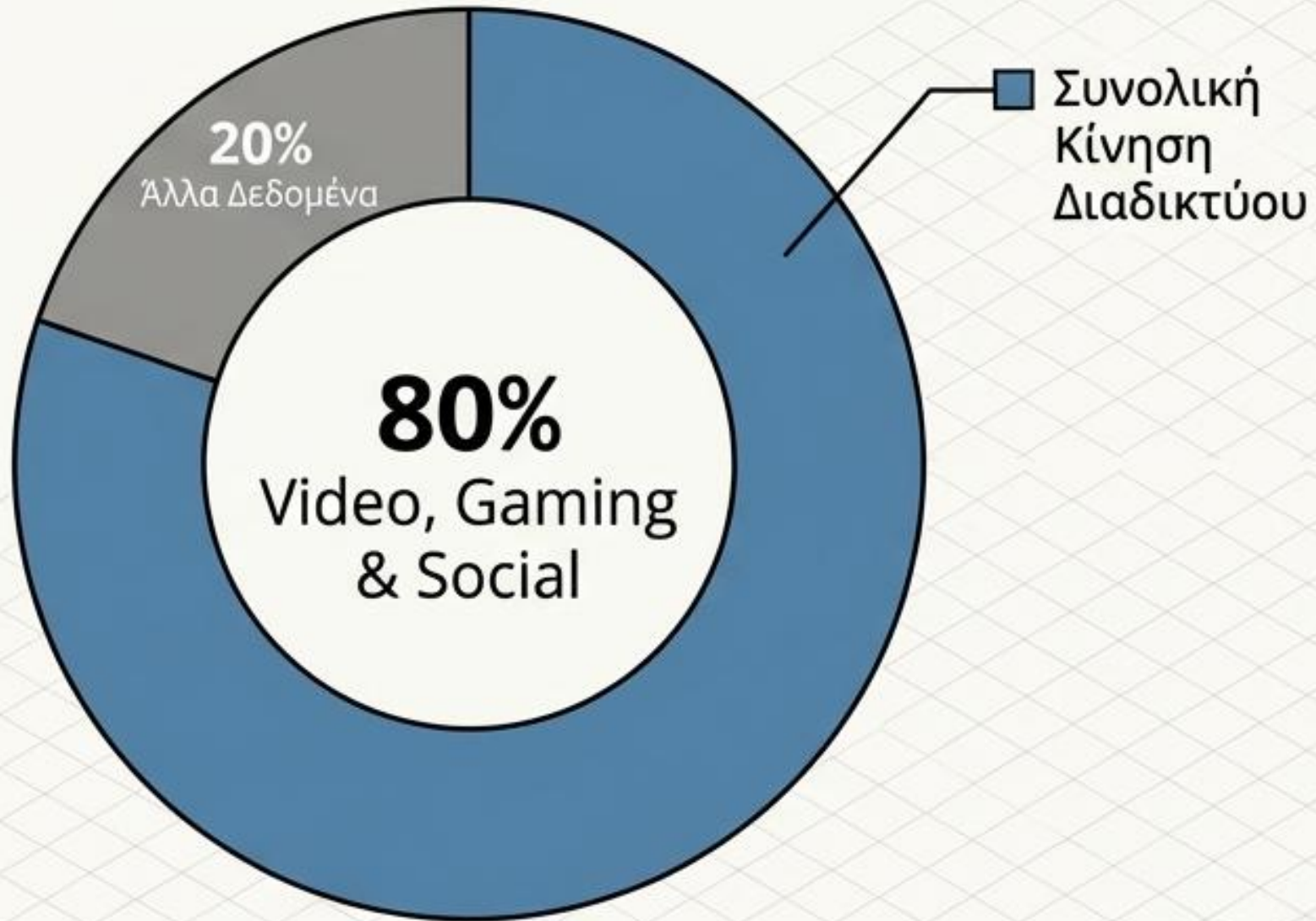
Η Αρχιτεκτονική του Video Streaming

Πώς τα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (CDNs) σώζουν το Διαδίκτυο από την κατάρρευση.



Μια τεχνική ανάλυση της κλίμακας, της δρομολόγησης και της υποδομής του Netflix.

Το Video: Ο απόλυτος κυρίαρχος του εύρους ζώνης



Δεδομένα Κυριαρχίας

~**80%** της συνολικής κίνησης στο Διαδίκτυο είναι πλέον Video, Gaming & Social.



YouTube
NETFLIX

37% (Netflix) & 16% (YouTube) της κατερχόμενης οικιακής κίνησης (προ-πανδημίας).



Ο Παράγοντας COVID-19:

Σημαντική αύξηση στο παγκόσμιο bandwidth (Netflix 11%, YouTube 15%).

Το δίκτυο δεν σχεδιάστηκε αρχικά για αυτό το φορτίο. Πώς κλιμακώνεται η υποδομή για να εξυπηρετήσει **~1 Δις** χρήστες χωρίς να καταρρεύσει;

Η πλάνη του κεντρικού ‘Mega-Server’

Single Point of Failure:
Ένα μόνο σημείο αποτυχίας.
Αν πέσει ο server, πέφτει
όλο το σύστημα.

