

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University of Macedonia

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Master in Information Systems

Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών

Course: Computer Networks

Καθηγητής Α.Α. Οικονομίδης

Professor A.A. Economides

Επισκόπηση των Δικτύων CDN

Ιωάννης Κοτανίδης

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Σημείωμα Συγγραφέα

Η εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Δίκτυα Υπολογιστών» του Καθηγητή κ. Α.Α. Οικονομίδα, κατά το 1ο εξάμηνο σπουδών του Δ.Π.Μ.Σ. Πληροφοριακά Συστήματα τον Μάιο του 2019. Η δομή της εργασίας διαμορφώθηκε σύμφωνα με το APA Style. Τυχόν λάθη και παραλείψεις βαραίνουν τον συγγραφέα.

Επισκόπηση των Δικτύων CDN

Περίληψη

Η γρήγορη μετάδοση του περιεχομένου μίας ιστοσελίδας αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιτυχία της. Η γρήγορη μεταφορά των δεδομένων της ιστοσελίδας σε όλα τα μέρη του πλανήτη καθίσταται εφικτή μέσω των Content Delivery Networks (CDN). Η παρούσα εργασία αποτελεί μία επισκόπηση της τεχνολογίας CDN. Παρουσιάζεται η δομή των CDNs, ο τρόπος λειτουργίας τους, οι λόγοι για τους οποίους είναι χρήσιμα και οι εξελίξεις στον τομέα τους. Η επισκόπηση κλείνει με τρεις SWOT αναλύσεις οι οποίες φανερώνουν τα διαφορετικά συμφέροντα που έχουν οι ομάδες χρηστών των CDNs. Στο τέλος παρουσιάζεται μία μελέτη περίπτωσης από την χρήση του CDN της Cloudflare.

Λέξεις κλειδιά: Content Delivery Network, ακραίος διακομιστής, διακομιστής προέλευσης, προσωρινή μνήμη, static content.

Abstract

The fast transmission of a website's content is a major factor for its success. The fast transmission of a website's data to all parts of the planet is made possible through Content Delivery Networks (CDN). The present work is an overview of the CDN technology. The infrastructure of CDNs, the way they are functioning, the reasons why they are important and their evolution are being presented. The overview is concluded by 3 SWOT Analysis which reveal the different interests CDNs' user groups have. At the end a case study of the use of Cloudflare's CDN is being presented.

Keywords: Content Delivery Network, edge server, origin server, caching, static content.

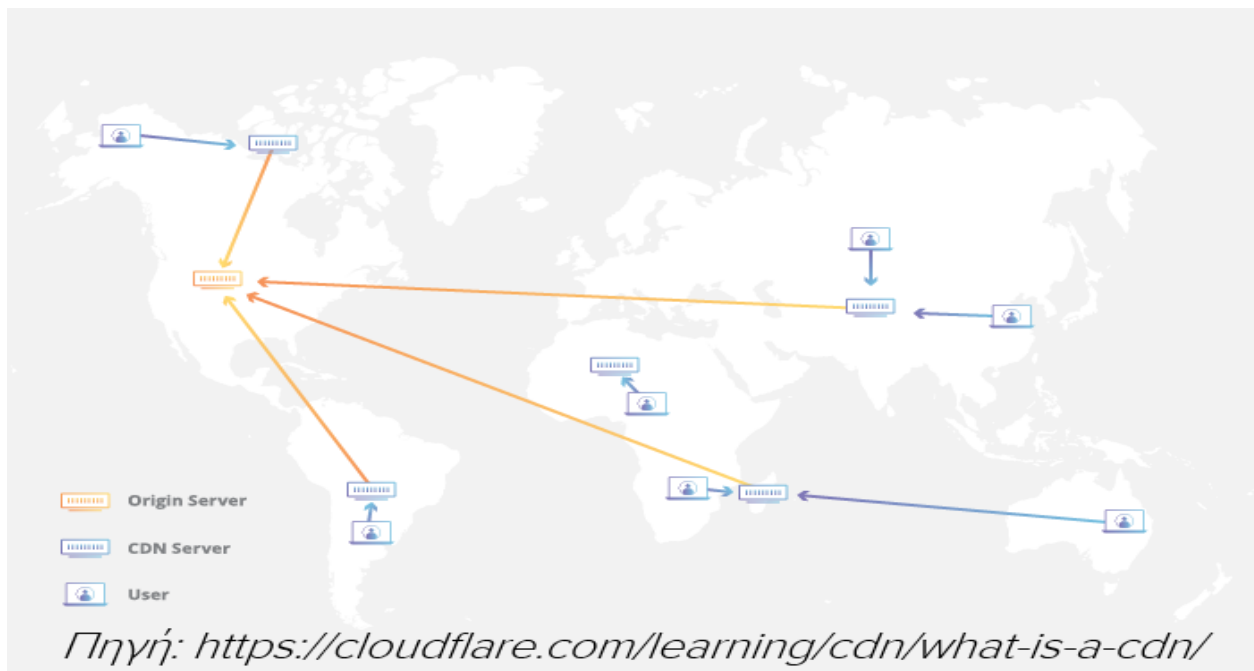
Εισαγωγή

Κάθε ιστοσελίδα αντιστοιχίζεται σε ένα τουλάχιστον Όνομα Χώρου (Domain Name). Ο χρήστης του Διαδικτύου αρχικά γράφει σε ένα Web Browser ένα Όνομα Χώρου. Ο Web Browser συνδέεται με το αντίστοιχο Μητρώο Ονομάτων Χώρου, το οποίο είναι μία Αρχή υπεύθυνη για την καταχώρηση των Ονομάτων Χώρου συγκεκριμένης κατάληξης. Στις λίστες των Μητρώων Ονομάτων Χώρου το εκάστοτε Όνομα Χώρου αντιστοιχίζεται σε δύο τουλάχιστον IP διευθύνσεις (primary name server και secondary name server). Γνωρίζοντας αυτές τις διευθύνσεις ο Web Browser γνωρίζει που θα συνδεθεί για να ζητήσει τα αρχεία της ιστοσελίδας και να τα εμφανίσει στην οθόνη μας.

Ο χρόνος επικοινωνίας του Web Browser με τον εκάστοτε Server είναι ανάλογος του αριθμού των κόμβων που απαιτούνται για την προσπέλασή του. Στον χρόνο αυτόν προστίθενται και άλλοι χρόνοι όπως αυτοί που σχετίζονται με: α) τον Hosting Server, β) τον τοπικό υπολογιστή του χρήστη, γ) σφάλματα στην κατασκευή της ιστοσελίδας και δ) γενικά προβλήματα του Δικτύου. Οι τρεις πρώτες αιτίες καθυστέρησης μπορούν εύκολα να υπερκεραστούν με το κατάλληλο Hardware και Software. Η καθυστέρηση εξαιτίας του Δικτύου είναι ο παράγοντας ο οποίος είναι δύσκολος να υπερκεραστεί ιδιαίτερα εάν η απόσταση που μας χωρίζει με το Server είναι μεγάλη (κυρίως διηπειρωτική). Αυτό το πρόβλημα λύνουν τα Content Delivery Networks.

