

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ: ΑΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ
ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ**

Πόπη Χριστοπούλου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ιανουάριος 2013

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Βιβλιογραφική Μελέτη: Ανεκτικότητα Σφαλμάτων στα
Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου

Πόπη Χριστοπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Χρύσης Γεωργίου

Η παρούσα Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου

Ιανουάριος 2013

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου Δρ. Χρύση Γεωργίου, ο οποίος υπήρξε ο επιβλέπων καθηγητής της διπλωματικής μου εργασίας και για τη συνεχή υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Ευχαριστώ επίσης τον συνεπιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Γεώργιο Πάλλη, για τις ιδέες και την βοήθεια που μου πρόσφερε.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου, και ιδιαίτερα τους γονείς μου, για τις συμβουλές και τις καθοδηγήσεις τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου αποτελούν ένα από τους πλέον διαδεδομένους τρόπους μεταφοράς και παράδοσης περιεχομένου ανάμεσα στους εξυπηρετητές που υπάρχουν σε διάφορες τοποθεσίες στον Παγκόσμιο Ιστό. Βασική ιδέα των δικτύων αυτών είναι η διατήρηση αντιγράφων του περιεχομένου των εξυπηρετητών, έτσι ώστε το περιεχόμενο αυτό να βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση από τον χρήστη. Αυτό επιτυγχάνει την μείωση του χρόνου μεταφοράς του περιεχομένου, όταν αυτό ζητηθεί από τον χρήστη, αλλά και την ταυτόχρονη μείωση της χρησιμοποίησης του δικτύου.

Η χρησιμοποίηση τους ευρύνθηκε τα τελευταία χρόνια, λόγω των μεγάλων απαιτήσεων στα δεδομένα που διακινούνται στον Παγκόσμιο Ιστό, αλλά και της ραγδαίας αύξησης των χρηστών του Παγκόσμιου Ιστού. Προκειμένου να προσαρμοστούν στις ανάγκες της εποχής, προτάθηκαν διάφορες τεχνικές και μέθοδοι, οι οποίες ενθάρρυναν την χρησιμοποίηση της ιδέας των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, και παράλληλα γίνονται προσπάθειες για συνεχή βελτίωση και ανάπτυξη των υφιστάμενων. Κύριος στόχος πάντοτε είναι η εξυπηρέτηση του χρήστη με το λιγότερο κόστος και τις λιγότερες λειτουργικές απώλειες.

Στα συστήματα αυτά, είναι λογικό να παρουσιάζονται σφάλματα από τις διαδικασίες και τις λειτουργίες που εκτελούνται. Αφού είναι αναπόφευκτη η απουσία των σφαλμάτων αυτών, προτάθηκαν διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης τους, πολλοί από τους οποίους υιοθετήθηκαν και εφαρμόστηκαν μέχρι σήμερα. Είναι ζωτικής σημασίας για το δίκτυο η ανεκτικότητα και η αντιμετώπιση των σφαλμάτων, διότι σχετίζονται με την αξιοπιστία και την ευρωστία του δικτύου και κατ' επέκταση την ικανοποίηση και εξυπηρέτηση των χρηστών του. Οι τρόποι αντιμετώπισης παρουσιάζονται μέσα από άρθρα, μελέτες και παρουσιάσεις συστημάτων που τους έχουν ήδη υιοθετήσει, ακόμα και προτάσεις που δεν έχουν ακόμα υλοποιηθεί και βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο.

Στόχος της μελέτης αυτής είναι η μελέτη των σφαλμάτων που παρουσιάζονται στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου και των τρόπων αντιμετώπισής τους, οι οποίοι προτάθηκαν και εφαρμόστηκαν μέχρι σήμερα.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Σκοπός	1
1.2 Μεθοδολογία	2
1.3 Δομή	2
Κεφάλαιο 2: Υπόβαθρο	4
2.1 Κατανεμημένα Συστήματα	4
2.2 Αρχιτεκτονική Κατανεμημένων Συστημάτων	6
2.3 Σφάλματα.....	8
2.4 Ανεκτικότητα Σφαλμάτων	10
2.5 Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου	12
Κεφάλαιο 3: Κατηγοριοποίηση.....	19
3.1 Επιλογή Κατηγοριών	19
3.2 Κατηγορία 1: Διαθεσιμότητα Περιεχομένου	20
3.3 Κατηγορία 2: Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά.....	21
Κεφάλαιο 4: Ανάλυση Κατηγοριών	24
4.1 Κατηγορία 1: Διαθεσιμότητα Περιεχομένου	24
4.1.1 Υποκατηγορία 1: Αντιμετώπιση Σφαλμάτων με Αντιγραφή Περιεχομένου	24
4.1.2 Υποκατηγορία 2: Πρόβλημα Τοποθέτησης Περιεχομένου	39
4.1.3 Υποκατηγορία 3: Ασφάλεια Περιεχομένου	65
4.2 Κατηγορία 2: Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά.....	72
4.3 Σύγκριση Κατηγοριών.....	83
4.3.1 Σύγκριση Προτάσεων Κατηγορίας 1.....	83
4.3.2 Σύγκριση Προτάσεων Κατηγορίας 2.....	93
4.3.3 Συνδυασμός Προτεινόμενων Λύσεων Κατηγοριών 1 και 2	96
4.3.4 Ανοικτά Προβλήματα.....	97
Κεφάλαιο 5: Επίλογος	100
5.1 Γενικά Συμπεράσματα.....	100
5.2 Μελλοντική Εργασία	104
Βιβλιογραφία.....	108

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Σκοπός

1.2 Μεθοδολογία

1.3 Δομή

1.1 Σκοπός

Η εγκαθίδρυση των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου (Content Distribution Network) [61] ως ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους μεταφοράς και παράδοσης περιεχομένου στον Παγκόσμιο Ιστό, αποτελεί απόδειξη της σημαντικότητάς τους. Αποτελούν έναν από τους κύριους τρόπους μεταφοράς περιεχομένου και επικοινωνίας ανάμεσα στους εξυπηρετητές που βρίσκονται διασκορπισμένοι ανά τον κόσμο, μέσω του Παγκόσμιου Ιστού.

Στοχεύουν στη μείωση του όγκου μεταφοράς του περιεχομένου, της χρησιμοποίησης του δικτύου και του κόστους μεταφοράς, την ίδια ώρα που επιδιώκουν την πλήρη ικανοποίηση των αιτημάτων των χρηστών του δικτύου. Η ιδέα πίσω από την υλοποίηση του στόχου αυτού, στηρίζεται στην διατήρηση αντιγράφων του περιεχομένου στην πλησιέστερη απόσταση από τον χρήστη, προσπαθώντας να επιλέγουν τις κατάλληλες τοποθεσίες αλλά και το κατάλληλο περιεχόμενο κάθε φορά.

Αντιλαμβανόμενοι της σημαντικότητάς τους, απώτερος σκοπός αυτής της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη των σφαλμάτων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μεταφοράς και παράδοσης περιεχομένου στη σχετική βιβλιογραφία, καθώς και τρόπων αντιμετώπισής τους.

1.2 Μεθοδολογία

Για την διεκπεραίωση της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας, έγινε μια έρευνα στον Παγκόσμιο Ιστό για αναζήτηση άρθρων, τα οποία βασίζονται πάνω σε υπάρχουσες μελέτες και έρευνες που έγιναν για την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, καθώς και παρουσιάσεις τρόπων αντιμετώπισης και προτάσεων που υιοθετήθηκαν μέχρι πρότινος. Επιπλέον, πολλά από αυτά παραπέμπανε σε βιβλία ή επίσημες ιστοσελίδες οργανισμών που υποστηρίζουν Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την μελέτη αυτή. Στη συνέχεια, έχοντας ήδη συγκεντρώσει και επεξεργαστεί το προαναφερθέν υλικό, έγινε μια κατηγοριοποίηση των προτεινόμενων τρόπων αντιμετώπισης των σφαλμάτων που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά. Ακολούθησε μια πιο εκτενής ανάλυση και σύγκριση της κάθε κατηγορίας, γεγονός που οδήγησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων, αλλά και προβλημάτων που παραμένουν ακόμη ανοιχτά. Τέλος, προτάθηκαν μελλοντικές ιδέες για εργασία αλλά και ιδέες που ήδη προτάθηκαν από άλλους, βάσει των παρατηρήσεων που έγιναν και των σημείων που δόθηκε έμφαση.

1.3 Δομή

Το πρώτο κεφάλαιο της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί μια εισαγωγή σχετικά με τον σκοπό, την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και την δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται και παρουσιάζεται το απαραίτητο υπόβαθρο για την περαιτέρω κατανόηση της ορολογίας, της περιγραφής και της ανάλυσης της μελέτης που ακολουθεί σχετικά με την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται η επιλογή των κατηγοριών και δίνεται σύντομη περιγραφή για την κάθε κατηγορία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής παρουσίαση της κάθε κατηγορίας ξεχωριστά, καθώς και συγκρίσεις ανάμεσα στις διάφορες κατηγορίες. Αναφέρονται και προβλήματα που προκύπτουν, αλλά δεν έχει βρεθεί κάποια λύση ακόμα και παραμένουν ανοικτά.

Τέλος, ακολουθεί ένας επίλογος όπου παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν μέσα από τις συγκρίσεις και την ανάλυση που έγινε, καθώς και η μελλοντική πρόταση για εργασία.

Κεφάλαιο 2

Υπόβαθρο

- 2.1 Κατανεμημένα Συστήματα
 - 2.2 Αρχιτεκτονική Κατανεμημένων Συστημάτων
 - 2.3 Σφάλματα
 - 2.4 Ανεκτικότητα Σφαλμάτων
 - 2.5 Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου
-

2.1 Κατανεμημένα Συστήματα

Ορισμός

Στη σημερινή βιβλιογραφία έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί για τα Κατανεμημένα Συστήματα. Σύμφωνα με τους Tanenbaum και Van Steen, «Ένα Κατανεμημένο Σύστημα είναι μια συλλογή από ανεξάρτητες υπολογιστικές μονάδες που παρουσιάζονται στον χρήστη ως μια μοναδική οντότητα» [53] (σελίδες 2-9).

Χαρακτηριστικά Κατανεμημένων Συστημάτων

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των κατανεμημένων συστημάτων έχουν ως εξής:

- i. Ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνούν οι επεξεργαστές μεταξύ τους, η εσωτερική οργάνωση του συστήματος και οι διαφορές που έχουν μεταξύ τους, δεν γίνονται γνωστά στους χρήστες (διαφάνεια κατανομής).
- ii. Οι χρήστες και οι εφαρμογές μπορούν να αλληλεπιδρούν με το κατανεμημένο σύστημα ομοιόμορφα και σταθερά, ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους και την χρονική στιγμή που γίνεται αυτή η αλληλεπίδραση.
- iii. Τα κατανεμημένα συστήματα, λόγω του ότι οι επεξεργαστές είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, επεκτείνονται και να προσαρμόζονται εύκολα. Επίσης, είναι διαθέσιμα οποιαδήποτε στιγμή προς τον χρήστη, έστω κι αν μερικοί

επεξεργαστές δεν μπορούν προσωρινά να ανταπεξέλθουν, με αποτέλεσμα αυτό να μην επηρεάζει την εκτέλεση των εφαρμογών ή την λειτουργία των χρηστών.

Στόχοι-Λειτουργία

Τα Κατανεμημένα Συστήματα, μέσα από την λειτουργία τους, σκοπεύουν να διατηρούν το περιεχόμενο και τις πηγές του διαθέσιμες και εύκολα προσβάσιμες, έτσι ώστε να μην διαφαίνεται ότι το περιεχόμενο και οι πηγές του είναι διασκορπισμένες στο δίκτυο και επιπλέον, να είναι ανοικτό (open) και εύκολα επεκτάσιμο (scalable) για περαιτέρω ανάπτυξη.

Αρχικά, όσον αφορά την διαθεσιμότητα του περιεχομένου και των πόρων (resources) από τους χρήστες, είναι σημαντικό να γίνεται κοινή χρήση των δεδομένων, του αποθηκευτικού χώρου, των αρχείων, των ιστοσελίδων και γενικά του δικτύου, διότι γίνεται πιο εύκολη η μεταξύ τους επικοινωνία και μειώνεται και το οικονομικό κόστος υποδομής. Η κοινή χρήση, όμως, είναι εξίσου σημαντικό να πραγματοποιείται στα πλαίσια της ασφαλούς επικοινωνίας και της ασφάλειας των πόρων.

Δεύτερον, η εμφάνιση του δικτύου ως ενός ενιαίου συστήματος προς τον χρήστη, χωρίς ο ίδιος να γνωρίζει ότι αυτό αποτελείται από διασκορπισμένους επεξεργαστές συνδεδεμένους μεταξύ τους, ονομάζεται κατανεμημένη διαφάνεια (distributed transparency) και είναι επίσης ένας από τους σημαντικούς στόχους ενός Κατανεμημένου Συστήματος. Η διαφάνεια αυτή απαιτείται σε διάφορους τομείς λειτουργίας των Κατανεμημένων Συστημάτων. Αναλυτικότερα, η διαφάνεια πρόσβασης διασφαλίζει την απόκρυψη του τρόπου αναπαράστασης των δεδομένων και τον τρόπο πρόσβασης σε έναν πόρο, η διαφάνεια τοποθεσίας διασφαλίζει την απόκρυψη της τοποθεσίας του πόρου, η διαφάνεια μετακίνησης διασφαλίζει την απόκρυψη της πληροφορίας ότι ένας πόρος μετακινήθηκε σε κάποια άλλη τοποθεσία, η διαφάνεια Αντιγραφής Περιεχομένου διασφαλίζει την απόκρυψη της δημιουργίας αντιγράφου ενός συγκεκριμένου πόρου και η διαφάνεια σφάλματος διασφαλίζει την απόκρυψη της παρουσίας σφάλματος και αποκατάστασης ενός πόρου. Ανάλογα με το σύστημα, τη λειτουργία που διαπράττει και τον σκοπό που πληροί υπάρχει και ο αντίστοιχος βαθμός διαφάνειας.

Τρίτον, ένα ανοικτό σύστημα υποστηρίζει υπηρεσίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των επεξεργαστών που το απαρτίζουν, όπως είναι για παράδειγμα η υπηρεσία ανταλλαγής μηνυμάτων στο δίκτυο. Οι κανόνες παρουσιάζονται στα πρωτόκολλα που υποστηρίζει το σύστημα, αλλά και στις διεπαφές (interfaces) των λειτουργιών των επεξεργαστών. Δυο σημαντικές έννοιες για την επεξήγηση της σημαντικότητας της ύπαρξης ενός ανοικτού συστήματος είναι η διαλειτουργικότητα (interoperability) και η φορητότητα (portability), δηλαδή την ομαλή λειτουργία του συστήματος όταν σε αυτό συμμετέχουν δυο διαφορετικές οντότητες για την επίτευξη μιας κοινής λειτουργίας, και την διασφάλιση ότι μια συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να είναι συμβατή σε ίδια περιβάλλοντα διαφορετικών Κατανεμημένων Συστημάτων, χωρίς να δεχθεί οποιαδήποτε τροποποίηση.

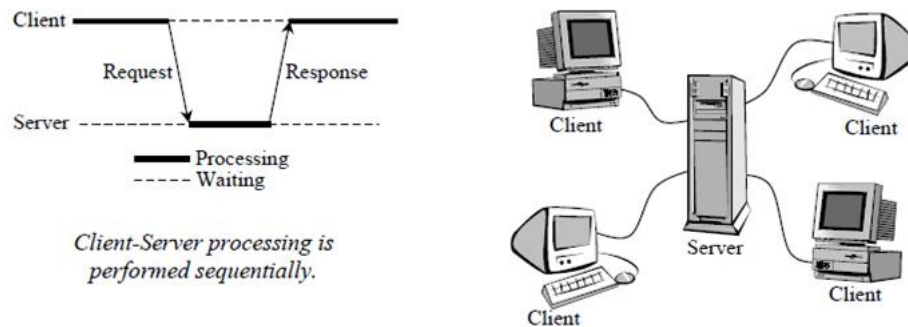
Τέταρτον, όσον αφορά την επεκτασιμότητα του συστήματος, σύμφωνα με τον Neuman [43], υπάρχουν τρεις διαστάσεις επεκτασιμότητας. Η μια αφορά την επεκτασιμότητα του μεγέθους του συστήματος, δηλαδή εάν μπορούν εύκολα να προστεθούν νέοι χρήστες και πόροι στο σύστημα. Η δεύτερη αφορά την γεωγραφική επεκτασιμότητα, δηλαδή εάν μπορούν οι χρήστες και οι πόροι να είναι απομακρυσμένοι, και η τρίτη αφορά την επεκτασιμότητα διαχείρισης, δηλαδή εάν είναι εφικτό να διαχειρίζεται το σύστημα έστω και αν σε αυτό συμμετέχουν ανεξάρτητοι οργανισμοί και οντότητες. Η επεκτασιμότητα του συστήματος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, καθώς είναι αναγκαίο να υπάρχει συγχρονισμός στην επικοινωνία ανάμεσα στους επεξεργαστές του δικτύου, να εξασφαλίζεται η εγγύηση ασφάλειας των πόρων, αλλά και η υγιής συνεργασία των εμπλεκομένων στο δίκτυο, οι οποίοι είναι ανεξάρτητοι και ο καθένας από αυτούς υποστηρίζει διαφορετικές πολιτικές και μηχανισμούς.

2.2 Αρχιτεκτονική Κατανεμημένων Συστημάτων

Η αρχιτεκτονική των Κατανεμημένων Συστημάτων, δηλαδή η οργάνωση των συμμετεχόντων του συστήματος και ο τρόπος που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, επικεντρώνεται κυρίως στο μοντέλο του Πελάτη-Εξυπηρετητή (Client-Server) [24].

Το συγκεκριμένο μοντέλο υποστηρίζει συγκεντρωτική αρχιτεκτονική (centralized), δηλαδή την ύπαρξη μιας οντότητας η οποία είναι υπεύθυνη για τον συντονισμό του συστήματος και φροντίζει να εξυπηρετεί τα αιτήματα των χρηστών που καταφθάνουν.

Συγκεκριμένα, διαχωρίζοντας τον ρόλο του Πελάτη και του Εξυπηρετητή, ο πρώτος διεκπεραιώνει διαδικασία αίτησης σε έναν συγκεκριμένο Εξυπηρετητή και περιμένει να λάβει απάντηση για το αίτημα του, ενώ ο δεύτερος είναι υπεύθυνος για την πραγματοποίηση μιας συγκεκριμένης διαδικασίας, δηλαδή την εξυπηρέτηση του αιτήματος που θα λάβει στέλνοντας απάντηση στο αίτημα του Πελάτη. Ένας Εξυπηρετητής μπορεί να είναι ταυτόχρονα και Πελάτης ενός άλλου Εξυπηρετητή, όπως για παράδειγμα στην Αρχιτεκτονική τριών επιπέδων [53] (σελίδες 34-36),.



Σχήμα 1: Μοντέλο Πελάτη – Εξυπηρετητή [58]

Το μοντέλο αυτό είναι το πλέον κατάλληλο για τα Κατανεμημένα Συστήματα, αφού είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός συντονιστή ο οποίος έκτος από την εξυπηρέτηση των αιτημάτων των χρηστών, προσπαθεί να επιτύχει συμφωνία (consensus), δηλαδή να φροντίζει να υπάρχει ομοφωνία στο σύστημα και να λειτουργεί σαν μια ενιαία οντότητα για τους εξωτερικούς χρήστες του. Επιπλέον, φροντίζει για την ενημέρωση του περιεχομένου όταν προκύψει κάποια αλλαγή, έτσι ώστε όλες οι υπολογιστικές μονάδες να περιέχουν το ίδιο περιεχόμενο και να μπορούν εξίσου να ικανοποιήσουν το αίτημα ενός χρήστη. Οι προαναφερθείσες διαδικασίες της συμφωνίας και της ενημέρωσης του περιεχομένου σε όλες τις υπολογιστικές μονάδες επιτυγχάνονται με το μοντέλο ανταλλαγής μηνυμάτων ή και την κατανεμημένη κοινόχρηστη μνήμη, ενώ για τη διαδικασία επιλογής του Εξυπηρετητή ο οποίος θα είναι ο συντονιστής του συστήματος, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι Εκλογής Προέδρου [4].

Σύμφωνα με τα [49],[60], η εναλλακτική αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται στα Κατανεμημένα Συστήματα είναι τα ομότιμα δίκτυα (Peer-to-Peer –P2P), τα οποία επίσης μοιράζονται πηγές και δεδομένα σε ένα σύστημα, χωρίς όμως να υπάρχει μια κεντρική οντότητα να συντονίζει τις λειτουργίες. Ο κάθε επεξεργαστής είναι ανεξάρτητος και μπορεί να εγκαταλείψει το δίκτυο οποιαδήποτε στιγμή. Η προσέγγιση

αυτή δεν ευνοεί την αποδοτική λειτουργία του δικτύου, αλλά ικανοποιεί τις απαιτήσεις του χρήστη. Το κυριότερο μειονέκτημα των ομότιμων δικτύων είναι η ασφάλεια των δεδομένων των χρηστών [53] (σελίδες 43-49).

2.3 Σφάλματα

Ορισμός

Σύμφωνα με τους Tanenbaum και Van Steen [53] (σελίδες 323-325) και το [24], σφάλμα (fault) ονομάζεται ένα φυσικό ελάττωμα που εμφανίζεται σε κάποιο συστατικό του συστήματος, το οποίο όταν εκδηλώνεται οδηγεί το σύστημα σε μια λανθασμένη κατάσταση. Ένα σύστημα θεωρείται ότι έχει αποτύχει (failure) όταν αποκλίνει από την προδιαγραφή του ως αποτέλεσμα αυτής της λανθασμένης διεξαγωγής λειτουργίας.

Είδη Σφαλμάτων ως προς τη Διάρκειά τους

Τα σφάλματα που παρουσιάζονται στα συστήματα διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- i. **Παροδικά (Transient faults):** Τα σφάλματα τα οποία εμφανίζονται αρχικά, έχουν περιορισμένη διάρκεια και μετά εξαφανίζονται για πάντα.
- ii. **Διαλείποντα (Intermittent faults):** Τα σφάλματα τα οποία εξαφανίζονται από μόνα τους και στη συνέχεια επανέρχονται. Τα σφάλματα αυτά δύσκολα εντοπίζονται και θεωρούνται επικίνδυνα για το σύστημα.
- iii. **Μόνιμα (Permanent faults):** Τα σφάλματα τα οποία παραμένουν στο σύστημα μέχρι τη στιγμή που κάποιος από τους διαχειριστές του δικτύου θα τα επιδιορθώσει.

Είδη Σφαλμάτων ως προς τη Σοβαρότητά τους

Σύμφωνα με τους Cristian [17], Hadzilacos και Toueg [26] και το [24], τα είδη σφαλμάτων (ως προς τη δριμύτητά τους) που πιθανότατα προκύπτουν στα Κατανεμημένα Συστήματα είναι τα ακόλουθα:

Σφάλματα Κατάρρευσης (Crash faults): Ένας εξυπηρετητής λειτουργεί κανονικά μέχρι την στιγμή που καταρρέει. Μετά την κατάρρευση του εξυπηρετητή δεν υπάρχει καμία ανταπόκριση από αυτόν στο δίκτυο.

Σφάλματα Παράλειψης (Omission faults): Ένας εξυπηρετητής αποτυγχάνει να ανταποκριθεί στα εισερχόμενα αιτήματα και στα εισερχόμενα μηνύματα που λαμβάνει από τον χρήστη, αλλά και ο ίδιος δεν μπορεί να στείλει μηνύματα. Συμβαίνει σε

περιπτώσεις όπου ο εξυπηρετητής δεν λαμβάνει εξαρχής το αίτημα από τον χρήστη λόγω αποτυχίας ή καθυστέρησης, ή όταν ο εξυπηρετητής εκτελέσει το αίτημα του χρήστη ορθά και ο χρήστης αδυνατεί να λάβει την απάντησή του.

Σφάλματα Χρονισμού (Timing faults): Ένας εξυπηρετητής αποτυγχάνει να αποκριθεί ή να ολοκληρώσει κάποια λειτουργία στο χρονικό περιθώριο που του καθορίζεται. Τα χρονικά σφάλματα προκαλούν καθυστερήσεις στο σύστημα και κατά συνέπεια επηρεάζεται όλη η απόδοση του συστήματος.

Αυθαίρετα Σφάλματα (Arbitrary faults): Ένας εξυπηρετητής δημιουργεί λανθασμένες αποκρίσεις σε λανθασμένα χρονικά διαστήματα, έχοντας αυθαίρετη, μη-καθορισμένη συμπεριφορά. Θεωρείται το χειρότερο είδος σφαλμάτων στα Κατανεμημένα Συστήματα. Αυτό το είδος σφαλμάτων ονομάζεται και Βυζαντινά Σφάλματα (Byzantine faults) [37].

Από όλα τα παραπάνω είδη σφαλμάτων, το είδος σφαλμάτων το οποίο είναι το δυσκολότερο για ένα σύστημα να ανέχεται είναι τα Βυζαντινά Σφάλματα. Τέτοια σφάλματα εμφανίζονται, για παράδειγμα, σε περιπτώσεις που σε ένα σύνολο επεξεργαστών, οι επεξεργαστές πρέπει να συμφωνήσουν μεταξύ τους (Κατανεμημένη Συμφωνία). Όμως, ένας επεξεργαστής, που θεωρείται εσφαλμένος, ενδεχομένως να παρουσιάσει ανεξέλεγκτη συμπεριφορά και να εμποδίζει τους υπόλοιπους επεξεργαστές του συνόλου που ανήκει να καταλήξουν σε συμφωνία (Πρόβλημα των Βυζαντινών Στρατηγών – The Byzantine Generals Problem).

Σύμφωνα με τους Fischer, Lynch και Paterson [23], το πρόβλημα της Κατανεμημένης Συμφωνίας είναι ένα από τα θεμελιώδη προβλήματα στα Κατανεμημένα Συστήματα και αποτελεί πυρήνα για τους αλγόριθμους κατανεμημένης επεξεργασίας δεδομένων, κατανεμημένης διαχείρισης αρχείων και εφαρμογών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων. Η Κατανεμημένη Συμφωνία απαιτεί την εκλογή ενός Προέδρου ο οποίος θα συντονίζει τις λειτουργίες στο σύστημα, θα διεκπεραιώνει καταμερισμό εργασιών και θα διατηρεί συγχρονισμό. Σε συστήματα τα οποία δεν υπάρχουν σφάλματα η συμφωνία είναι τετριμμένη, ενώ σε μερικές περιπτώσεις δεν είναι δυνατή.

Οι Lamport, Shostak και Pease [37] προσπαθώντας να δώσουν λύση στο Πρόβλημα των Βυζαντινών Στρατηγών με την δημιουργία ενός αξιόπιστου συστήματος, πρότειναν

λύσεις με αλγόριθμους ανταλλαγής προφορικών μηνυμάτων (oral messages) και ανταλλαγής υπογεγραμμένων μηνυμάτων (signed messages). Κατέληξαν στο ότι μόνο εάν περισσότερες από τα $2/3$ των διεργασιών του συστήματος λειτουργούν σωστά μπορεί να επιτευχθεί συμφωνία. Οι αλγόριθμοί τους δίνουν λύση στο πρόβλημα των Βυζαντινών σφαλμάτων, όμως έχουν μεγάλο κόστος, όσον αφορά τον χρόνο και τον αριθμό των μηνυμάτων που απαιτούνται. Οι Fischer, Lynch και Paterson [23], μελετώντας τα ασύγχρονα συστήματα, όπου δεν υπάρχει εγγύηση στον χρόνο παράδοσης των μηνυμάτων, απέδειξαν ότι δεν είναι δυνατή καμία συμφωνία αν έστω και μια διεργασία καταρρεύσει.

2.4 Ανεκτικότητα Σφαλμάτων

Ορισμός

Μια θεμελιώδης ιδιότητα των Κατανεμημένων Συστημάτων είναι η προοπτική για Ανεκτικότητα Σφαλμάτων (Fault Tolerance). Σύμφωνα με τους Tanenbaum και Van Steen [53] (σελίδες 321-324), το χαρακτηριστικό των Κατανεμημένων Συστημάτων, το οποίο βοηθά τα συστήματα αυτά να λειτουργούν ορθά, ακόμη κι αν κάποια συστατικά του συστήματος αποτύχουν να λειτουργούν βάσει την προδιαγραφή τους, και να συνεχίσουν την ομαλή τους λειτουργία, χωρίς να επηρεαστεί το υπόλοιπο μέρος του συστήματος ονομάζεται Ανεκτικότητα Σφαλμάτων.

Σκοπός

Ένας από τους στόχους των Κατανεμημένων Συστημάτων είναι να είναι όσο το δυνατό ανεκτικότερα στα σφάλματα, δηλαδή να συνεχίζει ολόκληρο το δίκτυο να λειτουργεί κανονικά, έστω και αν ένα μέρος του παρουσιάζει κάποιο σφάλμα. Επιδιώκεται η αντιμετώπιση και η αποκατάσταση των σφαλμάτων, χωρίς να υπάρχουν επιπτώσεις στη συνολική απόδοση του συστήματος. Το κυριότερο εργαλείο για την επίτευξη Ανεκτικότητας Σφαλμάτων είναι ο Πλεονασμός (Redundancy), δηλαδή όταν περισσότερους από ένα πόρους μπορεί να εκτελέσει μια συγκεκριμένη λειτουργία.

Υπάρχουν δυο κύρια είδη Πλεονασμού, μέσα από τα οποία επιτυγχάνεται η Ανεκτικότητα Σφαλμάτων [53] (σελίδες 326-328):

- i. **Πλεονασμός Χώρου (Space Redundancy):** Είναι διαθέσιμα επιπρόσθετα συστατικά ή πόροι του συστήματος, είτε υλικό είτε λογισμικό, για την

αντιμετώπιση λαθών. Αυτό έχει οικονομικό αντίκτυπο στο κόστος, αφού απαιτεί την προσθήκη επιπλέον συστατικών και πόρων στο σύστημα.

- ii. **Πλεονασμός Χρόνου (Time Redundancy):** Εκτελείται επιπρόσθετος υπολογισμός για τον εντοπισμό λαθών, για τον έλεγχο των συστατικών του συστήματος και για την επανάληψη των λειτουργιών. Αυτό κοστίζει στην επίδοση του συστήματος, αφού διαφοροποιείται με την προσθήκη επιπλέον υπολογισμών και λειτουργιών.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος Πλεονασμού για την αντιμετώπιση σφαλμάτων είναι η Αντιγραφή Περιεχομένου (Replication), δηλαδή η δημιουργία ενός αντιγράφου του περιεχομένου και η αποθήκευσή του σε διαφορετικούς εξυπηρετητές στο δίκτυο. Σύμφωνα με το [10] υπάρχουν τα εξής δυο είδη Αντιγραφής:

- i. **Ολική Αντιγραφή (Full Replication):** πραγματοποιείται αντιγραφή *ολόκληρου* του περιεχομένου σε όλους τους εξυπηρετητές μιας κατανεμημένης εφαρμογής.
- ii. **Μερική Αντιγραφή (Partial Replication):** πραγματοποιείται αντιγραφή ενός *μέρους* του περιεχομένου σε ορισμένους εξυπηρετητές της κατανεμημένης εφαρμογής. Για παράδειγμα, έστω ότι πρόκειται για μια ιστοσελίδα, στην οποία ζητά πρόσβαση ο χρήστης. Το βασικό περιεχόμενο της ιστοσελίδας θα μεταφερθεί από έναν εξυπηρετητή ιστού, ενώ τα αντικείμενα που εμπεριέχονται (embedded objects), όπως οπτικοακουστικό υλικό, από κάποιον δεύτερο εξυπηρετητή στον χρήστη.

Σύμφωνα με τους Kopetz και Verissimo [36], η Ανεκτικότητα Σφαλμάτων σε ένα σύστημα έχει άμεση σχέση με τον βαθμό ανεξαρτησίας (dependability) του συστήματος, δηλαδή κατά πόσο το σύστημα είναι ανεξάρτητο. Η ανεξαρτησία του συστήματος διευκρινίζεται μέσα από τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

Διαθεσιμότητα (Availability): η ικανότητα του συστήματος να εκτελεί σωστά την λειτουργία του οποιαδήποτε χρονική στιγμή και να είναι διαθέσιμο στον χρήστη, όποτε αυτός ζητά να εξυπηρετηθεί.

Αξιοπιστία (Reliability): η ικανότητα του συστήματος να παραμένει ανεπηρέαστο από οποιοδήποτε είδους σφάλμα για μεγάλο χρονικό διάστημα, και να μην διακόπτεται η καθορισμένη λειτουργία του.

Ασφάλεια (Safety): η ικανότητα του συστήματος να μπορεί να διατηρήσει την κατάστασή του σε περίπτωση που συμβεί κάποιο σφάλμα το οποίο μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για ολόκληρο το σύστημα.

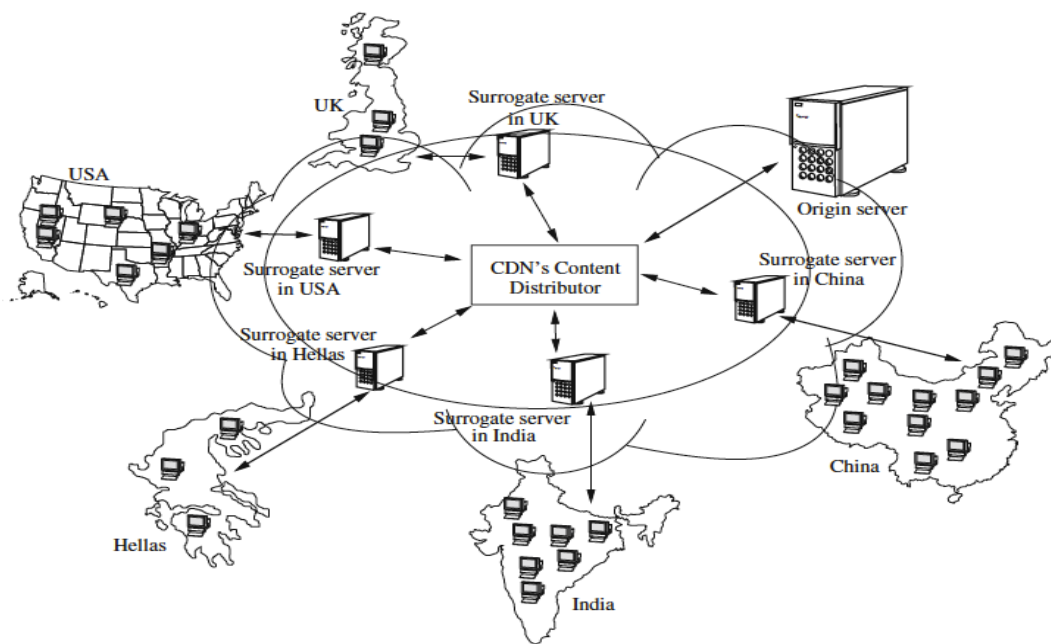
Συντηρησιμότητα (Maintainability): η ικανότητα του συστήματος να αποκαθιστά όσο το δυνατό ευκολότερα και αυτόματα ένα σφάλμα που παρουσιάζεται σε αυτό.

2.5 Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου

Τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου (Content Delivery Networks) [61] αποτελούν ένα είδος Κατανεμημένου Συστήματος. Η Παράδοση Περιεχομένου αποτελεί μια σημαντική εφαρμογή του Διαδικτύου, η οποία επιτρέπει στις υπολογιστικές μονάδες να λειτουργούν με συντονισμένο τρόπο έτσι ώστε να αποτελούν μια κατανεμημένη οντότητα για την αποθήκευση, διανομή, αναζήτηση και λήψη ψηφιακού περιεχομένου.

Ορισμός

Σύμφωνα με το [51], ένα Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου είναι ένα δίκτυο από εξυπηρετητές, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου, και συνεργάζονται για την μεταφορά και παράδοση περιεχομένου στους χρήστες του δικτύου. Υπάρχουν εξυπηρετητές, οι οποίοι ονομάζονται Αντιπροσωπευτικοί εξυπηρετητές (surrogate servers) και περιέχουν αντίγραφα των Αρχικών εξυπηρετητών του περιεχομένου στην αποθηκευτική τους μνήμη και αναλαμβάνουν να εξυπηρετήσουν το αίτημα του κοντινότερου σε αυτούς χρήστη. Ανάλογα με το είδος της Αντιγραφής Περιεχομένου που πραγματοποιείται, οι Αντιπροσωπευτικοί εξυπηρετητές κατέχουν ολόκληρο το αντίγραφο από το περιεχόμενο του Αρχικού εξυπηρετητή ή ένα αντίγραφο μέρους του περιεχομένου του Αρχικού εξυπηρετητή (βλ. Υποκεφάλαιο 2.4). Με τον τρόπο αυτό, ελαχιστοποιείται η επικοινωνία μεταξύ Αρχικού εξυπηρετητή και χρήστη, αφού πλέον εγκαθιδρύεται ενδιάμεση επικοινωνία με τους Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές και τον χρήστη. Αυτό, αποσκοπεί στην μείωση της συμφόρησης του δικτύου, αυξάνει την διαθεσιμότητα των δεδομένων, επιτυγχάνει πιο αποτελεσματική κατανομή του περιεχομένου και παρέχει μερική ανοχή σφαλμάτων. Σύμφωνα με το [11], με την αναφορά μας στον όρο περιεχόμενο, εννοούμε στατικές εικόνες και κείμενα τα οποία βρίσκονται στον τοπικό αποθηκευτικό χώρο ενός επεξεργαστή, σε πολυμέσα (multimedia content) και δυναμικές σελίδες (dynamic pages).



Σχήμα 2: Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου [51]

Σύμφωνα με το Σχήμα 2, υπάρχουν διασκορπισμένοι ανά το παγκόσμιο οι χρήστες και τα αιτήματά τους παραλαμβάνονται και εξυπηρετούνται από τους αντίστοιχους Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές, ανάλογα με την τοποθεσία που βρίσκονται. Για παράδειγμα, οι χρήστες που βρίσκονται στην Ελλάδα, θα εξυπηρετούνται από τον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή της Ελλάδας, που είναι και ο κοντινότερος σε απόσταση από αυτούς. Οι Αντιπροσωπευτικοί εξυπηρετητές περιέχουν αντίγραφα του περιεχομένου από τον Αρχικό εξυπηρετητή. Οι Αντιπροσωπευτικοί εξυπηρετητές είναι συνδεδεμένοι και επικοινωνούν μεταξύ τους, επομένως εάν κάποιος από αυτούς δεν κατέχει το περιεχόμενο που ζητήθηκε από τον χρήστη μπορεί να το προσκομίσει από έναν άλλον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή.

Ανάπτυξη Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου

Σύμφωνα με τα [48],[27], το πρώτο Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου εμφανίστηκε το 1998, όταν οι διάφοροι οργανισμοί αντιλήφθηκαν ότι θα εξοικονομούσαν αρκετά χρήματα εάν το περιεχόμενο των ιστοχώρων τους τοποθετείτο σε ένα Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου. Αυτό θα τους πρόσφερε αξιοπιστία και επεκτασιμότητα στην χρησιμοποίηση του περιεχομένου τους, ενώ οι ίδιοι δεν θα χρειάζονταν να κατασκευάσουν κάποια υποδομή. Μόλις ένα χρόνο αργότερα, το 1999, εταιρίες όπως την Akamai [2] και τη Mirror Image [42], υιοθέτησαν την ιδέα αυτή, παίρνοντας στην κατοχή τους ένα μεγάλο ποσοστό περιεχομένου του Παγκόσμιου Ιστού για να το διαχειρίζονται.

Αυτή υπήρξε η αφετηρία για την εγκαθίδρυση των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου στις Ηνωμένες Πολιτείες, έχοντας μεγάλα ποσοστά κέρδους. Μετά την τρομοκρατική επίθεση της 11^{ης} Σεπτεμβρίου 2001, πολλοί από τους ιστοχώρους δεν ήταν πλέον διαθέσιμοι, λόγω της αυξημένης μαζικής ζήτησης περιεχομένου από τους χρήστες η οποία προκάλεσε προβλήματα, όπως την Ταυτόχρονη Προσπέλαση (flash crowd). Από το 2002 κι έπειτα, μεγάλοι παροχείς διαδικτυακού περιεχομένου προσπάθησαν να αναπτύξουν τα δικά τους Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου και τους ακολούθησαν πολλοί οργανισμοί έτσι ώστε να έχουν το περιεχόμενό τους όσο πιο κοντά γίνεται στους χρήστες τους, επεκτείνοντας τις υπηρεσίες τους και διακινώντας περιεχόμενο που αφορούσε οπτικοακουστικό υλικό, υπηρεσίες Διαδικτύου, χρήσιμες πληροφορίες και συναλλαγές, ανά το παγκόσμιο.

Αρχιτεκτονική Δικτύου Παράδοσης Περιεχομένου

Σύμφωνα με το [48], ένα Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, αποτελείται από τα εξής:

- Ένα σύνολο Αντιπροσωπευτικών εξυπηρετητών, οι οποίοι έχουν στην κατοχή τους το περιεχόμενο των Αρχικών εξυπηρετητών.
- Δρομολογητές (routers) και μονάδες του δικτύου, οι οποίοι δρομολογούν τα αιτήματα και το περιεχόμενο που διακινείται στο δίκτυο ανάλογα με την επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας και στον κατάλληλο Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή.
- Ένα μηχανισμό, ο οποίος καταγράφει τις πληροφορίες για τα δεδομένα (logs) έτσι ώστε να ενημερώνονται οι Αρχικοί εξυπηρετητές.

