



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Αποδοτικά Συστήματα Δημοσίευσης - Συνδρομής

Οικονομίδης Ανδρέας

Επιβλέπων:

Καθηγητής Τριανταφύλλου Παναγιώτης

Εξεταστική επιτροπή:

Καθηγητής Πατεράκης Μιχαήλ

Αναπλ. Καθηγητής Κουμπαράκης Εμμανουήλ

Διατριβή για το Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης

Μάρτιος 2003

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή έχει ως στόχο τη δημιουργία μιας νέας προσέγγισης στα συστήματα δημοσίευσης / συνδρομής (publish / subscribe systems) όπου έχει ως κύριο πυρήνα της την έννοια των περιλήψεων των συνδρομών. Πρώτα απ' όλα, παρουσιάζονται οι δομές δεδομένων που έχει ο κάθε Διαμεσολαβητής Μηνυμάτων (broker) για να υποστηρίξει τη δημιουργία περιλήψεων. Επίσης, παρουσιάζονται και οι απαραίτητοι αλγόριθμοι που λειτουργούν στις συγκεκριμένες δομές και εξασφαλίζουν τον έλεγχο της ταύτισης των εισερχόμενων μηνυμάτων σε σχέση με τις υπάρχουσες συνδρομές. Μαζί με τα παραπάνω, περιγράφεται και η διαδικασία της συντήρησης των δομών δεδομένων στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν αλλαγές στις συνδρομές ενός ΔΜ. Δεύτερον, παρουσιάζονται νέοι αλγόριθμοι για την αποδοτική διάδοση των περιλήψεων των συνδρομών καθώς επίσης και για τη συντήρηση αυτών μέσα σ' ένα κατανεμημένο σύστημα. Τέλος, περιγράφεται και ένας νέος αλγόριθμος με στόχο την αποδοτική και κατανεμημένη προώθηση των εισερχόμενων μηνυμάτων, χρησιμοποιώντας ως δρομολόγηση τις ήδη προωθημένες περιλήψεις των συνδρομών, στους ΔΜ που έχουν στην κατοχή τους συνδρομές που ταυτίζονται.

Σε πρακτικό επίπεδο, γίνεται μια μελέτη της απόδοσης όλων των παραπάνω, συγκρίνοντας τα με τις βασικές προσεγγίσεις καθώς επίσης και με προσεγγίσεις από πολύ γνωστά και καταξιωμένα κατανεμημένα συστήματα δημοσίευσης / συνδρομής. Οι μετρικές απόδοσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι: (i) η απαίτηση του αποθηκευτικού χώρου και οι απαιτήσεις του εύρους ζώνης (bandwidth) του δικτύου που χρειάζεται για να γίνει η διάδοση των συνδρομών, (ii) ο αριθμός των μεταπηδήσεων (hops) μεταξύ των ΔΜ που χρειάζονται για τον ίδιο λόγο και (iii) ο αριθμός των μεταπηδήσεων που χρειάζεται για να γίνει η δρομολόγηση των μηνυμάτων στους ενδιαφερόμενους ΔΜ. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ένα σημαντικό κέρδος ως προς την απόδοση του συστήματος που απορρέει τόσο από τη διάδοση των συνδρομών, όσο και από την προώθηση των μηνυμάτων.

στην οικογένεια μου

Ευχαριστίες

Πρώτον απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου Καθηγητή Peter (Παναγιώτη) Τριανταφύλλου που η συνεισφορά του σ' αυτή τη διατριβή δεν μπορεί να αποτυπωθεί μέσα σ' αυτές τις λίγες γραμμές. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη, την ενθάρρυνση και το κουράγιο που μου παρείχε όλο το διάστημα που συνεργαστήκαμε. Να επισημάνω ακόμα ότι μέσα από τη κοινή μας δουλειά οι γνώσεις και οι εμπειρίες που αποκόμισα είναι ανεκτίμητες.

Δεύτερον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το φίλο μου Νεκτάριο Γιολδάση που η συμπαράσταση και οι συμβουλές του τόσο από ηθικής, όσο από τεχνικής πλευράς ήταν καταλυτικές.

Τέλος, μέσω αυτού του κειμένου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Ιωάννη Αικατερινίδη και Νίκο Ντάρμο για όλες τις βοήθειες που απλόχερα μου προσέφεραν και για τις ευχάριστες στιγμές που περάσαμε μαζί σ' όλη τη διάρκεια της παραμονής μου στα Χανιά της Κρήτης.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή στα Συστήματα Δημοσίευσης / Συνδρομής.....	1
1.1	Δομή της μελέτης.....	2
2	Πλαίσιο Εργασίας (Framework)	4
2.1	Τύποι Συστημάτων.....	4
2.2	Βασικό Μοντέλο.....	5
2.3	Έκφραση / Σύνταξη των Μηνυμάτων / Συνδρομών	7
2.3.1	Έκφραση των Μηνυμάτων.....	7
2.3.2	Σύνταξη των Συνδρομών	8
2.4	Αρχιτεκτονικές.....	10
2.4.1	Κεντροποιημένο Σύστημα (Centralized System)	10
2.4.1.1	Κεντροποιημένο Σύστημα με χρήση Φιλτραρίσματος (Centralized System with Quenching).....	11
2.4.2	Κατανεμημένο Σύστημα (Distributed System)	12
2.4.2.1	Κατανεμημένο Σύστημα με Καθολική Μετάδοση (Distributed Broadcast).....	12
2.4.2.2	Κατανεμημένο Σύστημα με Πολλαπλή Μετάδοση (Distributed Multicast).....	13
2.5	Τοπολογίες εξυπηρετητών (Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων).....	14
2.5.1	Ιεραρχική τοπολογία.....	14
2.5.2	Ακυκλική τοπολογία με ομότιμους εξυπηρετητές	15
2.5.3	Γενική τοπολογία με ομότιμους εξυπηρετητές	16
2.5.4	Υβριδικές τοπολογίες.....	16
3	Επισκόπηση Σχετικής Βιβλιογραφίας (Related work).....	18
3.1	Αλγόριθμοι Ταύτισης (Matching Algorithms).....	18
3.1.1	Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Gryphon.....	19
3.1.2	Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Gough	20
3.1.3	Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Le Subscribe	21
3.2	Αλγόριθμοι Δρομολόγησης & Φιλτραρίσματος.....	24
3.2.1	Η προτεινόμενη λύση του συστήματος JEDI.....	24
3.2.2	Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Gryphon.....	25
3.2.3	Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Siena	27
4	Περίληψεις Συνδρομών: Μια Νέα Προσέγγιση Αποδοτικών Συστημάτων Δημοσίευσης / Συνδρομής.....	30
4.1	Εισαγωγή.....	30
4.1.1	Ορισμός του Προβλήματος	31

4.1.2	Επιτεύγματα	32
4.2	Περιλήψεις Συνδρομών ανά Διαμεσολαβητή Μηνυμάτων	33
4.2.1	Δομές Δεδομένων και Τελεστές	34
4.2.1.1	Περιλήψεις Περιορισμών Αριθμητικών Κατηγορημάτων (Arithmetic Attribute Constraint Summary)	34
4.2.1.2	Περιλήψεις Περιορισμών Αλφαριθμητικών Κατηγορημάτων (String Attribute Constraint Summary)	35
4.2.2	Ταυτότητα των Συνδρομών	36
4.2.3	Ο Αλγόριθμος Ταύτισης	37
4.2.4	Συντήρηση στις Περιλήψεις των Συνδρομών	39
4.2.5	Συζήτηση	41
4.3	Περιλήψεις Συνδρομών με Πολλαπλούς Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων, Προώθηση των Περιλήψεων και Κατανεμημένη Διάδοση των Μηνυμάτων	43
4.3.1	Μια Πρώτη Προσέγγιση	43
4.3.2	Προώθηση των Περιλήψεων	44
4.3.3	Αποδοτική Κατανομή των Μηνυμάτων: Δρομολόγηση και Φιλτράρισμα	45
4.3.4	Συνολικές και Περιοδικές Περιλήψεις: Συντήρηση των Περιλήψεων με Πολλαπλούς Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων	48
5	Ανάλυση της Απόδοσης	52
5.1	Ανάλυση του Εύρους Ζώνης του Δικτύου	53
5.2	Αποτελέσματα Απόδοσης	54
5.2.1	Η Απόδοση της Διάδοσης των Συνδρομών	55
5.2.2	Η Απόδοση της Κατανεμημένης Προώθησης των Μηνυμάτων	59
5.2.3	Απαιτήσεις Αποθηκευτικού Χώρου	60
5.2.4	Απαιτήσεις Υπολογιστικού Χρόνου για την Προώθηση των Μηνυμάτων	61
6	Συμπεράσματα	62
6.1	Μελλοντικοί Στόχοι	63
7	Βιβλιογραφία	65
8	Περιλήψεις Συνδρομών με Χρήση των Φίλτρων Bloom	69
8.1	Εισαγωγή	69
8.1.1	Τα φίλτρα του Bloom	70
8.2	Περιλήψεις Περιορισμών Αλφαριθμητικών Κατηγορημάτων (String Attribute Constraint Summary)	71
8.3	Ο Αλγόριθμος Ταύτισης	73
8.4	Δυναμική Ρύθμιση του Μεγέθους των Περιλήψεων	74
8.4.1	Μια πρώτη Προσέγγιση	75
8.4.2	Ανακατασκευάζοντας Περιλήψεις Συνδρομών από Δυναμικά Μεγέθη	76
8.5	Συζήτηση	78

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή στα Συστήματα Δημοσίευσης / Συνδρομής

Ένα σύστημα *δημοσίευσης / συνδρομής* (publish/subscribe system) συνδέει παροχής πληροφοριών και καταναλωτές παραδίδοντας *μηνύματα* (events) από τις πηγές στους ενδιαφερόμενους χρήστες. Ένας χρήστης εκφράζει τα ενδιαφέροντά του, έτσι ώστε να παραλαμβάνει μόνο τα συγκεκριμένα μηνύματα που πραγματικά τον ενδιαφέρουν. Αυτό γίνεται με το να υποβάλλει συνδρομές (subscriptions) υπό μορφή κατηγορημάτων (attributes) (συχνά αναφέρονται και ως predicates) που σχετίζονται με το περιεχόμενο των μηνυμάτων. Όταν ένα νέο μήνυμα δημιουργείται και *δημοσιεύεται* στο σύστημα, η υποδομή του συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής είναι υπεύθυνη, σε πρώτη φάση, να ελέγξει ποιες από όλες τις συνδρομές ικανοποιούνται από το συγκεκριμένο μήνυμα και σε δεύτερη να το παραδώσει αξιόπιστα και αποτελεσματικά σε όλους τους χρήστες των οποίων οι συνδρομές ικανοποιήθηκαν από το μήνυμα.

Η επικοινωνία σ' ένα σύστημα δημοσίευσης / συνδρομής διαφέρει σε αρκετά σημεία από τα παραδοσιακά μοντέλα του τύπου από σημείο σε σημείο (point-to-point models). Τα χαρακτηριστικά επικοινωνίας ενός συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής είναι η ανωνυμία, ο μη συγχρονισμός και η πολλαπλή μετάδοση μεταξύ των μελών τέτοιου συστήματος. Επίσης, είναι ικανό να ανταποκρίνεται εύκολα σ' ένα δυναμικό περιβάλλον. Ο όρος ανωνυμία δηλώνει ότι δε χρειάζεται η αναγνώριση της ταυτότητας των εμπλεκόμενων μελών όταν θέλουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, δε χρειάζεται η αναγνώριση της ταυτότητας ενός εκδότη (publisher) από κάποιο συνδρομητή (subscriber) για να λάβει ο δεύτερος κάποια μηνύματα. Απλά καθορίζει τα χαρακτηριστικά των μηνυμάτων που θέλει να λαμβάνει. Η ασύγχρονη

επικοινωνία σε τέτοιου είδους συστήματα υπάρχει με την έννοια ότι ένας αποστολέας (εκδότης) δε χρειάζεται να περιμένει για επιβεβαίωση αποστολής από κάποιο παραλήπτη (συνδρομητή) για να μπορέσει να συνεχίσει την επόμενη αποστολή. Η υποδομή του συστήματος είναι αυτή που θα αναλάβει την αξιόπιστη αποστολή των μηνυμάτων στους πιθανούς παραλήπτες. Επίσης, ένα τέτοιο σύστημα κάνει και χρήση της πολλαπλής μετάδοσης ενός μηνύματος από κάποιο εκδότη. Αυτό σημαίνει ότι ένας εκδότης μπορεί να στείλει το ίδιο μήνυμα σε όλους τους ενδιαφερόμενους συνδρομητές με μία μόνο λειτουργία (operation) δημοσίευσης. Τέλος, το σύστημα μπορεί να μεταβάλλεται σε πιθανές αλλαγές του περιβάλλοντος κατά τις οποίες τόσο οι εκδότες, όσο και οι συνδρομητές μπορούν να συνδέονται και να αποσυνδέονται με αρκετά συχνό ρυθμό.

Ο συνδυασμός αυτών των μοναδικών χαρακτηριστικών κάνουν το σύστημα δημοσίευσης / συνδρομής να εφαρμόζεται σε μία πληθώρα εφαρμογών όπως:

- Κατανεμημένα συστήματα διασπαρμένης πληροφορίας (distributed information dissemination systems)
- Χρηματοοικονομικές αναλύσεις και
- Αυτοματοποιήσεις εργοστασίων.

Αρκετές δουλειές έχουν γίνει μέχρι στιγμής τόσο σε ερευνητικό, όσο και σε εμπορικό επίπεδο. Κάποιες από τις πιο σημαντικές ερευνητικές μελέτες είναι τα συστήματα Gryphon [1], [2], Siena [8], Jedi [10], Le Subscribe [13], [14], Ready [17], Elvin [30] και SIFT [36]. Αντίστοιχες εμπορικές δουλειές είναι αυτές των συστημάτων CORBA Event Service [23], CORBA Notification Service [24], iBus [32], Jini [33], TIB/Rendezvous [34] και Vitria [35].

1.1 Δομή της μελέτης

Η παρούσα μελέτη είναι οργανωμένη ως ακολούθως. Στο κεφάλαιο 2 ορίζεται το πλαίσιο εργασίας (framework) των συστημάτων δημοσίευσης / συνδρομής όπου και περιλαμβάνει την περιγραφή των διαφόρων τύπων που υπάρχουν μέχρι στιγμής, το βασικό μοντέλο, τους τρόπους έκφρασης και σύνταξης των μηνυμάτων και συνδρομών αντίστοιχα και τέλος τις αρχιτεκτονικές και τις τοπολογίες όπου ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να υλοποιηθεί. Ακολούθως στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας (related work) όπου και χωρίζεται σε δύο βασικούς άξονες. Ο πρώτος, σχετίζεται με τους σημαντικότερους αλγόριθμους

ταύτισης (matching algorithms) και ο δεύτερος περιγράφει τους κυριότερους αλγόριθμους δρομολόγησης (routing algorithms) τόσο για τις συνδρομές όσο και για τα μηνύματα. Το κεφάλαιο 4 παρουσιάζει τη νέα προσέγγιση ενός τέτοιου συστήματος, αυτή του αποδοτικού συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής χρησιμοποιώντας περιλήψεις συνδρομών. Στην παρουσίαση αυτή περιλαμβάνεται η δημιουργία των δομών δεδομένων που υποστηρίζουν τη δημιουργία των περιλήψεων καθώς και ο αλγόριθμος ταύτισης που συνεργάζεται με τις συγκεκριμένες δομές. Επίσης, περιγράφεται η λειτουργία και η συντήρηση αυτών των δομών όταν αυτές τοποθετούνται σε ένα δίκτυο με πολλούς ΔΜ. Τέλος, σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται ο αλγόριθμος διάδοσης των συνδρομών μεταξύ των ΔΜ καθώς και ο αλγόριθμος προώθησης των μηνυμάτων στους ενδιαφερόμενους ΔΜ. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μια εκτεταμένη μελέτη όσο περιγράφονται στο κεφάλαιο 4 και παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα της συγκεκριμένης προσέγγισης. Μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων, το κεφάλαιο 6 παρουσιάζει τα συμπεράσματα της όλης μελέτης καθώς επίσης και τα μελλοντικά θέματα που είναι άξια προς μελέτη. Τέλος, η όλη παρουσίαση κλείνει με ένα παράρτημα που περιγράφει την προσέγγιση που προηγήθηκε πριν της τελικής. Είναι μια προσέγγιση αρκετά όμοια με την τελική αλλά με κάποιες διαφορές που της καθιστούσαν κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Αυτός ήταν και ο λόγος που οδήγησε τη διαφοροποίηση αυτής της προσέγγισης στην τελική που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4.

Κεφάλαιο 2

Πλαίσιο Εργασίας (Framework)

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι των συστημάτων δημοσίευσης / συνδρομής καθώς επίσης και τα κύρια μέρη του βασικού μοντέλου σ' ένα τέτοιο σύστημα. Στη συνέχεια, γίνεται μια εκτενής αναφορά στους διάφορους τρόπους έκφρασης των μηνυμάτων και στους αντίστοιχους τρόπους σύνταξης των συνδρομών. Αμέσως μετά, γίνεται μια παρουσίαση των βασικών αρχιτεκτονικών σε συστήματα δημοσίευσης / συνδρομής καθώς επίσης και κάποιες παραλλαγές τους. Τέλος, περιγράφονται και συγκεκριμένες τοπολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα συστήματα αυτά.

2.1 Τύποι Συστημάτων

Η πρώτη γενιά συστημάτων δημοσίευσης / συνδρομής χρησιμοποιούσε τύπους διευθυνσιοδότησης βασισμένους είτε σε ομάδες (group-based) είτε σε θεματικές ενότητες (subject-based). Ο πρώτος, που είναι γνωστός και ως τύπος βασισμένος σε κανάλια (channel-based) [4], [12], [23], [33], χρησιμοποιεί ένα σύνολο από "ομάδες" (ή "κανάλια") που είναι ορισμένα από το σύστημα. Κάθε μήνυμα δημοσιεύεται από τον εκδότη που ανήκει σε μία απ' αυτές τις ομάδες. Ένας χρήστης γίνεται συνδρομητής σε μία ή περισσότερες ομάδες από το όλο σύνολο και στη συνέχεια λαμβάνει όλα τα μηνύματα που δημοσιεύονται στις ομάδες που είναι συνδρομητής. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η πολλαπλή μετάδοση της τεχνολογίας IP [12], όπου κάθε ομάδα αναγνωρίζεται μέσω της Δ τάξης της IP διεύθυνσης. Ελαφρώς πιο ευέλικτα είναι τα συστήματα βασισμένα σε θεματικές ενότητες [20], [25], [34], [35].

Σε κάθε μήνυμα προσάπτεται ένα μικρό θέμα που περιγράφει το περιεχόμενό του. Το θέμα είναι είτε μία αυθαίρετη συμβολοσειρά (string), είτε μία συμβολοσειρά προερχόμενη από κάποια περιοχή. Ο συνδρομητής εκφράζει τα ενδιαφέροντά του με βάση αυτό το θέμα. Σ' αυτή την περίπτωση, αντί για απόλυτη ταύτιση, ο χρήστης μπορεί π.χ., να ζητήσει όλα τα θέματα που αρχίζουν με τη λέξη "πληροφορική".

Μετά την πρώτη γενιά, ένας νέος τύπος διευθυνσιοδότησης ήρθε στην επιφάνεια και είναι βασισμένος στο περιεχόμενο (content-based) [30]. Ένα σύστημα βασισμένο στο περιεχόμενο δίνει στο συνδρομητή μεγαλύτερη ευελιξία και έλεγχο αφήνοντας τον να εκφράσει τα ενδιαφέροντά του με ένα αυθαίρετο τύπο ερωτήματος ως προς το περιεχόμενο των μηνυμάτων. Επομένως, αντί ο συνδρομητής να βασίζεται στον εκδότη, ο οποίος κατάτασσε τα μηνύματα σε ομάδες ή θεματικές ενότητες, τώρα είναι δυνατό να ορίσει πιο σύνθετες συνδρομές όπως π.χ., "ενημέρωσε με για όλες τις προσφερόμενες τιμές της μετοχής X που εκδόθηκαν μεταξύ των χρονικών ορίων A και B και η τιμή είναι μεγαλύτερη από 20".

Όμως, μαζί με ευελιξία που παρέχει ο τύπος βασισμένος στο περιεχόμενο προστέθηκε και το κόστος του σχεδιασμού και της υλοποίησης τέτοιων συστημάτων [7]. Διαισθητικά, επειδή οι συνδρομές μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκες, συνεπάγεται ότι θα είναι πιο δύσκολο να βρεθούν τα μηνύματα που ταιριάζουν με συγκεκριμένες συνδρομές σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς τύπους συστημάτων (ομάδων και θεματικών ενοτήτων) όπου με μια απλή αναζήτηση σε κάποιο πίνακα υιοθετούταν μια αποδοτική λύση.

Για τη συνέχεια αυτού του κειμένου, θεωρούμε ότι ο τύπος βασισμένος στο περιεχόμενο είναι αυτός στον οποίο θα αναφερόμαστε, γιατί είναι πιο γενικός και πιο αποτελεσματικός. Με μια πιο προσεκτική μελέτη εύκολα μπορεί κάποιος να δει ότι τα συστήματα με ομάδες και θεματικές ενότητες είναι ειδικές περιπτώσεις του τύπου βασισμένο στο περιεχόμενο, στις οποίες η σύνταξη των συνδρομών περιορίζεται σε πιο απλούς κανόνες.

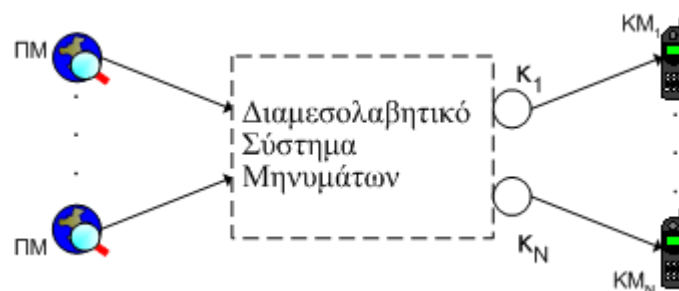
2.2 Βασικό Μοντέλο

Το βασικό μοντέλο ενός συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής αποτελείται από τα εξής τρία μέρη:

- Μία ή περισσότερες **Πηγές Μηνυμάτων** (ΠΜ) (Event Sources)

- Ένα **Διαμεσολαβητικό Σύστημα Μηνυμάτων** (ΔΣΜ) (Event Brokering System) και
- Έναν ή περισσότερους **Καταναλωτές Μηνυμάτων** (ΚΜ) (Event Displayers)

Μία Πηγή Μηνυμάτων δημιουργεί μηνύματα που σχετίζονται με αλλαγές κάποιας μεταβαλλόμενης κατάστασης στον πραγματικό κόσμο. Μια τέτοια κατάσταση μπορεί να θεωρηθεί η κίνηση της τιμής μιας μετοχής σε σχέση με το χρόνο. Τα μηνύματα *δημοσιεύονται* στο Διαμεσολαβητικό Σύστημα Μηνυμάτων, το οποίο είναι υπεύθυνο να ψάξει και να βρει το σύνολο των *συνδρομών*, που υποβλήθηκαν από τους χρήστες του συστήματος και ικανοποιούνται από το συγκεκριμένο μήνυμα. Για παράδειγμα, ένας επενδυτής μπορεί να υποβάλει μία συνδρομή όπου θα ορίζει να ενημερώνεται με όλα τα μηνύματα που αφορούν τις μεταβολές της τιμής κάποιων μετοχών. Το ΔΣΜ, που είναι και ο πυρήνας του όλου συστήματος, μπορεί να υλοποιηθεί, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, είτε από ένα μόνο εξυπηρετητή (Διαμεσολαβητή Μηνυμάτων) είτε από περισσότερους που συνεργάζονται μεταξύ τους με έναν κατανεμημένο τρόπο. Ο Καταναλωτής Μηνυμάτων είναι υπεύθυνος για να ενημερώσει το χρήστη. Στο παράδειγμα μας, ο επενδυτής θα ενημερωθεί με κάποιο μήνυμα στη συσκευή που όρισε για τον σκοπό αυτό. Αυτή μπορεί να είναι κάποιος ηλεκτρονικός υπολογιστής, κινητό τηλέφωνο, υπολογιστής παλάμης (PDA), κ.λπ. Εδώ, αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός από τον ΚΜ, όλα τα μέρη του βασικού μοντέλου μπορεί να είναι κινητά (mobile). Μια πλήρης αναφορά σε τέτοιου είδους συστήματα περιγράφεται στο [18]. Το σχήμα 2-1 παρουσιάζει με μεγαλύτερη σαφήνεια το βασικό μοντέλο ενός συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής.



Σχήμα 2-1. Ένα σύστημα δημοσίευσης / συνδρομής βασισμένο στο περιεχόμενο.

Στο σχήμα 2-1, η χρήση του k_i δηλώνει τα κατηγορήματα (attributes) της συνδρομής που έθεσε ο χρήστης i . Με άλλα λόγια, ο χρήστης i θέλει όλα τα μηνύματα που ικανοποιούν τα κατηγορήματα k_i . Αν η συνδρομή κάποιου χρήστη ικανοποιηθεί, το μήνυμα προωθείται στον Καταναλωτή Μηνυμάτων που σχετίζεται με το συγκεκριμένο χρήστη. Η παρουσία του κύκλου k_i που βρίσκεται μεταξύ του ΔΣΜ

και ενός KM υποδηλώνει ότι μόνο όσα μηνύματα ικανοποιούνται περνούν διαμέσου της συγκεκριμένης σύνδεσης.

Σ' αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι κάποια συστήματα έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μηνύματα βασισμένα στο περιεχόμενο κάποιων άλλων μηνυμάτων. Μια τέτοια περίπτωση θα ήταν αν είχαμε μια συνδρομή της μορφής: "δημιούργησε μια εντολή πληρωμής όταν η τιμή της μετοχής X φτάσει να είναι κατά 20% μεγαλύτερη από την τιμή έναρξης". Τέτοιες μορφές δημιουργίας νέων μηνυμάτων είναι μεταξύ άλλων το *σύστημα βασισμένο στο περιεχόμενο με χρήση προτύπων* (content-based with patterns) [8], [17], [24], το *σύστημα ερμηνείας μηνυμάτων* (event stream interpretation) [3] και το *σύστημα μηνυμάτων χρησιμοποιώντας διαχρονικά δεδομένα* (historical condition triggering) [19].

2.3 Έκφραση / Σύνταξη των Μηνυμάτων / Συνδρομών

2.3.1 Έκφραση των Μηνυμάτων

Κάποια βασικές κατηγορίες για μοντελοποίηση της έκφρασης των μηνυμάτων είναι οι εξής τέσσερις:

- *Βασισμένα σε συστοιχίες δεδομένων (Tuple-based)*: Τα μηνύματα ορίζονται σαν ένα σύνολο από συμβολοσειρές. Για παράδειγμα το "(UsefulStuff, 4, http://...)" είναι ένα μήνυμα βασισμένο σε συστοιχία δεδομένων και εκφράζει τη διαθεσιμότητα της 4^{ης} έκδοσης του λογισμικού "UsefulStuff", που είναι διαθέσιμο από την ιστοσελίδα "http://...".
- *Βασισμένα σε εγγραφές (Record-Based)*: Τα μηνύματα ορίζονται ως ένα σύνολο από τυποποιημένα κατηγορήματα αποτελούμενα από όνομα και τιμή. Για παράδειγμα το,
Struct NewRelease
{
 string ProductName = "UsefulStuff"
 integer ProductRelease = 4
 string DownloadURL = "http://..."
}
είναι ένα μήνυμα βασισμένο σε εγγραφή και αποτελείται από τρία τυποποιημένα κατηγορήματα.
- *Βασισμένα σε αντικείμενα (Object-Based)*: Τα μηνύματα αποτελούνται από την κατάσταση όπου βρίσκονται και από ένα σύνολο από μεθόδους που διαθέτουν.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο παρακάτω κώδικας όπου ορίζει την κλάση `NewSoftwareRelease`.

```
class NewSoftwareRelease: public Event
{
    public String ProductName;
    public integer ProductRelease;
    private String DownloadURL;
    NewSoftwareRelease (String name, integer Release, String URL);
    public void DownloadAndInstall();
}
```

στη συγκεκριμένη περίπτωση το μήνυμα δημιουργείται διαμέσου της κλάσης `NewSoftwareRelease`:

```
NewSoftwareRelease NewProduct = new
    NewSoftwareRelease ("UsefulStuff", 4, "http://...")
```

Το μήνυμα `NewProduct` αντιπροσωπεύει τη διανομή ενός νέου προϊόντος. Παρέχει και τη μέθοδο, `DownloadAndInstall`, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το χρήστη του μηνύματος για να λάβει το προϊόν από τη διεύθυνση που περιέχεται στη `DownloadURL` και να το εγκαταστήσει στον τοπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή.

- *Βασισμένα στα κατηγορήματα (Attribute-Based)* [8]: Αυτή η κατηγορία είναι παραπλήσια με αυτή των εγγραφών με τη διαφορά ότι η δομική τιμή του μηνύματος πηγάζει από τα ίδια τα κατηγορήματα που το αποτελούν. Για παράδειγμα το,

string	ProductName	= UsefulStuff
integer	ProductRelease	= 4
string	DownloadURL	= http://...

είναι ένα μη τυποποιημένο μήνυμα που αποτελείται από τρία τυποποιημένα κατηγορήματα. Όπως και πριν, το κάθε κατηγορήμα έχει τύπο, όνομα και τιμή. Οι τύποι των κατηγορημάτων ανήκουν σ' ένα προκαθορισμένο σύνολο από στοιχειώδεις τύπους που συχνά βρίσκονται σε γλώσσες προγραμματισμού και γλώσσες δημιουργίας ερωτημάτων στις βάσεις δεδομένων. Τα ονόματα των κατηγορημάτων είναι απλές συμβολοσειρές χαρακτήρων.

