



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ATHENIAN
UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
BIBLIOGRAPHY
78266
An.
T.G.E.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΚΑΤΑΔΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



«Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου CDN»

Κουκουτσέλος Αθανάσιος

M3030006

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2005



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ειδ. 78266
Αρ.
ταξ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου CDN»

Κουκουτσέλος Αθανάσιος

M3030006



**Επιβλέπων Καθηγητής: Καθηγητής Θεόδωρος
Αποστολόπουλος**
**Εξωτερικός Κριτής: Επικ. Καθηγητής Βασίλειος
Βασσάλος**

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2005

Περύληψη

Οι πάροχοι και εκδότες περιεχομένου (content providers) αλλά και οι ηλεκτρονικά δραστηριοποιούμενες εταιρείες, προσδοκούν από το Διαδίκτυο να τους παρέχει ένα μέσο υψηλής ταχύτητας και αξιοπιστίας, για την μεταφορά πολυμεσικού περιεχομένου, απαιτητικού σε εύρος ζώνης, όπως είναι οι συνδιαλλαγές ηλεκτρονικού εμπορίου, οι έκτακτες εκδηλώσεις (π.χ. μια ζωντανή κάλυψη ενός ποδοσφαιρικού αγώνα), οι εταιρικές συνδιασκέψεις, οι ειδήσεις και οι υπηρεσίες διασκέδασης. Επιπλέον, οι τελικοί χρήστες του Διαδικτύου, έχουν συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας που απολαμβάνουν.

Μια υποσχόμενη τεχνολογία, για την αύξηση της ταχύτητας της πρόσβασης των χρηστών στο περιεχόμενο, είναι τα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (Content Delivery Networks). Πρόκειται για δίκτυα που υπέρκεινται του στρώματος δικτύου κατά OSI (overlay networks). Στα δίκτυα CDN, οι αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνονται στα επίπεδα 4-7 κατά OSI και κυρίως στο επίπεδο εφαρμογής και συνυπολογίζονται για την δρομολόγηση του περιεχομένου, όχι μόνο την πληροφορία που παρέχουν οι IP διευθύνσεις, αλλά και άλλους παράγοντες, συσχετιζόμενους με την εφαρμογή, όπως είναι απαιτήσεις καθυστέρησης κοκ, ώστε να καθοριστεί το καλύτερο μονοπάτι κατά μήκος του δικτύου για εξυπηρέτηση του πελάτη. Τα CDNs είναι κατά βάση σύνολα από εξυπηρετητές – αντιπροσώπους (surrogate servers), οι οποίοι είναι στρατηγικά τοποθετημένοι σε καίρια σημεία στα άκρα του Διαδικτύου ή του εταιρικού δικτύου μιας επιχείρησης (π.χ. σε απομακρυσμένα παραρτήματα αυτής) και έχουν επιφορτιστεί με την λειτουργία της διανομής περιεχομένου στους χρήστες. Η λογική τους, είναι ότι ο τελικός χρήστης, λαμβάνει το περιεχόμενο από ένα αντιπρόσωπο του CDN που βρίσκεται «κοντά» του (με κριτήρια όπως η καθυστέρηση, ο αριθμός των hops, η συμφόρηση κ.α.) και όχι από το αρχικό εξυπηρετητή του περιεχομένου. Το συγκεκριμένο περιεχόμενο μπορεί να βρίσκεται ήδη στην μνήμη cache του αντιπροσώπου, από προηγούμενη εξυπηρέτηση πελάτη ή αν δεν υπάρχει, είτε επειδή δεν έχει ξαναζητηθεί είτε επειδή είναι non-cacheable (π.χ. live stream), παραλαμβάνεται από τον αντιπρόσωπο και παραδίδεται στον πελάτη μετά από αίτηση του τελευταίου.



Σε ένα τυπικό σενάριο παραλαβής περιεχομένου μέσω ενός CDN, ο πελάτης επικοινωνεί με ένα γνωστό σημείο όπου καταθέτει αίτηση για το περιεχόμενο (π.χ. Web portal) και ακολούθως με διαφανείς ή αδιαφανείς μεθόδους, ανακατευθύνεται προς τον καταλληλότερο αντιπρόσωπο του CDN. Σε γενικές γραμμές οι μέθοδοι ανακατεύθυνσης του πελάτη, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: δρομολόγηση αιτήσεων σε επίπεδο DNS, σε επίπεδο μεταφοράς καὶ σε επίπεδο εφαρμογής (εκτός DNS).

Τα δίκτυα διανομής περιεχομένου, προσφέρουν μερικά βασικά πλεονεκτήματα όπως είναι: βελτίωση στις επιδόσεις όσον αφορά την πρόσβαση του χρήστη στο περιεχόμενο, αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης, εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας και προστασία των εξυπηρετητών από υπερφόρτωση (π.χ. flash crowds), διευκόλυνση της υλοποίησης μιας πληθώρας επιπρόσθετων υπηρεσιών που σχετίζονται με το περιεχόμενο που λαμβάνει ο τελικός χρήστης (π.χ. versioning περιεχομένου, ανά περιοχή, χρήστη κοκ), ενώ αποτελούν και οικονομικά συμφέρουσα επιλογή για τους διανομείς του περιεχομένου.

Η αγορά για τις υπηρεσίες διανομής περιεχομένου, γνώρισε μια εκρηκτική αύξηση τα τελευταία χρόνια και θα συνεχίσει να μεγαλώνει στο προσεχές μέλλον. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι τα streaming πολυμέσα θα είναι ο επόμενος καθοριστικός παράγοντας ανάπτυξης όχι μόνο της αγοράς των CDNs αλλά και του Διαδικτύου γενικότερα. Η αγορά απαρτίζεται κυρίως από κατασκευαστές υλικού και λογισμικού, όπως και παρόχους υπηρεσίας διανομής περιεχομένου (Content Delivery Service Providers – CDSPs), αλλά και παρόχους «έτοιμων» (off the shelf) λύσεων ιδιωτικών – εταιρικών δικτύων διανομής περιεχομένου σε μεγάλες επιχειρήσεις (Enterprise CDNs). Δεδομένου όμως, ότι οι νέες εφαρμογές είναι αυτές που θα αποτελέσουν την ατμομηχανή της ανάπτυξης των CDNs, συνήθως τα όρια της αγοράς των CDNs είναι δυσδιάκριτα. Π.χ. η δυνατότητα των CDSPs να διανείμουν νέες εφαρμογές από μόνοι τους, όπως είναι τα streaming πολυμέσα, μπορεί να οδηγήσει κάποιους να εντάξουν τους CDSPs και ως παίχτες της αγοράς των streaming πολυμέσων ή της αγοράς των ISPs και αντίστροφα. Σημαντικός αναμένεται να είναι και ο ρόλος των εταιριών παροχής δορυφορικών υπηρεσιών Διαδικτύου, στην αγορά των CDNs, λόγω της ευκολίας που παρέχουν στην μεταβίβαση του περιεχομένου στους τοπικούς εξυπηρετητές αντιπροσώπους.



Τα μοντέλα των οικονομικών σχέσεων μεταξύ των κυριότερων παιχτών της αγοράς υπηρεσιών CDNs είναι πολλά. Π.χ. όσον αφορά την οικονομική σχέση παρόχων/παραγωγών περιεχομένου – δικτύου διανομής περιεχομένου, ως επί το πλείστον ο πρώτος πληρώνει το δεύτερο, προκειμένου το περιεχόμενό του να διανέμεται πιο αποδοτικά στους τελικούς χρήστες, αλλά συναντάται και το αντίστροφο μοντέλο κατά το οποίο το δίκτυο διανομής περιεχομένου θέλοντας να προσφέρει πιο πλούσιες υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες του, πληρώνει τους παρόχους του περιεχομένου, για να πάρει την άδεια διανομής του περιεχομένου μέσω του δικτύου και να κάνει πιο ελκυστική την υπηρεσία στους τελικούς χρήστες. Τα ίδια ισχύουν και για τα μοντέλα των σχέσεων δικτύου διανομής περιεχομένου – ISPs.

Μια ολοκληρωμένη υπηρεσία διανομής περιεχομένου, περιλαμβάνει διάφορα λειτουργικά κομμάτια τα οποία θα ανήκουν σε κάποια από τις παρακάτω κατηγορίες: δημιουργία του περιεχομένου (μετατροπή του σε μορφή κατάλληλη προς μετάδοση), υποδομή υλικού και λογισμικού, διαχείριση, μετρήσεις και στατιστικά στοιχεία, διανομή, χρέωση, υποστήριξη και παροχή σχετιζόμενων υπηρεσιών (π.χ. ενοποίηση με τις υπάρχουσες εφαρμογές ενός πελάτη, ασφάλεια κοκ).

Παρόλο που υπάρχουν αρκετά RFCs (όπως τα 3568, 3466, 3570) και white papers που περιγράφουν τα μοντέλα και τους αλγορίθμους για την παροχή υπηρεσιών CDN, όλες σχεδόν οι εμπορικές εφαρμογές από τις κυριότερες εταιρείες του χώρου (π.χ. Akamai, Digital Island, CacheFlow κ.α.) χρησιμοποιούν ιδιόκτητες τεχνολογίες και ως επί το πλείστον μυστικούς αλγορίθμους, για εμπορικούς λόγους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η επίτευξη συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων CDNs που υπάρχουν ανά τον κόσμο, για καλύτερη εξυπηρέτηση των τελικών χρηστών, αφού τα μη – ανοιχτά και μη – προτυποποιημένα μοντέλα απαγορεύουν την διαλειτουργικότητα.

Μια προσπάθεια ανάπτυξης υποδομής ανοιχτού κώδικα για υποδομή CDN, είναι το OpenCDN, ένα overlay δίκτυο στο επίπεδο εφαρμογής, που φύλασσει να διευκολύνει την διανομή ζωντανού αλλά και αποθηκευμένου πολυμεσικού περιεχομένου. Προς το παρόν δεν αποτελεί ολοκληρωμένο λογισμικό (έκδοση 0.6.8) , αλλά όπως αναφέρεται ρητά από τους δημιουργούς του (<http://labtel.ing.uniroma1.it/opencdn/>), βρίσκεται στην φάση της εξέλιξης και αποκλειστικός του σκοπός στην παρούσα φάση είναι η δοκιμαστική λειτουργία και ο πειραματισμός. Λειτουργεί σε περιβάλλον GNU / Linux, είναι γραμμένο σε Perl και χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο XML – RPC για την επικοινωνία των κόμβων του. Με το λογισμικό αυτό, υλοποιήθηκαν στο εργαστήριο δίκτυων του Ο.Π.Α. κάποια σενάρια διανομής περιεχομένου.



Τα κυριότερα είδη αλγορίθμων που εμπλέκονται στην δόμηση ενός CDN, είναι αλγόριθμοι τοποθέτησης των εξυπηρετητών αντιπροσώπων, ώστε να καλύπτουν κατά το δυνατόν καλύτερα τις ανάγκες των πελατών του CDN και κυρίως, αλγόριθμοι δρομολόγησης των αιτήσεων των πελατών στους αντιπροσώπους. Ως γενική αρχή, ισχύει ότι ένας αλγόριθμος για δρομολόγηση αιτήσεων περιεχομένου στον κατάλληλο αντιπρόσωπο σε ένα CDN, θα πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: να είναι απλός, γρήγορος, κατανεμημένος και να κλιμακώνεται σε τοπολογίες που συμπεριλαμβάνουν χιλιάδες ή και εκατομμύρια κόμβους. Από την άλλη μεριά, για να είναι αποδοτικός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του με κάποιον τρόπο και την υποκείμενη τοπολογία σε επίπεδο δικτύου και όχι μόνο την διασύνδεση των κόμβων του overlay δικτύου σε επίπεδο εφαρμογής.



Summary

Content providers and publishers and also the companies involved in e-business, expect from the Internet, to provide them with the means for transport of high speed and reliable multimedia content, demanding in bandwidth , such as are the cases of electronic trade transactions , extraordinary events (e.g. the live coverage of a football match), corporate conferences, news broadcasting and services of amusement. Moreover, the users of the Internet have continuously increasing requirements with regard to the quality of service that they enjoy.

Promising technologies, to increase the speed of access of end users in the content, are Content Delivery Networks. They are networks that overlie the OSI network layer. In CDNs, the routing decisions are taken at OSI levels 4-7 and mostly at the application level and the decision making process takes in consideration not only the information derived from IP addresses but also other factors, relevant to the application, such as delay requirements, in order to determine the best network path to serve the client. CDNs consist mostly of surrogate servers, strategically placed in critical locations at the Internet's edge or at the remote branches of a business, and which are responsible for the distribution of content to end users. The logical principle of their operation is that the user receives the content, not from the original content server, but from a CDN surrogate server that is located "close" to him (in terms of delay, network hops, congestion etc). The particular content, may already exist in the surrogate's cache, due to a previous service offered to another customer or if it isn't there, either because it is non – cacheable (e.g. live stream) or because it hasn't been requested before, it is retrieved from the surrogate and delivered on the client's request.

In a typical content delivery scenario through a CDN, the client requests the content from a well known contact point (e.g. a web portal) and followingly with transparent or non – transparent methods, he is redirected to the best surrogate of the CDN. In general the redirection methods can be classified in three general categories: DNS request routing, transport level request routing and application level request routing (other than DNS).

Content Distribution Networks, offer some basic advantages such as: performance improvement concerning user access to content, efficient utilization of bandwidth, servers' work load balancing (thus protecting of flash crowds), facilitation of the realization of a set of additional services relevant to the content received by the end user (e.g. versioning according to user's country, authorization level etc), while they are a financially beneficial.



The content distribution services' market, has had an explosive development over the last years and will continue to grow in the near future. Predictions indicate that streaming multimedia will be the next decisive factor for the growth of not only the CDNs' market but also of the Internet in general. The CDN market consists mainly of hardware and software manufacturers and also of Content Delivery Services Providers (CDSPs) and providers of off the shelf solutions for Corporate Enterprise CDNs. Given that new applications are those that will drive the growth of CDNs, the borders in CDN market are not strict. For example, CDSPs often have the capability to support new applications on their own, such as streaming media, and this can motivate someone to consider them as streaming market players as well or even ISP market players and vice versa. Satellite internet service providers, are expected to play an important role in CDN market as well, because they provide a very effective mean of content transportation to surrogates.

There are various models for the economic relationships of the main players of the CDN market. I.e. in the economic relationship of content provider – CDN, in most of the cases the first pays the latter, in order to achieve most efficient distribution of his content to end users, however the reverse model is also existent according to which, the CDN pays the content providers, in order to offer richer and more attractive services to its subscribers. The same versatility applies also for the CDN – ISPs relationship.

A complete content delivery service, includes various operational components which can be classified in one of the following categories: content creation (or transformation in an adequate format), hardware and software infrastructure, network management, measurements and statistics, distribution, charging, support and additional relevant services (e.g. integration of CDN services with existing customer applications).

Although there are some RFCs (like no. 3568, 3466, 3570) and white papers that describe the models and algorithms for providing CDN services, almost all commercial services from the CDN market (like Akamai, Digital Island, CacheFlow etc), utilize secret private algorithms and proprietary technologies, because of the commercial competition. The consequence of this, is to make collaboration and interconnection of individual CDNs, more difficult if not impossible. Non – open and non – standardized models, forbid interoperability.



OpenCDN is a project that aims to create an open source CDN infrastructure. It creates an overlay network at the application level, that tries to make easier the distribution of live or stored multimedia content. At present, it is not considered complete (its current version is 0.6.8) but as mentioned by its creators (<http://labtel.ing.uniroma1.it/opencdn/>) it is still in the development process and its sole purpose is experimentation and trial operation. It operates in GNU / Linux environment, it is written in Perl and utilises the XML – RPC protocol for inter – node communication. Using this software and the OpenCDN network, set up by its developers, we implemented some content distribution scenarios in the ccslab of the Athens University of Economics and Business.

The two basic categories of algorithms, involved in the structure of a CDN, are surrogate placement algorithms, which aim to cover appropriately the CDN's customers and more importantly, customer request routing algorithms to the best surrogates. As a general principle, such an algorithm must have the following characteristics: it must be fast, simple, distributed and scalable for topologies that include thousands or millions of nodes. On the other hand, in order to be effective, it must take into consideration, not only the interconnection of the CDN's nodes in application level but also the underlying topology in network level.





Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	3
Summary	7
1. Δίκτυα διανομής περιεχομένου	12
1.1. Εισαγωγή - διαφορετικά συστήματα διανομής περιεχομένου στο Διαδίκτυο	12
1.2. Προβλήματα στην διανομή περιεχομένου στο Διαδίκτυο	15
1.3. Τι είναι ένα Δίκτυο Διανομής Περιεχομένου – διανομή από τα άκρα του δικτύου .	18
1.4. Αρχιτεκτονική – τρόπος λειτουργίας	20
1.5. Κυριότεροι μηχανισμοί ανακατεύθυνσης του πελάτη	29
1.6. Μετρήσεις που χρησιμοποιούνται από τους μηχανισμούς δρομολόγησης αιτήσεων	40
1.7. Τα πλεονεκτήματα των δικτύων διανομής περιεχομένου	43
2. Επιχειρηματικά και οικονομικά μοντέλα στην αγορά των δικτύων διανομής περιεχομένου.....	46
2.1. Γενικά στοιχεία της αγοράς των CDN και κύριοι παίχτες	46
2.2. Τρόποι / Μοντέλα χρέωσης υπηρεσιών CDN.....	54
2.3. Σύγκριση της υπηρεσίας διανομής περιεχομένου με την υπηρεσία του caching.....	56
2.4. Σύγκριση διαμοιρασμένων CDN με CDN αποκλειστικής χρήσης	57
3. Ανάπτυξη προτύπου για την παροχή υπηρεσιών CDN / Τεχνολογικές επιλογές.....	77
3.1. Χαρακτηριστικά μιας ολοκληρωμένης υπηρεσίας διανομής περιεχομένου	77
3.2. Το OpenCDN – μια επεκτάσιμη αρχιτεκτονική δικτύου διανομής περιεχομένου για Streaming πολυμέσα	81
3.3. Εγκατάσταση του OpenCDN	95
3.4. Πειραματισμός με την λειτουργία του OpenCDN	99
4. Μελέτη κλιμάκωσης και απόδοσης αλγορίθμων για διανομή περιεχομένου	104
4.1. Μελέτη του αλγορίθμου δρομολόγησης του OpenCDN	104
4.2. Επιλογή του κατάλληλου αντιπροσώπου με τον αλγόριθμο του “binning”	107
5. Βιβλιογραφία.....	110
5.1. Γενική.....	110
5.2. Αρχιτεκτονική των CDNs	110
5.3. Επιχειρηματικά και οικονομικά μοντέλα των CDNs	110
5.4. Τεχνολογίες CDN.....	110
5.5. Αλγόριθμοι CDN.....	111



Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός CDN.....	21
Σχήμα 2: Ροή περιεχομένου στο ίδιο ή σε διασυνδεδεμένα CDN.....	27
Σχήμα 3: Ανακατεύθυνση σε επίπεδο DNS με κωδικοποίηση των αντικειμένων	33
Σχήμα 4: Παγκόσμια Αγορά λογισμικού / υλικού συσχετιζόμενου με CDN.....	49
Σχήμα 5: Παγκόσμια Αγορά Υπηρεσιών CDN	50
Σχήμα 6: «Χάρτης» των εταιρειών που παρέχουν υπηρεσίες σχετικές με CDNs.....	53
Σχήμα 7: Επιλογή διαμοιρασμένου ή ιδιωτικού CDN ανά περίπτωση	64
Σχήμα 8: Επενδύσεις σε εταιρικά ECDNs	69
Σχήμα 9: Ετήσιες μειώσεις (κατά μέσο όρο) στα λειτουργικά κόστη των επιχειρήσεων με την χρήση των εταιρικών CDNs	73
Σχήμα 10: Ετήσια εξοικονόμηση (κατά μέσο όρο) των επιχειρήσεων με την χρήση των εταιρικών CDNs	75
Σχήμα 11: Απαιτήσεις από άκρου εις άκρον υπηρεσίας διανομής περιεχομένου	78
Σχήμα 12: Βήματα για την εξυπηρέτηση ενός πελάτη στο OpenCDN	84
Σχήμα 13: Η σελίδα επιλογής περιεχομένου και η σελίδα απάντησης με τον LastHop στο OpenCDN86	
Σχήμα 14: Ενδεικτική τοπολογία του OpenCDN με 5 πελάτες μετά την αποκατάσταση των συνδέσεων για τις ροές περιεχομένου	91
Σχήμα 15: Χρονική αλληλουχία των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται κατά τις διάφορες λειτουργικές φάσεις του OpenCDN.....	93
Σχήμα 16: Πίνακας των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται κατά την λειτουργία του OpenCDN	94
Σχήμα 17: Οθόνη στατιστικών του web admin του Darwin Streaming Server.....	97
Σχήμα 18: Λήψη ζωντανού streaming περιεχομένου μέσω του OpenCDN.....	101
Σχήμα 19: Στατιστικά streaming (λήψη του περιεχομένου από μακρινό αντιπρόσωπο)	101
Σχήμα 20: Στατιστικά streaming (λήψη του περιεχομένου από εξυπηρετητή του εργαστηρίου δικτύων του Ο.Π.Α.).....	101
Σχήμα 21: Μη - βέλτιστη ανάπτυξη ενός overlay δέντρου διανομής σε σχέση με την φυσική τοπολογία του δικτύου.....	106

1. Δίκτυα διανομής περιεχομένου

1.1. Εισαγωγή - διαφορετικά συστήματα διανομής περιεχομένου στο Διαδίκτυο

Λίγα πράγματα μπορούν να συγκριθούν με την ανάπτυξη του Διαδικτύου (Internet) την τελευταία δεκαετία και ειδικότερα τα τελευταία χρόνια. Ο αριθμός των εξυπηρετητών και των δρομολογητών του Διαδικτύου, είναι πλέον πολύ μεγάλος, ενώ τεράστιος είναι και ο αριθμός των τελικών χρηστών (οικιακών και μη) που συνδέονται μόνιμα ή και περιστασιακά στο δίκτυο (π.χ. με dialup συνδέσεις) και κυρίως αποτελούν καταναλωτές πληροφορίας και περιεχομένου. Μια από τις πιο κρίσιμες προκλήσεις για την υποδομή του Διαδικτύου, αποτελεί ανέκαθεν η διανομή δεδομένων αυξανόμενης πολυπλοκότητας όσον αφορά την μορφή, το μέγεθος και την δομή τους, σε έναν «αδηφάγο» και διαρκώς αναπτυσσόμενο πληθυσμό από χρήστες.

Αυτή η ανάγκη για κλιμάκωση, έχει οδηγήσει στην εξέλιξη των συστημάτων διανομής περιεχομένου του Διαδικτύου. Σήμερα, υπάρχουν τρία υπερισχύοντα μοντέλα διανομής περιεχομένου: ο βασισμένος στην αρχιτεκτονική πελάτη – εξυπηρετητή (client – server) **παγκόσμιος ιστός** (world wide web / www), τα **δίκτυα διανομής περιεχομένου** (content delivery networks) και τα **συστήματα ανταλλαγής αρχείων μέσω ομότιμων οντοτήτων** (peer to peer / p2p file sharing systems). Μακροσκοπικά, τα παραπάνω μοντέλα εξυπηρετούν τις ίδιες ανάγκες, δηλαδή την διανομή του περιεχομένου στους χρήστες. Από την άλλη μεριά όμως, η αρχιτεκτονική των μοντέλων αυτών, διαφέρει ουσιαστικά και οι διαφορές τους επηρεάζουν την απόδοσή τους, ανάλογα και με το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται, όπως και τον φόρτο εργασίας που μπορούν να διεκπεραιώσουν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα για καθεμιά από τις εν λόγω αρχιτεκτονικές, σε αντιστοιχία αποτελούν η διακίνηση περιεχομένου με το πρωτόκολλο HTTP και η οργάνωση των εξυπηρετητών σε συστάδες (clusters) για το μοντέλο client – server, το δίκτυο διανομής περιεχομένου της εταιρείας Akamai και τα συστήματα p2p Kazaa και Gnutella.

Η βασική αρχιτεκτονική του **παγκοσμίου ιστού** (**www**) είναι απλή: χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HTTP, οι εφαρμογές – πελάτες που «τρέχουν» στα μηχανήματα των πελατών, κάνουν αιτήσεις για κάποια αντικείμενα που λαμβάνουν από τους εξυπηρετητές (web servers). Αρκετές μελέτες έχουν γίνει για την διερεύνηση των χαρακτηριστικών του www, όπως π.χ. για τα μοντέλα της κίνησης του ιστού, το είδος των αντικειμένων που διακινούνται αλλά και της δομής του όσον αφορά τους υπερσυνδέσμους (hyperlinks) ανάμεσα στα αντικείμενα [2],[3],[4]. Οι μελέτες αυτές, υποδεικνύουν ότι τα περισσότερα αντικείμενα στον ιστό είναι μικρά (5-10kb), αλλά η κατανομή του μεγέθους αυτών έχει μακριά «ουρά» στον άξονα των μεγεθών και συνεπώς υπάρχουν και πολύ μεγάλα αντικείμενα. Τα αντικείμενα στον ιστό προσπελαύνονται με δημοτικότητα που ακολουθεί την κατανομή Zipf [4],[5]. Φυσικά ο αριθμός των αντικειμένων που υπάρχουν στον ιστό είναι τεράστιος και αυξάνεται ραγδαία. Τα περισσότερα αντικείμενα είναι στατικά, αλλά τα δυναμικά δημιουργούμενα αντικείμενα, συνεχώς αυξάνουν σε ποσοστό επί του συνόλου.

Το πρωτόκολλο HTTP εμπεριέχει κάποια βασική πρόβλεψη για λειτουργίες caching. Στις επικεφαλίδες (headers) του HTTP μπορεί κανείς να βρει παραμέτρους που καθορίζουν εάν ένα αντικείμενο μπορεί να συμπεριληφθεί σε μια cache και αν ναι, για πόσο μέγιστο χρονικό διάστημα, μέχρι να πρέπει να ανανεωθεί. Το **caching** στο www βοηθάει στην ανακούφιση των εξυπηρετητών από μεγάλο ποσοστό του φόρτου τους και των συνδέσεων κορμού (backbone links) από μέρος της κίνησής τους. Φυσικά, βοηθάει και στην μείωση της καθυστέρησης ανάκτησης των αντικειμένων. Η έρευνα για το caching του περιεχομένου σε αντιπροσώπους (web proxies) συνεχίζεται και το φλέγον θέμα είναι αυτό του συντονισμού της λειτουργίας πολλαπλών, συνεργαζόμενων caches. Η εμπειρία έχει δείξει ότι με κατάλληλη δόμηση της ιεραρχίας τους, είναι δυνατή η επίτευξη ποσοστών ανάκτησης περιεχομένων από τις caches (cache hit rates) της τάξεως του 40 – 50 %, αλλά υπάρχει ο περιορισμός του αυξανόμενου ποσοστού του δυναμικά δημιουργούμενου περιεχομένου, το οποίο απαιτεί πιο εξειδικευμένες τεχνικές caching.

Τα συστήματα ανταλλαγής αρχείων μέσω οιμότιμων οντοτήτων (peer to peer / p2p file sharing systems), έχουν διογκωθεί τα τελευταία χρόνια τόσο όσον αφορά τις ποσότητες των διακινούμενων δεδομένων, αλλά και τον αριθμό των χρηστών που συμμετέχουν σε αυτά. Η κίνηση p2p έχει υπολογιστεί ότι ευθύνεται για την πλειοψηφία των HTTP bytes που μεταφέρονται σήμερα στο Διαδίκτυο, αφού είναι περίπου τριπλάσια από την κίνηση που προέρχεται από το www. Σε ένα p2p δίκτυο, οι οιμότιμες οντότητες (peers) συνεργάζονται για να σχηματίσουν ένα κατανεμημένο σύστημα, με σκοπό πάντα την ανταλλαγή περιεχομένου. Οι οιμότιμες οντότητες που συνδέονται στο p2p δίκτυο, συμπεριφέρονται συνήθως τόσο ως πελάτες, όσο και ως εξυπηρετητές, με την εξής έννοια: ένα αρχείο που «κατεβάζει» κάποιος πελάτης, στην συνέχεια το διαθέτει σε άλλες οιμότιμες οντότητες κάνοντας τον server. Η συμμετοχή βέβαια σε τέτοια δίκτυα, είναι ξεκάθαρα εθελοντική. Μια μεγάλη έρευνα [6], έδειξε ότι οι περισσότεροι εξυπηρετητές που προσφέρουν περιεχόμενο, ανήκουν σε τελικούς χρήστες, υποφέρουν από μικρό ποσοστό διαθεσιμότητας και χαρακτηρίζονται από δικτυακές συνδέσεις μικρής χωρητικότητας (modems, cable modems, DSL routers). Οι χρήστες αλληλεπιδρούν με ένα σύστημα p2p με δύο τρόπους: αρχικά προσπαθούν να εντοπίσουν τα αντικείμενα που τους ενδιαφέρουν αποστέλλοντας διερευνητικά ερωτήματα και όταν εντοπίσουν τα αντικείμενα που θέλουν, αποστέλλουν αιτήματα για να «κατεβάσουν» το περιεχόμενο.

Τα συστήματα p2p διαφέρουν ανάλογα με το πώς υλοποιούν την δυνατότητα αναζήτησης αρχείων που προσφέρουν στους πελάτες τους. Μερικά συστήματα όπως το Napster, έχουν μεγάλους κεντρικοποιημένους καταλόγους που διατηρούνται από μια μοναδική εταιρεία. Οι οιμότιμες οντότητες αυτόματα αποστέλλουν μια λίστα με τα αρχεία που διαθέτουν στον κεντρικό κατάλογο και τα ερωτήματα απαντώνται χρησιμοποιώντας τον κατάλογο αυτό. Άλλα συστήματα όπως το Gnutella μεταδίδουν με broadcast τα ερωτήματα αναζήτησης, πάνω από ένα overlay δίκτυο που συνδέει τις οιμότιμες οντότητες. Τα νεότερα συστήματα p2p, συμπεριλαμβανομένου και του Kazaa, χρησιμοποιούν μια υβριδική αρχιτεκτονική, σύμφωνα με την οποία, κάποιες από τις οιμότιμες οντότητες, επιλέγονται ως «υπερκόμβοι» (supernodes) προκειμένου να διατηρούν κατάλογο με το περιεχόμενο που διατηρούν οι υπόλοιπες οιμότιμες οντότητες στην περιοχή ευθύνης τους.

Επιπλέον, τα p2p δίκτυα διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο διεξάγονται οι μεταφορές των αρχείων, όταν το αντικείμενο που ενδιαφέρει τον χρήστη, εντοπιστεί. Τα περισσότερα συστήματα μεταφέρουν το περιεχόμενο πάνω από μια απευθείας σύνδεση ανάμεσα στον πάροχο του περιεχομένου και στην ομότιμη οντότητα που το ζήτησε. Ένας μηχανισμός που βοηθάει στην ελάττωση των καθυστερήσεων και χρησιμοποιείται από κάποια συστήματα, είναι το να κατεβαίνουν πολλαπλά κομμάτια του αντικειμένου παράλληλα, από διαφορετικούς εξυπηρετητές που τα διαθέτουν.

1.2. Προβλήματα στην διανομή περιεχομένου στο Διαδίκτυο

Το Διαδίκτυο έχει ωριμάσει πλέον ηλικιακά και έχει φτάσει σε ένα σημείο όπου η αξία του και η χρησιμότητά του, ξεπερνάει την απλή συνδεσιμότητα IP για την μεταφορά στατικών ιστοσελίδων και την ανταλλαγή μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που αποτελούνται από απλό κείμενο. Οι πάροχοι και εκδότες περιεχομένου (content providers) αλλά και οι ηλεκτρονικά δραστηριοποιούμενες εταιρείες, προσδοκούν από το Διαδίκτυο να τους παρέχει ένα μέσο υψηλής ταχύτητας και αξιοπιστίας για την μεταφορά πολυμεσικού περιεχομένου, απαιτητικού σε εύρος ζώνης, όπως είναι οι συνδιαλλαγές ηλεκτρονικού εμπορίου, οι έκτακτες εκδηλώσεις (π.χ. μια ζωντανή κάλυψη ενός ποδοσφαιρικού αγώνα), οι εταιρικές συνδιασκέψεις, οι ειδήσεις και οι υπηρεσίες διασκέδασης.

Λόγω της αρχιτεκτονικής του όμως, το Διαδίκτυο εμπεριέχει τον κίνδυνο δημιουργίας στενωπών του δικτύου (bottlenecks), οι οποίες δυσχεραίνουν την μετάδοση απαιτητικού περιεχομένου με τα προαναφερθέντα συστήματα διανομής. Τα σημεία στα οποία δημιουργείται συμφόρηση είναι κυρίως τα παρακάτω: το «πρώτο μίλι», τα σημεία διασύνδεσης μεταξύ ανεξάρτητων δικτύων, το backbone του δικτύου και το «τελευταίο μίλι».

Το πρόβλημα του «πρώτου μιλίου» (first mile), είναι αποτέλεσμα του κεντρικοποιημένου μοντέλου που χρησιμοποιείται συνηθέστερα για την διανομή του περιεχομένου στο Διαδίκτυο σήμερα. Κάθε διανομέας περιεχομένου στήνει μια ιστοσελίδα σε μια συγκεκριμένη φυσική τοποθεσία και από εκεί διαμοιράζει δεδομένα, υπηρεσίες και κάθε είδους πληροφορία σε όλους τους χρήστες, από την συγκεκριμένη κεντρική τοποθεσία. Το αποτέλεσμα είναι, η ταχύτητα διασύνδεσης με τους χρήστες αυτούς, να περιορίζεται από το εύρος ζώνης (την χωρητικότητα) της σύνδεσης του εξυπηρετητή της ιστοσελίδας του παρόχου με το Διαδίκτυο.

Προκειμένου να αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό κάποιος πάροχος, δεν αρκεί να αγοράζει συνεχώς μεγαλύτερη σύνδεση προς τον ISP του, αλλά και ο ISP με την σειρά του να αναβαθμίζει την δικιά του σύνδεση με τα δίκτυα κορμού κοκ. Καθώς είναι αδύνατο ένα τέτοιο μοντέλο επέκτασης του Διαδικτύου, να συμβαδίσει με τον εκθετικό ρυθμό αύξησης της κυκλοφορίας σε αυτό, συμπεραίνουμε ότι το κεντρικοποιημένο μοντέλο είναι εγγενώς μη κλιμακούμενο. Είναι πολλά τα παραδείγματα ιστοσελίδων που «έπεσαν» λόγω του γεγονότος ότι η χωρητικότητα της σύνδεσή τους δεν μπόρεσε να ανταπεξέλθει στη αυξημένη κίνηση λόγω έκτακτων γεγονότων.

Το πρόβλημα στα **σημεία διασύνδεσης** (interconnection points) μεταξύ διαφορετικών δικτύων, προκαλείται κυρίως από οικονομικούς λόγους. Τα ανεξάρτητα δίκτυα έχουν μικρό κίνητρο να νιοθετήσουν συμφωνίες ελεύθερης διακίνησης, καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας κάποιου κέρδους από μια τέτοια κίνηση, ενώ αντίθετα υπάρχουν αξιοσημείωτα κόστη εγκατάστασης. Επιπλέον, κανένα μεγάλο δίκτυο δεν έχει την πρόθεση να πληρώσει αυτό ένα άλλο μεγάλο δίκτυο για διασύνδεση, καθότι και τα δύο δίκτυα θα ωφεληθούν το ίδιο από μια τέτοια ανταλλαγή κίνησης. Συνεπώς, καταλήγουμε να υπάρχουν πολύ λίγα σημεία διασύνδεσης μεταξύ των μεγάλων δικτύων και μοιραία τα σημεία αυτά καθίστανται σημεία συμφόρησης.

Από την άλλη μεριά, ένα σύνηθες σενάριο διασύνδεσης, είναι ένα μικρό δίκτυο να αγοράζει συνδεσιμότητα από ένα μεγάλο. Το πρόβλημα που ενσκήπτει εδώ, είναι χρονικό. Συγκεκριμένα, παρόλο που (ειδικά στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες) υπάρχουν μεγάλες ποσότητες «σκοτεινής» ή αχρησιμοποίητης οπτικής ίνας (dark fiber), οι τηλεφωνικές εταιρείες που συνήθως την κατέχουν, προτιμούν να εγκαταστήσουν νέα κυκλώματα για να αποκομίζουν μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη. Συνεπώς, απαιτούνται τρεις έως έξι μήνες για να δημιουργηθεί μια τέτοια σύνδεση. Το αποτέλεσμα είναι συνήθως η κίνηση που μετάγεται, να έχει υπερβεί τις προβλέψεις (άλλωστε οι εταιρείες προσπαθούν να μην πληρώνουν για αχρησιμοποίητη χωρητικότητα) και το σημείο διασύνδεσης να δημιουργεί ένα νέο σημείο συμφόρησης. Φυσικά, είναι γνωστό ότι οι συνδέσεις που λειτουργούν σε υψηλά επίπεδα χρησιμοποίησης (utilization), εκτός από απώλεια πακέτων χαρακτηρίζονται και από υψηλή καθυστέρηση λόγω των γεμάτων ουρών δρομολόγησης, ακόμα και στα πακέτα που καταφέρνουν να περάσουν.

Παρόλο που αρκετοί ισχυρίζονται ότι η επερχόμενη ενοποίηση στις τηλεπικοινωνίες θα αποσβέσει πολλά από τα προβλήματα διασύνδεσης, υπάρχουν έρευνες που δείχνουν ότι το Διαδίκτυο θα συνεχίσει να αποτελείται από χιλιάδες δίκτυα, κανένα από τα οποία δεν θα διαθέτει σημαντικό ποσοστό του συνόλου των διακινούμενων δεδομένων.

Το τρίτο πρόβλημα βρίσκεται **στα “long – haul” δίκτυα που απαρτίζουν το backbone** του Διαδικτύου. Με το κεντρικοποιημένο μοντέλο της διανομής σήμερα, είναι βέβαιο ότι η διανομή του περιεχομένου θα πρέπει να διαπεράσει ένα από τα δίκτυα του backbone και συνεπώς η χωρητικότητα αυτών των δικτύων θα πρέπει να ακολουθεί αυξητικά την ανάπτυξη του Διαδικτύου.