Content Delivery Network

Ένα Content Delivery Network ή CDN (στα Ελληνικά: Δίκτυο Διανομής Περιεχομένου) είναι ένα δίκτυο από Edge Servers (Ακραίους Διακομιστές) στρατηγικά τοποθετημένους σε όλο το εύρος του Διαδικτύου με σκοπό την ταχύτερη μεταφορά του ψηφιακού περιεχομένου στους χρήστες (Saroju, Gummadi, Dunn, Gribble, Levy, 2002). Όταν ένας χρήστης ζητά να λάβει το περιεχόμενο μίας ιστοσελίδας δρομολογείται προς τον κοντινότερο CDN Edge Server. Προσδοκούμε έτσι το latency (ο χρόνος φόρτωσης της ιστοσελίδας) να είναι αρκετά μικρότερο σε σύγκριση με εκείνο που θα υπήρχε δίχως την χρήση του CDN.



Εικόνα 1: CDN Δίκτυο

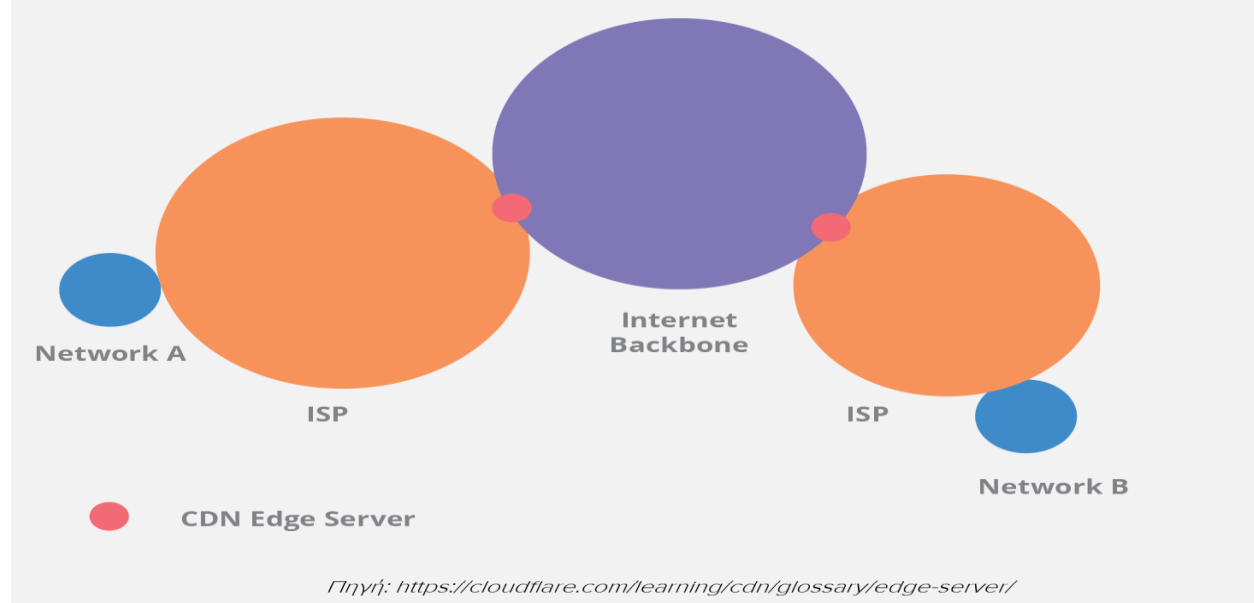
Το Διαδίκτυο δεν σχεδιάστηκε με τρόπο κατάλληλο να διαχειρίζεται την μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι δύσκολο ακόμα και με τις σημερινές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων να γίνει η λήψη του ψηφιακού περιεχομένου στον επιθυμητό ακαριαίο χρόνο. Ήδη από το 1998 καταγράφηκε η ανάγκη για τη δημιουργία των CDNs που θα

βοηθούσαν στην βελτίωση της ποιότητας παροχής του περιεχομένου των ιστοσελίδων στους χρήστες τους (Li, Doh, Chae 2016).

Από το 1998 όμως μέχρι και το 2019 έχουν αλλάξει πολλά στο Διαδίκτυο. Η ψηφιακή παρουσία εκτιμάται ότι διπλασιάζεται σε μέγεθος κάθε δύο χρόνια. Το 2020 αναμένεται ότι τα δεδομένα που θα δημιουργηθούν και θα αντιγραφούν θα φτάσουν τα 44 zettabytes. Βάση άλλων εκτιμήσεων, η κίνηση στο Διαδίκτυο το 2018 έγινε κατά το ήμισυ μέσα από CDN (Wang, Jayaraman, Ranjan, Mitra, Zhang, Li, Khan, Pathan, Georgeakopoulos 2015).

Αρχιτεκτονικά, το CDN αποτελείται από δύο βασικά συστατικά στοιχεία: τα Points of Presence (Σημεία Ενδιαφέροντος στα Ελληνικά) και από τους Edge Servers. Πάνω σε αυτά στηρίζεται το CDN προκειμένου να δρομολογήσει σωστά το περιεχόμενο, να παρέχει υψηλό επίπεδο υπηρεσιών (QoS - μικρό latency και υψηλό uptime) και να αντιμετωπίσει τις επιθέσεις (keycdn.com).

Σε ένα CDN, ο Edge Server είναι ο διακομιστής ο οποίος βρίσκεται στο λογικό άκρο (edge) ενός δικτύου. Τοποθετείται συνήθως εντός ενός IXPs (Internet Exchange Points) και λειτουργεί ως γέφυρα (bridge) ώστε να συνδέσει δύο ξεχωριστά δίκτυα παρόχων. Τα IXPs είναι



Εικόνα 2: Edge Servers

τα κύρια σημεία διασύνδεσης των δικτύων των παρόχων Διαδικτύου (Internet Service Providers ή ISPs). Έχοντας πρόσβαση σε αυτά τα σημεία διασύνδεσης και υψηλής ταχύτητας, ο πάροχος του CDN καταφέρνει να μειώνει τον χρόνο παράδοσης των δεδομένων. Σκοπός του Edge Server είναι να αποθηκεύει το στατικό περιεχόμενο των ιστοσελίδων υπό τη μορφή cache όσο πιο κοντά γίνεται στον χρήστη. Ο συνολικός αριθμός των Edge Servers ανά POP διαφέρει ανάλογα με τον CDN πάροχο (cloudflare.com , keycdn.com).