2.3.2 Σύνταξη των Συνδρομών

Η μοντελοποίηση της σύνταξης των συνδρομών έχει άμεση σχέση με τον τύπο διευθυνσιοδότησης του συστήματος του χρησιμοποιείται. Γι' αυτόν το λόγο, οι τρεις

διαφορετικοί τύποι συστημάτων που περιγράφονται στην ενότητα 2.1 αποτελούν, αντίστοιχα και τρεις διαφορετικούς τρόπους σύνταξης μιας συνδρομής. Άλλοι τρόποι σύνταξης των συνδρομών που αφορούν τύπους συστημάτων βασισμένων στο περιεχόμενο και δίνουν μεγαλύτερη ευελιξία και έκφραση στο χρήστη είναι οι εξής:

- *Βασισμένες στα κατηγορήματα με χρήση περιορισμών (Attribute-Based with constraints)* [8]: Αυτός ο τρόπος σύνταξης έχει άμεση σχέση με τον τρόπο έκφρασης μηνυμάτων βασισμένων στα κατηγορήματα που παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.3.1. Κάθε κατηγορήμα με χρήση περιορισμών αποτελείται από μια συστοιχία της μορφής τύπος, όνομα, δυαδικός τελεστής και τιμή. Το σύνολο των τελεστών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιλαμβάνει όλους τους σχεσιακούς τελεστές ισότητας και ταξινόμησης (=, ≠, <, >, κ.λπ) για όλους τους τύπους, τελεστές για συμβολοσειρές όπως υποσύνολο χαρακτήρων μιας συμβολοσειράς (*) (substring), πρόθεμα (> *) και επίθεμα (* <) και τον τελεστή *όλα* για χρήση όλων των τιμών. Για παράδειγμα το,

string	ProductName	= UsefulStuff
integer	ProductRelease	> 4

δείχνει μια τέτοια μορφή σύνταξης.

Ένα κατηγορήμα της μορφής $\rho = (\text{τύπος}_\rho, \text{όνομα}_\rho, \text{τιμή}_\rho)$ ταυτίζεται με ένα κατηγορήμα που κάνει χρήση περιορισμών $\phi = (\text{τύπος}_\phi, \text{όνομα}_\phi, \text{τιμή}_\phi)$, αν και μόνον αν ισχύει η συνθήκη:

$$\text{τύπος}_\rho = \text{τύπος}_\phi \wedge \text{όνομα}_\rho = \text{όνομα}_\phi \wedge \text{τελεστής}_\phi(\text{τιμή}_\rho, \text{τιμή}_\phi)$$

Για να υπάρξει ταύτιση ενός μηνύματος με μία συνδρομή πρέπει όλα τα κατηγορήματα της συνδρομής να ικανοποιηθούν. Το σχήμα 2-2 δείχνει μια τέτοια περίπτωση. Πολλαπλά κατηγορήματα με ίδιο όνομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη σύνταξη μιας συνδρομής, όπου και ερμηνεύονται σαν μια μεταξύ τους συνένωση. Τέλος, μπορεί να υπάρξουν κατηγορήματα στο μήνυμα τα οποία δεν αντιστοιχούν πουθενά στο περιεχόμενο μιας συνδρομής.

Μήνυμα			Συνδρομή		
Τύπος	Όνομα	Τιμή	Τύπος	Όνομα	Περιορισμός
string	exchange	= NYSE	string	exchange	N*SE
string	symbol	= OTE	string	symbol	= OTE
date	when	= Jan 1 12:05:25 EET 2003	float	price	< 8.70
float	price	= 8.40	float	price	> 8.30
integer	volume	= 132700			
float	high	= 8.80			
float	low	= 8.22			

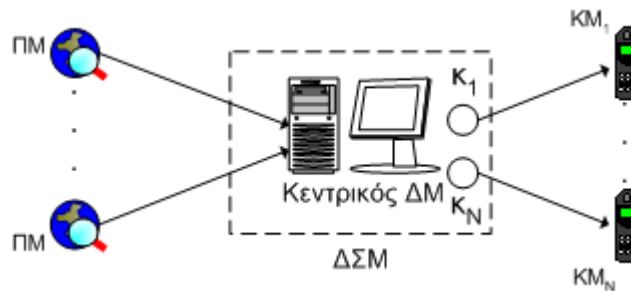
Σχήμα 2-2. Παράδειγμα ταύτισης ενός μηνύματος και μίας συνδρομής.

- *Συνδυασμός μηνυμάτων (Event combination)*: Είναι δυνατόν να οριστεί μια μορφή έκφρασης σε συνδρομή στην οποία να απαιτείται η ύπαρξη συνδυασμού περισσοτέρων του ενός μηνυμάτων. Για παράδειγμα, σ' ένα σύστημα μηνυμάτων που χρησιμοποιεί διαχρονικά δεδομένα [19], ένα ΔΣΜ θα μπορούσε να εκδώσει την ακόλουθη συνδρομή: `subscribe(A followed by B where A.share = "OTE" and B.share = "OTE" and B.value = A.value + 25%)`. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την ενημέρωση κάποιου χρήστη κάθε φορά που η τιμή της μετοχής του ΟΤΕ αυξάνεται κατά 25%.

2.4 Αρχιτεκτονικές

2.4.1 Κεντριοποιημένο Σύστημα (Centralized System)

Ένα κεντριοποιημένο Διαμεσολαβητικό Σύστημα Μηνυμάτων αποτελείται από μόνο ένα Διαμεσολαβητή Μηνυμάτων (σχήμα 2-3). Ο κεντρικός ΔΜ συγκεντρώνει και αποθηκεύει όλες τις ενεργές συνδρομές του συστήματος. Για κάθε νέο μήνυμα που δημοσιεύεται, ο ΔΜ είναι υπεύθυνος να κάνει τον έλεγχο ταύτισης του συγκεκριμένου μηνύματος με όλες τις συνδρομές. Μετά, το μήνυμα προωθείται σ' όλους του Καταναλωτές Μηνυμάτων που ικανοποιήθηκαν. Ένα τέτοιο σύστημα που υπάρχει στη βιβλιογραφία είναι το SIFT [36].



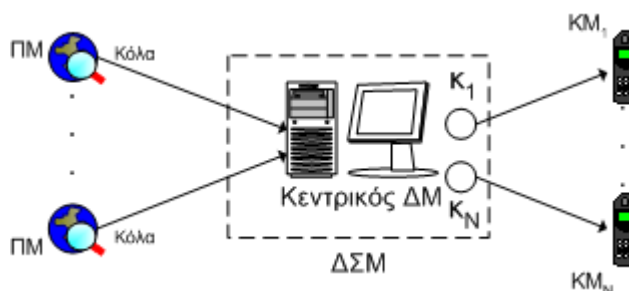
Σχήμα 2-3. Κεντριοποιημένη αρχιτεκτονική ενός ΔΣΜ.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους συστήματα είναι το κατά πόσο μπορεί να υπάρξει αποδοτική ταύτιση ενός νέου μηνύματος σε συνδυασμό με ένα μεγάλο σύνολο από συνδρομές. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά αλγόριθμοι ταύτισης (matching algorithms) που προσπαθούν να λύσουν τέτοιου είδους προβλήματα. Άλλα μειονεκτήματα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι η κυκλοφοριακή συμφόρηση που προκαλείται (αφού όλες οι πληροφορίες

διοχετεύονται σ' ένα και μόνο εξυπηρετητή) και τέλος η κατάρρευση όλου του συστήματος όταν ο κεντρικός ΔΜ τεθεί εκτός λειτουργίας.

2.4.1.1 Κεντριοποιημένο Σύστημα με χρήση Φιλτραρίσματος (Centralized System with Quenching)

Η χρήση φιλτραρίσματος προτάθηκε [30] ως ένας εμπλουτισμός στην προσέγγιση της κεντριοποιημένης αρχιτεκτονικής (σχήμα 2-4). Σε κάθε μία από τις Πηγές Μηνυμάτων δίνεται ένας "συνδυασμός όλων των κατηγορημάτων" που περιέχονται στο σύνολο των ενεργών συνδρομών ($\kappa_{\text{όλα}}$). Αυτό βασικά αντιπροσωπεύει το λογικό OR όλων των ενεργών συνδρομών που βρίσκονται στον Διαμεσολαβητή Μηνυμάτων. Ουσιαστικά, αυτό ορίζεται ως $\kappa_{\text{όλα}} = \kappa_1 \vee \kappa_2 \vee \dots \vee \kappa_N$. Όταν ένα νέο μήνυμα μ δημιουργείται, ο ΠΜ πρώτα το ελέγχει με βάση το $\kappa_{\text{όλα}}$. Αν το $\kappa_{\text{όλα}}(\mu) = \text{λάθος}$, τότε αυτό σημαίνει ότι καμία συνδρομή δεν ικανοποιείται από το μ . Γι' αυτόν τον λόγο το μήνυμα απορρίπτεται (φιλτράρεται) από την πηγή. Αν μεταξύ του μ και του $\kappa_{\text{όλα}}$ έχουμε ταύτιση τότε αυτό σημαίνει ότι υπάρχει έστω και μία συνδρομή που ενδιαφέρεται για το συγκεκριμένο μήνυμα και έτσι προωθείται κανονικά στον ΠΜ.



Σχήμα 2-4. Κεντριοποιημένη αρχιτεκτονική ενός ΔΣΜ με χρήση φιλτραρίσματος.

Η χρήση του φιλτραρίσματος αποδεικνύεται να είναι αρκετά αποδοτική όσον αφορά τη μείωση της κίνησης του δικτύου και του φόρτου εργασίας στον κεντρικό ΠΜ όταν ένα σημαντικό μέρος των μηνυμάτων που δημιουργούνται δεν ικανοποιούν καμία συνδρομή. Βασικά, η μεθοδολογία του φιλτραρίσματος αντιπροσωπεύει μια ανταλλαγή μεταξύ του εύρους ζώνης (bandwidth) που χρειάζεται για να σταλούν όλα τα μηνύματα και της υπολογιστικής ισχύος (computation power) για να γίνει ο έλεγχος της ταύτισης και του φιλτραρίσματος των μηνυμάτων.

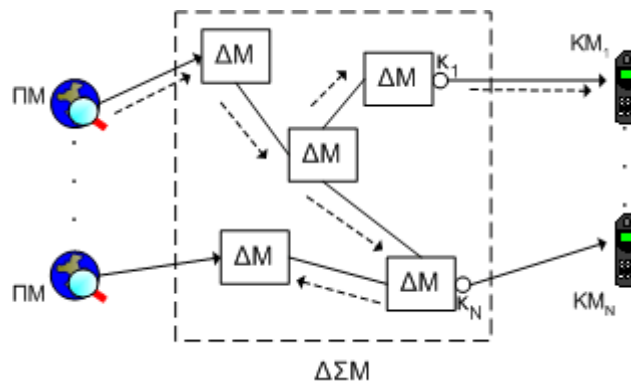
2.4.2 Κατανεμημένο Σύστημα (Distributed System)

Όπως φαίνεται από την προηγούμενη ενότητα, τα κεντροποιημένα συστήματα είναι αρκετά περιορισμένα λόγω των ελάχιστων δυνατοτήτων που έχει ένας και μόνο εξυπηρετητής. Αυτή η παράγραφος δίνει έμφαση σε δύο τυπικούς τρόπους, με τους οποίους το σύνολο της εργασίας διαμοιράζεται σε πολλαπλούς εξυπηρετητές.

2.4.2.1 Κατανεμημένο Σύστημα με Καθολική Μετάδοση (Distributed Broadcast)

Σ' ένα κατανεμημένο σύστημα με καθολική μετάδοση (σχήμα 2-5), το ΔΣΜ αποτελείται από M Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων, στο οποίο ο κάθε ένας είναι υπεύθυνος για κάποιο υποσύνολο από όλο το πλήθος N των συνδρομών. Οι ΔΜ συνδέονται μεταξύ τους μέσω κάποιου δικτύου και σχηματίζουν ένα γενικό συνδεδεμένο γράφο. Στην πραγματικότητα η σύνδεση μεταξύ των ΔΜ μπορεί να γίνει με οποιαδήποτε τοπολογία όπως π.χ. αυτή του ιεραρχικού δέντρου. Μία Πηγή Μηνυμάτων δημοσιεύει ένα νέο μήνυμα σε οποιοδήποτε από τους M ΔΜ (στην πραγματικότητα, είναι πιθανό μία ΠΜ να είναι συνδεδεμένη στον κοντινότερο ΔΜ του δικτύου). Ο συγκεκριμένος ΔΜ είναι τότε υπεύθυνος στο να προωθήσει το μήνυμα σ' όλους τους υπόλοιπους ΔΜ του συστήματος. Ένας τρόπος υλοποίησης της καθολικής προώθησης μπορεί να είναι μέσω της πολλαπλής μετάδοσης στο επίπεδο δικτύου [12].

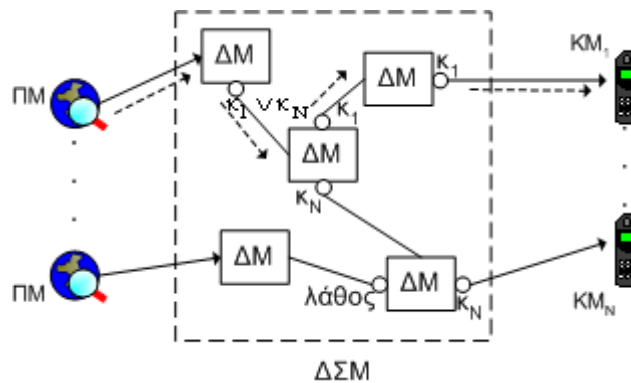
Για κάθε νέο μήνυμα που καταφθάνει, ο κάθε ΔΜ ελέγχει για πιθανή ταύτιση του νέου μηνύματος με το πλήθος των συνδρομών που έχει υπό την ευθύνη του και (όταν χρειάζεται) πραγματοποιεί και την παράδοση του στους αντίστοιχους ΚΜ. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι ο φόρτος εργασίας τόσο στον έλεγχο ταύτισης όσο και στη διαδικασία παράδοσης για κάθε ΔΜ είναι μειωμένος σε σύγκριση με την κεντροποιημένη προσέγγιση. Αυτό συμβαίνει, διότι, παρόλο που σε κάθε ΔΜ εκτελείται η όλη διαδικασία για όλα τα μηνύματα, χρειάζεται να τα ελέγξει μόνο για το μέρος του συνόλου των συνδρομών που έχει στην κατοχή του. Οι διακεκομμένες γραμμές στο σχήμα 2-5, δίνουν ένα παράδειγμα της διαδρομής που θα διασχίσει ένα μήνυμα το οποίο ικανοποιεί το k_1 . Ένα παράδειγμα συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής που χρησιμοποιεί καθολική μετάδοση είναι το SIFT [36].



Σχήμα 2-5. Κατανεμημένο σύστημα με καθολική μετάδοση.

2.4.2.2 Κατανεμημένο Σύστημα με Πολλαπλή Μετάδοση (Distributed Multicast)

Η καθολική μετάδοση μπορεί να δημιουργήσει μεγάλη κίνηση στο δίκτυο εξ αιτίας του ότι όλα τα μηνύματα διοχετεύονται σ' όλους τους Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων του συστήματος. Μια άλλη προσέγγιση, αυτή του κατανεμημένου συστήματος με πολλαπλή μετάδοση (σχήμα 2-6), περιορίζει τον αριθμό των διαδρομών στις οποίες πρέπει να προωθηθεί κάποιο μήνυμα (το σύνολο των διαδρομών σχηματίζει ένα εικονικό "δέντρο", γι' αυτό και αρκετά συχνά χρησιμοποιείται αυτός ο όρος). Συγκεκριμένα, όταν ένα μήνυμα φθάνει σε ένα ΔΜ A , τότε αυτό προωθείται μόνο στους εξερχόμενους απ' αυτόν ΔΜ που ικανοποιούν την παρακάτω συνθήκη: μπορεί να υπάρξει ταύτιση του συγκεκριμένου μηνύματος με κάποια συνδρομή που βρίσκεται σε κάποιον ΔΜ B ο οποίος ανήκει στην ίδια διαδρομή μ' αυτή του ΔΜ A . Με άλλα λόγια, ένας ΔΜ προωθεί επιλεκτικά ένα μήνυμα με βάση το αποτέλεσμα που δίνει η "μερική ταύτιση". Κατ' ουσία, το μήνυμα ελέγχεται για ταύτιση σε σχέση με το λογικό OR όλων των συνδρομών που είναι αποθηκευμένες σε όλους τους ΔΜ και ακολουθούν την ίδια διαδρομή μ' αυτή του συγκεκριμένου ΔΜ όπου γίνεται ο έλεγχος της ταύτισης. Αν το αποτέλεσμα δεν είναι θετικό, τότε το μήνυμα δεν συνεχίζει στις διαδρομές που επακολουθούν.



Σχήμα 2-6. Κατανεμημένο σύστημα με πολλαπλή μετάδοση.

Η χρήση της μερικής ταύτισης υπονοεί ότι, εν σχέση με την καθολική μετάδοση, για κάθε Διαμεσολαβητή Συστημάτων δεν φτάνει πλέον να έχει γνώση μόνο για τις δικές του συνδρομές. Στη χειρότερη περίπτωση, ο κάθε ΔM πρέπει να αποθηκεύει όλες τις τρέχουσες συνδρομές του συστήματος. Σε μετέπειτα κεφάλαιο θα δούμε κάποιες από τις λύσεις που προτάθηκαν στη βιβλιογραφία για να υπάρξει καλύτερη απόδοση. Τέτοιες λύσεις είναι π.χ., αυτή που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4 ή αυτή του Siena [8].

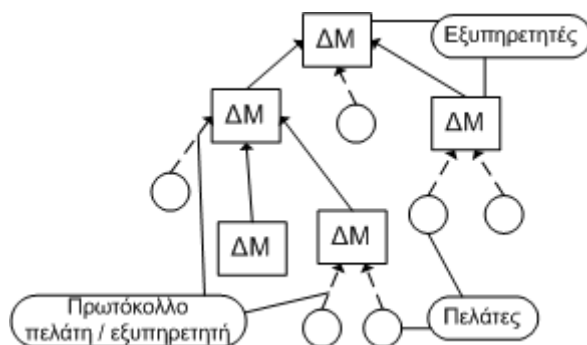
2.5 Τοπολογίες εξυπηρετητών (Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων)

Σ' αυτή την ενότητα θα δούμε τρεις βασικές τοπολογίες σύμφωνα με τις οποίες μπορούν να παραταχθούν οι εξυπηρετητές ενός συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής με κατανεμημένο σύστημα. Αυτές είναι η ιεραρχική τοπολογία (hierarchical topology), η ακυκλική με ομότιμους εξυπηρετητές (acyclic peer-to-peer) και η γενική τοπολογία πάλι με ομότιμους εξυπηρετητές (general peer-to-peer). Επίσης, θα δούμε και κάποιες υβριδικές τοπολογίες.

2.5.1 Ιεραρχική τοπολογία

Ένας τρόπος σύνδεσης των εξυπηρετητών είναι αυτός που απεικονίζεται στο σχήμα 2-7. Κάθε εξυπηρετητής μπορεί να έχει ανεξάρτητο αριθμό εισερχόμενων συνδέσεων από άλλους εξυπηρετητές αλλά μόνο μία εξερχόμενη σύνδεση, αυτή του "πατέρα". Ο εξυπηρετητής που δεν έχει "πατέρα", ονομάζεται ρίζα. Επίσης,

ανεξάρτητος είναι και ο αριθμός των πελατών για κάθε εξυπηρετητή. Ένας πελάτης μπορεί να είναι είτε Πηγή είτε Καταναλωτής Μηνυμάτων.



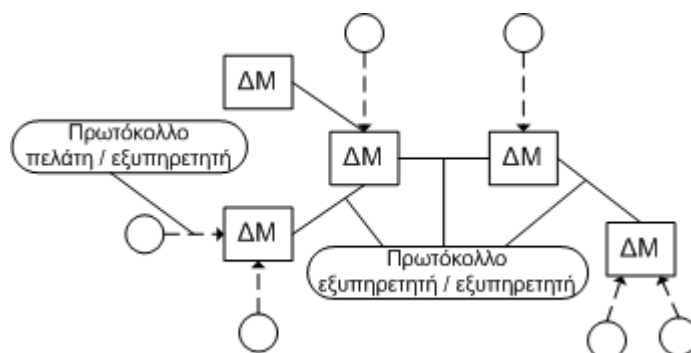
Σχήμα 2-7. Ιεραρχική τοπολογία.

Το βασικό πρόβλημα αυτής της τοπολογίας είναι η μεγάλη υπερφόρτωση των εξυπηρετητών που βρίσκονται ψηλότερα στην ιεραρχία. Επίσης, κάθε κόμβος ενεργεί ως ένα κρίσιμο σημείο ανεπάρκειας για όλο το δίκτυο. Είναι δηλαδή γεγονός, η μη λειτουργία ενός εξυπηρετητή να επιφέρει την αποκοπή όλων των υπό-δικτύων που εξαρτώνται απ' αυτόν.

Στο κεφάλαιο 3 θα δούμε πώς ένα σύστημα [10] που χρησιμοποιεί αυτή την τοπολογία, δρομολογεί τα μηνύματα και τις συνδρομές του συστήματος.

2.5.2 Ακυκλική τοπολογία με ομότιμους εξυπηρετητές

Με τη χρήση αυτής της τοπολογίας οι εξυπηρετητές επικοινωνούν μεταξύ τους ως ομότιμοι κόμβοι χρησιμοποιώντας αμφίδρομη ροή των πληροφοριών που ανταλλάζουν. Η διαμόρφωση των συνδέσεων που έχουν μεταξύ τους είναι περιορισμένη έτσι ώστε να δημιουργείται ένας ακυκλικός, μη κατευθυνόμενος γράφος (σχήμα 2-8).

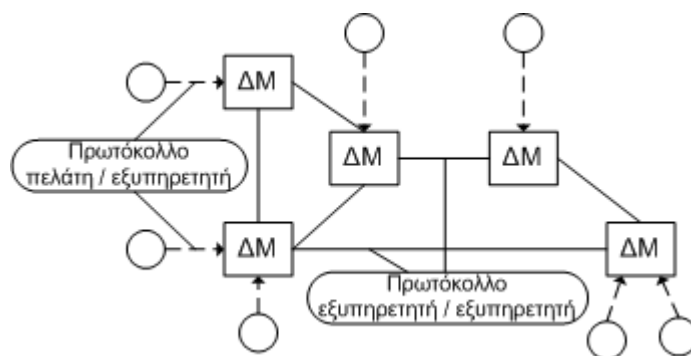


Σχήμα 2-8. Ακυκλική τοπολογία με ομότιμους εξυπηρετητές.

Όπως και στην ιεραρχική τοπολογία, η έλλειψη πλεονασμού των συνδέσεων μεταξύ των εξυπηρετητών δημιουργεί περιορισμούς ως προς την επικοινωνία τους. Η κατάρρευση ενός κόμβου δημιουργεί την αποκοπή όλων των υπολοίπων που συνδέονται μ' αυτόν.

2.5.3 Γενική τοπολογία με ομότιμους εξυπηρετητές

Αν αφαιρέσουμε τον περιορισμό της ακυκλικότητας από την ακυκλική τοπολογία, πετυχαίνουμε τη γενική τοπολογία με ομότιμους εξυπηρετητές. Όπως και η ακυκλική τοπολογία με ομότιμους εξυπηρετητές, αυτή η τοπολογία επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των εξυπηρετητών αλλά μπορεί να σχηματίσει ένα γενικό, μη κατευθυνόμενο γράφο με πιθανότητα να υπάρχουν πολλαπλές διαδρομές πρόσβασης μεταξύ των εξυπηρετητών. Ένα τέτοιο παράδειγμα απεικονίζεται στο σχήμα 2-9.



Σχήμα 2-9. Γενική τοπολογία με ομότιμους εξυπηρετητές.

Το πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας σε σχέση με τις δύο προηγούμενες είναι η μεγαλύτερη ανεκτικότητα σε πιθανές καταρρεύσεις των εξυπηρετητών και η ευελιξία που υπάρχει ως προς τις συνδέσεις επικοινωνίας που έχουν μεταξύ τους. Το μειονέκτημα όμως που προκύπτει, είναι η αναγκαιότητα επιπρόσθετων αλγορίθμων για την αποφυγή δημιουργίας των κύκλων και για την εύρεση της καλύτερης διαδρομής.

2.5.4 Υβριδικές τοπολογίες

Ορισμένες φορές υπάρχει η αναγκαιότητα για συνδυασμό των τριών βασικών τοπολογιών. Μ' αυτό τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση και διαχείριση του όλου συστήματος. Ένα παράδειγμα τέτοιας υβριδικής τοπολογίας είναι

η χρήση της γενικής τοπολογίας με ομότιμους εξυπηρετητές στο γενικότερο επίπεδο του δικτύου όπου θα διασυνδέονται διαφορετικά – συνεργαζόμενα εσωτερικά δίκτυα (intranets). Κάθ' ένα απ' αυτά μπορεί να υλοποιείται με μια ιεραρχική τοπολογία. Κάποιο άλλο παράδειγμα μπορεί να είναι η χρήση της ακυκλικής τοπολογίας για σύνδεση ομαδοποιημένων εξυπηρετητών (clusters) όπου η κάθε ομάδα θα χρησιμοποιεί γενική τοπολογία. Η κάθε ομάδα μπορεί να έχει κάποιο εξυπηρετητή που θα λειτουργεί ως πύλη και μέσω αυτού θα πραγματοποιείται η σύνδεση με τις υπόλοιπες ομάδες.

Επισκόπηση Σχετικής Βιβλιογραφίας (Related work)

Αυτό το κεφάλαιο χωρίζεται βασικά σε δύο μέρη. Στο πρώτο, παρουσιάζονται μερικοί σημαντικοί αλγόριθμοι ταύτισης (matching algorithms) που έχουν ως στόχο να βρουν τις συνδρομές που ικανοποιούνται από ένα μήνυμα, έτσι ώστε να παραδοθεί στους αντίστοιχους χρήστες των συνδρομών. Στο δεύτερο, παρουσιάζονται κάποιοι άλλοι αλγόριθμοι δρομολόγησης / φιλτραρίσματος που έχουν ως στόχο την αποδοτική προώθηση των μηνυμάτων μέσα σ' ένα καταναμημένο Διαμεσολαβητικό Σύστημα Μηνυμάτων.

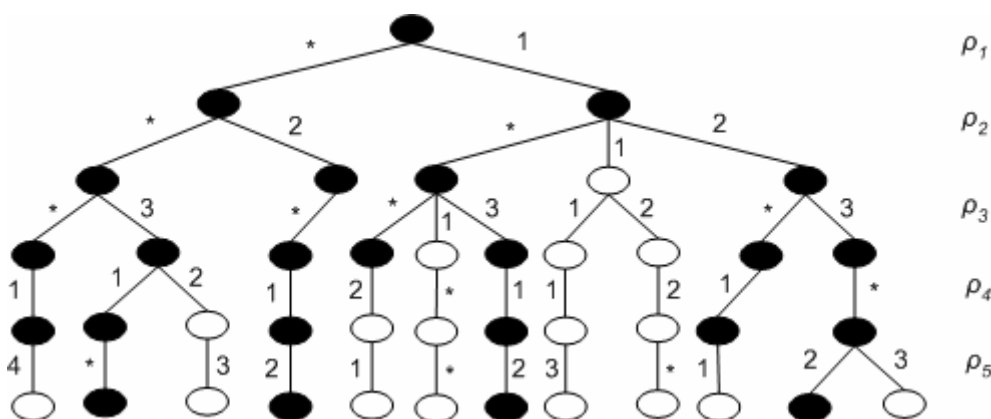
3.1 Αλγόριθμοι Ταύτισης (Matching Algorithms)

Εκτός απ' αυτές που αναλύονται παρακάτω, υπάρχουν και αρκετές άλλες προτεινόμενες λύσεις, αλλά λόγω περιορισμένου χώρου δεν είναι δυνατή η παρουσίαση και η ανάλυσή τους. Κάποιες απ' αυτές αναλύονται εκτεταμένα στο [14], όπου συγκρίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε λύσης. Επιπλέον, το σύστημα SIFT [36] παρουσιάζει έναν ακόμα αλγόριθμο, ο οποίος όμως μειονεκτεί στο γεγονός ότι έχει τη δυνατότητα να ελέγχει για ταύτιση μόνο σε κείμενο και όχι π.χ. σε αριθμητικούς τελεστές.

3.1.1 Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Gryphon

Ο αλγόριθμος του συστήματος Gryphon [1] βασίζεται στην ταξινόμηση και οργάνωση των συνδρομών σε μία δομή δεδομένων που υλοποιεί ένα παράλληλο δέντρο αναζήτησης (parallel search tree), στο οποίο κάθε διαδρομή από τη ρίζα σ' ένα φύλλο αντιπροσωπεύει και μία συνδρομή. Ο έλεγχος της ταύτισης εκτελείται ακολουθώντας όλες τις διαδρομές από τη ρίζα στα φύλλα, όπου ικανοποιείται ένα μήνυμα. Διαισθητικά, η συγκεκριμένη δομή δεδομένων αποφέρει έναν κλιμακωτό αλγόριθμο, διότι αξιοποιεί τις ομοιότητες των συνδρομών ως κοινά προθέματα των διαδρομών από τη ρίζα σε κάποιο φύλλο.

Το σχήμα 3-1 δείχνει ένα παράδειγμα ενός δέντρου ταύτισης αποτελούμενο από πέντε κατηγορήματα ($\rho_1 - \rho_5$). Η ρίζα του δέντρου αντιπροσωπεύει κάποιον έλεγχο τιμής για το κατηγορήμα ρ_1 , οι κόμβοι του επόμενου επιπέδου αντιπροσωπεύουν κάποιον έλεγχο για το κατηγορήμα ρ_2 , κ.ο.κ. Στις διακλαδώσεις τοποθετούνται ετικέτες με τις τιμές για τις οποίες έγινε ο έλεγχος του κάθε κατηγορήματος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, όπου φαίνονται μόνο έλεγχοι ισότητας (παρόλο που υπάρχει και η δυνατότητα ελέγχων για εύρος τιμών), η δεξιά διακλάδωση της ρίζας αντιπροσωπεύει τον έλεγχο του $\rho_1 = 1$. Η αριστερή διακλάδωση της ρίζας, με ετικέτα το *, δείχνει ότι οι συνδρομές διαμέσου της συγκεκριμένης διακλάδωσης δεν ενδιαφέρονται για την τιμή του κατηγορήματος ρ_1 . Σε κάθε φύλλο τοποθετείται ετικέτα με τους δείκτες όλων των συνδρομητών που επιθυμούν να λαμβάνουν μηνύματα, όπου αυτά ταυτίζονται με τους περιορισμούς, π.χ., όλων των ελέγχων από τη ρίζα μέχρι κάποιο φύλλο. Για παράδειγμα, στο σχήμα 3-1, η δεξιότερη διαδρομή αντιπροσωπεύει κάποια συνδρομή που έχει ως περιορισμούς τους $\rho_1=1$ & $\rho_2=2$ & $\rho_3=3$ & $\rho_5=3$. Εφ' όσον το ρ_4 δεν εμφανίζεται στη συνδρομή, αυτό αντιπροσωπεύεται με την τιμή *.