Η χωρητικότητα ενός δικτύου προσδιορίζεται από την χωρητικότητα των συνδέσεών του και των δρομολογητών του. Δεδομένου ότι οι οπτικές ίνες είναι φτηνές, διαθέσιμες σε μεγάλες ποσότητες και έχουν την δυνατότητα να υποστηρίζουν μεγάλη ζήτηση σε εύρος ζώνης, από την άποψη των συνδέσεων δεν υπάρχει μεγάλο πρόβλημα. Αντίθετα, πρόβλημα υπάρχει με τους δρομολογητές που βρίσκονται στα άκρα των συνδέσεων. Πάντα η ταχύτητα των μεταγωγέων πακέτων περιορίζεται από την υπάρχουσα τεχνολογία. Οι δρομολογητές ιστορικά, δεν προσέφεραν ποτέ υποστήριξη για διαφοροποίηση στην ποιότητα υπηρεσίας και αρκετά συχνά δεν τα καταφέρνουν να συμβαδίσουν με την αύξηση των απαιτήσεων της κίνησης του Διαδικτύου. Είναι χαρακτηριστικό ότι αρκετοί ISPs επιλέγουν να «τρέχουν» IP πάνω από ATM γιατί οι δρομολογητές IP δεν μπόρεσαν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της κίνησής.

Ας αναλογιστούμε ένα απλό παράδειγμα. Έστω ότι γίνεται διανομή από κάποιον εξυπηρετητή, προσωποποιημένου περιεχομένου σε 100.000 χρήστες (π.χ. ένα κανάλι με streaming video – οδηγίες μαγειρικής), το οποίο περιεχόμενο έχει κωδικοποιηθεί στην λογική τιμή των 300 Kbps. Δεδομένου των 100.000 ταυτόχρονων ροών (και αποκλείοντας την δυνατότητα multicasting λόγω της προσωποποίησης – διαφορετική συνταγή ανά χρήστη, διαφορετικά υλικά ανάλογα με το διαιτολόγιο κοκ), χρειάζεται εύρος ζώνης 30 Gbps. Για να κατανοήσουμε το μέγεθος, αρκεί να το συγκρίνουμε με τα συνολικά 1244 Mbps της σύνδεσης της Otenet (ελληνικός ISP) με το Διαδίκτυο!

Η στενωπός που αντιλαμβάνονται οι περισσότεροι χρήστες είναι αυτή του τελευταίου μιλίου (*last mile bottleneck*). Πολλοί δυσανασχετούν με τα 56 kbps που τους παρέχει το PSTN modem τους, αλλά η κατάσταση αυτή δημιουργεί και παρεξηγήσεις όσον αφορά το πρόβλημα του Διαδικτύου. Συγκεκριμένα, το ευρύ κοινό πιστεύει ότι αν αναβαθμιστούν οι συνδέσεις πρόσβασης των τελικών χρηστών, το πρόβλημα των καθυστερήσεων θα εκλείψει. Στην πραγματικότητα, περιορίζοντας την πρόσβαση της πλειοψηφίας των χρηστών στα 56 kbps, τα Modems σώζουν το Διαδίκτυο από κατάρρευση. Αν όλοι οι χρήστες του, αποκτήσουν ευρυζωνική πρόσβαση μέσω cable ή DSL, οι προαναφερθέντες τρεις τύποι συμφόρησης, θα κάνουν το Διαδίκτυο αβάσταχτα αργό για όλους. Δεδομένου ότι το Διαδίκτυο σήμερα ήδη λειτουργεί κοντά στα όρια των δυνατοτήτων του, πρέπει τα τρία προηγούμενα ήδη συμφορήσεων να αντιμετωπιστούν, προτού αυξηθεί ο αριθμός των χρηστών με ευρυζωνική σύνδεση.

1.3. Τι είναι ένα Δίκτυο Διανομής Περιεχομένου – διανομή από τα άκρα του δικτύου

Τα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (Content Delivery Networks – CDNs) είναι κατά βάση σύνολα από εξυπηρετητές – αντιπροσώπους (surrogate servers), οι οποίοι είναι στρατηγικά τοποθετημένοι σε καίρια σημεία **στα άκρα** του Διαδικτύου ή του εταιρικού δικτύου μιας επιχείρησης (π.χ. σε απομακρυσμένα παραρτήματα αυτής) και έχουν επιφορτιστεί αποκλειστικά με την λειτουργία της διανομής περιεχομένου στους χρήστες. Τα CDNs χρησιμοποιούν ως μέσο μεταφοράς, πρωτόκολλα του επιπέδου 7 όπως είναι το HTTP και το RTP.

Οι πάροχοι περιεχομένου, όπως είναι π.χ. δημοφιλείς ιστοσελίδες ή πηγές streaming video, συνάπτουν εμπορικά συμβόλαια με εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον χώρο των εμπορικών Δικτύων Διανομής Περιεχομένου (Content Delivery Service Providers – CDSPs), προκειμένου οι τελευταίες να φιλοξενούν και να διανέμουν το περιεχόμενο των πρώτων. Τα εμπορικά Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου, είναι πολύ ελκυστικά για τους πάροχους του περιεχομένου, γιατί με αυτό τον τρόπο ξεφορτώνονται την ευθύνη της απόκτησης και διατήρησης σε λειτουργική και αποδοτική κατάσταση, της υποδομής φιλοξενίας του περιεχομένου τους, την οποία ευθύνη πλέον μεταβιβάζουν στην εταιρεία που διατηρεί το CDN.

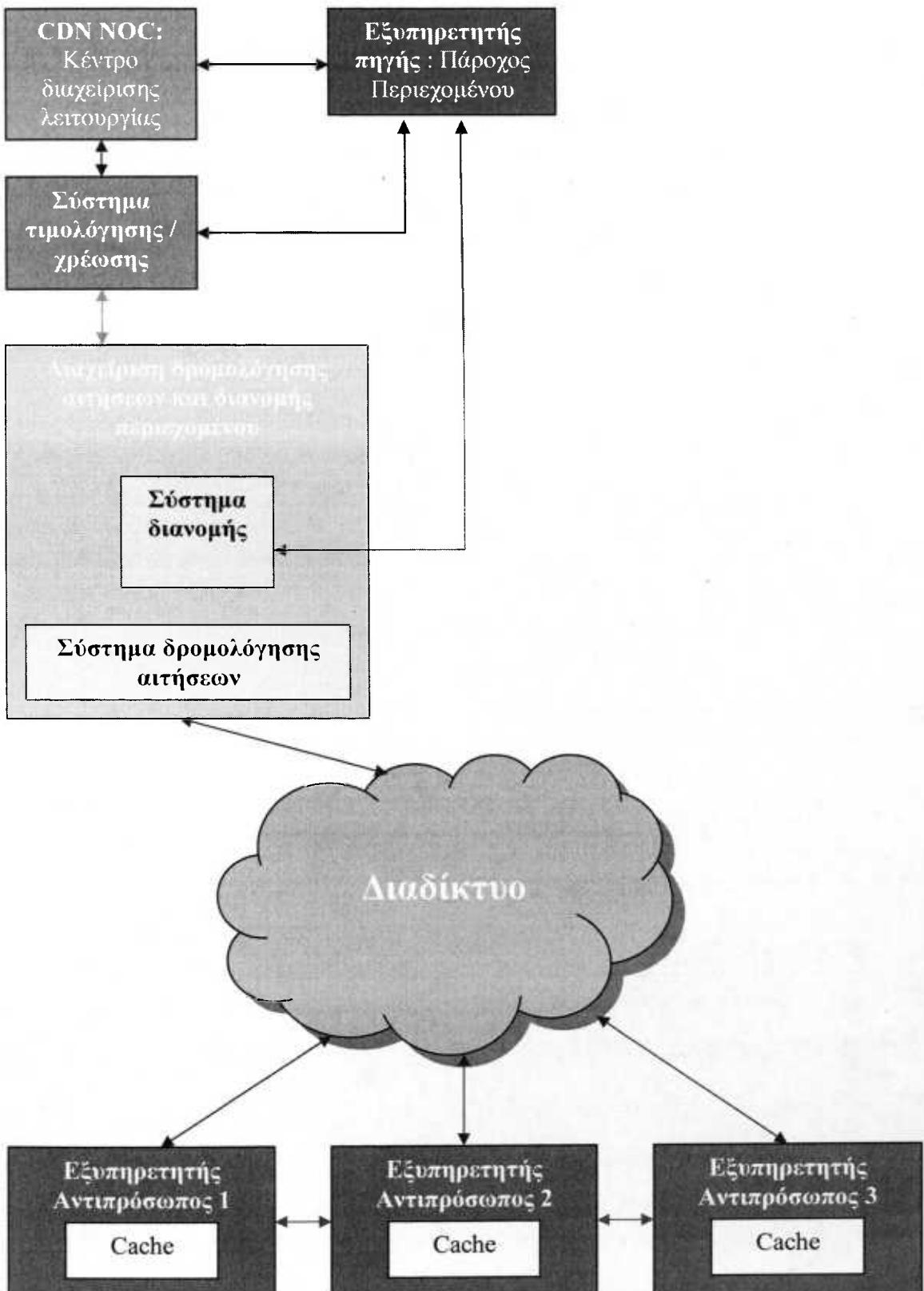
Από την στιγμή που ένας παραγωγός εισάγει το περιεχόμενό του σε ένα CDN, το περιεχόμενο αυτό «αντιγράφεται» σε μια ευρεία περιοχή, την περιοχή κάλυψης του εν λόγω Δικτύου Διανομής Περιεχομένου και αποκτά μεγάλη διαθεσιμότητα στους τελικούς χρήστες. Δεδομένου ότι οι περισσότερες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην παροχή υπηρεσιών CDN, διαθέτουν εξυπηρετητές στα σημεία παρουσίας (points of presence - POPs) των Παρόχων Υπηρεσιών Διαδικτύου (Internet Service Providers – ISPs), οι πελάτες μπορούν να προσπελάσουν, τοπολογικά κοντινά σε αυτούς εξυπηρετητές με αντίγραφα του περιεχομένου που τους ενδιαφέρει, με χαμηλή καθυστέρηση. Τα μεγαλύτερα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου διαθέτουν χιλιάδες εξυπηρετητές διασκορπισμένους σε όλα τα «μήκη και πλάτη» του Διαδικτύου και έχουν την ικανότητα να αντεπεξέλθουν σε πολύ μεγάλη και ξαφνική ζήτηση περιεχομένου.

Από την άλλη μεριά, μεγάλες εταιρείες, όπως θα δούμε αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο, βρίσκουν πολύ σύμφορη την επιλογή της ανάπτυξης ενός ιδιωτικού, εταιρικού δικτύου διανομής περιεχομένου (Enterprise CDN – ECDN), μέσω του οποίου μπορούν να περιορίσουν το κόστος λειτουργίας τους και να αυξήσουν την αποδοτικότητα των εργαζομένων τους.

1.4. Αρχιτεκτονική – τρόπος λειτουργίας

Τα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου είναι μια αναπτυσσόμενη τεχνολογία που διαθέτει αρκετά χαρακτηριστικά, τα οποία υπόσχονται ότι θα βελτιώσουν την εμπειρία των χρηστών του Διαδικτύου. Πρόκειται για δίκτυα που υπέρκεινται του στρώματος δικτύου (στρώμα 3) κατά OSI (**overlay networks**). Στα δίκτυα CDN, οι αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνονται στα επίπεδα 4-7 κατά OSI και κυρίως στο επίπεδο εφαρμογής (application layer) και συνυπολογίζουν για την δρομολόγηση του περιεχομένου, όχι μόνο την πληροφορία που παρέχουν οι IP διευθύνσεις, αλλά και άλλους παράγοντες, συσχετιζόμενους με την εφαρμογή, όπως είναι απαιτήσεις καθυστέρησης κοκ, ώστε να καθοριστεί το καλύτερο μονοπάτι κατά μήκος του δικτύου για εξυπηρέτηση του πελάτη.

Το περιεχόμενο, όπως προαναφέρθηκε, αναπαράγεται σε caches στα «εξωτερικά όρια» του δικτύου, σε εξυπηρετητές αντιπροσώπους (surrogate / edge servers). Αυτό γίνεται όσο πιο κοντά στους τελικούς χρήστες είναι δυνατόν, για να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος απόκρισης (response time) και να αποφευχθούν ξαφνικές αιχμές στην δικτυακή κίνηση. Επιπλέον, βελτιστοποιείται χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης, αφού ο διανομέας του περιεχομένου αποστέλλει το περιεχόμενο στους αντιπροσώπους σε χρονικές στιγμές που δεν ανήκουν στις ώρες αιχμής για να αποφευχθεί η συμφόρηση του δικτύου. Όταν κάποιος πελάτης ζητήσει το περιεχόμενο, κατευθύνεται στον κατάλληλο αντιπρόσωπο εξυπηρετητή, που περιέχει το εν λόγω περιεχόμενο στην εσωτερική του cache.



Σχήμα 1: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός CDN

Η δρομολόγηση των αιτήσεων των χρηστών βασίζεται στην συνεκτίμηση κάποιων παραμέτρων, όπως είναι ο αριθμός των hops πελάτη – αντιπροσώπου, ο φόρτος εργασίας του αντιπροσώπου, η γεωγραφική ή τοπολογική θέση του πελάτη κοκ. Αν κανένας από τους υποψήφιους αντιπροσώπους δεν διαθέτει το ζητούμενο περιεχόμενο, τότε ο καταλληλότερος από αυτούς, επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή που διαθέτει εξ' αρχής το περιεχόμενο (content server) και εξυπηρετεί με αυτό τον τρόπο τον πελάτη, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί, αν είναι δυνατόν, ένα αντίγραφο του περιεχομένου στην εσωτερική του cache, για να εξυπηρετήσει και μελλοντικές αιτήσεις.

Τα κύρια συστατικά στοιχεία ενός τυπικού Δικτύου Διανομής Περιεχομένου (βλ. Σχήμα 1) είναι τα ακόλουθα:

1. Το **κέντρο διαχείρισης λειτουργίας** του Δικτύου Διανομής Περιεχομένου (CDN Network Operations Center – NOC)
2. Το **σύστημα τιμολόγησης και χρέωσης** (Accounting / Billing System)
3. Το **σύστημα διαχείρισης δρομολόγησης των αιτήσεων και διανομής του περιεχομένου** (Request Routing and Distribution Management)
4. Οι **εξυπηρετητές αντιπρόσωποι / τοποτηρητές** (edge / surrogate servers)
5. Οι **εξυπηρετητές αναμετάδοσης** (relay servers)

Ας δούμε όμως αναλυτικότερα τις λειτουργίες και τις αρμοδιότητες καθενός από τα παραπάνω στοιχεία σε ένα CDN[7]:

Το **κέντρο διαχείρισης λειτουργίας (CDN NOC)** του δικτύου επιτελεί λειτουργίες αντίστοιχες με αυτές ενός κλασικού NOC για ένα IP δίκτυο. Συγκεκριμένα, στις αρμοδιότητες του εμπίπτουν: η διαχείριση (administration) των διαφόρων συστατικών στοιχείων του CDN από μια κεντρική τοποθεσία και η παρακολούθηση (monitoring) της κατάστασης των συστατικών στοιχείων του CDN, ώστε ο διαχειριστής (CDN administrator) να μπορεί να λάβει τα απαραίτητα μέτρα όταν αυτό απαιτείται. Η παραπάνω λειτουργία μπορεί να υποστηριχθεί με την βοήθεια κατάλληλα διαμορφωμένων **SNMP MIBs** που «τρέχουν» στα στοιχεία του δικτύου.

Επιπλέον, στις αρμοδιότητες του CDN NOC, εμπίπτουν και οι λειτουργίες προσθήκης η αφαίρεσης πελατών από το CDN. Με τον όρο «πελάτης», στο σημείο αυτό δεν εννοούμε μόνο τους τελικούς χρήστες, αλλά και αυτούς που πληρώνουν τον οργανισμό που διατηρεί το CDN για να χρησιμοποιήσουν την υποδομή του, π.χ. ένας πάροχος περιεχομένου ή ένας πάροχος υπηρεσίας πρόσβασης στο Διαδίκτυο (βλ. και οικονομικά μοντέλα στο επόμενο κεφάλαιο). Φυσικά, το CDN NOC είναι υπεύθυνο και για την τήρηση των Συμφωνιών Παροχής Υπηρεσιών (Service Level Agreements – SLAs) που έχουν συναφθεί με τους παραπάνω πελάτες. Τέλος, στις αρμοδιότητες του κέντρου διαχείρισης, είναι και η παραγωγή και διανομή διαφόρων ειδών στατιστικών και αναφορών προς τους εκάστοτε πελάτες.

Το **σύστημα τιμολόγησης και χρέωσης** (accounting and billing system) έχει ως αποστολή την συλλογή πληροφορίας από τα διάφορα στοιχεία του δικτύου διανομής περιεχομένου, σχετικής με την διανομή του περιεχομένου στους τελικούς χρήστες αλλά και σε ομότιμα συνεργαζόμενα δίκτυα διανομής περιεχομένου, με τα οποία ενδεχομένως έχουν συναφθεί συμφωνίες για (αμοιβαία ή όχι) διασύνδεση όσον αφορά την διακίνηση περιεχομένου. Στην συνέχεια, η πληροφορία αυτή επεξεργάζεται από το σύστημα χρέωσης, ώστε να υπολογιστή η χρέωση κάθε πελάτη του CDN. Ανάμεσα σε συνεργαζόμενα CDNs, αρκετές φορές υλοποιείται μια επιπρόσθετη οντότητα, ο **δίαυλος ανταλλαγής στοιχείων χρέωσης** (Accounting Peering Gateway), ακριβώς για την ανταλλαγή στοιχείων χρέωσης μεταξύ τους.

Το **σύστημα διαχείρισης δρομολόγησης των αιτήσεων και διανομής του περιεχομένου** (Request Routing and Distribution Management - RRDM), περιέχει την λειτουργικότητα της δρομολόγησης των αιτήσεων των πελατών σε έναν εξυπηρετητή αντιπρόσωπο, καθώς και την ανταλλαγή του περιεχομένου με ομότιμα CDNs. Σε γενικές γραμμές το σύστημα RRDM μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερα επιμέρους συστήματα: την μηχανή δρομολόγησης των αιτήσεων (Request Routing Engine) , την οντότητα δρομολόγησης αιτήσεων σε ομότιμα CDNs (Request Routing Peering System), το σύστημα διανομής (Distribution System) και το σύστημα διανομής μέσω ομότιμων CDNs (Distribution Peering System).

Η μηχανή δρομολόγησης των αιτήσεων (Request Routing Engine) δρομολογεί τις αιτήσεις των πελατών στους βέλτιστους αντιπροσώπους εξυπηρετητές του ίδιου CDN, με βάση αλγορίθμους οι οποίοι χρησιμοποιούν παραμέτρους όπως είναι ο αριθμός των hops ως τον πελάτη, ο φόρτος εργασίας κάθε εξυπηρετητή κοκ. Μια πλήρης μηχανή δρομολόγησης παρακολουθεί συνεχώς το δίκτυο και ενημερώνεται με τις νεότερες πληροφορίες που αφορούν τους αντιπροσώπους αλλά και τους εξυπηρετητές αναμετάδοσης και των συνδέσεων μεταξύ αυτών. Πάντως, η μόνη απαίτηση που υπάρχει για μια μηχανή δρομολόγησης αιτήσεων είναι να ανακατευθύνει τις αιτήσεις των πελατών σε έναν αντιπρόσωπο που μπορεί να παρέχει το αιτούμενο περιεχόμενο.

Από την άλλη μεριά, η οντότητα δρομολόγησης αιτήσεων σε ομότιμα CDNs (Request Routing Peering System), είναι η λογική διασύνδεση μεταξύ δύο ή περισσότερων δικτύων διανομής περιεχομένου. Η διασύνδεση των CDNs αυξάνει τον αριθμό των προσβάσιμων εξυπηρετητών προς τους πελάτες. Η οντότητα αυτή λοιπόν, δρομολογεί, χρησιμοποιώντας κατάλληλους αλγορίθμους, τις αιτήσεις των πελατών διαμέσου διασυνδεδεμένων δικτύων διανομής περιεχομένου. Κάθε τέτοια οντότητα διατηρεί έναν πίνακα που ονομάζεται πίνακας δρομολόγησης αιτήσεων (request routing table), που είναι παρόμοιος με έναν κλασικό πίνακα δρομολόγησης. Ο πίνακας αυτός περιέχει πληροφορία σχετικά με τα αντικείμενα που υπάρχουν σε ομότιμα διασυνδεδεμένα CDNs. Η πληροφορία αυτή μπορεί να ανταλλάσσεται περιοδικά ανάμεσα στις οντότητες δρομολόγησης των ομότιμων CDNs για την ενημέρωση των πινάκων με τις νεότερες πληροφορίες.

Το **σύστημα διανομής** (Distribution System) όπως και το **σύστημα διανομής** μέσω ομότιμων CDNs (Distribution Peering System) διανέμουν το περιεχόμενο στους εξυπηρετητές αντιπροσώπους μέσα στο ίδιο ή διαφορετικό CDN, αντίστοιχα. Ουσιαστικά απαρτίζεται από τους εξυπηρετητές αναμετάδοσης (relay servers) και τις συνδέσεις του δικτύου. Το σύστημα διανομής μεταφέρει πληροφορία σχετική με τις τοποθεσίες όπου βρίσκεται το περιεχόμενο προς τη μηχανή δρομολόγησης των αιτήσεων.

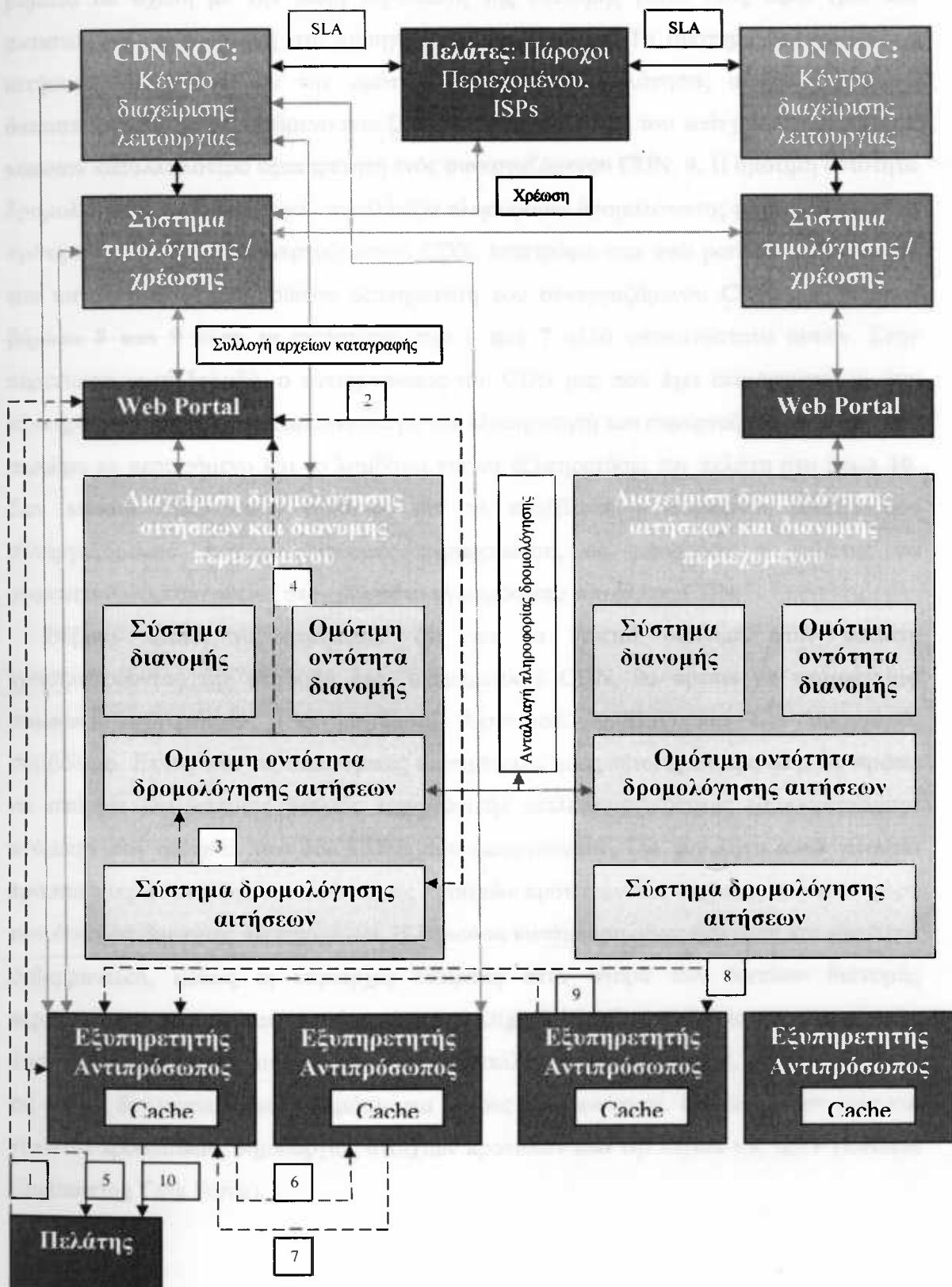
Οι εξυπηρετητές αντιπρόσωποι / τοποτηρητές (edge / surrogate servers), συνήθως βρίσκονται στα άκρα του δικτύου. Κάθε τέτοιος εξυπηρετητής διαθέτει μια εσωτερική cache, στην οποία αποθηκεύεται το περιεχόμενο που λαμβάνει από εξυπηρετητή περιεχομένου ή από κάποιον άλλον αντιπρόσωπο. Σε ένα CDN, ο τελικός χρήστης συνδέεται τελικά με τον βέλτιστο αντιπρόσωπο (βάσει του αλγορίθμου που «τρέχει» ο RRDM). Αν το αντικείμενο που ζήτησε ο πελάτης είναι στατικό και υπάρχει στον συγκεκριμένο αντιπρόσωπο, τότε θα εξυπηρετηθεί από την εσωτερική cache αυτού. Αν το αντικείμενο δεν είναι στατικό (π.χ. live streaming) ή δεν υπάρχει στην cache του αντιπροσώπου, τότε αυτός θα το «τραβήξει» (pull) από κάποιον εξυπηρετητή περιεχομένου (content server). Η διαδικασία αυτή εξοικονομεί εύρος ζώνης, μειώνει τον φόρτο εργασίας του εξυπηρετητή που παρέχει το περιεχόμενο αλλά και των ενδιάμεσων και παρέχει στους χρήστες γρηγορότερη πρόσβαση στο περιεχόμενο.

Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά την ροή του περιεχομένου σε ένα δίκτυο CDN. Όταν λαμβάνεται μια αίτηση για περιεχόμενο, επιδιώκεται κατά προτεραιότητα να διανεμηθεί στον πελάτη κατά τον πιο αποδοτικό τρόπο. Για τον λόγο αυτό, ανάλογα με την τοποθεσία του βέλτιστου εξυπηρετητή που διαθέτει το περιεχόμενο, υπάρχουν δύο διαφορετικά σενάρια διανομής [11]:

1. Το περιεχόμενο να διανεμηθεί διαμέσου του ίδιου CDN
2. Το περιεχόμενο να διανεμηθεί διαμέσου ενός ομότιμου CDN[10]

Παρακάτω αναλύονται σε λεπτομέρεια τα δύο αυτά σενάρια.

Διαμέσου του ίδιου CDN, μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα βήματα (βλ. και αντιστοίχιση με αρίθμηση στο παρακάτω σχήμα 2): 1. Σε ένα τυπικό CDN, ο πελάτης συνδέεται αρχικά με κάποιον εξυπηρετητή που λειτουργεί ως δικτυακό σημείο πρόσβασης στην υπηρεσία και συνήθως φιλοξενεί τις ιστοσελίδες πρόσβασης (π.χ. web portal του παρόχου του περιεχομένου ή της υπηρεσίας CDN). Ο εξυπηρετητής αυτός, πιθανότατα έχει και την δυνατότητα διανομής περιεχομένου, οπότε με την γενική έννοια μπορεί να θεωρηθεί και αντιπρόσωπος εξυπηρετητής. 2. Το web portal επικοινωνεί με το σύστημα διαχείρισης δρομολόγησης των αιτήσεων και διανομής του περιεχομένου και του παρέχει πληροφορίες για τον πελάτη, όπως είναι η IP του, ώστε να βρεθεί ο κατάλληλος αντιπρόσωπος για να τον εξυπηρετήσει. Βασιζόμενο σε παραμέτρους που διατηρεί για την κατάσταση και την τοπολογία του δικτύου (όπως προαναφέρθηκε), ο RRDM παρέχει στο portal την διεύθυνση του καταλληλότερου αντιπροσώπου του ίδιου CDN. (Τα βήματα 3 και 4 για λόγους ταυτόχρονης απεικόνισης στο σχήμα 2, αντιστοιχούν μόνο στην περίπτωση διανομής μέσω διαφορετικού CDN) 5. Το portal αναθέτει την διανομή του περιεχομένου, στον καταλληλότερο εξυπηρετητή αντιπρόσωπο. Επίσης, ανακατεύθυνει τον πελάτη στον βέλτιστο δυνατό αντιπρόσωπο παρέχοντάς του την IP του αντιπροσώπου. Η ανακατεύθυνση αυτή είναι σε επίπεδο εφαρμογής. (Μπορεί να γίνει και αυτόματη ανακατεύθυνση σε επίπεδο δικτύου με κατάλληλη διαφοροποίηση του συστήματος της δρομολόγησης DNS, αλλά δεν συνίσταται όπως αναλύεται σε επόμενη παράγραφο). 6. Ο αντιπρόσωπος αυτός αν διαθέτει το περιεχόμενο στην cache του, το αποστέλλει στον πελάτη και προχωράμε κατευθείαν στο βήμα 10. Άλλιώς επικοινωνεί με ένα κοντινό αντιπρόσωπο που διαθέτει το περιεχόμενο ή με τον ίδιο τον εξυπηρετητή που παρέχει το περιεχόμενο και το ζητά 7. Ο εξυπηρετητής που περιέχει το περιεχόμενο, αποκρίνεται στέλνοντάς το στον αντιπρόσωπο του το ζήτησε. 10. Το περιεχόμενο στέλνεται στον πελάτη. Επίσης, ένα αντίγραφο του περιεχομένου κρατιέται στην εσωτερική του cache. Κάθε επόμενη αίτηση για το περιεχόμενο αυτό, εάν είναι δυνατόν, εξυπηρετείται από την cache.



Σχήμα 2: Ροή περιεχομένου στο ίδιο ή σε διασυνδεδεμένα CDN

Διαμέσου διαφορετικών CDN, μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα επιπλέον βήματα σε σχέση με την απλή περίπτωση της διανομής μέσω ενός CDN (βλ. και αντιστοίχιση με αριθμηση στο προηγούμενο σχήμα 2): 3. Το σύστημα δρομολόγησης αιτήσεων επικοινωνεί με την ομότιμη οντότητα δρομολόγησης αιτήσεων για να διαπιστώσει εάν το περιεχόμενο που ζήτησε ο πελάτης μέσω του web portal, υπάρχει σε κάποιον καταλληλότερο εξυπηρετητή ενός συνεργαζόμενου CDN. 4. Η ομότιμη οντότητα δρομολόγησης αιτήσεων αφού ανταλλάξει πληροφορία δρομολόγησης με την αντίστοιχη ομότιμη οντότητα του συνεργαζόμενου CDN, επιστρέφει στο web portal την διεύθυνση του κατάλληλου αντιπροσώπου εξυπηρετητή του συνεργαζόμενου CDN. Τα επόμενα βήματα 8 και 9 είναι τα αντίστοιχα των 6 και 7 αλλά υποκατάστατα αυτών. Στην περίπτωση αυτή δηλαδή, ο αντιπρόσωπος του CDN μας που έχει επιφορτιστεί με την εξυπηρέτηση του πελάτη, επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή του συνεργαζόμενου CDN που περιέχει το περιεχόμενο και το λαμβάνει για να εξυπηρετήσει τον πελάτη στο βήμα 10. Σαν κάποιο εναλλακτικό σενάριο, εάν το προέβλεπε η συμφωνία μεταξύ των συνεργαζόμενων δικτύων διανομής περιεχομένου, θα μπορούσε ο πελάτης να ανακατευθυνθεί απευθείας στον βέλτιστο αντιπρόσωπο του άλλου CDN.

Βέβαια πρέπει να σημειωθεί, ότι για να γίνεται διανομή στον πελάτη, χρησιμοποιώντας την υποδομή ενός διαφορετικού CDN, θα πρέπει να υπάρχει μια συμφωνία συνεργασίας (Service Level Agreement – SLA) και ένα λεπτομερές συμβόλαιο. Εκτός από τις οικονομικές παραμέτρους μιας τέτοιας συμφωνίας, θα πρέπει να υπάρχει και κάποιος βαθμός τεχνολογικής διαλειτουργικότητας (interoperability) ανάμεσα στα στοιχεία των δύο CDNs που επικοινωνούν. Για τον λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης και υιοθέτησης ανοιχτών προτύπων και τεχνολογιών στον χώρο των δικτύων διανομής περιεχομένου. Η παρούσα κατάσταση όμως δεν είναι και ιδιαίτερα ενθαρρυντική, καθώς οι κυρίαρχες εταιρείες στην αγορά των δικτύων διανομής περιεχομένου, όπως είναι η Akamai και η Digital Island, χρησιμοποιούν τεχνολογίες δικής τους εφεύρεσης και αποκλειστικής εκμετάλλευσης (proprietary), λεπτομέρειες για τις οποίες δεν ανακοινώνουν δημόσια για λόγους ανταγωνισμού. Πάντως έχουν γίνει και γίνονται προσπάθειες δημιουργίας ανοιχτών προτύπων υπό την αιγίδα της IETF (Internet Engineering Task Force).

1.5. Κυριότεροι μηχανισμοί ανακατεύθυνσης του πελάτη

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε περιληπτικά τις γνωστότερες τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανακατεύθυνση των αιτήσεων των πελατών σε εξυπηρετητές – αντιπροσώπους, βασίζοντας τις αποφάσεις σε διάφορες πολιτικές του μηχανισμού που λαμβάνει τις αποφάσεις, καθώς και σε ένα σύνολο μετρήσιμων παραμέτρων. Η διαδικασία αυτή εμφανίζεται στην βιβλιογραφία με διάφορα ονόματα, όπως : **δρομολόγηση αιτήσεων (Request Routing), δρομολόγηση περιεχομένου (Content Routing) αλλά και ανακατεύθυνση περιεχομένου (Content Redirection).**

Σε γενικές γραμμές οι μηχανισμοί αυτού του είδους, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες [8]: δρομολόγηση αιτήσεων **σε επίπεδο DNS (DNS Request – Routing)**, **σε επίπεδο μεταφοράς (transport – layer Request – Routing)** και **σε επίπεδο εφαρμογής εκτός DNS (application – layer Request – Routing)**.

Σε επίπεδο DNS

Οι τεχνικές δρομολόγησης αιτήσεων που βασίζονται στο DNS συναντώνται πολύ συχνά, λόγω της μεγάλης διάδοσης του DNS ως υπηρεσία καταλόγου στο σημερινό Διαδίκτυο. Στις τεχνικές αυτού του είδους, εισάγεται στην διαδικασία μετατροπής DNS ένας εξειδικευμένος εξυπηρετητής DNS. Ο εξυπηρετητής αυτός έχει την δυνατότητα να επιστρέψει ένα διαφορετικό σύνολο από εγγραφές τύπου A, NS ή CNAME βασιζόμενος είτε σε πολιτικές που καθορίζει ο χρήστης, είτε σε ειδικές παραμέτρους, είτε σε συνδυασμό των δύο περιπτώσεων. Και η δρομολόγηση σε επίπεδο DNS μπορεί να γίνει με διαφορετικές προσεγγίσεις:

Στην προσέγγιση της **απλής απάντησης (single reply)**, ο εξυπηρετητής DNS είναι αρμόδιος για ολόκληρο το DNS domain ή για ένα sub domain. Ο εξυπηρετητής αυτός επιστρέφει στον αιτούντα DNS εξυπηρετητή, την διεύθυνση IP του καλύτερου αντιπροσώπου μέσα σε μια εγγραφή τύπου A. Η IP διεύθυνση του αντιπροσώπου θα μπορούσε επίσης να είναι μια εικονική IP (virtual IP – VIP) του βέλτιστου υποσυνόλου αντιπροσώπους για τον δεδομένο αιτούντα εξυπηρετητή DNS.



Στην προσέγγιση των πολλαπλών απαντήσεων (**multiple replies**), ο εξυπηρετητής DNS που έχει επιφορτιστεί με την δρομολόγηση των αιτήσεων, επιστρέφει πολλαπλές απαντήσεις όπως ξεχωριστές εγγραφές τύπου A, που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς αντιπροσώπους. Οι συνηθέστερες υλοποιήσεις της οντότητας πελάτη των DNS εξυπηρετητών που συμμετέχουν σε μια τέτοια διαδικασία (του εξυπηρετητή δηλ. που λαμβάνει το αποτέλεσμα μιας τέτοιας δρομολόγησης), είναι να εναλλάσσει κυκλικά τις απαντήσεις που στέλνει στους πελάτες, ακολουθώντας μια λογική round –robin. Έτσι πολλοί πελάτες που ανήκουν στην δικαιοδοσία ενός DNS εξυπηρετητή, δεν θα ανακατευθυνθούν όλοι στον ίδιο αντιπρόσωπο, με ευνόητες ευεργετικές συνέπειες, π.χ. στην περίπτωση ενός «ξαφνικού όχλου» (**flash crowd**) προερχόμενου από την ίδια περιοχή.

Στην προσέγγιση του **μετασχηματισμού DNS σε πολλαπλά επίπεδα (multi – level resolution)**, πολλαπλοί εξυπηρετητές DNS δρομολόγησης αιτήσεων μπορούν να εμπλακούν σε έναν μοναδικό μετασχηματισμό DNS. Η αιτιολογία της χρησιμοποίησης πολλαπλών εξυπηρετητών DNS σε μια τέτοια διαδικασία, έγκειται στο ότι με αυτό τον τρόπο επιτρέπουμε την κατανομή των πιο πολύπλοκων αποφάσεων σε πολλούς και εξειδικευμένους εξυπηρετητές. Οι συνηθέστεροι μηχανισμοί με τους οποίους εισάγονται πολλοί εξηπηρετητές DNS στην διαδικασία μετασχηματισμού μιας μοναδικής διεύθυνσης, είναι με την χρήση των εγγραφών NS και CNAME. Ένα παράδειγμα είναι η περίπτωση όπου ένας υψηλότερου επιπέδου DNS εξυπηρετητής που λειτουργεί σε μια περιοχή, κατευθύνει την αναζήτηση DNS σε έναν πιο ειδικό εξυπηρετητή DNS στα πλαίσια της περιοχής αυτής για να μας παρέχει έναν πιο ακριβή μετασχηματισμό.