Χαρακτηριστικά

Τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, ως υποσύνολο των Κατανεμημένων Συστημάτων, κληρονομούν τα χαρακτηριστικά τους και χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα, σύμφωνα με το [3]:

Ακεραιότητα και Αυθεντικότητα: ακρίβεια και πληρότητα όσο αφορά δεδομένα, υπηρεσίες και λειτουργίες, δηλαδή δεν μπορεί κάποιος χωρίς εξουσιοδότηση να επέμβει και να αλλάξει το περιεχόμενο.

Ασφάλεια και Εμπιστευτικότητα: δεν διεκπεραιώνεται έλεγχος όσον αφορά τη συλλογή του περιεχομένου, πώς χρησιμοποιήθηκε και πού βρίσκεται από οντότητες οι οποίες δεν είναι εξουσιοδοτημένες.

Επεκτασιμότητα και Διαθεσιμότητα: οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες έχουν πρόσβαση στα δεδομένα τους οποιαδήποτε στιγμή και ο αριθμός των χρηστών στο δίκτυο, όσο κι αν αυτό επεκταθεί, δεν επηρεάζει την απόδοση και την διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Διαχείριση και Ευθύτητα πηγών: επιτρέπεται η διόρθωση, η διαγραφή, η διαχείριση του περιεχομένου στον αποθηκευτικό χώρο των επεξεργαστών του δικτύου, καθώς επίσης και η ανάρτηση, αναζήτηση και ανάκτηση περιεχομένου, στα πλαίσια μιας ισορροπημένης κατανομής και διαχείρισης, η οποία γίνεται δίκαια ανάμεσα σε όλους τους χρήστες του δικτύου.

Οργάνωση Πληροφοριών: το περιεχόμενο ανάλογα με το είδος του, την χρησιμοποίησή του και άλλους παράγοντες που θα μελετήσουμε στη συνέχεια, τοποθετείται στους διασκορπισμένους επεξεργαστές του δικτύου. Διατίθενται μηχανισμοί αναζήτησης δεδομένων, καθώς επίσης και πίνακες που προσδιορίζουν την τοποθεσία των δεδομένων για εντοπισμό τους (mapping).

Πλεονεκτήματα Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου

Σύμφωνα με τους Πάλλη και Βακάλη [48], η εγκαθίδρυση και χρήση των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου πλεονεκτεί για τους εξής λόγους:

- Μειώνει την ανάγκη και το κόστος για κατασκευή υποδομής ιστοχώρων, λόγω του ότι οι πελάτες εμπιστεύονται τη διαχείριση του περιεχομένου τους στους παροχείς υπηρεσιών Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου.
- Μειώνεται η κινητικότητα (traffic) του δικτύου στην μεταφορά περιεχομένου, αφού το περιεχόμενο βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση από τον χρήστη.
- Βελτιώνεται η ποιότητα, η ταχύτητα και η αξιοπιστία της μεταφοράς και παράδοσης περιεχομένου.
- Μειώνεται ο αριθμός των αιτημάτων που λαμβάνουν οι Αρχικοί εξυπηρετητές.

Παράδειγμα Δικτύου Παράδοσης Περιεχομένου

Προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, θα δούμε λεπτομερώς ένα από τα σημαντικότερα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, το σύστημα της Akamai. Η Akamai [2], που ιδρύθηκε το 1998 στην

Για την επίτευξη του στόχου της, χρησιμοποίησε πολλαπλούς εξυπηρετητές, γεωγραφικά διασκορπισμένους, για την υποστήριξη ιστοχώρων με αυξημένη ζήτηση και οι χρήστες εξυπηρετούνται από τον κοντινότερο σε αυτούς εξυπηρετητή. Σημαντικές ήταν και οι προδιαγραφές για την σχεδίαση και την αρχιτεκτονική του συστήματος. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αποσκοπούσε στην ελαχιστοποίηση της απόστασης επικοινωνίας των εξυπηρετητών και των χρηστών (EdgeComputing), η οποία ως επακόλουθο θα μεγιστοποιούσε την διαθεσιμότητα του περιεχομένου και ταυτόχρονα θα ελαχιστοποιούσε και την παρουσία σφαλμάτων στο σύστημα. Σύμφωνα με το [46], αυτό ήταν και το κλειδί για την επιτυχία της Akamai.

16

Εκτός από το Σύστημα Χαρτογράφησης, τα συστατικά του συστήματος της Akamai, που απεικονίζονται στο Σχήμα 3, διεκπεραιώνουν τις ακόλουθες αναλυτικά λειτουργίες:

- **Σύστημα Μεταφοράς (Transport System):** αναλαμβάνει να μεταφέρει τις απαιτούμενες πληροφορίες με αξιόπιστο και αποδοτικό τρόπο στον χρήστη, χρησιμοποιώντας την υπηρεσία IP Application Accelerator [63], η οποία περιέχει λειτουργίες όπως είναι η εύρεση της συντομότερης διαδρομής μεταφοράς από τον Αρχικό εξυπηρετητή στον ακρινό εξυπηρετητή και τεχνικές μείωσης της απώλειας πακέτων περιεχομένου κατά τη μεταφορά αυτή. Αν ο πλησιέστερος εξυπηρετητής δεν μπορεί να ικανοποιήσει το αίτημα του χρήστη, αναλαμβάνει να προσκομίσει το ζητούμενο περιεχόμενο από τον Αρχικό εξυπηρετητή.
- **Σύστημα Επικοινωνίας και Ελέγχου (Communications and Control System):** αναλαμβάνει τον έλεγχο του συστήματος. Συγκεκριμένα διαδίδει την κατάσταση των πληροφοριών, διαχειρίζεται τα μηνύματα και ενημερώνει για τυχόν ανανεώσεις και αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτό.
- **Σύστημα Συλλογής και Ανάλυσης Δεδομένων (Data Collection and Analysis):** υπεύθυνο για την συλλογή των αναφορών εξυπηρετητών (server logs), των αναφορών πελατών (client logs) και άλλων πληροφοριών σχετικές με το δίκτυο και τα δεδομένα. Τα δεδομένα που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για διαχείριση και παρακολούθηση του συστήματος.
- **Πύλη Διαχείρισης (Management Portal):** διαθέτει μια πλατφόρμα μέσω της οποίας ο πελάτης μπορεί να επιβλέπει πώς διαδίδεται το περιεχόμενο και οι εφαρμογές στους χρήστες του μέσω της Akamai. Επιπλέον, παρέχει στους πελάτες αναφορές με δημογραφικά χαρακτηριστικά, την κινητικότητα του δικτύου και την πληροφορίες για την χρήση του περιεχομένου και των εφαρμογών από τους χρήστες.

Η σχεδίαση βασίζεται στην ευρωστία του δικτύου και στα πιθανά λάθη που μπορεί να προκύψουν στο δίκτυο, έτσι ώστε να μπορεί να συνεχίζει το σύστημα να λειτουργεί απρόσκοπτα στην παρουσία σφαλμάτων. Οι αρχές σχεδίασης, σύμφωνα με το [46], αναφέρονται ως εξής:

- **Σχεδιασμός για αξιοπιστία:** απαιτεί μεγάλη προσπάθεια, δεδομένου ότι τα συστατικά του δικτύου μπορεί να καταρρεύσουν ανά πάσα στιγμή. Έτσι, πρέπει να υπάρχει πλεονασμός για τα συστατικά του δικτύου και όχι για ορισμένα σημεία, να υπάρχει Ανεκτικότητα Σφαλμάτων σε όλα τα επίπεδα, έστω και αν κάποιος αντιμετωπίζει σφάλμα και να επιλέγεται αποκεντρωμένος αρχηγός στο δίκτυο για να μην μπορεί εύκολα να καταρρεύσει ολόκληρο το δίκτυο.
- **Σχεδιασμός για επεκτασιμότητα:** όλες οι πλατφόρμες πρέπει να είναι ευέλικτες, δηλαδή να μπορούν να έχουν περισσότερη κίνηση, δεδομένα και πελάτες και να διαχειρίζονται μεγάλους όγκους δεδομένων, να ελέγχουν και να χειρίζονται άλλα συστήματα τα οποία έχουν κι αυτά ένα μεγάλο αριθμό κατανεμημένων μηχανών.
- **Σχεδιασμός για απόδοση:** υψηλή απόδοση στην μεταφορά πληροφοριών στον χρήστη, αλλά και απόδοση όσον αφορά τις εσωτερικές ανάγκες λειτουργίας της πλατφόρμας.
- **Περιορισμός στην ανάγκη ανθρώπινης διαχείρισης:** πρέπει το σύστημα να είναι αυτόνομο, δηλαδή να μπορεί να αντιδρά σε τυχόν σφάλματα και να αναβαθμίζεται έχοντας την λιγότερη ανθρώπινη ανάμειξη.

Όσον αφορά την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, επιτυγχάνεται μέσω του Συστήματος Ονομάτων Τομέα – DNS, που χρησιμοποιείται από το Σύστημα Χαρτογράφησης [20]. Οι εξυπηρετητές των άκρων για να βελτιώσουν την απόδοση, προσπαθούν να μειώσουν τα αιτήματα που στέλνονται στον Αρχικό εξυπηρετητή. Αυτό επιτυγχάνεται στην περίπτωση που κάποιος εξυπηρετητής δεν έχει το ζητούμενο περιεχόμενο, το ζητά από έναν Αντιπροσωπευτικό γειτονικό εξυπηρετητή και όχι από τον Αρχικό. Όταν κάποιος εξυπηρετητής καταρρεύσει και δεν είναι πλέον σε θέση να διαχειριστεί τα αιτήματα των χρηστών, τα αιτήματα δρομολογούνται μέσω του Συστήματος Ονομάτων Τομέα σε άλλον εξυπηρετητή ο οποίος περιέχει αντίγραφο του ζητούμενου περιεχομένου.

Κεφάλαιο 3

Κατηγοριοποίηση

3.1 Επιλογή Κατηγοριών

3.2 Κατηγορία 1: Διαθεσιμότητα Περιεχομένου

3.3 Κατηγορία 2: Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά

3.1 Επιλογή Κατηγοριών

Μελετώντας προσεκτικά τις απαιτήσεις των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, αλλά και τις ανάγκες που έχουν για να επιτελέσουν τον σκοπό τους, δόθηκε έμφαση στα στοιχεία που, κατά την άποψή μας, έχουν την μεγαλύτερη σημασία, έτσι ώστε οι μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων να επικεντρώνονται σε αυτά. Το υλικό και οι τεχνικές αντιμετώπισης των σφαλμάτων που προτάθηκαν στηρίζονται στην επιλογή των συγκεκριμένων στοιχείων.

Μείζονος σημασίας για τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου αποτελεί η *διαθεσιμότητα περιεχομένου*, δηλαδή η παροχή του περιεχομένου που απαιτεί ο χρήστης σε οποιοδήποτε γεωγραφικό σημείο κι αν βρίσκεται. Οι παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται και επηρεάζουν άμεσα τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου είναι η Αντιγραφή των κατάλληλων αντιγράφων και η κατάλληλη επιλογή τοποθέτησής τους στον αντίστοιχο εξυπηρετητή, καθώς και η ασφάλεια που προσφέρει στην όλη διαδικασία παράδοσης περιεχομένου το δίκτυο.

Ακόμη ένα σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο παρουσιάστηκε μέσα από αρκετές προτάσεις και αποδείχθηκε ότι λειτουργεί ως μηχανισμός Ανεκτικότητας Σφαλμάτων στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, είναι η ανάπτυξη *Αυτό-Προσαρμοστικής*

Συμπεριφοράς (Self-Adaptive). Συγκεκριμένα, προϋποθέτει το σύστημα να μπορεί να αντιλαμβάνεται και να προσαρμόζεται στις διαφορετικές απαιτήσεις και χαρακτηριστικά του περιεχομένου και των εφαρμογών που παρουσιάζονται κάθε φορά, έτσι ώστε να αποφεύγονται τα σφάλματα.

3.2 Κατηγορία 1: Διαθεσιμότητα Περιεχομένου

Το κυριότερο πρόβλημα που έχουν να αντιμετωπίσουν τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου είναι η διαθεσιμότητα του περιεχομένου, των εφαρμογών και των υπηρεσιών που προσφέρουν. Συγκεκριμένα, ένα Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου να συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά, έστω κι αν προκύψει κάποιο σφάλμα σε έναν από τους επεξεργαστές του υπόλοιπου δικτύου. Από το γεγονός αυτό απορρέει και η αξιολογία που προσφέρει ένα Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου.

Το πρόβλημα ευρύνεται λόγω της αύξησης του όγκου των δεδομένων που κινείται διαδικτυακά, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη αυξημένη ζήτηση από τους χρήστες. Αυτά, έχουν ως επακόλουθο την αύξηση της αναξιολογίας, αλλά και την παρουσίαση του προβλήματος της ταχύτητας μεταφοράς των δεδομένων, της καθυστέρησης κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, και το κόστος επικοινωνίας που προκύπτει. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προαναφερθέντα, ένα σύστημα κρίνεται αναγκαίο να είναι διαθέσιμο, λειτουργώντας οποιαδήποτε στιγμή και ικανοποιώντας τα αιτήματα των χρηστών του. Πρέπει να θεωρείται αξιόπιστο, χωρίς διακοπή και επιρροή από σφάλματα που θα γίνουν αντιληπτά στον χρήστη ή έστω σε περίπτωση εμφάνισης σφάλματος ο χρόνος αποκατάστασής του να είναι σύντομος, και ταυτόχρονα να εγγυάται ασφάλεια και προστασία στο περιεχόμενο των χρηστών, το οποίο διακινείται στο δίκτυο.

Σύμφωνα με το φάσμα της περιοχής που καλύπτει η έννοια της διαθεσιμότητας στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, θα διαχωρίσουμε την περιοχή αυτή σε τρεις υποκατηγορίες. Αρχικά, θα αναφερθούμε στην *Τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου (Replication)*, που θεωρείται και η βασικότερη λύση για αντιμετώπιση των σφαλμάτων στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, και θα αναλύσουμε μεθόδους και τεχνικής Αντιγραφής Περιεχομένου, που υποστηρίζονται μέχρι σήμερα. Ακολούθως, θα παρουσιάσουμε το πρόβλημα της *Τοποθέτησης Περιεχομένου (Content Placement Problem)* που αφορά τον τρόπο που κατανέμεται το περιεχόμενο στους επεξεργαστές

του δικτύου και θα παρουσιάσουμε σχετικές λύσεις που προτάθηκαν, καθώς το πρόβλημα εξακολουθεί ακόμη να απασχολεί το πεδίο των Καταναμημένων Συστημάτων και τον τρόπο αντιμετώπισης των σφαλμάτων που προκύπτουν. Τέλος, θα συσχετίσουμε την διαθεσιμότητα του περιεχομένου με την *ασφάλεια* του περιεχομένου που διακινείται στο σύστημα.

3.3 Κατηγορία 2: Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά

Η ιδέα της δημιουργίας Αυτό-προσαρμοζόμενων Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου προήλθε το 2001 από το συμπέρασμα ότι τα Προσαρμοστικά (adaptive) Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου έδειξαν ότι μπορούν να διαχειριστούν με επιτυχία δύσκολες καταστάσεις, όπως είναι η *Ταυτόχρονη Προσπέλαση* (flash crowds) και οι *Ενέργειες Παρεμπόδισης Υπηρεσιών* (DoS - Denial of Service Attacks) [31]. Επιπλέον, η προσαρμογή, είτε αυτή αναφέρεται σε περιβάλλον συστήματος, είτε σε περιεχόμενο, είτε σε απαιτήσεις, ενισχύει την αξιοπιστία του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τα σφάλματα που προκύπτουν σε αυτό.

Με την όλο και περισσότερη χρήση του Παγκόσμιου Ιστού, την αύξηση των χρηστών και την επακόλουθη αύξηση των αιτημάτων προς εξυπηρέτηση, προέκυψαν σημαντικά προβλήματα όσον αφορά την εξυπηρέτηση όλων των αιτημάτων. Ένα από αυτά είναι και η Ταυτόχρονη Προσπέλαση, όπου πολλοί χρήστες επιχειρούν ταυτόχρονα την πρόσβασή τους σε ένα ιστοχώρο (website) ο οποίος έχει πολλή ζήτηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εξυπηρετητές να μην μπορούν να αντεπεξέλθουν σε όλα αυτά τα αιτήματα ή αν καταφέρουν να εξυπηρετήσουν μερικά από αυτά, αυτό θα γίνει με μεγάλες καθυστερήσεις ή και σφάλματα. Όλο αυτό προκαλεί στο δίκτυο συμφόρηση και απώλεια δεδομένων. Επιπλέον, υπάρχουν και οι Ενέργειες Παρεμπόδισης Υπηρεσιών, οι οποίες αποτελούν κακόβουλα αιτήματα που δεν μπορεί ο ιστοχώρος να τα διαχειριστεί, και έχουν αντίκτυπο στους «νόμιμους» χρήστες του ιστοχώρου, αφού παρεμποδίζουν την εξυπηρέτηση των αιτημάτων τους.

Η λύση στο προαναφερθέν πρόβλημα, δόθηκε από τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου [1], τα οποία μπορούν να αντεπεξέλθουν στο πρόβλημα της Ταυτόχρονης Προσπέλασης, αλλά και να εξασφαλίσουν βελτίωση στην ταχύτητα, στην αξιοπιστία και στην επεκτασιμότητα του δικτύου. Τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου

έχουν το πλεονέκτημα να διασκορπίζουν τα δεδομένα σε διάφορους εξυπηρετητές, που βρίσκονται στο δίκτυο χωρίς να είναι αναγκαίο να βρίσκονται όλα τα δεδομένα σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή. Αυτό στην περίπτωση αντιμετώπισης της Ταυτόχρονης Προσπέλασης, θεωρείται αρκετά σημαντικό, αφού στόχος είναι να καταφθάνουν για εξυπηρέτηση όσο λιγότερα αιτήματα στον αρχικό εξυπηρετητή, έτσι ώστε να αποφευχθεί η συμφόρηση του δικτύου. Τα αιτήματα αυτά μπορούν να εξυπηρετούνται και από άλλους εξυπηρετητές του δικτύου, και μόνο στην περίπτωση που κάποιος από αυτούς δεν μπορεί να εξυπηρετήσει το αίτημα, αυτό θα μεταφέρεται στον αρχικό εξυπηρετητή.

Σε αυτήν τη λειτουργία στηρίχτηκε και η δημιουργία ενός Αυτό-Προσαρμοστικού Δίκτυου Παράδοσης Περιεχομένου το οποίο θα χρησιμοποιούσε έναν αλγόριθμο διαλογής σύμφωνα με τον οποίο στο δίκτυο θα υπήρχε ο αρχικός εξυπηρετητής, ο οποίος επικοινωνεί με τους βασικούς (primary) εξυπηρετητές μόνο. Με τη σειρά τους οι βασικοί εξυπηρετητές, επικοινωνούν με τους εξουσιοδοτημένους (delegate) εξυπηρετητές. Επομένως, το αίτημα ενός χρήστη αρχικά θα μεταφέρεται σε έναν εξουσιοδοτημένο εξυπηρετητή. Αν αυτός δεν μπορεί να το ικανοποιήσει, αυτό θα προωθείται σε έναν βασικό εξυπηρετητή. Αν ούτε και αυτός μπορεί, τότε το τελευταίο βήμα είναι να προωθηθεί στον αρχικό εξυπηρετητή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των αιτημάτων που εξυπηρετεί ο αρχικός εξυπηρετητής, αλλά ταυτόχρονα και τον διαχωρισμό των αιτημάτων, έτσι ώστε να αποφεύγονται τα κακόβουλα που προκαλούν τα προβλήματα στο δίκτυο.

Σημαντικό είναι, ότι σε κάθε προσπάθεια εξυπηρέτησης που προκύπτει, το ίδιο το σύστημα προσπαθεί να προσαρμοστεί στο είδος του περιεχομένου, στον σκοπό της λειτουργίας και στις απαιτήσεις των χρηστών του. Αυτή η προσαρμογή σε συνδυασμό με την χρήση του Δικτύου Παράδοσης Περιεχομένου, οδηγεί στην καλύτερη εξυπηρέτηση των αιτημάτων των χρηστών, αλλά και στην μείωση των σφαλμάτων που προκύπτουν.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει συνοπτικά τις κατηγορίες και τις υποκατηγορίες, σύμφωνα με τις οποίες έχουμε διαχωρίσει το υλικό μας για τους σκοπούς της βιβλιογραφικής μελέτης.

Κατηγοριοποίηση	
Κατηγορία 1	Κατηγορία 2
Διαθεσιμότητα Περιεχομένου	Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά
Υποκατηγορία 1	
Αντιμετώπιση Ανεκτικότητας Σφαλμάτων με Αντιγραφή Περιεχομένου	
Υποκατηγορία 2	
Πρόβλημα Τοποθέτησης Περιεχομένου	
Υποκατηγορία 3	
Ασφάλεια Περιεχομένου	

Πίνακας 1: Παρουσίαση Κατηγοριών

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση Κατηγοριών

4.1 Κατηγορία 1: Διαθεσιμότητα Περιεχομένου

4.1.1 Υποκατηγορία 1: Αντιμετώπιση Ανεκτικότητας Σφαλμάτων με Αντιγραφή Περιεχομένου

4.1.2 Υποκατηγορία 2: Πρόβλημα Τοποθέτησης Περιεχομένου

4.1.3 Υποκατηγορία 3: Ασφάλεια Περιεχομένου

4.2 Κατηγορία 2: Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά

4.3 Σύγκριση Κατηγοριών

4.1 Κατηγορία 1: Διαθεσιμότητα Περιεχομένου

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η κατηγορία Διαθεσιμότητας Περιεχομένου, η οποία αποτελείται από τις υποκατηγορίες της Αντιμετώπισης Σφαλμάτων μέσω της Αντιγραφής Περιεχομένου, το Πρόβλημα Τοποθέτησης Περιεχομένου και την Ασφάλεια Περιεχομένου.

4.1.1 Υποκατηγορία 1: Αντιμετώπιση Σφαλμάτων με Αντιγραφή Περιεχομένου

Η τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου (Replication), Υποκεφάλαιο 2.4, στηρίζεται στην ιδέα ότι το περιεχόμενο δεν θα βρίσκεται σε ένα μοναδικό σημείο στο δίκτυο, δηλαδή σε έναν μόνο εξυπηρετητή, αλλά θα αναπαράγεται και θα κατανέμεται σε περισσότερους εξυπηρετητές του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, όχι μόνο αυξάνεται η διαθεσιμότητα του περιεχομένου, αλλά ταυτόχρονα εξασφαλίζεται ότι σε περίπτωση ενδεχόμενου σφάλματος ή κατάρρευσης του μοναδικού εξυπηρετητή που κατέχει το περιεχόμενο, το περιεχόμενο αυτό θα υπάρχει σε κάποιον άλλον εξυπηρετητή, ο οποίος θα ικανοποιήσει το αίτημα του χρήστη, εάν το συγκεκριμένο περιεχόμενο ζητηθεί.

Σύμφωνα με τους Tanenbaum και Van Steen [53] (σελίδες 273-276), η τεχνική αυτή γίνεται για δυο βασικούς λόγους: την επίτευξη της αξιοπιστίας και της απόδοσης του συστήματος. Όσον αφορά το πρώτο μέρος, με την Αντιγραφή Περιεχομένου αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος, διότι εάν ένα αντίγραφο (replica) δεν είναι διαθέσιμο λόγω κατάρρευσης (crash) θα μπορεί να αντικατασταθεί από ένα άλλο αντίγραφό του. Το γεγονός αυτό προσφέρει ταυτόχρονα και περισσότερη προστασία των δεδομένων, όταν πρόκειται να διεξαχθούν λειτουργίες σε αυτά, όπως είναι η εγγραφή και η ανάγνωση. Το άλλο μέρος αφορά την απόδοση του συστήματος, ειδικά στην περίπτωση που το σύστημα έχει ανάγκη για επεκτασιμότητα (scalability). Η επεκτασιμότητα αφορά από την μια τον αριθμό των εξυπηρετητών του συστήματος, δηλαδή με την αύξηση των διαδικασιών επιβάλλεται να μην υπάρχει μόνο ένας εξυπηρετητής (single server), αλλά η εξυπηρέτηση των αιτημάτων να κατανέμεται και να διενεργείται και σε άλλους εξυπηρετητές. Από την άλλη, σχετίζεται με το μέγεθος της γεωγραφικής περιοχής που εκτείνεται το σύστημα, το οποίο βασίζεται στην ιδέα της τοποθέτησης ενός αντιγράφου στον πλησιέστερο εξυπηρετητή, έτσι ώστε να χρειαστεί λιγότερο χρόνο πρόσβασης σε αυτό. Μέσω αυτής της λογικής, εντάσσουν την τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου στις τεχνικές επίτευξης επεκτασιμότητας ενός συστήματος, που είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά /σκοπούς ενός Δίκτυου Παράδοσης Περιεχομένου.

Η τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου, όμως αντιμετωπίζει ένα σημαντικό δίλημμα, σύμφωνα με τους Tanenbaum και Steen [53] (σελίδες 274-276). Η ύπαρξη πολλών αντιγράφων απαιτεί και την συνεχή ενημέρωσή τους, έτσι ώστε τα αντίγραφα αυτά να παραμένουν ίδια μεταξύ τους στην περίπτωση που κάποιο από αυτά υποστεί τροποποίηση. Στο σημείο αυτό, εντάσσεται ένας νέος όρος, ο οποίος θεωρείται συνυφασμένος με την τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου, η *συνέπεια* (consistency). Το γεγονός της διατήρησης της συνέπειας των αντιγράφων μετά από κάποια τροποποίηση, απαιτεί περισσότερο εύρος ζώνης του δικτύου, λόγω του ότι τα αντίγραφα πρέπει να διατηρούν την ιδιομορφία τους στην περίπτωση ενημέρωσης του ενός. Η διαδικασία αυτή απαιτεί πολύ χρόνο επικοινωνίας, ειδικά όταν τα αντίγραφα είναι διασκορπισμένα σε ένα δίκτυο παγκόσμιας εμβέλειας. Από την άλλη, επιτυγχάνεται η επεκτασιμότητα και κατ' επέκταση η βελτίωση της απόδοσης, εφαρμόζοντας την τεχνική αυτή, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Για τον λόγο αυτό σε πολλές περιπτώσεις βασισμένες σε

πραγματικά παραδείγματα δικτύων, προτιμάται να μην επιτυγχάνεται συνέπεια σε μέγιστο βαθμό, δηλαδή να μην είναι όλα τα αντίγραφα ομοιόμορφα σε όλους τους επεξεργαστές, αλλά να επιτυγχάνεται η μέγιστη υψηλότερη απόδοση του συστήματος. Ανάλογα με το είδος και τη σκοπιμότητα της κάθε εφαρμογής, η συνέπεια μπορεί να έχει λιγότερη ή περισσότερη σημασία. Για παράδειγμα, κάποια μικρή καθυστέρηση στη διατήρηση ίδιου περιεχομένου σε ιστοσελίδες είναι αποδεκτή, όμως όταν πρόκειται για οικονομικές συναλλαγές δεν είναι αποδεκτή.

Λαμβάνοντας υπόψιν τη σημαντικότητα της τεχνικής Αντιγραφής Περιεχομένου, τόσο για την ανάπτυξη του συστήματος, όσο και για την ενίσχυση της ανεκτικότητας των σφαλμάτων, πραγματοποιήθηκαν αρκετές προσπάθειες, πολλές από τις οποίες έχουν υλοποιηθεί, σχεδιαστεί ή βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο, προκειμένου να ενισχυθεί η τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου. Οι ενέργειες αυτές περιέχουν την ανάπτυξη πρωτοκόλλων, συστημάτων, σχεδιασμών και τεχνικών.

4.1.1.1 Προτεινόμενη Λύση 1: Σύστημα Κατανεμημένου Αποθηκευτικού χώρου SKUTE

Το πρόβλημα της διαθεσιμότητας των δεδομένων επηρεάζει σημαντικά και την διαθεσιμότητα των διαδικτυακών εφαρμογών στο σύστημα, οι οποίες για να υλοποιηθούν χρησιμοποιούν κατανεμημένη μνήμη. Το πρόβλημα της διαθεσιμότητας των διαδικτυακών εφαρμογών ευρύνεται με την αύξηση του όγκου των δεδομένων που συνεπάγεται και την αύξηση του αριθμού των σφαλμάτων, τα οποία μειώνουν τη διαθεσιμότητα των εν λόγω εφαρμογών. Τέτοιου είδους σφάλματα αποτελούν τα σφάλματα από κακόβουλες επιθέσεις χρηστών, τα σφάλματα που προκαλούνται στο υλικό του δικτύου από τον όγκο των δεδομένων ή και τα σφάλματα που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα σφάλματα αυτά αντιμετωπίζονται με την τεχνική της Αντιγραφής Περιεχομένου. Όμως, στην προοπτική των εφαρμογών, όπου οι διαδικτυακές εφαρμογές επιβάλλεται να βρίσκονται σε συνεχή επικοινωνία με τους πόρους των δεδομένων που χρησιμοποιούν, οι πόροι αυτοί είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται αποδοτικά έτσι ώστε να ελαχιστοποιούν το κόστος που προκύπτει από την επικοινωνία της εφαρμογής με τον αποθηκευτικό χώρο των δεδομένων.

Επιπλέον, η χρησιμοποίηση των πόρων πρέπει να προσαρμόζεται στην πιθανότητα των ασφαμάτων, στην προσθήκη νέων πόρων δεδομένων, στην μεταφορά των δεδομένων ανάμεσα στα σημεία και στην τοποθέτηση των χρηστών στο δίκτυο.

Μια πρόταση από το Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL) παρουσιάζει ένα σύστημα διασκορπισμένου βασικού αποθηκευτικού χώρου (Scattered Key-value Store), που ονομάζεται SKUTE [7], το οποίο βασίζεται στην υπηρεσία Κατανεμημένου βασικού αποθηκευτικού χώρου των αποθηκευτικών χώρων του «νέφους» (cloud storage). Η συγκεκριμένη υπηρεσία χρησιμοποιείται από πολλές διαδικτυακές εφαρμογές όπως είναι η Amazon, από εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης όπως είναι το LinkedIn [39], και από πολλές ερευνητικές κοινότητες που λειτουργούν με συστήματα βάσεων δεδομένων όπως είναι η BerkleyDB [47].

Σκοπός

Τα προβλήματα που έχει σκοπό να αντιμετωπίσει η συγκεκριμένη πρόταση αφορούν την μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας των δεδομένων στο σύστημα, με την τοποθέτηση των αντιγράφων στους γεωγραφικά κατανεμημένους εξυπηρετητές στο σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη και την πιθανότητα σφάλματος που χαρακτηρίζει τον κάθε εξυπηρετητή. Επιπλέον, σκοπεύει στην ελαχιστοποίηση του κόστους επικοινωνίας έτσι ώστε να γίνεται καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης κατά τη διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου και να μειώνεται η καθυστέρηση που προέρχεται από την πρόσβαση στα δεδομένα. Σημαντικό είναι και η μεγιστοποίηση του κέρδους του δικτύου, δηλαδή κάθε εφαρμογή πρέπει περιοδικά να πληρώνει το λειτουργικό κόστος που της παρέχει ο κάθε εξυπηρετητής, στον οποίο διατηρεί τα αντίγραφά της. Λόγω του ότι το κόστος αυτό εξαρτάται από την ποιότητα του υλικού που προσφέρει ο εξυπηρετητής, τον αποθηκευτικό του χώρο και το κόστος (overhead) από τις διαδικασίες της επεξεργασίας και της επικοινωνίας, οι ιδιοκτήτες του περιεχομένου επιλέγουν τους χαμηλότερους σε κόστος εξυπηρετητές. Οι βέλτιστες τιμές για τις υπάρχοντες υπηρεσίες των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου παρουσιάζονται στο [27].

Χαρακτηριστικά Σχεδίασης

Το SKUTE σχεδιάστηκε με σκοπό να παρέχει υψηλή διαθεσιμότητα δεδομένων με αποδοτικό τρόπο και κόστος, με βάση το κόστος παροχής υπηρεσίας (rent cost) και τον

χρόνο απόκρισης του αιτήματος (query response time). Συγκεκριμένα, έχει ως στόχο του τον χαμηλό χρόνο απόκρισης για διαδικασίες ανάγνωσης και εγγραφής, την κατανομή των αντιγράφων στο σύστημα με χαμηλό κόστος, την διασφάλιση της διαθεσιμότητας των δεδομένων για τις αντίστοιχες εφαρμογές και την ελαχιστοποίηση του εύρους ζώνης και του αποθηκευτικού χώρου που χρησιμοποιεί. Το πλήθος των δεδομένων καθώς και η τοποθέτησή τους, διαχειρίζονται από έναν κατανεμημένο βέλτιστο αλγόριθμο, ο οποίος εκτελείται αυτόνομα στον κάθε εξυπηρετητή. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται καινοτόμος χάρη στα ακόλουθα χαρακτηριστικά της:

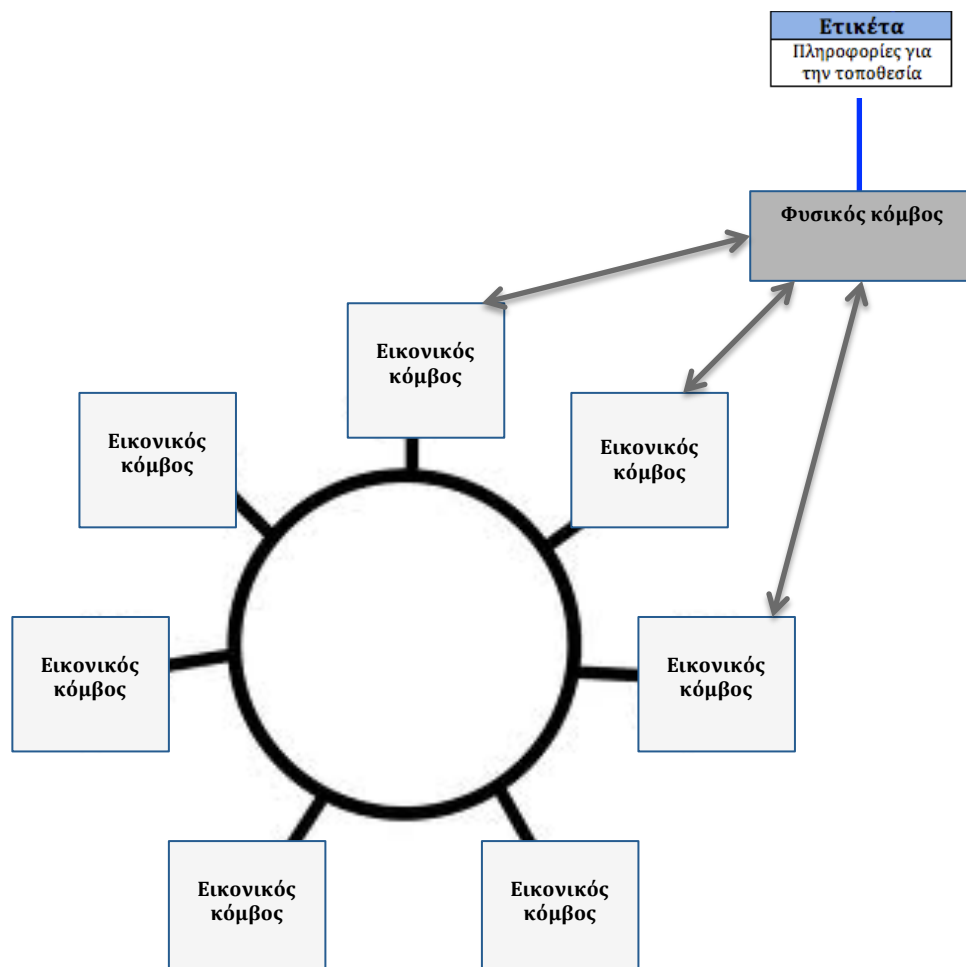
- Ενεργοποιεί έναν μηχανισμό ο οποίος στηρίζεται σε υπολογισμούς για την οικονομική διαχείριση των αποθηκευτικών πόρων.
- Προωθεί την διαθεσιμότητα των εφαρμογών, έστω κι αν παρουσιάζονται σφάλματα, χρησιμοποιώντας μια γεωγραφική κατανομή των αντιγράφων.
- Υποστηρίζει ένα κατανεμημένο μοντέλο το οποίο είναι οικονομικό ως προς το κόστος και αποδοτικά ικανοποιητικό και προσαρμόζεται στην προσθήκη νέου αποθηκευτικού χώρου, στα σφάλματα των κόμβων και ανάλογα με τις γεωγραφικές τοποθεσίες των χρηστών.
- Χρησιμοποιεί αποδοτικά και με δίκαια κατανομή τις πηγές δεδομένων, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της Εξισορρόπησης Φορτίου (Load Balancing), δηλαδή την κατανομή των διαδικασιών σε δυο ή περισσότερους επεξεργαστές έτσι ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτωση από τα πολλά αιτήματα των χρηστών που καταφθάνουν. Η κατανομή αυτή γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν τον μέγιστο αριθμό των αιτημάτων σε σύγκριση με τον ελάχιστο διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο σε συνδυασμό με το κόστος επικοινωνίας και τους περιορισμούς που υπάρχουν.

Περιγραφή Συστήματος

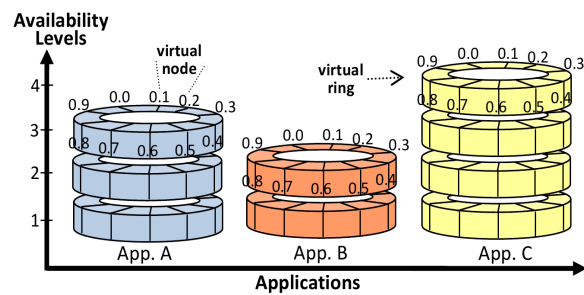
Το SKUTE, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4 αποτελείται από έναν Φυσικό κόμβο (Physical node), δηλαδή τον εξυπηρετητή, ο οποίος διατηρεί μια ετικέτα στην οποία αναγράφεται η ήπειρος και η χώρα στην οποία βρίσκεται, και πληροφορίες σχετικά με την συγκεκριμένη τοποθεσία του. Η τοπολογία του δικτύου βασίζεται στο σχήμα δακτυλίου (ring topology) και στην λειτουργία του κατακερματισμού (hashing). Τα δεδομένα ταυτοποιούνται από ένα κλειδί και η τοποθεσία τους καθορίζεται από μια συνάρτηση κατακερματισμού, η οποία χρησιμοποιεί το κλειδί. Εκτός από τον φυσικό

κόμβο, υπάρχει και ο Εικονικός κόμβος (Virtual node), ο οποίος έχει στην κατοχή του τα δεδομένα για το πεδίο των κλειδιών και αναλαμβάνει την Αντιγραφή του περιεχομένου και την αποστολή τους στους υπόλοιπους εξυπηρετητές του συστήματος. Ένας Φυσικός κόμβος, διατηρεί πολλούς Εικονικούς κόμβους, σύμφωνα με το αίτημα που στέλνεται, το μέγεθος των δεδομένων των Εικονικών κόμβων και την χωρητικότητα του Φυσικού κόμβου.

Η διαχείριση πολλαπλών εφαρμογών, υποστηρίζεται από την χρήση πολλών εικονικών δακτύλιων στο σύστημα του ίδιου δικτύου, όπως απεικονίζει το Σχήμα 5, και διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος των δεδομένων, την διαθεσιμότητα της εφαρμογής και προσπαθούν να μην δημιουργούνται συγκρούσεις σχετικά με την απόδοση τους. Αυτό θεωρείται πλεονέκτημα, αφού οι εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικών ειδών δεδομένα και κάθε Εικονικός δακτύλιος συμπεριφέρεται ανεξάρτητα με σκοπό την επίτευξη της βελτιστοποίησης. Επιπλέον, με τον τρόπο αυτό οι εφαρμογές χρησιμοποιούν δεδομένα τα οποία βρίσκονται στην κοντινότερη από αυτές απόσταση, πετυχαίνοντας έτσι μια βέλτιστη τοποθέτηση δεδομένων.



Σχήμα 4: Εικονικός Δακτύλιος – Τοπολογία δικτύου SKUTE



Σχήμα 5: Εικονικός Δακτύλιος – Τοπολογία δικτύου SKUTE [7]

Η δρομολόγηση (routing) πρέπει να είναι εξίσου αποδοτική στο σύστημα, επομένως κάθε εξυπηρετητής έχει αρκετές πληροφορίες στον πίνακα δρομολόγησής του σχετικά με το δίκτυο, έτσι ώστε να δρομολογεί τα δεδομένα απευθείας στον τελικό τους προορισμό. Κάθε Εικονικός δακτύλιος διατηρεί τις δικές του εγγραφές δρομολόγησης, γεγονός που θέτει έναν προβληματισμό ως προς το μέγεθος της μνήμης που χρειάζεται για να διατηρείται. Την διαχείριση των πινάκων δρομολόγησης όλων των Εικονικών δακτύλιων αναλαμβάνει ένας μόνο Φυσικός κόμβος ο οποίος διατηρεί όλες τις εγγραφές, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος ενημέρωσης των πινάκων.

