

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



026000265813



Αρ. εισ.:.....207.....2004.

Μεταπτυχιακή Εργασία Ειδίκευσης

217  
ΜΠΛΕ

Τεχνικές Επεξεργασίας Δοσοληψιών σε Περιβάλλον  
Μετάδοσης Προς Όλους: Μελέτη Απόδοσης, Επεκτάσεις

Βασίλης Μποζιάρης



Οκτώβριος 2000

Επιβλέπουσα: Ευαγγελία Πιτουρά

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



## Περίληψη

Πρόσφατα έντονο ενδιαφέρον έχει παρατηρηθεί προς τη χρήση της διάδοσης πληροφορίας προς όλους ως μέσου για τη μεταφορά δεδομένων από τους εξυπηρετές προς τους πελάτες. Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται με πρωτοβουλία των εξυπηρετών με αποτέλεσμα ένα αντίστροφο μοντέλο από το παραδοσιακό μοντέλο πελάτης-εξυπηρετή. Σε αυτό το μοντέλο, ο εξυπηρετής εκπέμπει περιοδικά όλα τα δεδομένα της βάσης δεδομένων του αυτόβουλα, ακολουθώντας ένα χρονοδιάγραμμα εκπομπής με το οποίο επιχειρεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών προκειμένου να μειωθεί ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών. Οι δοσοληψίες που εκτελούνται τοπικά στους πελάτες δημιουργούν αιτήσεις για ανάγνωση των δεδομένων που εκπέμπει ο εξυπηρετής. Τις αιτήσεις αυτές ο πελάτης τις ικανοποιεί αντλώντας τα δεδομένα που αιτώνται οι δοσοληψίες είτε από τον τοπικό χώρο αποθήκευσής του, όπου διατηρεί ένα μέρος των εκπεμπόμενων δεδομένων τοπικά αποθηκευμένο, είτε από το κανάλι.

Όταν τα δεδομένα της βάσης δεδομένων που διατηρεί ο εξυπηρετής ενημερώνονται, προκύπτουν προβλήματα συνέπειας για τις δοσοληψίες των πελατών, εμφανίζονται δηλαδή δοσοληψίες που διαβάζουν δεδομένα από διαφορετικές καταστάσεις της βάσης δεδομένων. Η χρήση παλαιότερων εκδόσεων των δεδομένων σε συνδυασμό με Λίστες Ακύρωσης έχει προταθεί προκειμένου να αυξηθεί ο ταυτοχρονισμός των δοσοληψιών του πελάτη παρουσία ενημερώσεων και να μειωθεί ο ρυθμός με τον οποίο εμφανίζονται ασυνεπείς δοσοληψίες. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό ονομάζονται τεχνικές ακύρωσης. Όπως προκύπτει για παράδειγμα από αυτήν την εργασία, χρήση 3 παλαιότερων εκδόσεων κάτω από ορισμένες συνθήκες μειώνει σημαντικά το ποσοστό των δοσοληψιών που απορρίπτονται (-65%).

Στην παρούσα εργασία μελετούμε τις τεχνικές ακύρωσης με χρήση προσομοίωσης και προσπαθούμε να εξηγήσουμε τη συμπεριφορά τους. Τροποποιώντας τις παραμέτρους που διέπουν τη λειτουργία τους εξάγουμε συμπεράσματα για το μοντέλο μας, ενώ παράλληλα προτείνουμε τρόπους για να βελτιώσουμε την απόδοση των τεχνικών ακύρωσης. Όπως θα δούμε στα επόμενα, οι προτάσεις μας βελτιώνουν σημαντικά την απόδοση των τεχνικών ακύρωσης.

Συχνά οι κινητοί πελάτες αδυνατούν να λάβουν το σήμα που μεταδίδει ο εξυπηρετής για παρατεταμένες χρονικές περιόδους, τις οποίες ονομάζουμε διακοπές σύνδεσης. Στην παρούσα εργασία μελετάμε θεωρητικά και πειραματικά την συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης παρουσία διακοπών σύνδεσης και προτείνουμε λύσεις για προβλήματα που δημιουργούνται εξαιτίας τους. Οι προτάσεις μας και εδώ βελτιώνουν την απόδοση των τεχνικών ακύρωσης, αυξάνοντας σημαντικά την ανοχή τους στις διακοπές σύνδεσης, όπως προκύπτει και από την προσομοίωση αλλά και θεωρητικά.



## Abstract

Lately there has been an increasing interest in the use of data dissemination as a means for delivering data from servers to clients in both wired and wireless environments. The transfer of data is initiated by servers, resulting in a reversal of the traditional relationship between clients and servers. In this new model, client's local running transactions generate read requests on the database items that reside at the server's site. The client retrieves the requested data either from a local cache or from the broadcast by filtering the incoming information. The server follows a broadcast schedule that attempts to match the client's access patterns in order to reduce client's transactions mean life time.

Consistency problems may arise for client's transactions when data items are updated at the server. The use of older versions of data items combined with invalidation lists (that is, lists with the items that have been updated) has been proposed to increase transactions concurrency. We call such techniques that increase transaction's concurrency, Invalidation Techniques.

In this work, we evaluate the performance of several invalidation techniques. We also propose techniques to increase their performance. The performance evaluation we have performed, using simulation, shows that our propositions results to significant improvements.

Often, mobile clients are not able to receive a server's signal for long periods of time. Such periods are called disconnections. We theoretically and experimentally study invalidation techniques in the presence of disconnections and propose solutions for some of the problems caused by them.



# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>3</b>
1.1	Προηγούμενη Δουλειά	5
1.2	Σκοπός της Εργασίας	7
1.3	Οργάνωση της Εργασίας	8
<b>2</b>	<b>Μοντέλο Εκπομπής Δεδομένων και Ενημερώσεις</b>	<b>9</b>
2.1	Δίσκοι Εκπομπής	10
2.2	Ενημερώσεις και Συνέπεια	14
2.3	Τοπικός Χώρος Αποθήκευσης	17
<b>3</b>	<b>Τεχνικές Ακύρωσης</b>	<b>20</b>
3.1	Μέθοδος Χρονοσήμων	20
3.2	Μέθοδος Ακύρωσης	21
3.3	Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων	21
3.4	Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων με Ακύρωση	22
3.4.1	Εκπομπή Πολλαπλών Εκδόσεων	23
<b>4</b>	<b>Βελτιώσεις στις Τεχνικές Ακύρωσης</b>	<b>25</b>
4.1	Ευρετήριο	25
4.1.1	Προσδιορισμός της Ταυτότητας της πιο Πρόσφατης Έκδοσης	28
4.2	Διαφορετικός Αριθμός Εκδόσεων για Δεδομένα Διαφορετικών Δίσκων	29
4.3	Διαστήματα Εμπιστοσύνης	30
<b>5</b>	<b>Διακοπές Σύνδεσης και Τεχνικές Ακύρωσης</b>	<b>32</b>
5.1	Τι είναι Ανοχή	33
5.2	Συμπεριφορά των Τεχνικών Ακύρωσης σε Διακοπές Σύνδεσης	34
5.2.1	Μέθοδος Χρονοσήμων και Διακοπές Σύνδεσης	35
5.2.2	Μέθοδος Ακύρωσης και Διακοπές Σύνδεσης	36
5.2.3	Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων και Διακοπές Σύνδεσης	40
5.2.4	Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων με Ακύρωση και Διακοπές Σύνδεσης	43
<b>6</b>	<b>Περιγραφή Μοντέλου Προσομοίωσης</b>	<b>46</b>
6.1	Εξυπηρέτης	47
6.2	Πελάτης	50
6.3	Δοσοληψία	51



6.4	Ενημερωτής . . . . .	53
<b>7</b>	<b>Πειράματα - Μετρήσεις</b>	<b>56</b>
7.1	ΠΕΙΡΑΜΑ 1: Σύγκριση Τεχνικών Αχύρωσης . . . . .	57
7.1.1	Τεχνικές Αχύρωσης και Μέγεθος Τοπικού Χώρου Αποθήκευσης. Πείραμα 1, Σχέλος 1 . . . . .	58
7.1.2	Τεχνικές Αχύρωσης και Ρυθμός Ενημέρωσης. Πείραμα 1, Σχέλος 2 . . . . .	63
7.1.3	Τεχνικές Αχύρωσης και Αριθμός Λειτουργιών Ανάγνωσης Δοσοληψιών. Πείραμα 1, Σχέλος 3 . . . . .	68
7.1.4	Τεχνικές Αχύρωσης και Αλληλοκάλυψη. Πείραμα 1, Σχέλος 4 . . . . .	71
7.2	ΠΕΙΡΑΜΑ 2: Σύγκριση των Σχημάτων Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων . . . . .	75
7.2.1	Σχήματα Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων και Μέγεθος Τοπικού Χώρου Αποθήκευσης. Πείραμα 2, Σχέλος 1 . . . . .	76
7.2.2	Σχήματα Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων και Ρυθμός Ενημέρωσης. Πείραμα 2, Σχέλος 2 . . . . .	79
7.2.3	Σχήματα Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων και Αριθμός Παλιών Εκδόσεων. Πείραμα 2, Σχέλος 3 . . . . .	81
7.2.4	Σχήματα Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων και Αριθμός Λειτουργιών Ανάγνωσης Δοσοληψιών. Πείραμα 2, Σχέλος 4 . . . . .	83
7.2.5	Σύγκριση των Σχημάτων Ομαδοποίησης και Νέος Δίσκος. Πείραμα 2, Σχέλος 5 . . . . .	85
7.3	ΠΕΙΡΑΜΑ 3: Χρήση Ευρετηρίου . . . . .	89
7.3.1	Ευρετήριο και Διακοπή Λειτουργίας με Απόρριψη. Πείραμα 3, Σχέλος 1 . . . . .	90
7.3.2	Ευρετήριο και Διακοπή Λειτουργίας με Επανεκκίνηση. Πείραμα 3, Σχέλος 2 . . . . .	92
7.4	ΠΕΙΡΑΜΑ 4: Διακοπές Σύνδεσης . . . . .	92
7.4.1	Τεχνικές Αχύρωσης και Διακοπές Σύνδεσης. Πείραμα 4, Σχέλος 1 . . . . .	93
7.4.2	Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων και Διακοπές Σύνδεσης. Πείραμα 4, Σχέλος 2 . . . . .	95
7.4.3	Μέθοδος Αχύρωσης, Βελτιώσεις της και Διακοπές Σύνδεσης. Πείραμα 4, Σχέλος 3 . . . . .	96
7.4.4	Επανεκπομπές της Λίστας Αχύρωσης και Διακοπές Σύνδεσης. Πείραμα 4, Σχέλος 4 . . . . .	98
7.5	ΠΕΙΡΑΜΑ 5: Μελέτη της Επίδρασης του Μήκους του διαστήματος εμπιστοσύνης στις Τεχνικές Αχύρωσης . . . . .	100
7.6	ΠΕΙΡΑΜΑ 6: Διαφορετικός Αριθμός Εκδόσεων σε Κάθε Δίσκο . . . . .	103
<b>8</b>	<b>Περίληψη-Συμπεράσματα</b>	<b>106</b>



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Πολλοί προβλέπουν μια αναδυόμενη γιγάντια αγορά, όπου χιλιάδες χρήστες με μικρές κινητές, υπολογιστικές μονάδες θα επιθυμούν ανά πάσα στιγμή να έχουν στη διάθεσή τους διάφορες πληροφορίες όπως δελτία καιρού, τιμές μετοχών χρηματιστηρίου, τιμές και προσφορές των καταστημάτων στα προϊόντα τους, κυκλοφοριακή κίνηση σε δρόμους της πόλης και υποδείξεις για την κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσουν προκειμένου να αποφύγουν μποτιλιαρίσματα κ.α. Η οργάνωση της πληροφορίας και ο έλεγχος πρόσβασης σ' αυτή για τέτοια συστήματα δημιουργούν νέες προκλήσεις στις κοινωνίες των Τηλεπικοινωνιών και των Βάσεων Δεδομένων.

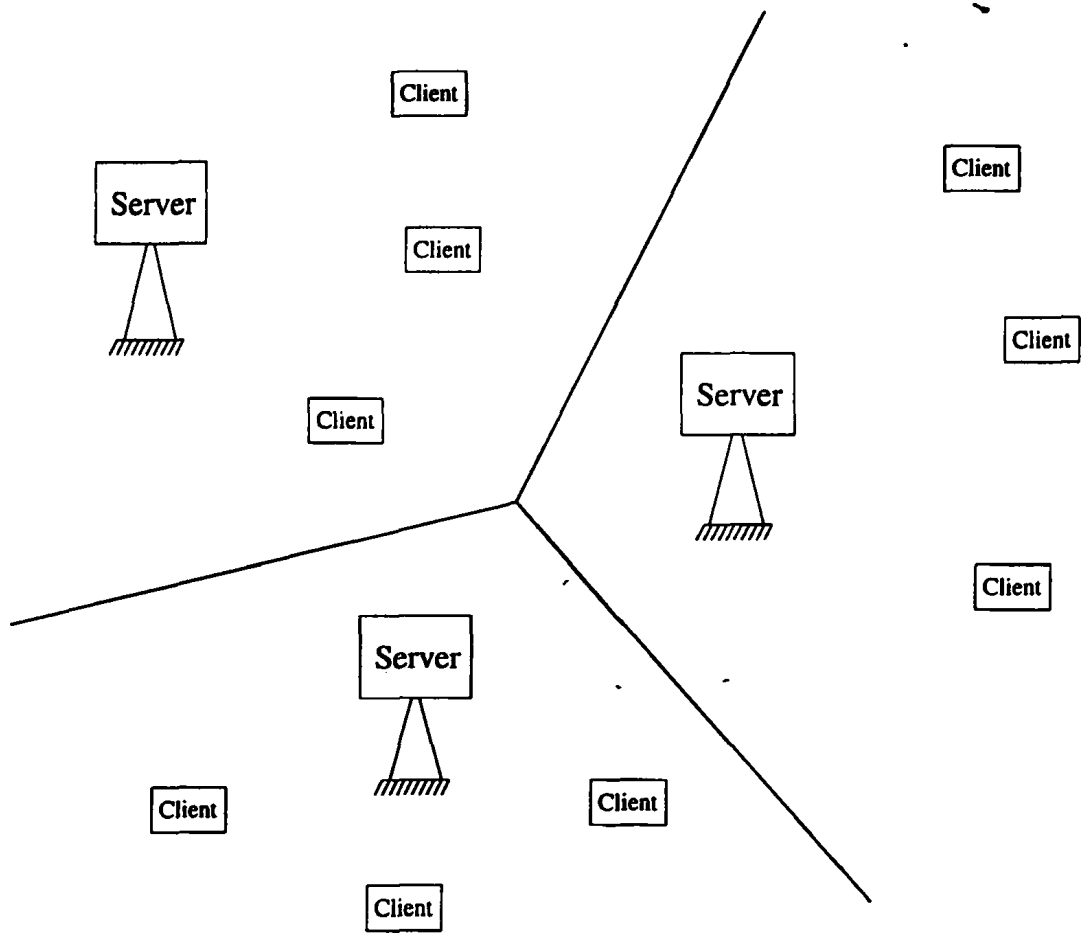
Σε αρκετά υπάρχοντα καθώς και σε αναδυόμενα πεδία εφαρμογών, η ικανότητα του εξυπηρέτη να μεταδίδει δεδομένα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ικανότητα του πελάτη<sup>1</sup>. Αυτή η μορφή ασυμμετρίας μπορεί να οφείλεται σε περιορισμούς στο εύρος ζώνης του φυσικού μέσου μετάδοσης. Ως παράδειγμα μπορεί να αναλογιστεί κανείς ένα ασύρματο δίκτυο κινητών χρηστών όπου οι εξυπηρέτες διαθέτουν ισχυρούς μεταδότες με ικανότητα μετάδοσης σε μεγάλο εύρος ζώνης, ενώ οι κινητοί χρήστες (πελάτες) έχουν πολύ μικρό (ή και καθόλου) εύρος ζώνης στη διάθεσή τους για να μεταδίδουν. Μία ίσως λιγότερο προφανή ασυμμετρία μπορεί να διακρίνει κανείς σε ένα σύστημα με πολλούς πελάτες και λίγους εξυπηρέτες, όπου οι εξυπηρέτες εμφανίζουν δυσκολία στο να ικανοποιήσουν ταυτόχρονες αιτήσεις που γεννώνται από τους πελάτες. Τέτοια συστήματα τα συναντούμε με την ονομασία *Ασύμμετρα Περιβάλλοντα Επικοινωνίας*.

Το Σχήμα 1.1 δίνει τη δομή ενός υποθετικού συστήματος, στο οποίο οι σταθεροί εξυπηρέτες παρέχουν στους κινητούς πελάτες υπηρεσίες πληροφορίας. Κάθε εξυπηρέτης έχει τη δική του γεωγραφική περιοχή μέσα στην οποία οι πελάτες μπορούν να "ακούν" μόνο αυτό τον εξυπηρέτη. Οι πελάτες μπορούν να κινούνται και να αλλάζουν περιοχές. Εναλλακτικά μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι όλοι οι εξυπηρέτες στο Σχήμα 1 βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική περιοχή, αλλά εκπέμπουν σε διαφορετικά μήκη κύματος. Στην περίπτωση αυτή, ένας πελάτης βρίσκεται στην περιοχή ενός εξυπηρέτη όταν είναι συντονισμένος στο μήκος κύματος που αυτός εκπέμπει.

Στα παραδοσιακά συστήματα πληροφορίας *Πελάτης - Εξυπηρέτης* (client-server μοντέλα), οι πελάτες ζητούν από έναν εξυπηρέτη (στέλνοντάς του ανάλογες αιτήσεις) να μεταδώσει κομμάτια

<sup>1</sup>Θα αναφερόμαστε στον όρο *server* στο εξής με τον όρο *εξυπηρέτης* και στον όρο *client* με τον όρο *πελάτης*.





Σχήμα 1.1: Σταθεροί εξυπηρέτες - Κινητοί πελάτες.

πληροφορίας που τους ενδιαφέρουν. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται *"pull based"* γιατί οι πελάτες αντλούν πληροφορία από τους εξυπηρέτες προκειμένου να την παράσχουν στις εφαρμογές που "τρέχουν" τοπικά. Πρόσφατα έχει προταθεί ένα σχήμα [1], κατά το οποίο ο εξυπηρέτης εκμεταλλεύεται το πλεονέκτημά του σε εύρος ζώνης έναντι των πελατών και περιοδικά εκπέμπει<sup>2</sup> προς τους πελάτες όλα τα δεδομένα της Βάσης του. Ως αποτέλεσμα, το κανάλι γίνεται ένας δίσκος από όπου οι πελάτες φιλτράροντας την εκπεμπόμενη πληροφορία μπορούν να συλλέξουν τα κομμάτια αυτής που τους ενδιαφέρουν χωρίς να χρειάζεται να κάνουν αιτήσεις προς τους εξυπηρέτες. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται *"push based"*. Διαισθητικά θα μπορούσε κανείς να παρομοιάσει τη λειτουργία τους με τον τρόπο με τον οποίο φθάνουν καθημερινά οι εφημερίδες στα χέρια μας. Ο κάθε εκδοτικός οίκος φροντίζει ώστε όλα τα περιοδικά και εφημερίδες του να φθάσουν κοντά μας (π.χ. στα περίπτερα). Εν συνεχεία εμείς επιλέγουμε αυτό που θέλουμε να διαβάσουμε. Παραδείγματα *"push based"* συστημάτων είναι διάφορες εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου (όπως για παράδειγμα δημοπρασίες), η μετάδοση σήματος τηλεόρασης, υπηρεσίες Teletext, Videotext κ.α.

Υπάρχουν κάποια πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα των *"push based"* συστημάτων έναντι

<sup>2</sup>Με τον όρο "εκπομπή" ή "μετάδοση προς όλους" σε αυτή την εργασία αναφερόμαστε στον αγγλικό όρο "broadcast"





των "pull based". Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- **Εξοικονόμηση εύρους ζώνης.** Εκπέμποντας ο εξυπηρέτης τα δεδομένα που θέλουν να διαβάσουν οι πελάτες πιο συχνά, αποκλείονται οι ξεχωριστές, αλλά ίδιες απαντήσεις του εξυπηρέτη σε αιτήσεις των πελατών πάνω στο ίδιο δεδομένο.
- **Αποφυγή Συμφορήσεων (Bottlenecks).** Αποφεύγεται η συμφόρηση (bottleneck) από πολλές αιτήσεις που φτάνουν ταυτόχρονα στον εξυπηρέτη.
- **Εξοικονόμηση ενέργειας.** Οι πελάτες εξοικονομούν ενέργεια γιατί δεν χρειάζεται να την καταναλώνουν προκειμένου να μεταδίδουν αιτήσεις στον εξυπηρέτη. Όπως αναφέρεται και στο [15] η μετάδοση πληροφορίας είναι πολύ πιο δαπανηρή σε ενέργεια από ότι η λήψη.

Τα μειονεκτήματα που θα μπορούσαμε να παραθέσουμε για τα "push based" συστήματα (και που παράλληλα είναι πλεονεκτήματα των "pull based" συστημάτων) συνοψίζονται στα παρακάτω:

- **Σπατάλη του εύρους ζώνης.** Τα δεδομένα που εκπέμπει ο εξυπηρέτης κάποιες χρονικές περιόδους μπορεί να μην τα χρειάζονται οι πελάτες τη στιγμή που αυτά εκπέμπονται. Έτσι ο εξυπηρέτης σπαταλά εύρος ζώνης άσκοπα.
- **Αύξηση στο χρόνο αναμονής των δεδομένων.** Οι πελάτες αναγκάζονται να περιμένουν τα δεδομένα που επιθυμούν έως ότου αυτά εκπεμφθούν. Συνήθως οι πελάτες ενδιαφέρονται για ένα πολύ μικρό μέρος των δεδομένων της Βάσης. Είναι όμως υποχρεωμένοι να περιμένουν τα δεδομένα αυτά για σημαντικές χρονικές περιόδους έως ότου έρθει η σειρά τους να εκπεμφθούν. Εν τω μεταξύ μπορεί να εκπέμπονται δεδομένα που δεν τους ενδιαφέρουν.

Ένα υβριδικό σύστημα που θα συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των "push based" και "pull based" συστημάτων είναι πιθανό να επικρατήσει τελικά. Σε ένα τέτοιο σύστημα τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα δεδομένα θα εκπέμπονται από τον εξυπηρέτη αυτόβουλα χωρίς συγκεκριμένη αίτηση από κάποιον πελάτη, ενώ τα υπόλοιπα θα εκπέμπονται μετά από ανάλογες αιτήσεις των πελατών. Στην εργασία αυτή επικεντρωνόμαστε σε "push based" συστήματα.

## 1.1 Προηγούμενη Δουλειά

Η γενική ιδέα της εκπομπής δεδομένων δεν είναι καινούργια. Πρόσφατη δουλειά έχει γίνει στους τομείς των Teletext και Videotext συστημάτων [2], [24]. Στο [24] μάλιστα έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές εκπομπής και αλγόριθμοι σχεδίασης Προγραμμάτων Εκπομπής κατ' απαίτηση. Εκεί αναφέρεται η γενική ιδέα της εκπομπής κάποιων δεδομένων αυτόβουλα από τον εξυπηρέτη σε συνδυασμό με την παροχή των υπολοίπων στους χρήστες κατ' απαίτηση, ενώ μεγάλη έμφαση δόθηκε στην αποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης. Σχετική δουλειά επίσης αναφέρεται στην εργασία



*Datacycle* [8], [7] όπου μελετήθηκε η ιδέα της επαναλαμβανόμενης εκπομπής δεδομένων. Η εργασία *Datacycle* σχεδιάστηκε έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται υψηλά εύροι ζώνης και οπτικές τεχνολογίες επικοινωνίας για την εφαρμογή ταυτόχρονης αναζήτησης δεδομένων από πολλούς χρήστες και για την άντληση πληροφορίας από τα εκπεμπόμενα δεδομένα. Στην εργασία *Datacycle* χρησιμοποιείται ο *Επίπεδος Δίσκος* (κάθε δεδομένο εκπέμπεται ακριβώς μία φορά σε κάθε περίοδο εκπομπής) για την εκπομπή δεδομένων και οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με τους εξυπηρέτες και να τους διατυπώνουν αιτήσεις για συγκεκριμένα δεδομένα, ενώ οι εξυπηρέτες διατηρούν τοπικά αντίγραφα μιας κατανεμημένης Βάσης δεδομένων και μόνο αυτά μπορούν να εκπέμπουν.

Τεχνικές για εκπομπή δεδομένων και πρόσβαση σε αυτά από τους πελάτες, βασισμένες σε πρωτεύοντα κλειδιά, υπάρχουν στα [13] και [14]. Στο [13], αναλύονται σχήματα βασισμένα σε ευρετήρια με έμφαση στην ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης εξαιτίας της αναμονής των εκπεμπόμενων δεδομένων και παράλληλα στη διατήρηση της κατανάλωσης ενέργειας σε χαμηλά επίπεδα. Στο [14], προτείνονται αλγόριθμοι βασισμένοι σε κατακερματισμό (hashing), με έμφαση στην ευελιξία βέλτιστης επιλογής ενός εκ των δύο αντικρουόμενων παραμέτρων: του χρόνου που ο χρήστης είναι ενεργός και της καθυστέρησης (αναμονή δεδομένων από το κανάλι).

Στο [15], προτείνονται τεχνικές ευρετηρίου με στόχο την ελαχιστοποίηση του χρόνου που οι πελάτες παραμένουν ενεργοί. Η έμφαση στο [15] δίνεται στην εξοικονόμηση ενέργειας στους κινητούς χρήστες προκειμένου να αυξηθεί η διάρκεια ζωής των μπαταριών τους.

Το Boston Community Information System (BCIS), [11], εκπέμπει ειδήσεις και εφημερίδες μέσω ενός FM καναλιού σε χρήστες με προσωπικούς υπολογιστές που διαθέτουν ραδιοδέκτες, όπου και πάλι χρησιμοποιήθηκε ο *Επίπεδος Δίσκος*.

Η χρήση τοπικού χώρου αποθήκευσης σε περιβάλλοντα κινητών χρηστών μελετήθηκε αρχικά στο [5]. Εκεί θεωρήθηκαν δεδομένα που ενημερώνονται και χρήστες οι οποίοι μπορούν να είναι αποσυνδεδεμένοι για μεγάλες χρονικές περιόδους. Η επικέντρωση στην εκπομπή δεδομένων και στη διατήρησή τους στον τοπικό χώρο αποθήκευσης είχε ως σκοπό τον εντοπισμό των τοπικά αποθηκευμένων δεδομένων που έχουν εν τω μεταξύ ενημερωθεί, ούτως ώστε οι πελάτες να μην τα αντλούν τοπικά σε αυτή την περίπτωση, αλλά να προσπαθούν να τα αντικαταστήσουν με τις νέες τους τιμές. Ένας από τους τρόπους που προτείνονται εκεί για την διαχείριση του τοπικού χώρου αποθήκευσης, χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία. Βελτιώσεις των αλγορίθμων του [5] προτείνονται στα [16] και [25].

Στο [10] μελετήθηκε μία ιεραρχία μνήμης σύμφωνα με την οποία επιτρέπεται στους πελάτες να ανταλλάσσουν μεταξύ τους τμήματα της πληροφορίας που διατηρούν τοπικά.

Αρκετή δουλειά έχει γίνει πάνω στο πρόβλημα του σχεδιασμού ενός προγράμματος εκπομπής τέτοιου ώστε η μέση αναμονή των πελατών για τα εκπεμπόμενα δεδομένα να μειωθεί [2], [3], [24], [1], [12] και [23]. Η τεχνική της Εκπομπής Δίσκων (την οποία χρησιμοποιούμε και στην εργασία μας) καθώς και διάφορες Πολιτικές Αντικατάστασης δεδομένων στον τοπικό χώρο αποθήκευσης για την τεχνική Εκπομπής Δίσκων, προτείνονται στο [1].



Μια συνολική ανασκόπηση και σύγκριση των προτεινόμενων αλγορίθμων για την αποθήκευση δεδομένων τοπικά στους πελάτες είναι διαθέσιμη στο [9], ενώ για παρόμοιες εργασίες παραπέμπουμε στις [18], [19] και [4].

Στο [22] διερευνήθηκε η ανάπτυξη κριτηρίων ορθότητας για δοσοληψίες σε περιβάλλοντα εκπομπής δεδομένων. Επίσης μελετήθηκε η ανάπτυξη του μέσου εκπομπής για μετάδοση πληροφορίας ελέγχου ταυτοχρονισμού (concurrency control) των δοσοληψιών που εκτελούνται τοπικά στο πελάτη και των δοσοληψιών του εξυπηρέτη, έτσι ώστε ένα μέρος της διαχείρισης δοσοληψιών να μπορεί να εκτελείται τοπικά από τους πελάτες.

Στο [21] προτάθηκαν και μελετήθηκαν τεχνικές για να διαβεβαιωθεί η συνέπεια (consistency) δοσοληψιών στους πελάτες που εκτελούν μόνο λειτουργίες ανάγνωσης σε περιβάλλοντα εκπομπής δεδομένων.

## 1.2 Σκοπός της Εργασίας

Στο [20] έχει προταθεί η διατήρηση πολλαπλών εκδόσεων δεδομένων σε συνδυασμό με κάποιες τεχνικές επεξεργασίας δοσοληψιών προκειμένου να αυξηθεί ο ταυτοχρονισμός (concurrency) των δοσοληψιών του πελάτη. Οι παλιές εκδόσεις των δεδομένων σε συνδυασμό με Λίστες Ακύρωσης, δηλαδή λίστες που αναφέρονται στα δεδομένα που ενημερώθηκαν στον εξυπηρέτη εντός κάποιου καθορισμένου χρονικού διαστήματος, επιτρέπουν στους πελάτες να γνωρίζουν τις ενημερώσεις που λαμβάνουν χώρα. Αυτό τους καθιστά ικανούς να αποφασίζουν αν οι δοσοληψίες που εκτελούνται τοπικά είναι ή όχι συνεπείς. Τις τεχνικές αυτές τις ονομάζουν οι συγγραφείς του [20] τεχνικές ακύρωσης (Invalidation Techniques) και εξηγούμε τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν παρακάτω.

Στο σημείο αυτό θα ήταν σκόπιμο να πούμε ότι με τον όρο *δοσοληψία* εννοούμε ένα σύνολο από πεπερασμένο αριθμό λειτουργιών ανάγνωσης ή/και ενημέρωσης πάνω στα δεδομένα της Βάσης. Ως χρόνο ζωής μιας δοσοληψίας ορίζουμε το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που αυτή ξεκίνησε τη λειτουργία της (εκτέλεσε την πρώτη της λειτουργία ανάγνωσης ή ενημέρωσης) μέχρι τη στιγμή που τερματίζει. Το πότε μία δοσοληψία είναι συνεπής το ορίζουμε παρακάτω.

Στην παρούσα εργασία σκοπός μας είναι να συνεχίσουμε από το σημείο που σταμάτησαν οι συγγραφείς του [20]. Πιο συγκεκριμένα, επιθυμούμε να προσομοιώσουμε τις τεχνικές ακύρωσης και με τη βοήθεια της προσομοίωσης να τις μελετήσουμε εξάγοντας συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται κάτω από διάφορες συνθήκες. Η μεταξύ τους σύγκριση είναι ένα ακόμη ζητούμενο, το οποίο δεν έγινε επαρκώς στο [20]. Επιθυμούμε να διερευνήσουμε ποια τεχνική ακύρωσης είναι πιο αποδοτική και κάτω από ποιες προϋποθέσεις. Σκοπός μας επίσης είναι να προτείνουμε νέες τεχνικές που να βελτιώνουν την απόδοσή τους προς δύο κατευθύνσεις:

1. Ελάττωση του ρυθμού απόρριψης που επιβάλλουν στις δοσοληψίες.

2. Μείωση του μέσου χρόνου ζωής των δοσοληψιών.



Σε περιβάλλοντα εκπομπής, όπως αυτό που θεωρούμε, υπάρχουν χρονικές περιόδους κατά τις οποίες οι πελάτες αδυνατούν να λάβουν το σήμα που εκπέμπει ο εξυπηρέτης, είτε γιατί φυσικά εμπόδια τους το απαγορεύουν, είτε γιατί βρίσκονται σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας (doze mode) [15]. Αυτές οι χρονικές περιόδους ονομάζονται διακοπές σύνδεσης (disconnections). Ένας ακόμη στόχος μας είναι να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης παρουσία Διακοπών Σύνδεσης και να προτείνουμε τρόπους που μετριάζουν την αρνητική επίδρασή τους πάνω στις τεχνικές ακύρωσης.

Όπως προκύπτει από αυτή την εργασία, η μελέτη απόδοσης των τεχνικών ακύρωσης μας επιτρέπει να τις ταξινομήσουμε ως προς την αποδοτικότητά τους ανάλογα με τις απαιτήσεις που διέπουν το μοντέλο μας. Έτσι κάποιες από αυτές είναι προτιμότερο να τις χρησιμοποιούμε όταν μας ενδιαφέρει πιο πολύ οι δοσοληψίες μας να εμφανίζουν μικρότερους μέσους χρόνους ζωής, ενώ κάποιες άλλες όταν κύριο μέλημά μας είναι να εμφανίζονται ασυνεπείς δοσοληψίες με μικρότερους ρυθμούς. Τέλος καταλήγουμε στο ότι όλες οι προτάσεις μας βελτιώνουν την απόδοσή τους και προς τις δύο κατευθύνσεις που αναφέραμε προηγουμένως.

### 1.3 Οργάνωση της Εργασίας

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφουμε με περισσότερες λεπτομέρειες το μοντέλο το οποίο χρησιμοποιούμε. Δείχνουμε γιατί είναι αναγκαίες οι τεχνικές ακύρωσης σε ένα τέτοιο μοντέλο. Στο Κεφάλαιο 3 εξηγούμε τον τρόπο με τον οποίο δουλεύουν οι τεχνικές αυτές. Στο Κεφάλαιο 4 προτείνουμε βελτιώσεις για τις τεχνικές ακύρωσης. Στο Κεφάλαιο 5 επιχειρούμε τη θεωρητική μελέτη των τεχνικών ακύρωσης προκειμένου να εξηγήσουμε τη συμπεριφορά τους παρουσία διακοπών σύνδεσης και προτείνουμε τρόπους για να αυξήσουμε την ανοχή τους στις διακοπές σύνδεσης. Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφουμε το μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιήσαμε για να μελετήσουμε τις τεχνικές ακύρωσης. Στο Κεφάλαιο 7 αναφερόμαστε στα αποτελέσματα που λάβαμε από τα διάφορα πειράματα που εκτελέσαμε με το μοντέλο αυτό. Τέλος, στο Κεφάλαιο 8 υπάρχει μια σύντομη περίληψη και τα γενικά συμπεράσματα αυτής της εργασίας.



## Κεφάλαιο 2

# Μοντέλο Εκπομπής Δεδομένων και Ενημερώσεις

Στο περιβάλλον εκπομπής δεδομένων που θεωρούμε, ο εξυπηρέτης εκπέμπει περιοδικά σε έναν μεγάλο αριθμό από κινητούς πελάτες, τα δεδομένα που διατηρεί στη Βάση Δεδομένων του. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να ενημερώνονται μόνο από δοσοληψίες που εκτελούνται τοπικά στον εξυπηρέτη. Υποθέτουμε ότι η Βάση είναι συνεπής (consistent) και ότι δεν παραβιάζει περιορισμούς ακεραιότητας (integrity constraints) [6]. Κάθε περίοδο εκπομπής θα την ονομάζουμε *Κύκλο Εκπομπής* ή απλά *Κύκλο (cycle)*, ενώ το περιεχόμενο του Κύκλου *Πρόγραμμα Εκπομπής*. Ο εξυπηρέτης δεν γνωρίζει ποιοι και πόσοι πελάτες ακούν τα δεδομένα που εκπέμπει. Υποθέτουμε όμως ότι προκειμένου να κατασκευάσει το Πρόγραμμα Εκπομπής γνωρίζει τις ανάγκες των πελατών που βρίσκονται στην περιοχή του και τον ακούν. Στο μοντέλο μας υποθέτουμε ότι οι πελάτες δεν μπορούν να διατυπώσουν αιτήσεις για συγκεκριμένα δεδομένα στον εξυπηρέτη διότι δεν υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης με φορά από τους πελάτες προς τον εξυπηρέτη. Ο τρόπος με τον οποίο ο εξυπηρέτης γνωρίζει τις ανάγκες των πελατών δεν είναι προφανής<sup>1</sup>. Ο τρόπος με τον οποίο ο εξυπηρέτης γνωρίζει ποια δεδομένα ζητούν οι πελάτες πιο συχνά είναι πέρα από τους στόχους αυτής της εργασίας.

Η πληροφορία οργανώνεται και εκπέμπεται από τον εξυπηρέτη σε μικρές λογικές μονάδες. Μια τέτοια μονάδα ονομάζεται *bucket* και αποτελεί ανάλογο του *block* στους σκληρούς δίσκους. Κάθε *bucket* έχει επικεφαλίδα με χρήσιμες πληροφορίες, όπως για παράδειγμα το πόσο απέχει από την αρχή του επόμενου ή του τρέχοντος Κύκλου κ.α. Οι πληροφορίες αυτές καθοδηγούν τους πελάτες ώστε να κινούνται ευέλικτα κατά την αναζήτηση των δεδομένων που τους ενδιαφέρουν. Το μέγεθος του *bucket* μπορεί να ποικίλει ως προς τον αριθμό των δεδομένων που περιέχει. Εμείς εδώ θεωρούμε ότι ένα *bucket* είναι σε μέγεθος ίσο με ένα δεδομένο<sup>2</sup>.

Πρόσβαση στα εκπεμπόμενα δεδομένα μπορεί να έχουν πολλοί πελάτες ταυτόχρονα. Σε αυτούς

<sup>1</sup> Παρ' όλ' αυτά, μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι κάθε πελάτης μέσω ενός καναλιού πληροφορίας ελέγχου με πολύ μικρό εύρος ζώνης στέλνει περιοδικά στον εξυπηρέτη για κάθε δεδομένο της Βάσης, το άθροισμα των αιτήσεων που δημιουργήθηκαν για αυτό το δεδομένο κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου.

<sup>2</sup> Χρησιμοποιούμε τον όρο "δεδομένο" για να κρύψουμε λεπτομέρειες που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο οργανώνει την πληροφορία ο εξυπηρέτης. Ένα δεδομένο μπορεί να είναι μία πλειάδα, μία σελίδα του δίσκου κλπ.



γεννώνται δοσοληψίες οι οποίες κατά τη διάρκεια της ζωής τους δημιουργούν αιτήσεις για ανάγνωση δεδομένων της Βάσης. Οι δοσοληψίες αυτές μπορούν μόνο να διαβάσουν δεδομένα, όχι να τα ενημερώνουν. Όταν ένας πελάτης (μία δοσοληψία του) επιθυμεί να διαβάσει ένα δεδομένο, παρακολουθεί το κανάλι<sup>3</sup> εκπομπής και περιμένει έως ότου το δεδομένο που τον ενδιαφέρει εκπεμφθεί, οπότε και το διαβάσει. Προφανώς υπάρχει μία διαφορά ανάμεσα στη χρονική στιγμή που η αίτηση για ένα δεδομένο δημιουργήθηκε και στη στιγμή που το δεδομένο αυτό εκπέμφθηκε στο κανάλι. Η διαφορά αυτή μεταφράζεται σε καθυστέρηση και ως εκ τούτου σε αύξηση του μέσου χρόνου που απαιτείται για την ικανοποίηση ανάλογων αιτημάτων του πελάτη. Αυτή η καθυστέρηση εξαρτάται από το Πρόγραμμα Εκπομπής που ακολουθεί ο εξυπηρετής. Η πρόσβαση στα δεδομένα είναι αυστηρά σειριακή και οι πελάτες πρέπει να περιμένουν για τα δεδομένα που θέλουν έως ότου αυτά εμφανιστούν στο κανάλι.

Κάθε πελάτης μπορεί να διαθέτει ένα τοπικό χώρο αποθήκευσης (*cache*) όπου αποθηκεύει προσωρινά κάποια από τα δεδομένα της Βάσης τη στιγμή που αυτά εκπέμπονται. Από εκεί μπορεί να αντλήσει άμεσα ένα δεδομένο στην περίπτωση που το χρειαστεί ξανά μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα από τη στιγμή που το αποθήκευσε, χωρίς να χρειάζεται να περιμένει να εκπεμφθεί πάλι από το κανάλι. Όταν μια δοσοληψία του πελάτη χρειαστεί κάποιο δεδομένο, αρχικά επιχειρεί να το διαβάσει από τον τοπικό χώρο αποθήκευσης. Αν δεν το βρει εκεί, τότε παρακολουθεί το κανάλι και περιμένει να εκπεμφθεί για να το διαβάσει.

Ένας πελάτης δεν χρειάζεται να είναι συνεχώς συνδεδεμένος στο κανάλι. Αντ' αυτού συνδέεται μόνο τις χρονικές στιγμές που θα εκπεμφθούν δεδομένα και πληροφορίες που τον ενδιαφέρουν. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομεί ενέργεια, κάτι το οποίο είναι σημαντικό κυρίως για την περίπτωση που οι πελάτες είναι μικροί υπολογιστές με φορητή μπαταρία. Έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές [15] στις οποίες ο εξυπηρετής εκπέμπει κατάλληλα ευρετήρια πάνω στο περιεχόμενο του προγράμματος εκπομπής. Διαβάζοντας αυτά τα ευρετήρια οι πελάτες αποκτούν τη δυνατότητα επιλεκτικής σύνδεσης στο κανάλι. Στο μοντέλο μας θεωρούμε ότι οι πελάτες είναι συνέχεια συνδεδεμένοι και ακούν το κανάλι και δεν στεκόμαστε στην εκτεταμένη κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται εξαιτίας της συνεχούς σύνδεσης στο κανάλι. Παρ' όλ' αυτά, όσα αναφέρονται εδώ μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν σε συνδυασμό με τεχνικές που αποσκοπούν σε εξοικονόμηση ενέργειας.

## 2.1 Δίσκοι Εκπομπής

Πρόσφατα [1] έχει προταθεί μία αρχιτεκτονική που αποβλέπει στην καλύτερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης του εξυπηρετή σε ασύμμετρα περιβάλλοντα επικοινωνίας. Αυτή η αρχιτεκτονική ονομάζεται *Δίσκοι Εκπομπής (Broadcast Disks)*. Η γενική ιδέα είναι να τοποθετήσουμε τα δεδομένα της Βάσης σε "Δίσκους" διαφορετικών μεγεθών και συχνοτήτων περιστροφής και εν συνεχεία να "πολυπλέξουμε" τους Δίσκους καθώς περιστρέφονται στο κανάλι παράγοντας με αυτόν τον τρόπο το Πρόγραμμα Εκπομπής. Τα δεδομένα που ανατίθενται σε γρήγορους Δίσκους εκπέμπονται

<sup>3</sup>Ο όρος "κανάλι" υπονοεί το μέσο μετάδοσης και χρησιμοποιείται ως γενικός όρος για να αναφερθούμε στο Δίκτυο Υπολογιστών, στο Δορυφορικό δίαυλο, στο κανάλι μετάδοσης ραδιοφωνικών σημάτων ή σε ένα εικονικό κύκλωμα πάνω από ένα κυψελωτό κανάλι. Ως όρος χρησιμοποιείται εν ολίγοις για να κρύψουμε τις λεπτομέρειες στο φυσικό επίπεδο του υποκειμένου δικτύου.



πιο συχνά από τα δεδομένα των αργών Δίσκων. Ο αριθμός των Δίσκων, το μέγεθός τους και οι σχετικές συχνότητες περιστροφής τους μπορούν να ρυθμίζονται προκειμένου να ταιριάζει το παραγόμενο Πρόγραμμα Εκπομπής στις ανάγκες των πελατών. Έτσι, τα δεδομένα που οι πελάτες χρησιμοποιούν πιο συχνά τοποθετούνται στον πιο γρήγορο Δίσκο, ενώ τα λιγότερο χρησιμοποιούμενα σε διαδοχικά πιο αργούς Δίσκους.

Στην πιο απλή αρχιτεκτονική που μπορεί να θεωρήσουμε για τους δίσκους εκπομπής, όλα τα δεδομένα τοποθετούνται σε έναν μόνο Δίσκο. Ισοδύναμη με αυτή την αρχιτεκτονική είναι και η αρχιτεκτονική στην οποία έχουμε περισσότερους από έναν Δίσκους, οι οποίοι όμως περιστρέφονται όλοι με την ίδια συχνότητα περιστροφής. Αναφερόμαστε σε αυτές τις αρχιτεκτονικές με τον όρο *Επίπεδος Δίσκος*. Με τον Επίπεδο Δίσκο η μέση καθυστέρηση είναι ίδια για όλα τα δεδομένα και ίση με το μισό της διάρκειας ενός Κύκλου. Ο Επίπεδος Δίσκος δεν λαμβάνει υπ' όψιν του αν κάποια από τα δεδομένα είναι πιο συχνά χρησιμοποιούμενα.