Συμφόρηση Δικτύου:
Αδυναμία εξυπηρέτησης
εκατοντάδων χιλιάδων
ταυτόχρονων streams.

Απόσταση & Καθυστέρηση:
Τεράστιο latency για
απομακρυσμένους πελάτες.

Σπατάλη Πόρων:
Πολλαπλά αντίγραφα του
ίδιου video στέλνονται
εκατομμύρια φορές μέσω
της ίδιας εξερχόμεζεύξης.

**Συμπέρασμα: Η λύση αυτή
απλά δεν κλιμακώνεται.**

Η λύση κρύβεται στην αποκέντρωση: Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (CDN)

Κατανεμημένη υποδομή επιπέδου εφαρμογής (application layer) που αποθηκεύει και εξυπηρετεί αντίγραφα δεδομένων σε πολλαπλές γεωγραφικές τοποθεσίες.



Αρχιτεκτονικό Δίλημμα

1 **Ιδιωτικό CDN**
Το δίκτυο ανήκει αποκλειστικά στον πάροχο περιεχομένου (π.χ. Google).

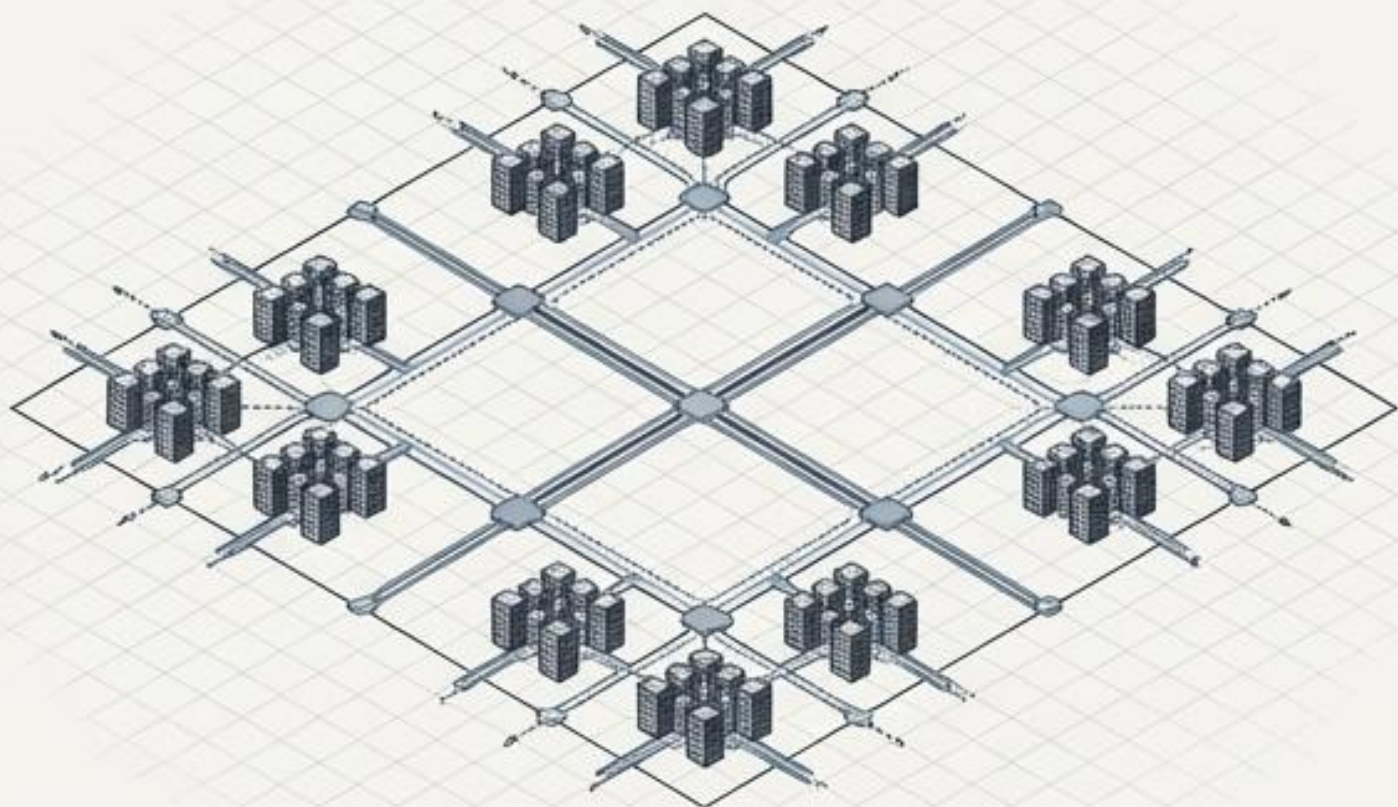
2 **Τρίτο CDN**
Ο πάροχος αγοράζει υπηρεσίες δικτύου από τρίτους.



Σκοπός: Κατεύθυνση του αιτήματος στον server που θα προσφέρει την καλύτερη εμπειρία χρήσης (Σημείωση: αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα τον πιο κοντινό!).