Ένα Point of Presence (γνωστό και ως POP) είναι η τοποθεσία όπου έχει τοποθετηθεί ένα σύνολο από Edge Servers. Ένα IXP μπορεί να χαρακτηριστεί και ως POP. Το POP χρειάζεται πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων προκειμένου να εξυπηρετήσει το μεγάλο όγκο δεδομένων που καλείται να μεταφέρει το CDN. Πολλά γεωγραφικά κατανεμημένα POPs συνδυάζονται προκειμένου να σχηματίσουν ένα CDN. Ο αριθμός των POPs, η τοποθεσία τους και το δίκτυο πάνω στο οποίο στηρίζονται διαμορφώνουν το ποσοστό παγκόσμιας κάλυψης που μπορεί να παρέχει το CDN. Το πού θα τοποθετηθεί το POP είναι μία βαρυσήμαντη απόφαση η οποία λαμβάνεται με βάση τους αλγόριθμους τοποθέτησης POPs (Sahoo, Salahuddin, Glitho, Elbiaze, Ajib 2017).

Πώς λειτουργεί ένα CDN

Όταν δεν χρησιμοποιείται ένα CDN, το περιεχόμενο της ιστοσελίδας μεταφέρεται στον χρήστη από τον Origin Server, δηλαδή τον διακομιστή όπου φιλοξενείται. Αυτό συνεπάγεται ότι οι χρήστες, ανεξάρτητα από την γεωγραφική τους τοποθεσία, θα λάβουν την ιστοσελίδα από την ίδια πηγή. Η απόσταση μεταξύ του διακομιστή φιλοξενίας και του χρήστη παίζει καθοριστικό ρόλο στην χρονική καθυστέρηση.

Ο στόχος του CDN είναι να μεταφερθεί ο χρήστης στο κοντινότερο POP. Όταν ο χρήστης ζητά μία ιστοσελίδα που χρησιμοποιεί CDN, το αίτημα δρομολογείται προς το κοντινότερο POP, όπου ένας Web Server αναλαμβάνει την εξυπηρέτηση (keycdn.com). Υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος από μεθόδους βάσει των οποίων επιτυγχάνεται η δρομολόγηση ή ανακατεύθυνση του χρήστη. Περιληπτικά αναφέρονται οι ακόλουθοι:

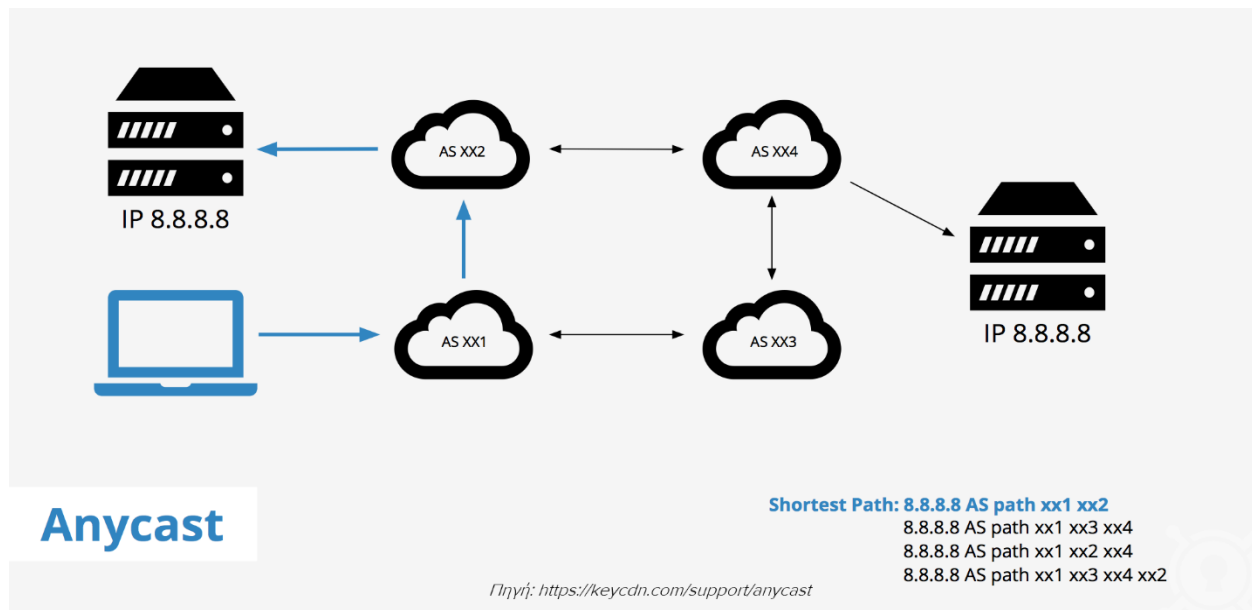
Global Server Load Balancing (GSLB): Σκοπός αυτής της μεθόδου είναι εξισσορόπηση της χρήσης των πόρων του CDN (load balancing), η ελαχιστοποίηση των χρόνων απόκρισης (reduced latency) και η μεγιστοποίηση της διακίνησης των δεδομένων. Σε αυτή τη μέθοδο ο κάθε εξυπηρετητής γνωρίζει τον φόρτο και την κατάσταση του δικτύου οπότε τα switches επιλέγουν τον καταλληλότερο Edge Server (Wang et al. 2015).

Ανακατεύθυνση HTTP: Με την χρήση του πρωτοκόλλου HTTP, ο Web Server ανακατευθύνει τον χρήστη προς τον κατάλληλο Edge Server βάσει των HTTP headers. Η δρομολόγηση γίνεται σύμφωνα με το .htaccess αρχείο της ιστοσελίδας. Το βασικότερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η έλλειψη διαφάνειας και οι μεγάλοι χρόνοι περάτωσης των αιτημάτων ανακατεύθυνσης από τον Web Browser του χρήστη (Wang, Huang, Rose 2017).

Αναγραφή URL: Είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως και δεν περιορίζεται μόνο στα CDN. Με την χρήση λογισμικού δημιουργούνται νέα URLs για τα αντικείμενα της

ιστοσελίδας που επιθυμεί ο πάροχος φιλοξενίας να ανακατευθύνει, όπως για παράδειγμα οι εικόνες. Τα αντικείμενα αυτά θα εξυπηρετηθούν από τον κοντινότερο Edge Server (Wang et al. 2015).

Anycast: Το Anycast, γνωστό και ως IP Anycast, είναι μία τεχνική δικτύωσης η οποία επιτρέπει σε πολλά συστήματα να μοιράζονται την ίδια IP διεύθυνση. Ανάλογα με την τοποθεσία του χρήστη, οι routers τον προωθούν προς το κοντινότερο Data Center εντός του CDN δικτύου το οποίο έχει την χωρητικότητα που απαιτείται για να επεξεργαστεί το αίτημα αποδοτικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των χρόνων απόκρισης (reduced latency) και την αύξηση των εφεδρειών (increased redundancy). Εάν ένα συγκεκριμένο Data Center δεν ήταν για οποιονδήποτε λόγο προσβάσιμο από το δίκτυο, το Anycast θα επέλεγε αυτομάτως την αμέσως επόμενη κοντινότερη εναλλακτική επιλογή (keycdn.com, cloudflare.com).