Μετασχηματισμός DNS σε πολλαπλά επίπεδα, όπως προαναφέραμε μπορεί να γίνει με την χρήση εγγραφών NS. Ας δούμε πώς γίνεται αυτό μέσω ενός απλού παραδείγματος. Ένας πελάτης DNS εξυπηρετητής (που καταθέτει την αίτηση μετασχηματισμού DNS δηλ.), που προσπαθεί να βρει την διεύθυνση του ονόματος a.b.c.com , θα ζητήσει τελικά τον μετασχηματισμό από τον εξυπηρετητή που είναι αρμόδιος για τον χώρο c.com . Ο εξυπηρετητής αυτός θα μπορούσε να είναι ένας εξυπηρετητής DNS δρομολόγησης αιτήσεων. Στην περίπτωση αυτή , μπορεί να επιστρέψει είτε ένα σύνολο από εγγραφές τύπου A ή να ανακατευθύνει τον μετασχηματισμό του ονόματος a.b.c.com σε κάποιον DNS εξυπηρετητή αρμόδιο για τον χώρο .c.com χρησιμοποιώντας εγγραφές τύπου NS.



Ένα μειονέκτημα της χρήσης εγγραφών NS είναι ότι ο αριθμός των εξυπηρετητών DNS περιορίζεται από των αριθμό των τμημάτων που υπάρχουν στο DNS όνομα. Αυτό το πρόβλημα προκύπτει από την πολιτική του DNS, που αναγκάζει τον πελάτη DNS να εγκαταλείπει μια αίτηση εάν δεν υπάρχουν επιπρόσθετα τμήματα του ονόματος, που να μετασχηματίζονται σε μια συνδιαλλαγή με έναν αρμόδιο DNS εξυπηρετητή.

Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι ο τελευταίος εξυπηρετητής DNS, μπορεί να καθορίσει τον «χρόνο ζωής» (time to live – TTL) ολόκληρης της διαδικασίας μετασχηματισμού. Ο τελευταίος DNS εξυπηρετητής μπορεί να επιστρέψει στο τμήμα της απάντησής του, το σχετικό με τον αρμόδιο εξυπηρετητή για την διεύθυνση, την δικιά του εγγραφή NS. Ο πελάτης θα χρησιμοποιεί αυτή την, cached πλέον, εγγραφή NS για επόμενους μετασχηματισμούς αιτήσεων, μέχρι να λήξει ο χρόνος εγκυρότητάς της.

Ακόμα ένα πρόβλημα προκύπτει από το γεγονός ότι μερικές υλοποιήσεις του DNS εθελοντικά προκαλούν timeouts για να απλοποιήσουν την λειτουργία τους. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που μια ανακατεύθυνση σε επίπεδο NS έχει ως προορισμό έναν DNS εξυπηρετητή για τον οποίο δεν επιστρέφεται ή δεν υπάρχει στην cache, κάποια έγκυρη εγγραφή τύπου A. Στην περίπτωση ειδικά που το domain του name server δεν συμπίπτει με το domain που αναλύεται, υπάρχει πρόβλημα, καθώς οι εγγραφές τύπου A που θα διαβιβαστούν στην απάντηση DNS, θα απορριφθούν για λόγους ασφαλείας.

Τέλος, είναι λογικό να υπάρχει και το πρόβλημα με την προστιθέμενη καθυστέρηση που εισάγει ο μετασχηματισμός, όταν αυτός γίνεται σε πολλαπλά επίπεδα και από περισσότερους του ενός εξυπηρετητές.

Ένας διαφορετικός τρόπος να γίνει μετασχηματισμός DNS σε πολλαπλά επίπεδα, είναι με την χρήση εγγραφών τύπου CNAME. Στην περίπτωση αυτή ο εξυπηρετητής DNS που κάνει την δρομολόγηση των αιτήσεων, επιστρέφει μια εγγραφή CNAME για να κατευθύνει την ανάλυση σε έναν τελείως καινούριο domain. Κατά κανόνα, το νέο domain μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα καινούριο σύνολο από DNS εξυπηρετητές μετασχηματισμού αιτήσεων. Ένα μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι εισάγεται επιπρόσθετη καθυστέρηση για τον μετασχηματισμό του νέου domain name. Βέβαια, υπάρχει και το βασικό πλεονέκτημα ότι με αυτή την μέθοδο, ο αριθμός των εξυπηρετητών δρομολόγησης αιτήσεων είναι ανεξάρτητος από την μορφή του domain name.



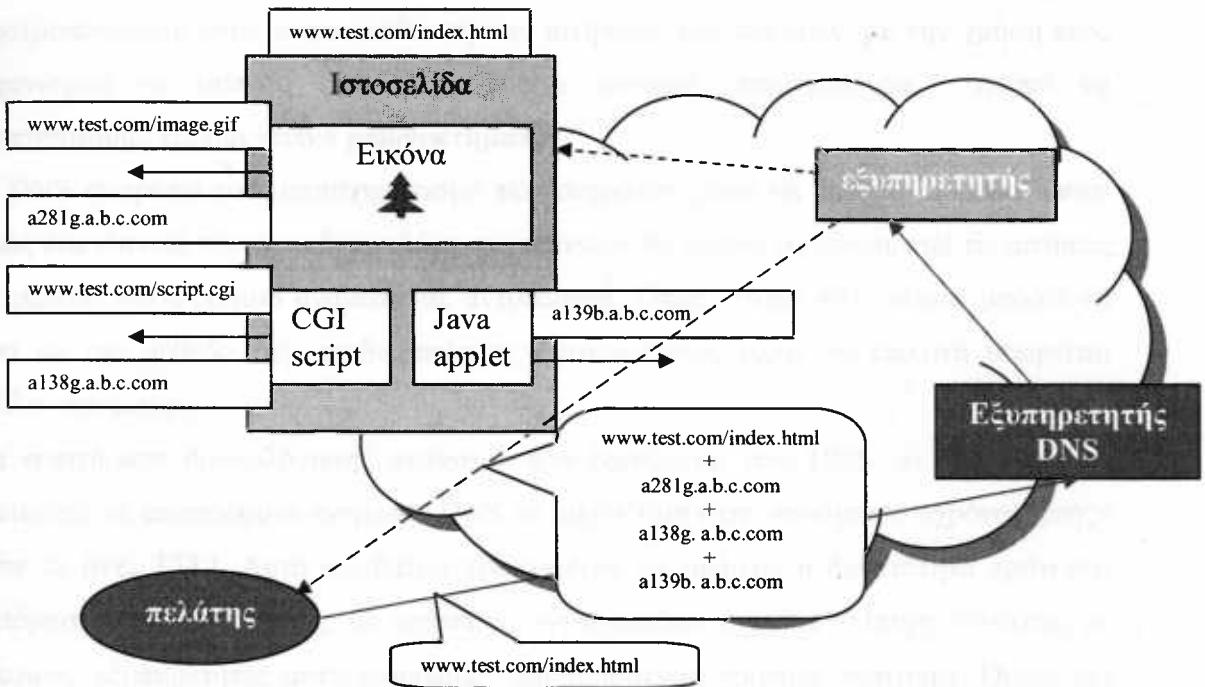
Πέρα από τον μετασχηματισμό DNS σε πολλαπλά επίπεδα, μπορεί να γίνει ανακατεύθυνση σε επίπεδο DNS και με χρήση και της υπηρεσίας **anycast** [9]. Το anycast είναι μια υπηρεσία ανάμεσα σε δίκτυα, που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που ένας host, μια εφαρμογή ή ένας χρήστης επιθυμούν να εντοπίσουν κάποιον άλλον host, που να υποστηρίζει μια συγκεκριμένη υπηρεσία και επιπλέον εάν περισσότεροι του ενός εξυπηρετητές την υποστηρίζουν, δεν υπάρχει συγκεκριμένο ενδιαφέρον για το ποιος από αυτούς θα χρησιμοποιηθεί τελικά. Σε μια υπηρεσία anycast, ένας host μεταδίδει ένα datagram σε μια διεύθυνση anycast και το δίκτυο είναι υπεύθυνο να παρέχει διανομή βέλτιστης προσπάθειας σε τουλάχιστον έναν (και κατά προτίμηση μόνο έναν) από τους εξυπηρετητές που δέχονται datagrams από την συγκεκριμένη anycast διεύθυνση.

Το κίνητρο για την χρήση του anycast, είναι η σημαντική απλοποίηση της εργασίας της εξεύρεσης ενός κατάλληλου εξυπηρετητή. Παραδείγματος χάριν, οι χρήστες, αντί να συμβουλεύονται μια λίστα από εξυπηρετητές για να πάρουν κάποιον πόρο και να επιλέγουν τον κοντινότερο, θα μπορούσαν απλά να γράψουν κάποιο γενικό όνομα και να συνδεθούν στον κοντινότερο. Με την χρήση του anycast οι μηχανισμοί μετασχηματισμού DNS δεν θα χρειάζονται να έχουν ρυθμιστεί με τις IP διευθύνσεις των εξυπηρετητών, αλλά θα μπορούσαν απλά να στείλουν ένα ερώτημα σε μια γνωστή DNS anycast διεύθυνση.

Επιπρόσθετα, για να συνδυάσουμε την μέτρηση και την ανακατεύθυνση, ο εξυπηρετητής DNS που έχει επιφορτιστεί με την ανακατεύθυνση των αιτήσεων μπορεί να διαφημίζει μια διεύθυνση anycast ως την IP διεύθυνσή του. Η ίδια διεύθυνση χρησιμοποιείται από πολλούς φυσικούς DNS εξυπηρετητές. Στο σενάριο αυτό, ο DNS εξυπηρετητής δρομολόγησης αιτήσεων, που είναι «πλησιέστερα» στον πελάτη DNS εξυπηρετητή σε όρους OSPF και BGP δρομολόγησης, θα λάβει το πακέτο που περιέχει την αίτηση μετασχηματισμού DNS. Ο εξυπηρετητής αυτός θα χρησιμοποιήσει αυτήν την πληροφορία για να εξάγει μια απόφαση δρομολόγησης.

Τα προβλήματα με αυτή την προσέγγιση είναι τα εξής: αρχικά, ο DNS εξυπηρετητής ενδέχεται να μην είναι ο πιο κοντινός εξυπηρετητής στον πελάτη, με όρους δρομολόγησης. Επιπλέον, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν είναι ευαίσθητα όσον αφορά τον φόρτο. Επομένως, ενδέχεται ο πλησιέστερος εξυπηρετητής να μην είναι αυτός με την μικρότερη καθυστέρηση όσον αφορά το δίκτυο ή τον φόρτο εργασίας δρομολόγησης.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται στην ανακατεύθυνση σε επίπεδο DNS, είναι η κωδικοποίηση του αντικειμένου (**object encoding**) στο DNS όνομα. Δεδομένου ότι μόνο τα ονόματα DNS είναι ορατά κατά την δρομολόγηση των αιτήσεων, μερικές υλοποιήσεις κωδικοποιούν τον τύπο του αντικειμένου, μια σύνοψη (hash) του αντικειμένου ή κάποιο είδος παρόμοιας πληροφορίας στο όνομα DNS.



Σχήμα 3: Ανακατεύθυνση σε επίπεδο DNS με κωδικοποίηση των αντικειμένων

Όπως είναι επόμενο, μπορεί να συναντήσει κανείς διάφορες υλοποιήσεις της κωδικοποίησης αντικειμένου, από έναν απλό διαχωρισμό των αντικειμένων βασιζόμενο στον τύπο αυτών (π.χ. `images.a.b.c.com`, `cgi.a.b.c.com`, `java.a.b.c.com`) έως ένα αρκετά πιο πολύπλοκο σχήμα στο οποίο το domain name περιέχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό (π.χ. μια σύνοψη) του κάθε αντικειμένου, όπως στο παράδειγμα του παραπάνω σχήματος 3. Στο παράδειγμα αυτό, ο πελάτης ζητάει μια σελίδα που περιέχει διάφορα αντικείμενα και στην απάντηση του επιστρέφονται από τον server τόσο τα αντικείμενα που εδρεύουν σε αυτόν (στην περίπτωσή μας το `html` αρχείο), όπως και τα domain names των αντικειμένων που βρίσκονται σε διαφορετικούς εξυπηρετητές. Στην συνέχεια ο πελάτης με διαδοχικά ερωτήματα DNS, ανακτά και τα υπόλοιπα αντικείμενα.

Το προφανές πλεονέκτημα είναι ότι κάθε αντικείμενο μπορεί να ανακτηθεί από διαφορετικό εξυπηρετητή και η πληροφορία αυτή είναι διαθέσιμη την στιγμή του μετασχηματισμού DNS. Το μειονέκτημα είναι ότι ο πελάτης (ή ο DNS εξυπηρετητής του πελάτη) πρέπει να διεξάγει πολλές μετατροπές για να ανακτηθεί μια μοναδική ιστοσελίδα, γεγονός που τελικά ενδέχεται και να αυξήσει αντί να μειώσει την συνολική καθυστέρηση!

Έχοντας ολοκληρώσει την περιγραφή των κυριότερων τεχνικών που χρησιμοποιούνται στην ανακατεύθυνση των αιτήσεων των πελατών, με την χρήση ενός μηχανισμού σε επίπεδο DNS, στα δίκτυα διανομής περιεχομένου, πρέπει να καταγράψουμε κάποια γενικά **μειονεκτήματα**:

1. Το DNS επιτρέπει τον μετασχηματισμό των ονομάτων μόνο σε επίπεδο domain name. Όμως ένα ιδανικό σύστημα δρομολόγησης αιτήσεων θα πρέπει να εξυπηρετεί τις αιτήσεις σε επίπεδο διαχωρισμού ανάμεσα σε αντικείμενα. Όπως είδαμε κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με την μέθοδο της «κωδικοποίησης αντικειμένου», αλλά ως επιλογή θεωρείται μάλλον ασύμφορη.
2. Στα συστήματα δρομολόγησης αιτήσεων που βασίζονται στο DNS, οι εξυπηρετητές απαιτείται να επιστρέφουν εγγραφές DNS με μικρή τιμή στην παράμετρο «χρόνος ζωής» (time to live, TTL). Αυτό συμβαίνει προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα γρήγορης αντίδρασης του συστήματος, αν πρέπει να αντιμετωπίσει π.χ. την έλλειψη σύνδεσης με κάποιους εξυπηρετητές αντιπροσώπους για ορισμένο χρονικό διάστημα. Όμως μια τέτοια επιλογή για την παράμετρο TTL, μπορεί να αυξήσει την συχνότητα και συνεπώς την ποσότητα των αιτήσεων προς τους εξυπηρετητές DNS.
3. Υπάρχουν κάποιες υλοποιήσεις του DNS που δεν συμμορφώνονται πλήρως με τα πρότυπα του DNS. Συνεπώς δεν μπορούμε να επαναπαυθούμε στην χρήση του DNS με μεγάλη ευκολία στο Διαδίκτυο. Π.χ. αρκετές υλοποιήσεις του DNS δεν δίνουν μεγάλη σημασία στο πεδίο TTL του DNS.
4. Η δρομολόγηση αιτήσεων με βάση το DNS, στηρίζεται ουσιαστικά μόνο στην γνώση του DNS εξυπηρετητή του πελάτη, καθώς οι ίδιες οι IP διευθύνσεις των πελατών δεν αναμεταδίδονται ανάμεσα στις DNS αιτήσεις. Αυτό είναι προφανές ότι περιορίζει την δυνατότητα του συστήματος δρομολόγησης των αιτήσεων να προσδιορίσει την εγγύτητα ενός πελάτη προς τους αντιπροσώπους.



5. Οι εξυπηρετητές DNS μπορούν να ζητήσουν αλλά και να επιτρέψουν τον αναδρομικό μετασχηματισμό των ονομάτων DNS σε IP διευθύνσεις. Στην περίπτωση αυτή, ο DNS εξυπηρετητής που έχει επιφορτιστεί με την δρομολόγηση των αιτήσεων, θα έρθει σε επαφή μόνο με την IP διεύθυνση που αναδρομικά ζητάει την πληροφορία εκ μέρους του εξυπηρετητή DNS του πελάτη. Όχι μόνο δηλ., δεν θα γνωρίζει την IP του πελάτη, αλλά ούτε καν αυτή του οικείου του DNS εξυπηρετητή.
6. Οι πελάτες που εξυπηρετούνται από τον ίδιο οικείο εξυπηρετητή DNS, θα ανακατευθύνονται όλοι τους προς τον ίδιο αντιπρόσωπο, τουλάχιστον κατά το χρονικό διάστημα μέχρις ότου λήξει ο TTL χρονιστής της αντίστοιχης εγγραφής. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση του συγκεκριμένου αντιπροσώπου, σε περίπτωση «ξαφνικού όχλου» (flash crowd).

Στο επίπεδο μεταφοράς

Με δρομολόγηση των αιτήσεων των πελατών, η οποία γίνεται στο επίπεδο μεταφοράς, μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη και αποδοτικότερη ανακατεύθυνση, αφού γίνεται λεπτομερέστερη επόπτευση των αιτήσεων. Με την προσέγγιση αυτή το σύστημα δρομολόγησης αιτήσεων ελέγχει την πληροφορία που ενυπάρχει στο πρώτο πακέτο της αίτησης ενός πελάτη προκειμένου να λάβει τις αποφάσεις τις σχετικές με την επιλογή του καταλληλότερου αντιπροσώπου. Ο έλεγχος των αιτήσεων των πελατών παρέχει δεδομένα σχετικά με την IP διεύθυνση του πελάτη, πληροφορίες για τα ports που χρησιμοποιεί καθώς και για το πρωτόκολλο επιπέδου 4. Τα συλλεγόμενα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με πολιτικές καθοριζόμενες από τον χρήστη, καθώς και άλλες παραμέτρους του δικτύου για να καθοριστεί ο καταλληλότερος αντιπρόσωπος για την δεδομένη αίτηση του πελάτη.

Οι διαδικασίες που κάνουν δρομολόγηση σε επίπεδο μεταφοράς, σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζονται από δύο αρχές. Η κίνηση ευθείας ροής (forward – flow traffic) από τον πελάτη προς τον νεοεπιλεχθέντα αντιπρόσωπο, θα ρέει διαμέσου του αντιπροσώπου που επιλέχθηκε αρχικά από το DNS. Η κίνηση αντίστροφης ροής (reverse flow traffic) από τον αντιπρόσωπο προς τον πελάτη, η οποία συνήθως μεταφέρει και τις μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων, θα πάρει το «απευθείας» μονοπάτι από τον αντιπρόσωπο στον πελάτη.



Η πάγια καθυστέρηση που συσχετίζεται με την δρομολόγηση αιτήσεων στο επίπεδο μεταφοράς, την κάνει πιο κατάλληλη για μακροχρόνιες συνδέσεις όπως είναι οι μεταφορές δεδομένων του FTP (πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων – file transfer protocol) και του RTSP (πρωτόκολλο μεταφοράς «ρέοντος» περιεχομένου πραγματικού χρόνου – real time streaming protocol) . Πάντως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ανακατευθύνει πελάτες μακριά από υπερφορτωμένους αντιπροσώπους.

Συνήθως, η δρομολόγηση περιεχομένου στο επίπεδο μεταφοράς, συνδυάζεται με τεχνικές που βασίζονται στο DNS, οι οποίες περιγράφηκαν παραπάνω. Εκεί, είδαμε ότι οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNS μετασχηματίζουν τις αιτήσεις των πελατών ,με βάση τις διευθύνσεις των οικείων DNS εξυπηρετητών αυτών. Συνεπώς, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ένα πρώτο βήμα που θα αποφασίζει για ένα αρκούντως κατάλληλο αντιπρόσωπο και στην συνέχεια θα γίνεται πιο επακριβής προσδιορισμός από το σύστημα δρομολόγησης περιεχομένου σε επίπεδο μεταφοράς.

Στο επίπεδο εφαρμογής (εκτός DNS)

Τα συστήματα δρομολόγησης των αιτήσεων των πελατών, τα οποία λειτουργούν στο επίπεδο της εφαρμογής, εξετάζουν τα πακέτα του πελάτη σε βαθύτερο επίπεδο, πέρα από τις επικεφαλίδες του επιπέδου μεταφοράς. Η βαθύτερη εξέταση των πακέτων του πελάτη παρέχει την δυνατότητα πιο ώριμου ελέγχου της δρομολόγησης των αιτήσεων, μέχρι το επίπεδο των ξεχωριστών αντικειμένων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνεται σε πραγματικό χρόνο, τη στιγμή της αίτησης για κάποιο αντικείμενο. Η γνώση της IP διεύθυνσης του πελάτη, σε συνδυασμό με την πλήρη γνώση των αντικειμένων που ζητούνται, επιτρέπει στα συστήματα δρομολόγησης αιτήσεων που λειτουργούν στο επίπεδο εφαρμογής, να παρέχουν καλύτερο έλεγχο στην επιλογή του καταλληλότερου αντιπροσώπου.

Μια πρώτη ομάδα τεχνικών, σε επίπεδο εφαρμογής, λειτουργεί με **επισκόπηση των επικεφαλίδων (header inspection)**, που υπάρχουν στα μηνύματα ορισμένων πρωτοκόλλων. Πρωτόκολλα του επιπέδου εφαρμογής όπως το HTTP, το RTSP και το SSL, παρέχουν οδηγίες στο αρχικό μέρος της σύνδεσης σχετικά με το πώς πρέπει να καθοδηγηθεί η αίτηση του πελάτη. Οι οδηγίες αυτές μπορούν να εξάγονται είτε από το URL του περιεχομένου, είτε από άλλα τμήματα της επικεφαλίδας MIME της αίτησης, όπως είναι τα Cookies.

Ας δούμε λεπτομερέστερα την περίπτωση της δρομολόγησης περιεχομένου με βάση το URL. Ένα URL (uniform resource locator), απαρτίζεται από ένα πρόθεμα, το οποίο υποδεικνύει το είδος του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται, π.χ. <http://>, <ftp://>, <rtsp://> κοκ. Ακολουθεί το όνομα του πόρου, το οποίο βρίσκεται σε μορφή η οποία εξαρτάται και από το είδος του πρωτοκόλλου. Η κατάληξη του URL, προσδιορίζεται από το είδος του αρχείου προς μεταφορά. Σε πολλές περιπτώσεις, η παραπάνω πληροφορία που εξάγεται από το URL, είναι επαρκής για να συγκεκριμενοποιηθεί το περιεχόμενο και να κατευθυνθεί κατάλληλα η αίτηση. Τις περισσότερες φορές μάλιστα, ενδέχεται να αρκεί για την λήψη της απόφασης, να εξεταστεί μόνο το πρόθεμα ή η κατάληξη του URL.

Ένας τρόπος να γίνει η ανακατεύθυνση του πελάτη, είναι με χρήση του κωδικού “**redirect**”(302). Με την μέθοδο αυτή, η αίτηση του πελάτη αρχικά κατευθύνεται σε έναν εικονικό αντιπρόσωπο. Στην συνέχεια, αυτός επιστρέφει έναν κωδικό “**redirect**” ειδικό για κάθε εφαρμογή (όπως είναι ο «302» για το HTTP και το RTSP), για να ανακατευθύνει τον πελάτη στον πραγματικό κόμβο διανομής. Η τεχνική αυτή είναι σχετικά εύκολα υλοποιήσιμη. Το βασικό μειονέκτημά της είναι ότι εισάγει επιπρόσθετη καθυστέρηση για την αποστολή του μηνύματος **redirect** πίσω στον πελάτη.

Μία άλλη τεχνική χρησιμοποιεί τις επικεφαλίδες **MIME** (Multipurpose Internet Mail Extensions), μερικές από τις οποίες είναι οι: **Cookie** , **Language** και **User-Agent**, προκειμένου να επιλεχθεί ο αντιπρόσωπος. Είναι εμφανή τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας μεθόδου.

Τα Cookies χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση ενός πελάτη που επιστρέφει ή μιας συνόδου (session) σε μια ιστοσελίδα. Η δρομολόγηση αιτήσεων που βασίζεται στα cookies , μπορεί να παρέχει διαφοροποίηση της υπηρεσίας περιεχομένου ανάλογα με τον κάθε πελάτη. Η προσέγγιση αυτή λειτουργεί, με την προϋπόθεση ότι ο πελάτης ακολουθεί μια πολιτική αποδοχής των Cookies στο σύστημά του (τα cookies υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να θεωρηθούν ότι παραβιάζουν την ιδιωτικότητα του πελάτη). Επιπρόσθετα, είναι δυνατόν με την μεθοδολογία αυτή, να κατευθυνθεί μια επιμέρους σύνδεση μιας multi-session συνδιαλλαγής, στον ίδιο εξυπηρετητή αντιπρόσωπο, για να επιτευχθεί συνέχεια στον επίπεδο συνόδου (session – level persistence).

Η επικεφαλίδα **language** (γλώσσα), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατευθύνεται η κίνηση σε έναν συγκεκριμένο κόμβο διανομής ανα γλώσσα. Π.χ. ένας πελάτης μπορεί να κατευθύνεται για να λάβει μια μεταγλωττισμένη ταινία , στον αντιπρόσωπο εξυπηρετητή που διαθέτει την συγκεκριμένη γλωσσική έκδοση της ταινίας.



Η επικεφαλίδα user – agent βοηθάει στην αναγνώριση του τύπου του λογισμικού ή και της συσκευής σύνδεσης του πελάτη. Π.χ. ανάλογα με το αν η συσκευή σύνδεσης είναι ένας PC , ένα PDA ή ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να ανακατευθυνθεί στον κατάλληλο αντιπρόσωπο που έχει το εξειδικευμένο περιεχόμενο για να διαχειριστεί την αίτηση.

Μια δεύτερη ομάδα τεχνικών ανακατεύθυνσης περιεχομένου σε επίπεδο εφαρμογής, λειτουργεί με τροποποίηση περιεχομένου (**content modification**). Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν σε έναν πάροχο περιεχομένου να αναλάβει απευθείας έλεγχο πάνω στις αποφάσεις δρομολόγησης αιτήσεων, χωρίς την χρήση ειδικών συσκευών ή υπηρεσιών καταλόγου στο μονοπάτι ανάμεσα στον πελάτη και τον εξυπηρετητή που παρέχει το περιεχόμενο. Κατά βάση, ο πάροχος του περιεχομένου μπορεί να αποστείλει απευθείας στον πελάτη, την διεύθυνση του καλύτερου αντιπροσώπου που θα του παρέχει το περιεχόμενο. Οι αποφάσεις για τον καλύτερο αντιπρόσωπο, μπορούν να ληφθούν είτε για κάθε αντικείμενο ξεχωριστά, είτε βάση ενός συνόλου παραμέτρων. Ο στόχος είναι να γίνει ο μηχανισμός διανομής του περιεχομένου πιο εύκολα κλιμακούμενος και να βελτιωθούν οι επιδόσεις του.

Γενικά, αυτές οι τεχνικές εκμεταλλεύονται αντικείμενα που απαρτίζουν το περιεχόμενο προς διανομή, τα οποία είναι δομημένα με τέτοιο τρόπο εσωτερικά, ώστε να περιέχουν αναφορές σε επιπρόσθετα ενσωματωμένα αντικείμενα. Π.χ. οι περισσότερες ιστοσελίδες, απαρτίζονται από ένα έγγραφο HTML, το οποίο περιέχει τόσο απλό κείμενο, όσο και ενσωματωμένα αντικείμενα όπως είναι εικόνες τύπου GIF ή JPEG. Στα ενσωματωμένα αντικείμενα γίνεται αναφορά, μέσα από HTML εντολές, οι οποίες παρεμβάλλονται στο κείμενο. Οι εντολές αυτές (tags), συνήθως κατευθύνουν τον πελάτη να λάβει τα ενσωματωμένα αντικείμενα από τον εξυπηρετητή του περιεχομένου. Ένας πάροχος περιεχομένου μπορεί να τροποποιήσει τους συνδέσμους αυτούς, προς τα ενσωματωμένα αντικείμενα, ώστε αυτά να λαμβάνονται από τον καταλληλότερο αντιπρόσωπο. Η τεχνική αυτή είναι επίσης γνωστή ως **URL rewriting** (επεξεργασία URLs). Στην συνέχεια αναλύονται οι βασικοί τύποι URL rewriting που χρησιμοποιούνται.

Στην «εκ των προτέρων επεξεργασία URL» (**A – priori URL rewriting**), ένας πάροχος περιεχομένου επεξεργάζεται τα ενσωματωμένα URLs, προτού τοποθετήσει το περιεχόμενο στον εξυπηρετητή πηγής (origin server). Στην περίπτωση αυτή, η επεξεργασία γίνεται είτε χειροκίνητα (ο δύσκολος τρόπος), είτε με την χρήση κάποιου εργαλείου λογισμικού που επεξεργάζεται συντακτικά (parsing) το περιεχόμενο και αντικαθιστά τα ενσωματωμένα URLs. Η εκ των προτέρων επεξεργασία URL, δεν επιτρέπει τον συνυπολογισμό των ιδιαιτεροτήτων του πελάτη για την δρομολόγηση του περιεχομένου. Παρόλα αυτά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την δρομολόγηση αιτήσεων DNS που περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Συγκεκριμένα, κατευθύνει DNS ερωτήματα στον χώρο ονομάτων που ανήκει στην ευθύνη του παρόχου της υπηρεσίας διανομής περιεχομένου. Στην συνέχεια γίνεται δυναμική δρομολόγηση αιτήσεων που λαμβάνει υπόψιν και τις ιδιαιτερότητες του πελάτη, με μεθόδους DNS που περιγράφηκαν παραπάνω.

Στην «κατ’ απαίτηση επεξεργασία URL» (**On – demand URL rewriting**), η επεξεργασία του περιεχομένου γίνεται όταν η αίτηση του πελάτη καταφθάσει στον εξυπηρετητή του περιεχομένου. Την στιγμή αυτή, η ταυτότητα του πελάτη είναι πλέον γνωστή και μπορεί να συνυπολογιστεί στην επεξεργασία των ενσωματωμένων URLs. Πιο συγκεκριμένα, μια αυτοματοποιημένη διαδικασία μπορεί να αποφασίζει, κατ’ απαίτηση, ποιος αντιπρόσωπος θα εξυπηρετούσε τον δεδομένο πελάτη με τον καλύτερο τρόπο. Ακολούθως τα ενσωματωμένα URLs επεξεργάζονται ώστε να κατευθύνουν τον πελάτη να λάβει το κάθε αντικείμενο από τον καλύτερο αντιπρόσωπο για το καθένα ξεχωριστά.

Όπως είναι φυσικό, οι τεχνικές τροποποίησης περιεχομένου αντιμετωπίζουν και αυτές με την σειρά τους κάποια προβλήματα. Αρχικά, είναι εμφανές ότι η πρώτη αίτηση ενός πελάτη για κάποιο συγκεκριμένο περιεχόμενο, πρέπει να γίνει και να εξυπηρετηθεί από τον εξυπηρετητή πηγής. Π.χ. το HTML αρχείο των προηγούμενων παραδειγμάτων, πρέπει αρχικά να ανακτηθεί από τον εξυπηρετητή προέλευσης. Ακολούθως τα υπόλοιπα αντικείμενα, μπορούν να ληφθούν από αντιπροσώπους.

Επιπλέον, περιεχόμενο που τροποποιείται ώστε να συμπεριλαμβάνει συνδέσμους προς αντιπροσώπους αντί για τον εξυπηρετητή πηγής, πρέπει να σημειωθεί ως μη – αντιγράφιμο (non – cacheable) σε αντιπροσώπους. Αυτό συμβαίνει προφανώς γιατί μπορεί να μεταβάλλεται, οπότε η πραγματική τωρινή του κατάσταση μπορεί να διαφέρει από ένα αντίγραφο που δημιουργήθηκε σε παρελθούσα χρονική στιγμή. Επιπλέον, μπορεί τα cached αντίγραφα να περιέχουν συνδέσμους σε αντιπροσώπους που είναι πλέον υπερφορτωμένοι ή και εκτός σύνδεσης! Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι να επιτρέπεται η αντιγραφή του, αλλά με μικρό χρόνο ζωής του αντίγραφου (TTL).

1.6.Μετρήσεις που χρησιμοποιούνται από τους μηχανισμούς δρομολόγησης αιτήσεων

Τα συστήματα δρομολόγησης των αιτήσεων στα δίκτυα διανομής περιεχομένου, χρησιμοποιούν διάφορα είδη μετρήσεων για να καθορίσουν τον καλύτερο αντιπρόσωπο που θα εξυπηρετήσει την αίτηση ενός πελάτη. Σε γενικές γραμμές, οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται, βασίζονται σε μετρήσεις εγγύτητας που γίνονται στο δίκτυο και σε ανατροφοδότηση που λαμβάνεται από τους αντιπροσώπους. Υπάρχει βέβαια η δυνατότητα συνδυασμού πολλαπλών παραμέτρων, τόσο από μετρήσεις εγγύτητας όσο και από ανατροφοδότηση από τους αντιπροσώπους για να ληφθεί η βέλτιστη δυνατή απόφαση.

Οι μετρήσεις εγγύτητας χρησιμοποιούνται από το σύστημα δρομολόγησης των αιτήσεων για να κατευθύνουν τους χρήστες στον «πλησιέστερο» αντιπρόσωπο. Σε ένα σύστημα δρομολόγησης αιτήσεων βασισμένο στο σύστημα DNS (βλέπε και επόμενη παράγραφο), οι μετρήσεις γίνονται στον τοπικό DNS εξυπηρετητή του πελάτη. Πάντως, όταν υπάρχει πρόσβαση του συστήματος δρομολόγησης αιτήσεων του CDN, απευθείας στην IP διεύθυνση του πελάτη, μπορούν να εξαχθούν πιο ακριβείς μετρήσεις εγγύτητας.



Επιπλέον, μετρήσεις εγγύτητας μπορούν να γίνουν ανάμεσα στους εξυπηρετητές αντιπροσώπους και τον πελάτη που καταθέτει τις αιτήσεις για το περιεχόμενο. Σε πολλές περιπτώσεις, οι μετρήσεις εγγύτητας είναι μονόδρομες, υπό την έννοια ότι μετρούν μόνο το ευθύ (forward) ή το αντίστροφο (reverse) μονοπάτι των πακέτων από τον αντιπρόσωπο στον πελάτη ή γενικότερα στην οντότητα που ζητάει το περιεχόμενο. Αυτό έχει σημασία, καθώς πολλά μονοπάτια στο Διαδίκτυο είναι ασύμμετρα. Προκειμένου να αποκτήσει ένα σύνολο από μετρήσεις εγγύτητας, ένα δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε τεχνικές ενεργητικών είτε παθητικών μετρήσεων (active vs passive probing).

Ενεργητική δειγματοληψία (active probing) έχουμε όταν δειγματοληπτούνται παρελθόντες ή πιθανοί μελλοντικοί πελάτες, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές για να προσδιοριστούν μία ή περισσότερες παράμετροι ενός αντιπροσώπου ή ενός συνόλου αντιπροσώπων. Ένα παράδειγμα τεχνικής δειγματοληψίας είναι μια αίτηση ICMP ECHO που αποστέλλεται περιοδικά από κάθε αντιπρόσωπο ή ένα υποσύνολο αντιπροσώπων σε έναν πιθανό μελλοντικό πελάτη. Είναι επόμενο, ότι για να υιοθετηθεί μια προσέγγιση ενεργητικής δειγματοληψίας, θα πρέπει να υπάρχει ένας κατάλογος με τους πιθανούς πελάτες. Αυτός ο κατάλογος μπορεί να δημιουργείται δυναμικά. Π.χ. όταν καταφθάνουν οι αιτήσεις, μπορούν να καταγράφονται οι διευθύνσεις των αιτούντων, προκειμένου να μετρηθούν τα χαρακτηριστικά των συνδέσεών τους σε μελλοντική χρονική στιγμή. Μια άλλη πιθανή λύση είναι είναι η χρήση ενός αλγορίθμου που θα διαιρεί τον χώρο των διευθύνσεων (address space) σε μικρότερα τμήματα και θα επιλέγονται προς δειγματοληψία τυχαίες διευθύνσεις μέσα από αυτά τα τμήματα.

Βεβαίως η τεχνική της ενεργητικής δειγματοληψίας, εμπεριέχει κάποιους περιορισμούς με κυριότερους τους εξής: 1. Οι μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιούνται μόνο περιοδικά 2. Τα firewalls και το πρωτόκολλο NAT δεν επιτρέπουν την δειγματοληψία 3. Οι μηχανισμοί δειγματοληψίας συχνά πυροδοτούν (αναίτιους) συναγερμούς ασφαλείας στα συστήματα ανίχνευσης εισβολέων.

Παθητική δειγματοληψία (*passive probing*) μπορεί να διενεργηθεί όταν ένας πελάτης διενεργεί μεταφορές δεδομένων από η προς έναν αντιπρόσωπο. Χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός *bootstrap* για να κατευθύνει τον πελάτη σε έναν αντιπρόσωπο *bootstrap*. Αφού ο πελάτης συνδεθεί, μετριούνται οι πραγματικές επιδόσεις της μεταφοράς. Τα δεδομένα που συλλέγονται, μεταβιβάζονται στην συνέχεια στον σύστημα δρομολόγησης των αιτήσεων. Ένα παράδειγμα παθητικής δειγματοληψίας, είναι η παρακολούθηση των απώλειών πακέτων (packet loss), από έναν πελάτη σε έναν αντιπρόσωπο, παρακολουθώντας την συμπεριφορά της οντότητας TCP. Οι περιορισμοί της παθητικής δειγματοληψίας συνδέονται άμεσα με τον μηχανισμό του *bootstrap*. Είναι σημαντικό να υπάρχει ένας καλός μηχανισμός, ώστε να μην είναι απαραίτητο να εξετάζεται κάθε ζεύγος αντιπροσώπου – πελάτη για να μπορεί ο τελευταίος να λάβει αποδοτικά το περιεχόμενο.

