

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΜΕ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ (Content Delivery
Networks - CDN)**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΧΕΙΜΑΡΓΙΩΤΗ ΧΡΥΣΟΥΛΑ
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΚΟΤΣΙΝΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

Πάτρα, 2016

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Ακόμα δηλώνω ότι αυτή η γραπτή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ειδικά για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία και ότι θα αναλάβω πλήρως τις συνέπειες εάν η εργασία αυτή αποδειχθεί ότι δεν μου ανήκει.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ 1

ΑΜ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΧΕΙΜΑΡΣΙΩΤΗ ΧΡΥΣΟΥΔΑ

1490



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ 2

ΑΜ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

(σε περίπτωση που είναι απαραίτητο)

.....

.....

.....

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ 3

ΑΜ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

(σε περίπτωση που είναι απαραίτητο)

.....

.....

.....

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σύγχρονη εποχή συνδέει τη ζωή μας όλο και περισσότερο με το διαδίκτυο και τις υπηρεσίες του. Είναι πλέον σπάνιο κάποιος να μη συνδέεται στο διαδίκτυο σε καθημερινή βάση τόσο για επαγγελματικούς όσο και για ψυχαγωγικούς λόγους. Πώς όμως εξυπηρετείται όλη αυτή η κίνηση στο διαδίκτυο; Κείμενο σε ιστοσελίδες, μουσικά αρχεία, αρχεία βίντεο, ροές streaming βίντεο σε ζωντανή ή μη σύνδεση και συναλλαγές διαφόρων ειδών. Οι ανάγκες εκτός του μεγάλου αριθμού τους, έχουν αυξηθεί όσον αφορά και στους πόρους τους οποίους απαιτούν, με αποτέλεσμα η απαίτηση για αυξημένη εξυπηρέτηση διαδικτυακού περιεχομένου να απαιτεί ειδικές λύσεις. Πως θα διαχυθεί όλο αυτό το περιεχόμενο σε όλο τον πλανήτη; Η λύση για αυτά τα ερωτήματα βρίσκεται στα δίκτυα διανομής περιεχομένου (Content Delivery Networks), δίκτυα που αναλαμβάνουν να διανείμουν το περιεχόμενο με ταχύτητα, ασφάλεια και ακρίβεια στους χρήστες σε όλη την υφήλιο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία μελετώνται τα δίκτυα διανομής περιεχομένου εξ αρχής. Αφού παρουσιαστούν βασικές έννοιες των δικτύων, των ιστοσελίδων και του διαδικτύου ξεκινά μια πλήρης παρουσίαση των δικτύων διανομής περιεχομένου (CDN) που πλέον είναι αναπόσπαστο κομμάτι του διαδικτύου και βοηθούν στο να γίνεται η περιήγηση στο διαδίκτυο αποδοτικότερα και πιο ευχάριστα.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες των δικτύων υπολογιστών. Ορίζεται το τι είναι δίκτυο και απαριθμούνται τα είδη των δικτύων, με βάση τη γεωγραφική τους ανάπτυξη και τον τηλεπικοινωνιακό τους φορέα. Έπειτα αναλύονται τα δομικά στοιχεία υλοποίησης των δικτύων και τα βασικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά το σχεδιασμό ιστοσελίδων. Αρχικά, γίνεται εισαγωγή στο σύστημα World Wide Web (WWW). Εξηγείται ο μηχανισμός URL, το πρότυπο HTTP και η γλώσσα HTML. Παρουσιάζεται ο τρόπος σχεδιασμού του βασικού περιεχομένου μιας σελίδας web και μέθοδοι που μπορούν να αυξήσουν την ταχύτητα φόρτωσης μιας σελίδας. Εφαρμόζοντας αυτές τις μεθόδους οι ιστοσελίδες γίνονται όσο λιγότερο ‘βαριές’ γίνεται και βελτιώνεται η δομή τους διευκολύνοντας έτσι τη μεταφορά τους στο διαδίκτυο.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το διαδίκτυο σα μέσο επικοινωνίας και διασύνδεσης. Παρουσιάζεται τόσο από τεχνικής απόψεως σε ένα υψηλό επίπεδο, όσο και ο τρόπος που κάποιος μπορεί να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο εισάγοντας την έννοια των παρόχων διαδικτύου και παρουσιάζοντας, πάλι από υψηλό επίπεδο, κάποιους ορισμούς.

Το τέταρτο κεφάλαιο είναι το κύριο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας. Η αρχιτεκτονική των δικτύων διανομής περιεχομένου παρουσιάζεται αναλυτικά με κάθε λεπτομέρεια. Δίδονται βασικοί, εισαγωγικοί ορισμοί των εννοιών που αποτελούν το δίκτυο. Έπειτα αναλύεται η αρχιτεκτονική των δικτύων CDN, η οποία διαχωρίζεται σε επίπεδα τα οποία αναλύονται με τεχνικές λεπτομέρειες. Απαριθμούνται και αναλύονται τα πρωτόκολλα, οι αλγόριθμοι και οι διάφορες επιλογές που έχει ένας πάροχος δικτύου CDN ώστε να δώσει ειδικά χαρακτηριστικά στο δίκτυο του και να βελτιστοποιήσει κάποιες από τις παραμέτρους του. Έπειτα παρουσιάζονται τα δίκτυα CDN της Akamai, το δίκτυο Limelight, το Microsoft Azure CDN και το Amazon Cloud Front ώστε να γίνει αντιληπτή η δομή αυτών των διαφορετικών δημοφιλών εμπορικών δικτύων CDN. Τέλος, γίνεται παρουσίαση της πολιτικής κοστολόγησης των δημοφιλέστερων δικτύων διανομής περιεχομένου και των υπηρεσιών, που αυτά παρέχουν, ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα των οικονομικών μεγεθών της παροχής υπηρεσιών CDN.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ.....	9
1.1 Τι είναι δίκτυο υπολογιστών	9
1.2 Είδη δικτύων	9
1.3 Δομικά στοιχεία υλοποίησης δικτύων.....	10
1.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΩΝ	13
2.1 Εισαγωγή στο σύστημα World Wide Web	13
2.2 Σχεδιασμός του βασικού περιεχομένου μιας σελίδας web	17
2.3 Ο ρόλος της ταχύτητας σε ένα website	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	23
3.1 Τι είναι το Διαδίκτυο.....	23
3.2 Πρόσβαση στο Διαδίκτυο	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: CONTENT DELIVERY NETWORKS (CDN).....	25
4.1 Εισαγωγή στα δίκτυα διανομής περιεχομένου.....	25
4.1.1 Βασικές έννοιες δικτύων CDN.....	26
4.1.2 Η δομή των CDN	30
4.2 Παραδείγματα εμπορικών δικτύων CDN.....	45
4.2.1 Το δίκτυο Akamai	45
4.2.2 Το δίκτυο Limelight	46
4.2.3 Το δίκτυο Microsoft Azure CDN.....	47
4.2.4 Το δίκτυο Amazon Cloud Front.....	50
4.2.5 Σύγκριση Κοστολόγησης δημοφιλών CDN.....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Ιεραρχία συστήματος DNS	28
Εικόνα 2 Οι τοποθεσίες των 13 root name servers	29
Εικόνα 3 Όλες οι τοποθεσίες των root name servers μαζί με τα αντίγραφά τους.....	30
Εικόνα 4 Διάγραμμα εξυπηρέτησης αιτήματος παροχής περιεχομένου μέσω δικτύου CDN	32
Εικόνα 5 Αναπαράσταση παροχής υπηρεσίας CDN.....	32
Εικόνα 6 Υποδομή Microsoft Azure.....	47
Εικόνα 7 Ιεραρχική δομή αποθήκευσης σε blobs	48
Εικόνα 8 Διαμοιρασμός πολυμέσων μέσω του δικτύου Microsoft Azure CDN	49
Εικόνα 9 Υπηρεσίες Azure CDN	49
Εικόνα 10 Εξυπηρέτηση αιτημάτων χρηστών από το Amazon Cloud Front.....	50
Εικόνα 11 Λίστα εξυπηρετητών Amazon Cloud Front ανά ήπειρο.....	51
Εικόνα 12 Εξυπηρέτηση στατικού και δυναμικού περιεχομένου	52
Εικόνα 13 Αποτελέσματα Last Mile Tests της Gomez για μεγάλα αρχεία	52
Εικόνα 14 Αποτελέσματα Last Mile Tests της Gomez για μικρά αρχεία.....	53

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Κύριοι πάροχοι δικτύων CDN.....	26
Πίνακας 2 Λίστα root name servers	29
Πίνακας 3 Καθυστερήσεις δικτύου Akamai ανά ήπειρο	46
Πίνακας 4 Καθυστερήσεις δικτύου Limelight ανά ήπειρο ²⁷	46

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφεύρεση του διαδικτύου άνοιξε νέους ορίζοντες για την ανθρωπότητα. Η επιστήμη της πληροφορικής και των επικοινωνιών απέκτησαν νέα αντικείμενα μελέτης και δημιούργησαν δομές και αρχιτεκτονικές ώστε να εξυπηρετήσουν τη μεταφορά δεδομένων σε παγκόσμιο επίπεδο. Η χρήση του διαδικτύου, τα πρώτα χρόνια της ύπαρξής του τη δεκαετία του 1980, περιοριζόταν μόνο σε ακαδημαϊκή και στρατιωτική χρήση. Η δεκαετία του 1990 έφερε αλλαγές στην τεχνολογία γενικότερα κάνοντας τους προσωπικούς υπολογιστές ισχυρότερους και οικονομικά προσιτούς, έφερε τη χρήση των οπτικών ινών, την εξέλιξη του πρωτοκόλλου HTTP και των internet browsers. Η προσέγγιση αυτή του κοινού με τη χρήση του διαδικτύου δημιούργησε νέες ανάγκες και δυνατότητες που έπρεπε να εξυπηρετηθούν. Η ευρεία χρήση του διαδικτύου γέννησε ιδέες τόσο επιχειρηματικές όσο και επιστημονικές. Το διαδίκτυο εκτός από μέσο επικοινωνίας ανθρώπων έγινε μέσο διαμοιρασμού της γνώσης, πάροχος ψυχαγωγικού περιεχομένου και φορέας διαφήμισης προϊόντων και υπηρεσιών σε παγκόσμια πλέον κλίμακα. Το δίκτυο πλέον πλημμυρίζει με πολυμέσα, εικόνα, ήχος, βίντεο βρίσκονται στην υπηρεσία των χρηστών του διαδικτύου. Η αυξημένη κίνηση και ζήτηση περιεχομένου τροφοδοτείται επιπλέον και από τη βελτίωση της τεχνολογίας του διαδικτύου τόσο σταθερής όσο και κινητής τηλεφωνίας. Η έκρηξη των δυνατοτήτων των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones) έρχεται να εκμεταλλευτεί αυτή τη βελτίωση της τεχνολογίας της ευρυζωνικής παροχής δικτύου κινητής τηλεφωνίας αυξάνοντας επιπλέον τη ζήτηση περιεχομένου από το διαδίκτυο. Οι ταχύτητες πρόσβασης στο διαδίκτυο αυξάνονται συνεχώς, μαζί με το διαθέσιμο στο διαδίκτυο περιεχόμενο καθώς και τις υπηρεσίες που μπορούν να παρασχεθούν μέσω του διαδικτύου. Τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, οι ιστοσελίδες μετάδοσης ήχου και video, η διαδικτυακή τηλεόραση και άλλες ροές δεδομένων σε ζωντανή σύνδεση ή και κατ'απαίτηση των χρηστών του διαδικτύου αποτελούν τους πυλώνες της κίνησης του διαδικτύου στις μέρες μας.

Οι αρχιτεκτονικές παροχής του περιεχομένου στο διαδίκτυο που δημιουργήθηκαν αρχικά δεν ήταν δυνατό να λάβουν υπ' όψιν τους αυτή την έκρηξη ζήτησης και τις δυνατότητες που θα μπορούσε να δώσει το διαδίκτυο στους χρήστες του. Η αύξηση του εύρους ζώνης των επικοινωνιών, παρότι συνεχής και μεγάλη σε κλίμακα, δε μπορεί να εξυπηρετήσει σε όλες τις περιπτώσεις τις ανάγκες της παροχής περιεχομένου ενός παρόχου περιεχομένου. Οι χρήστες του διαδικτύου είναι απαιτητικοί και κάθε καθυστέρηση στην εξυπηρέτηση του αιτήματος τους από τον πάροχο του περιεχομένου οδηγεί σε δυσαρεστημένους χρήστες και απώλεια εσόδων για τον πάροχο περιεχομένου. Οι δομές που παρείχαν το περιεχόμενο από πόρους του παρόχου, που βρίσκονται σε τοποθεσίες που ανήκουν στον πάροχο, αδυνατούν πλέον να εξυπηρετήσουν αποτελεσματικά τους χρήστες με μικρή καθυστέρηση και χωρίς αστοχίες και αδυναμίες παροχής περιεχομένου. Το περιεχόμενο πρέπει πλέον να είναι διαθέσιμο σε πολλές τοποθεσίες, ώστε να αντιμετωπίζονται αυτές οι αδυναμίες. Η αντιγραφή του περιεχομένου σε πολλές τοποθεσίες που βρίσκονται κατά το δυνατόν κοντά στους χρήστες εξυπηρετεί στη μείωση της καθυστέρησης καθώς και την αύξηση της αξιοπιστίας της παροχής περιεχομένου καθώς όσο περισσότερα είναι τα αντίγραφα τόσο μειώνεται η πιθανότητα το περιεχόμενο να μην είναι διαθέσιμο. Η τεχνολογία που εξυπηρετεί αυτό τον τρόπο παροχής του περιεχομένου είναι τα δίκτυα διανομής περιεχομένου (Content Delivery Network). Η αρχιτεκτονική, τα δομικά στοιχεία, οι τεχνικές δυσκολίες στην εφαρμογή της παροχής περιεχομένου μέσω των δικτύων διανομής περιεχομένου εξετάζονται σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Τέλος, παρουσιάζεται η δομή και η αρχιτεκτονική των πιο δημοφιλών εμπορικών δικτύων διανομής περιεχομένου καθώς και τα οικονομικά στοιχεία που προκύπτουν για τη διανομή περιεχομένου μέσω αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

1.1 Τι είναι δίκτυο υπολογιστών

Ένα δίκτυο υπολογιστών είναι ένα σύστημα επικοινωνίας δεδομένων που συνδέει δύο ή περισσότερους αυτόνομους και ανεξάρτητους υπολογιστές και περιφερειακές συσκευές. Δύο υπολογιστές θεωρούνται συνδεδεμένοι, όταν μπορούν:

- Να μοιράζονται τους ίδιους πόρους.
- Να ανταλλάσσουν μηνύματα.
- Να χειρίζονται κοινές εφαρμογές.
- Να έχουν «ταυτόχρονη» πρόσβαση σε ένα αρχείο δεδομένων.

Τα δίκτυα δημιουργήθηκαν για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες που προέκυψαν από την εξάπλωση της χρήσης των υπολογιστών.

Βασικός σκοπός της ύπαρξης των δικτύων είναι ο διαμερισμός των πόρων του συστήματος και η ανταλλαγή πληροφοριών κάθε μορφής (προγράμματα, αρχεία, δεδομένα). Πόροι του συστήματος μπορούν να είναι είτε υλικό (hardware), π.χ. υπολογιστές, εκτυπωτές, σκληροί δίσκοι είτε λογισμικό (software), π.χ. δεδομένα, προγράμματα εφαρμογών,

υπηρεσίες. Τα προγράμματα, τα δεδομένα και οι συσκευές (σκληροί δίσκοι, εκτυπωτές, κλπ) είναι διαθέσιμα σε οποιονδήποτε είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, ανεξάρτητα από τη φυσική του θέση. Σε ένα δίκτυο μπορούμε να έχουμε ανταλλαγή δεδομένων, προγραμμάτων, χρήση κοινών βάσεων δεδομένων, αρχείων, αποστολή μηνυμάτων (electronic mail). Επιπλέον, ένα δίκτυο είναι ένα πανίσχυρο μέσο επικοινωνίας ανθρώπων που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη.

1.2 Είδη δικτύων

A) Με βάση τη γεωγραφική τους ανάπτυξη τα δίκτυα διακρίνονται σε:

Τοπικά δίκτυα (Local Area Networks, LAN), που καλύπτουν μόνο μικρές αποστάσεις, όπως μερικών εκατοντάδων μέτρων ή λίγων χιλιομέτρων.¹ Στα δίκτυα αυτά η διασπορά των ηλεκτρονικών υπολογιστών περιορίζεται στα πλαίσια μιας επιχείρησης και μπορεί να περιλαμβάνει έως και τα όρια μιας μικρής πόλης. Συνήθως η σύνδεση γίνεται ενσύρματα με ομοαξονικό καλώδιο.

Ένα παράδειγμα τοπικού δικτύου είναι μια τάξη εργαστηρίου, όπου όλοι οι υπολογιστές είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και έτσι οι μαθητές μπορούν να τυπώσουν την εργασία τους από οποιονδήποτε υπολογιστή στον έναν εκτυπωτή του εργαστηρίου, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με όλους τους Η/Υ που ανήκουν στο δίκτυο, να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, να ανταλλάσσουν αρχεία με τον χρήστη ενός άλλου σταθμού εργασίας, κτλ.

Δίκτυα ευρείας περιοχής (Wide Area Networks, WAN), που μπορούν να καλύψουν αποστάσεις μερικών χιλιομέτρων, συνήθως άνω των 5 km στην ίδια πόλη, μέχρι χιλιάδων χιλιομέτρων σε διαφορετικές πόλεις, κράτη, ηπείρους. Σε αυτόν τον τύπο δικτύου οι

υπολογιστές συνδέονται μεταξύ τους ενσύρματα μέσω τηλεφωνικού δικτύου ή ασύρματα μέσω τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων.

Παραδείγματα δικτύων WAN, είναι τα δίκτυα των αεροπορικών εταιρειών, τα δημόσια δίκτυα δεδομένων,¹ τα τραπεζικά δίκτυα μέσω των οποίων μπορεί να γίνει ανάληψη χρημάτων από οποιαδήποτε άλλη πόλη, όταν η κατάθεση έγινε π.χ στην Πάτρα, κλπ.

Αστικά Δίκτυα (Metropolitan Area Networks, MAN), που η κάλυψη που παρέχουν δεν ξεπερνά τα όρια μιας πόλης. Είναι ταχύτερα από τα τοπικά δίκτυα και μπορούν να μεταδίδουν φωνή, εικόνα και δεδομένα αποδοτικότερα.

B) Με βάση τον τηλεπικοινωνιακό φορέα εξυπηρέτησης και τον τρόπο πρόσβασης σε αυτά, τα δίκτυα διακρίνονται σε:

Ιδιωτικά δίκτυα (Private Networks): Ανήκουν εξ ολοκλήρου σε ιδιωτικούς οργανισμούς και χρησιμοποιούν αποκλειστικές γραμμές επικοινωνίας δημόσιων τηλεπικοινωνιακών φορέων, χωρίς να τις μοιράζονται με άλλους χρήστες. Ιδιωτικό μπορεί να είναι το δίκτυο μιας επιχείρησης ή ακόμα και ένα οικιακό δίκτυο.

Δημόσια δίκτυα (Public Networks), που εξυπηρετούν τις διασυνδέσεις μεταξύ απομακρυσμένων σημείων. Χρησιμοποιείται σε μεγάλες αποστάσεις όταν είναι δύσκολη η χρήση αποκλειστικών γραμμών, λόγω αυξημένου κόστους ή όταν ο φόρτος μεταξύ των σημείων δεν είναι μεγάλος και επιτυγχάνεται έτσι μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς. Δημόσια δίκτυα μπορεί να συναντήσουμε, για παράδειγμα, σε χώρους εστίασης.

1.3 Δομικά στοιχεία υλοποίησης δικτύων

Για να εγκατασταθεί ένα δίκτυο πρέπει να έχουμε εξασφαλίσει τα παρακάτω:

Διακομιστές αρχείων: Είναι υπολογιστές με μεγάλο αποθηκευτικό χώρο και μεγάλη κεντρική μνήμη. Είναι ο πυρήνας του δικτύου, τρέχει το λειτουργικό σύστημα του δικτύου και διαχειρίζεται τη ροή των δεδομένων.

Σταθμοί εργασίας (workstations): Είναι προσωπικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, που έχουν όμως λιγότερες δυνατότητες από αυτές των διακομιστών και δικό τους λειτουργικό σύστημα. Οι χρήστες του δικτύου δεν χρησιμοποιούν τον server απευθείας, αλλά μόνο μέσω των σταθμών εργασίας (ή κόμβων).¹

Το λογισμικό (software): Περιλαμβάνει το λειτουργικό σύστημα του δικτύου, το λογισμικό εφαρμογών, ιστότοπους, προγράμματα, που θα χρησιμοποιούν οι χρήστες από τους σταθμούς εργασίας.

Το μέσο διασύνδεσης: Για να επιτευχθεί η σύνδεση, ο file server και κάθε σταθμός εργασίας περιέχει μια κάρτα διασύνδεσης δικτύου, μέσω της οποίας συνδέεται με όλες τις υπόλοιπες συσκευές. Για τα τοπικά δίκτυα (LAN), το μέσο διασύνδεσης που χρησιμοποιείται είναι ο ομοαξονικός τύπος καλωδίου. Για τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN), το μέσο διασύνδεσης είναι τα καλώδια του τηλεφωνικού δικτύου ή τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι.¹

¹ Δίκτυα Υπολογιστών. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από http://www.pi-schools.gr/programs/ktp/previous_version/book2/04_1.pdf

Την τοπολογία: Ο τρόπος, δηλαδή, με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους οι υπολογιστές καθώς επίσης και οι περιφερειακές συσκευές ενός δικτύου. Γενικά υπάρχουν τέσσερις βασικές τοπολογίες δικτύων.

- § **Αρτηρίας ή διαύλου (bus).** Αποτελεί την απλούστερη μορφή υλοποίησης ενός δικτύου. Οι υπολογιστές συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός κοινόχρηστου καλωδίου. Η τοπολογία αυτή είναι γνωστή και ως γραμμικός δίαυλος (linear bus), επειδή οι Η/Υ είναι συνδεδεμένοι σε μια ευθεία γραμμή. Στην τοπολογία διαύλου, μια μετάδοση από οποιονδήποτε σταθμό, που ανήκει στο δίκτυο, διαδίδεται κατά μήκος του διαύλου (καλωδίου) και λαμβάνεται από όλους τους υπόλοιπους σταθμούς. Σε κάθε ένα από τα άκρα του διαύλου υπάρχει μια τερματική αντίσταση, η οποία απορροφά τα σήματα που μεταδίδονται από τους σταθμούς απομακρύνοντάς τα από το δίκτυο.²
- § **Αστεριού (star).** Στην τοπολογία αστεριού ο κάθε υπολογιστής συνδέεται σε ένα κεντρικό κόμβο ή αλλιώς ομφαλό (hub), ο οποίος διατηρεί και ελέγχει την επικοινωνία μεταξύ των σταθμών. Σ' αυτό το δίκτυο τα δεδομένα που μεταδίδονται από έναν υπολογιστή περνούν αρχικά μέσω του ομφαλού και από εκεί φθάνουν μόνο στον υπολογιστή - παραλήπτη και όχι σε κάθε υπολογιστή που ανήκει στο δίκτυο, όπως συμβαίνει στα δίκτυα διαύλου.
- § **Δακτυλίου (ring).** Στην τοπολογία δακτυλίου (ring) όλες οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους με τη μορφή ενός κλειστού βρόχου. Με τον τρόπο αυτό κάθε συσκευή συνδέεται άμεσα με άλλες δυο συσκευές, μια από την αριστερή και μια από την δεξιά πλευρά. Οι τοπολογίες δακτυλίων προσφέρουν υψηλό εύρος ζώνης και μπορούν να εγκατασταθούν σε μεγάλες αποστάσεις, είναι όμως σχετικά ακριβές και δύσκολες στην εγκατάστασή τους. Παραδείγματα τοπολογίας δακτυλίου είναι το token ring και το FDDI.²
- § **Δέντρου (tree).** Η τοπολογία δέντρου είναι ένας συνδυασμός των χαρακτηριστικών των τοπολογιών διαύλου και αστερά. Αποτελείται από ομάδες διαμορφωμένων τερματικών σταθμών που συνδέονται με ένα γραμμικό βασικό καλώδιο bus. Αυτές οι τοπολογίες μπορούν επίσης να αναμιχθούν. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο bus-αστέρα αποτελείται από ένα bus υψηλής-εύρους ζώνης, αποκαλούμενο σπονδυλική στήλη, η οποία συνδέει τις συλλογές των τμημάτων αστεριών αργής-εύρους ζώνης.³

1.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας αποτελείται από ένα σύνολο κανόνων, που ακολουθεί ένα δίκτυο για να πραγματοποιήσει ανταλλαγή πληροφοριών. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν τη μορφή, το χρόνο και τη σειρά μετάδοσης των πληροφοριών στο δίκτυο, καθώς επίσης ελέγχουν και διορθώνουν τυχόν σφάλματα στη διάρκεια μετάδοσης των πληροφοριών. Υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, από τα οποία τα περισσότερο διαδεδομένα είναι το TCP/IP, το NETBEUI και το IPX/SPX.