Εικόνα 3: Anycast

Όπως αναφέρθηκε, η μέθοδος Anycast μπορεί να δρομολογήσει εισερχόμενα αιτήματα σύνδεσης προς πολλά διαφορετικά Data Centers. Όταν τα αιτήματα φτάνουν στο Anycast

δίκτυο, το δίκτυο τα διανέμει σύμφωνα με το πρωτόκολλο BGP (Border Gateway Protocol). Το BGP είναι ένα πρωτόκολλο που αναζητεί τη διαδρομή μεταξύ των κόμβων. Όταν κάποιος ξεκινήσει την αποστολή δεδομένων, το BGP εξετάζει όλα τα διαθέσιμα μονοπάτια προς τον προορισμό των δεδομένων. Ψάχνει τη συντομότερη διαδρομή σε nodes/routers και όχι τη συντομότερη χρονικά. Είναι ουσιαστικά η ταχυδρομική υπηρεσία του Διαδικτύου (slashroot.in, cloudflare.com).

Το Anycast είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την αντιμετώπιση των DDoS επιθέσεων. Οι Distributed Denial of Service επιθέσεις σε δίκτυα ή ιστοσελίδες είναι συχνό φαινόμενο σε όλο τον κόσμο. Προέρχονται από botnets (συλλογές συνεργαζόμενων υπολογιστών που χρησιμοποιούν κακόβουλο λογισμικό) τα οποία δημιουργούν πολλά αιτήματα προς την IP διεύθυνση στόχο με αποτέλεσμα το σύστημα ή το δίκτυο να μην είναι σε θέση να ανταποκριθούν στην ζήτηση (cloudflare.com, fastly.com). Έχουν ως σκοπό την υποβάθμιση της διαθεσιμότητας ενός συστήματος ή δικτύου. Γίνονται κατά κυβερνητικών υπηρεσιών, εταιρειών, οργανισμών, ακόμη και κατά μικρών ιστοσελίδων. Οι επιθέσεις αυτές μπορούν να έχουν κοινωνικές και πολιτικές επιπτώσεις πέρα από τις γενικές οικονομικές ζημιές (Kim, You, Park, Lee, 2018). Το όφελος από το Anycast σε αυτή την περίπτωση είναι ότι κάθε διακομιστής είναι σε θέση να "απορροφήσει" ένα μέρος της επίθεσης που έχει ως αποτέλεσμα λιγότερη πίεση στο δίκτυο ή το Data Center συνολικά (keycdn.com).

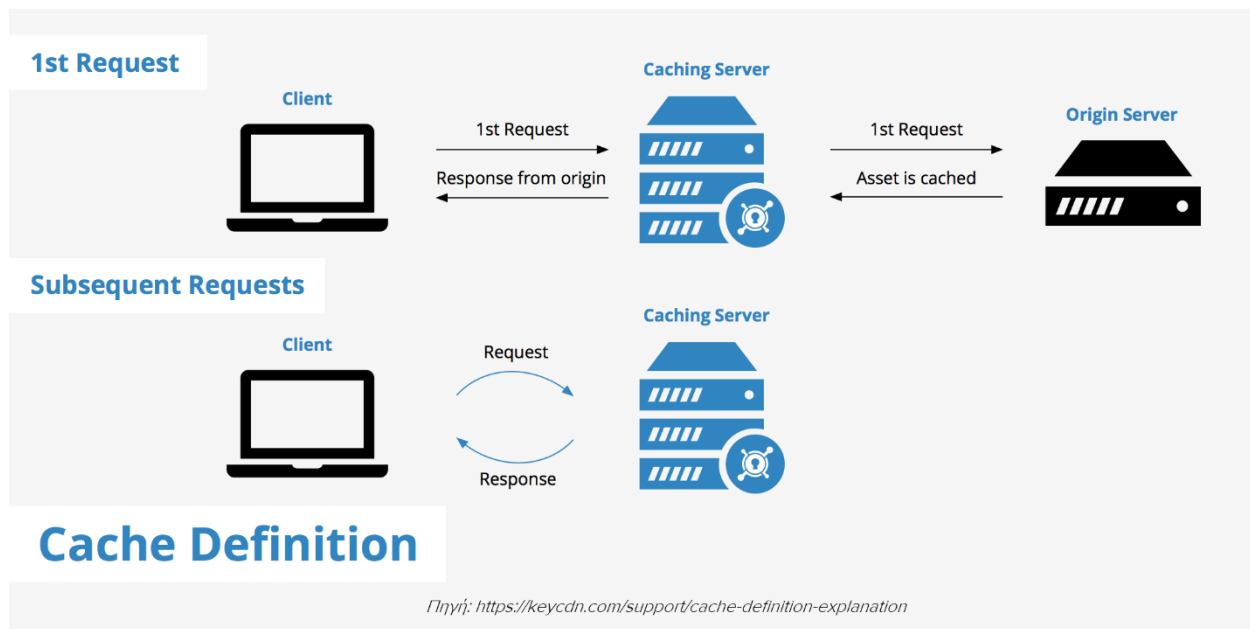
Ανακατεύθυνση μέσω DNS: Μέσω του DNS (Domain Name System) δημιουργείται ένας Διαδικτυακός χάρτης. Όταν ο χρήστης στέλνει αίτημα λήψης της ιστοσελίδας, ο DNS server αναλαμβάνει την ανακατεύθυνση. Η ανακατεύθυνση γίνεται προς τον κοντινότερο διαθέσιμο αναπληρωματικό διακομιστή του CDN. Όταν χρησιμοποιείται CDN για μία ιστοσελίδα, τότε αλλάζουν οι DNS servers του Ονόματος Χώρου της και τοποθετούνται οι DNS servers του

CDN. Ανάλογα με την γεωγραφική τοποθεσία του χρήστη, η ανακατεύθυνση γίνεται προς τον κοντινότερο αναπληρωματικό server που ορίστηκε στη ζώνη του DNS.

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου αναφέρονται η διαφάνεια προς τους χρήστες, η απλότητα αφού μπορεί πολύ εύκολα να δημιουργηθεί και η ευελιξία εξαιτίας της ανακατεύθυνσης βάση του TTL χρόνου. Μεγάλες τιμές στο TTL (Time-To-Live) του DNS ορίζονται όταν είναι επιθυμητό να μην ανανεώνεται συχνά το περιεχόμενο που είναι αποθηκευμένο στους Edge Servers. Μικρές ή μηδενικές τιμές στο TTL σημαίνει ότι το περιεχόμενο θα είναι ενημερωμένο (Wang et al. 2017). Γενικά, επιλέγονται μικρά TTL ώστε το CDN να μπορεί να αλλάξει γρήγορα τη χαρτογράφηση για να διευκολύνει την εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ των διακομιστών του (Krishnamurthy, Wills, Zhang 2001).