Φιλοσοφίες τοποθέτησης εξυπηρετητών: Δύο αρχιτεκτονικές στρατηγικές

Εισέρχονται Βαθιά (Enter Deep)

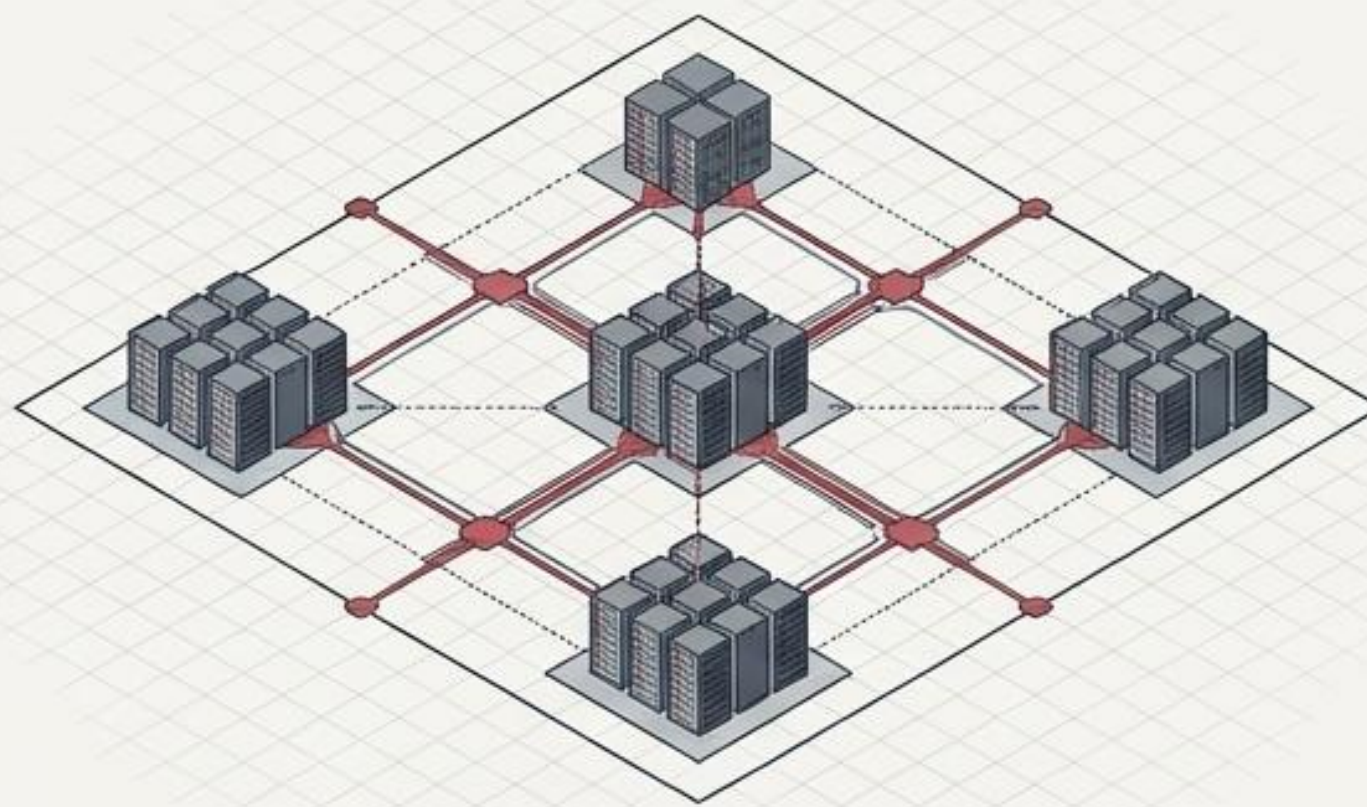


Στρατηγική: Οι κόμβοι σπρώχνονται βαθιά μέσα σε πολλά δίκτυα πρόσβασης (ISPs).

Κλίμακα: Πολλές μικρές συνεργατικές ομάδες (clusters) δίπλα στον τελικό χρήστη.

Παράδειγμα: Akamai (1700+ τοποθεσίες παγκοσμίως).

Κοντά στην Βάση (Bring Home)

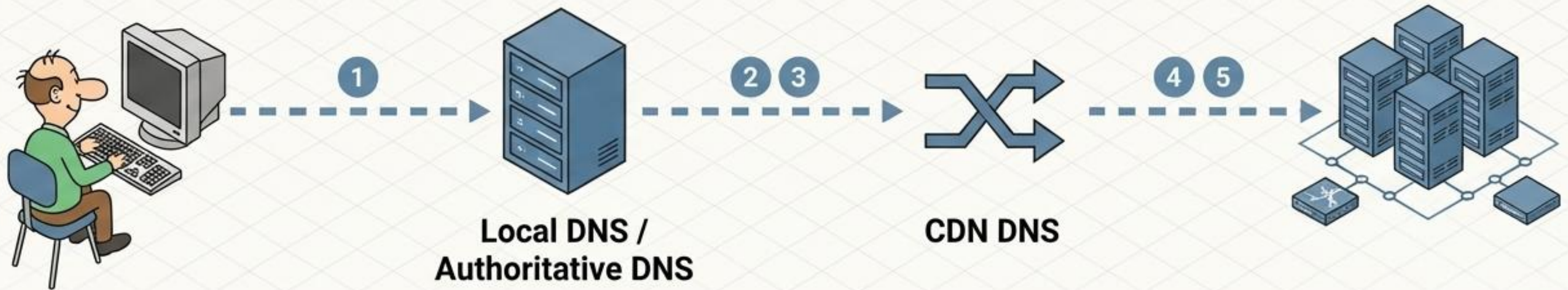


Στρατηγική: Τοποθέτηση σε στρατηγικά σημεία (PoPs, IXPs) κοντά στα δίκτυα πρόσβασης, αλλά όχι μέσα σε αυτά.