Σχήμα 3-1. Ένα παράδειγμα με την προτεινόμενη λύση του συστήματος Gryphon.

Έχοντας αυτήν τη δεντρική παρουσίαση των συνδρομών, ο έλεγχος ταύτισης εκτελείται ως ακολούθως: Ξεκινά από τη ρίζα έχοντας ως τρέχον κατηγορήμα το ρ_L . Σε κάθε κόμβο που δεν είναι φύλλο, βρίσκει την τιμή τ_k του τρέχοντος κατηγορήματος ρ_k . Στη συνέχεια, ακολουθεί οποιοσδήποτε από τις ακόλουθες ακμές όπου: (1) έχει ετικέτα με τιμή τ_k και (2) έχει ετικέτα με τιμή *. Αυτό θα οδηγήσει σε 0, 1 ή 2 διαδοχικούς κόμβους (ή περισσότερους στη γενικότερη περίπτωση που οι έλεγχοι δεν περιορίζονται μόνο στις ισότητες). Έτσι, ξεκινάει μια παράλληλη υπό-αναζήτηση σε κάθε διαδοχικό κόμβο. Για παράδειγμα, αν εκτελέσουμε τον αλγόριθμο ταύτισης στο δέντρο ταύτισης στο σχήμα 3-1, ενώ συνάμα υπάρχει ένα μήνυμα της μορφής $\rho = \langle 1, 2, 3, 1, 2 \rangle$, τότε θα επισκεφθούμε όλους τους κόμβους με μαύρο χρώμα και θα βρούμε τέσσερις συνδρομές (τα φύλλα του δέντρου με μαύρο χρώμα).

Ο τρόπος με τον οποίο τα κατηγορήματα ταξινομούνται από τη ρίζα μέχρι τα φύλλα μπορεί να είναι τυχαίος. Αποδεικνύεται όμως, ότι ο αλγόριθμος έχει καλύτερη απόδοση αν κοντινότερα στη ρίζα επιλέγονται τα κατηγορήματα που έχουν λιγότερο αριθμό από συνδρομές με ετικέτες που έχουν την τιμή *. Εκτός απ' αυτή τη μέθοδο, στο [1] παρουσιάζονται και κάποιοι άλλοι τρόποι που κάνουν τον αλγόριθμο να βελτιώνεται ακόμα περισσότερο.

3.1.2 Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Gough

Οι Gough και Smith προτείνουν έναν αλγόριθμο ταύτισης [16], τον οποίο ονομάζουν ο αλγόριθμος του *gough* (αλγόριθμος 3-1). Έχει αρκετές ομοιότητες με τον αντίστοιχο αλγόριθμο του Gryphon. Μια από αυτές είναι ότι και σ' αυτήν την περίπτωση, οι συνδρομές οργανώνονται σ' ένα δέντρο. Η βασική όμως διαφορά είναι ότι το δέντρο είναι με τέτοιο τρόπο οργανωμένο, έτσι ώστε, ένα μήνυμα ακολουθεί μόνο μία διαδρομή για να μπορέσει να βρει το σύνολο των συνδρομών (μία ή περισσότερες) που ταυτίζονται μ' αυτό. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η κάθε διαδρομή διαμορφώνει τις συνδρομές με τις οποίες μπορεί να υπάρξει ταύτιση έχοντας ως βάση τις τιμές των κατηγορημάτων και ακολουθώντας τη συνέχεια της διαδρομής. Επίσης, και ο αριθμός των επιπέδων του δέντρου είναι ίσος με τον αριθμό των κατηγορημάτων. Εδώ όμως, μία συνδρομή μπορεί να αντιστοιχισθεί σε διαφορετικές διαδρομές μέσα στο δέντρο. Οι κόμβοι φύλλα αποθηκεύουν τις συνδρομές που αντιπροσωπεύονται σ' όλη τη διαδρομή. Σε κάθε επίπεδο του

δέντρου (γραμμές 5-13), ένα συγκεκριμένο κατηγορήμα του μηνύματος ελέγχεται, έτσι ώστε να καθοριστεί ο επόμενος κόμβος (γραμμές 8-13) που πρέπει να ακολουθήσει, μέχρι να βρεθεί κάποιος κόμβος φύλλο (γραμμές 5-6). Επιλογή νέου κόμβου γίνεται εφόσον η τιμή της ακμής ικανοποιείται από την τιμή του κατηγορήματος. Αν σε κάποιο επίπεδο δεν υπάρχει μια τέτοια ακμή (γραμμή 10), τότε αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμία συνδρομή που να ταυτίζεται με το μήνυμα.

```

gough_match(e)
1  // e is the event to process. T holds the subscription tree.
2  matched ← process(T.root, e)
3
4 process(n, e)
5  if n is a leaf node then
6      return n.subscriptions
7  end if
8  next ← next node triggered by e at node n
9  if next is NULL then
10     return {}
11 else
12     return process(next, e)
13 end if

```

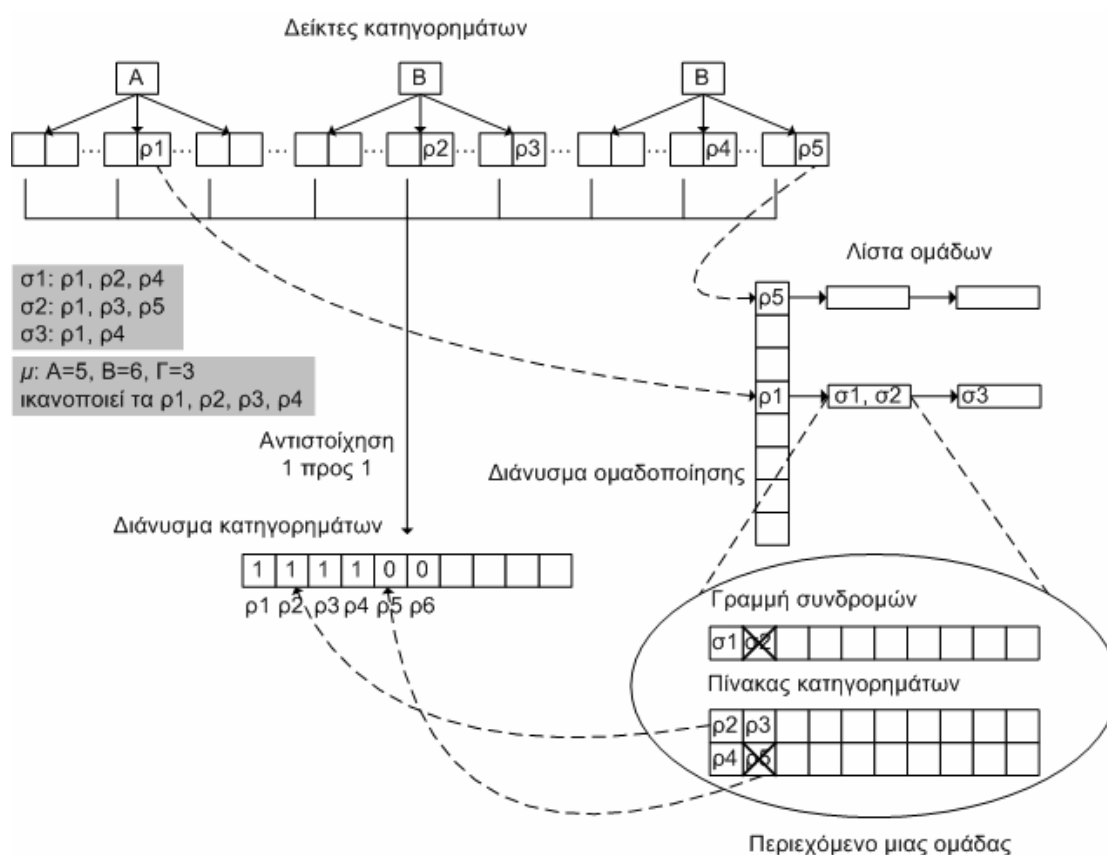
Αλγόριθμος 3-1. Ο αλγόριθμος του gough.

3.1.3 Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Le Subscribe

Το σύστημα Le Subscribe προτείνει μία εντελώς διαφορετική προσέγγιση [13], χρησιμοποιώντας μια στρατηγική ομαδοποίησης της απαραίτητης πληροφορίας. Αυτή η στρατηγική βασίζεται στις εξής δύο κεντρικές ιδέες: (1) ομαδοποίηση των συνδρομών με βάση το μέγεθος τους (αριθμός κατηγορημάτων) και με βάση τις κοινές συνενώσεις των κατηγορημάτων τους που έχουν ως τελεστή την ισότητα. Έτσι, πολλές συνδρομές μπορούν (εν μέρει) να αποτιμηθούν χρησιμοποιώντας μια μόνο σύγκριση. (2) χρησιμοποιεί κατακερματισμένους δείκτες πολλαπλών κατηγορημάτων, έτσι ώστε διαφορετικά κατηγορήματα της ίδιας συνδρομής να μπορούν να αποτιμηθούν χρησιμοποιώντας και πάλι μια μόνο σύγκριση.

Ο αλγόριθμος υλοποιείται χρησιμοποιώντας τις δομές δεδομένων που απεικονίζονται στο σχήμα 3-2. Διευκρινιστικά, αναφέρεται ότι μια συνδρομή σ του παρόντος συστήματος, ορίζεται από μία ταυτότητα και από ένα σύνολο κατηγορημάτων της μορφής $\langle \text{κατηγορήμα}, \text{τελεστής}, \text{τιμή} \rangle$. Ένα μήνυμα είναι ένα σύνολο από ζευγάρια της μορφής $\langle \text{κατηγορήμα}, \text{τιμή} \rangle$. Οι δομές αυτές αποτελούνται από ένα σύνολο από δείκτες, ένα διάνυσμα ψηφίων για τα κατηγορήματα (*διάνυσμα*

κατηγορημάτων – predicate bit vector) και από ένα διάνυσμα αναφοράς λιστών ομαδοποίησης των συνδρομών, ονομαζόμενο ως *διάνυσμα ομαδοποίησης* (cluster vector). Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τους δείκτες για να υπολογίσει το σύνολο των κατηγορημάτων που ικανοποιούνται από ένα εισερχόμενο μήνυμα και το σύνολο των ομάδων που σχετίζονται με το μήνυμα. Κάθε κατηγορημα που ανήκει στο σύνολο των δεικτών και παρουσιάζεται σε μία ή περισσότερες συνδρομές, συσχετίζεται με μία μοναδική θέση στο διάνυσμα κατηγορημάτων. Η τιμή αυτής της θέσης αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της αποτίμησης του κατηγορηματος. Αν έχει την τιμή 1, τότε το κατηγορημα έχει ικανοποιηθεί από το εισερχόμενο μήνυμα, αλλιώς παίρνει την τιμή 0.



Σχήμα 3-2. Ένα παράδειγμα με την προτεινόμενη λύση του συστήματος Le Subscribe.

Ένα κατηγορημα ρ μπορεί επίσης να συσχετισθεί με μια λίστα αναφοράς ομαδοποιημένων συνδρομών. Σ' αυτή την περίπτωση, το ρ είναι *κατηγορημα εισόδου* για όλες τις συνδρομές που ανήκουν στην ίδια λίστα των ομάδων. Το ρ μπορεί να είναι κατηγορημα εισόδου για μία συνδρομή σ , μόνο αν η σ μπορεί να ταυτιστεί με μηνύματα, στα οποία επαληθεύεται το ίδιο το ρ . Μ' αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται ότι οι συνδρομές που βρίσκονται στην ίδια λίστα των ομάδων που σχετίζονται με το

ρ , χρειάζεται να εξεταστούν μόνο αν έχει ικανοποιηθεί το ρ . Μέσα σε κάθε λίστα ομάδων, οι συνδρομές ομαδοποιούνται σε *ομάδες συνδρομών* (subscription clusters) με βάση το μέγεθος τους (αριθμός των κατηγορημάτων που τις αποτελούν).

Το σχήμα 3-2 μας δείχνει ένα παράδειγμα μιας ομάδας από συνδρομές έχοντας δύο κατηγορήματα για έλεγχο. Μια ομάδα από συνδρομές με μέγεθος ν είναι οργανωμένη ως εξής: αποτελείται από ένα πλήθος ν -διάστατων πινάκων, ονομαζόμενος ως *πίνακας κατηγορημάτων* (predicates array) όπου αποθηκεύονται αναφορές για το διάνυσμα κατηγορημάτων και από έναν μονοδιάστατο πίνακα, ονομαζόμενο *γραμμή συνδρομής* (subscription line) που περιέχει ταυτότητες συνδρομών. Η θέση $[i, j]$ του πίνακα κατηγορημάτων περιέχει μια αναφορά για το i° κατηγορήμα του διανύσματος κατηγορημάτων. Αυτό το κατηγορήμα με τη σειρά του, περιέχεται σε μια συνδρομή, της οποίας η ταυτότητα είναι αποθηκευμένη στην j° θέση της γραμμής συνδρομών. Μ' αυτήν τη συνδρομή θα υπάρξει ταύτιση, αν και μόνον αν όλα τα αντίστοιχα ψηφία του διανύσματος κατηγορημάτων που αναφέρονται στην j° στήλη του πίνακα κατηγορημάτων είναι ίσα με το 1.

Ο αλγόριθμος ταύτισης εκτελείται κάθε φορά που εισέρχεται ένα νέο μήνυμα. Πρώτα απ' όλα, αρχικοποιείται το διάνυσμα των κατηγορημάτων ορίζοντας σε όλες τις θέσεις την τιμή 0. Μετά, ο αλγόριθμος εκτελεί τα εξής δύο βήματα: Το πρώτο βήμα είναι να χρησιμοποιήσει τους δείκτες για να υπολογίσει το σύνολο των επαληθευμένων κατηγορημάτων και να ορίσει την τιμή 1 στις αντίστοιχες θέσεις του διανύσματος κατηγορημάτων. Τους χρησιμοποιεί, επίσης, για να μπορέσει να συλλέξει όλες τις λίστες των ομάδων, όπου υπάρχει επαληθευμένο κατηγορήμα εισόδου. Το δεύτερο βήμα είναι η εξέταση της κάθε υποψήφιας ομάδας, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι συνδρομές που ταυτίζονται με το μήνυμα.

Υπάρχουν διάφορα σημαντικά χαρακτηριστικά σ' αυτόν τον αλγόριθμο. Πρώτα απ' όλα, παρατηρείται ότι οι συνδρομές είναι αποθηκευμένες ανά στήλες. Η συνδρομή j στο σχήμα 3-2, έχει καταχωρήσεις σε δύο διαφορετικούς πίνακες συνδρομών. Ο λόγος αυτής της επιλογής είναι για να βελτιώνεται η ανάκτηση της πληροφορίας σε περιοχές δεδομένων (data locality) που έχουν σχέση μεταξύ τους. Αυτό γίνεται είτε χρησιμοποιώντας χρονικές σχέσεις ανάμεσα στα δεδομένα (temporal locality) είτε όταν δεδομένα που χρησιμοποιούνται συνεχόμενα από τον αλγόριθμο τοποθετούνται σε συνεχόμενες θέσεις μνήμης (spatial locality). Τέλος, κάνει και χρήση τεχνικών, όπως της προ-εκφόρτωσης (prefetch), για να αποφεύγει τις αποτυχίες ανάκτησης πληροφορίας από την κρυφή μνήμη (cache misses).

3.2 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης & Φιλτραρίσματος

Οι λύσεις που αναλύονται παρακάτω δεν είναι και οι μοναδικές. Υπάρχουν και αρκετές άλλες προτεινόμενες λύσεις αλλά και πάλι λόγω περιορισμένου χώρου δεν είναι δυνατή η παρουσίαση και η ανάλυση τους. Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο [26] για να δει μερικές απ' αυτές τις λύσεις, που έχουν ως κοινό στοιχείο την αξιοποίηση της πολλαπλής μετάδοσης (multicast) του δικτύου IP. Επίσης, στο [9] περιγράφονται οι θεμελιώδεις προϋποθέσεις που πρέπει να έχει το δίκτυο ενός συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής βασισμένο στο περιεχόμενο και πώς αυτές συγκρίνονται με τις αντίστοιχες έννοιες των παραδοσιακών δικτύων.

3.2.1 Η προτεινόμενη λύση του συστήματος JEDI

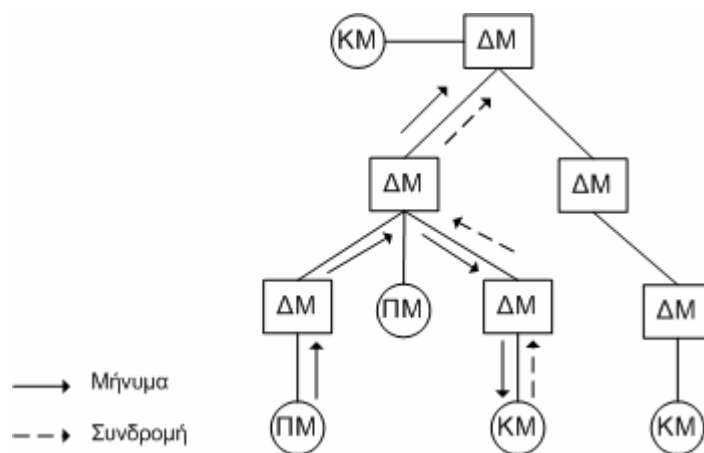
Το σύστημα JEDI [10] προτείνει ως κατανεμημένη λύση αυτήν, στην οποία οι Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων συνδέονται σε μια δενδρική, ιεραρχική δομή. Κάθε ΔΜ τοποθετείται ως ένας διαφορετικός κόμβος του δικτύου και συνδέεται με έναν "πατέρα" (εκτός από τον κόμβο ρίζα). Επίσης, συνδέει μηδέν ή περισσότερους κόμβους "παιδιά". Κάθε χρήστης (εκδότης ή συνδρομητής) του συστήματος συνδέεται σ' ένα ΔΜ (όχι όμως απαραίτητα στα φύλλα του δέντρου).

Συγκεκριμένα, μ' αυτή τη λύση οι συνδρομές μέσα στο δέντρο προωθούνται μόνο προς τα πάνω. Συνεπώς, όταν ένας ΔΜ παραλάβει ένα μήνυμα (είτε από κάποια Πηγή Μηνυμάτων που είναι συνδεδεμένη σ' αυτόν είτε από κάποια άλλη που ανήκει σε κάποιον άλλον ΔΜ), το αποστέλλει στις παρακάτω οντότητες:

1. στον πατέρα του, αν δεν είναι αυτός που του προώθησε το συγκεκριμένο μήνυμα
2. στο υποσύνολο των "παιδιών" του που του έστειλαν συνδρομές και ταυτίζονται με το μήνυμα
3. στους συνδρομητές που είναι απευθείας συνδεδεμένοι μ' αυτόν και έχουν συνδρομές που ταυτίζονται με το συγκεκριμένο μήνυμα.

Κάποιος μπορεί να συμφωνήσει ότι τα μηνύματα του συστήματος JEDI αποστέλλονται στην κορυφή του δέντρου χωρίς πάντα να είναι απαραίτητο. Για παράδειγμα, το μήνυμα που δημιουργείται στο σχήμα 3-3 ενδιαφέρει μόνο συνδρομητές που ανήκουν στο ίδιο υπό-δέντρο. Παρ' όλα αυτά, πρέπει να προωθηθεί

μέχρι την κορυφή του δέντρου επειδή ο ΔΜ που κατέχει αυτό το μήνυμα δεν γνωρίζει αν υπάρχουν κάποιες άλλες συνδρομές που ανήκουν σε διαφορετικά υπό-δέντρα και ενδιαφέρονται για το ίδιο μήνυμα.



Σχήμα 3-3. Ένα παράδειγμα με την προτεινόμενη λύση του συστήματος JEDI.

Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης είναι ότι επιτρέπει στα μηνύματα να κατανέμονται διαμέσου της ελάχιστης διαδρομής εφόσον ο κάθε ΔΜ έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί τις διαδρομές που πρέπει να ακολουθεί το κάθε μήνυμα για να φτάσει σ' όλους τους ενδιαφερόμενους συνδρομητές. Το μειονέκτημα όμως είναι η αναγκαιότητα της ενδεχόμενης μεγάλης επιβάρυνσης του δικτύου κάθε φορά που δημιουργείται μια νέα συνδρομή. Συνεπώς, αυτή η στρατηγική είναι αποδοτική όταν ο αριθμός των μηνυμάτων είναι αισθητά μεγαλύτερος από τον αριθμό των συνδρομών.

3.2.2 Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Gryphon

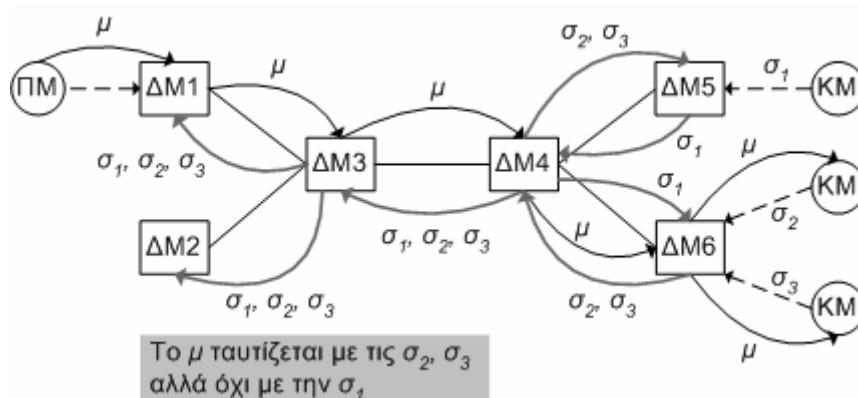
Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Gryphon [2] βασίζεται στον αλγόριθμο *ταύτιση ανά σύνδεση* (link matching), όπου ο κάθε ΔΜ βρίσκει μια μερική ταύτιση των μηνυμάτων έναντι των συνδρομών. Αυτό γίνεται σε κάθε σύνδεση μέσα στο δίκτυο των ΔΜ έτσι ώστε να προσδιοριστούν ποιοι απ' αυτούς θα λάβουν τελικά το μήνυμα. Επί πλέον, κάθε ΔΜ προωθεί κάθε μήνυμα στους αντίστοιχους συνδρομητές, με βάση τις συνδρομές που έχει στην κατοχή του.

Κάθε φορά που ένας ΔΜ παραλαμβάνει ένα μήνυμα, εκτελεί επαρκή βήματα ταύτισης, έτσι ώστε να προσδιορίσει το σύνολο των γειτονικών του κόμβων στους οποίους θα το προωθήσει. Δηλαδή, ο κάθε ΔΜ, αντί να προσδιορίζει το σύνολο των συνδρομών που θα πρέπει να λάβουν το μήνυμα, υπολογίζει σε ποιους γείτονές του

θα το στείλει, δηλαδή βρίσκει τις εξωτερικές του συνδέσεις, στις οποίες πρέπει να μεταδοθεί το μήνυμα. Διαισθητικά, αυτή η προσέγγιση είναι πιο αποδοτική διότι ο αριθμός των εξωτερικών συνδέσεων ενός ΔΜ είναι αρκετά μικρότερος από το συνολικό αριθμό των συνδρομών μέσα σ' ένα σύστημα.

Για να εκτελεστεί ο αλγόριθμος *ταύτιση ανά σύνδεση* χρησιμοποιείται η δομή δεδομένων της *παράλληλης δεντρικής αναζήτησης* (parallel search tree), όπου η κάθε διαδρομή από τη ρίζα σε ένα φύλλο αντιπροσωπεύει και μία συνδρομή. Αυτή η δομή αναλύεται στο [1] και επίσης παρουσιάζεται στην ενότητα 3.1.1. Στο συγκεκριμένο αλγόριθμο, η ΠΔΑ επαυξάνεται με διανύσματα τριαδικών τιμών, όπου η τιμή του κάθε διανύσματος είναι "Ναι" (N), "Όχι" (O) ή "Μπορεί" (M). Η διαδικασία αρχίζει υπομνηματίζοντας τους κόμβους-φύλλα μ' ένα τριαδικό διάνυσμα μεγέθους ίσου με τον αριθμό των εξωτερικών συνδέσεων του συγκεκριμένου ΔΜ. Για κάθε εξωτερική σύνδεση ενός ΔΜ, η αντίστοιχη θέση στο διάνυσμα καθορίζει κατά πόσον μπορεί να σταλεί ένα μήνυμα με ταύτιση διαμέσου της συγκεκριμένης σύνδεσης. Η τιμή της θέσης αυτής βασίζεται στο εάν υπάρχουν συνδρομές που συνδέονται μέσω της αντίστοιχης σύνδεσης.

Στη συνέχεια, τα υπομνήματα των κόμβων φύλλων προωθούνται στους υπόλοιπους κόμβους ξεκινώντας από κάτω και καταλήγοντας στη ρίζα του δέντρου. Η τιμή "Ναι" στο τριαδικό υπομνήμα δηλώνει ότι (με βάση των ελέγχων που έγιναν μέχρι στιγμής), το μήνυμα θα ταυτιστεί με κάποια συνδρομή που συνδέεται μέσω της αντίστοιχης σύνδεσης. "Όχι" σημαίνει ότι αποκλείεται να υπάρχει συνδρομή με ταύτιση διαμέσου της συγκεκριμένης σύνδεσης, και τέλος, η τιμή "Μπορεί" υποδηλώνει ότι χρειάζεται περαιτέρω αναζήτηση για να προσδιοριστεί αν υπάρχει ταύτιση με κάποια συνδρομή ή όχι.



Σχήμα 3-4. Ένα παράδειγμα με την προτεινόμενη λύση του συστήματος Gryphon.

Ο αλγόριθμος *ταύτιση ανά σύνδεση* αποτελείται από τα τρία παρακάτω βήματα.

1. Σε κάθε ΔΜ, το παράλληλο δέντρο αναζήτησης υπομνηματίζεται με ένα τριαδικό διάνυσμα που στην ουσία είναι μια κωδικοποιημένη πληροφορία δρομολόγησης για τις συνδρομές του Διαμεσολαβητικού Συστήματος Μηνυμάτων.
2. Μια αρχικοποιημένη μάσκα από τριάδες πρέπει να υπολογισθεί σε κάθε ΔΜ και για κάθε δέντρο κάλυμμα (spanning tree) που χρησιμοποιείται για δρομολόγηση μηνυμάτων.
3. Κατά την εκτέλεση της ταύτισης επαναπροσδιορίζεται η αρχικοποιημένη μάσκα για κάθε δέντρο κάλυμμα έτσι ώστε να μπορεί ο ΔΜ να προσδιορίσει εάν πρέπει ή όχι να στείλει το μήνυμα σε κάποια σύνδεση, δηλαδή μέχρι όλες οι τιμές της μάσκας να είναι είτε "Ναι" είτε "Όχι".

Η διαδικασία της υπομνημάτισης καθώς επίσης και τα τρία βήματα του αλγορίθμου, περιγράφονται αναλυτικά στο [2]. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η αναγκαιότητα του κάθε ΔΜ να έχει αντίγραφα όλων των ενεργών συνδρομών του συστήματος για να μπορεί να οργανώσει το δικό του ΠΔΑ.

3.2.3 Η προτεινόμενη λύση του συστήματος Siena

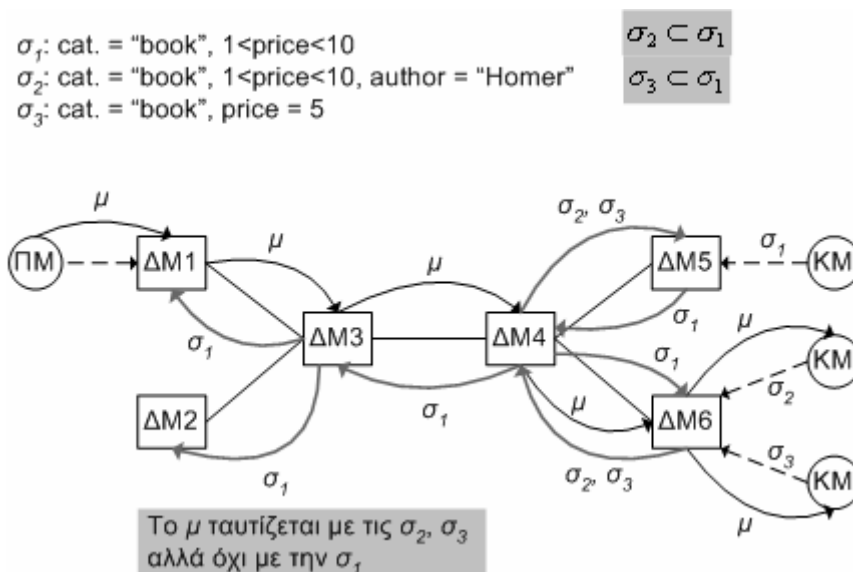
Το σύστημα Siena [7], [8] ακολουθεί μια διαφορετική προσέγγιση που βασίζεται στις ομοιότητες (ως προς τα κατηγορήματα) των συνδρομών. Όταν καταφθάνει μια συνδρομή σ' ένα ΔΜ (είτε από χρήστη του ίδιου ΔΜ είτε από κάποιον άλλο ΔΜ), αυτή προωθείται στο υπόλοιπο σύστημα μόνο αν ορίζει νέους περιορισμούς που δεν έχουν καλυφθεί από προηγούμενες προωθημένες συνδρομές. Τρία είναι τα οφέλη που προκύπτουν απ' αυτή την προσέγγιση. Πρώτον, μειώνεται το κόστος της διακίνησης της πληροφορίας μέσα στο δίκτυο εμποδίζοντας την προώθηση των νέων συνδρομών που ήδη καλύπτονται από τις ήδη υπάρχουσες. Δεύτερον, μειώνεται ο αποθηκευτικός χώρος που απαιτείται. Τρίτον, μειώνοντας τον αριθμό των συνδρομών που έχει αποθηκευμένες ο κάθε ΔΜ, μειώνεται και ο υπολογιστικός χρόνος που χρειάζεται για να εκτελεστεί ο αλγόριθμος ταύτισης.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι η χρήση των *διαφημίσεων* (advertisements). Η χρησιμότητα των διαφημίσεων είναι να ενημερώνουν το Διαμεσολαβητικό Σύστημα Μηνυμάτων για το είδος μηνυμάτων που θα δημοσιευθούν και από ποιους εκδότες, έτσι ώστε να γίνεται καλύτερη προώθηση των μηνυμάτων. Η

ιδέα είναι ότι ενώ η συνδρομή ορίζει το σύνολο των μηνυμάτων που ενδιαφέρουν ένα συνδρομητή, μια διαφήμιση ορίζει το σύνολο των μηνυμάτων που ενδεχομένως δημιουργηθούν από κάποιο εκδότη. Να σημειωθεί ότι η ίδια στρατηγική (της χρήσης των ομοιοτήτων) εφαρμόζεται και στις διαφημίσεις.