² Δίκτυα υπολογιστών. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <https://sites.google.com/site/eisagogestadiktyaypologiston1/architektonike-diktyou/topologies-diktyon>

³ Αβούρης, Ν., Κουφοπαύλου, Ο. & Σερπάνος, Δ. (2004). *Εισαγωγή στους Υπολογιστές*. Πάτρα: Εκδόσεις Tytoprama.

Το πρωτόκολλο TCP/IP (σουίτα πρωτοκόλλων διαδικτύου)

Το Internet δεν είναι ένα απλό δίκτυο, αλλά ένα διαδίκτυο. Αυτό σημαίνει πως είναι απαραίτητο ένα σύνολο από συμβάσεις, οι οποίες θα καθορίζουν τον τρόπο ανταλλαγής των δεδομένων μεταξύ των υπολογιστών, που μπορεί να είναι διαφορετικού τύπου και να μην ανήκουν στο ίδιο δίκτυο αλλά σε διαφορετικά. Αυτό το σύνολο συμβάσεων παρέχει το πρωτόκολλο TCP/IP. Όλοι οι υπολογιστές που τρέχουν το TCP/IP και είναι συνδεδεμένοι στα χιλιάδες μικρότερα δίκτυα του διαδικτύου, μιλούν μια κοινή γλώσσα.⁴

Τι κάνει το TCP/IP:

- **TCP-Transmission Control Protocol (Πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης)**

Τα μηνύματα διαχωρίζονται αρχικά σε πακέτα από το λογισμικό TCP που παραδίδονται στη συνέχεια στο λογισμικό IP για αποστολή. Στον προορισμό τους, τα πακέτα μπαίνουν στη σωστή σειρά και τα μηνύματα επανασυνδέονται.

- **IP (Internet Protocol) – Πρωτόκολλο διαδικτύου**

Το λογισμικό IP είναι υπεύθυνο για την καθοδήγηση των πακέτων διαμέσου του συμπλέγματος των διάφορων συνδεδεμένων δικτύων μέχρι τον τελικό προορισμό τους.⁵

⁴ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από http://diktia.weebly.com/uploads/6/4/5/1/6451366/_protokolla_epikoinonias.pdf

⁵ This is the Home Page of Stavros Papastavrou. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από www.cs.ucy.ac.cy/~stavrosp/epl012/networks.ppt

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΩΝ

2.1 Εισαγωγή στο σύστημα World Wide Web

Ο παγκόσμιος ιστός, ή αλλιώς world wide web (WWW), αποτελεί τη σημαντικότερη εφαρμογή του διαδικτύου. Είναι ένα κατακευματισμένο σύστημα υπερμέσων το οποίο, από τεχνικής απόψεως, αποτελείται από στοιχεία που ουσιαστικά το ένα συμπληρώνει το άλλο και όλα μαζί σχηματίζουν την υπηρεσία WWW. Τα στοιχεία αυτά είναι:

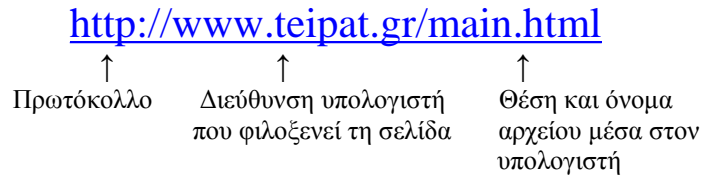
1. Ένα πολύ απλό πρωτόκολλο αποστολής και λήψης δεδομένων, το πρωτόκολλο HTTP (Hypertext Transfer Protocol)
2. Ένα μηχανισμό προσδιορισμού διευθύνσεων WWW, εξυπηρετητών (servers) και πόρων σε αυτούς τους εξυπηρετητές. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται URI (Uniform Resource Identifier) ή URL (Uniform Resource Locator). Ο μηχανισμός URL αποτελεί μια υποκατηγορία του μηχανισμού URI και δίνει τη δυνατότητα, εκτός από το να δώσουμε διεύθυνση σε ένα πόρο (όπως κάνει το URI), να προσδιορίζει και τα μέσα που είναι απαραίτητα για την προσπέλαση αυτού του πόρου (π.χ. πρωτόκολλο http στην περίπτωση του WWW).
3. Μια γλώσσα που ονομάζεται HTML (HyperText Markup Language). Η HTML είναι μια γλώσσα ορισμού και μορφοποίησης υπερκειμένων. Χρησιμοποιώντας αυτή τη γλώσσα μπορούμε να δημιουργήσουμε στατικά ή δυναμικά κείμενα και στη συνέχεια να τα διαθέσουμε στον παγκόσμιο ιστό μέσω ενός WWW εξυπηρετητή.

Μηχανισμός URL:

Είναι ο μηχανισμός προσδιορισμού διευθύνσεων που ορίζει μοναδικά κάθε πόρο, όπως αρχεία HTML, αρχεία πολυμέσων, προγράμματα κλπ, στον παγκόσμιο ιστό, ώστε να είναι δυνατή η προσπέλασή του μέσω του πρωτοκόλλου HTTP. Τα τρία μέρη από τα οποία αποτελείται η διεύθυνση μιας σελίδας web είναι:

- το πρώτο κομμάτι της διεύθυνσης υποδηλώνει το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιεί η υπηρεσία World Wide Web για την ανταλλαγή δεδομένων,
- το δεύτερο κομμάτι υποδηλώνει τη διεύθυνση του εξυπηρετητή, στον οποίο είναι αποθηκευμένος ένας πόρος, και
- το τρίτο κομμάτι προσδιορίζει τη διαδρομή (path) και το αρχείο, που βρίσκεται ο πόρος μέσα στο συγκεκριμένο εξυπηρετητή, που προσδιορίζεται στο δεύτερο μέρος.

Η μορφή της διεύθυνσης μιας σελίδας web:



Ο μηχανισμός URL λοιπόν, μπορεί να προσδιορίσει μοναδικά με μια διεύθυνση κάθε πόρο στο σύστημα του παγκόσμιου ιστού. Για παράδειγμα, έχουμε τη διεύθυνση <http://www.myserver.com/alpha/script.html>. Παρατηρώντας τη μορφή της διεύθυνσης αυτής βλέπουμε ότι υπάρχει ένα αρχείο, με όνομα script.html, προσπελάσιμο μέσω του πρωτοκόλλου http από τον εξυπηρετητή με όνομα www.myserver.com, και το αρχείο αυτό βρίσκεται στο μέσα στο φάκελο alpha.

Αρκετές φορές μια URL διεύθυνση μπορεί να μην προσδιορίζει έναν ολόκληρο πόρο, αλλά ένα σημείο μέσα σε ένα πόρο. Αυτού του είδους οι διευθύνσεις καταλήγουν με το χαρακτήρα # και αμέσως μετά ακολουθεί το σημείο μέσα στον πόρο. Για παράδειγμα, η διεύθυνση <http://www.myserver.com/script.html#section3> προσδιορίζει ένα σημείο-άγκυρα (anchor) που ονομάζεται section3 μέσα στο αρχείο script.html.

Επίσης, μια URL διεύθυνση μπορεί να μην είναι πλήρης αλλά να "κληρονομεί" στοιχεία της URL διεύθυνσης από το τρέχον ενεργό υπερκείμενο. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ανοιχτό το υπερκείμενο-αρχείο με διεύθυνση <http://server.com/a.html>. Ο πόρος σ' αυτή τη διεύθυνση μπορεί να περιέχει μη πλήρεις URL διευθύνσεις προς άλλους πόρους. Εφόσον οι διευθύνσεις δεν είναι πλήρεις, η τρέχουσα διεύθυνση παίζει το ρόλο της βασικής URL διεύθυνσης. Με βάση αυτή τη βασική διεύθυνση μπορούν να προκύψουν και οι υπόλοιπες διευθύνσεις.

Πρωτόκολλο HTTP:

Το πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένων (http) είναι ένα πρωτόκολλο σε επίπεδο εφαρμογής (application-level protocol), ενώ χαρακτηρίζεται από απλότητα και ταχύτητα, στοιχεία απαραίτητα για κατανεμημένα συστήματα υπερμέσων. Είναι επίσης ένα stateless πρωτόκολλο και χρησιμοποιείται στο σύστημα WWW (World Wide Web) από το 1990.

Με τον όρο stateless εννοούμε ότι κάθε εντολή (request) στο πρωτόκολλο HTTP για μια ιστοσελίδα εκτελείται ανεξάρτητα χωρίς καμία γνώση για τις προηγούμενες εντολές. Αυτό του η ιδιότητα είναι και το βασικότερο μειονέκτημα του HTTP πρωτοκόλλου. Βέβαια, για την ανάπτυξη εφαρμογών, το να διατηρεί κάποιος την κατάσταση της εφαρμογής του σε επίπεδο ενός χρήστη ή και πολλών χρηστών, έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών για να προσθέσουμε κατάσταση στο World Wide Web. Οι κυριότερες τεχνικές αφορούν πρωτόκολλα ανάπτυξης εφαρμογών, που υποστηρίζονται στον server, όπως το ISAPI.

Το HTTP επιτρέπει ένα ανοιχτό σύνολο από μεθόδους, είναι δηλαδή ένα επεκτάσιμο πρωτόκολλο. Για να καθοριστεί ο πόρος στον οποίο θα εφαρμοστεί μια μέθοδος, χρησιμοποιείται ο μηχανισμός αναφοράς που παρέχεται από το Uniform Resource Identifier (URI). Ειδικά στο πρωτόκολλο HTTP ο μηχανισμός URI εξειδικεύεται ως HTTP URL, ως:

http_URL="http:" "://" host [":" port] [abs_path ["?" query]]

Το σύνολο των μεθόδων που επιτρέπεται σε ένα αντικείμενο (πόρο), δηλώνεται στην κεφαλή (Header) του μηνύματος που προσδιορίζει τον πόρο. Κάποιες μέθοδοι ορίζονται από το ίδιο το πρωτόκολλο και φαίνονται παρακάτω:⁶

(Απόσπασμα από τον ορισμό του πρωτοκόλλου)

```
Method = "OPTIONS"  
        / "GET"  
        / "HEAD"  
        / "POST"  
        / "PUT"  
        / "DELETE"  
        / "TRACE"  
        / "CONNECT"
```

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του HTTP είναι η δυνατότητα τυποποίησης της αναπαράστασης των δεδομένων, που επιτρέπει στα συστήματα να χτιστούν ανεξάρτητα από το είδος των δεδομένων που θα μεταφερθούν.

Οι βασικές έννοιες που πρέπει να γνωρίζει κάποιος για να κατανοήσει το πρωτόκολλο HTTP και τον τρόπο λειτουργίας του είναι οι εξής:

- Σύνδεση (connection): απαιτείται μεταξύ δύο εφαρμογών, του web browser και του web server, που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο HTTP, για να είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ τους.
- Μήνυμα (message): αποτελεί τη βασική μονάδα επικοινωνίας μεταξύ δυο εφαρμογών (web browser και web server) που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και κάθε μήνυμα ακολουθεί ένα συγκεκριμένο συντακτικό.
- Αίτηση (request): ένα HTTP μήνυμα που στέλνει ο πελάτης (web browser) στον εξυπηρετητή (web server).
- Απάντηση (response): ένα HTTP μήνυμα απόκρισης σε μια αίτηση.
- Πόρος (resource): ένα αντικείμενο ή υπηρεσία που μπορεί να προσδιοριστεί με ένα URL.
- Πελάτης (client): ένα διαδικτυακό πρόγραμμα που δημιουργεί συνδέσεις και στέλνει αιτήσεις.
- User agent: το πρόγραμμα-πελάτης που κάνει μία αίτηση. Τέτοιοι είναι οι web browsers, spiders (web-traversing robots) κλπ.
- Εξυπηρετητής (server): ένα διαδικτυακό πρόγραμμα που δέχεται συνδέσεις και παρέχει υπηρεσίες στέλνοντας πίσω απαντήσεις (responses) για κάθε αίτηση (request) που δέχεται.

- Εξυπηρετητής βάσης (origin server): κάποιος πόρος υπάρχει ήδη ή πρόκειται να δημιουργηθεί.
- Ενδιάμεσος (proxy): ένα πρόγραμμα που μπορεί να λειτουργήσει είτε ως πελάτης, είτε ως εξυπηρετητής. Ως πελάτης μπορεί και κάνει αιτήσεις για άλλους πελάτες σε εξυπηρετητές με κάποια μεθοδολογία.
- Gateway: ένας εξυπηρετητής που λειτουργεί ως ενδιάμεσος για άλλο εξυπηρετητή.
- Tunnel: ένα ενδιάμεσο πρόγραμμα που αναμεταδίδει μηνύματα μεταξύ δυο συνδέσεων στα 'τυφλά'.
- Cache: η μνήμη ενός προγράμματος που αποθηκεύει τις απαντήσεις που έχουν σταλεί προηγούμενα ως απαντήσεις σε αιτήσεις.

Το πρωτόκολλο HTTP στηρίζει τη λειτουργία του στη μέθοδο αίτηση-απάντηση.

Όταν ένας πελάτης πετυχαίνει μια σύνδεση με έναν εξυπηρετητή, στέλνει μια αίτηση που αποτελείται από:

- μια μέθοδο αίτησης,
- ένα URL,
- την έκδοση του πρωτοκόλλου,
- ένα τύπου MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) μήνυμα, το οποίο παρέχει οδηγίες σχετικά με την εντολή, πληροφορίες για τον πελάτη και κάποιο πιθανό περιεχόμενο.

Μόλις ο εξυπηρετητής λάβει το μήνυμα-αίτηση, στέλνει πίσω ένα μήνυμα-απάντηση που περιέχει:

- το πρωτόκολλο και την έκδοση του πρωτοκόλλου για το μήνυμα απάντησης,
- ένα κωδικό που δηλώνει την επιτυχία ή τυχόν αποτυχία του εξυπηρετητή, καθώς και ένα MIME μήνυμα που περιέχει πληροφορίες για τον εξυπηρετητή και πιθανό περιεχόμενο.⁶

Η γλώσσα HTML

Η γλώσσα HTML (HyperText Markup Language), είναι η γλώσσα που χρησιμοποιείται στον παγκόσμιο ιστό και ο ορισμός της στηρίζεται στην SGML (Standardized Generalized Markup Language), η οποία αποτελεί πρότυπο για τον ορισμό και άλλων γλωσσών σήμανσης κειμένου. Η HTML είναι η κύρια γλώσσα σήμανσης υπερκειμένου για τις ιστοσελίδες, ενώ τα στοιχεία της είναι τα βασικά δομικά στοιχεία για τη δημιουργία των ιστοσελίδων.⁷

Τι σημαίνει, ακριβώς όμως, γλώσσα σήμανσης;

Η σήμανση (κειμένων) είναι μια έννοια που ξεκίνησε από την εποχή της τυπογραφίας, όπου ο συγγραφέας "σημάδευε" τα κείμενα με κατάλληλες σημάνσεις (οδηγίες) για να ξέρει ο

⁶ ΣΑΛΑΜΠΑΣΗΣ, Μ. (2008). ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.

[Χ.Τ.]: [Χ.Ε.]

⁷ HTML. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από www.eeei.gr/odhgos/htmlfaq.htm

τυπογράφος τα στοιχεία του layout που θα ήθελε ο συγγραφέας να έχει το τελικό εκτυπωμένο κείμενο.

Αυτή η ιδέα της σήμανσης πέρασε και στην επεξεργασία κειμένων από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Κάθε επεξεργαστής κειμένου απαιτεί να προσδιορίζεται, με κάποιο τρόπο, η μορφοποίηση του κειμένου, όπως μέγεθος, γραμματοσειρά, έντονοι, πλάγιοι χαρακτήρες, χρώμα κλπ.. Όλες αυτές οι μορφοποιήσεις κειμένου πρέπει να "κωδικοποιηθούν" με κάποιο τρόπο. (π.χ. Arial; }Arial Greek; })⁶. Την κωδικοποίηση αυτή αναλαμβάνει η γλώσσα HTML.

Η HTML γράφεται υπό μορφή στοιχείων HTML, που αποτελούνται από ετικέτες (tags), οι οποίες περικλείονται από τα σύμβολα «μεγαλύτερο από» και «μικρότερο από» (για παράδειγμα <html>), μέσα στο περιεχόμενο της ιστοσελίδας. Βασικό στοιχείο της γλώσσας αυτής είναι ότι οι ετικέτες λειτουργούν ανά ζεύγη. Για παράδειγμα <h1> και </h1>, με την πρώτη να ονομάζεται ετικέτα έναρξης και τη δεύτερη ετικέτα λήξης ή αλλιώς ετικέτα ανοίγματος και ετικέτα κλεισίματος αντίστοιχα. Δηλαδή μια σήμανση ξεκινάει πάντα με το αναγνωριστικό της όνομα μέσα στους χαρακτήρες '< >' και τελειώνει με το αναγνωριστικό της όνομα μέσα σε '</ >'. Στην ετικέτα λήξης προστίθεται ενδιάμεσα και το σύμβολο της καθόδου για να ισχύσει το κλείσιμο της ετικέτας. Ανάμεσα στις ετικέτες, οι σχεδιαστές ιστοσελίδων μπορούν να τοποθετήσουν κείμενο, πίνακες, εικόνες κλπ.

Ο σκοπός ενός web browser είναι να διαβάζει τα έγγραφα HTML και να τα συνθέτει σε σελίδες που μπορεί κανείς να διαβάσει ή να ακούσει. Ο browser δεν εμφανίζει στο χρήστη τις ετικέτες HTML, αλλά τις χρησιμοποιεί για να ερμηνεύσει το περιεχόμενο της σελίδας και να το εμφανίσει στην οθόνη του υπολογιστή.

2.2 Σχεδιασμός του βασικού περιεχομένου μιας σελίδας web

Κάθε HTML κείμενο αρχίζει με τη σήμανση <HTML> και τελειώνει με τη σήμανση λήξης </HTML>, ενώ χωρίζεται σε δυο μέρη. Το πρώτο μέρος αποτελεί το κομμάτι του HTML κειμένου ανάμεσα στις σημάνσεις <HEAD> και </HEAD> και ονομάζεται κεφαλή. Το δεύτερο μέρος, που είναι το "σώμα" του κειμένου, περικλύεται από τις σημάνσεις <BODY> και </BODY>.

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα ενός HTML κειμένου με τις βασικές σημάνσεις και τη βασική δομή της HTML:

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.0//EN"
  "http://www.teipat.gr">
<HTML>
  <HEAD>
    <TITLE>My first page</TITLE>
  </HEAD>
  <BODY>
    <p>Hello World!</p>
  </BODY>
</HTML>
```

Μορφοποίηση χαρακτήρων:

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι σημάνσεις που εκτελούν μορφοποίηση χαρακτήρων. Ένα παράδειγμα HTML με τις βασικές σημάνσεις αυτού του είδους.

```
<b>έντονο κείμενο (bold)</b>
<i>πλάγια γράμματα (italic text)</i>
<u>υπογραμμισμένο κείμενο (underlined text)</u>
<del>διακριτή γραφή</del>
<sub>κείμενο δείκτης</sub>
<sup>κείμενο εκθέτης</sup>
```

Το παρακάτω απόσπασμα παρουσιάζει κάποιες από τις σημάνσεις που σχετίζονται με την εμφάνιση της γραμματοσειράς των χαρακτήρων.

```
<font color="red">καθορισμός χρώματος</font>
<font size="3">καθορισμός μεγέθους</font>
<font face="arial">γραμματοσειρά</font>
<font size="6" color="blue" face="arial">πολλές παράμετροι
ταυτόχρονα</font>
```

Ενώ οι προηγούμενες σημάνσεις επηρεάζουν χαρακτήρες, υπάρχουν άλλες που αναφέρονται σε μια ολόκληρη παράγραφο όπως,

```
<body>
<p>μια παράγραφος</p>
<p>ακόμα μια παράγραφος</p>
<h1>κεφαλίδα 1</h1>
<h2>κεφαλίδα 2</h2>
μια πρόταση που ακολουθείται από αλλαγή γραμμής<br>
<hr>
σήμανση γραμμής
<hr width="50%" size="6">
</body>
```

Μια ιστοσελίδα, εκτός από κείμενο, μπορεί να περιλαμβάνει και πολυμέσα (multimedia) δηλαδή εικόνες, γραφικά, σχεδιοκίνηση (animation), ήχο, βίντεο, καθώς επίσης και στοιχεία αλληλεπίδρασης με το χρήστη όπως φόρμες, υπερσυνδέσμους (hyperlinks), υπερκείμενο (hypertext) κλπ.

Γραφικά

Η εικόνα είναι απαραίτητο στοιχείο κάθε σύγχρονης σελίδας web, καθώς κάνει τη σελίδα πιο ελκυστική και ενδιαφέρουσα τραβώντας την προσοχή του επισκέπτη.

Η χρήση γραφικών γίνεται με το στοιχείο IMG. Με αυτό μπορούμε να ενσωματώσουμε γραφικά και βίντεο (κινούμενη εικόνα) σε ένα αρχείο HTML. Η βασικότερη ιδιότητα είναι η ιδιότητα SRC, όπου καθορίζεται η URL διεύθυνση του αρχείου γραφικών. Στην περίπτωση

που θέλουμε να προσθέσουμε στη σελίδα βίντεο ή ένα αρχείο εικονικής πραγματικότητας, τότε χρησιμοποιούμε την ιδιότητα DYN SRC. Οι δημοφιλέστεροι τύποι γραφικών για το διαδίκτυο είναι τα gif και τα jpg γιατί διευκολύνουν τη φόρτωση της ιστοσελίδας λόγω του μικρού μεγέθους τους. Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης και πολλών άλλων ακόμη τύπων γραφικών και βίντεο, θα πρέπει όμως να είμαστε προσεκτικοί σε ότι αφορά το μέγεθος των αρχείων αυτών και ειδικά των βίντεο για να μην καθυστερεί να "κατέβει" η ιστοσελίδα.

Στο παρακάτω HTML απόσπασμα θα δούμε πώς μπορούμε να ενσωματώσουμε μια εικόνα σε μια ιστοσελίδα με τη χρήση του στοιχείου