Μερικές συνήθεις παράμετροι που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις εγγύτητας είναι οι εξής:

- **Καθυστέρηση (Latency):** Μέσω αυτής της παραμέτρου προσδιορίζεται ο αντιπρόσωπος (ή το υποσύνολο των αντιπροσώπων) που χαρακτηρίζεται από την μικρότερη καθυστέρηση σε σχέση με τον πελάτη. Μετρήσεις της καθυστέρησης μπορούν να διεξαχθούν τόσο με ενεργητική όσο και με παθητική δειγματοληψία.
- **Απώλειες πακέτων (Packet loss):** Μια προσέγγιση με παθητική δειγματοληψία μπορεί εύκολα να αποκτήσει πληροφορία για τις απώλειες πακέτων, από την πληροφορία που υπάρχει στους TCP headers αυτών. Με ενεργητική δειγματοληψία, μπορούμε περιοδικά να λαμβάνουμε ανάλογη πληροφορία από τις ίδιες τις εμπλεκόμενες οντότητες.
- **Αριθμός βημάτων (Hop counts):** Ο αριθμός των δρομολογητών από τον αντιπρόσωπο ως τον πελάτη μπορεί να αποτελέσει την προφανέστερη παράμετρο εγγύτητας.
- **Πληροφορία από το πρωτόκολλο BGP (BGP information):** Οι παράμετροι AS PATH και MED των μηνυμάτων BGP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστεί η «απόσταση BGP» για ένα δεδομένο ζευγάρι προθέματος – μήκους. Προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε την πληροφορία από το BGP για μετρήσεις εγγύτητας, πρέπει να προσδιοριστεί για όλες τις τοποθεσίες στις οποίες βρίσκονται οι αντιπρόσωποι.

Όπως προαναφέραμε, το άλλο είδος παραμέτρων που μπορεί να χρησιμοποιήσει το σύστημα δρομολόγησης αιτήσεων, είναι αυτές που λαμβάνει με **ανατροφοδότηση από τους αντιπροσώπους** (*feedback from surrogates*). Την ανατροφοδότηση μπορεί να την παρέχει ο κάθε αντιπρόσωπος ξεχωριστά, αλλά μπορεί και να αποστέλλεται συγκεντρωμένη για κάποιο υποσύνολο των αντιπροσώπων, συγκεντρώνοντας πληροφορία από εξυπηρετητές που βρίσκονται στην ίδια φυσική τοποθεσία ή στην ίδια «γειτονιά» του δικτύου.

Ένας τρόπος να αποκτηθεί η παραπάνω πληροφορία, θα ήταν π.χ. να αποστέλλεται περιοδικά μια HTTP αίτηση σε έναν αντιπρόσωπο και να παρατηρείται η συμπεριφορά του. Τα προβλήματα αυτής της μεθοδολογίας είναι ότι είναι δύσκολο μα αποκτηθεί πληροφορία «πραγματικού χρόνου» (real-time), ενώ η «μη πραγματικού χρόνου» (non real time) πληροφορία που συνήθως αποκτάται, μπορεί να είναι ανακριβής (με την έννοια ότι δεν αντικατοπτρίζει την τωρινή κατάσταση του δικτύου). Επομένως, η πληροφορία ανατροφοδότησης θα πρέπει να αποκτηθεί από πράκτορες (agents) που ενυπάρχουν μόνιμα στους αντιπροσώπους και αποστέλλουν μια ποικιλία παραμέτρων για τους κόμβους τους.

Οι πιο δημοφιλείς παράμετροι που αποτελούν προϊόντα της ανατροφοδότησης από τους εξυπηρετητές – αντιπροσώπους είναι, ο φόρτος CPU του αντιπροσώπου, το φορτίο ή τα χαμένα πακέτα μιας διεπαφής δικτύου του αντιπροσώπου (interface dropped packets), ο αριθμός των συνδέσεων πελατών που εξυπηρετούνται και ο φόρτος εισόδου / εξόδου του αποθηκευτικού μέσου (storage I/O load).

1.7. Τα πλεονεκτήματα των δικτύων διανομής περιεχομένου

Τα δίκτυα διανομής περιεχομένου, προσφέρουν μερικά βασικά πλεονεκτήματα, τα κυριότερα από τα οποία καταγράφονται συγκεντρωτικά, παρακάτω.

Αρχικά, όπως έχει γίνει προφανές από όσα έχουν γραφτεί παραπάνω για την αρχιτεκτονική των δικτύων διανομής περιεχομένου, αυτά προσφέρουν **βελτίωση στις επιδόσεις όσον αφορά την πρόσβαση του χρήστη στο περιεχόμενο**. Κάνοντας “caching” του κατάλληλου περιεχομένου κοντά στον τελικό χρήστη, ο χρόνος απόκρισης του περιεχομένου μπορεί να μειωθεί δραστικά. Η παροχή γρηγορότερης και πιο αξιόπιστης πρόσβασης των τελικών χρηστών (είτε πελατών, είτε υπαλλήλων της επιχείρησης) στο περιεχόμενο, από την μια μεριά βελτιώνει το προφίλ της εταιρείας και από την άλλη γίνεται καλύτερη χρήση των υπόλοιπων πόρων της και αυξάνει την αποδοτικότητα των εργαζομένων της.

Από την άλλη μεριά, γίνεται **αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης**. Για τους ISPs και τους παρόχους δικτυακών υπηρεσιών, η μετατόπιση της κίνησης από τον πυρήνα του δικτύου στα άκρα αυτού, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα. Όταν το περιεχόμενο διανέμεται από εξυπηρετητές τοποθετημένους στα άκρα του δικτύου, απαιτείται μικρότερο εύρος ζώνης στον πυρήνα του δικτύου και αποφεύγονται φαινόμενα συμφόρησης.

Μέσω της δημιουργίας αντιγράφων του περιεχομένου, της εξισορρόπησης του φόρτου εργασίας και της βέλτιστης δρομολόγησης του περιεχομένου, **αυξάνεται η διαθεσιμότητα αυτού και προστατεύονται οι εξυπηρετητές από υπερφόρτωση**. Η «πτώση» εταιρικών ιστοσελίδων σε έκτακτες περιπτώσεις λόγω φαινομένων «ξαφνικού όχλου» (flash crowd), μπορεί να αντιμετωπιστεί με κατάλληλη δρομολόγηση των πελατών από το σύστημα δρομολόγησης των αιτήσεων. Ανάλογα και στα πλαίσια ενός εταιρικού CDN, μπορεί να γίνει βέλτιστη διανομή εγγράφων προς τους υπαλλήλους, χωρίς να υπερφορτώνεται ο κεντρικός εξυπηρετητής.

Επιπλέον, τα δίκτυα διανομής περιεχομένου από την φύση τους, βασίζονται σε κατανεμημένη λογική. Επομένως, **μπορούν σχετικά εύκολα να κλιμακωθούν** κατά το δοκούν μελλοντικά, ώστε να εκπληρώνουν τις ανάγκες απαιτητικών εφαρμογών, όπως είναι το eLearning και εταιρικές συνδιασκέψεις κοκ.

Εκτός των άλλων, όπως θα δειχθεί αναλυτικά και σε επόμενα κεφάλαια, **τα δίκτυα διανομής περιεχομένου είναι μια οικονομικά συμφέρουσα επιλογή σε σχέση με τους κλασικούς τρόπους διανομής περιεχομένου**. Αυτό συμβαίνει, γιατί μια επιχείρηση, αφενός μεν αν επιλέξει την οδό του outsourcing, μπορεί να λάβει υπηρεσίες διανομής περιεχομένου από εταιρείες CDSPs οι οποίες θα έχουν μεγάλη αποδοτικότητα σε σχέση με κλασικές υπηρεσίες φιλοξενίας περιεχομένου, αφετέρου δε, αν επιλέξει να διατηρεί ένα δικό της δίκτυο διανομής περιεχομένου, το προσωπικό IT που θα απαιτείται για την ομαλή λειτουργία της, θα είναι μικρότερο από το αντίστοιχο προσωπικό πριν την εγκατάσταση του CDN. Περισσότερες λεπτομέρειες και μια ενδεικτική αποτίμηση του οικονομικού οφέλους για έναν τυπικό οργανισμό, μπορεί να βρει κάποιος στο [15].

Τέλος, τα δίκτυα διανομής περιεχομένου, **διευκολύνοντας την υλοποίηση μιας πληθώρας επιπρόσθετων υπηρεσιών που σχετίζονται με το περιεχόμενο που λαμβάνει ο τελικός χρήστης**. Λόγου χάριν, μπορεί να γίνει σχετικά εύκολα προσωποποίηση του περιεχομένου που λαμβάνει ο χρήστης, ανάλογα με την γεωγραφική του περιοχή, τα προσωπικά του δεδομένα και μια πληθώρα άλλων στοιχείων. Αυτή η δυνατότητα, παρέχεται από το γεγονός ότι δεν υπάρχει ένας κεντρικός εξυπηρετητής με το περιεχόμενο, αλλά πολλοί και γεωγραφικά διεσπαρμένοι. Έτσι ένας θεατής μια ταινίας σε κάποια χώρα, θα λαμβάνει από τον τοπικό εξυπηρετητή την έκδοση της ταινίας με τους υποτίτλους της γλώσσας του και ένας υπάλληλος στις αποθήκες μιας επιχείρησης, θα έχει πρόσβαση σε μια έκδοση των αναφορών του ERP συστήματος της επιχείρησης που αντιστοιχεί στην θέση του. Επιπλέον, στα πλαίσια εταιρικών CDNs, μπορούν να υλοποιηθούν στρατηγικές που αφορούν την πολιτική του κάθε οργανισμού, όπως φιλτράρισμα του περιεχομένου από ιογενές λογισμικό, αποκοπή του ακατάλληλου περιεχομένου κοκ.

2. Επιχειρηματικά και οικονομικά μοντέλα στην αγορά των δικτύων διανομής περιεχομένου

2.1. Γενικά στοιχεία της αγοράς των CDN και κύριοι παίχτες

Η αγορά για τις υπηρεσίες διανομής περιεχομένου, γνώρισε μια εκρηκτική αύξηση τα τελευταία χρόνια και θα συνεχίσει να μεγαλώνει στο προσεχές μέλλον. Σύμφωνα με αναλύσεις, το Διαδίκτυο εισέρχεται σε μια φάση υπεργιγάντωσης όσον αφορά τα είδη και τις ποσότητες του περιεχομένου που ψηφιοποιείται και το οποίο διατίθεται προς διανομή μέσω αυτού. Η εταιρεία αναλύσεων HTRC Group, υπολόγισε ότι ο τζίρος των εταιρειών που ασχολούνται με τα δίκτυα διανομής περιεχομένου, αυξήθηκε από 97 εκατομμύρια δολάρια το 2000 στα 2,1 δισεκατομμύρια δολάρια το 2003. Το Internet Research Group, υπολόγισε ότι η αγορά της διανομής περιεχομένου, θα έφτανε τα 6 δισεκατομμύρια δολάρια στα τέλη του 2004. Η χρήση των CDNs από τις εταιρείες που διανέμουν περιεχόμενο (παρόχους), αυξήθηκε από 8% το 1999 στο 31% το 2002.

Οι προβλέψεις δείχνουν ότι τα streaming πολυμέσα θα είναι ο επόμενος καθοριστικός παράγοντας ανάπτυξης του Διαδικτύου. Ειδικότερα υπάρχουν, σύμφωνα με την αμερικανική εταιρεία Bancorp Piper Jaffray [13], έξι καταλυτικές παράμετροι που θα καθοδηγήσουν την ανάπτυξη: η απαίτηση για διαδραστικότητα, η πιο αποτελεσματική διαφήμιση, οι εταιρικές μεταδόσεις B2B, η βελτιωμένη διανομή του περιεχομένου, η ουξημένη διαθεσιμότητα του πλούσιου πολυμεσικού περιεχομένου και οι νέες καινοτόμες εφαρμογές. Και στα έξι παραπάνω σημεία, τα δίκτυα διανομής περιεχομένου αναμένεται να παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο.

Από την άλλη μεριά, παρόλη την αναμενόμενη εκτόξευση της αγοράς διανομής περιεχομένου, η πλειοψηφία των παρόχων περιεχομένου σήμερα (πάνω από το 50% αυτών), ακόμα δεν χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες των CDNs για την μετάδοση της πληροφορίας. Ένας σημαντικός λόγος που οι περισσότεροι ιδιοκτήτες μεγάλων ιστοσελίδων, φιλοξενούν οι ίδιοι τις ιστοσελίδες τους και δεν τις αναθέτουν σε έναν CDSP, είναι ότι οι υπηρεσίες διανομής περιεχομένου είναι σχετικά καινούριες και οι περισσότερες εταιρείες δεν γνωρίζουν πολλά σχετικά με αυτές. Επιπρόσθετα, τώρα αρχίζει να εδραιώνεται η αντίληψη της καθημερινής χρήσης του Ιστού από τους πελάτες – χρήστες του Διαδικτύου, ως μέσο λήψης πλούσιων, πολυμεσικών υπηρεσιών οι οποίες απαιτούν σημαντικά υψηλότερα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Τέλος, ακόμα αναπτύσσονται τα τεχνικά και επιχειρηματικά πρότυπα για την λειτουργία και την διασύνδεση ομότιμων δικτύων διανομής περιεχομένου. Όλα τα παραπάνω, υποδεικνύουν ότι υπάρχει αρκετά ελεύθερο πεδίο για τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον γενικότερο χώρο των δικτύων διανομής περιεχομένου.

Σε κάθε νέα τεχνολογική αγορά, στην οποία οι εταιρείες – πωλητές συσσωρεύονται γύρω από μια αξιόλογη ευκαιρία επιχειρηματικότητας, γενικά επέρχεται η σύγχυση καθώς πολλοί προσπαθούν να αποσπάσουν ξεχωριστά κομμάτια της αγορά για τον εαυτό τους. Κάτι ανάλογο έδειξε και μια ανάλυση που έγινε για την αγορά των CDNs [14].

Η αγορά απαρτίζεται κυρίως από κατασκευαστές υλικού (hardware) και λογισμικού (software), όπως και παρόχους υπηρεσίας διανομής περιεχομένου (Content Delivery Service Providers – CDSPs), αλλά και παρόχους «έτοιμων» (off the shelf) λύσεων ιδιωτικών – εταιρικών δικτύων διανομής περιεχομένου σε μεγάλες επιχειρήσεις (Enterprise CDNs). Δεδομένου όμως, ότι οι νέες εφαρμογές είναι αυτές που, όπως είδαμε, θα αποτελέσουν την ατμομηχανή της ανάπτυξης των CDNs, συνήθως τα όρια της αγοράς των CDNs είναι δυσδιάκριτα. Π.χ. η δυνατότητα των CDSPs να διανείμουν νέες εφαρμογές από μόνοι τους, όπως είναι τα streaming πολυμέσα, μπορεί να οδηγήσει κάποιους να εντάξουν τους CDSPs και ως παίχτες της αγοράς των streaming πολυμέσων. Στις επόμενες παραγράφους, γίνεται μια προσπάθεια να περιγραφούν ξεχωριστά τα κυριότερα τμήματα της αγοράς των δικτύων διανομής περιεχομένου, αλλά αυτό δεν σημαίνει τα τμήματα αυτά είναι εντελώς ξεχωριστά. Αντίθετα, επικαλύπτονται σε αρκετά σημεία.

Το υλικό για δίκτυα διανομής περιεχομένου (**CDN Hardware**) περιλαμβάνει δρομολογητές, switches και άλλες συσκευές που έχουν ως πρωταρχική λειτουργία την υλοποίηση δικτύων διανομής περιεχομένου. Οι περισσότερες λύσεις CDN περιλαμβάνουν δρομολογητές ή switches επιπέδου 4-7 για την δρομολόγηση του περιεχομένου. Οι εταιρείες που είχαν αναπτύξει επιχειρηματική δραστηριότητα στην αγορά του caching, εξελίχθηκαν σε δημιουργούς συσκευών για CDNs. Μερικοί ειδικοί θεωρούν πλέον τις συσκευές caching ως commodities, αλλά οι περισσότεροι συμφωνούν ότι οι τεχνολογίες του υλικού είναι πολύ σημαντικές. Οι κατασκευαστές δημιουργούν πλέον συσκευές που με την κατάλληλη υποστήριξη από το λογισμικό, μπορούν και διανέμουν πολυμεσικό περιεχόμενο σε μεγάλο αριθμό χρηστών. Π.χ. οι νεότερες συσκευές caching, μπορούν να διαχειριστούν έως και 20 χιλιάδες ταυτόχρονες ροές από έναν μοναδικό εξυπηρετητή και να εξυπηρετήσουν πάνω από ένα gigabit/sec κίνησης ζωντανού streaming περιεχομένου.

Επειδή υπάρχει μεγάλο πεδίο ελεύθερο στην αγορά των CDNs, έπειτα ότι υπάρχουν σημαντικές ευκαιρίες επιχειρηματικότητας για τους κατασκευαστές συσκευών που χρησιμοποιούνται στα CDNs. Οι πελάτες των εταιρειών αυτού του είδους, είναι οι CDSPs, οι ISPs που θέλουν να επεκτείνουν τις δραστηριότητές τους (και να γίνουν CDSPs), τα μεγάλα δίκτυα που θέλουν να αποκομίσουν λειτουργικά οφέλη και να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα των λειτουργιών των δικτύων τους, καθώς και επιχειρήσεις που φιλοδοξούν να χτίσουν εταιρικά CDNs.

Πάντως είναι σημαντικό για τους κατασκευαστές υλικού, να συμμετέχουν και να ενημερώνονται για της προσπάθειες και τις δραστηριότητες της IETF, στον χώρο της διανομής περιεχομένου, ώστε να χρησιμοποιούν τεχνολογίες που κατοχυρώνονται ως “internet standards”. Σκοπός είναι να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα των προϊόντων τους και να διευκολυνθεί η κατασκευή έτοιμων προς χρήση (“off the shelf”) προϊόντων. Προκειμένου να παρακολουθούν τις γοργές εξελίξεις, οι περισσότεροι κατασκευαστές προϊόντων CDN έχουν ενταχθεί είτε σε μια από τις δύο είτε και στις δύο από τις υπάρχουσες συμμαχίες του χώρου. Οι συμμαχίες αυτές είναι η Content Alliance και η Content Bridge. Και οι δύο συμμαχίες υποστηρίζουν την IETF σαν το φόρουμ της ανάπτυξης της διαλειτουργικότητας μεταξύ των CDNs.

Κύρια στρατηγική επιλογή των εταιριών hardware, είναι να προσφέρουν πιο ολοκληρωμένες λύσεις διανομής περιεχομένου. Για τον λόγο αυτό, συχνά προχωρούν σε εξαγορές, προσπαθώντας να ενδυναμώσουν τα προϊόντα που προσφέρουν(ως υπηρεσίες πλέον) και να διευρύνουν το κομμάτι της αγοράς που τους αντιστοιχεί. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Inktomi, η οποία εξαγόρασε την FastForward Networks, μια εταιρεία που ανέπτυσσε λογισμικό το οποίο χρησιμοποιεί εξειδικευμένες multicast τεχνικές για να υποστηρίζει ζωντανές αναμεταδόσεις πάνω από το Διαδίκτυο. Σκοπός της είναι να αναπτύξει ένα μαζικό δίκτυο διανομής streaming media, το οποίο θα μπορεί να εξυπηρετήσει έως και 7,5 εκατομμύρια ροές ταυτόχρονα. Επίσης, η Inktomi εξαγόρασε τα δικαιώματα της τεχνολογίας χρέωσης και παραγωγής αναφορών της Adero, μιας τεχνολογίας την οποία χρησιμοποιούσαν αρκετές εταιρίες παροχής υπηρεσιών CDN, όπως η Exodus, η Digital Island και η Mirror Image.

Ανάμεσα στις πολλές εταιρείες που ανήκουν στο κομμάτι της αγοράς που αφορά το υλικό, είναι ενδεικτικά η Cisco, η Nortel, η IBM, η Fujitsu / Siemens, η NEC και η Hitachi, η Infolibria, η CacheFlow, η Inktomi και η Novell.

Το λογισμικό για τα δίκτυα διανομής περιεχομένου (CDN Software) έχει ως γενική αρχή σχεδιασμού, την ανεξαρτησία από το λειτουργικό σύστημα της συσκευής στην οποία θα κληθεί να λειτουργήσει. Ως λογισμικό των δικτύων διανομής περιεχομένου, θεωρείται αυτό που ασχολείται με την σηματοδοσία του overlay δικτύου, την δρομολόγηση και διανομή του περιεχομένου, την χρέωση, το streaming και το caching. Όπως προαναφέραμε, τα όρια σε μια τόσο νέα αγορά είναι δυσδιάκριτα. Έτσι οι περισσότερες εταιρείες που κατασκευάζουν υλικό για δίκτυα διανομής περιεχομένου, συνήθως δραστηριοποιούνται και στην ανάπτυξη λογισμικού, προσπαθώντας να προσφέρουν πιο ολοκληρωμένες λύσεις. Ενδεικτικά παραδείγματα εταιρειών που δραστηριοποιούνται στον χώρο του λογισμικού για CDNs είναι η Cisco, η Inktomi, η Volera, η Infolibria, η ActiVia και η Weema.

Παγκόσμια Αγορά λογισμικού / υλικού CDN (πηγή: HTRC Group)			
2000	2001	2002	2003
\$101M	\$246M	\$436M	\$749M

Σχήμα 4: Παγκόσμια Αγορά λογισμικού / υλικού συσχετιζόμενου με CDN

Οι πάροχοι υπηρεσιών δικτύου διανομής περιεχομένου (Content Delivery Networks Service Providers – CDSPs), παρέχουν υπηρεσίες διαχείρισης και ποιότητας υπηρεσίας σε μεταφορές περιεχομένου, που προηγουμένως στην πλειοψηφία τους απολάμβαναν υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας. Γνωστές εταιρείες αυτής της επιχειρηματικής δραστηριότητας, είναι οι Akamai, Adero, Cidera, Digital Island, InterNAP, epicRealm, Mirror Image και Speedera. Επιδίωξη των εταιριών αυτών, είναι να εξυπηρετήσουν την αυξανόμενη απαίτηση των πελατών τους (παρόχων περιεχομένου) για διανομή νέων τύπων περιεχομένου, με την απαίτηση των υψηλότερων επιπέδων υπηρεσίας στους τελικούς χρήστες. Αυτή η τάση, αντιπροσωπεύει μια αναδυόμενη ευκαιρία για τους CDSPs οι οποίοι αν ανταποκριθούν στην πρόκληση, θα αποκτήσουν τον έλεγχο της διανομής περιεχομένου στο Διαδίκτυο και θα εδραιώσουν σημαντικές πηγές εσόδων.

Παγκόσμια Αγορά Υπηρεσιών CDN (πηγή: HTRC Group)			
2000	2001	2002	2003
\$97M	\$462M	\$1063M	\$2165M

Σχήμα 5: Παγκόσμια Αγορά Υπηρεσιών CDN

Οι CDSPs έχουν εγκαταστήσει δίκτυα από εξυπηρετητές αντιπροσώπους, οι οποίοι υποστηρίζουν απαιτητικές εφαρμογές, όπως είναι τα streaming πολυμέσα. Οι CDSPs, στην συνέχεια πωλούν τις υπηρεσίες τους σε παρόχους περιεχομένου ή παρόχους υπηρεσιών Διαδικτύου (ISPs), συχνά και στην βάση της διανομής περιεχομένου που αφορά ένα συγκεκριμένο γεγονός, π.χ. διαφημιστική καμπάνια ενός προϊόντος (per event basis). Γεγονότα όπως συνέδρια, σεμινάρια ακόμα και συναυλίες θα διανέμονται μέσω του Διαδικτύου με ποιότητα παρόμοια με αυτή της σημερινής τηλεόρασης. Πέρα από την επιθετική πολιτική ανάπτυξης των δικών τους δικτύων, πολλοί CDSPs έχουν συνασπιστεί με ISPs και εταιρίες δορυφορικής μεταφοράς δεδομένων, για να αντεπεξέλθουν στην αυξανόμενη ζήτηση.

Πρωτοπόρος στον χώρο αυτό, ήταν η εταιρεία Akamai, η οποία έχει οικοδομήσει ένα παγκόσμιο δίκτυο διανομής περιεχομένου, το οποίο χαρακτηρίζεται από τον μεγαλύτερο αριθμό εξυπηρετητών αντιπροσώπων στην αγορά. Συγκεκριμένα, στις αρχές του 2004 η Akamai κατείχε μερίδιο της τάξεως του 80% της αγοράς των CDSPs και εξυπηρετούσε το 15% της συνολικής κίνησης στο Διαδίκτυο! Αυτό το πετυχαίνει, έχοντας εγκαταστήσει (στις αρχές του 2004), 14.434 εξυπηρετητές σε 1.044 δίκτυα, σε 69 χώρες. Η λύση που σχεδίασε αρχικά η εταιρεία, αποσκοπούσε στην επιτάχυνση της διανομής σχετικά απλού περιεχομένου, όπως τα γραφικά μιας συνηθισμένης ιστοσελίδας. Σήμερα όμως, το σύστημα της Akamai έχει εξελιχθεί και υποστηρίζει πολυμεσικό περιεχόμενο και διαθέτει υποσυστήματα συλλογής στατιστικών και διαχείρισης της κίνησης. Τα κέρδη της για το πρώτο τρίμηνο 2004 ήταν \$48.4 εκατομμύρια, παρουσιάζοντας 7% αύξηση σε σχέση με το 2003.

Η Akamai χρησιμοποιεί τόσο επίγειες γραμμές, όσο και δορυφόρους για την διανομή του streaming περιεχομένου. Πρόσφατα, επέκτεινε τις επιχειρηματικές της σχέσεις με δύο εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον χώρο του δορυφορικού Διαδικτύου. Η συνεργασίες αυτές με την Cidera και την Local Cyberstar αποσκοπούν στην ταχύτατη μετάδοση Διαδικτυακού περιεχομένου που απαιτεί υψηλές ταχύτητες, απευθείας στους εξυπηρετητές αντιπροσώπους. Οι δορυφορικές εταιρείες θα μεταδίδουν το περιεχόμενο αυτό απευθείας στα άκρα του Διαδικτύου, όπου και πιθανόν θα αποθηκεύεται στους τοπικούς εξυπηρετητές της Akamai.

Οι δορυφόροι, αντιπροσωπεύουν πιθανότατα την καλύτερη τεχνολογία για την διανομή υψηλής ποιότητας video και ήχου σε ενδοεταιρικό πλαίσιο αλλά και σε κοινούς καταναλωτές. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δορυφορικές ζεύξεις βελτιώνουν την ποιότητα της υπηρεσίας ευρυζωνικής διανομής περιεχομένου, αποφεύγοντας τα επίγεια backbone δίκτυα και τους συμφορημένους δρομολογητές αυτών.



Οι πάροχοι δορυφορικών υπηρεσιών, παίρνουν το περιεχόμενο από τον εξυπηρετητή προέλευσης του περιεχομένου (origin server) και το μεταβιβάζουν απευθείας στους ISPs ή σε άλλες οντότητες που είναι διασυνδεδεμένες στα ανα περιοχή τοπικά δίκτυα. Παρόλο που η μεταφορά δεδομένων διαμέσου δορυφόρων είναι απαγορευτικά ακριβή για διανομή από σημείο προς σημείο (point to point), αποτελεί εξαιρετική επιλογή για διανομή multicast (από ένα προς πολλά σημεία, point to multicast). Μια έρευνα που έγινε από την GE Americom, έδειξε ότι οι δορυφόροι είναι περισσότερο συμφέρουσα επιλογή από άποψη κόστους σε σύγκριση με τα επίγεια backbone δίκτυα, εφόσον το περιεχόμενο πρέπει να γίνει broadcast σε παραπάνω από 31 προορισμούς. Ήδη μεγάλες εταιρείες παροχής δορυφορικών υπηρεσιών, όπως η GE American Communications, η Local Cyberstar και η PanAmSat έχουν εκκινήσει επιχειρηματικές δραστηριότητες που αφορούν στην διανομή streaming πολυμέσων μέσω δορυφόρου.

Όπως συμβαίνει και με τα μεγάλα backbone δίκτυα, οι πάροχοι δορυφορικών υπηρεσιών χρειάζεται να συνάψουν συμμαχίες με άλλους οργανισμούς και στα δύο άκρα της δικιάς τους υποδομής. Τα μετέπειτα δορυφορικά σήματα, πρέπει να παραλαμβάνονται από τα άκρα κάποιων τοπικών δικτύων και στην συνέχεια να μεταδίδονται προς του πελάτες. Οι ISPs ενδεχομένως να είναι από τους πιο σημαντικούς εταίρους που θα βοηθήσουν τους πάροχους δορυφορικών υπηρεσιών να διανείμουν τα δεδομένα απευθείας στους πελάτες τους. Από την άλλη μεριά και οι ISPs θα ωφεληθούν από τέτοιες συνεργασίες, αφού προσφέρουν ευρυζωνικές υπηρεσίες πολύ καλύτερης ποιότητας, με πιο συνεπείς δορυφορικές ροές video και ήχου.

Διαμόρφωση / Προσωποποίηση περιεχομένου	Interwoven, ATG, Broadvision, Documentum, Open Market, Vignette
Streaming	Akamai, Digital Island, Ibeam, Infolibria, Inktomi
Υπηρεσίες caching περιεχομένου	CacheFlow, Cisco, Inktomi, Infolibria, Novell , Persistence
Υπηρεσίες διανομής περιεχομένου	Akamai, Digital Island, InterNAP Network Services, Epicrealm, MirrorImage, Speedera
Υπηρεσίες εξισορόπησης φόρτου εργασίας	Cisco, F5 Networks
Εργαλεία παρακολούθησης και ανάλυσης κίνησης	Keynote Systems, Reasonate, Radview
Αποθήκευση / φιλοξενία περιεχομένου	AboveNet, Epoch, Exodus
Πάροχοι δορυφορικών υπηρεσιών	Cidera, Edgix, Ibeam, Loral Cyberstar, PanAmSat, Orblynx, GE Americom

Σχήμα 6: «Χάρτης» των εταιρειών που παρέχουν υπηρεσίες σχετικές με CDNs

2.2. Τρόποι / Μοντέλα χρέωσης υπηρεσιών CDN

Ως μια νέα σχετικά αγορά, η αγορά των υπηρεσιών διανομής περιεχομένου δεν έχει καταλήξει σε κάποιο επικρατέστερο οικονομικό μοντέλο, το οποίο να έχει γίνει το de facto πρότυπο του χώρου. Η ανάγκη ευελιξίας στην χρέωση του περιεχομένου και στις οικονομικές σχέσεις ανάμεσα στους κυριότερους παίχτες της αγοράς, αποκτά διαρκώς αυξανόμενη σημασία καθώς η αγορά αναπτύσσεται.

Καταρχήν, όσον αφορά την οικονομική σχέση παρόχων/παραγωγών περιεχομένου – δικτύου διανομής περιεχομένου, ως επί το πλείστον ο πρώτος πληρώνει το δεύτερο, προκειμένου το περιεχόμενό του να διανέμεται πιο αποδοτικά στους τελικούς χρήστες. Στην περίπτωση αυτή, ο τελικός χρήστης πληρώνει με την σειρά του τον πάροχο του περιεχομένου για να αποκτήσει πρόσβαση στα δεδομένα. Υπάρχει όμως και το λιγότερο συνηθισμένο μοντέλο, κατά το οποίο το δίκτυο διανομής περιεχομένου θέλοντας να προσφέρει πιο πλούσιες υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες του, πληρώνει τους παρόχους του περιεχομένου, για να πάρει την άδεια διανομής του περιεχομένου μέσω του δικτύου και να κάνει πιο ελκυστική την υπηρεσία στους τελικούς χρήστες. Στην περίπτωση αυτή, ο τελικός χρήστης αποτελεί πελάτη του δίκτυου διανομής περιεχομένου και πληρώνει το δίκτυο διανομής περιεχομένου για την υπηρεσία που λαμβάνει. Συνήθως το μοντέλο αυτό, ακολουθείται από δίκτυα διανομής περιεχομένου, που είτε αποτελούν τα ίδια ISPs (εκτός από CDNs), είτε έχουν συνάψει εμπορικές συμφωνίες συνεργασίας με ISPs για να αποκτήσουν πρόσβαση στους τελικούς χρήστες - πελάτες.

Όσον αφορά την οικονομική σχέση δικτύου διανομής περιεχομένου – ISPs, συνηθέστερα το CDN πληρώνει αρκετούς ISPs για να τοποθετήσει εξυπηρετητές αντιπροσώπους στα δίκτυα αυτών, ώστε να μπορεί να γίνει διανομή του περιεχομένου σε ευρύ γεωγραφικά κοινό. Και εδώ υπάρχει το αντίστροφο, αλλά πολύ λιγότερα συνηθισμένο μοντέλο κατά το οποίο ένας ISP για να εμπλουτίσει τις υπηρεσίες που προσφέρει στους συνδρομητές του, πληρώνει ένα δίκτυο διανομής περιεχομένου για να αποκτήσει τις ανάλογες άδειες διανομής.

Σχεδόν πάντα, το δίκτυο διανομής περιεχομένου, πληρώνει τα μεγάλα επίγεια backbone δίκτυα (IBPs) ή τις δορυφορικές εταιρείες, προκειμένου να πετύχει γρήγορη διανομή του περιεχομένου από τους εξυπηρετητές προέλευσης στους αντιπροσώπους. Βέβαια και σε αυτή την σχέση, τίποτα δεν είναι απόλυτο, καθώς οι εξαγορές και οι συγχωνεύσεις εταιρειών που δραστηριοποιούνται σε διαφορετικούς τομείς που άπτονται του αντικειμένου της διανομής περιεχομένου, είναι συχνό φαινόμενο.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ούτε καν η σχέση δικτύου διανομής περιεχομένου – τελικού χρήστη δεν είναι απόλυτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ορισμένα p2p δίκτυα διανομής περιεχομένου (όπως το Torrent [16]), παρέχουν κίνητρα (που δεν είναι βεβαίως χρηματικά ποσά, αλλά ταχύτερη πρόσβαση στις υπηρεσίες του δικτύου διανομής περιεχομένου) στους χρήστες οι οποίοι παρέχουν κάποιες διευκολύνσεις στο δίκτυο διανομής περιεχομένου (π.χ. λειτουργούν και αυτοί για κάποιο χρονικό διάστημα ως κόμβος – αντιπρόσωπος για το περιεχόμενο το οποίο έχουν ήδη κατεβάσει).

Η προφανής επιλογή όσον αφορά την χρέωση στις παραπάνω οικονομικές σχέσεις, είναι η χρέωση των παρόχων υπηρεσιών CDNs από τους IBPs, τις δορυφορικές εταιρείες και τους ISPs, καθώς και των παρόχων περιεχομένου από τα CDNs ανάλογα με το μέγιστο εύρος ζώνης που δεσμεύεται ανά περίπτωση. Π.χ. η Akamai, ο μεγαλύτερος CDSP, χρεώνει στους πελάτες της τις υπηρεσίες της ανά megabit και ανά δευτερόλεπτο χρήσης.

Παρόλα αυτά, καθώς οι υπηρεσίες διανομής περιεχομένου αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία και ωριμάζουν, αναμένεται να εφαρμοστούν συνθετότερα μοντέλα χρέωσης προς τους τελικούς χρήστες ή τους παρόχους περιεχομένου, όπως η χρέωση με βάση την αξία του περιεχομένου και όχι την ποσότητα των δεδομένων (value/content based charging). Σύμφωνα με τα μοντέλα αυτά, η χρέωση δεν θα είναι η ίδια για τις ίδιες ποσότητες δεδομένων για την ίδια χρονική περίοδο χρήσης της υπηρεσίας του CDN, αλλά θα ποικίλει ανάλογα με το ίδιο το περιεχόμενο. Π.χ. θα υπάρχει διαφορετική χρέωση ανάμεσα σε μια ταινία πρώτης προβολής και σε μια παλαιότερη ταινία της ίδιας διάρκειας.

Δύο άλλα μοντέλα χρέωσης που εμφανίζονται και στις υπηρεσίες CDN, είναι η χρέωση εκ των προτέρων (pre – paid service) ή εκ των υστέρων (post – paid). Στην πρώτη περίπτωση, κάποιος πάροχος περιεχομένου ή ένας τελικός χρήστης πληρώνει βάση συμβολαίου μια σταθερή τιμή (flat rate) για τις υπηρεσίες του δικτύου διανομής, ανεξάρτητα με την ποσότητα του περιεχομένου που διακινείται ανάμεσα σε αυτόν και το CDN. Π.χ. μια εταιρεία πληρώνει ένα σταθερό ποσό για την διοχέτευση της streaming video διαφημιστικής της καμπάνιας μέσω του CDN ή ένας συνδρομητής πληρώνει ένα σταθερό ποσό τον μήνα για να αποκτά πρόσβαση σε απεριόριστο αριθμό ταινιών. Στην εκ των υστέρων χρέωση, με κατάλληλα εργαλεία παρακολούθησης και καταγραφής της κίνησης, ο χρήστης των υπηρεσιών του CDN χρεώνεται εκ των υστέρων (λαμβάνει λογαριασμό) ανάλογα με την χρήση που έκανε.

Κάποιες επιπλέον παράμετροι με βάση τις οποίες μπορεί να γίνεται η χρέωση (πέραν του μέγιστου καταναλισκόμενου εύρους ζώνης), είναι ενδεικτικά οι εξής: ο αριθμός των σελίδων / hits που προσπελάστηκαν, η χρονική διάρκεια χρήσης, τα IP πακέτα, το είδος του περιεχομένου, ο αριθμός των συνδιαλλαγών, η λειτουργικότητα των εφαρμογών κοκ.

2.3. Σύγκριση της υπηρεσίας διανομής περιεχομένου με την υπηρεσία του caching

Τα δίκτυα διανομής περιεχομένου και τα συστήματα caching είναι διακριτές και συμπληρωματικές λύσεις για την διανομή του περιεχομένου. Παρότι δηλ. οι υπηρεσίες αυτές, αρχικά θεωρήθηκαν ανταγωνιστικές, οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον χώρο του caching και οι CDSPs, έχουν συνάψει συμμαχίες για να ωφεληθούν αμοιβαία από τα πλεονεκτήματα του καθενός. Είναι άλλωστε σύνηθες φαινόμενο, εταιρείες που δραστηριοποιούνταν παλιότερα στον χώρο του caching, να προσφέρουν τώρα και υπηρεσίες δικτύων διανομής περιεχομένου.