Κλίμακα: Μικρότερος αριθμός (δεκάδες), αλλά με γιγαντιαία χωρητικότητα.

Παράδειγμα: Limelight, Level-3.

Η ανατομία μιας αίτησης Video: Ακολουθώντας τα δεδομένα



Βήμα 1: Αίτημα.
Ο χρήστης επιλέγει video. Λαμβάνει το URL του αρχείου (manifest file).

Βήματα 2 & 3: Ερώτημα.
Η τοπική (Local) DNS στέλνει ερώτημα στην Authoritative DNS της Authoritative DNS της πλατφόρμας.

Βήματα 4 & 5: Επίλυση.
Το αίτημα περνάει στο CDN DNS, το οποίο επιστρέφει την IP του βέλτιστου διαθέσιμου διαθέσιμου κόμβου.

Βήμα 6: Παράδοση.
Απευθείας streaming (HTTP/DASH) από τον επιλεγμένο κόμβο CDN.

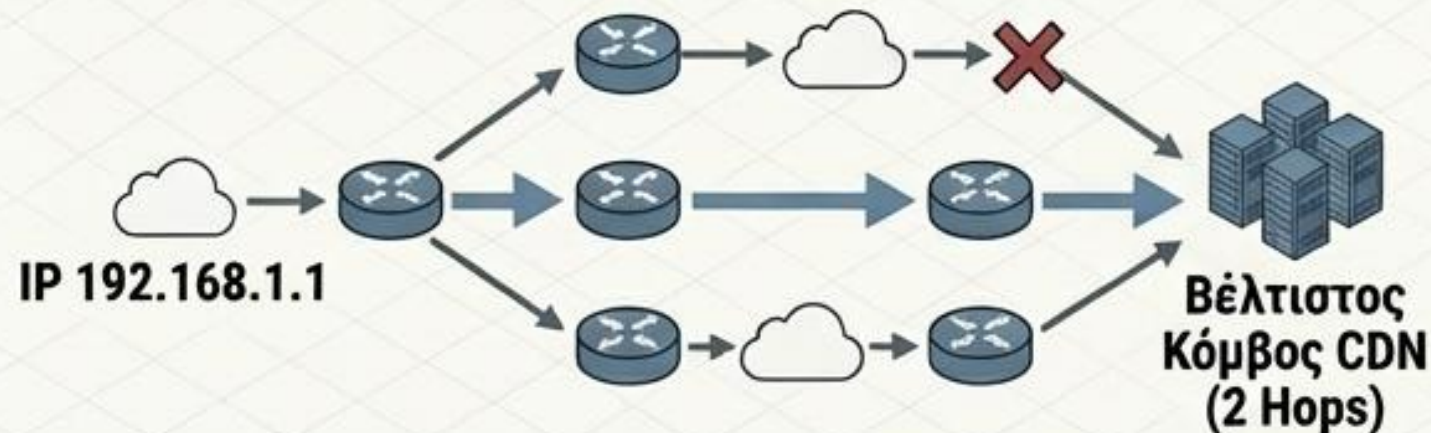
Αλγόριθμοι έξυπνης δρομολόγησης: Πώς επιλέγεται ο 'καλύτερος' κόμβος;



Α. Γεωγραφική Εγγύτητα: Βασίζεται στην IP του Local DNS του πελάτη.
(Μειονέκτημα: Αγνοεί την πραγματική δικτυακή συμφόρηση σε πραγματικό χρόνο).



