

Προγραμματισμός και Συστήματα στον Παγκόσμιο Ιστό

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

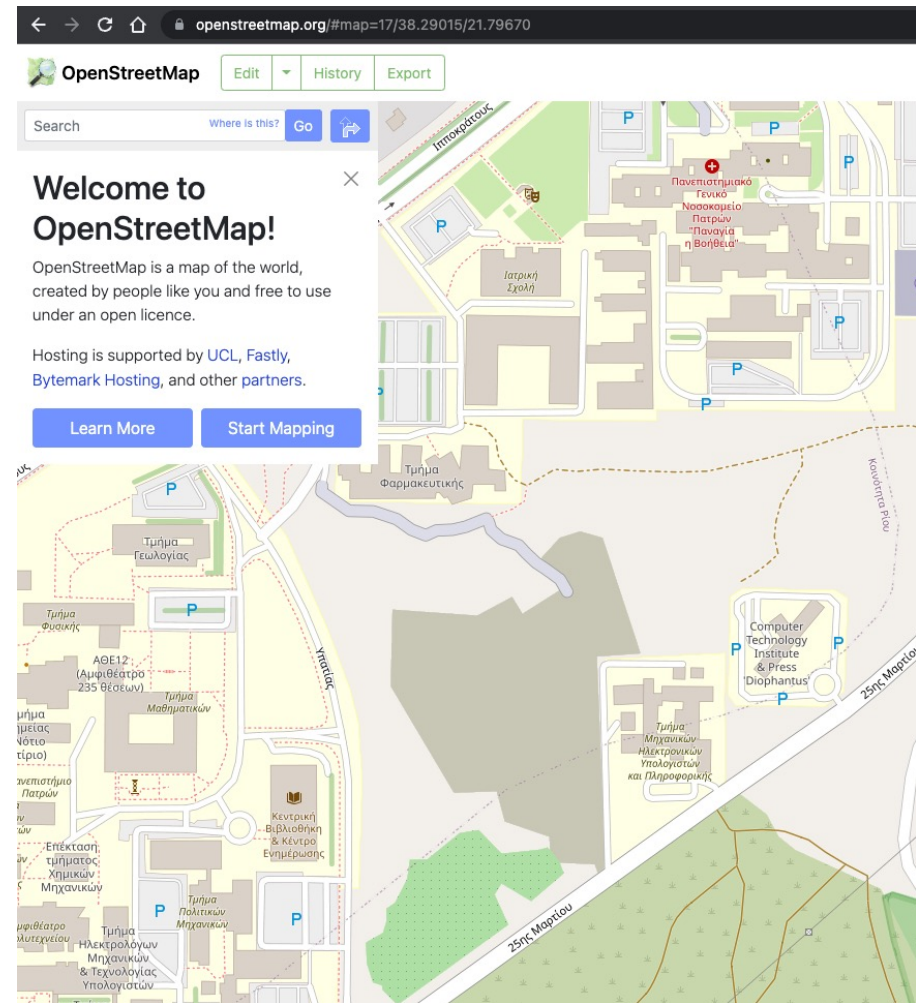
Καθ. Ι. Γαροφαλάκης
Δρ. Ανδρέας Κομνηνός
akomninos@ceid.upatras.gr

Περιεχόμενα

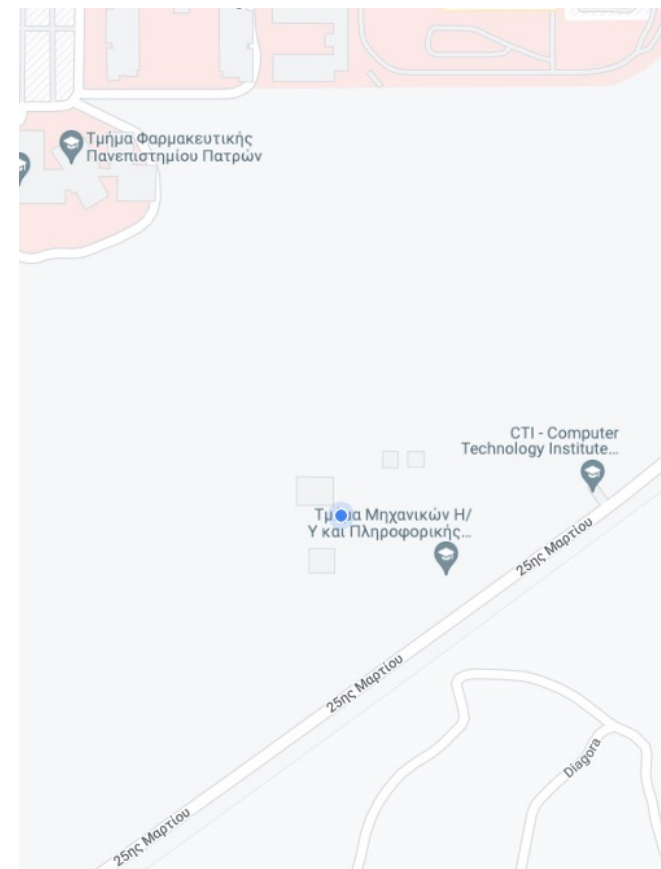
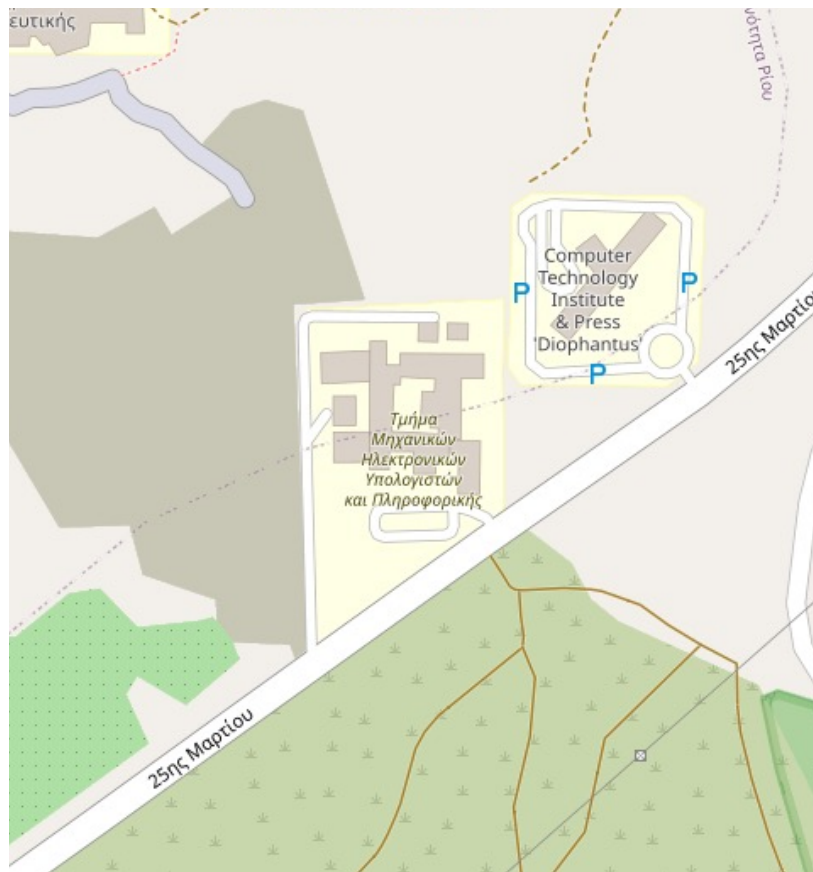
- Δυο μέρη:
 - Κεντριοποιημένο σύστημα
 - Προγραμματισμός και σχεδιασμός κεντρικού εξυπηρετή / ιστοσελίδας (web server / site)
 - Κατανεμημένο σύστημα
 - Πώς το περιεχόμενο διανέμεται με ανοχή σε σφάλματα και υψηλή απόδοση σε χρήστες γεωγραφικά κατανεμημένους

Για παράδειγμα...

- Υπηρεσίες χαρτών online
 - Google Maps
 - **OpenStreetMaps**
 - Bing Maps
 - Here Maps
 - ...
- Εφαρμογή multimedia
- Εκατομμύρια χρήστες, γεωγραφικά διάσπαρτοι
- Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο



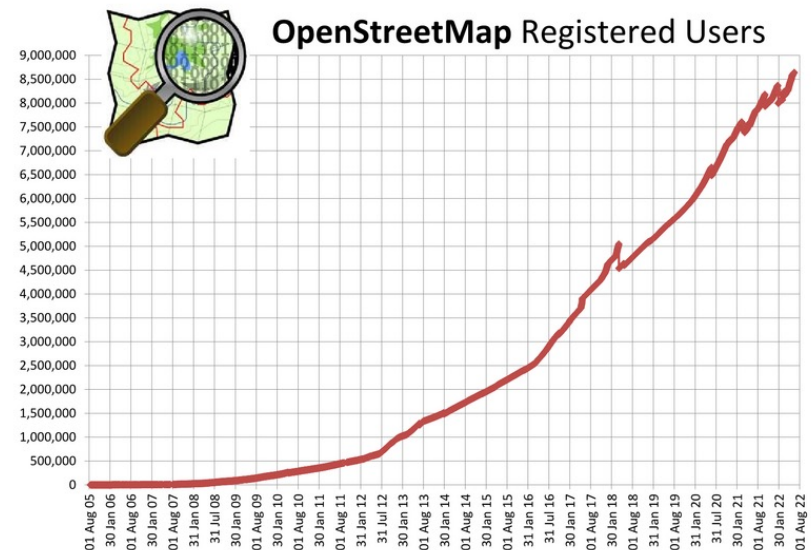
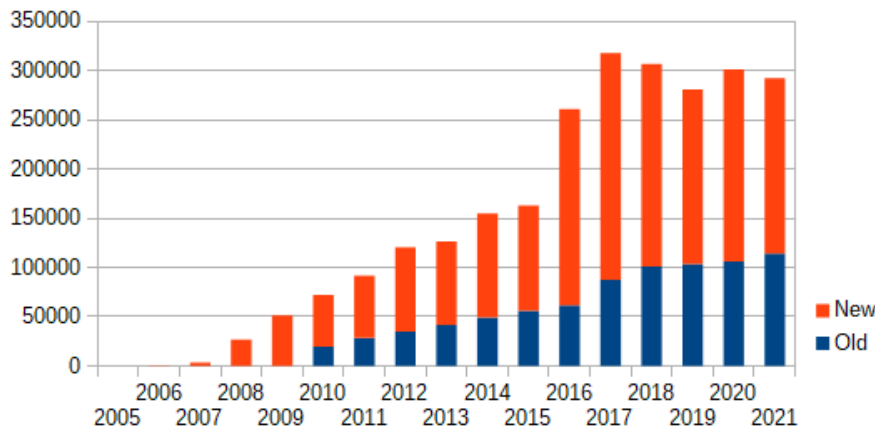
Power of the Crowd



Στατιστικά χρήσης OSM

- 9.5 εκ. χρήστες (10/2022)
- 7.9 δις. Κόμβοι (10/2022)
- 4 εκ. αλλαγές / ημέρα (Q4-2021)
- 1.5 εκ. συνεισφέροντες χρήστες (Q4-2021)