```
Ένα γραφικό εμφανίζεται εδώ 
```

* ανάμεσα στα εισαγωγικά μπαίνει το όνομα του αρχείου εικόνας

Φόρμες

Οι φόρμες, σε μια ιστοσελίδα, αποτελούν το μηχανισμό για την αποστολή δεδομένων από τον πελάτη (web client) στον εξυπηρετητή (web server). Η βασική ιδέα είναι ότι ο χρήστης (web client) συμπληρώνει δεδομένα στα στοιχεία μιας φόρμας, που εμφανίζεται μπροστά του, και μόλις ολοκληρώσει τη διαδικασία αυτή, ο χρήστης (web browser) αποστέλλει τα δεδομένα στον web server. Ο web server δέχεται τα δεδομένα και συνήθως τα επεξεργάζεται ή τα αποθηκεύει κάπου. Οι φόρμες είναι επίσης HTML αρχεία και σχηματίζονται χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες σημάνσεις.

Για να δημιουργήσουμε μια φόρμα χρησιμοποιούμε τη σήμανση <FORM>. Μια φόρμα έχει δυο βασικές ιδιότητες, την METHOD και την ACTION. Η ιδιότητα METHOD μπορεί να πάρει δυο τιμές (GET και POST) και καθορίζει πώς τα δεδομένα που πληκτρολογεί ο χρήστης στον web browser θα αποσταλούν στον server. Η ιδιότητα ACTION καθορίζει την URL διεύθυνση του αρχείου που θα κληθεί για να λάβει τα δεδομένα που θα αποσταλούν. Τέλος μια ακόμη βασική ιδιότητα της φόρμας είναι η NAME που ορίζει ένα όνομα για τη φόρμα.

2.3 Ο ρόλος της ταχύτητας σε ένα website

Η ταχύτητα και γενικότερα οι επιδόσεις μιας ιστοσελίδας θεωρούνται αρκετά σημαντικές παράμετροι για την επιτυχία της. Αν μια ιστοσελίδα είναι αργή, τότε είναι πιθανό να χάσει ο ιδιοκτήτης της σελίδας επισκέπτες άλλα και πιθανούς πελάτες, καθώς η καθυστέρηση στη φόρτωση της σελίδας θα κουράσει με αποτέλεσμα κάποιοι από τους επισκέπτες να την εγκαταλείψουν.⁸

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο εμφάνισης μιας ιστοσελίδας στην οθόνη του υπολογιστή μας, όπως το μέγεθος και ο αριθμός των γραφικών και των βίντεο, το μέγεθος του κώδικα, οι πολλές διαφημίσεις, τα περιττά animations κλπ.

⁸ 10 Συμβουλές για βελτιστοποίηση της ταχύτητας της ιστοσελίδας σας. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <https://www.webgift.gr/eblog/istologio-ipiresies-diadiktiou/sumboules-veltistopoihsi-taxitita-istoselidas.html>

Παρακάτω θα δούμε μερικές από τις βασικότερες μεθόδους που συμβάλλουν στην αύξηση της ταχύτητας ενός website:

1. Βελτιστοποιώντας το μέγεθος των αρχείων εικόνας

Μπορούμε να διατηρήσουμε την υψηλή ποιότητα μιας εικόνας ακόμη και ελαττώνοντας έως και 80% το μέγεθος της. Οι περισσότερες από τις σελίδες, που παρουσιάζουν υψηλό χρόνο φόρτωσης, δεν έχουν προσέξει το μέγεθος των αρχείων εικόνων τους. Επιλέγοντας, λοιπόν, τον σωστό τύπο της εκάστοτε εικόνας που θέλουμε να νεβάσουμε στον server, μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε το μέγεθος των αρχείων εικόνας χωρίς όμως να επηρεάσουμε αρνητικά την ποιότητα αυτής. Ψάχνοντας στο διαδίκτυο θα δούμε ότι υπάρχουν αρκετά εργαλεία που μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του μεγέθους των αρχείων εικόνας, όπως είναι για παράδειγμα το TinyPNG και το media4x⁹.

2. Αποφεύγοντας την αλλαγή διαστάσεων των εικόνων μέσω HTML

Αν θέλουμε να μειώσουμε την ανάλυση μιας εικόνας τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το κατάλληλο πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας, όπως το Photoshop. Με αυτόν τον τρόπο αποθηκεύουμε την εικόνα με τις διαστάσεις που επιθυμούμε και έπειτα την ανεβάζουμε. Σκοπός της πρότασης αυτής είναι η αποφυγή της χρήσης HTML κώδικα με συγκεκριμένα ορίσματα για το πλάτος και το ύψος της εικόνας, όπως για παράδειγμα : ``. Κι αυτό γιατί ένας μεγάλος σε έκταση κώδικας θα καθυστερήσει επίσης το χρόνο φόρτωσης της σελίδας. Επομένως είναι πολύ χρήσιμο να επεξεργαστούμε την εικόνα, που θέλουμε να ενσωματώσουμε στο κώδικα, με κάποιο άλλο πρόγραμμα προηγουμένως. Γιατί σε μια μεγάλης διάστασης εικόνα πάντα θα είναι το μέγεθος του αρχείου μεγαλύτερο σε σύγκριση με μια μικρότερη σε διαστάσεις εικόνα.

3. Μειώνοντας την έκταση του κώδικα

Κοιτάζοντας ένα πηγαίο κώδικα θα δούμε ότι υπάρχουν αρκετά περιττά tags που θα μπορούσαν να έχουν παραληφθεί. Όλα αυτά μπορούν να συμπεριληφθούν σε ένα αρχείο CSS. Γράφοντας κώδικα αποδοτικά όχι μόνο μειώνεται ο όγκος των αρχείων HTML και CSS αλλά βοηθάει στο να συντηρηθεί ευκολότερα η ιστοσελίδα.

4. Αποφεύγοντας τη χρήση εικόνων για να δείξουμε περιεχόμενο

Όχι μόνο το κείμενο στις εικόνες είναι εντελώς περιττό, αλλά χρησιμοποιώντας εικόνες για να δείξουμε κείμενο μειώνεται αισθητά ο χρόνος απόκρισης της ιστοσελίδας. Γιατί όσο μεγάλος είναι ο αριθμός των εικόνων τόσο "βαριά" γίνεται μια ιστοσελίδα. Για το κείμενο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιες εξειδικευμένες γραμματοσειρές όπως είναι η CSS @font-face.

5. Χρήση δικτύου διανομής περιεχομένου / Content Delivery Network (CDN)

Η ταχύτητα μιας ιστοσελίδας επηρεάζεται έμμεσα από το που βρίσκεται ο εκάστοτε επισκέπτης σε σχέση με τον server όπου φιλοξενείται η σελίδα. Όσο μεγαλύτερη είναι η

⁹ #10 tips για αύξηση της ταχύτητας της ιστοσελίδας σας. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <http://www.seopedia.gr/speed-up-website-wordpress/>

απόσταση μεταξύ τους, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η απόσταση των δεδομένων που θα πρέπει να "ταξιδέψουν" μέχρι να φτάσουν στον τελικό χρήστη και επίσης, μεγαλύτερη θα είναι και η χρονική απόκριση της σελίδας. Η χρήση των δικτύων διανομής περιεχομένου βοηθάει στην επίλυση του προβλήματος αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

3.1 Τι είναι το Διαδίκτυο

Αν και δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος αποδεκτός ορισμός για το Internet, μπορούμε να πούμε ότι ορίζεται ως το μεγαλύτερο δίκτυο υπολογιστών και διασυνδεδεμένων δικτύων (LANs και WANs) του πλανήτη μας. Εάν μάλιστα θελήσουμε να είμαστε ακριβείς, το Internet δεν είναι ένα απλό δίκτυο αλλά ένα διαδίκτυο, δηλαδή ένα δίκτυο που αποτελείται από άλλα δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν καθιερωμένη ομάδα πρωτοκόλλων, η οποία συχνά καλείται "TCP/IP" (αν και αυτή δεν χρησιμοποιείται από όλες τις υπηρεσίες του Διαδικτύου) για να εξυπηρετεί εκατομμύρια χρηστών καθημερινά σε ολόκληρο τον κόσμο. Οι διάφοροι συνδεδεμένοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές ανά τον κόσμο βρίσκονται σε ένα κοινό δίκτυο επικοινωνίας κι έτσι μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα (πακέτα) μεταξύ τους με τη χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων (τυποποιημένοι κανόνες επικοινωνίας), τα οποία υλοποιούνται σε επίπεδο υλικού και λογισμικού. Το κοινό αυτό δίκτυο ονομάζεται Διαδίκτυο.

Το Διαδίκτυο (internet) είναι ένα επικοινωνιακό δίκτυο που επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ οποιουδήποτε διασυνδεδεμένου υπολογιστή που βρίσκεται σε οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη. Η τεχνολογία του είναι βασισμένη κυρίως στην διασύνδεση επιμέρους δικτύων ανά τον κόσμο και πολυάριθμα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Στην πιο εξειδικευμένη και περισσότερο χρησιμοποιούμενη μορφή του, με τον όρο Διαδίκτυο, περιγράφεται το παγκόσμιο πλέγμα διασυνδεδεμένων υπολογιστών και των υπηρεσιών που παρέχει στους χρήστες του. Το Διαδίκτυο χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων και στοίβα πρωτοκόλλων. Η τεχνική της διασύνδεσης δικτύων μέσω μεταγωγής πακέτων και της στοίβας πρωτοκόλλων ονομάζεται Διαδικτύωση. Σήμερα, με τον όρο Διαδίκτυο αναφερόμαστε στο παγκόσμιο αυτό δίκτυο, το οποίο για να ξεχωρίζει γράφεται με κεφαλαίο το αρχικό "Δ".

3.2 Πρόσβαση στο Διαδίκτυο

Για να συνδεθεί κάποιος στο internet, το μόνο πράγμα που απαιτείται, από πλευράς εξοπλισμού, είναι ένας προσωπικός υπολογιστής και ένα modem το οποίο συνδέεται σε μια απλή τηλεφωνική γραμμή. Τα modems είναι ειδικές συσκευές που μετατρέπουν το ψηφιακό σήμα των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε αναλογικό σήμα - προκειμένου αυτό να διαδοθεί μέσα από το τηλεφωνικό δίκτυο - ενώ φυσικά έχουν και τη δυνατότητα της αντίστροφης μετατροπής (από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα).

Εφ' όσον κάποιος διαθέτει το κατάλληλο hardware και software, θα πρέπει στη συνέχεια να εξασφαλίσει το δικαίωμα πρόσβασης στο Internet. Το δικαίωμα αυτό παρέχεται από εταιρείες ή οργανισμούς που έχουν δημιουργηθεί ειδικά για αυτό το σκοπό. Οι φορείς αυτοί είναι γνωστοί ως Internet Service Providers (ISP), και αποτελούν το συνδετικό κρίκο ανάμεσα τους τελικούς χρήστες και το παγκόσμιο διαδίκτυο. Η πιο βασική από τις υπηρεσίες που παρέχει ένας Internet Provider είναι η διασύνδεση με κάποιον κόμβο του Internet.

Η επικοινωνία των χρηστών με αυτό τον κόμβο γίνεται μέσω τηλεφωνικών γραμμών και με τη χρήση ενός ή περισσότερων αριθμών τηλεφώνου, συγκεκριμένων για κάθε κόμβο. Ο κόμβος αυτός είναι εξοπλισμένος με ειδικά προγράμματα, που αναλαμβάνουν την εξυπηρέτηση των χρηστών προωθώντας τις κλήσεις τους προς το δίκτυο. Μια από τις πιο βασικές λειτουργίες των κόμβων αυτών είναι η διαχείριση του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Ο κάθε χρήστης διαθέτει στο κόμβο του Internet Provider μια προσωπική ηλεκτρονική θυρίδα, η οποία αναλαμβάνει τη φύλαξη των μηνυμάτων που του αποστέλλονται, ακόμα και αν ο χρήστης δεν είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο.

Σε κάθε χώρα υπάρχουν οι **Πάροχοι** (Providers) Internet που είναι εταιρίες οι οποίες παρέχουν τη σύνδεση καθώς και υπηρεσίες. Μερικοί μεγάλοι παροχείς της χώρας μας είναι: ΟΤΕ, Forthnet, HOL, Cyta κλπ. Ο κάθε πάροχος διαθέτει μια τηλεπικοινωνιακή γραμμή μεγάλου εύρους η οποία στην Ελλάδα παρέχεται από τον ΟΤΕ (στο εξωτερικό, οι μεγάλοι πάροχοι διαθέτουν δικές τους γραμμές). Η γραμμή αυτή, λοιπόν, εξαπλώνεται από τον Έβρο μέχρι την Κρήτη και τα νησιά και αποτελεί τη βασική ραχοκοκαλιά του παρόχου (backbone).

Στη συνέχεια υπάρχουν οι **Κόμβοι** του Internet, οι οποίοι βρίσκονται στα μεγάλα αστικά κέντρα και στις διάφορες επαρχιακές πόλεις και χωριά, και οι οποίοι συνδέονται με το κεντρικό Backbone του παρόχου¹⁰.

Τέλος, μπορούμε να αναφέρουμε και τους **συνδρομητές** οι οποίοι είναι οι άμεσοι πελάτες των κόμβων γιατί οι κόμβοι είναι αυτοί που παρέχουν πλέον τη σύνδεση στους συνδρομητές.

Επομένως, από τη στιγμή που ο συνδρομητής συνδεθεί με τον κόμβο του, είναι αυτονόητο ότι μπορεί να περιηγηθεί σε όλο το σύστημα του παρόχου του αλλά και όλων των άλλων παρόχων. Επειδή όμως οι Έλληνες πάροχοι έχουν σύνδεση με Ευρώπη, Αμερική κλπ, μπορούμε να περιηγηθούμε στους Η/Υ ολόκληρου του υπερδικτύου.

Σήμερα, ένας από τους μεγαλύτερους παρόχους της Ευρώπης είναι το Πανεπιστημιακό δίκτυο TEN155 που συντονίζεται από το Dante και στο οποίο συνδέεται ο δικτυακός κορμός του δικτύου ΕΔΕΤ, που φιλοξενεί και το Ελληνικό Πανεπιστημιακό δίκτυο GUNET και τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση Edunet. Ένα άλλο μεγάλο Ευρωπαϊκό δίκτυο είναι το EBONE στο οποίο συνδέεται η Forthnet, καθώς και το δίκτυο PIPEX - UUNET που συνδέεται η HOL. Με τη σειρά τους τα δίκτυα αυτά είναι συνδεδεμένα με τα παγκόσμια κολοσσιαία δίκτυα που είναι το MCI, UUNET, AOL.

¹⁰ **INTERNET**. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <http://pc-3.lib.uoi.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/3927/1/Internet%202003.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

CONTENT DELIVERY NETWORKS (CDN)

4.1 Εισαγωγή στα δίκτυα διανομής περιεχομένου

Η αύξηση της χρήσης των ιστοσελίδων στο διαδίκτυο αύξησε τις εμφανίσεις ενός προβλήματος που ονομάστηκε flash crowd problem. Το πρόβλημα αυτό ορίζεται ως η κατάσταση κατά την οποία ο φόρτος αιτημάτων ξεπερνά κάποια δυνατότητα της υποδομής της σελίδας, όπως ο εξυπηρετητής περιεχομένου, ο εξοπλισμός δικτύου, το bandwidth και το back-end τμήμα της υποδομής για επεξεργασία συναλλαγών, προκαλώντας κατάρρευση της σελίδας ή και ασυνήθιστα υψηλούς χρόνους απόκρισης με τη συνεπαγόμενη απώλεια εσόδων και κύρους. Το πρόβλημα αυτό πηγάζει από τις αντικειμενικά περιορισμένες δυνατότητες της υποδομής της σελίδας αλλά και από την εξυπηρέτηση αιτημάτων γεωγραφικά απομακρυσμένων, που απαιτούν περισσότερα άλματα από τα πακέτα (hops). Τα δίκτυα διανομής περιεχομένου δημιουργούν ένα δίκτυο εξυπηρετητών (servers) ανά τον κόσμο στην άκρη του δικτύου, για να καταστήσουν αποτελεσματική τη μεταφορά της πληροφορίας των ιστοσελίδων στους τελικούς χρήστες. Η αντιγραφή της πληροφορίας σε εξυπηρετητές καταναμημένους ανά την υφήλιο μειώνει την ανάγκη τα πακέτα της πληροφορίας να διατρέξουν μεγάλο αριθμό δρομολογητών (routers) ώστε να διανεμηθεί το περιεχόμενο από τον πάροχο στους χρήστες, μειώνοντας το χρόνο δρομολόγησης του πακέτου και την κίνηση που αυτό δημιουργεί 'ταξιδεύοντας' στο δίκτυο. Το διαδίκτυο χρησιμοποιείται, όμως, σε όλον τον πλανήτη με αποτέλεσμα να μην είναι πάντα εφικτό να εντοπίσουμε την πηγή της ζήτησης για κάποιο περιεχόμενο και να αυξήσουμε μόνο σε αυτή την περιοχή τα αντίγραφα του περιεχομένου εξυπηρετώντας τη ζήτηση. Αυτό θα σήμαινε ότι κάθε πάροχος περιεχομένου θα έπρεπε να διατηρεί ένα ιδιόκτητο παγκόσμιο δίκτυο διανομής περιεχομένου, ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει ζήτηση από οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη και αν προέρχεται. Αυτό, όμως, είναι οικονομικά και πρακτικά ανέφικτο για παρόχους περιεχομένου που δεν έχουν μεγάλο κύκλο εργασιών και παγκόσμια παρουσία. Έτσι, τα δίκτυα διανομής δεδομένων σαν υποδομή στην πράξη παρέχονται ως υπηρεσία από τους παρόχους CDN, έναντι αντιτίμου αντίστοιχου με τις προδιαγραφές της διανομής του περιεχομένου, όπως π.χ. η συχνότητα ανανέωσης των δεδομένων και ο αποδεκτός χρόνος ενημέρωσης των δεδομένων σε όλους τους εξυπηρετητές παγκοσμίως.

Η πρακτική που ακολουθούν οι πάροχοι CDN είναι το περιεχόμενο των ιστοσελίδων να αντιγράφεται σε εξυπηρετητές σε διαφορετικές τοποθεσίες γεωγραφικά καταναμημένες, που ανήκουν στο ίδιο δίκτυο διανομής περιεχομένου. Πολλοί πάροχοι περιεχομένου (ιστοσελίδες) μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα δίκτυο διανομής περιεχομένου, μειώνοντας την ανάγκη κάθε πάροχος περιεχομένου να συντηρεί το δικό του δίκτυο διανομής δεδομένων, καθιστώντας τη γεωγραφική κατανομή των δεδομένων και την αύξηση της επίδοσης των ιστοσελίδων ευκολότερη, δημιουργώντας όμως ένα επιπλέον κόστος για όποιον πάροχο περιεχομένου επιλέξει να διαμοιράσει το περιεχόμενό του μέσω 'ενοικίασης' τέτοιων δικτύων. Οι κυριότεροι πάροχοι δικτύων CDN απαριθμούνται στον επόμενο πίνακα.¹¹

¹¹ *Latest List Of Vendors In The Content Delivery Ecosystem*. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <http://blog.streamingmedia.com/2014/07/cdnvendors.html>

Akamai	Alcatel Lucent	Allot Communications	Amazon
ARA Networks	Aryaka	Blue Coast	Broadpeak
BTI Systems	CDNetworks	Cedexis	CDN77
ChinaCache	Cisco	Conversant	Comcast
Conviva	DeepField	Edgeware	Ericsson
Fastly	Fortinet	Hibernia Networks	Highwinds
Huawei	Instart Logic	Internap	Jetstream
Juniper	LeaseWeb	Level 3	Limelight Networks
MaxCDN	Microsoft	MileWEB	Mirror Image
OnApp	PeerApp	Qwilt	Radware
Revsww	Solbox	Swiftserve	Tata Communications
Verizon EdgeCast	Vidscale	Yotta	

Πίνακας 1 Κύριοι πάροχοι δικτύων CDN

4.1.1 Βασικές έννοιες δικτύων CDN

Η δομή των δικτύων CDN έχει αρχιτεκτονική client – server. Σε αυτή την αρχιτεκτονική δικτύου οι υπολογιστικοί πόροι συνδέονται έτσι ώστε οι clients (ή αλλιώς front-end) να μπορούν να ζητούν υπηρεσίες από ένα server (ή αλλιώς back-end), ο οποίος προσφέρει πληροφορίες ή επιπρόσθετη υπολογιστική ισχύ.¹² Ο client αιτείται πόρους και υπηρεσίες από τον server ο οποίος οφείλει να επεξεργαστεί αυτά τα αιτήματα και να τα εξυπηρετήσει. Η υπολογιστική ισχύς του server είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής του client καθώς ο κάθε server δεν εξυπηρετεί μόνο έναν client. Το είδος της αρχιτεκτονικής client – server καθορίζεται από το πώς τα δεδομένα μεταφέρονται μεταξύ των υπολογιστών. Εάν τα δεδομένα μεταφέρονται απευθείας από τον client στο server η αρχιτεκτονική είναι δύο επιπέδων, με τον client να αντιπροσωπεύει το πρώτο επίπεδο και το server να αντιστοιχεί στο δεύτερο επίπεδο. Εάν τα δεδομένα από τον client μπορούν να σταλούν και σε άλλους servers αν κριθεί αναγκαίο τότε έχουμε αρχιτεκτονική τριών επιπέδων ή πολυεπίπεδη, προστίθεται δηλαδή ένα ενδιάμεσο στάδιο που επεξεργάζεται τα αιτήματα του client και τα χρονοπρογραμματίζει με βάση την κατάσταση και διαθεσιμότητα των κατάλληλων servers, που μπορούν να τα εξυπηρετήσουν. Στο επίπεδο του client εκτελούνται οι browsers, που ουσιαστικά δομούν τα αιτήματα, που στέλνονται προς τους servers. Στο επίπεδο του server γίνεται η εξυπηρέτηση αυτών των αιτημάτων από τους clients, μετά από επικοινωνία με μια βάση δεδομένων ή ένα application server στον οποίο υπάρχει μια βάση δεδομένων ή που επικοινωνεί με μια άλλη ξεχωριστή συσκευή, στην οποία υπάρχει μια βάση δεδομένων. Στην αρχιτεκτονική τριών επιπέδων τα πρώτα δυο επίπεδα διαχωρίζονται το ένα από το άλλο ενώ το τρίτο επίπεδο τοποθετείται ενδιάμεσα. Λόγω αυτού του ενδιάμεσου επιπέδου και της απομάκρυνσης του client με το server, τόσο σε σχεδιαστικό όσο και πρακτικό επίπεδο, αρχίζει αν αποκτά νόημα η μέλετη της απόστασης του client με το server, τόσο σαν γεωγραφική απόσταση με τη μέτρηση του χρόνου αποστολής πακέτων, όσο και σε δικτυακή απόσταση με τον αριθμό των hops, αν και αυτά τα δυο συνήθως αυξάνονται ταυτόχρονα.