Λειτουργία συστήματος

Ο Κάτοχος Περιεχομένου (data owner) διατηρεί αποθηκευτικό χώρο σε διάφορα κέντρα Περιεχομένου ανά το παγκόσμιο και ανάλογα με αυτό πληρώνει ένα αντίστοιχο μηνιαίο ποσό. Το κόστος αυτό καθορίζεται από μια αύξουσα συνάρτηση με βάση την χρήση του αποθηκευτικού χώρου και το φορτίο (load) του αιτήματος. Ο Εικονικός κόμβος είναι υπεύθυνος για τα δεδομένα τα οποία βρίσκονται στο πεδίο του κλειδιού του και προσπαθεί να διασφαλίσει την διαθεσιμότητα των δεδομένων αυτών σε ένα καθορισμένο επίπεδο σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και ταυτόχρονα να εξασφαλίσει το λιγότερο δυνατό κόστος. Για να τα πετύχει αυτά, πρέπει να λειτουργεί ως αυτόνομος, αφού είναι υπεύθυνος για την διαδικασία και την απόφαση για Αντιγραφή του Περιεχομένου που διαχειρίζεται και την μετέπειτα τοποθέτηση των αντιγράφων στους εξυπηρετητές, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος του ερωτήματος που λαμβάνει, το κόστος ενοικίασης αποθηκευτικού χώρου και την συντήρηση εάν υπάρξουν σφάλματα. Η αυτονομία συνεπάγεται των αποφάσεων που λαμβάνει διότι αφορούν την βελτιστοποίηση του κάθε κόμβου ανεξάρτητα, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η καθολική βελτιστοποίηση του συστήματος.

Σε κάθε χρονική στιγμή, οι Εικονικοί κόμβοι πρέπει να είναι ενήμεροι για το κόστος ενοικίασης αποθηκευτικού χώρου για τους εξυπηρετητές του δικτύου. Ξεκινάει μια διαδικασία εκλογής Προέδρου, σύμφωνα με ένα πρωτόκολλο εκλογής Προέδρου σε κατανεμημένα συστήματα [4], η οποία επαναλαμβάνεται κάθε φορά που ο Πρόεδρος δεν είναι διαθέσιμος στην πλειοψηφία των κόμβων, έτσι ώστε να γίνει επανεκλογή. Οι εξυπηρετητές επικοινωνούν με τον Πρόεδρο έτσι ώστε να τον ενημερώσουν για τις τιμές τους. Όμως, η διαδικασία αυτή μειονεκτεί γιατί δεν υπάρχει εγγύηση για την αξιοπιστία του εξυπηρετητή που θα εκλεγεί Πρόεδρος, καθώς επίσης και η συγκεντρωτική (centralized) αρχιτεκτονική οδηγεί σε δημιουργία σημείου συμφόρησης στο σύστημα λόγω της αυξημένης κίνησης των δεδομένων στον συγκεκριμένο εξυπηρετητή. Επομένως, η επιλογή λειτουργίας του κάθε εξυπηρετητή ως ανεξάρτητη οντότητα είναι σαφώς πιο αποδοτική. Δηλαδή, υπάρχει ένας εξυπηρετητής υπεύθυνος για το τοπικό υποσύνολο επεξεργαστών στο οποίο ανήκει και αναλαμβάνει περιοδικά να ενημερώνει τις τιμές ενοικίασης του αποθηκευτικού τους χώρου, επικοινωνώντας απευθείας με αυτούς.

Το σημαντικό στοιχείο της λειτουργίας του συστήματος, είναι ότι ο Εικονικός κόμβος προσπαθεί συνεχώς να διατηρεί την διαθεσιμότητα των δεδομένων του πάνω από ένα ορισμένο ελάχιστο επίπεδο. Για να το πετύχει αυτό χρειάζεται να υπολογίζει την πιθανότητα κατάρρευσης ή σφάλματος σε κάποιον από τους επεξεργαστές. Έτσι, διατηρεί πληροφορίες ανάλογα με την γεωγραφική θέση των επεξεργαστών που διατηρούν τα αντίγραφα των δεδομένων του, υποστηρίζοντας ότι όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός αντιγράφων σε έναν αντίστοιχα μεγάλο πλήθος εξυπηρετητών, αυξάνεται και η διαθεσιμότητα των δεδομένων. Σε περίπτωση που η διαθεσιμότητα είναι κάτω από το ορισμένο ελάχιστο επίπεδο σε κάποιον εξυπηρετητή, τότε το περιεχόμενο που έχει στην κατοχή του συγκεκριμένου εξυπηρετητή μεταφέρονται σε έναν νέο εξυπηρετητή, ο οποίος αυξάνει την διαθεσιμότητα του περιεχομένου και ταυτόχρονα μειώνει το κόστος.

Την διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου αναλαμβάνει επίσης να διεκπεραιώσει ο Εικονικός κόμβος και για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιεί ένα Δέντρο Απόφασης. Η απόφαση για την επιλογή ενός νέου κόμβου που θα φιλοξενήσει τα αντίγραφα λαμβάνεται με την ύπαρξη μιας ισορροπίας ανάμεσα στο κόστος ενοικίασης του

αποθηκευτικού χώρου του επεξεργαστή και της μέσης απόστασης του από τους χρήστες του. Σε περίπτωση που η ισορροπία αυτή είναι αρνητική, ο Εικονικός κόμβος υπολογίζει την διαθεσιμότητα στο υποσύνολο των επεξεργαστών που προεδρεύει, χωρίς να υπολογίσει τα δικά του αντίγραφα. Εάν η διαθεσιμότητα αυτή είναι ικανοποιητική, ο ίδιος αποφασίζει να «αυτοκτονήσει» (suicide), δηλαδή να διαγράψει τα δικά του αντίγραφα. Αλλιώς, ψάχνει να βρει έναν εξυπηρετητή με λιγότερο κόστος ο οποίος βρίσκεται σε κοντινότερη απόσταση στους χρήστες. Η διαδικασία Μεταφοράς περιεχομένου (migration) σε έναν νέο εξυπηρετητή γίνεται μόνο εφόσον ισχύουν οι εξής τρεις συνθήκες:

- i. Ο νέος εξυπηρετητής εξακολουθεί να διασφαλίζει το ελάχιστο ορισμένο επίπεδο διαθεσιμότητας.
- ii. Η διαφορά του κόστους ανάμεσα στον παρών εξυπηρετητή και τον νέο να είναι μεγαλύτερο από ένα καθορισμένο όριο (threshold).
- iii. Ο νέος εξυπηρετητής να έχει λιγότερο ποσοστό χρήσης του αποθηκευτικού χώρου απ' ό,τι ο παρών εξυπηρετητής, ο οποίος συνήθως έχει όριο περίπου 70%.

Στην περίπτωση που η ισορροπία είναι θετική, λαμβάνεται απόφαση για Αντιγραφή του περιεχομένου. Ο Εικονικός κόμβος στην περίπτωση αυτή πρέπει να διασφαλίζει ότι με την διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου θα συνεχίσει να έχει θετική ισορροπία για καθορισμένο χρονικό διάστημα και ότι διαθέτει το απαιτούμενο εύρος ζώνης για να υποστηρίξει τα αντίγραφα που θα προκύψουν.

Από αυτή την διαδικασία προκύπτει ότι ένας Εικονικός κόμβος ο οποίος λαμβάνει μεγάλο αριθμό αιτημάτων ή εξυπηρετεί μεγάλο αριθμό αιτημάτων επωφελείται, καθώς γίνεται πλουσιότερος. Από αυτό, συνεπάγεται και ότι θα αυξηθεί το φορτίο στον εξυπηρετητή που αντιστοιχεί ο Εικονικός κόμβος, και το ίδιο θα αυξηθεί και το κόστος ενοικίασης του αποθηκευτικού του χώρου για το επόμενο καθορισμένο χρονικό διάστημα. Οι Εικονικοί κόμβοι με την μεγαλύτερη δημοτικότητα θα έχουν διαθέσιμο ποσό για την ενοικίαση αποθηκευτικού χώρου, ενώ οι λιγότερο δημοφιλείς κόμβοι θα αδυνατούν. Η μεταφορά του περιεχομένου από τους λιγότερο δημοφιλείς κόμβους θα μειώσει και την τιμή ενοικίασης του αποθηκευτικού χώρου, σταθεροποιώντας με τον τρόπο αυτό την τιμή ενοικίασης του εξυπηρετητή. Η προσέγγιση αυτή προσαρμόζεται από μόνη της (self-adaptive) και εξισορροπεί το φορτίο των αιτημάτων με την Αντιγραφή περιεχομένου στους περισσότερους δημοφιλείς κόμβους.

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, όταν ένας Εικονικός κόμβος εντοπίζει ένα σφάλμα, ξεκινά αμέσως την διαδικασία Αντιγραφής και Μεταφοράς Περιεχομένου, προσπαθώντας να αντικαταστήσουν στο σύστημα τα υποσύνολα των επεξεργαστών που επηρεάζονταν από την παρουσία σφάλματος στον συγκεκριμένο εξυπηρετητή SKUTE, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι συνθήκες για το ελάχιστο όριο διαθεσιμότητας. Επιπλέον, με την παρουσία σφάλματος χρειάζεται περισσότερος αποθηκευτικός χώρος και απαιτούνται περισσότερες διαδικασίες, οι οποίες εκτελούνται από περισσότερους εξυπηρετητές. Αυτό συνεπάγεται αύξηση της μέσης τιμής του κόστους ενοικίασης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας Αντιγραφής Περιεχομένου. Σε κάθε περίπτωση όμως, ειδικά όταν το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία και διεξάγεται η διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου, η κίνηση ελέγχου (control traffic) στο δίκτυο ελαχιστοποιείται.

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, παρουσιάζει τις πιο αποδοτικές τοποθεσίες για τα αντίγραφα των δεδομένων, ως προς το κόστος των επεξεργαστών, την δημοτικότητα των επεξεργαστών και την τοποθεσία των χρηστών στο δίκτυο. Ταυτόχρονα προσαρμόζεται δυναμικά ανάλογα με τον φόρτο του κάθε αιτήματος και τα πιθανά σφάλματα. Το σύστημα είναι σταθερό, αφού δεν διεξάγει την διαδικασία Μεταφοράς Περιεχομένου, εάν επιτυγχάνεται ισορροπία, καθώς επίσης πετυχαίνει μέγιστη αξιοποίηση για τις εφαρμογές που εξυπηρετεί στο δίκτυο.

Προκειμένου να συσχετίσουμε το σύστημα διασκορπισμένου βασικού αποθηκευτικού χώρου SKUTE με την παρούσα μελέτη, θα επικεντρωθούμε στην προσπάθεια και τους μηχανισμούς που διαθέτει για να επιτύχει Ανεκτικότητα Σφαλμάτων μέσω της διαθεσιμότητας του περιεχομένου. Η διαθεσιμότητα του περιεχομένου ενός εξυπηρετητή υπολογίζεται από την πιθανότητα σφάλματος του εξυπηρετητή, τα αντίγραφα που έχει στην κατοχή του και την γεωγραφική του θέση, και σε περίπτωση που δεν θεωρείται ικανοποιητική, το περιεχόμενο μεταφέρεται σε έναν καταλληλότερο εξυπηρετητή, όσον αφορά τη διαθεσιμότητα, το κόστος ενοικίασης και τη γεωγραφική του θέση σε σχέση με την απόσταση από τους χρήστες του.

Η στρατηγική αυτή μπορεί να λειτουργήσει στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου για να αυξήσει τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου. Αντιστοιχώντας, στην περίπτωση αυτή, έναν Εικονικό Κόμβο με έναν Αντιπροσωπευτικό (surrogate) εξυπηρετητή, ο Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής θα προσπαθεί να διατηρεί τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου που διαθέτει με το λιγότερο κόστος. Θα λειτουργεί αυτόνομα, λαμβάνοντας απόφαση για την Αντιγραφή και την Τοποθέτηση των αντιγράφων, προσπαθώντας να επιτύχει τη βέλτιστη λύση για το πεδίο που υποστηρίζει. Συγκεκριμένα, όταν ένας εξυπηρετητής δεν ικανοποιεί τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου του, ο Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής θα αποφασίζει αυτό να μεταφέρεται σε έναν εξυπηρετητή ο οποίος θα πλεονεκτεί σε γεωγραφική θέση, σε δημοτικότητα, σε κόστος ενοικίασης και σε διαθεσιμότητα. Με την μεταφορά αυτή, θα αποσυμφορούνται οι εξυπηρετητές που έχουν περισσότερα αιτήματα (Load Balancing) και ταυτόχρονα θα επωφελούνται και οι παροχείς περιεχομένου αφού θα μειώνεται το κόστος ενοικίασης του αποθηκευτικού χώρου. Σε περιπτώσεις όπου ένας Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής δεν θεωρείται ότι ικανοποιεί τη διαθεσιμότητα, μπορεί ο Αρχικός (origin) εξυπηρετητής να λειτουργήσει σαν Εικονικός Κόμβος και να αποφασίσει να μεταφέρει τα αντίγραφά του σε έναν καταλληλότερο επεξεργαστή, ο οποίος θα βρίσκεται σε πιο κοντινή απόσταση από τους χρήστες του, θα διατηρεί χαμηλό κόστος ενοικίασης και το περιεχόμενο θα έχει περισσότερη ζήτηση.

Επιπλέον, σημαντικό στοιχείο που ευνοεί με τη υιοθέτησή του τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, είναι η ικανότητα επέκτασης και προσαρμογής που διαθέτει το σύστημα διασκορπισμένου βασικού αποθηκευτικού χώρου SKUTE. Επιτρέπει την προσθήκη νέου αποθηκευτικού χώρου και νέων εξυπηρετητών, γεγονός πολύ σημαντικό διότι τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου ολοένα και επεκτείνονται προκειμένου να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις και τις ανάγκες του Παγκόσμιου Ιστού και της αύξησης του όγκου δεδομένων που διακινείται σε αυτόν. Επίσης, δεν προϋποθέτει κάποιο περιορισμό σχετικά με το είδος του περιεχομένου που διακινείται, επομένως θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευκολία. Ταυτόχρονα, προϋποθέτει ότι είναι ανεκτικό σε σφάλματα, απαραίτητη προϋπόθεση για τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, τα οποία μέσω της ενίσχυσης της διαθεσιμότητας του περιεχομένου στοχεύουν στην επίτευξη υψηλής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων.

4.1.1.2 Προτεινόμενη Λύση 2: Υπηρεσία EdgeComputing της Akamai

Η Akamai προσπάθησε να βελτιώσει την απόδοση με την προσωρινή αποθήκευση των στατικών δεδομένων, που χρησιμοποιούν οι ιστοσελίδες, στο άκρο (edge) του δικτύου, δηλαδή όσο γίνεται πιο κοντά στους χρήστες. Οι υπηρεσίες αυτές, γνωστές και ως EdgeComputing [19] αποτελούν το μυστικό επιτυχίας της Akamai, σύμφωνα με το [46], και επιτρέπουν στις εφαρμογές να τρέχουν στο άκρο του δικτύου, σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη κι αν βρίσκονται. Ταυτόχρονα, προσφέρει γρήγορο χρόνο απόκρισης, υψηλή Ανεκτικότητα Σφαλμάτων και διαθεσιμότητα περιεχομένου, επεκτασιμότητα του δικτύου και γρήγορη ενημέρωση σε τυχόν αλλαγές που πραγματοποιούνται σε κάποια εφαρμογή.

Στόχος

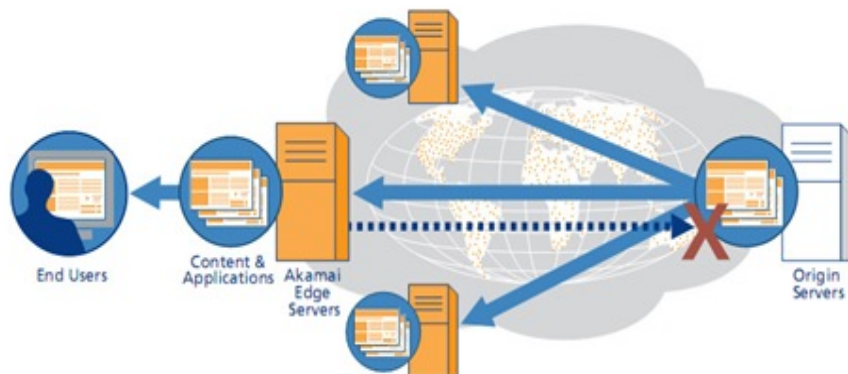
Στην παρουσίαση της υπηρεσίας EdgeComputing από τα εργαστήρια της Akamai Technologies [19], οι δημιουργοί της υποστηρίζουν ότι στόχος τους ήταν να επιλύσουν τα προβλήματα απόδοσης, αξιοπιστίας και επεκτασιμότητας τα οποία παρουσιάζονταν στις διαδικτυακές εφαρμογές. Με την επιλογή της εκτέλεσης των εφαρμογών και την εξ' ολοκλήρου επεξεργασία των αιτημάτων στο άκρο του δικτύου, την μεταφορά μόνο του δυναμικού περιεχομένου των εφαρμογών από τους εξυπηρετητές του άκρου και την παραμονή του στατικού περιεχομένου στον Αρχικό εξυπηρετητή, αλλά και τη βελτιστοποίηση της διαδρομής μεταφοράς περιεχομένου από τον αρχικό παροχέα στο άκρο του δικτύου, κατάφεραν να πραγματοποιήσουν τον στόχο τους. Συγκεκριμένα, ενίσχυσαν την απόδοση, την αξιοπιστία και την επεκτασιμότητα των εφαρμογών, μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης (response time) και τον όγκο του διακινούμενου περιεχομένου και αποφεύγοντας τη συμφόρηση και υπερφόρτωση του δικτύου. Με την υπηρεσία τους βοήθησαν τόσο τους χρήστες όσο και τους παροχείς περιεχομένου, αφού πολλές εταιρίες μπορούσαν να παρέχουν το περιεχόμενό τους μέσω της υπηρεσίας αυτής χωρίς να χρειάζονται επιπλέον υποδομή και θα πλήρωναν μηνιαία για την παροχή της υπηρεσίας ανάλογα με τα αιτήματα.

Σύστημα Αντιγραφής Περιεχομένου

Οι εξυπηρετητές των άκρων (Edge Servers) είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία και την ικανοποίηση των αιτημάτων και των χρηστών. Το σημαντικότερο είναι ότι υποστηρίζουν υψηλής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων υποδομή, γεγονός που έχει μεγάλη

σημασία στην διαχείριση των αιτημάτων. Συγκεκριμένα, στα άκρα υπάρχει σύστημα Αντιγραφής Περιεχομένου, το οποίο αναλαμβάνει να δημιουργεί αντίγραφα του περιεχομένου στους εξυπηρετητές μιας ομάδα εξυπηρετητών του άκρου (Edge Servers Group - ESG), αλλά και ανάμεσα στο σύνολο των ομάδων των εξυπηρετητών του άκρου (ESGs). Αυτό αποσκοπεί στη μείωση της καθυστέρησης στην προσπέλαση και στη μεταφορά του περιεχομένου. Η τοπική μνήμη του εξυπηρετητή ελέγχεται προκειμένου να διαπιστωθεί εάν το περιεχόμενο που αντιγράφηκε είναι έγκυρο για να χρησιμοποιηθεί από την υπηρεσία EdgeComputing.

Σύμφωνα με το Σχήμα 6, τα αντίγραφα του περιεχομένου που δημιουργούνται, καθώς και οι εφαρμογές του δικτύου βρίσκονται στους εξυπηρετητές του άκρου. Επομένως, το αίτημα του χρήστη θα επεξεργαστεί και θα διεκπεραιωθεί από έναν εξυπηρετητή του άκρου, τον κοντινότερο σε απόσταση εξυπηρετητή από αυτόν. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της εκτέλεσης μιας εφαρμογής, το δυναμικό περιεχόμενο, όπως είναι οι εικόνες, θα μεταφερθεί από τον εξυπηρετητή του άκρου στον χρήστη και το στατικό περιεχόμενο, δηλαδή η ιστοσελίδα που δημιουργήθηκε από την εφαρμογή, θα μεταφερθεί από τον Αρχικό εξυπηρετητή στον χρήστη. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες ο εξυπηρετητής του άκρου κατέχει ολόκληρο το περιεχόμενο και το παρέχει απευθείας στον χρήστη, χωρίς να προσκομίζεται από τον Αρχικό εξυπηρετητή. Η παρουσία του περιεχομένου στους ακρινούς εξυπηρετητές εξασφάλισε γρηγορότερο χρόνο στην εξασφάλιση του περιεχομένου από τους χρήστες, ενώ η δυναμική δέσμευση των πόρων ενίσχυσε την επεκτασιμότητα του δικτύου.



Σχήμα 6: Αναπαράσταση Υπηρεσίας EdgeComputing Akamai [55]

Μηχανισμός Εξισορρόπησης Φορτίου

Η υπηρεσία EdgeComputing υποστηρίζει τον μηχανισμό Εξισορρόπησης Φορτίου (Load Balancing), χρησιμοποιώντας ιεραρχική σειρά. Δηλαδή, πρώτα ανάμεσα στο σύνολο των ομάδων των εξυπηρετητών του άκρου (ESGs) και έπειτα εντός της ομάδας εξυπηρετητών του άκρου (ESG). Για κάθε ομάδα εξυπηρετητών του άκρου εγγυάται ότι κάθε εφαρμογή εκτελείται σε αρκετούς επεξεργαστές, έτσι ώστε να κατανέμεται σωστά το φορτίο στην ομάδα. Στο σύνολο των ομάδων εξυπηρετητών του άκρου επικεντρώνεται στην κατανομή του φορτίου σε διαφορετικές εφαρμογές, έτσι ώστε να μην μείνει κάποια από τις ομάδες εξυπηρετητών του άκρου χωρίς διαθέσιμη χωρητικότητα. Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχουν πέντε ομάδες εξυπηρετητών του άκρου και κάθε μια από αυτές περιέχει δέκα επεξεργαστές, και το σύνολο των διεργασιών που πρέπει να εκτελεστούν είναι εκατόν. Ξεκινώντας ιεραρχικά, κάθε ομάδα εξυπηρετητών του άκρου θα αναλάβει από είκοσι διεργασίες. Έπειτα σε κάθε ομάδα εξυπηρετητών θα διαμοιραστεί το φορτίο αυτό ανάμεσα στους επεξεργαστές και καθένας από αυτούς θα αναλάβει από δυο διεργασίες. Η διαδικασία της διανομής του φορτίου στις ομάδες εξυπηρετητών του άκρου γίνεται δυναμικά με την χρήση του Συστήματος Ονομάτων Τομέα – DNS, όπως αυτό χρησιμοποιείται και στο Σύστημα Χαρτογράφησης (mapping system) του Δικτύου Παράδοσης Περιεχομένου της Akamai για την αντιστοιχία των Αντιπροσωπευτικών εξυπηρετητών με τους χρήστες. Η ίδια διαδικασία διεκπεραιώνεται και εντός της ομάδας των εξυπηρετητών του άκρου. Πραγματοποιείται επίσης και διοχέτευση (tunnelling) των αιτημάτων ανάμεσα στους επεξεργαστές, έτσι ώστε να προωθείται η διαθεσιμότητα της εφαρμογής. Δηλαδή, τα αιτήματα κατανέμονται ανάμεσα στους εξυπηρετητές, έτσι ώστε να μην υπάρχει υπερφόρτωση αιτημάτων σε κάποιον από αυτούς.

Αντιμετώπιση Σφαλμάτων

Κύριο ρόλο στην Ανεκτικότητα Σφαλμάτων διαδραματίζει το Σύστημα Χαρτογράφησης, το οποίο στην ουσία δημιουργεί χάρτες για την κατεύθυνση και την καθοδήγηση του περιεχομένου στο δίκτυο. Αποτελεί από μόνο του μια πλατφόρμα Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, αφού μπορεί να ανιχνεύσει κάποιο σφάλμα στο δίκτυο, χωρίς να επηρεαστούν οι υπόλοιπες λειτουργίες. Μετά από την παρουσία σφάλματος σε επίπεδο υλικού ή λογισμικού του συστήματος, πραγματοποιείται ξανά η διαδικασία Χαρτογράφησης, δηλαδή επαναλαμβάνεται η κατεύθυνση και η καθοδήγηση του

περιεχομένου στο δίκτυο (Remapping). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται επίσης και όταν το δίκτυο μεταξύ χρήστη και εξυπηρετητή παρουσιάζει συμφόρηση ή ακόμα και όταν το φορτίο πρέπει να κατανεμηθεί και πάλι σε κάποιον εξυπηρετητή ώστε να μην υπάρξει υπερφόρτωση.

Επιπρόσθετα, σφάλμα προκύπτει και όταν δεν μπορεί να ικανοποιηθεί το αίτημα του χρήστη. Ένα παράδειγμα αντιμετώπισης σφάλματος, στο οποίο φαίνεται ο καθοριστικός ρόλος των εξυπηρετητών άκρου είναι το ότι εάν ο χρήστης στείλει αίτημα και το περιεχόμενο που ζητά δεν βρίσκεται εκεί, τότε ο ίδιος αναλαμβάνει να τα προσκομίσει από τον Αρχικό εξυπηρετητή και μετά το προωθεί στον χρήστη που έστειλε το αίτημα, χωρίς ο ίδιος ο χρήστης να γνωρίζει την όλη διαδικασία ή να επηρεαστεί από το γεγονός ότι αρχικά δεν μπορούσε να ικανοποιηθεί το αίτημά του. Ακόμα, για να μειώσουν τον αριθμό των αιτημάτων που παραπέμπονται στον Αρχικό εξυπηρετητή, όταν ένας εξυπηρετητής δεν έχει το ζητούμενο περιεχόμενο, το ζητά από γειτονικό εξυπηρετητή και όχι από τον Αρχικό. Το πρόβλημα αυτό σύμφωνα με το [19], παρουσιάζεται συνήθως την πρώτη φορά που στέλνεται αίτημα από κάποιον χρήστη σε έναν εξυπηρετητή και θα πρέπει να γίνει η αντιστοίχιση μεταξύ τους. Το αντίγραφο του περιεχομένου που θα προσκομιστεί στον εξυπηρετητή, θα αποθηκευτεί στην τοπική του μνήμη και αν πραγματοποιηθεί κάποια αλλαγή στο αρχικό περιεχόμενο, τότε θα ενημερωθεί και το αντίγραφο αντίστοιχα. Επομένως, λόγω του ότι τα αιτήματα του χρήστη στέλνονται στον κοντινότερο σε αυτόν εξυπηρετητή, ο οποίος είναι και ο εξυπηρετητής που του αντιστοιχεί, το περιεχόμενο που ζητά ο χρήστης συνήθως θα βρίσκεται στην τοπική μνήμη του συγκεκριμένου εξυπηρετητή.

Συμπεράσματα

Με τις υπηρεσίες αυτές, ενισχύεται η απόδοση, η αξιοπιστία και η επεκτασιμότητα στο δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται μείωση της καθυστέρησης και της κινητικότητας στο δίκτυο. Παρόλο που δεν έχουν τη δυνατότητα όλες οι εφαρμογές να τρέχουν στο άκρο του δικτύου, οι εταιρίες και οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες της Akamai, εξακολουθούν να βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση, διότι μπορούν να αναπτύσσουν τις εφαρμογές τους πιο γρήγορα, χωρίς προβλήματα αποθηκευτικού χώρου, χωρίς πρόνοια για συγκεκριμένη υποδομή και χωρίς να υπάρχει ανάγκη

προσαρμογής τους. Επιπλέον, σημαντικό, είναι το ότι επωφελούνται και επιτυγχάνουν την υψηλή Ανεκτικότητα Σφαλμάτων.

Η Akamai διατηρεί ένα από τα πιο επιτυχημένα και αναπτυσσόμενα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου μέχρι στιγμής. Η ιδέα της Αντιγραφής Περιεχομένου, της τοποθέτησης του δυναμικού περιεχομένου στους εξυπηρετητές του άκρου όσο πιο κοντά στον χρήστη, και η εκτέλεση των εφαρμογών στο άκρο του δικτύου, ενισχύουν την συνολική απόδοση του δικτύου. Αναλυτικότερα, μειώνεται η καθυστέρηση και η υπερφόρτωση του δικτύου, λόγω του ότι τα αιτήματα εξυπηρετούνται από τους κοντινότερους στους χρήστες εξυπηρετητές, κι έτσι δεν χρειάζεται να γίνεται διάχυση του αιτήματος στο υπόλοιπο δίκτυο. Αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος, ως επακόλουθο της αύξησης της διαθεσιμότητας του περιεχομένου, αφού αντίγραφα του περιεχομένου υπάρχουν σε περισσότερους από έναν εξυπηρετητές στο δίκτυο και σε περίπτωση που κάποιος δεν είναι σε θέση να εξυπηρετήσει τον χρήστη, θα υπάρχει κάποιος άλλος διαθέσιμος να εξυπηρετήσει το αίτημά του. Επιπλέον, αυξάνεται η επεκτασιμότητα του δικτύου, αφού με την εξάπλωση των αντιγράφων σε πολλαπλούς εξυπηρετητές στο δίκτυο, είναι σε θέση να εξυπηρετήσει απομακρυσμένους χρήστες.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται μέσα από την υπηρεσία EdgeComputing της Akamai, είναι σε θέση να επιλύσουν προβλήματα όπως είναι ο αυξανόμενος αριθμός αιτημάτων από αντίστοιχα μεγάλο αριθμό χρηστών, ο μεγάλος όγκος δεδομένων που διακινείται στον Παγκόσμιο Ιστό, αλλά και σοβαρά προβλήματα όπως είναι η Ταυτόχρονη Προσπέλαση (flash crowd) και οι Ενέργειες Παρεμπόδισης Υπηρεσιών (DoS). Η επιτυχημένη πορεία της Akamai αποτελεί τον θεμελιώδη λίθο για την δημιουργία Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, τα οποία θα χρησιμοποιούν την τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου και τοποθέτησής του στο άκρο του δικτύου, όπως πραγματοποιεί η Akamai.

4.1.2 Υποκατηγορία 2: Πρόβλημα Τοποθέτησης Περιεχομένου

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάζονται στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου είναι το πρόβλημα της Τοποθέτησης Περιεχομένου, το οποίο παρουσιάστηκε με την υιοθέτηση της Τεχνικής Αντιγραφής Περιεχομένου στους

καταναεμημένους επεξεργαστές του δικτύου. Τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, εξ' ορισμού, δημιουργήθηκαν έχοντας ως στόχο το περιεχόμενο, οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που παρέχουν να μπορούν πιο εύκολα, αποδοτικά και γρήγορα να καταφθάνουν στους χρήστες του δικτύου. Αυτό γίνεται με τον διαμοιρασμό του περιεχομένου, των εφαρμογών και των υπηρεσιών σε άλλους υπολογιστές του δικτύου, έτσι ώστε να μην βρίσκονται όλα συγκεντρωμένα σε ένα σημείο του δικτύου, και συγκεκριμένα στον Αρχικό Εξυπηρετητή (Origin Server). Οι χρήστες εξυπηρετούνται από τους πλησιέστερους σε αυτούς εξυπηρετητές, και όχι από τον Αρχικό εξυπηρετητή. Βλέποντας τον στόχο των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, κατανοούμε ότι το πρόβλημα προκύπτει από το γεγονός ότι η τοποθέτηση του περιεχομένου πρέπει να γίνεται με τρόπο αποδοτικό και εύκολο για την γενική λειτουργία του δικτύου.

Η σημαντικότητα της Τοποθέτησης Περιεχομένου προκύπτει και από το γεγονός ότι αυτή η τοποθεσία αποτελεί έναν μηχανισμό Ανεκτικότητας Σφαλμάτων στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, νοούμενου ότι αν ένας επεξεργαστής παρουσιάζει σφάλμα, πρέπει να αντικατασταθεί η λειτουργία του στο δίκτυο από κάποιον άλλον. Πιο συγκεκριμένα, εάν λάβει ένας επεξεργαστής αίτημα αποστολής περιεχομένου από κάποιον άλλον επεξεργαστή στο δίκτυο και δεν έχει στη διάθεσή του το ζητούμενο περιεχόμενο, θα πρέπει να γνωρίζει από ποιόν θα το ζητήσει και πού βρίσκεται αυτό διαθέσιμο.

Ο καθολικός στόχος είναι η εύρεση των καταλληλότερων επεξεργαστών, οι οποίοι θα κατέχουν τα αντίγραφα και θα χειρίζονται τα αιτήματα των χρηστών στα πλαίσια της Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ελάχιστο κόστος μεταφοράς (traffic cost) στο δίκτυο, χωρίς να παραβιάζονται οι υπάρχοντες περιορισμοί στους εξυπηρετητές και στην Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service - QoS). Οι εξυπηρετητές έχουν περιορισμένη χωρητικότητα εύρου ζώνης (bandwidth) και χώρου αποθήκευσης, περιορισμοί που καθορίζουν την Ποιότητα Υπηρεσιών, η οποία εξαρτάται από ένα ελάχιστο εύρος ζώνης και μια μέγιστη καθυστέρηση, που αντιστοιχούν στο αίτημα του χρήστη που θα εξυπηρετηθεί.

Ως αρχική κατάσταση του δικτύου, θεωρείται ότι το περιεχόμενο βρίσκεται στους Αρχικούς εξυπηρετητές. Όταν καταφθάσουν στο Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου τα

αιτήματα των χρηστών, το περιεχόμενο πρέπει να αναπαραχθεί σε όλο το δίκτυο και τα αιτήματα αυτά να διαμοιραστούν στους κατανεμημένους εξυπηρετητές, σύμφωνα και με τους Περιορισμούς της Ποιότητας Υπηρεσιών. Ένας εξυπηρετητής είναι σε θέση να διαχειριστεί ένα αίτημα εξολοκλήρου ή ένα μέρος του αιτήματος, εφόσον έχει στην κατοχή του το ζητούμενο περιεχόμενο. Αυτό που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το εύρος ζώνης, ο ελεύθερος χώρος που διαθέτει κάθε επεξεργαστής και το κόστος μεταφοράς του αντιγράφου στο δίκτυο.

Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά αποτελούν δυναμικό πρόβλημα, λόγω του ότι το κόστος επικοινωνίας αλλάζει ανάλογα, νέο περιεχόμενο και νέα αιτήματα μπορεί να παρουσιαστούν και δεν είναι γνωστά εξαρχής τα πιθανά σενάρια που θα προκύψουν. Επομένως, πρέπει να βρεθεί το καλύτερο σύνολο επεξεργαστών το οποίο θα διατηρεί τα αντίγραφα, στα πλαίσια των περιορισμών που τίθενται από την Ποιότητα Υπηρεσιών και θα επιτυγχάνει την μεγαλύτερη Ανεκτικότητα Σφαλμάτων στο δίκτυο.

4.1.2.1 Προτεινόμενη Λύση 1: Γεωγραφικός Αλγόριθμος Αντιγραφής Περιεχομένου και Σχέδιο Αποκατάστασης Σφαλμάτων

Ένα είδος εφαρμογών που κρίνεται αρκετά σημαντικό είναι οι υπηρεσίες Ομαδικής επικοινωνίας (Group Communication Services - GCS) [57]. Τέτοιες παραδείγματα εφαρμογών είναι οι εφαρμογές άμεσης ανάγκης προειδοποίησης, ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce), VoIP (Voice over IP), διαφημίσεις που βασίζονται στην τοποθεσία, και έχουν χιλιάδες χρήστες ανά το παγκόσμιο. Για τον λόγο αυτό απαιτείται να είναι σε θέση να ικανοποιήσουν το μεγάλο πλήθος χρηστών και τις απαιτήσεις τους, και παράλληλα να είναι ανεκτικές στα σφάλματα, τα οποία αυξάνονται όσο αυξάνεται και ο αριθμός των χρηστών, παρέχοντας αξιοπιστία. Τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι αρκετά ακριβά σε κόστος και απαιτούν την υποστήριξη πολύπλοκων διαδικασιών για την διαχείριση των σφαλμάτων που προκύπτουν από σφάλματα στην σύνδεση ή στους επεξεργαστές.

Ο πρώτος παράγοντας που απειλεί την αξιοπιστία της υπηρεσίας είναι οι διακοπές που συμβαίνουν στις διαδρομές μετάδοσης πληροφοριών και προκαλούν σφάλματα στο δίκτυο. Μια πιθανή αντιμετώπιση είναι η εισαγωγή μιας νέας δομής, η οποία χρησιμοποιεί επαναληπτικές διαδρομές για την μετάδοση των πληροφοριών, έτσι ώστε όταν ένας επεξεργαστής παρουσιάσει σφάλμα να περιοριστεί ή η πληροφορία να

μεταφερθεί μέσω μιας άλλης διαδρομής αφού η αρχική διαδρομή είναι εσφαλμένη. Η προσέγγιση αυτή, όμως, απαιτεί μεγάλο κόστος και έχει περίπλοκη υποδομή.

Ο δεύτερος παράγοντας είναι η υπερφόρτωση της υπηρεσίας στην προσπάθεια της ενίσχυσης της αξιοπιστίας και της επεκτασιμότητας της υπηρεσίας, από την ανταλλαγή μηνυμάτων που στέλνονται στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης του δικτύου μετά από την παρουσία σφάλματος. Υπό κανονικές συνθήκες η υπερφόρτωση αυτή πρέπει να είναι μικρή, έτσι ώστε η διαδικασία της αποκατάστασης να μην επηρεάζει την λειτουργία της υπόλοιπης υπηρεσίας. Μια πιθανή προσέγγιση γι' αυτό θα ήταν η δημιουργία μιας διαδικασίας αποκατάστασης, η οποία θα είναι γρήγορη και ουσιαστική, λαμβάνοντας υπόψη την υπερφόρτωση του δικτύου.

Μια ερευνητική ομάδα από το Georgia Institute of Technology της Ατλάντας των Ηνωμένων Πολιτειών και από το Beihang University [57], παρουσίασαν το 2012 δυο σχήματα (schemes), βασισμένα στην ιδέα της τεχνικής Αντιγραφής Περιεχομένου, προκειμένου να ενισχύσουν την αξιοπιστία και την επεκτασιμότητα των υπηρεσιών Ομαδικής επικοινωνίας, χωρίς να επηρεάσουν την παρούσα υποδομή. Προτείνουν έναν αλγόριθμο Αντιγραφής Περιεχομένου, ο οποίος βασίζεται στην τοποθεσία, και δημιουργεί αντίγραφα περιεχομένου με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να επιτυγχάνει Ανεκτικότητα Σφαλμάτων σε επεξεργαστές με διαφορετικά χαρακτηριστικά και την ίδια ώρα να διατηρεί την υπερφόρτωση του δικτύου σε χαμηλά επίπεδα. Επιπλέον, παραθέτουν ένα καινοτόμο σχέδιο αποκατάστασης, το οποίο επιτυγχάνει γρήγορη αποκατάσταση χρησιμοποιώντας ανεξάρτητες τεχνικές για την αποκατάσταση της υπηρεσίας και την αποκατάσταση των διαδρομών μεταφοράς δεδομένων. Εφαρμόζουν τις δυο προτάσεις τους σε έναν ήδη υπάρχον γεωγραφικά δομημένο δίκτυο, το GeoCast [56], και εξάγουν συμπεράσματα για τις τεχνικές που χρησιμοποίησαν.

Στόχος

Βασισμένοι στην επιλογή αποδοτικών σημείων για να τοποθετηθούν τα αντίγραφα μετά τη διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου προκειμένου να υπάρχει Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, σκοπός τους είναι να χρησιμοποιήσουν την ιδέα της τοποθέτησης αντιγράφων σε πολλούς εξυπηρετητές της ίδιας συστάδας, για να μειώνουν την απόσταση πρόσβασης στο περιεχόμενο και ταυτόχρονα να αυξάνουν την διαθεσιμότητα

του περιεχομένου στο δίκτυο. Η διαφορά της δικής τους ιδέας από την τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου που μελετήσαμε μέχρι στιγμής, είναι το ότι αντί να τοποθετούν τα αντίγραφα του περιεχομένου σε εξυπηρετητές της ίδιας συστάδας, επιλέγουν να τα τοποθετούν σε *Γειτονικούς* (neighbour) επεξεργαστές, δηλαδή επεξεργαστές που επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, και *Συντομευμένους* (shortcut) επεξεργαστές, δηλαδή επεξεργαστές οι οποίοι ήταν προηγουμένως Γειτονικοί και λόγω της προσθήκης ή της αποχώρησης επεξεργαστών στο δίκτυο δεν είναι πλέον. Αυτό αποσκοπεί ώστε το περιεχόμενο να είναι ευρέως διαθέσιμο και να μην επηρεάζεται η ποιότητας της υπηρεσίας από τις διαιρέσεις του δικτύου σε μικρότερα δίκτυα. Επιπλέον, όσον αφορά την απόφαση για την χρονική στιγμή που θα διεξάγεται η διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου, μέχρι στιγμής δημιουργούνταν αντίγραφα του περιεχομένου μετά από αίτηση του χρήστη ή σύμφωνα με την ζήτηση που είχε το περιεχόμενο από τους χρήστες. Σε αυτή την περίπτωση, ο κάθε επεξεργαστής αποφασίζει αν θα στείλει αντίγραφα σε άλλους επεξεργαστές, σύμφωνα με την τοποθεσία τους και η απόφαση του στοχεύει στην ευελιξία και στη μείωση του κόστους που προέρχεται από την δημιουργία και την συντήρηση μεγάλου όγκου αντιγράφων.