Οι υπηρεσίες τύπου caching είναι ο «προάγγελος» των δικτύων διανομής περιεχομένου. Μια υπηρεσία caching παρέχει την βασική λειτουργικότητα της αντιγραφής δημοφιλούς περιεχομένου από έναν εξυπηρετητή – προέλευσης σε έναν «τοπικό» εξυπηρετητή, έτσι ώστε να προσπελαύνεται ταχύτερα. Για να το πούμε πιο απλά, οι υπηρεσίες caching «μικραίνουν» την απόσταση ανάμεσα στον χρήστη και το δημοφιλές περιεχόμενο που ζητείται συχνά.

Από την άλλη μεριά, τα δίκτυα διανομής περιεχομένου είναι δίκτυα από εξυπηρετητές που κάνουν caching, διασυνδεδεμένων σε ένα εικονικό ή πραγματικό δίκτυο, οι οποίοι συνεργάζονται ως ένα σύστημα. Επιπλέον, τα δίκτυα διανομής περιεχομένου προσθέτουν ένα επίπεδο λειτουργικότητας και προσφέρουν προηγμένες εφαρμογές, όπως είναι τα streaming πολυμέσα, η δρομολόγηση των δεδομένων, η προσωποποίηση του περιεχομένου, ο συγχρονισμός με τον εξυπηρετητή προέλευσης και ο καταμερισμός του φόρτου εργασίας.

Μια από τις σημαντικότερες βελτιώσεις σε σχέση με τα συστήματα caching, είναι ότι τα δίκτυα διανομής περιεχομένου, διατηρούν το περιεχόμενο «φρέσκο». Συνήθως, οι υπηρεσίες caching είναι παθητικές. Όταν ένας χρήστης ζητήσει κάποια πληροφορία, η υπηρεσία caching ελέγχει την «φρεσκάδα» της πληροφορίας και ανακτά ενημερωμένη έκδοση αυτής, μόνο αν έχει διαφοροποιηθεί από την τελευταία φορά που αποθηκεύτηκε τοπικά. Εναλλακτικά, οι υπηρεσίες που χαρακτηρίζονται ως ενεργό caching, εξάγουν με κάποιες μεθόδους συμπέρασμα για τον αναμενόμενο χρόνο ζωής του περιεχομένου, συνήθως βασιζόμενες στο χρονικό διάστημα που αυτό βρίσκεται στον τοπικό εξυπηρετητή και στην συχνότητα με την οποία διαφοροποιήθηκε στο διάστημα αυτό. Με την λήξη λοιπόν του χρονιστή «χρόνος ζωής», ενημερώνουν την έκδοση του περιεχομένου στην cache.

Όπως είδαμε παραπάνω, τα δίκτυα διανομής περιεχομένου, ενεργητικά, τοποθετούν το περιεχόμενο στους τοπικούς εξυπηρετητές, σύμφωνα με μια λογική push. «Σπρώχνοντας» το περιεχόμενο στους τοπικούς εξυπηρετητές κοντά στον χρήστη, σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα, εξασφαλίζουν ότι το περιεχόμενο είναι πάντα «φρέσκο» και ενημερωμένο. Το σύστημα διαχείρισης του δικτύου ακολουθώντας διάφορες μεθόδους που έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο της αρχιτεκτονικής των CDNs, παρέχει μια λίστα των στοιχείων που πρέπει να αντιγραφούν και σε ποιους εξυπηρετητές αντιπροσώπους. Στην συνέχεια το σύστημα διανομής του δικτύου, αντιγράφει το εν λόγω περιεχόμενο στα άκρα του CDN, που μπορεί να είναι είτε εξυπηρετητές διασκορπισμένοι ανά την υφήλιο, είτε εξυπηρετητές τοποθετημένοι στα απομακρυσμένα παραρτήματα μιας εταιρείας.

2.4. Σύγκριση διαμοιρασμένων CDN με CDN αποκλειστικής χρήσης

Τα CDNs, συνήθως αναπτύσσονται είτε ως υπηρεσία σε ένα δημόσιο δίκτυο ή οικοδομούνται σαν κομμάτι μιας υπάρχουσας υποδομής σε ένα ιδιωτικό δίκτυο.



Οι πάροχοι υπηρεσίας διανομής περιεχομένου (Content Delivery Service Providers – CDSPs), όπως είναι η Akamai και η Mirror Image, δομούν οικουμενικά δίκτυα με πολλά σημεία παρουσίας τους (points of presence – POPs) τα οποία εμπεριέχουν συσκευές διανομής περιεχομένου και δρομολόγησης αιτήσεων. Οι εταιρείες αυτές, παρέχουν μια υπηρεσία που επιτρέπει στους παρόχους περιεχομένου να χρησιμοποιήσουν την υποδομή αυτή για την διανομή του περιεχομένου τους (αυτή είναι η κύρια ιδέα των διαμοιρασμένων – shared CDNs). Η επιλογή του outsourcing της διανομής του περιεχομένου από τους CDSPs, δίνει στους παρόχους του περιεχομένου την δυνατότητα να εκμεταλλευθούν τις οικονομίες κλίμακας των CDSPs. Αυτό προφανώς συμβαίνει, γιατί το κόστος της ανάπτυξης και της παγκόσμιας εξάπλωσης ενός δικτύου διανομής περιεχομένου, το οποίο θα ήταν αβάσταχτο προκειμένου να υπάρχει πρόσβαση σε μια ευρεία πελατειακή βάση, το έχει αναλάβει ο CDSP. Συνήθως, οι εμπορικές αυτές υπηρεσίες, χρησιμοποιούνται για την διανομή «δημοφιλούς» και μεγάλης ποσότητας περιεχομένου στο ευρύ κοινό.

Εντούτοις, δεν είναι όλο το περιεχόμενο προς διανομή, δημόσιο. Στην πραγματικότητα, οι περισσότερες έρευνες δείχνουν ότι έως και το 90% της πληροφορίας που ανήκει σε μια επιχείρηση, βρίσκεται «πίσω» από ένα εταιρικό firewall σε ένα ιδιωτικό περιβάλλον. Ως εκ τούτου, πολλές επιχειρήσεις επιλέγουν να οικοδομήσουν ένα δίκτυο διανομής περιεχομένου αποκλειστικής χρήσης (dedicated CDN), το οποίο προορίζεται προς χρήση ειδικά από πελάτες που βρίσκονται στην «μέσα» μεριά του firewall και οι οποίοι καταναλώνουν εταιρικό περιεχόμενο. Η γενεσιοναργός αιτία ανάπτυξης και αυτών των CDNs είναι παρόμοια: το να βελτιωθεί η απόδοση και να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της διανομής του περιεχομένου, με τις επιπρόσθετες απαιτήσεις για ασφάλεια και μεγάλη λεπτομέρεια στον τρόπο διανομής του περιεχομένου, οι οποίες υπάρχουν στην περίπτωση αυτή.

Διαμοιρασμένα Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (Shared CDNs)

Τα σημερινά «εμπορικά» δίκτυα διανομής περιεχομένου, τυπικά παρέχουν υπηρεσία διανομής για απλή κίνηση που προέρχεται κυρίως από τον παγκόσμιο ιστό (http, ftp, κλπ.), παρόλο που μερικά υποστηρίζουν και υπηρεσία διανομής streaming media και secure http (HTTPS).

Για το μεν παραδοσιακό διαδικτυακό περιεχόμενο, οι CDSPs καταμετρούν το συνολικό άθροισμα του εύρους ζώνης που διανέμουν σε κάθε στιγμή για κάθε πελάτη τους και στην συνέχεια χρεώνουν σύμφωνα με **την χρήση**, (usage based charging). Για το streaming περιεχόμενο, οι πελάτες συνήθως χρεώνονται ανάλογα με τον περιεχόμενο που διανέμεται (χρονική διάρκεια, μέγεθος περιεχομένου κοκ).

Σε γενικές γραμμές, τα δίκτυα των CDSPs διανέμουν το περιεχόμενο στους εξυπηρετητές - αντιπροσώπους, με την χρήση «μυστικών» αλγορίθμων αποκλειστικής εκμετάλλευσης. Σε αρκετές περιπτώσεις, όπως είδαμε και σε προηγούμενη παράγραφο, οι υπηρεσίες αυτές απαιτούν από τον πελάτη να προσθέσει χαρακτηριστικές ετικέτες (tags) στο περιεχόμενο προς διανομή. Οι ετικέτες αυτές παρέχουν πληροφορία, η οποία αξιολογείται από την υποδομή του CDN και χρησιμοποιείται για αναγνώριση του περιεχομένου, λήψη αποφάσεων δρομολόγησης του περιεχομένου, αλλά και καταγραφής της διαδικασίας διανομής αυτού. Μυστικοί και ιδιωτικοί είναι και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση των αιτήσεων των τελικών χρηστών για την λήψη του περιεχομένου.

Η υποδομή των CDSPs σχεδιάστηκε με πρώτιστο στόχο την διανομή περιεχομένου στο Διαδίκτυο. Προκειμένου να εκμεταλλευθούν τις οικονομίες κλίμακας που απαιτούνται για να λειτουργήσει αποδοτικά μια τέτοια τεράστια υποδομή, οι CDSPs παρέχουν διαμοιρασμένη υπηρεσία. Η έννοια αυτού, είναι ότι το περιεχόμενο πολλών πελατών συνυπάρχει στον ίδιο εξυπηρετητή και σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, ο εξυπηρετητής αυτός είναι προσβάσιμος από το ελεύθερο Διαδίκτυο. Το αποτέλεσμα είναι πολλές επιχειρήσεις να μην νιώθουν άνετα με την αποθήκευση «ευαίσθητου» περιεχομένου σε μια συσκευή, την οποία διαχειρίζεται κάποια τρίτη οντότητα, (ο CDSP), και την οποία διαμοιράζονται με πολλές άλλες επιχειρήσεις. Επιπλέον, επειδή η υποδομή διαμοιράζεται ανάμεσα στους πελάτες του CDSP, οι πάροχοι του περιεχομένου δεν μπορούν συνήθως να ελέγχουν την προ-τοποθέτηση του περιεχομένου στους αντιπροσώπους (με μια λογική push ή pull), αλλά και την απόδοση διαφορετικών προτεραιοτήτων στο περιεχόμενο. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την δυνατότητα των δημιουργών του περιεχομένου, να εξασφαλίσουν κατάλληλη ποιότητα υπηρεσίας στον τελικό χρήστη.

Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου Αποκλειστικής Χρήσης (Dedicated / Enterprise CDNs)

Τα δίκτυα διανομής περιεχομένου αποκλειστικής χρήσης (ή «ιδιωτικά» εταιρικά δίκτυα διανομής περιεχομένου), αναπτύσσονται ειδικά για μια συγκεκριμένη επιχείρηση. Μπορούν να αποτελούν εξολοκλήρου ιδιοκτησία και να τελούν υπό την πλήρη διαχείριση της εν λόγω επιχείρησης ή να γίνεται outsourcing της διαχείρισης από έναν πάροχο διαχειριστικής υπηρεσίας CDN, όπως είναι η Exodus. Ο εξοπλισμός αυτών των δικτύων, συνήθως εγκαθίσταται στα γραφεία της εταιρείας ή σε έναν πάροχο υπηρεσίας φιλοξενίας εξυπηρετητών όπως είναι οι Spirnt, Exodus, UUNET κλπ. ή και με συνδυασμό των δύο προηγούμενων λύσεων.

Τα ιδιωτικά δίκτυα διανομής περιεχομένου, συχνά παρέχουν επιπλέον υπηρεσίες από τα διαμοιρασμένα δίκτυα που είδαμε παραπάνω. Εκτός δηλαδή από την διανομή και την δρομολόγηση του περιεχομένου, παρέχουν λειτουργίες όπως: η φιλοξενία πολλών διαφορετικών τύπων περιεχομένου, πέραν των κλασικών που συναντάμε στον παγκόσμιο ιστό, η δυνατότητα δημιουργίας και επιβολής πολιτικών διαχείρισης του περιεχομένου καθώς και η παροχή ελέγχου στην πρόσβαση και αυθεντικοποίηση χρηστών για ασφαλή διανομή κωδικοποιημένου περιεχομένου.

Ενώ η βασική ιδέα και τρόπος λειτουργίας ενός ιδιωτικού CDN είναι παρόμοια με τα αντίστοιχα ενός διαμοιρασμένου, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον τρόπο που διανέμεται και δρομολογείται το περιεχόμενο. Σε ένα ιδιωτικό CDN, μια επιχείρηση μπορεί να ελέγχει πώς και πότε διανέμεται το περιεχόμενο στους αντιπροσώπους, ορίζοντας τις κατάλληλες πολιτικές (content policies). Για παράδειγμα, η υπηρεσία cIQ Director της εταιρείας CacheFlow, επιτρέπει στους ιδιοκτήτες του περιεχομένου να το διανέμουν σε ώρες που δεν θεωρούνται ώρες αιχμής, ώστε η διανομή να μην δυσχεραίνει την υπόλοιπη κίνηση στο δίκτυο. Επιπρόσθετα, οι διαχειριστές των εταιρικών CDNs, μπορούν να ορίζουν πολιτικές που υποδεικνύουν ποιοι χρήστες αποκτούν δυνατότητα προσπέλασης του περιεχομένου, ακόμα και τι ποιότητα υπηρεσίας θα πρέπει να επιδιώκεται για δεδομένο περιεχόμενο ή δεδομένους χρήστες / ομάδες χρηστών.

Από την άλλη μεριά, ενώ τα διαμοιρασμένα δίκτυα διανομής περιεχομένου κατά κανόνα υπαγορεύουν την μέθοδο της δρομολόγησης των αιτήσεων που ακολουθείται, τα ιδιωτικά CDNs προσφέρουν μερικές επιπλέον επιλογές. Καταρχήν, τα ιδιωτικά CDNs μπορούν να υλοποιούν μεθόδους δρομολόγησης περιεχομένου, παρόμοιες με αυτές των δημοσίων και με αυτό τον τρόπο να διανέμουν περιεχόμενο στο οποίο επιτρέπεται να έχει πρόσβαση το ευρύ κοινό, αλλά και να συναλλάσσονται με ασφαλή sites εξωτερικών συνεργατών για διαβαθμισμένο εταιρικό περιεχόμενο. Επιπροσθέτως, οι επιχειρήσεις μπορούν να επωφεληθούν από την υπάρχουσα διαμόρφωση ενός proxy, σύμφωνα με την οποία οι εσωτερικοί χρήστες αποκτούν πρόσβαση στο περιεχόμενο μέσω μιας κεντρικοποιημένης υποδομής που επιτρέπει στους διαχειριστές να ελέγχουν την πρόσβαση στο δίκτυο. Με την λογική αυτή, οι εσωτερικοί χρήστες θα ζητάνε το περιεχόμενο απευθείας από έναν προ-επιλεγμένο κόμβο διανομής περιεχομένου. Αν ο κόμβος έχει το περιεχόμενο, θα το αποστέλλει κατάλληλα στον χρήστη. Αν δεν το έχει, θα λαμβάνει το περιεχόμενο με κατάλληλο τρόπο από το δίκτυο και στην συνέχεια θα εξυπηρετεί τον χρήστη.

Για να αποφασίσει μια επιχείρηση, αν θα πρέπει να επιλέξει την λύση ενός διαμοιρασμένου ή ενός ιδιωτικού δικτύου διανομής περιεχομένου, θα πρέπει να συνυπολογίσει τις παρακάτω παραμέτρους: την δυνατότητα διανομής διαφορετικών ειδών περιεχομένου, την απόδοση όσον αφορά το streaming περιεχόμενο, τον έλεγχο που θέλει να έχει πάνω στο περιεχόμενο και τέλος την αποδοτικότητα και το κόστος κάθε επιλογής.

Όπως προαναφέρθηκε, τα δίκτυα των δημοσίων CDSPs, έχουν μεν ευρεία κάλυψη, αλλά συνήθως υποστηρίζουν λίγα είδη περιεχομένου. Αντίθετα, μια κατάλληλα διαμορφωμένη λύση ενός ιδιωτικού δικτύου περιεχομένου, μπορεί να υποστηρίξει όλα τα είδη περιεχομένου που απαιτούνται.

Οσον αφορά την απόδοση στο streaming περιεχόμενο, αρκετοί CDSPs παρέχουν και μια τέτοια υπηρεσία διανομής. Για εξωτερικά γεγονότα, όπως είναι η πρεμιέρα ενός προϊόντος της επιχείρησης ή μια διαφημιστική καμπάνια, τα διαμοιρασμένα CDNs παρέχουν μια από τις καλύτερες λύσεις. Εφόσον όμως μιλάμε για streaming περιεχόμενο «εσωτερικής» κατανάλωσης, όπως π.χ. μηνύματα της διοίκησης της εταιρείας προς τους υπαλλήλους, ένα διαμοιρασμένο CDN μπορεί να παρέχει διανομή μόνο μέχρι τα άκρα του δικτύου του CDSP, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα υπερφόρτωσης του δικτύου, από το POP του CDSP μέχρι το εσωτερικό κάποιου παραρτήματος της εταιρείας.



Ο έλεγχος που θέλει να έχει μια επιχείρηση πάνω στο περιεχόμενο, είναι ένας ακόμα πολύ σημαντικός παράγοντας. Πέρα από θέματα ασφάλειας που τίθενται στην περίπτωση ενός διαμοιρασμένου CDN, υπάρχουν και άλλα προβλήματα. Συνήθως, η διανομή του περιεχομένου στους αντιπροσώπους, βασίζεται στην ζήτηση. Αυτό σημαίνει ότι το περιεχόμενο αποστέλλεται σε κάποιον αντιπρόσωπο του δικτύου του CDSP, όταν συμβεί μια «αποτυχία» (miss) στην δεδομένη γεωγραφική περιοχή. Συχνά μάλιστα, η συχνότητα ανανέωσης του περιεχομένου μετριέται στην κλίμακα των ωρών και δεν παρέχεται καμιά εγγύηση ότι ένα δεδομένο περιεχόμενο θα διανεμηθεί σε κάποιους συγκεκριμένους αντιπροσώπους του CDN. Συνεπώς, η υπηρεσία αυτή που παρέχουν οι CDSPs, χαρακτηρίζεται από συμφωνίες βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort SLAs). Είναι προφανές ότι μια επιχείρηση που θέλει να διανείμει σημαντικό περιεχόμενο και ευαίσθητο στην καθυστέρηση, θέλει να έχει την εξασφάλιση ότι το περιεχόμενο αυτό θα διανεμηθεί και θα είναι διαθέσιμο σε κάθε σχετικό σημείο πρόσβασης και ότι οι τελικοί χρήστες που θα το λάβουν, θα απολαύσουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας, η οποία προφανώς δεν καλύπτεται από μια συμφωνία επιπέδου υπηρεσίας βέλτιστης προσπάθειας.

Σχετικά με την αποδοτικότητα και το κόστος της επιλογής ανάμεσα σε μια ιδιωτική και σε μια λύση διαμοιρασμένου δικτύου, οι εταιρείες θα πρέπει να είναι αρκετά προσεκτικές στην επιλογή τους. Ενώ η λύση ενός CDSP φαίνεται, από άποψη κόστους, εκ πρώτης όψεως αρκετά πιο ελκυστική, θα πρέπει η απόφαση να μελετηθεί διεξοδικά προτού ληφθεί. Οι περισσότεροι CDSPs, χρεώνουν τους πελάτες τους (τις εταιρείες), με βάση την χρήση του δικτύου που κάνουν, είτε μετρώντας το μέγιστο εύρος ζώνης για στατικά αντικείμενα, είτε στο συνολικό περιεχόμενο που εξυπηρετήθηκε για streaming περιεχόμενο. Αξίζει να σημειωθεί εδώ, ότι οι περισσότερες επιχειρήσεις διατηρούν συμφωνίες με τρίτες εταιρείες φιλοξενίας δικτυακού περιεχομένου (web hosting providers) στους οποίους στεγάζουν τους εξυπηρετητές πηγής του περιεχομένου, οι οποίοι επίσης τους χρεώνουν με βάση την χρήση του δικτύου. Για περιεχόμενο που αλλάζει συχνά, οι επιχειρήσεις θα χρεώνονται για την αναδιανομή του περιεχομένου σε πιθανόν εκατοντάδες εξυπηρετητές κάθε φορά που αυτό αλλάζει, πέραν από τις χρεώσεις από τους CDSPs για την διανομή του περιεχομένου στους τελικούς χρήστες.



Στο παρακάτω σχήμα, παρατίθενται συνοπτικά οι πιθανότερες επιλογές που θα πρέπει να γίνουν από μια επιχείρηση, στο επίπεδο της απόφασης μεταξύ ενός διαμοιρασμένου και ενός ιδιωτικού δικτύου διανομής περιεχομένου, ώστε να εξυπηρετούνται ανά περίσταση κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα συμφέροντά της. Αξίζει να σημειωθεί, ότι καθώς οι επιχειρήσεις κατανοούν όλο και περισσότερο τις ανάγκες τους όσον αφορά την διανομή περιεχομένου, εμφανίζεται μια μέση λύση σε σχέση με τις παραπάνω, η οποία εκφράζει μια υβριδική στρατηγική.

Σύμφωνα με την στρατηγική αυτή, η προσέγγιση του διαμοιρασμένου CDN ακολουθείται όταν είναι κρίσιμος παράγοντας η ευρεία γεωγραφική κάλυψη, ενώ δεν έχουν και τόση σημασία οι απαιτήσεις ασφαλείας, ενώ μια προσέγγιση ιδιωτικού CDN νιοθετείται για το περιεχόμενο εκείνο στο οποίο η ασφάλεια, ο πλήρης έλεγχος και η ποιότητα υπηρεσίας κυριαρχούν. Κλασικό παράδειγμα στο οποίο ακολουθείται η υβριδική αυτή στρατηγική, αποτελούν οι εταιρικές ιστοσελίδες. Στην περίπτωση αυτή, τα συνηθέστερα στατικά αντικείμενα, όπως τα εμβλήματα της εταιρείας και τα γραφικά πλοιόγησης στην σελίδα, διανέμονται μέσω ενός CDSP για να υπάρχει βελτιστοποίηση της πρόσβασης των χρηστών σε ευρεία γεωγραφική περιοχή, ενώ η διαβαθμισμένη πληροφορία σχετικά με το ηλεκτρονικό εμπόριο και τα δεδομένα στα οποία απαιτείται αυθεντικοποίηση, διανέμονται μέσω ενός ιδιωτικού CDN.

	Κοινό	Τύπος	Ασφάλεια	Επιλογή
				Περιεχομένου
Περιεχομένου	CDN			
Εταιρική ιστοσελίδα	Εξωτερικό, ευρεία γεωγραφική περιοχή	Streaming Στατικό	Ποικίλει	Υβριδική Προσέγγιση: Εξαρτάται από την εφαρμογή
Συνδιαλλαγές Ηλεκτρονικού Εμπορίου	Εξωτερικό, ευρεία γεωγραφική περιοχή	Ασφαλές (HTTPS)	Αυθεντικοποίηση Κωδικοποίηση	Υβριδική Προσέγγιση: Εξαρτάται από την εφαρμογή
Εσωτερικό Δίκτυο Εταιρείας	Εσωτερικό	Streaming Στατικό Ασφαλές	Αυθεντικοποίηση Παροχή Πρόσβασης Κωδικοποίηση	Ιδιωτικό: Απαιτήσεις ασφάλειας, Δυνατότητα αρχειοθέτησης και δημιουργίας καταλόγου
Μηνύματα Διοίκησης	Εσωτερικό	Streaming (Live)	Αυθεντικοποίηση Κωδικοποίηση	Ιδιωτικό: Απαιτήσεις ασφάλειας και ευαισθησίας χρόνου
Λανσάρισμα Προϊόντος	Εξωτερικό, ευρεία γεωγραφική περιοχή	Streaming (Live και on demand)	Όχι	Διαμοιρασμένο: Απαιτείται ευρεία κάλυψη
Πωλήσεις και Εκπαίδευση Υπαλλήλων	Εσωτερικό	Streaming (Live και on demand)	Αυθεντικοποίηση Παροχή Πρόσβασης Κωδικοποίηση	Ιδιωτικό: Απαιτήσεις ασφάλειας, Δυνατότητα αρχειοθέτησης και δημιουργίας καταλόγου, Δυνατότητα εντοπισμού πελάτη

Σχήμα 7: Επιλογή διαμοιρασμένου ή ιδιωτικού CDN ανά περίπτωση

Στην σημερινή παγκόσμια οικονομία, στην οποία κυρίαρχη θέση κατέχει η γνώση, η ικανότητα μια επιχείρησης να παρέχει στους υπαλλήλους, στους συνεργάτες της αλλά και στους πελάτες της πρόσβαση σε ακριβή και έγκαιρη πληροφόρηση, είναι αποφασιστικής σημασίας για την επιβίωση της ίδιας της επιχείρησης. Πολλές δημοφιλείς εταιρικές εφαρμογές παρουσιάστηκαν για να ικανοποιήσουν αυτή την απαίτηση για πληροφόρηση. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι συστήματα ERP (Enterprise Resource Planning) και CRM (Customer Relationship Management) με δικτυακές δυνατότητες, εταιρικά portals πληροφόρησης των υπαλλήλων (EIPs – Employee Information Portals), συστήματα e-learning και ηλεκτρονικής συνδιάσκεψης μέσω βίντεο, συστήματα πρόσβασης των υπαλλήλων στο Διαδίκτυο. Πάντως, όπως είναι αναμενόμενο, αυτές οι νέες εφαρμογές, δημιουργησαν από μόνες τους νέες προκλήσεις όσον αφορά την υποδομή και τους πόρους που απαιτούνται για να τις στηρίξουν, δημιουργώντας νέο «φορτίο» τόσο στο εταιρικό δίκτυο όσο και στα τμήματα IT των εταιρειών.

Όπως εξηγήθηκε διεξοδικά, όσον αφορά την τεχνολογία, σε προηγούμενες παραγράφους, μια πολύ καλή επιλογή για να επιλυθούν τα ζητήματα αυτά, είναι η υλοποίηση ενός εταιρικού δικτύου διανομής περιεχομένου. Τα δίκτυα διανομής περιεχομένου συνδυάζουν αποθηκευτικά μέσα, διαύλους διανομής του περιεχομένου και τεχνολογίες διαχείρισης αυτού, σε μια ολοκληρωμένη λύση η οποία μπορεί να κλιμακώσει τις δυνατότητες της υπάρχουσας υποδομής και των πόρων της επιχείρησης. Τα εταιρικά CDNs έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπουν στα τμήματα IT των εταιριών, την εγκατάσταση νέων ισχυρών εφαρμογών, μειώνοντας το συνολικό κόστος. Βέβαια και τα υπόλοιπα τμήματα της επιχείρησης, όπως είναι το τμήμα ανθρωπίνου δυναμικού, το μάρκετινγκ, η διοίκηση, οι πωλήσεις και το τμήμα παραγωγής εκμεταλλεύονται τις νέες εφαρμογές για να μειώσουν τα κόστη και να αυξήσουν την αποδοτικότητά τους.

Βελτιώνοντας την πρόσβαση σε κρίσιμες εφαρμογές για την λειτουργία της επιχείρησης, τα CDNs δημιουργούν νέους πόρους μειώνοντας τον χρόνο μέχρι να φτάσει ένα προϊόν στην αγορά (Time to Market), αυξάνοντας την ικανοποίηση του πελάτη και εκτοξεύοντας την παραγωγικότητα της εταιρείας. Επιπλέον, εκμεταλλευόμενα την υπάρχουσα τεχνολογική υποδομή και παρέχοντας κεντρική διαχείριση πόρων που είναι διασκορπισμένοι ανά την υφήλιο, τα CDNs μειώνουν τις ανάγκες για αρχικό κεφάλαιο και τα κόστη για προσωπικό IT κατά ουσιαστικό ποσοστό, αλλά και ελαχιστοποιούν τις απώλειες εσόδων εξαιτίας φαινομένων downtime.

Πρωτοπόρες στον τομέα της δημιουργίας δικτύων διανομής περιεχομένου, ήταν εταιρείες παροχής υπηρεσιών διαδικτύου (ISPs), φιλοξενίας δικτυακών τόπων (Web hosters), καθώς και εταιρείες τηλεπικοινωνιών. Η τεχνολογία διανομής περιεχομένου, επέτρεψε στους παρόχους αυτών των υπηρεσιών να μειώσουν τα κόστη του εύρους ζώνης που σχετίζονταν με την εξασφάλιση ότι οι καταναλωτές και οι εταιρικοί πελάτες θα έχουν ανά πάσα στιγμή γρήγορη πρόσβαση στο περιεχόμενο δημοφιλών ιστοσελίδων. Από τις πρωτοπόρες αυτές εταιρείες, προήλθαν και οι πρώτοι πάροχοι εμπορικών υπηρεσιών διανομής περιεχομένου (CDSPs), οι οποίοι απέκτησαν την δυνατότητα να χρεώνουν επιπρόσθετα για τις υπηρεσίες CDN.

Η λειτουργία ενός CDN στα πλαίσια μιας επιχείρησης

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την λειτουργία ενός εταιρικού CDN, ας υποθέσουμε μια επιχείρηση η οποία χρησιμοποιεί μια εφαρμογή ERP με διαδικτυακές δυνατότητες λειτουργίας (παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι η E – Business Suite της Oracle). Έστω λοιπόν ότι μια τέτοια εφαρμογή τρέχει σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή, επιφορτισμένο με αυτή την λειτουργία (application server), ο οποίος καταθέτει ερωτήματα (queries) σε μια βάση δεδομένων η οποία βρίσκεται σε ένα κεντρικό αποθηκευτικό μέσο. Τα διαδικτυακά κομμάτια της εφαρμογής ERP, όπως είναι τα Java applets, οι μικρές εικόνες και οι HTML σελίδες θα διανέμονται αυτόμata στις συσκευές διανομής του περιεχομένου (αντιπρόσωποι εξυπηρετητές), οι οποίοι θα βρίσκονται στις απομακρυσμένες εγκαταστάσεις της εταιρείας, όπως είναι οι εγκαταστάσεις της παραγωγής και τα γραφεία των παραρτημάτων. Η διανομή τους θα γίνεται με τρόπο που έχει προγραμματιστεί από πριν.



Όταν οι υπάλληλοι ή συνεργάτες που βρίσκονται στις απομακρυσμένες τοποθεσίες, προσπελάσουν το σύστημα ERP από το εταιρικό intranet ή και από κάποιο εξωτερικό δίκτυο, ο αντιπρόσωπος εξυπηρετητής σε κάθε τοποθεσία θα προσφέρει σε αυτούς τα κομμάτια της εφαρμογής που προαναφέρθηκαν παραπάνω. Επιπλέον, περιοδικά θα δημιουργούνται αυτόματα αναφορές σχετικές με την χρήση της εφαρμογής και της υποδομής. Οι αναφορές αυτές, θα αποστέλλονται επίσης αυτόματα στον διαχειριστή της εφαρμογής ERP της εταιρείας, καθώς και στον διαχειριστή της τεχνολογικής υποδομής. Με την διαδικασία αυτή, το περιεχόμενο αποστέλλεται στους πελάτες κυρίως από τους τοπικούς εξυπηρετητές και όχι από τους κεντρικούς υπολογιστές πάνω από ένα WAN. Αυτό προφανώς επιταχύνει την διανομή, αυξάνει την παραγωγικότητα των χρηστών και μειώνει τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης όσον αφορά το εταιρικό WAN. Επιπλέον, δεν απαιτείται προσωπικό IT να διαχειρίζεται τα συστήματα τοπικά στα παραρτήματα σε καθημερινή βάση. Αυτό ελαχιστοποιεί τις απαιτήσεις σε προσωπικό IT.

Πέρα από την επιτάχυνση των εφαρμογών εσωτερικής χρήσης της επιχείρησης, επιταχύνεται και η πρόσβαση των υπαλλήλων της στο διαδίκτυο, εξαιτίας της εξοικονόμησης εταιρικού εύρους ζώνης. Εκτός αυτού όμως, τα εταιρικά CDNs, με την χρήση εξυπηρετητών – αντιπροσώπων, μπορούν να φιλτράρουν τους ιούς και τον ακατάλληλο περιεχόμενο, εξασφαλίζοντας το εταιρικό δίκτυο και διευκολύνοντας την επιβολή πολιτικών χρήσης του διαδικτύου. Αρκετές εταιρίες όπως η Ford Motor Company, ξεκίνησαν την ανάπτυξη των ιδιωτικών τους CDNs, βελτιώνοντας τις πολιτικές τους τις σχετικές με την πρόσβαση στο διαδίκτυο και στην συνέχεια επεκτείνοντας την υποδομή τους.

Επιπλέον, με την χρήση των εταιρικών CDNs, οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν τους χρόνους εκπαίδευσης και τα κόστη αυτής, συμπεριλαμβανόμενων και αυτών για τα ταξίδια, τους μισθούς των εκπαιδευτών. Αυτό γίνεται με την δημιουργία πλούσιων σε περιεχόμενο αρχείων βίντεο, τα οποία διανέμονται με έξυπνο τρόπο από τα άκρα του δικτύου διανομής περιεχομένου, ελαχιστοποιώντας την χρήση εύρους ζώνης και διασφαλίζοντας υψηλή ποιότητα εικόνας, τόσο στα γραφεία, όσο και στα σημεία πώλησης.

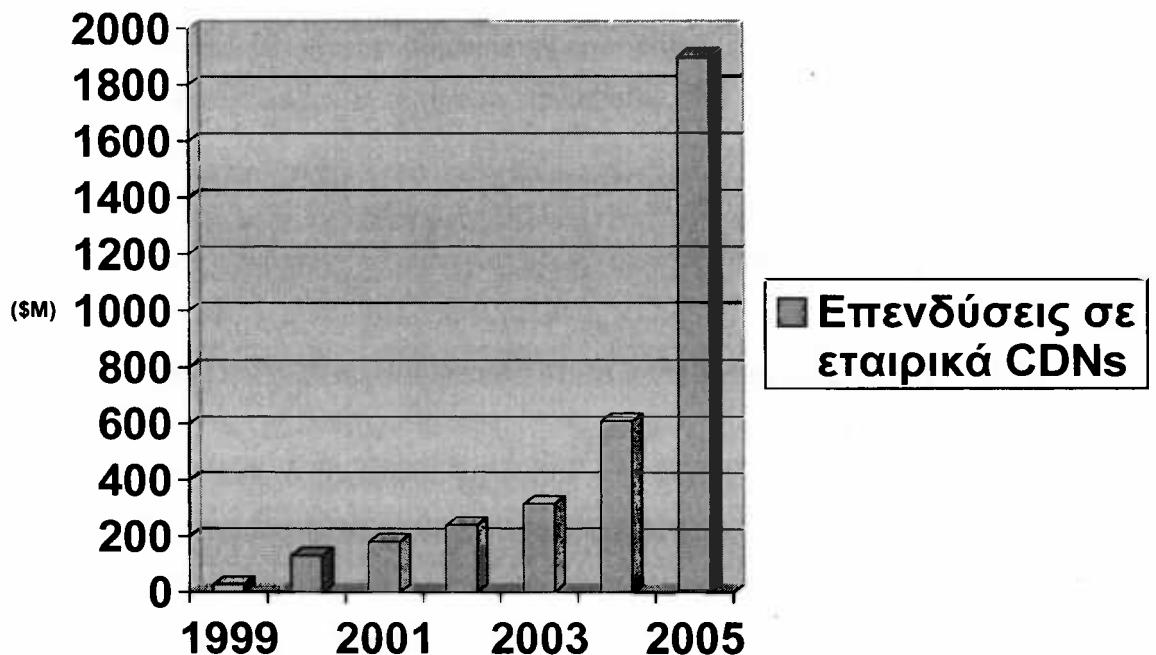


Τα εταιρικά δίκτυα διανομής περιεχομένου παρέχουν και μια ασφαλή και αξιόπιστη πλατφόρμα για την φιλοξενία των EIPs (Enterprise Information Portals). Τα CDNs υποστηρίζουν τα συστήματα διαχείρισης περιεχομένου (CMSs – Content Management Systems) τα οποία χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον από τις επιχειρήσεις για να παρέχουν έγκαιρη πρόσβαση σε πληροφορία που απαιτείται στην διαδικασία λήψης αποφάσεων . Επίσης μειώνουν τον διασκορπισμό της πληροφορίας και τα διπλά και συχνά ασύμβατα αντίγραφα κάποιων εγγράφων. Εκτός των άλλων, με την ενοποίηση της πρόσβασης στο κεντρικό εταιρικό EIP, διευκολύνεται η δημιουργία μιας ενιαίας οικουμενικής «εταιρικής φιλοσοφίας» ανάμεσα στους υπαλλήλους της επιχειρησης και η διαδικασία κατανόησης των ρόλων και των αρμοδιοτήτων καθενός.

Οι δαπάνες των εταιριών για ιδιωτικά δίκτυα διανομής περιεχομένου

Μια έρευνα που διενεργήθηκε από την εταιρεία IDC [12], ανάμεσα σε επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν ή προτίθενται να χρησιμοποιήσουν τα δίκτυα διανομής περιεχομένου, έδειξε ότι αρκετές από αυτές, τα θεωρούν ως μία λύση για να στεγάσουν τις τρέχουσες εταιρικές τους διαδικασίες. Υπάρχουν όμως και αυτές, που αναγνωρίζουν στα CDNs, νέες δυνατότητες για την διεξαγωγή των δραστηριοτήτων τους. Η πλειοψηφία πάντως, έδειξε ότι τώρα αρχίζουν οι εταιρείες να έρχονται σε επαφή με την τεχνολογία των CDNs.

Η ίδια έρευνα, απεικονίζει γιατί οι επενδύσεις των εταιριών που δραστηριοποιούνται στον τομέα των CDNs, διογκώνονται. Το 1999, οι επιχειρήσεις – πελάτες ξόδεψαν περίπου 28 εκατομμύρια δολάρια σε τεχνολογίες ιδιωτικών CDN, ποσό που ανέρχεται στο 19% μόλις των συνολικών 147,5 εκατομμυρίων δολαρίων που ξοδεύτηκαν σε τεχνολογίες CDN (το υπόλοιπο 81% αντιστοιχεί σε δαπάνες των CDSPs για υποδομή διαμοιρασμένων CDNs, π.χ. Akamai). Το 2000, το μερίδιο των επενδύσεων σε ιδιωτικά CDNs ανήλθε στο 31% επί συνόλου 430 εκατομμυρίων δολαρίων, περίπου δηλαδή 133 εκατομμύρια δολάρια. Τα αντίστοιχα ποσά για το 2001 ήταν 182 εκατομμύρια δολάρια και το ποσοστό επί του συνόλου των επενδύσεων σε τεχνολογίες CDN, ήταν 38%. Υπολογίζεται ότι το 2005 οι επιχειρήσεις θα ξοδέψουν σε ιδιωτικά - εταιρικά CDNs περίπου 1,9 δισεκατομμύρια δολάρια και το ποσοστό επί του συνόλου θα φτάσει το 40% σε μια αγορά της τάξεως των 4,7 δισεκατομμυρίων δολαρίων.