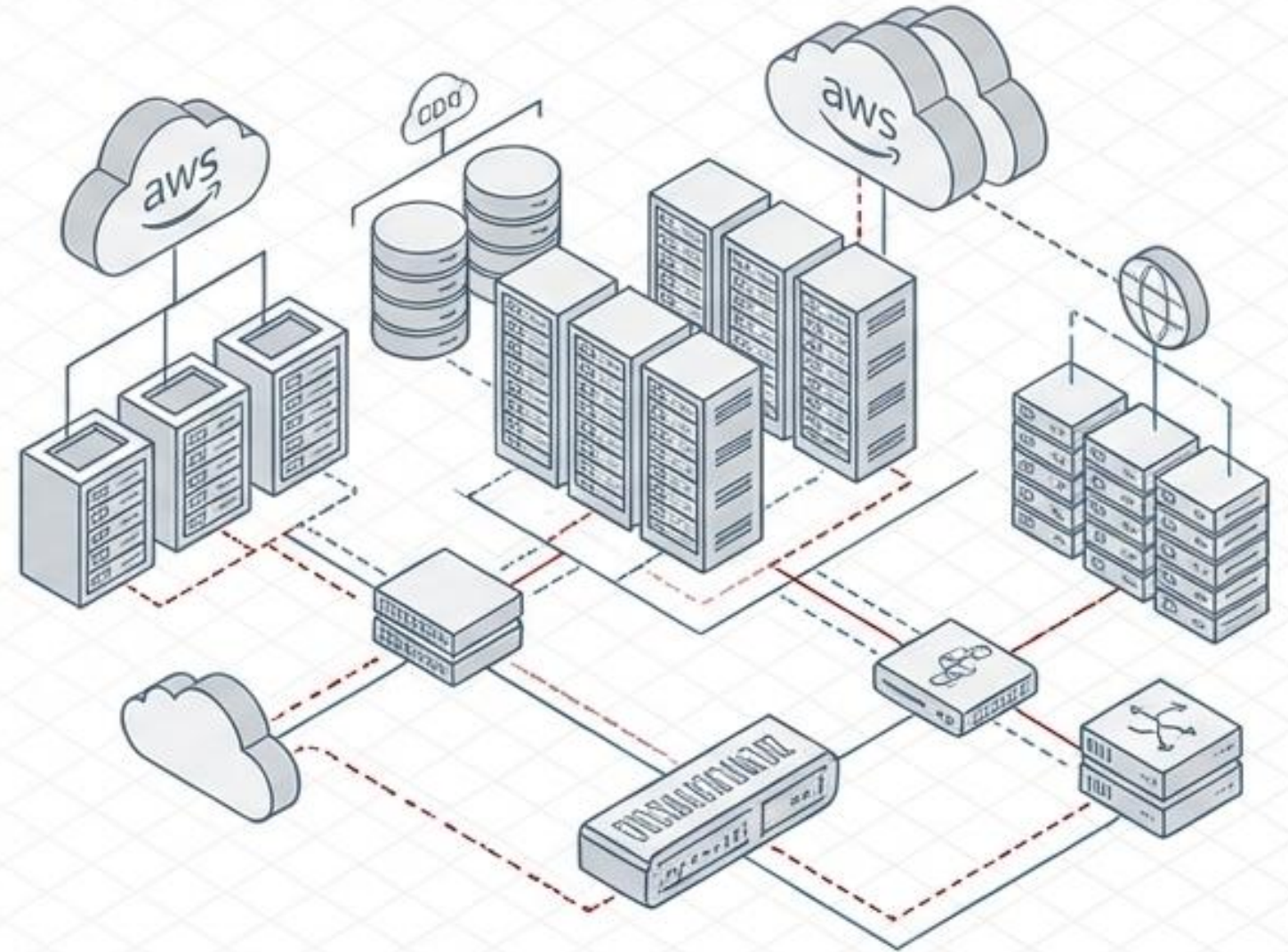
Β. Δυναμική Μέτρηση (Real-time Probing):
Οι κόμβοι κάνουν περιοδικά ring στους ISPs. Επιλέγεται ο κόμβος με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση (latency).



Γ. IP Anycast: Η ίδια IP εκχωρείται σε πολλούς κόμβους. Το πρωτόκολλο BGP του Διαδικτύου δρομολογεί φυσικά το αίτημα στη διαδρομή με τα λιγότερα 'άλματα' (hops).

Υπόδειγμα κλίμακας: Η αρχιτεκτονική εξέλιξη του Netflix

NETFLIX



Το Σημείο Καμπής:

Το 2015, το Netflix αντιπροσώπευε από μόνο του το **37%** της συνολικής κατερχόμενης κίνησης στις ΗΠΑ.

Η Εξέλιξη:

Ξεκίνησε χωρίς καθόλου δική του υποδομή (βασιζόμενο εξ ολοκλήρου σε 3rd party CDNs όπως **Akamai** & **Level-3**).

Η Πρόκληση:

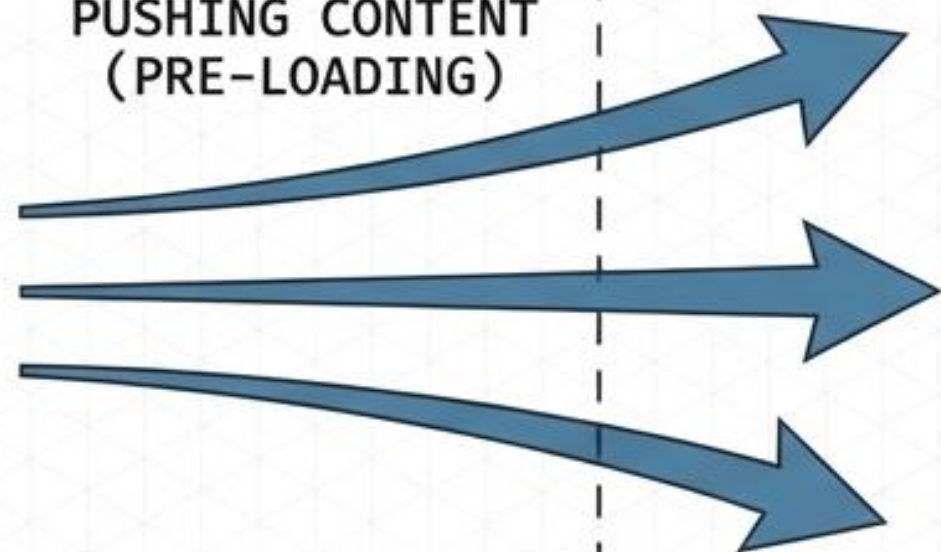
Η αδιανόητη κλίμακα (από **~75M** σε πάνω από **250M** χρήστες) τους ανάγκασε να δημιουργήσουν τη δική τους, υβριδική Over-The-Top (**OTT**) υποδομή.