Το σύστημα Siena χρησιμοποιεί δύο κλάσεις αλγορίθμων δρομολόγησης, με την πρώτη να συνδέεται με την καθολική μετάδοση των συνδρομών και τη δεύτερη με την καθολική μετάδοση των διαφημίσεων.

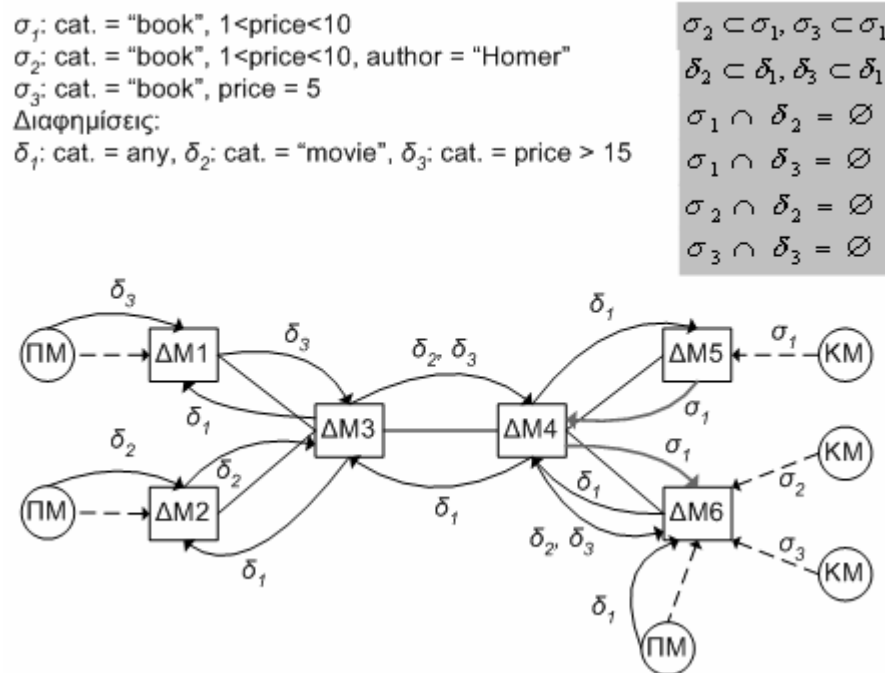
- Μετάδοση των συνδρομών:** Σε μία υλοποίηση όπου δεν χρησιμοποιούνται διαφημίσεις, οι διαδρομές δρομολόγησης για τα μηνύματα ορίζονται από τις συνδρομές, οι οποίες διαδίδονται σε όλο το δίκτυο έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα δέντρο που συνδέει τους συνδρομητές με όλους τους ΔΜ του δικτύου. Όταν ένας εκδότης δημοσιεύσει ένα μήνυμα που ταυτίζεται με κάποια συνδρομή, τότε αυτό το μήνυμα δρομολογείται προς τον συνδρομητή ακολουθώντας την αντίθετη διαδρομή που όρισε η συνδρομή του.



Σχήμα 3-5. Ένα παράδειγμα με την προτεινόμενη λύση του συστήματος Siena χρησιμοποιώντας την προώθηση των συνδρομών.

- Μετάδοση των διαφημίσεων:** Σε μία υλοποίηση όπου χρησιμοποιούνται οι διαφημίσεις, μία συνδρομή αποστέλλεται μόνο προς τους εκδότες που προτίθενται να δημιουργήσουν μηνύματα που σχετίζονται μ' αυτή τη συνδρομή. Γι' αυτόν το λόγο οι διαφημίσεις ορίζουν τις διαδρομές των συνδρομών, οι οποίες με τη σειρά τους ορίζουν τις διαδρομές των μηνυμάτων. Κάθε διαφήμιση διαδίδεται σε όλο το δίκτυο, έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα δέντρο που να συνδέει όλους τους ΔΜ. Όταν ένας ΔΜ παραλάβει μια συνδρομή, τη διαδίδει ακολουθώντας την αντίθετη

διαδρομή που όρισαν οι εκδότες και υπέβαλαν σχετικές διαφημίσεις, ενεργοποιώντας παράλληλα αυτές τις διαδρομές. Τα μηνύματα προωθούνται μόνο διαμέσου αυτών των ενεργών διαδρομών.



Σχήμα 3-6. Ένα παράδειγμα με την προτεινόμενη λύση του συστήματος Siena χρησιμοποιώντας την προώθηση των διαφημίσεων.

Κεφάλαιο 4

Περιλήψεις Συνδρομών: Μια Νέα Προσέγγιση Αποδοτικών Συστημάτων Δημοσίευσης / Συνδρομής

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει μια νέα προσέγγιση στα συστήματα δημοσίευσης / συνδρομής όπου έχει ως κύριο πυρήνα της την έννοια των περιλήψεων των συνδρομών. Πρώτα απ' όλα, παρουσιάζονται οι δομές δεδομένων που έχει ο κάθε Διαμεσολαβητής Μηνυμάτων για να υποστηρίξει τη δημιουργία περιλήψεων. Επίσης, παρουσιάζονται και οι απαραίτητοι αλγόριθμοι που λειτουργούν στις συγκεκριμένες δομές και εξασφαλίζουν τον έλεγχο της ταύτισης των εισερχόμενων μηνυμάτων σε σχέση με τις υπάρχουσες συνδρομές. Μαζί με τα παραπάνω, περιγράφεται και η διαδικασία της συντήρησης των δομών δεδομένων στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν αλλαγές στις συνδρομές ενός ΔΜ. Δεύτερον, παρουσιάζονται νέοι αλγόριθμοι για την αποδοτική διάδοση των περιλήψεων των συνδρομών καθώς επίσης και για τη συντήρηση αυτών μέσα σ' ένα κατανεμημένο σύστημα. Τέλος, περιγράφεται και ένας νέος αλγόριθμος με στόχο την αποδοτική και κατανεμημένη προώθηση των εισερχόμενων μηνυμάτων, χρησιμοποιώντας ως δρομολόγηση τις ήδη προωθημένες περιλήψεις των συνδρομών, στους ΔΜ που έχουν στην κατοχή τους συνδρομές που ταυτίζονται. Να σημειωθεί ότι αυτή η προσέγγιση υπάρχει ως βιβλιογραφία στο [27].

4.1 Εισαγωγή

Αρχίζοντας αυτή την παρουσίαση, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί ως μοντέλο έκφρασης και σύνταξης των μηνυμάτων και συνδρομών

αντίστοιχα αυτό του περιγράφηκε στις ενότητες 2.3.1 και 2.3.2. Συγκεκριμένα τα μηνύματα είναι βασισμένα σε κατηγορήματα και οι συνδρομές βασισμένες σε κατηγορήματα με χρήση περιορισμών. Να σημειωθεί όμως, ότι η προσέγγιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιήσει και άλλους τύπους μοντελοποίησης αρκεί να χρησιμοποιούν παρόμοιους τύπους δεδομένων και παρόμοιους τελεστές.

4.1.1 Ορισμός του Προβλήματος

Αρχίζοντας με τον ορισμό του προβλήματος, που υφίσταται σε τέτοιου είδους συστήματα, πρέπει να σημειωθεί ότι η παρούσα μελέτη θεωρεί ότι τα μηνύματα μπορούν να δημοσιευθούν από οποιοδήποτε εκδότη (Πηγή Μηνυμάτων) που είναι συνδεδεμένος σε οποιοδήποτε ΔΜ καθώς επίσης να συμβαίνει και κάτι αντίστοιχο και στους συνδρομητές. Όταν σχεδιάζονται και υλοποιούνται μεγάλα συστήματα δημοσίευσης / συνδρομής (μεγάλο αριθμό ΔΜ, μηνυμάτων και συνδρομών) είναι πρωτίστη ανάγκη η διασφάλιση της απόδοσης του συστήματος και στις δύο (παράλληλα) φάσεις της λειτουργίας του. Η πρώτη φάση ορίζεται ως η διάδοση των συνδρομών μεταξύ του μεγάλου πλήθους των ΔΜ. Οι ΔΜ χρειάζονται αυτή την πληροφορία έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα να προωθούν τα εισερχόμενα μηνύματα μόνο στους ενδιαφερόμενους χρήστες και επίσης να μπορούν να φιλτράρουν όλα τα μηνύματα που δεν ενδιαφέρουν κανένα από τους χρήστες. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της χρήσης των διάφορων πόρων του συστήματος (π.χ., εύρος ζώνης δικτύου και υπολογιστικός χρόνος). Η απόδοση αυτής της φάσης μπορεί να αποδειχτεί εξετάζοντας τις απατήσεις που χρειάζεται ένα σύστημα σε εύρος ζώνης και τον αριθμό των μεταπηδήσεων (π.χ., ο αριθμός των εμπλεκόμενων ΔΜ) που χρειάστηκε η διάδοση των συνδρομών μεταξύ των ΔΜ.

Η δεύτερη φάση είναι αυτή της προώθησης των μηνυμάτων όπου σ' αυτή τη φάση τα μηνύματα είτε φιλτράρονται (αφού δεν ταυτίζονται με κάποια συνδρομή) είτε δρομολογούνται στους ΔΜ που έχουν στην κατοχή τους συνδρομές με ταύτιση. Η απόδοση αυτής της φάσης μπορεί ναδειχθεί με την εύρεση της πολυπλοκότητας (complexity) και της ταχύτητας του αλγόριθμου ταύτισης / φιλτραρίσματος και του αριθμού των ΔΜ που επιβαρύνθηκαν αυτή τη λειτουργία (π.χ., ο αριθμός των μεταπηδήσεων κατά τη δρομολόγηση του μηνύματος).

Σ' αυτή τη μελέτη συγκρίνεται αυτή η νέα προσέγγιση με τις αντίστοιχες έννοιες και αλγόριθμους που εφαρμόζονται στο σύστημα του Siena. Επιλέχτηκε αυτό του Siena δια το λόγο ότι ένα αρκετά αποδεκτό και με μεγάλο κύρος σύστημα. Το σύστημα αυτό (βλέπε ενότητα 3.2.3) βασίζεται σε μια θεμελιώδη έννοια, αυτή της *επικάλυψης των συνδρομών* (subscription subsumption) όπου και χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της διάδοσης των συνδρομών καθώς και κατά τη δρομολόγηση των μηνυμάτων. Εν συντομία, όταν ο περιορισμός ενός κατηγορήματος που βρίσκεται σε μία συνδρομή λέμε ότι επικαλύπτεται από κάποια άλλη συνδρομή αν ο περιορισμός της είναι ο ίδιος (στην περίπτωση που ο επιθυμητός περιορισμός του κατηγορήματος ορίζεται με τελεστή ισότητας) ή αν εμπεριέχεται σ' αυτόν (στην περίπτωση που ικανοποιείται χρησιμοποιώντας τελεστές όπως π.χ., προθέματος, επιθέματος, κ.λπ). Μία συνδρομή καλύπτεται από κάποια άλλη, αν όλοι οι περιορισμοί των κατηγορημάτων που περιλαμβάνονται στην πρώτη επικαλύπτονται από τους περιορισμούς των κατηγορημάτων της δεύτερης συνδρομής.

Η προώθηση των συνδρομών και η δρομολόγηση των μηνυμάτων στο σύστημα Siena βασίζεται σε τέτοιες σχέσεις επικάλυψης που έχουν οι συνδρομές μεταξύ τους. Μία συνδρομή δεν προωθείται από κάποιο ΔΜ σε κάποιον άλλο αν ο πρώτος έχει ήδη προωθήσει στο δεύτερο κάποια προηγούμενη συνδρομή που επικαλύπτει την παρούσα. Τα μηνύματα που ταυτίζονται με κάποιες συνδρομές ακολουθούν τις διαδρομές που όρισαν οι ίδιες οι συνδρομές. (Το Siena επίσης χρησιμοποιεί και την έννοια των διαφημίσεων. Όμως, στη σύγκριση αυτή θα μελετηθεί μόνο η διάδοση των συνδρομών και η δρομολόγηση των μηνυμάτων εφόσον αυτά είναι που έχουν άμεση σχέση με την προτεινόμενη λύση).

4.1.2 Επιτεύγματα

Αρχικά δημιουργήθηκε η έννοια των περιλήψεων των συνδρομών ανά ΔΜ, όπου και συμπυκνώνεται όλη η πληροφορία που αποτελεί τις συνδρομές. Ο μηχανισμός των περιλήψεων υποστηρίζει μοντελοποίηση των μηνυμάτων / συνδρομών που είναι πλούσια σε τύπους κατηγορημάτων (π.χ., αριθμητικοί, εύρος τιμών, αλφαριθμητικοί) και όπου αυτοί οι τύποι μπορούν να χρησιμοποιούν πληθώρα τελεστών (π.χ., $<$, $>$, $=$, \neq , πρόθεμα, επίθεμα, υποσύνολο χαρακτήρων, κ.λπ).

Η καινοτομία όμως της προτεινόμενης προσέγγισης είναι η έννοια της *περίληψης των συνδρομών* σε αντίθεση με την απλή συνδρομή. Κάθε εισερχόμενη συνδρομή

διασπάται με βάση τα αποτελούμενα της κατηγορήματα, όπου στη συνέχεια αυτά συγχωνεύονται στις αντίστοιχες δομές δεδομένων. Σ' αυτή την προσέγγιση δεν υπάρχει η έννοια της συνδρομής αλλά μόνο η έννοια των περιλήψεων των συνδρομών. Είναι αυτές οι περιλήψεις που διασφαλίζουν κέρδη ως προς την απόδοση ενός συστήματος σε σχέση (i) τις απαιτήσεις του εύρου ζώνης που απαιτείται για να γίνει η προώθηση των συνδρομών μεταξύ των ΔΜ και (ii) ο αποθηκευτικός χώρος που χρειάζεται για να συντηρούνται αυτές.

Από την άλλη όμως, νέοι αλγόριθμοι χρειάζονται για να λειτουργούν σ' αυτές τις περιλήψεις καθ' όλη τη διάρκεια και των δύο φάσεων λειτουργίας ενός συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής. Γι' αυτό το λόγο, αναπτύχθηκε συνοδευτικός αλγόριθμος ταύτισης των μηνυμάτων. Η ανάλυση της πολυπλοκότητας αυτού του αλγορίθμου δείχνει ότι, μπορεί να εξασφαλίσει την ίδια πολυπλοκότητα σε σχέση με τους άλλες ανταγωνιστικές προσεγγίσεις.

Τέλος, ένα άλλο επίτευγμα είναι η έννοια των περιλήψεων των συνδρομών σε πολλαπλούς ΔΜ και η ανάπτυξη ενός κατανεμημένου αλγόριθμου για αποδοτική προώθηση των συνδρομών μεταξύ των ΔΜ. Ο αλγόριθμος διασφαλίζει μεγαλύτερη εξοικονόμηση εύρου ζώνης χαμηλό αριθμό μεταπηδήσεων κατά τη διάρκεια της προώθησης.

Σε σχέση με τη δεύτερη φάση, αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι για δρομολόγηση των μηνυμάτων στους ενδιαφερόμενους ΔΜ, όπου και εξασφαλίζουν χαμηλό αριθμό μεταπηδήσεων μεταξύ των ΔΜ.

Παρουσιάζεται και η σχετική μελέτη της απόδοσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση βελτιώνει σημαντικά την απόδοση ενός συστήματος δημοσίευσης / συνδρομής, σε όλες τις παραπάνω μετρικές απόδοσης. Η μελέτη συγκρίνει την προτεινόμενη προσέγγιση σε σχέση με τις βασικές προσεγγίσεις (baseline approaches) της διάδοσης των συνδρομών και της διάδοσης των μηνυμάτων καθώς επίσης και με τους αντίστοιχους μηχανισμούς που υποστηρίζονται από το σύστημα Siena [8].

4.2 Περιλήψεις Συνδρομών ανά Διαμεσολαβητή Μηνυμάτων

Σ' αυτή την ενότητα παρουσιάζονται το σύνολο των δομών δεδομένων που με τη σειρά τους αντιπροσωπεύουν τις περιλήψεις των συνδρομών που λαμβάνει ένας ΔΜ. Είναι αυτή η συμπυκνωμένη, υπό μορφή περίληψης πληροφορία που διοχετεύεται

στους υπόλοιπους ΔΜ. Επίσης, περιγράφεται και ο αλγόριθμος που λειτουργεί στις συγκεκριμένες δομές και εξασφαλίζει την ταύτιση / φιλτράρισμα των μηνυμάτων σ' ένα ΔΜ.

Για τη δημιουργία αυτών των δομών θεωρούμε τα εξής: (α) Ένα κατηγορημα δεν μπορεί να ανήκει σε δύο διαφορετικούς τύπους δεδομένων, (β) Ο αριθμός των κατηγορημάτων που υποστηρίζονται από το σύστημα είναι προκαθορισμένος, καθώς επίσης και ο προσδιορισμός του κάθε ενός απ' αυτά (όνομα - τύπος), (γ) Για κάθε ΔΜ, το σύνολο των υποστηριζόμενων κατηγορημάτων είναι ταξινομημένο και γνωστό απ' όλους τους ΔΜ του συστήματος.

Για τις ανάγκες των παραδειγμάτων που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό, χρησιμοποιούνται οι συνδρομές που περιλαμβάνονται στο σχήμα 4-1.

Συνδρομή 1 (S1)			Συνδρομή 2 (S2)		
Τύπος	Όνομα	Περιορισμός	Τύπος	Όνομα	Περιορισμός
string	exchange	N*SE	string	symbol	>* OT
string	symbol	= OTE	float	price	= 8.20
float	price	< 8.70	integer	volume	> 130000
float	price	> 8.30	float	low	< 8.05

Σχήμα 4-1. Παραδείγματα συνδρομών.

4.2.1 Δομές Δεδομένων και Τελεστές

Οι περιλήψεις των συνδρομών ανά ΔΜ αποτελούνται από δύο δομές δεδομένων, μία για τα αριθμητικά κατηγορήματα και μία για τα κατηγορήματα με αλφαριθμητικό τύπο.

4.2.1.1 Περιλήψεις Περιορισμών Αριθμητικών Κατηγορημάτων (Arithmetic Attribute Constraint Summary)

Για κάθε διαφορετικό αριθμητικό κατηγορημα, ο ΔΜ κατασκευάζει μία *AACS* που αποτελείται από δύο πίνακες. Ο πρώτος (*AACS_{SR}*) είναι ένας πίνακας με δύο στήλες και μεταβλητό αριθμό γραμμών (n_{sr}). Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει τα μη επικαλυπτόμενα διαστήματα τιμών για ένα συγκεκριμένο αριθμητικό κατηγορημα που παρουσιάζεται στο σύνολο των συνδρομών. Η πρώτη στήλη δείχνει το ελάχιστο όριο τέτοιων διαστημάτων. Αντίστοιχα συμβαίνει και με τη δεύτερη στήλη, η οποία όμως δείχνει το μέγιστο όριο. Ο δεύτερος πίνακας (*AACS_E*) χρησιμοποιείται όταν ένας αριθμητικός περιορισμός που βρίσκεται σε κάποια συνδρομή έχει τον τελεστή της

ισότητας με τιμή που δεν ανήκει σε κάποιο υπάρχον διάστημα του πρώτου πίνακα. Αποτελείται μόνο από μία στήλη και μεταβλητό αριθμό γραμμών (n_e) που έχουν ακριβώς την ίδια δομή και ερμηνεία με αυτές του πρώτου πίνακα. Επίσης και για τους δύο πίνακες, κάθε γραμμή έχει στην κατοχή της μία λίστα με τις ταυτότητες εκείνων των συνδρομών (subscription ids) που εμπεριέχουν κατηγορήμα με περιορισμό και που ικανοποιείται από την τιμή (ή τιμές) της γραμμής. (Η δομή της ταυτότητας μιας συνδρομής παρουσιάζεται στην ενότητα 4.2.2)

Για κάθε περιορισμό του ίδιου αριθμητικού κατηγορήματος που δεν ανήκει σε κάποιο υπάρχον διάστημα ή ισότητα, μια νέα γραμμή προστίθεται στον κατάλληλο πίνακα. Επί πλέον, η ταυτότητα της καινούργιας συνδρομής όπου ανήκει και ο περιορισμός, προστίθεται στη λίστα με τις ταυτότητες τις συγκεκριμένης νέας γραμμής. Το σχήμα 4-2 παρουσιάζει ένα παράδειγμα δομής *AACS* με βάση τις συνδρομές που περιλαμβάνονται στο σχήμα 4-1.

<i>AACS</i> για το κατηγορήμα price			
Διάστημα	ελάχιστο	μέγιστο	λίστα ταυτοτήτων
	8.30	8.70	→ S1
Ισότητα	τιμή		λίστα ταυτοτήτων
	8.20		→ S2

Σχήμα 4-2. Παράδειγμα μιας δομής *AACS*.

4.2.1.2 Περιλήψεις Περιορισμών Αλφαριθμητικών Κατηγορημάτων (String Attribute Constraint Summary)

Η δομή *SACS* κρατάει πληροφορίες σχετικά με τους περιορισμούς των αλφαριθμητικών κατηγορημάτων που περιλαμβάνονται στις συνδρομές. Για κάθε διαφορετικό αλφαριθμητικό κατηγορήμα, ο ΔΜ υλοποιεί μία δομή *SACS* χρησιμοποιώντας ένα πίνακα από τιμές. Κάθε γραμμή του πίνακα αντιπροσωπεύει ένα γενικότερο περιορισμό που μπορεί να ικανοποιεί (επικαλύπτει) ένα ή περισσότερους άλλους υπαρκτούς περιορισμούς του ίδιου κατηγορήματος. Για παράδειγμα, ο περιορισμός "m*e" μπορεί να ικανοποιήσει περιορισμούς όπως "microscope" ή "microwave". Αν εμφανιστεί ένας γενικότερος περιορισμός τότε το ισχύων αντικαθιστάτε με το καινούργιο. Μία συνδεδεμένη λίστα με τις ταυτότητες των συνδρομών τηρείται σε κάθε γραμμή, όπως και στη δομή *AACS*.

Για κάθε νέο περιορισμό του ίδιου κατηγορήματος, προστίθεται νέα γραμμή αν δεν επικαλύπτεται από τις ήδη υπάρχουσες. Επίσης, η ταυτότητα της συνδρομής που

ανήκει ο περιορισμός προστίθεται στη λίστα της συγκεκριμένης γραμμής. Στην περίπτωση που ο νέος περιορισμός καλύπτεται από κάποιον υπάρχων, τότε απλά προστίθεται η ταυτότητα της συνδρομής στην κατάλληλη λίστα.

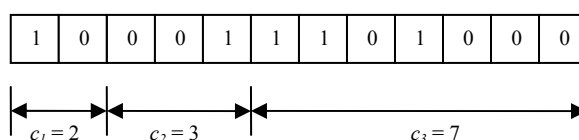
SACS για το κατηγορημα <i>symbol</i>	
>* OT	→ S1, S2

Σχήμα 4-3. Παράδειγμα μιας δομής SACS.

4.2.2 Ταυτότητα των Συνδρομών

Η ταυτότητα μιας συνδρομής αποτελείται από τρία μέρη (πεδία):

1. c_1 : Η ταυτότητα του ΔΜ που παρέλαβε τη συνδρομή (π.χ., σε ποιόν "ανήκει" η συνδρομή). Το μέγεθος αυτού του πεδίου σε bits είναι ίσο με το στρογγυλοποιημένο προς τα πάνω, λογάριθμο με βάση το 2, του συνολικού αριθμού των ΔΜ που βρίσκονται στο σύστημα (π.χ., σ' ένα σύστημα με 1000 ΔΜ, το c_1 θα είναι ίσο με 10 bits).
2. c_2 : Η ταυτότητα της ίδιας της συνδρομής. Το μέγεθος αυτού του πεδίου σε bits είναι ίσο με το στρογγυλοποιημένο προς τα πάνω, λογάριθμο με βάση το 2, του μέγιστου αριθμού των ενεργών συνδρομών που μπορεί να υποστηρίξει ένας ΔΜ (π.χ., αν ένας ΔΜ θέλει να διαχειρίζεται 1,000,000 συνδρομές, τότε το c_2 θα είναι ίσο με 20 bits).
3. c_3 : Οι ταυτότητες των κατηγορημάτων που απαρτίζουν τη συνδρομή. Το μέγεθος σε bits αυτού του πεδίου είναι ίσο με το συνολικό αριθμό των κατηγορημάτων που υποστηρίζει το σύστημα. Κάθε κατηγορημα της συνδρομής αντιπροσωπεύεται στο c_3 με ένα bit. Γι' αυτό το λόγο, κάθε κατηγορημα που έχει κάποιο περιορισμό σε μία συνδρομή το αντίστοιχο bit ορίζεται με την τιμή 1.



Σχήμα 4-4. Ένα παράδειγμα ταυτότητας συνδρομής.

Ως παράδειγμα, ας υποθέσουμε ένα σύστημα που αποτελείται από 4 ΔΜ, κάθε ένας απ' αυτούς μπορεί να διαχειριστεί 8 ενεργές συνδρομές και ο αριθμός των κατηγορημάτων που παρέχει το σύστημα είναι ίσο με 7. Η ταυτότητα της συνδρομής που απεικονίζεται στο σχήμα 4-4 μας ορίζει ότι πρόκειται για τη συνδρομή 1 ($c_2=1$),

που ανήκει στο ΔΜ 2 ($c_2=2$) και αποτελείται από τα κατηγορήματα με ταυτότητα 3, 5 και 6 (από δεξιά προς τα αριστερά).

4.2.3 Ο Αλγόριθμος Ταύτισης

Σ' αυτήν την ενότητα περιγράφεται η διαδικασία προώθησης ενός μηνύματος, την οποία πρέπει να ακολουθήσουν οι Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων έτσι ώστε να δρομολογούνται τα μηνύματα μόνο στις συνδρομές που ταυτίζονται με αυτά.

Για λόγους απλότητας, υποθέτουμε ότι ένα σύστημα δημοσίευσης / συνδρομής αποτελείται από μόνο δύο ΔΜ, τον A και το B . Επίσης, υποθέτουμε ότι ο ΔΜ A έλαβε κάποιες συνδρομές, δημιούργησε όλες τις απαραίτητες δομές και τις έστειλε στο ΔΜ B , τις οποίες ο τελευταίος θα χρησιμοποιήσει ως περιλήψεις για να αναγνωρίζει ποια από τα εισερχόμενα μηνύματά του ενδιαφέρουν τον A . Ο αλγόριθμος ταύτισης των εισερχόμενων μηνυμάτων στο ΔΜ B σε σχέση με τις συνδρομές του A έχει ως ακολούθως:

1. **Για** κάθε κατηγορήμα ενός εισερχόμενου μηνύματος, έλεγξε την αντίστοιχη δομή δεδομένων για εύρεση περιορισμών που ικανοποιούνται από την τιμή του κατηγορήματος του μηνύματος και σύλλεξε τις αντίστοιχες λίστες με τις ταυτότητες των συνδρομών. Αν κανένας περιορισμός δεν ικανοποιηθεί, τότε είναι φανερό, ότι το συγκεκριμένο μήνυμα δεν ενδιαφέρει καμία συνδρομή του ΔΜ A .
 - Αν το κατηγορήμα είναι αριθμητικό, βρες αν υπάρχει ταύτιση χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη δομή **AACS** με τη βοήθεια της συνάρτησης **Έλεγχος_για_ταύτιση_τιμής(τύπος αριθμητικός)**.
 - Αν το κατηγορήμα είναι αλφαριθμητικό, βρες αν υπάρχει ταύτιση χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη δομή **SACS** με τη βοήθεια της συνάρτησης **Έλεγχος_για_ταύτιση_τιμής(τύπος αλφαριθμητικός)**.
 - Για κάθε ταυτότητα συνδρομής που περιλαμβάνεται στις επιλεγμένες λίστες, κράτα και ένα μετρητή που καταγράφει τον αριθμό των επαναλήψεων που περιέχεται μία συνδρομή.
2. **Για** κάθε μοναδική ταυτότητα συνδρομής που έχει συλλεχθεί, έλεγξε αν όλα τα κατηγορήματα που αποτελούν τη συνδρομή (χρησιμοποιώντας το c_3) εμφανίζονται στα ικανοποιημένα κατηγορήματα του βήματος 1, ελέγχοντας αν ο αντίστοιχος μετρητής (από το βήμα 1) είναι ίσος με τον αριθμό των κατηγορημάτων που εμπεριέχονται στη συνδρομή.
 - Αν είναι ίσα, τότε υπάρχει ταύτιση και η ταυτότητα της συνδρομής κρατείται με σκοπό να ενημερωθεί ο ΔΜ A .
3. **Αν** έστω και μία ταυτότητα έχει κρατηθεί, τότε το μήνυμα, μαζί με όλες οι ταυτότητες των συνδρομών όπου υπήρξε ταύτιση, προωθούνται στο ΔΜ A .