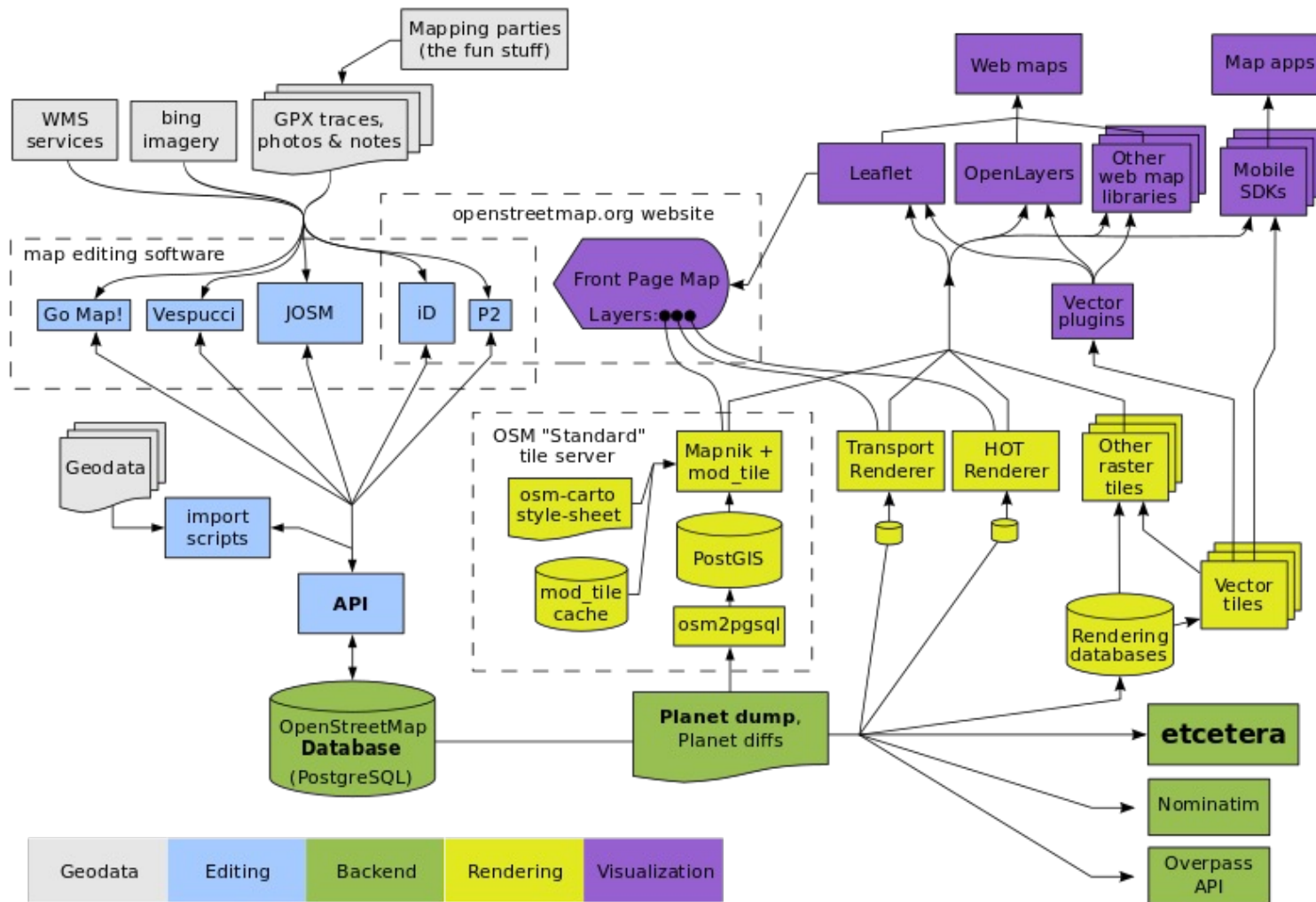
Active Contributors per Year



10/18/22

<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Stats>

OSM server architecture



Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή

- Κρυφές μνήμες στον Ιστό (web caching)
- Πλεονασμός περιεχομένου στον Ιστό (web replication).

2. Πρωτόκολλα εφαρμογών στον Ιστό

- URLs, DNS (TCP/IP)
- HTTP και υποστήριξη κρυφών μνημών

Περιεχόμενα

3. Κρυφές Μνήμες στον Ιστό (web caching)

- Αντιπρόσωποι (proxies) με κρυφές μνήμες
- Επιπτώσεις σε χρόνους πρόσβασης, εύρος ζώνης δικτύου, κλπ
- Ανάπτυξη αντιπροσώπων στον Ιστό
- Συνεργατικότητα αντιπροσώπων
- Συνέπεια κρυφών μνημών και πολιτικές αντικατάστασης περιεχομένου
- Προανάκτηση (prefetching)

Περιεχόμενα

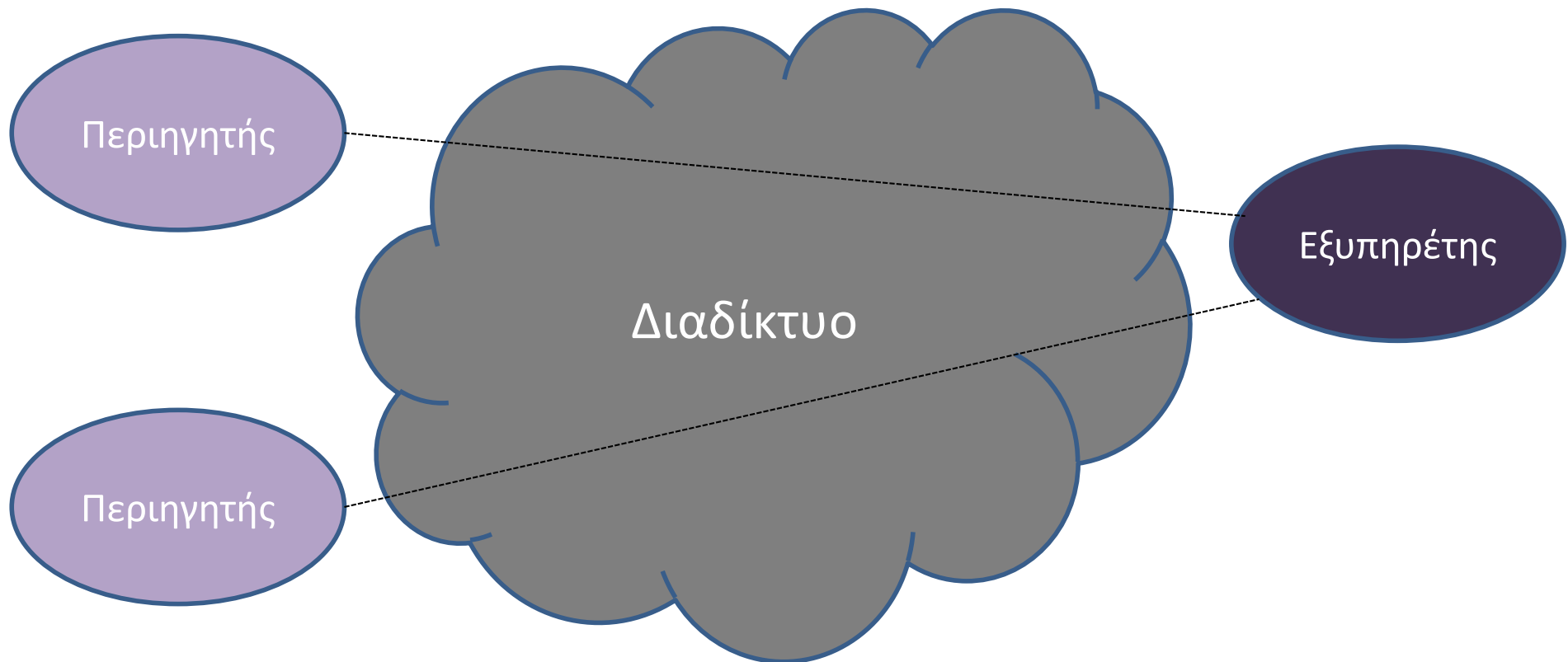
4. Πλεονασμός περιεχομένου στον Ιστό (web replication)
 - Κατανομή αιτήσεων
 - Δίκτυα διανομής περιεχομένου (Content delivery networks)
 - Επιλογή εξυπηρέτη / αντιπροσώπου
 - Μετρικές
 - Αλγόριθμοι

Εισαγωγή

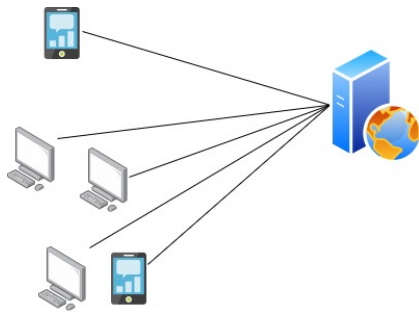
- Εξυπηρέτες και πελάτες (Web servers, web clients)
 - HTTP: γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ πελατών/εξυπηρετητών
- Web objects
 - Web site (ιστότοπος): σύνολο αντικειμένων
 - URLs: τα ονόματα των αντικειμένων
 - URLs: περιέχουν το όνομα του εξυπηρέτη
 - Content providers – παροχείς περιεχομένου
- Ιστότοπος ≠ εξυπηρέτης !!!

Εισαγωγή

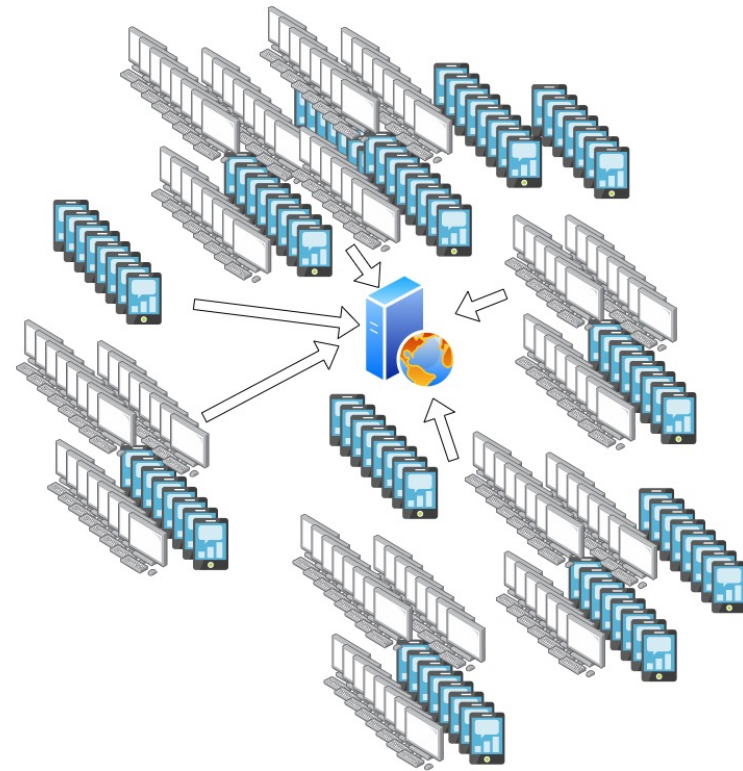
Μια απλή αρχιτεκτονική για τον Ιστό:



Η οποία δεν αρκεί...