Χρησιμοποιώντας μια πιο πολύπλοκη αρχιτεκτονική στους δίσκους εκπομπής, ο εξυπηρέτης μπορεί να δώσει μεγαλύτερη βαρύτητα στα πιο "δημοφιλή" δεδομένα (τοποθετώντας τα σε γρήγορους Δίσκους). Θεωρητικά, η δημιουργία μιας μη Επίπεδης αρχιτεκτονικής είναι ένα πρόβλημα καταμερισμού του εύρους ζώνης για τον εξυπηρέτη. Ο εξυπηρέτης, γνωρίζοντας για όλους τους πελάτες συνολικά ποια δεδομένα διαβάζουν πιο συχνά, υπολογίζει το βέλτιστο ποσοστό του εύρους ζώνης που πρέπει να αποδοθεί σε κάθε δεδομένο της Βάσης. Το Πρόγραμμα Εκπομπής μπορεί εν συνεχεία να κατασκευαστεί σύμφωνα με αυτά τα ποσοστά, έτσι ώστε ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών εμφανίσεων ενός δεδομένου να ικανοποιεί τις ανάγκες των πελατών. Όπως αναφέρεται και στο [1], κάθε Πρόγραμμα Εκπομπής πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Για κάθε δεδομένο, ο χρόνος μεταξύ δύο οποιονδήποτε διαδοχικών εμφανίσεών του στο κανάλι, πρέπει να είναι ο ίδιος.
- Πρέπει να υπάρχει ένα ορισμένο σημείο μετά την έλευση του οποίου το ίδιο Πρόγραμμα Εκπομπής εκπέμπεται πάλι από την αρχή.
- Παράλληλα με τους δύο παραπάνω περιορισμούς, πρέπει να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο από το διαθέσιμο εύρος ζώνης.

Στο σημείο αυτό δίνουμε τα βήματα ενός αλγορίθμου για την κατασκευή προγράμματος εκπομπής με τα παραπάνω χαρακτηριστικά [1].

#### Αλγόριθμος Εκπομπής Δίσκων:

1. Διάταξε τα δεδομένα από το περισσότερο προς το λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενο.
2. Χώρισε τη λίστα από δεδομένα που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα, σε περιοχές κάθε μία από τις οποίες περιέχει δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται με σχεδόν ίσες συχνότητες από τους πελάτες. Αυτές οι περιοχές αποτελούν τους Δίσκους και συμβολίζουμε το πλήθος των Δίσκων με *Num\_Disks*.



3. Για κάθε Δίσκο επέλεξε τη σχετική συχνότητα περιστροφής του. Ο μοναδικός περιορισμός σε αυτό το βήμα είναι ότι οι συχνότητες θα πρέπει να είναι θετικοί ακέραιοι. Για παράδειγμα δοθέντων δύο Δίσκων, αν ο Δίσκος  $Disk_1$  εκπέμπει 3 φορές για κάθε δύο φορές που εκπέμπει ο Δίσκος  $Disk_2$ , τότε οι σχετικές συχνότητες περιστροφής τους είναι  $Rel\_Freq(1) = 3$  και  $Rel\_Freq(2) = 2$  αντίστοιχα.
4. Χώρισε κάθε Δίσκο σε μικρότερες μονάδες, τις αλυσίδες.  $C_{ij}$  είναι η  $j$ -στή αλυσίδα του  $i$  Δίσκου. Αρχικά υπολόγισε το  $Max\_Chunks$  ως το Ελάχιστο Κοινό Πολλαπλάσιο των σχετικών συχνοτήτων εκπομπής των Δίσκων. Μετά χώρισε κάθε Δίσκο  $i$  σε  $Num\_Chunks(i) = Max\_Chunks / Rel\_Freq(i)$  αλυσίδες. Στο προηγούμενο παράδειγμα, θα είχαμε  $Num\_Chunks(1) = 2$  και  $Num\_Chunks(2) = 3$ .
5. Κατασκεύασε το Πρόγραμμα Εκπομπής παρεμβάλλοντας τις αλυσίδες κάθε Δίσκου ως εξής:
  - (a) for  $i := 0$  to  $Max\_Chunks - 1$
  - (b) for  $j := 1$  to  $Num\_Disks$
  - (c)  $Broadcast\_Chunk(C_{j,(i \bmod num\_chunks(j))})$
  - (d) endfor
  - (e) endfor

Στο βήμα 5.c του παραπάνω αλγορίθμου η  $Broadcast\_Chunk$  είναι μία ρουτίνα η οποία εκπέμπει τα δεδομένα της αλυσίδας που δέχεται ως όρισμα.

#### Παράδειγμα:

Στο Σχήμα 2.1 δίνεται ένα παράδειγμα παραγωγής προγράμματος εκπομπής με χρήση του Αλγορίθμου Εκπομπής Δίσκων. Ας θεωρήσουμε μια λίστα από δεδομένα η οποία έχει χωριστεί σε τρεις Δίσκους, άρα  $Num\_Disks = 3$ . Τα δεδομένα του πρώτου Δίσκου  $T_1$ , θέλουμε να εκπέμπονται 2 φορές πιο συχνά από τα δεδομένα του δεύτερου Δίσκου  $T_2$  και τέσσερις φορές πιο συχνά από τα δεδομένα του τρίτου Δίσκου  $T_3$ , δηλαδή:

$$\begin{aligned} Rel\_Freq(1) &= 4, \\ Rel\_Freq(2) &= 2 \text{ και} \\ Rel\_Freq(3) &= 1. \end{aligned}$$

Η ένδειξη *HOT* δίπλα από το δεδομένο 1 υποδηλώνει δεδομένα που χρησιμοποιούνται πιο συχνά από τους πελάτες, ενώ *COLD* είναι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά. Στον Δίσκο  $T_1$  έχουμε τοποθετήσει τα πιο συχνά, στον  $T_2$  τα αμέσως λιγότερο συχνά και στον  $T_3$  τα πιο αραιά χρησιμοποιούμενα δεδομένα. Αυτοί οι Δίσκοι χωρίζονται σε αλυσίδες, που στο σχήμα τις ονομάζουμε *Chunks*, σύμφωνα με το βήμα 4 του αλγορίθμου. Ο Δίσκος  $T_1$  αποτελείται από μία, ο  $T_2$  από 2 και ο  $T_3$  από τέσσερις αλυσίδες, δηλαδή:

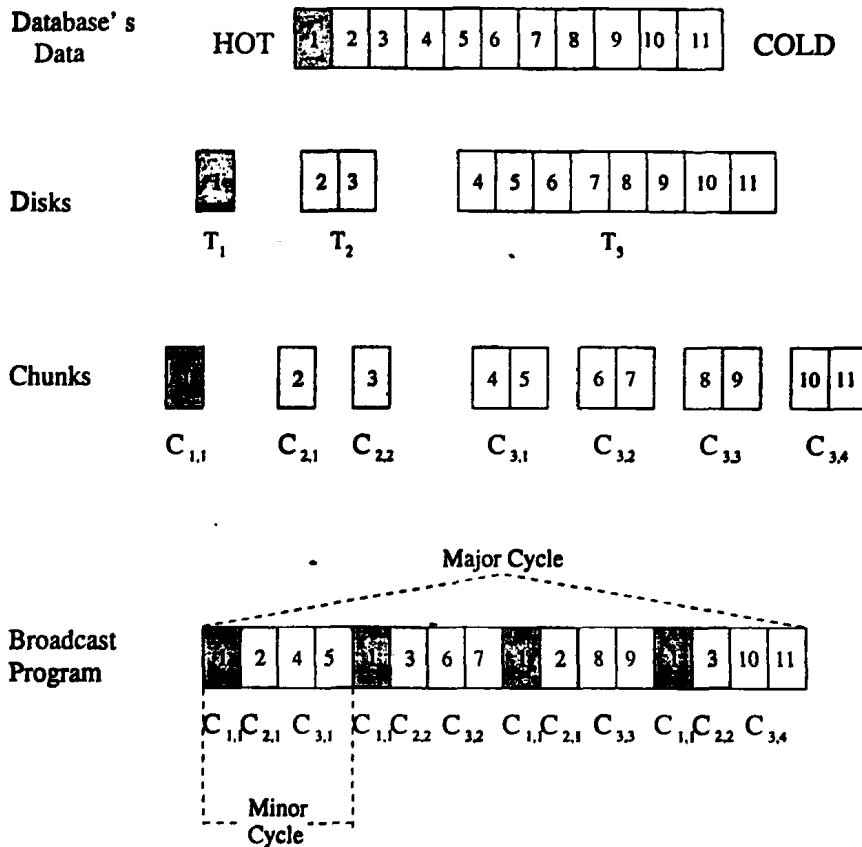
$$\begin{aligned} Num\_Chunks(1) &= 1, \\ Num\_Chunks(2) &= 2 \text{ και} \end{aligned}$$





$Num\_Chunks(3) = 4$ , ενώ  
 $Max\_Chunks = 4$ .

Παρατηρούμε ότι οι αλυσίδες διαφορετικών Δίσκων μπορούν να έχουν διαφορετικό μέγεθος. Το παραγόμενο Πρόγραμμα Εκπομπής αποτελείται από 4 Ελάχιστους Κύκλους (Minor Cycle), όπου 4 είναι το Ελάχιστο Κοινό Πολλαπλάσιο των σχετικών συχνοτήτων περιστροφής των Δίσκων. Μία πολύ σημαντική παρατήρηση είναι ότι κάθε Ελάχιστος Κύκλος περιέχει μία αλυσίδα από κάθε Δίσκο. Το παραγόμενο Πρόγραμμα προβλέπει 16 εκπομπές δεδομένων κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου (Major Cycle).



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα παραγωγής προγράμματος εκπομπής από τον εξυπηρέτη.

Αυτό το Πρόγραμμα Εκπομπής δημιουργεί μία ιεραρχία τριών επιπέδων, όπου ο  $T_1$  είναι ο μικρότερος και γρηγορότερος και ο  $T_3$  ο μεγαλύτερος και αργότερος Δίσκος. Ο παραπάνω τρόπος αντιστοιχίζεται στην παραδοσιακή έννοια της ιεραρχίας στη μνήμη, ότι δηλαδή τα δεδομένα που είναι πιο δημοφιλή στους από τους χρήστες θα πρέπει να είναι πιο άμεσα προσπελάσιμα από αυτούς σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Ο αλγόριθμος Εκπομπής Δίσκων παράγει ένα περιοδικό Πρόγραμμα Εκπομπής, όπου ο χρόνος άφιξης μεταξύ διαδοχικών δεδομένων είναι σταθερός. Αν στο βήμα 4 του παραπάνω αλγορίθμου δεν προκύπτει ακέραιος αριθμός από τη διαίρεση, τότε κάποιες Μονάδες Εκπομπής θα μείνουν



κενές. Αυτές οι Μονάδες δεν μένουν αχρησιμοποίητες αφού στη θέση τους εκπέμπονται πληροφορίες ελέγχου, όπως ευρετήρια, Λίστες Ακύρωσης ή ακόμη και πολύ δημοφιλή δεδομένα κ.α. Γενικά προσδοκούμε σε έναν μικρό αριθμό από Δίσκους (από 2 μέχρι 5) και στο ότι ο αριθμός των δεδομένων θα είναι σημαντικά μεγαλύτερος ώστε οι αχρησιμοποίητες Μονάδες Εκπομπής (αν υπάρχουν) να αποτελούν ένα πολύ μικρό τμήμα του Κύκλου.

Το μοντέλο Εκπομπής Δίσκων είναι απλό και επιτρέπει τη δημιουργία Προγραμμάτων Εκπομπής κοντά στις ανάγκες των πελατών. Υπάρχουν 3 παράμετροι οι οποίες επιτρέπουν στο Πρόγραμμα Εκπομπής να πλησιάσει τις ανάγκες των πελατών. Η πρώτη είναι ο αριθμός των Δίσκων. Καθορίζει τον αντίστοιχο αριθμό από διαφορετικές συχνότητες με τις οποίες τα δεδομένα θα εκπέμπονται. Η δεύτερη είναι ο αριθμός των δεδομένων κάθε Δίσκου και η τρίτη οι σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων ή ισοδύναμα, πόσο συχνά θα εκπέμπονται κατά μήκος ενός Κύκλου τα δεδομένα κάθε Δίσκου. Οι δύο τελευταίες καθορίζουν και το μέγεθος του Κύκλου. Για παράδειγμα αν προσθέσουμε ένα δεδομένο στον γρήγορο Δίσκο, τότε αυξάνουμε σημαντικά την καθυστέρηση με την οποία εμφανίζονται τα δεδομένα των πιο αργών Δίσκων. Διαισθητικά αναμένουμε ότι άτους γρήγορους Δίσκους τοποθετούνται πολύ λιγότερα δεδομένα από ότι στους αργότερους μολονότι το μοντέλο μας δεν επιβάλλει έναν τέτοιο περιορισμό.

Ο μόνος περιορισμός, όσον αφορά στις σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων, είναι ότι αυτές πρέπει να είναι θετικοί ακεραίοι. Μπορούμε για παράδειγμα να έχουμε δύο Δίσκους όπου ο πρώτος να περιστρέφεται 141 φορές για κάθε 98 περιστροφές του δεύτερου. Μια τέτοια αρχιτεκτονική οδηγεί σε ένα Πρόγραμμα Εκπομπής με πολύ μεγάλη περίοδο (περίπου 14000 περιστροφές για τον γρήγορο Δίσκο), ενώ παράλληλα ο αργός Δίσκος θα πρέπει να μπορεί να καταταμηθεί σε 141 αλυσίδες ίσου μεγέθους. Επιπλέον είναι μάλλον απίθανο ότι μία τέτοια αρχιτεκτονική μπορεί να καταλήξει σε ένα Πρόγραμμα Εκπομπής που να ταιριάζει περισσότερο στις ανάγκες των πελατών από ότι το Πρόγραμμα Εκπομπής που παράγεται από την πολύ πιο απλή αρχιτεκτονική με σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων ίσε με 2 προς 3. Κατά συνέπεια οι σχετικές συχνότητες περιστροφής πρέπει να επιλέγονται με προσοχή και να προσεγγίζονται σε όσο το δυνατόν πιο απλούς λόγους.

Μολονότι ο παραπάνω αλγόριθμος δημιουργεί Προγράμματα Εκπομπής με τις ιδιότητες που θέλουμε, δεν προβλέπει την αυτόματη επιλογή των τιμών των παραμέτρων έτσι ώστε να "ταιριάζει" το παραγόμενο Πρόγραμμα Εκπομπής στις ανάγκες μιας συγκεκριμένης ομάδας πελατών. Ο αυτόματος καθορισμός αυτών των παραμέτρων για συγκεκριμένο μοντέλο είναι ένα ενδιαφέρον πρόβλημα βελτιστοποίησης, η λύση του οποίου όμως δεν αποτελεί σκοπό αυτής της εργασίας.

## 2.2 Ενημερώσεις και Συνέπεια

Στο μοντέλο μας υποθέτουμε ότι οι ενημερώσεις στα δεδομένα της Βάσης προκαλούνται από δοσοληψίες που τρέχουν τοπικά στον εξυπηρέτη. Οι πελάτες μπορούν μόνο να διαβάσουν τα δεδομένα, όχι και να τα ενημερώνουν. Στο εξής όταν αναφερόμαστε σε δοσοληψίες του πελάτη θα εννοούμε δοσοληψίες οι οποίες επιτέλούν μόνον λειτουργίες ανάγνωσης.



<i>id_number</i>	<i>name</i>	<i>balance</i>
1	Joan	1000
2	Joe	1500
3	John	1000

Πίνακας 2.1: Τιμές των πλειάδων της Βάσης.

<i>id_number</i>	<i>name</i>	<i>balance</i>
1	Joan	500
2	Joe	1500
3	John	1500

Πίνακας 2.2: Τιμές των πλειάδων της Βάσης μετά την ενημέρωση.

Ένα μείζον θέμα που προκύπτει στα "push based" συστήματα είναι ότι δεν υπάρχει εγγύηση ότι οι δοσοληψίες του πελάτη διαβάζουν συνεπή δεδομένα αν στον εξυπηρέτη επιτρέπεται να αλλάζουν τιμή (ενημερώνονται). Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε εύκολα με ένα παράδειγμα. Έστω ότι έχουμε το παρακάτω σχήμα για μια Βάση Δεδομένων που διατηρεί πληροφορίες όπως τον αριθμό ταυτότητας *id\_number*, το όνομα *name* και το υπόλοιπο *balance* για τους λογαριασμούς των πελατών μιας τράπεζας, δηλαδή: *bank\_account(id\_number, name, balance)*. Έστω ότι τη χρονική στιγμή  $t_0$  στη Βάση υπάρχουν οι πληροφορίες που δίνονται στον Πίνακα 2.1 με τη μορφή πλειάδων και ότι ο εξυπηρέτης εκπέμπει τις πλειάδες με τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 2.1.

Έστω ότι μια δοσοληψία ενός πελάτη θέλει να μάθει πόσα χρήματα έχουν καταθέσει συνολικά οι πελάτες της τράπεζας. Αυτό που πρέπει να κάνει είναι να διαβάσει όλες τις πλειάδες που εκπέμπει ο εξυπηρέτης και να αθροίσει τις τιμές των πεδίων *balance* αυτών. Έστω τη χρονική στιγμή  $t_0$  ο εξυπηρέτης εκπέμπει την πρώτη πλειάδα της Βάσης, την οποία και διαβάζει επιτυχώς ο πελάτης. Τη χρονική στιγμή ( $t_1$ ) μία δοσοληψία στον εξυπηρέτη απαιτεί τη μεταφορά 500 μονάδων από το πεδίο *balance* της πρώτης πλειάδας στο πεδίο *balance* της τρίτης πλειάδας, οπότε η Βάση λαμβάνει το στιγμιότυπο που φαίνεται στον Πίνακα 2.2.

Ακολούθως ο εξυπηρέτης εκπέμπει και τις επόμενες 2 πλειάδες (χρονικές στιγμές  $t_2$  και  $t_3$ ) και συνεχίζει περιοδικά την εκπομπή των πλειάδων της Βάσης. Αν ο πελάτης διαβάσει επιτυχώς και τις πλειάδες  $t_2$  και  $t_3$ , τότε οι τιμές που διάβασε τις χρονικές στιγμές  $t_0$ ,  $t_2$  και  $t_3$  για το πεδίο *balance* είναι 1000, 1500 και 1500 αντίστοιχα και κατά συνέπεια επιστρέφει λανθασμένα ως αποτέλεσμα 4000 ενώ το σωστό είναι 3500.

Μολονότι στον εξυπηρέτη τα πάντα λειτουργούν ορθά (ισχύουν οι περιορισμοί ακεραιότητας), ο πελάτης "βλέπει" μία ασυνεπή Βάση. Παρόμοιες καταστάσεις ασυνέπειας μπορεί να προκύψουν κατά την εισαγωγή νέων δεδομένων στην Βάση καθώς και κατά τη διαγραφή παλιών. Με αυτές τις δύο περιπτώσεις δεν θα ασχοληθούμε εδώ. Εμπίπτουν όμως εύκολα στην περίπτωση των ενημερώσεων αν θεωρήσουμε ότι μια διαγραφή αντιστοιχεί στην ενημέρωση ενός δεδομένου έτσι ώστε



αυτό να αποκτήσει τελικά τιμή *NULL*, ενώ μια εισαγωγή αντιστοιχεί στην ενημέρωση ενός *NULL* δεδομένου έτσι ώστε αυτό τελικά να αποκτήσει κάποια τιμή.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι ενημερώσεις των δεδομένων της Βάσης λαμβάνουν χώρα στον εξυπηρέτη από δοσοληψίες που εκτελούνται τοπικά σε αυτόν, ενώ παράλληλα τα δεδομένα εκπέμπονται στο κανάλι. Από το προηγούμενο παράδειγμα είναι προφανές ότι προκύπτει πρόβλημα συνέπειας για τα δεδομένα που διαβάζουν οι δοσοληψίες. Αυτά πρέπει να ανταποκρίνονται στην ίδια κατάσταση της Βάσης (στο ίδιο δηλαδή στιγμιότυπο). Εναλλακτικά, ο πελάτης πρέπει να μπορεί να καταλαβαίνει από μόνος του τότε τα δεδομένα που διαβάζουν οι δοσοληψίες του δεν ανήκουν στο ίδιο στιγμιότυπο της Βάσης. Η έννοια της συνέπειας δεδομένων εξαρτάται από την εφαρμογή που θέλουμε να υλοποιήσουμε. Στα συστήματα Βάσεων Δεδομένων είναι στενά συνδεδεμένη με την *σειριοποίηση (serializability)* των δοσοληψιών, δηλαδή την υπόθεση ότι οι δοσοληψίες εκτελούνται έτσι ώστε το αποτέλεσμα στη Βάση μετά το πέρας όλων των δοσοληψιών να είναι το ίδιο με το αποτέλεσμα που θα προκαλούσε μία ακολουθιακή εκτέλεσή τους. Στην πραγματικότητα λίγες εφαρμογές απαιτούν πλήρη σειριοποίηση, ενώ μεγάλη προσπάθεια γίνεται για να ορισθούν πιά ευέλικτες μορφές συνέπειας. Η προσπάθεια επικεντρώνεται στο να χαλαρώσει κατά κάποιο τρόπο η απαίτηση για σειριοποίηση των δοσοληψιών ανάλογα με το μοντέλο. Σε περιβάλλοντα όπως αυτό που μας απασχολεί εδώ υπάρχει ένας αριθμός από επιλογές για τέτοια μοντέλα:

- *Πρόσφατη τιμή.* Οι δοσοληψίες του πελάτη πρέπει να διαβάζουν την πιο πρόσφατη τιμή του δεδομένου που επιθυμούν. Αυτό το επίπεδο συνέπειας θα μπορούσε να επιτευχθεί αν δεν υπήρχε τοπικός χώρος αποθήκευσης στον πελάτη και ο εξυπηρέτης εξέπεμπε πάντα τις πιο πρόσφατες τιμές των δεδομένων.
- *Ασαφής Αποθήκευση.* Συνέπεια μπορεί να οριστεί χρησιμοποιώντας περιορισμούς που καθορίζουν μία ανοχή στη μεταβολή των τιμών των δεδομένων. Παραδείγματα τέτοιων περιορισμών περιλαμβάνουν τιμές για τα δεδομένα οι οποίες πρέπει να είναι  $x\%$  μεγαλύτερες ή μικρότερες από την προηγούμενη τιμή του δεδομένου, ή έχουν δημιουργηθεί  $y$  λεπτά πριν από τη στιγμή που διαβάζονται. Αυτό το μοντέλο δίνει στους πελάτες τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα σε περιπτώσεις που δεν είναι σίγουροι για τη συνέπειά τους. Ακόμη δίνει τη δυνατότητα στον εξυπηρέτη να εκπέμπει πιο αραιά τις ενημερωμένες τιμές όταν του είναι γνωστοί περιορισμοί στον πελάτη.
- *Περιοδικό.* Οι τιμές των δεδομένων ενημερώνονται μόνο σε συγκεκριμένα διαστήματα. Σε ένα περιβάλλον Εκπομπής Δίσκων, τέτοια διαστήματα μπορεί να σχετίζονται άμεσα με τον Κύκλο ή με τους Ελάχιστους Κύκλους του Προγράμματος Εκπομπής. Αν οι πελάτες επιτρέπεται να αποθηκεύουν τοπικά δεδομένα, τότε είναι σίγουροι ότι αυτά τα δεδομένα θα είναι έγκυρα για το υπόλοιπο του διαστήματος κατά τη διάρκεια του οποίου διαβάστηκαν.
- *Οπορτουμιστικό.* Για ορισμένες εφαρμογές ή κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να είναι αποδεκτό ο πελάτης να διαβάζει οποιαδήποτε διαθέσιμη τιμή του επιθυμητού δεδομένου. Κάτι τέτοιο υλοποιείται επιτρέποντας στους πελάτες να διαβάζουν ελεύθερα δεδομένα από τον



τοπικό χώρο αποθήκευσής τους χωρίς να τους απασχολεί η συνέπεια. Μία τέτοια προσέγγιση εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα για εφαρμογές όπου μακροσκελείς διακοπές σύνδεσης από τον εξυπηρέτη είναι πιθανές. Σε ορισμένες περιπτώσεις το να διαβάζονται δεδομένα αμφισβητούμενης συνέπειας μπορεί να είναι προτιμότερο από το να μην έχουμε καθόλου πρόσβαση στα δεδομένα.

Σε αυτή την εργασία επικεντρωνόμαστε στο *Περιοδικό μοντέλο*. Οι αλλαγές στα δεδομένα εξαιτίας των ενημερώσεων συσσωρεύονται στον εξυπηρέτη και διαδίδονται στο δίκτυο μόνο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο τέτοιων συνεχόμενων χρονικών στιγμών ονομάζεται *διάστημα εμπιστοσύνης*. Κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης κάποια δεδομένα μπορεί να αλλάξουν τιμή. Η νέα τους τιμή όμως θα εκπεμφθεί από τον εξυπηρέτη στο επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης. Στο τρέχον θα εκπέμπεται η παλιά τιμή τους. Επιπλέον, πρέπει να παρέχουμε στις δοσοληψίες τα κατάλληλα *εργαλεία* ώστε να είναι σε θέση να γνωρίζουν αν "βλέπουν" μια συνεπή Βάση ή όχι. Στην πρώτη περίπτωση θα μπορούν να συνεχίσουν ομαλά τη λειτουργία τους, ενώ στη δεύτερη θα πρέπει να τη διακόψουν (*abort*). Αυτά τα *εργαλεία* είναι πρωτόκολλα τα οποία πρέπει να ακολουθούνται από τους πελάτες, τον εξυπηρέτη και τις δοσοληψίες των πελατών. Τα πρωτόκολλα αυτά ονομάζονται *τεχνικές ακύρωσης* και περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Το *Περιοδικό μοντέλο* ταιριάζει με την κυκλική συμπεριφορά των δίσκων εκπομπής. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως θεμέλιο πάνω στο οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε σειριοποιησιμα μοντέλα όπως αποδεικνύεται και στην εργασία *Datacycle* [8], [7].

## 2.3 Τοπικός Χώρος Αποθήκευσης

Στον τοπικό χώρο αποθήκευσής του ο πελάτης αποθηκεύει προσωρινά δεδομένα της Βάσης που ζητούν οι δοσοληψίες. Αν το δεδομένο που ζητά μια δοσοληψία είναι τοπικά αποθηκευμένο τότε η δοσοληψία μπορεί να το διαβάσει τοπικά και να συνεχίσει αναζητώντας το επόμενο δεδομένο για ανάγνωση. Αν το δεδομένο δεν είναι τοπικά αποθηκευμένο η δοσοληψία αναγκάζεται να το περιμένει να εκπεμφθεί. Μόλις αυτό συμβεί ο πελάτης θα πρέπει αφού το παράσχει στη δοσοληψία που το ζήτησε, να το αποθηκεύσει προσωρινά. Προφανώς ο χρόνος που η δοσοληψία περιμένει μέχρι να διαβάσει το δεδομένο είναι πολύ πιο μικρός όταν αυτό είναι τοπικά αποθηκευμένο από ότι όταν πρέπει να το περιμένει από το κανάλι. Η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών είναι παράμετρος προς ελαχιστοποίηση. Ο τοπικός χώρος αποθήκευσης μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη μείωση του μέσου χρόνου ζωής των δοσοληψιών.

Στην περίπτωση που ο τοπικός χώρος αποθήκευσης είναι γεμάτος, μία Πολιτική Αντικατάστασης χρησιμοποιείται από τον πελάτη προκειμένου να επιλεγεί ένα τοπικά αποθηκευμένο δεδομένο για να αντικατασταθεί. Στη θέση του αποθηκεύεται το νέο δεδομένο.

Το πρόβλημα που δημιουργείται με τον τοπικό χώρο αποθήκευσης παρουσία ενημερώσεων δεδομένων στη Βάση, είναι ότι κάποια από τα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα μπορεί να ενημερωθούν εν



τω μεταξύ στη Βάση και ως εκ τούτου οι τοπικά αποθηκευμένες τιμές τους δεν είναι ίδιες με τις αντίστοιχες στη Βάση. Επιθυμούμε ο πελάτης να διατηρεί τοπικά τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων. Για να συμβεί αυτό ο εξυπηρέτης στέλνει λίστες στις οποίες αναφέρει τα δεδομένα που ενημερώθηκαν. Τις λίστες αυτές τις ονομάζουμε *Λίστες Ακύρωσης*. Ο πελάτης μόλις λάβει μία Λίστα Ακύρωσης είτε απορρίπτει όσα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα αναφέρονται σ' αυτή είτε τα σημειώνει ούτως ώστε να τα αντικαταστήσει με τις νέες τους τιμές όταν αυτά εκπεμφθούν (auto-prefetching).

Στο σημείο αυτό θα ήταν σκόπιμο να κατηγοριοποιήσουμε σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια τις Λίστες Ακύρωσης που στέλνονται από Εξυπηρέτες.

- Ο τρόπος με τον οποίο ο εξυπηρέτης στέλνει τις *Λίστες Ακύρωσης*:

- *Ασύγχρονα.*

- Εδώ οι Λίστες Ακύρωσης εκπέμπονται αμέσως μετά τις αλλαγές στα δεδομένα της Βάσης. Ειδικότερα, η Λίστα μπορεί να περιέχει το όνομα του δεδομένου που άλλαξε. Γενικά μπορεί να έχει επιπλέον πληροφορίες σχετικά με άλλα δεδομένα όπως χρονόσημα των πιο πρόσφατων αλλαγών τους.

- *Σύγχρονα.*

- όπου οι Λίστες Ακύρωσης εκπέμπονται περιοδικά.

- Τι πληροφορία υπάρχει στις *Λίστες Ακύρωσης*:

- *Βασισμένη στην κατάσταση της Βάσης*

- Λίστες που περιέχουν πληροφορίες για τις τιμές των δεδομένων της Βάσης. Για παράδειγμα, μία Λίστα βασισμένη στην κατάσταση μπορεί να δώσει τιμές των δεδομένων που έχουν αλλάξει από την εκπομπή της τελευταίας Λίστας.

- *Βασισμένη στην ιστορία των τιμών των δεδομένων της Βάσης*

- Λίστες που περιέχουν πληροφορίες για το πότε οι τιμές των δεδομένων ενημερώθηκαν. Για παράδειγμα, μία Λίστα βασισμένη στην ιστορία των τιμών των δεδομένων μπορεί να περιέχει τις ταυτότητες των δεδομένων που ενημερώθηκαν κατά τα τελευταία  $w$  δευτερόλεπτα (όπου  $w$  είναι μία παράμετρος) και τα χρονόσημα των τελευταίων τους ενημερώσεων.

- Ο τρόπος με τον οποίο οργανώνεται η πληροφορία στη *Λίστα Ακύρωσης*:

- *Μη συμπιεσμένη*

- Οι Λίστες περιέχουν πληροφορίες για κάθε δεδομένο ξεχωριστά. Για παράδειγμα μία μη συμπιεσμένη Λίστα μπορεί να περιέχει τις τιμές των δεδομένων που άλλαξαν από την εκπομπή της τελευταίας Λίστας.



– Συμπιεσμένη

Οι Λίστες μπορεί να περιέχουν πληροφορίες για υποσύνολα των δεδομένων. Για παράδειγμα μία συμπιεσμένη Λίστα μπορεί να περιέχει πληροφορίες για ενημερώσεις χρησιμοποιώντας κατηγορήματα όπως "υπήρξε μία ενημέρωση στην ώρα αναχώρησης σε μία ή περισσότερες από τις πτήσεις που κατευθύνονται ανατολικά".

Οι Λίστες Ακύρωσης που θεωρούμε για το μοντέλο μας είναι, σύμφωνα με τα παραπάνω, *Σύγχρονες* (γιατί στέλνονται στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης), *Βασισμένες στην ιστορία των τιμών των δεδομένων της Βάσης* (γιατί περιέχουν τις ταυτότητες των δεδομένων που ενημερώθηκαν από την αποστολή της προηγούμενης Λίστας Ακύρωσης) και *μη Συμπιεσμένες* (γιατί για κάθε δεδομένο που ενημερώθηκε υπάρχει και μία ξεχωριστή εγγραφή η οποία πιστοποιεί ότι το δεδομένο ενημερώθηκε).

Τέλος, αν περισσότερα από τα μισά δεδομένα της Βάσης ενημερωθούν κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης, τότε μπορούμε να μειώσουμε τον όγκο της λίστας ως εξής. Στέλνουμε μία εγγραφή για κάθε δεδομένο που δεν ενημερώθηκε και την ένδειξη *inverse* (μεγέθους 1 bit) ίση με 1. Όταν *inverse* = 1 τότε υποδηλώνεται ότι στην παρούσα Λίστα Ακύρωσης αναφέρονται όλα τα δεδομένα της Βάσης που δεν έχουν ενημερωθεί, ενώ όταν *inverse* = 0 υποδηλώνεται ότι τα δεδομένα που αναφέρονται στη Λίστα Ακύρωσης είναι ακριβώς τα δεδομένα που έχουν ενημερωθεί. Έτσι, η Λίστα Ακύρωσης ποτέ δεν μπορεί να γίνει μεγαλύτερη σε μέγεθος από:  $N/2[\text{εγγραφές}] + 1[\text{bit}]$ , όπου  $N$  ο αριθμός των δεδομένων της Βάσης.



## Κεφάλαιο 3

# Τεχνικές Ακύρωσης

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα πρωτόκολλα που πρέπει να ακολουθούν οι δοσοληψίες του πελάτη προκειμένου να "βλέπουν" μια συνεπή Βάση. Τα πρωτόκολλα αυτά, που ονομάζονται *τεχνικές ακύρωσης*, επιβάλλουν τον βίαιο τερματισμό (*abort*) των δοσοληψιών εκείνων που διαβάζουν δεδομένα από διαφορετικές καταστάσεις της Βάσης και ως εκ τούτου βρίσκονται σε ασυνεπή κατάσταση. Επιτρέπουν παράλληλα τον ομαλό τερματισμό της λειτουργίας των υπολοίπων (*commit*). Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι από το μοντέλο μας μπορεί να τίθεται η απαίτηση όλες οι δοσοληψίες να τερματίζουν τη λειτουργία τους. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να επανεκκινούνται οι δοσοληψίες στις οποίες επιβλήθηκε διακοπή.

### 3.1 Μέθοδος Χρονοσήμων

Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, κάθε εκπεμπόμενο δεδομένο συνοδεύεται από ένα χρονόσημο (*timestamp*). Το χρονόσημο αυτό ισούται με το διάστημα εμπιστοσύνης στην αρχή του οποίου το δεδομένο είχε την αντίστοιχη τιμή. Αν για παράδειγμα κατά τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης  $v_0$  το δεδομένο  $i$  άλλαξε τιμή, τότε αυτή η νέα του τιμή θα εμφανιστεί στο διάστημα εμπιστοσύνης  $v_0 + 1$  με χρονόσημο  $v_0 + 1$ .

Έστω μια δοσοληψία εκτελεί την πρώτη της λειτουργία ανάγνωσης κατά τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης  $v_0$ . Για κάθε επακόλουθη λειτουργία διαβάσματος, η δοσοληψία πρέπει να διαβάζει δεδομένα με χρονόσημο  $v$ , για τα οποία θα πρέπει να ισχύει  $v \leq v_0$ . Αν για κάποιο από τα δεδομένα που διαβάζει η δοσοληψία δεν ισχύει ο παραπάνω περιορισμός, τότε της επιβάλλεται βίαιη διακοπή (*abort*). Η παραπάνω τεχνική ονομάζεται *Μέθοδος Χρονοσήμων* και στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτήν ως *Versioning τεχνική ακύρωσης*. Η *Versioning* τεχνική ακύρωσης εγγυάται ότι οι τιμές των δεδομένων που διαβάζουν οι δοσοληψίες αντιστοιχούν στην κατάσταση της Βάσης Δεδομένων τη χρονική στιγμή  $v_0$ . Συνεπώς επιτρέπει τον ομαλό τερματισμό (*commit*) μόνο ορθών δοσοληψιών.

Με την τεχνική αυτή, κάθε δοσοληψία  $R$  διαβάζει τις τιμές εκείνες των δεδομένων που αντιστοιχούν στην κατάσταση της Βάσης στην αρχή του διαστήματος εμπιστοσύνης στο οποίο η  $R$  πραγματοποίησε την πρώτη της λειτουργία ανάγνωσης.





## 3.2 Μέθοδος Ακύρωσης

Άλλος ένας τρόπος για να επιτρέψουμε τον τερματισμό μόνο των ορθών δοσοληψιών που πραγματοποιούν μόνο λειτουργίες ανάγνωσης είναι να εκπέμπουμε σε προκαθορισμένα σημεία του Κύκλου μία Λίστα Ακύρωσης (*Invalidation List*). Σε αυτή τη λίστα αναφέρονται τα δεδομένα<sup>1</sup>, που έχουν ενημερωθεί από την εκπομπή της αμέσως προηγούμενης Λίστας Ακύρωσης. Οι Λίστες Ακύρωσης περιέχουν μόνο τις ταυτότητες των δεδομένων που έχουν αλλάξει τιμή. Κατά συνέπεια είναι πολύ μικρές σε μέγεθος και απαιτούν ανάλογο χώρο αποθήκευσης καθώς και ανάλογο εύρος ζώνης για την εκπομπή τους.

Ας υποθέσουμε ότι μία Λίστα Ακύρωσης εκπέμπεται στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης. Επιπλέον, στον πελάτη, κάθε ενεργή δοσοληψία  $R$  διατηρεί μία λίστα με τα δεδομένα που έχει διαβάσει μέχρι εκείνη τη στιγμή, έστω  $Read\_Set(R)$  η λίστα αυτή. Ο πελάτης διαβάζει τη Λίστα Ακύρωσης και τη συγκρίνει με το  $Read\_Set(R)$  κάθε ενεργής δοσοληψίας  $R$ . Επιβάλλει διακοπή σε όσες δοσοληψίες έχουν ήδη διαβάσει κάποιο από τα δεδομένα που εμφανίζονται στη Λίστα Ακύρωσης. Η παραπάνω τεχνική ονομάζεται *Μέθοδος Ακύρωσης* και στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτήν ως *Invalidationing τεχνική ακύρωσης*. Η *Invalidationing* τεχνική ακύρωσης επιτρέπει τον ομαλό τερματισμό (commit) μόνο ορθών δοσοληψιών που πραγματοποιούν μόνο λειτουργίες ανάγνωσης.

**Θεώρημα 1.** Η *Invalidationing* τεχνική επιτρέπει τον ομαλό τερματισμό μόνο ορθών δοσοληψιών του Πελάτη [20].

Με την τεχνική αυτή, κάθε δοσοληψία  $R$  διαβάζει τις τιμές εκείνες των δεδομένων που αντιστοιχούν στην κατάσταση της Βάσης στην αρχή του διαστήματος εμπιστοσύνης στο οποίο η  $R$  τερματίζει τη λειτουργία της.

## 3.3 Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων

Προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των δοσοληψιών που πραγματοποιούν μόνο λειτουργίες ανάγνωσης στις οποίες επιβάλλεται διακοπή, έχει προταθεί [20] μια μέθοδος γνωστή ως *Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων* (*Multiversioning*) και στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτήν ως MV τεχνική ακύρωσης. Η βασική ιδέα που ακολουθείται σε αυτή, είναι να διατηρούνται προσωρινά από τον εξυπηρέτη παλαιότερες εκδόσεις για κάθε δεδομένο, δηλαδή εκδόσεις με όλο και μικρότερα χρονόσημα. Οι εκδόσεις αυτές αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές του δεδομένου στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης και τα χρονόσημά τους στα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης. Είναι προφανές ότι αν κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης ένα δεδομένο δεν αλλάξει τιμή, τότε δεν λαμβάνει χώρα δημιουργία νέας έκδοσής του με χρονόσημο ίσο με το τρέχον διά-

<sup>1</sup>Θεωρούμε ότι κάθε δεδομένο έχει τη δική του ταυτότητα που το χαρακτηρίζει μονοσήμαντα.



στημα εμπιστοσύνης. Διατηρούνται όμως οι παλαιότερες εκδόσεις.

Ο εξυπηρέτης δεν εκπέμπει μόνο τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων, αλλά και κάποιες παλαιότερες, σύμφωνα με κάποιο Πρόγραμμα Εκπομπής. Ο αριθμός των διαφορετικών εκδόσεων που διατηρούνται για κάθε δεδομένο είναι ιδιότητα του εξυπηρέτη και θα αναφερόμαστε σε αυτόν με το σύμβολο  $K$ . Η συμπεριφορά του εξυπηρέτη καθώς και των δοσοληψιών μεταβάλλεται όταν αλλάζει η τιμή του  $K$ . Όταν λέμε ότι ο εξυπηρέτης διατηρεί  $K$  εκδόσεις, εννοούμε τις  $K$  πιο πρόσφατες εκδόσεις κάθε δεδομένου. Επιπλέον αυτό που ακολουθούμε εδώ είναι, οι παλιές εκδόσεις των δεδομένων να εκπέμπονται, εφόσον έχουν δημιουργηθεί εντός των προηγούμενων  $K$  Κύκλων. Ο περιορισμός αυτός δεν ισχύει προφανώς για την πιο πρόσφατη έκδοση, όσο παλιά και αν είναι αυτή. Με αυτή την τροποποίηση, ο εξυπηρέτης χρειάζεται μικρότερους χώρους αποθήκευσης.

Έστω  $v_0$  το διάστημα εμπιστοσύνης κατά τη διάρκεια του οποίου η δοσοληψία  $R$  εκτελεί την πρώτη της λειτουργία ανάγνωσης. Κατά τη διάρκεια του  $v_0$ , η  $R$  διαβάζει τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων που επιθυμεί, δηλαδή αυτές με τα μεγαλύτερα χρονόσημα. Για τις επόμενες λειτουργίες διαβάσματος, η  $R$  διαβάζει δεδομένα με εκδόσεις  $v_c$ , όπου θα πρέπει  $v_c \leq v_0$ . Αν μια τέτοια έκδοση για το δεδομένο που η  $R$  επιθυμεί να διαβάσει δεν είναι διαθέσιμη στο δίκτυο εκπομπής, τότε της επιβάλλεται τερματισμός. Διαφορετικά μπορεί να συνεχίσει ομαλά.

**Θεώρημα 2.** Η  $MV$  τεχνική επιτρέπει τον ομαλό τερματισμό μόνο ορθών δοσοληψιών του πελάτη [20].

### 3.4 Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων με Ακύρωση

Αν σε συνδυασμό με την  $MV$  τεχνική είναι διαθέσιμες και Λίστες Ακύρωσης, τότε μπορούμε να δημιουργήσουμε μια παραλλαγή της  $MV$  τεχνικής, η οποία ονομάζεται *Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων με Ακύρωση (Multiversioning with Invalidation)* και στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτήν ως  $MVI$  τεχνική ακύρωσης. Επίσης θα αναφερόμαστε στις τεχνικές  $MV$  και  $MVI$  ως *Multiversioning* τεχνικές.

Σύμφωνα με αυτή την παραλλαγή, μια δοσοληψία  $R$  διαβάζει τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων διατηρώντας στο  $Read\_Set(R)$  τα δεδομένα που διαβάζει. Έστω  $v_i$  το διάστημα εμπιστοσύνης κατά το οποίο η  $R$  ακυρώνεται για πρώτη φορά, δηλαδή ένα δεδομένο που η  $R$  έχει ήδη διαβάσει, άλλαξε τιμή και συνεπώς εμφανίζεται στη Λίστα Ακύρωσης. Από τη στιγμή αυτή και μετά η  $R$  διαβάζει τις εκδόσεις εκείνες των δεδομένων με το μεγαλύτερο χρονόσημο  $v_c$  για το οποίο ισχύει  $v_c < v_i$ . Αν μια τέτοια έκδοση είναι διαθέσιμη, τότε η  $R$  συνεχίζει ομαλά, διαφορετικά της επιβάλλεται διακοπή.