Αυτές είναι οι βασικές μέθοδοι δρομολόγησης που χρησιμοποιούν τα CDNs προκειμένου να παρέχουν γρήγορη πρόσβαση στις ιστοσελίδες. Μόνο η δρομολόγηση όμως δεν είναι ένα επαρκές μέτρο για την ταχύτερη φόρτωση περιεχομένου. Πρέπει να συνδυάζεται με το caching για να δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Όπως προαναφέρθηκε, οι Edge Servers αποθηκεύουν στατικό περιεχόμενο υπό τη μορφή cache το οποίο διανέμουν στους χρήστες. Το cache είναι μία περιοχή ή ένας τύπος μνήμης στην οποία αποθηκεύονται προσωρινά πληροφορίες που χρησιμοποιούνται συχνά προκειμένου να είναι γρήγορα προσβάσιμες (cambridge.com). Το cache δημιουργήθηκε κυρίως με σκοπό να μειωθεί η κίνηση (bandwidth) και ο φόρτος (load) των Servers φιλοξενίας. Η μεγάλη ζήτηση στις ιστοσελίδες, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους αιχμής, προκαλεί μεγάλη χρήση πόρων (CPU, RAM, Storage) και μεγάλη μεταφορά δεδομένων. Οι μελέτες σχετικά με το caching ξεκίνησαν από το 1993 αφού ήδη από τότε διακρίνονταν τα σημαντικά πλεονεκτήματα που πρόσφερε η τεχνολογία στις μεταφορές δεδομένων μέσω Διαδικτύου (Chankhunthod, Danzig, Neerdaels, Schwartz, Worrell 1996).

Μέσω του caching το περιεχόμενο των ιστοσελίδων μετατρέπεται από δυναμικό σε στατικό. Τα στατικό περιεχόμενο έχει σημαντικά μικρότερο μέγεθος από το δυναμικό και συνεπώς η μεταφορά του καθίσταται ταχύτερη. Υπάρχουν διάφορα είδη caching που χρησιμοποιούνται στα συστήματα υπολογιστών. Τα βασικότερα που χρησιμοποιούνται στο διαδίκτυο είναι το cache σε επίπεδο DNS, Disk, Web Server, Edge Server και Browser (keycdn.com).



Εικόνα 4: Cache

Το CDN είναι υπεύθυνο για το caching στον Edge Server. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το caching στο CDN παρουσιάζεται στην εικόνα 4. Όταν για πρώτη φορά ένας χρήστης ζητήσει περιεχόμενο από τον Origin Server, το CDN αναλαμβάνει να μεταφέρει το αίτημα από τον χρήστη στον Origin Server. Όταν ο Origin Server λάβει το αίτημα αποστολής, στέλνει το περιεχόμενο που ζητήθηκε. Το περιεχόμενο περνά μέσα από τον Edge Server όπου αποθηκεύεται προσωρινά υπό τη μορφή cache πριν φτάσει στον χρήστη. Το χρονικό διάστημα αποθήκευσης του αρχείου ποικίλει ανάλογα με την πολιτική που ορίστηκε στο λογαριασμό του CDN. Κάθε νέο αίτημα λήψης του περιεχομένου από χρήστες θα εξυπηρετείται πλέον από τον

Edge Server. Ο Edge Server θα στέλνει στους χρήστες το cache που αποθήκευσε μέχρις ότου να λάβει νέο περιεχόμενο από τον Origin Server.

Γιατί είναι χρήσιμο ένα CDN

Βελτίωση απόδοσης

Η αυξημένη απόδοση είναι αναμφισβήτητο το σημαντικότερο όφελος. Το περιεχόμενο έρχεται πιο κοντά στους χρήστες αφού αποθηκεύεται προσωρινά υπό τη μορφή cache στα POPs σε όλον τον κόσμο. Η μικρότερη απόσταση μειώνει όχι μόνο τον χρόνο φόρτωσης αλλά και ελαχιστοποιεί την απώλεια πακέτων. Σύμφωνα με μετρήσεις, ένα CDN μπορεί να μειώσει το latency (χρόνος φόρτωσης) μίας ιστοσελίδας κατά 73% σε σύγκριση με μία ιστοσελίδα δίχως CDN.

Αύξηση αξιοπιστίας

Μέσω ενός CDN, τα αιτήματα θα κατευθύνονται πάντα στην κοντινότερη διαθέσιμη τοποθεσία. Ακόμα και αν ένας Edge Server δεν είναι διαθέσιμος, το CDN θα επιλέξει αυτόματα τον επόμενο διαθέσιμο. Η μόνιμη διαθεσιμότητα του περιεχομένου δημιουργεί την επιθυμητή σιγουριά.

Εύκολη κλιμάκωση

Ένα CDN είναι σε θέση να διαχειριστεί μεγάλα φορτία κίνησης σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό αποδεσμεύει τον Origin Server από μεγάλο φόρτο εργασιών ιδιαίτερα κατά τις περιόδους αιχμής.

Επαυξημένη ασφάλεια

Ένα CDN βοηθά σε πολλά επίπεδα την ασφάλεια της επικοινωνίας. Η πλειονότητα της κίνησης εξυπηρετείται από τους Edge Servers του CDN και όχι από τον Origin Server. Αυτό επιτρέπει

την αυτόματη αποκλιμάκωση της κίνησης και του φόρτου εργασιών που προκαλείται από τις DDoS επιθέσεις. Επιπλέον, μέσω των πιστοποιητικών SSL που παρέχονται από το CDN, η κίνηση είναι κρυπτογραφημένη. Αρκετά CDNs, επίσης, προσφέρουν hotlink προστασία και secure tokens προκειμένου να αποτραπεί η πρόσβαση τρίτων στο περιεχόμενο.

Χαμηλότερο Κόστος

Σε σύγκριση με το παρελθόν, η χρήση του CDN δεν απαιτεί και την δημιουργία υποδομής. Ο πάροχος του CDN έχει φροντίσει για την δημιουργία της δικής του υποδομής και την ενοικίαση μέρους αυτής στους παρόχους φιλοξενίας. Αυτό εξαιλεί τις επενδύσεις σε εξοπλισμό, εγκαταστάσεις και εξειδικευμένο προσωπικό ενώ ταυτόχρονα μειώνει τα έξοδα κίνησης αφού μεγάλο μέρος αυτής γίνεται μέσα από τους Edge Servers (keycdn.com).