Service = 😊

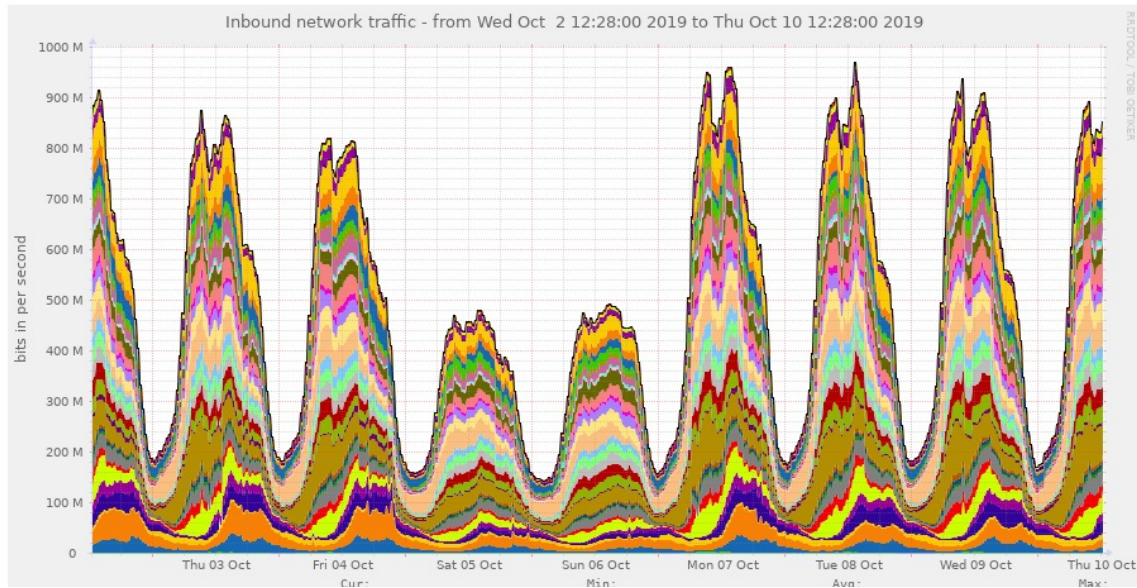


Service = ☹️

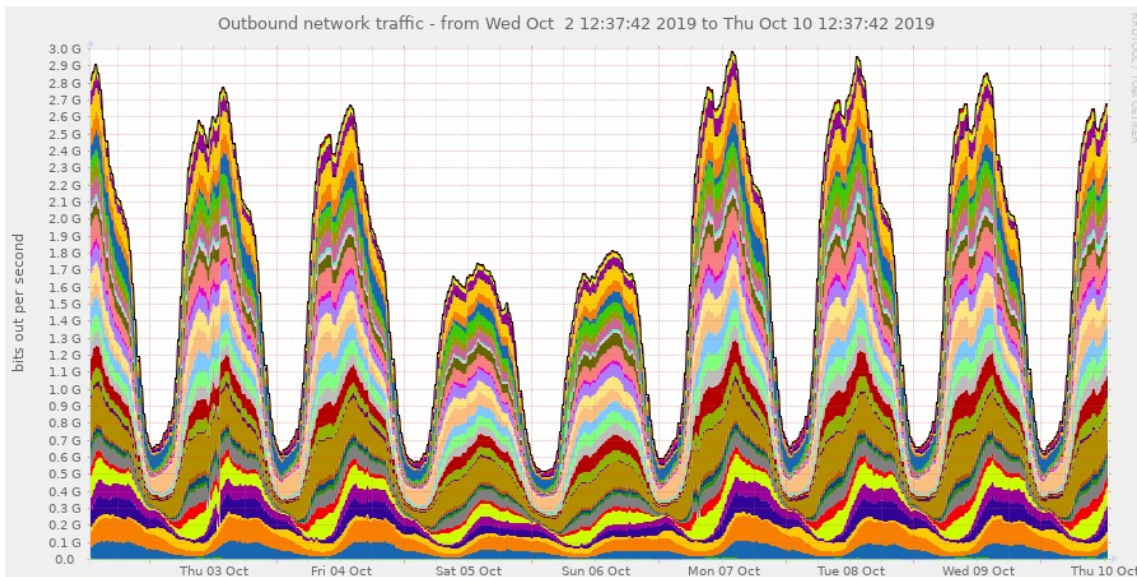
Εισαγωγή

- Το πρόβλημα: Κλιμάκωση (web scalability)
= **καλή απόδοση και αξιοπιστία** με
 - περιορισμένο εύρος ζώνης του δικτύου και
 - Περιορισμένες δυνατότητες του εξυπηρέτη
- Μια λύση: Χρήμα (“throw money at the problem”)
 - ISPs αυξάνουν χωρητικότητα δικτύου
 - Πολλοί εξυπηρέτες έχουν αυξημένη χωρητικότητα
 - Αλλά: ποτέ δεν επαρκούν
 - Νεές εφαρμογές
 - Μεγαλύτερη κλίμακα ...

OSM traffic



Total Inbound
Min: 127.33Mbps
Max: 1.09Gbps
Avg: 505.63Mbps



Total Outbound
Min: 480.43Mbps
Max: 3.15Gbps
Avg: 1.68Gbps

*Typical optical
fiber bandwidth:
100Mbps!!!*

[https://munin.openstreetmap.org/
openstreetmap.org/tile.openstreet
map.org/network_in.html](https://munin.openstreetmap.org/openstreetmap.org/tile.openstreetmap.org/network_in.html)

“with 25 years of internet experience, we have learned **exactly one way** to deal with exponential growth:”

CACHING

Van Jacobson (1995). How to Kill the Internet, presented at SIGCOMM '95

10/18/22 *Middleware Workshop Cambridge, MA, 28 August 1995*

Still caching

2013– caching in your home

RESEARCH-ARTICLE



Community contribution award -- Measuring and mitigating web performance bottlenecks in broadband access networks

Authors: Srikanth Sundaresan, Nick Feamster, Renata Teixeira, Nazanin Magharei [Authors Info & Claims](#)

IMC '13: Proceedings of the 2013 conference on Internet measurement conference • October 2013 • Pages 213–226 • <https://doi.org/10.1145/2504730.2504741>

Online: 23 October 2013 [Publication History](#)

34 351



ABSTRACT

We measure Web performance bottlenecks in home broadband access networks and evaluate ways to mitigate these bottlenecks with caching within home networks. We first measure Web performance bottlenecks to nine popular Web sites from more than 5,000 broadband access networks and demonstrate that when the downstream throughput of the access link exceeds about 16 Mbits/s, latency is the main bottleneck for Web page load time. Next, we use a router-based Web measurement tool, Mirage, to deconstruct Web page load time into its constituent components (DNS lookup, TCP connection setup, object download) and show that simple latency optimizations can yield significant improvements in overall page load times. We then present a case for placing a cache in the home network and deploy three common optimizations: DNS caching, TCP connection caching, and content caching. We show that caching only DNS and TCP connections yields significant improvements in page load time, even when the user's browser is already performing similar independent optimizations. Finally, we use traces from real homes to demonstrate how prefetching DNS and TCP connections for popular sites in a home-router cache can achieve faster page load times.

10/18/22

2021– caching everywhere

Enabling Service Cache in Edge Clouds

Authors: Chih-Kai Huang, Shan-Hsiang Shen [Authors Info & Claims](#)

ACM Transactions on Internet of Things, Volume 2, Issue 3 • August 2021 • Article No.: 18, pp 1–24 • <https://doi.org/10.1145/3456564>

Online: 08 July 2021 [Publication History](#)

0 129



Abstract

The next-generation 5G cellular networks are designed to support the internet of things (IoT) networks; network components and services are virtualized and run either in virtual machines (VMs) or containers. Moreover, edge clouds (which are closer to end users) are leveraged to reduce end-to-end latency especially for some IoT applications, which require short response time. However, the computational resources are limited in edge clouds. To minimize overall service latency, it is crucial to determine carefully which services should be provided in edge clouds and serve more mobile or IoT devices locally. In this article, we propose a novel service cache framework called *S-Cache*, which automatically caches popular services in edge clouds. In addition, we design a new cache replacement policy to maximize the cache hit rates. Our evaluations use real log files from Google to form two datasets to evaluate the performance. The proposed cache replacement policy is compared with other policies such as greedy-dual-size-frequency (GDSF) and least-frequently-used (LFU). The experimental results show that the cache hit rates are improved by 39% on average, and the average latency of our cache replacement policy decreases 41% and 38% on average in these two datasets. This indicates that our approach is superior to other existing cache policies and is more suitable in multi-access edge computing environments. In the implementation, *S-Cache* relies on OpenStack to clone services to edge clouds and direct the network traffic. We also evaluate the cost of cloning the service to an edge cloud. The cloning cost of various real applications is studied by experiments under the presented framework and different environments.

16

Εισαγωγή:

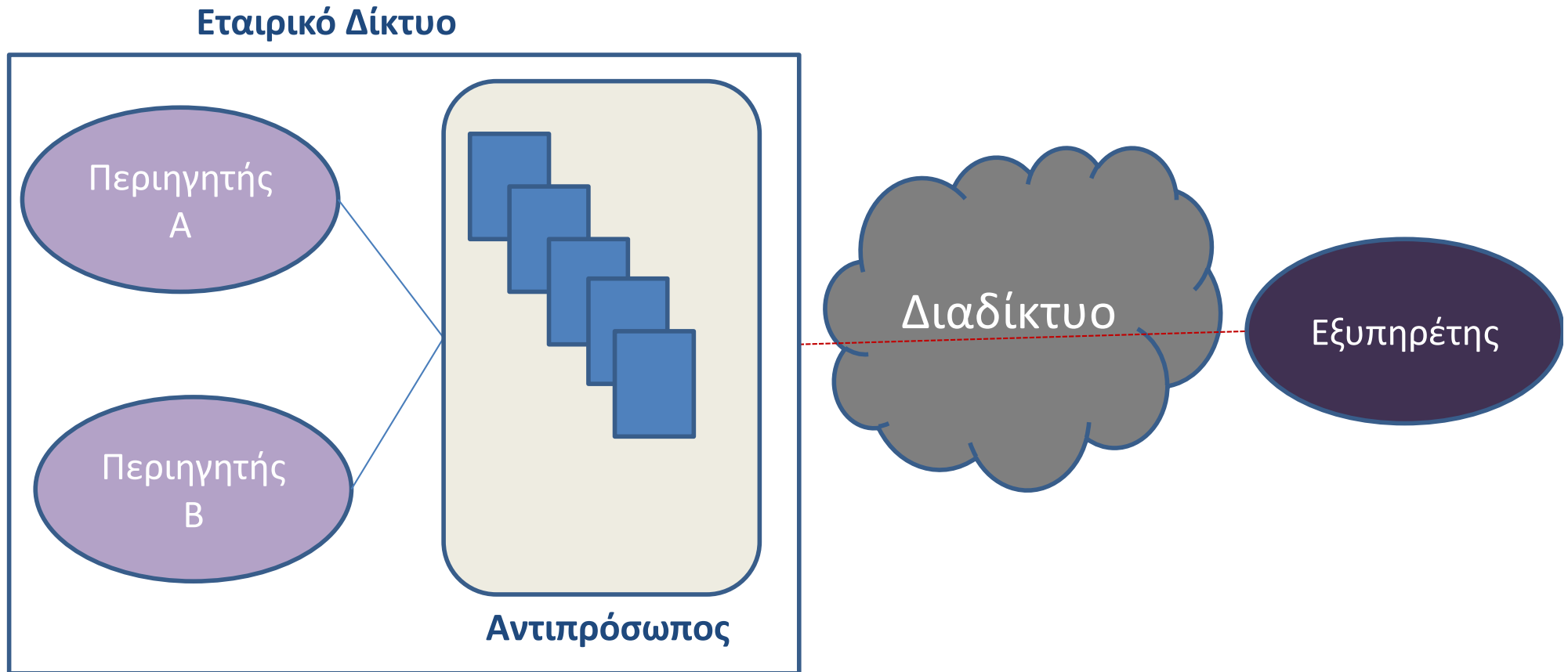
Βασικά για κρυφές μνήμες στον Ιστό

- Γεγονός: Περιηγητές αποθηκεύουν στον τοπικό δίσκο πρόσφατες ιστοσελίδες αυτόματα.