Αλγόριθμος 4-1. Έλεγχος για ταύτιση ενός μηνύματος στο ΔΜ B χρησιμοποιώντας τις δομές δεδομένων του ΔΜ A .

Έλεγχος_για_ταύτιση_τιμής(τύπος *αριθμητικός*)

Έχοντας την τιμή του κατηγορήματος, ο ΔΜ Β πρώτα ελέγχει αν η τιμή αυτή ανήκει σε κάποιο εύρος τιμών που είναι ήδη ορισμένα στην αντίστοιχη δομή *AACS*. Αυτό γίνεται ελέγχοντας για κάθε γραμμή τις δύο στήλες με τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές. Αν υπάρξει θετικό αποτέλεσμα, τότε η διαδικασία τελειώνει με ταύτιση του κατηγορήματος. Αλλιώς, συνεχίζει με το δεύτερο πίνακα όπου εκεί βρίσκονται οι περιορισμοί των συνδρομών που εκτός των εύρων τιμών και ελέγχει για ταύτιση σ' αυτές τις τιμές.

Έλεγχος_για_ταύτιση_τιμής(τύπος *αλφαριθμητικός*)

Σ' αυτή την περίπτωση, η τιμή του κατηγορήματος ελέγχεται σε σχέση με την αντίστοιχη δομή *SACS*. Ακολουθείται μια παρόμοια διαδικασία με αυτή των αριθμητικών κατηγορημάτων: Για κάθε γραμμή του πίνακα *SACS*, ελέγχεται αν η τιμή του κατηγορήματος στο μήνυμα καλύπτεται από τον περιορισμό της γραμμής. Αν καμία από τις γραμμές δεν καλύψει την τιμή του κατηγορήματος τότε δεν υπάρχει ταύτιση.

Παράδειγμα 4-1. Ας υποθέσουμε ότι ο ΔΜ Α έχει τις συνδρομές που περιλαμβάνονται στο σχήμα 4-1 και το μήνυμα που εμπεριέχεται στο σχήμα 2-2 (σελίδα 9) δημιουργείται στο Β. Πρώτα ο αλγόριθμος θα συλλέξει όλες τις απαραίτητες λίστες με τις ταυτότητες των συνδρομών. Οι λίστες αυτές, αντιστοιχούν σε γραμμές πινάκων που εμπεριέχουν περιορισμούς όπου αυτοί οι περιορισμοί ικανοποιούν τις τιμές των κατηγορημάτων ενός μηνύματος.

Για να γίνει αυτό, ο αλγόριθμος ελέγχει αν υπάρχει ταύτιση μεταξύ της τιμής *NYSE* του κατηγορήματος *exchange* και της αντίστοιχης δομής *SACS*. Ο αλγόριθμος θα βρει ταύτιση και έτσι θα συλλέξει την αντίστοιχη λίστα με τις ταυτότητες των συνδρομών. Η ίδια διαδικασία θα εκτελεστεί και για το κατηγορήμα *symbol* (βλέπε σχήμα 4-3). Μετά ο αλγόριθμος θα συνεχίσει με την τιμή του κατηγορήματος *price* (8.40). Εφόσον είναι αριθμητικού τύπου, θα κοιτάξει στην αντίστοιχη δομή *AACS* για να βρει αν αυτή η τιμή ικανοποιείται από κάποιο εύρος τιμών ή αν ταυτίζεται με κάποια από τις τιμές που είναι εκτός των υπαρχόντων εύρων τιμών. Εδώ βλέπουμε ότι ο περιορισμός "8.30 – 8.70" καλύπτει αυτή την τιμή. Το ίδιο συμβαίνει και για το κατηγορήμα *volume* (132700), εφόσον καλύπτεται από τον περιορισμό "> 130000". Να σημειωθεί ότι για το κατηγορήμα *low* δεν υπάρχει ταύτιση ενώ για τα

κατηγορήματα *when* και *high* δεν έχουν δημιουργηθεί αντίστοιχες δομές δεδομένων. Με όλα τα παραπάνω, έχουμε τις παρακάτω λίστες:

exchange → **S1** *symbol* → **S1, S2**
price → **S1** *volume* → **S2**

Οι μοναδικές συνδρομές αυτού του παραδείγματος είναι η **S1** και η **S2** με μετρητές 3 και 2 αντίστοιχα. Πρώτα, ο αλγόριθμος εξετάζει το τμήμα c_3 της συνδρομής **S1** και βρίσκει ότι αυτή η συνδρομή αποτελείται από 3 κατηγορήματα. Έτσι, η **S1** κρατείται με σκοπό την ενημέρωση του ΔΜ *A*. Όμως, το c_3 της συνδρομής **S2** δείχνει ότι η συγκεκριμένη αποτελείται από 4 κατηγορήματα ενώ ο μετρητής της είναι ίσος με 2. Αυτό σημαίνει ότι το εξεταζόμενο μήνυμα δεν ενδιαφέρει τον αντίστοιχο συνδρομητή.

Επειδή όμως, υπάρχει έστω και μία συνδρομή που ικανοποιεί το μήνυμα, ο ΔΜ *B* στέλνει το συγκεκριμένο μήνυμα στον *A* μαζί με όλες τις ταυτότητες των συνδρομών (**S1**) που ταυτίστηκαν με το μήνυμα. ■

4.2.4 Συντήρηση στις Περιλήψεις των Συνδρομών

Η συντήρηση χρειάζεται έτσι ώστε να υποστηρίζονται δύο λειτουργίες, η προσθήκη και η διαγραφή μίας συνδρομής. Υπάρχουν δύο διαφορετικά σενάρια για κάθε μία από τις δύο αυτές λειτουργίες.

Το πρώτο σενάριο αντιπροσωπεύει την περίπτωση όπου ένας περιορισμός μιας συνδρομής που ήδη καλύπτεται (επικαλύπτεται) από κάποιο άλλο περιορισμό, προστίθεται (διαγράφεται) σε (από) ένα ΔΜ. Σ' αυτή την περίπτωση, η ταυτότητα της συνδρομής όπου ανήκει ο περιορισμός πρέπει να προστεθεί (αφαιρεθεί) στην (από την) αντίστοιχη λίστα. Όταν μια ταυτότητα είναι η πρώτη που προστίθεται σε μια λίστα τότε μια νέα γραμμή επίσης προστίθεται στον αντίστοιχο πίνακα. Το αντίθετο φυσικά συμβαίνει στην περίπτωση που διαγράφεται μια συνδρομή και αυτή είναι η τελευταία που υπάρχει σε μια λίστα. Τότε, διαγράφεται και η αντίστοιχη γραμμή του πίνακα.

Το δεύτερο σενάριο αντιπροσωπεύει την περίπτωση όπου ένας περιορισμός μιας συνδρομής, που τυγχάνει να είναι και ο πιο γενικός σε μια γραμμή προστίθεται (διαγράφεται) σε (από) ένα ΔΜ. Στην περίπτωση της προσθήκης, ο ΔΜ ελέγχει αν ο καινούργιος περιορισμός μπορεί να καλύψει και άλλους γενικούς περιορισμούς. Αν αυτό συμβεί, τότε ο ΔΜ συγχωνεύει όλες τις γραμμές που καλύπτει σε μία. Το ίδιο

συμβαίνει επίσης και για τις αντίστοιχες λίστες όπου συγχωνεύονται σε μία μεγαλύτερη λίστα. Στην περίπτωση όμως της διαγραφής, ο ΔΜ διαχωρίζει τους υπόλοιπους περιορισμούς, που ανήκουν στην ίδια λίστα ταυτοτήτων, σε μία ή περισσότερες γραμμές με βάση τη γενίκευση που έχουν.

Ένας εύκολος τρόπος παρακολούθησης των αλλαγών στους γενικευμένους περιορισμούς είναι η δημιουργία και η συντήρηση μιας δεντρικής δομής, που εδώ θα ονομάζεται ως *γενικευμένο δέντρο κατηγορήματος-περιορισμού* (attribute-constraint generalization tree), *ACGT*, για κάθε γραμμή μιας δομής *SACS/AACS*. Κάθε κόμβος του δέντρου αντιπροσωπεύει ένα γενικευμένο περιορισμό και τις ταυτότητες των συνδρομών που επικαλύπτει αυτός ο περιορισμός. Τα παιδιά ενός κόμβου στο *ACGT* είναι οι επόμενοι πιο γενικευμένοι περιορισμοί σε σχέση με τον πατέρα μαζί με τις αντίστοιχες ταυτότητες συνδρομών που καλύπτουν.

Παράδειγμα 4-2. Για την καλύτερη κατανόηση της συντήρησης των δομών καθώς επίσης και τη δομή και τη χρήση ενός *ACGT* θεώρησε ένα ΔΜ με τις παρακάτω τέσσερις συνδρομές εκ τις οποίες η κάθε μια περιλαμβάνει το αλφαριθμητικό κατηγορήμα *symbol* και το αριθμητικό κατηγορήμα *price*.

	S1	S2	S3	S4
<i>symbol</i>	OTE	OTER	>* OTE	>* T
<i>price</i>	8.50	8.55	8.45 – 8.60	8.60 – 8.70

Σχήμα 4-5. Παράδειγμα τεσσάρων συνδρομών.

Ας υποθέσουμε ότι σε χρόνους t_1 , t_2 , t_3 και t_4 δημιουργούνται οι συνδρομές **S1**, **S2**, **S3** και **S4** αντίστοιχα. Η μορφή της δομής *SACS* του κατηγορήματος *symbol* θα έχει τις παρακάτω μορφές.

<i>SACS</i> για το κατηγορήμα <i>symbol</i>	
OTE	→ S1

Σχήμα 4-6. Η δομή SACS στο χρόνο t_1

<i>SACS</i> για το κατηγορήμα <i>symbol</i>	
OTE	→ S1
OTER	→ S2

Σχήμα 4-7. Η δομή SACS στο χρόνο t_2

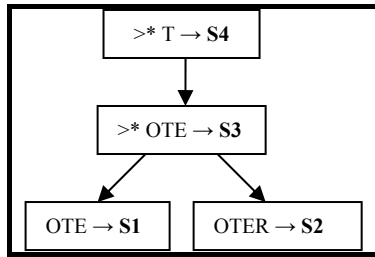
<i>SACS</i> για το κατηγορήμα <i>symbol</i>	
>* OTE	→ S1, S2, S3

Σχήμα 4-8. Η δομή SACS στο χρόνο t_3

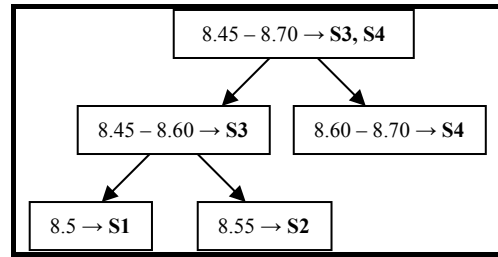
<i>SACS</i> για το κατηγορήμα <i>symbol</i>	
>* T	→ S1, S2, S3, S4

Σχήμα 4-9. Η δομή SACS στο χρόνο t_4

Επίσης στο χρόνο t_4 , ο ΔΜ δημιουργεί για κάθε κατηγορήμα τα αναγκαία *ACGT* όπως φαίνονται στα παρακάτω σχήματα. Επειδή και για τα δύο κατηγορήματα υπάρχει ένας περιορισμός που επικαλύπτει όλους τους υπόλοιπους, μόνο ένα *ACGT* χρειάζεται για κάθε κατηγορήμα. ■



Σχήμα 4-10. Το *ACGT* για το κατηγορήμα *symbol*.



Σχήμα 4-11. Το *ACGT* για το κατηγορήμα *price*.

Όταν ο πιο γενικός περιορισμός μιας γραμμής διαγράφεται, δηλαδή η ρίζα του αντίστοιχου δέντρου, τα παιδιά αυτής της ρίζας γίνονται οι νέες ρίζες σε αντίστοιχα δέντρα. Ο αριθμός των νέων δέντρων αντιστοιχεί στον αριθμό των νέων γραμμών που σχηματίζονται σε μία δομή *SACS/AACS*. Το αντίθετο συμβαίνει όταν ένας νέος περιορισμός που τυγχάνει να είναι ο πιο γενικός προστίθεται, συγχωνεύοντας τις αντίστοιχες δεντρικές δομές και γραμμές μιας *SACS/AACS*.

4.2.5 Συζήτηση

Η προτεινόμενη προσέγγιση διαφέρει σε θεμελιώδη ζητήματα απ' όλες τις σχετικές ερευνητικές προσεγγίσεις και αυτό έγκειται στο γεγονός ότι η παρούσα είναι επικεντρωμένη στην "*περίληψη της συνδρομής*" (*subscription-summary-centric*) σε σχέση με τα συστήματα που είναι επικεντρωμένα στις ίδιες τις συνδρομές (*subscription-centric*). Σ' αυτή την προσέγγιση η οντότητα της "συνδρομής" δεν υπάρχει. Αντικαθίσταται από την έννοια της περίληψης των συνδρομών.

Οι περιλήψεις των συνδρομών εμπεριέχουν δύο νέα χαρακτηριστικά, εισάγοντας συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Πρώτα, επιτρέπουν και εκμεταλλεύονται γενικεύσεις του ιδίου κατηγορήματος σε διαφορετικές συνδρομές. Γενικεύσεις επιτρέπονται και χρησιμοποιούνται επίσης και σε άλλα συστήματα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία (π.χ., ο μηχανισμός την επικάλυψης του Siena) [8], όμως στο Siena, οι επικαλύψεις λαμβάνουν χώρα σε επίπεδο συνδρομών, ενώ σ' αυτή την προσέγγιση, αυτό συμβαίνει σε επίπεδο κατηγορημάτων. Να σημειωθεί ότι για να επικαλυφθεί μία συνδρομή από κάποια άλλη, πρέπει κάθε ένας από τους περιορισμούς των κατηγορημάτων της πρώτης να επικαλύπτεται από ένα αντίστοιχο περιορισμό κατηγορήματος που βρίσκεται στη δεύτερη. Γι' αυτό το λόγο, ακολουθεί τις επικαλύψεις σε επίπεδο περιορισμό κατηγορήματος που συμβαίνει αρκετά πιο συχνά απ' ότι η επικάλυψη όλης της συνδρομής. Συνεπώς, αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να επιφέρει μεγάλα κέρδη στην απόδοση ενός τέτοιου συστήματος.

Δεύτερο, αυτές οι περιλήψεις μπορούν να δημιουργήσουν γενικεύσεις στους περιορισμούς των συνδρομών, που μπορεί να μην αντιστοιχούν σε περιορισμούς που όρισε κάποια συνδρομή. Ας δούμε για παράδειγμα τη συγχώνευση των περιορισμών του κατηγορήματος *price* στις συνδρομές **S3** και **S4** που βρίσκονται στο σχήμα 4-11 ή τη συγχώνευση των περιορισμών του κατηγορήματος *symbol* της συνδρομής **S4** και (μιας καινούργιας), **S5**, με (*symbol*: * < T) σ' ένα εικονικό (virtual) περιορισμό (*symbol*: *T*). Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μοναδικό χαρακτηριστικό.

Τονίζονται τα δύο παραπάνω χαρακτηριστικά ως αποτέλεσμα ενός γρηγορότερου φιλτραρίσματος και ταύτισης των εισερχόμενων μηνυμάτων. Μηνύματα που δεν ενδιαφέρουν κανένα αναγνωρίζονται άμεσα, δια μέσου της μη ταύτισης των κατηγορημάτων που αποτελούν το μήνυμα με τους αντίστοιχους γενικευμένους περιορισμούς που εμπεριέχονται στις περιλήψεις. Αυτό αποφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην ταχύτητα συγκρινόμενο με όλους τους περιορισμούς των κατηγορημάτων όλων των συνδρομών. Επίσης, τα μηνύματα που ενδιαφέρουν κάποιες συνδρομές αναγνωρίζονται άμεσα με την επιτυχή ταύτιση των κατηγορημάτων που αποτελούν το μήνυμα, σε σχέση με τους περιορισμούς των κατηγορημάτων που βρίσκονται στις περιλήψεις. Σ' αυτό το σημείο, η λίστα με τις ταυτότητες των συνδρομών του κάθε γενικευμένου περιορισμού που υπήρξε ταύτιση, αναγνωρίζει πιο θα είναι το υποσύνολο των συνδρομών που θα χρειαστεί περαιτέρω έλεγχο. Αυτή η συμπεριφορά ως προς την απόδοση είναι πολύ σημαντική, εφόσον αναμένεται ότι τα μηνύματα θα είναι κατά πολύ περισσότερα απ' ότι οι συνδρομές.

Τέλος, επιπλέον από τη γρηγορότερη ταύτιση και φιλτράρισμα των μηνυμάτων, δίνεται μια περαιτέρω έμφαση στο γεγονός ότι οι συνιστώμενες δομές των περιλήψεων αποφέρουν σημαντικά κέρδη στη μείωση του εύρους ζώνης και του αποθηκευτικού χώρου, εφόσον είναι οι δομές αυτές που ανταλλάσσονται μεταξύ των ΔΜ κατά την προώθηση των συνδρομών. Η επόμενη ενότητα περιγράφει αλγόριθμους που επεκτείνουν τα προαναφερθέντα κέρδη δια μέσου της προώθησης των συνδρομών και της κατανεμημένης διάδοσης των μηνυμάτων.

4.3 Περιλήψεις Συνδρομών με Πολλαπλούς Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων, Προώθηση των Περιλήψεων και Κατανεμημένη Διάδοση των Μηνυμάτων

Μέχρι στιγμής, κάθε ΔΜ, αποθηκεύει τις περιλήψεις των συνδρομών σε *όλους* τους υπόλοιπους ΔΜ. Τα επιτεύγματα μέχρι στιγμής, δηλαδή η περίληψη των συνδρομών, μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση του αποθηκευτικού χώρου και στη μείωση του εύρου ζώνης που χρειάζονται στην αποθήκευση και στην ανταλλαγή των συνδρομών. Ωστόσο όμως, αν *όλοι* οι ΔΜ στέλνουν τις περιλήψεις των συνδρομών σε *όλους* τους υπόλοιπους ΔΜ αυτό μπορεί να μεταμορφώσει τη συγκεκριμένη προσέγγιση αρκετά ακριβή. Επίσης, εκτελώντας τον αλγόριθμο ταύτισης / φιλτραρίσματος για κάθε μήνυμα στις συνδρομές *όλων* των ΔΜ, χρειάζεται αρκετό υπολογιστικό χρόνο σε κάθε ΔΜ – ειδικά όταν ο αριθμός των μηνυμάτων αναμένεται να είναι αρκετά υψηλός. Όλα τα παραπάνω είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός μηχανισμού που κατασκευάζει και χρησιμοποιεί περιλήψεις συνδρομών σε πολλαπλούς Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων.

4.3.1 Μια Πρώτη Προσέγγιση

Κατασκευή των Περιλήψεων με Πολλαπλούς ΔΜ.

Όταν ένας ΔΜ, π.χ. ο B , παραλάβει το σύνολο των περιλήψεων από ένα σύνολο άλλων ΔΜ, είναι αυτονόητο ότι ο B θα συγχωνεύσει το σύνολο των περιλήψεων που έλαβε με τις δικές του. Όλες οι τιμές για τα ίδια αριθμητικά και αλφαριθμητικά κατηγορήματα απλά συγχωνεύονται παίρνοντας την ένωση των αντίστοιχων συνόλων. Επίσης, η ίδια λογική αφίσταται και στη συγχώνευση υποστηριζόμενων δομών όπως τα αριθμητικά εύροι τιμών. Έτσι η έννοια των περιλήψεων σε πολλαπλούς ΔΜ πηγάζει από τη συγχώνευση μερικών απ' αυτών. Μια αναλυτική παρουσίαση για τη συντήρηση των περιλήψεων σ' αυτό το επίπεδο βρίσκεται στην ενότητα 4.3.4.

Φιλτράρισμα και δρομολόγηση των μηνυμάτων.

Οι ΔΜ αναπτύσσουν τις πολλαπλές περιλήψεις από τους γείτονες που έχει ο κάθε ένας. Κάθε ΔΜ, B_i , δημιουργεί όπως και πριν τη δικιά του περίληψη. Στη συνέχεια, αυτή η περίληψη διαδίδεται στους γείτονες του. Κάθε ένας γείτονας, B_j , χρησιμοποιώντας τις ίδιες δομές δεδομένων, συγχωνεύει τη δικιά του περίληψη μ'

αυτήν που παρέλαβε από το B_i (και τον κάθε άλλο γείτονα του) και μετά προωθεί με τη σειρά του τη συγχωνευμένη (πολλαπλή) περίληψη στους δικούς του γείτονες, συνεχίζοντας την ίδια διαδικασία. Όταν ένα μήνυμα καταφθάσει σ' ένα ΔΜ, το B_i , ο αλγόριθμος φιλτραρίσματος εξετάζει το μήνυμα σε σχέση με τις περιλήψεις των συνδρομών που έλαβε απ' όλους τους γείτονες του.

Εδώ να σημειωθεί, ότι εκτός από τα οφέλη ενός σημαντικά γρηγορότερου μηχανισμού ταύτισης / φιλτραρίσματος των μηνυμάτων σε κάθε ΔΜ, υπάρχει και μια σημαντική μείωση του εύρους ζώνης του δικτύου για την ανταλλαγή των συνδρομών.

Η όλη διαδικασία χωρίζεται σε δύο λογικές φάσεις. Η πρώτη εκτελεί την προώθηση των περιλήψεων στους ΔΜ, ενώ η δεύτερη φάση έχει να κάνει με την αποδοτική κατανομή των μηνυμάτων μέσα στο σύστημα.

4.3.2 Προώθηση των Περιλήψεων

Οι περιλήψεις προωθούνται σ' όλους τους ΔΜ του συστήματος εκμεταλλευόμενες τη θεμελιώδη τοπολογία αλληλοσύνδεσης (overlay topology) που έχουν οι ΔΜ μεταξύ τους. Αυτή η φάση ξεκινά σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές (π.χ. περιοδικά) και η όλη διαδικασία περιέχει αριθμό επαναλήψεων ίσο με το μέγιστο βαθμό (ίσο με τον αριθμό των γειτόνων που έχει ένας ΔΜ) μεταξύ όλων των ΔΜ.

Σε κάθε επανάληψη, ο κάθε ΔΜ που έχει βαθμό ίσο με τον αριθμό της συγκεκριμένης επανάληψης, κατασκευάζει μια συγχωνευμένη περίληψη, που περιέχει τη δικιά του περίληψη και όλων των γειτόνων του που έλαβε απ' όλες τις προηγούμενες επαναλήψεις. Συνάμα, σε κάθε συγχωνευμένη περίληψη, ο ΔΜ προστίθεται στη λίστα *Merged_Brokers* (Συγχωνευμένοι ΔΜ), η οποία αποτελείται από τις ταυτότητες των ΔΜ των οποίων οι περιλήψεις περιέχονται στη συγχωνευμένη περίληψη. Αν καμία περίληψη δεν έχει παραληφθεί (η περίπτωση της πρώτης επανάληψης) τότε η υπό κατασκευή πολλαπλή περίληψη περιέχει μόνο τις περιλήψεις του συγκεκριμένου ΔΜ και η λίστα *Merged_Brokers* αποτελείται μόνο από τη δικιά του ταυτότητα.

Μετά απ' αυτό, ο κάθε ΔΜ στέλνει τη συγχωνευμένη περίληψη και τη λίστα *Merged_Brokers* σε κάποιο γείτονα του με τον οποίο δεν επικοινωνήσε σ' όλες τις προηγούμενες επαναλήψεις (π.χ., στους γειτονικούς ΔΜ που έχουν ίσο ή μεγαλύτερο βαθμό). Αν ο ΔΜ έχει δύο ή περισσότερους τέτοιους γείτονες, τότε μόνο ένας

επιλέγεται (κατά προτίμηση αυτός με το μικρότερο βαθμό) για να του σταλούν οι περιλήψεις. Αυτό γίνεται για καλύτερη απόδοση και αποφυγή διπλότυπης πληροφορίας. Επίσης, κρατάει και την ενημερωμένη λίστα των *Merged_Brokers*.

Ο αλγόριθμος προώθησης μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

<p>Για $i = 1$ μέχρι ΜΕΓΙΣΤΟ_ΒΑΘΜΟ</p> <p>Ο κάθε κόμβος με βαθμό i:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Συγχωνεύει την περίληψή του με όλες τις περιλήψεις που παρέλαβε και ενημερώνει τη λίστα των <i>Merged_Brokers</i>. 2. Στέλνει τη συγχωνευμένη περίληψη και την ενημερωμένη λίστα των <i>Merged_Brokers</i> σε επιλεγμένο γειτονικό κόμβο με μεγαλύτερο ή ίσο βαθμό. <p>Τέλος</p>
--

Αλγόριθμος 4-2. Προώθηση Περιλήψεων.

4.3.3 Αποδοτική Κατανομή των Μηνυμάτων: Δρομολόγηση και Φιλτράρισμα

Όταν ένα μήνυμα παραληφθεί από κάποιον ΔΜ, το B , αυτός εξετάζει την ολική συγχωνευμένη περίληψη που έχει στην κατοχή του και ελέγχει για κάποια ταύτιση, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ταύτισης που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.3. Αν υπάρξει ταύτιση, τότε ο ΔΜ δρομολογεί το μήνυμα σε όλους τους ΔΜ που έχουν στην κατοχή τους συνδρομές με ταύτιση στο συγκεκριμένο μήνυμα. Για να το κάνει αυτό, χρησιμοποιεί το πεδίο c_i της κάθε ταυτότητας που υπήρξε ταύτιση. Παράλληλα, ο ΔΜ ενημερώνει και τη Λίστα Ελέγχου του Διαμεσολαβητή Μηνυμάτων για ένα συγκεκριμένο μήνυμα μ (Broker Check List for a specific event e - *BROCLI_e*) που μεταφέρεται από κάθε μήνυμα. Αυτή η λίστα δείχνει το σύνολο των ΔΜ, των οποίων οι συνδρομές έχουν εξετασθεί για ταύτιση με κάποιο μήνυμα. Η συντήρηση αυτής της λίστας γίνεται από κάθε ΔΜ που λαμβάνει το μήνυμα, με την προσθήκη των ταυτοτήτων της λίστας *Merged_Brokers* που έχει αυτός στην κατοχή του (π.χ., τη δικιά του ταυτότητα καθώς επίσης και τις ταυτότητες όλων των υπόλοιπων ΔΜ που συμπεριλαμβάνονται στη δικιά του συγχωνευμένη περίληψη). Αν η *BROCLI_e* είναι ένα υποσύνολο του συνολικού πλήθους των ΔΜ, η έρευνα για ταύτιση συνεχίζεται.

Υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές για να επιλεγεί ο ΔΜ, στον οποίο θα προωθηθεί ένα μήνυμα. Η πρώτη επιλογή είναι ο B να προωθήσει το μήνυμα στο ΔΜ με το μεγαλύτερο βαθμό μεταξύ όσων δεν περιλαμβάνονται στη *BROCLI_e*. Επίσης, του στέλνει και την ενημερωμένη έκδοση της *BROCLI_e*. Μια άλλη επιλογή είναι ο B να προωθήσει το μήνυμα στον κοντινότερο σε αυτόν ΔΜ που δεν περιέχεται στη

$BROCLI_e$ και έχει μεγαλύτερο ή ίσο βαθμό με αυτόν. Αυτές οι εναλλακτικές μοιράζονται συγκρινόμενα πλεονεκτήματα απόδοσης ταύτισης ενός μηνύματος ανταλλάσσοντας υπολογιστικό χρόνο με κατανεμημένο φορτίο μεταξύ των ΔΜ. (Να σημειωθεί ότι στο επόμενο κεφάλαιο με την ανάλυση της απόδοσης χρησιμοποιείται η πρώτη λύση).

Αυτή η διαδικασία εκτελείται σε κάθε ΔΜ που λαμβάνει το μήνυμα και σταματά όταν ο ΔΜ που εξετάζει το μήνυμα βρει ότι όλοι οι ΔΜ του συστήματος περιέχονται στη $BROCLI_e$.

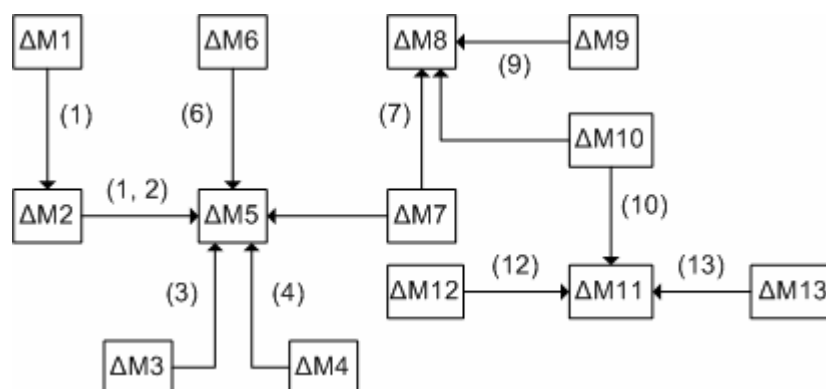
Ο αλγόριθμος της κατανεμημένης διαδικασίας ενός μηνύματος μπορεί να περιγραφεί με τον ακόλουθο ψευδό-κώδικα:

Για κάθε εισερχόμενο μήνυμα ενός ΔΜ

1. **Έλεγχε** στην τοπική συγχωνευμένη περίληψη αν υπάρχει ταύτιση
2. **Ενημέρωσε** τη $BROCLI_e$
3. **Αν** υπάρχει ταύτιση
 - ι. **Στείλε** το μήνυμα στο ΔΜ στον οποίο ανήκει η συγκεκριμένη περίληψη
4. **Αν** δεν περιέχονται όλοι οι ΔΜ στη $BROCLI_e$, τότε
 - ι. **Βρες** το ΔΜ με το μεγαλύτερο βαθμό όπου δεν συμπεριλαμβάνετε στη λίστα $BROCLI_e$ και στείλε του το μήνυμα.

Αλγόριθμος 4-3. Δρομολόγηση και Φιλτράρισμα Μηνύματος.