Μεγαλύτερη ταχύτητα

Ένα CDN μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της ταχύτητας φόρτωσης μία ιστοσελίδας. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την εγκατάλειψη μιας ιστοσελίδας είναι η ταχύτητα. Πολλές μελέτες υποδεικνύουν ότι η χαμηλή ταχύτητα ευθύνεται συχνά για την δυσαρέσκεια των πελατών, την απώλεια φήμης και τη δυσαρέσκεια των πελατών (bccinteractive.com). Τέλος, μία ταχύτερη ιστοσελίδα δίνει καλύτερα αποτελέσματα στο SEO (Search Engine Optimization) και επηρεάζει θετικά τις πωλήσεις (yoast.com).

Εξέλιξη των CDNs

Με το πέρασμα των ετών και την χρήση τεχνολογιών Εικονικοποίησης (Virtualization), και ιδιαίτερος του Cloud Computing, έχουν υποστεί σημαντικές μεταβολές τα CDNs. Υπάρχουν πλέον οι έννοιες του Cloud-based CDN (CCDN), SDN/NFV CDN και του peer-assisted CDN όπως θα δούμε παρακάτω.

Cloud based CDN

Τα παραδοσιακά CDNs βασίζονται σε Dedicated Servers οι οποίοι έχουν ένα πεπερασμένο όριο από resources (CPU, RAM, Storage). Τα CCDN δεν υπόκεινται στους περιορισμούς των παραδοσιακών CDN. Έχουν τη δυνατότητα της στιγμιαίας κλιμάκωσης ανάλογα με τις απαιτήσεις του CDN γεγονός που επιτρέπει την θεωρητικά απεριόριστη χρήση πόρων από πλευράς τους. Είναι πιο ευέλικτα, πιο αξιόπιστα και πιο ασφαλή απέναντι στις απειλές από επιθέσεις. Το γεγονός ότι δεν έχουν κόστος ανάπτυξης και συντήρησης των υποδομών τα καθιστά οικονομικότερα και προσιτά ακόμη και στους μικρούς παρόχους φιλοξενίας (Salahuddin, sahoο, glitho, elbiaze, ajib 2018).

SDN CDN

Άλλες μορφές του CDN που εμφανίστηκαν πρόσφατα είναι το SDN CDN και το NFV CDN. Συχνά στη βιβλιογραφία αυτές οι έννοιες ταυτίζονται. SDN είναι τα αρχικά των λέξεων Software Defined Network. Αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της εικονικοποίησης των CDN. Το SDN έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει στους χρήστες έναν τρόπο διαχείρισης των υπηρεσιών του δικτύου μέσω λογισμικού γεγονός που δίνει τη δυνατότητα στα δίκτυα να έχουν ένα κεντρικό προγραμματισμό και άρα να διαμορφώνονται ταχύτερα (ingrammicro.com 2017). Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιλέγεται για την αποσυμφόρηση της κίνησης που δέχονται τα δίκτυα των Data Centers ή τα Cloud περιβάλλοντα. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά CDN, η ανακατεύθυνση των δεδομένων γίνεται από λογισμικό (Chandrakanth, Chollangi, Lung 2015).

NFV CDN

Το Network Functions Virtualization CDN αποδεσμεύει τις λειτουργίες του δικτύου από τα routers, τα firewalls, τα load balancers και άλλα hardware και τις ενσωματώνει σε Virtual Machines υπό τη μορφή Software. Τα VMs ελέγχονται από έναν hypervisor, γεγονός που

επιτρέπει πολλά λειτουργικά να μοιράζονται τους ίδιους πόρους. Η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται κατά βάση επάνω στο δίκτυο των ISPs (ingrammicro.com 2017).

Μέσω της εικονικοποίησης μπορούν να δημιουργούνται και να μετακινούνται οι λειτουργίες που απαρτίζουν το CDN ταχύτερα από ό,τι στο παρελθόν. Αυτό συμβάλει στην καλύτερη ανταπόκριση των CDNs στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του φορτίου τους. Το NFV CDN συνήθως απαιτεί την εμβάθυνση της συνεργασίας μεταξύ CDN και ISP (Herbaut, Negru, Magoni, Frangoudis 2016). Οι λειτουργίες του NFV έχουν μικρότερες απαιτήσεις για πόρους και άρα πλέον μπορούν να εγκαθιστούν σε μικρότερα PoPs του δικτύου του ISP που βρίσκονται πιο κοντά στους χρήστες (Lai, Fu, Moors 2016). Στα θετικά στοιχεία των NFV μπορούν να συγκαταριθμηθούν η μείωση του κόστους εξοπλισμού, η μείωση της δαπάνης ενέργειας, η δυνατότητα φορητότητας και συγκεντρωτικού ελέγχου των εικονικών λειτουργιών (etsi.org 2012).

Peer Assisted CDN (PA-CDN)

Προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες και απότομες εναλλαγές στις απαιτήσεις των χρηστών, οι εταιρείες των CDN επενδύουν σε νέες εγκαταστάσεις και διακομιστές για το δίκτυό τους. Από τη δική τους οπτική, η λύση αυτή δεν είναι αρκετά συμφέρουσα οικονομικά. Ως εναλλακτική έχει προταθεί η χρήση των peer-assisted CDNs (PA-CDNs), ο συνδυασμός δηλαδή της τεχνολογίας peer to peer (P2P) και του CDN. Το ισχυρό στοιχείο της τεχνολογίας P2P είναι η αύξηση των χρηστών που συμμετέχουν σε μία επικοινωνία. Το προτεινόμενο μοντέλο PA-CDN επεκτείνει το BitTorrent πρωτόκολλο εισάγοντας στην εξίσωση τους διακομιστές των CDN. Οι διακομιστές του CDN θα διαμοιράζουν αρχικά το περιεχόμενο στους χρήστες. Όταν δημιουργηθούν οι επαρκείς συνθήκες από άποψη χωρητικότητας, το CDN θα παύει το

διαμοιρασμό των δεδομένων και θα αναλαμβάνουν οι χρήστες που έχουν συνδεθεί στο ίδιο σμήνος με το CDN (Anjum, Karamshuk, Shikh-Bahaei, Sastry 2017).

SWOT Analysis

Η αγορά των Content Delivery Networks μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητή μέσα από την δημιουργία SWOT Analysis. Στα CDN όμως υπάρχουν 3 ομάδες χρήσης: α) η ομάδα των χρηστών, β) η ομάδα των παρόχων φιλοξενίας, γ) η ομάδα των παρόχων CDN. Η κάθε ομάδα έχει διαφορετικά και, σε ορισμένα επίπεδα, αντικρουόμενα συμφέροντα. Για το λόγο αυτό είναι σκόπιμη η δημιουργία τριών διαφορετικών SWOT Αναλύσεων προκειμένου να αναλυθεί η αγορά των CDNs.