Ορολογία:

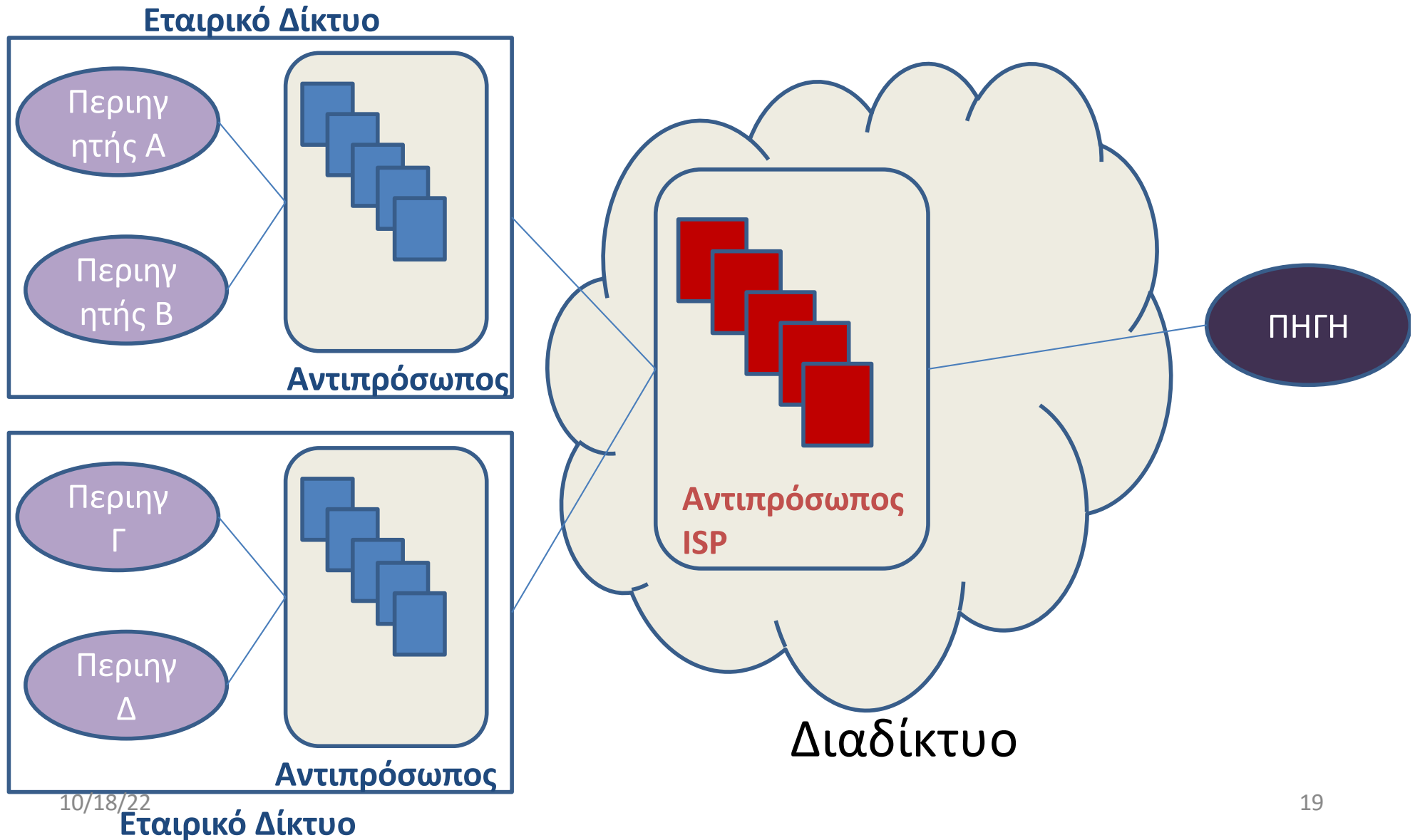
- **Αντιπρόσωπος** κρυφής μνήμης (**web caching proxy**)
 - Προσφέρει μια **διαμοιραζόμενη κρυφή μνήμη** σε πολλούς περιηγητές.
 - Παρεμβάλλεται μεταξύ του **εξυπηρέτη πηγής (web origin server)** και του περιηγητή.
 - Έχει διπλό ρόλο:
 - πελάτη: προωθεί αιτήσεις που δεν μπορούν να απαντηθούν από την κρυφή μνήμη στην πηγή,
 - Εξυπηρέτη: ικανοποιεί αιτήσεις περιηγητών χρησιμοποιώντας την κρυφή μνήμη του.
- **Cache hit / miss** (επιτυχία / αποτυχία).

Εισαγωγή: Βασικά για κρυφές μηνύμες στον Ιστό



Είναι επίσης δυνατόν να σχηματιστούν 'αλυσίδες αντιπροσώπων'.

Εισαγωγή: Βασικά για κρυφές μνήμες στον Ιστό



Τυπική υλοποίηση

- Apache
 - Apache Traffic Server
 - Nginx
 - Squid
 - IIS
-
- Σχετικά «φθηνό» hardware

Εισαγωγή:

Βασικά για κρυφές μνήμες στον Ιστό

- Ωφέλη για:
 - Χρήστες
 - ISPs
 - Εξυπηρετές / παροχείς περιεχομένου
 - Διαδίκτυο
- Χρήστες:
 - Πιθανά, πιο γρήγορη ανταπόκριση σε αιτήσεις
 - ISPs
 - Λιγότερη κίνηση εκτός δικτύου τους, μικρότερες απαιτήσεις για εύρος ζώνης από άλλους ISPs → εξοικονόμηση χρημάτων.
- Εξυπηρετές / παροχείς περιεχομένου
 - Μικρότερος φόρτος εργασίας στους εξυπηρετές
- Διαδίκτυο
 - Λιγότερη κίνηση συνολικά στο διαδίκτυο.

Εισαγωγή:

Βασικά για κρυφές μνήμες στον Ιστό

- Μπορούν οι αντιπρόσωποι με κρυφές μνήμες (**web caching proxies**) να λύσουν το πρόβλημα (web scalability);
- Όχι μόνοι τους!
- Πάροχοι περιεχομένου: Χάνουν τον έλεγχο
 - copyrights,...
 - ‘φρεσκάδα’ περιεχομένου (αλγόριθμοι συνέπειας από ποιόν;...)
- Στατιστικές καταγραφής επισκεψιμότητας σελίδων → χρήμα (διαφημίσεις, κλπ)
- Περιεχόμενο
 - που δημιουργείται δυναμικά ή
 - Είναι προσωποποιημένο
- Εν τέλει, όλο και κάποιες αιτήσεις καταφτάνουν στην πηγή!
- → απαιτείται πλεονασμός περιεχομένου των πηγών (αντίγραφα) – **web replication**.

Εισαγωγή:

Αντίγραφα στον Ιστό

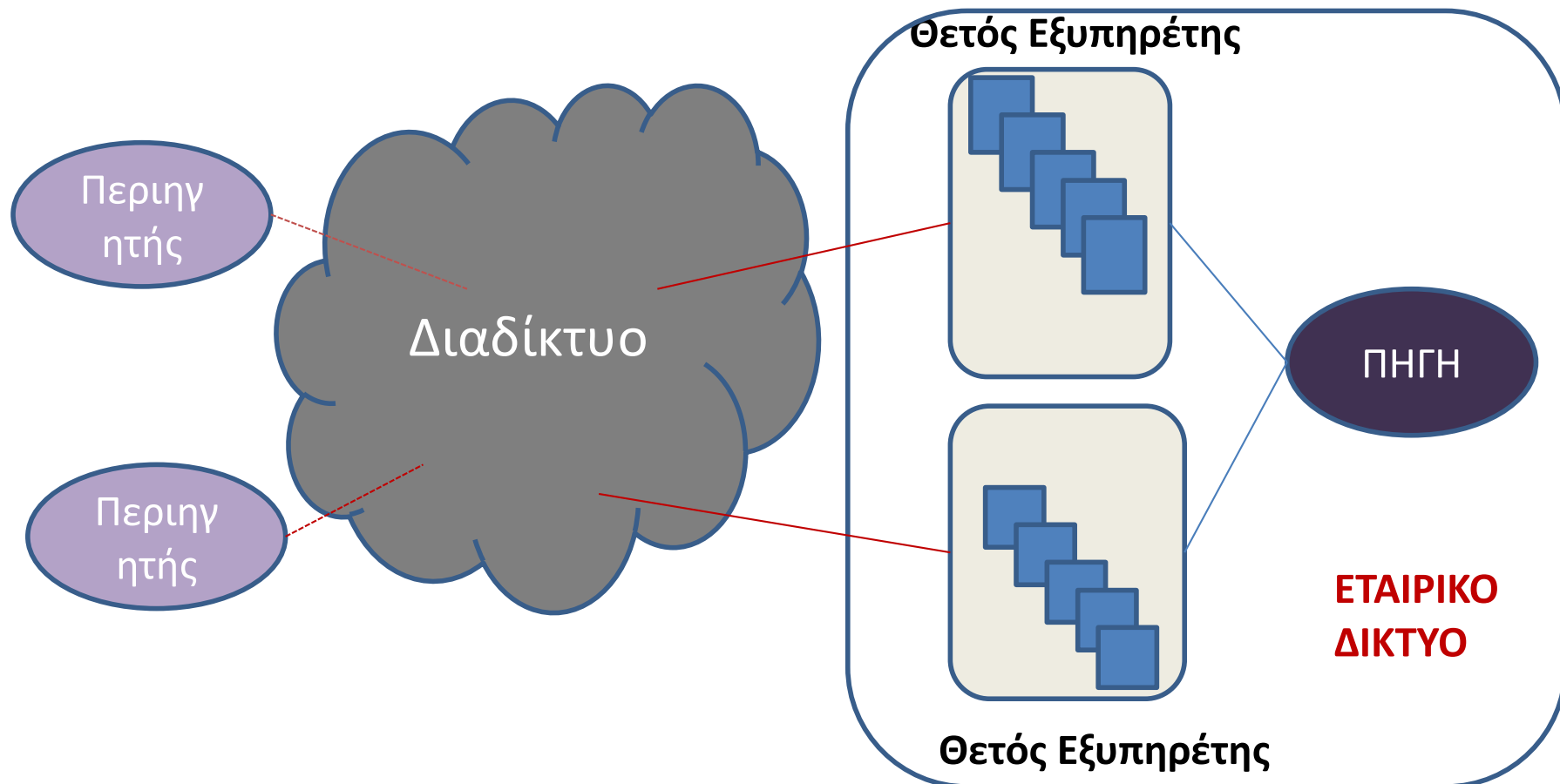
- Δεν είναι αποδεκτή όμως ως λύση για Υπηρεσίες φιλοξενίας στον Ιστό (web hosting).
 - Φιλοξενούνται εκαντοντάδες ή χιλιάδες παροχείς περιεχομένου, εκατομμύρια σελίδες, χιλιάδες εξυπηρετές-πηγές...
 - Τεράστια σπατάλη από την υπερ-δέσμευση πόρων.
- Έτσι προέκυψε η λύση **‘διαφανής, δυναμική αντιγραφή’ (transparent dynamic replication)**.
 - Αντίγραφα δημιουργούνται και διαγράφονται ή/και μετακινούνται δυναμικά και αυτόματα
 - Η απόφαση λαμβάνεται με βάση στατιστικά στοιχεία δημοφιλίας κλπ για αντικείμενα, σελίδες, τόπους, κλπ.
 - Δηλ. καθρέπτες μπορεί να περιέχουν είτε ολόκληρο τόπο, είτε μέρος του → «μερικός καθρέπτης».

Εισαγωγή: Αντίγραφα στον Ιστό

- Παράδειγμα
 - ΥΦΙ φιλοξενεί 2 εταιρείες παροχής περιεχομένου
 - Μια για το ΧΑ: απαιτεί κατά μέσο όρο 2 εξυπηρέτες με 100Mbps καθένας και κατά μέγιστη χρήση (μεταξύ 12-5μμ) 4 εξυπηρέτες με 100Mbps καθένας.
 - Μια για βιντεοταινίες: απαιτεί κατά μέσο όρο 2 εξυπηρέτες με 100Mbps καθένας και κατά μέγιστη χρήση (μεταξύ 8μμ-11μμ) 4 εξυπηρέτες με 100Mbps καθένας.
 - Με «διαφανή δυναμική αντιγραφή» συνολικά 4 εξυπηρέτες αρκούν.
 - Με «στατικό καθρεπτισμό», απαιτούνται 8 εξυπηρέτες.

Εισαγωγή: Αντίγραφα στον Ιστό

- Διαφανής δυναμική αντιγραφή με **θετούς εξυπηρέτες (surrogate servers)**.