Η συντήρηση περιεχομένου σε κατανεμημένους εξυπηρετητές ανά τον κόσμο παράγει κάποιες τεχνικές δυσκολίες, όπως η διανομή των αιτημάτων στους κατάλληλους

¹² CLIENT-SERVER COMPUTING. Ανακτήθηκε 10 Αυγούστου, 2015, από http://www.it.uom.gr/project/client_server/theoria1.htm

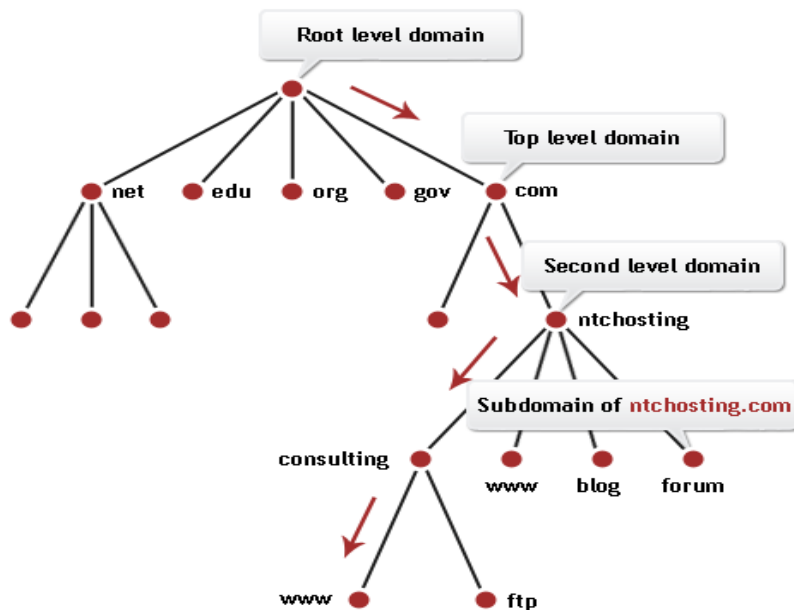
εξυπηρετητές, η διαχείριση αστοχιών, η παρακολούθηση και ο έλεγχος της κατάστασης των server και τέλος η ενημέρωση του περιεχομένου σε όλο το δίκτυο. Όλες αυτές οι δυσκολίες πρέπει να αντιμετωπιστούν με τρόπο αξιόπιστο που μπορεί να επεκταθεί σε οποιοδήποτε αριθμό εξυπηρετητών και οποιαδήποτε παραλλαγή της αρχιτεκτονικής του δικτύου.

Το κύριο στοιχείο των CDNs είναι εξυπηρετητές στους οποίους αντιγράφεται το περιεχόμενο των εξυπηρετητών πηγής, ώστε να αναλάβουν το διαμοιρασμό της πληροφορίας στις περιοχές που ανήκουν απαλλάσσοντας τους αρχικούς εξυπηρετητές από την ανάγκη να το κάνουν οι ίδιοι. Οι βοηθητικοί αυτοί εξυπηρετητές τοποθετούνται γεωγραφικά κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εξυπηρετούνται οι στόχοι παροχής περιεχομένου ανάλογα με το περιεχόμενο της ιστοσελίδας. Αυτή η τοποθέτηση γίνεται μέσω χρήσης θεωρητικών και ευριστικών μοντέλων, που δημιουργούνται από τις προδιαγραφές διαμοιρασμού σε συνδυασμό με οικονομικούς συλλογισμούς.

Η διαδικασία λήψης περιεχομένου από το χρήστη ξεκινά από την αντιστοίχιση της URL διεύθυνσης που ζητάει ο χρήστης με τον εξυπηρετητή που κρατά το περιεχόμενο αυτό. Τα ονόματα χρησιμοποιήθηκαν για τις ιστοσελίδες ώστε να είναι πιο εύκολη η απομνημόνευσή τους από τους χρήστες, κάτι που δε θα ήταν τόσο εύκολο αν χρησιμοποιούσαμε διευθύνσεις IP. Το hardware, όμως, του δικτύου, δηλαδή οι routers, υπολογιστές κτλ, λειτουργούν με διευθύνσεις IP που αντιστοιχούν τόσο στο δίκτυο όσο και στη συγκεκριμένη συσκευή στο δίκτυο. Αυτή η αντιστοίχιση γίνεται από το **Domain Name System (DNS)**, που είναι ένα ιεραρχικό σύστημα ονοματοδοσίας για δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IP. Ο **domain name server** είναι ο εξυπηρετητής που κρατά τη βάση δεδομένων με την αντιστοίχιση των ονομάτων με τις διευθύνσεις IP, και μπορεί να βρίσκεται τόσο τοπικά, για μεγάλες εταιρίες που έχουν αυτή τη δυνατότητα, όσο και απομακρυσμένα στον πάροχο δικτύου Internet (ISP). Κάθε κόμβος στο ιεραρχικό δένδρο του DNS αναπαριστά ένα όνομα DNS (DNS name).¹³ Κάθε κλαδί κάτω από ένα κόμβο είναι μια περιοχή DNS (DNS domain).

Όταν ζητείται μια URL διεύθυνση, αποστέλλεται ένα DNS αίτημα στον τοπικό εξυπηρετητή DNS και εάν αυτός δεν έχει διαθέσιμη την αντιστοίχιση, επικοινωνεί με τον κεντρικό εξυπηρετητή εξουσιοδότησης DNS, του παρόχου του δικτύου ή και υψηλότερου επιπέδου, για την αντιστοίχιση του ονόματος του εξυπηρετητή. Το υψηλότερο επίπεδο, στο οποίο μπορεί να αναζητηθεί η αντιστοίχιση, καθορίζεται από τους χαρακτήρες της URL διεύθυνσης που βρίσκονται μετά την τελευταία τελεία. Τέτοιες καταλήξεις είναι οι γνωστές σε όλους .com, .net, .org, .gov, .edu κ.α. Έκτός αυτών υπάρχουν και οι καταλήξεις που δηλώνουν τη χώρα προέλευσης όπως .gr, .us κ.α. Έτσι είναι κατανοητό ότι και ο αριθμός των domain name servers υψηλότερου επιπέδου δεν είναι αμελητέος καθώς υπάρχουν εκατοντάδες τέτοιες καταλήξεις. Κάθε domain υψηλότερου επιπέδου (top level domain) μπορεί να περιέχει από δεκάδες χιλιάδες έως και εκατομμύρια domains δεύτερου επιπέδου.

¹³ [Courses.cn.ntua.gr](http://old-courses.cn.ntua.gr/file.php/56/mathima11-12_dns.pdf). Ανακτήθηκε 10 Αυγούστου, 2015, από http://old-courses.cn.ntua.gr/file.php/56/mathima11-12_dns.pdf



Εικόνα 1 Ιεραρχία συστήματος DNS¹⁴

Αφού ανακτηθεί η IP διεύθυνση του domain name server, ο client αιτείται την μετατροπή του domain name σε διεύθυνση IP. Εάν έχει ξαναπροσπελαστεί το συγκεκριμένο domain name πρέπει απλά ο domain name server να ανατρέξει στη μνήμη του. Εάν, όμως, ο name server δεν έχει γνώση αυτού του domain name, πρέπει να επικοινωνήσει με ένα root name server. Ο root name server κρατά τις διευθύνσεις IP για όλους τους name servers που βρίσκονται σε ένα domain υψηλότερου επιπέδου. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν 13 root name servers, με ονόματα {a-m}.root-servers.net που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Η γεωγραφική τους θέση είναι συγκεκριμένη, όμως υπάρχουν και αντίγραφά τους ανά την υφήλιο, όπως φαίνεται στις επόμενες δυο εικόνες. Έτσι, όταν γίνει η αναζήτηση σε ένα root name server μπορεί να γίνει πλέον η αντιστοίχιση της IP διεύθυνσης ενός domain και ο name server να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτό το server. Αυτή η δομή του DNS ως κατανεμημένη βάση δεδομένων εξυπηρετεί στη μείωση της απόστασης από την οποία ανακτούνται τα δεδομένα, τη μείωση της κίνησης στους εξυπηρετητές αντιστοίχισης ονομάτων καθώς εν γένει διαμοιράζονται τα αιτήματα και κάποια εξυπηρετούνται στην 'άκρη' του δικτύου βελτιώνοντας την επεκτασιμότητα με συστήματα χαμηλότερων απαιτήσεων πόρων, καθώς κάθε name server αποθηκεύει και εξυπηρετεί μόνο αιτήματα για την περιοχή που του έχει ανατεθεί.

¹⁴ DNS. Ανακτήθηκε 10 Αυγούστου, 2015, από http://ourrku.hpage.co.in/application-layer_42536961.html

Hostname	IP Addresses	Manager
a.root-servers.net	198.41.0.4, 2001:503:ba3e::2:30	VeriSign, Inc.
b.root-servers.net	192.228.79.201, 2001:500:84::b	University of Southern California (ISI)
c.root-servers.net	192.33.4.12, 2001:500:2::c	Cogent Communications
d.root-servers.net	199.7.91.13, 2001:500:2d::d	University of Maryland
e.root-servers.net	192.203.230.10	NASA (Ames Research Center)
f.root-servers.net	192.5.5.241, 2001:500:2f::f	Internet Systems Consortium, Inc.
g.root-servers.net	192.112.36.4	US Department of Defense (NIC)
h.root-servers.net	198.97.190.53, 2001:500:1::53	US Army (Research Lab)
i.root-servers.net	192.36.148.17, 2001:7fe::53	Netnod
j.root-servers.net	192.58.128.30, 2001:503:c27::2:30	VeriSign, Inc.
k.root-servers.net	193.0.14.129, 2001:7fd::1	RIPE NCC
l.root-servers.net	199.7.83.42, 2001:500:3::42	ICANN
m.root-servers.net	202.12.27.33, 2001:dc3::35	WIDE Project

Πίνακας 2 Λίστα root name servers¹⁵



Εικόνα 2 Οι τοποθεσίες των 13 root name servers¹⁶

¹⁵ *Root Servers*. Ανακτήθηκε 22 Αυγούστου, 2015, από <https://www.iana.org/domains/root/servers>.

¹⁶ *Communication Networks/DNS*. Ανακτήθηκε 25 Αυγούστου, 2015, από https://en.wikibooks.org/wiki/Communication_Networks/DNS



Εικόνα 3 Όλες οι τοποθεσίες των root name servers μαζί με τα αντίγραφά τους¹⁷

4.1.2 Η δομή των CDN

Τα δίκτυα CDN δημιουργήθηκαν από την παρατήρηση ότι η διανομή περιεχομένου, από κεντρικούς εξυπηρετητές, παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα όσον αφορά στην απόδοση. Αυτά τα μειονεκτήματα πηγάζουν από τους περιορισμούς των πόρων όπως το bandwidth, οι ρυθμοί δεδομένων και η κίνηση στους κόμβους, η δικτυακή απόσταση του χρήστη με το server μετρημένη σε hops και οι καθυστερήσεις στη μεταφορά λόγω της απόστασης χρήστη και server. Η τοποθέτηση του περιεχομένου στην ‘άκρη’ του δικτύου σε γεωγραφικά κατακεντρωμένες τοποθεσίες βελτιώνει τους προηγούμενους παράγοντες.

Η λειτουργία ενός δικτύου CDN περιλαμβάνει τα εξής:¹⁸

- Ανακατεύθυνση αιτημάτων και υπηρεσίες διανομής περιεχομένου
- Αντιγραφή περιεχομένου και υπηρεσίες διαβίβασης
- Υπηρεσίες διαχείρισης περιεχομένου για ειδικές χρήσεις
- Διαχειριστικές υπηρεσίες του δικτύου, λογιστικές υπηρεσίες και στατιστικά χρήσης περιεχομένου

Όταν ένας πάροχος περιεχομένου επιλέξει ένα πάροχο CDN, του παρέχει τα δεδομένα του περιεχομένου, ώστε ο πάροχος CDN να τα αντιγράψει ή να τα μεταφέρει προσωρινά σε κατακεντρωμένους εξυπηρετητές, με βάση τις προδιαγραφές της συμφωνίας. Η εξυπηρέτηση γίνεται με το αίτημα του χρήστη του περιεχομένου στον πάροχο περιεχομένου. Ο πάροχος περιεχομένου προωθεί το αίτημα στον πάροχο CDN. Ο πάροχος CDN ανταποκρίνεται στο αίτημα και με βάση δικά του κριτήρια και μηχανισμούς, επιλέγει από το δίκτυο του τον κατάλληλο εξυπηρετητή που θα παράσχει το αντιγραμμένο περιεχόμενο στο χρήστη περιεχομένου.

Η παροχή δικτύων CDN χωρίζεται ιεραρχικά στα παρακάτω επίπεδα:²¹

¹⁷ *Root-servers.org*. Ανακτήθηκε 25 Αυγούστου, 2015, από <http://root-servers.org/>

¹⁸ Pathan, A. & Buyya, R. ([χ.χ.]). *A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks*. [χ.τ.]: [χ.ε.].

- Επίπεδο υλικού, όπου βρίσκεται η υποδομή του δικτύου με υπολογιστική και αποθηκευτική δυνατότητα κατάλληλη για εξυπηρέτηση αιτημάτων μεγάλου όγκου σε υψηλό bandwidth.
- Επίπεδο επικοινωνίας και συνδεσιμότητας, όπου παρέχονται τα επιλεγμένα πρωτόκολλα για επικοινωνία, προσωρινή αποθήκευση και διανομή περιεχομένου και υπηρεσιών με τις κατάλληλες προδιαγραφές ασφάλειας και εξουσιοδότησης.
- Επίπεδο CDN, όπου γίνονται η κύριες λειτουργίες παροχής της υπηρεσίας της υποδομής (IaaS) του δικτύου CDN με τρία υποεπίπεδα: υπηρεσίες CDN, τύποι CDN, τύποι περιεχομένου. Οι υπηρεσίες CDN είναι η επιλογή των βοηθητικών servers, η δρομολόγηση των αιτημάτων, η προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου, η εξισορρόπηση του φορτίου γεωγραφικά, ειδικές υπηρεσίες για χρήστες ανάλογα με τη συμφωνία με τον πάροχο, διαμοιρασμό πόρων και διαχείριση του δικτύου.
- Επίπεδο χρηστών, όπου βρίσκονται οι χρήστες του περιεχομένου, που ζητούν το περιεχόμενο από την ιστοσελίδα και πρέπει να το λαμβάνουν από το CDN δίκτυο, με βάση κάποιες προδιαγραφές, χωρίς να είναι αισθητή σε αυτούς η διαμεσολάβηση του δικτύου CDN

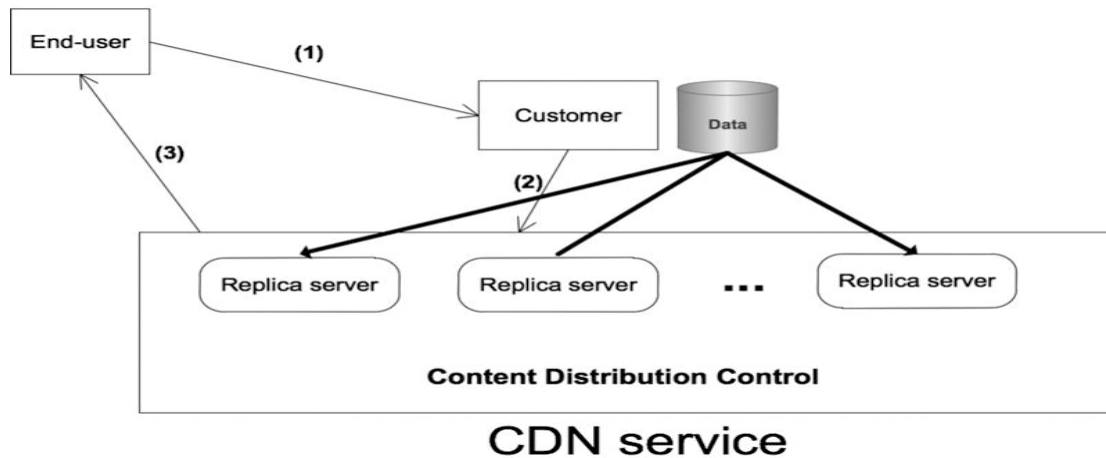
Όπως είναι λογικό τα CDN δημιουργούν μια δυσκολία στο πως αυτό το DNS αίτημα θα κατευθυνθεί στον κατάλληλο εξυπηρετητή στο δίκτυο. Η λύση είναι ο εξυπηρετητής εξουσιοδότησης να ελέγχεται από το CDN δίκτυο, ώστε το DNS αίτημα να κατευθύνεται στον ιδανικό εξυπηρετητή ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου. Τα κριτήρια κατάστασης του δικτύου για την επιλογή της δρομολόγησης είναι:

- **Αιτούμενη υπηρεσία:** Ο εξυπηρετητής πρέπει να έχει χαρακτηριστικά τέτοια ώστε να ικανοποιήσει αυτό το αίτημα. Ένας server, που ικανοποιεί HTTP αιτήματα, δε μπορεί να εξυπηρετήσει multimedia ροές.
- **Υγεία server:** Το περιεχόμενο του εξυπηρετητή πρέπει να είναι πλήρες και διαθέσιμο για να γίνει δρομολόγηση.
- **Φορτίο εξυπηρετητή:** Η δρομολόγηση λαμβάνει υπ' όψιν της το φορτίο του εξυπηρετητή, ώστε να μην υπερφορτώνεται πέραν ενός ορίου σε CPU, δίσκο και χρήση δικτύου.
- **Κατάσταση δικτύωσης:** Ο client θα πρέπει να μπορεί να επικοινωνήσει με το server με ελάχιστη απώλεια πακέτων και το data center, που βρίσκεται ο server, να κατέχει αρκετό bandwidth για να χειριστεί επιπλέον δικτυακά αιτήματα.
- **Τοποθεσία client:** Ο server πρέπει να βρίσκεται κοντά στον client με βάση κριτήρια, όπως ο χρόνος μετάδοσης και επιστροφής στο δίκτυο.
- **Ζητούμενο περιεχόμενο:** Ο server πρέπει να έχει χαρακτηριστεί σα server περιεχομένου αντίστοιχου με αυτό που ζητείται.

Τα είδη περιεχομένου που μπορεί να εξυπηρετήσει ένα δίκτυο CDN είναι :

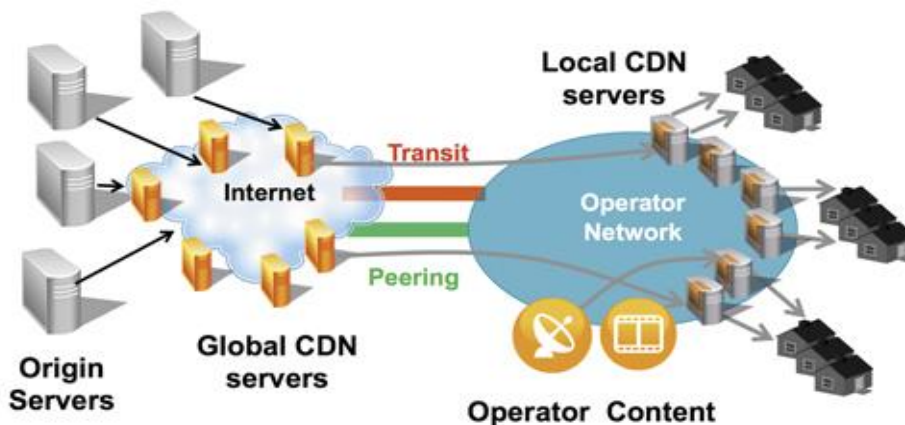
- Στατικό περιεχόμενο: Στατικές ιστοσελίδες, εικόνες, έγγραφα, λογισμικό, ήχο, βίντεο και περιεχόμενο που δεν αλλάζει συχνά.
- Ροές πολυμέσων: Ροές πολυμέσων είτε ζωντανές, είτε κατά ζήτηση (On demand). Οι ζωντανές ροές δε μπορούν να είναι προαποθηκευμένες και αναγκαστικά μεταφέρονται εκείνη τη στιγμή στο χρήστη δημιουργώντας αυξημένες απαιτήσεις. Οι On demand ροές είναι προαποθηκευμένες, αλλά κωδικοποιημένες σε εξυπηρετητές πολυμέσων. Δημιουργείται η ανάγκη για ειδικούς streaming servers με ειδικά πρωτόκολλα.

- Υπηρεσίες: Το δίκτυο μπορεί να εξυπηρετήσει και κανάλια παροχής υπηρεσιών εξυπηρετώντας και παρόχους υπηρεσιών.



Εικόνα 4 Διάγραμμα εξυπηρέτησης αιτήματος παροχής περιεχομένου μέσω δικτύου CDN¹⁹

Οι εξυπηρετητές CDN έχουν και αυτοί μια ιεραρχική δομή και δεν είναι όλοι διάσπαρτοι ανά την υφήλιο και να εξυπηρετούνται από μια κεντρική τοποθεσία. Έτσι, λοιπόν, χωρίζονται σε τοπικούς και παγκόσμιους CDN servers, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα που δείχνει, πώς τα δεδομένα του περιεχομένου καταλήγουν από τους servers του παρόχου περιεχομένου (origin servers) τελικούς χρήστες του περιεχομένου και ποιά είναι η διασύνδεση των διάφορων εξυπηρετητών.



Εικόνα 5 Αναπαράσταση παροχής υπηρεσίας CDN²⁰

Οι servers πηγής (origin servers) περιέχουν τα δεδομένα για το περιεχόμενο που ζητούν οι χρήστες και πρέπει να αντιγραφεί στο δίκτυο διανομής. Οι servers αντίγραφα (replica servers)

¹⁹ Mellouk, A., Hoceini, S. & Tran, H. (2013). *Quality of Experience for Multimedia: Application to Content Delivery Network Architecture*. [Χ.Τ.]: John Wiley & Sons

²⁰ *Why Do Telecom Operators Need CDN?*. Ανακτήθηκε 30 Αυγούστου, 2015, από http://eng.jetinfo.ru/jetinfo_arhiv/everything-about-network-traffic-management/why-do-telecom-operators-need-cdn/2014

είναι αυτοί στους οποίους έχει αντιγραφεί το ζητούμενο περιεχόμενο και είναι έτοιμο για διανομή στην περιοχή που τους αντιστοιχεί και ενεργούν σαν πηγή εξουσιοδότησης, αν κάποιος χρήστης μπορεί να λάβει κάποιο περιεχόμενο. Οι servers αντίγραφα μπορεί να λειτουργήσουν σαν εξυπηρετητές πολυμέσων, στατικού περιεχομένου ή και προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου του server πηγής στην άκρη του δικτύου (cache). Ο αριθμός, η τοποθεσία και οι δυνατότητες των replica servers καθορίζονται από τον πάροχο CDN και καθορίζουν τις προδιαγραφές παροχής υπηρεσιών του παρόχου. Ο ελεγκτής περιεχομένου (content manager) γνωρίζει το είδος των πολυμέσων σε κάθε replica server ώστε να γίνεται κατάλληλα η ανακατεύθυνση στον κατάλληλο replica server. Η ανακατεύθυνση γίνεται από τον ανακατευθυντή (redirector) που καθορίζει την ευφύια του συστήματος. Ανάλογα με το με πόσα κριτήρια και πόσο βελτιστοποιεί την ανθεκτικότητα και αυξάνει την απόδοση του συστήματος έχουμε και υψηλότερη ποιότητα διανομής από τον πάροχο.

Τα κύρια επίπεδα της αρχιτεκτονικής του δικτύου CDN είναι δυο:

- Επίπεδο δρομολόγησης : καθορίζεται η συνδεσιμότητα του δικτύου πυρήνα με βάση τα κριτήρια εγγυημένης ποιότητας εξυπηρέτησης (Quality of Service QoS), ώστε να γίνεται η βέλτιστη χρήση των πόρων του συστήματος όπως αυτοί είναι ήδη κατανομημένοι.
- Επίπεδο μετα-δρομολόγησης : καθορίζεται η τοποθέτηση των replica servers, οι προδιαγραφές τους και ο τρόπος επιλογής τους με βάση τα κριτήρια που επιλέγει ο πάροχος.

Το επίπεδο δρομολόγησης είναι κατώτερο από το επίπεδο μετα-δρομολόγησης και αφορά μόνο τη μεταφορά των δεδομένων προς το χρήστη από έναν επιλεγμένο εξυπηρετητή, με βάση κάποιο πρωτόκολλο που διασφαλίζει την ποιότητα της εξυπηρέτησης. Η δρομολόγηση γίνεται στο επίπεδο του δικτύου του μοντέλου OSI και καθορίζει το πού θα μεταφερθεί ένα πακέτο για να συνεχίσει την πορεία του προς τον αποδέκτη. Οι τρόποι δρομολόγησης είναι δυο : άμεση και έμμεση. Στην άμεση δρομολόγηση ένα μήνυμα μεταφέρεται μεταξύ δυο υπολογιστών στο ίδιο δίκτυο. Στην έμμεση δρομολόγηση τα πακέτα στέλνονται στον κατάλληλο δρομολογητή ώστε να μεταβούν στον τελικό τους προορισμό. Κάθε δρομολογητής χρησιμοποιεί ένα πίνακα δρομολόγησης, ώστε να κατευθύνει τα πακέτα στη σωστή κατεύθυνση εκτός του δικτύου σε κάποιο άλλο δίκτυο.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

- Intra-domain : που δρομολογούν πακέτα εντός ενός δικτύου π.χ. Interior Gateway Protocol (IGP), Interior Gateway Routing Protocol(IGRP), Routing Information Protocol(RIP).
- Inter-domain : που δρομολογούν πακέτα μεταξύ δυο διαφορετικών δικτύων π.χ. Exterior Gateway Protocol (EGP), Border Gateway Protocol(BGP).

Στα δίκτυα διανομής περιεχομένου η δρομολόγηση γίνεται εντός του δικτύου κατά κύριο λόγο, οπότε τα πρωτόκολλα, που πρέπει να αναλυθούν περαιτέρω, είναι τα intra-domain πρωτόκολλα.

Τα intra-domain πρωτόκολλα διαχωρίζονται σε :

- Πρωτόκολλα διανυσματικής απόστασης (Vector Distance Protocols)
- Πρωτόκολλα κατάστασης συνδέσμων (Link State Protocols)

Τα **πρωτόκολλα διανυσματικής απόστασης** κατασκευάζουν ένα πίνακα δρομολόγησης σε κάθε δρομολογητή και τον εκπέμπουν περιοδικά στο δίκτυο. Όταν ο πίνακας λαμβάνεται από

άλλο δρομολογητή, εξετάζονται οι σταθμοί προορισμού και η απόσταση για κάθε άλλο δρομολογητή. Ο δρομολογητής που λαμβάνει τον πίνακα εξετάζει τις αποστάσεις από όλους τους κόμβους και ενημερώνεται με τους κόμβους που δε διαθέτει στον πίνακα δρομολόγησής του, αλλάζοντας τον πίνακα δρομολόγησης που κατείχε αρχικά. Η διανυσματική απόσταση είναι ο κόμβος προορισμού και η απόσταση σε δικτυακά άλματα (hops). Αυτά τα πρωτόκολλα λειτουργούν σε μικρά δίκτυα, καθώς σε μεγάλα δίκτυα έχουν προβλήματα απόδοσης, λόγω της μετάδοσης πινάκων δρομολόγησης, που απαιτεί δικτυακούς πόρους και του χρόνου ενημέρωσης των πινάκων δρομολόγησης κάθε δρομολογητή, που καθιστά το δρομολογητή ανενεργό κατά αυτή τη χρονική περίοδο. Τα παραπάνω προβλήματα επιτείνονται όσο μεγαλύτερο είναι το δίκτυο και συνεπώς οι πίνακες δρομολόγησης που ανταλλάσσονται.²¹