Χρήστης CDN

STRENGTHS (+)	WEAKNESSES (-)
<ul style="list-style-type: none"> Ταχύτερη πρόσβαση στο περιεχόμενο του διαδικτύου 	<ul style="list-style-type: none"> Έλλειψη διαφάνειας κατά την πρόσβαση στο περιεχόμενο
OPPORTUNITIES (+)	THREATS (-)
<ul style="list-style-type: none"> Άμεση πρόσβαση σε οποιαδήποτε μορφή περιεχομένου ανεξάρτητα από την γεωγραφική τοποθεσία 	<ul style="list-style-type: none"> Κίνδυνος παρακολούθησης των χρηστών Δημιουργία προσωποποιημένων καταναλωτικών προφίλ Αδυναμία ελέγχου των CDN παρόχων

Πάροχος Φιλοξενίας

STRENGTHS (+)	WEAKNESSES (-)
<ul style="list-style-type: none"> Ταχύτερη πρόσβαση στις ιστοσελίδες που φιλοξενεί Διεθνοποίηση των υπηρεσιών του Αντιμετώπιση DDoS επιθέσεων 	<ul style="list-style-type: none"> Έλλειψη διαφάνειας από τον CDN πάροχο Υπεύθυνος Προστασίας Δεδομένων (DPO) Επιπλέον κόστος Τεχνογνωσία και Know-How

OPPORTUNITIES (+)	THREATS (-)
<ul style="list-style-type: none"> • Δυνατότητα προσφοράς υπηρεσιών φιλοξενίας σε παγκόσμιο επίπεδο • Ενίσχυση εταιρικής εικόνας • Αύξηση ποιότητας υπηρεσιών • Δυνατότητα δημιουργίας ιδιόκτητου CDN δικτύου • Ελάχιστες εταιρείες παγκοσμίως που είναι πάροχοι φιλοξενίας και CDN ταυτόχρονα 	<ul style="list-style-type: none"> • Κίνδυνος παρακολούθησης των ιστοσελίδων του • Αδυναμία ελέγχου των CDN παρόχων • Κίνδυνος επιβολής προστίμου από Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα

Πάροχος CDN

STRENGTHS (+)	WEAKNESSES (-)
<ul style="list-style-type: none"> • Σημαντικό Know-How και Τεχνογνωσία • Εφαρμογή σύγχρονης τεχνολογίας • Διεθνοποίηση των υπηρεσιών του 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλο κόστος συντήρησης • Συνεχείς επενδύσεις • Υπεύθυνος Προστασίας Δεδομένων (DPO) • Συνεχής τεχνολογική εξέλιξη
OPPORTUNITIES (+)	THREATS (-)
<ul style="list-style-type: none"> • Διαφοροποίηση • Ανάπτυξη συγκριτικού πλεονεκτήματος • Αύξηση ποιότητας υπηρεσιών • Διείσδυση στην αγορά της φιλοξενίας ιστοσελίδων • Εκμετάλλευση των δεδομένων που συλλέγει 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλος ανταγωνισμός από άλλα CDNs • Μεγάλος ανταγωνισμός από ISPs • DDoS επιθέσεις

Μελέτη Περίπτωσης

Προκειμένου να ελεγχθεί και να διαπιστωθεί η βοήθεια των CDNs και η σημασία τους, διεξήγαγα μία μελέτη περίπτωσης. Ελέγχθηκε το Όνομα Χώρου interhost.gr, το οποίο κάνει redirection στο konet.gr . Ως CDN χρησιμοποιήθηκε το Cloudflare από το οποίο έγινε χρήση του «Free» πακέτου υπηρεσιών του. Η ιστοσελίδα φιλοξενείται σε διακομιστή που βρίσκεται στην Φρανκφούρτη της Γερμανίας. Το εργαλείο ελέγχου των χρόνων απόκρισης είναι το tools.pingdom.com . Οι τιμές που παρουσιάζονται στους πίνακες είναι οι μέσοι όροι 3 μετρήσεων.

Test from	Load Time (sec) w/o CDN	Load Time (sec) with Cloudflare	DNS Load Time w/o CDN	DNS Load Time with Cloudflare
London (UK)	0,977	0,864	141,2 ms	49,1 ms
Frankfurt (Germany)	0,755	0,736	29,7 ms	52,7 ms
Tokyo (Japan)	6,34	6,12	1161,4 ms	317 ms
Washington D.C. (USA)	2,34	1,93	482,1 ms	9,8 ms
San Francisco (USA)	4,04	3,28	680,2 ms	14,8 ms
Sydney (Australia)	8,84	7,06	1443,9 ms	9,5 ms
Sao Paulo (Brazil)	Not responding	4,44	-	9,9 ms

Σημείωση: Οι χρόνοι φόρτωσης της ιστοσελίδας θα ήταν διαφορετική εάν δεν γινόταν η ανακατεύθυνση προς το konet.gr .

Από τους πίνακες των μετρήσεων προκύπτουν οι εξής ποσοστιαίες μεταβολές στους χρόνους πριν και μετά την χρήση του CDN:

Test from	Load time reduction (percentage)	DNS Load time reduction (percentage)
London (UK)	12%	65%
Frankfurt (Germany)	3%	-77%
Tokyo (Japan)	3%	73%
Washington D.C. (USA)	18%	98%
San Francisco (USA)	19%	98%
Sydney (Australia)	20%	99%
Sao Paulo (Brazil)	-	-

Ερμηνεία Αποτελεσμάτων

Από τα παραπάνω πορίσματα γίνεται σαφές ότι το Cloudflare χρησιμοποιεί DNS caching, δηλαδή την μέθοδο ανακατεύθυνσης DNS που αναφέρθηκε παραπάνω. Κατά μέσο όρο, με εξαίρεση την μέτρηση της Γερμανίας, η μείωση του χρόνου απόκρισης του DNS είναι της τάξεως του 86,6%. Στις περιπτώσεις της Γερμανίας και του Ηνωμένου Βασιλείου η χρήση του CDN κρίνεται άσκοπη. Στην πρώτη περίπτωση δημιούργησε καθυστέρηση στον χρόνο φόρτωσης της ιστοσελίδας (19 milliseconds) ενώ στη δεύτερη η βελτίωση είναι ελάχιστη

χρονικά (113 milliseconds). Αντιθέτως, στις περιπτώσεις της Ιαπωνίας (0,22 seconds), της Ουάσινγκτον (0,41 seconds) και του Σαν Φρανσίσκο (0,76 seconds) η χρήση κρίνεται θετική ενώ αυτή της Αυστραλίας (1,78 seconds) ως πολύ θετική. Για την περίπτωση της Βραζιλίας δε μπορεί να δοθεί πλήρης ερμηνείας καθότι λείπουν τα αποτελέσματα από την μέτρηση δίχως το CDN. Μπορεί όμως και για εκείνη την περίπτωση να λεχθεί ασφαλώς ότι 9,9 milliseconds ως χρόνος απόκρισης του CDN είναι μία πάρα πολύ καλή τιμή.