Υβριδικό Οικοσύστημα: Ο διαχωρισμός Cloud & Private CDN

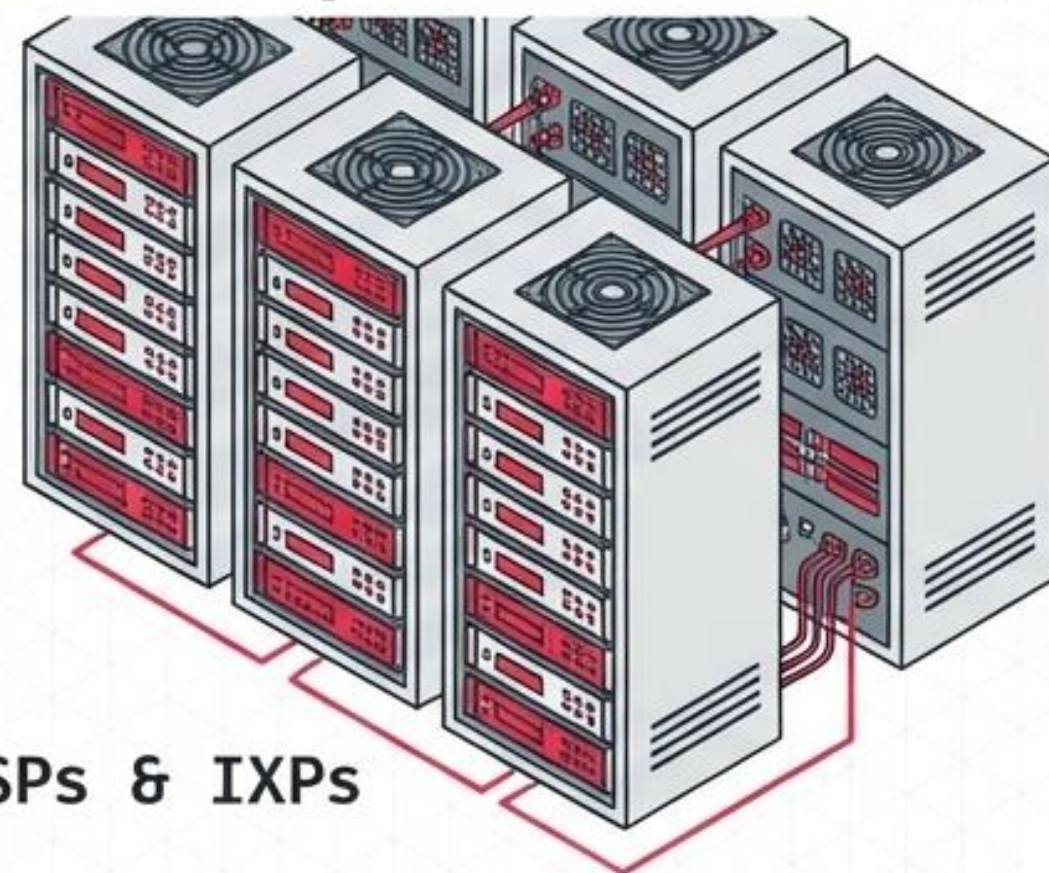
Φάση 1: Στο Cloud (Amazon AWS)



PUSHING CONTENT
(PRE-LOADING)