Τα **πρωτόκολλα κατάστασης συνδέσμων** αποτελούν βελτίωση των πρωτοκόλλων διανυσματικής απόστασης, ενημερώνοντας τους πίνακες δρομολόγησης μόνο όταν αλλάξει η κατάσταση σε κάποιον από τους κόμβους του δικτύου. Στη δρομολόγηση η διαφορά είναι, ότι δεν επιλέγεται η κοντινότερη διαδρομή, αν υπάρχουν άλλες, αλλά αυτή που είναι η βέλτιστη με βάση την καθυστέρηση σύνδεσης, τη χωρητικότητα της γραμμής και την αξιοπιστία της σύνδεσης.

Αυτές οι τεχνικές, όμως, δε λαμβάνουν υπ' όψιν τη σύγχρονη απαίτηση για εγγυημένη ποιότητα εξυπηρέτησης (QoS). Η εγγύηση του QoS απαιτεί :

- Αξιολόγηση της κατάστασης των συνδέσμων του δικτύου
- Συλλογή πληροφοριών από τους δρομολογητές
- Περιορισμούς QoS για τους δρομολογητές

Παρά αυτές τις απαιτήσεις, η δρομολόγηση με βάση το εγγυημένο QoS θεωρείται δυσεπίλυτο πρόβλημα, αν ληφθούν υπ' όψιν πάνω από δυο παράγοντες που δε συσχετίζονται άμεσα. Αυτού του τύπου η δρομολόγηση απαιτεί πλήρη και ακριβή γνώση της κατάστασης του δικτύου και τον πόρων του. Οι τέσσερις κατηγορίες δρομολόγησης με βάση το QoS είναι :

- Αυτές που βασίζονται στην αρχή της μεταγωγής π.χ. MultiProtocol Label Switching (MPLS)
- Αυτές που βελτιώνουν υπάρχοντα πρωτόκολλα π.χ. Quality of Service Path First (QOSPF)
- Αυτές που βασίζονται στη χρήση μετρικών π.χ. widest –shortest path (WS), shortest-widest path (SW)
- Αυτές που χρησιμοποιούν τεχνικές μάθησης π.χ. Q-learning, Ants

Το **MPLS** ορίζει μια σταθερή διαδρομή για διαφορετικές ροές, ώστε να φτάσουν στον προορισμό τους, χρησιμοποιώντας το πρότυπο μεταγωγής με ετικέτες. Οι ετικέτες κατασκευάζονται όταν ένα πακέτο εισάγεται στο δίκτυο κορμού και καθορίζουν, τόσο τη δρομολόγηση, όσο και τα χαρακτηριστικά ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται από το δίκτυο.²² Τα πλεονεκτήματα του MPLS είναι η ταχύτητα μεταγωγής σε επίπεδο υλικού δικτύου, λόγω των ετικετών, και η δυνατότητα να οριστούν πολιτικές δρομολόγησης για συγκεκριμένες ροές, όπου απαιτείται. Η χρήση των ετικετών βοηθά στο να μη γίνονται

²¹ Πρωτόκολλα Δρομολογητών. Ανακτήθηκε 30 Αυγούστου, 2015 από http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metapyxiaka/technologies_diktywn/teaching_m/internetworking/protocols.htm

²² ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ. Ανακτήθηκε 3 Σεπτεμβρίου, 2015, από http://cgi.di.uoa.gr/~klimn/vpn/VPN-lecture_notes.pdf

συγκρίσεις μεταξύ επικεφαλίδων IP, αλλά να διαβάζεται απλά η σταθερού μήκους ετικέτα που μετάγει το πακέτο μεταξύ δυο συσκευών που επικοινωνούν. Λόγω των ετικετών, μπορούν να καθοριστούν ροές, που έχουν μεγαλύτερη κλάση εξυπηρέτησης (Class of Service CoS) και πρέπει να εξυπηρετηθούν κατά προτεραιότητα. Ακόμα ορίζονται και μονοπάτια, από άκρη σε άκρη, μέσω των προκαταβολικά ορισμένων ετικετών μονοπατιών. Αυτά τα μονοπάτια, μιας και είναι εξαρχής καθορισμένα, μπορούν να έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ώστε να εξυπηρετούν συγκεκριμένες ροές.

Το **QOSPF** χρησιμοποιεί δυο μηνύματα: το RES-LSA και το RRA. Το RES-LSA ενημερώνει όλους τους δρομολογητές για την κατάσταση των συνδέσμων, ώστε να μπορούν να καθορίζουν τα μονοπάτια όταν προστίθεται δρομολογητής στο δίκτυο ή το φορτίο των συνδέσμων διαφέρει. Το RRA δηλώνει, ότι οι πόροι χρησιμοποιούνται από κάποια ροή και από αυτό ενημερώνονται οι δρομολογητές για τους κατειλημμένους πόρους. Αν υπάρχουν πολλές ροές, δημιουργούνται πολλά RRA μηνύματα και αυτό δημιουργεί προβλήματα επέκτασης.

Τα πρωτόκολλα, που χρησιμοποιούν μετρικές και τις συνδυάζουν σε ένα δείκτη απόφασης για το μονοπάτι, χρησιμοποιούν γραμμικούς, μη γραμμικούς και Lagrange υπολογισμούς. Σκοπός είναι ο συγκερασμός πολλών παραμέτρων στη λήψη της απόφασης π.χ. bandwidth, καθυστέρηση κτλ. Η βέλτιστη επίλυση, όμως, αυτού του προβλήματος είναι υπολογιστικά ακατόρθωτη όσο αυξάνονται οι παράμετροι βελτιστοποίησης.

Τα πρωτόκολλα, που χρησιμοποιούν τεχνικές μάθησης, αντιγράφουν από συμπεριφορές του ζωικού βασιλείου, όπως το Ant Colony Optimization, χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα αποφάσεων κ.α.

Το επίπεδο μετα-δρομολόγησης καθορίζει την τοποθέτηση των replica servers, τον τρόπο με τον οποίο επιλέγεται το περιεχόμενο που κρατούν και τον τρόπο επιλογής του κατάλληλου εξυπηρετητή για κάποιο αίτημα.

Η τοποθέτηση των servers είναι κρίσιμο ζήτημα για την αρχιτεκτονική των CDN, ώστε να μειωθεί η καθυστέρηση πρόσβασης από τους χρήστες και η κατανάλωση bandwidth. Ένας τρόπος τοποθέτησης των εξυπηρετητών είναι με βάση τη λύση του **προβλήματος K-κέντρων** (k-center problem), που σκοπό έχει την ελαχιστοποίηση της μέγιστης απόστασης μεταξύ ενός κόμβου του δικτύου και του κοντινότερου κέντρου, με τον αριθμό και την τοποθεσία των κέντρων να θεωρούνται γνωστά. Ένας άλλος τρόπος τοποθέτησης είναι με βάση τη λύση του **προβλήματος χωροθέτησης εγκαταστάσεων** (facility location problem), που λαμβάνει υπ' όψιν το πόσες εγκαταστάσεις πρέπει να χωροθετηθούν, που θα τοποθετηθεί η κάθε εγκατάσταση, πόσο μεγάλη πρέπει να είναι η εγκατάσταση και πώς θα κατανομηθεί η ζήτηση στις επιμέρους εγκαταστάσεις.²³ Ο τρίτος τρόπος είναι μέσω **K-Ιεραρχικά καλά-διαχωρισμένων δένδρων** (k-hierarchical well-separated trees), που βασίζεται στη θεωρία των γράφων και δημιουργεί ένα δένδρο ζυγισμένο με όλα τα φύλλα στο ίδιο βάθος για κάθε κόμβο, του οποίου, όλες οι ακμές, που ξεκινούν από αυτόν προς τα παιδιά του, έχουν το ίδιο μήκος L και οι ακμές από αυτόν τον κόμβο προς το γονέα του, έχουν μήκος k επί L.²⁴ Αυτοί οι τρόποι είναι γενικές μέθοδοι τοποθέτησης πόρων, που εφαρμόζονται σε όλα τα προβλήματα αυτού του είδους, χωρίς να λαμβάνουν υπ' όψιν τις ιδιαιτερότητες του δικτύου

²³ Θανασούλας, Δ. ([χ.χ.]). ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΓΙΑ ΑΜΕΣΗ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, [χ.τ.]

²⁴ *Metric Methods*. Ανακτήθηκε 5 Σεπτεμβρίου, 2015, από <http://resources.mpi-inf.mpg.de/conferences/adfocs08/Gupta-handout1.pdf>

CDN, και έχουν μεγάλο υπολογιστικό κόστος, μιας και αντιμετωπίζουν το δίκτυο συνολικά, κάνοντας το πρόβλημα όλο και δυσκολότερο όσο το δίκτυο μεγαλώνει.

Σε αυτούς μπορούν να προστεθούν και ευριστικοί αλγόριθμοι. Ένα είδος ευριστικών αλγορίθμων είναι οι άπληστοι αλγόριθμοι όπως, η λογική του hotspot, όπου οι servers τοποθετούνται στις τοποθεσίες όπου οι χρήστες δημιουργούν τη μέγιστη ζήτηση. Η **επιλογή M servers από N πιθανές τοποθεσίες** και όχι από όλους τους εξυπηρετητές με βάση τη δημιουργία ζήτησης. Κάθε τοποθεσία αξιολογείται ξεχωριστά ως προς το κόστος δρομολόγησης και όταν επιλέγεται η τοποθεσία με το χαμηλότερο κόστος δρομολόγησης η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συμπληρωθούν M servers. Υπάρχει και η βελτίωση αυτού του αλγορίθμου με αναθεώρηση των συνδυασμών με βάση κάποιο άλλο κριτήριο, αφαίρεση κάποιων ήδη τοποθετημένων servers και αναπλήρωσή τους με άλλους που κρίθηκαν προτιμότεροι από την αναθεώρηση. Ένα άλλο είδος είναι η **στρατηγική τοποθέτησης με γνώση της τοπολογίας** (topology-informed placement strategy). Σε αυτή, οι servers τοποθετούνται κατά μειούμενο outdegree. Το outdegree είναι ο αριθμός άλλων κόμβων που συνδέονται σε ένα κόμβο, θεωρώντας ότι κόμβοι με μεγάλο outdegree μπορούν να έρθουν σε επαφή με πιο πολλούς κόμβους με χαμηλή καθυστέρηση.²⁵ Επιπλέον υπάρχει και η **τακτική Scan**, όπου γίνεται δυναμικός έλεγχος των αντιγράφων και τα αντίγραφα δημιουργούνται κατά ζήτηση (On Demand) και οργανώνονται σε ένα δένδρο multicast σε επίπεδο εφαρμογής. Αυτή η τακτική ελαχιστοποιεί τα αντίγραφα και διατηρεί τις προδιαγραφές καθυστέρησης και τους περιορισμούς από τους πόρους των servers.

Μια ακόμα επιλογή, που έχουν οι πάροχοι CDN, αφορά την επιλογή του παρόχου internet (ISP). Ο διαχειριστής του δικτύου CDN μπορεί να επιλέξει ανάμεσα στο να έχει ένα αποκλειστικά πάροχο ή να μοιράσει τους servers του σε διάφορους παρόχους. Για την επιλογή ενός αποκλειστικού παρόχου, οι απαιτούμενοι βοηθητικοί servers είναι λιγότεροι, μιας και μπορεί να επιλεγεί η τοποθέτηση ενός ή δυο servers σε κάθε μεγάλη πόλη, που έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει ο πάροχος δικτύου και σε αυτούς να υπάρχει μεγάλη δυνατότητα αποθηκευσης περιεχομένου σε cache. Αυτή, όμως, η τοποθέτηση, λόγω του περιορισμού των τοποθεσιών από τη δυνατότητα του παρόχου, μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες αποστάσεις από κάποιους χρήστες που ζητούν περιεχόμενο. Η επιλογή διάφορων παρόχων διαδικτύου αυξάνει τον αριθμό των servers, πρακτικά, σε κάθε γεωγραφική περιοχή, ώστε να είναι κοντά στους χρήστες και να μην υπάρχουν καθυστερήσεις. Η αύξηση των servers έχει το πλεονέκτημα ότι πλέον δεν απαιτούνται μεγάλα caches, όμως αν η τοποθέτηση τους δε γίνει σύμφωνα με σωστή μελέτη ή λόγω μείωσης της κίνησης, μπορεί να οδηγήσει σε αχρησιμοποίητους πόρους και κακή χρήση του δικτύου CDN. Η επιλογή ενός αποκλειστικού ISP είναι προτιμότερη για μικρούς και μεσαίους παρόχους περιεχομένου χωρίς παγκόσμια παρουσία, ενώ η επιλογή πολλών ISP εξυπηρετεί παγκόσμιους παρόχους με μεγάλη ζήτηση περιεχομένου.

Η κίνηση ιδανικά πρέπει να κατανέμεται ισόποσα σε όλους τους βοηθητικούς εξυπηρετητές του δικτύου CDN, οι οποίοι για το χρήστη θα πρέπει να εμφανίζονται σαν ένας ενιαίος εξυπηρετητής. Ο μηχανισμός διαμοιρασμού της κίνησης, που προέρχεται από αιτήματα διαδικτυακής σύνδεσης, ονομάζεται IP spraying²⁶. Ο εξοπλισμός, που χρησιμοποιείται για IP spraying, ονομάζεται εξισορροπητής φορτίου. Κάθε αίτημα ανακόπτεται και ανακατευθύνεται σε ένα εξυπηρετητή του δικτύου CDN. Το IP spraying γίνεται με βάση διάφορα κριτήρια όπως επεκτασιμότητα, κατανομή φορτίου και αποφυγή αστοχιών, με χρήση του αντίστοιχου εξοπλισμού.

²⁵ Buyya, R., Pathan, M. & Vakali, A. (2008). *Content Delivery Networks*. [χ.τ.]: Springer Science & Business Media

²⁶ Dille, J., Maggs, B., Parikh, J. & Prokop, H. (2002). Globally distributed content delivery. *IEEE Internet Computing*. 6, (5), 50-56

Η αντιγραφή περιεχομένου στο δίκτυο διανομής περιεχομένου γίνεται, έτσι ώστε το περιεχόμενο να είναι πλήρες και να μπορούν να παρασχεθούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε αποδεκτά χρονικά όρια. Η επιλογή του αριθμού των αντιγράφων του περιεχομένου, η επιλογή της τοποθεσίας αντιγραφής του περιεχομένου από κατάλληλες ευριστικές μεθόδους, ώστε να μην παράγονται πλεονάζοντα αντίγραφα που δεν εξυπηρετούν χρήστες, αποτελούν στρατηγική επιλογή του παρόχου περιεχομένου και κριτήριο επιλογής παρόχου CDN με βάση τη γκάμα επιλογών, που προσφέρει σε αυτό τον τομέα. Η βελτιστοποίηση αυτής της επιλογής είναι κρίσιμη, καθώς ανακύπτουν και νέα θέματα από αυτή την επιλογή όπως ο συγχρονισμός του περιεχομένου στους διάφορους εξυπηρετητές, ώστε να μην παρουσιαστεί το φαινόμενο ο χρήστης να έχει πρόσβαση σε περιεχόμενο, που διαφέρει από το τρέχον, δημιουργώντας ζημιά, τόσο κύρους όσο και λογιστική, αν αυτό έχει σχέση με συναλλαγές.

Η επιλογή του τρόπου, που παρέχεται το περιεχόμενο στους χρήστες, είναι μια ακόμα σημαντική παράμετρος. Το περιεχόμενο που αντιγράφεται μπορεί να είναι το πλήρες ή τμηματικό. Η παροχή του πλήρους περιεχομένου σε όλους τους εξυπηρετητές είναι συνήθης επιλογή για εκτενές περιεχόμενο, που είναι κρίσιμο να παρέχεται σε σύντομο χρονικό διάστημα, έχοντας όμως και οικονομικό αντίκτυπο, καθώς, όσο περιεχόμενο είναι το περιεχόμενο που αποθηκεύεται στους εξυπηρετητές, τόσο μεγαλύτερη είναι και η χρέωση από τον πάροχο CDN. Η τμηματική παροχή περιεχομένου αφορά σε ιστοσελίδες, που απλά χρειάζονται μια βελτιστοποίηση του χρόνου απόκρισης τους και επιλέγουν την αποθήκευση στο CDN του πολυμεσικού τους περιεχομένου, ώστε να μειωθεί η φόρτωση του κεντρικού εξυπηρετητή με 'βαριά' αντικείμενα, τα οποία είναι συνήθως πρόσθετα στη σελίδα, και είναι δεδομένο ότι λόγω του όγκου τους είναι καλύτερο να βρίσκονται στο άκρο του δικτύου, όπως μόνο τα CDN μπορούν να εγγυηθούν.

Οι πολυμεσικές ροές εισάγουν περαιτέρω απαιτήσεις για τη βέλτιστη εξυπηρέτησή τους. Είναι χρήσιμο οι βοηθητικοί εξυπηρετητές να διαθέτουν μνήμη cache επαρκή για μετάδοση πολυμέσων. Έτσι, μπορούν τα δεδομένα να αντιγραφούν τοπικά με δυναμικό τρόπο όταν ζητηθούν ακόμα και κρυπτογραφημένα. Το εάν τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν σε μνήμη cache, καθορίζεται από τη στιγμή του αιτήματος. Εάν δε μπορούν να αποθηκευτούν στη μνήμη cache, τα δεδομένα λαμβάνονται από τον κεντρικό server και μεταδίδονται απευθείας στον client.

Οι τρόποι μετάδοσης της πληροφορίας μέσα στο CDN δίκτυο είναι βασικά τρεις²⁷ :

- **Cooperative push-based:** Το περιεχόμενο ωθείται προς τους βοηθητικούς εξυπηρετητές από τον κεντρικό server και κάθε αίτημα μεταβιβάζεται στον κοντινότερο βοηθητικό server μέχρι να φτάσει στον κεντρικό εξυπηρετητή. Σε αυτό το πλαίσιο το δίκτυο CDN διατηρεί μια χαρτογράφηση του περιεχομένου και των βοηθητικών server. Σε αυτό τον τρόπο μετάδοσης είναι προτιμότερος ένας άπληστος ευριστικός αλγόριθμος για την επιλογή της αντιγραφής σε κάποιο βοηθητικό server.
- **Non-cooperative pull-based:** Τα αιτήματα κατευθύνονται με DNS ανακατεύθυνση στους κοντινότερους βοηθητικούς servers και αν υπάρξει απώλεια δεδομένων αυτά ανακτώνται από τον κεντρικό server. Είναι ο τρόπος που επιλέγουν αρκετά εμπορικά δίκτυα CDN για να μεταδώσουν την πληροφορία, αν και δεν επιλέγεται κάθε φορά ο βέλτιστος εξυπηρετητής για την εξυπηρέτηση του περιεχομένου.
- **Cooperative pull-based:** Τα αιτήματα επεξεργάζονται όπως στην προσέγγιση non-cooperative pull-based με τη μόνη διαφορά, ότι σε περίπτωση απώλειας δεδομένων,

²⁷ Mulerikkal, J. ([χ.χ.]). An Architecture for Distributed Content Delivery Network. *Networks, 2007. ICON 2007. 15th IEEE International Conference on*, Adelaide, SA, 19-21 Νοεμβρίου 2007. [χ.τ.], 10.1109, 359-364

τα δεδομένα που χάθηκαν, ανακτώνται από άλλους βοηθητικούς servers, μετά από κατάλληλη συνεργασία μεταξύ τους, ώστε να βρεθεί ο κοντινότερος βοηθητικός server με αντίγραφο του ζητούμενου περιεχομένου, με χρήση κατανεμημένων δεικτών και το αποθηκεύουν στη μνήμη cache τους. Τα δεδομένα μεταφέρονται στη μνήμη cache μόνο όταν ζητηθεί από τον χρήστη.

Η οργάνωση του περιεχομένου είναι επίσης σημαντική για τα δίκτυα CDN και αυτή η οργάνωση βασίζεται στην οργάνωση της μνήμης cache του παρόχου CDN. Η οργάνωση της cache καθορίζεται από την τεχνική αποθήκευσης και τη συχνότητα ενημέρωσης, ώστε να εξασφαλίζεται η εγκυρότητα, η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων. Η αποθήκευση cache μπορεί να λειτουργεί μαζί με την αντιγραφή του περιεχομένου.

Η δρομολόγηση περιεχομένου σε cache μπορεί να είναι δυο ειδών:

- Intra-cluster: query based, digest based, directory based, hashing based
- Inter-cluster: query based

Στην **query based** intra-cluster διαδικασία, ο εξυπηρετητής CDN μεταδίδει ένα μήνυμα στους συνεργαζόμενους με αυτόν εξυπηρετητές για κάθε αστοχία cache. Εάν όλοι οι γειτονικοί εξυπηρετητές δεν έχουν το ζητούμενο περιεχόμενο και απαντήσουν και αυτοί με αστοχία cache, επικοινωνεί με τους κεντρικούς εξυπηρετητές για το περιεχόμενο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλο αριθμό ερωτημάτων (queries) και σημαντική καθυστέρηση μέχρι να απαντήσουν οι συνεργαζόμενοι εξυπηρετητές.

Η **digest based** διαδικασία αποθηκεύει σε κάθε εξυπηρετητή μια λίστα με το περιεχόμενο των συνεργαζόμενων replica servers. Ο server, που ενημερώνει το περιεχόμενο, ενημερώνει και τους συνεργαζόμενους εξυπηρετητές αντίγραφα για το περιεχόμενο των γειτονικών τους εξυπηρετητών. Με αυτό τον τρόπο, κάθε εξυπηρετητής γνωρίζει άμεσα ποιος εξυπηρετητής γύρω του έχει το περιεχόμενο που του ζητείται για να δρομολογήσει το αίτημα κατάλληλα. Παρά το γεγονός ότι με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζονται τα ερωτήματα της query based, δημιουργείται πάλι μια κίνηση μέσω των μηνυμάτων για την ενημέρωση του περιεχομένου ώστε να έχουν και οι εξυπηρετητές σωστή εικόνα για το που βρίσκεται το περιεχόμενο.

Η **directory based** διαδικασία είναι μια τροποποίηση της digest based διαδικασίας. Ένας κεντρικός εξυπηρετητής κρατά την πληροφορία για το περιεχόμενο κάθε όλων των εξυπηρετητών αντιγράφων μιας συστοιχίας (cluster). Αυτός ο κεντρικός εξυπηρετητής ενημερώνεται από τους εξυπηρετητές αντίγραφα όταν αλλάξει το περιεχόμενό τους. Έτσι, όταν υπάρξει κάποια αστοχία cache τοπικά, ο εξυπηρετητής θα πρέπει να επικοινωνήσει με τον κεντρικό directory server, που κρατά το περιεχόμενο των replica servers. Το μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η εξαρτησή της από ένα κεντρικό εξυπηρετητή και τα προβλήματα που θα παρουσιαστούν αν αυτός δε λειτουργεί σωστά ή δε λειτουργεί καθόλου.