Συμπερασματικά, η χρήση της δωρεάν υπηρεσίας CDN της Cloudflare θα συμβουλευόταν μόνο στις περίπτωση που μία ιστοσελίδα που φιλοξενείται στην Ευρώπη είχε χρήστες που την επισκέπτονταν από την Αυστραλία. Οι βελτιωμένοι χρόνοι στις υπόλοιπες περιπτώσεις είναι πολύ μικροί και άρα δε μπορούν να υποστηρίξουν το επιχείρημα υπέρ της χρήσεως της δωρεάν CDN υπηρεσίας. Για ιστοσελίδες με επισκέπτες μόνο από την Ευρώπη, η χρήση του CDN κρίνεται άσκοπη. Είναι σίγουρο ότι μία επί πληρωμή υπηρεσία CDN θα είχε σαφέστερα καλύτερα αποτελέσματα.

Επίλογος

Όπως καταδεικνύεται από τα στοιχεία, η χρήση των CDN γίνεται χρόνο με το χρόνο όλο και πιο απαραίτητη για τις ιστοσελίδες. Δεδομένης της μεγάλης επίπτωσης που έχουν αυτά στις ζωές δισεκατομμυρίων ανθρώπων, παρατηρώ μικρή βιβλιογραφία αναφορικά με τους κινδύνους που περιέχει για τους χρήστες του Διαδικτύου για παράδειγμα δημιουργία καταναλωτικών προφίλ. Αντιθέτως υπάρχει πολλή μεγάλη βιβλιογραφία σχετικά με τους τρόπους εξέλιξης και μελέτης της λειτουργίας των CDNs. Δεν υπάρχει επίσης επαρκής αριθμός οικονομικών μελετών, άποψη

με την οποία συμφωνούν οι Gourdin, Maille, Simon, Tuffin (2016) και Maille, Pires, Simon, Tuffin (2014), αλλά και κοινωνικών μελετών. Πρότασή μου είναι η μελλοντική έρευνα να εστιάσει τόσο στις οικονομικές επιπτώσεις των CDNs όσο και στις κοινωνικές προκειμένου να γίνει σαφέστερη η δυναμική που αναπτύσσεται και ο όγκος των πληροφοριών που μπορεί να συγκεντρωθεί σε λίγες εταιρείες.

Βιβλιογραφία

- Anjum, N., Karamshuk, D., Shikh-Bahaei, M., & Sastry, N. (2017). Survey on peer-assisted content delivery networks. *Computer Networks*, *116*, 79-95.
- Chandrakanth, J., Chollangi, P., & Lung, C. H. (2015, July). Content distribution networks using software defined networks. In *2015 Second International Conference on Trustworthy Systems and Their Applications* (pp. 44-50). IEEE.
- Chankhunthod, A., Danzig, P. B., Neerdaels, C., Schwartz, M. F., & Worrell, K. J. (1996, January). A Hierarchical Internet Object Cache. In *USENIX Annual Technical Conference* (Vol. 199).
- Gourdin, E., Maillé, P., Simon, G., & Tuffin, B. (2017). The economics of CDNs and their impact on service fairness. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, *14*(1), 22-33.
- Herbaut, N., Negru, D., Magoni, D., & Frangoudis, P. A. (2016, July). Deploying a content delivery service function chain on an SDN-NFV operator infrastructure. In *2016 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU)* (pp. 1-7). IEEE.
- Kim, K., You, Y., Park, M., & Lee, K. (2018, July). DDoS Mitigation: Decentralized CDN Using Private Blockchain. In *2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)* (pp. 693-696). IEEE.
- Krishnamurthy, B., Wills, C., & Zhang, Y. (2001, November). On the use and performance of content distribution networks. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement* (pp. 169-182). ACM.

- Lai, J., Fu, Q., & Moors, T. (2017). Using SDN and NFV to enhance request rerouting in ISP-CDN collaborations. *Computer Networks*, *113*, 176-187.
- Li, S., Doh, I., & Chae, K. (2016, January). An anonymous IP-based privacy protection routing mechanism for CDNi. In *2016 International Conference on Information Networking (ICOIN)* (pp. 75-80). IEEE.
- Sahoo, J., Salahuddin, M. A., Glitho, R., Elbiaze, H., & Ajib, W. (2017). A survey on replica server placement algorithms for content delivery networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *19*(2), 1002-1026.
- Salahuddin, M. A., Sahoo, J., Glitho, R., Elbiaze, H., & Ajib, W. (2017). A survey on content placement algorithms for cloud-based content delivery networks. *IEEE Access*, *6*, 91-114.
- Saroiu, S., Gummadi, K. P., Dunn, R. J., Gribble, S. D., & Levy, H. M. (2002). An analysis of internet content delivery systems. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, *36*(SI), 315-327.
- Wang, Z., Huang, J., & Rose, S. (2018). Evolution and challenges of dns-based cdns. *Digital Communications and Networks*, *4*(4), 235-243.
- Wang, M., Jayaraman, P. P., Ranjan, R., Mitra, K., Zhang, M., Li, E., ... & Georgeakopoulos, D. (2015). An overview of cloud based content delivery networks: research dimensions and state-of-the-art. In *Transactions on Large-Scale Data-and Knowledge-Centered Systems XX* (pp. 131-158). Springer, Berlin, Heidelberg.
- https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper_5G.pdf
- https://fastly.com/cassets/6pk8mg3yh2ee/6LtctqAO7kIahagwhjX6eH/5d7e51285a1457250698a0b2954533b9/Fastly_DDoS_Quick_Ref_Guide_v2.pdf

<https://imaginenext.ingrammicro.com/data-center/5-differences-between-sdn-and-network-functions-virtualization>

<https://slashroot.in/what-anycast-and-how-it-works>

<https://cloudflare.com/learning/cdn/glossary/edge-server/>

<https://keycdn.com/what-is-a-cdn>

<https://cloudflare.com/learning/cdn/what-is-a-cdn>

<https://cloudflare.com/learning/cdn/glossary/anycast-network/>

<https://cloudflare.com/learning/cdn/glossary/global-server-load-balancing-gslb/>

tools.pingdom.com/

<https://keycdn.com/support/anycast>

<https://cloudflare.com/learning/security/glossary/what-is-bgp/>

<https://cloudflare.com/learning/ddos/what-is-a-ddos-attack>

<https://cloudflare.com/learning/cdn/what-is-caching/>

<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/cache>

<https://keycdn.com/support/cache-definition-explanation>

<https://bccinteractive.com/slow-website-lost-revenue/>

<https://yoast.com/does-site-speed-influence-seo/>