**Θεώρημα 3.** Η  $MVI$  τεχνική ακύρωσης επιτρέπει τον ομαλό τερματισμό μόνο ορθών δοσοληψιών του πελάτη [20].



### 3.4.1 Εκπομπή Πολλαπλών Εκδόσεων

Το βασικό ερώτημα στο οποίο πρέπει να απαντήσει κανείς όσον αφορά τις MV και MVI τεχνικές ακύρωσης είναι σε ποιο σημείο του προγράμματος εκπομπής θα εκπέμπονται οι παλιότερες εκδόσεις και με ποια συχνότητα. Τρία είναι τα σχήματα που έχουν προταθεί [20].

#### 1. Ομαδοποίηση

Ο πρώτος τρόπος για να οργανώσουμε την εκπομπή είναι να εκπέμπουμε όλες τις εκδόσεις κάθε δεδομένου διαδοχικά. Οι παλιότερες εκδόσεις ενός δεδομένου τοποθετούνται στον ίδιο Δίσκο που υπάρχει και η πιο πρόσφατη έκδοση αυτού του δεδομένου. Συνεπώς οι εκδόσεις των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων δεδομένων τοποθετούνται σε γρήγορους Δίσκους, ενώ οι παλιές εκδόσεις των λιγότερο χρησιμοποιούμενων δεδομένων τοποθετούνται σε πιο αργούς Δίσκους. Το μέγεθος του κάθε Δίσκου και το μέγεθος των αλυσίδων του αυξάνεται. Ο αριθμός όμως των αλυσίδων κάθε Δίσκου παραμένει αμετάβλητος.

Η αύξηση του μεγέθους του Κύκλου εξαρτάται από το κατά πόσο τα δεδομένα που ενημερώνονται πιο συχνά είναι αυτά που χρησιμοποιούνται πιο συχνά επίσης. Η αύξηση αυτή γίνεται μέγιστη όταν τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα δεδομένα είναι και αυτά που ενημερώνονται πιο συχνά.

Τα δεδομένα εξακολουθούν να εκπέμπονται από τους ίδιους Δίσκους και αλυσίδες, αλλά η σχετική τους θέση μέσα σε αυτά αλλάζει εξαιτίας της επαύξησης του μεγέθους των αλυσίδων. Μία επιλογή είναι να εκπέμπουμε τις παλιές εκδόσεις σε συγκεκριμένα σημεία μέσα σε κάθε αλυσίδα, για παράδειγμα στο τέλος της.

#### 2. Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου

Σύμφωνα με αυτή την εκδοχή, οι παλιότερες εκδόσεις όλων των δεδομένων της Βάσης εκπέμπονται στο τέλος κάθε Κύκλου. Για να είναι σε θέση οι πελάτες να γνωρίζουν το ακριβές σημείο που εκπέμπεται μια παλιά έκδοση ενός δεδομένου ο εξυπηρέτης μπορεί να εκπέμψει ένα ευρετήριο για τις παλιότερες εκδόσεις με την ακριβή τους θέση μέσα στο Πρόγραμμα Εκπομπής, πριν αρχίσει να τις εκπέμψει. Ο εξυπηρέτης δεν χρειάζεται στην αρχή κάθε Κύκλου να υπολογίζει εκ νέου το ευρετήριο για ολόκληρο τον Κύκλο (όπως συμβαίνει στην Ομαδοποίηση), αλλά μόνο για το κομμάτι που αφορά τις παλιότερες εκδόσεις. Αυτό το κομμάτι το προσαρτά στο ευρετήριο που έχει ήδη υπολογίσει για τις πιο πρόσφατες εκδόσεις προκειμένου να σχηματίσει το ευρετήριο για ολόκληρο τον Κύκλο.

Στο σχήμα *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου*, οι δισοληψίες που θέλουν να διαβάσουν παλιότερες εκδόσεις επιβαρύνονται να τις περιμένουν στο τέλος κάθε Κύκλου. Οι δισοληψίες όμως που αναζητούν πρόσφατες εκδόσεις δεν υποφέρουν από αυτή την επιβάρυνση. Στο σχήμα *Ομαδοποίηση* η επιβάρυνση στην καθυστέρηση που υφίστανται οι δισοληψίες είναι ομοιόμορφα μοιρασμένη σε όλες τις δισοληψίες ανεξάρτητα από το αν διαβάζουν πρόσφατες ή παλιότερες εκδόσεις.



### 3. Νέος Δίσκος

Με αυτήν την εκδοχή, ένας νέος Δίσκος δημιουργείται και τοποθετούνται σε αυτόν όλες οι παλιότερες εκδόσεις. Οι σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων με τις πιο πρόσφατες εκδόσεις διατηρούνται ως έχουν πολλαπλασιάζοντάς τες με έναν ακέραιο τελεστή  $m$ , έτσι ώστε ο νέος Δίσκος με τις παλιές εκδόσεις να είναι  $m$  φορές αργότερος από τον πιο αργό Δίσκο με πρόσφατες εκδόσεις. Έστω για παράδειγμα ότι έχουμε μία αρχιτεκτονική δίσκων εκπομπής με 3 Δίσκους για τις πρόσφατες εκδόσεις, με συχνότητες περιστροφής: 4 για τον Δίσκο<sub>1</sub>, 2 για τον Δίσκο<sub>2</sub> και 1 για τον Δίσκο<sub>3</sub>. Δημιουργούμε έναν νέο Δίσκο, έστω τον Δίσκο<sub>4</sub>, στον οποίο τοποθετούμε τις παλιές εκδόσεις. Έστω ότι θέλουμε οι πιο πρόσφατες εκδόσεις να εκπέμπονται 3 φορές πιο συχνά από τις παλιές ( $m = 3$ ). Τότε οι σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων λαμβάνουν τις εξής τιμές: 12 για τον Δίσκο<sub>1</sub>, 6 για τον Δίσκο<sub>2</sub> 3 για τον Δίσκο<sub>3</sub> και 1 για τον Δίσκο<sub>4</sub>. Με αυτό τον τρόπο το μέγεθος του Κύκλου επίσης πολλαπλασιάζεται κατά  $m$ .

Προκειμένου να εντοπίζουν τις παλιότερες εκδόσεις οι πελάτες μέσα στον Κύκλο μπορούν να διατηρούνται δείκτες από το σημείο που εκπέμπεται η πιο πρόσφατη έκδοση ενός δεδομένου προς το σημείο που εκπέμπονται οι παλιές του εκδόσεις.



## Κεφάλαιο 4

# Βελτιώσεις στις Τεχνικές Ακύρωσης

Στην ενότητα αυτή προτείνουμε κάποια τεχνάσματα που προέκυψαν από τη δουλειά μας για να βελτιώσουμε την απόδοση των τεχνικών ακύρωσης προς δύο κατευθύνσεις:

1. Μείωση του ρυθμού απόρριψης των δοσοληψιών.
2. Μείωση του μέσου χρόνου ζωής των δοσοληψιών.

Όπως θα φανεί και από τα επόμενα, αυτά τα δύο μεγέθη (ρυθμός απόρριψης και μέσος χρόνος ζωής) είναι αντικρουόμενα. Συνεπώς είναι πολύ δύσκολο να μειώσουμε το ένα και το δεύτερο να μην αυξηθεί.

### 4.1 Ευρετήριο

Στις MV και MVI τεχνικές, οι πελάτες αντιμετωπίζουν ορισμένα προβλήματα προκειμένου να εντοπίσουν και να παρέχουν στις τοπικές δοσοληψίες τις κατάλληλες εκδόσεις των δεδομένων που αναζητούν. Στα παραδείγματα που ακολουθούν περιγράφονται ορισμένα από αυτά τα προβλήματα:

**Παράδειγμα 1.** Έστω ότι διανύουμε το διάστημα εμπιστοσύνης  $B+1$  και μια δοσοληψία αναζητά την έκδοση του δεδομένου  $P$ , η οποία είναι μικρότερη ή ίση από  $B$ . Έστω επίσης ότι στο τρέχον διάστημα εμπιστοσύνης είναι διαθέσιμες οι εκδόσεις  $B+1$ ,  $B-1$  και  $B-2$  του  $P$  και αυτές εμφανίζονται στο κανάλι διαδοχικά με πρώτη την μεγαλύτερη και τελευταία την μικρότερη. Αν η αίτηση της δοσοληψίας γεννηθεί λίγο πριν την εκπομπή της  $B-1$  έκδοσης του  $P$ , τότε ο πελάτης δεν μπορεί να γνωρίζει αν εκπέμπεται η έκδοση  $B$  του  $P$ . Στο παράδειγμά μας δεν υπάρχει έκδοση  $B$  και έτσι ο πελάτης θα πρέπει να δώσει στην δοσοληψία την μεγαλύτερη εκπεμπόμενη έκδοση του  $P$  που είναι μικρότερη από  $B$ , δηλαδή την  $B-1$ . Τη στιγμή όμως που γεννιέται η αίτηση ο πελάτης δεν μπορεί να αποφανθεί αν πρέπει να δώσει στη δοσοληψία την  $B-1$  ή πρέπει να περιμένει για την  $B$ . Αναγκάζεται λοιπόν να περιμένει



παρακολουθώντας το κανάλι, έως ότου εκπεμφθεί η  $B$  έκδοση του  $P$ , ή βεβαιωθεί ότι η  $B - 1$  έκδοση είναι αυτή που η δοσοληψία πρέπει να διαβάσει. Όμως, ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών αυξάνεται σε αυτή την περίπτωση.

Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η εξής. Αν για κάθε εκπεμπόμενο δεδομένο  $P$  ο πελάτης διατηρεί στον τοπικό χώρο αποθήκευσης προσωρινά την έκδοση και την ταυτότητα του δεδομένου που εκπέμφθηκε πριν από το  $P$ , τότε στο παράδειγμά μας θα γνώριζε ότι το αμέσως προηγούμενο εκπεμπόμενο δεδομένο ήταν το  $P$  με έκδοση  $B + 1$ . Συνεπώς θα καταλάβαινε ότι δεν είναι διαθέσιμη η έκδοση  $B$  και ως εκ τούτου θα επέστρεφε αμέσως την  $B - 1$  έκδοση του  $P$  στην δοσοληψία. Αυτή η λύση όμως δεν βοηθά στην επίλυση δύο πολύ πιο σοβαρών προβλημάτων, τα οποία περιγράφουμε στα επόμενα δύο παραδείγματα.

**Παράδειγμα 2.** Ας θεωρήσουμε την περίπτωση όπου οι διαθέσιμες εκδόσεις για το  $P$  στο τρέχον διάστημα εμπιστοσύνης είναι οι  $B - 1$  και  $B - 2$  και επιπλέον η  $B - 1$  είναι αποθηκευμένη στον τοπικό χώρο αποθήκευσης του πελάτη. Έστω ότι γεννάται από μία δοσοληψία αίτηση για ανάγνωση της μεγαλύτερης έκδοσης του  $P$  που είναι μικρότερη ή ίση από  $B$ . Ο πελάτης δεν μπορεί να αποφανθεί ότι η ζητούμενη έκδοσή είναι η  $B - 1$  και όχι η  $B$ . Κατά συνέπεια δεν εκμεταλλεύεται επαρκώς τον τοπικό χώρο αποθήκευσής του προκειμένου να απαντήσει άμεσα στην δοσοληψία επιστρέφοντάς της την έκδοση  $B - 1$ , αλλά περιμένει όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα να ακούσει την  $B$  από το κανάλι ή να διαπιστώσει ότι πρέπει να απαντήσει με την  $B - 1$  στην δοσοληψία.

**Παράδειγμα 3.** Έστω ότι εκπέμπονται οι εκδόσεις  $B$  και  $B - 1$  του δεδομένου  $P$  στο τρέχον διάστημα εμπιστοσύνης και ότι η δοσοληψία  $X$  αιτείται την έκδοση του  $P$  που είναι μικρότερη ή ίση από  $B - 2$ . Ο πελάτης δεν μπορεί εκ των προτέρων να γνωρίζει αν η  $B - 2$  έκδοση του  $P$  είναι διαθέσιμη στο κανάλι. Κατά συνέπεια θα πρέπει να παρακολουθήσει το κανάλι μέχρι να διαπιστώσει ότι η ζητούμενη έκδοση, ή κάποια μικρότερή της, δεν εκπέμπεται πλέον και να μπορέσει να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία της  $X$ . Το ίδιο πρόβλημα αντιμετωπίζει και στην περίπτωση που η Versioning τεχνική ακύρωσης χρησιμοποιείται, ο πελάτης θα πρέπει να περιμένει αρκετές Μονάδες Εκπομπής παρακολουθώντας το κανάλι για να μάθει αν η έκδοση του δεδομένου που ζητά μια δοσοληψία μπορεί να της παραχωρηθεί ή θα πρέπει να της επιβληθεί τερματισμός. Αν στο μοντέλο μας οι δοσοληψίες επανεκκινούνται αμέσως μετά την επιβολή διακοπής στη λειτουργία τους, η καθυστέρηση, με την οποία επιβαρύνονται εξαιτίας της δυσχέρειας του πελάτη να λάβει άμεσα απόφαση για το αν πρέπει μία δοσοληψία να συνεχίσει ή να επανεκκινηθεί, είναι σημαντική.

Προτείνουμε ο εξυπηρέτης να παρέχει στον πελάτη την πληροφορία εκείνη που θα καταστήσει τον πελάτη ικανό να επιλύει γρήγορα και αποτελεσματικά προβλήματα όπως τα παραπάνω. Αυτή η πληροφορία οργανώνεται με τη μορφή ευρετηρίου, το οποίο στέλνεται στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης, και ενημερώνει τον πελάτη για τις εκδόσεις των δεδομένων που θα εμφανιστούν στο διάστημα εμπιστοσύνης που ακολουθεί. Μπορεί κανείς να φανταστεί το ευρετήριο αυτό σαν ένα μονοδιάστατο πίνακα λιστών, όπου για κάθε δεδομένο της Βάσης θα υπάρχει μια στήλη με



την ταυτότητά του και μία λίστα με τις εκδόσεις αυτού που θα εκπεμφθούν στο άμεσα επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης. Αυτό το ευρετήριο ο πελάτης το αποθηκεύει τοπικά ώστε να το έχει στη διάθεσή του όποτε το χρειαστεί και ασφαλώς το ανανεώνει με τη νέα του έκδοση στην αρχή του επόμενου διαστήματος εμπιστοσύνης. Οποτεδήποτε μία αίτηση γεννηθεί από μία δοσοληψία για την μεγαλύτερη έκδοση ενός δεδομένου  $P$  που είναι μικρότερη ή ίση με  $B$ , ο πελάτης συμβουλευόμενος το ευρετήριο θα γνωρίζει άμεσα αν θα πρέπει να αντλήσει την απάντηση από τον τοπικό χώρο αποθήκευσης ή αν θα πρέπει να περιμένει να του έρθει η απάντηση από το κανάλι ή αν θα πρέπει να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία της και να επανεκκινήσει την δοσοληψία.

Συγκρίνοντας το απλό μοντέλο και το μοντέλο με χρήση ευρετηρίου μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα όταν χρησιμοποιείται το ευρετήριο:

### 1. Μειονεκτήματα:

- Ο εξυπηρέτης στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης θα πρέπει να κατασκευάζει και το ευρετήριο παράλληλα με το Πρόγραμμα Εμπομής. Επίσης ο πελάτης, κάθε φορά που μία αίτηση για ανάγνωση κάποιας έκδοσης ενός δεδομένου δημιουργείται, θα πρέπει να αντλήσει από το ευρετήριο την πληροφορία που θα του επιτρέψει να αποφασίσει τι θα πράξει στη συνέχεια. Πελάτης και εξυπηρέτης επιβαρύνονται με επιπλέον λειτουργίες και έτσι αυξάνεται εκατέρωθεν το υπολογιστικό κόστος.
- Το ευρετήριο, όντας πληροφορία, καταλαμβάνει όγκο. Κατά την εκπομπή του απαιτείται κάποιο εύρος ζώνης. Έτσι, αυξάνεται ο χρόνος που διαρκεί ένα διάστημα εμπιστοσύνης. Επίσης ο πελάτης πρέπει να αφιερώσει κάποιο κομμάτι του τοπικού χώρου αποθήκευσης του προκειμένου να διατηρεί το ευρετήριο τοπικά. Προκειμένου να εξοικονομήσει αυτό το χώρο, πρέπει να περιορίσει τον αριθμό των δεδομένων που διατηρεί τοπικά. Η χωρητικότητα του τοπικού χώρου αποθήκευσης του πελάτη μειώνεται.

### 2. Πλεονεκτήματα:

- Το μέγεθος του ευρετηρίου μπορεί να θεωρηθεί μικρό σε σχέση με τον μέγεθος ενός δεδομένου λόγω της φύσης της πληροφορίας που περιέχει (Ταυτότητες και αριθμούς εκδόσεων των δεδομένων). Συνεπώς, είναι μικρό το εύρος ζώνης που απαιτείται για την εκπομπή του. Μικρός είναι και ο χώρος αποθήκευσης που απαιτείται από τον πελάτη για να το διατηρήσει τοπικά.
- Η δομή του ευρετηρίου είναι απλή. Κατά συνέπεια μικρός είναι και ο χρόνος που απαιτείται για την κατασκευή του από τον εξυπηρέτη. Μπορεί να το δημιουργεί παράλληλα με το Πρόγραμμα Εμπομής. Επίσης μικρός είναι και ο χρόνος που απαιτείται από τον πελάτη για να αντλήσει από αυτό την πληροφορία που χρειάζεται.
- Ο πελάτης διαπιστώνει γρήγορα αν πρέπει να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία μιας δοσοληψίας ή όχι. Στην περίπτωση που πρέπει να επανεκκινήσει τις δοσοληψίες στις



οποίες επιβάλλει διακοπή, η μείωση του μέσου χρόνου ζωής των δοσοληψιών είναι σημαντική. Άρα σε αυτή την περίπτωση το ευρετήριο βοηθά στην άμεση επανεκκίνηση των δοσοληψιών.

- Ο πελάτης μαθαίνει αμέσως από το ευρετήριο ποια ακριβώς έκδοση ψάχνει μία δοσοληψία όταν του ζητήσει τη μεγαλύτερη έκδοση του δεδομένου  $P$ , η οποία είναι μικρότερη ή ίση του  $B$ . Αν η κατάλληλη έκδοση υπάρχει αποθηκευμένη τοπικά ή εκπέμπεται τη στιγμή που διατυπώνεται η αίτηση, ο πελάτης μπορεί αμέσως να την αντλήσει και να την προμηθεύσει στην δοσοληψία που τη ζήτησε. Δεν χρειάζεται να παρακολουθεί το κανάλι για να μάθει από εκεί ποια είναι η κατάλληλη έκδοση. Άρα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση του τοπικού χώρου αποθήκευσης και του καναλιού.

Στην περίπτωση που το ευρετήριο χρησιμοποιείται μόνο για να λυθεί η δυσχέρεια του πελάτη να λάβει άμεσα απόφαση σχετικά με το αν θα πρέπει να επιβάλλει ή όχι διακοπή σε μία δοσοληψία (η οποία ζητά έκδοση δεδομένου που δεν είναι πλέον διαθέσιμη στο κανάλι), το ευρετήριο μπορεί να περιορισθεί και να μην αναφέρει όλες τις εκδόσεις των δεδομένων που εκπέμπονται στο επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης, αλλά μόνο τις μικρότερες εκδόσεις για κάθε δεδομένο. Με αυτό τον τρόπο πάλι βεβαιώνεται ότι ο πελάτης θα επιβάλλει άμεση διακοπή στη λειτουργία όσων δοσοληψιών αναμένουν έκδοση δεδομένου η οποία δεν είναι πλέον διαθέσιμη στο κανάλι, όμως το μέγεθος του ευρετηρίου περιορίζεται αφού αποτελείται από λιγότερες εγγραφές (μία για κάθε δεδομένο της Βάσης).

Θα πρέπει να αναφέρουμε επίσης ότι το ευρετήριο μπορεί να εκπέμπεται *αυξητικά*. Για παράδειγμα αν κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης γίνει μόνο μία ενημέρωση πάνω σε κάποιο δεδομένο της Βάσης τότε το ευρετήριο για το νέο διάστημα εμπιστοσύνης διαφέρει από το παλιό κατά μία μόνο εγγραφή. Ο εξυπηρέτης δεν χρειάζεται να το ξαναστείλει ολόκληρο καταλαμβάνοντας άσκοπα εύρος ζώνης για να στείλει πληροφορία που ο πελάτης έχει ήδη αποθηκευμένη τοπικά. Στέλνει μόνο τις διαφορές ανάμεσα στα δύο ευρετήρια και ο πελάτης κατασκευάζει το καινούργιο ευρετήριο τοπικά ενημερώνοντας κατάλληλα το παλιό ευρετήριο που διατηρεί. Με την *αυξητική* εκπομπή του ευρετηρίου εξοικονομείται εύρος ζώνης.

#### 4.1.1 Προσδιορισμός της Ταυτότητας της πιο Πρόσφατης Έκδοσης

Ας υποθέσουμε ότι η πιο πρόσφατη έκδοση του δεδομένου  $P$  είναι η έκδοση που είχε δημιουργηθεί πριν από 5 διαστήματα εμπιστοσύνης και ότι αυτή η έκδοση είναι αποθηκευμένη τοπικά ή εκπέμπεται τη στιγμή που η δοσοληψία  $R$  δηλώνει ότι επιθυμεί να διαβάσει την πιο πρόσφατη έκδοση του δεδομένου  $P$ . Να θυμίσουμε ότι οι δοσοληψίες διαβάζουν τα πιο πρόσφατα δεδομένα σε όλες τις λειτουργίες ανάγνωσης που επιτελούν εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης που πραγματοποίησαν την πρώτη τους λειτουργία ανάγνωσης. Ο πελάτης δεν μπορεί να γνωρίζει αν η έκδοση του  $P$ , που είναι τοπικά αποθηκευμένη ή εκπέμπεται, είναι η πιο πρόσφατη και ως εκ τούτου αναγκάζεται να περιμένει άσκοπα μέχρι να το διαπιστώσει από το κανάλι, όπως έχουμε περιγράψει και προηγουμένως. Μία λύση στο πρόβλημα είναι το *ευρετήριο*. Το *ευρετήριο* όμως περιέχει επιπλέον πληροφορία, αν επιθυμούμε ο πελάτης να μπορεί να γνωρίζει μόνο αν η πιο πρόσφατη έκδοση ενός





δεδομένου βρίσκεται τοπικά αποθηκευμένη ή εκπέμπεται. Σε αυτή την περίπτωση το ευρετήριο μπορεί να αντικατασταθεί από το εξής τέχνασμα.

Στην επικεφαλίδα κάθε δεδομένου που εκπέμπεται προσθέτουμε ένα πεδίο μεγέθους ενός *bit*, έστω *most\_recent* το όνομά του. Τιμή ίση με 1 δηλώνει ότι το παρόν δεδομένο είναι και το πιο πρόσφατο, ενώ 0 ότι πρόκειται για παλιότερη έκδοση. Ο πελάτης πλέον μπορεί να γνωρίζει αν μια έκδοση είναι η πιο πρόσφατη ή όχι. Επίσης σε κάθε νέο διάστημα εμπιστοσύνης θα πρέπει να κάνει τα *most\_recent* πεδία όλων των τοπικά αποθηκευμένων δεδομένων ίσα με 0 γιατί στην αρχή ενός διαστήματος εμπιστοσύνης δεν μπορεί να γνωρίζει ποιο δεδομένο εμφανίζεται με νέα έκδοση. Αυτό το μαθαίνει κατά τη διάρκεια του επόμενου Διαστήματος Εμπιστοσύνης, οπότε και φέρνει στον τοπικό χώρο αποθήκευσης τις πιο πρόσφατες εκδόσεις, θέτοντας το *most\_recent* πεδίο τους ίσο με 1. Το παραπάνω μπορεί να το αποφύγει αν είναι διαθέσιμες Λίστες Ακύρωσης, οπότε στην περίπτωση αυτή θέτει ίσα με 0 τα *most\_recent* πεδία μόνο των τοπικά αποθηκευμένων δεδομένων που αναφέρονται στην Λίστα Ακύρωσης.

Με αυτό το τέχνασμα, οι δοσοληψίες μπορούν να εκμεταλλευτούν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα τον τοπικό χώρο αποθήκευσης και το κανάλι όταν διαβάζουν δεδομένα στο διάστημα εμπιστοσύνης που πραγματοποίησαν την πρώτη τους λειτουργία ανάγνωσης. Προφανώς όταν χρησιμοποιείται ευρετήριο δεν χρειάζεται οι πιο πρόσφατες εκδόσεις κάθε δεδομένου να εξακριβώνουν την ταυτότητά τους με αυτό τον τρόπο γιατί ο πελάτης μπορεί να το κάνει μόνος του χρησιμοποιώντας πληροφορία του ευρετηρίου. Το συγκεκριμένο τέχνασμα όμως απαιτεί πολύ λιγότερο χώρο (*Server.DB.Size [bits]*) από ότι το ευρετήριο και βοηθά μόνό τις δοσοληψίες που εκτελούν λειτουργίες ανάγνωσης στο διάστημα εμπιστοσύνης που εκτέλεσαν την πρώτη τους λειτουργία ανάγνωσης. Είναι προφανώς πιο αποδοτικό να το χρησιμοποιήσουμε αντί του ευρετηρίου στην περίπτωση που εξ αρχής γνωρίζουμε ότι οι δοσοληψίες στο μοντέλο μας καταφέρνουν να διαβάσουν όλα τα δεδομένα που επιθυμούν εντός ενός διαστήματος εμπιστοσύνης.

## 4.2 Διαφορετικός Αριθμός Εκδόσεων για Δεδομένα Διαφορετικών Δίσκων

Στην παράγραφο αυτή προτείνουμε άλλο ένα τέχνασμα που βελτιώνει την απόδοση των Multiversioning και MVI τεχνικών ακύρωσης. Όπως έχουμε αναφέρει στις τεχνικές αυτές ο εξυπηρέτης διατηρεί και εκπέμπει για όλα τα δεδομένα της Βάσης, είτε τις  $K$  πιο πρόσφατες εκδόσεις τους, είτε τις εκδόσεις που δημιουργήθηκαν στα  $K$  πιο πρόσφατα διαστήματα εμπιστοσύνης.

Η πρότασή μας εδώ είναι να διατηρούνται και να εκπέμπονται από τον εξυπηρέτη περισσότερες εκδόσεις για δεδομένα που τοποθετούνται στον γρηγορότερο Δίσκο και διαδοχικά λιγότερες εκδόσεις για τα δεδομένα αργότερων Δίσκων ούτως ώστε το  $K$  να μην έχει την ίδια τιμή για όλα τα δεδομένα της Βάσης. Αν για παράδειγμα έχουμε 3 Δίσκους και το  $K$  έχει τιμή 5, μπορούμε εφαρμόζοντας το τέχνασμα που προτείνουμε να έχουμε  $K = 7$  για τα δεδομένα του γρηγορότερου Δίσκου 1,  $K = 3$  για τα δεδομένα του Δίσκου 2 και  $K = 2$  για τα δεδομένα του πιο αργού Δίσκου 3. Αυτό που πετυχαίνουμε τελικά είναι να εκπέμπονται στο κανάλι πιο πολλές εκδόσεις



των δεδομένων εκείνων που είναι πιο συχνά χρησιμοποιούμενα από τους πελάτες, ενώ παράλληλα λιγότερες για τα δεδομένα που είναι λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενα. Για να δούμε αν αυτός ο τρόπος βελτιώνει τελικά την απόδοση των Multiversioning τεχνικών και για να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα θα πρέπει να γνωρίζουμε με ποια συνάρτηση πιθανότητας ενημερώνονται τα δεδομένα στον εξυπηρέτη. Έχει σημασία αν τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα δεδομένα είναι αυτά που ενημερώνονται πιο συχνά επίσης ή όχι.

Όπως έχουμε αναφέρει στην παράγραφο 2.1, συνήθως στους γρήγορους Δίσκους τοποθετούνται σημαντικά λιγότερα δεδομένα από ότι στους πιο αργούς. Αν διατηρήσουμε το  $K$  σταθερό για τα δεδομένα όλων των Δίσκων τότε ο εξυπηρέτης χρειάζεται μεγαλύτερους χώρους αποθήκευσης για τις παλιές εκδόσεις των δεδομένων από ότι αν χρησιμοποιούμε διαφορετικό αριθμό εκδόσεων για τα δεδομένα διαφορετικών Δίσκων. Αν ακολουθήσουμε το σχήμα που προτείνουμε εδώ, μολοντί διατηρούμε περισσότερες εκδόσεις για τα δεδομένα των γρήγορων Δίσκων, διατηρούμε λιγότερες για τα δεδομένα των αργότερων Δίσκων. Κατά συνέπεια, συνολικά τείνουμε να μειώσουμε τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρεί ο εξυπηρέτης.

### 4.3 Διαστήματα Εμπιστοσύνης

Άλλο ένα θέμα, που αξίζει ιδιαίτερης μνείας, είναι η διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης που θεωρούμε στο μοντέλο μας. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ενώ οι δοσοληψίες στους πελάτες διαβάζουν δεδομένα, διεργασίες στον εξυπηρέτη αλλάζουν τις τιμές τους. Υπάρχει ένας αριθμός από λογικές επιλογές που μπορούν να γίνουν όσον αφορά την γενική αποδοχή των δεδομένων στο κανάλι σε σχέση με τις ενημερώσεις τους. Για παράδειγμα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εκπέμπονται οι τιμές εκείνες των δεδομένων, οι οποίες αντιστοιχούν στις πιο πρόσφατες τιμές τους στον εξυπηρέτη, δηλαδή στις τιμές που παρήχθησαν από όλες τις διεργασίες που ενημερώνουν δεδομένα στον εξυπηρέτη και έχουν τελειώσει ομαλά τη λειτουργία τους. Εναλλακτικά, οι ενημερώσεις στον εξυπηρέτη μπορούν να μην διοχετεύονται αμέσως στο κανάλι, αλλά μετά από καθορισμένα χρονικά διαστήματα, τα οποία ονομάζονται διαστήματα εμπιστοσύνης. Το μέγεθος αυτών των διαστημάτων μπορεί να είναι ίσο με έναν ή περισσότερους Κύκλους ή ακόμη και με κομμάτια ενός Κύκλου, όπως έναν ή περισσότερους *Ελάχιστους Κύκλους (Minor Cycle)*.

Συγκεκριμένα υποθέτουμε ότι όταν ένα δεδομένο πρόκειται να εμφανιστεί στο κανάλι, η τιμή με την οποία θα εκπεμφθεί, είναι αυτή που παράχθηκε από όλες τις διεργασίες που έχουν τελειώσει ομαλά τη λειτουργία τους στον εξυπηρέτη κατά τη διάρκεια του προηγούμενου διαστήματος εμπιστοσύνης. Η τιμή αυτή προφανώς μπορεί να μην είναι η πιο πρόσφατη τιμή του δεδομένου την εν λόγω χρονική στιγμή στον εξυπηρέτη. Αν οι ενημερώσεις αντανακλώνται αμέσως στο κανάλι από τον εξυπηρέτη, τότε το διάστημα εμπιστοσύνης ισούται με το χρόνο που απαιτείται για την εκπομπή ενός δεδομένου. Κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης τα δεδομένα που εκπέμπονται δεν αλλάζουν τιμές και ως εκ τούτου οι πελάτες διαβάζουν δεδομένα από ένα συνεπές στιγμιότυπο της Βάσης.

Μία δοσοληψία στον πελάτη μπορεί να διαβάσει δεδομένα από διαφορετικά διαστήματα εμπιστοσύνης. Ορίζουμε την Έκταση μίας δοσοληψίας ως τον αριθμό των διαφορετικών διαστημάτων



εμπιστοσύνης από τα οποία η δοσοληψία διαβάζει δεδομένα. Προφανώς αν γιά μία δοσοληψία ισχύει Έκταση= 1, τότε αυτή η δοσοληψία διαβάζει δεδομένα από το ίδιο στιγμιότυπο της Βάσης και κατά συνέπεια είναι ορθή (συνεπής). Όμως γενικά οι δοσοληψίες των πελατών διαβάζουν δεδομένα από διαφορετικά διαστήματα εμπιστοσύνης και έτσι δεν υπάρχει εγγύηση ότι οι τιμές που διαβάζουν ανήκουν στο ίδιο στιγμιότυπο της Βάσης. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η Έκταση μίας δοσοληψίας τόσο μεγαλύτερη και η πιθανότητα να διαβάσει δεδομένα από διαφορετικά στιγμιότυπα της Βάσης και να απορριφθεί.

Όσο μικρότερο είναι το διάστημα εμπιστοσύνης τόσο περισσότερες δοσοληψίες θα διαβάζουν δεδομένα από διαφορετικά διαστήματα εμπιστοσύνης και η Έκτασή τους θα αυξάνεται. Κατά συνέπεια περισσότερες θα είναι και οι δοσοληψίες που διαβάζουν ασυνεπή δεδομένα και θα πρέπει να τους επιβληθεί διακοπή στη λειτουργία τους. Αντίθετα, όσο μεγαλύτερο διάστημα εμπιστοσύνης θεωρούμε, τόσο περισσότερες δοσοληψίες έχουν Έκταση= 1, άρα είναι μικρότερο το ποσοστό των δοσοληψιών στις οποίες επιβάλλεται διακοπή της λειτουργίας τους.

Ίσως διερωτηθεί κανείς, γιατί το διάστημα εμπιστοσύνης να μην είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να μειώνουμε σημαντικά το ρυθμό των απορριπτόμενων δοσοληψιών. Πράγματι, αν για παράδειγμα είχαμε ένα μοντέλο στο οποίο ενεργοποιούνται 10 δοσοληψίες σε κάθε Κύκλο κατά μέσο όρο και απαιτούν 2 Κύκλους για να ολοκληρώσουν τη λειτουργία τους και θεωρήσουμε ένα διάστημα εμπιστοσύνης διάρκειας 10 Κύκλους, τότε ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών θα είναι μικρότερος από 20%. Αν θεωρήσουμε όμως ότι το διάστημα εμπιστοσύνης έχει διάρκεια 1000 Κύκλους, τότε ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών περιορίζεται κάτω από το 0.2%.

Ο λόγος για τον οποίο δεν επιτρέπουμε πολύ μεγάλο διάστημα εμπιστοσύνης, είναι ότι επιθυμούμε οι δοσοληψίες μας να διαβάζουν δεδομένα των οποίων οι τιμές να μην είναι πολύ παλιές. Αν στο προηγούμενο παράδειγμα υποθέσουμε ότι κάθε δεδομένο ενημερώνεται τουλάχιστο μία φορά κάθε 4 Κύκλους και το διάστημα εμπιστοσύνης είναι 1000 Κύκλοι, τότε προς το τέλος κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης, οι δοσοληψίες διαβάζουν δεδομένα τα οποία εν τω μεταξύ έχουν ενημερωθεί τουλάχιστο 250 φορές στον εξυπηρέτη. Κατά συνέπεια άλλη μία απαίτηση που έχουμε από το μοντέλο μας, είναι οι δοσοληψίες εκτός από συνεπή, να διαβάζουν και όσο το δυνατόν πιο πρόσφατα δεδομένα. Όπως γίνεται αντιληπτό η επιλογή του μήκους του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι δύσκολο να υλοποιηθεί αν δεν γνωρίζουμε ακριβώς τις απαιτήσεις του μοντέλου μας.



## Κεφάλαιο 5

# Διακοπές Σύνδεσης και Τεχνικές Ακύρωσης

Στα όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα, υποθέσαμε ότι ο πελάτης μπορεί να λαμβάνει ανελλιπώς το σήμα που στέλνει ο εξυπηρετής. Μια τέτοια υπόθεση μπορούμε να την κάνουμε μόνο για θεωρητικά μοντέλα.

Σε πραγματικές εφαρμογές υπάρχουν χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες ο πελάτης αδυνατεί να λάβει καθαρά το σήμα του εξυπηρετή. Αναφερόμαστε σε αυτές τις χρονικές περιόδους με τον όρο *διακοπές σύνδεσης (disconnecions)*. Οι λόγοι για τους οποίους λαμβάνουν χώρα οι διακοπές σύνδεσης είναι συνήθως φυσικά εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ του πελάτη και του εξυπηρετή (όπως για παράδειγμα ψηλά κτήρια, λόφοι κ.α.) ή ακόμη και άσχημες καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να απορροφάται σημαντικό μέρος της ενέργειας του σήματος του εξυπηρετή. Επίσης μπορεί να λάβει χώρα αστοχία κάποιου επαναμεταδότη του σήματος του εξυπηρετή κ.α. Η διάρκεια των διακοπών σύνδεσης δεν είναι σταθερή. Μπορεί να διαρκούν από μερικά *μsec* μέχρι κάποια *sec*. Επίσης η συχνότητα με την οποία συμβαίνουν δεν είναι προβλέψιμη. Μπορεί να συμβούν οποτεδήποτε και οσοδήποτε συχνά.

Ο εξυπηρετής δεν είναι σε θέση να γνωρίζει ποιος πελάτης και πότε βρίσκεται σε διακοπή σύνδεσης. Αγνοεί τις διακοπές σύνδεσης των πελατών και συνεχίζει να εκπέμπει τα δεδομένα σύμφωνα με το Πρόγραμμα Εκπομπής που εκτελεί. Ως αποτέλεσμα, κάθε πελάτης που βρίσκεται σε διακοπή σύνδεσης χάνει τα εκπεμπόμενα δεδομένα κάποια από τα οποία μπορεί να τον ενδιαφέρουν.

Το περιβάλλον εκπομπής είναι εκ φύσεως περιοδικό. Τα δεδομένα εκπέμπονται πάλι στον επόμενο Κύκλο και αυτό μετριάζει την επίδραση της απώλειας ορισμένων δεδομένων εξαιτίας της Διακοπής Σύνδεσης. Οι πελάτες που χάνουν κάποια δεδομένα λόγω Διακοπής Σύνδεσης, μπορούν να τα περιμένουν στον επόμενο Κύκλο. Αυτή η αναμονή βεβαίως οδηγεί σε σημαντική επιμήκυνση του χρόνου ζωής των δοσοληψιών.

Στην πραγματικότητα όσον αφορά στις τεχνικές ακύρωσης, τα πράγματα περιπλέκονται. Μετά από μία διακοπή σύνδεσης, μια σειρά από ενέργειες πρέπει να λάβει χώρα ώστε οι τεχνικές να εξακολουθήσουν να εγγυώνται την ορθότητα (συνέπεια) των δοσοληψιών.



## 5.1 Τι είναι Ανοχή

Σε αυτήν την παράγραφο εισάγουμε τα μεγέθη *ανοχή*<sub>1</sub> και *ανοχή*<sub>2</sub> ως μέτρα για να αξιολογήσουμε τη συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης παρουσία διακοπών σύνδεσης.

**Ορισμός:** Η *ανοχή*<sub>1</sub> για μια τεχνική ισούται με τον μέγιστο αριθμό των συνεχόμενων διαστημάτων εμπιστοσύνης που ένας πελάτης μπορεί να είναι σε διακοπή σύνδεσης, χωρίς να πρέπει να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία καμίας από τις δοσοληψίες που εκτελούνται τοπικά σε αυτόν.

**Ορισμός:** Η *ανοχή*<sub>2</sub> για μια τεχνική ισούται με τον ελάχιστο αριθμό των συνεχόμενων διαστημάτων εμπιστοσύνης που αν ένας πελάτης είναι σε διακοπή σύνδεσης, θα πρέπει να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία όλων των δοσοληψιών που εκτελούνται τοπικά σε αυτόν.

Για παράδειγμα, αν η *ανοχή*<sub>1</sub> ισούται με  $U$ , τότε όλες οι τοπικά εκτελούμενες δοσοληψίες μπορούν να συνεχίσουν τη λειτουργία τους αν μία διακοπή σύνδεσης διάρκειας  $L$  συνεχόμενων διαστημάτων εμπιστοσύνης προκύψει, με  $L \leq U$ . Αν  $L > U$ , τότε σε κάποιες από τις τοπικά εκτελούμενες δοσοληψίες πιθανόν να πρέπει να επιβληθεί διακοπή της λειτουργίας τους.

Επίσης αν η *ανοχή*<sub>2</sub> ισούται με  $U$ , τότε σε όλες τις τοπικά εκτελούμενες δοσοληψίες πρέπει να επιβληθεί διακοπή της λειτουργίας τους αν μια διακοπή σύνδεσης διάρκειας  $L$  συνεχόμενων διαστημάτων εμπιστοσύνης προκύψει, με  $L \geq U$ . Αν  $L < U$  τότε κάποιες από τις δοσοληψίες πιθανόν να μπορούν να συνεχίσουν ομαλά τη λειτουργία τους. Αν η διάρκεια μιας Διακοπής Σύνδεσης κυμαίνεται μεταξύ *ανοχής*<sub>1</sub> και *ανοχής*<sub>2</sub>, τότε δεν μπορούμε να επιβάλλουμε διακοπή στη λειτουργία καμίας δοσοληψίας εξαιτίας της Διακοπής Σύνδεσης. Παράλληλα όμως όσο αυξάνεται η διάρκεια της Διακοπής Σύνδεσης, μεγαλώνει η πιθανότητα να επιβληθεί διακοπή στη λειτουργία κάποιων δοσοληψιών από την τεχνική ακύρωσης που αυτή ακολουθεί όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο (5.3).

Εδώ θα πρέπει να πούμε ότι θεωρούμε μικρό το χρόνο που διαρκούν οι διακοπές σύνδεσης σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο διάρκειας ενός διαστήματος εμπιστοσύνης. Όπως θα δούμε και παρακάτω, ανάλογα με την τεχνική, μετράμε την ανοχή ως διακοπές σύνδεσης οι οποίες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της αλλαγής διαστήματος εμπιστοσύνης. Αυτό γιατί σε αυτό το σημείο στέλνονται τα διάφορα ευρετήρια και οι Λίστες Ακύρωσης. Ένας πελάτης που χάνει αυτές τις πληροφορίες έχει δυσκολότερο έργο από κάποιον άλλο για τον οποίο η διακοπή σύνδεσης έλαβε χώρα στο ενδιάμεσο του διαστήματος εμπιστοσύνης. Έτσι, κατά τον ορισμό της *ανοχής* όταν μιλάμε για απώλεια διαδοχικών διαστημάτων εμπιστοσύνης δεν εννοούμε κατ' ανάγκη ότι ο πελάτης δεν ακούει το κανάλι καθόλου, αλλά θα πρέπει να θεωρήσουμε και την περίπτωση όπου χάνει μόνο ένα κομμάτι εκπεμπόμενης πληροφορίας η οποία όμως είναι σημαντική για αυτόν.



## 5.2 Συμπεριφορά των Τεχνικών Ακύρωσης σε Διακοπές Σύνδεσης

Στα παρακάτω πρέπει να έχουμε υπόψιν ότι ο πελάτης αντιλαμβάνεται τότε βρίσκεται σε περίοδο Διακοπής Σύνδεσης, αφού δεν "ακούει" το κανάλι. Επίσης στην επικεφαλίδα κάθε εκπεμπόμενου *bucket* αναγράφεται το τρέχων διάστημα εμπιστοσύνης<sup>1</sup>. Την πληροφορία αυτή τη χρησιμοποιεί ο πελάτης για να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή ποιο διάστημα εμπιστοσύνης "ακούει". Η συμπεριφορά όλων των τεχνικών ακύρωσης παρουσία διακοπών σύνδεσης είναι κοινή σε κάποιες περιπτώσεις, τις παρακάτω:

- **Χρήση και διαχείριση του τοπικού χώρου αποθήκευσης**

Ο τρόπος με τον οποίο οι δοσοληψίες χρησιμοποιούν τον τοπικό χώρο αποθήκευσης και ο πελάτης τον χειρίζεται είναι κοινός για όλες τις τεχνικές ακύρωσης. Ο πελάτης πρέπει πάντα να διατηρεί μόνο μία έκδοση για κάθε τοπικά αποθηκευμένο δεδομένο, την πιο πρόσφατη. Αν είναι διαθέσιμες λίστες Ακύρωσης στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης, τότε ο πελάτης μαρκάρι ως άκυρα όλα τα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα που αναφέρονται στη Λίστα Ακύρωσης. Διαφορετικά (απουσία Λιστών Ακύρωσης) ο πελάτης στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης ακυρώνει όλα τα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα. Το ίδιο πρέπει να πράξει αν μία λίστα ακύρωσης χαθεί λόγω Διακοπής Σύνδεσης. Κάθε άκυρο δεδομένο επαναφέρεται στην εγχυρότητα (*autoprefetch*) όταν εμφανιστεί στο κανάλι κάποια στιγμή μετά τη διακοπή σύνδεσης.