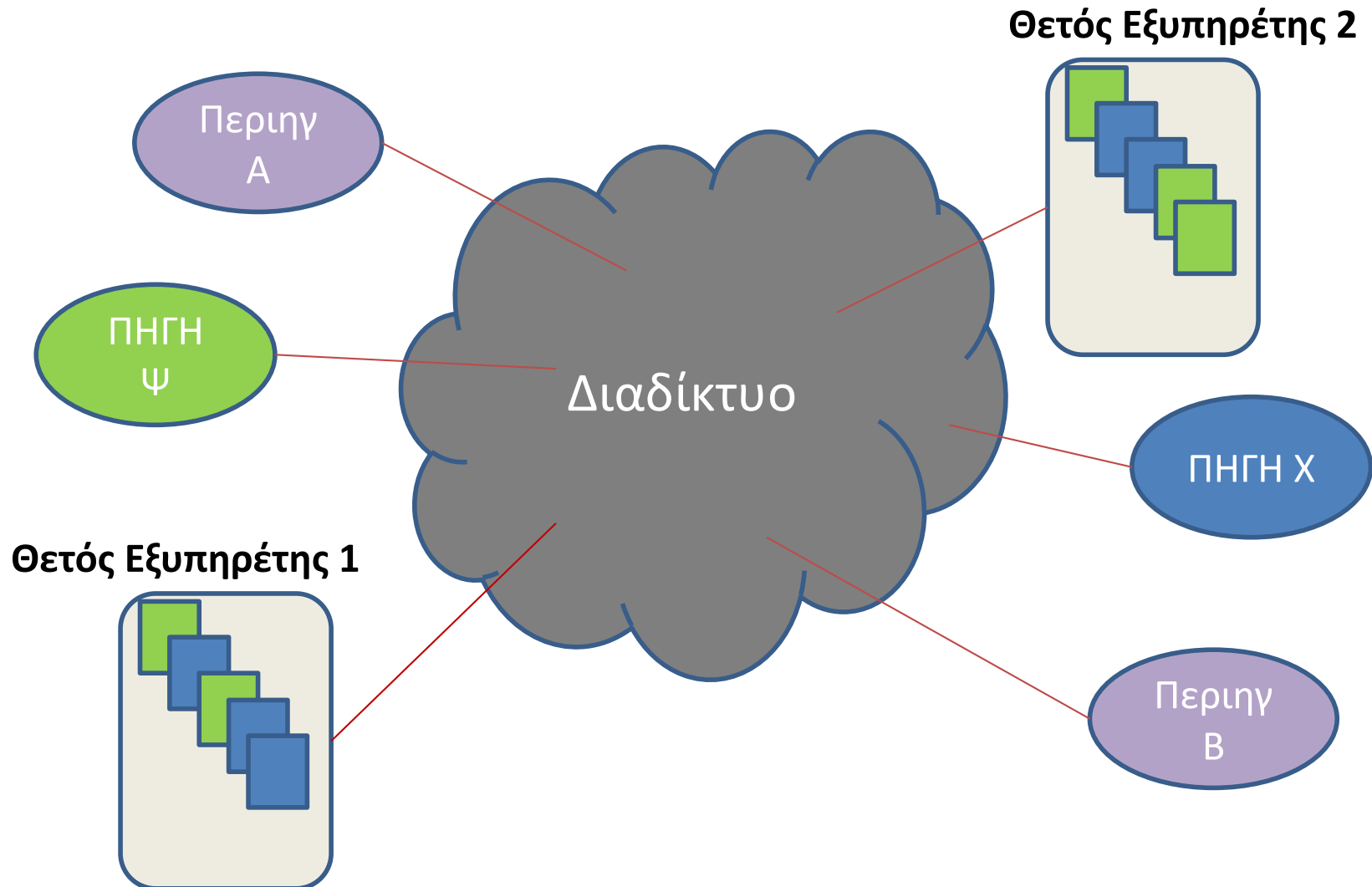
Εισαγωγή: Αντίγραφα στον Ιστό

- Οι θετοί εξυπηρέτες λέγονται και **ανάστροφοι αντιπρόσωποι (reverse proxies)**
- Ο θετός εξυπηρέτης
 - Ικανοποιεί την αίτηση από την κρυφή του μνήμη, αν μπορεί,
 - Άλλως
 - προωθεί την αίτηση στην πηγή
 - Λαμβάνει το αντικείμενο
 - Το αποθηκεύει στην κρυφή του μνήμη (για μελλοντική χρήση) και
 - Το επιστρέφει στον πελάτη.
- Προσέξτε: ο θετός λειτουργεί σαν μερικός καθρέπτης με δυναμικά μεταβαλλόμενο περιεχόμενο.

Εισαγωγή: Αντίγραφα στον Ιστό

- Συχνά, ένας **θετός εξυπηρέτης διαμοιράζεται** ανάμεσα σε πολλούς ιστότοπους, έτσι χρησιμοποιείται από πολλούς πάροχους περιεχομένου – βλέπε επόμενο σχήμα.
- Ένας διαμοιραζόμενος θετός εξυπηρέτης αποθηκεύει στην κρυφή του μνήμη αντικείμενα από όλους τους ιστότοπους.
- Σε αποτυχία (miss) επικοινωνεί με την κατάλληλη πηγή-εξυπηρέτη για τον ιστότοπο.
- Τα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (content delivery networks – **CDNs**) βασίζονται σε διαμοιραζόμενους θετούς εξυπηρέτες.

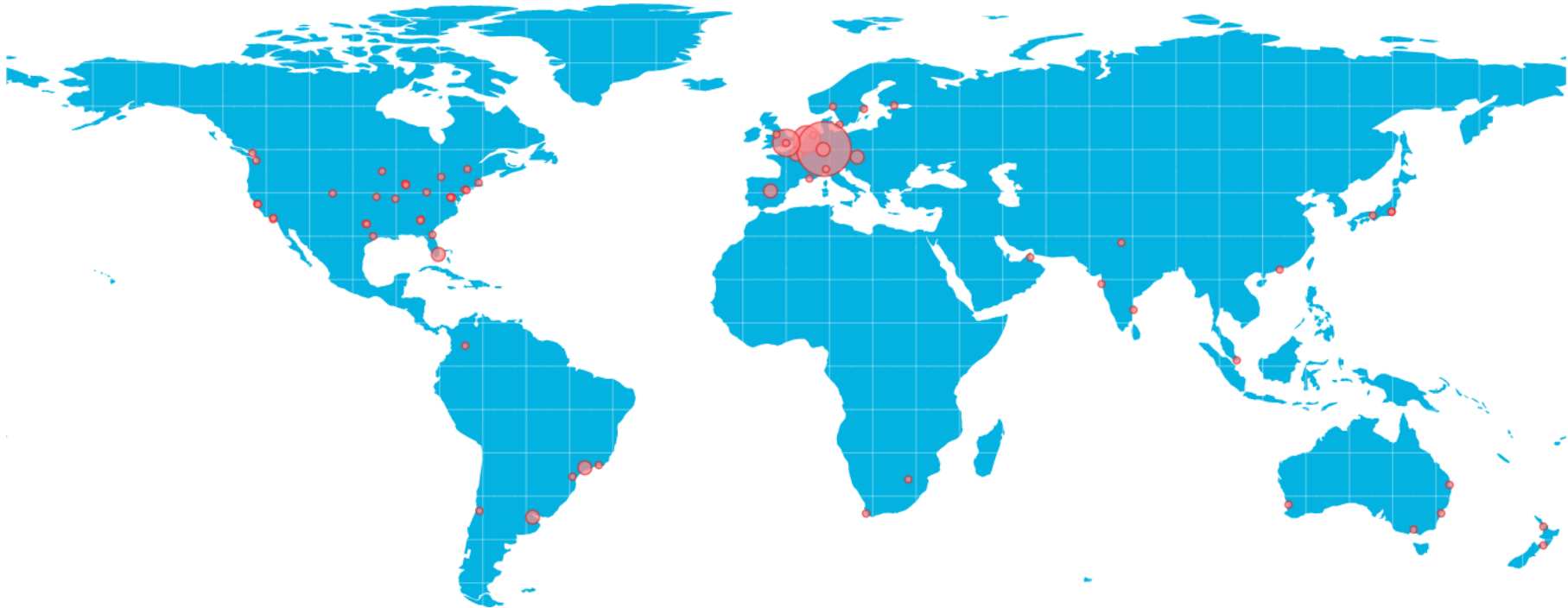
Εισαγωγή: Αντίγραφα στον Ιστό



Εισαγωγή: Αντίγραφα στον Ιστό

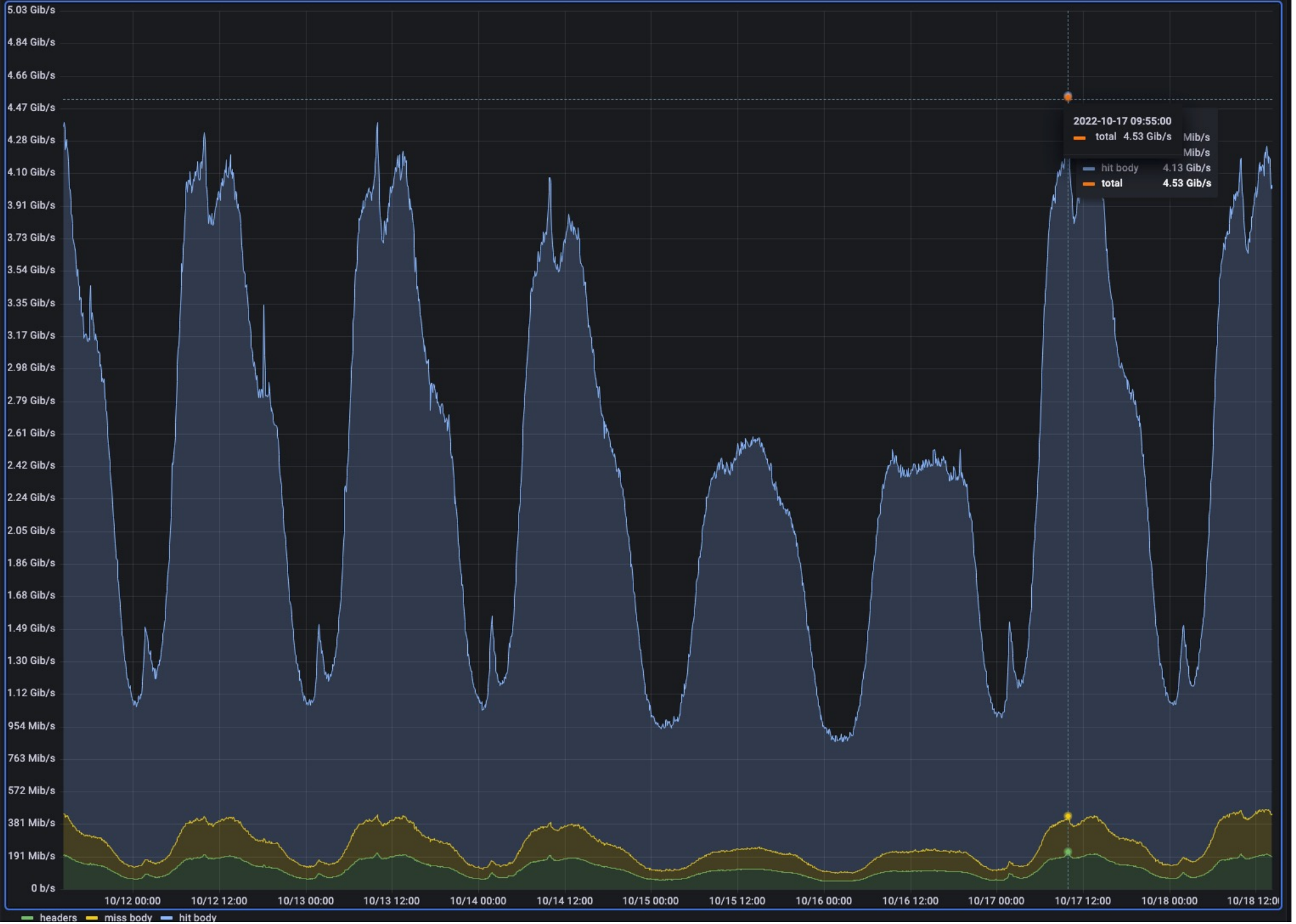
- Τα CDNs αποτελούν ήδη μια επιτυχημένη βιομηχανία με πολλές μεγάλες εταιρείες (Akamai, Digital Ocean, ...)
- Βασικά, πωλούν υπηρεσίες θετών εξυπηρέτων σε παροχείς περιεχομένου.
- Το κλειδί της επιτυχίας τους έγκειται στην **ανάπτυξη θετών εξυπηρέτων σε σημεία κλειδιά** του Διαδικτύου.