Παρουσίαση δικτύου

Έστω ότι σε ένα δίκτυο με ανεξάρτητους επεξεργαστές, οποιοσδήποτε από αυτούς μπορεί να είναι αναξιόπιστος, δηλαδή μπορεί να αποχωρήσει από το δίκτυο ή να καταρρεύσει. Στην περίπτωση που ο επεξεργαστής αποφασίσει να αποχωρήσει από το δίκτυο, αποστέλλει μηνύματα σε όλους τους υπόλοιπους επεξεργαστές που επικοινωνούν μαζί του για να τους ενημερώσει για την αποχώρησή του. Οι επεξεργαστές μόλις λάβουν το μήνυμά του, ξεκινούν μια διαδικασία μεταξύ τους έτσι ώστε να αναπληρώσουν την θέση του επεξεργαστή που αποχώρησε και να αποκαταστήσουν τη συμβολή του στην υπηρεσία του δικτύου. Όμως, δεν συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις η ενημέρωση από τον επεξεργαστή σε περίπτωση αποχώρησής του κι έτσι θεωρούμε ότι ένας επεξεργαστής αποχώρησε από το δίκτυο εάν δεν ανταποκρίνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα στα μηνύματα που του στέλνονται από τους υπόλοιπους. Ο επεξεργαστής που αποχωρεί από το δίκτυο, μπορεί να είναι και Αντιπροσωπευτικός (surrogate) εξυπηρετητής στην περίπτωση των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου.

Η προτεινόμενη λύση που αφορά την Αντιγραφή Περιεχομένου, στηρίζεται πάνω σε δυο πιθανά μοτίβα αποτυχίας. Το πρώτο αφορά την Κατανεμημένη αποτυχία (distributed failure), δηλαδή την διασκορπισμένη κατάρρευση των επεξεργαστών του δικτύου και τον εντοπισμό των εσφαλμένων επεξεργαστών από αυτούς που συνεχίζουν να λειτουργούν κανονικά και προσπαθούν να αποκαταστήσουν το σφάλμα του. Το δεύτερο αφορά την Συγκεντρωτική αποτυχία (centralized failure), δηλαδή όταν καταρρεύσουν μερικοί επεξεργαστές ολόκληρο το δίκτυο διασπάται σε μικρότερα υποδίκτυα (islands), διότι λόγω της συγκεντρωτικής επικοινωνίας, δεν μπορούν να επικοινωνούν όλοι οι επεξεργαστές μεταξύ τους. Μετά από αυτή την κατάληξη, οι επεξεργαστές που βρίσκονται στο ίδιο υποδίκτυο μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, όμως χάνουν την επικοινωνία με τα υπόλοιπα υποδίκτυα. Το καλύτερο που επιδιώκεται να επιτευχθεί είναι οι επεξεργαστές να επικοινωνούν με τους γειτονικούς από αυτούς επεξεργαστές, αλλά ταυτόχρονα να μπορούν να διατηρούν επικοινωνία με τους επεξεργαστές των υπόλοιπων υποδικτύων (remote nodes) έτσι ώστε να πραγματοποιείται πιο αποδοτική και επεκτάσιμη Αντιγραφή Περιεχομένου.

Σχήμα Αντιγραφής Περιεχομένου (Replication Scheme)

Το σχήμα Αντιγραφής Περιεχομένου αποτελείται από δυο βασικά συστατικά:

i. Παράμετρος α : εντάσσεται για να τονίσει τη σημαντικότητα των θέσεων των Γειτονικών και των Συντομευμένων (shortcut) επεξεργαστών, λόγω του ότι στο συγκεκριμένο σχήμα δεν γίνεται τυχαία επιλογή των επεξεργαστών που θα φιλοξενήσουν τα αντίγραφα. Η παράμετρος α , όπως ορίζεται στο Σχήμα 8, παίρνει τιμές από το 0 μέχρι το 1 και εξαρτάται από τον βαθμό Αντιγραφής Περιεχομένου r (replication degree) και από τον αριθμό των Γειτονικών επεξεργαστών T (neighbour) που έχει ένας επεξεργαστής.

$$\alpha = \begin{cases} 0.5, & \text{if } r \leq 2, \\ \frac{1}{r}, & \text{if } 2 < r \leq \tau, \\ \frac{r - \tau}{r}, & \text{if } r > \tau, \end{cases}$$

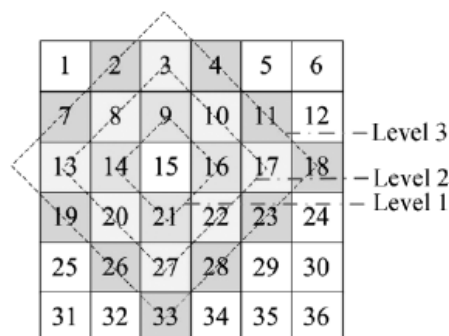
Σχήμα 7: Ορισμός Παραμέτρου “ α ” [57]

Σύμφωνα με τον ορισμό της παραμέτρου α , όπως φαίνεται από το Σχήμα 7, εάν ο αριθμός των Γειτονικών επεξεργαστών T είναι σταθερός και ο βαθμός Αντιγραφής

Περιεχομένου r αυξάνεται, τότε αυξάνεται και ο αριθμός των Συντομευμένων κόμβων. Όταν ο βαθμός Αντιγραφής Περιεχομένου r ξεπεράσει τον αριθμό των Γειτονικών επεξεργαστών T , δηλαδή $r = T+1$, δεν υπάρχουν άλλοι Γειτονικοί επεξεργαστές για να επιλεγούν για την Τοποθέτηση του περιεχομένου. Επομένως, είναι αναγκαία η προσθήκη επιπλέον Συντομευμένων επεξεργαστών για να χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε να τοποθετηθεί σε αυτούς το περιεχόμενο. Αυξάνοντας όμως τον αριθμό των Συντομευμένων επεξεργαστών, ταυτόχρονα αυξάνεται το κόστος για δημιουργία αντιγράφων και το κόστος για τη συντήρησή τους. Επομένως, η τιμή της παραμέτρου α δεν μπορεί να είναι ούτε πολύ μεγάλη ούτε πολύ μικρή, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος της Αντιγραφής Περιεχομένου και να βελτιστοποιείται η αξιοπιστία της υπηρεσίας που παρέχεται από το σύστημα.

ii. Τοποθέτηση Αντιγράφων: Η διαδικασία Τοποθέτησης Αντιγράφων αποτελείται από δυο φάσεις, την επιλογή των Γειτονικών επεξεργαστών και την επιλογή των Συντομευμένων επεξεργαστών. Δηλαδή, την επιλογή των επεξεργαστών που έχουν διαθέσιμη χωρητικότητα σε γειτονική περιοχή και την επιλογή συντομευμένων επεξεργαστών για να τοποθετηθούν τα αντίγραφα, αντίστοιχα.

Επιλογή Γειτονικών επεξεργαστών: Αποτελείται από δυο φάσεις, την φάση επιλογής και την φάση επέκτασης. Στην φάση επιλογής επιλέγονται οι επεξεργαστές με διαθέσιμη χωρητικότητα και στην φάση επέκτασης επεκτείνονται σε ένα πιο μεγάλο πεδίο επεξεργαστών, το οποίο αποτελείται από τους Γειτονικούς επεξεργαστές αυτών που επιλέγηκαν στην πρώτη φάση. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της σχέσης μεταξύ των επεξεργαστών σε κάθε επίπεδο. Επεξηγηματικά, ο επεξεργαστής 15 έχει Γειτονικούς επεξεργαστές τους επεξεργαστές με αριθμό 9, 14, 16, και 21 που βρίσκονται στο Επίπεδο 1. Οι επεξεργαστές με αριθμό 3, 10, 17, 22, 27, 20, 13 και 8 είναι απευθείας γείτονες των επεξεργαστών του Επιπέδου 1. Το ίδιο ισχύει και για τους επεξεργαστές του Επιπέδου 3, αντίστοιχα.



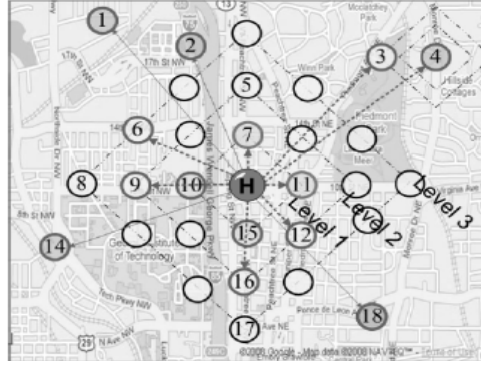
Σχήμα 8: Σχέση Επεξεργαστών ανά επίπεδο [57]

Την πιο πάνω διαδικασία εκτελεί ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.

Algorithm 1. Neighbor Replica Placement ($B_{E_i}^1, r, \alpha, K$)
Input: $B_{E_i}^1$: the set of immediate neighbors of node E_i ,
 r : the replication degree,
 α : the tunable parameter,
 K : the maximum number of iterations
Output: R : the list of replicas
1 $l \leftarrow 0; k \leftarrow 1;$
2 **while** $k < K$ **do**
/*select neighbor replicas with sufficient capacities*/
3 **for each** node $p \in B_{E_i}^k$ and $p \notin R$ **do**
4 **if** $\max \left\{ \frac{lo_p^s(t)}{c_p^s}, \frac{lo_p^{bw}(t)}{c_p^{bw}} \right\} < 1$ **then**
5 **add** node p into list R ;
6 **end if**
7 **if** $l \geq (1 - \alpha)r$ **then**
8 **jump** to line 13;
9 **end if**
10 **end for**
\\extending search region
11 $k \leftarrow k + 1$
12 **end while**
13 **employ** nodes in R as neighbor replicas

Σχήμα 9: Αλγόριθμος Τοποθέτησης Γειτονικών Αντιγράφων [57]

Επιλογή συντομευμένων επεξεργαστών: προσπαθεί να εντοπίσει τους συντομευμένους επεξεργαστές με διαθέσιμη χωρητικότητα. Όπως παρουσιάζεται και στην απεικόνιση του Σχήματος 10, ο επεξεργαστής Η ξεκινά από τον επεξεργαστή με τον αριθμό 1 και ελέγχει από την λίστα των γειτόνων του, η οποία προκύπτει από την διαδικασία Επιλογής Γειτονικών επεξεργαστών, να βρει τον ζητούμενο αριθμό Συντομευμένων επεξεργαστών που έχουν διαθέσιμη χωρητικότητα. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα στους επεξεργαστές με αριθμό 1, 2, 14, 18 που είναι οι γείτονές του, τότε θα ελέγξει την λίστα των γειτόνων του επόμενου επεξεργαστή με τον αριθμό 3. Ο αλγόριθμος της διαδικασίας αυτής παρουσιάζεται στο Σχήμα 11.



Σχήμα 10: Επιλογή συντομευμένων επεξεργαστών [57]

Algorithm 2: Shortcut Replica Placement($S_{E_i}^1, r, \alpha, K$)

Input: $S_{E_i}^1$: the set of shortcuts of node E_i ,
 r : the replication degree,
 α : the tunable parameter,
 K : the maximum number of iterations

Output: R : the list of replicas

```

1   $l \leftarrow 0; k \leftarrow 1;$ 
2  while  $k < K$  do
/*select shortcut replicas with sufficient capacities*/
3    for each node  $p \in S_{E_i}^k$  &&  $p \notin R$  do
4      if  $\max \left\{ \frac{lo_p^s(t)}{c_p^s}, \frac{lo_p^{bw}(t)}{c_p^{bw}} \right\} < 1$  then
5        add node  $p$  into list  $R$ ;
6      end if
7      if  $l \geq (1 - \alpha)r$  then
8        jump to line 13;
9      end if
10   end for
/*extend search region*/
11    $k \leftarrow k + 1$ 
12 end while
13 employ nodes in  $R$  as shortcut replicas

```

Σχήμα 11: Αλγόριθμος Συντομευμένων Επεξεργαστών [57]

Ο συνδυασμός των δυο αυτών αλγορίθμων διασφαλίζει την επεκτασιμότητα των εφαρμογών, διότι αφενός μειώνει το κόστος δημιουργίας αντιγράφων, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που χρειάζεται από τους επεξεργαστές και όχι μέσω της διάχυσης του αιτήματος σε όλο το δίκτυο, και αφετέρου αποφεύγει το υψηλό κόστος που προέρχεται από την καθυστέρηση των μηνυμάτων στην ενημέρωση και συντήρηση των αντιγράφων. Στην διαδικασία τοποθέτησης των αντιγράφων προτεραιότητα στην επιλογή για επεξεργαστή Αντιγραφής περιεχομένου έχουν αυτοί που βρίσκονται στην ίδια περιοχή και έχουν διαθέσιμη χωρητικότητα. Αυτό καθιστά την καθυστέρηση της ενημέρωσης και της επικοινωνίας μικρότερη.

Διαχείριση Αντιγράφων και Αποκατάστασης Σφαλμάτων

Η συντήρηση των αντιγράφων γίνεται μέσω των ήδη υπαρχόντων μηνυμάτων ζωτικότητας (heartbeat messages) που ορίζουν κατά πόσο είναι σε λειτουργία ή όχι ένας επεξεργαστής, έτσι ώστε να μην υπάρχει επιπλέον επιβάρυνση στο δίκτυο. Η μη ανταπόκριση στα μηνύματα για αρκετό χρονικό διάστημα συνεπάγεται την αποχώρηση του και έτσι διαιρείται το δίκτυο δημιουργώντας ένα υποσύνολο (island), στο οποίο και θα ξεκινήσει η διαδικασία αποκατάστασης. Η διαδικασία αποκατάστασης απαρτίζεται από δυο φάσεις:

i. Αποκατάσταση της διαδρομής: σκοπός είναι η εύρεση μιας νέας διαδρομής μέσω των επεξεργαστών που βρίσκονται σε λειτουργία, όταν μερικοί από τους επεξεργαστές καταρρεύσουν. Αμέσως μετά την παρουσία σφάλματος, ένας από τους επεξεργαστές Αντιγραφής περιεχομένου επιλέγεται τυχαία και αναλαμβάνει να βρει ένα νέο επεξεργαστή για να αντικαταστήσει τον εσφαλμένο. Ο επεξεργαστής που θα τον αντικαταστήσει, αναμένεται να είναι αυτός με την λιγότερη υπερφόρτωση. Για την διεκπεραίωση της διαδικασίας αυτής χρησιμοποιεί δυο παράγοντες: τον παράγοντα φόρτωσης (load factor), ο οποίος καθορίζει αν μπορεί να δεχθεί και άλλα αιτήματα, και τον παράγοντα απόστασης (distance factor), ο οποίος καθορίζει την απόσταση μεταξύ του εσφαλμένου επεξεργαστή και των γειτονικών του επεξεργαστών. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του GeoCast [56], με μεγαλύτερη πιθανότητα επιλέγεται ο επεξεργαστής που συνδυάζει τον μεγαλύτερο παράγοντα φόρτωσης και την μικρότερη απόσταση μεταξύ των γειτονικών του επεξεργαστών, και ενημερώνεται το δέντρο διαδρομής για τη νέα διαδρομή.

ii. Αποκατάσταση της περιοχής: σκοπός είναι η εύρεση ενός επεξεργαστή για να αναλάβει το υποδίκτυο (island) που δημιουργήθηκε μετά την διαμοίραση του δικτύου από την παρουσία σφάλματος. Ο επεξεργαστής αυτός συνήθως προέρχεται από τους γείτονες του εσφαλμένου επεξεργαστή οι οποίοι είναι γνωστοί μέσα από τη λίστα γειτόνων που διατηρεί. Αρχικά, αποστέλλεται αίτηση συγχώνευσης στον Γειτονικό επεξεργαστή με την μικρότερη περιοχή, δηλαδή αυτόν που έχει τους λιγότερους γείτονες σύμφωνα με τη λίστα γειτόνων του. Εάν αποδεχτεί την αίτηση, ενημερώνονται και οι υπόλοιποι για τη νέα διάταξη, αλλιώς γίνεται διάχυση της αίτησης σε όλους τους Γειτονικούς επεξεργαστές του. Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει γρήγορη αποκατάσταση, ευνοούμενη από την ανεξαρτησία της υπηρεσίας αποκατάστασης και της αποκατάστασης της επικοινωνίας. Αποφεύγει την καθυστέρηση εύρεσης νέου

επεξεργαστή μετά από την παρουσία σφάλματος, σημαντικό γεγονός για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time), και μειώνεται η υπερφόρτωση του δικτύου κατά την διαδικασία αποκατάστασης.

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η προτεινόμενη αυτή λύση μειώνει το καθολικό κόστος της Αντιγραφής Περιεχομένου, γιατί η Αντιγραφή Περιεχομένου γίνεται μόνο από ένα σύνολο επεξεργαστών. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός επεξεργαστών που δεν χρειάζεται να εκτελεί την διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου. Το ποσοστό πληροφοριών που χρειάζεται να ενημερώνεται κάθε φορά για τα αντίγραφα είναι μικρό, γιατί δεν επιβαρύνεται το δίκτυο από την επικοινωνία με τους επεξεργαστές που δεν αναπαράγουν περιεχόμενο. Επιπλέον, χρησιμοποιεί τη διαίρεση του δικτύου στην ποιότητα της υπηρεσίας, τοποθετώντας τα αντίγραφα των δεδομένων σε Γειτονικούς και Συντομευμένους επεξεργαστές, οι οποίοι ταυτόχρονα ενισχύουν και την επεκτασιμότητα του δικτύου.

Τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου διακινούν διαφόρων τύπων περιεχόμενο. Μερικά παραδείγματα Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου είναι το EdgeStream [22] για την παροχή οπτικοακουστικού υλικού, το Limelight [38] για μεταφορά αρχείων ψηφιακών δεδομένων, η Mirror Image[42] για παροχή εφαρμογών, διαδικτυακών υπολογισμών (web computing), και υπηρεσιών συναλλαγής. Οι υπηρεσίες που παρέχουν αντιστοιχούν στις απαιτήσεις των υπηρεσιών Ομαδικής Επικοινωνίας, καθώς καλούνται να ανταπεξέλθουν σε μεγάλο αριθμό αιτημάτων και χρηστών, ενώ ταυτόχρονα να φροντίζουν για ανεκτικότητα και αντιμετώπιση σφαλμάτων, όπως είναι η Κατανεμημένη και η Συγκεντρωτική αποτυχία.

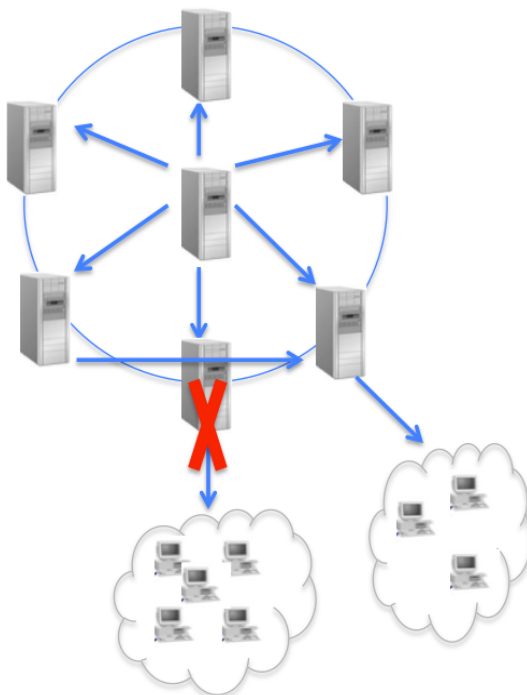
Επομένως, οι τεχνικές που παρουσιάζονται, έτσι ώστε να επιτευχθεί Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, μπορούν να υιοθετηθούν στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου. Συγκεκριμένα, έστω σε ένα Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου ορίζουμε ως Γειτονικούς επεξεργαστές έναν Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή και τον Αρχικό (origin) εξυπηρετητή ή δυο Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές ή έναν Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή κι έναν επεξεργαστή της ίδιας συστάδας, και ως Συντομευμένους επεξεργαστές ορίζουμε έναν εξυπηρετητή ο οποίος ανήκει σε Αντιπροσωπευτικό

εξυπηρετητή διαφορετικής συστάδας από προηγούμενη φάση ή δυο Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές οι οποίοι δεν επικοινωνούν πλέον μεταξύ τους λόγω σφάλματος.

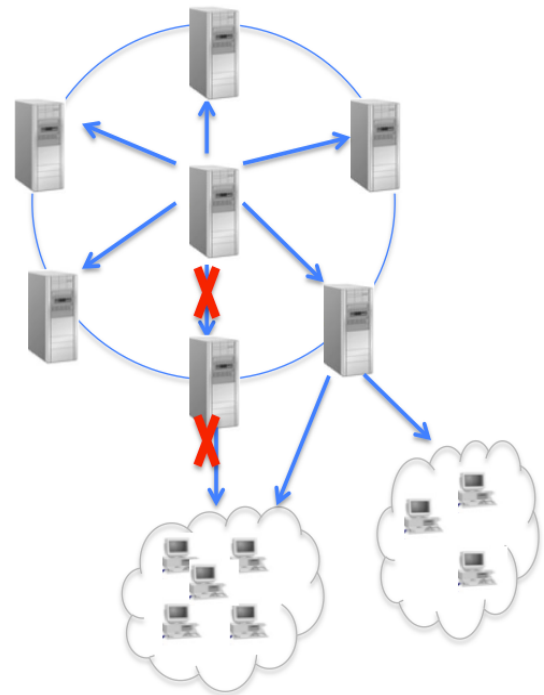
Σύμφωνα με τις διαδικασίες για επιλογή Γειτονικών και Συντομευμένων επεξεργαστών που θα εκτελεστούν, θα δημιουργηθούν οι αντίστοιχες λίστες σε κάθε επεξεργαστή, προκειμένου να έχει ο καθένας στην κατοχή του στοιχεία για τους γείτονές του τη συγκεκριμένη στιγμή και για τους επεξεργαστές που υπήρξαν γείτονές του σε προηγούμενο στάδιο. Αυτό θα γίνει διότι σκοπός της τεχνικής αυτής είναι όχι μόνο η επικοινωνία με γειτονικούς επεξεργαστές, αλλά και επεξεργαστές άλλων συστάδων. Δηλαδή, έστω ότι ένας επεξεργαστής E ανήκε σε προηγούμενη φάση σε μια συστάδα Σ και ήταν γείτονας του Αντιπροσωπευτικού εξυπηρετητή A. Μετά από διαμορφώσεις του δικτύου ο επεξεργαστής E ανήκει τώρα στη συστάδα Δ και είναι γείτονας με τον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή B. Ο επεξεργαστής A, θα διατηρεί πληροφορίες στις λίστες του και για τον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή A, και για τον B, το ίδιο και οι Αντιπροσωπευτικοί εξυπηρετητές. Επομένως, στον επεξεργαστή A θα τοποθετηθεί αντίγραφο περιεχομένου και από τον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή A και από τον B. Αυτό αποσκοπεί στην επικοινωνία μεταξύ των επεξεργαστών του δικτύου, έτσι ώστε να αποφεύγεται η διάχυση μηνυμάτων η οποία προκαλεί καθυστερήσεις στην επικοινωνία και την ενημέρωση ανάμεσά τους.

Στην περίπτωση που παρουσιαστεί Κατανεμημένη αποτυχία, δηλαδή αν ένας Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής καταρρεύσει και οι υπόλοιποι Αντιπροσωπευτικοί προσπαθούν να βρουν ποιος θα τον αντικαταστήσει, τότε θα ξεκινήσει η διαδικασία αποκατάστασης της διαδρομής. Συγκεκριμένα, ο Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής που έχει την μεγαλύτερη διαθέσιμη χωρητικότητα και την μικρότερη απόσταση από τους γειτονικούς επεξεργαστές του εσφαλμένου θα αναλάβει να τον αντικαταστήσει και θα ενημερώσει το δέντρο διαδρομής για τη νέα διαδρομή που προέκυψε, όπως φαίνεται στο Σχήμα 12. Στην περίπτωση που παρουσιαστεί Συγκεντρωτική αποτυχία, δηλαδή εάν διακοπεί η επικοινωνία μεταξύ ενός Αντιπροσωπευτικού εξυπηρετητή και του Αρχικού εξυπηρετητή λόγω σφάλματος του πρώτου, θα δημιουργηθούν υποδίκτυα και θα ξεκινήσει έπειτα η διαδικασία Αποκατάστασης περιοχής έτσι ώστε να βρεθεί ο επεξεργαστής που θα αναλάβει το υποδίκτυο. Επεξηγηματικά, η διαδικασία αυτή θα

ανατρέξει στη λίστα των Γειτονικών επεξεργαστών του εσφαλμένου Αντιπροσωπευτικού και θα εντοπίσει τον Γειτονικό επεξεργαστή που έχει τους λιγότερους γείτονες, δηλαδή τον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή με την μικρότερη περιοχή. Θα αποσταλεί αίτηση σε αυτόν για να αναλάβει το υποδίκτυο, δηλαδή τους επεξεργαστές που βρίσκονται στη συστάδα του εσφαλμένου. Αν αποδεχτεί, τότε ενημερώνεται το δίκτυο για τη νέα διάταξη, αλλιώς αν αρνηθεί θα γίνει διάχυση της αίτησης στους γειτονικούς Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές και θα αναλάβει ένας από αυτούς το υποδίκτυο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 12: Κατανομημένη Αποτυχία



Σχήμα 13: Συγκεντρωτική Αποτυχία

Διατηρώντας τη στρατηγική αυτή, θα επιτύχουμε καλύτερη επικοινωνία ανάμεσα στους επεξεργαστές του δικτύου και περισσότερη Ανεκτικότητα Σφαλμάτων μέσα από τους προτεινόμενους μηχανισμούς. Επιπλέον, με την απόφαση για Αντιγραφή Περιεχομένου σε επεξεργαστές ανάλογα με την τοποθεσία τους, θα μειωθεί το κόστος συντήρησης των αντιγράφων και το επικοινωνιακό κόστος του δικτύου. Η επιλογή τοποθέτησης των αντιγράφων θεωρείται πλέον αποδοτική, αφού ενισχύει τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου στο δίκτυο και ταυτόχρονα ευνοεί και την επεκτασιμότητα του, σημαντικά σημεία για τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου.

4.1.2.2 Προτεινόμενη Λύση 2: Ευρετική Προσέγγιση με Περιορισμούς στην Ποιότητα Υπηρεσιών, την Χωρητικότητα του Δικτύου και τη Φόρτωση Περιεχομένου

Μέχρι στιγμής, έχουν δοθεί προτεινόμενες λύσεις για τα προβλήματα της διαχείρισης των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου [28] [16] [6]. Όμως, σύμφωνα με μια ερευνητική ομάδα του Instituto de Computacao/Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense της Βραζιλίας [44], καμία από αυτές δεν αντεπεξέρχεται σε σημαντικούς περιορισμούς, όπως είναι η ποιότητα υπηρεσιών, η χωρητικότητα του δικτύου και η φόρτωση (load) περιεχομένου στους εξυπηρετητές. Για τον λόγο αυτό παρουσίασαν την ακόλουθη λύση, η οποία θέτει περιορισμούς σύμφωνα με τους πιο πάνω προβληματισμούς.

Μαθηματική Διατύπωση

Το πρώτο μέρος της απαρτίζεται από μια μαθηματική διατύπωση, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 14, η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό φραγμάτων στην στατική (offline) εκδοχή του προβλήματος, δηλαδή παρέχονται οι πληροφορίες σχετικά με τα κόστη και τα αιτήματα για την διαχείριση και την διαδικασία των αιτημάτων και του περιεχομένου. Η επεξήγηση των μεταβλητών της παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

Στο βήμα (1), παρουσιάζεται η μαθηματική διατύπωση, σύμφωνα με την οποία ελαχιστοποιείται το κόστος λειτουργίας και καθυστέρησης (backlog), με τους περιορισμούς που τίθενται στα επόμενα βήματα. Στο (2) δίνεται η σχέση απαίτησης και καθυστέρησης. Στο (3) δίνονται οι περιορισμοί για έλεγχο του εύρου ζώνης των εξυπηρετητών. Στο (4) τίθεται περιορισμός έτσι ώστε ένα αίτημα να μην λαμβάνει περισσότερα από όσα ανέχεται. Στο (5) εγγυάται ότι κάθε αίτημα θα διαχειρίζεται πλήρως και οι περιορισμοί στο (6) εγγυώνται ότι ένα αίτημα θα διαχειρίζεται από έναν εξυπηρετητή ο οποίος έχει στην κατοχή του το ζητούμενο περιεχόμενο.

$$\begin{aligned}
(1) \quad & \text{Min} \sum_{i \in R} \sum_{j \in S} \sum_{t \in T} c_{ijt} x_{ijt} + \sum_{i \in R} \sum_{t \in T} p_{it} b_{it} + \sum_{k \in C} \sum_{j \in S} \sum_{l \in S} \sum_{t \in T} h_{kjl} w_{kjl} \\
& \text{S.t.} \\
(2) \quad & \sum_{j \in S} L_{G_t} x_{ijt} - b_{i(t-1)} + b_{it} = \delta D_{it} \forall i \in R, \forall t \in \{B_{G_t}, E_{G_t}\} \\
(3) \quad & \sum_{i \in R} L_{G_t} x_{ijt} \leq \delta M B_j \forall j \in S, \forall t \in T \\
(4) \quad & \sum_{j \in S} L_{G_t} x_{ijt} \leq \delta B X_t \forall i \in R, \forall t \in T \\
(5) \quad & \sum_{j \in S} \sum_{t \in T} x_{ijt} = 1 \forall i \in R \\
(6) \quad & y_{G_{ijt}} \geq x_{ijt} \forall i \in R, \forall j \in S, \forall t \in T \\
(7) \quad & \sum y_{kjt} \geq 1 \forall k \in C, \forall t \in [B_k, E_k] \\
(8) \quad & y_{kjt} = 0 \forall k \in C, \forall j \in S, \forall t \notin [B_k, E_k] \\
(9) \quad & y_{kO_k B_k} = 1 \forall k \in C \\
(10) \quad & y_{kj B_k} = 0 \forall k \in C, \forall j \in \{S | j \neq O_k\} \\
(11) \quad & y_{kj(t+1)} \leq \sum_{l \in S} w_{kjl} \forall k \in C, \forall j \in S, \forall t \in T \\
(12) \quad & y_{kjt} \geq w_{kljt} \forall k \in C, \forall j, l \in S, \forall t \in T \\
(13) \quad & \sum_{k \in C} L_k y_{kjt} \leq A S_j \forall j \in S, \forall t \in T \\
(14) \quad & x_{ijt} \in [0, 1] \forall i \in R, \forall j \in S \forall t \in T \\
(15) \quad & y_{kjt} \in \{0, 1\} \forall j \in S, \forall k \in C \forall t \in T \\
(16) \quad & b_{it} \geq 0 \forall i \in R, \forall t \in T \\
(17) \quad & w_{kjl} \in \{0, 1\} \forall j, l \in S, \forall k \in C \forall t \in T \\
(18) \quad & w_{kjl} = 0 \forall j, l \in S, j \neq l, \forall k \in \{C | B_k = t\}
\end{aligned}$$

Σχήμα 14: Μαθηματική Διατύπωση [44]

Οι περιορισμοί του (7) και (8) ελέγχουν τον αριθμό των αντιγράφων των ενεργών περιεχομένων, οι (9) και (10) σιγουρεύουν ότι μόνο ο Αρχικός εξυπηρετητής έχει στην κατοχή του το περιεχόμενο που αιτήθηκε την περίοδο που έγινε η αίτηση. Ο περιορισμός (11) εγγυάται ότι όλες οι διαδικασίες Αντιγραφής παράγουν νέα αντίγραφα και ο (12) εγγυάται ότι μια διαδικασία Αντιγραφής πραγματοποιείται από έναν εξυπηρετητή ο οποίος διαθέτει το περιεχόμενο. Στο (13) διαχειρίζεται ο διαθέσιμος χώρος των επεξεργαστών. Το κόστος προκύπτει από τον ακόλουθο μαθηματικό υπολογισμό $C_{ijt} = RTT(origin(i), j, t) + delay(origin(i), j, t) + ld(i)) \times BR_i$.

Συμβολισμοί	Επεξήγηση
R	Πλήθος αιτημάτων
S	Πλήθος εξυπηρετητών
C	Συνολικό μέγεθος περιεχομένου
T	Συνολικό πλήθος χρονικών περιόδων
δ	Διάρκεια χρονικής περιόδου σε δευτερόλεπτα
origin(i)	Αρχικός εξυπηρετητής
ld(i)	Τοπική καθυστέρηση αιτήματος i
delay(j₁,j₂,t)	Καθυστέρηση μεταξύ εξυπηρετητών j ₁ και j ₂
RTT(j₁,j₂,t)	Χρόνος μιας διαδρομής μεταξύ των εξυπηρετητών j ₁ και j ₂ σε χρόνο t
D_{it}	Ζήτηση αιτήματος στην χρονική περίοδο t
L_k	Μέγεθος περιεχομένου k
B_k	Περίοδος καταχώρησης περιεχομένου στο δίκτυο
E_k	Περίοδος απόσυρσης περιεχομένου από το δίκτυο
O_k	Αρχικός εξυπηρετητής περιεχομένου k
AS_j	Διαθέσιμος χώρος εξυπηρετητή j
MB_j	Μέγιστο εύρος ζώνης επεξεργαστή j
BR_i	Ελάχιστο εύρος ζώνης αιτήματος i
G_i	Περιεχόμενο που αιτήθηκε από αίτημα i
C_{ijt}	Κόστος διαχείρισης αιτήματος i στον εξυπηρετητή j σε χρόνο t
p_{it}	Κόστος λάθους αιτήματος i σε χρόνο t
h_{kjlt}	Κόστος εξυπηρετητή j για απόκτηση περιεχομένου k από τον l σε χρόνο t
x_{ijt}	Κλάσμα περιεχομένου αιτήματος i που διαχειρίζεται ο εξυπηρετητής j σε χρόνο t
y_{kjt}	Είναι 1 όταν το περιεχόμενο αναπαράγεται από τον εξυπηρετητή j σε χρόνο t
b_{it}	Καθυστέρηση αιτήματος i σε χρόνο t
w_{kjlt}	Είναι 1 όταν το περιεχόμενο k αντιγράφεται από τον εξυπηρετητή j στον l σε χρόνο t

Πίνακας 2: Επεξήγηση Μεταβλητών Σχήματος 15

Ευρετικά

Το δεύτερο μέρος της λύσης αποτελείται από ευρετικά (heuristics). Σύμφωνα με το [34], τα ευρετικά αποτελούν ένα σύνολο κανόνων, οι οποίοι δεν είναι απαραίτητα αλάνθαστοι, αλλά συμπληρώνουν αλγοριθμικές προσεγγίσεις, παρέχουν χρήσιμη καθοδήγηση για την πλειοψηφία των περιπτώσεων ενός προβλήματος, οδηγώντας σε ικανοποιητικά καλές ή βέλτιστες λύσεις με αποτελεσματικό τρόπο. Για παράδειγμα, το πρώτο από τα ευρετικά που θα δούμε, το HC (Hybrid Constructive Heuristic) χρησιμοποιώντας μια μαθηματική διατύπωση που προκύπτει από αυτήν του Σχήματος 15, επιλύει το πρόβλημα των Κατανεμημένων Αιτημάτων (Request Distribution

Problem) [45], δηλαδή την κατανομή των αιτημάτων στους εξυπηρετητές έχοντας ως στόχο τη μείωση της φόρτωσης του δικτύου (network load) χωρίς να επηρεαστεί η Ποιότητα Υπηρεσιών.

Ευρετικό HC

Το ευρετικό HC (Hybrid Constructive Heuristic) χρησιμοποιεί έναν μαθηματικό υπολογισμό, ο οποίος προέρχεται από την αρχική μαθηματική διατύπωση (Σχήμα 15) στην δυναμική (online) εκδοχή του προβλήματος, δηλαδή όταν το κόστος επικοινωνίας μπορεί να αλλάξει, όταν εισαχθούν νέα αιτήματα και νέο περιεχόμενο και όταν δεν γνωρίζουμε τί πρόκειται να συμβεί μελλοντικά. Όσον αφορά την τοποθέτηση του αντιγράφου σε έναν εξυπηρετητή, χρησιμοποιεί ένα άπληστο ευρετικό (greedy heuristic). Συγκεκριμένα, εκτελείται πρώτα η διαδικασία κατανομής των αιτημάτων στους εξυπηρετητές με τη χρήση της μαθηματικής διατύπωσης του Σχήματος 15. Έπειτα, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες από την κατανομή των αιτημάτων, με τη βοήθεια του ευρετικού HC προσπαθεί να προβλέψει τη ζήτηση του περιεχομένου και τοποθετεί τα αντίγραφα στους εξυπηρετητές βάσει ενός άπληστου ευρετικού. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο του άπληστου ευρετικού τοποθετείται σε κάθε εξυπηρετητή το περιεχόμενο που έχει την μεγαλύτερη ζήτηση, εάν ο εξυπηρετητής έχει διαθέσιμη χωρητικότητα. Ταυτόχρονα, απομακρύνεται από τον εξυπηρετητή το περιεχόμενο που έχει την λιγότερη ζήτηση.

Τα πειράματα και δοκιμές που έγιναν για τη λειτουργία του συγκεκριμένου ευρετικού και παρουσιάζονται στο [45], έδειξαν ότι το ευρετικό HC κατάφερε να επιτύχει χαμηλό υπολογιστικό χρόνο. Υπήρχε μια διαφορά περίπου 5.5% ανάμεσα στην λύση αυτή και στη βέλτιστη λύση που προκύπτει από την αρχική μαθηματική διατύπωση. Δεν ήταν δυνατόν να διευκρινιστεί εάν η διαφορά αυτή προκύπτει από τις διαφορετικές εκδοχές λειτουργίας (offline / online), αφού το ευρετικό λειτουργούσε σε δυναμική και ο μαθηματικός υπολογισμός σε στατική εκδοχή, ή οφείλεται σε κάποια άλλη φυσική διαφορά.

Ευρετικά HCFK και PSH

Προκειμένου να διευκρινιστεί η διαφορά αυτή, προτάθηκαν άλλα δυο ευρετικά, το HCFK (Hybrid Constructive with Future Knowledge) και το PSH (Period Solution

Heuristic). Το HCFK είναι παρόμοιο με το HC, με την διαφορά ότι το HCFK γνωρίζει την πραγματική ζήτηση των χρηστών για το περιεχόμενο σε κάθε εξυπηρετητή και δεν χρειάζεται να την υπολογίσει. Το PSH χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος Τοποθέτησης Περιεχομένου και των Κατανεμημένων Αιτήσεων για κάθε στιγμιότυπο του αλγορίθμου ανεξάρτητα, και στο τελικό στάδιο συνθέτει όλες αυτές τις ανεξάρτητες λύσεις για να κατασκευάσει μια ενιαία. Παρόλο που η λύση κάθε στιγμιότυπου είναι βέλτιστη, η τελική λύση μπορεί να μην είναι καθολικά βέλτιστη. Η φόρμουλα που χρησιμοποιεί το PSH βασίζεται στην αρχική μαθηματική διατύπωση, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας του χρόνου. Τα δυο αυτά ευρετικά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πρακτικά, διότι το HCFK χρειάζεται μελλοντικά δεδομένα και το PSH δεν λαμβάνει υπόψη τον χρόνο που χρειάζεται για να μετακινηθεί το περιεχόμενο.

Ευρετικό GHS

Το τρίτο ευρετικό, το GHS (Global Hosting System Heuristic), εκτελεί Αντιγραφή περιεχομένου σύμφωνα με το παρόν αίτημα, δηλαδή κάθε φορά που λαμβάνεται ένα αίτημα διαχειρίζεται αποκλειστικά από τον Αρχικό εξυπηρετητή. Αν αυτός δεν έχει το αντίγραφο του περιεχομένου δεν το προωθεί σε άλλο επεξεργαστή, αλλά εντοπίζει και προσκομίζει πρώτα το περιεχόμενο και στη συνέχεια διαχειρίζεται το αίτημα του χρήστη. Το συγκεκριμένο όμως, δεν ικανοποιεί τους περιορισμούς της Ποιότητας Υπηρεσιών, καθώς προσφέρει πολύ χαμηλή Ποιότητα Υπηρεσιών.

Συγκρίνοντας όλα τα προτεινόμενα ευρετικά, διακρίνουμε ότι κάθε λύση υστερεί και σε έναν περιορισμό. Το HC επιτυγχάνει καλά αποτελέσματα σε λιγότερο υπολογιστικό χρόνο σε σύγκριση με την αρχική μαθηματική διατύπωση, έστω κι αν λειτουργούν σε ενεργή και ανενεργή εκδοχή, αντίστοιχα. Τα ευρετικά HCFK και PSH εξακολουθούν να έχουν διαφορά από την βέλτιστη λύση που δίνεται και δεν δίνουν πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα από το ευρετικό HC. Επιπρόσθετα, τα ευρετικά HCFK και PSH είναι πρακτικά δύσκολο να χρησιμοποιηθούν αφού χρειάζονται μελλοντικά δεδομένα για τη λειτουργία τους. Τέλος, το ευρετικό GHS έχει αρκετά μεγάλο κόστος για το δίκτυο, τόσο για την επικοινωνία όσο και για την μεταφορά του περιεχομένου, αφού απαιτεί συνεχή επικοινωνία με τον Αρχικό εξυπηρετητή και δεν προσφέρει ικανοποιητική Ποιότητα Υπηρεσιών.

Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των ευρετικών που αναλύσαμε, αλλά και κατά πόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου για να επιλύσουν το πρόβλημα Κατανομής των αιτημάτων και της Τοποθέτησης του περιεχομένου, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί για την Ποιότητα Υπηρεσιών, τη χωρητικότητα και το φορτίο του περιεχομένου στο δίκτυο, καταλήγουμε στο ότι τα ευρετικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο υπό προϋποθέσεις. Επιπλέον, δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι καταλήγουν απαραίτητα σε ορθό αποτέλεσμα.

Το ευρετικό HC που χρησιμοποιείται για την κατανομή των αιτημάτων και την τοποθέτηση του περιεχομένου μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε δυναμική εκδοχή, δηλαδή όταν τα κόστος επικοινωνίας, τα αιτήματα και το περιεχόμενο δεν είναι σταθερά και όταν δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τί θα ακολουθήσει μελλοντικά στο δίκτυο. Η εκδοχή αυτή πλησιάζει περισσότερο στις προϋποθέσεις των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, αφού το πλήθος των αιτημάτων δεν είναι γνωστό από προηγουμένως, το ίδιο και το περιεχόμενο το οποίο μπορεί να διαφοροποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή. Τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου έχουν ως χαρακτηριστικό τους την επεκτασιμότητα, οπότε η κατάσταση του δικτύου αλλάζει με την προσθήκη ή την αποχώρηση επεξεργαστών. Η διαδικασία που εκτελεί το ευρετικό HC για την αποτελεσματική τοποθέτηση του περιεχομένου στους κατάλληλους εξυπηρετητές, στηρίζεται στην ζήτηση του περιεχομένου. Ο παράγοντας αυτός έχει καθοριστικό ρόλο στην απόφαση για την τοποθέτηση των αντιγράφων στο δίκτυο, αφού μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά το κόστος επικοινωνίας και την υπερφόρτωση του δικτύου, αλλά και να μειώσει τον υπολογιστικό χρόνο, όπως φάνηκε μέσα από την πειραματική διαδικασία που πραγματοποίησαν για τη δοκιμή του ευρετικού. Επιπλέον, προσφέρει ικανοποιητική Ποιότητα Υπηρεσιών στην εξυπηρέτηση των αιτημάτων των χρηστών.

Όσον αφορά την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, η επιλογή τοποθέτησης των αντιγράφων με τη μεγαλύτερη ζήτηση στους εξυπηρετητές και η αντίστοιχη απομάκρυνση των αντιγράφων με τη λιγότερη ζήτηση, μειώνει τις πιθανότητες δημιουργίας σφαλμάτων στο δίκτυο. Οι περιπτώσεις που θα χρειαστεί προσκόμιση του περιεχομένου από τον Αρχικό εξυπηρετητή ή από άλλον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή είναι λιγότερες, αφού με την τοποθέτηση των δημοφιλέστερων αντιγράφων στους εξυπηρετητές, το

περιεχόμενο είναι πιθανότερο να βρίσκεται στον εξυπηρετητή. Η αποτελεσματική τοποθέτηση του περιεχομένου αυξάνει τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου στο δίκτυο.

4.1.2.3 Προτεινόμενη Λύση 3: Αλγόριθμοι με τη χρήση Συνεργατικής Κρυφής Μνήμης

Ο προβληματισμός για τον μεγάλο όγκο δεδομένων που μεταφέρεται στο Διαδίκτυο και ειδικά οι ανάγκες που έχουν εφαρμογές που υποστηρίζουν ήχο και εικόνα, οδήγησε στην δημιουργία αλγορίθμων οι οποίοι θα το διαχειρίζονταν κατάλληλα. Οι εφαρμογές αυτές, έχουν μεγάλες απαιτήσεις εύρου ζώνης και κοστίζουν στο δίκτυο, έτσι ακολουθούν την τεχνική της Αντιγραφής Περιεχομένου και την τοποθέτησή του περιεχομένου με την μεγαλύτερη ζήτηση σε εξυπηρετητές που βρίσκονται στο άκρο του δικτύου. Στόχος τους είναι να ελαχιστοποιήσουν την κίνηση στο δίκτυο, μεταφέροντας τον μέγιστο επιτρεπτό όγκο δεδομένων, σύμφωνα με την καθορισμένη χωρητικότητα του δικτύου, και να αυξήσουν την συνολική του απόδοση.

Η προτεινόμενη λύση που δίνει η ερευνητική ομάδα των Εργαστηρίων BELL (Bell Labs) και του Τμήματος Πληροφορικής του Carnegie Mellon University στο Pittsburg [9], βασίζεται σε αλγορίθμους σχετικούς με την απλή συνεργατική διαχείριση της κρυφής μνήμης (light-weight cooperative cache management) , οι οποίοι στοχεύουν στην εξυπηρέτηση του μέγιστου όγκου περιεχομένου από την κρυφή μνήμη και πετυχαίνοντας το ελάχιστο κόστος εύρου ζώνης στο δίκτυο.

Οι αλγόριθμοι αυτοί βασίζονται σε απλή σχεδίαση χωρίς υψηλή πολυπλοκότητα και συνδυάζουν αλγορίθμους Αντιγραφής Περιεχομένου. Στη φάση σχεδίασης λαμβάνονται υπόψη προβλήματα που αφορούν την μνήμη, όπως για παράδειγμα είναι η ακριβής πρόβλεψη της ζήτησης και η έξυπνη τοποθέτηση του περιεχομένου. Τα προβλήματα αυτά σε επίπεδο Κατανεμημένων Δικτύων συνεπάγονται κατανομή του περιεχομένου και μνήμης, εφόσον σε φυσικό επίπεδο δικτύου, οι εξυπηρετητές και οι επεξεργαστές βρίσκονται διασκορπισμένοι ανά το παγκόσμιο. Το γεγονός αυτό απαιτεί ότι η προσέγγιση για μέγιστη απόδοση, θα αποτελεί μια βέλτιστη λύση και για μέγιστη καθολική απόδοση.

Η χρήση της συνεργατικής κρυφής μνήμης (cooperative caching) προκύπτει στην μεγάλη ανάπτυξη των απαιτήσεων των Διαδικτυακών υπηρεσιών, καθώς χρησιμοποιείται για την μείωση της καθυστέρησης. Η ιδέα προήλθε από τις πρώτες μηχανές αναζήτησης, όπως το Mosaic [15], οι οποίες χρησιμοποιούσαν την τεχνική της κρυφής μνήμης στο περιεχόμενο του Παγκόσμιου Ιστού (web caching), έτσι ώστε να αποθηκεύεται το περιεχόμενο για μελλοντική χρήση μειώνοντας το εύρος ζώνης και την καθυστέρηση που θα χρειαζόταν για να μεταφερθεί στους χρήστες. Αργότερα, ο Jacobson [29], πρότεινε ότι το περιεχόμενο θα έπρεπε να υπάρχει σε κοντινές προς τον χρήστη πηγές, παρά να προέρχεται από την αρχική πηγή στην οποία βρίσκεται, γιατί μόνο έτσι θα μπορούσαν να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις της ανάπτυξης του Διαδικτύου. Επομένως, το βασικό πρόβλημα που υπήρχε ήταν η ταξινόμηση των κρυφών μνήμων με έναν αποδοτικό τρόπο.

Η ταξινόμηση των κρυφών μνήμων προσδιορίστηκε από τον Dowdy [9], ο οποίος προσπαθούσε να αποδώσει λύση στο Πρόβλημα Ανάθεσης Αρχείων (File Assignment Problem - FAP) [21], αναθέτοντας αρχεία σε κάθε επεξεργαστή εντός ενός δικτύου υπολογιστών, σύμφωνα με ένα βέλτιστο κόστος και μια βέλτιστη απόδοση. Η ταξινόμηση που παρουσίασε είναι η ακόλουθη:

Μονή Κρυφή Μνήμη (Single) και Πολλαπλές Κρυφές Μνήμες (Multiple): Σύμφωνα με το πρωτόκολλο το οποίο υποστηρίζουν σε αυτή την δομή οι κρυφές μνήμες, κάθε κοντινός επεξεργαστής (proxy) έχει στην κατοχή του ένα συνοπτικό σχέδιο για τις κρυφές μνήμες όλων των επεξεργαστών που συμμετέχουν στο δίκτυο και ελέγχει ανάλογα κάθε φορά που πρέπει να στείλει το αίτημα. Προκειμένου να πετύχει πλήρως πρέπει οι δομές να αλληλοϋποστηρίζονται, δηλαδή αν μια δεν έχει το απαιτούμενο περιεχόμενο και υπάρχει αποτυχία στο αίτημα (cache miss), μια άλλη θα πρέπει να εξυπηρετήσει έτσι ώστε να μειώνεται η συνολική κίνηση (traffic) στο σημείο συμφόρησης.

Ιεραρχικές Κρυφές μνήμες: Οι κρυφές μνήμες τοποθετούνται σε διάφορα επίπεδα του δικτύου. Το πλεονέκτημα εδώ είναι ότι μειώνεται η απόσταση ανάκτησης του περιεχομένου και το σύστημα λειτουργεί αποκεντρωτικά. Κάθε επίπεδο αντιμετωπίζει διαφορετική καθυστέρηση, ειδικά οι κρυφές μνήμες στα υψηλότερα επίπεδα. Ένα μειονέκτημα είναι ότι υπάρχει πλεονασμός του περιεχομένου, καθώς ένα περιεχόμενο μπορεί να βρίσκεται σε πολλά επίπεδα.

Κατανεμημένες Κρυφές Μνήμες: Τα αιτήματα των χρηστών που αποτυγχάνουν να εξυπηρετηθούν (misses), εξυπηρετούνται από τις κρυφές μνήμες που βρίσκονται στο άκρο του δικτύου. Από το 2001 και έπειτα, αυτό είναι και το πιο διαδεδομένο σύστημα, αφού προσαρμόζεται με τις ανάγκες των νέων εφαρμογών, οι οποίες αφορούν κατανομή ιστοσελίδων, εικόνων και μουσικής. Οι κατανεμημένες κρυφές μνήμες έχουν χαμηλότερους χρόνους μετάδοσης, διότι χρησιμοποιούν τα επίπεδα με την λιγότερη συμφόρηση, δηλαδή τα χαμηλότερα, και επίσης δημιουργούν δίκαιη κατανομή φορτίου (load) στο σύστημα. Το μειονέκτημα σε σύγκριση με τις Ιεραρχικές κρυφές μνήμες είναι το ότι χρειάζονται μεγαλύτερο χρόνο σύνδεσης.

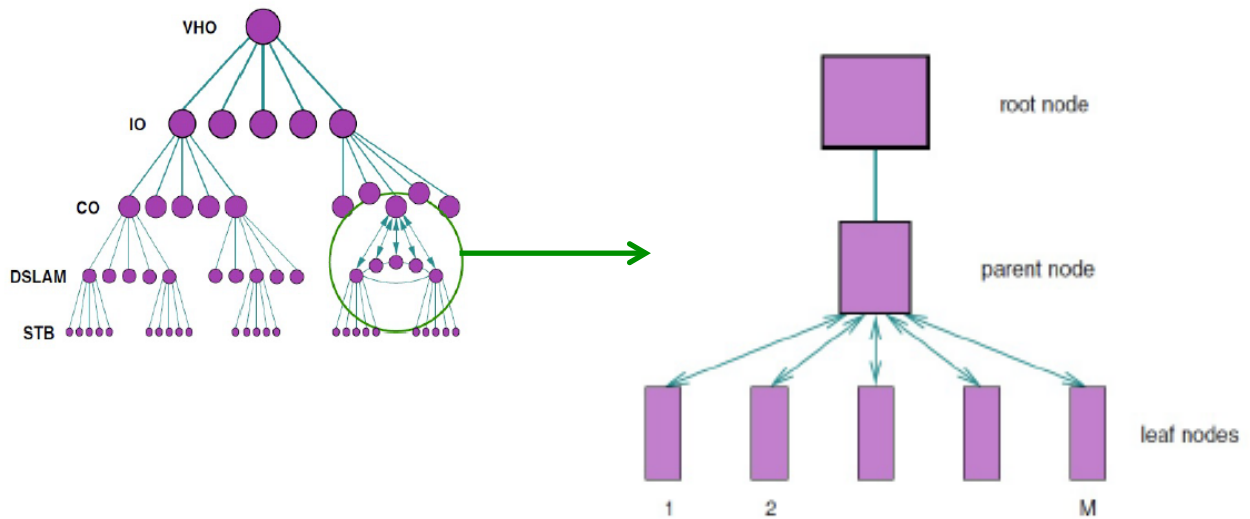
Καθ'οδόν Κρυφές Μνήμες (En-route caching): Μια δομή που εμφανίστηκε το 2002, σύμφωνα με την οποία το αίτημα του χρήστη εμποδίζεται να προχωρήσει σε επόμενο επεξεργαστή, όταν βρίσκεται σε μια κρυφή μνήμη. Δηλαδή, εάν το ζητούμενο περιεχόμενο βρίσκεται στην κρυφή μνήμη, θα σταλεί απευθείας στον χρήστη χωρίς το αίτημα να διαδοθεί στο υπόλοιπο δίκτυο. Εάν όμως το ζητούμενο περιεχόμενο δεν βρίσκεται στην κρυφή μνήμη, ο επεξεργαστής θα προωθήσει το αίτημα στο κανονικό μονοπάτι δρομολόγησης [54]. Τα πλεονεκτήματα της δομής αυτής είναι ότι η διαδικασία είναι γνωστή και στα δυο άκρα, τον εξυπηρετητή και τον χρήστη, καθώς επίσης ελαχιστοποιείται και η καθυστέρηση του δικτύου σε περίπτωση αποτυχίας ικανοποίησης του αιτήματος, αφού δεν πρόκειται κανένα από τα προωθούμενα αιτήματα να δρομολογηθεί εκτός του κανονικού μονοπατιού.

Περιγραφή Δικτύου Υπολογιστών με Συνεργατική Κρυφή Μνήμη

Η δομή, η οποία χρησιμοποιείται στην προτεινόμενη λύση, βασίζεται περισσότερο στις Ιεραρχικές κρυφές μνήμες, και προσπαθεί να είναι όσο το δυνατό πλησιέστερη σε πραγματικά συστήματα ή υποσυστήματα. Έστω ότι το δίκτυο αποτελείται από μια συστάδα M επεξεργαστών Φύλλων (leaf nodes), οι οποίοι επικοινωνούν με έναν Γονέα Επεξεργαστή (Parent node) και αυτός με τη σειρά του επικοινωνεί με τον Ριζικό Επεξεργαστή (Root node), όπως φαίνεται στη διάταξη του Σχήματος 15.

Όλοι οι επεξεργαστές, Φύλλων και Γονέων, περιέχουν κρυφές μνήμες, ενώ ο Ριζικός επεξεργαστής περιέχει κρυφή μνήμη χωρητικότητας μεγέθους ώστε να έχει στην κατοχή του τα περιεχόμενα όλων των υπόλοιπων. Υπάρχει συγκεκριμένο κόστος μεταφοράς περιεχομένου από τον Ριζικό επεξεργαστή προς έναν Γονέα επεξεργαστή

και συγκεκριμένο κόστος μεταφοράς από έναν Γονέα επεξεργαστή σε έναν Φύλλο επεξεργαστή. Το κόστος μεταφοράς από τον Γονέα σε ένα Φύλλο είναι μικρότερο από το κόστος μεταφοράς από τον Ριζικό επεξεργαστή.



Σχήμα 15: Απεικόνιση Διάταξης Κρυφών Μνήμων [9]

Σύμφωνα με την λύση που δίνεται, χρησιμοποιούνται δυο διαφορετικές καταστάσεις, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των επεξεργαστών. Στην πρώτη περίπτωση, οι επεξεργαστές Φύλλων είναι συμμετρικοί, δηλαδή οι κρυφές μνήμες στα Φύλλα επεξεργαστές έχουν το ίδιο μέγεθος B , το ίδιο κόστος εύρους ζώνης και τα ίδια χαρακτηριστικά απαιτήσεων. Στην δεύτερη περίπτωση, οι απαιτήσεις είναι τυχαίες, το ίδιο και τα μεγέθη των κρυφών μνήμων σε κάθε επεξεργαστή. Επίσης, στην περίπτωση αυτή, δίνεται σημασία και στην δημοτικότητα που έχει το κάθε περιεχόμενο, δηλαδή την ζήτηση του από τους χρήστες ανάλογα με τα αιτήματα που λαμβάνονται, η οποία δεν είναι ίδια για όλα τα περιεχόμενα.

Αλγόριθμοι Συνεργατικών Κρυφών Μνήμων

Περίπτωση Α'

Προτείνεται ένας Τοπικός-Άπληστος αλγόριθμος με συνεργατικές κρυφές μνήμες, σύμφωνα με τον οποίο εάν ένα περιεχόμενο n δεν βρίσκεται στον επεξεργαστή i και το περιεχόμενο αυτό έχει μεγαλύτερη ζήτηση από ένα περιεχόμενο m το οποίο όμως βρίσκεται στον επεξεργαστή i , τότε το περιεχόμενο m θα αντικατασταθεί από το περιεχόμενο n στον επεξεργαστή i .

Αλγόριθμος Τοπικός – Άπληστος (Algorithm Local - Greedy)

- *Επέλεξε έναν επεξεργαστή i και ένα περιεχόμενο n .*
- *Εάν το περιεχόμενο n δεν βρίσκεται στον επεξεργαστή i και έχει μεγαλύτερη ζήτηση από ένα περιεχόμενο m , το οποίο ήδη βρίσκεται στον επεξεργαστή i , τότε αντικατέστησε το περιεχόμενο m με το περιεχόμενο n .*

Με τον αλγόριθμο αυτό, το περιεχόμενο δεν προσκομίζεται προηγουμένως στον επεξεργαστή, παρά μόνο προσκομίζεται όταν αυτό χρειαστεί. Επομένως, θα μειώνεται το κόστος μεταφοράς περιεχομένου διότι δεν θα χρειάζεται να ζητείται συνεχώς προσκόμιση του περιεχομένου με τη μεγαλύτερη ζήτηση από τον Ριζικό επεξεργαστή, διαδικασία η οποία κοστίζει περισσότερο από τη προσκόμιση του περιεχομένου από ένα Γονέα επεξεργαστή σε περίπτωση που ο επεξεργαστής i δεν κατέχει το περιεχόμενο. Εκτός από το κόστος μεταφοράς, μειώνεται και η κινητικότητα στο δίκτυο κι έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος υπερφόρτωσής του. Όμως η απόφαση για μετακίνηση του περιεχομένου λαμβάνεται τοπικά, δηλαδή εγγυάται ότι είναι βέλτιστη για τον συγκεκριμένο επεξεργαστή, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη βελτιστοποίηση ολόκληρου του δικτύου. Σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν για αξιολόγηση του συγκεκριμένου αλγορίθμου, δεν πετυχαίνει περισσότερο από το 75% της βέλτιστης λύσης όσον αφορά την εξοικονόμηση του εύρους ζώνης.

Περίπτωση Β'

Μια πιο γενική περίπτωση του αλγορίθμου στην Περίπτωση Α', θέτει Άνω και Κάτω φράγματα όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των επεξεργαστών, μιας και δεν υπάρχει συμμετρία ούτε στο μέγεθος της κρυφής μνήμης, ούτε στο κόστος του εύρους ζώνης, είναι ο Γενικευμένος Τοπικός – Άπληστος αλγόριθμος. Ο περιορισμός του αλγορίθμου αυτού είναι ότι πρέπει όλοι οι επεξεργαστές να γνωρίζουν την καθολική χρησιμότητα (global utility) του περιεχομένου στο δίκτυο, ανταλλάζοντας πληροφορίες με καθορισμένα πρωτόκολλα.

Αλγόριθμος Γενικευμένος Τοπικός – Άπληστος (Algorithm Local – Greedy - Gen)

- *Επέλεξε έναν επεξεργαστή i και ένα περιεχόμενο n .*
- *Αν το περιεχόμενο n δεν βρίσκεται στον επεξεργαστή i , αντικατέστησε το περιεχόμενο n με το περιεχόμενο m , που ήδη βρίσκεται στον επεξεργαστή i , αν και μόνο αν αυτό αυξάνει την καθολική χρησιμότητα.*

Ο Γενικευμένος Τοπικός – Άπληστος Αλγόριθμος, παρομοίως με τον Τοπικό – Άπληστο Αλγόριθμο προσπαθεί να μειώσει το κόστος μεταφοράς περιεχομένου αποφεύγοντας τη μετακίνηση από τον Ριζικό επεξεργαστή σε κάποιο Γονέα επεξεργαστή, επιδιώκοντας μια βέλτιστη λύση. Όμως, η απόφαση που λαμβάνει δεν είναι τοπική πλέον, αλλά καθολική. Δηλαδή, για να πραγματοποιηθεί η μετακίνηση του περιεχομένου, θα πρέπει να ευνοούνται όλοι οι επεξεργαστές του δικτύου και η λύση να βελτιστοποιεί ολόκληρο το δίκτυο. Ο αλγόριθμος αυτός προϋποθέτει ότι θα ανταλλάσσονται συνεχώς πληροφορίες μεταξύ των επεξεργαστών του δικτύου, έτσι ώστε να ενημερώνεται ο Ριζικός επεξεργαστής που κατέχει πληροφορίες για ολόκληρο το δίκτυο. Η διαδικασία αυτή κοστίζει στη χρησιμοποίηση του δικτύου και του εύρους ζώνης που απαιτείται. Στην συγκεκριμένη έρευνα δεν έχει πραγματοποιηθεί κάποια πειραματική αξιολόγηση όσον αφορά τον αλγόριθμο αυτό, λόγω του περιορισμού που τίθεται και της χρήσης περαιτέρω πρωτοκόλλων και μηχανισμών, ώστε να υπάρξει καθολική γνώση στο σύστημα.

Συμπεράσματα

Το συμπέρασμα που εξάχθηκε μέσα από τις δοκιμές και τις μετρήσεις στον αλγόριθμο της Περίπτωσης Α', είναι ότι η βέλτιστη λύση δίνεται από μια απλή δομή: το περιεχόμενο με την μεγαλύτερη ζήτηση θα αναπαράγεται σε όλους τους επεξεργαστές Φύλλα και στους Γονείς επεξεργαστές θα τοποθετούνται αντίγραφα του περιεχομένου το οποίο δεν έχει τόσο μεγάλη ζήτηση. Η βέλτιστη αυτή λύση επιτυγχάνεται μέσω μιας απλής άπληστης στρατηγικής, σύμφωνα με την οποία ο κάθε επεξεργαστής στοχεύει στην μεγιστοποίηση του τοπικού ποσοστού επιτυχίας του (hit rate), δηλαδή του κλάσματος που προκύπτει από την κίνηση που εξυπηρετείται από την κρυφή μνήμη διά τον αριθμό των αιτημάτων που λαμβάνει. Ο κάθε επεξεργαστής Φύλλο θα έχει στην κατοχή του το περιεχόμενο με την μεγαλύτερη ζήτηση κι έτσι ο Γονέας επεξεργαστής δεν θα λαμβάνει αιτήματα για το περιεχόμενο αυτό.

Σημαντικός προβληματισμός για τον οποίο επιφυλάσσεται μελλοντική έρευνα είναι η σχέση μεταξύ της συνεργατικής κρυφής μνήμης και του υπολογισμού της δημοτικότητας του περιεχομένου, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μια καθολική λύση για το πρόβλημα της Τοποθέτησης Περιεχομένου και να τεθούν βέλτιστα φράγματα όσον αφορά την απόδοση σε σχέση με τον χρόνο.

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη στρατηγική Τοποθέτησης Περιεχομένου στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, μπορούμε να αντιστοιχίσουμε τον Ριζικό επεξεργαστή με τον Αρχικό εξυπηρετητή, τους Γονείς επεξεργαστές με τους Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές και τους επεξεργαστές Φύλλα με τους χρήστες (end users) του δικτύου. Ο Αρχικός εξυπηρετητής, ο Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής, καθώς και οι επεξεργαστές που βρίσκονται οι χρήστες, έχουν αποθηκευτικό χώρο μνήμης. Επιπλέον, ισχύει ότι το κόστος μεταφοράς περιεχομένου από τον Αρχικό εξυπηρετητή προς των Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή είναι μεγαλύτερο από το κόστος μεταφοράς περιεχομένου από έναν Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή στον χρήστη.

Προσπαθώντας να μειώσουμε το κόστος μεταφοράς περιεχομένου, την υπερφόρτωση του δικτύου από την ανταλλαγή πληροφοριών, αλλά και την ελαχιστοποίηση των αιτημάτων προς τον Αρχικό εξυπηρετητή, θα πραγματοποιηθεί τοποθέτηση του περιεχομένου στους Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές με βάση τη ζήτηση του περιεχομένου. Συγκεκριμένα, το περιεχόμενο με την μεγαλύτερη ζήτηση θα προσκομίζεται στους Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές και το περιεχόμενο με τη λιγότερη ζήτηση θα παραμένει στον Αρχικό εξυπηρετητή, σύμφωνα με τον Τοπικό – Απλυστο Αλγόριθμο. Η απόφαση για την μετακίνηση αυτή θα λαμβάνεται τοπικά, έτσι ώστε να βελτιστοποιεί την απόδοση του συγκεκριμένου εξυπηρετητή. Επομένως, σε κάθε Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή θα βρίσκεται διαθέσιμο το περιεχόμενο με τη μεγαλύτερη ζήτηση και θα μεταφέρεται στους χρήστες, χωρίς να χρειάζεται να σταλεί το αίτημα στον Αρχικό εξυπηρετητή.

Με την ιδέα αυτή, θα μειωθεί η κινητικότητα στο δίκτυο και η χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης. Τα αιτήματα για προσκόμιση περιεχομένου από τον Αρχικό εξυπηρετητή θα μειωθούν σημαντικά, αφού το περιεχόμενο με τη μεγαλύτερη ζήτηση

θα βρίσκεται τοποθετημένο στους Αντιπροσωπευτικούς εξυπηρετητές. Ο παράγοντας της δημοτικότητας του περιεχομένου είναι σημαντικός για την τοποθέτηση του περιεχομένου στο δίκτυο και επηρεάζει την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων σε αυτό. Για παράδειγμα, εάν ο χρήστης αιτηθεί περιεχόμενο από τον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή το οποίο δεν υπάρχει, τότε ο Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής πρέπει να το προσκομίσει από τον Αρχικό εξυπηρετητή για να εξυπηρετήσει το αίτημα του χρήστη. Στη συνέχεια, ένας άλλος χρήστης ζητήσει το ίδιο περιεχόμενο από αυτόν τον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή, δεν θα χρειαστεί να το προσκομίσει από τον Αρχικό εξυπηρετητή, διότι το έχει ήδη αποθηκευμένο στην μνήμη του. Το περιεχόμενο αυτό όμως, αν δεν έχει αρκετή ζήτηση, τότε θα αντικατασταθεί στον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή από άλλο περιεχόμενο το οποίο έχει μεγαλύτερη ζήτηση.

4.1.3 Υποκατηγορία 3: Ασφάλεια Περιεχομένου

Καθοριστικός παράγοντας στην διαθεσιμότητα του περιεχομένου στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, αποτελεί η ασφάλεια του δεδομένων που διακινούνται αυτό. Σύμφωνα με τους Tanenbaum και Steen [53] (σελίδες 377-384), η ασφάλεια στα Κατανεμημένα Συστήματα χωρίζεται σε δυο μέρη: το ένα μέρος αφορά την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών ή των διαδικασιών στους διάφορους επεξεργαστές μέσω των καναλιών ασφαλείας (security channels) και της επικύρωσης (authentication), η οποία γίνεται με την ανταλλαγή μηνυμάτων και την ταυτοποίηση. Το δεύτερο μέρος αφορά τα δικαιώματα πρόσβασης που έχουν οι διαδικασίες στις πηγές περιεχομένου του Κατανεμημένου Συστήματος, λειτουργία η οποία επιτυγχάνεται μέσω της εξουσιοδότησης (authorization) και των μηχανισμών ελέγχου πρόσβασης.

Η ασφάλεια ενός συστήματος, συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία και την επεκτασιμότητα του συστήματος. Επιπλέον, σημαντικοί παράγοντες είναι και η εμπιστευτικότητα (confidentiality), δηλαδή οι πληροφορίες να διαμοιράζονται μόνο σε εξουσιοδοτημένα μέλη, και η ακεραιότητα (integrity), δηλαδή οποιεσδήποτε παρεμβάσεις στο σύστημα πρέπει να γίνονται μέσω εξουσιοδότησης. Ένα άλλο είδος ασφάλειας είναι η προστασία του συστήματος από οτιδήποτε μπορεί να βλάψει το σύστημα, όπως είναι η υποκλοπή, η διακοπή, η τροποποίηση, η σκευωρία (fabrication).

Προκειμένου να θεωρείται ένα σύστημα ασφαλές, πρέπει να διατηρεί μια πολιτική ασφαλείας (secure policy), η οποία καθορίζει τις ενέργειες που επιτρέπεται ή απαγορεύεται να πραγματοποιηθούν στο σύστημα, ποιοι χρήστες επιτρέπεται να διαπράξουν τις ενέργειες αυτές, τί είδους δεδομένα, υπηρεσίες και μηχανές επιτρέπεται να λαμβάνουν μέρος στο σύστημα. Ανάλογα με την πολιτική ασφαλείας, καθορίζονται και οι επιτρεπόμενοι μηχανισμοί ασφαλείας. Μερικοί σημαντικοί μηχανισμοί ασφαλείας είναι οι ακόλουθοι:

- **Κρυπτογράφηση (Encryption):** η διαδικασία αυτή μετατρέπει τα δεδομένα σε μορφή η οποία δεν μπορεί να γίνει κατανοητή σε έναν κακόβουλο χρήστη. Επιπλέον, ελέγχει εάν τα δεδομένα έχουν υποστεί κάποια τροποποίηση και υποστηρίζουν την εμπιστευτικότητα τους.
- **Επικύρωση:** η διαδικασία που χρησιμοποιείται για ταυτοποίηση του χρήστη, του εξυπηρετητή, ή οποιασδήποτε άλλης οντότητας σχετίζεται με το συγκεκριμένο σύστημα.
- **Εξουσιοδότηση:** ακολουθείται της διαδικασίας της επικύρωσης και ελέγχει εάν ο συγκεκριμένος χρήστης έχει εξουσιοδότηση για την συγκεκριμένη ενέργεια που αιτήθηκε.
- **Εργαλεία Ελέγχου:** χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μέτρων ασφάλειας που πρέπει να εφαρμοστούν, χωρίς όμως να παρέχουν αυτούσια προστασία ενάντια στις απειλές προς το σύστημα.

Τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, όπως γνωρίζουμε και από την δράση της Akamai [2], έχουν εδραιωθεί σε διάφορους τομείς, όπως είναι ο επιχειρηματικός, ο εμπορικός και ο τραπεζικός τομέας. Σε αυτούς τους τομείς, και όχι μόνο, οι μηχανισμοί για πρόσβαση στα δεδομένα αλλά και οι μηχανισμοί για συναλλαγές, είναι σημαντικό κομμάτι της δράσης των Δίκτυων Παράδοσης Περιεχομένου.

4.1.3.1 Προτεινόμενη Λύση: Αντιμετώπιση απατών χρησιμοποιώντας τον αριθμό προσβάσεων στο περιεχόμενο

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται εδώ συγκεκριμένα, αφορά την αδυναμία μηχανισμών προστασίας των περιεχομένων αυτών, αφού οι απάτες και οι υποκλοπές περιεχομένου είναι πλέον σύνηθες φαινόμενο. Στα σημερινά συστήματα που αφορούν συναλλαγές και μεταφορά περιεχομένου γίνεται μια κατανομή ρόλων. Οι μεγάλοι οργανισμοί και οι

εταιρίες που προσφέρουν τις υπηρεσίες αυτές δεν έχουν αυτούσια την δικαιοδοσία στους μηχανισμούς που να υποστηρίζουν αυτές τις συναλλαγές και μεταφορές, ή μπορεί να μην έχουν την δυνατότητα υποστήριξης τέτοιου είδους μηχανισμών. Επομένως, αναθέτουν αυτό το μέρος της διαδικασίας σε εταιρίες οι οποίες ειδικεύονται σε αυτόν τον τομέα και λειτουργούν ως μεσίτες περιεχομένου (data brokers).

Οι μεσίτες περιεχομένου, αναλαμβάνουν την συντήρηση εξυπηρετητών έτσι ώστε να ενισχύσουν την ποιότητα παράδοσης περιεχομένου, να διαχειρίζονται τα αιτήματα των χρηστών, να προσφέρουν εγγύηση ανωνυμίας και να υποστηρίζουν διάφορες μεθόδους πληρωμής ανάμεσα στις μεγάλες εταιρίες και οργανισμούς – εκδότες περιεχομένου (publishers) και τους χρήστες – πελάτες (clients) τους. Οι χρήστες – πελάτες δεν έρχονται ποτέ σε απευθείας επαφή με τους εκδότες περιεχομένου, παρά μόνο μέσω των μεσιτών περιεχομένου, που λειτουργούν ως ενδιάμεσοι. Παράδειγμα μεσιτών περιεχομένου αποτελεί και η Akamai, η οποία προσφέρει τις υπηρεσίες της για τους πιο πάνω σκοπούς.

Το κάθε Σύστημα Παράδοσης Περιεχομένου (Content Delivery System), αποτελείται από τους εκδότες περιεχομένου, τους μεσίτες περιεχομένου και τους χρήστες – πελάτες, και διασφαλίζει την ακεραιότητα των πληροφοριών που μεταφέρονται, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την ανωνυμία των χρηστών – πελατών του. Συγκεκριμένα, εγγυάται ότι το περιεχόμενο που θα παραδοθεί στον χρήστη – πελάτη είναι το ίδιο με αυτό που δόθηκε αρχικά από τον εκδότη περιεχομένου, και ότι δεν πρόκειται να διαρρεύσει οποιαδήποτε πληροφορία αφορά την ταυτότητα του χρήστη – πελάτη στον εκδότη. Το μοντέλο πληρωμών, το οποίο είναι μέρος αυτού του συστήματος και χρησιμοποιείται στην έρευνα αυτή, κατηγοριοποιείται ανάλογα με το είδος των μηχανισμών πληρωμής. Στο μοντέλο Δικαιούχου Μεσίτη περιεχομένου (broker-payee model), ο εκδότης πληρώνει τον μεσίτη ανάλογα με τον αριθμό προσβάσεων στο περιεχόμενο του. Στο μοντέλο Δικαιούχου Εκδότη περιεχομένου (publisher-payee model), ο μεσίτης πληρώνει προκαταβολικά ένα ποσό στον μεσίτη βάση τον αριθμό προσβάσεων στο περιεχόμενο. Το ποσό αυτό θεωρείται σαν ένα ποσοστό από τις συνολικές πληρωμές που θα πράξουν οι χρήστες – πελάτες προκειμένου να αποκτήσουν το περιεχόμενο που διατίθεται μέσω των μεσιτών.

Πρόβλημα

Το γεγονός που θέτει προβληματισμούς στην περίπτωση των μεσιτών περιεχομένου, είναι ότι απαιτείται από τους εκδότες να εμπιστεύονται τους μεσίτες, και αυτό δεν είναι δυνατόν να ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις αφού πολλές φορές οι μεσίτες δεν είναι αξιόπιστοι και επιμελής προς τις υποχρεώσεις και τις εγγυήσεις τους. Μέσα από την περιγραφή του μοντέλου πληρωμών, διαπιστώνει κανείς ότι η πληρωμή βασίζεται στον αριθμό των προσβάσεων των χρηστών-πελατών στο περιεχόμενο που διατίθεται. Επομένως, αυτό δίνει ένα κίνητρο στους μεσίτες να παρουσιάζουν στους εκδότες λανθασμένα νούμερα, έτσι ώστε να χρηματοδοτούνται περισσότερο. Δηλαδή, να αναφέρουν μεγαλύτερο αριθμό προσβάσεων στο περιεχόμενο ή μικρότερο αριθμό προσβάσεων στα δυο μοντέλα, αντίστοιχα. Σύμφωνα με δημοσιεύματα, μεγάλες εταιρίες, όπως η Google και η Yahoo, κατέθεσαν σημαντικούς ισχυρισμούς για απάτη (click fraud) [25].

Ακολουθώντας όσα αναφέρθηκαν, είναι φανερό η ανάγκη για δημιουργία πρωτοκόλλων ασφαλείας, τα οποία θα αντισταθούν στην αναπτυσσόμενη «βιομηχανία» των μεσιτών που προωθούν την απάτη. Προτείνεται μια λύση από μια ερευνητική ομάδα του University of California, Riverside [41], η οποία ανήκει στις εισηγήσεις και τις τεχνικές που προτάθηκαν μέχρι σήμερα για την καταπολέμηση του φαινομένου, και αφορά την παρουσίαση πρωτοκόλλων ασφαλείας. Η γενική ιδέα της λύσης τους, στηρίζεται στον αριθμό των προσβάσεων στο περιεχόμενο, ο οποίος δεν θα δίνεται μόνο μέσα από τα νούμερα που αναφέρουν οι μεσίτες περιεχομένου, αλλά θα προκύπτει και από τον αριθμό των προσβάσεων (click) στο περιεχόμενο αυτό. Δηλαδή, ο μεσίτης θα παρουσιάζει αναφορά στον εκδότη για την πρόσβαση στο ζητούμενο περιεχόμενο, και ο εκδότης με τη σειρά του θα επικυρώνει την αναφορά αυτή. Επιπλέον, σημαντικό μέρος της, αποτελεί η εγγύηση μυστικότητας (privacy), που επιτυγχάνεται μέσω της διατήρησης της ανωνυμίας του χρήστη – πελάτη, αφού η ταυτότητά του δεν θα αποκαλύπτεται στον εκδότη.

Περιγραφή Συστήματος

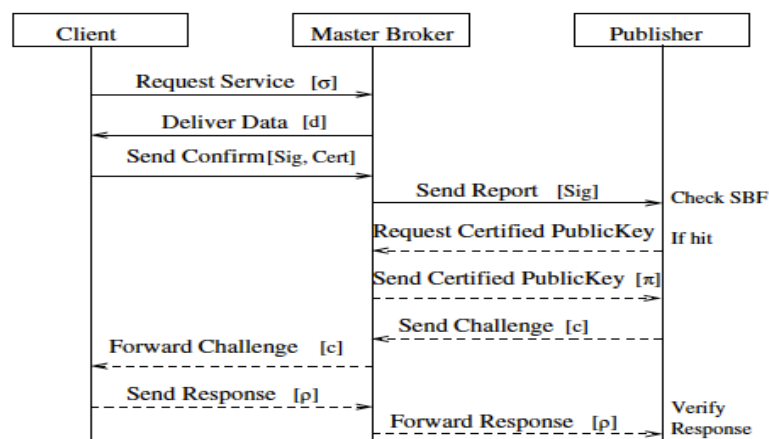
Σύμφωνα με την πρότασή τους, το σύστημα θα περιέχει ένα Σύστημα Διαχείρισης Κλειδιών (Key Management Service - KMS), το οποίο θα είναι υπεύθυνο για την

διαχείριση των κλειδιών. Θα αποτελείται επίσης, από τέσσερις βασικές λειτουργίες, οι οποίες θα διεκπεραιώνονται μέσω αντίστοιχων πρωτοκόλλων:

- i. **Εγγραφή – Πρωτόκολλο Εγγραφής:** επιτρέπει σε έναν χρήστη – πελάτη να εγγραφεί στο δίκτυο ενός μεσίτη περιεχομένου. Μετά από επιτυχημένη διαδικασία επικύρωσης και εγγραφής, δημιουργείται μια νέα εγγραφή με το αντίστοιχο κλειδί του χρήστη – πελάτη, ένα πιστοποιητικό της ταυτότητάς του και μια σημαία ανωνυμίας, η οποία παίρνει τιμή θετική (TRUE=1) αν ο χρήστης θέλει να είναι ορατή η ταυτότητά του. Οι εγγραφές αυτές είναι προσβάσιμες στους Μετά-μεσίτες περιεχομένου (Master data brokers).
- ii. **Δημοσίευση- Πρωτόκολλο Δημοσίευσης:** επιτρέπει στον εκδότη περιεχομένου να δημοσιεύσει ένα περιεχόμενο μέσω του δικτύου ενός μεσίτη περιεχομένου και δημιουργεί μια εγγραφή, η οποία περιέχει τις ταυτότητες του εκδότη, του περιεχομένου, τον αριθμό ζήτησης του περιεχομένου από τους χρήστες – πελάτες, την υπογραφή του εκδότη και το πιστοποιητικό για το κλειδί που δίνεται από το Σύστημα Διαχείρισης Κλειδιών.
- iii. **Πρόσβαση – Πρωτόκολλο Πρόσβασης:** επιτρέπει σε έναν καταχωρημένο χρήστη – πελάτη να ζητήσει και να αποκτήσει κάποιο περιεχόμενο από ένα συγκεκριμένο δίκτυο ενός μεσίτη. Μόλις γίνει η παράδοση του περιεχομένου, αυξάνεται ο μετρητής του αριθμού ζήτησης του περιεχομένου. Το πρωτόκολλο αυτό εγγυάται την ακεραιότητα των πληροφοριών, η οποία μπορεί να επιβεβαιωθεί και με την επικύρωση του κλειδιού στο πιστοποιητικό, και την διατήρηση της ανωνυμίας του χρήστη – πελάτη.
- iv. **Μέτρηση- Πρωτόκολλο Μετρήσεων:** επιτρέπει στον μεσίτη και τον εκδότη να συγκρίνουν μεταξύ τους τις τιμές των μετρητών τους, οι οποίοι παρουσιάζουν τον αριθμό ζήτησης του κάθε περιεχομένου.