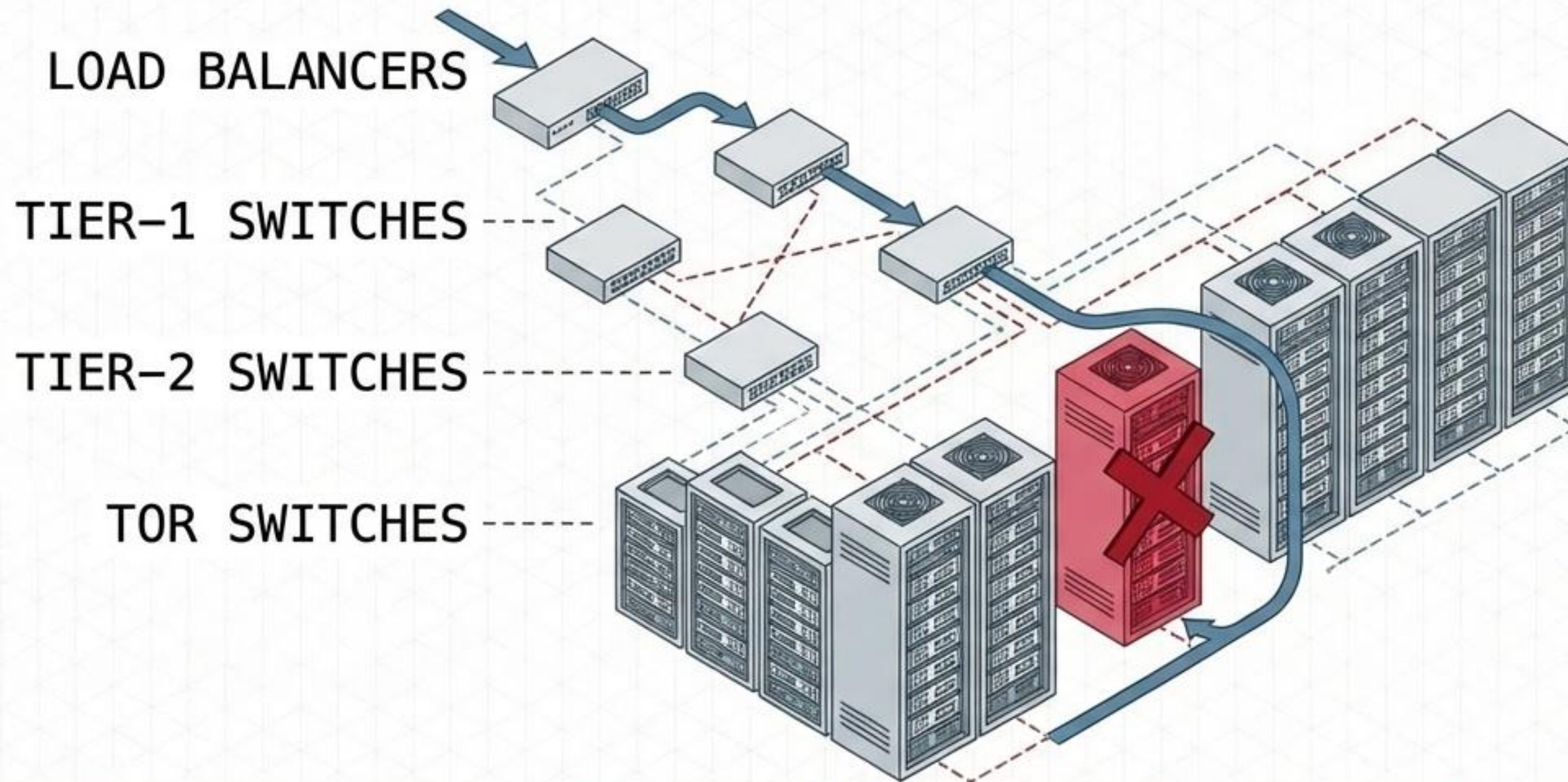
Φάση 2: Στο Άκρο (Netflix Open Connect CDN)



- **Διαχείριση** λογαριασμών και περιήγηση καταλόγου.
- **Απορρόφηση & Επεξεργασία:** Λήψη της αρχικής μήτρας (**Studio Master**) και δημιουργία πολλαπλών εκδόσεων (DASH) για κάθε δυνατή ανάλυση και συσκευή.

- **Αναφόρτωση (Push):** Το Cloud στέλνει προληπτικά τις εκδόσεις στους κόμβους (ιδιαίτερα σε ώρες μη-αιχμής).
- **Εγκατάσταση** ικριωμάτων (racks) χωρητικότητας 100TB και ταχύτητας 10Gbps, τοποθετημένα δωρεάν απευθείας μέσα στους παρόχους internet (ISPs).

Στο εσωτερικό της μηχανής: Η ανατομία ενός Data Center



Εξισορροπητές Φόρτου

Δρομολόγηση επιπέδου εφαρμογής. Παραλαμβάνουν τα αιτήματα από τον έξω κόσμο και τα κατανέμουν, κρύβοντας την εσωτερική πολυπλοκότητα.