Παράδειγμα 4-3. Ας υποθέσουμε ότι ένα σύστημα αποτελείται από 13 ΔΜ συνδεδεμένους μεταξύ τους όπως φαίνεται στο σχήμα 4-12 (Ο λόγος της χρήσης δεντρικής τοπολογίας είναι η μεγαλύτερη ευκολία στην παρουσίαση, εφόσον οι επιπλέον ακμές του γράφου κάνουν πιο πολύπλοκο το σχήμα).



Σχήμα 4-12. Παράδειγμα δρομολόγησης και φιλτραρίσματος.

Βλέπουμε ότι ο ΔΜ με το μεγαλύτερο βαθμό είναι ο κόμβος 5. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης και συγκεκριμένα στη 1^η επανάληψη, οι ΔΜ 1, 3, 4, 6, 9, 12 και 13

στέλνουν τις περιλήψεις των συνδρομών στους γείτονες τους. Οι ετικέτες που βρίσκονται στις ακμές δείχνουν το σύνολο της λίστας των *Merged_Brokers*. Κατά τη 2^η επανάληψη, οι ΔΜ με βαθμό δύο (δηλαδή, οι 2, 7 και 10) δημιουργούν μια συγχωνευμένη περίληψη αποτελούμενη από τη δικιά τους και από αυτές που παρέλαβαν στην προηγούμενη επανάληψη (αν υπάρχουν). Στο παράδειγμά μας, μόνο ο ΔΜ 2 θα κατασκευάσει μια τέτοια περίληψη αποτελούμενη από τη δικιά του και αυτή του ΔΜ 1.

Ακολουθώντας, ο ΔΜ 2 στέλνει τη συγχωνευμένη περίληψη στον 5, ο 7 στον 5 (ή στον 8) και ο 10 στον 8 (ή στον 11). Στην 3^η επανάληψη, οι ΔΜ 8 και 11 συγχωνεύουν τις παραληφθείσες περιλήψεις. Ο ΔΜ 8 θα συγχωνεύσει τη δικιά του με αυτές που παρέλαβε από τους γείτονες του κατά τη διάρκεια όλων των προηγούμενων επαναλήψεων (δηλαδή, τις περιλήψεις των ΔΜ 7, 9 και 10). Στην 4^η επανάληψη δεν υπάρχει κάποια ενέργεια, διότι δεν υπάρχει κανένας ΔΜ με τέτοιο βαθμό. Στην τελευταία επανάληψη, ο ΔΜ 5 θα συγχωνεύσει τις περιλήψεις από τους 2, 6, 3 και 4 και έτσι θα ολοκληρωθεί η πρώτη φάση (αυτή της προώθησης των συνδρομών). Να σημειώσουμε ότι στο τέλος, ο ΔΜ 5 για παράδειγμα θα έχει γνώση για τις περιλήψεις των ΔΜ 1 μέχρι και 6.

Τώρα ας υποθέσουμε ότι ένα μήνυμα καταφθάνει στο ΔΜ 1 και σε τελική ανάλυση ταυτίζεται με συνδρομές των ΔΜ 4, 8 και 13. Πρώτα ο 1 θα ελέγξει (ανεπιτυχώς) αν το μήνυμα ταυτίζεται με τη δικιά του περίληψη και μετά θα ενημερώσει τη *BROCLI_e* τοποθετώντας τη δικιά του ταυτότητα σ' αυτήν. Στη συνέχεια, θα προωθήσει τόσο το μήνυμα, όσο και τη *BROCLI_e* στον κοντινότερο σε αυτόν ΔΜ που δεν περιέχεται στη συγκεκριμένη λίστα και έχει μεγαλύτερο βαθμό από τον ίδιο. Στο παράδειγμα μας, αυτός είναι ο ΔΜ 5. Ο 5 με τη σειρά του, θα κάνει τον έλεγχο της ταύτισης στη δικιά του συγχωνευμένη περίληψη και θα ενημερώσει τη *BROCLI_e* προσθέτοντας όλους τους ΔΜ από τον 2 μέχρι και τον 6 (Ο 1 είναι ήδη καταχωρημένος). Απ' αυτό τον έλεγχο, η περίληψη που έστειλε ο ΔΜ 4 θα δώσει θετικό αποτέλεσμα και, γι' αυτό, ο 5 θα του προωθήσει το μήνυμα. Ταυτοχρόνως, επειδή η *BROCLI_e* δεν περιέχει όλους τους ΔΜ, ο ΔΜ 5 θα στείλει το μήνυμα μαζί την ενημερωμένη *BROCLI_e* στο ΔΜ 8 (εφόσον ο 8 είναι με το μεγαλύτερο βαθμό που δε συμπεριλαμβάνεται στη *BROCLI_e*). Ο ΔΜ 8 εκτελώντας την ίδια διαδικασία, θα βρει τοπική ταύτιση και θα προωθήσει το μήνυμα στον 11. Μετά την ταύτιση με το ΔΜ 13, ο 11 θα σταματήσει, αφού θα δει ότι όλοι οι ΔΜ περιέχονται στη *BROCLI_e*. ■

4.3.4 Συνολικές και Περιοδικές Περιλήψεις: Συντήρηση των Περιλήψεων με Πολλαπλούς Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας ΔΜ δεν χρειάζεται να διαδίδει κάθε φορά τη *'συνολική περίληψη'* (history summary), όπου περιλαμβάνονται όλες οι ενεργές συνδρομές του. Ο όρος ενεργές συνδρομές ερμηνεύεται ως ο συνολικός αριθμός των συνδρομών που παρέλαβε ένας ΔΜ (από τους συνδρομητές που διαχειρίζεται ή από τις προωθημένες συνδρομές των γειτονικών του ΔΜ) και δεν έχουν διαγραφεί καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος. Αντί αυτών, ένας ΔΜ μπορεί να διαδίδει μόνο τις *'περιοδικές περιλήψεις'* (delta summaries), δηλαδή, τις περιλήψεις των καινούργιων συνδρομών που παρέλαβε ο ΔΜ σε μια περίοδο χρόνου αφότου έγινε η προηγούμενη προώθηση. Μ' αυτό τον τρόπο, οι ΔΜ χρειάζεται να δημιουργούν περιλήψεις πολύ λιγότερων συνδρομών και να στέλνουν πολύ μικρότερες περιλήψεις, εφόσον το μέγεθος της περιοδικής περίληψης εξαρτάτε από τον αριθμό των νέων (και όχι όλων) των συνδρομών.

Οι περιοδικές σχηματίζονται με τη συγχώνευση των νέων συνδρομών σε επίπεδο περιλήψεων των περιορισμών των κατηγορημάτων. Όμως, πρέπει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος ταύτισης για ένα εισερχόμενο μήνυμα πρέπει να εκτελεστεί στη συνολική περίληψη σε κάθε ΔΜ. Γι' αυτό, οι περιοδικές περιλήψεις διαδίδονται και συγχωνεύονται στις συνολικές περιλήψεις των ΔΜ.

Έχοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω, ένας ΔΜ συντηρεί παράλληλα τη συνολική και την περιοδική του περίληψη. Η περιοδική περίληψη δημιουργείται με τη συγχώνευση μίας (ή περισσότερων) περιοδικών περιλήψεων που παραλείφθηκαν από τους γείτονες του και της δικιάς του περιοδικής περίληψης με βάση τις νέες συνδρομές των χρηστών του. Η συνολική περίληψη ενός ΔΜ, ενημερώνεται με τη συγχώνευση των περιοδικών περιλήψεων στη συνολική.

Για ένα ΔΜ η συντήρηση των συνολικών περιλήψεων που εμπεριέχει συνδρομές από πολλαπλούς ΔΜ εμπλέκει την υποστήριξη δύο λειτουργιών, την *προσθήκη* και τη *διαγραφή* των συνδρομών. Να σημειωθεί ότι υπάρχουν δύο τύποι περιοδικών περιλήψεων: οι περιοδικές περιλήψεις που αφορούν την προσθήκη νέων συνδρομών ενώ η άλλος τύπος αφορά τη διαγραφή ενεργών συνδρομών. Οι περιοδικές περιλήψεις που αφορούν την προσθήκη νέων συνδρομών αφορούν όλα όσα παρουσιάστηκαν μέχρι στιγμής σ' αυτή την ενότητα, δηλαδή, δημιουργούν τις περιλήψεις των νέων συνδρομών που παραλαμβάνει ένας ΔΜ. Παρομοίως, οι ΔΜ μπορούν να ομαδοποιήσουν αιτήσεις για διαγραφή συνδρομών, δημιουργώντας τις

περιλήψεις των συνδρομών που επιθυμούν διαγραφή και στη συνέχεια να γίνει η διάδοση αυτών των περιοδικών περιλήψεων. (Εναλλακτικά, μπορούν να εκτελούνται ατομικές αιτήσεις διαγραφής για κάθε μία από τις συνδρομές αυτές).

Για τη λειτουργία της *προσθήκης* σε κάποιο απομακρυσμένο (remote) ΔΜ, οι απαιτήσεις για την ανανέωσης των δομών δεδομένων στη συνολική περίληψη απλά περιλαμβάνουν την προσθήκη / συγχώνευση όλων των νέων γραμμών, το σύνολο των στοιχείων και των αντίστοιχων λιστών με τις ταυτότητες των συνδρομών, που περιλαμβάνονται στην περιοδική περίληψη για προσθήκη νέων συνδρομών. Η όλη διαδικασία είναι η ίδια με αυτή που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.4.

Επίσης, η ίδια διαδικασία ισχύει για τη λειτουργία της διαγραφής αλλά μόνο στην περίπτωση που ο διαγραφόμενος περιορισμός δεν είναι ο πιο γενικός για μια συγκεκριμένη γραμμή στη δομή της περίληψης. Διαγράφοντας τον πιο γενικό περιορισμό από μία γραμμή σε περίληψη που περιλαμβάνει συνδρομές από πολλαπλούς ΔΜ χρειάζεται ειδική μεταχείριση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο απομακρυσμένος ΔΜ δεν γνωρίζει πως να διασπάσει τους υπόλοιπους περιορισμούς στις κατάλληλες νέες γραμμές, εφόσον δεν ξέρει ποιες είναι οι ακριβής τιμές των περιορισμών που προέρχονται από τις γειτονικές συνδρομές.

Υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές λύσεις για την επίλυση αυτού του προβλήματος. Η πρώτη λύση που προτείνεται ορίζει ότι ο απομακρυσμένος εξετάζει τη λίστα με τις ταυτότητες των συνδρομών που συσχετίζεται με τον περιορισμό που θα διαγραφεί. Απ' αυτές τις ταυτότητες, ανιχνεύει τους γείτονες που έστειλαν συνδρομές με τιμές κατηγορημάτων που επηρεάζονται από το διαγραφόμενο περιορισμό. Ο απομακρυσμένος ΔΜ στέλνει σ' αυτούς τους γείτονες τον περιορισμό που πρόκειται να διαγραφεί. Κάθε ένας από τους γειτονικούς ΔΜ επιστρέφει τους αντίστοιχους περιορισμούς ανιχνεύοντας τους με τη βοήθεια των *ACGT*. Τέλος, ο απομακρυσμένος ΔΜ συλλέγει αυτούς τους περιορισμούς και έτσι μπορεί και ενημερώνει τη δικιά του περίληψη όπου τώρα δεν περιέχει το διαγραφόμενο περιορισμό. Το μειονέκτημα αυτής της λύσης είναι το επιπλέον εύρος ζώνης που απαιτείται για την ανταλλαγή της απαραίτητης πληροφορίας. Μια δεύτερη προσέγγιση είναι αυτή που ο κάθε ΔΜ αποθηκεύει ξεχωριστά τις δικές του περιλήψεις (συγχωνευμένες ή όχι), όποιες άλλες περιλήψεις παραλαμβάνει από τους γείτονες του και τη συγχωνευμένη περίληψη όλων μαζί. Μ' αυτό τον τρόπο, κάθε ΔΜ γνωρίζει όλες τις περιλήψεις των γειτονικών του ΔΜ που έχουν μικρότερο βαθμό απ' αυτόν. Αυτή η κατασκευή μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τις περιοδικές περιλήψεις που λαμβάνει ο κάθε ΔΜ κατά τη διάρκεια του χρόνου. Μ' αυτό τον τρόπο, ένας απομακρυσμένος ΔΜ γνωρίζει για τις συνολικές

περιλήψεις όλων των γειτονικών του ΔΜ λαμβάνοντας τις σε μικρότερα κομμάτια. Έχοντας όλη αυτή την πληροφορία, ένας απομακρυσμένος ΔΜ έχει την ικανότητα να ανακατασκευάζει τη συγχωνευμένη συνολική περίληψη. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι οι μεγαλύτερες απαιτήσεις αποθηκευτικού χώρου και η επιπλέον επεξεργαστική ισχύ που χρειάζεται στη συγχωνευμένη συνολική περίληψη για να γίνουν όλες οι απαιτητές αλλαγές. Στην ανάλυση που γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο χρησιμοποιείται η πρώτη μέθοδος.

Παράδειγμα 4-4. Χρησιμοποιώντας τις ίδιες τέσσερις συνδρομές από το σχήμα 4-5, αυτό το παράδειγμα δείχνει πως μπορεί να γίνει η συντήρηση μιας συνολικής περιλήψης που εμπεριέχει συνδρομές από πολλαπλούς ΔΜ. Υποθέτουμε ότι ο ΔΜ 1 έχει στην κατοχή του τις συνδρομές **S1** και **S3**, ο ΔΜ 2 διαχειρίζεται τη συνδρομή **S2** και ο ΔΜ 3 κατέχει τη **S4**. Επίσης, υποθέτουμε ότι ο ΔΜ 3 λαμβάνει τις περιλήψεις των ΔΜ 1 και 2.

Πρώτα, ας εξετάσουμε την περίπτωση όπου ένας νέος περιορισμός που τυγχάνει να είναι και ο πιο γενικός σε κάποια γραμμή μιας δομής προστίθεται στη συγχωνευμένη συνολική περίληψη. Παίρνουμε το σενάριο όπου σε κάποιο χρόνο t_1 ο ΔΜ 3 κατέχει τη δικιά του συνδρομή, **S4**, τη συνδρομή του ΔΜ 2, **S2**, και μόνο τη **S1** από το ΔΜ 1. Οι δομές δεδομένων των συγχωνευμένων συνολικών περιλήψεων για τα δύο κατηγορήματα είναι όπως φαίνονται στο σχήμα 4-13.

SACS for attribute <i>symbol</i>	
>* T → S1, S2, S4	

AACS for attribute <i>price</i>		
8.60	8.70	→ S4
8.50		→ S1
8.55		→ S2

Σχήμα 4-13. Οι συγχωνευμένες δομές δεδομένων του ΔΜ 3 στο χρόνο t_1 .

Σε χρόνο t_2 η συνδρομή **S3** δημιουργείται στο ΔΜ 1 και έτσι προωθείται στο ΔΜ 3. Ο ΔΜ 3 θα τοποθετήσει κάθε κατηγορήμα που περιλαμβάνεται στη συνδρομή, στη συγχωνευμένη συνολική περίληψη. Βλέπουμε ότι το κατηγορήμα *symbol* της **S3** ήδη επικαλύπτεται. Το ίδιο όμως δεν συμβαίνει για το κατηγορήμα *price* εφόσον η τιμή του περιορισμού του είναι πιο γενική και μπορεί να καλύψει αυτές των **S1** και **S2**. Επίσης, με τη συγχώνευση που προκύπτει από τον περιορισμό **S3** δημιουργήθηκε ένας "εικονικός περιορισμός" για το κατηγορήμα *price*. Το αποτέλεσμα αυτής της λειτουργίας αποτυπώνεται στο σχήμα 4-14.

<i>SACS</i> for attribute <i>symbol</i>		<i>AACS</i> for attribute <i>price</i>		
>* T → S1, S2, S4, S3		8.45	8.70	→ S1, S2, S4, S3

Σχήμα 4-14. Οι συγχωνευμένες δομές δεδομένων του ΔΜ 3 στο χρόνο t_2 .

Τώρα, ας εξετάσουμε την περίπτωση όπου ένας περιορισμός που τυγχάνει να είναι ο πιο γενικός διαγράφεται από τη συγχωνευμένη συνολική περίληψη. Υποθέτουμε ότι σε χρόνο t_3 η συνδρομή **S3** διαγράφεται από το ΔΜ 1. Ο ΔΜ 1 διαγράφει τη συγκεκριμένη συνδρομή με τον τρόπο που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.4 και στέλνει την αντίστοιχη αίτηση διαγραφής στο ΔΜ 3. Ο ΔΜ 3 με τη σειρά του διαγράφει την ταυτότητα του **S3** από τη δομή *SACS* του κατηγορήματος *symbol* καθώς επίσης και από τη δομή *AACS* του κατηγορήματος *price*. Επίσης, βλέπει ότι ο περιορισμός για το κατηγορήμα *price* είναι ο πιο γενικός και έτσι ενημερώνει και τους δύο ΔΜ για να του στείλουν πίσω τους περιορισμούς που επηρεάζονται από το διαγραφέντα. Οι ΔΜ 1 και 2 εξετάζουν το διαγραφέντα περιορισμό και στέλνουν πίσω στο ΔΜ 3 όλους τους υπάρχοντες περιορισμούς (μαζί με τις λίστες των ταυτοτήτων των συνδρομών) που επικαλύπτονταν από το διαγραφέντα. Έχοντας τα νέα δεδομένα από τους ΔΜ 1 και 2, ο ΔΜ 3 ενημερώνει τη συγχωνευμένη συνολική περίληψη για το κατηγορήμα *price*. Σ' αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 4-13. ■

Κεφάλαιο 5

Ανάλυση της Απόδοσης

Σ' αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται μια ανάλυση για την απόδοση της προτεινόμενης προσέγγισης. Οι κύριες μετρικές απόδοσης είναι (i) οι απαιτήσεις σε εύρο ζώνης δικτύου (network bandwidth), (ii) ο αποθηκευτικός χώρος που χρειάζονται οι συνδρομές και οι περιλήψεις αυτών, (iii) ο αριθμός των μεταπηδήσεων (hops) ανάμεσα στους ΔΜ που χρειάζονται για τη διάδοση των συνδρομών και (iv) ο αριθμός των μεταπηδήσεων ανάμεσα στους ΔΜ που χρειάζονται για την προώθηση των μηνυμάτων στους ενδιαφερόμενους ΔΜ.

Το εύρος ζώνης δικτύου μετριέται ως το μέγεθος (σε bytes) που ο κάθε ΔΜ ανταλλάζει με όλους τους υπόλοιπους. Ο πίνακας 5-1 καταγράφει όλες τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται.

Σύμβολο	Περιγραφή
n_t	Συνολικός αριθμός των κατηγορημάτων σ' ένα σύστημα δημοσίευσης / συνδρομής.
S	Μέσος αριθμός των ενεργών συνδρομών σ' ένα ΔΜ.
σ	Μέσος αριθμός των νέων συνδρομών που εισέρχονται σ' ένα ΔΜ ανά περίοδο χρόνου.
n_{as}	Μέσος αριθμός των διαφορετικών αριθμητικών κατηγορημάτων που εμπεριέχονται σε μια συνδρομή ενός ΔΜ.
n_{sr}	Ανά αριθμητικό κατηγορήμα: αριθμός των γραμμών σε μία $AACS_{SR}$.
n_e	Ανά αριθμητικό κατηγορήμα: αριθμός των γραμμών σε μία $AACS_E$.
L_a	Ανά αριθμητικό κατηγορήμα: μέγεθος λίστας με τις ταυτότητες των συνδρομών.
n_{ss}	Μέσος αριθμός των διαφορετικών αλφαριθμητικών κατηγορημάτων που εμπεριέχονται σε μια συνδρομή ενός ΔΜ.

n_r	Ανά αλφαριθμητικό κατηγορήμα: αριθμός των γραμμών σε μία <i>SACS</i> .
L_s	Ανά αλφαριθμητικό κατηγορήμα: μέγεθος λίστας με τις ταυτότητες των συνδρομών.
ssv	Μέσο μέγεθος μιας συμβολοσειράς (ένα byte ανά χαρακτήρα).
sst	Μέγεθος τύπου για ένα αριθμητικό κατηγορήμα
sid	Μέγεθος μιας ταυτότητας συνδρομής.
E	Μέσος αριθμός μηνυμάτων που εισέρχονται σ' ένα ΔΜ.
n_{ae}	Μέσος αριθμός των διαφορετικών αριθμητικών κατηγορημάτων που εμπεριέχονται σ' ένα μήνυμα.
n_{se}	Μέσος αριθμός των διαφορετικών αλφαριθμητικών κατηγορημάτων που εμπεριέχονται σ' ένα μήνυμα.

Πίνακας 5-1. Ορισμός των Παραμέτρων.

5.1 Ανάλυση του Εύρους Ζώνης του Δικτύου

Οι παρακάτω εξισώσεις δείχνουν το συνολικό μέγεθος (σε bytes) για κάθε μία από τις δύο δομές δεδομένων που αναπτύχθηκαν. Για κάθε δομή γίνεται ο υπολογισμός του μεγέθους για τη δομή την ίδια συν το μέγεθος για τις ταυτότητες των συνδρομών.

• Μέγεθος της δομής AACS

$$AACS = \sum_{i=1}^{n_{as}} \left((2n_{sr_i} + n_{e_i}) \times sst_i \right) + (L_{a_i} \times sid) \quad (1)$$

Το πρώτο μέρος της (1) είναι για τον υπολογισμό του μεγέθους των δύο πινάκων. Ο σταθερός όρος 2 υπάρχει λόγω της ύπαρξης των δύο στηλών (ελάχιστο, μέγιστο) του πρώτου πίνακα που χρειάζονται για κάθε εύρος τιμών. Το δεύτερο μέρος είναι για την εύρεση του μεγέθους που απαιτείται για την αποθήκευση των ταυτοτήτων των συνδρομών και για τους δύο πίνακες.

• Μέγεθος της δομής SACS

$$SACS = \sum_{i=1}^{n_{ss}} (n_{r_i} \times ssv) + (L_{s_i} \times sid) \quad (2)$$

Όπως και στην (1), το πρώτο μέρος είναι για τον υπολογισμό του μεγέθους του πίνακα. Το δεύτερο μέρος χρειάζεται στον υπολογισμό του απαιτούμενου χώρου για τις λίστες με τις ταυτότητες των συνδρομών.

Μ' αυτά, το συνολικό εύρος ζώνης δικτύου που χρειάζεται ένας ΔΜ, TB , είναι ίσο με το άθροισμα των μεγεθών των δύο δομών δεδομένων (1) και (2).

5.2 Αποτελέσματα Απόδοσης

Εδώ παρουσιάζεται η συγκριτική αποτίμηση της συγκεκριμένης προσέγγισης σε σχέση με τις δύο βασικές προσεγγίσεις (όπου (i) όλοι οι ΔΜ μεταδίδουν καθολικά (broadcast) όλες τις συνδρομές σε όλους τους άλλους, (ii) όλα τα μηνύματα μεταδίδονται καθολικά σ' όλους τους ΔΜ) και σε σχέση με την προσέγγιση που χρησιμοποιεί το σύστημα Siena και στηρίζεται σε αλγόριθμους επικάλυψης. Έχοντας υπ' όψιν ότι ο αναμενόμενος αριθμός των μηνυμάτων θα υπερτερεί κατά πολύ των αριθμό των συνδρομών, η δεύτερη βασική προσέγγιση καταλήγει να είναι πολύ φτωχή ως προς την απόδοση της. Για αυτό το λόγο δεν εμφανίζονται τα αποτελέσματα της έτσι ώστε να είναι και πιο ξεκάθαροι οι γράφοι των αποτελεσμάτων.

Ο πίνακας 5-2 δείχνει τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στους απαραίτητους παραμέτρους. Υποθέτουμε ότι όλα τα n_t εμφανίζονται έστω μία φορά σε κάποιες συνδρομές ενός ΔΜ. Ο μέσος αριθμός των συνδρομών ή των μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται σε αυτή την ανάλυση περιλαμβάνουν $n_t/2$ κατηγορήματα, εκ των οποίων το 40% (60%) είναι αριθμητικά (αλφαριθμητικά). Το μέσο μέγεθος μίας συνδρομής ή ενός μηνύματος είναι ίσο με 50 bytes.

Σύμβολο	Τιμές
S	= 1000 (per broker)
σ	= 10, ..., 1000
Πιθανότητα Επικάλυψης Συνδρομής	= 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9
n_t	= 10
n_{sr}	= 2
sst, sid	= 4
ssv	= 10

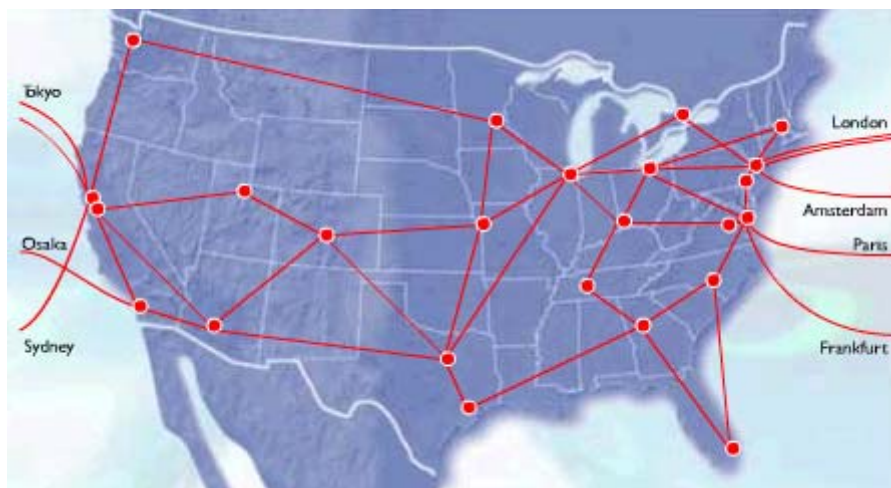
Πίνακας 5-2. Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν.

Ως υπενθύμιση, ότι μερικές τιμές των αριθμητικών και αλφαριθμητικών κατηγορημάτων επικαλύπτονται από κάποιες άλλες. Για τα αριθμητικά κατηγορήματα, όλες οι επικαλυπτόμενες τιμές των περιορισμών διοχετεύονται μέσα στα n_{sr} εύροι τιμών του κάθε κατηγορήματος. Οι μη επικαλυπτόμενοι περιορισμοί παρουσιάζονται

ως διαφορετικές ατομικές τιμές (ορίζοντας τους με τον τελεστή της ισότητας με τιμές εκτός των εύρων τιμών). Χρησιμοποιώντας τις διάφορες ρυθμίσεις των τιμών στις παραμέτρους του παραπάνω πίνακα έχουμε παρόμοια αποτελέσματα.

5.2.1 Η Απόδοση της Διάδοσης των Συνδρομών

Έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές τοπολογίες τόσο από το πραγματικό κόσμο όσο και τεχνικές. Για τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ (που είναι όμοια σε όλες τις περιπτώσεις) υπάρχει η υπόθεση ότι οι ΔΜ είναι οργανωμένοι σε μια λογική τοπολογία όπως αυτή του τηλεπικοινωνιακού κορμού (backbone) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής της εταιρίας Cable and Wireless plc, έχοντας 24 κόμβους.



Σχήμα 5-1. Τοπολογία Δικτύου της εταιρίας Cable & Wireless plc.

Απόδοση Εύρους Ζώνης Δικτύου

Σ' αυτά τα πειράματα μετρήθηκαν οι απαιτήσεις του εύρους ζώνης δικτύου, καθώς επίσης και το κόστος έτσι ώστε όλοι οι ΔΜ να διαδίδουν τις συνδρομές ανά περίοδο χρόνου. Αυτό το κόστος για τη βασική προσέγγιση είναι ίσο με:

$(ΔΜ - 1) \times \text{μέσος αριθμός μεταπηδήσεων (από οποιοδήποτε ΔΜ σε οποιοδήποτε άλλον)} \times ΔΜ \times \sigma \times \text{μέσο μέγεθος μίας συνδρομής.}$

Στην περίπτωση της διάδοσης των συνδρομών του συστήματος Siena, χρησιμοποιήθηκε μια μεταβλητή πιθανότητα της επικάλυψης των συνδρομών. Ειδικότερα, σε κάθε ΔΜ B, με πιθανότητα ίση μ' αυτή της επικάλυψης της συνδρομής, ο B δεν θα προωθήσει κάθε συνδρομή που παραλαμβάνει από τους γείτονες του. Αυτό επαναλαμβάνεται για κάθε ΔΜ, μέχρι που κάθε συνδρομή είτε θα

πάει σε όλους τους τελικούς προορισμούς είτε θα επικαλυφθεί. Για κάθε αποτέλεσμα, ορίζεται και η αντίστοιχη πιθανότητα επικάλυψης.