Σχήμα 8: Επενδύσεις σε εταιρικά ECDNs

Μια εφαρμογή των δικτύων διανομής περιεχομένου που αναπτύσσεται ραγδαία, είναι τα streaming media. Όλο και περισσότερες επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τέτοιου είδους πολυμέσα, για να εκπαιδεύσουν εργαζομένους σε απομακρυσμένες τοποθεσίες, να παρέχουν επιδείξεις προϊόντων ως μέρος της διαδικασίας πωλήσεων και να εξασφαλίσουν την συνεπή διανομή ενός εταιρικού μηνύματος, παγκοσμίως. Το streaming επιτρέπει στις επιχειρήσεις να περικόψουν έξοδα μετακινήσεων και άλλων ειδών που προαναφέρθηκαν, ενώ βελτιώνουν την εμπειρία των τελικών χρηστών (end user experience). Η έρευνα της IDC που μνημονεύθηκε παραπάνω, προβλέπει ότι ο προϋπολογισμός των εταιριών σε έξοδα για streaming, θα αυξηθεί από 3,1 εκατομμύρια δολάρια το 2000, στα 928 εκατομμύρια δολάρια το 2005, που αναλογεί σε μια ετήσια αύξηση του 213% για κάθε ενδιάμεσο έτος.

Εταιρικά δίκτυα διανομής περιεχομένου, έχουν υλοποιήσει σήμερα επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε αρκετούς τομείς της αγοράς, αλλά αυτές που νιοθέτησαν πιο ενεργά την τεχνολογία CDN είναι οι οικονομικοί οργανισμοί (π.χ. η Merrill Lynch) και οι κατασκευαστικές εταιρείες. Η γρήγορη πρόσβαση σε αναφορές αναλυτών, σε αποτελέσματα ερευνών, σε σχεδιαστικά έγγραφα και σε αποτελέσματα δοκιμαστικών ενεργειών είναι κρίσιμη για την επιτυχία τους. Άλλοι τομείς με αύξουσα επένδυση στα εταιρικά CDNs, είναι η ενέργεια, το λιανεμπόριο, η εκπαίδευση και η διακυβέρνηση.

Ποσοτικά οφέλη στις επιχειρήσεις που έχουν ήδη υλοποιήσει εταιρικά CDNs

Προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν τα οφέλη στις επιχειρήσεις από την υιοθέτηση ενός εταιρικού δικτύου διανομής περιεχομένου, οι ερευνητές της εταιρείας αναλύσεων IDC [12] διεξήγαγαν μια σειρά από συνεντεύξεις. Σκοπός τους ήταν να εξακριβώσουν τις μειώσεις σε λειτουργικό κόστος και την αύξηση στην παραγωγικότητα που επέφερε το CDN στην εκάστοτε επιχείρηση. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, υπολογίστηκε η μέση απόδοση της επένδυσης ROI (Return of Investment) βασισμένη στο συνολικό κόστος της ανάπτυξης του δικτύου διανομής περιεχομένου και στο σύνολο της εξοικονόμησης πόρων που επιτεύχθηκε μέσω αυτού.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ενέπλεκε τα ακόλουθα τρία βήματα για την ποσοτικοποίηση των μεγεθών:

- Προσδιορισμός του κόστους ανάπτυξης και διαχείρισης της τεχνολογικής επιλογής, συμπεριλαμβανόμενης της επένδυσης που έγινε στην αγορά και εγκατάσταση της λύσης και τα συσχετιζόμενα κόστη εκπαίδευσης και συντήρησης.
- Μέτρηση της μείωσης στο κόστος λειτουργίας της επιχείρησης, των κερδών στην παραγωγικότητα και στα πρόσθετα κέρδη που δημιουργήθηκαν εξαιτίας της εγκατάστασης του δικτύου διανομής περιεχομένου.
- Υπολογισμός της περιόδου απόδοσης (payback period) και της μέσης απόδοσης ROI, της τεχνολογικής επιλογής.

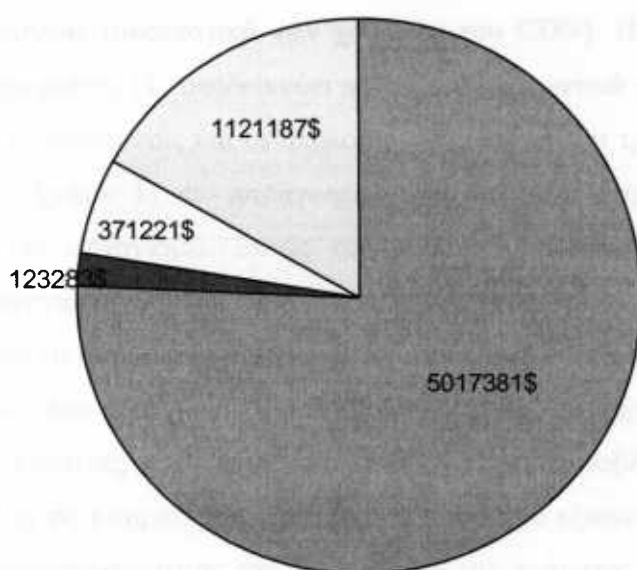
Τα συγκεκριμένα νούμερα για τα κόστη και τις εξοικονομήσεις πόρων, προήλθαν από συνεντεύξεις που έγιναν με τους διευθυντές IT των εταιρειών που χρησιμοποιήθηκαν ως δείγμα. Για χάριν της έρευνας, έγιναν ερωτήσεις σχετικές με το κόστος, την απόδοση και συγκεκριμένες διαδικασίες των τμημάτων IT, καθώς και τις συσχετιζόμενες απαιτήσεις σε χρόνο και επάνδρωση με ανθρώπινο δυναμικό, τόσο πριν όσο και μετά την ανάπτυξη του δικτύου διανομής περιεχομένου. Για να υπολογιστεί η μέση ROI, τα κόστη και οι εξοικονομήσεις προβλήθηκαν σε μια περίοδο τριών χρόνων, προκειμένου να προσδιοριστεί η συνολική επένδυση και η παρούσα καθαρή αξία των εξοικονομήσεων.

Ας δούμε όμως αναλυτικά, μερικά στοιχεία για τις εταιρείες που συμμετείχαν στην έρευνα. Οι εταιρείες αυτές λοιπόν, απασχολούν κατά μέσο όρο 25.700 υπαλλήλους, εκ των οποίων το 94% χρησιμοποιούν πόρους IT στην εργασία τους. Το προσωπικό διοίκησης και διαχείρισης της IT υποδομής, ανέρχεται κατά μέσο όρο στα 35 άτομα πλήρους απασχόλησης. Επίσης υπάρχουν 15 άτομα κατά μέσο όρο με λειτουργίες υποστήριξης (help desk) και 19 άτομα κατά μέσο όρο στην διαχείριση των εξυπηρετητών. Ο αριθμός των τοποθεσιών στις οποίες εγκαταστάθηκαν εξυπηρετητές είναι περίπου 105 ανά εταιρεία. Τα τρία τέταρτα των εταιρειών συμμετέχουν σε e-business και οι περισσότερες θεωρούν ότι οι διαδικτυακές συναλλαγές θα αποκτήσουν αυξανόμενη σημασία τα επόμενα χρόνια.

Οι μειώσεις στο λειτουργικό κόστος προήλθαν κυρίως από τις εξοικονομήσεις που έγιναν σε εκπαιδευτικά ταξίδια, εταιρικές συναντήσεις και επιδείξεις προϊόντων, τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις αντικαταστάθηκαν επάξια και λειτουργικά, από streaming πολυμέσα. Επιπλέον, οι εταιρείες που ερωτήθηκαν, εξοικονόμησαν χρήματα από τη μείωση στο κόστος διανομής εγγράφων, την εξασφάλιση εύρους ζώνης του δικτύου και τον περιορισμό του κόστους της υποδομής και την βελτίωση της αποτελεσματικότητας του προσωπικού του τμήματος IT. Η αποτελεσματικότητα του προσωπικού IT, προσδιορίζεται από το πόσους χρήστες μπορεί να υποστηρίξει κάθε μέλος του τμήματος IT και αποτελεί ένα μέτρο του πόσο καλά η επιχείρηση μπορεί να υλοποιήσει οικονομίες κλίμακας με το προσωπικό, τις διεργασίες και το εξοπλισμό της επιχείρησης.

Προκειμένου να παραμείνουν ανταγωνιστικές, οι εταιρείες πρέπει να αναπτύξουν τα συστήματά τους και τα δίκτυα τους, με μεγαλύτερο ρυθμό από την αύξηση που θα επιφέρουν στο προσωπικό IT. Από την άλλη μεριά, οι εξειδικευμένοι επαγγελματίες IT παραμένουν δυσεύρετοι και επομένως το υπάρχον προσωπικό επιφορτίζεται με περισσότερη εργασία και ευθύνες. Αν λοιπόν τα τμήματα IT, δεν καταφέρουν να επιτύχουν τις οικονομίες κλίμακος που απαιτούνται, θα χαθεί το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της τεχνολογικής υπεροχής της εκάστοτε εταιρείας.

Για το δείγμα των εταιρειών που ερωτήθηκαν, τα κόστη των ταξιδιών που περικόπηκαν με την χρήση streaming πολυμέσων, ανήρθαν σε περίπου 2,2 εκατομμύρια δολάρια ετησίως για τρία χρόνια χρήσης του CDN. Τα χρήματα που εξοικονομήθηκαν από ταξίδια για εταιρικές συναντήσεις ήταν πάνω από 2,5 εκατομμύρια δολάρια ετησίως, ενώ τα κόστη για επιδείξεις προϊόντων ήταν λίγο πάνω από 300 χιλιάδες δολάρια ετησίως. Συνολικά λοιπόν, τα κόστη ταξιδιών περικόπηκαν κατά περισσότερο από 5 εκατομμύρια δολάρια ετησίως. Από την άλλη μεριά τα ποσά που εξοικονομήθηκαν από την βελτιστοποίηση στην διανομή εγγράφων και τα κόστη του ανάλογου προσωπικού, ανήρθαν στα 371 χιλιάδες δολάρια. Οι εξοικονομήσεις σε εύρος ζώνης και σε άλλη τεχνολογική υποδομή, παρήγαγαν ένα όφελος της τάξεως των 123 χιλιάδων δολαρίων ετησίως. Ο μέσος αριθμός των χρηστών που υποστηρίζονταν από κάθε εργαζόμενο πλήρους απασχόλησης στα τμήματα IT των επιχειρήσεων, ανήλθε από 123,3 πριν την ανάπτυξη του CDN, στους 161,9 με την χρήση των δυνατοτήτων αυτού. Για να υπολογιστεί το ποσό που εξοικονομήθηκε από την πρόσληψη του επιπλέον απαιτούμενου προσωπικού που δεν έγινε, χρησιμοποιήθηκαν ως μέσος μισθός τα 53,19 δολάρια ανά ώρα και συνεπώς η εξοικονόμηση από αυτήν την αύξηση κατά 31% της αποτελεσματικότητας του προσωπικού, απέφερε κατά μέσο όρο λίγο πάνω από 1,1 εκατομμύρια δολάρια τον χρόνο. Συνολικά λοιπόν, η μείωση στο λειτουργικό κόστος της επιχείρησης είναι κατά μέσο όρο περίπου 6,7 εκατομμύρια δολάρια ετησίως. (βλ. σχήμα 6).



■ Μείωση εξόδων σε κόστος ταξιδιών

■ Μείωση εξόδων σε κόστος υποδομής

□ Μείωση εξόδων σε κόστος διανομής

□ Μείωση εξόδων λόγω αυξημένης αποτελεσματικότητας του προσωπικού IT

Σχήμα 9: Ετήσιες μειώσεις (κατά μέσο όρο) στα λειτουργικά κόστη των επιχειρήσεων με την χρήση των εταιρικών CDNs



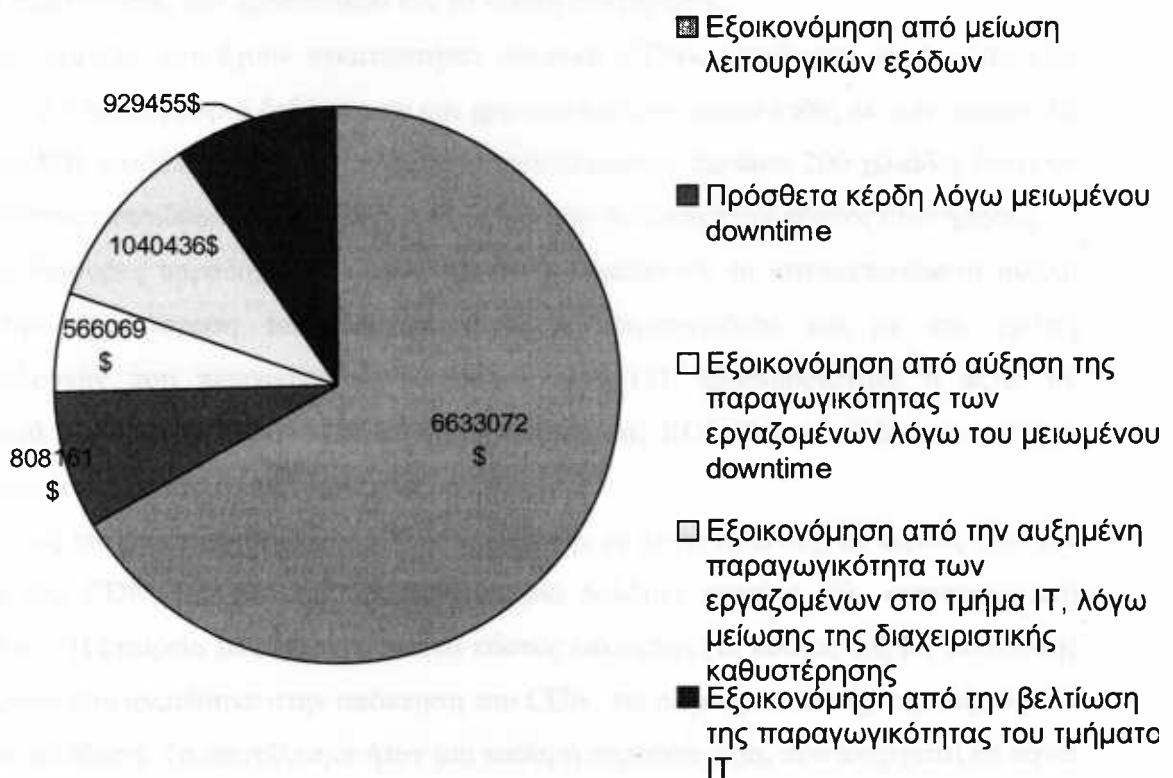
Όσον αφορά την αύξηση της παραγωγικότητας των υπαλλήλων, αυτή εμφανίστηκε σε 2 τομείς. Από την μια μεριά αφορά την αύξηση της παραγωγικότητας του προσωπικού του τμήματος IT και από την άλλη την αύξηση της παραγωγικότητας των υπολοίπων υπαλλήλων (ουσιαστικά των χρηστών του CDN). Η παραγωγικότητα του προσωπικού του τμήματος IT, υποδεικνύει πόσο αποτελεσματικά χρησιμοποιούν τον χρόνο εργασίας τους οι διευθυντές και οι υπόλοιποι υπάλληλοι του τμήματος. Το να γίνει το προσωπικό του τμήματος IT πιο παραγωγικό, έχει ως αποτέλεσμα απευθείας εξοικονόμηση πόρων για τον οργανισμό. Εκτός των άλλων, η μείωση του κόστους των καθημερινών λειτουργιών επιτρέπει σε καινοτόμες διαδικασίες να υλοποιηθούν νωρίτερα. Το τμήμα IT μπορεί να αυξήσει με την σειρά του την παραγωγικότητα των χρηστών, περιορίζοντας τον χρόνο που ξοδεύουν οι δεύτεροι καθώς περιμένουν να ολοκληρωθούν τεχνικές διαχειριστικές ενέργειες ή να επιλυθούν τεχνικά προβλήματα.

Για τις εταιρείες της έρευνας, το ποσό που εξοικονομήθηκε ετησίως από την αύξηση της παραγωγικότητας του προσωπικού του τμήματος IT, ήταν κατά μέσο όρο πάνω από 929 χιλιάδες δολάρια. Μετά την εγκατάσταση των CDNs υπήρξε κατά μέσο όρο μια μείωση κατά 10% του χρόνου στις ώρες που το προσωπικό αφιέρωνε σε διαχειριστικές ενέργειες σχετικές με την υποδομή IT. Κατά μέσο όρο, η εξοικονόμηση αυτού του χρόνου, απέφερε πάνω από 1 εκατομμύριο δολάρια ετησίως στις επιχειρήσεις.

Εκτός των άλλων, τα CDNs **μείωσαν το downtime** των επιχειρήσεων, το χρονικό εκείνο διάστημα δηλαδή, κατά το οποίο ο τεχνολογικός εξοπλισμός της εταιρείας αδυνατεί να ανταποκριθεί στον ρόλο με τον οποίο είναι επιφορτισμένος, λόγω τεχνικών ή άλλων προβλημάτων. Η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα των συστημάτων, εκ των πραγμάτων συνεισφέρει στην επιχείρηση, λόγω της ελαχιστοποίησης των εσόδων που χάνονται από την μη λειτουργία του εξοπλισμού. Εκτός όμως από τις ευθείες απώλειες εξαιτίας των διαφυγόντων κερδών, το downtime μπορεί να έχει μεγάλο κόστος και όσον αφορά την υποβάθμιση της υπηρεσίας που λαμβάνει ένας πελάτης και συνεπώς την διακοπή της συνεργασίας εκ μέρους του ή την μη ανανέωση του συμβολαίου για μελλοντικές συνεργασίες.

Επιπλέον, η παραγωγικότητα των χρηστών (των υπαλλήλων δηλ. της εταιρείας που εξαρτώνται από τον εξοπλισμό IT), συνδέεται άμεσα με την χρονική περίοδο κανονικής λειτουργίας (uptime) του CDN. Όταν οι χρήστες δεν μπορούν να προσπελάσουν τους πόρους του δικτύου διανομής περιεχομένου, η παραγωγικότητά τους μειώνεται σημαντικά.

Κατά μέσο όρο, οι εταιρείες που ανέπτυξαν δίκτυα διανομής περιεχομένου, μείωσαν τις άμεσες απώλειες εσόδων κατά 808 χιλιάδες δολάρια τον χρόνο. Η εξοικονόμηση πόρων από την αύξηση της παραγωγικότητας των χρηστών, λόγω αυξημένης περιόδου κανονικής λειτουργίας των συστημάτων CDN, ανήλθε στα 566 χιλιάδες δολάρια, δίνοντας ένα συνδυασμένο ποσό – προϊόν του μειωμένου χρόνου μη κανονικής λειτουργίας των συστημάτων, της τάξεως του 1,4 εκατομμυρίου δολαρίων τον χρόνο. Τα συνολικά ποσά που εξοικονομήθηκαν ανά έτος από τις επιχειρήσεις που εγκατέστησαν δίκτυα διανομής περιεχομένου, απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα 10.



Σχήμα 10: Ετήσια εξοικονόμηση (κατά μέσο όρο) των επιχειρήσεων με την χρήση των εταιρικών CDNs

Για να έχουμε έναν κατά τον δυνατό πιο ακριβή υπολογισμό του ποσού που απαιτείται να επενδύθει για την εγκατάσταση ενός τυπικού εταιρικού δικτύου διανομής περιεχομένου, πρέπει να συνυπολογιστούν τα ακόλουθα κόστη: το κόστος αγοράς του «πακέτου» της τεχνολογίας από κάποιον πάροχο έτοιμων λύσεων εταιρικών CDNs (π.χ. CacheFlow), προσθέτοντας σε αυτό τα κόστη αγοράς, εγκατάστασης, αναβάθμισης και αντικατάστασης του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί από το δίκτυο διανομής περιεχομένου. Επιπλέον, στο συνολικό ποσό της επένδυσης, πρέπει να προστεθούν τα κόστη εκπαίδευσης του προσωπικού και τα κόστη συντήρησης.

Οι εταιρείες που έχουν εγκαταστήσει εταιρικά CDNs, επένδυσαν κατά μέσο όρο περίπου 2,9 εκατομμύρια δολάρια, σε μια χρονική περίοδο τριών ετών, εκ των οποίων τα περίπου 800 χιλιάδες δολάρια ήταν κόστος εγκατάστασης, περίπου 200 χιλιάδες δολάρια ήταν κόστος εκπαίδευσης και σχεδόν 1 εκατομμύριο δολάρια ήταν κόστος συντήρησης.

Με διάφορες παραδοχές οι οποίες τείνουν να μειώσουν τα καταμετρούμενα οφέλη από την εγκατάσταση των δικτύων διανομής περιεχομένου και με την χρήση μεθοδολογιών που περιγράφονται διεξοδικά στο [12], προσδιορίστηκε η αξία, σε σημερινά δολάρια, της μέσης απόδοσης της επένδυσης ROI (Return of Investment) για μια περίοδο τριών ετών λειτουργίας του CDN.

Για τις εταιρείες που αποτέλεσαν το δείγμα την εν λόγω έρευνας, το κέρδος από την χρήση του CDN, ανήλθε στα 9,9 εκατομμύρια δολάρια ετησίως (βλ. συγκεντρωτικό σχήμα 8). Η εταιρεία IDC υπολόγισε ένα κόστος ευκαιρίας (το κόστος της μη επένδυσης του ποσού που ανατέθηκε στην απόκτηση του CDN, για άλλους σκοπούς) της τάξεως του 12% σε απόδοση. Το αποτέλεσμα ήταν μια καθαρή παρούσα αξία, που ανέρχεται σε πάνω από 21 εκατομμύρια δολάρια για μια τριετία.

Ο χρόνος ανταπόδοσης (payback), είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε οι πόροι που εξοικονομούνται, να φτάσουν το ποσό της αρχικής επένδυσης. Η απόδοση της επένδυσης, ισούται με την καθαρή παρούσα αξία, διαιρεμένης με το ποσό της επένδυσης. Δεδομένου ότι η μέση επένδυση ήταν της τάξεως των 2,9 εκατομμυρίων δολαρίων σε τρία χρόνια, ο χρόνος ανταπόδοσης της εγκατάστασης ενός δικτύου διανομής περιεχομένου, ήταν κατά μέσο όρο 105,7 μέρες, ενώ η μέση απόδοση της επένδυσης ανήλθε στο 729%.

3. Ανάπτυξη προτύπου για την παροχή υπηρεσιών CDN / Τεχνολογικές επιλογές

3.1. Χαρακτηριστικά μιας ολοκληρωμένης υπηρεσίας διανομής περιεχομένου

Σχεδόν όλες οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην αγορά των CDNs, επιδιώκουν να εξασφαλίσουν συνεργασίες με πελάτες, τόσο στην εταιρική αγορά, όσο και στην αγορά παροχής υπηρεσιών διαμοιρασμένων δικτύων διανομής περιεχομένου (enterprise / service provider markets). Στην αγορά των εταιρικών CDNs είναι πιο εύκολο τόσο για τους κατασκευαστές υλικού άλλα και για τους πάροχους υπηρεσιών διανομής περιεχομένου CDSPs, να προσεγγίσουν τους πιθανούς πελάτες και να τους προσφέρουν κάποια ολοκληρωμένη λύση. Εντούτοις, οι περισσότεροι δεν μπορούν να προσφέρουν μια ολοκληρωμένη από άκρο εις άκρο υπηρεσία ή σύνολο προϊόντων, πράγμα που μπορούν να κάνουν μόνο οι μεγάλοι CDSPs.

Παρόλο που δεν είναι εντελώς απόλυτο και υπάρχουν αρκετές απόψεις σχετικά με το τι πρέπει να περιλαμβάνει μια υπηρεσία διανομής περιεχομένου, αν θέλουμε αυτή να είναι πλήρης, θα πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα στάδια της διαδικασίας διανομής, από την δημιουργία του περιεχομένου, μέχρι την παραλαβή του από τον τελικό χρήστη. Μόνο λίγες εταιρείες του χώρου, διαθέτουν τις απαίτουμενες υποδομές και στρατηγικές συμμαχίες για να παρέχουν όλα τα κομμάτια μιας πλήρους από άκρο εις άκρο υπηρεσίας.

Μια τέτοια υπηρεσία, περιλαμβάνει διάφορα λειτουργικά κομμάτια τα οποία θα ανήκουν σε κάποια από τις παρακάτω κατηγορίες: **δημιουργία του περιεχομένου (content creation), υποδομή υλικού και λογισμικού (software/hardware infrastructure), διαχείριση και μετρήσεις (management και measurement), διανομή (delivery), χρέωση (billing) και επιπλέον υποστήριξη και λειτουργικότητα (support and professional services).**(βλ. σχήμα 11)



Κατηγορίες	Απαιτήσεις αγοράς
Δημιουργία περιεχομένου	Παραγωγή, Επεξεργασία, Κωδικοποίηση, Formats Περιεχομένου, Ανάπτυξη Εφαρμογών, Οργάνωση Περιεχομένου
Υποδομή	Εξυπηρετητές, Λογισμικό Streaming, Αποθηκευτικά μέσα, Κόμβοι CDN, Σηματοδοσία CDN, , Μηχανισμοί δρομολόγησης αιτήσεων, Μηχανισμοί QoS, Ασφάλεια, Λοιπές Συσκευές
Διαχείριση και Μετρήσεις	Διαχείριση Streaming Υλικού, Διαχείριση Δικτύου, Εύρος ζώνης streaming, Παράμετροι απόδοσης streaming, Δημογραφικά στοιχεία χρηστών, Διαχείριση Περιεχομένου, Διαχείριση Συσκευών, Έλεγχος απόδοσης
Διανομή	Streaming κατ'-απαίτηση, Live streaming, Ασφαλές streaming , Διανομή δυναμικού περιεχομένου
Χρέωση	Χρέωση και έκδοση λογαριασμών, Λογισμικό καταγραφής παραμέτρων χρέωσης Σχεδιασμός υπηρεσίας, Εγκατάσταση υπηρεσίας, Ενοποίηση με υπόλοιπες εφαρμογές πελάτη, Ανάπτυξη επιπλέον εφαρμογών (π.χ. web portal)
Επιπλέον υποστήριξη και λειτουργικότητα	

Σχήμα 11: Απαιτήσεις από άκρους εις άκρουν υπηρεσίας διανομής περιεχομένου

Όσον αφορά την **διαδικασία παραγωγής περιεχομένου** κατάλληλου προς διανομή μέσω του CDN, αυτή θα γίνεται στους origin servers, είτε υπάρχει αποθηκευμένο περιεχόμενο σε κάποια ψηφιακή ή αναλογική μορφή ή σε περίπτωση «ζωντανού» (live) περιεχομένου, θα μετατρέπεται, με κατάλληλο hardware και software, σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη προς διανομή μέσω του CDN “on the fly”. Το σημαντικό στο στάδιο αυτό, είναι το format του περιεχομένου (είτε αυτό είναι streaming είτε άλλο) να είναι συμβατό με τις τεχνολογίες που υποστηρίζονται από το CDN. Τα επικρατέστερα format πολυμέσων (Windows Media – Microsoft, Real Media – Real networks, QuickTime – Apple, ISMA – Internet Streaming Media Alliance, MPEG – Moving Picture Experts Group, H.261, H.263 – ITU-T), πρέπει να υποστηρίζονται, προκειμένου να μην υπάρξει ασυμβατότητα με τις ανάγκες των περισσότερων πελατών. Μια επισκόπηση των format που υποστηρίζουν οι κυριότερες εφαρμογές του χώρου, μπορεί να βρεθεί στο [17].

Η **υποδομή** περιλαμβάνει τα στοιχεία του δικτύου που είναι επιφορτισμένα με την διανομή του περιεχομένου, όπως είναι οι εξυπηρετητές, το λογισμικό streaming, τα αποθηκευτικά μέσα, το λογισμικό του CDN, τους μηχανισμούς ποιότητας υπηρεσίας QoS και τους μηχανισμούς ασφαλείας (π.χ. στην σηματοδοσία του δικτύου). Οι απαιτήσεις σε υποδομή διαφοροποιούνται ανάμεσα στα εταιρικά CDNs και στις διαδικτυακές υπηρεσίες διανομής περιεχομένου (βλ. προηγούμενο κεφάλαιο, παρ. 2.4). Οι τεχνολογικές επιλογές του δικτύου διανομής περιεχομένου, θα πρέπει να συνεργάζονται ομαλά με διαφορετικά λειτουργικά συστήματα (Windows, Unix, Linux, Mac κλπ.) αλλά και με διαφορετικά πρωτόκολλα τόσο γενικά του διαδικτύου, όσο και streaming. Τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα της 2^{ης} κατηγορίας είναι τα RTP (RFC 1889), SDP (RFC 2327), RTSP (RFC 2326), RDT (property of Real Networks), MMS (property of Microsoft). Για λόγους συμβατότητας λοιπόν, είναι επιθυμητό το λογισμικό του CDN να έχει υλοποίηση ανεξάρτητη πλατφόρμας. Επίσης, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι μόνο όσοι χρήστες δικαιούνται πρόσβασης, θα βλέπουν πραγματικά το περιεχόμενο. Τέλος, θα πρέπει να υιοθετούνται και να υποστηρίζονται μηχανισμοί QoS, ώστε το περιεχόμενο να έχει την αντιμετώπιση που αρμόζει, από δίκτυα που έχουν ήδη υλοποιήσει τέτοιες τεχνολογίες.

Η διαχείριση του δικτύου διανομής περιεχομένου παιζει σημαντικότατο ρόλο στην διαφοροποίηση της υπηρεσίας που προσφέρεται στο πελάτη, σε σχέση με τις άλλες υπηρεσίες φιλοξενίας και διανομής περιεχομένου. Συμπεριλαμβάνει λειτουργίες όπως η διαχείριση των στοιχείων του δικτύου στα οποία πρέπει να έχει πρόσβαση ο πελάτης, μετρήσεις χωρητικότητας του δικτύου, παραμέτρους απόδοσης του streaming [18], δημογραφικά στατιστικά στοιχεία των χρηστών, έλεγχο της απόδοσης και διαχείριση του περιεχομένου. Οι πλούσιες πολυμεσικές εφαρμογές όπως το streaming video, μπορούν να κορέσουν ένα δίκτυο και όπως είδαμε πιθανότατα θα αποτελέσουν έναν από τους κυριότερους παράγοντες που θα δώσουν ώθηση στην αγορά των CDNs. Οι λειτουργίες διαχείρισης του CDN μάλλον θα χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση από τους διαχειριστές των δικτύων. Είναι σημαντικό να περιλαμβάνονται λοιπόν σε μια ολοκληρωμένη υπηρεσία CDN, τα εργαλεία παρακολούθησης και μέτρησης της αποτελεσματικότητας και των βελτιώσεων στην απόδοση που επιφέρει το δίκτυο διανομής περιεχομένου, προκειμένου να δικαιολογείται με αυτό τον τρόπο συνεχώς και η επένδυση που έχει γίνει σε αυτό.

Μια ολοκληρωμένη υπηρεσία CDN, θα πρέπει να υποστηρίζει διανομή live streaming περιεχομένου, αλλά και περιεχομένου (είτε streaming είτε κάποιας άλλης μορφής), που παραγγέλνεται από τους χρήστες και μεταφέρεται σε κατάλληλη χρονική στιγμή (off peak hours) στους αντιπροσώπους, για να γίνεται πιο αποτελεσματική η διαδικασία. Είναι λοιπόν εμφανές ότι χρειάζεται να υλοποιείται και ένας μηχανισμός κατάθεσης παραγγελιών για μελλοντική λήψη περιεχομένου και διεκπεραίωσης αυτών από το σύστημα, πέραν από τις απλές λογικές push και pull που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο της αρχιτεκτονικής των CDNs. Μια πρωτοβουλία που είχε ως αφορμή την ανάγκη διανομής δυναμικού περιεχομένου, είναι τα Edge Side Includes [19]. Η ESI είναι μια απλή markup γλώσσα, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των συστατικών στοιχείων των ιστοσελίδων και την δυναμική δημιουργία και διανομή των διαδικτυακών εφαρμογών από τα άκρα του διαδικτύου. Οι προδιαγραφές ESI αποτελούν ανοιχτό πρότυπο, που προωθείται από τις Akamai, ATG, BEA Systems, Circadence, Digital Island, IBM, Interwoven, Oracle και Vignette. Συνεπώς, είναι επιθυμητό να υποστηρίζεται από μια ολοκληρωμένη υπηρεσία CDN.

Από την άλλη μεριά, η ασφάλεια στην διανομή, αποτελεί ένα από τα πρώτιστα σημεία ενδιαφέροντος για τους οργανισμούς IT και η διαχείριση της πρόσβασης στο περιεχόμενο, θα συνεχίσει να αποκτά μεγαλύτερη σημασία, όταν το streaming περιεχόμενο γίνει ακόμα πιο διαδεδομένο. Επομένως, πρέπει η υπηρεσία CDN να συνεργάζεται και με τους κυριότερους μηχανισμούς ελέγχου πρόσβασης, όπως οι LDAP, NDS, NTLM και RADIUS και αρχιτεκτονικές όπως το SSL.

Οι λειτουργίες της χρέωσης μπορεί να μην είναι απαραίτητες για τα εταιρικά ιδιωτικά δίκτυα, όμως είναι ζωτικής σημασίας για τους παρόχους δημόσιων υπηρεσιών διανομής περιεχομένου (CDSPs). Οι ολοκληρωμένες λύσεις CDN θα πρέπει να περιλαμβάνουν διεπαφές χρέωσης και έκδοσης λογαριασμών και να συνεργάζονται με έτοιμες λύσεις (πακέτα λογισμικού) για χρέωση των πελατών. Τα κυριότερα μοντέλα χρέωσης περιγράφηκαν στην προηγούμενο παράγραφο 2.2.

Οι τεχνολογίες των CDNs, είναι σχετικά νέες για τις επιχειρήσεις και η εμπειρία τους σε αυτή είναι πολύ μικρή. Έτσι οι πάροχοι των υπηρεσιών διανομής περιεχομένου, θα πρέπει να παρέχουν ένα μεγάλο εύρος συμπληρωματικών υπηρεσιών και υπηρεσιών υποστήριξης στα πλαίσια μια ολοκληρωμένης υπηρεσίας CDN. Από τον σχεδιασμό, την εγκατάσταση και την διαχείριση του δικτύου, έως και την ενοποίηση με τις υπάρχουσες εφαρμογές και την ανάπτυξη νέων, οι πάροχοι ολοκληρωμένων υπηρεσιών CDN θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τους πελάτες τους για να κερδίσουν την προτίμησή τους.

3.2. To OpenCDN – μια επεκτάσιμη αρχιτεκτονική δικτύου διανομής περιεχομένου για Streaming πολυμέσα

To OpenCDN (Open Content Delivery Network) είναι ένα overlay δίκτυο στο επίπεδο εφαρμογής, που φιλοδοξεί να διευκολύνει την διανομή ζωντανού αλλά και αποθηκευμένου πολυμεσικού περιεχομένου. Προς το παρόν δεν αποτελεί ολοκληρωμένο λογισμικό (έκδοση 0.6.8 – με νέες εκδόσεις να κυκλοφορούν περίπου κάθε μήνα), αλλά όπως αναφέρεται ρητά από τους δημιουργούς του [20], βρίσκεται στην φάση της εξέλιξης και αποκλειστικός του σκοπός στην παρούσα φάση είναι η δοκιμαστική λειτουργία και ο πειραματισμός.