- **Ανάγνωση των πιο πρόσφατων εκδόσεων**

Αν μία δοσοληψία αναζητά το πρώτο της προς ανάγνωση δεδομένο ή διαβάζει δεδομένα στο ίδιο διάστημα εμπιστοσύνης με αυτό που πραγματοποίησε την πρώτη της λειτουργία ανάγνωσης, τότε πρέπει να διαβάζει τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων που επιθυμεί. Ή για αυτό όταν το επιθυμητό δεδομένο είναι τοπικά αποθηκευμένο και άκυρο, δεν μπορούν να το διαβάσουν από εκεί οι δοσοληψίες που ανήκουν στην κατηγορία αυτή.

Επίσης κάθε δοσοληψία που αναζητά το πρώτο της προς ανάγνωση δεδομένο δεν επηρεάζεται δραστικά από Διακοπές Σύνδεσης, αφού αναζητά την πιο πρόσφατη έκδοση του δεδομένου που επιθυμεί. Αν το δεδομένο είναι τοπικά αποθηκευμένο και έγκυρο η δοσοληψία μπορεί να το διαβάσει από εκεί και να συνεχίσει ομαλά τη λειτουργία της. Διαφορετικά θα πρέπει να το περιμένει να εμφανιστεί στο κανάλι. Η πρώτη λειτουργία ανάγνωσης θα πραγματοποιηθεί όταν ένα από τα παραπάνω δύο συμβεί. Σε κάθε περίπτωση η λειτουργία της δοσοληψίας δεν επηρεάζεται από διακοπές σύνδεσης. Στα επόμενα θα αναφερόμαστε μόνο σε δοσοληψίες που έχουν ήδη υλοποιήσει τουλάχιστο μία λειτουργία ανάγνωσης, δοσοληψίες των οποίων δηλαδή το *Read.Set* δεν είναι κενό.

- **Διακοπή σύνδεσης που δεν περιλαμβάνει την αλλαγή διαστήματος εμπιστοσύνης**  
Ακόμη αν μετά από μία διακοπή σύνδεσης ο πελάτης αντιληφθεί ότι ακόμη βρίσκεται στο

<sup>1</sup>Ο αύξοντας αριθμός του.



ίδιο διάστημα εμπιστοσύνης με αυτό που η διακοπή σύνδεσης έλαβε χώρα, τότε επιτρέπει στις δοσοληψίες να συνεχίσουν τη λειτουργία τους σαν να μην συνέβη τίποτε. Αυτό γιατί μόνο κάποια δεδομένα χάθηκαν κατά τη διάρκεια της Διακοπής Σύνδεσης. Οι δοσοληψίες θα πρέπει να περιμένουν να εκπεμφθούν κάποια στιγμή αργότερα.

Προκειμένου να υπολογίσουμε τις τιμές της ανοχής<sup>1</sup> και ανοχής<sup>2</sup> για τις διάφορες τεχνικές ακύρωσης εισάγουμε τα μεγέθη  $W_1$  και  $W_2$ . Για κάθε δεδομένο  $x$  της Βάσης Δεδομένων, αν το  $x$  ενημερώθηκε για τελευταία φορά κατά τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης  $t_0$ , τότε το  $x$  δεν θα ενημερωθεί εκ νέου πριν την πάροδο των επόμενων  $W_1$  διαστημάτων εμπιστοσύνης. Έτσι, η επόμενη ενημέρωσή του δεν μπορεί να λάβει χώρα πριν το  $t_0 + W_1$ . Όταν λέμε ότι το  $x$  ενημερώθηκε στο  $t_0$  εννοούμε ότι μία νέα έκδοσή του εμφανίστηκε στο κανάλι κατά τη διάρκεια του  $t_0$ . Η αντίστοιχη ενημέρωση στον εξυπηρέτη η οποία δημιούργησε αυτή τη νέα έκδοση του  $x$  έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του  $t_0 - 1$ . Γενικά μπορούμε να πούμε ότι αν το δεδομένο  $x$  ενημερώθηκε τελευταία φορά κατά τη διάρκεια του  $t_0$ , τότε το πιο σύντομο διάστημα εμπιστοσύνης στο οποίο μπορούμε να συναντήσουμε μία νέα έκδοση του  $x$  είναι το  $t_0 + W_1$ . Η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει το  $W_1$  είναι ίση με 1, κάτι το οποίο σημαίνει ότι μία νέα έκδοση του  $x$  εμφανίζεται στο κανάλι σε κάθε διάστημα εμπιστοσύνης.

Επίσης  $W_2$  είναι ο αριθμός των συνεχόμενων διαστημάτων εμπιστοσύνης κατά τη διάρκεια των οποίων όλα τα δεδομένα της Βάσης Δεδομένων θα ενημερωθούν τουλάχιστον μία φορά. Έτσι, αν το δεδομένο  $x$  ενημερώθηκε για τελευταία φορά κατά τη διάρκεια του  $t_0$ , τότε μέχρι να φτάσουμε στο  $t_0 + W_2$  θα έχει ενημερωθεί τουλάχιστον μία φορά. Η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει το  $W_2$  είναι ίση με 1 το οποίο σημαίνει ότι όλα ανεξαιρέτως τα δεδομένα της Βάσης Δεδομένων ενημερώνονται σε κάθε νέο διάστημα εμπιστοσύνης.

Συνήθως το  $W_1$  είναι ίσο με 1 γιατί κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης έχουμε τουλάχιστο μία ενημέρωση σε κάποιο από τα δεδομένα της Βάσης Δεδομένων. Αντίθετα, το  $W_2$  μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερο, γιατί οι διεργασίες που ενημερώνουν τα δεδομένα της Βάσης στον εξυπηρέτη απαιτούν πολύ περισσότερο χρόνο για να ενημερώσουν από μία τουλάχιστο φορά όλα τα δεδομένα της Βάσης. Στην περίπτωση που κάποια από τα δεδομένα της Βάσης δεν ενημερώνονται ποτέ, το  $W_2$  είναι απεριόριστα μεγάλο και ίσο με τον αριθμό των διαστημάτων εμπιστοσύνης που διαρκεί η ζωή του εξυπηρέτη, αφού αυτός δεν καταφέρνει να ενημερώσει κατά τη διάρκεια της ζωής του όλα τα δεδομένα που διατηρεί στη Βάση του. Τέλος αν  $W_2 = 1$ , τότε προφανώς  $W_1 = 1$ .

### 5.2.1 Μέθοδος Χρονοσήμων και Διακοπές Σύνδεσης

Διακοπές σύνδεσης εδώ όποτε και αν συμβούν, όση διάρκεια και να έχουν, δεν επιβάλλουν στις δοσοληψίες να τερματίσουν βίαια τη λειτουργία τους εφόσον αυτές καταφέρουν να ακούσουν στο κανάλι το δεδομένο με την έκδοση που ψάχνουν, οπότε μπορούν να το διαβάσουν και να συνεχίσουν ομαλά τη λειτουργία τους.

#### Ανοχή

Για να υπολογίσουμε την τιμή της ανοχής<sup>1</sup> υποθέτουμε ότι κανένα δεδομένο δεν θα ενημερωθεί



Τεχνική Ακύρωσης	ανοχή1	ανοχή2
Versioning	$W_1 - 1$	$W_2$

Πίνακας 5.1: Συνοπτικά οι τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 για την Versioning τεχνική ακύρωσης.

στα επόμενα  $W_1$  διαστήματα εμπιστοσύνης. Η ανοχή1 ισούται με  $W_1 - 1$  αφού κανένα δεδομένο δεν θα εμφανιστεί με νέα έκδοση μετά από μία διακοπή σύνδεσης με διάρκεια μικρότερη από  $W_1 - 1$  διαστήματα εμπιστοσύνης. Κατά συνέπεια ο πελάτης δεν επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία καμίας από τις τοπικά εκτελούμενες δοσοληψίες.

Για τον υπολογισμό της ανοχής2 υποθέτουμε ότι όλα τα δεδομένα της Βάσης μας θα ενημερωθούν τουλάχιστο μία φορά κατά τη διάρκεια των επόμενων  $W_2$  διαστημάτων εμπιστοσύνης. Η ανοχή2 ισούται με  $W_2$ , αφού όλα τα δεδομένα θα εμφανιστούν με μεγαλύτερη έκδοση μετά από μία διακοπή σύνδεσης διάρκειας  $W_2$  διαστημάτων εμπιστοσύνης και καμία δοσοληψία με μη κενό *Read.Set* δεν θα μπορεί να βρει δεδομένο με έκδοση μικρότερη από το διάστημα εμπιστοσύνης στο οποίο έκανε την πρώτη της λειτουργία ανάγνωσης. Συνεπώς, σε όλες τις δοσοληψίες με μη κενό *Read.Set* πρέπει να επιβληθεί διακοπή στη λειτουργία τους.

Στον Πίνακα 5.1 δίνονται οι τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 για την Versioning τεχνική ακύρωσης.

## 5.2.2 Μέθοδος Ακύρωσης και Διακοπές Σύνδεσης

Έστω μία δοσοληψία εκτελεί την  $i$ -οστή της λειτουργία ανάγνωσης και έστω αναζητά το δεδομένο  $P_i$ ,  $i > 1$ . Ο πελάτης κρατά το διάστημα εμπιστοσύνης, έστω  $C_i$  αυτό, στο οποίο η αίτηση της δοσοληψίας για το  $P_i$  δημιουργήθηκε. Αν το  $P_i$  δεν είναι τοπικά αποθηκευμένο, η δοσοληψία θα πρέπει να περιμένει για να το διαβάσει από το κανάλι. Έστω μια διακοπή σύνδεσης συμβαίνει όσο η δοσοληψία περιμένει. Αν μετά τη διακοπή σύνδεσης βρισκόμαστε στο διάστημα εμπιστοσύνης  $C_c$ , με  $C_c > C_i$ , τότε ο πελάτης αντιλαμβάνεται ότι έχει χάσει την αποστολή  $C_c - C_i$  Λιστών Ακύρωσης. Κατά συνέπεια δεν είναι σε θέση να γνωρίζει ποιες δοσοληψίες έχουν διαβάσει δεδομένα που αναφέρονταν σε αυτές τις Λίστες Ακύρωσης. Έτσι, σε όλες τις τοπικά εκτελούμενες δοσοληψίες, που έχουν πραγματοποιήσει τουλάχιστο μία λειτουργία ανάγνωσης (αυτές δηλαδή που έχουν μη κενό *Read.Set*) πρέπει να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία τους.

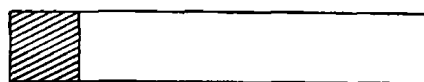
### Ανοχή

Μία μόνο διακοπή σύνδεσης αρκεί για να επιβληθεί διακοπή στη λειτουργία όλων των τοπικά εκτελούμενων δοσοληψιών αν αυτή συνοδεύεται με την απώλεια μίας Λίστας Ακύρωσης. Κατά συνέπεια η ανοχή1 αυτής της τεχνικής ακύρωσης ισούται με 0 και η ανοχή2 με 1. Αν όμως ο πελάτης γνωρίζει την τιμή της παραμέτρου  $W_1$ , τότε η τιμή της ανοχής1 γίνεται  $W_1 - 1$  γιατί ο πελάτης γνωρίζει ότι όλες οι Λίστες Ακύρωσης που εκπέμπονται σε αυτά τα  $W_1 - 1$  διαστήματα εμπιστοσύνης είναι κενές. Η ανοχή2 ισούται με  $W_1$ , γιατί το συντομότερο στην αρχή του  $W_1$  διαστήματος εμπιστοσύνης μετά την διακοπή σύνδεσης θα εκπεμφθεί το πρώτο δεδομένο που έχει ενημερωθεί μετά τη διακοπή σύνδεσης. Επομένως η Λίστα Ακύρωσης που αντιστοιχεί σε αυτό το

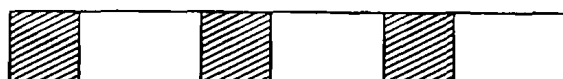




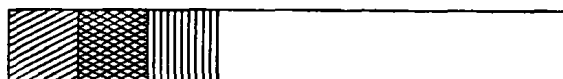
διάστημα εμπιστοσύνης είναι πιθανό να μην είναι κενή. Αν ο πελάτης τη χάσει, τότε θα πρέπει να απορρίψει όλες τις τοπικά εκτελούμενες δοσοληψίες.



(a)



(b)



(c)

Σχήμα 5.1: (a) Invalidationing τεχνική, (b) Πρώτη βελτίωση, (c) Δεύτερη βελτίωση

### Βελτιώσεις

Στο Σχήμα 2.(a) δίνεται το βασικό σχήμα της Invalidationing τεχνικής. Μία Λίστα Ακύρωσης εκπέμπεται στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης (γραμμοσκιασμένο τμήμα) και ενημερώνει τους πελάτες για τα δεδομένα που εμφανίζονται με νέα τιμή σε αυτό το διάστημα εμπιστοσύνης. Στην παράγραφο αυτή προτείνουμε δύο βελτιώσεις για να αυξήσουμε την ανοχή της.

1. Σύμφωνα με την πρώτη βελτίωση, ο εξυπηρέτης εκπέμπει πολλές φορές κατά μήκος ενός διαστήματος εμπιστοσύνης τη Λίστα Ακύρωσης που έστειλε στην αρχή του. Θεωρούμε ότι δύο διαδοχικές εκπομπές της Λίστας ισαπέχουν χρονικά μεταξύ τους. Η γενική ιδέα αυτής της μεθόδου φαίνεται στο Σχήμα 5.1.(b). Με αυτόν τον τρόπο η διαθεσιμότητα της Λίστας εντός διαστήματος εμπιστοσύνης αυξάνεται. Αν μετά από μία Διακοπή Σύνδεσης ο πελάτης διαπιστώσει ότι βρίσκεται σε διάστημα εμπιστοσύνης μεγαλύτερο κατά 1 από αυτό που η Διακοπή Σύνδεσης έλαβε χώρα, τότε αντιλαμβάνεται ότι έχει χάσει την εκπομπή της Λίστας Ακύρωσης στην αρχή αυτού διαστήματος εμπιστοσύνης. Έτσι, περιμένει ως την επόμενη αποστολή της Λίστας Ακύρωσης που έχασε. Μόλις διαβάσει αυτή τη Λίστα, μπορεί να διακόψει τη λειτουργία μόλις στις δοσοληψίες που πρέπει. Επιπλέον επαναφέρει στην εγκυρότητα όσα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα είχε εσφαλμένα ακυρώσει μόλις είχε διαπιστώσει την απώλεια της Λίστας Ακύρωσης.



### Ανοχή για την πρώτη βελτίωση

Προκειμένου να υπολογίσουμε τις τιμές των μεγεθών *ανοχή1* και *ανοχή2* για αυτή τη βελτίωση θα πρέπει να θεωρήσουμε τμήματα του διαστήματος εμπιστοσύνης. Έστω ότι η Λίστα Ακύρωσης εκπέμπεται *P* φορές κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης. Μπορούμε να χωρίσουμε κάθε διάστημα εμπιστοσύνης σε *P* κομμάτια μήκους *Currency.Interval.Size/P* το κάθε ένα, όπου *Currency.Interval.Size* είναι η διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης. Προφανώς εξετάζουμε τιμές του *P* μεγαλύτερες από 1. Ονομάζουμε αυτά τα κομμάτια *Τμήματα*. Αν ο πελάτης χάσει, λόγω διακοπών σύνδεσης, οποιαδήποτε *P - 1* *Τμήματα* ενός διαστήματος εμπιστοσύνης δεν είναι απαραίτητο να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία καμίας εκ των δοσοληψιών του. Αυτό γιατί ακόμη και αν "ακούσει" 1 μόνο *Τμήμα*, μπορεί να λάβει τη Λίστα Ακύρωσης που του χρειάζεται για να λάβει απόφαση για κάθε δοσοληψία ξεχωριστά αν πρέπει να διακοπεί η λειτουργία της ή όχι. Αν όμως χάσει και το *P*-στο *Τμήμα*, τότε θα πρέπει να επιβάλλει διακοπή σε όλες τις τοπικά εκτελούμενες δοσοληψίες. Κατά συνέπεια η τιμή της *ανοχής1* ισούται με *P - 1* και της *ανοχής2* με *P* *Τμήματα*.

Εδώ να σημειώσουμε ότι τα *P - 1* *Τμήματα* για την *ανοχή1* αναφέρονται σε *Τμήματα* του ίδιου διαστήματος εμπιστοσύνης. Αυτό γίνεται σαφές αν αναλογιστούμε την περίπτωση να χάνονται λόγω διακοπών σύνδεσης τα τελευταία *P/2* *Τμήματα* του διαστήματος εμπιστοσύνης *t* και ακολούθως τα πρώτα *P/2* *Τμήματα* του *t + 1*. Σε άθροισμα χάνονται συνολικά *P* *Τμήματα* (περισσότερα από όσα επιτρέπει η *ανοχή1*), όμως και πάλι ο πελάτης είναι σε θέση να γνωρίζει τις Λίστες Ακύρωσης και των δύο διαστημάτων εμπιστοσύνης. Αυτό μπορεί να συμβεί αν για παράδειγμα "ακούσει" τη Λίστα Ακύρωσης του διαστήματος εμπιστοσύνης *t* κατά τη διάρκεια του *Τμήματος* *P - 1* και τη Λίστα Ακύρωσης του *t + 1* κατά τη διάρκεια του *Τμήματος* *P + 1*.

Τέλος αν ο πελάτης γνωρίζει την τιμή της *W<sub>1</sub>* παραμέτρου, τότε η τιμή της *ανοχής1* γίνεται:

$$\text{ανοχή1} = W_1 - 1[\text{διαστήματα εμπιστοσύνης}] + P - 1[\text{Τμήματα}],$$

όπου τα *P - 1* [*Τμήματα*] είναι *Τμήματα* του ίδιου διαστήματος εμπιστοσύνης και συγκεκριμένα του *W<sub>1</sub>* διαστήματος εμπιστοσύνης μετά τη διακοπή σύνδεσης. Προφανώς κατά τη διάρκεια των πρώτων *W<sub>1</sub> - 1* ο πελάτης δεν ακούει καμία Λίστα Ακύρωσης, αλλά αυτό δεν επηρεάζει τη λειτουργία του διότι οι λίστες ακύρωσης που αντιστοιχούν σε αυτά, είναι κενές. Αν όμως χάσει και το *P* τμήμα του *W<sub>1</sub>* διαστήματος εμπιστοσύνης μετά τη διακοπή σύνδεσης, τότε χάνει την πρώτη Λίστα Ακύρωσης η οποία πιθανόν να είναι μη κενή. Έτσι, θα πρέπει να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία όλων των τοπικά εκτελούμενων δοσοληψιών και ως εκ τούτου η τιμή της *ανοχής1* είναι αυτή που αναφέρουμε στα παραπάνω, ενώ η τιμή της *ανοχής2* ισούται με *W<sub>1</sub> - 1* [*διαστήματα εμπιστοσύνης*] + *P* [*Τμήματα*], όπου τα *P* [*Τμήματα*] είναι *Τμήματα* του *W<sub>1</sub>* διαστήματος εμπιστοσύνης μετά τη διακοπή σύνδεσης.

2. Σύμφωνα με τη *δεύτερη* βελτίωση, ο εξυπηρέτης στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης στέλνει τις Λίστες Ακύρωσης των προηγούμενων *Z* διαστημάτων εμπιστοσύνης. Η γενική ιδέα αυτής της μεθόδου φαίνεται στο Σχήμα 5.1.(c), για *Z = 3*. Οι δοσοληψίες για



κάθε δεδομένο που διαβάζουν διατηρούν και το διάστημα εμπιστοσύνης κατά τη διάρκεια του οποίου διάβασαν το δεδομένο. Αν μετά από μια διακοπή σύνδεσης ο πελάτης διαπιστώσει ότι βρίσκεται σε μεγαλύτερο διάστημα εμπιστοσύνης από αυτό που άρχισε η διακοπή σύνδεσης, τότε περιμένει μέχρι την αρχή του επόμενου διαστήματος εμπιστοσύνης για να διαβάσει τις Λίστες Ακύρωσης. Τώρα ο πελάτης έχει στη διάθεσή του όλη την απαραίτητη πληροφορία για να επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία μόνο των δοσοληψιών εκείνων που πρέπει να απορριφθούν. Τον έλεγχο για το ποια δοσοληψία θα πρέπει να απορριφθεί τον πράττει ως εξής: Για μία δοσοληψία,  $X_i$ , η οποία ξεκίνησε να διαβάζει δεδομένα στο διάστημα εμπιστοσύνης  $C_i$ , συγκρίνει με τις  $C_{BC} - C_j$  πιο πρόσφατες Λίστες Ακύρωσης τα δεδομένα που η δοσοληψία διάβασε από το διάστημα εμπιστοσύνης  $C_i$  μέχρι το  $C_j$ , για  $j = 1, \dots, BC$ , όπου  $C_{BC}$  είναι το παρόν διάστημα εμπιστοσύνης. Η δοσοληψία απορρίπτεται αν κάποιο από τα δεδομένα που διάβασε στο  $C_k$  διάστημα εμπιστοσύνης εμφανίζεται στις Λίστες Ακύρωσης που αντιστοιχούν στα διαστήματα εμπιστοσύνης από  $C_k$ , μέχρι  $C_{BC}$ . Οι υπόλοιπες δοσοληψίες μπορούν να συνεχίσουν ομαλά τη λειτουργία τους. Προφανώς σε περίπτωση που δεν λάβει χώρα διακοπή σύνδεσης ο πελάτης συγκρίνει τα δεδομένα που έχουν διαβάσει οι δοσοληψίες μόνο με τη Λίστα Ακύρωσης που αντιστοιχεί στο παρόν διάστημα εμπιστοσύνης. Οι Λίστες Ακύρωσης των παλαιότερων διαστημάτων εμπιστοσύνης του είναι άχρηστες. Τέλος, ο χειρισμός του τοπικού χώρου αποθήκευσης είναι παρόμοιος με αυτόν στην πρώτη βελτίωση με προφανείς αλλαγές.

#### Ανοχή για τη δεύτερη βελτίωση

Η ανοχή1 αυτής της βελτίωσης αυξάνεται σε  $Z - 1$ , ενώ η ανοχή2 σε  $Z$ . Αν ο πελάτης γνωρίζει την τιμή του  $W_1$ , τότε η ανοχή1 γίνεται ίση με  $W_1 - 1 + Z - 1$  αφού για διακοπή σύνδεσης μικρότερη από ανοχή1 διαστήματα εμπιστοσύνης ο πελάτης είναι σίγουρος ότι θα μπορέσει να λάβει τις Λίστες Ακύρωσης που πιθανόν είναι μη κενές.

Αν η διακοπή σύνδεσης είναι μεγαλύτερη από  $W_1 - 1 + Z - 1$  διαστήματα εμπιστοσύνης καμία Λίστα Ακύρωσης που να αναφέρεται στα πρώτα  $W_1$  διαστήματα εμπιστοσύνης (το  $W_1$  διάστημα εμπιστοσύνης είναι το πρώτο στο οποίο πιθανόν να αντιστοιχεί μη κενή Λίστα Ακύρωσης) από τη στιγμή που η διακοπή σύνδεσης έλαβε χώρα δεν θα είναι διαθέσιμη πλέον. Ο πελάτης, δεν μπορεί να γνωρίζει αν κάποιο από τα δεδομένα που έχει διαβάσει μία δοσοληψία έχει ενημερωθεί και δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι η δοσοληψία θα μπορεί να συνεχίσει ομαλά τη λειτουργία της ή θα πρέπει να της επιβληθεί διακοπή. Συνεπώς η τιμή της ανοχής2 είναι ίση με  $W_1 - 1 + Z$ .

Το βασικό μειονέκτημα και των δύο αυτών βελτιώσεων είναι η επιμήκυνση του Κύκλου (ισοδύναμα του διαστήματος εμπιστοσύνης) λόγω των επαναμεταδώσεων των Λιστών Ακύρωσης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.1. Είναι προφανές επίσης ότι η πρώτη βελτίωση μπορεί να αποδώσει καλύτερα όταν οι διακοπές σύνδεσης είναι μικρής διάρκειας και συμβαίνουν με μεγάλη συχνότητα, ενώ η δεύτερη βελτίωση όταν οι διακοπές σύνδεσης είναι μεγάλης διάρκειας και λιγότερο συχνές. Αυτό γιατί όταν πολλές και μικρές διακοπές σύνδεσης συμβαίνουν, είναι πολύ πιθανό, αν χρησιμοποιείται η δεύτερη βελτίωση, ο πελάτης να χάσει τις αρχές των επόμενων  $Z - 1$  διαστημάτων εμπιστοσύνης και κατά συνέπεια και τις Λίστες Ακύρωσης, οι οποίες εκπέμπονται μόνο στην αρχή του κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης. Αντίθετα, όταν συμβαίνουν μεγάλες διακοπές σύνδεσης είναι



Τεχνική Ακύρωσης	ανοχή1	ανοχή2
Invalidationing	0	1
Invalidationing $W_1$ γνωστό στον πελάτη	$W_1 - 1$	$W_1$
Invalidationing Πρώτη βελτίωση	$P - 1[\text{Τμήματα}]$	$P[\text{Τμήματα}]$
Invalidationing Πρώτη βελτίωση. $W_1$ γνωστό στον πελάτη	$W_1 - 1[\Delta. \text{Εμπ.}]$ $+ P - 1[\text{Τμήματα}]$	$W_1 - 1$ $+ P[\text{Τμήματα}]$
Invalidationing Δεύτερη βελτίωση	$Z - 1$	$Z$
Invalidationing Δεύτερη βελτίωση. $W_1$ γνωστό στον πελάτη	$W_1 - 1$ $+ Z - 1$	$W_1 - 1$ $+ Z$

Πίνακας 5.2: Συνοπτικά οι τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 για την Invalidationing τεχνική ακύρωσης και τις βελτιώσεις της.

μεγάλη η πιθανότητα ο πελάτης να χάσει τα  $P$  Τμήματα ενός διαστήματος εμπιστοσύνης αν η πρώτη βελτίωση χρησιμοποιείται.

Στον Πίνακα 5.2 δίνονται οι τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 για την Invalidationing τεχνική ακύρωσης.

### 5.2.3 Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων και Διακοπές Σύνδεσης

Τα ίδια με αυτά που αναφέραμε για την Versioning τεχνική ισχύουν και εδώ. Αν μια δοσοληψία μπορεί να βρει το δεδομένο με τη έκδοση που επιθυμεί μπορεί να συνεχίσει ομαλά τη λειτουργία της.

#### Ανοχή

Για να υπολογίσουμε την ανοχή1 πάλι υποθέτουμε ότι κανένα δεδομένο δεν θα ενημερωθεί κατά τη διάρκεια των επόμενων  $W_1$  διαστημάτων εμπιστοσύνης. Όμοια, για την ανοχή2 υποθέτουμε ότι όλα τα δεδομένα θα ενημερωθούν κατά τη διάρκεια των επόμενων  $W_2$  διαστημάτων εμπιστοσύνης ακριβώς μία φορά.

Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη, κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου, εκπέμπονται για κάθε δεδομένο, η πιο πρόσφατη έκδοσή του και από τις παλαιότερες μόνο όσες δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα  $K$  διαστήματα εμπιστοσύνης. Καθιστούμε σαφές ότι η πιο πρόσφατη έκδοση ενός δεδομένου εκπέμπεται όσο παλιά και αν είναι. Ο περιορισμός ισχύει για τις παλαιότερες εκδόσεις του. Στη δεύτερη, εκπέμπονται για κάθε δεδομένο όλες οι  $K$  πιο πρόσφατες εκδόσεις του. Παρατηρούμε ακόμη ότι για  $K \neq 1$  προκύπτει η Versioning τεχνική ακύρωσης και στις δύο περιπτώσεις.



- Για την πρώτη περίπτωση, η ανοχή1 ισούται με  $W_1 - 1$ , γιατί στο διάστημα εμπιστοσύνης που απέχει  $W_1$  διαστήματα εμπιστοσύνης μετά από αυτό που η διακοπή σύνδεσης έλαβε χώρα, θα εμφανιστεί (πιθανόν) το πρώτο δεδομένο που έχει ενημερωθεί (ενημέρωση που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης  $W_1$ ). Αν η αμέσως πιο πρόσφατη έκδοση αυτού του δεδομένου είχε δημιουργηθεί διαστήματα εμπιστοσύνης νωρίτερα, τότε αυτή η παλιά έκδοση του δεδομένου δεν θα είναι διαθέσιμη πια. Έτσι η δοσοληψία που ζητά να το διαβάσει δεν μπορεί να το βρει με έκδοση μικρότερη από το διάστημα εμπιστοσύνης που η διακοπή σύνδεσης έλαβε χώρα. Κατά συνέπεια για την ανοχή1 έχουμε ότι:

$$\text{ανοχή1} = W_1 - 1.$$

Η λειτουργία όλων των δοσοληψιών θα πρέπει να τερματιστεί βίαια αν προκύψει μία διακοπή σύνδεσης με διάρκεια μεγαλύτερη ή ίση με  $K$  διαστήματα εμπιστοσύνης και επιπλέον ισχύει ότι  $W_2 \leq K$ . Μετά από μία διακοπή σύνδεσης υπό τις παραπάνω συνθήκες, κανένα δεδομένο δεν θα εκπέμπεται με έκδοση μικρότερη ή ίση από το διάστημα εμπιστοσύνης που ξεκίνησε η διακοπή σύνδεσης γιατί όλα τα δεδομένα της Βάσης Δεδομένων έχουν ενημερωθεί τουλάχιστο μία φορά από την αρχή της. Έτσι, μετά τη διακοπή σύνδεσης μόνο οι εκδόσεις που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκειά της θα είναι διαθέσιμες στο κανάλι. Αυτές όμως τις εκδόσεις δεν μπορεί να τις διαβάσει καμία από τις δοσοληψίες που έχουν πραγματοποιήσει τουλάχιστο μία ανάγνωση πριν από τη διακοπή σύνδεσης. Κατά συνέπεια για να είμαστε σίγουροι ότι όλες οι δοσοληψίες πρέπει να απορριφθούν θα πρέπει η διακοπή σύνδεσης να είναι σε διάρκεια μεγαλύτερη από  $K$  διαστήματα εμπιστοσύνης, όταν ισχύει  $W_2 \leq K$ . Αν ισχύει  $W_2 > K$ , τότε μετά από μία διακοπή σύνδεσης διάρκειας  $W_2$  διαστημάτων εμπιστοσύνης όλα τα δεδομένα θα εμφανίζονται στο κανάλι με εκδόσεις μεγαλύτερες από το διάστημα εμπιστοσύνης που συνέβη η διακοπή σύνδεσης. Άρα για την ανοχή2 έχουμε:

$$\text{ανοχή2} = \max\{K, W_2\}.$$

- Για τη δεύτερη περίπτωση, το αντίστοιχο  $K$  επιτρέπει σε πιο παλιές δοσοληψίες να διατηρούνται από τον εξυπηρέτη και να εκπέμπονται στο κανάλι από ότι στην πρώτη περίπτωση. Έτσι, αναμένουμε μεγαλύτερες τιμές για την ανοχή1 και την ανοχή2. Προφανώς αν  $W_2 = 1$ , τότε αναγόμεστε στην πρώτη περίπτωση.

Για να μην απορριφθεί καμία δοσοληψία πρέπει και μετά τη διακοπή σύνδεσης να είναι διαθέσιμες για όλα τα δεδομένα της Βάσης εκδόσεις, οι οποίες ήταν διαθέσιμες πριν από αυτή. Έτσι, η διακοπή σύνδεσης πρέπει να είναι μικρότερη σε διάρκεια από το χρόνο που χρειάζεται ο εξυπηρέτης για να δημιουργήσει  $K - 1$  νέες εκδόσεις για κάποιο από τα δεδομένα. Επιπλέον γνωρίζουμε ότι σε  $W_1$  διαστήματα εμπιστοσύνης μία νέα έκδοση δημιουργείται για τουλάχιστο ένα δεδομένο (στη χειρότερη περίπτωση). Άρα σε  $W_1 * (K - 1)$  διαστήματα εμπιστοσύνης θα δημιουργηθούν  $(K - 1)$  νέες εκδόσεις για κάποιο δεδομένο (αν αυτό ενημερώνεται ακριβώς μία φορά ανά  $W_1$  διαστήματα εμπιστοσύνης). Τη στιγμή εκείνη όμως η πιο παλιά έκδοση του εν λόγω δεδομένου είναι αυτή που εκπεμπόταν πριν η διακοπή σύνδεσης λάβει χώρα. Νέα έκδοση όμως για αυτό το δεδομένο δεν θα δημιουργηθεί ούτε στα επόμενα  $(W_1 - 1)$  διαστήματα εμπιστοσύνης. Άρα μία δοσοληψία που ζητά έκδοση αυτού



Τεχνική Ακύρωσης	ανοχή1	ανοχή2
Multiversioning Πρώτη περίπτωση	$W_1 - 1$	$\max\{K, W_2\}$
Multiversioning Δεύτερη περίπτωση	$(K - 1) * W_1 + W_1 - 1$	$W_2 * K$

Πίνακας 5.3: Συνοπτικά οι τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 για την MV τεχνική ακύρωσης.

του δεδομένου έχει τύχη να τη βρει μετά από μία διακοπή σύνδεσης διάρκειας μικρότερης από  $W_1 * (K - 1) + W_1 - 1$  διαστήματα εμπιστοσύνης. Άρα:

$$\text{ανοχή1} = W_1 * (K - 1) + W_1 - 1.$$

Για να απορριφθούν όλες οι δοσοληψίες θα πρέπει η διακοπή σύνδεσης να έχει τέτοια διάρκεια ώστε καμία από τις  $K$  προηγούμενες εκδόσεις των δεδομένων να μην είναι πια διαθέσιμη. Θα πρέπει δηλαδή κατά τη διάρκεια της Διακοπής Σύνδεσης να δημιουργηθούν τουλάχιστο  $K$  νέες εκδόσεις για κάθε δεδομένο. Γνωρίζουμε όμως ότι όλα τα δεδομένα της Βάσης ενημερώνονται τουλάχιστο μία φορά σε  $W_2$  διαδοχικά διαστήματα εμπιστοσύνης. Συνεπώς έχουμε για την ανοχή2:

$$\text{ανοχή2} = W_2 * K.$$

Έστω ότι χρησιμοποιείται το σχήμα με το ευρετήριο (Παράγραφος 4.1). Αν μια διακοπή σύνδεσης στο ενδιάμεσο του διαστήματος εμπιστοσύνης προκύψει, τότε η συμπεριφορά των δοσοληψιών δεν αλλάζει. Αν όμως η διακοπή σύνδεσης συμπεριλαμβάνει και την αρχή του επόμενου διαστήματος εμπιστοσύνης, τότε χάνεται μεταξύ άλλων (δεδομένα) και το ευρετήριο. Αν συμβεί αυτό, μία δοσοληψία δεν μπορεί να γνωρίζει στην αρχή του διαστήματος εμπιστοσύνης αν μια παλιά έκδοση του δεδομένου που αναζητά είναι διαθέσιμη ή όχι στο κανάλι. Θα πρέπει λοιπόν να περιμένει να τη διαβάσει από το κανάλι παρακολουθώντας ολόκληρο κάποιον επόμενο Κύκλο για να διαπιστώσει αν εκπέμπεται. Αν δεν καταφέρει να τη διαβάσει, τότε καταλαβαίνει ότι δεν είναι πια διαθέσιμη, οπότε απορρίπτεται. Το αν είναι ή όχι διαθέσιμη μπορεί επίσης να το μάθει από κάποιο ευρετήριο που εκπέμπεται σε επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης. Στην περίπτωση που λόγω συνεχόμενων διακοπών σύνδεσης χάνεται το ευρετήριο και το δεδομένο που επιθυμεί να διαβάσει, τότε αναγκάζεται να περιμένει επ' άπειρο. Για να αποφύγουμε τέτοιες καταστάσεις (οι οποίες μπορεί να προκύψουν και στις Multiversioning τεχνικές χωρίς ευρετήριο), μπορούμε να επιβάλλουμε διακοπή σε όσες δοσοληψίες περιμένουν για *timeout* συνεχόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης. Σε αυτή την περίπτωση η ανοχή2 περιορίζεται σε *timeout* - 1 διαστήματα εμπιστοσύνης.

Στον Πίνακα 5.3 δίνονται οι τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 για την MV τεχνική ακύρωσης.



## 5.2.4 Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων με Ακύρωση και Διακοπές Σύνδεσης

Έστω μια δοσοληψία αναζητά το  $i$ -στο δεδομένο προς ανάγνωση, έστω  $P_i$  αυτό. Αν η δοσοληψία δεν έχει ακυρωθεί ακόμη, συνεχίζει αναζητώντας την πιο πρόσφατη έκδοση του  $P_i$ . Αν η δοσοληψία έχει ήδη ακυρωθεί στο διάστημα εμπιστοσύνης  $C_k$ , τότε αναζητά για να διαβάσει τη μεγαλύτερη έκδοση του  $P_i$  που είναι μικρότερη από  $C_k$ . Αν το δεδομένο με την κατάλληλη έκδοση είναι τοπικά αποθηκευμένο, τότε η δοσοληψία μπορεί να το διαβάσει από εκεί. Διαφορετικά το περιμένει από το κανάλι. Έστω ότι όσο η δοσοληψία περιμένει, μια διακοπή σύνδεσης λαμβάνει χώρα.

Αν μετά τη διακοπή σύνδεσης ο πελάτης διαπιστώσει ότι βρίσκεται σε διάστημα εμπιστοσύνης μεγαλύτερο από αυτό που η διακοπή άρχισε, τότε συνειδητοποιεί ότι έχασε την εκπομπή τουλάχιστο μιας Λίστας Ακύρωσης. Έτσι, ακυρώνει όλες τις δοσοληψίες με μη κενό *Read.Set*. Ο τρόπος με τον οποίο χειρίζεται τον τοπικό χώρο αποθήκευσης είναι παρόμοιος με αυτόν της απλής, MV τεχνικής, μόνο που εδώ είναι διαθέσιμες Λίστες Ακύρωσης. Έτσι δεν ακυρώνει όλα τα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης αλλά μόνο αυτό που αναφέρονται στη λίστα ακύρωσης. Αν χάσει τη λίστα ακύρωσης λόγω διακοπών σύνδεσης πρέπει να τα ακυρώσει όλα και να τα επαναφέρει σε εγκυρότητα μετά τη διακοπή σύνδεσης καθώς θα τα ακούει στο κανάλι (autoprefetch).

### Ανοχή

Οι τιμές για την ανοχή1 και ανοχή2 για αυτή την τεχνική είναι ίσες με τις αντίστοιχες τιμές για την MV τεχνική, αν θεωρήσουμε τη χειρότερη περίπτωση, δηλαδή η δοσοληψία να μην έχει ακυρωθεί τη στιγμή που αρχίζει η διακοπή σύνδεσης. Κατά συνέπεια αν χαθεί η επόμενη λίστα ακύρωσης (λόγω διακοπής σύνδεσης) όλες οι δοσοληψίες θα πρέπει να ακυρωθούν. Αν μία δοσοληψία έχει ακυρωθεί στο διάστημα εμπιστοσύνης  $t_a + 1$ , τότε από τους τύπους της ανοχής που υπολογίζουμε παρακάτω θα πρέπει να αφαιρέσουμε τον όρο  $t_0 - t_a$ , όπου  $t_0$  το διάστημα εμπιστοσύνης που η διακοπή σύνδεσης λαμβάνει χώρα (προφανώς οι τιμές για την ανοχή είναι θετικές). Δεν μας ενδιαφέρουν όμως δοσοληψίες οι οποίες διαβάζουν κάποια δεδομένα, σταματούν εν συνεχεία να διαβάζουν δεδομένα για αρκετά διαστήματα εμπιστοσύνης και τέλος επανενεργοποιούνται για να διαβάσουν κάποια δεδομένα πριν ολοκληρώσουν τη λειτουργία τους. Αυτές οι δοσοληψίες είναι σα να βρίσκονται σε διακοπή σύνδεσης όσο χρόνο μένουν απενεργοποιημένες.

Οι ίδιες βελτιώσεις που προτείναμε στην Invalidationing τεχνική μπορούν να εφαρμοστούν και εδώ. Οι αλλαγές που θα πρέπει να γίνουν στην περίπτωση της MVI τεχνικής είναι προφανείς και δεν αναφερόμαστε σε αυτές περαιτέρω.

### Ανοχή για την πρώτη βελτίωση

Οι τιμές για την ανοχή1 και ανοχή2 αυτής της βελτίωσης είναι ίσες με τις αντίστοιχες τιμές της τεχνικής χωρίς βελτιώσεις. Αυτό που αλλάζει όμως είναι ότι η ανοχή του πελάτη σε σχέση με το πότε θα ακυρώσει τις δοσοληψίες όταν ισχύει ότι  $K = 1$ . Έστω ότι ονομάζουμε την ανοχή αυτή ανοχή-ακύρωσης. Προφανώς έχουμε τα μεγέθη ανοχή-ακύρωσης1 και ανοχή-ακύρωσης2. Οι τιμές τους ισούνται με τις τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 που υπολογίσαμε για την πρώτη βελτίωση της Invalidationing τεχνικής, αντίστοιχα.



Τεχνική Ακύρωσης	ανοχή1	ανοχή2
Multiversioning with Inv. Πρώτη περίπτωση	$W_1 - 1$	$\max\{K, W_2\}$
Multiversioning with Inv. Δεύτερη περίπτωση	$(K - 1) * W_1 + W_1 - 1$	$W_2 * K$

Πίνακας 5.4: Συνοπτικά οι τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 για την MVI τεχνική ακύρωσης.

Έτσι, αν  $K = 1$  και αν ο πελάτης δεν γνωρίζει την τιμή του  $W_1$ , τότε θα πρέπει να ακυρώσει όλες τις τοπικά εκτελούμενες δοσοληψίες αν μία διακοπή σύνδεσης μεγαλύτερη από  $P - 1$  Τμήματα του ίδιου διαστήματος εμπιστοσύνης προκύψει. Αν η διακοπή σύνδεσης είναι μικρότερη ή ίση με  $P - 1$  Τμήματα τότε οι δοσοληψίες δεν ακυρώνονται εξαιτίας της Διακοπής Σύνδεσης γιατί ο πελάτης λαμβάνοντας την Λίστα Ακύρωσης που εκπέμπεται στο  $P$ -στο Τμήμα που δεν βρίσκεται σε Διακοπή Σύνδεσης, μπορεί να ελέγξει αν κάποια από τις δοσοληψίες πρέπει να ακυρωθεί. Έτσι, έχουμε ότι:

$$\text{ανοχή-ακύρωσης1} = P - 1[\text{Τμήματα}],$$

όπου τα  $P - 1[\text{Τμήματα}]$  είναι Τμήματα του ίδιου διαστήματος εμπιστοσύνης, ενώ η τιμή της ανοχή-ακύρωσης2 είναι  $P$  Τμήματα.

Αν όμως ο πελάτης γνωρίζει την τιμή της  $W_1$  παραμέτρου, τότε η ανοχή-ακύρωσης1 γίνεται:

$$\text{ανοχή-ακύρωσης1} = W_1 - 1[\text{διαστήματα εμπιστοσύνης}] + P - 1[\text{Τμήματα}],$$

όπου τα  $P - 1[\text{Τμήματα}]$  είναι Τμήματα του ίδιου διαστήματος εμπιστοσύνης και συγκεκριμένα του  $W_1$  διαστήματος εμπιστοσύνης μετά τη διακοπή σύνδεσης, ενώ η ανοχή-ακύρωσης2 γίνεται:

$$\text{ανοχή-ακύρωσης2} = W_1 - 1[\text{διαστήματα εμπιστοσύνης}] + P[\text{Τμήματα}],$$

όπου τα  $P[\text{Τμήματα}]$  είναι Τμήματα του ίδιου διαστήματος εμπιστοσύνης, του  $W_1$  διαστήματος εμπιστοσύνης μετά τη διακοπή σύνδεσης.

#### Ανοχή για τη δεύτερη βελτίωση

Οι τιμές για την ανοχή1 και ανοχή2 και αυτής της βελτίωσης είναι ίσες με τις αντίστοιχες τιμές της τεχνικής χωρίς βελτιώσεις. Οι τιμές της ανοχή-ακύρωσης1 και ανοχή-ακύρωσης2 ισούνται και εδώ με τις τιμές της ανοχής1 και ανοχής2 που υπολογίσαμε για την δεύτερη βελτίωση της Invalidationing τεχνικής.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι τιμές της ανοχή-ακύρωσης1 και ανοχή-ακύρωσης2 είναι ανεξάρτητες από το αν χρησιμοποιείται το σχήμα όπου οι  $K$  πιο πρόσφατες εκδόσεις διατηρούνται από τον εξυπνέτη και εκπέμπονται στο κανάλι κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης ή το σχήμα όπου οι εκδόσεις που δημιουργήθηκαν στα  $K$  πιο πρόσφατα διαστήματα εμπιστοσύνης,





διατηρούνται από τον εξυπρέτη και εκπέμπονται στο κανάλι κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης.