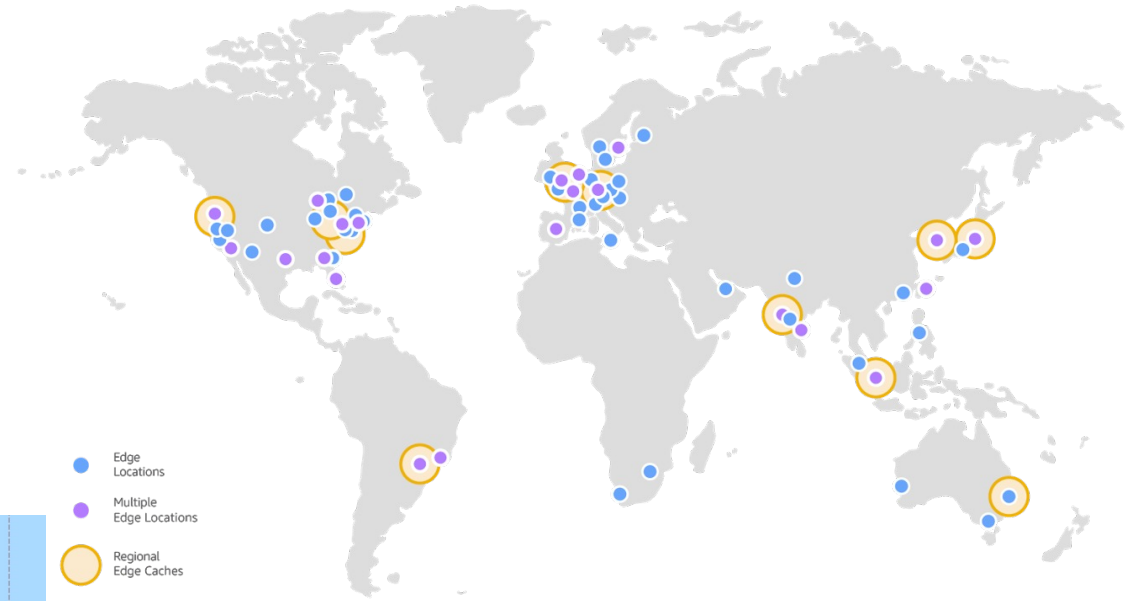
OSM tile CDN



[Ran by FASTLY since 2021](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Servers/Tile_Rendering)
https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Servers/Tile_Rendering

Client Traffic



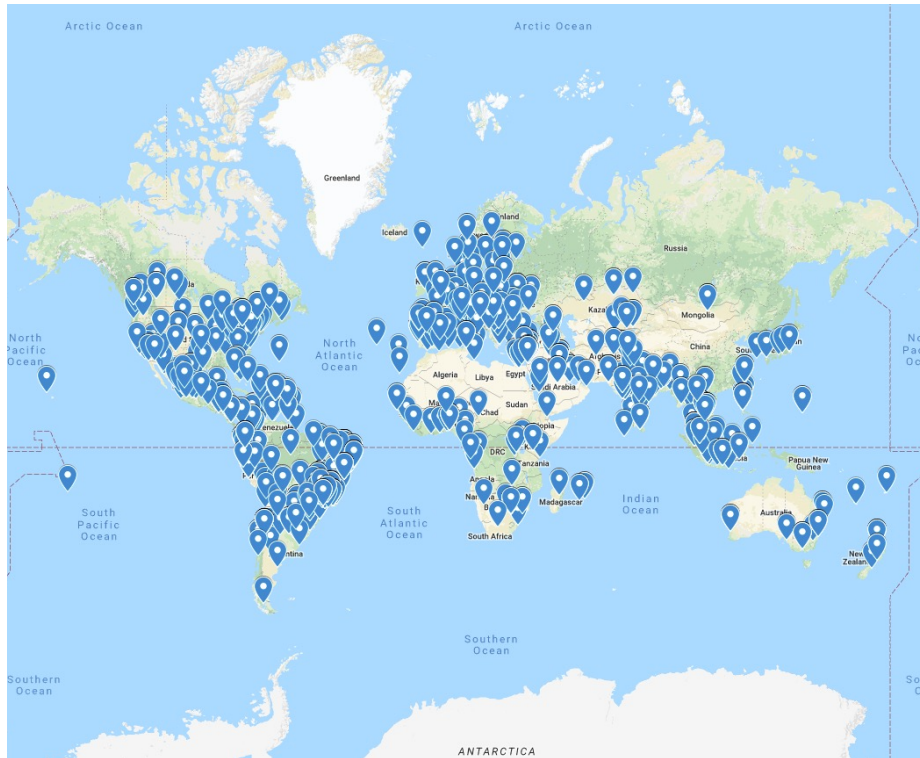


Amazon CloudFront

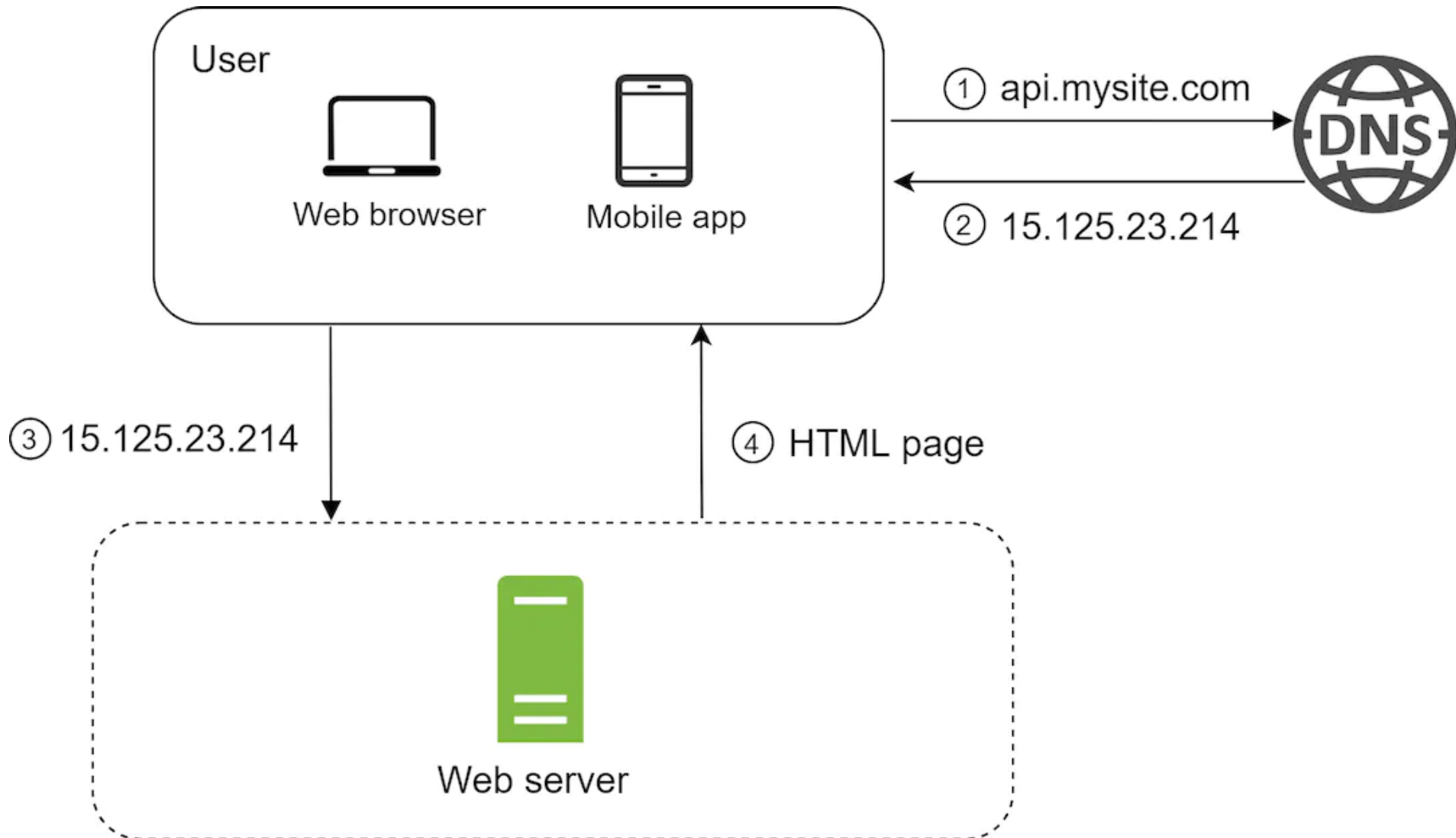
<https://aws.amazon.com/cloudfront/details/>

Facebook FNA nodes

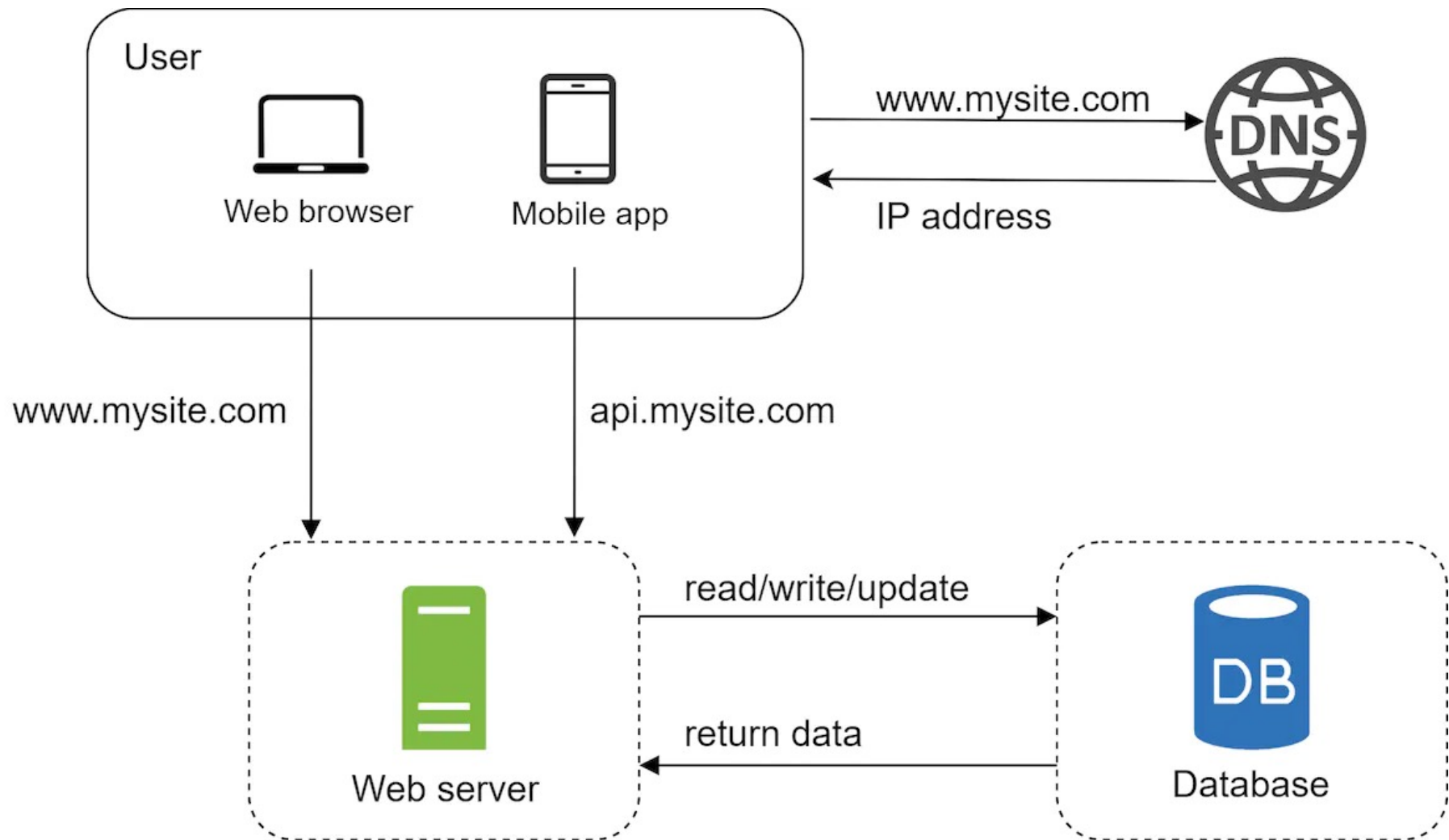
<https://anuragbhatia.com/2018/03/networking/isp-column/mapping-facebooks-fna-cdn-nodes-across-the-world/>