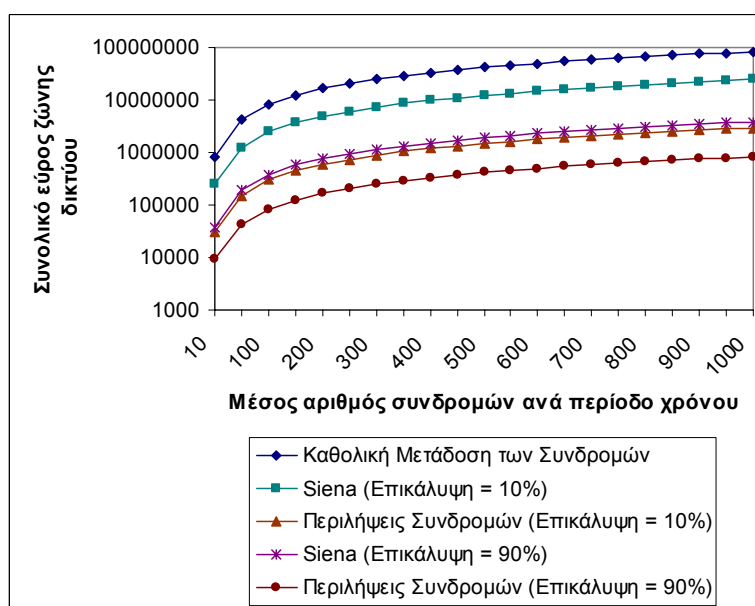
Στο μοντέλο απόδοσης που χρησιμοποιείται εδώ, δεν έχουν όλοι οι ΔΜ την ίδια πιθανότητα επικάλυψης. Είναι φυσικό να αναμένεται από τους ΔΜ που έχουν μεγαλύτερο βαθμό διασύνδεσης να απολαμβάνουν μεγαλύτερη πιθανότητα επικάλυψης, έχοντας το προτέρημα να διαπερνούν μέσω αυτών μεγαλύτερος αριθμός συνδρομών. Γι' αυτό το λόγο, ο ορισμός της πιθανότητας επικάλυψης να αναφέρεται ως η μέγιστη πιθανότητα μεταξύ των ΔΜ. Η πιθανότητα επικάλυψης για κάθε ΔΜ ορίζεται ως:

μέγιστη πιθανότητας επικάλυψης \times (βαθμός διασύνδεσης του ΔΜ / μέγιστο βαθμό διασύνδεσης)

Για την προτεινόμενη προσέγγιση τα μεγέθη των περιλήψεων των συνδρομών διαφέρουν από ΔΜ σε ΔΜ. Οι ΔΜ που συγχωνεύουν περιλήψεις και που παρέλαβαν από άλλους ΔΜ, έχουν μεγαλύτερα μεγέθη περιλήψεων. Το κατάλληλο μέγεθος ορίζεται ως ακολούθως: Οι ΔΜ που συγχωνεύουν περιλήψεις από ν άλλους ΔΜ, αυξάνουν κατάλληλα τον αριθμό των αναμενόμενων διακριτών τιμών στη συγχωνευμένη περίληψη και αυτό τον αριθμό τον ορίζουν ως το σύνολο των διακριτών τιμών που έχει ο κάθε ένας από τους ν ΔΜ. Γενικότερα, τα μεγέθη των δομών δεδομένων που αντιπροσωπεύουν τις περιλήψεις και που στέλνονται από ένα ΔΜ βασίζονται (i) στην τιμή του σ , τις νέες συνδρομές που παρελήφθησαν μετά την τελευταία διάδοση, (ii) την πιθανότητα της επικάλυψης και (iii) τον αριθμό των ΔΜ που οι περιλήψεις τους συγχωνεύονται με αυτή του ΔΜ.

Για τη μέτρηση των απαιτήσεων του εύρους ζώνης δικτύου (σχήμα 5-2) υπολογίστηκαν τα συνολικά bytes που ανταλλάχθηκαν έτσι ώστε να διαδοθούν όλες οι συνδρομές των ΔΜ, χρησιμοποιώντας τον αντίστοιχο αλγόριθμο της κάθε προσέγγισης. Για την προτεινόμενη προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος που περιγράφεται στην ενότητα 4.3, ομαδοποιώντας και στέλνοντας σ συνδρομές σε κάθε περίοδο.

Στην περίπτωση της διάδοσης των συνδρομών στο σύστημα Siena, ακολουθήθηκε η προσέγγιση που περιγράφεται στο [8], με την οποία για κάθε ΔΜ B δημιουργείται ένα ελάχιστο δέντρο κάλυμμα (minimum spanning tree) και οι συνδρομές προωθούνται από γείτονα σε γείτονα, ξεκινώντας από το B , μέχρι όπου οι συνδρομές φτάσουν σε όλους τους ΔΜ ή μέχρι να επικαλυφθούν.



Σχήμα 5-2. Εύρος ζώνης δικτύου για τη διάδοση των συνδρομών.

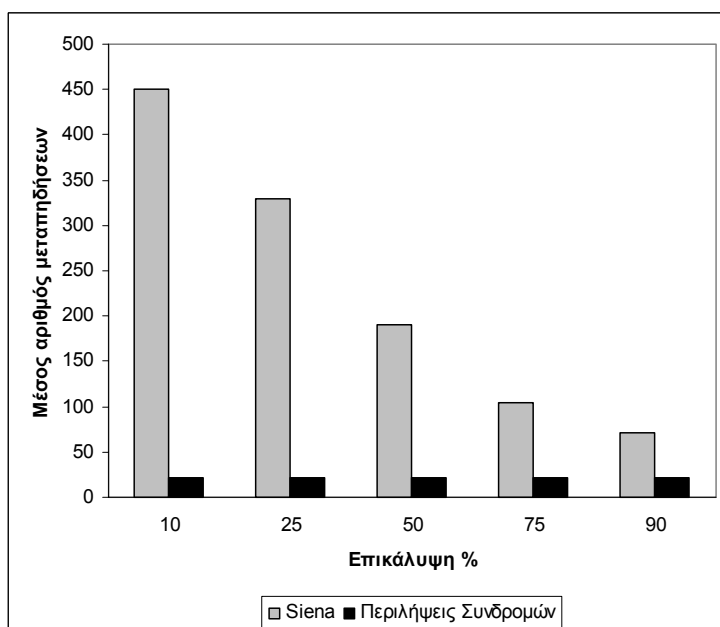
Στο σχήμα 5-2 ο άξονας των ψ είναι λογαριθμικός. Ως πρώτη παρατήρηση, να επισημανθεί ότι τόσο η προτεινόμενη προσέγγιση όσο και η προσέγγιση του Siena υπερτερούν σημαντικά της βασικής προσέγγισης κατά τάξης μεγέθους (orders of magnitude) όσο αφορά τις απαιτήσεις του εύρους ζώνης του δικτύου. Επιπλέον, τονίζεται ότι (i) ακόμα για τιμές του σ (αριθμός συνδρομών σε κάθε περίοδο) που είναι αρκετά μικρές σε σχέση με το S (π.χ., 1% του S) η προτεινόμενη προσέγγιση είναι καλύτερη από τις ανταγωνιστικές. Να σημειωθεί ότι αυτό είναι αρκετά σημαντικό εφόσον μικρές τιμές του σ ερμηνεύονται ως μικροί χρόνοι αναμονής (latencies) πριν αποσταλούν οι περιοδικές περιλήψεις των συνδρομών, (ii) η εξελξιμότητα (scalability) είναι πολύ καλή, με απόδειξη της σχεδόν 'επίπεδες' γραμμές και (iii) σε μεγάλης κλίμακα συστήματα με μεγάλο αριθμό ενεργών χρηστών που υποβάλουν συνεχώς συνδρομές (π.χ., μεγάλες τιμές του σ), η προτεινόμενη προσέγγιση μέχρι τρεις τάξης μεγέθους καλύτερη σε σύγκριση με τη βασική προσέγγιση. Όταν συγκρίνεται με αυτή του Siena βλέπουμε ότι υπερτερεί δραματικά (με λόγο που ξεκινά από 4 και φτάνει μέχρι 8 φορές).

Απόδοση ως προς τον Αριθμό των Μεταπηδήσεων

Το σχήμα 5-3 παρουσιάζει τον αριθμό των μεταπηδήσεων για να γίνει η διάδοση των συνδρομών τόσο για το Siena όσο και για την προτεινόμενη προσέγγιση. Ο αριθμός των μεταπηδήσεων αντανakλά τον αριθμό των ΔΜ που ενεπλάκησαν στη διαδικασία διάδοσης των συνδρομών.

Ο υπολογισμός του αριθμού μεταπηδήσεων ως εξής: Η κάθε ανταλλαγή πληροφορίας από ένα ΔΜ σ' ένα άλλο καταγράφεται ως μία μεταπήδηση (ανεξάρτητα από εάν οι δύο ΔΜ είναι γείτονες στη λογική τοπολογία). Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η παρούσα μετρική θέλει να καταγράψει τον αριθμό των ΔΜ που μεσολαβούν σ' αυτή τη λειτουργία.

Παρατηρείται μια σημαντική διαφορά στο σχήμα 5-3 μεταξύ των δύο προσεγγίσεων. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο (i) γεγονός ότι ο αλγόριθμος της προτεινόμενης λύσης αξιοποιεί τη συγχώνευση των συνδρομών υπό μορφή περίληψης σε κάθε ΔΜ και (ii) στο γεγονός ότι ο κάθε ΔΜ προωθεί τη συγχωνευμένη περίληψη μόνο σ' ένα γείτονα. Γι' αυτό το λόγο, στην προτεινόμενη λύση η διάδοση της όλης πληροφορίας (global knowledge) που αφορά όλες τις συνδρομές των ΔΜ χρειάζεται πάντα μικρότερο αριθμό μεταπηδήσεων από το συνολικό αριθμό των ΔΜ που αποτελούν ένα σύστημα. Στο Siena απ' την άλλη πλευρά, ο κάθε ΔΜ προωθεί τις παραληφθέντες (και τις δικές του) σε κάθε από τους γειτονικούς του ΔΜ με μια πιθανότητα που εξαρτάτε από την πιθανότητα επικάλυψης. Στη χειρότερη περίπτωση του Siena (π.χ., πιθανότητα επικάλυψης = 0%) ο κάθε ΔΜ θα λαμβάνει τις συνδρομές απ' όλους τους υπόλοιπους ΔΜ (απαιτώντας ένα σύνολο από 24×23 μεταπηδήσεις).

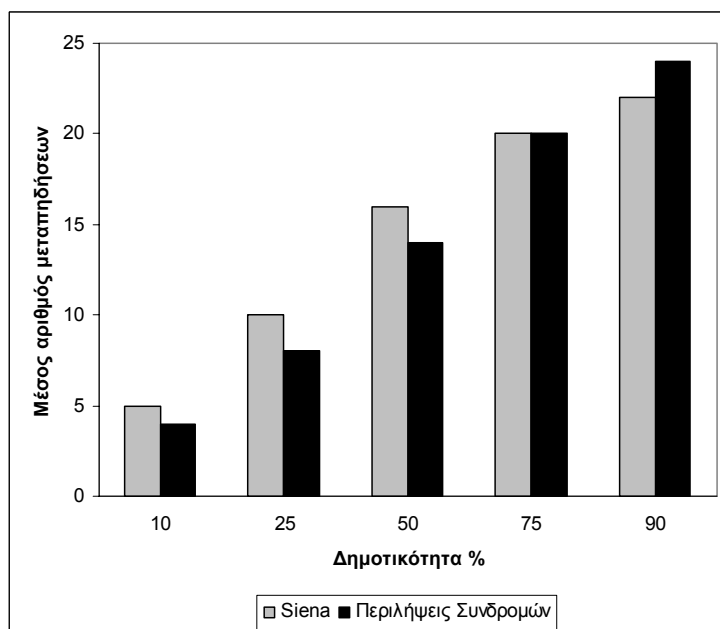


Σχήμα 5-3. Μέσος αριθμός μεταπηδήσεων που χρειάζεται για τη διάδοση των συνδρομών.

5.2.2 Η Απόδοση της Κατανεμημένης Προώθησης των Μηνυμάτων

Σ' αυτή την ενότητα υπολογίζεται ο αριθμός των μεταπηδήσεων που χρειάζεται ένα μήνυμα έτσι ώστε να δρομολογηθεί σε όλους τους ενδιαφερόμενους ΔΜ. Υπενθυμίζεται ότι στην προτεινόμενη προσέγγιση ένας ΔΜ ξέρει ακριβώς σε πιο ΔΜ θα προωθήσει το μήνυμα. Στο Siena, τα μονοπάτια δρομολόγησης των μηνυμάτων ορίζονται από τις συνδρομές, τα οποία προωθούνται σε κάθε σημείο του δικτύου από γείτονα σε γείτονα χρησιμοποιώντας τη λογική τοπολογία. Όταν ένας εκδότης δημιουργήσει ένα μήνυμα, το οποίο ταυτίζεται με κάποια συνδρομή, το μήνυμα αυτό δρομολογείται ακολουθώντας την αντίθετη διαδρομή που όρισε η ίδια η συνδρομή κατά τη διάρκεια της διάδοσης της.

Εξετάζονται και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιώντας μια μεταβλητή δημοτικότητα για τα μηνύματα. Η δημοτικότητα ενός μηνύματος απεικονίζει τον αριθμό των ΔΜ που ενδιαφέρονται για το μήνυμα. Το σύνολο των ΔΜ που 'ταυτίζονται' μ' ένα μήνυμα επιλέγεται τυχαία. Το σχήμα 5-4 δείχνει το μέσο αριθμό μεταπηδήσεων που χρειάζονται 1000 παραγόμενα μηνύματα σε κάθε ΔΜ, για ένα σύνολο από 24,000 μηνύματα.



Σχήμα 5-4. Μέσος αριθμός μεταπηδήσεων που χρειάζεται για την προώθηση των μηνυμάτων.

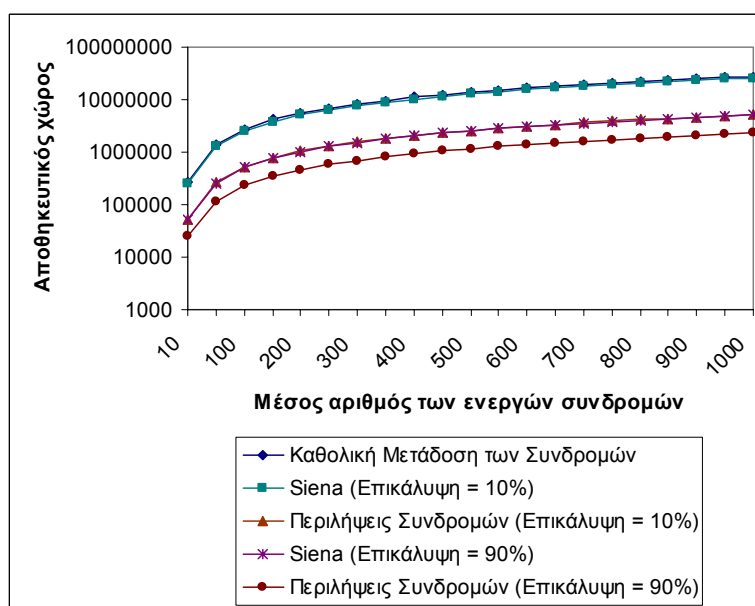
Σημειώνεται ότι ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται στην προτεινόμενη λύση είναι καλύτερος έως και 75% δημοτικότητα των μηνυμάτων. Για αρκετά μεγάλη

δημοτικότητα των μηνυμάτων, το Siena είναι καλύτερο οφειλόμενο από την ακραία υψηλή πιθανότητα επικάλυψης που πετυχαίνει. Παρόλα αυτά, πιστεύεται ότι η πλειονότητα των μηνυμάτων δεν θα έχει τόσο ακραία δημοτικότητα με αποτέλεσμα η προτεινόμενη λύση να υπερτερεί σε σχέση με την προσέγγιση του Siena.

5.2.3 Απαιτήσεις Αποθηκευτικού Χώρου

Το σχήμα 5-5 παρουσιάζει τις συνολικές απαιτήσεις αποθηκευτικού χώρου για όλους τους ΔΜ, όπου ο κάθε ένας από αυτούς παραλαμβάνει και προωθεί ένα μεταβλητό αριθμό από συνδρομές (από 10 μέχρι 100) σε κάθε περίοδο. Η προτεινόμενη λύση υπερτερεί από αυτή του μηχανισμού επικάλυψης του Siena κατά 5 φορές στην περίπτωση που η πιθανότητα επικάλυψης είναι ίση με 10% και κάτι περισσότερο από 2 φορές όταν η πιθανότητα επικάλυψης είναι ίση με 90%.

Ο λόγος αυτής της βελτίωσης έγκειται στη γενίκευση που επιτυγχάνεται σε κάθε κατηγορία τόσο σε επίπεδο του κάθε ΔΜ ξεχωριστά όσο και σε επίπεδο περιλήψεων που περιέχουν πολλαπλούς ΔΜ καθώς και στους αντίστοιχους αλγόριθμους που εκτελούνται πάνω σ' αυτές. Να σημειωθεί ότι για πολύ μικρές πιθανότητες επικάλυψης, το Siena χρειάζεται σχεδόν τον ίδιο αποθηκευτικό χώρο με αυτόν της βασικής προσέγγισης, όπως είναι και αναμενόμενο.



Σχήμα 5-5. Απαιτήσεις Αποθηκευτικό χώρου για τις συνδρομές.

5.2.4 Απαιτήσεις Υπολογιστικού Χρόνου για την Προώθηση των Μηνυμάτων

Εν συντομία, ο αλγόριθμος ταύτισης (βλέπε ενότητα 4.2.3) διακατέχεται από τα πρώτα δύο βήματα του. Ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση του βήματος 1 είναι ίσος με:

$$T_1 = n_{ae} \times \max\{n_{sr} \times L_a, n_e + L_a\} + n_{se} \times (n_r + L_s)$$

Αν το P συμβολίζει τον αριθμό των συνδρομών που επιλέχθηκαν από το βήμα 1, τότε ο υπολογιστικός χρόνος που χρειάζεται για το βήμα 2 είναι ίσος με:

$$T_2 = |P|$$

Γι' αυτό το λόγο, ο συνολικός υπολογιστικός χρόνος είναι ίσος με **$O(N)$** , όπου N είναι ο αριθμός των συνδρομών. Να σημειωθεί ότι η ανάλυση για την πολυπλοκότητα της συντήρησης των περιλήψεων είναι επίσης **$O(N)$** . Παρά το γεγονός ότι η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι η ίδια με τις πολυπλοκότητες άλλων αλγορίθμων ταύτισης της σχετικής βιβλιογραφίας, αναμένεται ότι το φιλτράρισμα και η ταύτιση των μηνυμάτων θα είναι γρηγορότερη στην περίπτωση της προτεινόμενης λύσης, χρησιμοποιώντας φυσικά τις περιλήψεις και τις γενικεύσεις των κατηγορημάτων. Επιπλέον, έχει ήδη αποδειχθεί ότι ο αριθμός των μεταπηδήσεων στη διάρκεια προωθήσεις των μηνυμάτων είναι, κατά μέσο όρο, χαμηλότερος.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Το κύριο επίτευγμα αυτής της νέας προτεινόμενης προσέγγισης στα συστήματα δημοσίευσης / συνδρομής βασίζεται στη νέα έννοια των περιλήψεων των συνδρομών. Παρουσιάστηκαν οι δομές δεδομένων που απαρτίζουν αυτές τις περιλήψεις καθώς και τους αλγόριθμους που χειρίζονται επιδέξια αυτές τις δομές έτσι ώστε να ταυτίζουν τα εισερχόμενα μηνύματα σε σχέση με τις συνδρομές του Διαμεσολαβητή Μηνυμάτων και τους αλγόριθμους που τις συντηρούν κατά τη διάρκεια των ενημερώσεων. Επίσης, αναπτύχθηκε και η έννοια των περιλήψεων που εμπεριέχουν συνδρομές από πολλαπλούς ΔΜ, παρουσιάζεται πως αυτές οι περιλήψεις υπολογίζονται και πως γίνεται η διάδοση τους σ' ένα σύστημα δημοσίευσης / συνδρομής. Αυτά τα επιτεύγματα εισάγουν σημαντικά οφέλη στην απόδοση ενός τέτοιου συστήματος κατά τη διάρκεια της διάδοσης των περιλήψεων των συνδρομών, όσον αφορά το εύρος ζώνης του δικτύου και του αποθηκευτικού χώρου που απαιτούνται, καθώς επίσης και των αναγκαίων ΔΜ που μεσολαβούν για να γίνει αυτή η διάδοση (αριθμός μεταπηδήσεων).

Ως επακολούθηση των επιτευγμάτων, παρουσιάστηκε ένας νέος αλγόριθμος για την κατανεμημένη προώθηση των μηνυμάτων. Ο αλγόριθμος αυτός διασφαλίζει υψηλές αποδόσεις κατά τη διάρκεια της δεύτερης κυριότερης φάσης λειτουργίας του συστήματος, δηλαδή, όσον αφορά τον αριθμό των ΔΜ που εμπλέκονται στη δρομολόγηση των μηνυμάτων.

Η ανάλυση της απόδοσης που ακολούθησε, επαληθεύει και ποσοτικοποιεί αυτούς τους ισχυρισμούς περί υψηλότερης απόδοσης. Βρέθηκε ότι η προτεινόμενη

προσέγγιση μπορεί να μειώσει δραστικά το εύρος ζώνης που χρειάζεται η διάδοση των συνδρομών, υπερτερώντας των ανταγωνιστικών προσεγγίσεων από τέσσερις μέχρι οκτώ φορές (σε σχέση με το μηχανισμό επικάλυψης του συστήματος Siena) και με διαφορές της τάξης μεγέθους (σε σχέση με απλές / βασικές προσεγγίσεις). Ταυτόχρονα, ο αριθμός των μεταπηδήσεων για τη διάδοση των συνδρομών και για την προώθηση των μηνυμάτων είναι μικρότερος και οι απαιτήσεις υπολογιστικού χρόνου σε κάθε ΔΜ για να γίνεται η ταύτιση και το φιλτράρισμα των μηνυμάτων αναμένεται να είναι καλύτερη από αυτούς της σχετικής βιβλιογραφίας. Τέλος, οι απαιτήσεις αποθηκευτικού χώρου για τις συνδρομές είναι χαμηλότερες απ' αυτές του Siena κατά 2 έως 5 φορές.

6.1 Μελλοντικοί Στόχοι

Η συνέχιση της παρούσας μελέτης περιλαμβάνει τη διασφάλιση της εξισορρόπησης του φορτίου (load balancing) μεταξύ των ΔΜ κατά τη διάρκεια της προώθησης των μηνυμάτων, όπου και είναι ένα ανοικτό πρόβλημα. Κάποιες σκέψεις για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η χρήση των *εικονικών βαθμών διασύνδεσης* (virtual degrees) στους κόμβους που έχουν το μέγιστο βαθμό. Μ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται το φορτίο τους και συνάμα συνεχίζεται η παροχή σημαντικών βελτιώσεων.

Επιπλέον, γίνεται μία επέκταση των δομών δεδομένων έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα μιας δυναμικής συμπεριφοράς ως προς τα υποστηριζόμενα κατηγορήματα που μπορεί να έχει μια εφαρμογή δημοσίευσης / συνδρομής.

Μια τρίτη μελλοντική μελέτη είναι η δυνατότητα συνδυασμού των περιλήψεων και της επικάλυψης βασισμένης στην οντότητα των συνδρομών. Δηλαδή, συνδρομές που ήδη επικαλύπτονται να μη διοχετεύονται στις περιοδικές περιλήψεις. Μ' αυτόν τον τρόπο αυξάνεται ακόμη περισσότερο το όφελος της απόδοσης.

Ως τέταρτος στόχος είναι, σε πρώτη φάση, η προσαρμογή της προτεινόμενης λύσης σε ένα περιβάλλον όπου τόσο οι Πηγές Μηνυμάτων όσο και οι Καταναλωτές Μηνυμάτων να μπορούν να αλλάζουν θέση και κατά συνέπεια να αλλάζει και ο Διαμεσολαβητής Μηνυμάτων που θα τους διαχειρίζεται (mobile adaptation) και σε δεύτερη φάση, οι ίδιοι οι ΔΜ να έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης μέσα στο δίκτυο του συστήματος (Ad-hoc network).

Τέλος, γίνεται μια εκτεταμένη μελέτη για να διαπιστωθεί πόσο γρηγορότερος είναι ο αλγόριθμος ταύτισης του προτεινόμενου μοντέλου σε σχέση με τους αντίστοιχους που υπάρχουν στη βιβλιογραφία καθώς και για την ανάλυση του κόστους για τη συντήρηση και τη συγχώνευση των περιλήψεων των συνδρομών.

Βιβλιογραφία

- [1] M. K. Aguilera, R. E. Strom, D. C. Sturman, M. Astley, and T. D. Chandra, "Matching events in a content-based subscription system", In *Proceedings of the 18th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, pp 53–61, 1999.
- [2] G. Banavar, T. Chandra, B. Mukherjee, J. Nagarajao, R. E. Strom, and D. C. Sturman, "An efficient multicast protocol for content-based publish-subscribe systems", In *Proceedings of the 19th International Conference on Distributed Computing Systems*, pages 262–272, 1999.
- [3] G. Banavar, M. Kaplan, K. Shaw, R. E. Strom, D. C. Sturman, and W. Tao, "Information flow based event distribution middleware", In *Proceedings of the ICDCS Workshop on Electronic Commerce and Web-Based Applications*, 1999.
- [4] K. Birman, "The process group approach to reliable distributed computing", *Communications of the ACM*, 36.12:36-53, 1993.
- [5] B. Bloom, "Space/time trade-offs in hash coding with allowable errors", *Communications of ACM*, pages 13(7):422-426, July 1970.
- [6] J. L. Carter and M. N. Wegman, "Universal classes of hash functions", *Journal of Computer and System Sciences*, 18, pages 143-154, 1979.
- [7] A. Carzaniga, E. Nitto, D. Rosenblum, and A. Wolf, "Issues in supporting event-based architectural styles", In *3rd International Software Architecture Workshop*, 1998.
- [8] A. Carzaniga, D.S. Rosenblum, and A.L. Wolf, "Design and evaluation of a wide-area event notification service", *ACM Transactions on Computer Systems*, 19(3):332-383, 2001.
- [9] A. Carzaniga, and A. L.Wolf, "Content-based networking: A new communication infrastructure", In *NSF Workshop on an Infrastructure for*

- Mobile and Wireless Systems*, In conjunction with the *International Conference on Computer Communications and Networks ICCCN*, 2001.
- [10] G. Cugola, E. D. Nitto, and A. Fuggetta, "The JEDI event-based infrastructure and its application to the development of the OPSS WFMS", *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 27, n. 9, September 2001.
 - [11] S. E. Czerwinski, B. Y. Zhao, T. D. Hodes, A. D. Joseph, and R. H. Katz, "An architecture for a secure service discovery service", In *Proceedings of the Fifth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks*, 1999.
 - [12] S. E. Deering and D. R. Cheriton, "Multicast routing in datagram internetworks and extended LANs", In *ACM Transactions on Computer Systems*, pages 85-111, May 1990.
 - [13] F. Fabret, H. A. Jacobsen, F. Llirbat, J. Pereira, K. A. Ross, and D. Shasha, "Filtering algorithms and implementation for very fast publish/subscribe systems", In *ACM SIGMOD 2001*, pages 115-126, May 2001.
 - [14] F. Fabret, F. Llirbat, J. Pereira, and D. Shasha, "Efficient matching for content-based publish/subscribe systems", *Technical Report*, INRIA, 2000.
 - [15] L. Fan, P. Cao, J. Almeida, and A. Broder, "Summary cache: A scalable wide-area web cache sharing protocol", In *Proceedings of ACM SIGCOMM Conference*, pages 254–265, September 1998.
 - [16] J. Gough and G. Smith, "Efficient recognition of events in a distributed system", In *Proceedings of the 18th Australasian Computer Science Conference*, Adelaide, Australia, February 1995.
 - [17] R. E. Gruber, B. Krishnamurthy, and E. Panagos, "The architecture of the READY event notification service", *ICDCS workshop*, Austin, June 1999.
 - [18] Y. Huang and H. Garcia-Molina, "Publish/subscribe in a mobile environment", *MobiDE 01*, 2001.
 - [19] Y. Huang and H. Garcia-Molina, "Replicated condition monitoring", In *Proceedings of the 20th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, pages 229-237, 2001.
 - [20] B. Kantor and P. Lapsley, "Network News Transfer Protocol: A proposed standard for the stream-based transmission of news", *Request for Comments: 977*, IETF, February 1986.
 - [21] J. Kubiawicz, D. Bindel, Y. Chen, S. Czerwinski, P. Eaton, D. Geels, R. Gummadi, S. Rhea, H. Weatherspoon, W. Weimer, C. Wells, and B. Zhao,

- "OceanStore: An architecture for global-scale persistent storage", In *Proceedings of ASPLOS 2000*, 2000.
- [22] M. Mitzenmacher, "Compressed bloom filters", In *PODC*, 2001.
 - [23] Object Management Group, "CORBAServices – event service specification", *Technical report*, Object Management Group, 2001.
[ftp://ftp.omg.org/pub/docs/formal/01-03-01.pdf](http://ftp.omg.org/pub/docs/formal/01-03-01.pdf).
 - [24] Object Management Group, "CORBAServices – notification service specification", *Technical report*, Object Management Group, 2000.
[ftp://ftp.omg.org/pub/docs/formal/00-06-20.pdf](http://ftp.omg.org/pub/docs/formal/00-06-20.pdf).
 - [25] B. Oki, M. Pfluegl, A. Siegel, and D. Skeen, "The Information Bus - an architecture for extensible distributed systems", *Operating Systems Review*, 27.5:58–68, 1993.
 - [26] L. Opyrchal, M. Astley, J. Auerbach, G. Banavar, R. Strom, and D. Sturman, "Exploiting IP multicast in content-based publish-subscribe systems", In *Proceedings of the IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms (Middleware 2000)*, pages 185-207, April 2000.
 - [27] P. Triantafillou and A. Economides, "Subscription summarization: a new paradigm for efficient publish/subscribe systems", *Submitted*.
 - [28] R. Renesse and K. Birman, "Scalable management and data mining using Astrolabe", In *Proceedings for the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems*, March 2002.
 - [29] R. Rivest, "The MD5 message-digest algorithm", *Request for Comments: 1321*, IETF, April 1992.
 - [30] B. Segall and D. Arnold, "Elvin has left the building: A publish/subscribe notification service with quenching", In *Proceedings of the 1997 Australian UNIX Users Group Technical Conference*, pages 243–255, 1997.
 - [31] A. C. Snoeren, C. Partridge, L. A. Sanchez, C. E. Jones, F. Tchakounito, S. T. Kent, and W. T. Strayer, "Hash-Based IP Traceback", In *Proceedings of the SIGCOMM 2001*, 2001.
 - [32] SoftWired Inc, iBus. <http://www.softwired-inc.com>.
 - [33] Sun Microsystems Inc., "Jini(TM) technology core platform spec - distributed events", *Technical report*, Sun Microsystems Inc., 2000.
<http://www.sun.com/jini/specs>.
 - [34] TIBCO Inc, TIB/Rendezvous. <http://www.tibco.com>.

- [35] Vitria, BusinessWare. <http://www.vitria.com>.
- [36] T. W. Yan and H. Garcia-Molina, "The SIFT information dissemination system",
In *ACM Transactions on Database Systems*, 24.4:529-565, 1999.