Να σημειωθεί ότι η επικοινωνία μεταξύ χρήστη – μεσιτών και μεσιτών – εκδοτών γίνεται με ψηφιακές υπογραφές. Επιπλέον, πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος της αυθεντικότητας του πιστοποιητικού, για να μην είναι ψεύτικο, μέσω της ταυτοποίησης και σύγκρισης της υπογραφής των χρηστών – πελατών.

Όσον αφορά την Διατήρηση της Ακεραιότητας των Μετρήσεων, θα επιβάλλεται διαδικασία ποινής (Penalty) σε έναν αναξιόπιστο μεσίτη. Συγκεκριμένα, οι εκδότες θα πληρώνουν μόνο για τις επιβεβαιωμένες αναφορές, σύμφωνα με τον έλεγχο που γίνεται στα αιτήματα και τις απαντήσεις που στάλθηκαν. Επιπλέον, οι εκδότες θα ανταμείβουν τους χρήστες – πελάτες που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία ενημέρωσης αναφορών, δίνοντας με τον τρόπο αυτό ένα κίνητρο στους χρήστες – πελάτες. Προτείνεται ένα Σταθερά Αναπτυσσόμενο Φίλτρο (Stable Bloom Filter - SBF) για το μοντέλο Δικαιούχου Μεσίτη, έτσι ώστε να παρεμποδιστεί η πολλαπλή επανάληψη και η εξαπάτηση των αναφορών. Στο φίλτρο αυτό, ο κάθε εκδότης διατηρεί εγγραφές με τις υπογραφές που συλλέχθηκαν από τους μεσίτες, με σκοπό να ελέγχεται και να επιβεβαιώνεται ότι οι υπογραφές ταιριάζουν με τις αναφορές. Λεπτομερώς, η περιγραφή του φίλτρου δίνεται από το Ακολουθιακό Διάγραμμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 16.



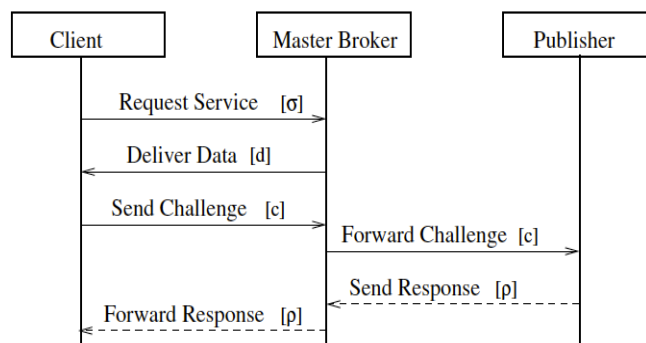
Σχήμα 16: Ακολουθιακό Διάγραμμα μοντέλο Δικαιούχου-Μεσίτη [41]

Λειτουργίες

Όταν ο εκδότης παραλάβει την αναφορά με την υπογραφή, εκτελεί διαδικασία επικύρωσης της υπογραφής για να διαπιστώσει εάν πράγματι αντιστοιχεί σε μια αναφορά η οποία ήδη υπάρχει. Αν η διαδικασία αυτή επιστρέψει ορθό αποτέλεσμα, τότε ο εκδότης μπορεί να θέσει την συγκεκριμένη αναφορά ως επαναλαμβανόμενη αναφορά, εάν οι παράμετροι του Φίλτρου για ψευδώς θετικό αποτέλεσμα είναι σχετικά μικροί. Αλλιώς, μπορεί να επιλέξει να εκτελέσει ένα πρωτόκολλο Πρόκλησης – Απόκρισης με τον χρήστη-πελάτη, για να ελέγξει αν ο έλεγχος που έγινε είναι όντως ορθός. Εάν η υπογραφή δεν αντιστοιχεί σε μια αναφορά που ήδη υπάρχει, τότε ο

εκδότης ελέγχει εάν η αναφορά είναι αυθεντική. Στο Φίλτρο εισάγονται και οι αυθεντικές και οι ψεύτικες αναφορές.

Στην περίπτωση του μοντέλου Δικαιούχου Εκδότη (Σχήμα 17), όπου ο μεσίτης αναφέρει μικρότερο αριθμό ζήτησης του περιεχομένου στον εκδότη για να του επιστρέψει λιγότερο ποσοστό πληρωμής, προτείνεται σύμφωνα με το Φίλτρο, να υπάρχει ένα υποσύνολο χρηστών – πελατών, οι οποίοι θα αναφέρουν στους εκδότες οποιοδήποτε αίτημα πραγματοποιήσουν, χωρίς ο μεσίτης να γνωρίζει ποιοι χρήστες – πελάτες ανήκουν στο υποσύνολο αυτό. Ο εκδότης, θέτει ένα περιθώριο απόκλισης από τον αριθμό που θα του παρουσιάσει στο τέλος ο μεσίτης, ανάλογα με το πλήθος των χρηστών – πελατών.



Σχήμα 17: Ακολουθιακό Διάγραμμα Δικαιούχου-Εκδότη [41]

Για την λειτουργία αυτή, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Πρόκλησης – Απόκρισης [41]. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο αυτό, ο μεσίτης προωθεί ρητά όλα τα μηνύματα ανάμεσα στον εκδότη και στο επιλεγμένο υποσύνολο χρηστών-πελατών, και το πρωτόκολλο παραμένει απαραβίαστο. Εμπρικλείει επικεφαλίδες στα δεδομένα μετά από διαδικασίες κρυπτογράφησης που αφορούν την ταυτότητα του περιεχομένου, διαδικασίες αποκρυπτογράφησης οι οποίες εξακριβώνουν την γνησιότητα των κρυπτογραφημένων στοιχείων που λήφθηκαν και διαδικασίες για την διατήρηση των πληροφοριών κατά την ανταλλαγή τους. Όλες αυτές πραγματοποιούνται χωρίς να χρειάζεται να δοθεί στον εκδότη η ταυτότητα κάποιου από τους χρήστες – πελάτες. Ο εκδότης μέσω αυτού του συνδυασμού λειτουργιών, μπορεί να εντοπίσει πιθανές απάτες προς το πρόσωπό του, ζητώντας επαλήθευση των στοιχείων που έλαβε και λαμβάνει τα ανάλογα μέτρα.

Στην περίπτωση που αναξιόπιστοι πελάτες συνωμοτούν με τους μεσίτες εναντίον των εκδοτών, το Φίλτρο αυτό δεν παρουσίασε μέχρι το παρόν στάδιο κάποιο μέτρο παρεμπόδισης. Υποστηρίζουν ότι με την ανταμοιβή των χρηστών – πελατών οι οποίοι είναι αξιόπιστοι, το ποσοστό αναξιόπιστων χρηστών – πελατών είναι αρκετά χαμηλό, χωρίς να αποκλείεται η πιθανότητα να υπάρχουν.

Συμπεράσματα

Η ασφάλεια περιεχομένου είναι ένας από τους παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου. Το παρόν παράδειγμα συστήματος, παρουσιάζει την ανάγκη ανοχής σφαλμάτων στα συστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την μεταφορά δεδομένων που αφορούν προσωπικά στοιχεία ή χρηματικές συναλλαγές. Είναι σημαντικό στα συστήματα αυτής της κατηγορίας να υπάρχει ασφάλεια, αξιοπιστία και εμπιστευτικότητα, προκειμένου να επιτρέπουν όσο το δυνατό λιγότερες κακόβουλες ενέργειες.

Το πρωτόκολλο ασφαλείας κατά της απάτης που προτείνεται διασφαλίζει την ακεραιότητα των πληροφοριών, διατηρεί την ανωνυμία των χρηστών – πελατών και εγγυάται μυστικότητα (privacy). Μπορεί να υιοθετηθεί στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου ειδικά όταν το δίκτυο έχει ως σκοπό του τη μεταφορά δεδομένων που αφορούν προσωπικά στοιχεία ή χρηματικές συναλλαγές. Η χρήση του θα διευκολύνει τον έλεγχο των κινήσεων τόσο των μεσιτών όσο και των εκδοτών περιεχομένου με απώτερο σκοπό να μειωθούν τα φαινόμενα απάτης. Ως συνεπακόλουθο, θα αυξάνεται η ασφάλεια και η αξιοπιστία στο δίκτυο.

4.2 Κατηγορία 2: Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά

Η Προσαρμοστική (adaptive) Συμπεριφορά στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, η οποία επιτρέπει στο δίκτυο να προσαρμόζεται ανάλογα με το περιεχόμενο, το περιβάλλον και τις απαιτήσεις του συστήματος ενισχύει την αξιοπιστία του συστήματος μειώνοντας τα σφάλματα, καθώς μπορεί να ανταπεξέλθει σε φαινόμενα όπως είναι η Ταυτόχρονη Προσπέλαση (flash crowd). Στην κατηγορία 2 παρουσιάζονται προτάσεις οι οποίες προτείνουν τρόπους έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να προσαρμόζεται μόνο του ανάλογα με την κάθε περίπτωση που αντιμετωπίζει (Αυτό-Προσαρμοζόμενο).

4.2.1 Προτεινόμενη Λύση 1: Πλαίσιο Εξυπηρέτησης Ετερογενούς Περιεχομένου

Μερικά χρόνια αργότερα από την παρουσίασης της πρωταρχικής ιδέας δημιουργίας Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου [1], συνεχίστηκε η έρευνα από το Imperial College London [30], όπου παρατηρήθηκε ότι οι ανάγκες για εξυπηρέτηση των αιτημάτων στον Παγκόσμιο Ιστό, ολοένα και αυξάνονται. Δεν αυξάνεται όμως μόνο ο αριθμός των αιτημάτων των χρηστών, αλλά διαφοροποιείται και το περιεχόμενο των δεδομένων τα οποία διακινούνται στο δίκτυο μέσω αυτών των αιτημάτων. Η πρώτη γενιά Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου εξυπηρετούσε δεδομένα με εικόνες, κείμενο, οπτικοακουστικό υλικό (video), και ροής (streaming). Πλέον, οι ιστοσελίδες (web pages) περιέχουν ετερογενές περιεχόμενο, δηλαδή με διαφορετικά χαρακτηριστικά, αλλά και εξατομικευμένο (personalized) περιεχόμενο, δυναμικό (dynamic) περιεχόμενο και εφαρμογές. Όλες αυτές οι πηγές έχουν μεταξύ τους διαφορετικά χαρακτηριστικά, χρήζουν διαφορετικής αντιμετώπισης και θέτουν διαφορετικές απαιτήσεις στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου. Επομένως, τίθεται το θέμα ανάγκης για προσαρμογή των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου στις προκείμενες αλλαγές και απαιτήσεις.

Η λύση στο πιο πάνω, σύμφωνα με την έρευνα του Imperial College London [30], δίνεται από την ενεργοποίηση της Αυτό-Προσαρμοστική (self-adaptive) συμπεριφοράς [31] στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου. Με τον όρο Αυτό-Προσαρμοζόμενο Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου, εννοούμε ότι το Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου αξιολογεί και προσαρμόζει την συμπεριφορά του όταν η αξιολόγηση δείχνει ότι το σύστημα δεν επιτελεί τον αρχικό του σκοπό ή όταν μπορεί να πετύχει καλύτερη λειτουργικότητα ή πιο δυνατή απόδοση. Στην έρευνα αυτή, προτείνεται ένα πλαίσιο για ανάπτυξη αυτής της συμπεριφοράς, έτσι ώστε να μπορεί το Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου να εξυπηρετεί ετερογενές περιεχόμενο και να αντιμετωπίζει προβλήματα, όπως την Ταυτόχρονη Προσπέλαση (flash crowd), ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων.

Το προτεινόμενο πλαίσιο αναπτύσσεται σε δυο άξονες:

Διαχωρισμός τύπου δεδομένων: Η Αυτό-Προσαρμοστική συμπεριφορά του Δικτύου Παράδοσης Περιεχομένου καθορίζεται από τον τρόπο που αξιοποιεί την χωρητικότητα της Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας (CPU) και το εύρος ζώνης του δικτύου. Αφού κάθε περιεχόμενο περιέχει τα δικά του χαρακτηριστικά, τα χαρακτηριστικά αυτά

ακολουθούν μια ιεραρχία και κληρονομούν κάποιες ιδιότητες. Με αυτόν τον συλλογισμό γίνεται ο διαχωρισμός.

Περιγραφή Αλληλεπίδρασης Συστατικών Δικτύου και Περιορισμοί Αρχιτεκτονικής Δικτύου: Η ενθυλάκωση της συμπεριφοράς του Δίκτυου Παράδοσης Περιεχομένου, η οποία γίνεται μετά τον διαχωρισμό των τύπων δεδομένων, προτείνει αρχικά την ύπαρξη μιας γλώσσας προγραμματισμού, η οποία θα μπορεί να περιγράφει την αλληλεπίδραση μεταξύ των συστατικών που αποτελούν το σύστημα, παραδείγματος χάρη να μπορεί να περιγράψει την συμπεριφορά του συστήματος για μια λειτουργία ενός ιστοχώρου όταν αυτό γίνεται προσαρμοζόμενο (adaptive). Αυτό όμως, είναι ανέφικτο διότι δεν μπορεί να προβλέπει το σύστημα προηγουμένως. Μετέπειτα, προτείνεται να τεθούν ορισμένοι περιορισμοί στην αρχιτεκτονική του συστήματος, οι οποίοι θα αφορούν τον τύπο του περιεχομένου. Μέχρι στιγμής, η καλύτερη υπάρχουσα λύση είναι ένα σύνολο κανόνων, το οποίο καθορίζει πώς διαχειρίζονται οι τύποι του περιεχομένου και πώς παρέχονται στο δίκτυο. Ο συνδυασμός των περιορισμών στην αρχιτεκτονική του συστήματος και του συνόλου των κανόνων, είναι ο τρόπος με τον οποίο θα επιτευχθεί η Αυτό-Προσαρμοστική συμπεριφορά του συστήματος.

Όσον αφορά την σχεδίαση αυτής της ιδέας, οι συγγραφείς του [30] προτείνουν οι πιο περίπλοκες διαδικασίες να βρίσκονται στα υψηλότερα επίπεδα του συστήματος. Σχετικά με τους κανόνες, οι οποίοι θα καθορίζουν την Αυτό-Προσαρμοστική συμπεριφορά του δικτύου, θα βασίζονται στην χρησιμοποίηση των διαφόρων τύπων περιεχομένου στον Παγκόσμιο Ιστό και στον καθολικό σκοπό διαχείρισής του. Η συμπεριφορά αυτή δεν καθορίζει συγκεκριμένη χρονική στιγμή που θα εκδηλώνεται στο δίκτυο, αλλά μπορεί να γίνεται όποτε το επιθυμεί ο ίδιος ο χρήστης ή όταν πραγματοποιείται ένα γεγονός.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η Αυτό-Προσαρμοστική συμπεριφορά των συστημάτων, δεν έχουν καθοριστεί συγκεκριμένες μετρικές. Πιθανές μετρικές είναι η ταχύτητα του δικτύου και την ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) που παρέχει το δίκτυο στους χρήστες. Η πρόταση για ανάπτυξη Αυτό-Προσαρμοστικής συμπεριφοράς στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου οδήγησε στην ανάπτυξη λογισμικών και συστημάτων που μπορούν να την υποστηρίξουν.

Συμπεράσματα

Η παρουσία της Αυτό-Προσαρμοστικής συμπεριφοράς κρίνεται αναγκαία διότι λόγω της αύξησης των αιτημάτων των χρηστών διαφοροποιείται και το περιεχόμενο των δεδομένων όσον αφορά τα χαρακτηριστικά και τον τρόπο που πρέπει να αντιμετωπιστεί από το σύστημα. Για να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα διαχειριστεί το περιεχόμενο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του χρειάζονται πρωτίστως, ο διαχωρισμός του περιεχομένου ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του και στη συνέχεια να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα διαχειρίζεται το περιεχόμενο ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων του. Επιπλέον, χρειάζεται να καθοριστεί και η συμπεριφορά του συστήματος για μια λειτουργία ανάλογα με τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν και ο τρόπος που θα συνεργαστούν τα συστατικά του δικτύου για την πραγματοποίηση της λειτουργίας αυτής. Η ύπαρξη της Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά προϋποθέτει ότι πρέπει να τεθούν περιορισμοί στο λειτουργικό και το αρχιτεκτονικό μέρος του δικτύου προκειμένου να μπορέσει να ανταπεξέλθει.

4.2.2 Προτεινόμενη Λύση 2: Ανάπτυξη Λογισμικού για Εφαρμογές Διαφορετικών Απαιτήσεων

Μια απόπειρα δημιουργίας ενός συστήματος που υποστηρίζει και προωθεί Αυτό-Προσαρμοστική συμπεριφορά, πραγματοποιήθηκε προηγουμένως, το 1999, από μια ομάδα του University of Illinois των Ηνωμένων Πολιτειών [32], στα πλαίσια των αναγκών του Jet Propulsion Laboratory της NASA, και ήταν μια από τις λίγες υλοποιημένες ιδέες της χρονικής περιόδου.

Η πρόταση τους, η οποία στη συνέχεια έγινε και πράξη, αφορούσε το Chameleon, ένα λογισμικό το οποίο προσαρμοζόταν έτσι ώστε να επιτρέπει σε εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις, να υποστηρίζονται ταυτόχρονα από το ίδιο περιβάλλον δικτύου. Δηλαδή χρησιμοποιούσε διάφορους μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων στο ίδιο περιβάλλον, έτσι ώστε να προσαρμόζονται οι εφαρμογές στις αλλαγές που παρουσιάζονταν διατηρώντας την διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία του δικτύου.

Περιγραφή Συστήματος

Τα κύρια συστατικά της υποδομής αυτής στηρίζονται στα ARMORs – Adaptive, Reconfigurable and Mobile Objects for Reliability, τα οποία ελέγχουν όλες τις

λειτουργίες που γίνονται στο περιβάλλον του Chameleon, και αποτελούνται από τις πιο κάτω ομάδες:

Διαχειριστές (Managers): Περιέχουν τον Διαχειριστή Ανεκτικότητας Σφαλμάτων (Fault Tolerance Manager - FTM) και τους Αντιπροσωπευτικούς Διαχειριστές (Surrogate Managers), οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την ανάκτηση του συστήματος από τα σφάλματα, αφού αυτοί εκτελούν τις στρατηγικές Ανεκτικότητας Σφαλμάτων.

Δαίμονες (Daemons): Είναι υπηρεσία του συστήματος σε κάθε κόμβο, δηλαδή πρόγραμμα το οποίο εκτελείται και δεν έχει διεπαφή. Επιτρέπουν την πρόσβαση στους κόμβους του δικτύου, υποστηρίζοντας την ανίχνευση λαθών και προβάλλουν τρόπους επικοινωνίας μεταξύ των μελών του δικτύου.

Κοινοί ARMORs (Common ARMORs): Υλοποιούν συγκεκριμένες τεχνικές έτσι ώστε να υποστηρίζεται η απαιτούμενη αξιοπιστία στις εφαρμογές του κάθε μέλους του δικτύου. Η αξιοπιστία αυτή αποδίδεται στην κάθε εφαρμογή μέσω των ARMORs, έτσι ώστε να καθίσταται πιο ευέλικτη η υλοποίηση. Οι μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων ενθυλακώνονται στα συστατικά των ARMORs, κι έτσι το Chameleon το μόνο που χρειάζεται να κάνει είναι να χρησιμοποιήσει τα συγκεκριμένα ARMORs για να επιτύχει το απαιτούμενο επίπεδο αξιοπιστίας.

Η τεχνολογία των ARMORs αποτελεί το μέσο του συστήματος με το οποίο επιτυγχάνεται η προσαρμοστική Ανεκτικότητα Σφαλμάτων (adaptive fault tolerance). Με τον όρο αυτό, εννοείται η ικανότητα του συστήματος να προσαρμόζεται δυναμικά στις απαιτήσεις της Ανεκτικότητας Σφαλμάτων μιας εφαρμογής, είτε στατικά είτε δυναμικά. Η ανάγκη για προσαρμογή προήλθε από την προοπτική διαχείρισης πόρων του συστήματος η οποία επιδίωκε κατά πρώτον την διαθεσιμότητα, δηλαδή έστω κι αν υπήρχε σφάλμα σε κάποιον κόμβο του δικτύου, οι υπηρεσίες του συστήματος θα παρέμεναν διαθέσιμες για τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Δεύτερον, την διαχείριση των αντιγράφων, δηλαδή επιτρέπει στον προγραμματιστή να καθορίσει την ποιότητα υπηρεσίας που αφορά κάθε αντίγραφο σύμφωνα με την διαθεσιμότητα και την απόδοση του συστήματος. Τρίτον, την Αντιγραφή περιεχομένου, η οποία πετυχαίνει καλύτερη απόδοση και διαθεσιμότητα.

Μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων

Η εκτέλεση του μηχανισμού Ανεκτικότητας Σφαλμάτων στο δίκτυο ξεκινά από τον Διαχειριστή Ανεκτικότητας Σφαλμάτων (FTM), ο οποίος έχει μια καθολική εικόνα του συστήματος και αποτελεί έναν κόμβο του δικτύου. Αυτός με τη σειρά του επικαλείται έναν Δαίμονα, ο οποίος θα διαχειρίζεται την επικοινωνία με τους γειτονικούς κόμβους και έναν ζωντανό ARMOR, ο οποίος ανιχνεύει τα σφάλματα των κόμβων αυτών. Στη συνέχεια, δημιουργεί έναν Εφεδρικό (Backup) FTM, ο οποίος λειτουργεί ως εφεδρικός FTM και σε περίπτωση σφάλματος, θέτει τον εαυτό του ως τον νέο FTM. Μόλις εγκαθιδρυθεί και ο Εφεδρικός FTM, θεωρείται πλέον ότι υπάρχει ένα σταθερό περιβάλλον Chameleon, το οποίο είναι έτοιμο να αποδεχθεί και να εξυπηρετήσει τα αιτήματα των χρηστών. Η σχεδίαση αυτή δείχνει ότι δεν υπάρχει στο περιβάλλον ένα μόνο σημείο σφάλματος (single point of failure).

Όσον αφορά την ανίχνευση σφαλμάτων και την ανάκτηση του συστήματος, τα σφάλματα αυτά μπορεί να ανιχνευθούν είτε στο υλικό, είτε στο λειτουργικό σύστημα, είτε στις εφαρμογές και μπορούν να επηρεάσουν την αξιοπιστία του συστήματος. Η ανίχνευση του σφάλματος γίνεται μέσω των μηνυμάτων ζωτικότητας (heartbeat messages), τα οποία στέλνονται περιοδικά σε κάθε Δαίμονα του δικτύου. Όταν δεν επιστραφεί απάντηση (acknowledgement) από έναν Δαίμονα, ενημερώνεται ο FTM για πιθανό σφάλμα στον συγκεκριμένο κόμβο. Αυτός με την σειρά του, ελέγχει αν είναι διαθέσιμος κάποιος από τους γειτονικούς κόμβους αυτού που κατέρρευσε, έτσι ώστε να αναλάβει αυτός την θέση του. Ακολούθως, ενημερώνονται όλοι οι διαχειριστές του δικτύου για τον εσφαλμένο κόμβο που υπάρχει. Σε επίπεδο εφαρμογών, μπορεί να συμβούν σφάλματα όπως είναι ο ξαφνικός τερματισμός της εφαρμογής, η παραγωγή λάθος αποτελεσμάτων μιας εφαρμογής που εκτελείται κανονικά ή η στάσιμη πρόοδος μιας εφαρμογής που οφείλεται σε λάθη τα οποία δεν μπορούν να ανιχνευθούν, παρά μόνο από μηχανισμούς διακοπής χρόνου (timeout). Σε αυτό το επίπεδο επιστρατεύεται ο Εκτελεστής (Execution) ARMOR, ο οποίος αναλαμβάνει να επανεκκινήσει την εφαρμογή από την τελευταία της ασφαλή κατάσταση (checkpoint).

Αξιολογώντας το πιο πάνω λογισμικό μέσα από πειράματα τα οποία πραγματοποίησαν σε ετερογενής υπολογιστικές μονάδες του University of Illinois, οι οποίες υποστήριζαν διαφορετικά λειτουργικά συστήματα (UNIX, Windows NT), κατέληξαν στο ότι οι μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να

εκτελεστούν από διαφορετικές εφαρμογές, χωρίς να γίνουν κάποιες επιπλέον αλλαγές. Επίσης, επιτυγχάνεται η δυναμική προσαρμογή στην αλλαγή των απαιτήσεων Ανεκτικότητας Σφαλμάτων μέσω των ARMORs που χρησιμοποιούνται, και υπάρχει ευελιξία όσων αφορά την χρησιμοποίηση των ίδιων κόμβων για ταυτόχρονη εκτέλεση εφαρμογών με διαφορετικές απαιτήσεις. Μέσα από τα πειράματα που έγιναν, αποδείχθηκε ότι η προσαρμογή γίνεται και στο περιβάλλον εκτέλεσης, αφού η εκτέλεση μπορεί να γίνει και σε ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από υπολογιστές οι οποίοι υποστηρίζουν διαφορετικά λειτουργικά συστήματα.

Με την συνεχή ανάπτυξη των συστημάτων και τις ραγδαίες αλλαγές που πραγματοποιούνταν, διαφοροποιούνται και οι απαιτήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν τα διάφορα σφάλματα. Συγκεκριμένα, τα μοντέρνα καταναμεμένα συστήματα υψηλής απόδοσης, αποτελούνται από αρκετά μεγάλο αριθμό επεξεργαστών, γεγονός που καθιστά πιο σημαντική την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων. Επιπλέον, σε ατομικό επίπεδο επεξεργαστών, τα μοντέρνα προγράμματα που χρησιμοποιούνται, απαιτούν για τους υπολογισμούς τους να είναι ανεκτικά στα σφάλματα, λόγω του ότι οι εφαρμογές αυτές έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε συγκρίσεις με παλαιότερες. Επομένως, η Ανεκτικότητα Σφαλμάτων απαιτείται να είναι μεγαλύτερη, και αναπόφευκτα να υποστηρίζεται η προσαρμοστική συμπεριφορά των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου στα διαφορετικά περιβάλλοντα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αξιοπιστία με λιγότερο κόστος απόδοσης (overhead).

Συμπεράσματα

Το προσαρμοστικό λογισμικό που χρησιμοποιεί τα εργαλεία ARMORs, υποστηρίζει δυνατούς μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, υποστηρίζοντας εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις και περιβάλλοντα. Για τον λόγο αυτό, μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό συστατικό των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου προκειμένου να ενισχυθεί η Ανεκτικότητα και η αντιμετώπιση σφαλμάτων. Επιπλέον, η ύπαρξη διαφορετικών περιβαλλόντων και εφαρμογών με διαφορετικές απαιτήσεις που υποστηρίζουν τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου καθιστούν αναγκαία την προσαρμογή προκειμένου να διαχειριστούν οι πόροι του δικτύου. Μέσω αυτής της διαχείρισης θα επιτύχουν διαθεσιμότητα και επιτυχή Αντιγραφή και διαχείριση του περιεχομένου.

Συγκεκριμένα, τα ARMORs, τα οποία ενθυλακώνουν αυτούς τους μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τους Διαχειριστές που φροντίζουν για τον συντονισμό των επεξεργαστών και την ανάκτηση από τα σφάλματα, τους Δαίμονες που αναλαμβάνουν την επικοινωνία στο δίκτυο και την ανίχνευση των σφαλμάτων και τους Κοινούς ARMORs οι οποίοι φροντίζουν για την αξιοπιστία των εφαρμογών. Ο συνδυασμός των τριών μπορεί να εφαρμοστεί στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου και να επιτευχθεί η απαιτούμενη αξιοπιστία. Δηλαδή, ο Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής μπορεί να λειτουργήσει ως Διαχειριστής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, ο οποίος γνωρίζει για το υπόλοιπο δίκτυο και είναι και ο ίδιος μέλος του δικτύου. Ο ίδιος ορίζει κάποιον άλλον εξυπηρετητή ως Εφεδρικό Διαχειριστή Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, έτσι ώστε να αναλάβει τη θέση του σε περίπτωση που ο ίδιος παρουσιάσει σφάλμα. Όσον αφορά τους Δαίμονες, σε κάθε επεξεργαστή του δικτύου θα υπάρχει αυτό το εργαλείο-υπηρεσία και θα διαχειρίζεται την επικοινωνία ανάμεσα στους επεξεργαστές. Ο κάθε επεξεργαστής θα έχει στη διάθεσή του και έναν ζωντανό ARMOR, ο οποίος θα λειτουργεί ως ανιχνευτής σφαλμάτων. Από τη στιγμή που στο δίκτυο θα υποστηρίζονται αυτές οι λειτουργίες, σημαίνει πως στο Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου υπάρχει ένα σταθερό περιβάλλον Chameleon και είναι έτοιμο να εξυπηρετήσει τα αιτήματα των χρηστών.

Κατά τη διαδικασία ανίχνευσης σφαλμάτων, μέσω της υπηρεσίας των Δαιμόνων, θα ανταλλάσσονται περιοδικά μηνύματα ζωτικότητας (heartbeat messages). Αν δεν ανταποκρίνεται η υπηρεσία από κάποιον επεξεργαστή, θα θεωρείται ότι παρουσιάζει σφάλμα και θα ενημερώνεται ο Αντιπροσωπευτικός εξυπηρετητής, ο οποίος θα αναζητήσει γειτονικούς επεξεργαστές του εσφαλμένου για να τον αντικαταστήσουν. Στην περίπτωση που ο εσφαλμένος επεξεργαστής είναι ο Αντιπροσωπευτικός, τότε ο αντικαταστάτης του θα είναι ο Εφεδρικός Διαχειριστής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων. Στη συνέχεια, θα ενημερωθούν και οι υπόλοιποι συμμετέχοντες στο δίκτυο για το σφάλμα που προέκυψε.

Συνοπτικά, το πλεονέκτημα στην περίπτωση αυτή είναι ότι οι μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν από διαφορετικές εφαρμογές, χωρίς να χρειαστεί οποιαδήποτε αλλαγή σε αυτούς, λόγω της προσαρμοστικότητας που υποστηρίζουν. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται λιγότερο κόστος για το δίκτυο και την υποδομή του. Επιπλέον, μέσω της προσαρμογής στην

διαχείριση των πόρων του συστήματος, οι υπηρεσίες του δικτύου θα συνεχίζουν να λειτουργούν κανονικά, ακόμα και στην παρουσία σφάλματος πετυχαίνοντας την απαιτούμενη διαθεσιμότητα. Η σωστή διαχείριση των αντιγράφων θα επιτύχει υψηλή απόδοση Υπηρεσιών Ποιότητας (Quality of Service), αφού εξαρτάται από τον παράγοντα της διαθεσιμότητας και της απόδοσης του δικτύου. Σημαντικό, είναι και το ότι δεν θα χρειαστεί οποιαδήποτε διαφοροποίηση στην υποδομή του δικτύου για την υιοθέτηση του μηχανισμού αυτού, αφού αυτό θα γίνει σε επίπεδο λογισμικού.

4.2.3 Προτεινόμενη Λύση 3: Πλαίσιο Συνεργασίας Διαφορετικών Μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων

Σύμφωνα με μια ομάδα από το MCIS Department του Jacksonville State University και το Department of Computer Science του University of Tennessee [14], οι περισσότεροι μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων δεν προσαρμόζονται με τα χαρακτηριστικά του συστήματος στο οποίο λειτουργούν, όπως είναι η χωρητικότητα της διαθέσιμης μνήμης και το εύρος ζώνης του δικτύου. Αυτό έχει αντίκτυπο στις εφαρμογές που εκτελούνται στα συστήματα αυτά, οι οποίες απαιτούν να επιτυγχάνεται Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, ενώ το σύστημα θα λειτουργεί με υψηλή απόδοση και χαμηλό κόστος (overhead) για επίτευξη Ανεκτικότητας Σφαλμάτων.

Βασισμένοι στο πρόβλημα που παρουσιάστηκε για προσαρμογή των μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων στα χαρακτηριστικά του συστήματος, οι συγγραφείς του [14] πρότειναν ένα νέο προτεινόμενο πλαίσιο, το οποίο υποστηρίζει την συνεργασία διαφορετικών μεταξύ τους μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων στις εφαρμογές, χρησιμοποιώντας *Προσαρμοστική Μέθοδο* [14]. Στο πλαίσιο αυτό, οι εφαρμογές έχουν την δυνατότητα να επιλέγουν το καλύτερο διαθέσιμο σχέδιο Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, έχοντας ως κριτήριο την ελαχιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης της ίδιας της εφαρμογής, σύμφωνα με τα διάφορα περιβάλλοντα (interfaces) συστημάτων που θα εκτελείται. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται ελέγχει τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής του δικτύου, όπως είναι για παράδειγμα ο αριθμός των διαθέσιμων επεξεργαστών, ο αποθηκευτικός χώρος μνήμης και ο διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος του τοπικού δίσκου, έτσι ώστε να καταλήξει στο βέλτιστο σχήμα Ανεκτικότητας Σφαλμάτων που θα χρησιμοποιήσει. Με την υιοθέτηση αυτού του σχήματος, οι εφαρμογές προσαρμόζονται

και θα είναι ικανές να αντεπεξέρχονται σε πιθανά σφάλματα των επεξεργαστών, έχοντας ταυτόχρονα χαμηλό κόστος απόδοσης.

Η δημιουργία του σχεδίου αυτού στηρίχτηκε σε ήδη υπάρχουσες τεχνικές Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, όπως είναι τα Σημεία ελέγχου και επαναφοράς αποκατάστασης (Checkpoints & Rollback Recovery) [35], όμως διαφοροποιείται ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχει ο κάθε μηχανισμός Ανεκτικότητας Σφαλμάτων. Τα διαφορετικά σχήματα Ανεκτικότητας Σφαλμάτων απαιτούν διαφορετικούς πόρους. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διάρκεια του σχεδιασμού εφαρμογής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι ο δημιουργός του δεν μπορεί να γνωρίζει εξ αρχής τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος της πλατφόρμας στην οποία θα εκτελεστεί η εφαρμογή αυτή. Επομένως μια Αυτό-Προσαρμοστική εφαρμογή ενός τέτοιου σχεδίου, θα πρέπει να μπορεί να διακρίνει τις πληροφορίες του συστήματος κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης. Τα χαρακτηριστικά τα οποία χρειάζεται προκειμένου να αποφασιστεί το Σημείο Ελέγχου είναι τα ακόλουθα:

- Ο αριθμός των διαθέσιμων επεξεργαστών
- Το ποσοστό διαθέσιμης μνήμης
- Το ποσοστό διαθέσιμου τοπικού χώρου σε κάθε επεξεργαστή
- Αν υπάρχει κεντρικό διαθέσιμο Αποθηκευτικό Δέντρο Αποτυχιών (Fail Tree Storage)
- Το Εισερχόμενο/Εξερχόμενο εύρος ζώνης (I/O Bandwidth) στον τοπικό δίσκο του κάθε επεξεργαστή
- Το Εύρος Ζώνης του δικτύου
- Ο ενδιάμεσος χρόνος σφαλμάτων (Mean-Time-Between-Failures - MTBF) του κάθε συστήματος

Το σχέδιο αυτό υποστηρίζει ότι λαμβάνοντας την απόφαση την ώρα της εκτέλεσης, σχετικά με το σχήμα Ανεκτικότητας Σφαλμάτων που θα χρησιμοποιηθεί, έχουμε την ευχέρεια να γνωρίζουμε περισσότερες πληροφορίες για την πλατφόρμα στην οποία θα εκτελεστεί η εφαρμογή κι έτσι δίνεται η ευκαιρία για την λήψη της καλύτερης απόφασης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση. Επιπλέον, οι εφαρμογές οι οποίες θα χρησιμοποιούν τη μέθοδο αυτή, θα είναι σε θέση να

αντιμετωπίσουν τυχόν σφάλματα που προκύπτουν στους επεξεργαστές του συστήματος, χρησιμοποιώντας πολύ χαμηλό κόστος απόδοσης.

Συμπεράσματα

Σχετικά με τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, τα οποία εξυπηρετούν εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις, λειτουργίες και περιεχόμενο, αυτό το πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να υποστηρίζονται διαφορετικοί μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων και να αντιμετωπίζουν πιο αποτελεσματικά τα σφάλματα που προκύπτουν. Η υποδομή του συγκεκριμένου σχεδίου απαιτεί μεγάλο κόστος υλοποίησης, αφού θα χρειαστεί να υποστηρίζονται αρκετοί μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων σε αυτό. Επίσης, όταν αυξάνεται ο αριθμός των επεξεργαστών που συμμετέχουν στο δίκτυο, η υλοποίηση της ιδέας αυτής γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη, λόγω του ότι αυξάνονται και οι απαιτήσεις και οι προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιούνται όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του κάθε περιβάλλοντος. Ακόμη, ορισμένα χαρακτηριστικά είναι απαραίτητα να γίνουν γνωστά προκειμένου να καθοριστεί το σημείο Ελέγχου και υπάρχουν και άλλα χαρακτηριστικά, τα οποία είναι δυναμικά, δηλαδή δεν είναι σταθερά, αλλά διαφοροποιούνται ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις της.

Η υποστήριξη πολλαπλών μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων θα αυξήσει την αξιοπιστία και την ευρωστία του δικτύου, αφού θα μειωθεί ο αριθμός των σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν. Αυτό θα συμβεί λόγω του ότι θα επιλέγεται ο καταλληλότερος μηχανισμός Ανεκτικότητας Σφαλμάτων για να αντιμετωπιστεί ένα σφάλμα σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό διότι στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου υπάρχουν πολλές διαφορετικές εφαρμογές, οι οποίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, και διαφορετικές απαιτήσεις. Επομένως, όταν παρουσιαστεί κάποιο σφάλμα σε αυτές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής και του περιβάλλοντος στο οποίο εκτελείται, θα επιλεγεί ο καταλληλότερος μηχανισμός για να αντιμετωπιστεί το σφάλμα. Αυτό καθιστά την αντιμετώπιση σφαλμάτων πιο αποτελεσματική και αντίστοιχα επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση και μειώνεται το κόστος για την διαδικασία αντιμετώπισης σφαλμάτων, έστω κι αν το κόστος υποστήριξης ενός τέτοιου σχεδίου με μεγάλες απαιτήσεις είναι αρκετά μεγάλο.

4.3 Σύγκριση Κατηγοριών

Σε αυτή τη μελέτη παρουσιάστηκαν προτάσεις για την Αντιμετώπιση των Σφαλμάτων στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου που αφορούν την ενίσχυση της Διαθεσιμότητας του Περιεχομένου και την ανάπτυξη της Αυτό-Προσαρμοστικής συμπεριφοράς. Για την κάθε ιδέα παρουσιάστηκαν αντίστοιχα προτάσεις που αφορούν την χρήση αλγορίθμων, τον καθορισμό περιορισμών, την υιοθέτηση αποτελεσματικών στρατηγικών και την ανάπτυξη πλαισίων για εφαρμογές, τα οποία θα ενισχύσουν τους μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, έτσι ώστε τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου να είναι πιο αποδοτικά και αξιόπιστα στην λειτουργία τους απέναντι στους χρήστες.

Συνοψίζοντας τις προτάσεις κάθε κατηγορίας, θα πραγματοποιήσουμε μια σύγκριση μεταξύ τους για να διαπιστώσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Η σύγκριση αυτή γίνεται με άξονα την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας της κάθε πρότασης, κατά πόσο ενισχύει την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων και αν μπορεί να γίνει εφαρμόσιμη και να υιοθετηθεί στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου. Επιπλέον, θα μελετήσουμε το ενδεχόμενο να συνδυάσουμε μερικές από τις προτεινόμενες λύσεις.

Αρχικά, θα συγκρίνουμε τις προτάσεις που αφορούν τη Διαθεσιμότητα του περιεχομένου, οι οποίες παρουσιάζουν λύσεις για την Αντιγραφή του περιεχομένου και στη συνέχεια για τη διαδικασία τοποθέτησής του στους διασκορπισμένους εξυπηρετητές του δικτύου. Στη συνέχεια, θα συγκρίνουμε τις προτάσεις σχετικά με την ανάπτυξη της Αυτό-Προσαρμοστικής συμπεριφοράς, πρώτον όσον αφορά την εξυπηρέτηση ετερογενούς περιεχομένου και κατά δεύτερον την συνύπαρξη διαφορετικών μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων στο δίκτυο.