Η **hashing based** διαδικασία ονομάζεται έτσι, λόγω του γεγονότος ότι, πρέπει όλοι οι εξυπηρετητές να έχουν κοινή συνάρτηση κατακερματισμού (hashing). Επιλέγεται ένας εξυπηρετητής για ένα περιεχόμενο, που κρατά τις IP διευθύνσεις των replica servers, που το διατηρούν και τη συνάρτηση κατακερματισμού. Τα αιτήματα για το συγκεκριμένο περιεχόμενο δρομολογούνται όλα προς αυτό το server. Αυτό κάνει τη hashing based διαδικασία πιο αποδοτική, μιας και απαιτεί πολύ λιγότερα μηνύματα επικοινωνίας, αυξάνοντας την απόδοση διαμοιρασμού περιεχομένου. Το μόνο μειονέκτημα της είναι η απώλεια της δυνατότητας εξυπηρέτησης περιεχομένου σε τοπικό επίπεδο, καθώς όλα τα αιτήματα εξυπηρετούνται μετά από επικοινωνία με ένα κεντρικό server. Η βελτίωση αυτού είναι η semi-hashing διαδικασία, στην οποία δημοφιλή περιεχόμενα, με αυξημένη ζήτηση, καταλαμβάνουν ένα μέρος του δίσκου του server τοπικά και διανέμεται σε γειτονικούς server, μέσω μιας συνάρτησης κατακερματισμού.

Η inter-cluster διανομή περιεχομένου χρησιμοποιείται μόνο όταν αποτύχει η intra-cluster διανομή. Είναι πάντα προτιμότερο να μπορεί να εξυπηρετηθεί ένα περιεχόμενο μέσα σε μια συστοιχία (intra-cluster), παρά να πρέπει να γίνει επικοινωνία με άλλη συστοιχία (inter-cluster). Η digest based και η directory based διαδικασίες δε μπορούν να εφαρμοστούν όταν γίνεται επικοινωνία μεταξύ συστοιχιών, μιας και απαιτούν την καταγραφή του περιεχομένου όλων των εξυπηρετητών με τους οποίους μπορούν να επικοινωνήσουν, κάτι το οποίο είναι μη αποδοτικό όταν αυξάνει σημαντικά ο αριθμός των server. Η hashing based διαδικασία δεν εξυπηρετεί καθώς το περιεχόμενο διαμοιράζεται από τον επιλεγμένο κεντρικό server, ο οποίος εάν βρίσκεται σε άλλη συστοιχία μπορεί να απέχει σημαντικά από το χρήστη ή και το server που θα εξυπηρετήσει το αίτημα. Η μόνη διαδικασία που βρίσκει εφαρμογή σε επικοινωνία μεταξύ συστοιχιών είναι η **query based**. Εάν υπάρξει αποτυχία μια συστοιχία να εξυπηρετήσει ένα αίτημα επικοινωνεί με άλλες μέσω ερωτήματος. Εάν έχουμε επιτυχία cache, η συστοιχία επικοινωνεί με το server που κρατά το περιεχόμενο στην άλλη συστοιχία. Η επικοινωνία εντός του cluster μπορεί να γίνεται με hashing based διαδικασία και επικοινωνία με άλλα cluster με query based. Με αυτό τον τρόπο τα ερωτήματα περιορίζονται στις περιπτώσεις ανάγκης για επικοινωνία δυο συστοιχιών και δεν έχουμε συνεχώς ερωτήματα που δημιουργούν κίνηση στο δίκτυο, που είναι ανεπιθύμητη. Η επικοινωνία με απομακρυσμένους εξυπηρετητές βελτιώνεται ως προς την καθυστέρηση με χρήση timeouts και TTL (Time-to-Live) αριθμών σε κάθε ερώτημα, ώστε να μην είναι απεριόριστη η αναμονή για την απάντηση στα ερωτήματα και να προφυλάσσεται η διαδικασία από σφάλματα σύνδεσης, που θα οδηγούσαν σε μεγάλες καθυστερήσεις.

Η ενημέρωση του περιεχομένου διατηρεί την ακεραιότητα του περιεχομένου που είναι από χρήσιμη ως αναγκαία για τον πάροχο περιεχομένου. Η κατανεμημένη φύση του δικτύου CDN εισάγει καθυστερήσεις στην ανανέωση του περιεχομένου και δημιουργεί ερωτήματα ως προς το πότε θα πρέπει να ελεγχθεί η ακεραιότητα της πληροφορίας με τον αρχικό server.

Οι μέθοδοι είναι οι εξής:

- Περιοδική ενημέρωση (Periodic Update)
- Μεταφορά ενημερώσεων (Update Propagation)
- Ενημέρωση κατ'απαίτηση(On Demand Update)
- Ακύρωση (Invalidation)

Η απλή και διαδεδομένη μέθοδος είναι η **περιοδική ενημέρωση**. Από τους αρχικούς servers καθορίζεται το περιεχόμενο που μπορεί να μεταφερθεί για προσωρινή αποθήκευση, κάθε πόσο χρόνο το κάθε περιεχόμενο πρέπει να ανανεώνεται και κάθε πότε πρέπει το περιεχόμενο να συγκρίνεται με τον αρχικό εξυπηρετητή. Δημιουργείται, όμως, το θέμα ότι το περιεχόμενο πρέπει να ανανεωθεί ακόμα και εάν δεν έχει αλλάξει, αλλά έχει περάσει η περίοδος ανανέωσης.

Η **μεταφορά ενημερώσεων** ξεκινά όταν γίνει κάποια αλλαγή στο περιεχόμενο. Το αλλαγμένο περιεχόμενο προωθείται στους εξυπηρετητές προσωρινής αποθήκευσης. Όπως είναι λογικό αν το περιεχόμενο αλλάζει συχνά θα δημιουργηθεί υψηλή κίνηση λόγω της συχνής ενημέρωσης, οπότε τέτοιου είδους περιεχόμενα καλό είναι να αντιμετωπιστούν με άλλο τρόπο.

Στην **κατ'απαίτηση ενημέρωση** το περιεχόμενο ενημερώνεται στην τελευταία έκδοση του μόνο αν υπάρξει ζήτηση για το συγκεκριμένο περιεχόμενο και μεταφέρεται στο βοηθητικό εξυπηρετητή.

Η **ακύρωση** γίνεται μέσω ενός μηνύματος που ενημερώνει τους βοηθητικούς εξυπηρετητές ότι ένα περιεχόμενο αλλάζει στον αρχικό εξυπηρετητή. Έτσι, αποκλείεται η προσπέλαση του αρχείου όσο αυτό δεν είναι βεβαιωμένα ακέραιο και έτοιμο προς διανομή. Όταν λήξει η διαδικασία οι εξυπηρετητές λαμβάνουν την νέα έκδοση του αρχείου. Αυτή, όμως, η αδυναμία

προσπέλασης κάποιου αρχείου για κάποιο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει αδυναμία διανομής περιεχομένου βλάπτοντας την αξιοπιστία του δικτύου.

Οι τεχνικές αυτές μπορεί να τροποποιηθούν από τους παρόχους CDN ώστε να βελτιώσουν την αξιοπιστία του δικτύου τους, διαμορφώνοντας δικές τους προδιαγραφές μεταφοράς.

Τα δίκτυα CDN πρέπει να περιέχουν ένα σύστημα δρομολόγησης αιτημάτων, ώστε να επιλέγεται ο κατάλληλος εξυπηρετητής για την εξυπηρέτηση του αιτήματος. Η καταλληλότητα πρέπει να αποφασιστεί με βάση κριτήρια που θέτει ο πάροχος όπως η δικτυακή απόσταση, η καθυστέρηση μεταφοράς στο χρήστη, η απόσταση και ο φόρτος του βοηθητικού εξυπηρετητή, ώστε να μην υπερφορτώνονται κάποιοι ενώ άλλοι είναι αδρανείς. Σε αυτή τη δρομολόγηση λαμβάνεται υπ' όψιν εάν έχουμε παροχή του πλήρους περιεχομένου ή μερική παροχή περιεχομένου. Στην πλήρη παροχή περιεχομένου επιλέγονται απευθείας οι servers που κατέχουν το περιεχόμενο. Στη μερική παροχή περιεχομένου, πρέπει, όταν ληφθεί το αίτημα από το χρήστη, ο αρχικός server να μεταφέρει το βασικό περιεχόμενο ενώ ο βοηθητικός server μεταφέρει τα ενσωματωμένα 'βαριά' στοιχεία, που είναι αποθηκευμένα στην άκρη του δικτύου. Ο αλγόριθμος δρομολόγησης αιτημάτων ενεργοποιείται με την αποστολή του αιτήματος από το χρήστη και καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο επιλέγεται ο βοηθητικός server ανάλογα με το αίτημα του χρήστη.

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης αιτημάτων μπορεί να είναι προσαρμοστικοί ή και μη προσαρμοστικοί. Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι λαμβάνουν υπ' όψιν την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος μέσω διάφορων δεικτών και μετρήσεων και τροποποιούν τη συμπεριφορά τους ανάλογα με αυτά τα χαρακτηριστικά. Οι μη προσαρμοστικοί είναι αλγόριθμοι πιο απλοί και απλά χρησιμοποιούν κάποιο ευριστικό στοιχείο για την επιλογή του εξυπηρετητή, χωρίς να τροποποιούν τη συμπεριφορά τους αν χρειαστεί. Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι λειτουργούν σωστά σε ένα ευρύτερο πεδίο συνθηκών, ενώ οι μη προσαρμοστικοί έχουν προβλήματα απόδοσης εάν δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις του ευριστικού στοιχείου.

Ο πιο απλός μη προσαρμοστικός αλγόριθμος είναι ο **round robin**. Αναθέτει κυκλικά τα αιτήματα σε όλους τους εξυπηρετητές και πορσπαθεί να διαμοιράσει το φορτίο. Η υπόθεση λειτουργίας εδώ είναι ότι όλοι οι servers είναι παρόμοιων δυνατοτήτων και μπορούν να εξυπηρετήσουν κάθε αίτημα. Εάν όμως, οι εξυπηρετητές διαφέρουν ως προς τις δυνατότητες ή την απόσταση, δεν έχουμε βέλτιστη απόδοση καθώς ο αλγόριθμος δεν ενσωματώνει αυτές τις παραμέτρους στην απόφασή δρομολόγησης που δίνει. Ακόμα, τα αιτήματα δεν απαιτούν τον ίδιο χρόνο εξυπηρέτησης, οπότε ακόμα και αν αριθμητικά μοιράζονται ισόποσα, δεν έχουμε επαρκή κατανομή φορτίου.

Ένας άλλος αλγόριθμος κατατάσσει τους servers με βάση το φόρτο των αιτημάτων που αναμένεται να εξυπηρετήσουν, με βάση τα αιτήματα που έχουν εξυπηρετήσει ήδη. Η απόσταση του εξυπηρετητή με το χρήστη λαμβάνεται υπ' όψιν, όμως, παρά την σωστή υπόθεση ότι ο φόρτος αιτημάτων και η απόσταση είναι καθοριστικού χαρακτήρα και το γεγονός ότι οι μετρήσεις δείχνουν καλές επιδόσεις δρομολόγησης, οι χρήστες δε μένουν ικανοποιημένοι από την απόδοση.

Ο μη προσαρμοστικός αλγόριθμος στο Cisco Distributed Director, υπολογίζει τα ποσοστά αιτημάτων σε κάθε εξυπηρετητή. Οι εξυπηρετητές με τα μεγαλύτερα ποσοστά θεωρούνται οι πιο ισχυροί και με βάση αυτό τα περισσότερα αιτήματα δρομολογούνται προς αυτούς για να χρησιμοποιούνται πρώτα οι servers με τις περισσότερες δυνατότητες.

Ένας ακόμα αλγόριθμος υπολογίζει τη συνάρτηση κατακερματισμού από μια σειρά αναγνωριστικών (identifiers), βασισμένος στη URL του περιεχομένου. Έτσι δρομολογεί τα αιτήματα σε εξυπηρετητές με αναγνωριστικά από τον ίδιο χώρο. Θεωρείται ότι ο server με το

μικρότερο σε τιμή αναγνωριστικό που είναι μεγαλύτερο από την τιμή της συνάρτησης κατακερματισμού έχει τα απαιτούμενα δεδομένα.

Ο προσαρμοστικός αλγόριθμος, που χρησιμοποιείται στο δίκτυο Globule²⁸, επιλέγει το replica server που βρίσκεται δικτυακά πλησιέστερα στο χρήστη. Η δικτυακή απόσταση ενημερώνεται με κάποια συχνότητα, ώστε να ανιχνεύει πιθανές αλλαγές στο δίκτυο χωρίς, όμως, να επιβαρύνει την απόδοση του δικτύου με μηνύματα ενημέρωσης. Το μειονέκτημα είναι ότι ο δείκτης της δικτυακής απόστασης δεν είναι πολύ ακριβής.

Σε ένα άλλο αλγόριθμο λαμβάνεται υπ' όψιν η καθυστέρηση στη μετάδοση από τον εξυπηρετητή στο χρήστη. Το αίτημα στέλνεται στο server με την ελάχιστη καθυστέρηση εξυπηρέτησης του χρήστη. Τα αποτελέσματα αυτής της δρομολόγησης είναι καλά όμως, η απαίτηση διατήρησης κεντρικής βάσης δεδομένων με τις μετρήσεις καθυστέρησης κάθε εξυπηρετητή, μειώνουν τη βιωσιμότητα επιλογής αυτού του αλγορίθμου για επεκταμένα συστήματα.

Στο Cisco Distributed Director ο αλγόριθμος λαμβάνει υπ' όψιν του ένα σταθμισμένο άθροισμα τριών δεικτών, της απόστασης εσωτερικά στο δίκτυο, της απόστασης μεταξύ των δικτύων και την συνολική καθυστέρηση. Είναι ένας θεωρητικά πολύ ευέλικτος αλγόριθμος, που όμως για να εφαρμοστεί σε κάθε server, αυξάνει την πολυπλοκότητα και εισάγει κίνηση στο δίκτυο λόγω της μεταφοράς των μετρήσεων από κάθε server.

Η Akamai χρησιμοποιεί ένα αλγόριθμο που συνυπολογίζει το φόρτο των replica server, την αξιοπιστία των φορτίων μεταξύ χρήστη και κάθε replica server και το bandwidth που είναι διαθέσιμο σε κάθε replica server. Ο τρόπος καθορισμού της αποφασής δρομολόγησης δεν έχει αποκαλυφθεί από την Akamai.

Οι μηχανισμοί αιτημάτων δρομολόγησης ενημερώνουν το χρήστη για την επιλογή του βοηθητικού server από τον αλγόριθμο δρομολόγησης.

Τα είδη μηχανισμών αιτημάτων δρομολόγησης ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες :

- Global Server Load Balancing(GSLB)
- DNS-based δρομολόγηση αιτημάτων
- Ανακατεύθυνση HTTP
- URL rewriting
- Anycasting
- CDN peering

Ο μηχανισμός **Global Server Load Balancing** απαιτεί ειδικό switch για την δρομολόγηση στους κόμβους εξυπηρέτησης. Αυτός ο μηχανισμός δίνει τις νέες δυνατότητες της γενικής ενημερότητας για την υγεία και την και την απόδοση των εξυπηρετητών, με τους οποίους συνδέεται ένας κόμβος, και της έξυπνης εξουσιοδότησης DNS. Κάθε switch γνωρίζει τις διευθύνσεις όλων των άλλων εξυπηρετητών και επίσης ανταλλάσσει πληροφορίες απόδοσης με άλλα switch του δικτύου. Αυτή η γνώση βοηθά. ώστε τα switch να χρησιμοποιούνται σα DNS εξουσιοδότησης. Το πλεονέκτημα αυτού του μηχανισμού είναι ότι, λόγω της γνώσης που έχει κάθε κόμβος για τους άλλους, μπορεί να επιλέξει τον καλύτερο βοηθητικό server. Η λειτουργικότητα GSLB μπορεί να εφαρμοστεί σε ήδη υπάρχοντες κόμβους, απαιτείται όμως επιπλέον ρύθμιση για να προστεθεί η λειτουργικότητα.

²⁸ Pierre, G. & van Steen, M. (2006, 21 Αυγούστου). Globule: A Collaborative Content Delivery Network. *IEEE Communications Magazine*. 44, (8), 127-133.

Η **DNS-based δρομολόγηση αιτημάτων** εξυπηρετεί τη διανομή περιεχομένου με τροποποιημένους DNS εξυπηρετητές που διατηρούν την αντιστοίχιση ανάμεσα στο συμβολικό όνομα των βοηθητικών server και τη διεύθυνση IP του. Χρησιμοποιείται στη διανομή πλήρους περιεχομένου και κάθε domain name έχει πολλαπλές IP. Όταν κάποιος χρήστης ζητά περιεχόμενο, ο DNS server απαντά με τις διευθύνσεις των βοηθητικών server που έχουν το ζητούμενο περιεχόμενο και ο DNS resolver του χρήστη επιλέγει το server που εξυπηρετεί ανάλογα με το δικό του τρόπο επιλογής. Αυτός ο μηχανισμός εξυπηρετεί τόσο παροχή πλήρους περιεχομένου όσο και την τμηματική. Το πλεονέκτημα εδώ είναι η απλότητα και η διαφάνεια στην παροχή του περιεχομένου μέσω DNS ονομάτων και όχι IP διευθύνσεων των εξυπηρετητών. Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε εφαρμογή διαδικτύου. Λόγω της αναζήτησης DNS, όμως, δημιουργείται μια καθυστέρηση που συνήθως αντιμετωπίζεται με το διαχωρισμό του DNS σε υψηλό και χαμηλό επίπεδο για διαμοιρασμό του φορτίου. Ακόμα η άγνοια των διευθύνσεων IP δε βοηθά στον εντοπισμό του πλησιέστερου εξυπηρετητή και η ανάγκη διατήρησης πίνακα DNS δε βοηθά στην επέκταση. Τέλος, επειδή οι χρήστες δεν επικοινωνούν με τα πραγματικά domain names, που εξυπηρετούν τα αιτήματα, με αποτέλεσμα αν υπάρξει σφάλμα να μην υπάρχει τρόπος επανόρθωσης.

Η **ανακατεύθυνση HTTP** μεταφέρει πληροφορίες για τους εξυπηρετητές αντίγραφα σε κεφαλίδες HTTP. Η ανακατεύθυνση χρησιμοποιείται τόσο με την πλήρη παροχή περιεχομένου όσο και με τη μερική. Σε αυτό το μηχανισμό ένας εξυπηρετητής δέχεται τα αιτήματα επιλέγει τον κατάλληλο server και ανακατευθύνει τα αιτήματα. Η υλοποίηση του απαιτεί αλλαγές τόσο στους servers, όσο και στους clients, λόγω των επιπλέον κεφαλίδων. Είναι απλός και ευέλικτος μηχανισμός, που ελέγχει την αντιγραφή του περιεχομένου. Το μειονέκτημα είναι η αδιαφάνεια, λόγω του ενδιάμεσου σταδίου και η επιπλέον κίνηση που προστίθεται από την ανακατεύθυνση.

Το **URL rewriting** χρησιμοποιείται στην μερική παροχή περιεχομένου με ενσωματωμένα αντικείμενα. Σε αυτόν ο αρχικός server τροποποιεί δυναμικά δημιουργημένα URL links για να οδηγήσει το αίτημα στο βέλτιστο server. Αυτό γίνεται τόσο ενεργητικά όσο και σε αντίδραση. Στην ενεργητική τροποποίηση των URL, οι URL των ενσωματωμένων αντικειμένων της σελίδας αλλάζει πριν τη φόρτωση του περιεχομένου στον αρχικό server. Στην αντιδραστική τροποποίηση, η αλλαγή URL των ενσωματωμένων στοιχείων γίνεται όταν ζητηθεί το περιεχόμενο. Με αυτό τον τρόπο η αίτηση περιεχομένου δε γίνεται σε ένα server αλλά σε μια ομάδα servers μέσω των DNS ονομάτων. Το πρόβλημα δημιουργείται από την ανάγνωση των URL που προκαλεί καθυστέρηση.

Το **anycasting** διαίρεται σε IP anycasting και application-level anycasting. Στο IP anycasting κάθε IP διεύθυνση ανατίθεται σε ένα σύνολο εξυπηρετητών και κάθε δρομολογητής γνωρίζει τον εξυπηρετητή που είναι ο κοντινότερος σε αυτόν. Οι εξυπηρετητές με την ίδια IP είναι προσβάσιμη από διαφορετικούς δρομολογητές μέσω άλλων, βέβαια, μονοπατιών κάθε φορά. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί αυτός ο μηχανισμός και από διαφορετικά είδη συστημάτων. Το πρόβλημα είναι ότι πρέπει να δεσμευθούν IP διευθύνσεις και να οριστούν ως anycast διευθύνσεις. Το application-level anycasting γίνεται μέσω anycast resolvers, που αντιστοιχίζουν anycast domain names σε διευθύνσεις IP. Μια βάση δεδομένων μετρήσεων χρειάζεται σε κάθε anycast resolver, ώστε να γνωρίζει το φόρτο και τη δυνατότητα εξυπηρέτησης κάθε εξυπηρετητή. Με βάση αυτά τα στοιχεία ο anycast resolver μπορεί να δρομολογήσει ένα αίτημα χρήστη και να επιλέξει ένα server από ένα σύνολο αντιγράφων, με βάση και τις προδιαγραφές του αιτήματος του χρήστη. Με αυτό τον τρόπο έχουμε μεγαλύτερη ευελιξία ως προς την επιλογή του server. Η επιλογή, όμως, αυτού του μηχανισμού σημαίνει αλλαγές στους εξυπηρετητές, λόγω της λήψης των μετρήσεων και ότι

αυτό συνεπάγεται, και τους clients, κάτι που πρέπει να ληφθεί σημαντικά υπ' όψιν για μεγάλα δίκτυα.

Το **CDN peering** δημιουργείται με την αντιμετώπιση των εξυπηρετητών ως ισάξιων με συμμετρικές συνδέσεις. Οι ισάξιοι κόμβοι μπορούν να μεταφέρουν το ίδιο περιεχόμενο, αυξάνοντας τη γεωγραφική κάλυψη, αν ο πάροχος CDN συνδεθεί με άλλους παρόχους χρησιμοποιώντας τους πόρους τους σαν ισάξιους κόμβους. Αυτή η διασύνδεση αυξάνει την ανθεκτικότητα σε αστοχίες του παρόχου. Το περιεχόμενο αρχειοθετείται κεντρικά σε ένα μοντέλο κεντρικού αρχείου, ένα Distributed Hash Table (DHT), ένα μοντέλο flooded request ή ένα μοντέλο δρομολόγησης αρχείων. Στο μοντέλο κεντρικού αρχείου, τα περιεχόμενα όλων των εξυπηρετητών ενημερώνονται σε ένα κεντρικό κατάλογο προσβάσιμο σε όλους. Τα αιτήματα στον κατάλογο απαντώνται με τις πληροφορίες του εξυπηρετητή που κρατά το περιεχόμενο και επιλέχθηκε με βάση συγκεκριμένα για τον κάθε πάροχο κριτήρια, όπως η δικτυακή απόσταση, το bandwidth, η συμφόρηση και η χωρητικότητα. Το πρόβλημα αυτής της μεθόδου είναι ότι έχουμε ένα κεντρικό σημείο της αρχιτεκτονικής, τον κεντρικό κατάλογο, που δεν υποκαθίσταται και αν έχουμε σφάλματα το σύστημα έχει μειωμένη απόδοση. Όπως και σε άλλα στοιχεία με κεντρικό σημείο αναφοράς, η επεκτασιμότητά του είναι μειωμένη. Στο Distributed Hash Table (DHT) οι κόμβοι σημαίνονται με κλειδιά hashing και όταν ένας εξυπηρετητής κρατά ένα περιεχόμενο μπορεί να βρεθεί με βάση αυτό το κλειδί. Έτσι μπορούν να δρομολογηθούν τα πακέτα με τέτοιο τρόπο, ώστε να μοιράζεται ο φόρτος ανάμεσα σε εξυπηρετητές που διαθέτουν ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο. Στο μοντέλο flooded request, ένα αίτημα προωθείται από κάθε server σε όλους τους server που είναι συνδεδεμένοι μαζί του και αυτοί με τη σειρά τους σε όσους είναι συνδεδεμένοι μαζί τους, μέχρι να βρεθεί κάποιος που μπορεί να εξυπηρετήσει το αίτημα ή να λήξει κάποιο όριο χρονικό ή αιτημάτων. Η προσέγγιση αυτή είναι ουσιαστικά τυφλή, όσον αφορά στο περιεχόμενο που κρατούν οι server, δημιουργώντας πολλά μηνύματα επικοινωνίας μεταξύ των server που δεν απαιτούνται. Είναι μια απλοϊκή προσέγγιση, αλλά με περιορισμένη επεκτασιμότητα, λόγω της υψηλής κίνησης που δημιουργεί και που αυξάνεται όσο πιο μακριά φτάνει το αίτημα πριν εξυπηρετηθεί. Στο μοντέλο δρομολόγησης αρχείων, σε κάθε αίτημα ένας κόμβος προωθεί το αίτημα σε κάποιον άλλο, οδηγώντας το πιο κοντά σε κάποιο κόμβο που κρατά το ζητούμενο περιεχόμενο. Η επικοινωνία του αιτήματος λήγει σε συγκεκριμένα βήματα και κάθε βήμα μειώνει την απόσταση του αιτήματος από την εξυπηρέτησή του γεγονός σημαντικό για την εγγυημένη απόδοση του μηχανισμού και την επεκτασιμότητα του σε μεγαλύτερα δίκτυα.