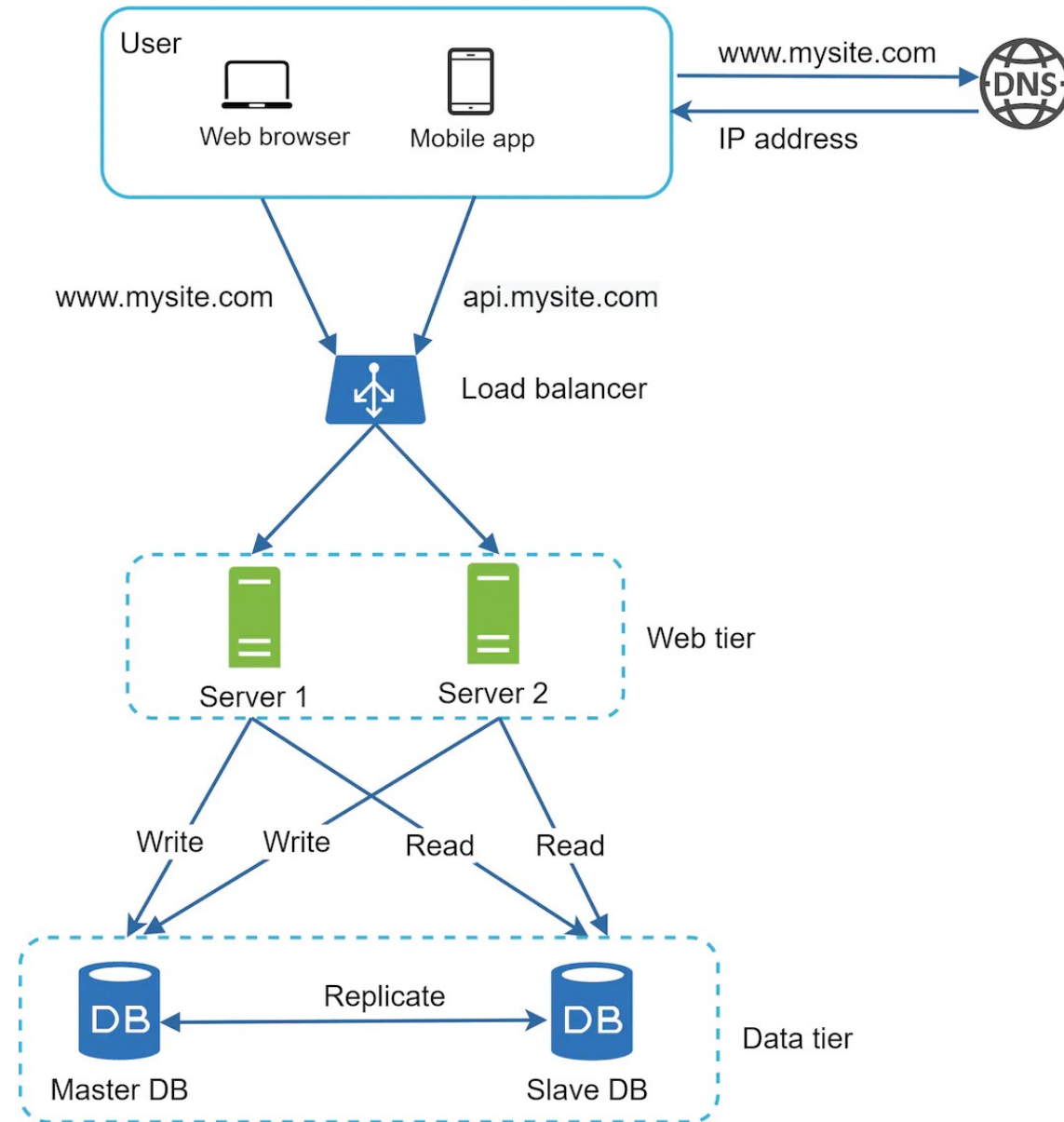
1990



1995

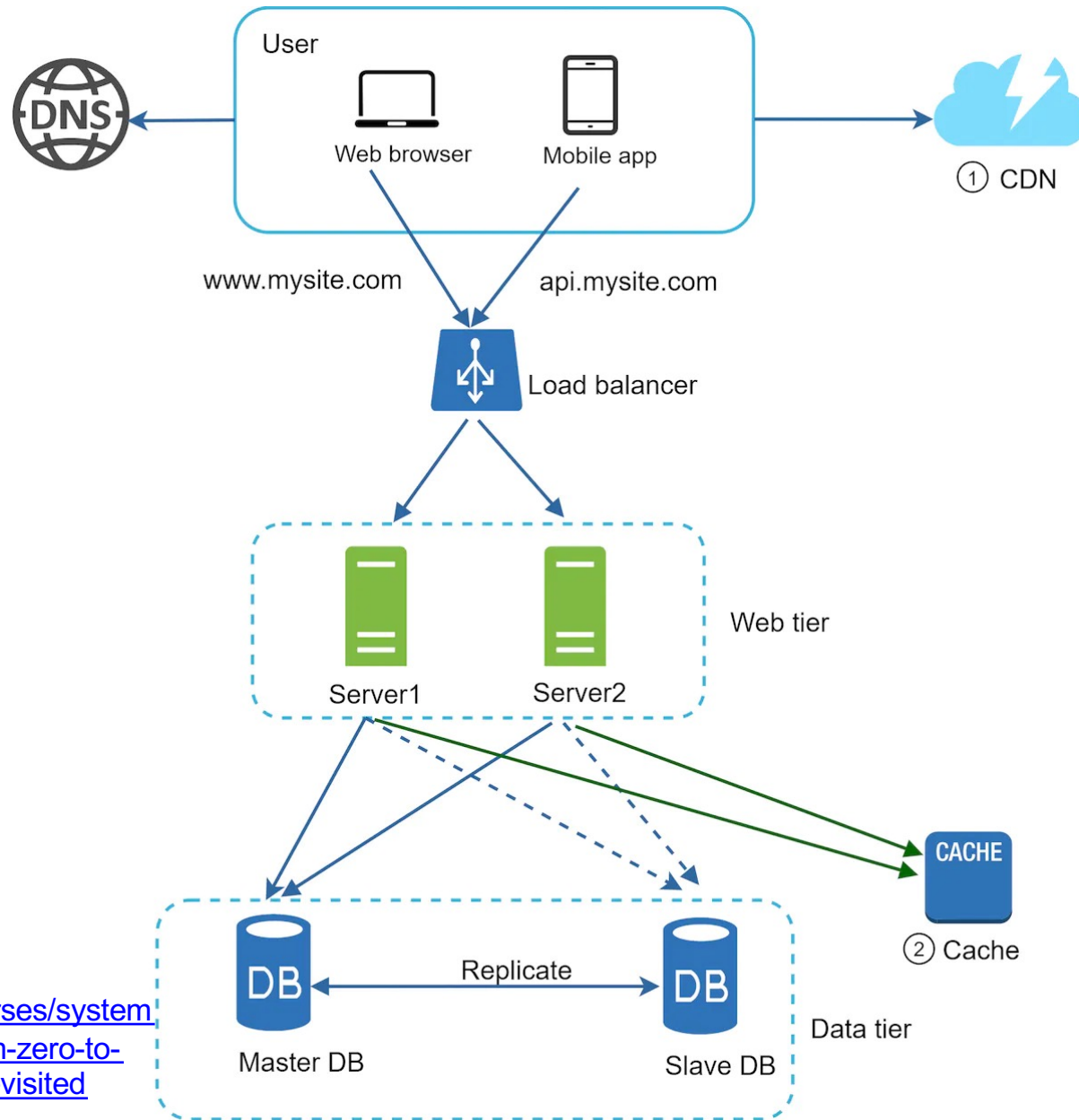


2000



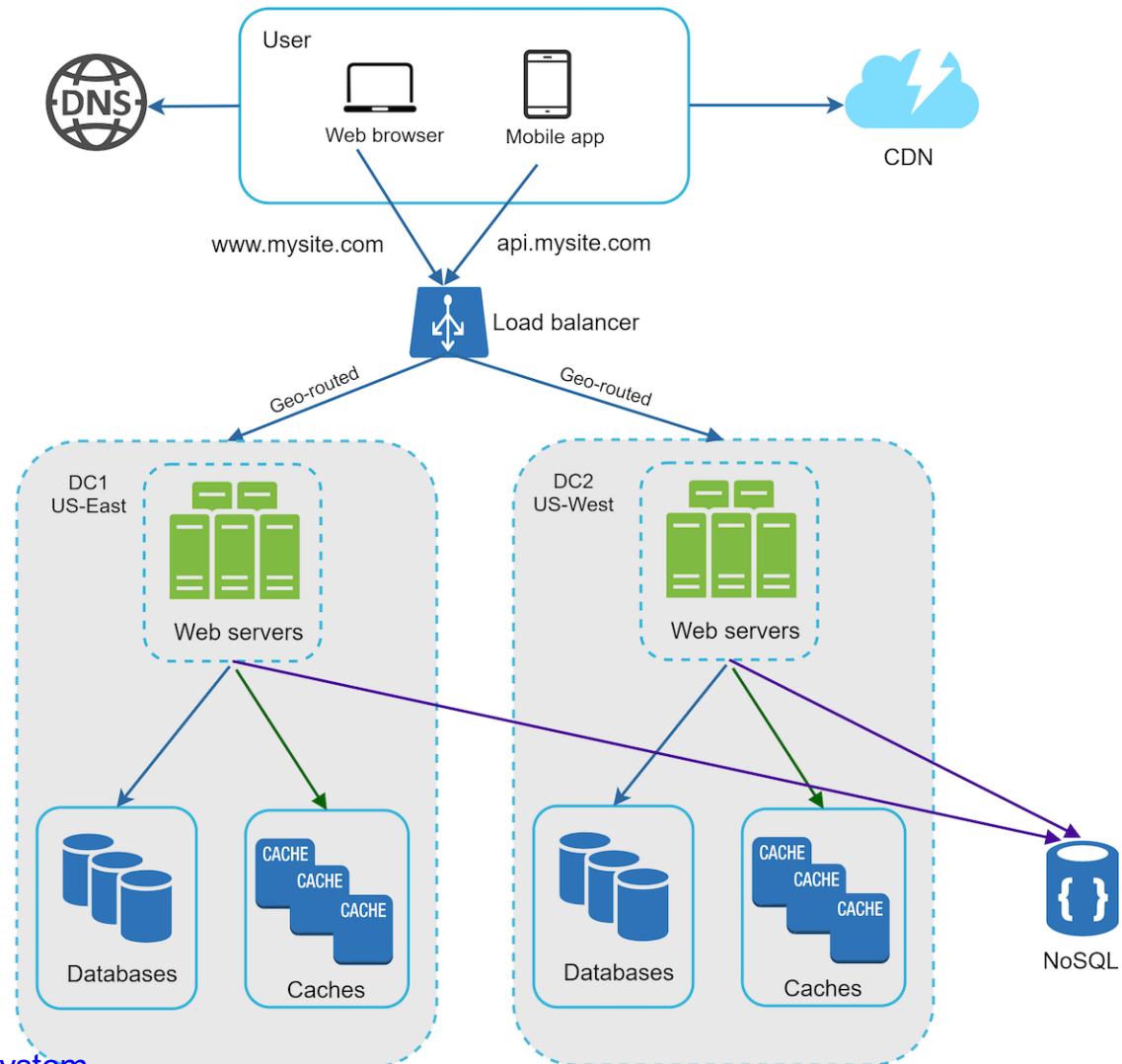
<https://bytebytego.com/courses/system-design-interview/scale-from-zero-to-millions-of-users?fpr=javarevisited>