Στον Πίνακα 5.4 δίνονται οι τιμές της ανοχής<sub>1</sub> και ανοχής<sub>2</sub> για την MVI τεχνική ακύρωσης και τις βελτιώσεις της. Για τις τιμές των ανοχή-ακύρωσης<sub>1</sub> και ανοχή-ακύρωσης<sub>2</sub> παραπέμπουμε στον Πίνακα 5.2 όπου δίνονται οι τιμές για την ανοχή<sub>1</sub> και ανοχή<sub>2</sub> της δεύτερης βελτίωσης της Invalidationing τεχνικής. Όπως έχουμε αναφέρει οι τιμές της ανοχή-ακύρωσης<sub>1</sub> και ανοχή-ακύρωσης<sub>2</sub> για την MVI τεχνική ακύρωσης είναι ίσες με τις τιμές της ανοχής<sub>1</sub> και ανοχής<sub>2</sub> της Invalidationing τεχνικής.



## Κεφάλαιο 6

# Περιγραφή Μοντέλου Προσομοίωσης

Προκειμένου να κατανοήσουμε βαθύτερα τις ιδιότητες του περιβάλλοντος Εκπομπής καθώς και για να εκτιμήσουμε την απόδοση των διαφόρων τεχνικών που παρουσιάστηκαν, ένα μοντέλο προσομοίωσης κατασκευάστηκε με το οποίο έγιναν διάφορες πειραματικές μετρήσεις. Ο προσομοιωτής κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας το εργαλείο προσομοίωσης *SIMSCRIPT II.5* και τη γλώσσα προγραμματισμού *C*. Μοντελοποιεί έναν εξυπηρέτη, ο οποίος επαναληπτικά εκπέμπει τα δεδομένα της Βάσης, έναν πελάτη, ο οποίος επαναληπτικά ενεργοποιεί δοσοληψίες και διαχειρίζεται ένα τοπικό χώρο αποθήκευσης (*cache*), έναν ενημερωτή, ο οποίος τροποποιεί τις τιμές των δεδομένων της Βάσης και τις δοσοληψίες, οι οποίες δημιουργούν αιτήσεις για ανάγνωση των δεδομένων της Βάσης και διαβάζουν τα δεδομένα που αιτούνται είτε από το κανάλι, είτε από τον τοπικό χώρο αποθήκευσης του πελάτη.

Στον προσομοιωτή, θα ονομάζουμε *Λογικά δεδομένα*, αυτά που ζητούν για ανάγνωση οι δοσοληψίες (ακολουθώντας κάποια συνάρτηση πιθανότητας) και *Φυσικά δεδομένα*, τα δεδομένα που ενημερώνει ο ενημερωτής και χειρίζεται ο εξυπηρέτης σύμφωνα με τις δικές τους συναρτήσεις πιθανότητας. Η διαφοροποίηση ή το ταίριασμα ανάμεσα στις παραπάνω συναρτήσεις πιθανότητας επιτρέπουν στον προσομοιωτή την ευελιξία με έναν μόνο απλό πελάτη να μοντελοποιεί τη συμπεριφορά πολλών (πολλοί είναι και οι πελάτες σε πραγματικές εφαρμογές). Έτσι, αν για παράδειγμα θεωρήσουμε ότι αυτός ο πελάτης διαβάζει μόνο ένα υποσύνολο από τα δεδομένα της Βάσης, τότε μοντελοποιούμε το γεγονός ότι ο εξυπηρέτης εκπέμπει δεδομένα που διαβάζουν άλλοι πελάτες. Επίσης, διαταράσσοντας τη σχέση μεταξύ της συνάρτησης πιθανότητας με την οποία διαβάζουν οι δοσοληψίες και της συνάρτησης πιθανότητας με την οποία ο ενημερωτής ενημερώνει τα δεδομένα, μοντελοποιούμε το γεγονός ότι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα δεδομένα είναι επίσης αυτά που ενημερώνονται πιο συχνά. Τέλος τοποθετώντας αυτά τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα δεδομένα σε γρήγορους ή αργούς Δίσκους, μοντελοποιούμε το κατά πόσο ο εξυπηρέτης εκπέμπει πιο συχνά δεδομένα τα οποία οι δοσοληψίες αιτούνται πιο συχνά.

Παρ' όλ' αυτά, σε ένα πραγματικό περιβάλλον, ο εξυπηρέτης μπορεί να δημιουργήσει ένα Πρόγραμμα Εκπομπής, το οποίο δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες κάποιων πελατών αφού προσπαθεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες του συνόλου των πελατών. Προσπαθεί λοιπόν να δημιουργήσει ένα Πρόγραμμα Εκπομπής το οποίο μειώνει το μέσο χρόνο ζωής των δοσοληψιών των πελατών, ενώ παράλληλα διατηρεί χαμηλό το ρυθμό με τον οποίο αυτές απορρίπτονται. Ακολουθεί μία πιο λεπτομερής περιγραφή των διεργασιών του προσομοιωτή.



<i>Server.DB.Size</i>	Αριθμός των δεδομένων της Βάσης
<i>Num.Disks</i>	Αριθμός Δίσκων
<i>Rel.Freq<sub>i</sub></i>	Σχετική συχνότητα περιστροφής του Δίσκου <i>i</i>
<i>D</i>	Παράμετρος απλοποίησης υπολογισμού συχνοτήτων περιστροφής
<i>Disk.Size<sub>i</sub></i>	Αριθμός δεδομένων στο Δίσκο <i>i</i>
<i>Offset</i>	Απόκλιση από τη συνάρτηση πιθανότητας των δοσοληψιών
<i>Noise</i>	Τροποποίηση της ανάθεσης των σελίδων στους Δίσκους
<i>K</i>	Αριθμός εκδόσεων που διατηρεί ο εξυπηρέτης (μόνο για multiversioning)

Πίνακας 6.1: Παράμετροι που περιγράφουν τη λειτουργία του εξυπηρέτη.

## 6.1 Εξυπηρέτης

Οι παράμετροι που περιγράφουν τη λειτουργία του εξυπηρέτη δίνονται στον Πίνακα 6.1. Ο εξυπηρέτης εκτελεί έναν ατέρμονα βρόχο στην αρχή του οποίου κατασκευάζει το Πρόγραμμα Εκπομπής<sup>1</sup>. Ακολούθως εκπέμπει αυτό το πρόγραμμα στο κανάλι, δεδομένο - δεδομένο, περιμένοντας μεταξύ δύο διαδοχικών εκπομπών δεδομένων μία *Μονάδα Εκπομπής*. Μία *Μονάδα Εκπομπής* ισούται με το χρόνο που απαιτείται για την εκπομπή ενός δεδομένου. Το Πρόγραμμα Εκπομπής στο μοντέλο μας κατασκευάζεται με τον αλγόριθμο *Εκπομπής Δίσκων (Broadcast Disks)*, όπως περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Ο εξυπηρέτης διαχειρίζεται τα δεδομένα της Βάσης (τα οποία θεωρούμε ότι έχουν όλα το ίδιο μέγεθος) που διατηρεί. Θεωρούμε ότι το μέγεθος της Βάσης είναι *Server.DB.Size* δεδομένα. Κατά συνέπεια τα δεδομένα έχουν ταυτότητες στο εύρος από 1 μέχρι και *Server.DB.Size*.

Η δομή του προγράμματος εκπομπής περιγράφεται από τις εξής παραμέτρους. *Num.Disks* είναι ο αριθμός των Δίσκων στους οποίους τοποθετούνται τα δεδομένα. Οι Δίσκοι αριθμούνται κατά σύμβαση από 1 (γρηγορότερος) έως  $N = \text{Num.disks}$  (αργότερος). *Disk.Size<sub>i</sub>*,  $i \in [1, \dots, N]$ , είναι ο αριθμός των δεδομένων που υπάρχουν στο Δίσκο *i*. Να σημειώσουμε εδώ ότι κάθε δεδομένο τοποθετείται σε έναν ακριβώς Δίσκο. Συνεπώς το άθροισμα των δεδομένων όλων των Δίσκων ισούται με τον αριθμό των δεδομένων της Βάσης, *Server.DB.Size*.

Επιπρόσθετα με τον αριθμό και το μέγεθος των Δίσκων οι σχετικές συχνότητες περιστροφής τους πρέπει να οριστούν. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι συχνότητες αυτές μπορεί να είναι οποιοδήποτε θετικοί αχέραιοι. Χάριν απλότητας όμως, εισάγουμε την παράμετρο *D* με τη βοήθεια της οποίας μπορούμε να ορίσουμε τη σχετική συχνότητα περιστροφής *Rel.Freq(i)* του Δίσκου *i* ως προς τη συχνότητα περιστροφής του αργότερου Δίσκου *N* ως εξής:

<sup>1</sup>Ο εξυπηρέτης, προκειμένου να μπορεί να παρέχει πληροφορίες ευρετηρίου στους πελάτες, πρέπει να γνωρίζει στην αρχή του κάθε Κύκλου τη σειρά με την οποία τα δεδομένα θα εκπεμφθούν. Συνεπώς, το Πρόγραμμα Εκπομπής πρέπει να είναι έτοιμο πριν αρχίσει να εκτελείται.



$$Rel.Freq(i) = Rel.Freq(N) * [(N - i) * D + 1], 1 \leq i < N \text{ και } Rel.Freq(N) = 1.$$

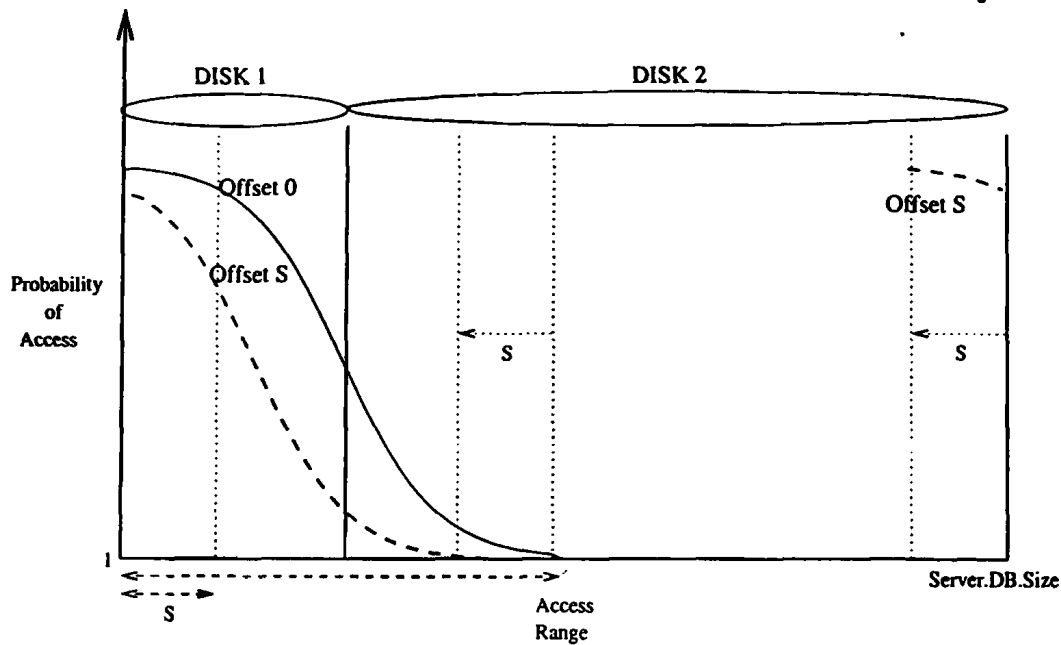
Όταν η τιμή της παραμέτρου  $D$  είναι 0, τότε έχουμε την αρχιτεκτονική του Επίπεδου Δίσκου, αφού όλοι οι Δίσκοι περιστρέφονται με την ίδια συχνότητα περιστροφής. Καθώς το  $D$  αυξάνεται, η ταχύτητα περιστροφής των Δίσκων διαφοροποιείται με τον πρώτο Δίσκο να αποκτά την μεγαλύτερη συχνότητα περιστροφής. Για παράδειγμα, αν έχουμε μία αρχιτεκτονική με τρεις Δίσκους και το  $D$  έχει τιμή 1, τότε ο πρώτος Δίσκος περιστρέφεται 3 φορές γρηγορότερα από τον τρίτο Δίσκο, ενώ ο δεύτερος Δίσκος περιστρέφεται δύο φορές γρηγορότερα από τον τρίτο. Αν το  $D$  έχει τιμή ίση με 3, τότε οι σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων 1, 2 και 3 είναι 7, 4 και 1 αντίστοιχα. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η παράμετρος  $D$  δεν αποτελεί κομμάτι του μοντέλου μας. Χρησιμοποιείται απλά και μόνο για να οργανώσουμε και να διαμορφώσουμε πιο απλά την αρχιτεκτονική των δίσκων εκπομπής, όσον αφορά στις σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων.

Οι παράμετροι *Offset* και *Noise* χρησιμοποιούνται για να διαταράσσουμε το ταίριασμα μεταξύ Λογικών και Φυσικών δεδομένων. Όταν και οι δύο αυτές παράμετροι ισούνται με 0, τότε η συνάρτηση που αντιστοιχεί τα Λογικά στα Φυσικά δεδομένα είναι η ταυτοτική. Αυτό συνεπάγεται ότι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα από τις δοσοληψίες δεδομένα, είναι εκείνα που ο εξυπηρέτης τοποθετεί στον πιο γρήγορο Δίσκο, ενώ τα λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενα δεδομένα, στον επόμενο γρήγορο Δίσκο κ.ο.κ. Αυτό σημαίνει ότι το Πρόγραμμα Εκπομπής κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες των δοσοληψιών του πελάτη του μοντέλου μας.

Μπορεί όμως αυτός ο τρόπος τοποθέτησης των δεδομένων στους Δίσκους να μην ικανοποιεί τις ανάγκες των δοσοληψιών του πελάτη, εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο αυτός αποθηκεύει τα δεδομένα στον τοπικό χώρο αποθήκευσης. Ορισμένες πολιτικές διαχείρισης του τοπικού χώρου αποθήκευσης στον πελάτη τείνουν να καθηλώνουν ορισμένα δεδομένα εκεί και ως εκ τούτου αυτά τα δεδομένα δεν είναι αναγκαίο να εκπέμπονται συχνά. Σε τέτοιες περιπτώσεις ένα καλύτερο Πρόγραμμα Εκπομπής μπορεί να δημιουργηθεί αν μετατοπίσουμε ορισμένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα δεδομένα από τον πιο γρήγορο Δίσκο στον πιο αργό. *Offset* είναι ο αριθμός των δεδομένων που μετατοπίζονται κατ' αυτόν τον τρόπο. Τιμή του *Offset* ίση με  $S$ , μετατοπίζει  $S$  από τα δεδομένα του πιο γρήγορου Δίσκου στο τέλος του πιο αργού. Παράλληλα, διαδοχικά λιγότερο σημαντικά δεδομένα μετακινούνται προς πιο γρήγορους Δίσκους. Τα παραπάνω όσον αφορά στο *Offset* συνοψίζονται στο Σχήμα 6.1.

Σε αντίθεση με το *Offset*, που χρησιμοποιείται για να παραχθεί ένα Πρόγραμμα Εκπομπής πιο κοντά στις ανάγκες του πελάτη, η παράμετρος *Noise* χρησιμοποιείται για να εισάγει διαφωνία μεταξύ των αναγκών του πελάτη και του προγράμματος εκπομπής που δημιουργείται από τον εξυπηρέτη. Σε πραγματικές εφαρμογές τέτοια διαφωνία μπορεί να προκύψει με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα τις αλληλοσυγκρουόμενες απαιτήσεις για δεδομένα που εμφανίζει ένας μεγάλος αριθμός από πελάτες. Η παράμετρος *Noise* ορίζει το ποσοστό των δεδομένων για τα οποία μπορεί να υπάρχει μία ανομοιότητα ανάμεσα στον πελάτη και στον εξυπηρέτη ως προς το ποια δεδομένα θεωρούν πιο σημαντικά και ποια όχι. Δηλαδή με πιθανότητα ίση με *Noise* ένα δεδομένο μπορεί να μετατεθεί σε κάποιο άλλο Δίσκο.





Σχήμα 6.1: Χρήση της παραμέτρου *Offset*.

Η δημιουργία του προγράμματος εκπομπής στον εξυπηρέτη γίνεται ως εξής. Αρχικά τα δεδομένα τοποθετούνται σε γρήγορους ή αργούς Δίσκους, ανάλογα με το πόσο σημαντικά ή όχι τα θεωρεί αντίστοιχα ο εξυπηρέτης. Ακολούθως τα δεδομένα μετατοπίζονται κατά *Offset*, όπως περιγράψαμε παραπάνω. Εν συνεχεία κάθε δεδομένο μετατίθεται σε άλλο Δίσκο, με πιθανότητα *Noise*. Αν ένα δεδομένο, έστω  $i$ , επιλεγεί να μετατεθεί σε άλλο Δίσκο, τότε ο Δίσκος στον οποίο θα μετατεθεί, έστω  $j$ , επιλέγεται ομοιόμορφα στο εύρος από 1 μέχρι  $Num.Disks$ . Για να δημιουργηθεί χώρος στον Δίσκο  $j$  όπου θα τοποθετηθεί το δεδομένο  $i$ , ένα δεδομένο  $p$  του Δίσκου  $j$  επιλέγεται. Τα δεδομένα  $i$  και  $p$  ανταλλάσσουν τις θέσεις τους στους δύο Δίσκους. Μόλις η παραπάνω διαδικασία τερματιστεί, έχουμε την τελική κατάταξη των δεδομένων στους Δίσκους. Τέλος, το Πρόγραμμα Εκπομπής κατασκευάζεται με την τεχνική Εκπομπής Δίσκων.

Η παράμετρος  $K$  αφορά μόνο τις MV και MVI τεχνικές ακύρωσης. Ισούται με τον αριθμό των παλιών εκδόσεων που διατηρεί και εκπέμπει ο εξυπηρέτης σε κάθε Κύκλο. Στο μοντέλο μας θεωρούμε ότι ο εξυπηρέτης διατηρεί και εκπέμπει σε κάθε Κύκλο όσες παλιές εκδόσεις των δεδομένων δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα  $K$  διαστήματα εμπιστοσύνης. Ασφαλώς, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η πιο πρόσφατη έκδοση κάθε δεδομένου εκπέμπεται, όσο παλιά και αν είναι. Το  $K$  αφορά μόνο στις παλιές εκδόσεις των δεδομένων. Το  $K$  μπορεί να πάρει θεωρητικά οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη του 1. Πάντως η τιμή του γενικά πρέπει να περιορίζεται σε χαμηλά επίπεδα (της τάξης του 10). Αυτό γιατί σε πραγματικές εφαρμογές, για μεγάλο  $K$ , οι χώροι αποθήκευσης που απαιτούν οι παλιές εκδόσεις στο Δίσκο του εξυπηρέτη, γίνονται απαγορευτικά μεγάλοι.

<i>Create.Think.Time</i>	Χρόνος αναμονής μέχρι την επόμενη ενεργοποίηση δοσοληψίας
<i>Cache.Size</i>	Μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης
<i>Disconnection.Duration</i>	Διάρκεια Διακοπής Σύνδεσης σε Μονάδες Εκπομπής
<i>Disconnection.Frequency</i>	Μία διακοπή σύνδεσης κάθε <i>Disconnection.Frequency</i> Μονάδες Εκπομπής

Πίνακας 6.2: Παράμετροι που περιγράφουν τη λειτουργία του πελάτη.

## 6.2 Πελάτης

Οι παράμετροι που περιγράφουν την λειτουργία του πελάτη δίνονται στον Πίνακα 6.2. Ο πελάτης εκτελεί έναν ατέρμονα βρόχο κατά τη διάρκεια του οποίου ενεργοποιεί μία νέα δοσοληψία και εν συνεχεία περιμένει κάποιο χρόνο μέχρι την ενεργοποίηση της επόμενης δοσοληψίας. Ο χρόνος που περιμένει μετράται σε *Μονάδες Εκπομπής* και τον ονομάζουμε *Create.Think.Time*.

Ο πελάτης διατηρεί έναν τοπικό χώρο αποθήκευσης (*cache*), όπου αποθηκεύει προσωρινά κάποια από τα δεδομένα που "ακούει" στο κανάλι. Μπορεί να αποθηκεύσει μέχρι *Cache.Size* δεδομένα. Η αποθήκευση ενός δεδομένου λαμβάνει χώρα μόνο ύστερα από αίτηση μίας δοσοληψίας για αυτό το δεδομένο. Είναι μέλημα του πελάτη να διατηρεί στον χώρο αυτό τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων. Επίσης πρέπει να διατηρεί το πολύ μία έκδοση για κάθε δεδομένο, την πιο πρόσφατη, ώστε να μην τον γεμίζει με διαφορετικές εκδόσεις του ίδιου δεδομένου. Αν κάποια στιγμή ο πελάτης διαπιστώσει ότι από το κανάλι έρθει μία νέα έκδοση για ένα δεδομένο του οποίου μια παλιά έκδοση είναι αποθηκευμένη τοπικά, τότε αντικαθιστά την παλιά με τη νέα έκδοση. Αυτό επιβάλλεται για να μην παλιώνουν τα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα με το πέρασμα του χρόνου. Αν επιτρέψουμε να συμβαίνει αυτό, τότε τα δεδομένα σταδιακά θα καθιστώνται άχρηστα για τις δοσοληψίες.

Ένας τρόπος, με τον οποίο ο πελάτης μπορεί να γνωρίζει ποια δεδομένα θα πρέπει να αντικατασταθούν στον επόμενο Κύκλο με τις νέες τους εκδόσεις, είναι να του στέλνεται μια Λίστα Ακύρωσης στην αρχή κάθε Κύκλου (ή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης) από τον εξυπηρέτη η οποία να τον ενημερώνει για τα δεδομένα που εμφανίζονται με νέα έκδοση στο νέο Κύκλο. Ο πελάτης ελέγχει αν κάποιο από αυτά είναι αποθηκευμένο στον τοπικό χώρο αποθήκευσής του οπότε και το "μαρκάρει" ως "άκυρο". Στον επόμενο Κύκλο το αντικαθιστά με τη νέα του έκδοση.

Εναλλακτικά, απουσία Λίστας Ακύρωσης, θα πρέπει να ακυρώνει όλα τα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα στην αρχή κάθε νέου διαστήματος εμπιστοσύνης γιατί δεν έχει κάποιο τρόπο να γνωρίζει ακριβώς ποια έχουν ενημερωθεί και θα εμφανιστούν με νέα έκδοση. Εν συνεχεία, παρακολουθεί συνεχώς το κανάλι και για κάθε δεδομένο που ακούει, ελέγχει αν αυτό είναι τοπικά αποθηκευμένο με παλαιότερη έκδοση. Αν κάτι τέτοιο συμβαίνει, αντικαθιστά την παλιά αποθηκευμένη έκδοση του δεδομένου με τη νέα. Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι για όλες τις τεχνικές ακύρωσης είναι διαθέσιμες Λίστες Ακύρωσης, τις οποίες ο πελάτης χρησιμοποιεί μόνο για να διαχειρίζεται πιο αποδοτικά τον τοπικό χώρο αποθήκευσης όσον αφορά στις ακυρώσεις των δεδομένων στην αρχή κάθε νέου διαστήματος εμπιστοσύνης. Για παράδειγμα αν η MV τεχνική χρησιμοποιείται, τότε ο πελάτης ακυρώνει μόνο όσα δεδομένα αναφέρονται στην Λίστα Ακύρωσης στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης. Τη Λίστα Ακύρωσης όμως δεν τη χρησιμοποιεί για να ακυρώνει τις



δοσοληψίες γιατί τότε θα είχαμε την MVI τεχνική ακύρωσης. Εδώ επιθυμούμε να δείξουμε τη διαφορά μεταξύ των δύο τεχνικών η οποία οφείλεται στην ακύρωση των δοσοληψιών. Αυτό το καταφέρνουμε διώχνοντας όλες τις υπόλοιπες διαφορές ανάμεσα στις δύο τεχνικές. Προφανώς αν δεν είναι διαθέσιμες Λίστες Ακύρωσης, η απόδοση της MV τεχνικής είναι ακόμη χειρότερη και έτσι η πραγματική διαφορά ανάμεσα στις δύο τεχνικές είναι ακόμη μεγαλύτερη. Τα ίδια ισχύουν όσον αφορά και στην Versioning τεχνική.

Επιπλέον ο πελάτης ακολουθεί μια Πολιτική Αντικατάστασης για τα δεδομένα, όταν μια νέα αίτηση για αποθήκευση δεδομένου γίνει από κάποια δοσοληψία και ο χώρος αποθήκευσης είναι γεμάτος. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει ο πελάτης να εξασφαλίσει χώρο για να αποθηκεύσει το δεδομένο αυτό. Έτσι, επιλέγει κάποιο ήδη αποθηκευμένο δεδομένο, το οποίο αντικαθιστά με το καινούργιο. Υπάρχουν διάφορες πολιτικές αντικατάστασης, όπως οι PIX και LIX [1] καθώς και οι πιο γνωστές LRU (Least Recently Used) και FRU (First Recently Used). Στο μοντέλο μας χρησιμοποιούμε την LRU. Σύμφωνα με αυτή την Πολιτική Αντικατάστασης, επιλέγεται για να αντικατασταθεί το δεδομένο εκείνο που χρησιμοποιήθηκε από κάποια δοσοληψία πιο παλιά χρονικά σε σχέση με τα υπόλοιπα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα.

Στον προσομοιωτή μας δίνουμε τη δυνατότητα να μοντελοποιεί Διακοπές Σύνδεσης. Μία διακοπή σύνδεσης συμβαίνει κάθε *Disconnection.Frequency* Μονάδες Εκπομπής και η διάρκειά της είναι *Disconnection.Duration* Μονάδες Εκπομπής χρόνο. Το σημείο στο οποίο ξεκινά η διακοπή σύνδεσης επιλέγεται κάθε φορά ομοιόμορφα από τον πελάτη εντός των επόμενων *Disconnection.Frequency* Μονάδων Εκπομπής. Δίνουμε τη διάρκεια των διακοπών σύνδεσης ως Μονάδες Εκπομπής για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε με κοινό σημείο αναφοράς τεχνικές που έχουν διαφορετικό μήκος Κύκλου, όπως για παράδειγμα η MV σε σχέση με την Invalidationing. Μία διακοπή σύνδεσης μπορεί να επικαλύπτει την τομή μεταξύ δύο διαδοχικών Κύκλων. Σε αυτή την περίπτωση μαζί με δεδομένα χάνονται και διάφορες άλλες πληροφορίες, όπως Ευρετήρια, Λίστες Ακύρωσης κ.α.

## 6.3 Δοσοληψία

Οι δοσοληψίες ενεργοποιούνται από τον πελάτη. Οποιαδήποτε στιγμή στο μοντέλο μας μπορεί να είναι ενεργές αρκετές από αυτές. Εδώ θα δώσουμε τα βασικά βήματα που ακολουθούν. Οι παράμετροι που περιγράφουν την λειτουργία της Δοσοληψίας δίνονται στον Πίνακα 6.3.

Κάθε δοσοληψία γεννά διαδοχικά αιτήσεις για διάβασμα κάποιων δεδομένων. Στη διάρκεια της ζωής της κάνει  $N$  τέτοιες αιτήσεις εφόσον καταφέρει να τερματίσει ομαλά τη λειτουργία της. Οι δοσοληψίες αιτούνται δεδομένα με εύρος από 1 μέχρι *Access.Range*, όπου  $Access.Range \leq Server.DB.Size$ . Όλα τα υπόλοιπα δεδομένα της Βάσης έχουν μηδενική πιθανότητα να επιλεγούν για διάβασμα. Η σειρά με την οποία διαβάζουν οι δοσοληψίες τα δεδομένα δεν είναι γνωστή εξ αρχής, τη στιγμή δηλαδή που ενεργοποιείται από τον πελάτη, αλλά γεννώνται διαδοχικά. Αν ήταν γνωστές εξ αρχής, τότε θα μπορούσαμε να διατάξουμε τις αναγνώσεις με τη σειρά με την οποία τα δεδομένα εμφανίζονται στο κανάλι. Σε αυτή την περίπτωση, όλες οι δοσοληψίες θα κατάφεραν να πραγματοποιήσουν και τις  $N$  λειτουργίες ανάγνωσής τους σε χρόνο λιγότερο από το χρόνο διάρκειας ενός Κύκλου.



<i>Think.Time</i>	Χρόνος αναμονής μέχρι την επόμενη αίτηση για ανάγνωση
$\theta$	Παράμετρος <i>Zipf</i> συνάρτησης πιθανότητας
<i>Region.Size</i>	Αριθμός δεδομένων ανά περιοχή
<i>Access.Range</i>	Το εύρος των δεδομένων που διαβάζει η δοσοληψία
$N$	Αριθμός λειτουργιών διαβάσματος ανά δοσοληψία

Πίνακας 6.3: Παράμετροι που περιγράφουν τη λειτουργία της Δοσοληψίας

Ο τρόπος με τον οποίο επιλέγεται κάθε φορά το προς ανάγνωση δεδομένο είναι αυτός που προτείνεται στο [1]. Χωρίζουμε το εύρος από 1 μέχρι *Access.Range* σε περιοχές μεγέθους *Region.Size* η κάθε μία. Κάθε τέτοια περιοχή την ονομάζουμε *Read.Region*. Συνεπώς ο αριθμός αυτών των περιοχών ισούται με *Access.Range/Region.Size*. Η δοσοληψία αρχικά επιλέγει ομοιόμορφα μία *Read.Region*, έστω την  $r$  και εν συνεχεία επιλέγει το δεδομένο που θα διαβάσει εντός αυτής της περιοχής, ακολουθώντας την *Zipf* συνάρτηση πιθανότητας. Αυτή η συνάρτηση πιθανότητας χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση μη ομοιόμορφων προτύπων πρόσβασης. Σύμφωνα με αυτή τη συνάρτηση πιθανότητας, η πιθανότητα να επιλεγεί ένας αριθμός  $i$ , στο εύρος από 1 μέχρι  $B$ , είναι ανάλογη του  $(1/i)^\theta$ . Στην περίπτωση μας, το  $i$  μπορεί να πάρει τιμές στο εύρος:  $1 \leq i \leq Region.Size$ . Το  $\theta$  είναι παράμετρος της *Zipf* συνάρτησης πιθανότητας. Πρόκειται για έναν μικρό θετικό αριθμό για τον οποίο ισχύει:  $0 < \theta < 1$ . Κατά συνέπεια το δεδομένο που επιλέγει τελικά η δοσοληψία να διαβάσει είναι το:  $(r-1) * Region.Size + i$ , με  $1 \leq r \leq Access.Range/Region.Size$ . Μπορούμε να ανάγουμε την *Zipf* συνάρτηση πιθανότητας σε διακριτή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας αν διαιρέσουμε με το μέτρο της [17]. Σε αυτή την εργασία μένουμε απλά στην υπόθεση ότι χρησιμοποιώντας τη γεννήτρια δειγμάτων που περιγράψαμε στις προηγούμενες γραμμές, μοντελοποιούμε το ότι κάποια από τα δεδομένα επιλέγονται πιο συχνά για διάβασμα σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Αν το δεδομένο που ζητά η δοσοληψία υπάρχει στον τοπικό χώρο αποθήκευσης του πελάτη, τότε μπορεί να το αντλήσει και να το διαβάσει από εκεί άμεσα. Στην περίπτωση όμως που το δεδομένο δεν είναι τοπικά αποθηκευμένο, τότε η δοσοληψία θα πρέπει να το περιμένει από το κανάλι. Μόλις το δεδομένο εκπεμφθεί, η δοσοληψία το διαβάζει. Σε κάθε περίπτωση η δοσοληψία ζητά από τον πελάτη να τοποθετήσει το δεδομένο που μόλις διάβασε, πρώτο στον τοπικό χώρο αποθήκευσης, σύμφωνα με την *LRU* Πολιτική Αντικατάστασης που ακολουθείται. Να σημειώσουμε εδώ ότι αν το δεδομένο που η δοσοληψία διάβασε προέρχεται από το κανάλι, τότε τοποθετείται στον τοπικό χώρο αποθήκευσης από τον πελάτη μόνο εφόσον δεν υπάρχει αποθηκευμένη εκεί κάποια πιο πρόσφατη έκδοση αυτού του δεδομένου.

Μετά από μία λειτουργία ανάγνωσης, η δοσοληψία περιμένει *Think.Time* Μονάδες Εκπομπής χρόνο πριν συνεχίσει με την επόμενη αίτησή της. Η *Think.Time* παράμετρος χρησιμοποιείται προκειμένου να μοντελοποιήσουμε το χρόνο επεξεργασίας που απαιτείται από τον πελάτη για να διαχειριστεί το δεδομένο που μόλις διάβασε η δοσοληψία, σε σχέση με το χρόνο που απαιτείται για την εκπομπή ενός δεδομένου στο μοντέλο μας. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι οι μετρήσεις που παίρνουμε από το μοντέλο μας είναι ανεξάρτητες από το εύρος ζώνης που έχει στη διάθεσή του ο εξυπηρέτης.





<i>Update.Think.Time</i>	Χρόνος αναμονής μέχρι την επόμενη ενημέρωση
$\theta_u$	Παράμετρος της <i>Zipf</i> συνάρτησης πιθανότητας
<i>Region.Size</i>	Αριθμός δεδομένων ανά περιοχή
<i>Overlap</i>	Αλληλοκάλυψη
<i>Zipf.Offset</i>	Παράμετρος μετατόπισης

Πίνακας 6.4: Παράμετροι που περιγράφουν τη λειτουργία του ενημερωτή

Κατά τη διάρκεια ζωής της, μία δοσοληψία ακολουθεί κάποια από τις τεχνικές ακύρωσης που περιγράψαμε στο κεφάλαιο 3, προκειμένου να διαβεβαιωθεί ότι εφόσον τερματίσει ομαλά τη λειτουργία της, είναι ορθή (δηλαδή δεν διαβάζει δεδομένα που αντιστοιχούν σε διαφορετικά στιγμιότυπα της Βάσης). Ο πελάτης αν διαπιστώσει ότι η λειτουργία μιας δοσοληψίας παύει να υπακούει στην τεχνική ακύρωσης που αυτή ακολουθεί, τότε επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία της. Ο προσομοιωτής υπολογίζει το ποσοστό των δοσοληψιών στις οποίες επιβάλλεται τερματισμός από τον πελάτη καθώς και το μέσο χρόνο ζωής των δοσοληψιών που καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά, το μέσο μήκος του προγράμματος εκπομπής κ.α. Αυτό που επιχειρείται τελικά είναι με βάση αυτές τις μετρήσεις να συγκρίνουμε τις διάφορες τεχνικές ακύρωσης μεταξύ τους.

## 6.4 Ενημερωτής

Οι παράμετροι που περιγράφουν τη λειτουργία του ενημερωτή φαίνονται στον Πίνακα 6.4. Ο ενημερωτής μοντελοποιεί τη διεργασία εκείνη, η οποία δημιουργεί τις ενημερώσεις στα δεδομένα της Βάσης. Αποτελεί κατά συνέπεια κομμάτι του εξυπηρετή αν θυμηθούμε ότι στο μοντέλο μας οι δοσοληψίες του πελάτη δεν έχουν δυνατότητα να εκτελούν λειτουργίες εγγραφής, παρά μόνο ανάγνωσης.

Ο ενημερωτής εκτελεί ένα ατέρμονα βρόγχο κατά τη διάρκεια του οποίου επιλέγει το δεδομένο το οποίο θα ενημερώσει σύμφωνα με κάποια συνάρτηση πιθανότητας, το ενημερώνει και περιμένει *Update.Think.Time* Μονάδες Εκπομπής χρόνο πριν συνεχίσει με το επόμενο δεδομένο. Η παράμετρος αυτή είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ζωής του. Διαισθητικά, όσο μικρότερη η τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time*, τόσο περισσότερες ενημερώσεις δεδομένων στο μοντέλο μας, δηλαδή τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός ενημέρωσης.

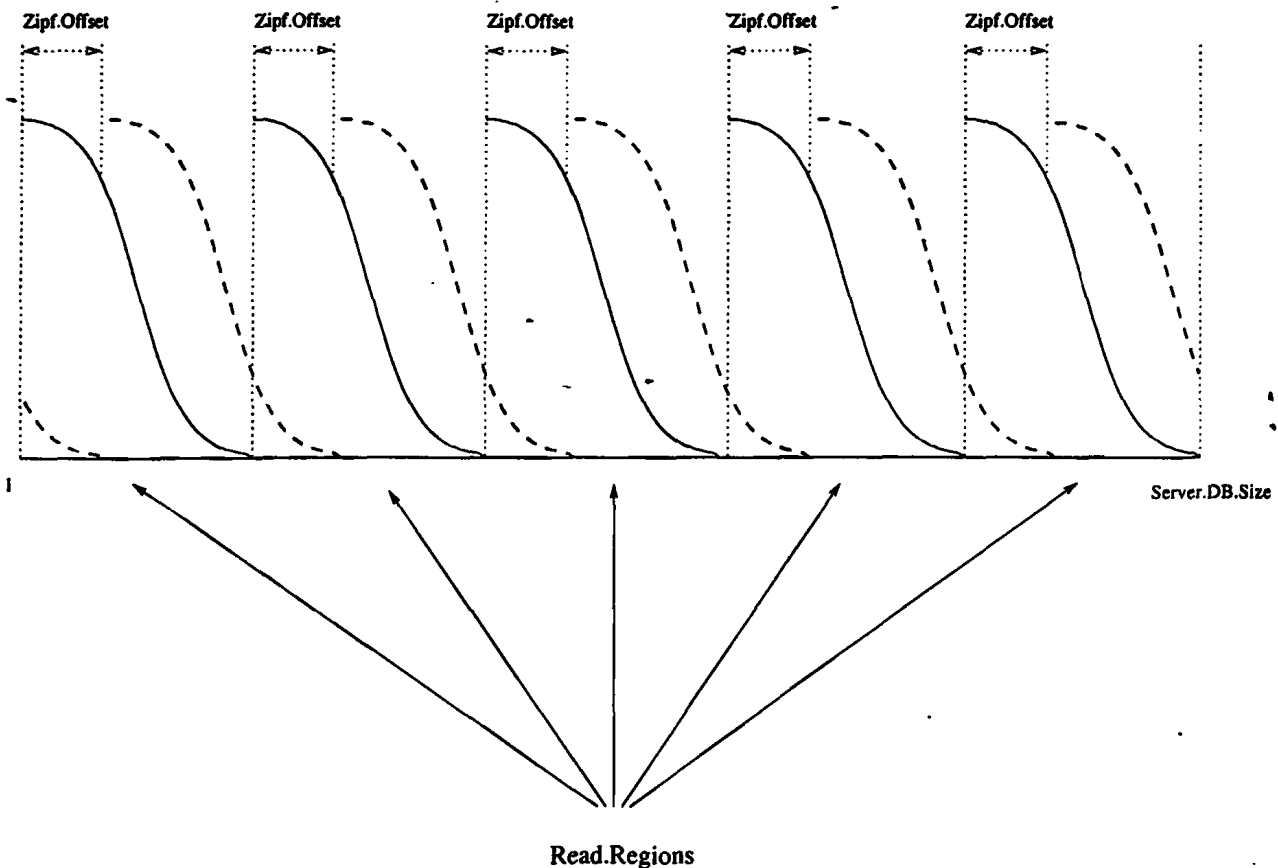
Η συνάρτηση πιθανότητας, την οποία ακολουθεί ο ενημερωτής για να πραγματοποιήσει την επιλογή του δεδομένου που θα ενημερώσει, είναι όμοια με αυτή που ακολουθούν οι δοσοληψίες για να επιλέξουν τα δεδομένα που διαβάζουν. Οι μόνες διαφορές είναι ότι η παράμετρος της *Zipf* συνάρτησης πιθανότητας εδώ είναι  $\theta_u$  (όμως στα πειράματά μας θεωρούμε ότι  $\theta_u = \theta$ ) και ότι ο ενημερωτής πρέπει να επιλέγει δεδομένα από όλη τη Βάση και όχι μόνο για το κομμάτι από 1 μέχρι *Access.Range*. Οι λειτουργίες ανάγνωσης των δοσοληψιών ενός πελάτη γίνονται πάνω σε τμήμα της Βάσης δεδομένων το οποίο μπορεί να διαφέρει από πελάτη σε πελάτη. Όμως οι ενημερώσεις των δεδομένων γίνονται στον εξυπηρετή και αφορούν στο σύνολο της Βάσης. Ο αριθμός των δεδομένων ανά περιοχή είναι και για τον ενημερωτή *Region.Size*, όμως αυξάνεται ο αριθμός των περιοχών, έτσι ώστε να καλυφθεί το εύρος των δεδομένων από 1 μέχρι *Server.DB.Size*. Έχουμε



δηλαδή  $Server.DB.Size/Region.Size$  τέτοιες περιοχές.

Οι παράμετροι  $Overlap$  και  $Zipf.Offset$  χρησιμοποιούνται για να εισάγουμε διαφωνία μεταξύ της συνάρτησης πιθανότητας με την οποία ο ενημερωτής επιλέγει δεδομένα για ενημέρωση και της συνάρτησης πιθανότητας με την οποία οι δοσοληψίες επιλέγουν δεδομένα για ανάγνωση. Όταν ισχύει  $Overlap = 0$  και  $Zipf.Offset = 0$ , τότε οι δύο συναρτήσεις πιθανότητας είναι ίδιες.

Η παράμετρος  $Overlap$  δηλώνει το επί τοις εκατό ποσοστό της αλληλοκάλυψης ανάμεσα στο εύρος των δεδομένων που οι δοσοληψίες διαβάζουν και στο εύρος των δεδομένων που ο ενημερωτής ενημερώνει. Για παράδειγμα αν έχουμε  $Server.DB.Size = 300$ ,  $Access.Range = 100$  και  $Overlap = 30$ , τότε οι δοσοληψίες διαβάζουν δεδομένα στο εύρος από 1 μέχρι  $Access.Range$  και ο ενημερωτής ενημερώνει μόνο το 30% από τα δεδομένα του εύρους από 1 μέχρι  $Access.Range$ , δηλαδή ενημερώνει τα δεδομένα στο εύρος από  $\frac{(100-Overlap)}{100} * Access.Range (= 70)$  μέχρι  $Server.DB.Size$ . Με τη βοήθεια της παραμέτρου αυτής μοντελοποιούμε το ενδεχόμενο κάποια από τα δεδομένα που διαβάζουν οι δοσοληψίες να μην ενημερώνονται στη Βάση.



Σχήμα 6.2: Χρήση της παραμέτρου  $Zipf.Offset$ .

Η παράμετρος  $Zipf.Offset$  χρησιμοποιείται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2. Με συνεχή γραμμή απεικονίζουμε τη συνάρτηση πιθανότητας που οι δοσοληψίες χρησιμοποιούν για να επιλέγουν δεδομένα προς ανάγνωση και με διακεκομμένη τη συνάρτηση πιθανότητας με βάση την οποία ο



ενημερωτής επιλέγει δεδομένα προς ενημέρωση. Όπως μπορεί κανείς να διαπιστώσει αμέσως, η παράμετρος αυτή μετατοπίζει τη συνάρτηση πιθανότητας του ενημερωτή κατά *Zipf.Offset* μονάδες πάνω στον άξονα των  $x$  προς τα δεξιά σε σχέση με τη συνάρτηση πιθανότητας των δοσοληψιών. Το κομμάτι της συνάρτησης πιθανότητας που επιστρέφει δεδομένα με ταυτότητες μεγαλύτερες του *Server.DB.Size*, αναδιπλώνεται στα δεδομένα στο εύρος από 1 μέχρι *Zipf.Offset*. Αυτό που θέλουμε να πετύχουμε με την *Zipf.Offset* είναι για κάθε περιοχή (*Read.Region*), τα δεδομένα με ταυτότητες μεγαλύτερες από *Zipf.Offset* να επιλέγονται πιο συχνά για ενημέρωση από τον ενημερωτή από ότι για ανάγνωση από τη δοσοληψία.

Όταν  $Zipf.Offset = 0$ , ο ενημερωτής ενημερώνει πιο συχνά τα δεδομένα εκείνα τα οποία οι δοσοληψίες επιλέγουν πιο συχνά για ανάγνωση. Αυτή η τιμή για την *Zipf.Offset* αναμένεται να δώσει τα χειρότερα αποτελέσματα όσον αφορά στο ρυθμό με τον οποίο οι δοσοληψίες απορρίπτονται καθώς και στο μέσο χρόνο ζωής όσων καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους. Αντίθετα αναμένουμε ότι για μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου θα παίρνουμε καλύτερα αποτελέσματα. Στο σημείο αυτό πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η παράμετρος λαμβάνει τιμές στο εύρος από 0 μέχρι  $Region.Size - 1$ , αφού για κάθε τιμή μεγαλύτερη από *Region.Size* υπάρχει μία τιμή μικρότερη από *Region.Size*, η οποία μας δίνει την ίδια μετατόπιση.