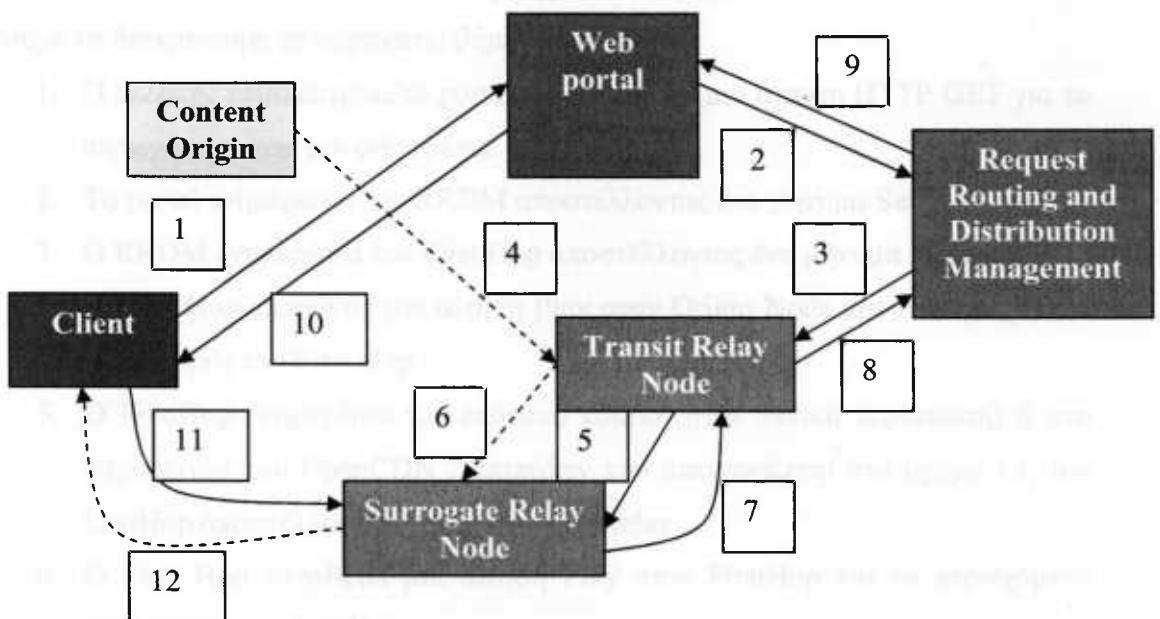
Ο κώδικάς του έχει αναπτυχθεί και ελεγχθεί με τις διανομές Linux Red Hat 9 και Fedora Core 1 και 2. Έχει αναφερθεί ότι λειτουργεί και στο Slackware 8 και 10 και στα Solaris 7 και 8. Από τις δοκιμές που κάναμε στο εργαστήριο, διαπιστώθηκε ότι λειτουργεί κανονικά και με την διανομή του Debian και πιθανότατα λειτουργεί και στα υπόλοιπα Unix / GNU Linux based συστήματα. Αυτή η διαλειτουργικότητα, οφείλεται στο γεγονός ότι ο κώδικάς των οντοτήτων του δικτύου είναι γραμμένος στην γλώσσα Perl (έκδοση 5.8.0), επομένως υπάρχουν πιθανότητες με μικρομετατροπές να λειτουργεί ακόμα και σε Windows πλατφόρμες. Επιπλέον, οι λειτουργίες που αφορούν την διανομή του περιεχομένου στους κόμβους του δικτύου (origin, relays, surrogates), βασίζονται στον Apple Darwin Streaming Server [21] (λογισμικό ανοιχτού κώδικα με εκδόσεις για τις πιο δημοφιλείς πλατφόρμες) ή εναλλακτικά στον Helix Universal Server [22] (ο οποίος διατίθεται με περιορισμένη δωρεάν άδεια χρήσης 30 ημερών). Επιπλέον, λόγω της δομής του κώδικα, μπορεί με την συγγραφή κατάλληλων adaptation layers, να υπάρξει μελλοντικά υποστήριξη και για άλλους εξυπηρετητές streaming (π.χ. Windows Media Server). Για την λειτουργία του web portal (Διαδικτυακής διεπαφής) του OpenCDN, αρκεί η λειτουργία ενός web server όπως είναι ο Apache web server. Τέλος, η σηματοδοσία του δικτύου (επικοινωνία των κόμβων μεταξύ τους αλλά και με το web portal), γίνεται με το πρωτόκολλο XML – RPC [23]. Από τα παραπάνω, είναι προφανές ότι από τον τρόπο υλοποίησης του OpenCDN, εξασφαλίζεται η διαλειτουργικότητα αφού ακολουθούνται ανοιχτά πρότυπα και η εύκολη επεκτασιμότητα, λόγω της modular δομής του κώδικα.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του, το OpenCDN αποτελείται από τις ακόλουθες λειτουργικές οντότητες:

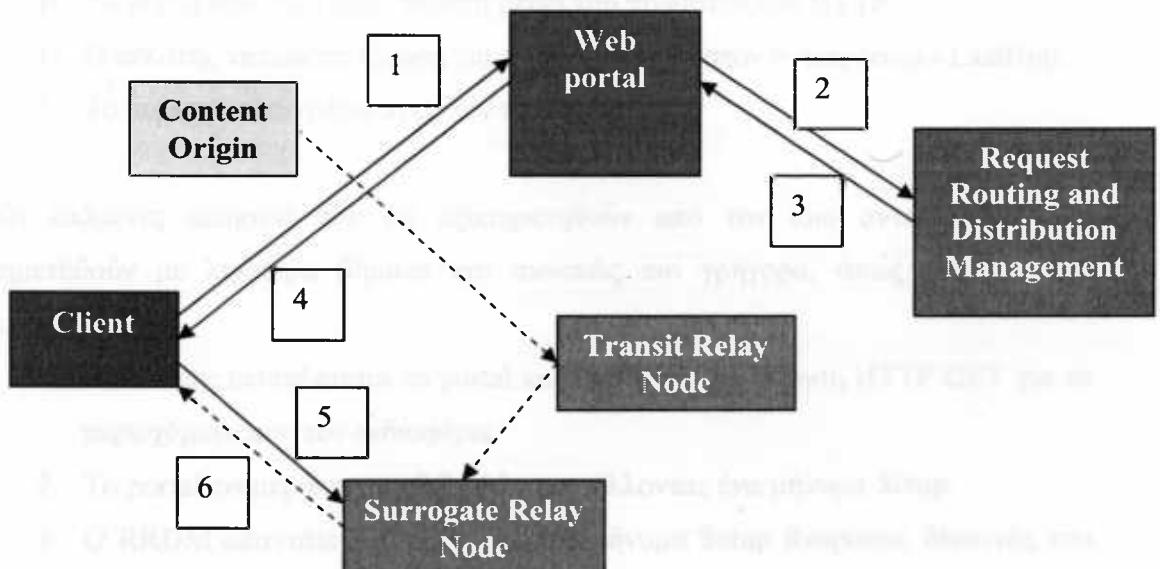
- Ένα **web portal** στο οποίο οι πελάτες μπορούν να καταθέσουν τις αιτήσεις τους για περιεχόμενο, επιλέγοντας από αυτά που είναι διαθέσιμα στο portal και οι οποίες αιτήσεις μεταβιβάζονται από το portal στην οντότητα RRDM (Request Routing and Distribution Manager). Στο web portal, εμφανίζεται μετά το πέρας των διαδικασιών δρομολόγησης η διεύθυνση του «καλύτερου» κόμβου για την παραλαβή του περιεχομένου

- Την **οντότητα RRDM**, η οποία συλλέγει πληροφορία με την μορφή metadata από τους εξυπηρετητές προέλευσης του περιεχομένου (origin nodes) και καταγράφει τις δυνατότητες εξυπηρέτησης που της αποστέλλουν οι κόμβοι με την μορφή ανακοινώσεων. Αφού λάβει μια αίτηση που κατατέθηκε από το portal, ο RRDM διευθύνει την διανομή του περιεχομένου ανάμεσα στους κόμβους και αποστέλλει πίσω στο portal την διεύθυνση παραλαβής του περιεχομένου από τον χρήστη.
- Ένα σύνολο από εξυπηρετητές δημοσίευσης περιεχομένου (**origin nodes**), οι οποίοι παρέχουν το περιεχόμενο στο OpenCDN και δημοσιεύουν μεταδεδόμενα για το περιεχόμενο, περιγράφοντάς το ώστε να τα χρησιμοποιήσει το portal
- Ένα σύνολο από κόμβους (**Nodes**), στους οποίους έχει εγκατασταθεί ένας streaming server, του οποίου οι δυνατότητες μεταφοράς (δηλ. τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του), έχουν αποσταλεί στον RRDM, μαζί με το σύνολο των χρηστών που είναι διατεθειμένος να εξυπηρετήσει ο κόμβος (δηλ. το footprint). Τα footprint εκφράζονται ως ένα σύνολο από προθέματα δικτυακών διευθύνσεων IP ή ένα σύνολο από καταλήξεις domain name, εσωκλείοντας με αυτό τον τρόπο ένα σύνολο ισοδύναμων διευθύνσεων που θέλει να εξυπηρετήσει ο κόμβος. Επίσης για κάθε σύνολο διευθύνσεων, οι κόμβοι εκδηλώνουν την πρόθεσή τους είτε να εξυπηρετήσουν απευθείας τελικούς χρήστες με τις κατάλληλες διευθύνσεις (LastHop Node), είτε να επιτρέψουν την διέλευση του περιεχομένου προς έναν LastHop Node με κατάλληλη διεύθυνση, οπότε στην περίπτωση αυτή ο αρχικός κόμβος χαρακτηρίζεται ως Transit Node.
- Το **πρωτόκολλο επικοινωνίας** όπως προαναφέραμε είναι το XML – RPC[23]

Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά τις διαδοχικές λειτουργικές φάσεις για την διανομή του περιεχομένου στον τελικό χρήστη μέσω του OpenCDN. Μπορούμε να διακρίνουμε δύο περιπτώσεις, η πρώτη είναι αυτή κατά την οποία ο χρήστης είναι ο πρώτος που θα εξυπηρετηθεί από τον συγκεκριμένο αντιπρόσωπο εξυπηρετητή, ενώ η δεύτερη περίπτωση είναι να υπάρχει ήδη ενεργός διανομή από τον εν λόγω εξυπηρετητή.



Βήματα κατά την εξυπηρέτηση της πρώτης αίτησης για κάποιον αντιπρόσωπο



Βήματα κατά την εξυπηρέτηση μελλοντικών αιτήσεων

Σχήμα 12: Βήματα για την εξυπηρέτηση ενός πελάτη στο OpenCDN

Κατά την ανάθεση της εξυπηρέτησης της 1^{ης} αίτησης σε κάποιον αντιπρόσωπο, μπορούμε να διακρίνουμε τα παρακάτω βήματα (σχ. 12):

1. Ο πελάτης επισκέπτεται το portal και καταθέτει μια αίτηση HTTP GET για το περιεχόμενο που τον ενδιαφέρει.
2. Το portal ενημερώνει τον RRDM αποστέλλοντας ένα μήνυμα Setup.
3. Ο RRDM ενημερώνει τον First Hop αποστέλλοντας ένα μήνυμα DoRelay.
4. Ο First Hop καταθέτει μια αίτηση Play στον Origin Node και το περιεχόμενο «ρέει» προς τον First Hop.
5. Ο FirstHop ενημερώνει τον επόμενο κόμβο (στην γενική περίπτωση) ή στο παράδειγμα του OpenCDN 2 επιπέδων που απεικονίζεται στο σχήμα 12, τον LastHop αποστέλλοντας ένα μήνυμα DoRelay.
6. Ο First Hop καταθέτει μια αίτηση Play στον FirstHop και το περιεχόμενο «ρέει» προς τον LastHop.
7. Ο LastHop απαντάει στον FisrtHop με μήνυμα της μορφής DoRelay Response.
8. Ο FirstHop απαντάει στον RRDM με μήνυμα της μορφής DoRelay Response.
9. Ο RRDM απαντάει στο portal με ένα μήνυμα Setup Response.
10. Το portal απαντάει στον πελάτη μέσω του πρωτοκόλλου HTTP.
11. Ο πελάτης καταθέτει αίτηση για το περιεχόμενο στον αντιπρόσωπο LastHop.
12. Το περιεχόμενο «ρέει» προς τον πελάτη.

Οι επόμενες αιτήσεις που θα εξυπηρετηθούν από τον ίδιο αντιπρόσωπο, θα εξυπηρετηθούν με λιγότερα βήματα και συνεπώς πιο γρήγορα, όπως φαίνεται και παρακάτω:

1. Ο πελάτης επισκέπτεται το portal και καταθέτει μια αίτηση HTTP GET για το περιεχόμενο που τον ενδιαφέρει.
2. Το portal ενημερώνει τον RRDM αποστέλλοντας ένα μήνυμα Setup.
3. Ο RRDM απαντάει στο portal με ένα μήνυμα Setup Response, δίνοντάς του την διεύθυνση του ήδη υπάρχοντος LastHop που είναι κατάλληλο για τον εν λόγω πελάτη.
4. Το portal απαντάει στον πελάτη μέσω του πρωτοκόλλου HTTP.
5. Ο πελάτης καταθέτει αίτηση για το περιεχόμενο στον αντιπρόσωπο LastHop.
6. Το περιεχόμενο «ρέει» προς τον πελάτη.



Open CDN Test Page

A Content Delivery Network for Live Streaming to the masses is under development.
Would you like to try if it works for you ? If so, please

Help	
Status	

select one of these actions:

- Service Request Asks to the Request Routing and Distribution Management to set up distribution (if not exists yet) of the origin, and surrogate URI, from where you can pick up the content
- Teardown Request Dismantles the CDN for the given Program.

then, choose the Program Source:

Mytar

More informations about the contents available can be found in the [Origin Status page](#)

and finally start the game !

OpenCDN Response Page

Please receive the requested content at

rtsp://151.100.4.60/151.100.122.171_v-0.6.9-genni.ing.uniromal.itWhatsItt1955.mp4.sdp

Note: at the first SetUp, you may need to wait some seconds before you start to receive media packets, because of buffering at each

Input values:

Received request	Setup
Your IP address	62.38.209.165
Content Origin	rtsp://genni.ing.uniromal.it/WhatsItt1955.mp4
Content Description	The Polymer @ 422 kbps
Provided by	OpenCDN Primary Content Origin - genni @ Uniromal
Transport	isma
Duration	907 secs
Audio	MPEG-2 (MP3), 56 kbps, 22050 Hz
Video	MPEG-4 Simple @ L3, 366 kbps, 320x240 @ 29.97 fps

Response from RRDM:

```
ret_code: 200
ret_val: rtsp://151.100.4.60/151.100.122.171_v-0.6.9-genni.ing.uniromal.itWhatsItt1955.mp4.sdp
```

Σχήμα 13: Η σελίδα επιλογής περιεχομένου και η σελίδα απάντησης με τον LastHop στο
OpenCDN



Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά, τις διαδικασίες που ακολουθούνται από τον RRDM (ο κώδικας για τις οποίες βρίσκεται στα αρχεία RRDM.pl και ./lib/RRDMLib.pm της διανομής του OpenCDN), για την εγκατάσταση του δέντρου διανομής:

- Αρχικά ελέγχεται αν κάποιος εξυπηρετητής LastHop με footprint που δέχεται να εξυπηρετήσει τον εν λόγω πελάτη, έχει ήδη ενεργοποιηθεί για το επιλεγμένο πρόγραμμα. Επίσης ελέγχεται ο συγκεκριμένος εξυπηρετητής ώστε να βρίσκεται όσον αφορά τον φόρτο (παράμετρος που συνδυάζει CPU και εύρος ζώνης) κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Αν όλα αυτά συμβαίνουν, τότε επιστρέφεται το URI του κόμβου αυτού και η διαδικασία όσον αφορά τον RRDM σταματάει.
- Στη συνέχεια ελέγχεται αν υπάρχουν μη κενά σύνολα FH και LH εξυπηρετητών που να υποστηρίζουν την μεταφορά του περιεχομένου. Στην περίπτωση που τέτοια σύνολα δεν υπάρχουν, επιστρέφεται ο κατάλληλος κωδικός λάθους στο portal και η διαδικασία τερματίζεται.
- Ακολούθως, ελέγχεται αν κάποιος FirstHop Relay έχει ήδη ενεργοποιηθεί για το συγκεκριμένο περιεχόμενο και από αυτούς που ικανοποιούν την συνθήκη αυτή, επιλέγονται αυτοί που έχουν «διαφημίσει» footprint που περιέχει και την IP διεύθυνση του πελάτη. Αν η λίστα που προκύπτει δεν είναι άδεια, γίνεται ταξινόμηση των στοιχείων της, με βάση το ποιος εξυπηρετητής έχει ανακοινώσει το πιο περιορισμένο σετ διευθύνσεων για τον συγκεκριμένο πελάτη. Επιλέγεται λοιπόν ο εξυπηρετητής με το λιγότερο «γενικό» footprint. Αν υπάρχουν πάνω από ένας ισοδύναμοι εξυπηρετητές, επιλέγεται αυτός που θα απαντήσει πρώτος σε ένα “ping” του RRDM. (Εισάγοντας μια δική μας καθυστέρηση προτού απαντήσει στο “ping” ο κάθε κόμβος, η οποία είναι ανάλογη του «φόρτου» του κόμβου, πετύχαμε να παίζει ρόλο στην επιλογή και η παράμετρος «φόρτος»). Στην συνέχεια, αποστέλλεται αίτηση προς τον επιλεγμένο ήδη ενεργό FirstHop, να εγκαταστήσει διανομή του περιεχομένου προς έναν LastHop για τον πελάτη. Στην αίτηση συμπεριλαμβάνεται η λίστα με τις διευθύνσεις των γνωστών LastHops που είναι υποψήφιοι να εξυπηρετήσουν τον πελάτη, μαζί με τα footprints αυτών και την κατάσταση φόρτου. Μετά, ο RRDM περιμένει για απάντηση, καθώς το υπόλοιπο της διαδικασίας γίνεται αναδρομικά στους ενδιάμεσους κόμβους.



- Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ούτε ενεργός LastHop εξυπηρετητής, ούτε ενεργός εξυπηρετητής relay, αλλά εντούτοις, όπως έχει ήδη ελεγχθεί σε προηγούμενο βήμα, υπάρχει σύνολο υποψήφιων LastHops και relays, επιλέγεται ένας κατάλληλος FirstHop relay για την διανομή και του δίνονται οδηγίες να ακολουθήσουν αναδρομική διαδικασία για την εύρεση του LastHop. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό αυτών, είναι αυτή που περιγράφηκε στο αμέσως προηγούμενο στάδιο.
- Αφότου ο RRDM μεταβιβάσει την υπευθυνότητα της εγκατάστασης του δέντρου διανομής σε έναν ήδη ενεργό relay ή σε έναν καινούριο FirstHop relay, σύμφωνα με τα προηγούμενα βήματα, περιμένει μια απάντηση από αυτούς. Η απάντηση απαιτείται για δύο λόγους: πρώτον για να μπορεί να επιστρέψει ένα «σημείο συνάντησης» στον πελάτη και δεύτερον για να συλλέξει πληροφορία κατάστασης σχετική με την ανάπτυξη του CDN.

Η απάντηση λοιπόν θα περιέχει: α) το URI του εξυπηρετητή LastHop, για να δημοσιευτεί στην σελίδα που θα επιστραφεί στον πελάτη από το portal, καθώς και β) την λίστα των νέων relays που αρχικοποιήθηκαν για την διανομή του δεδομένου περιεχομένου, ως συνέπεια της αίτησης που κατατέθηκε από το RRDM, προκειμένου να ενημερωθεί η πληροφορία κατάστασης του OpenCDN. Ενδέχεται βεβαίως να επιστραφεί και μια αρνητική απάντηση, πιθανόν λόγω καταστάσεως υπερφόρτωσης του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, ο RRDM προσπαθεί και πάλι να εγκαταστήσει το δέντρο διανομής, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς FirstHop, relay και LastHop εξυπηρετητές.

Παρόμοια με παραπάνω, ας δούμε τις διαδικασίες που ακολουθεί ένας κόμβος όταν λάβει μια αίτηση από το RRDM ή κάποιον άλλον κόμβο. Στο σημείο αυτό, να διευκρινίσουμε ότι όλοι οι κόμβοι του OpenCDN «τρέχουν» τον ίδιο κώδικα (ο οποίος βρίσκεται στα αρχεία Node.pm και ./lib/NodeLib.pm της διανομής του OpenCDN), χωρίς να υπάρχει διάκριση First,LastHop ή relay:

- Αρχικά γίνεται ένας λογικός έλεγχος στις διευθύνσεις των ενδιάμεσων κόμβων και του τελικού προορισμού, οι οποίες παραλήφθηκαν από αυτόν που απέστειλε την αίτηση. Αν δεν ταιριάζουν με αυτές που διαφημίζει ο εν λόγω κόμβος, επιστρέφεται μια αρνητική απάντηση, επισημαίνοντας την ασυμβατότητα.

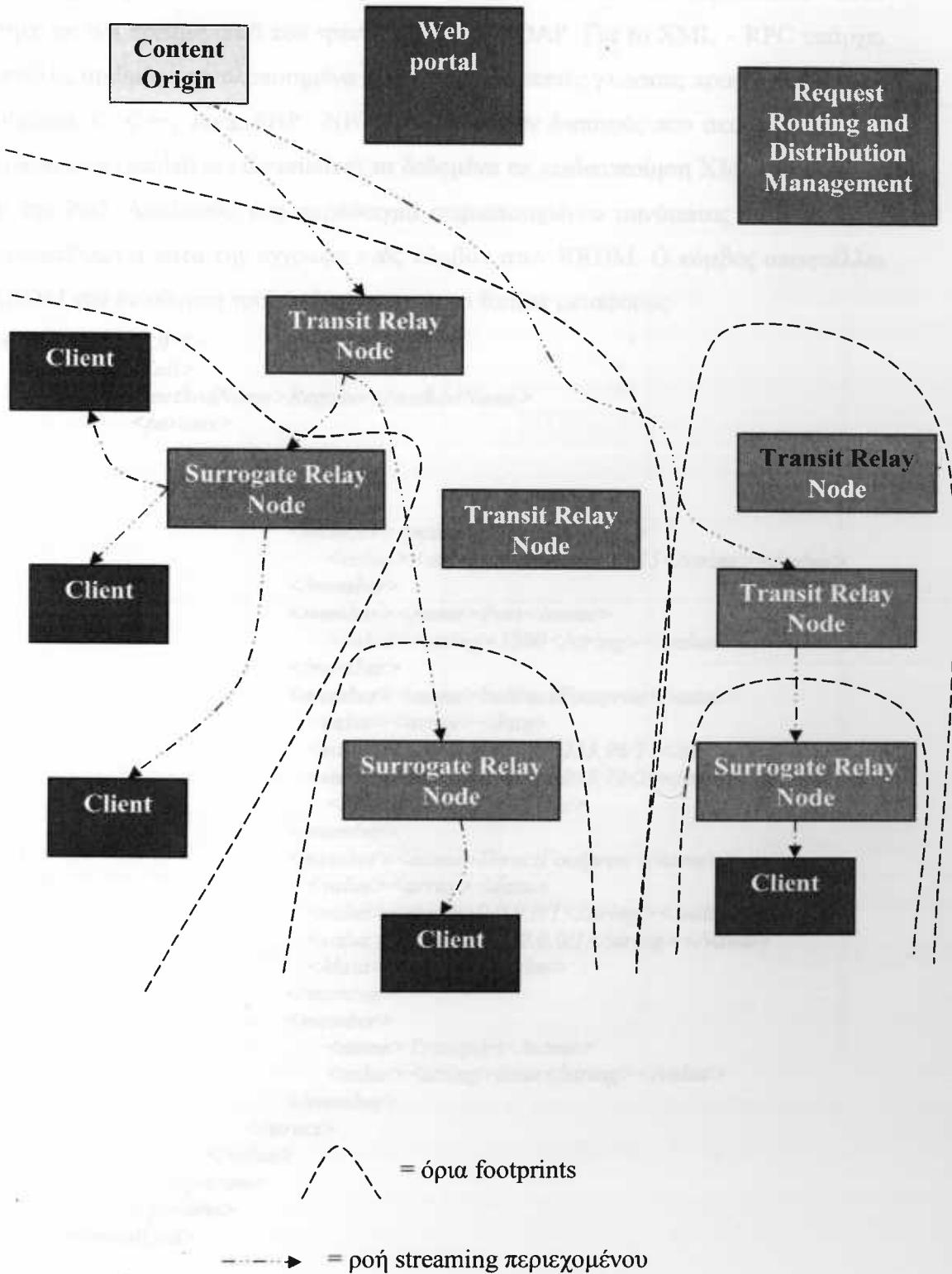
- Στην συνέχεια γίνεται έλεγχος για την κατάσταση του κόμβου όσον αφορά τον φόρτο και αν αυτός υπερβαίνει ένα δεδομένο όριο, επιστρέφεται αρνητική απάντηση.
- Στην περίπτωση που ο κόμβος είναι είτε ένας ανενεργός FirstHop relay είτε ο LastHop αντιπρόσωπος, εγκαθίσταται μια σύνδεση παραλαβής του περιεχομένου από τον up-stream εξυπηρετητή προέλευσης (origin node) προς τον ίδιο τον εν λόγω κόμβο. Αν η διαδικασία αυτή αποτύχει, επιστρέφεται στο αποστολέα της αίτησης (υπενθυμίζουμε ότι μπορεί να είναι είτε ο RRDM είτε κάποιος άλλος κόμβος), μια αρνητική απάντηση. Αν η διαδικασία εγκατάστασης της μεταγωγής του περιεχομένου είναι επιτυχής, προσθέτει στην λίστα των ενεργών relays για το συγκεκριμένο περιεχόμενο, η διεύθυνση του παρόντος κόμβου.
- Στην περίπτωση που ο κόμβος είναι ο LastHop αντιπρόσωπος, επιστρέφει στον αποστολέα της αίτησης έναν κωδικό επιτυχίας της διαδικασίας (200 OK), επισυνάπτοντας και το URI που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί από τον πελάτη για την παραλαβή του περιεχομένου, μαζί με την λίστα των νέων ενεργών relays που αρχικοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο περιεχόμενο (στην παρούσα περίπτωση η λίστα προφανώς θα περιλαμβάνει μόνο την διεύθυνση του ίδιου του LastHop).



- Αν ο κόμβος είναι ένας ήδη ενεργός FirstHop ή άλλος relay που ανήκει στο δέντρο της διανομής, εξετάζει την λίστα των υποψηφίων LastHops και τους κατατάσσει με φθίνουσα σειρά όσον από τον πιο ειδικό προς τον πιο γενικό όσον αφορά τα footprints. Στην συνέχεια, επικοινωνεί με τον υποψήφιο με το πιο συγκεκριμένο footprint και του καταθέτει μια αίτηση σαν αυτή που παρέλαβε ο ίδιος, ώστε να γίνει αναδρομή της διαδικασίας. Αν λάβει θετική απάντηση, συνενώνει την λίστα των κόμβων που είναι relays του περιεχομένου που έλαβε στην απάντηση, με την λίστα που διαθέτει ο ίδιος και την αποστέλλει στην οντότητα που είχε καταθέσει την αίτηση στον ίδιο, μαζί με τον κατάλληλο κωδικό απάντησης και σταματά την διαδικασία. Αν λάβει αρνητική απάντηση (π.χ. λόγω υπερβολικού φόρτου του εξυπηρετητή στον οποίο έστειλε την αίτηση), εάν αυτός ήταν ο τελευταίος υποψήφιος, επιστρέφει στην οντότητα από την οποία είχε παραλάβει την αίτηση, την λίστα με τους ενεργούς relays που δημιουργήθηκε μέχρι αυτό το σημείο και μετά σταματά. Αν ο υποψήφιος δεν ήταν ο τελευταίος, επικοινωνεί με τον αμέσως επόμενο (πιο γενικό footprint) στην λίστα και συνεχίζει ανάλογα.

Το ακόλουθο σχήμα, απεικονίζει μια πιθανή τοπολογία του OpenCDN (υπενθυμίζουμε ότι πρόκειται για overlay δίκτυο), η οποία είναι αποτέλεσμα της κατάθεσης αιτήσεων 5 πελατών για το ίδιο πρόγραμμα (streaming περιεχόμενο).





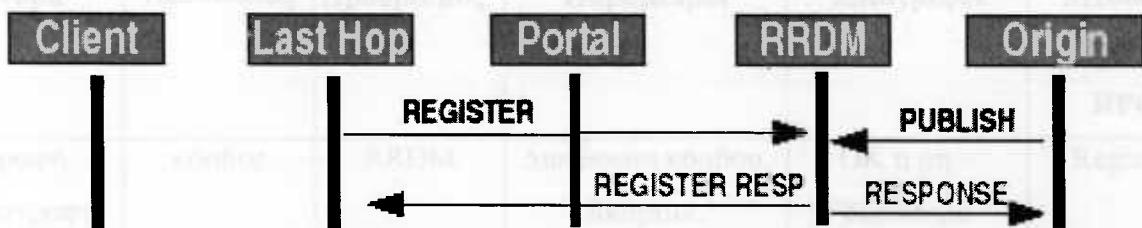
Σχήμα 14: Ενδεικτική τοπολογία του OpenCDN με 5 πελάτες μετά την αποκατάσταση των συνδέσεων για τις ροές περιεχομένου

Όπως προαναφέραμε, στην επικοινωνία ανάμεσα στις λειτουργικές οντότητες του OpenCDN χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο XML – RPC. Το πρωτόκολλο αυτό βασίστηκε σε ένα πρώιμο draft του specification του SOAP. Για το XML – RPC υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από υλοποιημένα εργαλεία για αρκετές γλώσσες προγραμματισμού (Perl, Python, C, C++, Java, PHP, .NET) και υπάρχουν διεπαφές που σειριοποιούν και αποσειριοποιούν (serialize / deserialize) τα δεδομένα σε κωδικοποίηση XML, διαθέσιμες και για την Perl. Ακολουθεί ένα παράδειγμα σειριοποιημένου μηνύματος σε XML, το οποίο αποστέλλεται κατά την εγγραφή ενός κόμβου στον RRDM. Ο κόμβος αποστέλλει στον RRDM την διεύθυνσή του, το footprint και το format μεταφοράς

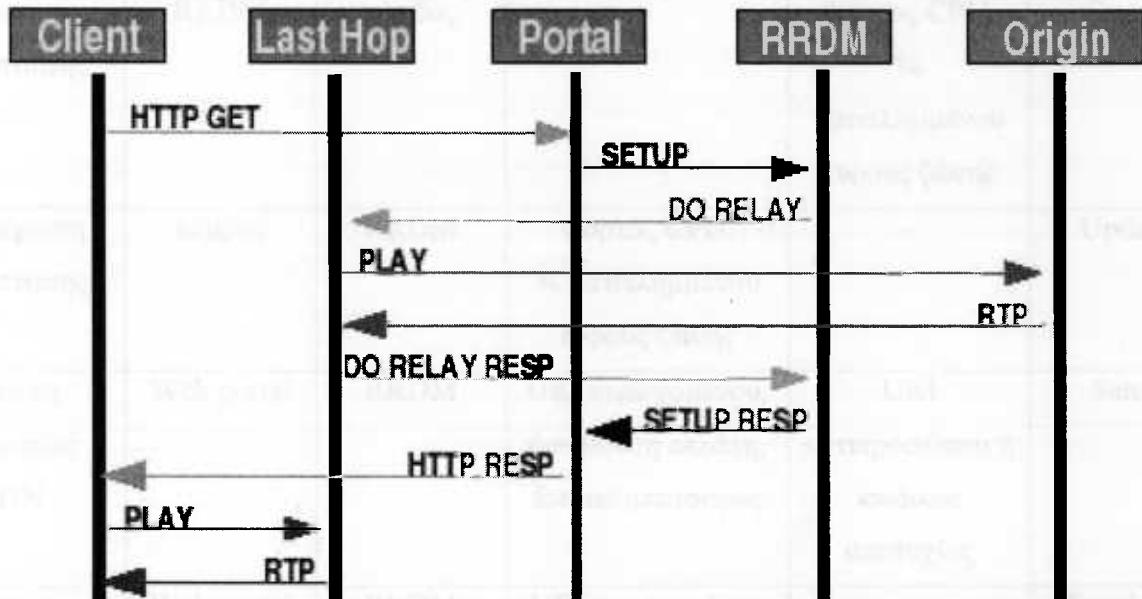
```
<?xml version="1.0"?>
<methodCall>
    <methodName>Register</methodName>
    <params>
        <param>
            <value>
                <struct>
                    <member><name>Address</name>
                        <value><string>195.251.253.225</string></value>
                    </member>
                    <member><name>Port</name>
                        <value><string>5500</string></value>
                    </member>
                    <member><name>IndirectFootprint</name>
                        <value><array><data>
                            <value><string>195.251.253.96/27</string></value>
                            <value><string>195.251.253.72/29</string></value>
                        </data></array></value>
                    </member>
                    <member><name>DirectFootprint</name>
                        <value><array><data>
                            <value><string>0.0.0.0/1</string></value>
                            <value><string>128.0.0.0/1</string></value>
                        </data></array></value>
                    </member>
                    <member>
                        <name>Transport</name>
                        <value><string>isma</string></value>
                    </member>
                </struct>
            </value>
        </param>
    </params>
</methodCall>
```



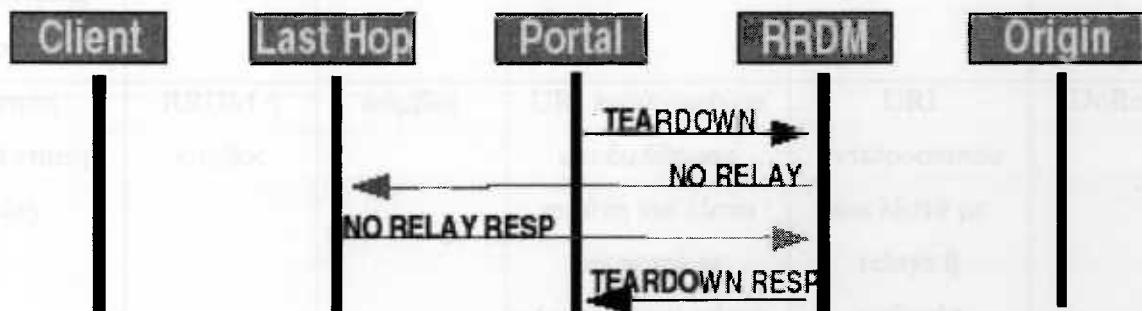
Φάση εγγραφής (Registration)



Φάση εγκαθίδρυσης διανομής (Distribution Setup)



Φάση κατόργησης διανομής (Distribution Teardown)



Σχήμα 15: Χρονική αλληλουχία των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται κατά τις διάφορες λειτουργικές φάσεις του OpenCDN

Μήνυμα	Αποστολέας	Προορισμός	Παράμετροι	Επιστρέφει	Μέθοδος
					XML – RPC
Εγγραφή Επανεγγραφή Διαγραφή	κόμβος	RRDM	Διεύθυνση κόμβου, footprint, format μεταφοράς	OK ή μη – διαθέσιμο RRDM	Register
Ερώτημα κατάστασης	RRDM	κόμβος	-	Φόρτος CPU, % κατειλημμένου εύρους ζώνης	Query
Ενημέρωση κατάστασης	κόμβος	RRDM	Φόρτος CPU, % κατειλημμένου εύρους ζώνης	-	Update
Αίτηση υπηρεσίας CDN	Web portal	RRDM	URI περιεχομένου, διεύθυνση πελάτη, format μεταφοράς	URI αντιπροσώπου ή κωδικός αποτυχίας	Setup
Αίτηση κατάργησης υπηρεσίας	Web portal	RRDM	URI περιεχομένου	-	Teardown
Αίτηση εγκατάστασης relay	RRDM ή κόμβος	κόμβος	URI περιεχομένου και διεύθυνση πελάτη και λίστα υποψηφίων downstream relays και format μεταφοράς	URI αντιπροσώπου και λίστα με relays ή κωδικός αποτυχίας	DoRelay
Αίτηση κατάργησης relay	RRDM ή κόμβος	κόμβος	URI περιεχομένου και λίστα downstream relays	-	NoRelay

Σχήμα 16: Πίνακας των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται κατά την λειτουργία του

OpenCDN



Στον παραπάνω πίνακα έχουν καταγραφεί τα μηνύματα που εναλλάσσονται μεταξύ των λειτουργικών οντοτήτων του OpenCDN, όπως και οι οντότητες που αφορούν, οι παράμετροι που διακινούνται και το όνομα των αντίστοιχων μεθόδων που έχουν υλοποιηθεί για την XML – RPC.

Αξίζει στο τέλος, να καταγράψουμε δύο χαρακτηριστικά του OpenCDN που αφορούν την σταθερότητά του και την κατανεμημένη διατήρηση της πληροφορίας του φόρτου των εξυπηρετητών που συμμετέχουν στο δίκτυο. Όπως προαναφέραμε, ο κάθε relay κόμβος διατηρεί λίστα με τους downstream relays για το περιεχόμενο που διέρχεται από αυτόν. Η πληροφορία αυτή (πληροφορία κατάστασης του OpenCDN), υπάρχει συγκεντρωτικά και στον RRDM, ο οποίος γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την κατάσταση όλου του overlay δικτύου. Αν για κάποιον λόγο ο RRDM τεθεί εκτός λειτουργίας (π.χ. reset εξυπηρετητή), οι FirstHop relays με τα περιοδικά μηνύματα Update που αποστέλλονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, θα ενημερώσουν και πάλι τον RRDM για την κατάσταση του δικτύου. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και όσον αφορά τον φόρτο του δικτύου. Ο RRDM δεν παρακολουθεί όλους τους κόμβους, αλλά τους FirstHop relays. Αυτοί με την σειρά τους παρακολουθούν τους επόμενους στην ιεραρχία κοκ. Είδαμε άλλωστε παραπάνω, ότι η δρομολόγηση μιας διανομής περιεχομένου, είναι αναδρομική διαδικασία η οποία εκκινεί από τον RRDM και ο κάθε κόμβος επιλέγει τον επόμενό του στην ιεραρχία.

3.3. Εγκατάσταση του OpenCDN

Για να εγκαταστήσει κάποιος το OpenCDN σε κάποιον εξυπηρετητή, αρκεί να ακολουθήσει τα ακόλουθα (απλά για κάποιον που είναι εξοικειωμένος με το περιβάλλον του Linux), βήματα. Υποθέτουμε ότι υπάρχει εγκατεστημένος κάποιος web server (με τον Apache να αποτελεί την πιο δημοφιλή επιλογή) και έχει εγκατεστημένο το κατάλληλο module της Perl.

Αρχικά, εφόσον ο κόμβος δεν προορίζεται για αποκλειστική χρήση ως RRDM, αλλά πρόκειται να λειτουργήσει (και) ως εξυπηρετητής περιεχομένου (First, relay, Last Hop, Origin), πρέπει να εγκατασταθεί κάποιος από τους 2 υποστηριζόμενους streaming servers (Apple Darwin Streaming Server, Real networks Helix Universal Server), για τους οποίους υπάρχει έτοιμο «στρώμα προσαρμογής» (adaptation layer) που περιλαμβάνεται στο πακέτο της διανομής του OpenCDN. Να διευκρινίσουμε βεβαίως, ότι ο ίδιος ο streaming server δεν περιλαμβάνεται στο πακέτο, αλλά μπορεί να βρεθεί στην αντίστοιχη ιστοσελίδα [21], [22]. Στο εργαστήριο προτιμήσαμε να εγκαταστήσουμε την έκδοση του Darwin της Apple για GNU/Linux , καθώς ο Helix παρέχεται με άδεια ελεύθερης χρήσης περιορισμένου χρόνου 30 ημερών).

Αναλυτικές οδηγίες εγκατάστασης του Darwin παρέχονται στο συνοδευτικό αρχείο README.Darwin της διανομής του OpenCDN. Η εγκατάσταση είναι απλή και το μόνο άξιο αναφοράς είναι το admin username και password που ζητούνται μετά το πέρας της διαδικασίας και τα οποία πρέπει να καταγραφούν καθώς θα ζητηθούν και κατά την διαμόρφωση του OpenCDN, προκειμένου να μπορεί το adaptation layer (αρχείο ./lib/Darwin.pm) να επικοινωνεί και να ελέγχει τον streaming server. Τρέχοντας το script streamingadminserver.pl (το path του έχει μπει στο PATH του λειτουργικού μας από την εγκατάσταση που κάναμε), εκκινεί ο streaming server. Μπορούμε να τον προσπελάσουμε και να τον διαχειριστούμε μέσω του web interface που διαθέτει, με το πρωτόκολλο HTTP στο port 1220 του εξυπηρετητή που έγινε η εγκατάσταση. Από το web interface μπορούμε να κάνουμε πληθώρα ενεργειών που αφορούν την διαχείριση του streaming server. Από αυτές, οι μόνες που άπτονται της λειτουργίας του OpenCDN, είναι η παρακολούθηση των συνδεμένων χρηστών (connected users) και η πληροφόρηση για τα τρέχοντα ενεργά relays του streaming server (relay status) . Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η οθόνη με τα στατιστικά στοιχεία του streaming server, παραμένη από το web interface.