4.3.1 Σύγκριση Προτάσεων Κατηγορίας 1

Στην Κατηγορία 1 που αφορούσε τη Διαθεσιμότητα του περιεχομένου, παρουσιάστηκαν τρόποι σύμφωνα με τους οποίους επιτυγχάνεται Ανεκτικότητα Σφαλμάτων μέσω της Διαθεσιμότητας περιεχομένου. Οι προτάσεις αυτές αφορούσαν τη δημιουργία ενός συστήματος Κατανεμημένου Αποθηκευτικού χώρου SKUTE και την υπηρεσία EdgeComputing της Akamai, τα οποία σχετίζονται με την Αντιγραφή Περιεχομένου. Όσον αφορά την Τοποθέτηση Περιεχομένου, παρουσιάστηκε ένας

Γεωγραφικός Αλγόριθμος, μια Ευρετική Προσέγγιση και Αλγόριθμοι με χρήση Συνεργατικής Κρυφής Μνήμης.

4.3.1.1 Σύγκριση Συστήματος Κατανεμημένου Αποθηκευτικού χώρου SKUTE – Υπηρεσία EdgeComputing Akamai

Το σύστημα SKUTE αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση. Δημιουργήθηκε για να τοποθετεί τα αντίγραφα στους γεωγραφικά κατανεμημένους επεξεργαστές, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα σφάλματος που χαρακτηρίζει τον κάθε επεξεργαστή. Επομένως, στην περίπτωση αυτή διαδραματίζει ρόλο η αξιοπιστία του κάθε επεξεργαστή και λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς και την επιλογή του. Η καινοτομία του στηρίζεται στο ότι εντάσσει την έννοια του κέρδους στο δίκτυο, το οποίο προέρχεται από το κόστος ενοικίασης των αντιγράφων στον κάθε επεξεργαστή.

Η υπηρεσία EdgeComputing της Akamai υποστηρίζει προσωρινή αποθήκευση των στατικών δεδομένων των ιστοσελίδων στους εξυπηρετητές που βρίσκονται στο άκρο του δικτύου, στην πιο κοντινή απόσταση από τους χρήστες. Οι εξυπηρετητές που βρίσκονται στο άκρο, είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία και την εξυπηρέτηση των αιτημάτων των χρηστών και έχουν στη διάθεσή τους ένα Σύστημα Αντιγραφής Περιεχομένου, το οποίο δημιουργεί αντίγραφα στους ακρινούς εξυπηρετητές και στους επεξεργαστές που ανήκουν στη συγκεκριμένη ομάδα των ακρινών εξυπηρετητών.

Διαθεσιμότητα Περιεχομένου

Η διαθεσιμότητα στο SKUTE στοχεύει στο κόστος παροχής της υπηρεσίας εξυπηρέτησης, στον χρόνο απόκρισης του αιτήματος και στην ελαχιστοποίηση του εύρους ζώνης και του αποθηκευτικού χώρου του δικτύου. Επιπλέον, προωθεί την γεωγραφική κατανομή των αντιγράφων στους επεξεργαστές, φροντίζοντας όμως η κατανομή αυτή να είναι δίκαιη χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό της Εξισορρόπησης Φορτίου (Load Balancing). Δηλαδή, η κατανομή γίνεται με βάση τον μέγιστο αριθμό αιτημάτων που μπορεί να υποστηρίξει ο κάθε επεξεργαστής, αλλά και τον διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο που διαθέτει.

Η υπηρεσία EdgeComputing της Akamai στοχεύει στην μείωση της καθυστέρησης μεταφοράς περιεχομένου, στον γρήγορο χρόνο εξυπηρέτησης του αιτήματος και στην

επεκτασιμότητα του δικτύου. Χρησιμοποιεί επίσης τον μηχανισμό της Εξισορρόπησης Φορτίου για να επιτύχει δίκαιη και αποτελεσματική κατανομή των αιτημάτων στο δίκτυο. Εγγυάται για την κάθε ομάδα εξυπηρετητών άκρου ότι θα γίνεται εσωτερικά σωστή κατανομή του φορτίου αιτημάτων και επιπλέον εγγυάται ότι για όλες τις ομάδες εξυπηρετητών άκρου θα κατανέμεται το φορτίο σε διαφορετικές εφαρμογές για να μην μείνει μια από τις ομάδες χωρίς διαθέσιμη χωρητικότητα. Η διαδικασία κατανομής του περιεχομένου στηρίζει τη λειτουργία της στο Σύστημα Ονομάτων Τομέα – DNS, το οποίο φροντίζει να κατευθύνει το περιεχόμενο ανάλογα με τον εξυπηρετητή που θα είναι ο προορισμός του.

Αντιγραφή Περιεχομένου

Στο σύστημα SKUTE η απόφαση για Αντιγραφή Περιεχομένου λαμβάνεται ανάλογα με το κόστος του αιτήματος, το κόστος ενοικίασης αποθηκευτικού χώρου και την μετέπειτα συντήρηση των αντιγράφων. Η διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου σχετίζεται με τη γεωγραφική θέση των επεξεργαστών που θα έχουν στην κατοχή τους τα αντίγραφα. Υπολογίζεται μέσω μιας συνάρτησης η διαθεσιμότητα του περιεχομένου σε κάποιον από τους εξυπηρετητές του συστήματος και σε περίπτωση που είναι κάτω από το ορισμένο ελάχιστο επίπεδο, μεταφέρεται σε κάποιο νέο εξυπηρετητή ο οποίος επιλέγεται με κριτήρια το κόστος ενοικίασης του αποθηκευτικού χώρου και τη μέση απόσταση από τους χρήστες. Σημαντικό σημείο αποτελεί το ότι η απόφαση για Αντιγραφή Περιεχομένου και για την αργότερα μετακίνησή του αποφασίζει ο Εικονικός κόμβος, ο οποίος είναι ανεξάρτητος, δηλαδή αποφασίζουν τοπικά για την βέλτιστη λύση και όχι για την καθολική βελτιστοποίηση του συστήματος.

Στην υπηρεσία EdgeComputing της Akamai η Αντιγραφή Περιεχομένου πραγματοποιείται από το Σύστημα Αντιγραφής Περιεχομένου, το οποίο υποστηρίζεται από τους εξυπηρετητές του άκρου. Αρχικά, δημιουργούνται αντίγραφα του περιεχομένου στο σύνολο των εξυπηρετητών του άκρου και στη συνέχεια δημιουργούνται αντίγραφα στους εξυπηρετητές που υποστηρίζει μια ομάδα ενός εξυπηρετητή του άκρου. Το περιεχόμενο αντιγράφεται στην τοπική μνήμη του επεξεργαστή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί έπειτα από την υπηρεσία EdgeComputing. Ο λόγος που επιλέγεται αυτή η διαδικασία είναι για να υπάρχει διαθέσιμο το περιεχόμενο όσο πιο κοντά γίνεται στον χρήστη και να μειωθεί η καθυστέρηση

προσκόμισης και μεταφοράς του περιεχομένου. Έκτος αυτού, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και στην επεκτασιμότητα του δικτύου.

Ανεκτικότητα Σφαλμάτων

Και οι δυο προαναφερθείσες προτάσεις υποστηρίζουν δυνατούς μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, όπως άλλωστε προβάλλεται και από την υψηλή διαθεσιμότητα περιεχομένου την οποία παρέχουν. Το σύστημα SKUTE καθίσταται ανεκτικό στα σφάλματα μέσω του μηχανισμού Αντιγραφής και Μεταφοράς του Περιεχομένου. Συγκεκριμένα, όταν παρουσιαστεί σφάλμα εντοπίζεται από τον Εικονικό κόμβο ο οποίος στην προσπάθειά του να αντικαταστήσει στο σύστημα τους επεξεργαστές που επηρεάζονται από τον εσφαλμένο εξυπηρετητή ξεκινά τη διαδικασία Αντιγραφής και Μεταφοράς του περιεχομένου, ελέγχοντας το όριο της διαθεσιμότητας έτσι ώστε να πάρει την απόφαση για τη βέλτιστη λύση.

Η υπηρεσία EdgeComputing της Akamai στηρίζει την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων της στο Σύστημα Χαρτογράφησης, το οποίο αποτελεί από μόνο του μια πλατφόρμα Ανεκτικότητας Σφαλμάτων αφού όταν εντοπίσει ένα σφάλμα στο δίκτυο, το υπόλοιπο σύστημα συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά χωρίς να επηρεαστεί. Είναι υπεύθυνο για την καθοδήγηση (mapping) του περιεχομένου στο δίκτυο και όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο ή παρουσιαστεί σφάλμα στην μεταφορά του περιεχομένου, τότε επαναλαμβάνει την διαδικασία αυτή ανάλογα με τα νέα δεδομένα (remapping). Όσον αφορά τα σφάλματα που προκύπτουν από την αποτυχία ικανοποίησης του αιτήματος του χρήστη, εάν ο εξυπηρετητής του άκρου δεν διαθέτει το περιεχόμενο που ζήτησε ο χρήστης, αναλαμβάνει να το προσκομίσει από τον Αρχικό εξυπηρετητή ή από κάποιον άλλον εξυπηρετητή του άκρου και να εξυπηρετήσει τον χρήστη.

Τόσο το σύστημα SKUTE όσο και η υπηρεσία EdgeComputing της Akamai, υποστηρίζουν μηχανισμούς Εξισορρόπησης Φορτίου (load balancing), οι οποίοι ενισχύουν στην κάθε περίπτωση το σύστημα στην Ανεκτικότητα Σφαλμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι μέσω της αποτελεσματικής κατανομής των αιτημάτων στους εξυπηρετητές, αποφεύγεται η συμφόρηση του δικτύου και η υπερφόρτωση των εξυπηρετητών η οποία θα είχε ως αποτέλεσμα την ανικανότητα τους να εξυπηρετήσουν τα αιτήματα των χρηστών. Έκτος αυτού, με την Εξισορρόπηση Φορτίου επιτυγχάνεται

και αποτελεσματική κατανομή του αποθηκευτικού χώρου των εξυπηρετητών στο δίκτυο.

Συμπεράσματα

Αναλύοντας τις λειτουργίες της κάθε πρότασης ξεχωριστά, συμπεραίνουμε ότι ο σκοπός τους είναι κοινός. Δηλαδή, και οι δυο επιδιώκουν γρήγορη εξυπηρέτηση των αιτημάτων των χρηστών του δικτύου, συνεχή διαθεσιμότητα του περιεχομένου και μείωση της καθυστέρησης στην μεταφορά του περιεχομένου προς τους χρήστες, έτσι ώστε το δίκτυο να είναι αποδοτικό και αξιόπιστο. Δίνουν έμφαση στην γεωγραφική θέση των αντιγράφων του περιεχομένου και στηρίζουν σε αυτό την επίτευξη Ανεκτικότητας Σφαλμάτων. Αφενός η υπηρεσία EdgeComputing της Akamai φροντίζει να αντιγράφει το περιεχόμενο στους εξυπηρετητές του άκρου, σε κοντινή απόσταση από τους χρήστες της, αφετέρου το σύστημα SKUTE φροντίζει ανάλογα με τη διαθεσιμότητα να μεταφέρει το περιεχόμενο σε επεξεργαστές που είναι σχετικά κοντά στους χρήστες και έχουν χαμηλό κόστος ενοικίασης αποθηκευτικού χώρου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και στις δυο περιπτώσεις διαθεσιμότητα μέσω της γεωγραφικής κατανομής των αντιγράφων του περιεχομένου.

Όσον αφορά το κόστος της λειτουργίας της κάθε πρότασης, στην περίπτωση του συστήματος SKUTE ενεργοποιείται ένας μηχανισμός στηριζόμενος σε υπολογισμούς για την οικονομική διαχείριση των αποθηκευτικών πόρων του δικτύου και του κόστους ενοικίασης τους, οι οποίοι επηρεάζονται από τη διαδικασία Αντιγραφής Περιεχομένου. Πάρολ' αυτά, απαιτεί υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω της μεταφοράς του περιεχομένου σε έναν καταλληλότερο από πλευράς διαθεσιμότητας επεξεργαστή, και των εκτελέσεων επιπρόσθετων διαδικασιών σε περίπτωση παρουσίας σφάλματος στο δίκτυο. Από την πλευρά της υπηρεσίας EdgeComputing της Akamai απαιτεί μεγάλο κόστος συντήρησης αντιγράφων σε τόσο μεγάλο αριθμό εξυπηρετητών προκειμένου το περιεχόμενο να είναι διαθέσιμο και όσο πιο κοντά γίνεται στον χρήστη. Αν και επιτυγχάνεται επεκτασιμότητα στο δίκτυο, οι καθυστερήσεις επικοινωνίας και μεταφοράς του περιεχομένου μειώνονται και η ενημέρωση των αλλαγών στο περιεχόμενο είναι γρήγορη, ενώ το κόστος για τη συντήρηση των αντιγράφων σε μεγάλο πλήθος εξυπηρετητών παραμένει υψηλό.

Συμπερασματικά, το σύστημα SKUTE και η υπηρεσία EdgeComputing της Akamai επιτυγχάνουν μέγιστη αξιοποίηση του περιεχομένου από τις εφαρμογές, λόγω της διαθεσιμότητας που παρέχουν λόγω της γεωγραφικής κατανομής των αντιγράφων στους επεξεργαστές. Επομένως το δίκτυο και στις δυο περιπτώσεις είναι πιο αποδοτικό και αξιόπιστο.

4.3.1.2 Σύγκριση Γεωγραφικού Αλγόριθμου-Ευρετικής Προσέγγισης και Αλγόριθμων με χρήση Συνεργατικής Κρυφής Μνήμης

Άμεσα εξαρτημένη από την Τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου, είναι και η Τοποθέτηση και Κατανομή των αντιγράφων στο δίκτυο. Σύμφωνα με το πρόβλημα Τοποθέτησης Περιεχομένου, ο στόχος που τίθεται στα συστήματα Παράδοσης Περιεχομένου, είναι η μεταφορά να πραγματοποιείται με το ελάχιστο κόστος και να χρησιμοποιείται αποδοτικά η χωρητικότητα του δικτύου.

Ο Γεωγραφικός Αλγόριθμος προτάθηκε για τις υπηρεσίες Ομαδικής επικοινωνίας (Group Communication Services - GCS) όπου παρατηρείται συμμετοχή μεγάλου αριθμού χρηστών και παρουσιάζονται προβλήματα όπως είναι η υπερφόρτωση της υπηρεσίας από την ανταλλαγή μηνυμάτων στο δίκτυο και τα σφάλματα από τις διακοπές στις διαδρομές μετάδοσης περιεχομένου. Ο Γεωγραφικός Αλγόριθμος πραγματοποιεί Αντιγραφή Περιεχομένου και βασίζεται στην τοποθεσία του περιεχομένου, ενώ ταυτόχρονα διαθέτει και ένα σχέδιο γρήγορης αποκατάστασης της υπηρεσίας Ομαδικής επικοινωνίας όταν προκύψει σφάλμα.

Η Ευρετική Προσέγγιση αφορά την παρουσίαση μιας μαθηματικής διατύπωσης, στην στατική εκδοχή του προβλήματος, για τη διαχείριση των αιτημάτων και του περιεχομένου, θέτοντας περιορισμούς στην Ποιότητα Υπηρεσιών, στη χωρητικότητα του δικτύου και τη φόρτωση του περιεχομένου. Παρουσιάζονται ευρετικά τα οποία στηρίζονται στη μαθηματική αυτή διατύπωση και έχουν σκοπό την εύρεση αποδοτικής λύσης για την επιλογή της τοποθέτησης του περιεχομένου στους επεξεργαστές του δικτύου στην ενεργή εκδοχή του προβλήματος.

Οι Αλγόριθμοι που στηρίζονται στην χρήση της Συνεργατικής Κρυφής Μνήμης αφορούν τη διαχείριση του μεγάλου όγκου περιεχομένου από την κρυφή μνήμη των επεξεργαστών, έτσι ώστε να μειώνεται το εύρος ζώνης του δικτύου. Χρησιμοποιώντας

Ιεραρχικές κρυφές μνήμες, επιλέγουν να τοποθετηθεί το περιεχόμενο σε διάφορα επίπεδα του δικτύου προκειμένου να μειωθεί η απόσταση ανάκτησης του περιεχομένου.

Τοποθέτηση Περιεχομένου

Σύμφωνα με τον Γεωγραφικό Αλγόριθμο, τα αντίγραφα επιλέγεται να τοποθετούνται σε Γειτονικούς και Συντομευμένους επεξεργαστές, και όχι σε επεξεργαστές που ανήκουν στην ίδια συστάδα. Προτιμάται ο τρόπος αυτός, έτσι ώστε όταν καταρρεύσει κάποιος επεξεργαστής και το δίκτυο διαιρεθεί δημιουργώντας άλλα υποδίκτυα (islands), το περιεχόμενο να είναι διαθέσιμο. Επιπλέον, η τοποθεσία των αντιγράφων έχει καθοριστικό ρόλο στην απόφαση για Αντιγραφή Περιεχομένου, αφού η διαδικασία Αντιγραφής δεν πραγματοποιείται μετά από αίτημα του χρήστη, αλλά ανάλογα με την τοποθεσία που βρίσκονται, και ταυτόχρονα ενισχύει την επεκτασιμότητα του δικτύου.

Η Ευρετική Προσέγγιση παρουσιάζει αρχικά μια μαθηματική διατύπωση η οποία καθορίζει φράγματα όταν στο πρόβλημα είναι γνωστές οι πληροφορίες για τα κόστη και τα αιτήματα για την διαχείριση και την διαδικασία των αιτημάτων και του περιεχομένου. Έχοντας ως θεμέλιο λίθο την μαθηματική αυτή διατύπωση παρουσιάζουν ευρετικά για την τοποθέτηση του περιεχομένου στο δίκτυο. Σύμφωνα με το άπληστο ευρετικό HC, το περιεχόμενο που έχει τη μεγαλύτερη ζήτηση, σύμφωνα με τα αιτήματα των χρηστών, τοποθετείται σε κάθε επεξεργαστή, ενώ το περιεχόμενο με τη λιγότερη ζήτηση απομακρύνεται από τον επεξεργαστή.

Όσον αφορά τους Αλγόριθμους που χρησιμοποιούν Συνεργατική Κρυφή Μνήμη, τοποθετούνται τα αντίγραφα του περιεχομένου στις κρυφές μνήμες που βρίσκονται σε διάφορα επίπεδα του δικτύου. Σύμφωνα με τον Άπληστο Αλγόριθμο απομακρύνεται από τον επεξεργαστή το περιεχόμενο με την μικρότερη ζήτηση και στη θέση του τοποθετείται άλλο περιεχόμενο με μεγαλύτερη ζήτηση. Επιπλέον το περιεχόμενο προσκομίζεται τη δεδομένη στιγμή ανάλογα με τη ζήτηση και αν αυτό χρειαστεί, και όχι από προηγουμένως. Ο δεύτερος αλγόριθμος, ο Γενικός Άπληστος Αλγόριθμος τοποθετεί με την ίδια λογική το περιεχόμενο με τη διαφορά ότι γνωρίζει την καθολική χρησιμότητα του περιεχομένου στο δίκτυο έπειτα από ανταλλαγή πληροφοριών και τοποθετείται έτσι ώστε να αυξάνει την καθολική χρησιμότητα του δικτύου.

Ανεκτικότητα Σφαλμάτων

Σκοπός των τριών προτάσεων που αναφέρθηκαν είναι η επιλογή της Τοποθέτησης του Περιεχομένου να ενισχύει την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων στο δίκτυο. Στην περίπτωση του Γεωγραφικού Αλγόριθμου, όταν ένας επεξεργαστής καταρρεύσει και προκύψουν υποδίκτυα επεξεργαστών, ενεργοποιείται το σχέδιο αποκατάστασης σφαλμάτων σύμφωνα με το οποίο αναζητείται νέος επεξεργαστής να αναλάβει το υποδίκτυο. Αυτός προέρχεται από τους Γειτονικούς επεξεργαστές του εσφαλμένου επεξεργαστή, γεγονός που καθιστά γρήγορη την αποκατάσταση και αποφεύγει την καθυστέρηση εύρεσης νέου επεξεργαστή το οποίο είναι μείζονος σημασίας για τις εφαρμογές ζωντανού χρόνου (real-time). Αν το σφάλμα προκύψει από τη διαδρομή μεταφοράς του περιεχομένου, τότε σύμφωνα με το σχέδιο αποκατάστασης σφαλμάτων εντοπίζεται νέα διαδρομή που αποτελείται από ζωντανούς επεξεργαστές και αντικαθιστά τον εσφαλμένο, έχοντας ως κριτήριο την διαθεσιμότητα του να δεχθεί άλλα αντίγραφα αλλά και την απόσταση που έχει από τον εσφαλμένο επεξεργαστή.

Στις περιπτώσεις της Ευρετικής Προσέγγισης και των Αλγορίθμων με χρήση Συνεργατικών Κρυφών Μνήμων, η επιλογή τοποθέτησης του περιεχομένου με τη μεγαλύτερη ζήτηση στους επεξεργαστές ευνοεί το κόστος προσκόμισης και μεταφοράς αντιγράφων ανάμεσα στους επεξεργαστές. Από τη μια πλευρά, τοποθετώντας το περιεχόμενο με τη μεγαλύτερη ζήτηση στους επεξεργαστές σημαίνει πως οι πιθανότητες να ζητηθεί το περιεχόμενο από κάποιον χρήστη και να μην υπάρχει στον επεξεργαστή είναι λιγότερες, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται και το κόστος της επαναλαμβανόμενης προσκόμισης του περιεχομένου που ζητείται περισσότερο από τον Αρχικό εξυπηρετητή. Από την άλλη πλευρά, το δίκτυο επιβαρύνεται με κόστος όταν το περιεχόμενο χρειάζεται να απομακρυνθεί ή να προσκομιστεί στους επεξεργαστές. Συγκρίνοντας τις δυο περιπτώσεις, το κόστος είναι μεγαλύτερο από την επαναλαμβανόμενη προσκόμιση του περιεχομένου με τη μεγαλύτερη ζήτηση. Το γεγονός αυτό μειώνει τα σφάλματα αποτυχίας εξυπηρέτησης των χρηστών του δικτύου.

Συμπεράσματα

Παρατηρώντας και τις προτεινόμενες λύσεις, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η επιλογή της τοποθεσίας του περιεχομένου εξαρτάται από τη ζήτηση που έχει στους χρήστες. Συγκεκριμένα, η Ευρετική Προσέγγιση και οι Αλγόριθμοι με τη χρήση

Συνεργατικής Κρυφής Μνήμης επιλέγουν να τοποθετήσουν το περιεχόμενο με τη μεγαλύτερη ζήτηση στους επεξεργαστές ανάλογα με τα αιτήματα των χρηστών, ενώ ταυτόχρονα να απομακρύνουν από τους επεξεργαστές το περιεχόμενο με τη λιγότερη ζήτηση. Η κίνηση αυτή μειώνει την απόσταση ανάκτησης περιεχομένου και κατ' επέκταση τις καθυστερήσεις και την χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης του δικτύου, αφού πλέον το περιεχόμενο βρίσκεται αποθηκευμένο στους επεξεργαστές.

Όσον αφορά την πρόταση του Γεωγραφικού Αλγόριθμου, ενισχύει την επεκτασιμότητα του δικτύου, το καθιστά πιο ευέλικτο και μειώνει το κόστος από την Αντιγραφή του Περιεχομένου, αφού αυτή πλέον γίνεται κατ' επιλογή και σε συγκεκριμένα υποσύνολα επεξεργαστών. Επίσης, καθιστά το δίκτυο ανεκτικό στα σφάλματα, λόγω του γρήγορου σχεδίου αποκατάστασης σφαλμάτων που διαθέτει, ενώ ταυτόχρονα μειώνονται και οι καθυστερήσεις και η υπερφόρτωση του δικτύου.

Παρόλ' αυτά, απαιτείται μεγάλο κόστος στη λειτουργία του δικτύου για τον υπολογισμό των αναγκών και της ζήτησης του περιεχομένου από τους χρήστες. Ειδικά όσον αφορά την Ευρετική Προσέγγιση, απαιτούνται περίπλοκοι υπολογισμοί που προκύπτουν από τη συλλογή μελλοντικών δεδομένων. Έκτος από το κόστος λειτουργίας υψηλό είναι και το κόστος επικοινωνίας, αφού απαιτείται πως για τον Γεωγραφικό Αλγόριθμο κυρίως να υπάρχει συνεχής ενημέρωση σχετικά με του Γειτονικούς επεξεργαστές ενός επεξεργαστή του δικτύου. Σε ορισμένες περιπτώσεις το κόστος αυτό αντισταθμίζεται με το κόστος που έχει το δίκτυο όταν παρουσιάζονται σφάλματα και καθυστερήσεις. Σημαντικό σημείο αποτελεί το γεγονός ότι μέσω των προτεινόμενων αυτών λύσεων το δίκτυο γίνεται πιο αποδοτικό και αξιόπιστο.

4.3.1.3 Συνδυασμός Προτεινόμενων Λύσεων Κατηγορίας 1

Η Κατηγορία 1 αποτελείται από προτάσεις οι οποίες αφορούν τη χρήση του Πλεονασμού, συγκεκριμένα της Αντιγραφής Περιεχομένου, και την διαδικασία Τοποθέτησης Περιεχομένου στους επεξεργαστές προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή Ανεκτικότητα Σφαλμάτων στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου. Ήδη μέσα από την παρουσίαση των προτεινόμενων λύσεων που αφορούν την Αντιγραφή Περιεχομένου, βλ. Κεφάλαιο 4, Υποκατηγορία 1, εμπεριέχουν προτάσεις σχετικά με την Τοποθέτηση των αντιγράφων του περιεχομένου στους διασκορπισμένους επεξεργαστές του δικτύου.

Αυτό συνεπάγεται ότι η Αντιγραφή και η Τοποθέτηση Περιεχομένου είναι δυνατόν να συνδυαστούν έτσι ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα στην αντιμετώπιση των σφαλμάτων του δικτύου.

Σύμφωνα με το Υποκεφάλαιο 2.4, η Ανεκτικότητα Σφαλμάτων στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία, την ασφάλεια και τη συντηρησιμότητα. Είναι εφικτό συνδυάζοντας τους μηχανισμούς Αντιγραφής και Τοποθέτησης Περιεχομένου να επιτευχθούν οι προαναφερθέντες παράγοντες και επομένως η επιθυμητή Ανεκτικότητα Σφαλμάτων. Αυτό για να πραγματοποιηθεί χρειάζεται να γίνεται αποδοτική Αντιγραφή Περιεχομένου, δηλαδή με το ελάχιστο κόστος για το δίκτυο, και μετέπειτα τα αντίγραφα που προκύπτουν να τοποθετούνται στους εξυπηρετητές του δικτύου με κριτήρια την μεταφορά με ελάχιστο κόστος και την αποδοτική αξιοποίηση της χωρητικότητας του δικτύου.

Κατά την Αντιγραφή Περιεχομένου, μπορεί να συνδυαστεί η προσωρινή αποθήκευση των αντιγράφων στους εξυπηρετητές του άκρου, όσο πιο κοντά στον χρήστη, όπως πράττει η υπηρεσία EdgeComputing της Akamai, και η χρήση της συνάρτησης διαθεσιμότητας του SKUTE, η οποία αν δεν ικανοποιεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο μεταφέρεται το περιεχόμενο σε έναν νέο επεξεργαστή, λαμβάνοντας υπόψιν την πιθανότητα σφάλματος των επεξεργαστών. Επομένως, βασικό κριτήριο είναι η τοποθεσία των χρηστών και έτσι θα επιλέγονται εξυπηρετητές του άκρου για την αποθήκευση των αντιγράφων, οι οποίοι θα έχουν μικρή πιθανότητας σφάλματος, και αν κριθεί αναγκαίο από τη συνάρτηση διαθεσιμότητας το περιεχόμενο θα μεταφερθεί σε άλλους ακρινούς επεξεργαστές που είναι καταλληλότεροι. Αυτό, σύμφωνα με τον Γεωγραφικό Αλγόριθμο ο οποίος πραγματοποιεί αντιγραφή περιεχομένου σύμφωνα με την τοποθεσία των χρηστών, συμβάλλει και στην επεκτασιμότητα του δικτύου, έκτος από την επίτευξη Ανεκτικότητας Σφαλμάτων.

Ένα επιπλέον κριτήριο που μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο για την επιλογή τοποθέτησης του περιεχομένου των αντιγράφων είναι η ζήτηση του περιεχομένου, σύμφωνα με τα Ευρετικά και τους Αλγορίθμους με χρήση Συνεργατικής Κρυφής Μνήμης. Επομένως, όπως υπάρχει συνάρτηση διαθεσιμότητας στο SKUTE, μπορεί να υπάρξει αντίστοιχη συνάρτηση ζήτησης, σύμφωνα με την οποία θα ελέγχεται ανά τακτά

χρονικά διαστήματα η ζήτηση του περιεχομένου που τοποθετήθηκε στους εξυπηρετητές των άκρων με την μικρότερη πιθανότητα σφάλματος. Αν σύμφωνα με τη συνάρτηση η ζήτηση είναι μικρή, θα μεταφέρεται το περιεχόμενο σε κάποιον άλλον εξυπηρετητή του άκρου με εξίσου μικρή πιθανότητα σφάλματος, αλλιώς αν η ζήτηση του περιεχομένου είναι μεγάλη τότε αυτό θα μεταφέρεται σε όλους τους εξυπηρετητές άκρου.

Βάσει των εισηγήσεων αυτών, θα μειωθεί το κόστος προσκόμισης και μεταφοράς στο δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα θα γίνεται καλύτερη χρήση της χωρητικότητας του δικτύου αφού θα πραγματοποιείται αποδοτική Αντιγραφή Περιεχομένου. Συνεπακόλουθα, θα μειωθούν τα σφάλματα στο δίκτυο και θα καταστεί πιο ανεκτικό στα σφάλματα.

4.3.2 Σύγκριση Προτάσεων Κατηγορίας 2

Στην Κατηγορία 2 παρουσιάστηκαν προτάσεις σύμφωνα με τις οποίες τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου θα μπορούσαν να αποκτήσουν Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά, θέτοντας περιορισμούς σε λειτουργικό και αρχιτεκτονικό επίπεδο. Οι προτάσεις αυτές αφορούσαν την εισαγωγή Πλαισίου Εξυπηρέτησης ετερογενούς περιεχομένου, την ανάπτυξη Λογισμικού για εφαρμογές διαφορετικών απαιτήσεων και ένα πλαίσιο συνεργασίας διαφορετικών μηχανισμών.

4.3.2.1 Σύγκριση Πλαισίου Εξυπηρέτησης ετερογενούς περιεχομένου-Λογισμικού εφαρμογών διαφορετικών απαιτήσεων-Πλαισίου συνεργασίας διαφορετικών μηχανισμών

Το πλαίσιο εξυπηρέτησης ετερογενούς περιεχομένου απαρτίζεται από δυο σημεία: τον διαχωρισμό του τύπου δεδομένων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του περιεχομένου και ένα σύνολο κανόνων το οποίο αποτελείται από μια γλώσσα προγραμματισμού που περιγράφει τη σχέση μεταξύ των συστατικών του δικτύου και περιορισμούς που αφορούν την αρχιτεκτονική σχεδίαση για τον τύπο περιεχομένου.

Το λογισμικό για εφαρμογές διαφορετικών απαιτήσεων Chameleon, φροντίζει για την προσαρμογή των εφαρμογών που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις έτσι ώστε να υποστηρίζονται από το ίδιο περιβάλλον δικτύου. Χρησιμοποιεί τα εργαλεία ARMORs τα οποία λειτουργούν ανάλογα για τη διαχείριση των πόρων και των υπηρεσιών του συστήματος και υλοποιούν δυνατούς μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων.

Το πλαίσιο συνεργασίας διαφορετικών μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων δίνει την ευκαιρία στις εφαρμογές να επιλέξουν τον καταλληλότερο μηχανισμό Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις τους και το περιβάλλον που εκτελούνται, έτσι ώστε να εκτελούνται σε ελάχιστο χρόνο.

Ανεκτικότητα Σφαλμάτων

Οι τρεις προαναφερθείσες λύσεις υποστηρίζουν ότι η ανάπτυξη Αυτό-Προσαρμοστικής Συμπεριφοράς θα ενισχύσει την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, καθώς θα προσαρμόζονται ανάλογα οι εφαρμογές με το περιεχόμενο, τις απαιτήσεις και τα περιβάλλοντα λειτουργίας του συστήματος που εκτελούνται, επιλέγοντας τον πιο κατάλληλο μηχανισμό για αντιμετώπιση των σφαλμάτων. Επομένως, θα μειωθεί ο αριθμός των σφαλμάτων που θα προκύψουν στο δίκτυο, αυξάνοντας την αξιοπιστία και την απόδοσή του.

Τα δυο πλαίσια που προτείνονται για εξυπηρέτηση ετερογενούς περιεχομένου και για συνύπαρξη διαφορετικών μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, στηρίζουν την απόφαση επιλογής τους αντίστοιχα στον τύπο του περιεχομένου και τις ιδιότητες του, και στα χαρακτηριστικά του συστήματος όπως είναι ο αποθηκευτικός χώρος μνήμης, ο αριθμός των διαθέσιμων επεξεργαστών και ο διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος στον τοπικό δίσκο. Το πλαίσιο εξυπηρέτησης ετερογενούς περιεχομένου χρειάζεται να γνωρίζει προηγουμένως της συμπεριφορά του συστήματος προκειμένου να καθορίσει πώς θα προσαρμοστεί, γεγονός που είναι ανέφικτο να πραγματοποιηθεί γιατί χρειάζεται πρόβλεψη. Επιπλέον, η απόφαση για ανάπτυξη της προσαρμογής λαμβάνεται οποιαδήποτε χρονική στιγμή επιλέξει το ίδιο το σύστημα. Από την άλλη, το πλαίσιο συνεργασίας διαφορετικών μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων λαμβάνει την απόφαση για επιλογή του καταλληλότερου μηχανισμού ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος που εκτελείται η εφαρμογή και η απόφαση αυτή λαμβάνεται την ώρα της εκτέλεσης της εφαρμογής έτσι ώστε να παρθεί η καλύτερη και πιο αποδοτική απόφαση.

Το λογισμικό Chameleon οφείλει την παροχή υψηλής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων στα εργαλεία των ARMORs. Συγκεκριμένα, τα εργαλεία αυτά λειτουργούν ώστε να εγκαθιδρυθεί το περιβάλλον ασφαλείας που είναι έτοιμο να ανταπεξέλθει στα

σφάλματα. Τα σφάλματα εντοπίζονται από τους Δαίμονες, οι οποίοι ανταλλάζουν παροδικά μηνύματα ζωτικότητας στο δίκτυο. Αν δεν υπάρχει ανταπόκριση από έναν από αυτούς τότε θεωρείται πως υπάρχει σφάλμα και ενημερώνεται ο Διαχειριστής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων-FTM. Αυτός με τη σειρά του προσπαθεί να εντοπίσει έναν γειτονικό επεξεργαστή του εσφαλμένου για να τον αντικαταστήσει. Στην περίπτωση που ο ίδιος ο Διαχειριστής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων-FTM παρουσιάσει σφάλμα, τότε θα τον αντικαταστήσει ο Εφεδρικός Διαχειριστής Ανεκτικότητας Σφαλμάτων-Backup FTM, ο οποίος δημιουργήθηκε κατά την διαδικασία εγκαθίδρυσης του περιβάλλοντος ασφαλείας.

Συμπεράσματα

Η ικανότητα του συστήματος να προσαρμόζεται στις ιδιότητες και τις απαιτήσεις του περιεχομένου, αλλά και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος αποτελεί σημαντικό σημείο για την αντιμετώπιση των σφαλμάτων που παρουσιάζονται στο δίκτυο. Αξιολογώντας τις προτεινόμενες λύσεις συμπεραίνουμε ότι είναι δύσκολη η υλοποίηση μηχανισμών προσαρμογής, ενώ ταυτόχρονα κοστίζει αρκετά στο σύστημα. Θεωρείται όμως απαραίτητη, λόγω της αύξησης των τύπων περιεχομένου που υποστηρίζουν πλέον τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου και της ανάγκης για συνύπαρξη διαφορετικών μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων, προκειμένου να αντεπεξέρχονται πιο αποδοτικά στα σφάλματα.

4.3.2.2 Συνδυασμός Προτεινόμενων Λύσεων Κατηγορίας 2

Σύμφωνα με τις προτάσεις που αφορούν την ανάπτυξη Αυτό-Προσαρμοστικής Συμπεριφοράς στην Κατηγορία 2, μπορούμε να συνδυάσουμε τα όσα προτείνουν προκειμένου να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο, το οποίο θα είναι σε θέση να υποστηρίζει διαφορετικούς μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων και επιπλέον να μπορεί να επιλέξει ποιος είναι ο καταλληλότερος μηχανισμός Ανεκτικότητας Σφαλμάτων για τις προδιαγραφές ενός συγκεκριμένου δικτύου. Επιπλέον, το πλαίσιο αυτό να προσαρμόζεται ανάλογα με τον τύπο και τα χαρακτηριστικά του περιεχομένου, αλλά και των αναγκών και απαιτήσεων των εφαρμογών του δικτύου. Στην περίπτωση που επιτευχθεί αυτό θα επιτευχθεί και η απαιτούμενη διαθεσιμότητα, αξιοπιστία, ασφάλεια και συντηρησιμότητα στο δίκτυο, που είναι και οι παράγοντες που συμβάλλουν στην Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, σύμφωνα με το Υποκεφάλαιο 2.4.

Κατά τη δική μας άποψη, είναι δύσκολη η υλοποίηση αυτού του πλαισίου, καθώς απαιτεί προηγούμενη γνώση σχετικά με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις των δεδομένων και των εφαρμογών. Αυτό γίνεται πιο απαιτητικό όσο αυξάνεται ο όγκος του περιεχομένου που διακινείται στο διαδίκτυο και ταυτόχρονα αυξάνονται και οι διαφοροποιήσεις του περιεχομένου. Έκτος αυτού, χρειάζεται να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες για να συνδυαστούν για να μπορεί να δημιουργηθεί αυτό το πλαίσιο.

4.3.3 Συνδυασμός Προτεινόμενων Λύσεων Κατηγοριών 1 και 2

Μετά από την ανάλυση των προτεινόμενων λύσεων των δυο κατηγοριών, την μεταξύ τους σύγκριση και τον συνδυασμό της κάθε κατηγορίας, θα εξετάσουμε το ενδεχόμενο να συνδυαστούν μεταξύ τους οι λύσεις των δυο κατηγοριών, δηλαδή της Διαθεσιμότητας Περιεχομένου και της Αυτό-Προσαρμοστικής Συμπεριφοράς. Στόχος της ενέργειας αυτής είναι να συνδυαστούν οι βέλτιστες λύσεις μεταξύ τους, έτσι ώστε να πετύχουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου.

Όσον αφορά τη Διαθεσιμότητα Περιεχομένου, οι εισηγήσεις που έγιναν, δηλαδή η δημιουργία των αντιγράφων και κατ' επέκταση η επιλογή τοποθέτησης τους στους επεξεργαστές, αφορούν τη λειτουργία του δικτύου. Συγκεκριμένα, η επιλογή αντιγραφής να πραγματοποιείται σύμφωνα με το ελάχιστο κόστος λειτουργίας για το δίκτυο και η τοποθέτηση των αντιγράφων να γίνεται σύμφωνα με το ελάχιστο κόστος μεταφοράς τοποθετώντας τα αντίγραφα στους ακρινούς επεξεργαστές, την αξιοποίηση της χωρητικότητας του δικτύου και τη ζήτηση του περιεχομένου από τους χρήστες. Οι προτάσεις αυτές δεν προνοούν κάποιο περιορισμό για το είδος του περιεχομένου ή δεν περιορίζουν τις επιλογές για χρησιμοποίηση συγκεκριμένων δικτύων. Αντίθετα, είναι δυνατόν να εφαρμοστούν και να λειτουργήσουν σε οποιοδήποτε Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου με οποιοδήποτε είδους περιεχόμενο.

Όσον αφορά την Αυτό-Προσαρμοστική Συμπεριφορά, οι εισηγήσεις που έγιναν αφορούν την αρχιτεκτονική και την υποδομή του δικτύου. Δηλαδή, προκειμένου να εγκαθιδρυθεί ένα πλαίσιο που να υποστηρίζει διαφόρων ειδών μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων και να προσαρμόζει τη συμπεριφορά του ανάλογα με τον τύπο και τις απαιτήσεις του περιεχομένου, χρειάζεται να γίνει πρόνοια και να πραγματοποιηθούν αλλαγές στην υποδομή του δικτύου. Επιπλέον, θέτει περιορισμούς

στον τύπο του περιεχομένου που θα υποστηρίζει το δίκτυο και ταυτόχρονα δεν μπορεί να υποστηρίξει το πλαίσιο αυτό οποιοδήποτε δίκτυο χωρίς να υπάρξουν οι απαραίτητοι περιορισμοί.

Συμπερασματικά, ο συνδυασμός των προτάσεων των δυο κατηγοριών αντικρούεται. Παρόλο που η κάθε κατηγορία ανεξάρτητα παρέχει υψηλή Ανοχή Σφαλμάτων και αυξημένη διαθεσιμότητα του περιεχομένου στους χρήστες του δικτύου, δεν μπορούν να συνυπάρξουν στο ίδιο δίκτυο όλες οι προτάσεις λόγω των περιορισμών που υπάρχουν. Επομένως, δεν θα λειτουργήσουν θετικά για την ευρωστία του δικτύου, αλλά η πολυπλοκότητα αυτή θα δημιουργήσει περισσότερα προβλήματα στο ίδιο το δίκτυο.