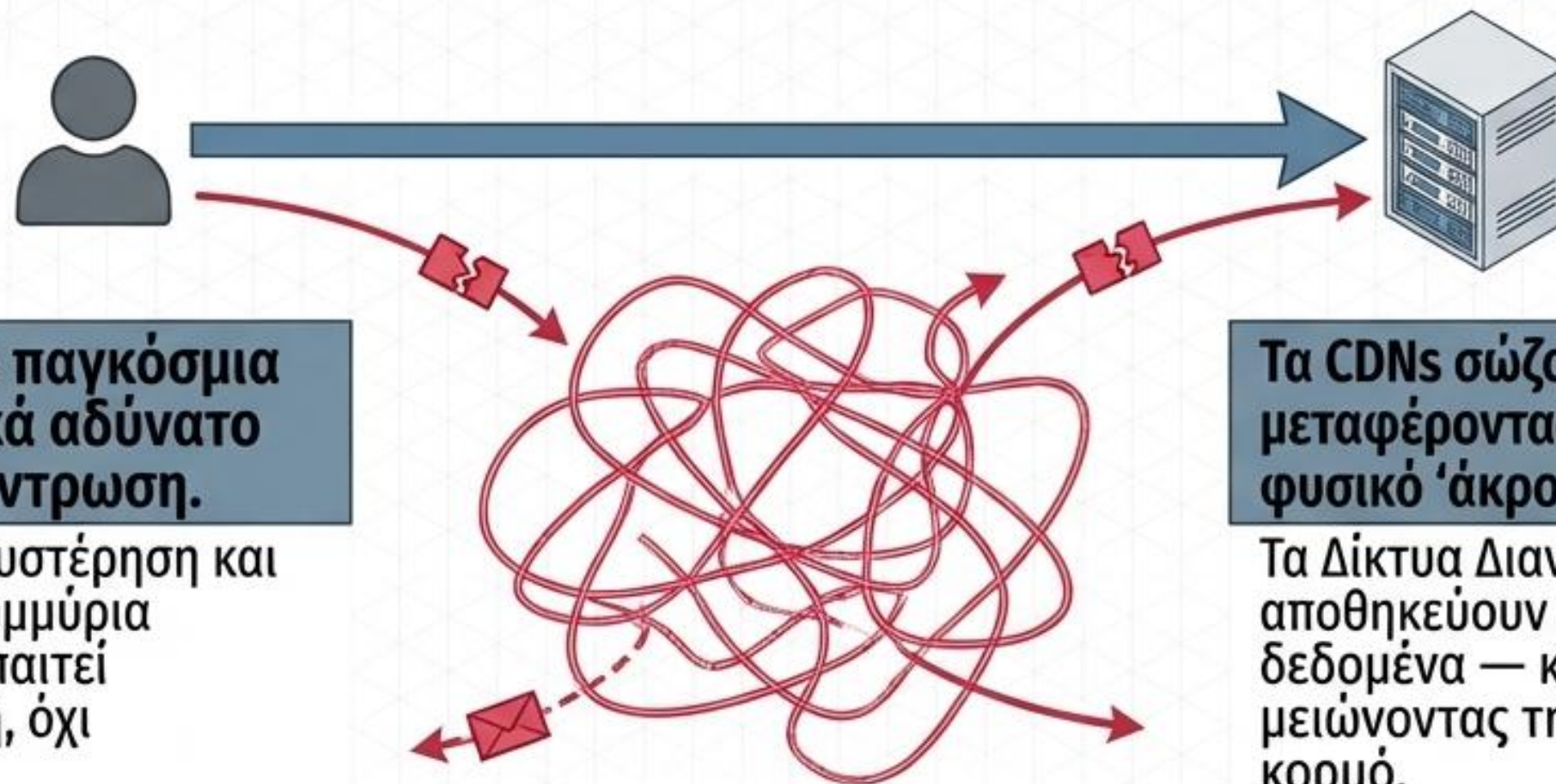
Πλούσια Διασύνδεση

Αυξημένη απόδοση μέσω πολλαπλών διαδρομών στα switches (TOR, Tier-1, Tier-2).

Απόλυτος Πλεονασμός

Η αρχιτεκτονική εγγυάται τεράστια αξιοπιστία. Αν ένα rack καταρρεύσει, η κίνηση απλά παρακάμπτει το πρόβλημα (rerouting) χωρίς να διακοπεί το βίντεο.

Η ψευδαίσθηση της αμεσότητας



Το video streaming σε παγκόσμια κλίμακα είναι πρακτικά αδύνατο χωρίς απόλυτη αποκέντρωση.

Η ανάγκη για χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή ποιότητα σε εκατομμύρια ταυτόχρονους χρήστες απαιτεί αποκεντρωμένη υποδομή, όχι κεντρικούς **servers**.

Τα CDNs σώζουν το διαδίκτυο μεταφέροντας το βαρύ περιεχόμενο στο φυσικό 'άκρο' (edge) του δικτύου.

Τα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (CDNs) αποθηκεύουν προσωρινά (cache) δεδομένα — κοντά στον τελικό χρήστη, μειώνοντας την κίνηση στον κεντρικό κορμό.

Συστήματα-γίγαντες επιβιώνουν επειδή διαχωρίζουν την βαριά επεξεργασία (Cloud) από την τοπική διανομή (Edge CDN).

Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει στο **Cloud** να χειρίζεται πολύπλοκες εργασίες (π.χ. κωδικοποίηση), ενώ το **Edge CDN** αναλαμβάνει την ταχεία παράδοση.

Η έξυπνη δρομολόγηση δημιουργεί μια αόρατη ασπίδα: παρακάμπτει τη συμφόρηση σε πραγματικό χρόνο, διατηρώντας το 'Play' αδιάκοπο.

Αλγόριθμοι **δυναμικής δρομολόγησης** (dynamic routing) επιλέγουν την βέλτιστη διαδρομή, αποφεύγοντας σημεία συμφόρησης για αδιάλειπτη εμπειρία.

- Η παρούσα παρουσίαση έχει οπτικοποιηθεί με χρήση του εργαλείου TN (AI) NotebookLM της Google.
- Για την δημιουργία του έχουν χρησιμοποιηθεί οι εξής πηγές:
 - Υλικό Αναφοράς: [eClass ΕΚΠΑ | Ειδικά Θέματα Επικοινωνιών και Ε... | Ενότητες μαθήματος](#)
- Συγγραφέας: Δρ. Παντελής Μπαλαούρας, Ε.Δ.Ι.Π., Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Ε.Κ.Π.Α.