Η απόδοση του δικτύου CDN είναι το τελικό ζητούμενο. Η εμπειρία του χρήστη κατά την παροχή περιεχομένου καθορίζεται από την ταχύτητα, που γίνεται το DNS resolution, και την παροχή του περιεχομένου. Εκτός της ταχύτητας σημαντική είναι η διαθεσιμότητα του δικτύου, καθώς οποιοδήποτε χρονικό διάστημα μη λειτουργίας του δικτύου CDN, σαν συστοιχία εξυπηρέτησης, επηρεάζει τον τελικό χρήστη. Ακόμα η αξιοπιστία του δικτύου μετράται σε απώλεια πακέτων που, όπως είναι φυσικό, πρέπει να είναι κατά το δυνατόν λιγότερα. Η απόδοση πρέπει να μετράται ώστε, σε περίπτωση πτώσης της απόδοσης, να γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις και να προβλέπονται πιθανές αστοχίες. Τα κύρια μετρήσιμα στοιχεία σε ένα δίκτυο CDN είναι:

- Λόγος επιτυχίας cache. Ο λόγος των αρχείων που είναι αποθηκευμένα προς τα συνολικά αρχεία. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος, τόσες λιγότερες μεταφορές από τους αρχικούς server είναι πιθανό να χρειαστούν.
- Δεσμευμένο bandwidth. Είναι το εύρος ζώνης της επικοινωνίας των αρχικών server με τους server αντίγραφα.

- Καθυστέρηση. Αφορά το χρόνο που αντιλαμβάνεται ο χρήστης ότι καθυστερεί να εξυπηρετηθεί το αίτημα του για κάποιο περιεχόμενο. Όσο πιο μικρή είναι η καθυστέρηση τόσο λιγότερο bandwidth χρησιμοποιείται για μεταφορά αρχείων από τους αρχικούς servers.
- Χρήση βοηθητικών servers. Το ποσοστό του χρόνου που χρησιμοποιούνται οι βοηθητικοί servers. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό, τόσο καλύτερη χρήση των πόρων γίνεται.
- Αξιοπιστία. Η μέτρηση των χαμένων πακέτων καταδεικνύει την αξιοπιστία του δικτύου, καθώς όσο λιγότερα χαμένα πακέτα υπάρχουν, τόσο πιο αξιόπιστα μεταφέρεται το περιεχόμενο στο χρήστη.

Οι μετρήσεις και οι δοκιμές απόδοσης γίνονται προφανώς από τον ίδιο τον πάροχο CDN, όμως το αποτέλεσμα πρέπει να διασταυρώνεται με ελεγκτικές εταιρίες αυτών των υπηρεσιών όπως η Gomez. Οι ανεξάρτητες ελεγκτικές εταιρίες παρέχουν αποτελέσματα προσομοίωσης εμπειρίας χρήστη μέσω δοκιμασιών που ονομάζονται Last mile tests. Σε αυτά τα tests συλλέγονται πολλά δεδομένα από πραγματικούς χρήστες από όλη την περιοχή κάλυψης του δικτύου. Ακόμα χρησιμοποιείται ένα σύστημα καταγραφής πραγματικών δεδομένων καθυστέρησης από τους αγοραστές της υπηρεσίας CDN ώστε να μετρηθεί η απόδοση που λαμβάνεται από τη συγκεκριμένη χρήση του δικτύου CDN.

Οι εσωτερικές μετρήσεις με τη συλλογή πληροφοριών από τα αρχεία καταγραφής των βοηθητικών servers. Οι servers πρέπει να μπορούν να συλλέγουν δεδομένα και στατιστικά, ώστε να μπορεί ο διαχειριστής του δικτύου να έχει γνώση της κατάστασης του δικτύου.

Οι μετρήσεις, που λαμβάνονται από το δίκτυο, αφορούν τα κύρια χαρακτηριστικά του. Η γεωγραφική απόσταση, η δικτυακή απόσταση, η καθυστέρηση, ο φόρτος κίνησης, είναι μερικά από τα στατιστικά που μετρούν την απόδοση των servers στο δίκτυο. Οι μηχανισμοί συλλογής στατιστικών είναι η λήψη μετρήσεων του δικτύου, η παρακολούθηση της κίνησης και η λήψη μετρήσεων από τους βοηθητικούς servers.

Η λήψη μετρήσεων του δικτύου γίνεται ζητώντας περιοδικά τιμές από τις διάφορες οντότητες του δικτύου που μπορούν να στείλουν αιτήματα, ώστε να υπολογιστούν από αυτές τις μετρήσεις κάποιοι δείκτες για τους βοηθητικούς servers. Οι μετρήσεις πρέπει να μπορούν να γίνουν παθητικά, χωρίς να επιβαρύνεται το δίκτυο και να εισάγονται καθυστερήσεις. Ακόμα τα συνεχή αιτήματα μπορεί να ανιχνευθούν σαν ύποπτη κίνηση και να διακοπούν από μηχανισμούς που εμποδίζουν τέτοιες παρεμβολές.

Η παρακολούθηση της κίνησης, γίνεται με τη μέτρηση της πραγματικής απόδοσης της μεταφοράς περιεχομένου από το βοηθητικό εξυπηρετητή με τη σύνδεση του χρήστη. Αυτά τα στατιστικά τροφοδοτούν το μηχανισμό δρομολόγησης αιτημάτων. Ο πιο απλός τρόπος μέτρησης απόστασης είναι η καθυστέρηση στην πλευρά του χρήστη. Τα πακέτα που μεταφέρονται από τον βοηθητικό server στο χρήστη παρακολουθούνται και υπολογίζεται τόσο ο χρόνος καθυστέρησης όσο και τα χαμένα πακέτα, με τα στατιστικά να ανανεώνονται ανά ώρες ή μέρες.

Η λήψη μετρήσεων από τους βοηθητικούς servers γίνεται με περιοδική λήψη μετρήσεων από τους εξυπηρετητές με αιτήματα ειδικά για λήψη μετρήσεων. Ένας άλλος τρόπος είναι η ενσωμάτωση συστημάτων αποστολής μετρήσεων μέσα στους servers, όμως αυτό απαιτεί αλλαγές σε όλους τους εξυπηρετητές. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι μπορούν να παρέχουν περισσότερα στατιστικά για τους servers. Η λήψη μετρήσεων μπορεί να είναι στατική, δηλαδή να λαμβάνει μετρήσεις για στατικές παραμέτρους, όπως η ελαχιστοποίηση των αλμάτων για τη δρομολόγηση από ένα server σε έναν άλλο. Η δυναμική λήψη μετρήσεων αφορά τον υπολογισμό του χρόνου αποστολής και απάντησης ενός

αιτήματος (round trip time RTT) και άλλες παραμέτρους που καθορίζουν την ποιότητα εξυπηρέτησης και αποτελούν δυναμικές μεταβλητές του δικτύου.

Η χρέωση των παρόχων περιεχομένου από τους παρόχους CDN δικτύων γίνεται με βάση το περιεχόμενο που διακινήθηκε από τους βοηθητικούς servers. Το κόστος καθορίζεται από παράγοντες όπως το bandwidth, η διακύμανση της ζήτησης λόγω της κίνησης, το μέγεθος του περιεχομένου που αντιγράφεται, ο αριθμός των βοηθητικών εξυπηρετητών, η αξιοπιστία και ευστάθεια του συστήματος καθώς και το επίπεδο ασφάλειας στην παροχή περιεχομένου. Τα δίκτυα CDN πρέπει να περιλαμβάνουν ένα σύστημα καταγραφής των αιτημάτων δρομολόγησης, κατανομής και διανομής περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο για κάθε στοιχείο του CDN. Με βάση αυτή την καταγραφή και με βάση την πολιτική του παρόχου γίνεται η χρέωση του παρόχου περιεχομένου και λαμβάνονται τα απαραίτητα στοιχεία για τη χρήση και συνεπώς τον έλεγχο και τη συντήρηση του δικτύου CDN. Οι πολιτικές χρέωσης διαφέρουν από πάροχο σε πάροχο και μπορεί να γίνονται με βάση την πραγματική κατανάλωση πόρων ή με τη μέση χρήση των δεσμευμένων πόρων, ώστε να γίνεται ανταγωνιστικότερη η χρέωση για τους παρόχους που χρησιμοποιούν βέλτιστα τους πόρους που έχουν δεσμευτεί για αυτούς με προοδευτικά χαμηλότερη χρέωση όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό χρήσης του περιεχομένου, αλλά με καταναμημένο τρόπο που δεν πνίγει το δίκτυο με υπερβολική κίνηση και μεγάλους χρόνους αδράνειας.

4.2 Παραδείγματα εμπορικών δικτύων CDN

4.2.1 Το δίκτυο Akamai

Στο δίκτυο Akamai το DNS resolution οδηγεί σε ονόματα εξυπηρετητών τα οποία είναι *.akamai.net, *.akadns.net, *.akamaiedge.net . Η Akamai χρησιμοποιεί διευθύνσεις από ένα συνεχή χώρο IP. Η Akamai χρησιμοποιεί DNS δυο σταδίων. Ένα ερώτημα για DNS resolution αποστέλλεται στους top level domain servers, που το προωθεί στους domain servers δευτέρου επιπέδου. Έπειτα από αυτό το στάδιο επιστρέφεται η IP διεύθυνση του εξυπηρετητή. Η IP διεύθυνση, που θα επιστραφεί, εξαρτάται από την περιοχή που πέρχεται το αίτημα καθώς, λόγω της δυνατότητας που δίνει η Akamai για γεωγραφική τοποθέτηση του αιτήματος, το DNS resolution δίνει διαφορετική IP διεύθυνση για αιτήματα που προέρχονται από διαφορετικές διευθύνσεις για το ίδιο περιεχόμενο. Το δίκτυο περιέχει περισσότερους από 27.000 βοηθητικούς servers για το περιεχόμενο σε 65 χώρες. Περίπου 6.000 από αυτούς λειτουργούν και σα DNS servers. Η πλειονότητα των εξυπηρετητών βρίσκονται στις Η.Π.Α (61.09%) και το 90% των εξυπηρετητών είναι τοποθετημένοι σε 10 χώρες. Αυτό σημαίνει ότι η γεωγραφική τοποθέτηση των αιτημάτων μπορεί να γίνει με βεβαιότητα ως προς τη χώρα προέλευσης εάν το αίτημα δεν προέρχεται από κάποια από τις χώρες που είναι τοποθετημένοι οι εξυπηρετητές. Το δίκτυο της Akamai χρησιμοποιεί πολλούς παρόχους διαδικτύου ISP και διαμοιράζει τους βοηθητικούς servers στα δίκτυα όλων των παρόχων ανάλογα με τους χρήστες που αναμένει να έχει σε κάθε πάροχο και κάθε περιοχή. Η διαθεσιμότητα του δικτύου είναι 95-98 % για μεμονωμένους εξυπηρετητές και 94 – 99 % για συστοιχίες εξυπηρετητών. Πάνω από 50 % των εξυπηρετητών είναι πάντα διαθέσιμοι. Οι καθυστερήσεις στο akamai.net είναι 138,35 ms για το DNS σύστημα και 103,28 ms για τους εξυπηρετητές περιεχομένου. Οι καθυστερήσεις στο akamaiedge.net είναι μεγαλύτερες δηλαδή 189,29 ms για το σύστημα DNS μιας και οι εξυπηρετητές είναι πολύ αραιότεροι γεωγραφικά μιας και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δυναμικού περιεχομένου.

Η καθυστέρηση ανά ήπειρο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Akamai	
Καθυστέρηση (ms)	DNS	Βοηθητικοί server
Βόρεια Αμερική	115,81	67,24
Ευρώπη	131,08	82,54
Ασία	122,5	125,53
Ωκεανία	163,68	173,17
Νότια Αμερική	402,35	312,52
Αφρική	961,03	647,08

Πίνακας 3 Καθυστερήσεις δικτύου Akamai ανά ήπειρο²⁹

Οι καθυστερήσεις είναι μικρότερες στη Βόρεια Αμερική που το δίκτυο servers είναι πιο πυκνό. Ακολουθεί η Ευρώπη και η Ασία. Η μεγαλύτερη καθυστέρηση είναι στην Αφρική που όπως είναι λογικό τα πακέτα δρομολογούνται από αλλού.

4.2.2 Το δίκτυο Limelight

Το δίκτυο Limelight χρησιμοποιεί ένα επίπεδο DNS και τα αιτήματα DNS εξυπηρετούνται από τέσσερις name servers που έχουν ονόματα dns11.llnwd.net-dns14.llnwd.net. Ο μηχανισμός δρομολόγησης που χρησιμοποιείται είναι το IP anycasting. Από τους περίπου 4.100 εξυπηρετητές περιεχομένου περισσότεροι από 3.100 λειτουργούν σα name servers. Η διαθεσιμότητα του δικτύου είναι 96 – 99,8% για μεμονωμένους εξυπηρετητές και 100% για συστοιχίες εξυπηρετητών. Οι εξυπηρετητές που είναι διαθέσιμοι συνεχώς είναι πάνω από 70 %. Η καθυστέρηση στους εξυπηρετητές περιεχομένου Limelight είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή στους εξυπηρετητές DNS. Αυτό συμβαίνει καθώς το Limelight ανακατευθύνει αιτήματα σε μη βέλτιστες τοποθεσίες γεωγραφικά εξυπηρετώντας άλλα κριτήρια. Η καθυστέρηση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το δίκτυο Akamai (170,22 ms για το DNS και 221,74 ms για τους εξυπηρετητές περιεχομένου). Η επίδοση ανά ήπειρο όσον αφορά στην καθυστέρηση αναπαρίσταται στον παρακάτω πίνακα:

	Limelight	
Καθυστέρηση (ms)	DNS	Βοηθητικοί server
Βόρεια Αμερική	78,64	79,03
Ευρώπη	103,34	110,05
Ασία	199,84	284,4
Ωκεανία	279,12	266,66
Νότια Αμερική	388,17	368,66
Αφρική	596,03	591,45

Πίνακας 4 Καθυστερήσεις δικτύου Limelight ανά ήπειρο²⁷

²⁹ Huang, C. ([Χ.Χ.]). Measuring and Evaluating Large-Scale CDNs. *8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, New York, 20-22 Οκτωβρίου 2008. [Χ.Τ.], 10.1145, 15-29

Η παρουσία του Limelight φαίνεται ότι είναι επικεντρωμένη σε Βόρεια Αμερική και Ευρώπη, ενώ στις άλλες ηπείρους οι καθυστερήσεις είναι σημαντικές υποδεικνύοντας ότι η δρομολόγηση γίνεται από γεωγραφικά απομακρυσμένο σημείο.

4.2.3 Το δίκτυο Microsoft Azure CDN

Η διαφορά του δικτύου Microsoft Azure CDN με άλλα δίκτυα CDN είναι ότι το περιεχόμενο δεν λαμβάνεται από ιδιόκτητους servers, που βρίσκονται στην υποδομή του παρόχου περιεχομένου, αλλά από servers που διαχειρίζεται η Microsoft, μέσω του Microsoft Azure Storage. Αυτό σημαίνει ότι το περιεχόμενο θα πρέπει να μετακινηθεί στο Microsoft Azure Storage, μια διαδικασία που γίνεται από τον πάροχο περιεχομένου και αυτός φέρει ευθύνη ώστε το περιεχόμενο που είναι αποθηκευμένο στο Microsoft Azure Storage να είναι ενημερωμένο ώστε να διαμοιράζεται σωστά. Τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στο Microsoft Azure Storage δημιουργούν μια πλήρη υποδομή δικτύου CDN μαζί με την υπόλοιπη υποδομή του Microsoft Azure CDN. Η μεταφορά του περιεχομένου γίνεται με DNS anycast.

Η υποδομή του συνόλου του Microsoft Azure γενικά φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

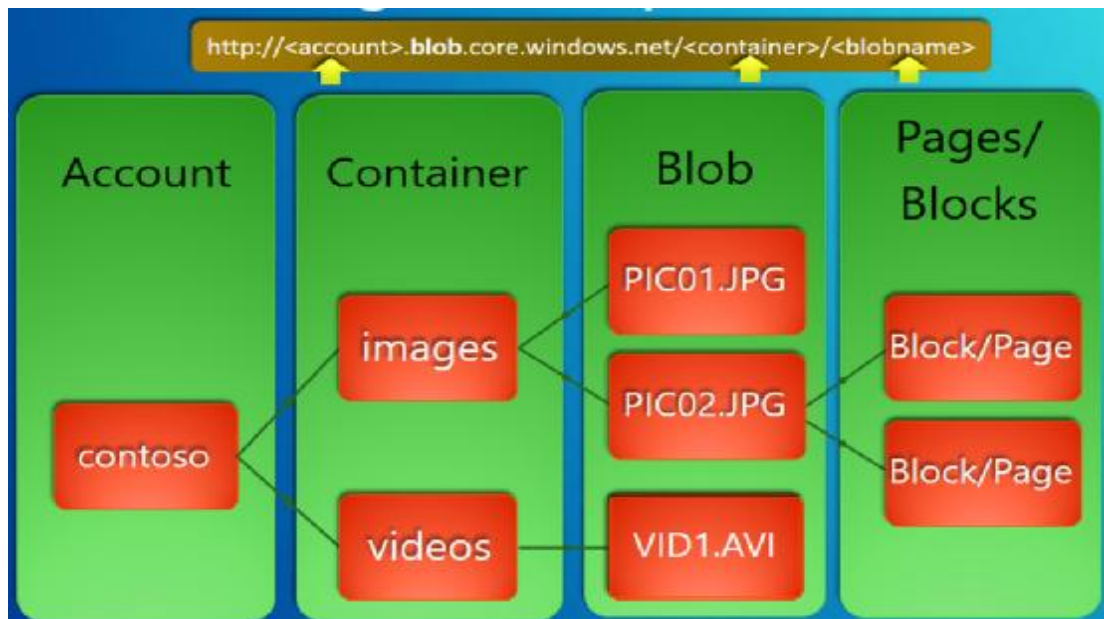


Εικόνα 6 Υποδομή Microsoft Azure

Το Microsoft Azure CDN βρίσκεται στο Integration Layer της υποδομής του Microsoft Azure. Το χαμηλότερο επίπεδο είναι το Data Layer, όπου βρίσκονται η αποθήκευση, η διαχείριση της προσωρινής αποθήκευσης και οι διάφορες βάσεις SQL που τροφοδοτούν και ενημερώνουν τα ανώτερα επίπεδα. Η αποθήκευση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι πάντα διαθέσιμο το περιεχόμενο και οι υπηρεσίες χρεώνονται με βάση το τι χρησιμοποιεί ο πάροχος περιεχομένου από το δίκτυο CDN. Η αποθήκευση γίνεται σε πίνακες, blobs, ουρές και drives. Τα περιεχόμενα των blobs, που βρίσκονται αποθηκευμένα κεντρικά, μεταφέρονται πιο κοντά στους χρήστες μέσω 18 παγκόσμιων εξυπηρετητών CDN. Το αποθηκευμένο περιεχόμενο μπορεί να βρίσκεται στην ίδια τοποθεσία με τους υπολογιστικούς πόρους ή σε διαφορετικές. Σε κάθε λογαριασμό της υπηρεσίας διατίθενται 100 TB. Η αποθήκευση ασφαλίζεται με HTTPS, ψηφιακές υπογραφές και δυο συμμετρικά κλειδιά 512 bits για κάθε

λογαριασμό αποθήκευσης. Τα blobs δημιουργούνται από δυαδικά αρχεία ή αρχεία κειμένου και μεταδεδομένα για τα αρχεία. Οι drives είναι δίσκοι NTFS στους οποίους αποθηκεύονται οι κώδικες για τις υπηρεσίες Microsoft Azure. Οι πίνακες έχουν δομημένη αποθήκευση, όπου αποθηκεύονται διάφορες οντότητες με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Οι ουρές είναι χώρος αποθήκευσης για μηνύματα, που παράγονται από τις εφαρμογές, ώστε να είναι προσβάσιμες στους χρήστες.

Η δομή της αποθήκευσης σε blobs είναι ιεραρχική για κάθε λογαριασμό και έχει την παρακάτω δομή.

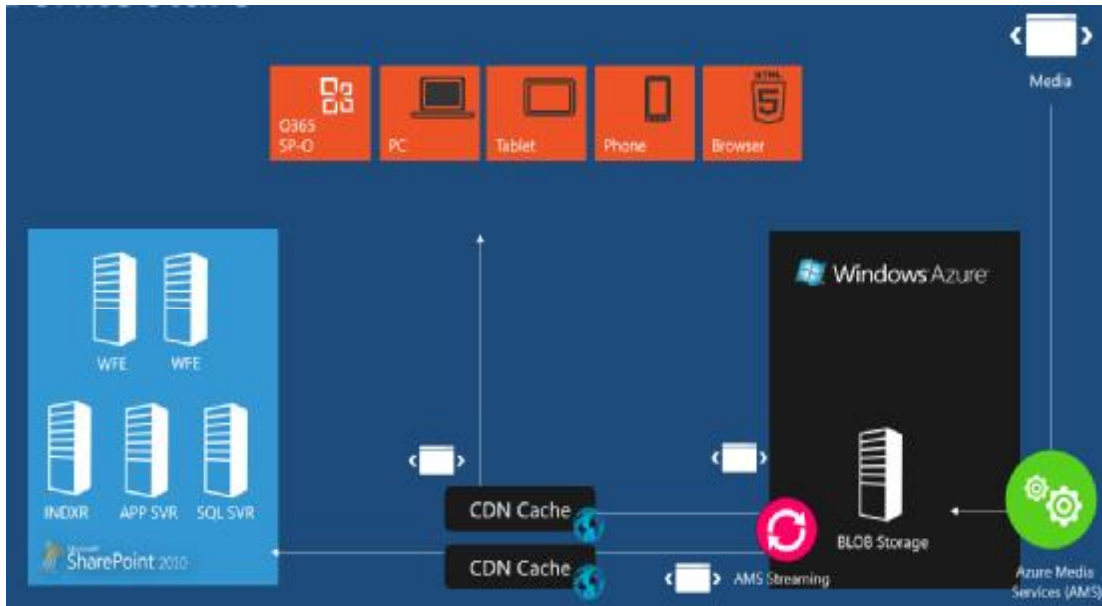


Εικόνα 7 Ιεραρχική δομή αποθήκευσης σε blobs

Ο χώρος αποθήκευσης των blobs κάθε λογαριασμού μπορεί να βρεθεί στη διεύθυνση <http://<account>.blob.core.windows.net>. Σε κάθε λογαριασμό υπάρχουν containers που περιλαμβάνουν τα είδη των αρχείων που φιλοξενούνται στα blobs και είναι προσβάσιμα στη διεύθυνση <http://<account>.blob.core.windows.net/<container>/>. Το κάθε blob πρέπει να ανήκει σε κάποιον container και περιλαμβάνει στα αρχεία που αποθηκεύονται και είναι προς διαμοιρασμό. Τα blobs είναι προσβάσιμα στη διεύθυνση <http://<account>.blob.core.windows.net/<container>/<blobname>/>. Τα blobs εσωτερικά οργανώνονται σε blocks αν πρόκειται να σταλούν σειριακά σε ροές streaming ή σε σελίδες όταν υπόκεινται σε τυχαίες εντολές read/write.

Κάθε λογαριασμός περιλαμβάνει διάφορους containers, με διαφορετικά δικαιώματα πρόσβασης που τίθενται για τα blobs μέσα σε αυτούς. Σε κάθε container ορίζονται τα μεταδεδομένα ώστε να καθορίζεται ο τρόπος πρόσβασης στα δεδομένα όταν εξυπηρετείται κάποιο ερώτημα. Τα blobs πρέπει να μεταφέρονται με ταχύτητα που φτάνει τα 60 MB/s. Τα block blobs έχουν περιορισμό μεγέθους στα 200GB με μέγεθος block 4 MB και κάθε block ταυτοποιείται με ένα ID ώστε να μεταδίδονται με τη σωστή σειρά καθώς απευθύνονται σε ροές δεδομένων. Αυτή η ταυτοποίηση των blocks βοηθά στην επανάληψη πιθανόν αποτυχημένων δεδομένων προς μεταφορά, ώστε να μεταφέρονται τα δεδομένα με τη σωστή σειρά. Τα δεδομένα μπορούν να ανέβουν, όμως, χωρίς να τηρείται η σειρά που θα μεταδοθούν. Τα page blobs αποτελούνται από ένα πίνακα σελίδων και κάθε σελίδα ταυτοποιείται με την απόστασή της από την αρχή του blob. Το όριο μεγέθους για αυτά τα blobs είναι 1 TB. Η πρόσβαση μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε σελίδα του blob ώστε να εξυπηρετούν της υπηρεσίες τυχαίων read/write.

Τα blobs πρέπει να μπορούν να εξυπηρετήσουν συχνή πρόσβαση σε αυτά από οπουδήποτε στον κόσμο. Η μεταφορά μέσω του Microsoft Azure CDN γίνεται από τουλάχιστον 20 τοποθεσίες σε Η.Π.Α., Ευρώπη, Ασία, Αυστραλία και Νότια Αμερική. Το Azure CDN δίνει διευθύνσεις της μορφής <http://<id>.vo.msecnd.net/> που αντιστοιχεί σε domain names της μορφής <http://cdn.<account>.com> . Τα δεδομένα μεταφέρονται στους βοηθητικούς servers από από τους αρχικούς του Microsoft Azure Storage περιοδικά και μένουν εκεί για όσο επιλέξει ο πάροχος περιεχομένου.



Εικόνα 8 Διαμοιρασμός πολυμέσων μέσω του δικτύου Microsoft Azure CDN