Παράρτημα Α

Περιλήψεις Συνδρομών με Χρήση των Φίλτρων Bloom

Σ' αυτό το παράρτημα περιγράφεται η αρχική προσέγγιση των περιλήψεων των συνδρομών που είναι πολύ όμοια με την τελική που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4. Θεωρείται ως το προ-στάδιο πριν την τελική λύση αλλά που δεν επικράτησε για το λόγο ότι όταν προέκυψε η τελική προσέγγιση οι αποδόσεις της ήταν πολύ καλύτερες από ότι της παρούσας. Επίσης, υπήρχε και η αδυναμία η προσέγγιση αυτή να υποστηριχθεί με κάποιο μηχανισμό συντήρησης των δομών δεδομένων κατά τη διαδικασία των ενημερώσεων.

Η μόνη βασική διαφορά των δύο προσεγγίσεων βρίσκεται στην υλοποίηση των υποστηριζόμενων δομών δεδομένων (για τα αλφαριθμητικά κατηγορήματα) και κατά συνέπεια μια διαφοροποίηση και στον αλγόριθμο ταύτισης λόγω της προσαρμογής του στις συγκεκριμένες δομές. Όλη η υπόλοιπη αρχιτεκτονική αυτής της προσέγγισης παραμένει η ίδια μ' αυτήν της τελικής. Γι' αυτόν το λόγο σ' αυτό το παράρτημα θα παρουσιασθούν μόνο οι διαφορές που έχουν οι δύο προσεγγίσεις.

8.1 Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη ειπωθεί η σημαντικότερη διαφορά αυτής της λύσης είναι η υλοποίηση των δομών δεδομένων που κρατάνε τις συνδρομές υπό μορφή περιλήψεων. Με βάση τα περιγραφόμενα της ενότητας 4.2 κάθε Διαμεσολαβητής Μηνυμάτων χρησιμοποιεί δύο διαφορετικές δομές δεδομένων (*AACS*, *SACS*) για να μπορεί να δημιουργεί αυτές τις περιλήψεις. Αυτό συμβαίνει και σ' αυτή τη λύση με τη

διαφορά ότι τώρα η δομή *SACS* υλοποιείται με μια διαφορετική μεθοδολογία και συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας τα φίλτρα του Bloom [5]. Τα φίλτρα του Bloom χρησιμοποιήθηκαν αρκετά σε συστήματα με καταναμεμένα πρωτόκολλα, όπου ήταν αναγκαίος ο διαμοιρασμός πληροφορίας για το τι δεδομένα ήταν διαθέσιμα στο όλο σύστημα. Για παράδειγμα, στο [15] περιγράφεται πώς τα φίλτρα του Bloom μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει διαμερισμός της πληροφορίας ως προς το περιεχόμενο της κρυφής μνήμης στο δια-δίκτυο (web cache). Επίσης, έχουν προταθεί και σε άλλα καταναμεμένα πρωτόκολλα, όπως π.χ. στο [6], [21], [28], [31].

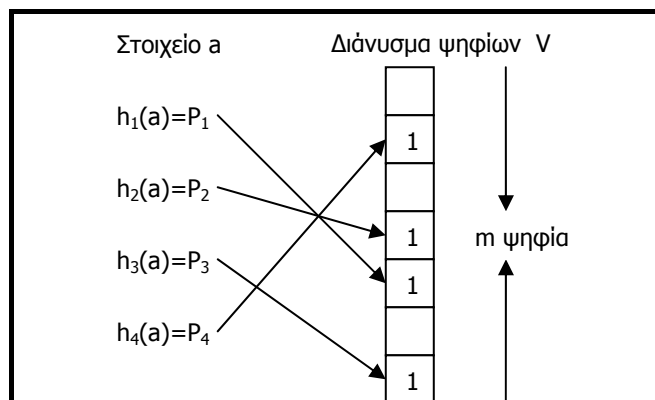
Επειδή όμως δεν μπορεί να γίνει άμεση χρήση αυτών των φίλτρων πέρα από τη χρήση του τελεστή της ισότητας, δυσχεραίνεται η χρήση τους σε συστήματα δημοσίευσης / συνδρομής. Αυτό συμβαίνει, γιατί ο μηχανισμός των περιλήψεων υποστηρίζει γλώσσες έκφρασης και σύνταξης των μηνυμάτων και συνδρομών αντίστοιχα, πλούσιες σε τύπους κατηγορημάτων και χρήσης μεγάλου πλήθους τελεστών στα συγκεκριμένα κατηγορήματα. Γι' αυτόν το λόγο, γίνεται μια επέκταση των δομών που βασίζονται στα φίλτρα του Bloom έτσι ώστε να υποστηρίζονται και άλλοι τελεστές εκτός από την ισότητα, όπως πρόθεμα, επίθεμα, κ.λπ.

8.1.1 Τα φίλτρα του Bloom

Για να δοθεί το κατάλληλο υπόβαθρο, σ' αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μια περίληψη για το τι είναι τα φίλτρα Bloom. Στο [5] ο Bloom εισηγήθηκε μία μέθοδο με την οποία ένα διάνυσμα V που αποτελείται από m ψηφία (bits), αρχικοποιημένα όλα σε 0, χρησιμοποιείται για να συμπίεσει τα στοιχεία ενός συνόλου $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ κατακερματίζοντας (hash) κάθε στοιχείο μέσα στο V . Γενικότερα, k ανεξάρτητες συναρτήσεις κατακερματισμού (hash functions), h_1, h_2, \dots, h_k μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάθε στοιχείο του A παράγοντας k τιμές, κάθε μία απ' τις οποίες να κυμαίνεται από 1 μέχρι m και να μεταβάλλουν το αντίστοιχο ψηφίο του διανύσματος V από 0 σε 1. Ένα συγκεκριμένο ψηφίο μπορεί να οριστεί σε 1 αρκετές φορές αλλά μόνο η πρώτη είναι που έχει σημασία. Οποιαδήποτε συνάρτηση κατακερματισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως π.χ. η MD5 [29] για να δημιουργήσει αυτές τις τιμές. Αναλυτική μελέτη για τέτοιου είδους συναρτήσεις υπάρχει στο [6].

Για να διαπιστώσουμε αν ένα στοιχείο b ανήκει στο σύνολο A , οι ίδιες k συναρτήσεις κατακερματισμού εφαρμόζονται στο b και ελέγχονται τα ψηφία του V

στις θέσεις $h_1(b)$, $h_2(b)$, ..., $h_k(b)$. Αν έστω και ένα απ' αυτά τα ψηφία είναι 0, τότε το στοιχείο b δεν ανήκει στο A . Αλλιώς, εικάζεται ότι το b ανήκει στο A παρόλο που αυτό μπορεί να μην ισχύει (αυτό αναφέρεται ως "λανθάνουσα βεβαιότητα" (false positive)). Ρυθμίζοντας τις παραμέτρους k και m , ελέγχουμε την πιθανότητα της λανθάνουσας βεβαιότητας που δίνεται από τον τύπο $PFP = (1 - e^{-kn/m})^k$, όπου n είναι ο αριθμός των αποθηκευμένων ψηφίων, m το μέγεθος του διανύσματος και k ο αριθμός των συναρτήσεων κατακερματισμού.



Σχήμα 8-1. Ένα φίλτρο του Bloom με 4 συναρτήσεις κατακερματισμού.

Στη συγκεκριμένη προσέγγιση, τα φίλτρα του Bloom χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν τις περιλήψεις των περιορισμών για τα αλφαριθμητικά (string) κατηγορήματα.

Τα φίλτρα του Bloom δημιουργούν περιλήψεις μεγάλων συνόλων πληροφορίας χρησιμοποιώντας λιγότερο χώρο, έχοντας όμως έναν ελεγχόμενο αριθμό από λανθάνουσες βεβαιότητες. Το μέγεθος του διανύσματος που βασικά υλοποιεί το φίλτρο είναι ίσο με το γινόμενο του n και μιας τιμής ονομαζόμενης "σταθερότητα φόρτωσης (load factor)" που χρησιμοποιείται για την αυξομείωση της πιθανότητας της λανθάνουσας βεβαιότητας. Μια λεπτομερής ανάλυση του όλου προβλήματος βρίσκεται στο [15]. Επίσης, στο [22] παρουσιάζεται μία μεθοδολογία για ακόμα μεγαλύτερη συμπίεση αυτών των φίλτρων.

8.2 Περιλήψεις Περιορισμών Αλφαριθμητικών Κατηγορημάτων (String Attribute Constraint Summary)

Η δομή *SACS* κρατάει πληροφορίες σχετικά με τους περιορισμούς των αλφαριθμητικών κατηγορημάτων που περιλαμβάνονται στις συνδρομές. Για κάθε διαφορετικό αλφαριθμητικό κατηγορήμα, ο ΔΜ υλοποιεί μία δομή *SACS*

χρησιμοποιώντας τρία διανύσματα ψηφίων $SACS_L$, $SACS_R$ και $SACS_X$ των φίλτρων του Bloom. Το μέγεθος (σε ψηφία) του κάθε ενός από αυτά τα τρία διανύσματα είναι ίσο με τον αριθμό των διαφορετικών τιμών (n_{dv}) που το συγκεκριμένο αλφαριθμητικό κατηγορήμα μπορεί να δεχτεί πολλαπλασιασμένο με μία τιμή της σταθερότητας φόρτωσης $1/f$. Προφανώς, τιμές κάποιων περιορισμών ενός κατηγορήματος μπορεί να επικαλύπτονται από τιμές άλλων περιορισμών του ίδιου κατηγορήματος. Αυτό μπορεί να συμβαίνει όταν οι τιμές των περιορισμών είναι ίδιες (στην περίπτωση του τελεστή ισότητας) ή όταν η μία εμπεριέχεται στην άλλη (στην περίπτωση των τελεστών προθέματος, επιθέματος, κ.λπ). Με max_n_{dv} ορίζεται η μέγιστη τιμή μεταξύ όλων των n_{dv} που έχουν τα αλφαριθμητικά κατηγορήματα και που καθορίζει το μεγαλύτερο διάνυσμα.

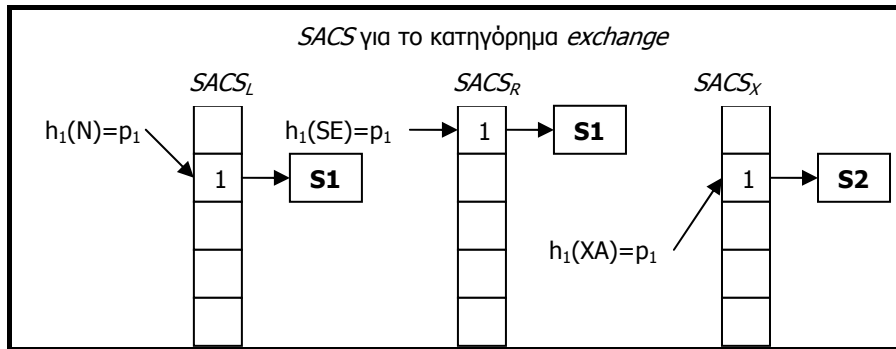
Ο λόγος που απαιτούνται τρία τέτοια διανύσματα είναι για να εξασφαλίσουν την σωστή ταύτιση ακόμα και όταν υπάρχουν αλφαριθμητικά κατηγορήματα σε συνδρομές που χρησιμοποιούν άλλους εκτός από την ισότητα τελεστές όπως π.χ. πρόθεμα ($>*$), επίθεμα ($*<$) ή να περιέχει το ($*$). Επίσης μια συνδεδεμένη λίστα συντηρείται για κάθε θέση των τριών διαφορετικών διανυσμάτων έχοντας την ίδια έννοια με τις αντίστοιχες λίστες που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.

Για τον τελεστή $*$, η τιμή ενός συγκεκριμένου αλφαριθμητικού κατηγορήματος χωρίζεται σε δύο αλφαριθμητικές τιμές (substring), την "αριστερή" και τη "δεξιά", που ορίζονται από τη θέση του τελεστή $*$. Αφού χωριστεί σε δύο διαφορετικές τιμές, η αριστερή κατακερματίζεται και τοποθετείται στο διάνυσμα $SACS_L$. Ομοίως και για τη δεξιά τιμή με τη διαφορά ότι τοποθετείται στο διάνυσμα $SACS_R$. Αν ο περιορισμός ορίζει τελεστή προθέματος ή επιθέματος τότε η συγκεκριμένη τιμή κατακερματίζεται και το αποτέλεσμα τοποθετείται στο φίλτρο $SACS_X$. Το ίδιο συμβαίνει και με την ισότητα που δεν περιέχει τον τελεστή $*$ αφού θεωρείται ότι η όλη τιμή είναι ένα επίθεμα. Σε κάθε περίπτωση, η ταυτότητα της συνδρομής αποθηκεύεται στις συνδεδεμένες λίστες όλων των αντίστοιχων θέσεων που έδωσαν οι k συναρτήσεις κατακερματισμού.

Ένα παράδειγμα, για καλύτερη κατανόηση είναι αυτό στο σχήμα 8-3 χρησιμοποιώντας τις συνδρομές από το σχήμα 8-2. Στο συγκεκριμένο σχήμα φαίνεται πως η τιμή "N*SE" διασπάται σε δύο, με την αριστερή ("N") να κατακερματίζεται στο φίλτρο $SACS_L$ του κατηγορήματος *exchange* και τη δεξιά ("SE") στο αντίστοιχο $SACS_R$. Ομοίως, στο φίλτρο $SACS_X$ του ίδιου κατηγορήματος θα κατακερματιστεί και θα αποθηκευτεί η τιμή "XA". Με παρόμοιο τρόπο, οι τιμές "OTE" και "ETHN" θα αποθηκευθούν στο αντίστοιχο φίλτρο $SACS_X$ του κατηγορήματος *symbol*.

S1			S2			S3		
Type	Name	Constraint	Type	Name	Constraint	Type	Name	Constraint
string	exchange	N*SE	string	exchange	* < XA	string	symbol	ETHN
string	symbol	= OTE	float	price	= 8.20	float	price	= 8.50
float	price	< 8.70	integer	volume	> 130000	float	low	< 7.30
float	price	> 8.30	float	low	< 8.05			

Σχήμα 8-2. Παράδειγμα τριών συνδρομών.



Σχήμα 8-3. Παράδειγμα μιας δομής SACS χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση κατακερματισμού.

8.3 Ο Αλγόριθμος Ταύτισης

Η δομή του αλγόριθμου ταύτισης παραμένει η ίδια μ' αυτή της ενότητας 4.2.3 με τη διαφορά ότι αλλάζει η μέθοδος ελέγχου ταύτισης για τιμή αλφαριθμητικού κατηγορήματος. Αυτή η μέθοδος έχει για την παρούσα προσέγγιση την εξής δομή:

Έλεγχος_για_ταύτιση_τιμής(τύπος *αλφαριθμητικός*)

Η τιμή του κατηγορήματος ελέγχεται σε σχέση με την αντίστοιχη δομή $SACS$ ενός ΔΜ A . Ο αλγόριθμος πρώτα εξετάζει αν η συγκεκριμένη τιμή ικανοποιεί κάποια συνδρομή του ΔΜ A που χρησιμοποίησε περιορισμούς με την βοήθεια των τελεστών πρόθεμα, επίθεμα ή απόλυτης ισότητας (χωρίς την χρήση του *). Για να το κάνει αυτό, κατακερματίζει την αλφαριθμητική τιμή και την ελέγχει για ταύτιση σε συνδυασμό με το φίλτρο $SACS_X$. Αν όλα τα k ψηφία είναι 1, η διαδικασία σταματά εδώ.

Αν όχι, τότε ο αλγόριθμος προσπαθεί να βρει ταύτιση στα φίλτρα $SACS_L$ και $SACS_R$ για πιθανές συνδρομές που χρησιμοποίησαν περιορισμούς της μορφής "συμβολοσειρά1*συμβολοσειρά2". Για να γίνει αυτό, ο αλγόριθμος συνεχώς διαιρεί την τιμή του κατηγορήματος που βρίσκεται στο μήνυμα σε δύο μέρη, την αριστερή

και δεξιά τιμή δοκιμάζοντας όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των "εικονικών" θέσεων του ειδικού χαρακτήρα *. Σε κάθε επανάληψη, με παράλληλη επεξεργασία, η αριστερή και δεξιά τιμή κατακερματίζεται και ελέγχεται στα φίλτρα $SACS_L$ και $SACS_R$ αντίστοιχα. Αν έχουμε και στα δύο φίλτρα θετικό αποτέλεσμα, αλλά όχι αναγκαία στην ίδια επανάληψη, τότε υπάρχει ταύτιση του συγκεκριμένου αλφαριθμητικού κατηγορήματος.

Παράδειγμα 8-1. Ας υποθέσουμε ότι ο ΔΜ A έχει τις συνδρομές που περιλαμβάνονται στο σχήμα 8-2 και το μήνυμα που εμπεριέχεται στο σχήμα 2-2 (σελίδα 9) δημιουργείται στο B . Πρώτα ο αλγόριθμος θα συλλέξει όλες τις απαραίτητες λίστες με τις ταυτότητες των συνδρομών οι οποίες αντιστοιχούν σε περιορισμούς των κατηγορημάτων που ικανοποιούνται από τις τιμές του μηνύματος.

Ο αλγόριθμος πρώτα θα ελέγξει για την τιμή του κατηγορήματος *exchange* (*NYSE*) αν υπάρχει ταύτιση στην δομή $SACS$ του συγκεκριμένου κατηγορήματος. Πρώτα θα κοιτάξει την $SACS_x$ χωρίς θετικό αποτέλεσμα. Μετά θα διασπάσει την τιμή σε δύο, ξεκινώντας με την μορφή, $str1 = ""$ και $str2 = "NYSE"$. Με την επανάληψη να τελειώνει όταν είναι της μορφής $str1 = "NYSE"$ και $str2 = ""$, ο αλγόριθμος ελέγχει για ταύτιση σε κάθε επανάληψη τα διανύσματα $SACS_L$ και $SACS_R$ αντίστοιχα (βλέπε σχήμα 8-3) έχοντας θετικό αποτέλεσμα. Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται και για το κατηγορήμα *symbol* με τη διαφορά ότι υπάρχει ταύτιση στο αντίστοιχο διάνυσμα $SACS_x$ του κατηγορήματος.

Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος συνεχίζει ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που περιγράφεται και στο παράδειγμα 4-1.

8.4 Δυναμική Ρύθμιση του Μεγέθους των Περιλήψεων

Στις περιλήψεις που δημιουργήθηκαν στην ενότητα 8.2, υποθέτουμε ότι το μέγεθος αυτών των διανυσμάτων διατηρείται σταθερό. Εφόσον αυτά τα διανύσματα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα έτσι ώστε να αποφεύγεται το μεγάλο κόστος που προκαλείται από τη "λανθάνουσα βεβαιότητα" (π.χ., προώθηση μη σχετικών μηνυμάτων) υποθέσαμε μια περίπτωση χειρότερου σεναρίου για το απαιτούμενο μέγεθος, που βασίζεται στον αναμενόμενο αριθμό διαφορετικών τιμών για ένα αλφαριθμητικό κατηγορήμα (max_{ndv}). Με άλλα λόγια, τα συγκεκριμένα διανύσματα ήταν αρκετά μεγάλα για να διαχειριστούν αποδοτικά τις περιπτώσεις στις οποίες ο

αριθμός των συνδρομών που παραλαμβάνει ένας Διαμεσολαβητής Μηνυμάτων (κατά τη διάρκεια δύο αναμεταδόσεων στους υπόλοιπους ΔΜ) ήταν κοντά στον αναμενόμενο / μέγιστο αριθμό (max_n_{dv}).

Σ' αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι το παραπάνω υπονοεί ότι: (i) όταν ο αριθμός των συνδρομών που λαμβάνονται κατά την τελευταία περίοδο είναι μικρότερος του max_n_{dv} , τότε η περίληψη που μεταδίδεται είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, (ii) για να αποφεύγονται μεγάλες καθυστερήσεις μέχρι να αρχίσουν να ικανοποιούνται οι συνδρομές, είναι αναγκαίο να αποφεύγονται μεγάλες περίοδοι μη διάδοσης των συνδρομών, (iii) το παραπάνω υπονοεί ότι ο αριθμός των συνδρομών που διαδίδονται σε κάθε περίοδο είναι αρκετά μικρότερος από το max_n_{dv} και (iv) τυπικά η συχνότητα άφιξης των συνδρομών στους ΔΜ μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του χρόνου. Παίρνοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω σημεία, εισάγεται η ανάγκη να υπάρχει η δυνατότητα της δυναμικής ρύθμισης του μεγέθους των δομών δεδομένων που υλοποιούν τις περιλήψεις, έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερη απόδοση.

8.4.1 Μια πρώτη Προσέγγιση

Το κλειδί είναι να υπάρχει η δυνατότητα για κάποιο Διαμεσολαβητή Μηνυμάτων να μη στέλνει το συνολικό "*ιστορικό των περιλήψεων*" που αποτελείται απ' όλες τις ενεργές συνδρομές που κατέχει (δηλαδή, όλες τις συνδρομές που παρέλαβε από την αρχή της λειτουργίας του συστήματος μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή και δεν έχουν διαγραφεί). Αντί για αυτό, ένας ΔΜ να μπορεί να στέλνει μόνο τις καινούριες συνδρομές που αφίχθησαν κατά τη χρονική περίοδο μετά την τελευταία διάδοση. Μ' αυτόν τον τρόπο, οι ΔΜ χρειάζεται να δημιουργήσουν περιλήψεις λιγότερων συνδρομών με αποτέλεσμα το μέγεθος αυτής της περιοδικής περίληψης (delta summary) να εξαρτάται μόνο από τις καινούριες συνδρομές και όχι από την κατά πολύ μεγαλύτερη τιμή του max_n_{dv} . Η περιοδική περίληψη κατασκευάζεται με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιεί και το ιστορικό των περιλήψεων χρησιμοποιώντας τις ίδιες δομές δεδομένων που περιγράφονται στην ενότητα 8.2.

8.4.2 Ανακατασκευάζοντας Περιλήψεις Συνδρομών από Δυναμικά Μεγέθη

Σ' αυτή την ενότητα, θα περιγραφεί πώς πρέπει να γίνεται η αναδιαμόρφωση, έτσι ώστε οι Διαμεσολαβητές Μηνυμάτων να μπορούν να λειτουργούν παράλληλα με δύο (ή περισσότερες περιλήψεις) - αυτή της συνολικής και με μία (ή περισσότερες) περιοδικές περιλήψεις. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται πώς οι ιστορικές (συνολικές) περιλήψεις που βρίσκονται στους απομακρυσμένους ΔΜ μπορούν να σχηματιστούν από τις περιοδικές (καινούριες) περιλήψεις που στέλνονται από τους κατόχους τους.

Θα δούμε μόνο την ανακατασκευή της δομής *SACS* αφού μόνο αυτή είναι που διαφέρει από την τελική προσέγγιση. Εφόσον οι περιοδικές περιλήψεις κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας διαφορετικού μεγέθους κατακερματισμένους πίνακες, απαιτείται η δημιουργία ενός μηχανισμού που θα εξάγει τις αποθηκευμένες τιμές των δέλτα περιλήψεων και θα τις αποθηκεύει στις συνολικές περιλήψεις των απομακρυσμένων ΔΜ. Υποθέτουμε ότι γνωρίζουμε τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της περιοδικής (z_1) περίληψης, όπως επίσης και της συνολικής (z_2). Επίσης, και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούνται οι ίδιες συναρτήσεις κατακερματισμού. Μία τέτοιου είδους συνάρτηση παρουσιάζεται στο ακόλουθο παράδειγμα.

Παράδειγμα 8-2. Σ' αυτό το παράδειγμα παρουσιάζεται η υποστήριξη διαφορετικών μεγεθών των περιλήψεων χρησιμοποιώντας την *ακέραια διαίρεση* (modulo) ως συνάρτηση κατακερματισμού π.χ., $h(s) = s \bmod HTS$, όπου HTS είναι το μέγεθος του κατακερματισμένου πίνακα.

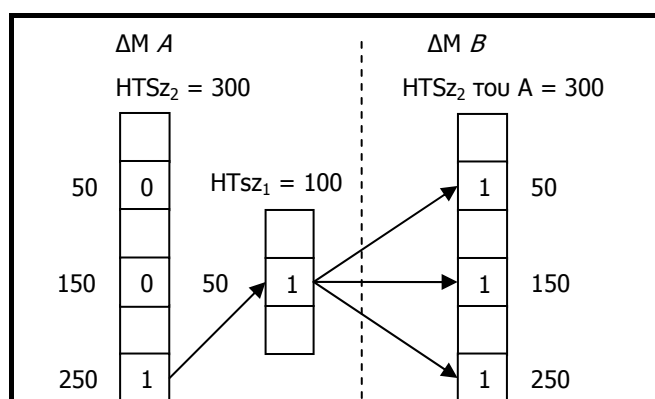
Η κεντρική ιδέα είναι ότι, εφόσον γνωρίζουμε την τιμή οποιουδήποτε ψηφίου του περιοδικού διανύσματος που έχει την τιμή 1 και συνάμα και τη συνάρτηση κατακερματισμού, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μπορούμε να προβλέψουμε ποια θα ήταν τα αντίστοιχα ψηφία που θα είχαν την τιμή 1 στο μεγαλύτερο διάνυσμα. Αλλάζοντας αυτές τις τιμές στη συνολική περίληψη, διασφαλίζουμε ότι όλες οι τιμές που βρίσκονται στη περιοδική περίληψη θα συνεχίζουν να διατηρούνται και στη συνολική περίληψη του απομακρυσμένου ΔΜ.

Ο ακριβής αριθμός των ψηφίων που πρέπει να αλλάξουν στο συνολικό διάνυσμα ($HTSz_2$) για κάθε ένα ψηφίο του περιοδικού διανύσματος ($HTSz_1$) είναι ίσο με z_2 / z_1 . Ο ψευδό-κώδικας που ακολουθεί δίνει τις θέσεις των ψηφίων που πρέπει να αλλάξουν στη συνολική περίληψη, έχοντας ως δεδομένο το δέλτα διάνυσμα. ■

Για $i = 1$ μέχρι το z_1
 Για $j = 1$ μέχρι το z_2 / z_1
 $HTSz_2[(j-1)z_1 + 1] = HTSz_1[i]$

Αλγόριθμος 8-1. Ανασχηματισμός του συνολικού διανύσματος χρησιμοποιώντας περιοδικό διάνυσμα.

Παράδειγμα 8-3. Ας υποθέσουμε ότι ο ΔΜ A έχει ένα συνολικό διάνυσμα με μέγεθος 300 (χρησιμοποιώντας το για να δημιουργεί τις περιλήψεις κάποιων τιμών ενός αλφαριθμητικού κατηγορήματος s). Το μέγεθος του δέλτα διανύσματος είναι 100 και η συνάρτηση κατακερματισμού που χρησιμοποιείται είναι η ακέραια διαίρεση. Θεωρήστε τρεις τιμές του s , (s_1 , s_2 και s_3) με τις οποίες, χρησιμοποιώντας την συγκεκριμένη συνάρτηση κατακερματισμού, τα αποτελέσματα είναι $h(s_1) = 250$, $h(s_2) = 150$ και $h(s_3) = 50$, δίνοντας και τις αντίστοιχες θέσεις στη συνολική περίληψη του A . Όμως, τα αντίστοιχα αποτελέσματα στο περιοδικό διάνυσμα του A είναι $h(s_1) = h(s_2) = h(s_3) = 50$. Υποθέτουμε ότι οποιαδήποτε από αυτές τις τιμές εισήχθηκε στον A . Όταν όμως ο ΔΜ A στέλνει τη περιοδική περίληψη στο B και εφόσον ο τελευταίος δε γνωρίζει τη συνολική περίληψη αλλά μόνο τη περιοδική, βλέπει το ψηφίο της θέσης 50 στο περιοδικό διάνυσμα, χωρίς να έχει γνώση για τις τιμές (s_1 , s_2 και s_3) που εισήχθησαν πραγματικά. Γι' αυτό, ο B πρέπει να υποθέσει όλες τις πιθανές τιμές που εισήχθησαν στη συνολική περίληψη και αντιστοιχούν στην τιμή 50 την δέλτα περίληψης. Έτσι, αρχίζει τη διαδικασία αλλαγής όλων των πιθανών θέσεων στην συνολική περίληψη. Αυτές είναι οι 50, 150 και 250. ■



Σχήμα 8-4. Παράδειγμα ανασχηματισμού συνολικής περίληψης διαμέσου της περιοδικής περίληψης.

Χρησιμοποιώντας αυτόν τον μηχανισμό, είναι ξεκάθαρο ότι η συνολική περίληψη που ανασχηματίστηκε στον απομακρυσμένο ΔΜ διαμέσου της περιοδικής περίληψης, σε γενικές γραμμές θα δημιουργήσει μεγαλύτερη πιθανότητα της λανθάνουσας βεβαιότητας. Αυτή η πιθανότητα δίνεται από τον τύπο του PFP της συνολικής

περίληψης στο ΔΜ A , με τη διαφορά ότι επιπλέον στοιχεία έχουν προστεθεί στην απομακρυσμένη περίληψη. Αυτά είναι ίσα με το $z_2/z_1 \times n$, όπου n είναι ο αριθμός των στοιχείων στη συνολική περίληψη του A .

8.5 Συζήτηση

Οι λόγοι που οδήγησαν στην αλλαγή αυτής της προσέγγισης είναι δύο. Ο πρώτος είναι ότι όταν προέκυψε η τελική μορφή της δομής *SACS* και συγκρίθηκε με την παρούσα η τελική ήταν πάντα πιο αποδοτική. Σε οποιεσδήποτε συνθήκες η τελική δομή ήταν πάντα μικρότερη με αποτέλεσμα ο όλος μηχανισμός να είναι αποδοτικότερος τόσο σε εύρος ζώνης δικτύου όσο και σε απαιτήσεις αποθηκευτικού χώρου (όλες οι άλλες μετρικές είχαν τα ίδια αποτελέσματα αφού δεν υπήρχε άλλη ουσιαστική αλλαγή).

Ο δεύτερος λόγος ήταν η μη ύπαρξη ενός ευέλικτου και εγγυημένου μηχανισμού που θα εξασφάλιζε τη σωστή αφαίρεση της απαραίτητης πληροφορίας σε διανύσματα που περιείχαν συνδρομές από πολλαπλούς ΔΜ όταν υπήρχαν αιτήματα διαγραφής συνδρομών.