## Κεφάλαιο 7

### Πειράματα - Μετρήσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο, χρησιμοποιούμε το μοντέλο προσομοίωσης για να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των Τεχνικών Ακύρωσης. Κάποιες από τις παραμέτρους του μοντέλου μας έχουν τις ίδιες τιμές σε όλα τα πειράματα που ακολουθούν. Η Βάση Δεδομένων που διατηρεί ο εξυπηρέτης αποτελείται από 3000 δεδομένα. Κατά συνέπεια  $Server.DB.Size = 3000$ . Τα δεδομένα αυτά ο εξυπηρέτης τα κατανέμει σε 3 Δίσκους ως εξής. Στον πρώτο Δίσκο, ο οποίος περιστρέφεται με σχετική συχνότητα περιστροφής ίση με 5, τοποθετεί 300 δεδομένα, στον δεύτερο, ο οποίος περιστρέφεται με σχετική συχνότητα περιστροφής 3, 1200 και στον τρίτο, ο οποίος περιστρέφεται με σχετική συχνότητα περιστροφής 1, 1500. Οι δοσοληψίες του πελάτη μπορούν να ζητήσουν για ανάγνωση μόνο 1000 από αυτά. Άρα  $Access.Range = 1000$ .

Το εύρος από 1 μέχρι  $Access.Range$  χωρίζεται σε 20 περιοχές ( $Read.Ranges$ ) μεγέθους 50 δεδομένων η κάθε μία, εντός των οποίων οι δοσοληψίες χρησιμοποιούν τη  $Zipf$  συνάρτηση πιθανότητας προκειμένου να επιλέξουν το δεδομένο που θα διαβάσουν. Επίσης το εύρος από 1 μέχρι  $Server.DB.Size$  χωρίζεται κατά τον ίδιο τρόπο σε 60 περιοχές μεγέθους 50 δεδομένων η κάθε μία, προκειμένου ο ενημερωτής να επιλέξει το δεδομένο που θα ενημερώσει. Κάθε μία από τις περιοχές αυτές αποτελείται από 50 δεδομένα και για τις δοσοληψίες και για τον ενημερωτή. Κατά συνέπεια,  $Region.Size = 50$ . Η τιμή της παραμέτρου  $\theta$  της  $Zipf$  συνάρτησης πιθανότητας που χρησιμοποιούν οι δοσοληψίες, είναι ίση με την αντίστοιχη τιμή της  $\theta_u$  της συνάρτησης πιθανότητας που χρησιμοποιεί ο ενημερωτής και ίση με 0.95. Μετά την εκτέλεση μιας εντολής ανάγνωσης πάνω σε ένα δεδομένο της Βάσης, κάθε δοσοληψία περιμένει  $Think.Time$  Μονάδες Εκπομπής χρόνο πριν συνεχίσει διατυπώνοντας την επόμενη αίτησή της. Σε όλα μας τα πειράματα θέσαμε την τιμή αυτής της παραμέτρου ίση με 2. Ο χρόνος που ο πελάτης περιμένει μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργοποιήσεων δοσοληψιών είναι ίσος με  $Create.Think.Time = 20\% * Server.DB.Size$  [Μονάδες Εκπομπής] = 600 [Μονάδες Εκπομπής]. Η τιμή αυτής της παραμέτρου είναι ενδεικτική, αφού δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε από τις προσομοιώσεις. Ακόμη και για διαφορετικές τιμές της, λάβαμε τα ίδια αποτελέσματα. Οι τιμές όλων των παραμέτρων δίνονται στον Πίνακα 7.1.

Επίσης σε κάθε πείραμα θεωρήσαμε ότι το μέγεθος του αριθμού έκδοσης (χρονόσημο) κάθε δεδομένου είναι ίσο με 0.2% επί του μεγέθους ενός δεδομένου και ότι το μέγεθος μιας εγγραφής στη Λίστα Ακύρωσης είναι ίσο με 1% επί του μεγέθους ενός δεδομένου. Το χρονόσημο ενός δεδομένου ισούται με τον αύξαν αριθμό του διαστήματος εμπιστοσύνης κατά τη διάρκεια του οποίου ενημερώθηκε. Εναλλακτικά, για να μειώσουμε το μέγεθος του αριθμού έκδοσης, μπορούμε να



<i>Server.DB.Size</i>	3000
<i>Access.Range</i>	1000
<i>Num.Disks</i>	3
<i>D</i>	2
<i>Rel.Freqs<sub>i</sub></i>	1,3,5
<i>Disk.Size<sub>i</sub></i>	300,1200,1500
<i>Region.Size</i>	50
$\theta = \theta_u$	0.95
<i>Think.Time</i>	2 [Μονάδες Εκπομπής]
<i>Create.Think.Time</i>	600 [Μονάδες Εκπομπής]

Πίνακας 7.1: Παράμετροι σταθερές για όλα τα πειράματα.

αντιστοιχίσουμε σε κάθε δεδομένο, αριθμό έκδοσης ίσο με τη διαφορά μεταξύ του τρέχοντος διαστήματος εμπιστοσύνης και του διαστήματος εμπιστοσύνης που το δεδομένο ενημερώθηκε. Σε αυτή την περίπτωση ο αριθμός έκδοσης δείχνει πόσο παλιό είναι το δεδομένο. Για παράδειγμα, αν βρισκόμαστε στο διάστημα εμπιστοσύνης 2000 και η έκδοση ενός δεδομένου δημιουργήθηκε στο διάστημα εμπιστοσύνης 1997, τότε το δεδομένο αυτό εμφανίζεται με αριθμό έκδοσης ίσο με 3. Συνεπώς  $\log(S_{max})$  bits είναι αρκετά για τους αριθμούς εκδόσεων των δεδομένων, όπου  $S_{max}$  η μέγιστη διαφορά μεταξύ του τρέχοντος και του διαστήματος εμπιστοσύνης που δημιουργήθηκε το πιο παλιό από τα δεδομένα της Βάσης Δεδομένων. Μία εγγραφή στη Λίστα Ακύρωσης αποτελείται από την ταυτότητα ενός δεδομένου. Άρα  $\log(\text{Server.DB.Size})$  bits είναι αρκετά για το σκοπό αυτό.

Τις υποθέσεις αυτές είναι αναγκαίο να τις κάνουμε αφού η επιπλέον πληροφορία που καταλαμβάνει μία εγγραφή στη Λίστα Ακύρωσης ή ο αριθμός της έκδοσης ενός δεδομένου, απαιτεί επιπλέον χώρο αποθήκευσης στον πελάτη καθώς και επιπλέον εύρος ζώνης κατά την εκπομπή της. Κάνοντας αυτές τις υποθέσεις μπορούμε να συγκρίνουμε αντικειμενικά τις μεθόδους.

Κάθε πείραμα εκτελέστηκε αρκετές φορές σε διαφορετικούς υπολογιστές. Οι τιμές που δίνονται εδώ αποτελούν τη μέση τιμή των τιμών που προέκυψαν από κάθε εκτέλεση. Η διάρκεια κάθε πειράματος ήταν 100.000 δοσοληψίες.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μόνο ένα μέρος από τα πειράματα που εκτελέστηκαν. Τα πειράματα που παρουσιάζονται εδώ αφορούν κατά την προσωπική μας εκτίμηση τα πιο σημαντικά από το σύνολο των πειραμάτων.

## 7.1 ΠΕΙΡΑΜΑ 1: Σύγκριση Τεχνικών Ακύρωσης

Σκοπός του Πειράματος 1 είναι να συγκρίνουμε τις τεχνικές ακύρωσης μεταξύ τους. Το Πείραμα 1 αποτελείται από 4 σκέλη σε κάθε ένα από τα οποία μεταβάλλουμε από μία παράμετρο του μοντέλου μας. Να σημειώσουμε ότι στις μετρήσεις που αφορούν τις MV και MVI τεχνικές, χρησιμοποιήθηκε το σχήμα *Ομαδοποίηση* και η τιμή της παραμέτρου  $K$  ορίστηκε ίση με 5. Η επιλογή της συγκε-



<i>Currency interval</i>	1 Κύκλος
<i>K</i>	5
<i>Zipf.Offset</i>	0

Πίνακας 7.2: Παράμετροι σταθερές για το Πείραμα 1.

κριμένης τιμής έγινε προκειμένου να γίνει πιο εμφανής η διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών τεχνικών ακύρωσης (των MV και MVI από τη μία και των Invalidationing και Versioning από την άλλη). Θυμίζουμε ότι σε αυτές τις τεχνικές, ο εξυπρέτης διατηρεί και εκπέμπει όσα δεδομένα δημιουργήθηκαν εντός των  $K$  προηγούμενων διαστημάτων εμπιστοσύνης. Η τιμή της παραμέτρου *Zipf.Offset* ισούται με 0 για το Πείραμα 1, το οποίο σημαίνει ότι τα δεδομένα που οι δοσοληψίες επιλέγουν πιο συχνά για ανάγνωση είναι ίδια με τα δεδομένα που ο ενημερωτής επιλέγει πιο συχνά για ενημέρωση. Το μέγεθος του διαστήματος εμπιστοσύνης ορίζεται ίσο με 1 Κύκλο για όλες τις μετρήσεις που αφορούν στο Πείραμα 1. Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Πείραμα 1 δίνονται στον Πίνακα 7.2.

### 7.1.1 Τεχνικές Ακύρωσης και Μέγεθος Τοπικού Χώρου Αποθήκευσης. Πείραμα 1, Σχέλος 1

Στο Σχέλος 1 επιθυμούμε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης όσο αυξάνεται το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης του πελάτη. Το μέγεθος αυτό μετράται ως ποσοστό επί του *Access.Range*. Έτσι,  $Cache.Size = 20\% * Access.Range$  σημαίνει ότι στον τοπικό χώρο αποθήκευσης του πελάτη χωρούν 200 δεδομένα. Εδώ η παράμετρος *Cache.Size* λαμβάνει τιμές από 0% μέχρι 50%, δηλαδή από 1 δεδομένο<sup>1</sup> μέχρι 500 δεδομένα. Δεν μελετούμε μεγαλύτερες τιμές για τον τοπικό χώρο αποθήκευσης αφού σε μια τέτοια περίπτωση ο πελάτης θα είχε τη δυνατότητα να αποθηκεύσει τοπικά σχεδόν όλο το εύρος των δεδομένων της Βάσης που διαβάσει. Έτσι, οι δοσοληψίες του θα μπορούσαν να αντλήσουν άμεσα από εκεί όποιο δεδομένο ήθελαν να διαβάσουν και δεν θα χρειαζόταν να το περιμένουν από το κανάλι.

Οι υπόλοιπες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου μας, που δεν αναφέρονται στους Πίνακες 7.1 και 7.2, δίνονται στον Πίνακα 7.3. Ο χρόνος που ο ενημερωτής περιμένει μεταξύ δύο διαδοχικών ενημερώσεων, ισούται με  $Update.Think.Time = 0.5\% * Server.DB.Size [Μονάδες Εμπομπής] = 15 [Μονάδες Εμπομπής]$ .

Όσες δοσοληψίες καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους εκτελούν από  $N = 10$  λειτουργίες ανάγνωσης. Η τιμή της παραμέτρου *Overlap* είναι ίση με 100, το οποίο σημαίνει ότι ο ενημερωτής ενημερώνει όλο το εύρος των δεδομένων που διαβάζουν οι δοσοληψίες.

Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές μόνο για το Σχέλος 1 του Πειράματος 1 δίνονται

<sup>1</sup> Σημειώνουμε ότι το ελάχιστο μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης είναι 1. Ο πελάτης έχει τη δυνατότητα να διατηρεί στη μνήμη του το δεδομένο που εκπέμπεται κάθε φορά για χρόνο ίσο με μία Μονάδα Εμπομπής και να το παρέχει σε οποιαδήποτε δοσοληψία του το ζητήσει για αυτό το χρονικό διάστημα.

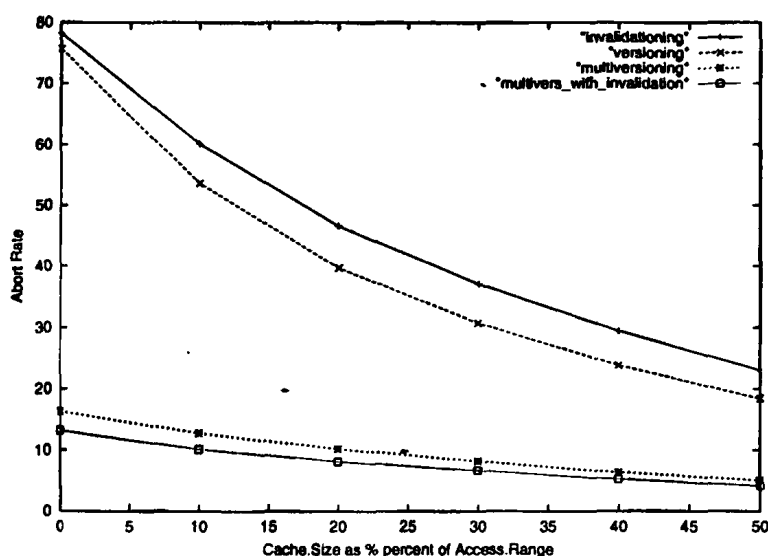


<i>Update.Think.Time</i>	15 [Μονάδες Εκπομπής] = 0.5% * <i>Server.DB.Size</i>
<i>N</i>	10
<i>Overlap</i>	100

Πίνακας 7.3: Παράμετροι σταθερές για το Σκέλος 1 του Πειράματος 1.

στον Πίνακα 7.3. Τα αποτελέσματα του Πειράματος 1 δίνονται στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν, Σχήματα 7.1, 7.2 και 7.3.

Στον κατακόρυφο άξονα της γραφικής παράστασης του Σχήματος 7.1, απεικονίζεται το ποσοστό των δοσοληψιών των οποίων η λειτουργία τερματίζεται βίαια (*Abort Rate*), για κάθε τεχνική ακύρωσης. Στον οριζόντιο άξονα, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, είναι το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης ως το επί τοις εκατό ποσοστό επί του *Access.Range*.

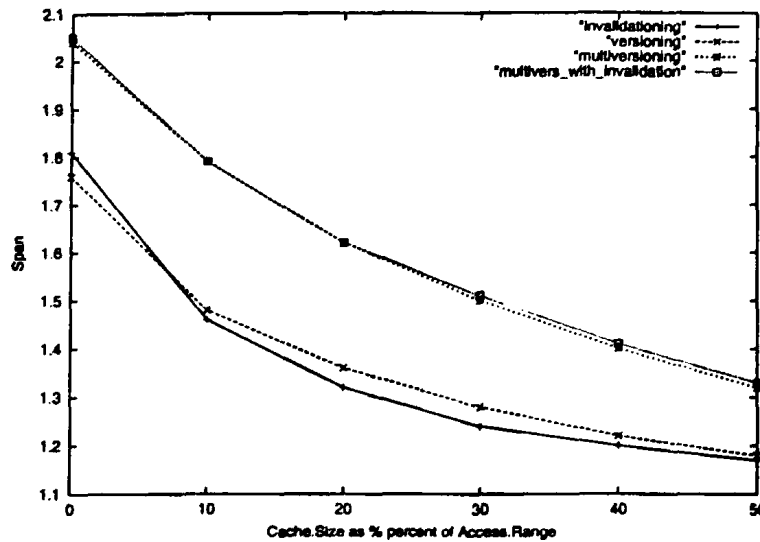


Σχήμα 7.1: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (*Abort Rate*) ως προς το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (*Cache.Size*).

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.2, ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης, όπως και πριν, ενώ στον κατακόρυφο δίνεται η Έκταση των δόσοληψιών για κάθε τεχνική. Η Έκταση ισούται με τον μέσο αριθμό των διαφορετικών διαστημάτων εμπιστοσύνης από τα οποία οι δοσοληψίες διαβάζουν δεδομένα κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Για παράδειγμα αν μία δοσοληψία πραγματοποιεί όλες τις λειτουργίες ανάγνωσης εντός ενός διαστήματος εμπιστοσύνης, τότε η Έκτασή της ισούται με 1. Αν χρειάζεται και δεύτερο Διάστημα, τότε η Έκτασή της ισούται με 2 κ.ο.κ.

Τέλος στην γραφική παράσταση του Σχήματος 7.3, ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει πάλι το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης, ενώ στον κατακόρυφο δίνεται ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών για κάθε μία από τις τεχνικές. Τον μέσο χρόνο ζωής των δοσοληψιών τον μετράμε





Σχήμα 7.2: Έκταση (Span) ως προς το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (Cache.Size).

σε Μονάδες Εκπομπής.

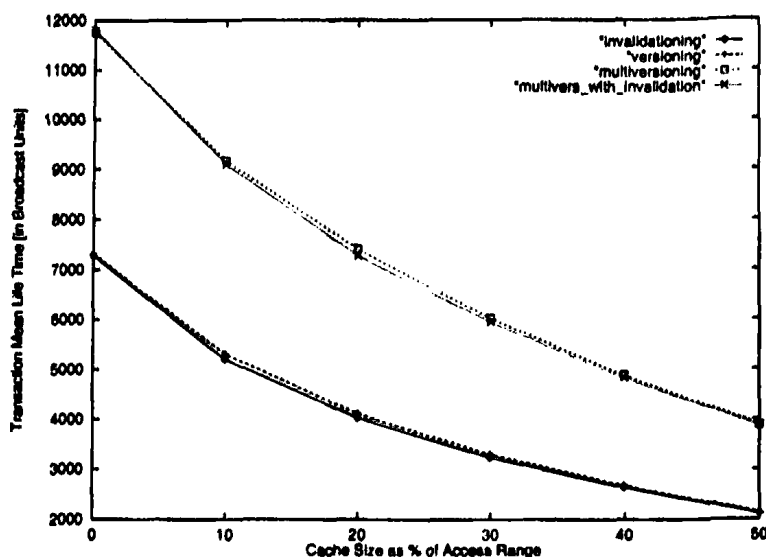
Εδώ θα πρέπει ενδεικτικά να αναφέρουμε τους μέσους χρόνους διάρκειας των Κύκλων για κάθε τεχνική. Για τις τεχνικές Invalidationing και Versioning είναι 6610 και 6600 Μονάδες Εκπομπής (Η διαφορά των 10 Μονάδων οφείλεται στην εκπομπή της Λίστας Ακύρωσης για την Invalidationing τεχνική) και παραμένουν σταθεροί για κάθε Κύκλο, ανεξάρτητα από τον αριθμό των ενημερώσεων που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του Κύκλου αυτού. Αυτό συμβαίνει γιατί στις τεχνικές αυτές εκπέμπονται μόνο οι πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων και όχι παλαιότερες. Αντίθετα, για τις MV και MVI τεχνικές, οι αντίστοιχοι χρόνοι δεν είναι σταθεροί σε κάθε Κύκλο και εξαρτώνται από τον αριθμό των ενημερώσεων που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του Κύκλου. Για το πείραμά μας οι χρόνοι αυτοί είναι 10152 και 10156 Μονάδες Εκπομπής αντίστοιχα. Η διαφορά ανάμεσα στους δύο αυτούς χρόνους αποτελεί σφάλμα το οποίο είναι πολύ μικρό και μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτό στα πλαίσια μιας πειραματικής μέτρησης.

Μελετώντας τις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.1, 7.2 και 7.3, εξάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Όσο αυξάνεται το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης, τόσο μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο οι δοσοληψίες απορρίπτονται, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7.1. Αυτό παρατηρείται για όλες τις τεχνικές ακύρωσης. Βέβαια η μείωση είναι εντονότερη στις Invalidationing και Versioning τεχνικές από ότι στις άλλες δύο. Αυτό συμβαίνει γιατί στον τοπικό χώρο αποθήκευσης αποθηκεύονται μόνο οι πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων. Επιπλέον, στις δύο πρώτες τεχνικές, οι δοσοληψίες μπορούν να διαβάσουν μόνο μία έκδοση των δεδομένων (την πιο πρόσφατη), ενώ στις MV και MVI τεχνικές ακύρωσης είναι διαθέσιμες και παλιότερες εκδόσεις. Έτσι, αν μια δοσοληψία δεν μπορέσει να διαβάσει κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης ένα δεδομένο και αυτό ενημερωθεί, τότε θα μπορέσει με μεγάλη πιθανότητα να βρει μια παλιότερη έκδοσή του σε επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης. Αν όμως







Σχήμα 7.3: Μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών σε Μονάδες Εκπομπής (Transaction Mean Life Time) ως προς το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (Cache.Size)

χρησιμοποιείται η Invalidation ή η Versioning τεχνική ακύρωσης, τότε στις δοσοληψίες δεν δίνεται αυτή η "δεύτερη" ευκαιρία. Αν κάποιο από τα δεδομένα, που διάβασαν ή θέλουν να διαβάσουν αντίστοιχα, ενημερωθεί, θα πρέπει να απορριφθούν. Για αυτές τις τεχνικές έχει πολύ μεγάλη σημασία να μπορέσουν να βρουν άμεσα το δεδομένο που επιθυμούν και μια τέτοια δυνατότητα τους την προσφέρει ο τοπικός χώρος αποθήκευσης. Συνεπώς, η βελτίωση είναι εντονότερη στις Versioning και Invalidation τεχνικές, από ότι στις άλλες δύο, στις οποίες ο τοπικός χώρος αποθήκευσης βοηθά κυρίως στο να μειωθεί ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών, όπως εξηγούμε παρακάτω.

Άλλο ένα στοιχείο που συντελεί στη μείωση του ρυθμού απόρριψης των δοσοληψιών για όλες τις τεχνικές, είναι ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο τοπικός χώρος αποθήκευσης, τόσο πιο μικρός ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών (Σχήμα 7.3). Αυτό οφείλεται στο ότι η πιθανότητα να διαβάσουν ένα δεδομένο από εκεί αυξάνεται. Η ανάγνωση δεδομένου από τον τοπικό χώρο αποθήκευσης απαιτεί αμελητέο χρόνο σε σχέση με το χρόνο που απαιτείται για μία ανάγνωση από το κανάλι. Όσο όμως μειώνεται η μέση διάρκεια ζωής τους, τόσο λιγότερες ενημερώσεις γίνονται κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Συνεπώς μειώνεται η πιθανότητα να ενημερωθεί κάποιο από τα δεδομένα για τα οποία ενδιαφέρεται μια δοσοληψία, όσο αυτή είναι ενεργή.

- Οι Multiversioning τεχνικές έχουν μικρότερους ρυθμούς απόρριψης από ότι οι Invalidation και Versioning τεχνικές (Σχήμα 7.1). Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού, όπως αναφέραμε ήδη, αυξάνεται η διαθεσιμότητα των παλαιότερων εκδόσεων στο κανάλι. Μία δοσοληψία που θέλει να διαβάσει, ένα δεδομένο που ενημερώθηκε, μπορεί να το περιμένει στο επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης όπου εκτός από την πιο πρόσφατη έκδοση του δεδομένου, θα εκπνεύσουν με μεγάλη πιθανότητα και παλιότερες εκδόσεις του. Αντίθετα στις Invalidation και Versioning τεχνικές δεν δίνεται "δεύτερη" ευκαιρία στις δοσοληψίες. Αν κάποιο από τα



δεδομένα που διάβασαν (για την Invalidationing) ή θέλουν να διαβάσουν (για την Versioning) ενημερωθεί, τότε αυτές θα απορριφθούν. Κατά συνέπεια μια δοσοληψία είναι πολύ πιθανότερα να συνεχίσει τη λειτουργία της αν μία από τις MV ή MVI τεχνικές χρησιμοποιείται.

- Η Versioning τεχνική εμφανίζει μικρότερους ρυθμούς απόρριψης από ότι η Invalidationing (Σχήμα 7.1). Για να εξηγήσει κανείς αυτήν τη συμπεριφορά των δύο τεχνικών θα πρέπει να μελετήσει τα βήματα που ακολουθούν οι δοσοληψίες έως ότου τερματίσουν. Ας θεωρήσουμε λοιπόν ότι δύο όμοιες<sup>2</sup> δοσοληψίες ενεργοποιούνται την ίδια χρονική στιγμή και ακολουθούν η μία την Invalidationing και η άλλη την Versioning τεχνική. Ας υποθέσουμε τώρα ότι και οι δύο έχουν πραγματοποιήσει την πρώτη τους λειτουργία ανάγνωσης πάνω στο δεδομένο  $P_1$ . Αν έρθει τώρα η αρχή του επόμενου διαστήματος εμπιστοσύνης, τότε η δοσοληψία που ακολουθεί την Invalidationing τεχνική εμφανίζει πιθανότητα να απορριφθεί, ίση με την πιθανότητα να έχει ενημερωθεί το δεδομένο  $P_1$  στο διάστημα εμπιστοσύνης που το διάβασε η δοσοληψία. Αντίθετα η δοσοληψία που ακολουθεί την Versioning τεχνική εμφανίζει πιθανότητα ίση με 0 να απορριφθεί από την πρώτη της λειτουργία ανάγνωσης. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση που οι δύο δοσοληψίες έχουν διαβάσει περισσότερα από ένα δεδομένα σε ένα διάστημα εμπιστοσύνης και πριν προλάβουν να ολοκληρώσουν τη λειτουργία τους, το επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης αρχίζει.

Αν συνεχίσουμε να μελετούμε τα βήματα που ακολουθούν οι δοσοληψίες κατά τη διάρκεια της ζωής τους για τις δύο τεχνικές θα διαπιστώσουμε ότι η Invalidationing τεχνική όντως εμφανίζει ελαφρώς μεγαλύτερη πιθανότητα να απορρίψει τις δοσοληψίες από ότι η Versioning τεχνική. Αυτή η διαφορά μηδενίζεται όταν οι δοσοληψίες εκτελούν από μία λειτουργία ανάγνωσης ανά διάστημα εμπιστοσύνης.

- Η MVI τεχνική εμφανίζει μικρότερους ρυθμούς απόρριψης από ότι η MV (Σχήμα 7.1). Στην πρώτη, ένα μέρος των δοσοληψιών ακυρώνονται σε Κύκλο μεγαλύτερο από αυτόν που ξεκινούν να διαβάζουν. Αυτές οι δοσοληψίες αναζητούν εκδόσεις δεδομένων που είναι μεγαλύτερες από το διάστημα εμπιστοσύνης που ξεκίνησαν να διαβάζουν. Αν όμως η MV τεχνική ακολουθείται, οι δοσοληψίες πρέπει να διαβάζουν εκδόσεις μικρότερες ή ίσες από το διάστημα εμπιστοσύνης στο οποίο ξεκίνησαν να διαβάζουν. Έτσι, οι δοσοληψίες που ακολουθούν την πρώτη τεχνική, διαβάζουν μεγαλύτερες εκδόσεις για τα δεδομένα που επιθυμούν. Αυτό επιτρέπει στις δοσοληψίες, που ακολουθούν την MVI τεχνική, να ζουν περισσότερα διαστήματα εμπιστοσύνης γιατί όσο πιο πρόσφατη είναι η έκδοση ενός δεδομένου που επιθυμούν, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθεσιμότητά του στα επόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης. Για παράδειγμα, η πιο πρόσφατη έκδοση κάποιου δεδομένου, θα εκπέμπεται στους επόμενους  $K$  Κύκλους, ενώ μία παλιότερη μπορεί να μην εκπεμφθεί ούτε καν στον αμέσως επόμενο. Για αυτό και η MVI τεχνική ακύρωσης εμφανίζει μικρότερους ρυθμούς απόρριψης από την MV.

- Όπως φαίνεται από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.2 οι δοσοληψίες που ακολουθούν τις MVI και MV τεχνικές εμφανίζουν μεγαλύτερη Έκταση από τις δοσοληψίες που ακολου-

<sup>2</sup>Με τον όρο όμοιες εννοούμε δοσοληψίες που επιθυμούν να διαβάσουν τα ίδια δεδομένα.



θούν τις Invalidationing και Versioning τεχνικές. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στις Multiversioning τεχνικές οι δοσοληψίες έχουν τη δυνατότητα με την εκπομπή παλαιότερων εκδόσεων να αναζητήσουν τα δεδομένα που επιθυμούν σε επόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης.

- Οι δοσοληψίες που ακολουθούν την MVI τεχνική έχουν τον ίδιο περίπου μέσο χρόνο ζωής και την ίδια Έκταση με τις δοσοληψίες που ακολουθούν την MV τεχνική. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με όσα έχουμε ήδη αναφέρει συγκρίνοντας τις δύο τεχνικές, αφού κανείς θα περίμενε οι δοσοληψίες της πρώτης να ζουν περισσότερο από αυτές της δεύτερης. Στην πρώτη όμως τεχνική, οι δοσοληψίες ζητούν πιο συχνά τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων που επιθυμούν από ότι οι δοσοληψίες της δεύτερης, γιατί ζητούν τις πιο πρόσφατες εκδόσεις μέχρι να ακυρωθούν. Στον τοπικό χώρο αποθήκευσης όμως αποθηκεύουμε τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων. Έτσι, είναι πιο πιθανό στην πρώτη τεχνική να εκτελέσουν οι δοσοληψίες μία λειτουργία ανάγνωσης τοπικά παρά στη δεύτερη. Για αυτό ο μέσος χρόνος ζωής και η Έκτασή τους είναι συγκρίσιμα αν όχι μικρότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη των δοσοληψιών της MV τεχνικής.
- Τέλος παρατηρούμε ότι οι δοσοληψίες της Invalidationing τεχνικής εμφανίζουν ελάχιστα μικρότερο μέσο χρόνο ζωής από τις δοσοληψίες που ακολουθούν την Versioning τεχνική. Αυτή η μικρή διαφορά, οφείλεται στο επιπλέον ποσοστό των δοσοληψιών που καταφέρνουν να τερματίσουν στην Versioning τεχνική. Προφανώς πρόκειται για δοσοληψίες που στην Invalidationing τεχνική τις προλαβαίνει μία Λίστα Ακύρωσης και τις αναγκάζει να απορριφθούν λίγο πριν τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους. Αντίθετα αν η Versioning τεχνική χρησιμοποιείται, αυτές οι δοσοληψίες καταφέρνουν να τερματίσουν, προκαλώντας μία μικρή αύξηση στο μέσο χρόνο ζωής των δοσοληψιών αυτής της τεχνικής.

## 7.1.2 Τεχνικές Ακύρωσης και Ρυθμός Ενημέρωσης. Πείραμα 1, Σχέλος 2

Στο Σχέλος 2 μελετάμε τη συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης όσο ο ρυθμός με τον οποίο ο ενημερωτής ενημερώνει τα δεδομένα της Βάσης μεταβάλλεται. Εδώ η παράμετρος *Update.Think.Time* λαμβάνει τιμές από 3 μέχρι και 120 Μονάδες Εκπομπής. Προφανώς, όσο μικρότερη είναι η τιμή της παραμέτρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός με τον οποίο τα δεδομένα της Βάσης ενημερώνονται. Το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης είναι ίσο με  $30\% * Access.Range = 300$  δεδομένα. Όσες δοσοληψίες καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους, εκτελούν από  $N = 10$  λειτουργίες ανάγνωσης. Η τιμή της παραμέτρου *Overlap* είναι πάλι ίση με 100.

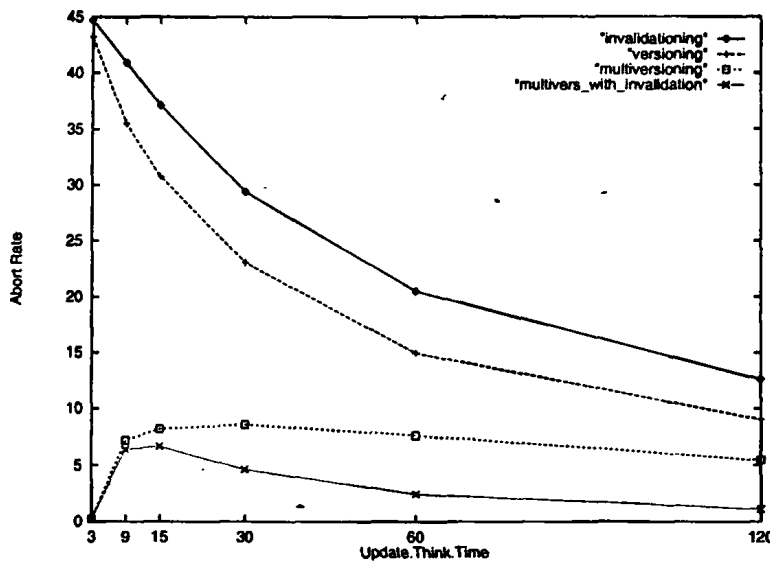
Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές μόνο για το Σχέλος 2 του Πειράματος 1 δίνονται στον Πίνακα 7.4. Τα αποτελέσματα του Πειράματος 2 δίνονται στις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.4, 7.5, 7.6, 7.7 και 7.8.



Cache.Size	300 Δεδομένα = 30% * Access.Range
N	10
Overlap	100

Πίνακας 7.4: Παράμετροι σταθερές για το Σχέλος 2 του Πειράματος 1.

Στον κατακόρυφο άξονα της γραφικής παράστασης του Σχήματος 7.4, απεικονίζεται το ποσοστό των δοσοληψιών των οποίων η λειτουργία τερματίζεται βίαια (*Abort Rate*), για κάθε μία από τις τεχνικές ακύρωσης. Στον οριζόντιο άξονα δίνεται η τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* σε Μονάδες Εκπομπής.



Σχήμα 7.4: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (*Abort Rate*) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* σε Μονάδες Εκπομπής.

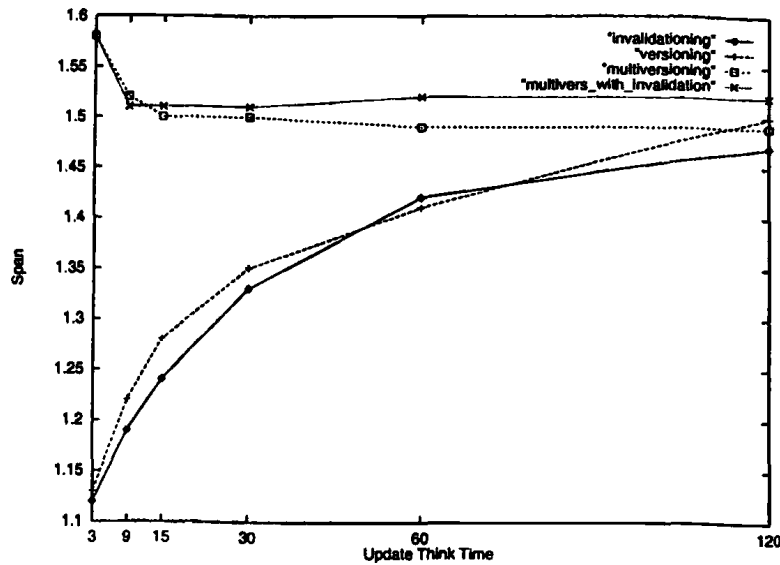
Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.5, δίνεται η Έκταση των δοσοληψιών για κάθε τεχνική (κατακόρυφος άξονας), ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* (οριζόντιος άξονας).

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.6, δίνεται ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας), ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* (οριζόντιος άξονας).

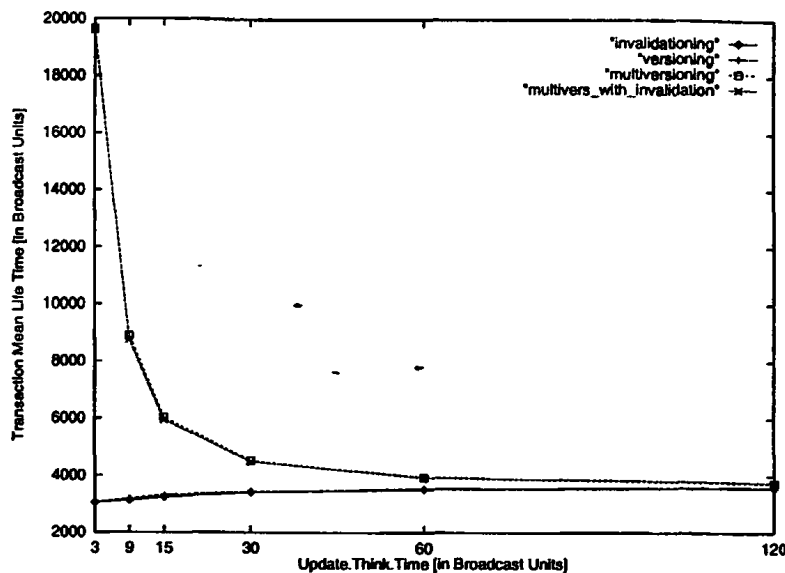
Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.7, δίνεται η μέση διάρκεια του Κύκλου για κάθε τεχνική σε Μονάδες Εκπομπής, ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* (οριζόντιος άξονας).

Τέλος, στην γραφική παράσταση του Σχήματος 7.8, δίνεται το μέσο μήκος του Κύκλου σε Μονάδες Εκπομπής μόνο για τις *Invalidation* και *Versioning* τεχνικές, ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* (οριζόντιος άξονας).





Σχήμα 7.5: Έκταση (span) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* σε Μονάδες Εκπομπής.

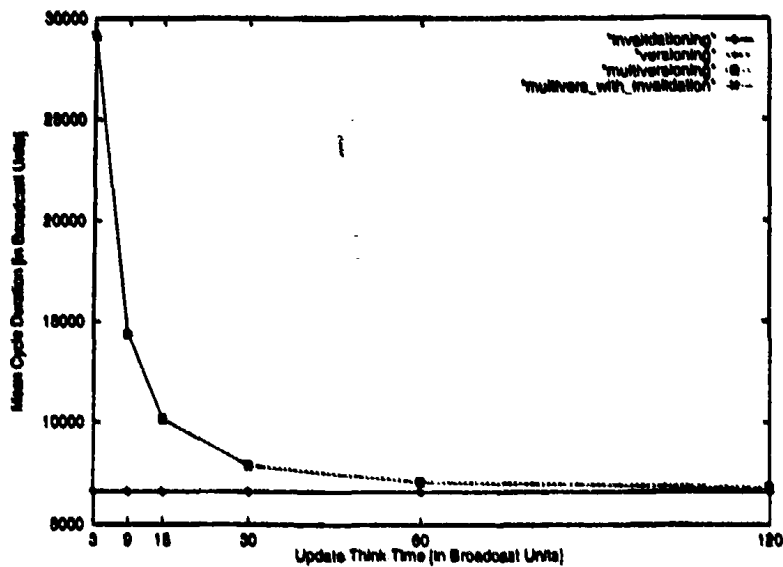


Σχήμα 7.6: Μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών σε Μονάδες Εκπομπής (Transaction Mean Life Time) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* σε Μονάδες Εκπομπής.

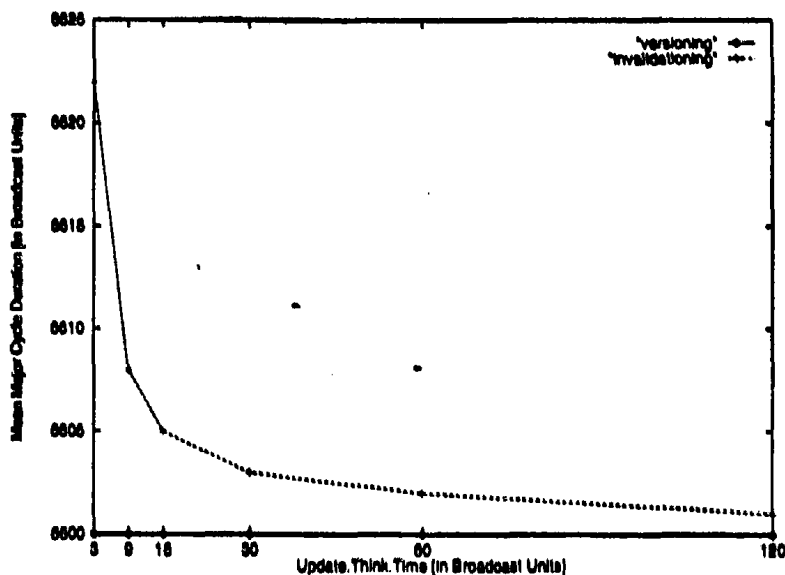
Τα σημεία στα οποία πρέπει να σταθούμε όσον αφορά τα αποτελέσματα που λάβαμε από το Σκέλος 2 του Πειράματος 1 συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Από την γραφική παράσταση του Σχήματος 7.7, παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός ενημέρωσης (μικρότερο *Update.Think.Time*), τόσο μεγαλύτερο γίνεται το μήκος του Κύκλου για τις MV και MVI τεχνικές. Αυτό οφείλεται στο ότι περισσότερες εκδόσεις δημιουργούνται κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου και κατά συνέπεια περισσότερες και οι εκδόσεις των δεδομένων που εκπέμπονται για τα δεδομένα της Βάσης όταν αυτά ενημερώνονται





Σχήμα 7.7: Μέση διάρκεια του Κύκλου σε Μονάδες Εκπομπής (Mean Cycle Duration) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* σε Μονάδες Εκπομπής.



Σχήμα 7.8: Μέση διάρκεια του Κύκλου για τις τεχνικές Invalidationing και Versioning σε Μονάδες Εκπομπής (Mean Cycle Duration) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* σε Μονάδες Εκπομπής.

πιο συχνά. Οι δύο αυτές τεχνικές έχουν ίδιους μέσους χρόνους διάρκειας των Κύκλων τους, κάτι το οποίο αναμενόταν αφού η μόνη διαφορά μεταξύ τους εντοπίζεται στη λειτουργία των δοσοληψιών.

Παρατηρούμε επίσης ότι οι Versioning και Invalidationing τεχνικές παρουσιάζουν και αυτές τους ίδιους μέσους χρόνους στη διάρκεια των Κύκλων τους, αλλά οι χρόνοι αυτοί είναι πολύ



μικρότεροι από ότι στις προηγούμενες δύο τεχνικές και η διαφορά ανάμεσά τους αυξάνεται όσο πιο συχνές είναι οι ενημερώσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι μόνο μία έκδοση εκπέμπεται, ανεξάρτητα από το ρυθμό ενημέρωσης στις Invalidationing και Versioning τεχνικές. Στην πραγματικότητα, μεταξύ τους υπάρχει μια μικρή διαφορά, η οποία γίνεται αισθητή στο Σχήμα 7.8 και οφείλεται στις επιπλέον Μονάδες Εκπομπής που απαιτούνται για την εκπομπή της Λίστας Ακύρωσης στην Invalidationing τεχνική. Η πληροφορία στις Λίστες Ακύρωσης αυξάνεται όσο πιο πολλά δεδομένα ενημερώνονται αφού για κάθε δεδομένο που ενημερώνεται μια εγγραφή προστίθεται στη Λίστα Ακύρωσης και συνεπώς ο αριθμός των εγγραφών μίας Λίστας Ακύρωσης ισούται με τον αριθμό των ενημερώσεων πάνω σε διαφορετικά δεδομένα κατά τη διάρκεια του προηγούμενου διαστήματος εμπιστοσύνης. Στην Versioning τεχνική όμως η πρόσθετη πληροφορία εξαιτίας του αριθμού έκδοσης κάθε δεδομένου είναι ανεξάρτητη από το ρυθμό ενημέρωσης. Αν κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου εκπέμπονται  $A$  δεδομένα, θα εκπεμφθούν και  $A$  αριθμοί εκδόσεων (ένας για κάθε δεδομένο), ανεξάρτητα από το πόσα δεδομένα ενημερώθηκαν στο προηγούμενο διάστημα εμπιστοσύνης. Συνεπώς, στην Invalidationing τεχνική ο Κύκλος αποτελείται από περισσότερες Μονάδες Εκπομπής από ότι στην Versioning. Η διαφορά γίνεται πιο αισθητή όταν μεγαλώνει ο ρυθμός ενημέρωσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να πούμε ότι με βάση τις υποθέσεις μας, μία Μονάδα Εκπομπής είναι κατά 0.2% επί του μεγέθους ενός δεδομένου μεγαλύτερη όταν μία από τις Versioning, MV ή MVI τεχνικές χρησιμοποιείται εξαιτίας του αριθμού έκδοσης των δεδομένων, από τη Μονάδα Εκπομπής που θεωρούμε όταν η Invalidationing τεχνική χρησιμοποιείται. Εδώ όμως τις θεωρούμε ίσες για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τη μέση διάρκεια των Κύκλων των τεχνικών ακύρωσης. Αναφέρουμε απλά ότι το μέγεθος (σε bits) του Κύκλου για την Versioning τεχνική είναι ίσο με το αντίστοιχο για την Invalidationing όταν η τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* είναι ίση με 5 Μονάδες Εκπομπής.

- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.6 παρατηρούμε ότι ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών οι οποίες ακολουθούν τις Multiversioning τεχνικές, αυξάνεται όσο μεγαλώνει ο ρυθμός ενημέρωσης. Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.5, παρατηρούμε επίσης, ότι η Έκταση των δύο αυτών τεχνικών παραμένει στα ίδια επίπεδα (περίπου ίση με 1.5 και για τις δύο). Η αύξηση στους μέσους χρόνους ζωής οφείλεται στην αύξηση του μήκους του Κύκλου. Οι μέσοι χρόνοι ζωής των δοσοληψιών για τις δύο αυτές τεχνικές παραμένουν ίσοι μολονότι η Έκταση της MV είναι μικρότερη από αυτή της MVI για τον ίδιο λόγο που αναφέραμε και στο Σκέλος 1 του Πειράματος 1.

Για τις δοσοληψίες που ακολουθούν τις Invalidationing και Versioning τεχνικές οι μέσοι χρόνοι ζωής των δοσοληψιών μειώνονται, όπως επίσης και οι Έκτάσεις τους. Μόνο οι πιο γρήγορες δοσοληψίες καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους. Παρατηρούμε ότι όταν ο ρυθμός ενημέρωσης είναι ο μεγαλύτερος (η *Update.Think.Time* ισούται με 3 Μονάδες Εκπομπής) η Έκταση των δοσοληψιών και στις δύο τεχνικές είναι πολύ κοντά στο 1. Αυτό σημαίνει ότι οι περισσότερες από τις δοσοληψίες που δεν προλαβαίνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους εντός ενός διαστήματος εμπιστοσύνης (που εδώ ισούται με ένα Κύκλο), απορρίπτονται. Αυτό συμβαίνει γιατί μεγαλώνει η πιθανότητα κάποιο από τα δεδομένα που μία δοσοληψία διάβασε να εμφανιστεί στην Λίστα Ακύρωσης, αν χρησιμοποιείται η Invalidationing τεχνική και αναγκάζεται να διαβάσει δεδομένα από διαφορετικά



<i>Cache.Size</i>	$30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]
<i>Update.Think.Time</i>	$0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]
<i>Overlap</i>	100

Πίνακας 7.5: Παράμετροι σταθερές για το Σκέλος 3 του Πειράματος 1.

διαστήματα εμπιστοσύνης. Ομοίως, αν χρησιμοποιείται η Versioning τεχνική, αυξάνεται η πιθανότητα ένα από τα δεδομένα που επιθυμεί να διαβάσει να ενημερωθεί. Ως εκ τούτου, οι γρηγορότερες δοσοληψίες καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους με μεγαλύτερη πιθανότητα από ότι οι αργότερες και εξαιτίας αυτού και η μείωση του μέσου χρόνου ζωής των δοσοληψιών.

- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.4 παρατηρούμε ότι ο ρυθμός με τον οποίο απορρίπτονται οι δοσοληψίες που ακολουθούν τις Invalidation και Versioning τεχνικές, αυξάνεται όσο αυξάνεται ο ρυθμός με τον οποίο ενημερώνονται τα δεδομένα. Το λόγο για τον οποίο συμβαίνει αυτό, τον εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Το παράδοξο όσον αφορά σε αυτή τη γραφική παράσταση, είναι η μείωση του ρυθμού απόρριψης των δοσοληψιών που ακολουθούν τις MV και MVI τεχνικές, όταν ο ρυθμός ενημέρωσης των δεδομένων γίνεται πολύ μεγάλος (για τιμές της παραμέτρου *Update.Think.Time* μικρότερες από 15). Ο λόγος είναι ότι με αυτούς τους ρυθμούς ενημέρωσης, όλα τα δεδομένα της Βάσης ενημερώνονται σχεδόν μία φορά σε κάθε διάστημα εμπιστοσύνης. Αυτό σημαίνει ότι για όλα τα δεδομένα είναι διαθέσιμες όλο και πιο πολλές εκδόσεις κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης όσο ο ρυθμός ενημέρωσης μεγαλώνει, κάτι το οποίο φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.7. Κατά συνέπεια οι δοσοληψίες μπορούν να βρίσκουν ευκολότερα παλιότερες εκδόσεις και να συνεχίζουν ομαλά τη λειτουργία τους. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η Έκταση των δοσοληψιών που ακολουθούν αυτές τις δύο τεχνικές, αυξάνεται προς στιγμήν για τιμές τις *Update.Think.Time* μικρότερες από 15.

### 7.1.3 Τεχνικές Ακύρωσης και Αριθμός Λειτουργιών Ανάγνωσης Δοσοληψιών. Πείραμα 1, Σκέλος 3

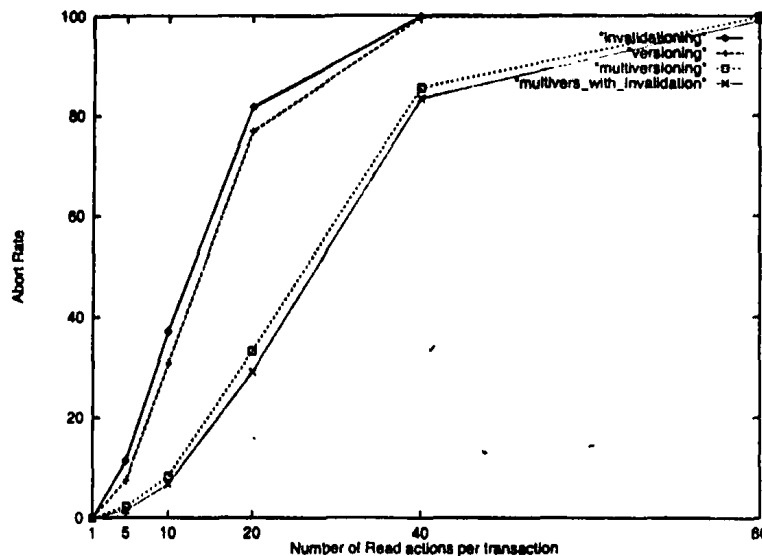
Στο Σκέλος 3 μελετάμε τη συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης καθώς το μέγεθος των δοσοληψιών αυξάνεται, δηλαδή όσο οι δοσοληψίες πραγματοποιούν όλο και περισσότερες λειτουργίες ανάγνωσης κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Για τους σκοπούς του Σκέλους 3 του Πειράματος 1, η τιμή της παραμέτρου *N* λαμβάνει τιμές από 1 μέχρι 80.

Το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης είναι ίσο με  $30\% * Access.Range = 300$  δεδομένα. Η παράμετρος *Update.Think.Time* είναι ίση με  $0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]. Η τιμή της παραμέτρου *Overlap* είναι πάλι ίση με 100. Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές μόνο για το Σκέλος 3 του Πειράματος 1 δίνονται στον Πίνακα 7.5. Τα αποτελέσματα του Πειράματος αυτού δίνονται στις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.9, 7.10 και 7.11.





Στον κατακόρυφο άξονα της γραφικής παράστασης του Σχήματος 7.9, απεικονίζεται το ποσοστό των δοσοληψιών των οποίων η λειτουργία τερματίζεται βίαια (*Abort Rate*), για κάθε μία από τις τεχνικές ακύρωσης. Στον οριζόντιο άξονα δίνεται ο αριθμός των λειτουργιών ανάγνωσης που πραγματοποιούν κατά τη διάρκεια της ζωής τους οι δοσοληψίες.



Σχήμα 7.9: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (*Abort Rate*) ως προς τον αριθμό των λειτουργιών ανάγνωσης που πραγματοποιούν οι δοσοληψίες (*Number of Read actions per Transaction*).

Στη γραφική παράσταση του σχήματος 7.10, δίνεται ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς τον αριθμό των λειτουργιών ανάγνωσης που πραγματοποιούν οι δοσοληψίες (οριζόντιος άξονας).

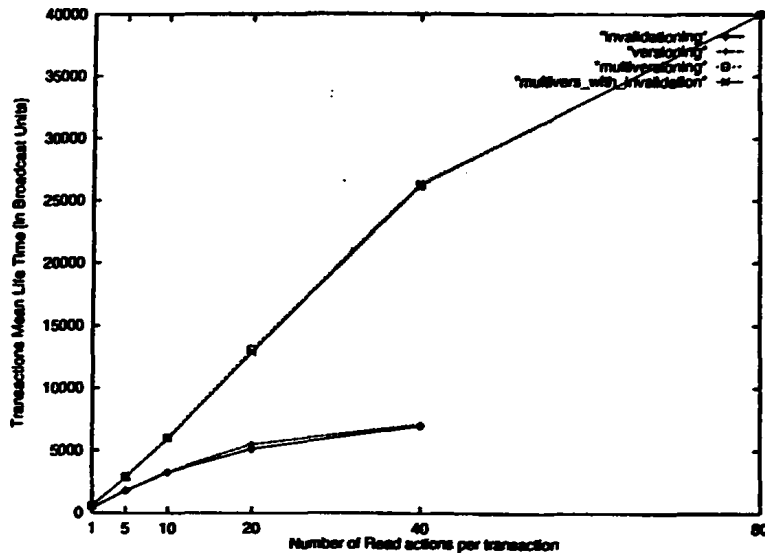
Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.11, δίνεται η Έκταση των δοσοληψιών για κάθε τεχνική (κατακόρυφος άξονας), ως προς τον αριθμό των λειτουργιών ανάγνωσης των δοσοληψιών (οριζόντιος άξονας).

Τα σημεία στα οποία πρέπει να σταθούμε όσον αφορά τα αποτελέσματα που λάβαμε από το Σκέλος 3 του Πειράματος 1, συνοψίζονται στα παρακάτω:

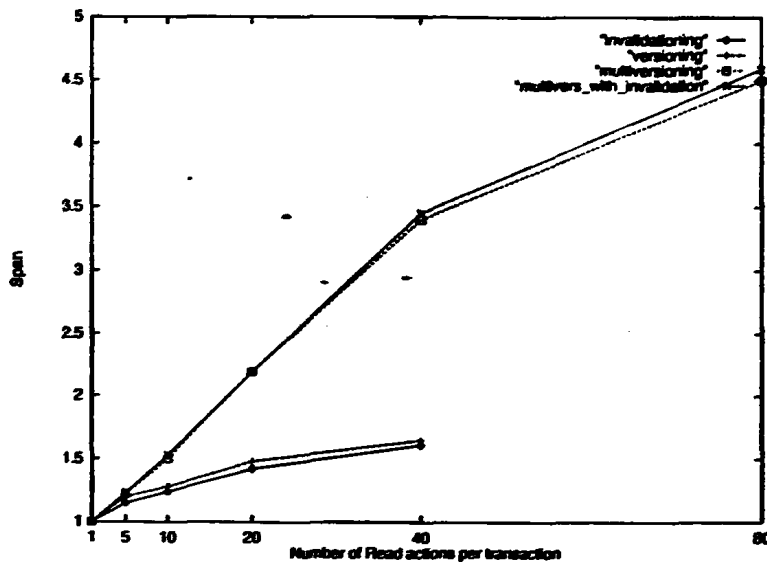
- Όλες οι δοσοληψίες που εκτελούν μόνο μία λειτουργία ανάγνωσης καταφέρνουν πάντα να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους κάτι το οποίο αναμενόταν, αφού είτε διαβάσουν πάντα την πιο πρόσφατη έκδοση του δεδομένου που επιθυμούν (για τις Versioning, MV και MVI τεχνικές) είτε καμία Λίστα Ακύρωσης δεν προλαβαίνει να τις απορρίψει (Invalidation τεχνική).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σταθούμε σε ένα σημαντικό προτέρημα του προγράμματος εκπομπής που προκύπτει από τον Αλγόριθμο Εκπομπής Δίσκων. Όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.10, όταν μία λειτουργία ανάγνωσης εκτελείται, ο μέσος





Σχήμα 7.10: Μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) ως προς τον αριθμό των λειτουργιών ανάγνωσης που πραγματοποιούν οι δοσοληψίες (Number of Read actions per Transaction).



Σχήμα 7.11: Έκταση (Span) των δοσοληψιών ως προς τον αριθμό των λειτουργιών ανάγνωσης που πραγματοποιούν οι δοσοληψίες (Number of Read actions per Transaction).

χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί είναι μικρότερος από  $20\% * Server.DB.Size$  για όλες τις τεχνικές. Αν δεν χρησιμοποιήσουμε τον Αλγόριθμο Εκπομπής Δίσκων, αλλά προτιμήσουμε να εκπέμπουμε περιοδικά όλη τη Βάση δεδομένο προς δεδομένο (Επίπεδος Δίσκος), τότε ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών θα ήταν  $50\% * Server.DB.Size$ .

- Οι δοσοληψίες που ακολουθούν τις Versioning και Invalidation τεχνικές είναι γρηγορό-



<i>Cache.Size</i>	$30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]
<i>N</i>	10
<i>Update.Think.Time</i>	$0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]

Πίνακας 7.6: Παράμετροι σταθερές για το Σχέλος 4 του Πειράματος 1.

τερες (έχουν μικρότερο μέσο χρόνο ζωής και μικρότερη Έκταση, Σχήματα 7.10 και 7.11) από αυτές που ακολουθούν τις άλλες δύο. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι και εδώ ο ίδιος που αναφέραμε στο Σχέλος 1 του Πειράματος 1.

- Όσο περισσότερες λειτουργίες ανάγνωσης εκτελούν οι δοσοληψίες, τόσο μεγαλώνει ο μέσος χρόνος ζωής και η Έκτασή τους, όπως διαπιστώνουμε από τις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.10 και 7.9. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι προφανής.
- Ο ρυθμός με τον οποίο οι δοσοληψίες απορρίπτονται αυξάνεται, για όλες τις τεχνικές, όσο αυξάνεται ο αριθμός των λειτουργιών που εκτελούν (Σχήμα 7.9. Ο μέσος χρόνος ζωής και η Έκταση των δοσοληψιών αυξάνονται όπως αναφέραμε ήδη. Όσο όμως οι δοσοληψίες ζουν περισσότερο, τόσο περισσότερες ενημερώσεις δεδομένων πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Κατά συνέπεια, γίνεται πιο δύσκολο για τις μεγάλες δοσοληψίες να βρουν παλαιές εκδόσεις, αν οι Versioning, MV ή MVI τεχνικές ακολουθούνται. Όσον αφορά στην Invalidationing τεχνική, όσο μεγαλύτερες είναι οι δοσοληψίες τόσο μεγαλώνει η πιθανότητα να απορριφθούν από μια Λίστα Ακύρωσης αφ' ενός μεν γιατί έχουν μεγαλύτερο *Read.Set*, αφ' εταίρου γιατί συναντούν περισσότερες Λίστες Ακύρωσης.

#### 7.1.4 Τεχνικές Ακύρωσης και Αλληλοκάλυψη. Πείραμα 1, Σχέλος 4

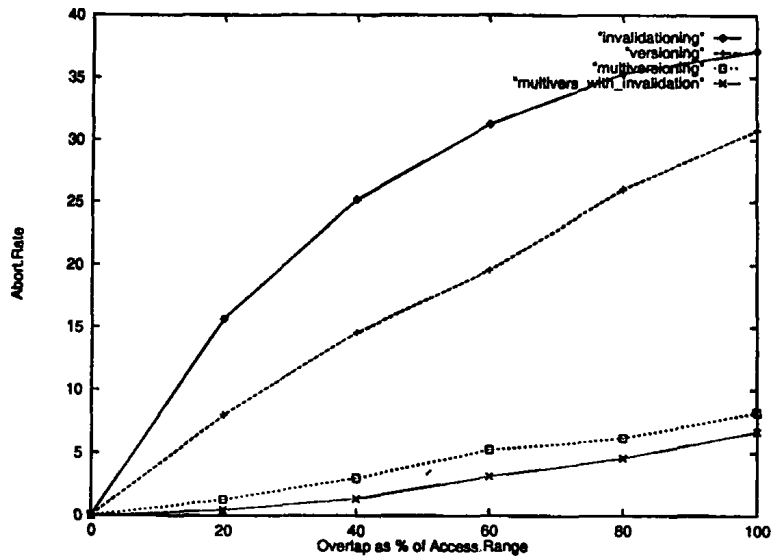
Στο Σχέλος 4 μελετάμε τη συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης καθώς αυξάνεται το επί τοις εκατό ποσοστό της αλληλοκάλυψης μεταξύ του εύρους των δεδομένων που οι δοσοληψίες διαβάζουν και του αντίστοιχου εύρους που ο ενημερωτής ενημερώνει δεδομένα. Το ποσοστό αυτό το ονομάζουμε *Overlap* και λαμβάνει τιμές από 0 (κανένα από τα δεδομένα που διαβάζουν οι δοσοληψίες από 1 μέχρι *Access.Range* δεν ενημερώνεται από τον ενημερωτή) μέχρι 100 (όλα τα δεδομένα στο εύρος από 1 μέχρι *Access.Range* ενημερώνονται από τον ενημερωτή). Το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης είναι ίσο με  $30\% * Access.Range = 300$  δεδομένα. Η παράμετρος *Update.Think.Time* ισούται με  $0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]. Τέλος οι δοσοληψίες εκτελούν 10 λειτουργίες ανάγνωσης κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές μόνο για το Σχέλος 4 του Πειράματος 1 δίνονται στον Πίνακα 7.6. Τα αποτελέσματα του Πειράματος αυτού δίνονται στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν.

Στον κατακόρυφο άξονα της γραφικής παράστασης του Σχήματος 7.12, απεικονίζεται το ποσοστό των δοσοληψιών των οποίων η λειτουργία τερματίζεται βίαια (*Abort Rate*), για κάθε μία από τις

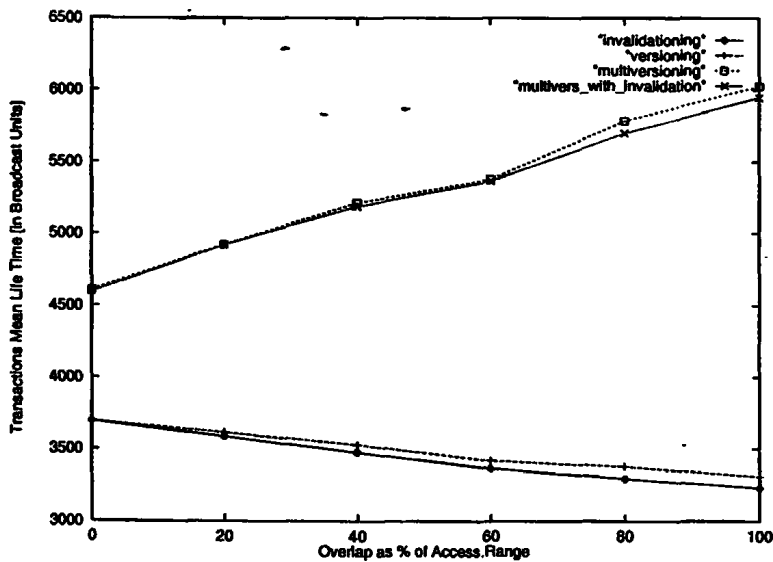


τεχνικές ακύρωσης. Στον οριζόντιο άξονα δίνεται η τιμή της παραμέτρου *Overlap*.



Σχήμα 7.12: Ρυθμός Απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς την αλληλοκάλυψη (Overlap).

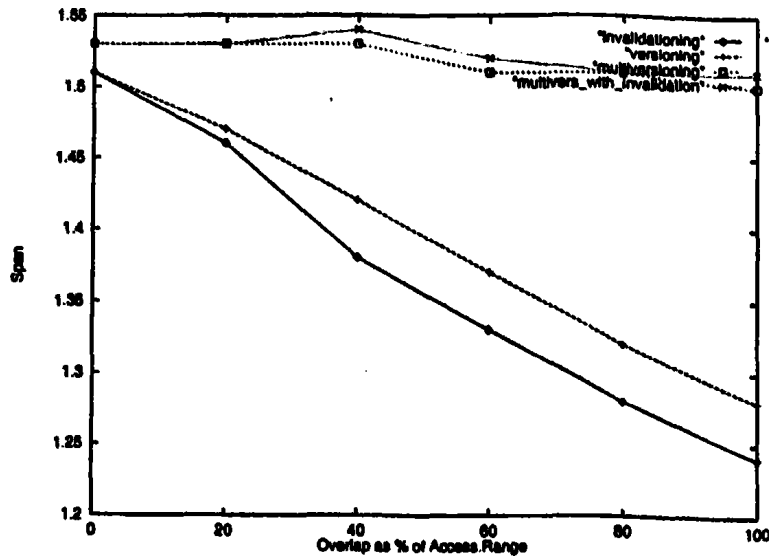
Στη γραφική παράσταση του σχήματος 7.13, δίνεται ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Overlap* (οριζόντιος άξονας).



Σχήμα 7.13: Μέσος χρόνος ζωής δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) ως προς την αλληλοκάλυψη (Overlap).

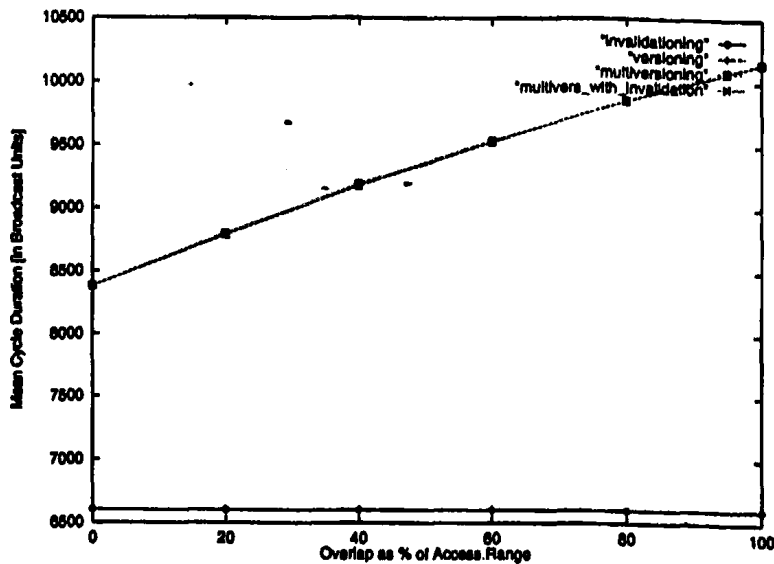
Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.14, δίνεται η Έκταση των δοσοληψιών για κάθε τεχνική (κατακόρυφος άξονας) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Overlap* (οριζόντιος άξονας).





Σχήμα 7.14: Έκταση (Span) των δοσοληψιών ως προς την αλληλοκάλυψη (Overlap).

Τέλος, στην γραφική παράσταση του Σχήματος 7.15, δίνεται το μέσο μήκος του Κύκλου για κάθε τεχνική σε Μονάδες Εκπομπής ως προς την τιμή της παραμέτρου *Overlap* (οριζόντιος άξονας).



Σχήμα 7.15: Μέση διάρκεια του Κύκλου σε Μονάδες Εκπομπής (Mean Cycle Duration) ως προς την αλληλοκάλυψη (Overlap).

Τα σημεία στα οποία πρέπει να σταθούμε όσον αφορά τα αποτελέσματα που λάβαμε από το Σχέλος 4 του Πειράματος 1, συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Όταν η αλληλοκάλυψη είναι 0, όλες οι δοσοληψίες καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους (ο ρυθμός απόρριψής τους, όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του



Σχήματος 7.12, ισούται με 0). Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού οι δοσοληψίες διαβάζουν δεδομένα τα οποία δεν ενημερώνονται ποτέ από τον *ενημερωτή*. Ως εκ τούτου τα δεδομένα αυτά δεν μπορεί να εμφανιστούν σε καμία Λίστα Ακύρωσης αν η *Invalidationing* τεχνική χρησιμοποιείται, ή θα εκπέμπονται συνέχεια με μία μόνο έκδοση, αν μία από τις υπόλοιπες 3 τεχνικές χρησιμοποιείται. Έτσι, για καμία τεχνική δεν υπάρχει λόγος να απορρίψει κάποια δοσοληψία.

- Όσο μεγαλώνει η *αλληλοκάλυψη*, μεγαλώνει και ο ρυθμός με τον οποίο απορρίπτονται οι δοσοληψίες για όλες τις τεχνικές (γραφική παράσταση Σχήματος 7.12). Ενημερώνονται όλο και περισσότερα από τα δεδομένα που οι δοσοληψίες διαβάζουν, όσο αυξάνεται η *αλληλοκάλυψη*. Αν η *Invalidationing* τεχνική χρησιμοποιείται, αυξάνεται η πιθανότητα κάποιο από τα δεδομένα που έχει διαβάσει μία δοσοληψία να εμφανίζεται σε κάποια Λίστα Ακύρωσης. Αν μία από τις υπόλοιπες 3 τεχνικές χρησιμοποιείται, αυξάνεται η πιθανότητα κάποιο από τα δεδομένα που η δοσοληψία θέλει να διαβάσει να μην είναι διαθέσιμο με την έκδοση με την οποία το χρειάζεται. Σε κάθε περίπτωση όμως, αυξάνεται η πιθανότητα η δοσοληψία να απορριφθεί.
- Και εδώ παρατηρούμε ότι ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών για την *Invalidationing* τεχνική είναι ο μεγαλύτερος από όλες τις τεχνικές. Αμέσως μικρότερος είναι ο ρυθμός απόρριψης της *Versioning* τεχνικής και ακολουθούν οι *MV* και *MVI* τεχνικές. Οι λόγοι για τους οποίους οι τεχνικές συμπεριφέρονται έτσι, έχουν παρατεθεί στα προηγούμενα. Εδώ δεν θα τους αναφέρουμε εκ νέου παρά μόνο θα αρκεστούμε στην παρατήρηση που κάναμε η οποία κατατάσσει τις τεχνικές ως προς το ρυθμό απόρριψής των δοσοληψιών.
- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.15 φαίνεται ότι η μέση διάρκεια των Κύκλων για τις *MV* και *MVI* τεχνικές, αυξάνεται όσο αυξάνεται η *αλληλοκάλυψη*, ενώ για τις υπόλοιπες 2 τεχνικές παραμένει σταθερή. Στις *Multiversioning* τεχνικές, όσο περιορίζεται το εύρος των δεδομένων που ο *ενημερωτής* ενημερώνει, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η πιθανότητα κάποια από τα δεδομένα να επιλέγονται περισσότερες από 1 φορές για ενημέρωση κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης. Όσες φορές όμως και να ενημερωθεί ένα δεδομένο, κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης, στο επόμενο Διάστημα θα εκπέμπεται με μία μόνο έκδοση, ίση με αυτή του προηγούμενου Διαστήματος. Έτσι, όσο περιορίζεται το εύρος των δεδομένων που ο *ενημερωτής* ενημερώνει (μικρότερες τιμές τις παραμέτρου *Overlap*), τόσο λιγότερες οι παλιές εκδόσεις που εκπέμπονται στο κανάλι. Αντίθετα, όσο αυξάνεται αυτό το εύρος, τόσο περισσότερες παλιές εκδόσεις εκπέμπονται και ως εκ τούτου τόσο μεγαλύτερη είναι και η μέση διάρκεια των Κύκλων.
- Από τις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.13 και 7.14 παρατηρούμε ότι ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών και η Έκταση, που ακολουθούν τις *Invalidationing* και *Versioning* τεχνικές, μειώνεται με την αύξηση της *αλληλοκάλυψης*. Κάποιες από τις δοσοληψίες που εκτελούνται στο πείραμά μας, έχουν μεγάλη Έκταση. Όλες οι δοσοληψίες καταφέρνουν να τερματίσουν όταν η τιμή της παραμέτρου *Overlap* είναι 0. Κατά τη διάρκεια της ζωής τους, οι δοσοληψίες που ζουν περισσότερο, συναντούν περισσότερες Λίστες Ακύρωσης (αν



η Invalidationing τεχνική χρησιμοποιείται). Όσο μεγαλώνει η πιθανότητα να περιέχονται δεδομένα από το εύρος που διαβάζουν οι δοσοληψίες στις Λίστες Ακύρωσης (όσο δηλαδή μεγαλώνει η τιμή της αλληλοκάλυψης), τόσο μεγαλώνει η πιθανότητα αυτές οι δοσοληψίες να απορριφθούν. Όσο περισσότερες μεγάλες δοσοληψίες απορρίπτονται, τόσο ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών και η Έκτασή τους μειώνονται. Ανάλογα ισχύουν για την περίπτωση που η Versioning τεχνική χρησιμοποιείται.

Αντίθετα, ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών που ακολουθούν τις άλλες δύο τεχνικές αυξάνεται, ενώ η Έκτασή τους παραμένει σχεδόν αμετάβλητη (μειώνεται ελάχιστα). Αυτό εξηγείται αν αναλογιστούμε ότι η μέση διάρκεια του Κύκλου αυξάνεται και έτσι ίση Έκταση για διαφορετικά μήκη Κύκλων προφανώς οδηγεί σε διαφορετικούς μέσους χρόνους ζωής για τις δοσοληψίες. Ως εκ τούτου, όσο μεγαλώνει η μέση διάρκεια του Κύκλου και η Έκταση των δοσοληψιών παραμένει σχεδόν αμετάβλητη, ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών θα αυξάνεται.

Μετά το Πείραμα 1 μπορούμε να καταλήξουμε σε ένα γενικό συμπέρασμα το οποίο ισχύει σε κάθε περίπτωση, ανεξάρτητα από το μέγεθος των δοσοληψιών ή το ρυθμό ενημέρωσης στον εξυπηρέτη ή την αλληλοκάλυψη ή το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης του πελάτη. Οι MV και MVI τεχνικές επιτρέπουν σε περισσότερες δοσοληψίες να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους από τις άλλες δύο τεχνικές. Παράλληλα όμως, οι τεχνικές αυτές επιβάλουν στις δοσοληψίες μια σημαντική επιμήκυνση του μέσου χρόνου ζωής τους. Η επιμήκυνση αυτή οφείλεται στην εκπομπή περισσότερων από μία εκδόσεις για κάθε δεδομένο κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου. Έτσι, εκτός από την πιο πρόσφατη, εκπέμπονται και κάποιες παλιότερες. Οι παλιές εκδόσεις απαιτούν επιπλέον χώρο αποθήκευσης για να διατηρηθούν στον εξυπηρέτη και αυξάνουν τη μέση διάρκεια του Κύκλου. Η MVI εμφανίζει μικρότερους ρυθμούς απόρριψης δοσοληψιών από την MV τεχνική. Τέλος η Versioning εμφανίζει μικρότερους ρυθμούς απόρριψης από την Invalidationing τεχνική.

## 7.2 ΠΕΙΡΑΜΑ 2: Σύγκριση των Σχημάτων Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων

Σκοπός του Πειράματος 2 είναι να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των σχημάτων εκπομπής πολλαπλών εκδόσεων που έχουν προταθεί, (Multiversioning τεχνικές) δηλαδή των σχημάτων Ομαδοποίηση, Νέος Δίσκος και Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου. Το Πείραμα 2 αποτελείται από 5 σκέλη. Η διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης ισούται με έναν Κύκλο και η τιμή της παραμέτρου *Zipf.Offset* ισούται με 0. Οι δοσοληψίες εκτελούν  $N = 10$  λειτουργίες ανάγνωσης κατά τη διάρκεια της ζωής τους και η αλληλοκάλυψη είναι 0. Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Πείραμα 2 δίνονται στον Πίνακα 7.7.



<i>Currency interval</i>	1 Κύκλος
<i>Zipf.Offset</i>	0
<i>N</i>	10
<i>Oveltrap</i>	100

Πίνακας 7.7: Παράμετροι σταθερές για όλα τα σκέλη του Πειράματος 2.

<i>Update.Think.Time</i>	$0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]
<i>K</i>	5

Πίνακας 7.8: Παράμετροι σταθερές για το Σκέλος 1 του Πειράματος 2.

### 7.2.1 Σχήματα Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων και Μέγεθος Τοπικού Χώρου Αποθήκευσης. Πείραμα 2, Σκέλος 1

Στο Σκέλος 1 του Πειράματος 2 η παράμετρος *Cache.Size* (το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης του πελάτη) παίρνει τιμές από 1 μέχρι  $50\% * Access.Range = 500$  [δεδομένα]. Η τιμή της παραμέτρου *K* ισούται με 5 και της *Update.Think.Time* με  $0.5\% * Server.DB.Size = 15$  [Μονάδες Εκπομπής]. Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Σκέλος 1 του Πειράματος 2 δίνονται στον Πίνακα 7.8.

Στον κατακόρυφο άξονα της γραφικής παράστασης του Σχήματος 7.16, απεικονίζεται το ποσοστό των δοσοληψιών των οποίων η λειτουργία τερματίζεται βίαια (*Abort Rate*) ως προς το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (οριζόντιος άξονας), για κάθε ένα από τα σχήματα *Ομαδοποίηση* (καμπύλη *Clustering*), *Νέος Δίσκος* (καμπύλη *new\_disk*) και *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου* (καμπύλη *bucket\_pull*). Το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (*Cache.Size*) μετράται ως το επί τοις εκατό ποσοστό επί του *Access.Range*.

Στη γραφική παράσταση του σχήματος 7.17, δίνεται ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών σε Μονάδες Εκπομπής (κατακόρυφος άξονας) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Cache.Size* (οριζόντιος άξονας).

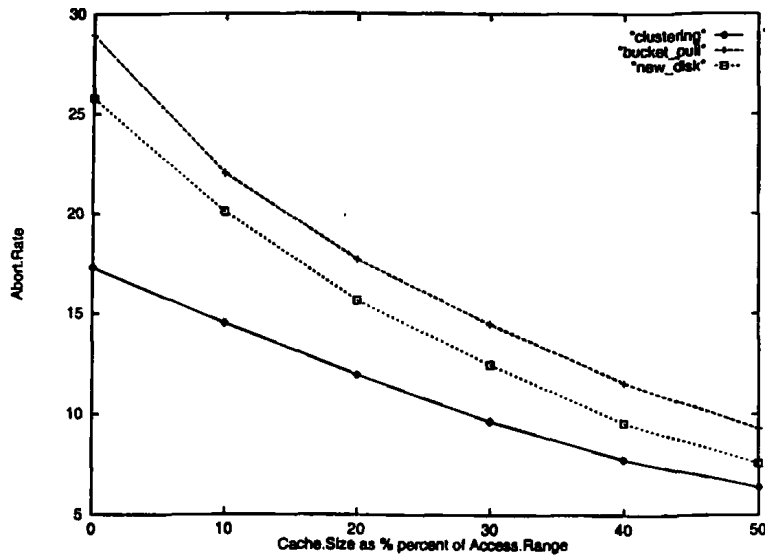
Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.18, δίνεται η Έκταση των δοσοληψιών για κάθε σχήμα (κατακόρυφος άξονας), ως προς την τιμή της παραμέτρου *Cache.Size* (οριζόντιος άξονας).

Τα σημεία στα οποία πρέπει να σταθούμε όσον αφορά τα αποτελέσματα που λάβαμε από το Σκέλος 1 του Πειράματος 2, συνοψίζονται στα παρακάτω:

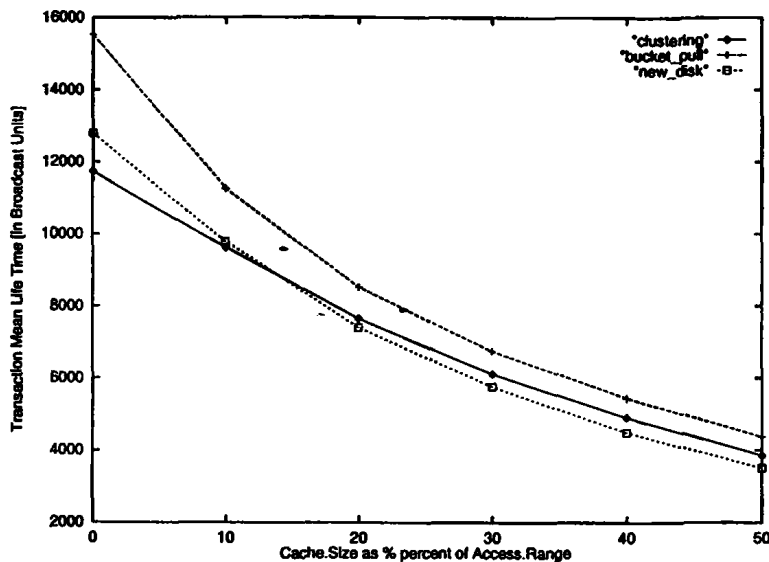
- Η μέση διάρκεια του Κύκλου για το σχήμα *Ομαδοποίηση* είναι 10107 Μονάδες Εκπομπής, ενώ για τα άλλα δύο είναι 7634 Μονάδες Εκπομπής. Παρατηρούμε ότι για τα σχήματα *Νέος Δίσκος* και *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου*, η μέση διάρκεια του Κύκλου είναι η ίδια. Αυτό ήταν αναμενόμενο γιατί και για τα δύο σχήματα οι παλιές εκδόσεις εκπέμπονται μόνο μία φορά κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου. Η μόνη διαφορά ανάμεσά τους είναι η ακριβής θέση εντός του Κύκλου που λαμβάνει χώρα η εκπομπή τους. Άρα ο αριθμός των εκπομπών παλιών εκδόσεων, είναι για τα δύο σχήματα ο ίδιος. Η μέση διάρκεια του Κύκλου για το σχήμα *Ομαδοποίηση* όμως είναι μεγαλύτερη από ότι στα άλλα δύο. Αυτό οφείλεται στο ότι







Σχήμα 7.16: Ρυθμός απόρριψης (Abort Rate) ως προς το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (Cache.Size).

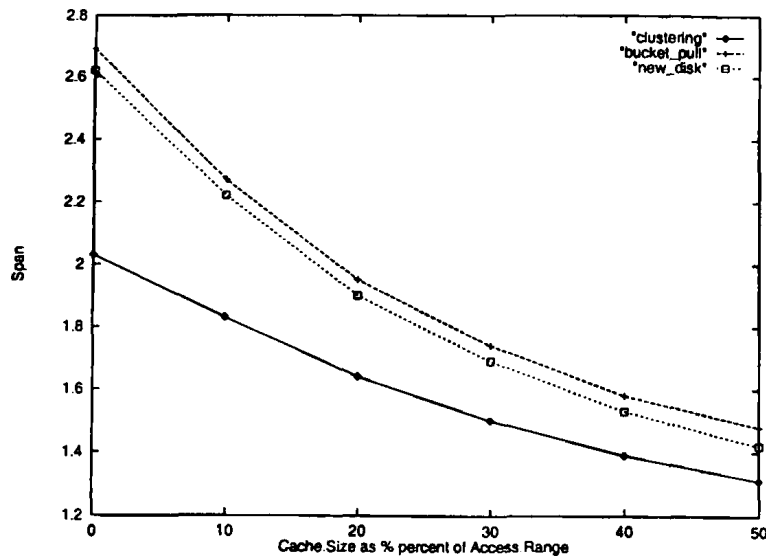


Σχήμα 7.17: Μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) ως προς το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (Cache.Size).

με την Ομαδοποίηση ορισμένες από τις παλιές εκδόσεις εκπέμπονται περισσότερες από μία φορές κατά τη διάρκεια του Κύκλου.

- Όπως και στο Πείραμα 1, πάλι παρατηρούμε ότι ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών, η μέση διάρκεια ζωής τους και η Έκτασή τους μειώνονται όσο αυξάνεται το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.16, 7.17 και 7.18, αντίστοιχα).





Σχήμα 7.18: Έκταση (Span) των δοσοληψιών ως προς το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης (Cache.Size).

- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.16 παρατηρούμε ότι το σχήμα Ομαδοποίηση εμφανίζει τον μικρότερο ρυθμό απόρριψης από τα τρία σχήματα. Οι παλιές εκδόσεις των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων δεδομένων εκπέμπονται περισσότερες από μία φορές κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου με την Ομαδοποίηση, ενώ μία μόνο φορά με τα άλλα δύο σχήματα. Όμως είναι πιο πιθανό μια δοσοληψία να ζητήσει μία παλιότερη έκδοση ενός συχνά χρησιμοποιούμενου παρά ενός λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενου δεδομένου. Συνεπώς, με το σχήμα Ομαδοποίηση οι δοσοληψίες έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να βρουν την παλιά έκδοση του δεδομένου που επιθυμούν, να τη διαβάσουν και να συνεχίσουν με την επόμενη αίτησή τους για ανάγνωση δεδομένου γρηγορότερα από ότι στα άλλα δύο σχήματα.

Το σχήμα Νέος Δίσκος εμφανίζει μικρότερους ρυθμούς απόρριψης από το Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου. Και στα δύο σχήματα οι παλιές εκδόσεις εκπέμπονται μόνο μία φορά κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου. Όπως όμως φαίνεται από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.17, οι δοσοληψίες που ακολουθούν το σχήμα Νέος Δίσκος, τερματίζουν τη λειτουργία τους γρηγορότερα από ότι οι δοσοληψίες που ακολουθούν το σχήμα Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου. Αυτό οφείλεται στο ότι οι δοσοληψίες που ζητούν κάποια παλιά έκδοση δεν χρειάζεται να περιμένουν μέχρι το τέλος του Κύκλου για να τη διαβάσουν, αλλά μπορεί να τη συναντήσουν γρηγορότερα (αφού στο σχήμα Νέος Δίσκος οι παλιές εκδόσεις των δεδομένων βρίσκονται διάσπαρτες κατά μήκος του Κύκλου). Αυτό τους επιτρέπει να διατυπώσουν νωρίτερα την επόμενη αίτησή τους για ανάγνωση από ότι αν χρησιμοποιείται το σχήμα Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου. Για τον ίδιο λόγο οι δοσοληψίες που ακολουθούν το πρώτο σχήμα εμφανίζουν και μικρότερη Έκταση από αυτές που ακολουθούν το δεύτερο, όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.18. Έτσι, εμφανίζουν μεγαλύτερη πιθανότητα να τερματίσουν νωρίτερα τη λειτουργία τους, αποφεύγοντας να διαβάσουν παλιότερες εκδόσεις σε επόμενους Κύκλους (όπου μεγαλώνει η πιθανότητα



<i>Cache.Size</i>	$30\% * Access.Range = 300[\Delta\epsilon\delta\omicron\mu\epsilon\nu\alpha]$
<i>K</i>	5
<i>N</i>	10

Πίνακας 7.9: Παράμετροι σταθερές για το Σχέλος 2 του Πειράματος 2.

αυτές οι εκδόσεις να μην είναι διαθέσιμες). Για αυτό και το σχήμα *Νέος Δίσκος* εμφανίζει μικρότερους ρυθμούς απόρριψης, Έκταση και μέσους χρόνους ζωής των δοσοληψιών από το σχήμα *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου*.

- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.17 παρατηρούμε ότι ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών που ακολουθούν το σχήμα *Νέος Δίσκος* γίνεται μικρότερος από τον αντίστοιχο χρόνο των δοσοληψιών που ακολουθούν το σχήμα *Ομαδοποίηση* για μεγέθη του τοπικού χώρου αποθήκευσης μεγαλύτερα από  $20\% * Access.Range[\delta\epsilon\delta\omicron\mu\epsilon\nu\alpha]$ . Όσο αυξάνεται το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης, τόσο μικραίνει η Έκταση των δοσοληψιών επειδή αυξάνεται η πιθανότητα ένα δεδομένο που μία δοσοληψία ζητά να είναι τοπικά αποθηκευμένο και να το διαβάσει άμεσα. Τοπικά αποθηκεύονται μόνο οι πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων. Όσο όμως μειώνεται η Έκταση των δοσοληψιών (με την αύξηση του μεγέθους του τοπικού χώρου αποθήκευσης του πελάτη), τόσο μεγαλώνει η πιθανότητα αυτές να αναζητούν πιο πρόσφατες εκδόσεις δεδομένων. Άρα με το σχήμα *Νέος Δίσκος* οι δοσοληψίες δεν επιβαρύνονται με την καθυστέρηση εξαιτίας της εκπομπής παλαιότερων εκδόσεων περισσότερες από μία φορές κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου, κάτι που συμβαίνει στις δοσοληψίες που ακολουθούν το σχήμα *Ομαδοποίηση*. Οι δοσοληψίες μπορούν γρηγορότερα να βρουν τις πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων που αναζητούν από το κανάλι με το *Νέο Δίσκο*. Έτσι, δεδομένου ότι η μέση διάρκεια του Κύκλου είναι μεγαλύτερη για το σχήμα *Ομαδοποίηση*, οι δοσοληψίες που το ακολουθούν δεν καταφέρνουν να τερματίσουν γρηγορότερα από αυτές που ακολουθούν το σχήμα *Νέος Δίσκος*, γιατί αναγκάζονται να υποστούν επιβάρυνση στην καθυστέρησή τους, από την εκπομπή παλαιότερων εκδόσεων (τις οποίες δεν χρειάζονται όσο μικραίνει η Έκτασή τους) περισσότερες από μία φορές κατά τη διάρκεια του Κύκλου.