4.3.4 Ανοικτά Προβλήματα

Μέσα από την μελέτη που πραγματοποιήσαμε, έγιναν αντιληπτά σημαντικά προβλήματα που παρουσιάζονται στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχόμενα. Αρχικά, υπάρχει το πρόβλημα της διαχείρισης του μεγάλου όγκου δεδομένων και της αντίστοιχα μεγάλης ζήτησης που προκύπτει από τον αυξανόμενο αριθμό των χρηστών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται προβληματισμοί που αφορούν τα θέματα ασφάλειας στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, το οποίο είναι μείζονος σημασίας καθώς τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου χρησιμοποιούνται και για διαδικτυακές συναλλαγές και μεταφορά προσωπικών δεδομένων. Επίσης, σημαντικός προβληματισμός υπάρχει και για την επιλογή της τοποθεσίας των αντιγράφων περιεχομένου τα οποία κατανέμονται στο δίκτυο. Τα προαναφερθέντα προβλήματα επηρεάζουν την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, καθώς προσπαθούν να διαχειριστούν οι παράγοντες της ζήτησης, του αριθμού των χρηστών, της ασφάλειας και της τοποθεσίας των αντιγράφων προκειμένου να καταστεί το δίκτυο ανεκτικό στα σφάλματα και κατ' επέκταση αξιόπιστο και αποδοτικό.

Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει πάντοτε το περιθώριο βελτίωσης της ήδη υπάρχουσας κατάστασης. Σχετικά με το πρόβλημα της διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων, αφενός αυξάνονται οι χρήστες του δικτύου και αφετέρου αυξάνεται και το περιεχόμενο που διακινείται σε αυτό. Η αύξηση αυτή δεν μπορεί να είναι ούτε προβλέψιμη, ούτε διαχειρίσιμη. Γενικά, όπως προτείνουν μέσα από την έρευνά τους οι συγγραφείς του [3] σχετικά με τις τεχνολογίες περιεχομένου σε ομότιμα δίκτυα σε δίκτυα όπου συμμετέχει

ένας μεγάλος αριθμός χρηστών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σημαντικοί παράγοντες, όπως είναι η διαχείριση των πόρων, η διαθεσιμότητα των δεδομένων και η συμπεριφορά των χρηστών. Ήδη η διαθεσιμότητα των δεδομένων επιτυγχάνεται επιτυχώς με την τεχνική Αντιγραφής Περιεχομένου. Προτείνεται επιπλέον η τεχνική της Ομαδοποίησης, η οποία υποστηρίζει τον διαχωρισμό των δεδομένων σε ομάδες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που θέτουν οι επεξεργαστές. Η δημιουργία ομάδων θα διευκολύνει την αναζήτηση, την εύρεση και την πρόσβαση στα δεδομένα. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου δεν αναπαράγεται μόνο το περιεχόμενο ενός επεξεργαστή, αλλά ολόκληρος ο επεξεργαστής. Συγκεκριμένα, όταν ο αριθμός των κόμβων είναι μεγάλος, μπορεί να υπάρξουν κόμβοι οι οποίοι είναι οι ίδιοι αλλά με διαφορετική ταυτότητα και βοηθούν στην εξυπηρέτηση των αιτημάτων έτσι ώστε να αυξάνεται η διαθεσιμότητα. Σχετικά με την διαχείριση των πόρων, συνδέεται με το άλυτο πρόβλημα της διαχείρισης του μεγάλου όγκου δεδομένων.

Σε δίκτυα με τόσο μεγάλο αριθμό χρηστών, είναι αναμενόμενο να έχουν μερίδιο ευθύνης στη διασφάλιση της ασφάλειας και οι συμμετέχοντες. Οι χρήστες οφείλουν να ακολουθούν μηχανισμούς για καλή συμπεριφορά και συνεργασία στο δίκτυο. Ένα παράδειγμα είναι ο σωστός διαμοιρασμός του περιεχομένου τους με τους υπόλοιπους χρήστες, έτσι ώστε τα αντίγραφα να είναι διαθέσιμα σε όλο το δίκτυο. Για την ασφάλεια, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι κρυπτογράφησης και πρωτόκολλα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις γίνεται και πιστοποίηση των αρχείων που εισάγονται και διακινούνται στο δίκτυο. Επιπλέον, για την αποφυγή κακόβουλων ενεργειών από μη εγκεκριμένους χρήστες που σκοπός τους είναι να παρεμποδίσουν τη μεταφορά των δεδομένων, υπάρχουν μέθοδοι ελέγχου.

Όσον αφορά το πρόβλημα της Τοποθέτησης Περιεχομένου, οι συγγραφείς του [3] στηρίζονται στην αρχική τοποθέτηση του περιεχομένου στους κοντινότερους επεξεργαστές από τους χρήστες, όπως φάνηκε από τις λύσεις και τις τεχνικές που προτάθηκαν. Όμως, υπάρχουν προβλήματα, όπως είναι η δημιουργία υποδικτύων (islands), η οποία μπορεί να προκύψει από την παρουσία σφαλμάτων σύμφωνα με το [57]. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται να γίνεται αποτελεσματική κατανομή των αντιγράφων, η οποία θα μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτό το πρόβλημα, όπως παρουσιάζει η πρόταση [49]. Επίσης, στην προτεινόμενη λύση [9] που παρουσιάστηκε

με την χρήση συνεργατικών κρυφών μηνύων, οι συγγραφείς επιφυλάσσονται μελλοντικά για έρευνα σχετικά με την σχέση της κρυφής μηνύμης και της δημοτικότητας του περιεχομένου, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μια καθολικά βέλτιστη λύση. Στοχεύουν στη χρήση συνεργατικής κρυφής μηνύμης έτσι ώστε να επιτύχουν λιγότερο κόστος επικοινωνίας και μεταφοράς περιεχομένου στο δίκτυο, αφού το περιεχόμενο θα βρίσκεται στον αποθηκευτικό χώρο του επεξεργαστή.

Όπως συμβαίνει σε όλα τα συστήματα, υπάρχουν ανταλλάγματα (tradeoffs). Δηλαδή, δεν μπορεί ένα σύστημα να επιτυγχάνει ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων που σχεδιάστηκε σε πλήρες ποσοστό. Για παράδειγμα, ένα σύστημα μπορεί να προσφέρει πιο αποδοτικούς μηχανισμούς Αντιγραφής Περιεχομένου, οι οποίοι να διασφαλίζουν χαμηλότερο κόστος συντήρησης και ενημέρωσης των αντιγράφων, αλλά να έχουν μεγαλύτερο κόστος στη δημιουργία των αντιγράφων, και κάποιο άλλο σύστημα να διασφαλίζει χαμηλότερο υπολογιστικό κόστος αλλά μεγαλύτερο κόστος για την ενημέρωση και τη συντήρηση των αντιγράφων στους επεξεργαστές του δικτύου. Το ίδιο ισχύει και στο πρόβλημα της Τοποθέτησης Περιεχομένου. Η επιλογή ενός επεξεργαστή μερικές φορές γίνεται για να ελαχιστοποιείται το επικοινωνιακό κόστος και η υπερφόρτωση του δικτύου, και άλλες φορές γίνεται για να επιτυγχάνεται καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών του με την Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS) και τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου με την μεγαλύτερη ζήτηση.

Βλέποντας τις προτεινόμενες λύσεις που προηγήθηκαν, συμπεραίνουμε ότι ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετεί το κάθε σύστημα και τις απαιτήσεις των χρηστών του, προσαρμόζεται για να μπορέσει να πετύχει το ζητούμενο αποτέλεσμα και να ικανοποιήσει τον σκοπό που εξυπηρετεί. Δηλαδή, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις είναι σημαντικότερη η επίτευξη του βέλτιστου επικοινωνιακού κόστους, ενώ σε άλλες περιπτώσεις είναι σημαντικότερο να επιτυγχάνεται το ελάχιστο υπολογιστικό κόστος για την διεκπεραίωση ενός αιτήματος για το σύστημα.

Κεφάλαιο 5

Επίλογος

5.1 Γενικά Συμπεράσματα

5.2 Μελλοντική Εργασία

5.1 Γενικά Συμπεράσματα

Η σημαντικότητα των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου είναι αναμφισβήτητο γεγονός και ήταν αντιληπτό καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Αποτελεί μια από τις πλέον διαδεδομένες διαδικτυακές εφαρμογές οι οποίες συμβάλλουν στην μεταφορά και παράδοση περιεχομένου στον Παγκόσμιο Ιστό και κάνουν συνέχεις προσπάθειες για βελτίωση και επέκταση, προκειμένου να αντεπεξέλθουν στις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις του όγκου δεδομένων του διαδικτυακού περιεχομένου και των χρηστών του Παγκόσμιου Ιστού. Το Διαδίκτυο έχει συμβάλει σε τέτοιο βαθμό στη ζωή μας που πλέον χρησιμοποιείται ευρέως από επιχειρήσεις, οργανισμούς, κυβερνήσεις, ιδρύματα και τον καθένα από εμάς ξεχωριστά για την πιο απλή και καθημερινή χρήση.

Μετά την παρουσίαση της ιδέας της δημιουργίας των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου ως μια λύση για την διαχείριση του μεγάλου όγκου περιεχομένου που διακινείται στον Παγκόσμιο Ιστό από μεγάλο αριθμό χρηστών αλλά και σημαντικών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν όπως είναι η Ταυτόχρονη Προσπέλαση (flash crowds), αποδείχθηκε ότι είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν στην πρόκληση αυτή, παρέχοντας αξιοπιστία στους χρήστες και επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα μείωση της χρησιμοποίησης του δικτύου και του χρόνου μεταφοράς του περιεχομένου. Στη διαπίστωση αυτή στηρίχθηκε και η έρευνα των όσων προσπάθησαν να συμβάλουν στη

βελτίωση των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, επικεντρώνοντας στους βασικούς παράγοντες για να επιτύχουν αξιοπιστία, διαθεσιμότητα περιεχομένου, ασφάλεια στο δίκτυο και γρηγορότερη και καλύτερη εξυπηρέτηση για τους χρήστες.

Τα δυο βασικά στοιχεία που συμβάλλουν στην ανάπτυξη των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου και κατ' επέκταση στην διατήρηση της Ανεκτικότητας Σφαλμάτων είναι η Αντιγραφή Περιεχομένου σε συνδυασμό με την τοποθέτηση του περιεχομένου στους ακρινούς εξυπηρετητές του δικτύου, δηλαδή όσο πιο κοντά γίνεται στους χρήστες. Αυτό συμβαίνει διότι το περιεχόμενο δεν βρίσκεται σε ένα μόνο σημείο του δικτύου, αλλά αναπαράγεται και κατανέμεται σε διάφορους διασκορπισμένους επεξεργαστές. Έτσι, όταν παρουσιάσει σφάλμα ένας από τους επεξεργαστές, υπάρχουν άλλοι με το ίδιο περιεχόμενο που είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν το αίτημα των χρηστών και δεν παρουσιάζεται σφάλμα σε ένα μόνο σημείο (single point failure). Επιπλέον, η επιλογή τοποθέτησης του περιεχομένου στην πλησιέστερη απόσταση από τους χρήστες ελαχιστοποιεί την χρησιμοποίηση του δικτύου, μειώνει την κινητικότητα του δικτύου, ενισχύει την επεκτασιμότητα του δικτύου και στοχεύει στην πιο γρήγορη και καλύτερη ποιοτικά εξυπηρέτηση των χρηστών (Quality of Service - QoS). Ο συνδυασμός των δυο αυτών βασικών στοιχείων αυξάνει την αποδοτικότητα στην παράδοση του περιεχομένου και ενισχύει την ολική απόδοση του δικτύου, κάνοντάς το και πιο αξιόπιστο.

Οι μετρικές που χρησιμοποιήθηκαν στις προτεινόμενες λύσεις που δόθηκαν και καθορίζουν την απόδοση του δικτύου είναι το απαιτούμενο εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί το δίκτυο για την παράδοση του περιεχομένου, η καθυστέρηση στην απόκριση και την επικοινωνία μεταξύ των συστατικών του δικτύου, η χωρητικότητα των επεξεργαστών που χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύουν τα αντίγραφα που παράγονται, η γεωγραφική κατανομή των επεξεργαστών που συμμετέχουν στο δίκτυο και η αξιοπιστία του δικτύου, δηλαδή εάν το δίκτυο είναι διαθέσιμο ανά πάσα στιγμή στους χρήστες του και είναι σε θέση να τους εξυπηρετήσει.

Πλεονεκτήματα των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, όπως παρουσιάζονται μέσα από την μελέτη του Γ. Πάλλη και της Α.Βακάλη [48], αποτελούν η αποφυγή της συμφόρησης στον Παγκόσμιο Ιστό αφού πλέον τα δεδομένα βρίσκονται πιο κοντά στον

χρήστη, η βελτίωση της ποιότητας, της ταχύτητας και της αξιοπιστίας στην μεταφορά και παράδοση του περιεχομένου, η αποσυμφόρηση του φορτίου εξυπηρέτησης που έχει ο Αρχικός εξυπηρετητής αφού πλέον τα αιτήματα αναλαμβάνονται από τους Αντιπροσωπευτικούς (surrogate) εξυπηρετητές, καθώς και την μείωση του λειτουργικού κόστος για τον ίδιο τον χρήστη.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και μειονεκτήματα από την χρήση των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου. Όπως είδαμε μέσα από τις διάφορες προτάσεις, το κόστος είναι σημαντικός παράγοντας ο οποίος έχει καθοριστικό ρόλο στο σύστημα. Η έννοια του κόστους περιλαμβάνει αρχικά το κόστος ενοικίασης που επιβαρύνονται οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν τις παροχές των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου και επωφελούνται με τις υπηρεσίες που παρέχουν. Επιπλέον, το κόστος αφορά και την συντήρηση που χρειάζεται να πραγματοποιούν οι παροχείς υπηρεσιών έτσι ώστε το Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου τους να εξυπηρετεί το καλύτερο δυνατό τους χρήστες του και να παρέχει αξιοπιστία. Ακόμη, το κόστος αυτό συμπεριλαμβάνει και την επιβάρυνση που υπάρχει στο κομμάτι της λειτουργίας, όπως είναι οι καθυστερήσεις και η αποκατάσταση των σφαλμάτων, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά το δίκτυο.

Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάζονται και θεωρείται ένα από τα πιο επικρατέστερα, είναι το πρόβλημα Τοποθέτησης Περιεχομένου στους αντίστοιχους εξυπηρετητές. Η λύση που δίνεται σε κάθε περίπτωση είναι δυναμική, γιατί δεν υπάρχει πάντοτε σταθερή επιλογή τοποθέτησης των αντιγράφων του περιεχομένου προκειμένου να εξυπηρετεί όλους τους χρήστες. Το πρόβλημα αυτό γίνεται ακόμη δυσκολότερο, αφού η επιλογή αυτή γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν πολλούς παράγοντες, όπως είναι η πλησιέστερη απόσταση από τον χρήστη, το κόστος μεταφοράς, η καθυστέρηση που θα χρειαστεί, οι παράγοντες των σφαλμάτων, καθώς και το είδος του περιεχομένου και η ζήτηση που έχει. Ο κάθε χρήστης έχει διαφορετικές απαιτήσεις και το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να ικανοποιήσει τα αιτήματά του. Η επιλογή της τοποθεσίας του περιεχομένου είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του δικτύου και των υπηρεσιών του, καθώς διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και στον βαθμό Ανεκτικότητας Σφαλμάτων του δικτύου.

Κατά την άποψή μας, είναι αρκετά δύσκολο, ίσως και ανέφικτο, να δημιουργηθεί ένα Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου το οποίο θα μπορεί να εξυπηρετήσει πλήρως τις απαιτήσεις όλων των χρηστών. Ιδιαίτερα αυτό φάνηκε και από την ανάλυση της Κατηγορίας 2, όπου επικεντρωθήκαμε στην Αυτό-Προσαρμοστική συμπεριφορά των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου. Σε κάθε περίπτωση οι παροχές υπηρεσιών Παράδοσης Περιεχομένου έχουν να αντιμετωπίσουν διαφορετικές απαιτήσεις, διαφορετικό είδος περιεχομένου και διαφορετικές καταστάσεις, τα οποία και διαφοροποιούνται συνεχώς με τον αυξανόμενο όγκο δεδομένων, επομένως πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα στην κάθε περίπτωση.

Κύριος στόχος των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου πρέπει να είναι η καλύτερη εξυπηρέτηση του χρήστη σε ποιότητα περιεχομένου. Δηλαδή, να επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο στην ποιότητα του περιεχομένου που απαιτεί ο χρήστης και στη συνέχεια να φροντίζει για το κόστος των καθυστερήσεων και της μεταφοράς, χωρίς όμως να μην λαμβάνονται υπόψιν κι αυτές οι μετρικές. Η καλύτερη εξυπηρέτηση του χρήστη επιτυγχάνεται με την ενίσχυση της αξιοπιστίας του συστήματος και συγκεκριμένα με τη διαθεσιμότητα του περιεχομένου, η οποία για να διατηρείται στο επιθυμητό επίπεδο, πρέπει να υποστηρίζει το δίκτυο δυνατούς μηχανισμούς Ανεκτικότητας Σφαλμάτων και η υποδομή του να είναι σε θέση να αντεπεξέλθει σε οποιοδήποτε πρόβλημα κι αν παρουσιαστεί. Με την ανάπτυξη των κατάλληλων μηχανισμών Ανεκτικότητας Σφαλμάτων μπορεί να εξασφαλίσει στους χρήστες την αξιοπιστία που επιζητούν, την ασφάλεια των δεδομένων τους και την βέλτιστη εξυπηρέτησή τους.

Από όλη την μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε αυτή τη διπλωματική εργασία, συμπεραίνουμε ότι ο σημαντικότερος μηχανισμός Ανεκτικότητας Σφαλμάτων ο οποίος διατηρεί την διαθεσιμότητα του περιεχομένου στο δίκτυο, είναι η Αντιγραφή Περιεχομένου σε συνδυασμό με την αποτελεσματική τοποθέτηση των αντιγράφων στους εξυπηρετητές. Με τον τρόπο αυτό, το δίκτυο εξασφαλίζει ότι έστω κι αν υπάρξει σφάλμα σε ένα σημείο του, κάποιος άλλος επεξεργαστής θα μπορεί να εξυπηρετήσει το αίτημα του χρήστη. Όλες οι προτάσεις που παρουσιάστηκαν στηρίζονται στην ιδέα αυτή και προσπαθούν να αποκεντροποιήσουν το σημείο σφάλματος, κατανέμοντας τα αντίγραφα αυτά σε διασκορπισμένους επεξεργαστές στο δίκτυο. Η Αντιγραφή Περιεχομένου σχετίζεται άμεσα με την τοποθέτηση του περιεχομένου στους

κατάλληλους επεξεργαστές. Η επιλογή αυτή φαίνεται να απασχολεί σε μεγάλο βαθμό την κοινότητα των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου και αποτελεί πρόκληση για κάθε νέα ιδέα που αναπτύσσεται. Επικρατέστερη επιλογή τοποθέτησης του περιεχομένου αποτελούν οι εξυπηρετητές του άκρου, οι οποίοι είναι πλησιέστεροι στους χρήστες. Όμως, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το είδος και η ζήτηση του περιεχομένου, καθώς και κατά πόσο ο συγκεκριμένος εξυπηρετητής αποτελεί ορθή επιλογή τοποθέτησης για όλους τους χρήστες του δικτύου. Οι δυο αυτές συνυφασμένες διαδικασίες αποτελούν τους παράγοντες επεκτασιμότητας των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, κάτι το οποίο θεωρείται επίσης πολύ σημαντικό, αφού ολόένα κι επεκτείνονται προκειμένου να ενισχύουν τη διαθεσιμότητα και ταυτόχρονα να αντεπεξέλθουν στις αυξανόμενες απαιτήσεις του Παγκόσμιου Ιστού και των χρηστών του που εξαπλώνονται γεωγραφικά.

Αξιολογώντας όλη την μελέτη που πραγματοποιήθηκε, καταλήγουμε στο ότι ανάλογα με την περίπτωση και την υπάρχουσα κατάσταση, πρέπει να επιλέγεται η βέλτιστη λύση σύμφωνα με τις μετρικές που παρουσιάστηκαν. Υπάρχουν πάντοτε τα ανταλλάγματα (tradeoffs), επομένως πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα στις απαιτήσεις του δικτύου και των χρηστών του σε συνδυασμό με το κόστος και την αξιοπιστία του δικτύου.

5.2 Μελλοντική Εργασία

Μέσα από την πορεία ανάπτυξης των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου [48], [12], διαπιστώνει κανείς ότι κρίνεται αναγκαία η συνέχιση της ανάπτυξής τους, καθώς απαιτείται να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα που εμφανίζονται στην διαχείριση των δεδομένων του Παγκόσμιου Ιστού. Κύριοι προβληματισμοί αποτελούν το κόστος, λειτουργικό αλλά και μεταφοράς, σε συνδυασμό με την ικανοποίηση και την εξυπηρέτηση των χρηστών. Πρέπει να δημιουργηθεί η ιδανική ισορροπία ανάμεσα στους δυο αυτούς παράγοντες, έτσι ώστε αφενός να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των χρηστών και αφετέρου να είναι σε θέση οι εταιρίες που παρέχουν τις υπηρεσίες των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου να τους εξυπηρετήσουν.

Βλέποντας εκτενέστερα τις δυο αυτές πλευρές, όπως φάνηκε και μέσα από τις προτάσεις που παρουσίασαν στις έρευνές τους, από την πλευρά των παροχών Δικτύων

Παράδοσης Περιεχομένου, υπάρχουν προβληματισμοί όσον αφορά την χρησιμοποίηση του δικτύου και το εύρος ζώνης, καθώς αυτό επηρεάζει και τον παράγοντα του κόστους. Επιπλέον, με την αύξηση του όγκου δεδομένων που διακινείται στον Παγκόσμιο Ιστό αναζητούν αποδοτικούς τρόπους τοποθέτησης περιεχομένου, έτσι ώστε να μειώνεται ο αριθμός των Αντιπροσωπευτικών (surrogate) εξυπηρετητών που χρειάζεται να διαθέτουν, το οποίο επηρεάζει επίσης το κόστος του δικτύου και το κόστος συντήρησής του. Από την πλευρά τους οι χρήστες, επιζητούν την αξιοπιστία και την σταθερότητα στην εξυπηρέτησή τους. Συγκεκριμένα, θέλουν να είναι σίγουροι για την φερεγγυότητα του δικτύου, όσον αφορά την διακίνηση των δεδομένων τους αλλά και την εξυπηρέτηση των αιτημάτων τους. Για τον λόγο αυτό, η ασφάλεια είναι ένας παράγοντας που διαχρονικά προβληματίζει τους παροχείς Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου και προσπαθούν συνεχώς να αντιμετωπίσουν φαινόμενα τα οποία απειλούν την ασφάλεια του δικτύου και των δεδομένων που διακινούνται σε αυτό.

Στο [60] υποστηρίζεται ότι η δημιουργία ενός Προσαρμοστικού Δικτύου Παράδοσης Περιεχομένου (adaptive CDN), το οποίο θα υποστηρίζει πιο αποκεντρωτική αρχιτεκτονική, πλησιέστερη των ομότιμων δικτύων (P2P), θα είναι σε θέση να συναγωνιστεί τις απαιτήσεις του εύρους ζώνης που διατίθεται και του μεγάλου όγκου δεδομένων. Αυτό θα συμβεί γιατί θα αποφεύγεται η συμφόρηση στο δίκτυο και θα βελτιώνεται η απόδοση, λόγω του ότι θα μπορεί οποιοσδήποτε από τους συμμετέχοντες του δικτύου να εξυπηρετήσει κάποιο αίτημα ή να εξυπηρετήσει ένα κομμάτι της λειτουργίας, μειώνοντας το συνολικό κόστος. Επιπλέον, τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου υιοθετώντας μια πιο αποκεντρωτική αρχιτεκτονική, όπως αυτήν που υποστηρίζουν τα ομότιμα δίκτυα, διασφαλίζουν ότι δεν θα υπάρχει ένα σημείο σφάλματος (single point of failure) στο δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα το περιεχόμενο είναι περισσότερο διαθέσιμο, λόγω του ότι δεν θα αποστέλλεται από τον εξυπηρετητή σε κάποιον χρήστη, αλλά θα μπορεί να μεταφέρεται ανάμεσα στους χρήστες. Τέτοιο παράδειγμα είναι το BitTorrent [50], σύμφωνα με το οποίο ένας χρήστης μπορεί να εξυπηρετηθεί από κάποιον άλλον χρήστη ο οποίος δηλώνει ότι έχει στην κατοχή του το περιεχόμενο που ζητήθηκε. Ένας χρήστης μπορεί να εξυπηρετεί πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Ιδέα για την κατανομή του περιεχομένου στα ομότιμα δίκτυα δίνει το Chord [52], ένα πρωτόκολλο από μια ερευνητική ομάδα του MIT το οποίο εντοπίζει

τον επεξεργαστή στον οποίο είναι αποθηκευμένο ένα περιεχόμενο σε εφαρμογές διαδικτύου σε ομότιμα δίκτυα, αντιστοιχώντας κάθε περιεχόμενο με ένα κλειδί.

Σημαντικό επίσης είναι να γίνει ένας διαχωρισμός του περιεχομένου στα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, έτσι ώστε να μην υπάρχει δυσκολία αφενός κατά την διάρκεια της επεξεργασίας του περιεχομένου προκειμένου να σταλεί και αφετέρου κατά τη διάρκεια της παραλαβής του περιεχομένου από τον παραλήπτη έτσι ώστε να μπορέσει να πράξει ανάλογα. Αυτό προκύπτει μέσα από την μελέτη της Αυτό-Προσαρμοστικής συμπεριφοράς των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου και στους προβληματισμούς που τίθενται για να βρεθεί ένας τρόπος περιγραφής για το κάθε περιεχόμενο ανάλογα σε συνδυασμό με την αρχιτεκτονική του συστήματος, δηλαδή πως θα αντιμετωπίζεται από το σύστημα το κάθε είδος περιεχομένου. Από τη στιγμή που διαχωρίζεται το περιεχόμενο, θα αντιμετωπίζεται ανάλογα με την περίπτωση. Για παράδειγμα όταν πρόκειται για χρηματικές συναλλαγές, όπως την πρόταση του [41], απαιτείται μεγαλύτερη ασφάλεια κατά την επεξεργασία και την μεταφορά του περιεχομένου στο δίκτυο. Δεν απαιτείται όμως η ίδια ασφάλεια και για την μεταφορά μιας απλής εικόνας μιας ιστοσελίδας από τον Αντιπροσωπευτικό εξυπηρετητή στον χρήστη. Το ίδιο ισχύει και για την Ανεκτικότητα Σφαλμάτων στην περίπτωση αυτή, αφού τυχόν σφάλμα κατά τη διάρκεια εκπόνησης χρηματικής συναλλαγής θα είχε σοβαρές επιπτώσεις τόσο στον παροχέα περιεχομένου, όσο και στον χρήστη. Επομένως, ο διαχωρισμός αυτός θα εξοικονομήσει και λειτουργικό κόστος και κόστος υπηρεσιών στο δίκτυο.

Επιπλέον, οι υπηρεσίες που παρέχουν τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου πρέπει να είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις και στις αλλαγές που συμβαίνουν ραγδαία στον Παγκόσμιο Ιστό. Σύμφωνα με το [1], προτείνεται ένα κινητό δυναμικό Δίκτυο Παράδοσης Περιεχομένου το οποίο είναι σε θέση να εξυπηρετήσει τους χρήστες των ασύρματων δικτύων (mobile networks), τα οποία γίνονται ολοένα πιο ευρέως διαδεδομένα και απαιτείται η χρήση τους λόγω της τεχνολογικής ανάπτυξης.

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, καθώς από τον παράγοντα αυτό εξαρτάται η αξιοπιστία και η απόδοση του δικτύου. Προκειμένου να ενισχυθεί η Ανεκτικότητα Σφαλμάτων, πρέπει να υπάρχει διαθεσιμότητα, η οποία

σχετίζεται με την ασφάλεια των δεδομένων, την Αντιγραφή Περιεχομένου και την τοποθέτηση των αντιγράφων. Με την ολοένα αυξανόμενη ανάπτυξη των δυνατοτήτων του Παγκόσμιου Ιστού το θέμα της ασφάλειας διακυβεύεται, καθώς οι κίνδυνοι ολοένα αυξάνονται για φαινόμενα όπως είναι οι Ενεργείς Παρεμπόδισης Υπηρεσιών (DoS). Παρατηρώντας τα φαινόμενα αυτά, πρέπει να παρθούν πιο αυστηρά μέτρα για αντιμετώπιση των φαινομένων αυτών, έτσι ώστε η παράδοση των δεδομένων να γίνεται με ασφαλή τρόπο. Επιπλέον, για την Αντιγραφή και Τοποθέτηση των αντιγράφων πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η γεωγραφική κατανομή και επέκταση των χρηστών του δικτύου, η οποία είναι επακόλουθο της αύξησης των χρηστών του Παγκόσμιου Ιστού. Επομένως, η επεκτασιμότητα που αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά των Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου, πρέπει να λειτουργήσει ως κίνητρο για γεωγραφική ανάπτυξη και υποστήριξη της υπηρεσίας του δικτύου. Στα ήδη υπάρχοντα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου [2],[46] οι μηχανισμοί Ανεκτικότητας Σφαλμάτων αποτελούν κύριο συστατικό των δικτύων και δίνεται έμφαση στην ανάπτυξή τους. Για παράδειγμα, στο δίκτυο της Akamai υπάρχει το σύστημα Χαρτογράφησης, το οποίο αποτελεί τον μηχανισμό Ανεκτικότητας Σφαλμάτων του δικτύου.

Σε όλες τις προτάσεις που παρουσιάστηκαν, υπάρχει το περιθώριο βελτίωσης, διόρθωσης και περαιτέρω ανάπτυξης. Αυτό το συμπέρασμα προήλθε μέσα από τις πειραματικές δοκιμές που έγιναν σε μερικές από αυτές και τον εντοπισμό τυχόν αδυναμιών ή ελλείψεων τα οποία παραλήφθηκαν. Επιπλέον, μερικές από τις προτάσεις μπορεί να παρουσιάζουν μια καλή λύση, όμως να μην υπάρχει η κατάλληλη υποδομή ή τα κατάλληλα μέσα για να υλοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί.

Πιστεύουμε πως πρέπει να προωθηθεί η ανάπτυξη και η περαιτέρω έρευνα σχετικά με τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου, καθώς αποτελούν σημαντικό κομμάτι του παρόντος και του μέλλοντος. Έχοντας την βασική αρχική ιδέα και συνδυάζοντας προτεινόμενες λύσεις, μπορεί να επιτευχθεί ένα βέλτιστο πλαίσιο, το οποίο θα είναι το πλησιέστερο στην εξυπηρέτηση των χρηστών, στη διαθεσιμότητα του δικτύου, αλλά και συμφέρον για τους παροχείς υπηρεσιών Δικτύων Παράδοσης Περιεχομένου. Είναι σημαντικό να ενθαρρύνουμε αυτές τις κινήσεις διότι τα Δίκτυα Παράδοσης Περιεχομένου προβλέπεται ότι θα αποτελέσουν και στο εγγύς μέλλον σημαντικό κομμάτι στη μεταφορά και παράδοση περιεχομένου στον Παγκόσμιο Ιστό.

Βιβλιογραφία

- [1] Aioffi W., Mateus G., Almeida J. and Loureiro A. “Dynamic Content Distribution for Mobile Enterprise Networks”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.23, Issue 10, pages 2022-2031, 2005.
- [2] Akamai Technologies, Inc, www.akamai.com, 2007.
- [3] Androutsellis S., Spinellis T. and Spinellis D. “A Survey of Peer-to-Peer Content Distribution Technologies”, ACM Computing Surveys, Vol.36, No.4, pages 335-371, December 2004.
- [4] Attiya H. and Welch J. Distributed Computing: Fundamentals, Simulations and Advance Topics, Second Edition, 2004.
- [5] Bartolini N., Casalicchio E. and Tucci S. “A walk through Content Delivery Networks”, MASCOTS 2003, LNCS 2965, pages 1-25, Berlin Heidelberg 2004.
- [6] Bartolini N., Presti N. and Petrioli F. “Optimal Dynamic Replica Placement in Content Delivery Networks”, The 11th IEEE International Conference on Networks, ICON 2003, pages 125-130, 2003.
- [7] Bonvin N., Papaioannou Th. and Aberer K. “A Self-Organized, Fault-Tolerant and Scalable Replication Scheme for Cloud Storage”, SoCC’10, June 10-11 2010.
- [8] Border Gateway Protocol, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4271.txt>.
- [9] Borst S., Gupta V. and Walid A. “Distributed Caching Algorithms for Content Distribution Networks”, IEEE INFOCOM 2010 Proceedings, 2010.
- [10] Buyya R., Pathan M. and Vakali A. “Content Delivery Networks”, Berlin Heidelberg, pages 43-45, 2008.
- [11] Cao P., “Technologies for Building Content Delivery Networks”, Cisco Systems Inc, 2001.
- [12] CDN Market Share: A Complete Business Analysis 2004 and 2005. AccuStream iMedia Research; www.researchandmarkets.com
- [13] CDN Reviews, www.cdnreviews.com
- [14] Chen Z., Yang M., Francia G. and Dongarra J. “Self Adaptive Application Level Fault Tolerance for Parallel and Distributed Computing”, IEEE2007, 2007.

- [15] Claffy K. and Braun H. “Web-traffic characterization: An assessment of the impact of caching documents from NCSAs web server in Electronic Proc.”, 2nd World Wide Web Conf.94: Mosaic and the Web, 1994.
- [16] Coppens J., Wauters T., Turck F., Dhoedt D. and Demeester P. “Design and Performance of a Self-Organizing Adaptive Content Distribution Network”, Network Operations and Management Symposium – NOMS 2006, 10th IEEE/IFIP, pages 534-545, 2006.
- [17] Cristian F. “Understanding Fault-Tolerance Distributed Systems”, Commun. ACM, (34)2:56-78, page 240, 1991.
- [18] Das S. and Kangasharju J. “Evaluation of Network Impact of Content Distribution Mechanisms”, INFOSCALE '06, In Proceedings of the 1st International Conference on Scalable Information Systems, Hong Kong, May 29-June 1 2006.
- [19] Davis A., Parikh J. and Weihl W. “EdgeComputing: Extending Enterprise Applications to the Edge of the Internet”, WWW2004, New York USA, May 17-22 2004.
- [20] Dilley J., Maggs B., Parikh J., Prokop H., Sitaraman R. and Weihl B. “Globally Distributed Content Delivery”, IEEE Internet Computing, September-October 2002.
- [21] Dowdy L. and Foster V. “Comparative Models of the File Assignment”, Computing Surveys, Vol.14, No.2 June 1982.
- [22] EdgeStream, www.edgestream.com
- [23] Fischer M., Lynch N. and Paterson M. “Impossibility of Distributed Consensus with one faulty process”, Journal of the Association for Computing Machinery, Vol.32, No.2, pages 374-382, April 1985.
- [24] Georgiou C. Σημειώσεις Διαλέξεων ΕΠΛ601: Κατανεμημένα Συστήματα, Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2012.
- [25] Google click fraud, <http://www.law.com/jsp/article.jsp?id=1153213525657>.
- [26] Hadjilacos V. and Toueg S. “Fault-Tolerance Broadcasts and Related Problems”, Distributed Systems, Second Edition, pages 324,352, 1993.
- [27] Hosanagar K., Krishnan R., Smith M. and Chuang J. “Optimal Pricing of Content Delivery Network Services”, In Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pages: 205-214, 2004.

- [28] Huang C. and Abdelzaher T. “Towards content distribution networks with latency guarantees”, Twelfth IEEE International Workshop on Quality of Service – IWQOS 2004, pages 181-192, 2004.
- [29] Jacobson V. “How to kill the Internet”, SIGCOMM’95 Middleware Workshop, 1995.
- [30] Jawaheer G. “Building a Self-Adaptive Content Distribution Network”, CCGrid2011, 2011.
- [31] Jung Y. et al, Flash crowds and denial of service attacks: Characterization and implications for CDNs and Web sites, In Proceedings of the 11th International World Wide Web Conference, Hawaii, pages 293-304, May 2002.
- [32] Kalbarczyk Z., Iyer R., Bagchi S. and Whisnant K. “Chameleon: A Software Infrastructure for Adaptive Fault Tolerance”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.10, No.6, pages 560-579, June 1999.
- [33] Karlsson M. and Mahalingam M., “Do we need Replica Placement Algorithms in Content Delivery Networks”, Web Content Caching and Distribution (WCW), Colorado, 14-16 August 2002.
- [34] Katakis I. Σημειώσεις Διαλέξεων ΕΠΛ341: Τεχνητή Νοημοσύνη, Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2012.
- [35] Koo R., Toueg S. “Checkpointing and rollback recovery for distributed systems”, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol.13, No.1, pages: 23-31, 1987.
- [36] Kopetz H. and Verissimo P. “Real-time and Dependability Concepts”, Distributed Systems, Second Edition, ACM-Press, Chapter 16, pages 411-446, 1993.
- [37] Lamport L., Shostak R. and Pease M. “The Byzantine Generals Problem”, ACM Transactions on Programming Languages and Systems, Vol.4, No.3, pages 382-401, July 1982.
- [38] Limelight, www.limelight.com
- [39] LinkedIn Corporation, www.linkedin.com , 2008.
- [40] Lynch N. “Distributed Algorithms”, Morgan Kaufmann Publishers, 1996.
- [41] Majumdar S., Kulkarni D. and Ravishankar C. “Addressing Click Fraud in Content Delivery Systems”, IEEE INFOCOM 2007, 2007.
- [42] Mirror Image, Inc, www.mirror-image.com ,1997.

- [43] Neuman B. "Scale in Distributed Systems", Readings in Distributed Computing Systems, pp.463-489. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, Cited on pages 9,12,624, 1994.
- [44] Neves T., Drummond L., Ochi L., Albuquerque C. and Uchoa E. "Solving Replica Placement and Request Distribution Networks", CCGrid, 2011.
- [45] Neves T., Drummond L., Satoru L., Albuquerque C. and Uchoa E. "Hybrid and Exact Approaches for Replica Placement in Content Distribution Networks", Technical Report, UFF, 2009.
- [46] Nygren E., Sitaraman R. and Sun J. "The Akamai Network: A Platform for High-Performance Internet Applications", Akamai Technologies, 2010.
- [47] Oracle Berkley, <http://www.oracle.com/technetwork/products/berkeleydb/overview/index.html>.
- [48] Pallis G. and Vakali A. "Insight and Perspectives for Content Delivery Networks", Communications of the ACM, January 2006/Vol.49, No.1, 2006.
- [49] Pathan A., Buyya R. and Bubendorfer K. "Economy-based Content Replication for Peering Content Delivery Networks", Grid Computing and Distributed Systems (GRIDS) Laboratory, 2007.
- [50] Qiu D. and Srikant R. "Modeling and Performance Analysis of BitTorrent-Like Peer-to-Peer Networks", SIGCOMM'04, Portland, Oregon USA, August 30-September 3, 2004.
- [51] Sidiropoulos A., Pallis G., Katsaros D., Stamos K., Vakali A. and Manolopoulos Y. "Prefetching in Content Distribution Networks via Web Communities Identification and Outsourcing", Springer Science & Business Media, LLC 2007.
- [52] Stoica I., Morris R., Karger D., Kaashoek M., Balakrishnan H. "Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications", SIGCOMM'01, San Diego, California, USA, 27-31 August 2001.
- [53] Tanenbaum A. and Van Steen M. "Distributed Systems: Principles and Paradigms", 2nd Edition, Amsterdam, Netherlands, 2006.
- [54] Tang X. and Chason S. "Coordinated En-Route Web Caching", IEEE Transaction on Computers, Vol.51 No.6, pages 595-607, 2002.
- [55] Thinkfree Website, <http://www.thinkfree.com/>

- [56] Wang Y., Liu L., Pu C. and Zhang G. “GeoCast: An efficient overlay system for multicast applications”, Technical Report, Georgia Institute of Technology, 2009.
- [57] Wang Y., Zhou Z., Liu L. and Wu W. “Fault Tolerance and Recovery for Group Communication Services in Distributed Networks”, Journal of Computer Science and Technology, 27(2): 298-312, March 2012
- [58] Wikidot, <http://ipt2009.wikidot.com>
- [59] Zhang J. “A Literature Survey of Cooperative Caching in Content Distribution Networks”, 2012.
- [60] Khan A. and Buyya R. “A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks”, Grid Computing and Distributed Systems (GRIDS) Laboratory
- [61] Peng G. “CDN: Content Distribution Network”, Technical Report TR-125 of Experimental Computer Systems Lab in Stony Brook University, New York, February 2008.
- [62] Mockapetris P. “Domain names – concepts and facilities”, <http://www.ietf.org/rfc/rfc1034.txt>, 1987.
- [63] Akamai Technologies, Inc, “Akamai IP Application Accelerator”, http://www.atoll.gr/media/brosures/FS_IPA.pdf, 2009.