2005



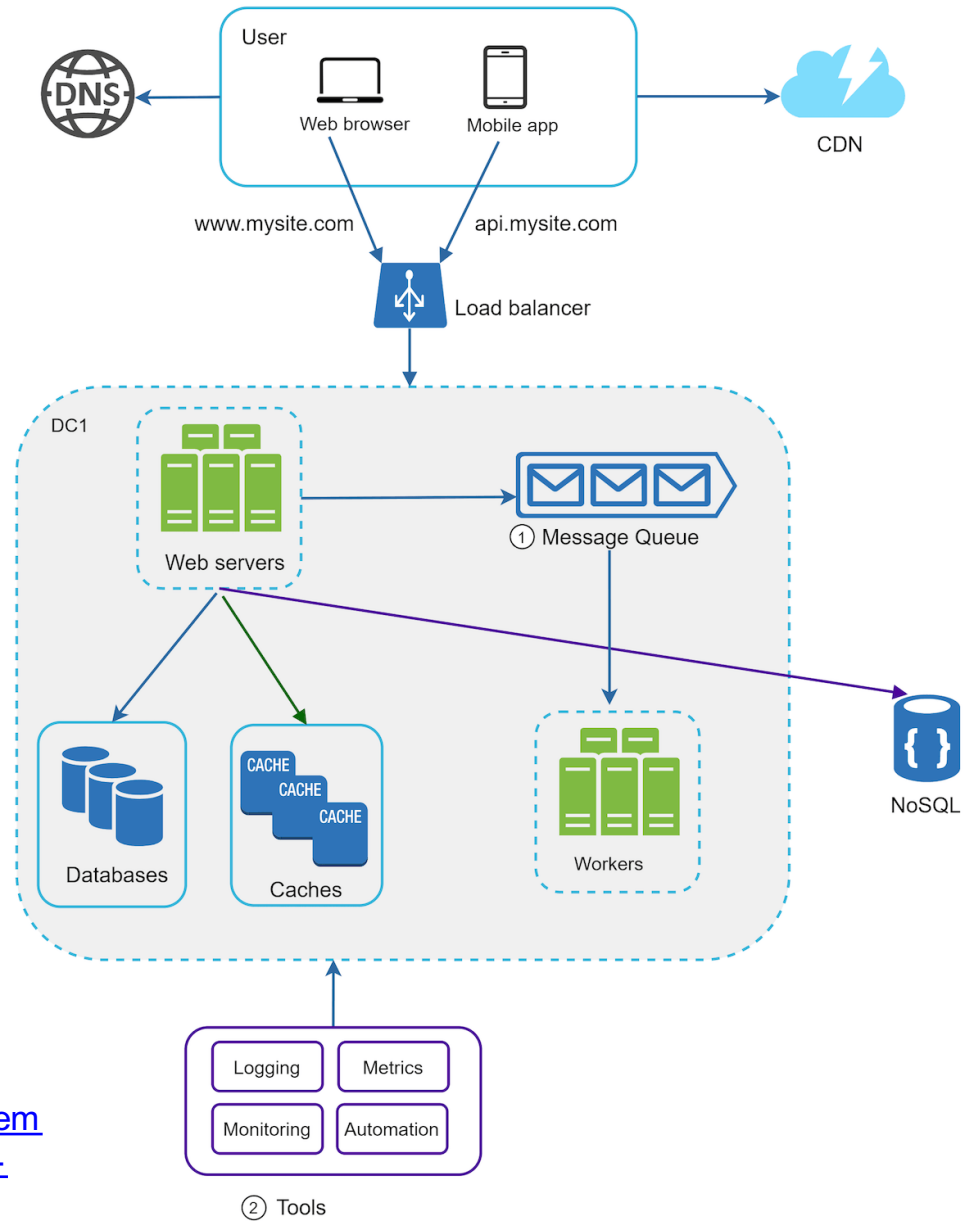
<https://bytebytego.com/courses/system-design-interview/scale-from-zero-to-millions-of-users?fpr=javarevisited>

2010



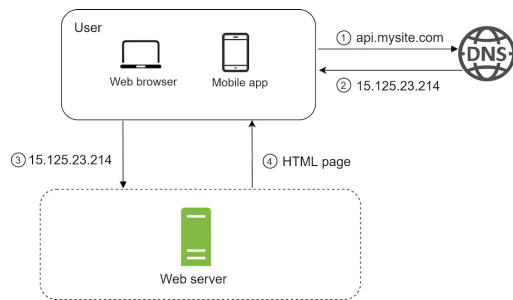
<https://bytebytego.com/courses/system-design-interview/scale-from-zero-to-millions-of-users?fpr=javarevisited>

2020

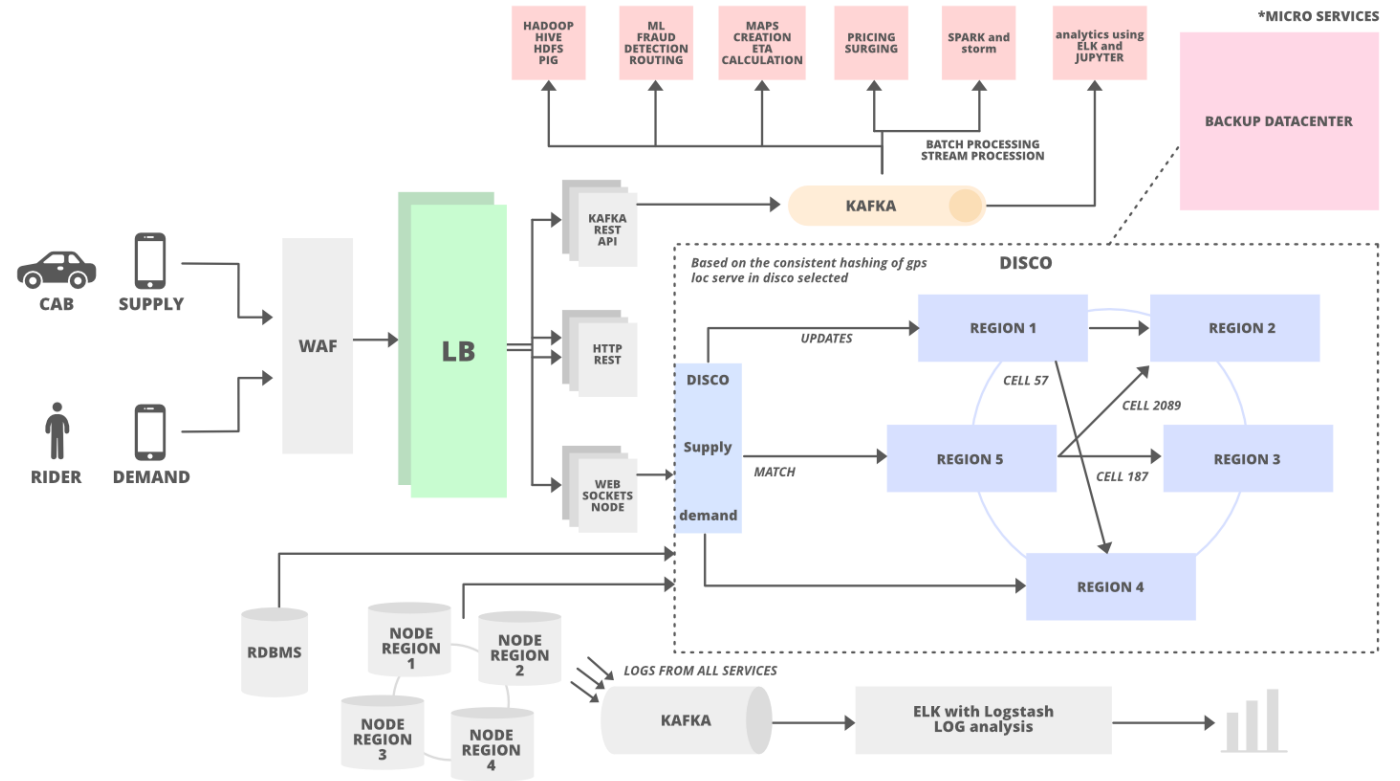


<https://bytebytego.com/courses/system-design-interview/scale-from-zero-to-millions-of-users?fpr=javarevisited>

1990



2020



<https://bytebytego.com/courses/system-design-interview/scale-from-zero-to-millions-of-users?fpr=javarevisited>

Εισαγωγή: Αντίγραφα στον Ιστό

- Τα ωφέλη από την αντιγραφή ιστοτόπων είναι αντίστοιχα αυτών από τις κρυφές μνήμες των αντιπροσώπων.
- Ωφέλη για:
 - Χρήστες
 - Εξυπηρέτες / παροχείς περιεχομένου
 - Διαδίκτυο
- Χρήστες:
 - Πιθανά, πιο γρήγορη ανταπόκριση σε αιτήσεις από γειτνιάζοντες θετούς εξυπηρέτες
- Εξυπηρέτες / πάροχοι περιεχομένου
 - Μικρότερος φόρτος εργασίας στους εξυπηρέτες-πηγές
- Διαδίκτυο
 - Λιγότερη κίνηση συνολικά στο διαδίκτυο, εξ αιτίας της γειτνίασης θετών εξυπηρέτων με πελάτες (**localized traffic**).

Εισαγωγή: Αντίγραφα στον Ιστό

- Η αντιγραφή ιστότοπων όμως δεν είναι πανάκεια.
 - Είναι ακριβή και δεν μπορούν όλοι οι πάροχοι περιεχομένου να επωφεληθούν
 - Επίσης, οι ανάστροφοι αντιπρόσωποι ενός CDN, όσο καλά τοποθετημένοι και αν είναι, δεν μπορούν να βρίσκονται τόσο κοντά στους πελάτες, όσο οι αντιπρόσωποι μιας ISP.
- ➔ και οι 2 τεχνολογίες είναι συμπληρωματικές και απαιτούνται για την επίλυση του προβλήματος της κλιμάκωσης στον Ιστό.

Εισαγωγή: Αντίγραφα και Κρυφές Μνήμες στον Ιστό

- Θεμελιώδεις διαφορές:
 - Με κρυφές μνήμες (αντιπρόσωποι)
 - Οι πελάτες έχουν τον έλεγχο
 - Βελτιώνεται η πρόσβαση συγκεκριμένων πελατών σε οποιαδήποτε σελίδα
 - Με αντίγραφα (ανάστροφοι αντιπρόσωποι)
 - Οι πάροχοι έχουν τον έλεγχο
 - Βελτιώνεται η πρόσβαση σε συγκεκριμένες σελίδες από οποιουδήποτε πελάτες.