Η παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών γίνεται μέσω των Microsoft Azure Drives αφού αυτές μεταφερθούν εκεί και αποθηκευτούν σε NTFS. Ένα Microsoft Azure Drive είναι ένα page blob με τοπικό χώρο προσωρινής αποθήκευσης για διαδικασίες ανάγνωσης. Οι δίσκοι είναι σε format NTFS αλλά είναι εικονικοί. Οι εφαρμογές αντιγράφονται τοπικά, όταν ζητούνται για καλύτερη απόδοση.



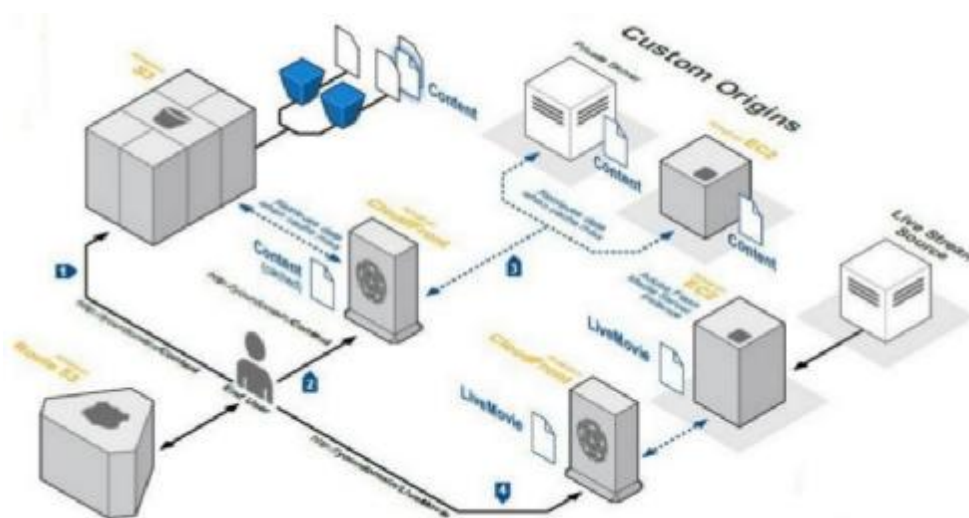
Εικόνα 9 Υπηρεσίες Azure CDN

Οι υπηρεσίες που παρέχονται από το Microsoft Azure CDN ως προς το πολυμεσικό περιεχόμενο είναι:

- Ασφαλής τροφοδοσία δεδομένων
- Κωδικοποίηση
- Κατ'απαίτηση παροχή αυθεντικού περιεχομένου
- Τροφοδοσία δεδομένων σε ζωντανή σύνδεση
- Αναπαραγωγή αυθεντικού περιεχομένου σε ζωντανή σύνδεση
- Εισαγωγή διαφημίσεων
- Προγραμματισμός μετάδοσης πολυμεσικού περιεχομένου
- Ενσωματωμένοι επεξεργαστές δεδομένων
- Προστασία περιεχομένου
- Κωδικοποίηση ροής που μεταδίδεται σε ζωντανή σύνδεση
- Στατιστικά

4.2.4 Το δίκτυο Amazon Cloud Front

Το δίκτυο Amazon Cloud Front προσφέρει εξυπηρέτηση δυναμικού περιεχομένου με πολλαπλές συμπεριφορές προσωρινής αποθήκευσης, πρωτόκολλο σύνδεσης πολλαπλών αρχικών εξυπηρετητών, πρωτόκολλο σύνδεσης θεατών, πολύ μικρή περίοδο λήξης δεδομένων, ερωτήματα για παραμέτρους χαρακτήρων, υποστήριξη cookies. Υποστηρίζεται πλήρης και μερική διανομή περιεχομένου. Η δρομολόγηση γίνεται με στόχο τη χαμηλότερη καθυστέρηση. Παρέχονται ακόμα επιμένουσες συνδέσεις και βελτιώσεις TCP με κάθε αρχικό server και χρήστη. Ταυτόχρονα αιτήματα σε ένα συγκεκριμένο εξυπηρετητή πηγής συνδυάζονται και στέλνονται σαν ένα για να αυξηθεί η απόδοση. Ακόμα σε περίπτωση που χρειάζεται σύνδεση στους εξυπηρετητές πηγής του Amazon Web Services, αυτή γίνεται μέσω των δικτύων που ελέγχονται από την Amazon. Όσον αφορά στη μεταφορά δεδομένων στην άκρη του δικτύου, εκεί υπάρχουν πολλαπλά επίπεδα προσωρινής αποθήκευσης σε κάθε 'ακραία' τοποθεσία. Οι ακραίες τοποθεσίες λαμβάνουν domain ονόματα της μορφής <id>.cloudfront.net



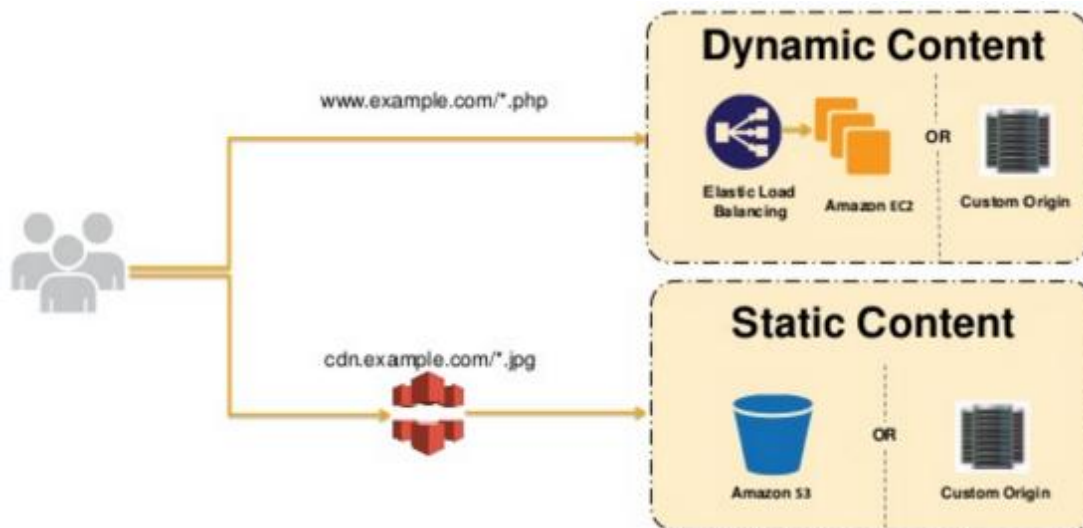
Εικόνα 10 Εξυπηρέτηση αιτημάτων χρηστών από το Amazon Cloud Front

Το domain name του παρόχου περιεχομένου αντιστοιχείται στο με το domain name του Amazon Cloud Front και το περιεχόμενο παρέχεται με HTTP/HTTPS πρωτόκολλα και με RTMP πρωτόκολλο εάν πρόκειται για ροή δεδομένων (stream). Τα αρχικά δεδομένα μπορούν να βρίσκονται σε εξυπηρετητές, τόσο του παρόχου, όσο και παρεχόμενους από τις υπηρεσίες Amazon Web Services. Τα αιτήματα δρομολογούνται σε κάποιον κοντινό server από την παρακάτω λίστα που δείχνει την παγκόσμια παρουσία του Amazon Cloud Front.

United States	Europe	Asia	South America
• Atlanta, GA	• Amsterdam, The Netherlands (2)	• Chennai, India	• São Paulo, Brazil
• Ashburn, VA (3)	• Dublin, Ireland	• Hong Kong (2)	• Rio de Janeiro, Brazil
• Chicago, IL	• Frankfurt, Germany (3)	• Mumbai, India	
• Dallas/Fort Worth, TX (2)	• London, England (3)	• Manila, the Philippines	
• Hayward, CA	• Madrid, Spain	• Osaka, Japan	
• Jacksonville, FL	• Marseille, France	• Seoul, Korea (2)	
• Los Angeles, CA (2)	• Milan, Italy	• Singapore (2)	
• Miami, FL	• Paris, France (2)	• Taipei, Taiwan	
• New York, NY (3)	• Stockholm, Sweden	• Tokyo, Japan (2)	
• Newark, NJ	• Warsaw, Poland	Australia	
• Palo Alto, CA		• Melbourne, Australia	
• San Jose, CA		• Sydney, Australia	
• Seattle, WA			
• South Bend, IN			
• St. Louis, MO			

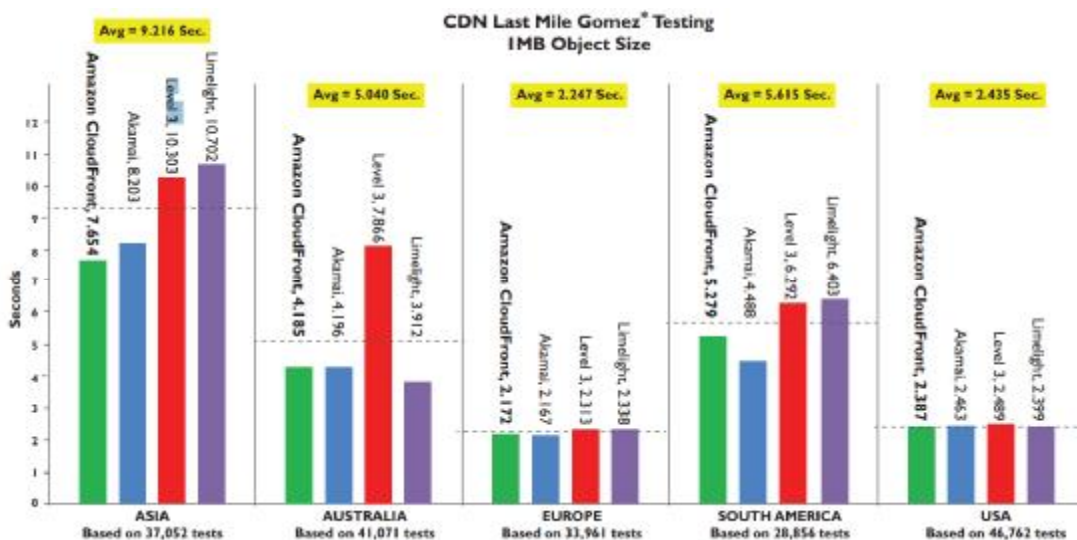
Εικόνα 11 Λίστα εξυπηρετητών Amazon Cloud Front ανά ήπειρο

Το στατικό με το δυναμικό περιεχόμενο διαχωρίζονται ως προς την εξυπηρέτησή τους. Το στατικό περιεχόμενο εξυπηρετείται από κάποιον εξυπηρετητή ή την υπηρεσία Amazon S3 (Simple Storage Service) της Amazon Web Services, που παρέχει λύσεις αποθήκευσης για αρχειοθέτηση και αποθήκευση περιεχομένου. Το δυναμικό περιεχόμενο μπορεί να εξυπηρετηθεί από κάποιον server, όμως δίνεται και η δυνατότητα να σταλεί το αίτημα σε μονάδα ελαστικής κατανομής φορτίου και να εξυπηρετηθεί από την υπηρεσία Amazon EC2 (Elastic Compute Cloud) της Amazon Web Services. Η υπηρεσία αυτή παρέχει διαφοροποιούμενη υπολογιστική ισχύ ανάλογα με τις ανάγκες εξυπηρέτησης ώστε να καλύψει πιθανές αυξομειώσεις στη ζήτηση μιας και το δυναμικό περιεχόμενο έχει απαιτήσεις που μπορούν να διαφέρουν σημαντικά, χωρίς να αυξηθεί αντίστοιχα ο αριθμός αιτημάτων. Παρέχεται, ακόμα, γεωγραφική τοποθέτηση των αιτημάτων και ανίχνευση τύπου συσκευής, ώστε να παρέχεται το περιεχόμενο που είναι κατάλληλο για κάθε συσκευή. Σε κάθε λογαριασμό Amazon Cloud Front μπορούν να εξυπηρετηθούν όσες διαφορετικές ιστοσελίδες μπορούν να εξυπηρετήσουν οι πόροι που έχουν συμφωνηθεί.



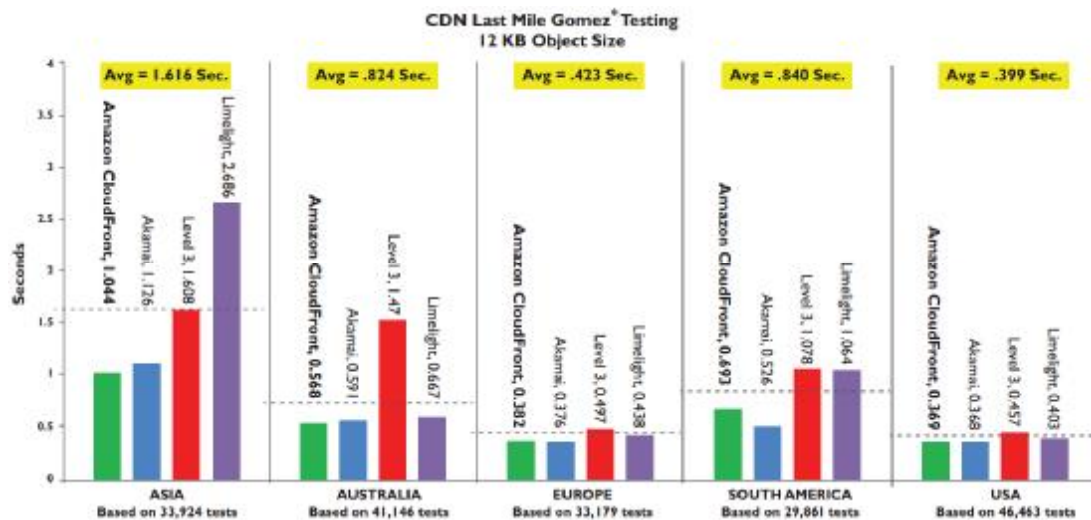
Εικόνα 12 Εξυπηρέτηση στατικού και δυναμικού περιεχομένου

Τα αποτελέσματα των Last Mile Tests της εταιρείας Gomez που συγκρίνουν το Amazon Cloud Front με το δίκτυο της Akamai, το δίκτυο Limelight και το δίκτυο Level 3 με βάση την καθυστέρηση και το μέγεθος των αρχείων ανά ήπειρο δείχνουν μια διακύμανση ανάμεσα στις ηπείρους ως προς το ποιο δίκτυο είναι ταχύτερο. Τα αποτελέσματα για μεγάλα αρχεία της τάξης του 1 MB δείχνουν ότι το Amazon Cloud Front έχει τη μικρότερη καθυστέρηση στις Η.Π.Α. και την Ασία, ενώ στην Ευρώπη και τη Νότια Αμερική υπερτερεί το δίκτυο της Akamai. Το δίκτυο της Limelight έχει τη μικρότερη καθυστέρηση μόνο στην Αυστραλιανή ήπειρο.



Εικόνα 13 Αποτελέσματα Last Mile Tests της Gomez για μεγάλα αρχεία

Στα μικρά αρχεία η εικόνα είναι διαφορετική με το Amazon Cloud Front να είναι ταχύτερο σε Η.Π.Α. (μαζί με το δίκτυο Akamai), Ασία, Αυστραλία. Ενώ στην Ευρώπη και τη Νότια Αμερική προηγείται το δίκτυο της Akamai.



Εικόνα 14 Αποτελέσματα Last Mile Tests της Gomez για μικρά αρχεία

4.2.5 Σύγκριση Κοστολόγησης δημοφιλών CDN

Το **Microsoft Azure CDN** προσφέρει υπηρεσίες μεταφοράς πολυμέσων όπως ζωντανή μετάδοση video, video on demand και ροές δεδομένων streaming εκτός της παροχής μεταφοράς δεδομένων στην άκρη του δικτύου. Το video on demand κοστολογείται με περίπλοκο τρόπο με βάση τα GBs των video, την καταχώρηση σε πίνακα και τις μονάδες κωδικοποίησης ανάλογα με το επίπεδό τους. Το ζωντανό video κοστολογείται 0,83 ευρώ ανά ώρα ζωντανού περιεχομένου το μήνα. Αν το video είναι κρυπτογραφημένο η χρέωση είναι 16,86 ευρώ το μήνα ανά ώρα. Η μεταφορά των δεδομένων ανά GB μέσω CDN χρεώνεται ανάλογα με την περιοχή στην οποία παρέχεται. Στις Η.Π.Α. η χρέωση είναι 0,07 ευρώ ανά μήνα, σε Ασία και Ιαπωνία η χρέωση είναι 0,12 ευρώ το μήνα, στη Βραζιλία η χρέωση είναι 0,21 ευρώ ανά μήνα, στην Αυστραλία είναι 0,12 ανά μήνα και στην Ινδία 0,14 ευρώ ανά μήνα. Δίνεται και η επιλογή για Premium εξυπηρέτηση αυτής της ζήτησης με τις τιμές να διπλασιάζονται. Η υποστήριξη της υπηρεσίας υπόκειται και αυτή σε επίπεδα με Developer χρέωση 24,46 ανά μήνα, Standard χρέωση με εξυπηρέτηση σε λιγότερο από δύο ώρες και χρέωση 253 ευρώ ανά μήνα. Η εξυπηρέτηση Professional Direct παρέχει εξυπηρέτηση κατά προτεραιότητα, τηλεφωνική γραμμή άμεσης ανάγκης και χρόνο εξυπηρέτησης μικρότερο της μιας ώρας.

Το **Amazon Cloud Front** δίνει για ένα χρόνο την επιλογή για δοκιμαστική χρήση με περιορισμένο bandwidth και λειτουργίες. Στο περιεχόμενο δίνεται η δυνατότητα να αποκλείεται σε κάποιες γεωγραφικές περιοχές. Παρέχονται αναφορές και στατιστικά σε πραγματικό χρόνο με ανάλυση όπως ο ρυθμός επιτυχίας cache και ο ρυθμός σφαλμάτων. Οι ροές δεδομένων εξυπηρετούνται με Adobe Media Server 5.0, το video on demand με Microsoft Smooth Streaming και το live streaming με Wowza. Η τιμή ανά GB το μήνα για τα πρώτα 10 TB είναι 0,085 δολάρια για Η.Π.Α. και Ευρώπη, 0,140 για Χονγκ Κονγκ, Φιλιππίνες, Κορέα, Σιγκαπούρη, Ιαπωνία, Αυστραλία και Ταιβάν, ενώ για την Ινδία η τιμή είναι 0,170 δολάρια και 0,250 για τη Νότια Αμερική. Οι χρεώσεις ανά GB μειώνονται όσο αυξάνεται η αναμενόμενη ζήτηση, γεγονός που εξυπηρετεί τους μεγάλους παρόχους. Στο Amazon Cloud Front χρεώνεται επίσης και η ανά GB κίνηση προς τους αρχικούς εξυπηρετητές, με τιμές που φτάνουν από τα 0,020 δολάρια για Η.Π.Α. και Ευρώπη μέχρι και 0,160 για την Ινδία. Η έξτρα χρέωση της Amazon αφορά τη χρέωση των HTTP και HTTPS

αιτημάτων ανά 10.000 με χρεώσεις από 0,0075 δολάρια για τις Η.Π.Α., 0,0090 για όλες τις άλλες περιοχές μέχρι 0,0160 για τη Νότια Αμερική. Τέλος υπάρχει και μια πολύ μικρή χρέωση για κάθε μονοπάτι που ακυρώνεται.

Το δίκτυο **Akamai** εξυπηρετεί το 30% της κίνησης του διαδικτύου. Το Akamai Aura Managed CDN επιτρέπει παροχή υπηρεσιών video streaming και βελτιστοποίηση παροχής περιεχομένου του δικτύου. Το στοιχείο Aura Edge eXchange (AEX) επιτρέπει την παροχή online video περιεχομένου. Το στοιχείο Aura Control System είναι ένα σύνολο εργαλείων που επιτρέπει τον έλεγχο σφαλμάτων, τη ρύθμιση, τον υπολογισμό κόστους, την απόδοση και την ασφάλεια των πόρων του δικτύου CDN. Το στοιχείο Akamai Federation παρέχει τη δυνατότητα στους παρόχους περιεχομένου να συνδυάσουν τις υπηρεσίες τους με το παγκόσμιο δίκτυο της Akamai σε μια πλατφόρμα που παρέχει παγκόσμια κάλυψη. Αυτό βοηθά στην εξυπηρέτηση γεγονότων, που εμφανίζονται flash crowd φαινόμενα, μέσω επιπλέον χωρητικότητας και πλεοναζόντων πόρων. Η τιμή του δικτύου Akamai συμφωνείται ιδιωτικά, με το κόστος ανα TB να ανέρχεται περίπου στα 100 δολάρια.

Το δίκτυο **MaxCDN** παρέχει ταχύτατη σύνδεση με υποδομή που αποτελείται καθαρά από δίσκους SSD και ειδική στοιβία TCP. Υποστηρίζει στιγμιαία κωδικοποίηση SSL και OriginShield για την επικοινωνία με τους αρχικούς εξυπηρετητές και πιο σταθερή και αξιόπιστη υπηρεσία. Επιπλέον προστίθεται προστασία υπερφόρτωσης των εξυπηρετητών. Όσον αφορά στην ασφάλεια χρησιμοποιούνται ειδικά πρωτόκολλα υψηλής ποιότητας με απαίτηση λογαριασμού (login) και ειδικού κωδικού. Ειδική υπηρεσία είναι το MaxResponse που εγγυάται απάντηση σε αίτημα βλάβης σε δυο λεπτά. Η κοστολόγηση ανά GB για τα πρώτα 50 TB είναι 0,06 δολάρια σε Βόρεια Αμερική και Ευρώπη και 0,095 δολάρια σε Ασία, Ειρηνικό και Αυστραλία. Και σε αυτό το δίκτυο οι τιμές μειώνονται προοδευτικά με την αύξηση της ζήτησης σε bandwidth, ενώ τα HTTP αιτήματα δε χρεώνονται. Αν ζητηθούν επιπλέον τοποθεσίες υπάρχει χρέωση 15 δολαρίων ανά μήνα, για επιπλέον ζώνες παροχής το κόστος είναι 12 δολάρια το χρόνο και, αν προστεθεί η υπηρεσία προστασίας των αρχικών εξυπηρετητών, η χρέωση είναι 200 δολάρια το μήνα. Προσωποποιημένες πολιτικές προσωρινής αποθήκευσης, προσωρινή αποθήκευση ολόκληρης της σελίδας και εξυπηρέτηση 100% του χρόνου είναι ειδικά χαρακτηριστικά που απαιτούν υψηλότερη βαθμίδα συνδρομής. Στο επίπεδο της ασφάλειας παρέχεται πιστοποίηση δυο επιπέδων, καταγραφή ασφαλών διευθύνσεων IP, αρχείο καταγραφής δραστηριότητας και ενημερώσεις ύποπτης πρόσβασης.

Το δίκτυο **CloudFlare** παρέχει προστασία από επιθέσεις DDoS, προστασία από ύποπτη κίνηση, firewall και άλλα. Παρέχει λειτουργικότητα ώστε με αλλαγή του DNS να μεταφέρεται το περιεχόμενο. Το δίκτυο CloudFlare προσφέρεται για παροχή δυναμικού περιεχομένου λόγω της απλότητας του. Στην προστασία προσαρμόζεται σε κάθε επίθεση, ώστε να την αντιμετωπίζει με τον ίδιο τρόπο στο μέλλον και παρέχει πληροφορίες για αυτές, είτε αντιμετωπίστηκαν σωστά, είτε όχι. Ακόμα αναλύει τη φήμη του επισκέπτη για να εκτιμήσει την επικινδυνότητά του. Παρέχει πλήρη ανάλυση της παροχής του περιεχομένου και ανάλυση της κίνησης ταξινομώντας την ως προς το χρόνο, το είδος της κίνησης και το είδος των επισκεπτών. Παρέχονται 4 είδη πακέτων, Free (δωρεάν), Pro (20 δολάρια/μήνα), Business (200 δολάρια/μήνα) και Enterprise (τιμή κατόπιν απαίτησης) χωρίς χρεώσεις bandwidth. Το όριο upload κάθε client ορίζεται αντίστοιχα σε 100 MB, 100 MB, 200 MB και 500 MB.

Το δίκτυο **CDN77** διαθέτει 28 data centers κυρίως στην Ευρώπη τα οποία είναι εξοπλισμένα με δίσκους SSD για μεγαλύτερη ταχύτητα εξυπηρέτησης. Οι υπηρεσίες που παρέχονται είναι επιτάχυνση ιστοσελίδων, διανομή λογισμικού, διανομή βίντεο, gaming και τροποποίηση του

δικτύου CDN με προσωποποιημένες λειτουργίες. Το κόστος της υπηρεσίας είναι 49 δολάρια ανά TB για Η.Π.Α., Καναδά και Ευρώπη, 125 δολάρια για την Ασία και την Αυστραλία και 185 δολάρια για τη Νότια Αμερική.

Το δίκτυο **CacheFly** προσφέρει διανομή video & IPTV, διανομή podcast & ήχου, διανομή παιχνιδιών, διανομή Web και Mobile εφαρμογών, δυναμική επιτάχυνση Software as a Service (SaaS), διανομή λογισμικού. Η παρουσία του δικτύου είναι σε 40 και πλέον σημεία με κύριο στόχο την αυξημένη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μέσω ειδικού λογισμικού HTTP και βελτιώσεων TCP, σε συνδυασμό με στρατηγικές συνεργασίες με άλλους παρόχους. Το κόστος ανά GB και σε αυτό το δίκτυο μειώνεται προοδευτικά με την αύξηση της χρήσης, με αρχικές τιμές 0,1 δολάρια για Η.Π.Α. και Ευρώπη, 0,15 δολάρια για την Ασία, 0,17 για Αφρική, Αυστραλία και Μέση Ανατολή και 0,2 για τη Νότια Αμερική και την Ινδία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διαδικτυακές Πηγές

1. 10 Συμβουλές για βελτιστοποίηση της ταχύτητας της ιστοσελίδας σας. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <https://www.webgift.gr/eblog/istologio-ipiresies-diadiktiou/sumboules-veltistopoihsi-taxitita-istoselidas.html>
2. #10 tips για αύξηση της ταχύτητας της ιστοσελίδας σας. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <http://www.seopedia.gr/speed-up-website-wordpress/>
3. Δίκτυα Υπολογιστών. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από http://www.pi-schools.gr/programs/ktp/previous_version/book2/04_1.pdf
4. Δίκτυα υπολογιστών. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <https://sites.google.com/site/eisagogestadiktyaypologiston1/architektonike-diktyou/topologies-diktyon>
5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ. Ανακτήθηκε 3 Σεπτεμβρίου, 2015, από http://cgi.di.uoa.gr/~klimn/vpn/VPN-lecture_notes.pdf
6. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από http://diktia.weebly.com/uploads/6/4/5/1/6451366/protokolla_epikoinonias.pdf
7. CLIENT-SERVER COMPUTING. Ανακτήθηκε 10 Αυγούστου, 2015, από http://www.it.uom.gr/project/client_server/theoria1.htm
8. Communication Networks/DNS. Ανακτήθηκε 25 Αυγούστου, 2015, από https://en.wikibooks.org/wiki/Communication_Networks/DNS
9. Courses.cn.ntua.gr. Ανακτήθηκε 10 Αυγούστου, 2015, από http://old-courses.cn.ntua.gr/file.php/56/mathima11-12_dns.pdf
10. DNS. Ανακτήθηκε 10 Αυγούστου, 2015, από http://ourrku.hpage.co.in/application-layer_42536961.html
11. HTML. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από www.eeei.gr/odhgos/htmlfaq.htm
12. INTERNET. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <http://pc-3.lib.uoi.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/3927/1/Internet%202003.pdf>
13. Latest List Of Vendors In The Content Delivery Ecosystem. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από <http://blog.streamingmedia.com/2014/07/cdnvendors.html>
14. Metric Methods. Ανακτήθηκε 5 Σεπτεμβρίου, 2015, από <http://resources.mpi-inf.mpg.de/conferences/adfocs08/Gupta-handout1.pdf>
15. Root Servers. Ανακτήθηκε 22 Αυγούστου, 2015, από <https://www.iana.org/domains/root/servers>.
16. Root-servers.org. Ανακτήθηκε 25 Αυγούστου, 2015, από <http://root-servers.org/>
17. This is the Home Page of Stavros Papastavrou. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2015, από www.cs.ucy.ac.cy/~stavrosp/epl012/networks.ppt
18. Why Do Telecom Operators Need CDN?. Ανακτήθηκε 30 Αυγούστου, 2015, από http://eng.jetinfo.ru/jetinfo_arhiv/everything-about-network-traffic-management/why-do-telecom-operators-need-cdn/2014

Ελληνική βιβλιογραφία

1. ΣΑΛΑΜΠΑΣΗΣ, Μ. (2008). ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ. [χ.τ.]: [χ.ε.]
2. Αβούρης, Ν., Κουφοπαύλου, Ο. & Σερπάνος, Δ. (2004). Εισαγωγή στους Υπολογιστές. Πάτρα: Εκδόσεις Typorama.
3. Θανασούλας, Δ. ([χ.χ.]). ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΓΙΑ ΑΜΕΣΗ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, [χ.τ.]

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Pathan, A. & Buyya, R. ([Χ.Χ.]). *A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks*. [Χ.Τ.]: [Χ.Ε.].
2. Mulerikkal, J. ([Χ.Χ.]). An Architecture for Distributed Content Delivery Network. *Networks, 2007. ICON 2007. 15th IEEE International Conference on*, Adelaide, SA, 19-21 Νοεμβρίου 2007. [Χ.Τ.], 10.1109, 359-364
3. Buyya, R., Pathan, M. & Vakali, A. (2008). *Content Delivery Networks*. [Χ.Τ.]: Springer Science & Business Media
4. Dilley, J., Maggs, B., Parikh, J. & Prokop, H. (2002). Globally distributed content delivery. *IEEE Internet Computing*. 6, (5), 50-56
5. Pierre, G. & van Steen, M. (2006, 21 Αυγούστου). Globule: A Collaborative Content Delivery Network. *IEEE Communications Magazine*. 44, (8), 127-133.
6. Huang, C. ([Χ.Χ.]). Measuring and Evaluating Large-Scale CDNs. *8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, New York, 20-22 Οκτωβρίου 2008. [Χ.Τ.], 10.1145, 15-29
7. Mellouk, A., Hoceini, S. & Tran, H. (2013). *Quality of Experience for Multimedia: Application to Content Delivery Network Architecture*. [Χ.Τ.]: John Wiley & Sons