The screenshot shows a web browser window with the URL http://195.251.253.225:1220/parse_xml.cgi. The title bar of the browser includes various icons and the text "Server is Running" and "unused-229.OBSOLETE.dmst.aueb.gr". The main content area has a sidebar on the left with links like Main, Connected Users, Relay Status, General Settings, Port Settings, Relay Settings, Log Settings, Playlists, Error Log, Access History, and Log Out. A question mark icon is also present. On the right, a large box titled "Server Snapshot" contains the following information:

Server:	unused-229.OBSOLETE.dmst.aueb.gr
Status:	Started Wed, 19. Jan 2005 13:23:47
Current Time On Server:	Thu, 20. Jan 2005 17:12:15
Up Time:	1 days 3 hrs 48 min 28 sec
DNS Name (default):	unused-229.OBSOLETE.dmst.aueb.gr
Server Version:	5.0.1.1
Server API Version:	4.0
CPU Load:	0.00%
Current # of Connections:	0
Current Throughput:	0 bps
Total Bytes Served:	1.084 MB
Total Connections Served:	2

Σχήμα 17: Οθόνη στατιστικών του web admin του Darwin Streaming Server

Στην συνέχεια, εφόσον επιθυμούμε στον συγκεκριμένο υπολογιστή να λειτουργεί ο RRDM, πρέπει να επεξεργαστούμε το αρχείο httpd.conf του Apache και να προσθέσουμε τις ακόλουθες γραμμές στο τέλος του:

```
#  
# OpenCDN settings  
#  
Alias /oCDN/ "$INSTALL_DIR/html/"  
<Directory "$INSTALL_DIR/html/perl/">  
    Options +ExecCGI  
    AddHandler cgi-script pl  
</Directory>
```

όπου \$INSTALL_DIR το μονοπάτι της εγκατάστασης του OpenCDN. Η αλλαγή αυτή γίνεται ώστε να μπορούμε να προσπελάσουμε την διαδικτυακή διεπαφή του RRDM και του OpenCDN που είδαμε σε προηγούμενη εικόνα. Αυτό γίνεται μέσω web browser, πληκτρολογώντας την διεύθυνση [http://\[διεύθυνση_εξυπηρετητή\]/oCDN/](http://[διεύθυνση_εξυπηρετητή]/oCDN/). (π.χ. για το RRDM που στήθηκε δοκιμαστικά στο εργαστήριο δικτύων του Ο.Π.Α, <http://195.251.253/oCDN/>). Να σημειωθεί ότι το OpenCDN λειτουργεί και χωρίς την εγκατάσταση της Διαδικτυακής επαφής, αλλά με αυτό τον τρόπο θα πρέπει κάποιος να διαβάζει τα log files για να παρακολουθεί την λειτουργία του!

Τα παραπάνω βήματα, μπορούν να γίνουν και αυτόματα, αρκεί να τρέξει κάποιος το Install script, που άρχισε να παρέχεται στις τελευταίες εκδόσεις του OpenCDN. Για καλύτερη παραμετροποίηση όμως και ειδικά για όσους δεν χρησιμοποιούν λειτουργικό σύστημα διανομής Red Hat (Red Hat 9/Enterprise ή Fedora Core 1/2/3), η πιο ενδεδειγμένη διαδικασία είναι αυτή που περιγράφηκε παραπάνω.

Στην συνέχεια πρέπει να διαμορφωθούν κατάλληλα τα αρχεία που υπάρχουν στον φάκελο ./etc (CommConf.pm, RRDMconfig.pm, NodeConfig.pm, OriginConfig.pm, DarwinConfig). Στα αρχεία αυτά, ακολουθώντας τις αναλυτικές οδηγίες που παρέχονται με μορφή σχολίων σε αυτά, ορίζουμε παραμέτρους όπως η διεύθυνση του RRDM, το footprint κάποιου κόμβου, τα προγράμματα (περιεχόμενο) που παρέχει κάποιος εξυπηρετητής προέλευσης περιεχομένου κοκ. Βέβαια, σε κάθε υπολογιστή δεν είναι απαραίτητο να διαμορφωθούν όλα τα αρχεία, αλλά μόνο όσα αφορούν τις λειτουργικές οντότητες του OpenCDN που θα τρέξουν στον υπολογιστή αυτό. Ακολούθως τρέχουμε το script ./launch.sh και εκκινούμε τις οντότητες που μας ενδιαφέρουν σε κάθε υπολογιστή.



3.4. Πειραματισμός με την λειτουργία του OpenCDN

Στο εργαστήριο δικτύων του Ο.Π.Α. έγινε εγκατάσταση ενός RRDM, ενός Origin και 2 κόμβων του OpenCDN σε 2 υπολογιστές με λειτουργικό σύστημα Debian Linux. Οι 2 κόμβοι αυτοί διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να λειτουργούν ως LastHops για τους υπολογιστές του εργαστηρίου. Από τους υπόλοιπους υπολογιστές του εργαστηρίου, οι οποίοι διαθέτουν γραφικό περιβάλλον και χρησιμοποιούν το λειτουργικό σύστημα Windows XP, μπορεί κάποιος να καταθέσει αιτήσεις για περιεχόμενο, προσπελάζοντας την σελίδα <http://195.251.253.225/oCDN/> που όπως προαναφέραμε αποτελεί το web interface του OpenCDN. Αφού λάβει ο χρήστης την απάντηση από το OpenCDN, αρκεί να επικολλήσει το URL στον QuickTime Player (διατίθεται δωρεάν στην απλή του έκδοση από την ιστοσελίδα της Apple). Το url θα είναι της μορφής `rtsp://[διεύθυνση-αντιπροσώπου]/[διεύθυνση_προέλευσης]_[όνομα_CDN]_[περιεχόμενο].sdp` (π.χ. `rtsp://193.206.139.37/151.100.4.60_v-0.6.9-opencdn.uniroma1.it_spider-man2.mp4.sdp`) και το εισάγουμε στον QuickTime Player από την επιλογή File -> Open URL ή Ctrl+U .

Διαμορφώνοντας κατάλληλα τα footprints στα αρχεία `/etc/NodeConfig.pm` των κόμβων, καταφέραμε οι υπολογιστές του εργαστηρίου που ανήκουν σε διαφορετικά υποδίκτυα, να εξυπηρετούνται από διαφορετικό κόμβο του OpenCDN, ελέγχοντας με αυτόν τον τρόπο την λειτουργία του RRDM. Η περίπτωση αυτή όμως δεν προσφέρει πολλά περιθώρια για πειραματισμό, καθότι μέσα στα όρια του εργαστηρίου και με την ταχύτητα των συνδέσεων των υπολογιστών, δεν μπορεί να υλοποιηθεί ένα σενάριο με το οποίο να μπορεί να επαληθευθεί η βελτίωση στην ποιότητα του περιεχομένου, με την χρήση του OpenCDN.

Για να μπορέσουμε να παρατηρήσουμε την βελτίωση αυτή, υλοποιήσαμε ένα δεύτερο σενάριο. Συγκεκριμένα, στον εξυπηρετητή με διεύθυνση 195.251.253.225 του εργαστηρίου του Ο.Π.Α. , τέθηκε σε λειτουργία ένας απλός κόμβος. Ο κόμβος αυτός εντάχθηκε στο μεγαλύτερο OpenCDN που λειτουργεί, το οποίο έχει στηθεί από τους δημιουργούς του OpenCDN και βασίζεται στον RRDM που βρίσκεται στον εξυπηρετητή `opencdn.uniroma1.it`. Σκοπός του σεναρίου, ήταν να προσπελάσουμε το OpenCDN και να ζητήσουμε περιεχόμενο, μέσω μιας σύνδεσης ADSL 384/128kbps της Forthnet. Φυσικά, διαμορφώσαμε το αρχείο `/etc/NodeConfig.pm` του κόμβου του εργαστηρίου έτσι ώστε στο direct footprint του, να βρίσκεται και το υποδίκτυο στο οποίο ανήκει ο DSL Router μας (194.219.224.0/19).

Αρχικά, προτού ενεργοποιήσουμε τον κόμβο στο εργαστήριο δικτύων του Ο.Π.Α., καταθέσαμε αίτηση για το πρόγραμμα “Live TV” μέσω του web interface που βρίσκεται στην διεύθυνση <http://labtel.ing.uniroma1.it/oCDN/perl/index.pl> .

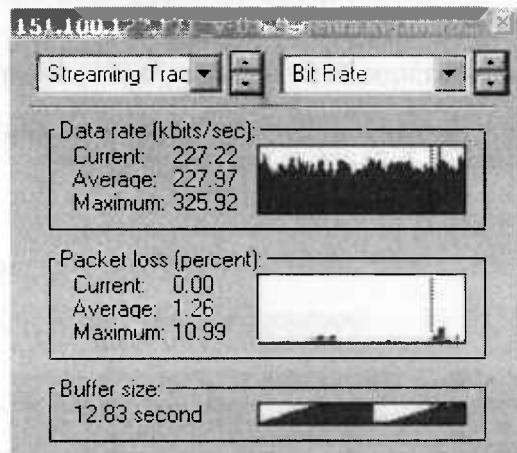
Το πρόγραμμα αυτό, προέρχεται από ζωντανή κωδικοποίηση του Ιταλικού μουσικού καναλιού MTV. Η κωδικοποίησή του, είναι στα 200kbps video (MPEG-4 Simple @ L3, 200 kbps, 176x144 @ 10 fps) και 24kbps audio (MPEG-4 AAC LC, 24 kbps, 16000 Hz). Προκειμένου το περιεχόμενο να γίνει κατάλληλο για streaming μετάδοση, πρέπει να υποβληθεί σε μια διαδικασία που ονομάζεται hinting. Με την διαδικασία αυτή δημιουργείται ένα αντίστοιχο αρχείο με επέκταση .sdp το οποίο περιέχει μια περιγραφή με μεταδιδόμενα για την ροή RTP μέσω της οποία μεταδίδεται το περιεχόμενο. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του bitrate του περιεχομένου που φτάνει στον πελάτη.

Η απάντηση που πήραμε από τον RRDM είναι το σημείο παραλαβής του περιεχομένου, από έναν αντιπρόσωπο (151.100.4.60) που βρίσκεται αρκετά μακριά (στην Ιταλία) rtsp://151.100.4.60/151.100.122.171_v-0.6.9-genni.ing.uniroma1.it_oCDN.sdp. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει διάρκεια 30 λεπτών, αφού ακολούθως ο κωδικοποιητής που λειτουργεί “on the fly” στον εξυπηρετητή προέλευσης, διακόπτει την λειτουργία του. Μέσω της επιλογής Movie -> Get Movie Properties (ή Ctrl+J) του QuickTime Player (Pro έκδοση), μπορούμε να παρακολουθούμε τα στατιστικά της παραλαβής του περιεχομένου. Στην παρακάτω εικόνα 18, παρατηρούμε ότι κατά την διάρκεια της μετάδοσης (για χρονική περίοδο 10 λεπτών), ο μέσος ρυθμός της λήψης του περιεχομένου ήταν 227,97kbps, ενώ οι απώλειες πακέτων ήταν 1,26% με χρονικές στιγμές που οι απώλειες ξεπερνούσαν και το 10%.

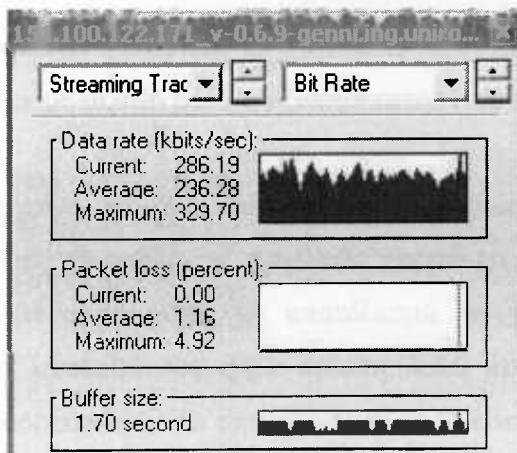




Σχήμα 18: Λήψη ζωντανού streaming περιεχομένου μέσω του OpenCDN



Σχήμα 19: Στατιστικά streaming (λήψη του περιεχομένου από μακρινό αντιπρόσωπο)



Σχήμα 20: Στατιστικά streaming (λήψη του περιεχομένου από εξυπηρετητή του εργαστηρίου δικτύων του Ο.Π.Α.)

Στην συνέχεια και αφού ενεργοποιήσαμε τον εξυπηρετητή αντιπρόσωπο του εργαστηρίου, καταθέσαμε και πάλι αίτηση για το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Η διεύθυνση που μας επιστράφηκε από το web portal ήταν η εξής: rtsp://195.251.253.225/151.100.122.171_v-0.6.9-genni.ing.uniroma1.it_oCDN.sdp και η ξεκινήσαμε την παραλαβή του περιεχομένου από τον αντιπρόσωπο που βρισκόταν στο εργαστήριο. Τα στατιστικά της παραλαβής (για χρονικό διάστημα 10 λεπτών) απεικονίζονται στην παραπάνω εικόνα 19. Αυτό που παρατηρούμε είναι η μικρή αύξηση του ρυθμού λήψης του περιεχομένου και ο περιορισμός του ποσοστού των πακέτων που χάθηκαν, καθώς και των ξαφνικών εκρήξεων στην απώλεια πακέτων, που προκαλούνται από αστάθμητους παράγοντες στο Διαδίκτυο. Η βελτίωση αυτή, οφείλεται στο γεγονός ότι στην 2^η περίπτωση, λαμβάνουμε το περιεχόμενο από τον εξυπηρετητή του Ο.Π.Α. ο οποίος βρίσκεται πιο κοντά στον ADSL router μας (από άποψη hops), σε σχέση με τον προηγούμενο αντιπρόσωπο, ο οποίος βρίσκεται στην Ιταλία.

Σύμφωνα με το white paper [18] σχετικά με τις παραμέτρους ποιότητας του streaming της Akamai, **οι παράμετροι βάση των οποίων κρίνεται η ποιότητα του streaming video**, είναι:

- Ο ρυθμός εμφάνισης αποτυχιών (failure rate) , όπου αποτυχία ορίζεται η αδυναμία έναρξης λήψης του περιεχομένου
- Ο χρόνος έναρξης λήψης του περιεχομένου (start up time), που ορίζεται ως το χρονικό διάστημα από την στιγμή που ο πελάτη ζητά το περιεχόμενο μέχρι την χρονική στιγμή που αρχίζει να το παραλαμβάνει.
- Οι απώλειες πακέτων (loss) και το φαινόμενο του “thinning”. Το φαινόμενο του thinning παρουσιάζεται όταν ο εξυπηρετητής (για λόγους φόρτου) στέλνει λιγότερο από το κωδικοποιημένο εύρος ζώνης του προγράμματος, αποστέλλοντας μόνο όσα θεωρούνται «κρίσιμα» δεδομένα για την σύνδεση και απορρίπτοντας τα υπόλοιπα. Απώλειες μπορεί να έχουμε όταν το δίκτυο είναι υπερβολικά φορτωμένο, με αποτέλεσμα να χάνονται πακέτα στην διαδρομή ή να καταφθάνουν στον πελάτη πολύ αργά (εκτός σειράς) και συνεπώς να απορρίπτονται. Το οπτικό αποτέλεσμα είναι να «χαλάει» η εικόνα με αποτέλεσμα (φαινόμενο “pixeling”) και αφού μόνο ένα υποσύνολο των frames προβάλλεται.

- Οι διακοπές στην προβολή. Αυτό συμβαίνει λόγω μεγάλων απωλειών πακέτων, με αποτέλεσμα ο video player του πελάτη να σταματάει την αναπαραγωγή αφού έχει αδειάσει ο buffer του και να εμφανίζει το μήνυμα “rebuffering” (ή παρόμοιο). Μέτρο των διακοπών αποτελούν ο αριθμός rebuffers per minute και ο rebuffer time per minute.

Από τα παραπάνω προβλήματα, κατά τον πειραματισμό μας με την τοπολογία που χρησιμοποιήσαμε, παρατηρήθηκε μόνο το 3^ο πρόβλημα και αυτό κυρίως την πρώτη φορά, που το περιεχόμενο το λαμβάναμε από τον απομακρυσμένο αντιπρόσωπο. Όσον αφορά την 2^η παράμετρο, τον start up time, αυτός είναι παρατηρήσιμα μικρότερος όταν υπάρχει ήδη ενεργός relay για το συγκεκριμένο περιεχόμενο. Π.χ. όταν από κάποιον υπολογιστή του εργαστηρίου λαμβάναμε κάποιο πρόγραμμα (περιεχόμενο) διαμέσου του εξυπηρετητή αντιπροσώπου του εργαστηρίου και προτού τελειώσει η μετάδοση, ζητούσαμε το ίδιο περιεχόμενο και από κάποιον άλλο υπολογιστή, ο χρόνος απόκρισης του web portal ήταν εμφανώς μικρότερος της απόκρισης στην αρχική αίτηση. Αυτό συμβαίνει γιατί ο RRDM που κατέχει την λίστα με τα ενεργά relays, ελέγχει ότι ένα από αυτά μπορεί να εξυπηρετήσει και τον νέο πελάτη και του απαντάει άμεσα με την διεύθυνση του Relay αυτού, χωρίς να μπει στην διαδικασία δρομολόγησης της αίτησης που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.2 . Βέβαια αυτό θα ήταν πιο εμφανές αν υπήρχε ανεπτυγμένο ένα μεγάλο CDN με πολλούς κόμβους και πολλούς πελάτες.



4. Μελέτη κλιμάκωσης και απόδοσης αλγορίθμων για διανομή περιεχομένου

4.1. Μελέτη του αλγορίθμου δρομολόγησης του OpenCDN

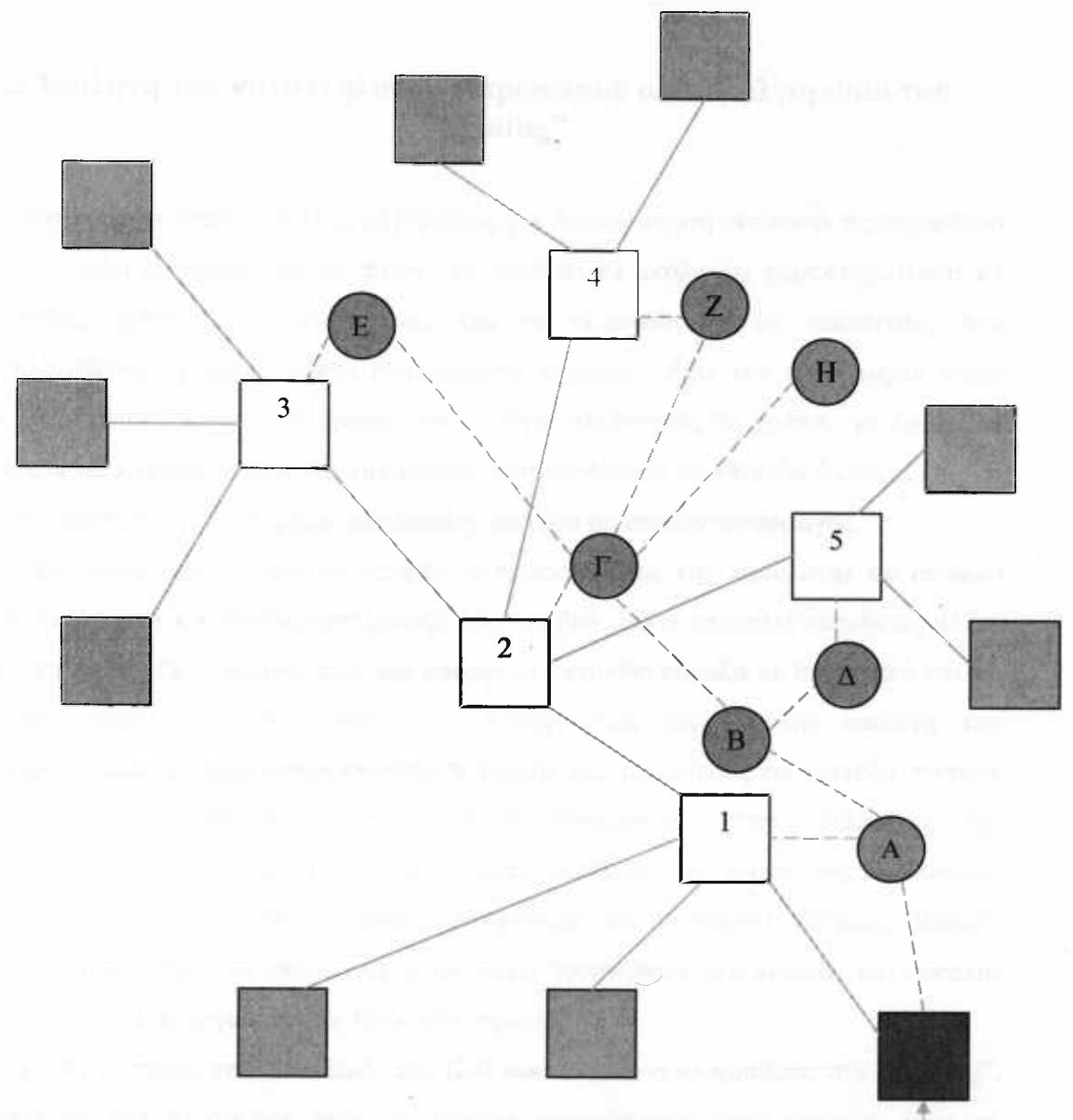
Όπως είδαμε στην παράγραφο 3.2, η δρομολόγηση των αιτήσεων των πελατών στο OpenCDN γίνεται με μια αναδρομική διαδικασία. Ο RRDM επιλέγει τον First Hop για το δέντρο της διανομής του περιεχομένου, ο First Hop με την σειρά του επιλέγει τον επόμενο κόμβο κοκ , με βάση τα κριτήρια που αναπτύχθηκαν αναλυτικά στην εν λόγω παράγραφο (ο «νικητής» επιλέγεται από τους υποψήφιους που στο footprint τους περιέχεται η IP του πελάτη και είναι αυτός που θα απαντήσει πρώτος σε ένα “ping” του αποφασίζοντος). Επίσης, υπενθυμίζουμε ότι αν υπάρχει ενεργός Last Hop που να εξυπηρετεί τον ζητούμενο πρόγραμμα και να δέχεται την IP του νέου πελάτη στο footprint του, η εξυπηρέτηση του πελάτη ανατίθεται αυτόματα σε αυτόν.

Ο αλγόριθμος αυτός, έχει το πλεονέκτημα ότι είναι κατανεμημένος αφού οι αποφάσεις της δρομολόγησης λαμβάνονται από πολλά στοιχεία του δικτύου και επιπλέον δεν απαιτεί από τον RRDM να γνωρίζει πληροφορία για την κατάσταση όλων των υποψηφίων εξυπηρετητών αντιπροσώπων του OpenCDN, αλλά μόνο των First Hops. Επιπλέον, το ποσοστό των δεδομένων που διακινούνται στο δίκτυο για την σηματοδοσία και τις λειτουργίες δρομολόγησης του OpenCDN σε σχέση με τα δεδομένα που διακινούνται κατά την μετάδοση του streaming περιεχομένου, είναι πολύ μικρό. Είναι γνωστό ότι τα streaming videos έχουν αρκετά μεγάλο μέγεθος (από μερικά, έως εκατοντάδες megabytes). Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι ο αλγόριθμος αυτός, μπορεί να λειτουργήσει σε ένα CDN που διαθέτει πολλούς κόμβους και πελάτες, χωρίς να παρουσιάζει προβλήματα κλιμάκωσης.

Από την άλλη μεριά όμως, γεννιούνται κάποια ερωτήματα όσον αφορά την **απόδοση** αυτού του αλγορίθμου σε ένα μεγάλο σχετικά overlay δίκτυο. Ως γνωστόν, ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων, είναι ότι υπέρκεινται του στρώματος IP, αφού δομούνται συνήθως στο στρώμα εφαρμογής. Συνεπώς, δεν υπάρχει πάντα πληροφόρηση ανάμεσα σε 2 κόμβους ενός CDN, για την απόστασή τους σε επίπεδο δικτύου. Μπορεί λοιπόν, να εμφανιστεί το εξής δυσάρεστο φαινόμενο: ο Last Hop που είναι υποψήφιος να ενεργοποιηθεί για την εξυπηρέτηση νέου πελάτη, να βρίσκεται πολύ πιο κοντά σε έναν ήδη ενεργό relay, απ' ότι στον εξυπηρετητή προέλευσης του περιεχομένου ή στον ενδιάμεσο relay που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τον αλγόριθμο του OpenCDN και τα footprints των κόμβων. Σε ένα παγκόσμιο CDN π.χ., θα μπορούσε το περιεχόμενο να «ταξιδεύει» άσκοπα από την Ελλάδα στις Η.Π.Α. και να επιστρέφει σε κάποια άλλη ευρωπαϊκή χώρα, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι συγκεκριμένοι ευρωπαϊκοί κόμβοι του CDN, στο overlay δίκτυο δεν γειτνιάζουν. Αυτό είναι προφανές ότι δημιουργεί προβλήματα στην απόδοση της διανομής του περιεχομένου και της χρήσης των πόρων του δικτύου διανομής περιεχομένου[1].

Ας δούμε το παράδειγμα του επόμενου σχήματος, στο οποίο απεικονίζεται ένα overlay CDN και η υποκείμενη φυσική τοπολογία. Στο παράδειγμα αυτό, ο relay εξυπηρετητής 5, παραλαμβάνει την ροή των δεδομένων από τον relay 2, διαμέσου των δρομολογητών Γ, Β και Δ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η φυσική σύνδεση μεταξύ των δρομολογητών Β και Γ να μεταφέρει την ίδια ροή δύο φορές, μία από τον relay 1 στον relay 2 και μια δεύτερη φορά από τον relay 2 στον relay 5. Η ίδια τοπολογία στο overlay δίκτυο θα μπορούσε να υλοποιηθεί πιο αποδοτικά, αν ο relay 5, βρισκόταν συνδεδεμένος στον δρομολογητή Η. Στην περίπτωση αυτή το φυσικό δίκτυο δεν θα μετέφερε δύο φορές τα ίδια δεδομένα.





Εξυπηρετητές αντιπρόσωποι



Εξυπηρετητές relay



Εξυπηρετητής προέλευσης



Δρομολογητές επιπέδου 3



Συνδέσεις overlay δικτύου



Συνδέσεις επιπέδου 3

Σχήμα 21: Μη - βέλτιστη ανάπτυξη ενός overlay δέντρου διανομής σε σχέση με την φυσική τοπολογία του δικτύου

4.2. Επιλογή του κατάλληλου αντιπροσώπου με τον αλγόριθμο του “binning”

Ως γενική αρχή, ισχύει ότι ένας αλγόριθμος για δρομολόγηση αιτήσεων περιεχομένου στον κατάλληλο αντιπρόσωπο, θα πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: να είναι απλός, γρήγορος, κατανεμημένος και να κλιμακώνεται σε τοπολογίες που συμπεριλαμβάνουν χιλιάδες ή και εκατομμύρια κόμβους. Από την άλλη μεριά όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, για να είναι αποδοτικός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του με κάποιον τρόπο και την υποκείμενη τοπολογία σε επίπεδο δικτύου και όχι μόνο την διασύνδεση των κόμβων του overlay δικτύου σε επίπεδο εφαρμογής.

Ως πιο απλή επιλογή για να εξαχθεί πληροφορία για την τοπολογία σε επίπεδο δικτύου, επιλέγεται η καθυστέρηση μεταξύ δύο κόμβων, αφού αποτελεί απευθείας μέτρο της ταχύτητας της διασύνδεσής τους και μπορεί να μετρηθεί εύκολα με έναν απλό και μη απαιτητικό τρόπο. Επιπλέον, πρέπει να διευκρινιστεί ότι για την επιλογή του «καλύτερου» εξυπηρετητή αντιπροσώπου η γνώση της τοπολογίας σε επίπεδο δικτύου δεν είναι λειτουργική προαπαίτηση, αλλά συνεισφέρει στην βελτίωση της αποδοτικότητας. Συνεπώς δεν απαιτείται απόλυτη ακρίβεια στην γνώση της τοπολογίας. Στην πραγματικότητα μάλιστα, είναι προτιμότερο να θυσιαστεί κάποιος βαθμός ακρίβειας, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη δυνατότητα κλιμάκωσης και ευκολία υλοποίησης και λειτουργίας του εν λόγω συστήματος.

Με βάση το παραπάνω σκεπτικό, στο [24] προτείνεται ο αλγόριθμος του “binning”. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, οι κόμβοι κατατάσσουν τους εαυτούς τους σε εικονικούς bins (κάδους), με τέτοιο τρόπο ώστε όσοι ανήκουν στον ίδιο «κάδο» να βρίσκονται σχετικά κοντά ο ένας στον άλλον, όσον αφορά την καθυστέρηση της μεταξύ τους διασύνδεσης. Για να λειτουργήσει ο αλγόριθμος αυτός, απαιτεί την ύπαρξη ενός συνόλου υπολογιστών «ορόσημων» (landmarks), που θα βρίσκονται διασκορπισμένοι σε όλο το Διαδίκτυο. Ο κάθε κόμβος μετράει την απόστασή του (π.χ. το RTT – Round Trip Time), από όλους τους landmarks (οι οποίοι είναι ευρέως γνωστοί) και με αυτό τον τρόπο επιλέγει τον bin στον οποίο ανήκει.



Ο αλγόριθμος αυτός είναι ελάχιστα απαιτητικός σε υποδομή, καθώς το μόνο που χρειάζεται είναι η ύπαρξη ενός μικρού αριθμού από υπολογιστές που θα παίζουν τον ρόλο του landmark. Έρευνα που παρατίθεται αναλυτικά στο [23], έδειξε ότι 8-12 τέτοιοι υπολογιστές θα αρκούσαν για να καλύψουν ολόκληρο το Διαδίκτυο! Επιπλέον, ο φόρτος εργασίας των landmarks είναι σχετικά μικρός. Δεν χρειάζεται να αρχικοποιούν τις μετρήσεις ούτε να συγκεντρώνουν τα αποτελέσματα αυτών ή να τα διαδίδουν. Το μόνο που απαιτείται να κάνουν είναι να απαντούν στα “ping” των κόμβων. Η διαδικασία αυτή, είναι κλιμακώσιμη, καθώς οι κόμβοι εντάσσονται ανεξάρτητα στους «κάδους» χωρίς να επικοινωνούν και να συνεργάζονται μεταξύ τους.

Ας δούμε μια προτεινόμενη υλοποίηση του αλγορίθμου του “binning”. Ο κόμβος A μετράει με “ping” τα RTT από ένα σύνολο (ας θεωρήσουμε για απλότητα τριάντα) landmarks (l1,l2,l3) και βρίσκει ότι οι «σχετικές» αποστάσεις του από αυτούς είναι (230ms, 50ms και 120ms). Λέμε τότε ότι ο κόμβος A ανήκει σε έναν «κάδο» της «γειτονιάς» l2-l3-l1. Προκειμένου οι αποστάσεις του κόμβου να μετρηθούν σε «απόλυτη» κλίμακα, θεωρούμε μια διαβάθμιση αυτών, όπου αποστάσεις έως $< 100\text{ms}$ ανήκουν στο Επίπεδο 1, από $100 - 200\text{ ms}$ στο Επίπεδο 2 και αποστάσεις $> 200\text{ ms}$ στο Επίπεδο 3. Συνεπώς σχηματίζεται το διάνυσμα της «απόλυτης» απόστασης του A από τα landmarks και κατατάσσεται στον «κάδο» l2-l3-l1 : (012). Είναι προφανές ότι γενικά οι κόμβοι της «γειτονιάς» l2-l3-l1 θα είναι σχετικά κοντά στον A, αλλά ειδικά αυτοί που βρίσκονται στον ίδιο «κάδο» θα είναι πραγματικά κοντά. Γίνεται αντιληπτό το επίπεδο της ακρίβειας που μπορεί να επιτευχθεί με ένα σύνολο 12 landmarks.

Πολύ ευνοϊκό χαρακτηριστικό για την κλιμάκωση της μεθόδου αυτής, είναι ότι ο κάθε κόμβος δεν χρειάζεται επιπλέον πληροφορία, όπως η απόσταση των landmarks ή οι αποστάσεις των άλλων κόμβων από τα landmarks. Επίσης η αρχιτεκτονική αυτή, είναι σταθερή ακόμα και αν υπάρξει πρόβλημα σε κάποιον υπολογιστή landmark. Οι κόμβοι κατατάσσονται με βάση τα υπόλοιπα ενεργά landmarks. Επιπλέον, ο φόρτος εργασίας των landmarks δεν είναι απαγορευτικός, ακόμα και για εκατομμύρια κόμβους στο CDN. Ας υποθέσουμε π.χ. ότι υπάρχουν ένα εκατομμύριο κόμβοι που κάνουν 10 “pings” ο καθένας για να αποκτήσουν μια σαφή εικόνα του RTT από κάθε landmark. Ας υποθέσουμε επίσης ότι κάθε κόμβος προσπαθεί να ανανεώσει την πληροφορία του ως προς τον «κάδο» στον οποίο ανήκει, κάθε ώρα. Μια τέτοια διαδικασία θα επέφερε έναν φόρτο 2700 ping /sec σε κάθε landmark. Παρατηρούμε ότι ακόμα και ακόμα για ένα τόσο μεγάλο δίκτυο, ο λειτουργικός φόρτος δεν είναι απαγορευτικός. Μάλιστα μπορεί να υπάρξει καλύτερη κλιμάκωση, αν σε κάθε landmark δεν υπάρχει απλώς ένας υπολογιστής, αλλά μια συστάδα υπολογιστών που απαντάνε όλοι με round robin σε ένα ping που γίνεται στην διεύθυνση landmark1.bin.net .

Όσον αφορά την επιτυχία της ομαδοποίησης των κόμβων, η αναλυτική έρευνα του [23] δείχνει ότι ο λόγος της μέσης απόστασης των κόμβων που βρίσκονται στα ίδια bins προς την μέση απόσταση αυτών που βρίσκονται σε διαφορετικά bins είναι ικανοποιητικότατος.

Βέβαια η δρομολόγηση των αιτήσεων στα CDN , θα πρέπει εκτός από την καθυστέρηση να λαμβάνει υπόψιν και τον φόρτο του κάθε υποψήφιου αντιπροσώπου. Ο αλγόριθμος του “binning” μας παρέχει ένα σημαντικά περιορισμένο υποσύνολο υποψήφιων κοντινών αντιπροσώπων ειδικά σε μεγάλα δίκτυα, αλλά δεν λαμβάνει υπόψιν τον φόρτο. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο, ο πελάτης θα πρέπει να ανακατευθύνεται τελικά σε έναν αντιπρόσωπο που ανήκει στο ίδιο bin με αυτόν (η επιλογή από το σύνολο των κατάλληλων υποψηφίων μπορεί να γίνεται τυχαία ή με μεταβίβαση της διαδικασίας σε άλλη παράμετρο – κριτήριο όπως ο φόρτος) ή αν δεν υπάρχει εξυπηρετητής στο ίδιο bin θα ακολουθείται η ίδια διαδικασία για ένα από τα γειτονικά bins.

Βέβαια στην μέθοδο, ενυπάρχει το μειονέκτημα ότι πρέπει να μεταβληθεί η λειτουργία του πελάτη, ώστε να κατατάσσει τον εαυτό του στο κατάλληλο bin, με βάση τα landmarks.



5. Βιβλιογραφία

5.1. Γενική

- [1]Web Caching and Replication, Michael Rabinovich, Oliver Spatscheck, Addison Wesley, First Printing 2001
- [2]F. Douglis, A. Friedman, B. Krishnamurthy and J. Mogul., Rate of change and other metrics: a live study of the world wide web
- [3]M. Chesire, A. Wolman, G. Voelker and H. Levy, Measurement and analysis of a streaming media workload
- [4]L. Breslau, P. Cao, L. Fan, G. Philips, and S. Shenker, Web Caching and zipf - like distributions: Evidence and implications
- [5]Zipf Curves and Website Popularity, <http://www.useit.com/alertbox/zipf.html>
- [6]S. Saroiu, P.K. Gummadi and S.D. Gribble, A measurement study of peer-to-peer file sharing systems

5.2. Αρχιτεκτονική των CDNs

- [7]Content Delivery Networks: An Architectural Overview, White Paper, HCL Technologies, <http://www.hcltech.com/cdn/>
- [8]RFC 3568 - Known Content Network (CN) Request-Routing Mechanisms
- [9]RFC 1546 - Host Anycasting Service
- [10]RFC 3466 - A Model for Content Internetworking (CDI)
- [11]RFC 3570 - Content Internetworking (CDI) Scenarios

5.3. Επιχειρηματικά και οικονομικά μοντέλα των CDNs

- [12]Quantifying the Business Benefits of Enterprise Content Delivery Networks, IDC White Paper, Analyst: Lucinda Borovick
- [13]Content Delivery & Distribution, Gilda Raczkowksi
- [14]Internet and Enterprise CDN Vendor Analysis: Volera's Velocity CDN, HTRC Group
- [15]The Content Delivery Network Market, High Tech Resource Consulting (HTRC) Group
- [16]Bram Cohen, Incentives Build Robustness in BitTorrent

5.4. Τεχνολογίες CDN

- [17]Alessandro Falaschi, Franca Fiumana, Michael Krsek, Egon Verharen, Carlo Sganga, Report on live – streaming Infrastructure
- [18]Akamai Streaming – When Performance Matters, White Paper
- [19]ESI – Edge Side Includes Specification, <http://www.esi.org/spec.html>
- [20]OpenCDN Project, <http://labtel.ing.uniroma1.it/opencdn/>
- [21]Apple Darwin Streaming Server, <http://developer.apple.com/darwin/projects/streaming/>
- [22]Helix Universal Server, <http://www.realnetworks.com/products/evalservers.html>
- [23]XML - RPC specification, <http://www.xmlrpc.com>

5.5. Αλγόριθμοι CDN

[24] Sylvia Ratnasamy, Mark Handley, Richard Karp, Scott Shenker, Topologically-Aware Overlay Construction and Server Selection



Δωρεά