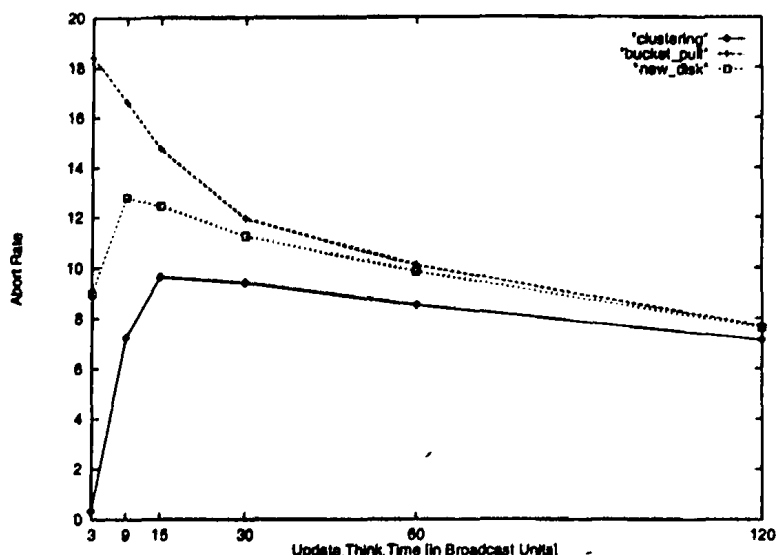
## 7.2.2 Σχήματα Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων και Ρυθμός Ενημέρωσης. Πείραμα 2, Σχέλος 2

Στο Σχέλος 2 του Πειράματος 2 ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών ενημερώσεων των δεδομένων της Βάσης Δεδομένων λαμβάνει τιμές από 3 μέχρι 120 Μονάδες Εκπομπής. Οι δοσοληψίες εκτελούν  $N = 10$  λειτουργίες ανάγνωσης κατά τη διάρκεια της ζωής τους και το  $K$  έχει τιμή ίση με 5. Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Σχέλος 2 του Πειράματος 2 δίνονται στον Πίνακα 7.9.

Από τα αποτελέσματα που λάβαμε από το Σχέλος 2 του Πειράματος 2 αξίζει να σταθούμε σε αυτό της γραφικής παράστασης του Σχήματος 7.19, όπου δίνεται ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών (κάθετος άξονας) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* σε Μονάδες Εκπομπής



(οριζόντιος άξονας).



Σχήμα 7.19: Ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς την τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* σε Μονάδες Εκπομπής.

Από αυτή τη γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών για τα σχήματα *Ομαδοποίηση* και *Νέος Δίσκος* μειώνεται όταν ο ρυθμός ενημέρωσης γίνεται πολύ μεγάλος με το πρώτο να εμφανίζει εντονότερη μείωση από το δεύτερο. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και για το σχήμα *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου*. Τη συμπεριφορά αυτή του σχήματος *Ομαδοποίηση* την εξηγήσαμε στο Σκέλος 2 του Πειράματος 1. Η ίδια εξήγηση δίνεται και για τη συμπεριφορά του σχήματος *Νέος Δίσκος*. Το σχήμα *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου* δεν συμπεριφέρεται ομοίως γιατί όπως αναφέραμε και στο Σκέλος 1 του Πειράματος 2, οι παλιές εκδόσεις των δεδομένων εκπέμπονται συγκεντρωμένες στο τέλος κάθε Κύκλου μην επιτρέποντας στις δοσοληψίες που αναζητούν παλιές εκδόσεις δεδομένων να τις διαβάσουν γρήγορα και να προχωρήσουν εντός του Κύκλου με την επόμενη αίτησή τους. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι περιμένουν μέχρι το τέλος του Κύκλου και διατυπώνουν την επόμενη αίτησή τους στον επόμενο Κύκλο. Στον επόμενο Κύκλο όμως η πιθανότητα το δεδομένο που αναζητούν να μην είναι πλέον διαθέσιμο είναι ιδιαίτερα μεγάλη εξαιτίας του υψηλού ρυθμού με τον οποίο ενημερώνονται τα δεδομένα. Ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών για το σχήμα *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου* μεγαλώνει όσο μεγαλώνει ο ρυθμός ενημέρωσης.

Ακόμη παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει η τιμή της παραμέτρου *Update.Think.Time* (μείωση του ρυθμού ενημέρωσης) τα τρία σχήματα εμφανίζουν τάση να καταλήξουν σε ίδιους ρυθμούς απόρριψης. Αυτό οφείλεται στο ότι οι παλιές εκδόσεις που εμφανίζονται στο κανάλι γίνονται όλο και λιγότερες. Ως εκ τούτου, η συχνότητα εκπομπής των παλιών εκδόσεων καθώς και το ακριβές σημείο εντός του Κύκλου στο οποίο θα εκπεμφθούν δεν παίζουν ουσιαστικό ρόλο. Τα τρία σχήματα ταυτίζουν τη συμπεριφορά τους όσο μειώνεται ο ρυθμός ενημέρωσης.



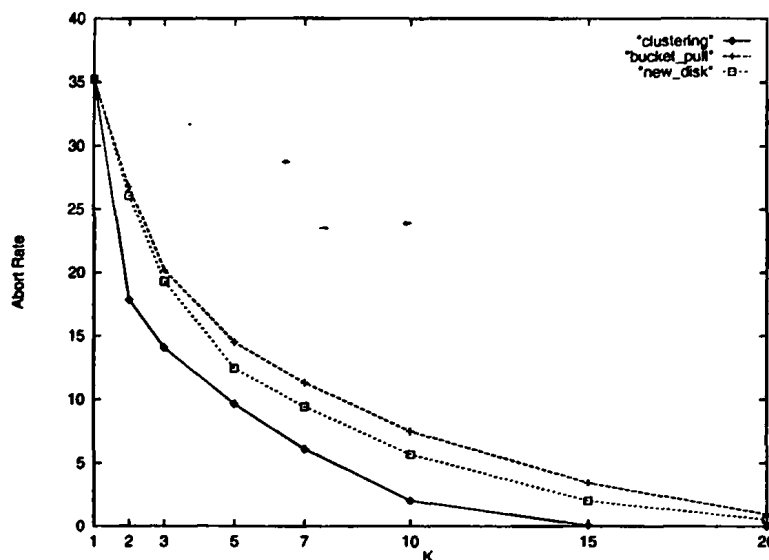
<i>Cache.Size</i>	$30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]
<i>Update.Think.Time</i>	$0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]
<i>N</i>	10

Πίνακας 7.10: Παράμετροι σταθερές για το Σκέλος 3 του Πειράματος 2.

### 7.2.3 Σχήματα Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων και Αριθμός Παλιών Εκδόσεων. Πείραμα 2, Σκέλος 3

Στο Σκέλος 3 του Πειράματος 2 το  $K$  λαμβάνει τιμές από 1 μέχρι 20. Το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης ισούται με  $30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]. Οι δοσοληψίες εκτελούν  $N = 10$  λειτουργίες ανάγνωσης κατά τη διάρκεια της ζωής τους και η τιμή της *Update.Think.Time* παραμέτρου είναι ίση με  $0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]. Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Σκέλος 3 του Πειράματος 2 δίνονται στον Πίνακα 7.10.

Στη γραφική παράσταση του σχήματος 7.20, δίνεται ο μέσος ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς το  $K$  (οριζόντιος άξονας) για κάθε ένα από τα σχήματα Ομαδοποίηση (καμπύλη *clustering*), Νέος Δίσκος (καμπύλη *new\_disk*) και Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου (καμπύλη *bucket\_pull*).

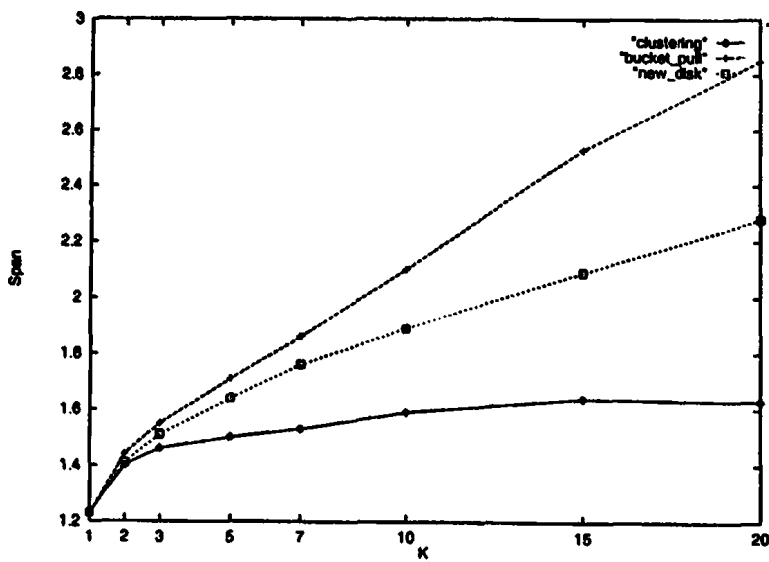


Σχήμα 7.20: Ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τον αριθμό των παλιών εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρετή και εκπέμπονται στο κανάλι ( $K$ ).

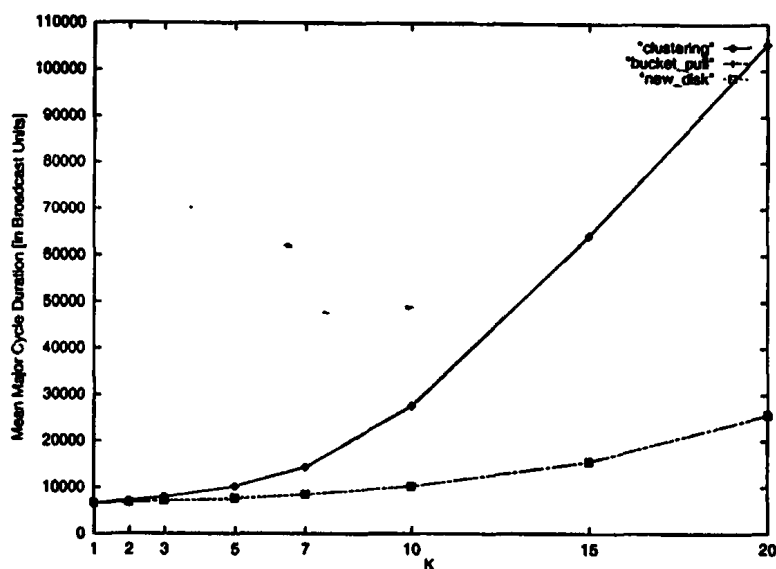
Στη γραφική παράσταση του σχήματος 7.21, δίνεται η Έκταση των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς το  $K$  (οριζόντιος άξονας).

Στη γραφική παράσταση του σχήματος 7.22, δίνεται η μέση διάρκεια του Κύκλου σε Μονάδες Εκπομπής (κατακόρυφος άξονας) ως προς το  $K$  (οριζόντιος άξονας).





Σχήμα 7.21: Έκταση (Span) των δοσοληψιών ως προς τον αριθμό των παλιών εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρέτη και εκπέμπονται στο κανάλι (K).



Σχήμα 7.22: Μέση διάρκεια του Κύκλου σε Μονάδες Εκπομπής (Mean Cycle Duration) ως προς τον αριθμό των παλιών εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρέτη και εκπέμπονται στο κανάλι (K).

Τα σημεία στα οποία πρέπει να σταθούμε όσον αφορά στα αποτελέσματα που λάβαμε από το Σκέλος 3 του Πειράματος 2, συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.22 φαίνεται ότι όσο αυξάνεται το  $K$ , τόσο αυξάνεται και η μέση διάρκεια των Κύκλων για όλα τα σχήματα. Αυτό οφείλεται στο ότι όλο και περισσότερες παλιότερες εκδόσεις των δεδομένων διατηρούνται και εκπέμπονται από τον εξυπηρέτη. Η αύξηση αυτή είναι εντονότερη για το σχήμα Ομαδοποίηση επειδή οι παλιότερες



εκδόσεις των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων δεδομένων εκπέμπονται περισσότερες από μια φορές κατά τη διάρκεια κάθε Κύκλου.

Επίσης παρατηρούμε ότι η μέση διάρκεια του Κύκλου για τα σχήματα *Νέος Δίσκος* και *Παλιές εκδόσεις* στο τέλος κάθε Κύκλου είναι ίσες, αφού οι παλιές εκδόσεις των δεδομένων εκπέμπονται μόνο μία φορά κατά τη διάρκεια κάθε Κύκλου.

- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.20 φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το  $K$  τόσο μειώνεται ο ρυθμός απόρριψης για όλα τα σχήματα, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο. Όπως και στο Σκέλος 1 του Πειράματος 2, μικρότερους ρυθμούς απόρριψης εμφανίζει το σχήμα *Ομαδοποίηση*, λίγο μεγαλύτερους το σχήμα *Νέος Δίσκος* και τους μεγαλύτερους ρυθμούς απόρριψης τους εμφανίζει το σχήμα *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου*. Άρα το συμπέρασμα ότι το σχήμα *Ομαδοποίηση* εμφανίζει τους μικρότερους ρυθμούς απόρριψης γίνεται πιο γενικό αφού ισχύει για διαφορετικές τιμές του  $K$  και για διαφορετικά μεγέθους τοπικού χώρου αποθήκευσης.
- Από τη γραφική παράσταση του σχήματος 7.21 φαίνεται ότι με το σχήμα *Ομαδοποίηση* οι δοσοληψίες εμφανίζουν τη μικρότερη Έκταση, ενώ με το σχήμα *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου* τη μεγαλύτερη. Και αυτό το συμπέρασμα το αναφέραμε στο Σκέλος 1 του Πειράματος 2 και εξηγήσαμε τους λόγους για τους οποίους παρατηρείται αυτή η συμπεριφορά. Εδώ απλά θα επισημάνουμε ότι η ισχύ του γενικεύεται και για διαφορετικές τιμές του  $K$ .

#### 7.2.4 Σχήματα Εκπομπής Πολλαπλών Εκδόσεων και Αριθμός Λειτουργιών Ανάγνωσης Δοσοληψιών. Πείραμα 2, Σκέλος 4

Στο Σκέλος 4 του Πειράματος 2 η παράμετρος  $N$  παίρνει τιμές από 5 μέχρι 30 λειτουργίες ανάγνωσης για τις δοσοληψίες που καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους. Για τις μετρήσεις αυτού του Σκέλους, η MV τεχνική με *Ομαδοποίηση* χρησιμοποιήθηκε. Η επιλογή αυτή είναι ενδεικτική και τα γενικά συμπεράσματα που εξάγονται είναι ίδια με αυτά που θα λαμβάναμε αν κάποιο από τα άλλα δύο σχήματα (*Νέος Δίσκος* ή *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου*) χρησιμοποιούσαμε. Αυτό που επιθυμούμε εδώ είναι να δούμε τι συμβαίνει για διαφορετικές τιμές του  $K$ , όταν οι δοσοληψίες εκτελούν διαφορετικό αριθμό λειτουργιών ανάγνωσης κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Το μέγεθος του τοπικού χώρου αποθήκευσης του πελάτη είναι ίσο με  $30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]. Η τιμή της *Update.Think.Time* παραμέτρου είναι ίση με  $0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]. Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Σκέλος 4 του Πειράματος 2 δίνονται στον Πίνακα 7.11.

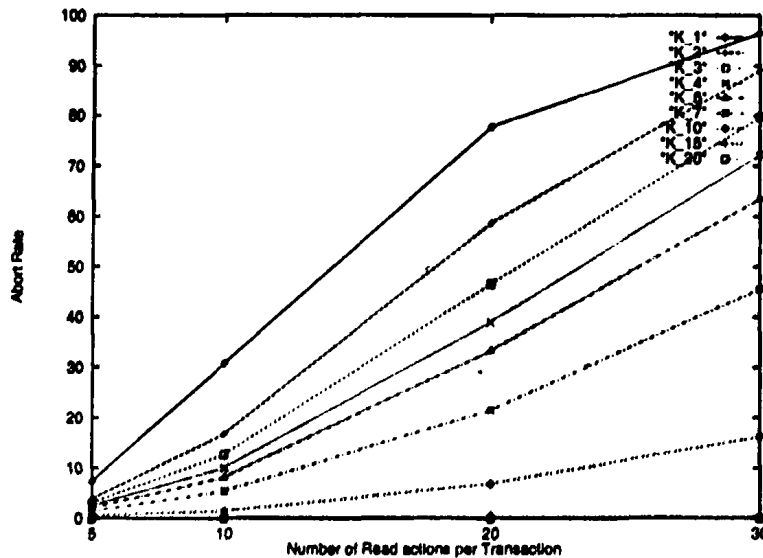
Στη γραφική παράσταση του σχήματος 7.23, δίνεται ο μέσος ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς τον αριθμό των λειτουργιών ανάγνωσης ( $N$ ) που πραγματοποιούν οι δοσοληψίες (οριζόντιος άξονας). Οι καμπύλες  $K_1, K_2, \dots, K_{20}$  αντιστοιχούν στους ρυθμούς απόρριψης των δοσοληψιών που ακολουθούν την MV τεχνική με το σχήμα *Ομαδοποίηση* όταν η



Cache.Size	$30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]
Update.Think.Time	$0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]

Πίνακας 7.11: Παράμετροι σταθερές για το Σκέλος 4 του Πειράματος 2.

τιμή του  $K$  είναι 1, 2, ..., 20, αντίστοιχα.



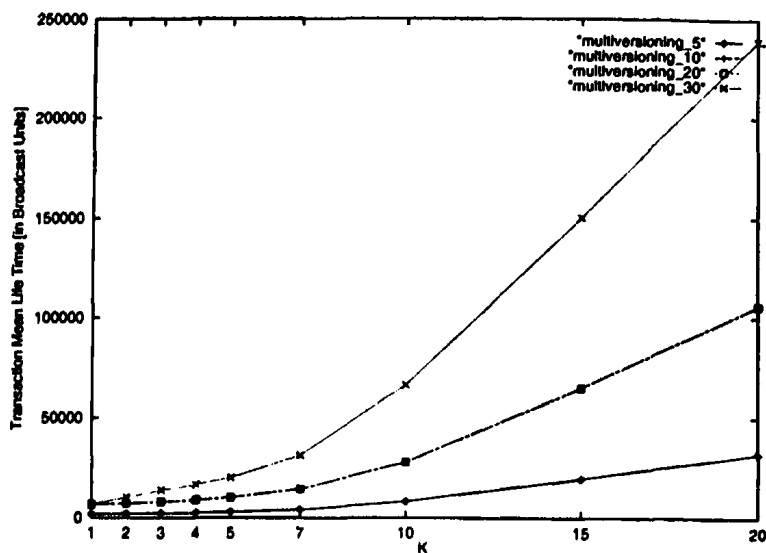
Σχήμα 7.23: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τον αριθμό των λειτουργιών ανάγνωσης των δοσοληψιών (Number of Read actions per Transaction).

Στη γραφική παράσταση του σχήματος 7.24, δίνεται η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών (ξα-τακόρυφος άξονας) ως προς την τιμή της παραμέτρου  $K$  (οριζόντιος άξονας). Οι καμπύλες *multiversioning\_5* έως *multiversioning\_30* αντιστοιχούν σε δοσοληψίες που κατά τη διάρκεια της ζωής τους πραγματοποιούν 5, έως 30 λειτουργίες ανάγνωσης αντίστοιχα.

Το σημείο στο οποίο πρέπει να σταθούμε όσον αφορά τα αποτελέσματα που λάβαμε από το Σκέλος 4 του Πειράματος 2 είναι ότι όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.23, ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών μειώνεται όσο αυξάνεται το  $K$ . Από την ίδια γραφική παράσταση βλέπουμε ότι τα ίδια ισχύουν ακόμα και για διαφορετικό αριθμό λειτουργιών ανάγνωσης που εκτελούν οι δοσοληψίες κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Έτσι, το συμπέρασμα ότι ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών ελαττώνεται όσο αυξάνεται το  $K$  είναι γενικό. Μάλιστα για  $K = 20$  παρατηρούμε ότι καμία δοσοληψία δεν απορρίπτεται. Γενικεύοντας μπορούμε να πούμε ότι για οποιοδήποτε αριθμό λειτουργιών ανάγνωσης εκτελούν οι δοσοληψίες υπάρχει  $K$  τέτοιο ώστε καμία δοσοληψία δεν απορρίπτεται. Βέβαια όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.24 όσο μεγαλώνει το  $K$ , μεγαλώνει και η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών. Συνεπώς, αυξάνοντας το  $K$  προκειμένου να μειώσουμε το μέσο ρυθμό απόρριψης των δοσοληψιών αυξάνουμε παράλληλα και τη μέση διάρκεια ζωής τους.







Σχήμα 7.24: Μέση διάρκεια ζωής δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρετή και εκπέμπονται στο κανάλι (K).

<i>Cache.Size</i>	$30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]
<i>Update.Think.Time</i>	$0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]
<i>N</i>	10

Πίνακας 7.12: Παράμετροι σταθερές για το Σκέλος 5 του Πειράματος 2.

### 7.2.5 Σύγκριση των Σχημάτων Ομαδοποίησης και Νέος Δίσκος. Πείραμα 2, Σκέλος 5

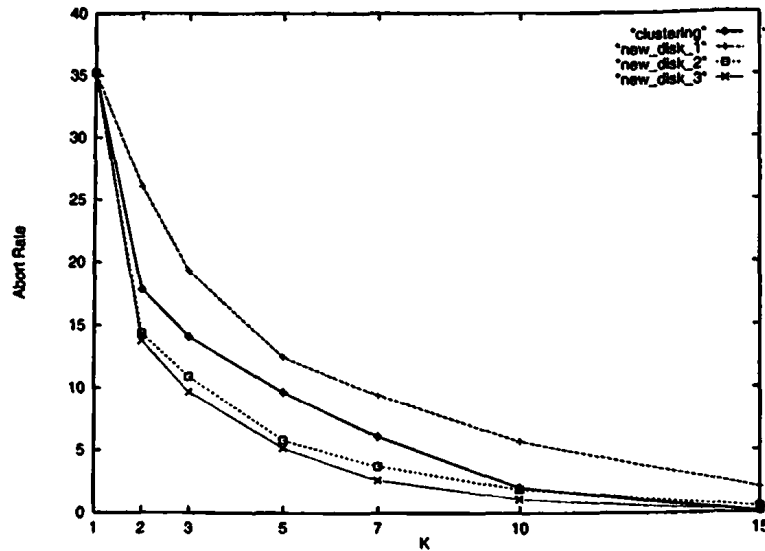
Στο Σκέλος 5 του Πειράματος 2 συγκρίνουμε το σχήμα *Ομαδοποίηση* με το σχήμα *Νέος Δίσκος*, για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου  $m$  (παράγραφος 3.4.1). Στα πειράματα που εκτελέσαμε μέχρι τώρα θεωρήσαμε τιμή ίση με 1 για το  $m$ . Οι τιμές που λαμβάνει εδώ το  $m$  είναι 1, 2 και 3. Οι τιμές όλων των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Σκέλος 5 του Πειράματος 2 δίνονται στον Πίνακα 7.12.

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.25 δίνεται ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς το  $K$  (οριζόντιος άξονας για κάθε μια από τις αρχιτεκτονικές που μελετάμε σε αυτό το Σκέλος. Η καμπύλη *clustering* αντιστοιχεί στο σχήμα *Ομαδοποίηση*, η καμπύλη *new\_disk\_1* στο σχήμα *Νέος Δίσκος* με  $m = 1$ , η καμπύλη *new\_disk\_2* στο σχήμα *Νέος Δίσκος* με  $m = 2$ , και τέλος η καμπύλη *new\_disk\_3* στο σχήμα *Νέος Δίσκος* με  $m = 3$ .

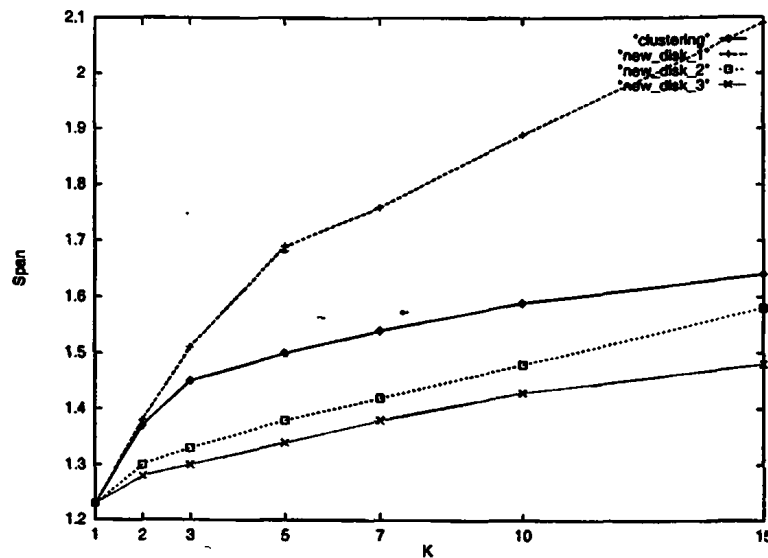
Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.26 δίνεται η Έκταση των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς το  $K$  (οριζόντιος άξονας). Η ίδια αντιστοιχία καμπυλών με τα σχήματα που αναφέραμε πριν ισχύει και εδώ.

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.27 δίνεται η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών (κατα-





Σχήμα 7.25: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρέτη και εκπέμπονται στο κανάλι (K).



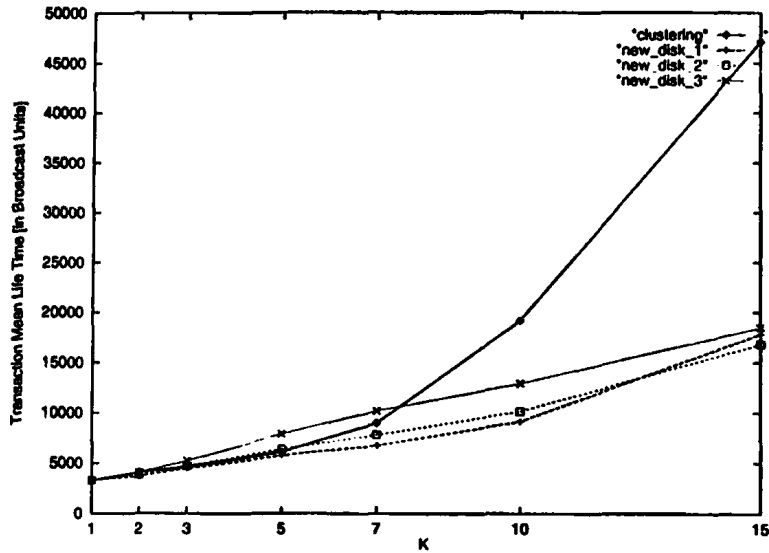
Σχήμα 7.26: Έκταση (Span) των δοσοληψιών ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρέτη και εκπέμπονται στο κανάλι (K).

κόρυφος άξονας) σε Μονάδες Εμπομπής ως προς την τιμή της παραμέτρου  $K$  (οριζόντιος άξονας).

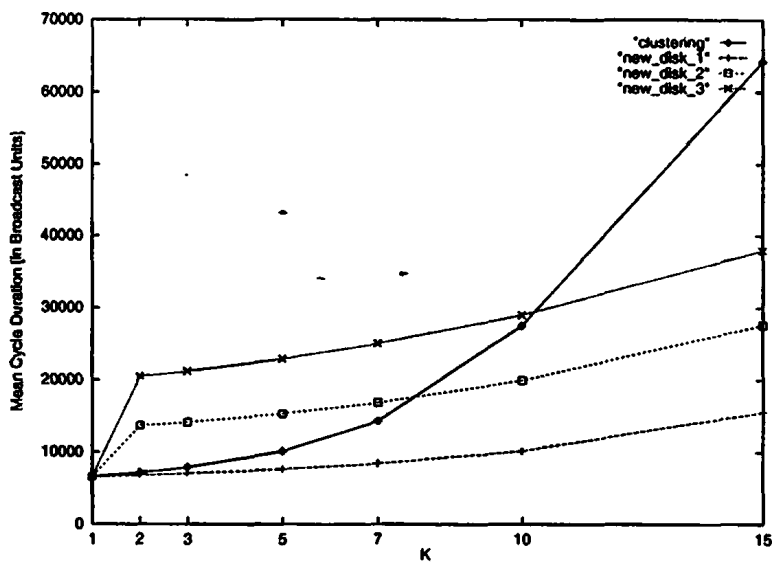
Τέλος στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.28 δίνεται η μέση διάρκεια του Κύκλου (οριζόντιος άξονας) σε Μονάδες Εμπομπής ως προς την τιμή της παραμέτρου  $K$  (οριζόντιος άξονας).

Στεκόμαστε στα παρακάτω σημεία όσον αφορά στα αποτελέσματα του Σκέλους 5 του Πειράματος 2.





Σχήμα 7.27: Μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρετή και εκπέμπονται στο κανάλι (K).



Σχήμα 7.28: Μέση διάρκεια του Κύκλου (Mean Cycle Duration) ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρετή και εκπέμπονται στο κανάλι (K).

- Οι σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων για το σχήμα Ομαδοποίηση είναι 1, 3 και 5, όπως προκύπτει από τον Αλγόριθμο Εκπομπής Δίσκων. Παρόμοια για το σχήμα Νέος Δίσκος με  $m = 1$  είναι 1, 3, 5 και 1 για τον Δίσκο που περιέχει τις παλιές εκδόσεις. Για το σχήμα Νέος Δίσκος με  $m = 2$ , είναι 2, 6, 10 και 1 για τον Δίσκο που περιέχει τις παλιές εκδόσεις ενώ για το σχήμα Νέος Δίσκος με  $m = 3$  είναι 3, 9, 15 και 1 για τον Δίσκο που περιέχει τις παλιές εκδόσεις. Γίνεται σαφές ότι όσο μεγαλώνει το  $m$ , τόσο συχνότερα



εκπέμπονται οι πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων σε σχέση με τις παλιές, οι οποίες ανεξάρτητα από την τιμή του  $m$  εκπέμπονται μόνο μία φορά κατά τη διάρκεια του Κύκλου. Η αύξηση του  $m$  επιφέρει παράλληλη αύξηση στη διάρκεια του Κύκλου, όπως φαίνεται από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.28, η οποία οφείλεται στο ότι τα πιο πρόσφατα δεδομένα εκπέμπονται περισσότερες φορές κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου (για παράδειγμα τα δεδομένα του γρηγορότερου Δίσκου εκπέμπονται 15 φορές κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου όταν  $m = 3$  και 5 όταν  $m = 1$ ). Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η μέση διάρκεια του Κύκλου με το σχήμα *Ομαδοποίηση* είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του σχήματος *Νέος Δίσκος* για τιμές του  $m$  μεγαλύτερες από 1 και παράλληλα μικρές τιμές του  $K$ .

Όσο όμως το  $K$  μεγαλώνει, αυξάνονται οι παλιές εκδόσεις που διατηρούνται από τον εξυπηρετή και εκπέμπονται στο κανάλι. Οι παλιές εκδόσεις όμως εκπέμπονται μόνο μία φορά κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου στο σχήμα *Νέος Δίσκος*, ανεξάρτητα από την τιμή του  $m$ . Με το σχήμα *Ομαδοποίηση* όμως εκπέμπονται περισσότερες φορές και έτσι, όσο μεγαλώνει το  $K$  η αύξηση της διάρκειας του Κύκλου γίνεται εντονότερη σε αυτό το σχήμα από ότι στο *Νέο Δίσκο*. Μάλιστα για πολύ μεγάλες τιμές του  $K$  ( $K > 10$ ) η διάρκεια του Κύκλου γίνεται μεγαλύτερη στην *Ομαδοποίηση* από ότι στο *Νέο Δίσκο* για  $m = 3$ .

- Η συμπεριφορά όλων των σχημάτων όταν η τιμή της παραμέτρου  $K$  είναι ίση με 1 είναι η ίδια. Όταν  $K = 1$  δεν υπάρχουν παλιές εκδόσεις και έτσι εκπέμπονται μόνο οι πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων. Η απουσία παλαιότερων εκδόσεων των δεδομένων συνεπάγεται απουσία ξεχωριστού Δίσκου από τον οποίο θα εκπέμπονται. Οι λόγοι που σχηματίζουν οι σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων για τις πρόσφατες εκδόσεις ανάγονται στους λόγους που σχηματίζουν οι σχετικές συχνότητες περιστροφής των Δίσκων στο σχήμα *Ομαδοποίηση* κάτι το οποίο συνεπάγεται την ίδια συμπεριφορά των τεσσάρων αρχιτεκτονικών.
- Το σχήμα *Νέος Δίσκος* εμφανίζει όλο και μικρότερους ρυθμούς απόρριψης, όσο αυξάνεται το  $m$  και για μικρές τιμές του  $K$ , όπως φαίνεται και στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.25. Όσο αυξάνεται το  $m$ , μεγαλώνει η μέση διάρκεια του Κύκλου, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Παράλληλα οι πιο πρόσφατες εκδόσεις των δεδομένων παρουσιάζονται πολύ περισσότερες φορές στο κανάλι κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου από τις παλιές. Έτσι, οι δοσοληψίες καταφέρνουν να διατυπώσουν και να ικανοποιήσουν περισσότερες αιτήσεις για ανάγνωση δεδομένων κατά τη διάρκεια του Κύκλου στον οποίο ξεκίνησαν να διαβάζουν με αποτέλεσμα να τελειώνουν πιο συχνά εντός του πρώτου Κύκλου λειτουργίας τους. Αυτό φαίνεται και από το ότι εμφανίζουν μικρότερη Έκταση όπως βλέπουμε και στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.26. Όσο μικρότερη είναι όμως η Έκταση των δοσοληψιών τόσο μικρότεροι και οι ρυθμοί απόρριψης που εμφανίζουν γιατί μειώνεται η πιθανότητα να συναντήσουν νεότερες εκδόσεις των δεδομένων που επιθυμούν κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Να υπενθυμίσουμε ότι οι νεότερες εκδόσεις εμφανίζονται μόνο στο επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης από αυτό που δημιουργήθηκαν και εδώ υποθέσαμε ότι το διάστημα εμπιστοσύνης είναι ίσο με έναν Κύκλο.

Όταν όμως το  $K$  γίνεται πολύ μεγάλο, οι ρυθμοί απόρριψης όλων των σχημάτων τείνουν να



μηδενιστούν αφού οι δοσοληψίες μπορούν να βρουν κατά τη διάρκεια της ζωής τους όλο και πιο παλιές εκδόσεις δεδομένων, εφόσον τις χρειαστούν.

- Το ότι οι δοσοληψίες εμφανίζουν μικρότερη Έκταση για μεγαλύτερες τιμές του  $m$  δεν συνεπάγεται απαραίτητα ότι τερματίζουν τη λειτουργία τους ομαλά σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.27 η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα για μικρές τιμές του  $K$  (μικρότερες από 10) για όλα τα σχήματα. Μπορεί οι δοσοληψίες να εμφανίζουν μικρότερη Έκταση για το σχήμα *Νέος Δίσκος* με μεγαλύτερες τιμές του  $m$ , όμως η διάρκεια του Κύκλου είναι μεγαλύτερη επίσης και συνεπώς η μέση διάρκεια ζωής τους είναι περίπου ίδια για όλα τα σχήματα για μικρές τιμές του  $K$ .

Όταν το  $K$  μεγαλώνει πολύ (μεγαλύτερο από 10) η μέση διάρκεια του Κύκλου αυξάνεται δραματικά για το σχήμα *Ομαδοποίηση*. Πολλές παλιές εκδόσεις εκπέμπονται πολλές φορές κατά τη διάρκεια του Κύκλου. Οι περισσότερες από τις δοσοληψίες αναγκάζονται να περιμένουν να εκπεμφθούν αυτές οι παλιές εκδόσεις (τις οποίες δεν χρειάζονται υπό την έννοια ότι λίγες είναι οι δοσοληψίες που θα αναζητήσουν μία έκδοση που δημιουργήθηκε 15 διαστήματα εμπιστοσύνης νωρίτερα) πριν διαβάσουν τα δεδομένα που επιθυμούν. Έτσι, η μέση διάρκεια ζωής τους αυξάνεται δραματικά σε σχέση με την αντίστοιχη αύξηση στη διάρκεια ζωής των δοσοληψιών που ακολουθούν το σχήμα *Νέος Δίσκος*.

Καταλήγοντας, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μεγάλες τιμές του  $K$  για το σχήμα *Ομαδοποίηση* επιβάλλουν στις δοσοληψίες μεγάλες καθυστερήσεις στους χρόνους που αναμένουν τα δεδομένα που επιθυμούν, ενώ οι ρυθμοί απόρριψής τους από κάποιο σημείο και έπειτα παραμένουν πολύ κοντά στο 0. Κατά συνέπεια απαιτείται προσοχή κατά την επιλογή της τιμής του  $K$  σε ένα πραγματικό μοντέλο ούτως ώστε να επιτυγχάνουμε μικρούς ρυθμούς απόρριψης των δοσοληψιών χωρίς να επιβάλλουμε συνάμα τεράστιους χρόνους απόκρισης στις δοσοληψίες του μοντέλου μας.

### 7.3 ΠΕΙΡΑΜΑ 3: Χρήση Ευρετηρίου

Σκοπός του Πειράματος 3 είναι να συγκρίνουμε την απλή MV τεχνική με την MV τεχνική με χρήση *ευρετηρίου*. Το Πείραμα 3 αποτελείται από 2 σκέλη. Στο Σκέλος 1 επιβάλλουμε διακοπή στη λειτουργία όσων δοσοληψιών δεν μπορούν να βρουν δεδομένα με εκδόσεις μικρότερες από το διάστημα εμπιστοσύνης στο οποίο ξεκίνησαν να διαβάζουν δεδομένα και εν συνεχεία τις απορρίπτουμε. Στο Σκέλος 2, πάλι επιβάλλουμε διακοπή στις δοσοληψίες που δεν μπορούν να συνεχίσουν, όμως αντί να τις απορρίψουμε τους επιτρέπουμε να επανεκκινήσουν τη λειτουργία τους, ζητώντας πάλι τα ίδια με πριν δεδομένα με την ίδια σειρά. Το σχήμα *Ομαδοποίηση* χρησιμοποιήθηκε για όλες τις μετρήσεις του Πειράματος 3 που παρουσιάζουμε.

Η επιλογή του σχήματος *Ομαδοποίηση* δεν είναι τυχαία. Το *ευρετήριο* φάνηκε να βοηθά λιγότερο την *Ομαδοποίηση* από ότι τα άλλα δύο σχήματα (*Νέος Δίσκος* και *Παλιές εκδόσεις* στο τέλος κάθε



<i>Cache.Size</i>	$30\% * Access.Range = 300[\text{Δεδομένα}]$
<i>Update.Think.Time</i>	$0.5\% * Server.DB.Size = 15[\text{Μονάδες Εκπομπής}]$
<i>N</i>	10
<i>K</i>	5
<i>Overlap</i>	100

Πίνακας 7.13: Παράμετροι σταθερές για το Πείραμα 3.

Κύκλου). Αυτό γιατί με την *Ομαδοποίηση* οι δοσοληψίες έχουν περισσότερες ευκαιρίες να ανακαλύψουν αν εντός ενός Κύκλου η έκδοση του δεδομένου που επιθυμούν είναι ή όχι διαθέσιμη, από ότι με τα άλλα δύο σχήματα κάτι που οφείλεται στο ότι οι παλιές εκδόσεις εκπέμπονται περισσότερες φορές κατά τη διάρκεια ενός Κύκλου με την *Ομαδοποίηση*. Έτσι, το *ευρετήριο* είναι περισσότερο χρήσιμο στις δοσοληψίες που ακολουθούν τα άλλα δύο σχήματα και έχουν μόνο μία ευκαιρία να ανακαλύψουν αν μία παλιά έκδοση του δεδομένου που αναζητούν είναι ή όχι διαθέσιμη. Συνεπώς, η επιλογή μας εδώ ήταν να παρουσιάσουμε τις ελάχιστες βελτιώσεις που προκαλεί το *ευρετήριο* στο μοντέλο μας και αυτό μας οδήγησε στο να χρησιμοποιήσουμε το σχήμα *Ομαδοποίηση* επειδή αυτό βελτιώνει λιγότερο, σε σχέση με τα υπόλοιπα, την απόδοσή του όταν χρησιμοποιεί το *ευρετήριο*.

Τέλος να αναφέρουμε ότι στα πειράματα που ακολουθούν θεωρήσαμε ότι το μέγεθος μιας εγγραφής στο *ευρετήριο* είναι ίσο με  $1/200$  του μεγέθους ενός δεδομένου. Θυμίζουμε ότι μία τέτοια εγγραφή αποτελείται από την ταυτότητα του δεδομένου και από μία λίστα με τις διαθέσιμες εκδόσεις για αυτό το δεδομένο. Λαμβάνοντας υπόψιν τη μέση διάρκεια του Κύκλου και το ρυθμό ενημέρωσης που θεωρήσαμε, καταλήγουμε στο ότι ακόμα και στην περίπτωση που το *K* είναι ίσο με 15, το μέγεθος ολόκληρου του *ευρετηρίου* δεν είναι μεγαλύτερο από 10 δεδομένα. Έτσι, όταν χρησιμοποιούμε το *ευρετήριο* μειώνουμε τη χωρητικότητα του τοπικού χώρου αποθήκευσης ανάλογα. Επίσης χρησιμοποιούμε τις ανάλογες Μονάδες Εκπομπής στην αρχή κάθε Κύκλου για την εκπομπή του *ευρετηρίου*.

Οι τιμές των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Πείραμα 3 δίνονται στον Πίνακα 7.13.

Και στα δύο σκέλη εκτελέστηκαν διαφορετικά πειράματα, σε κάθε ένα από τα οποία μεταβάλλονταν διάφορες παράμετροι. Εδώ παρουσιάζουμε μόνο ένα από αυτά γιατί σε όλα τα πειράματα λάβαμε τα ίδια ποιοτικά αποτελέσματα. Παρουσιάζουμε λοιπόν εκείνο στο οποίο παρατηρούμε τη συμπεριφορά του μοντέλου μας όσο αυξάνεται το *K*.

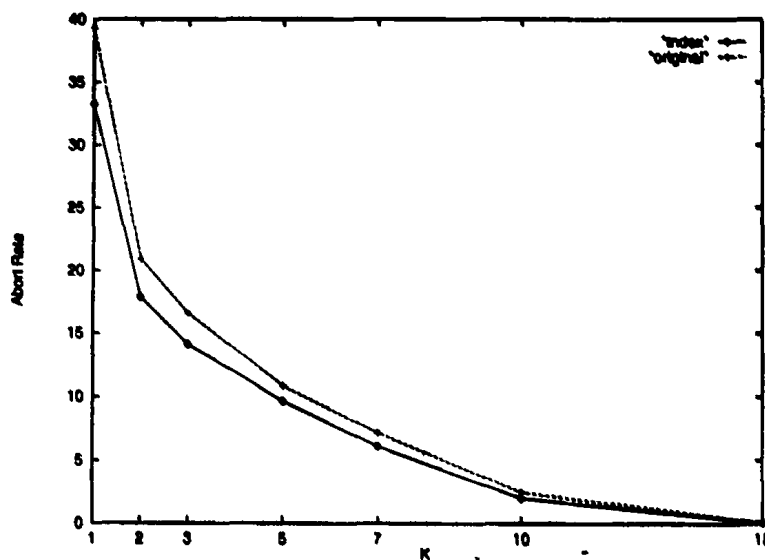
### 7.3.1 Ευρετήριο και Διακοπή Λειτουργίας με Απόρριψη. Πείραμα 3, Σκέλος 1

Τα αποτελέσματα που λάβαμε στο Σκέλος 1 του Πειράματος 3 δίνονται στις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.29 και 7.30.

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.29 δίνεται ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς την τιμή της παραμέτρου *K* (οριζόντιος άξονας). Η καμπύλη *original* αντιστοιχεί στην MV τεχνική χωρίς *ευρετήριο*, ενώ η καμπύλη *index* στην MV τεχνική με *ευρετήριο*. Τον συμβολισμό αυτό ακολουθούμε και στις επόμενες γραφικές παραστάσεις του Πειράματος



3.



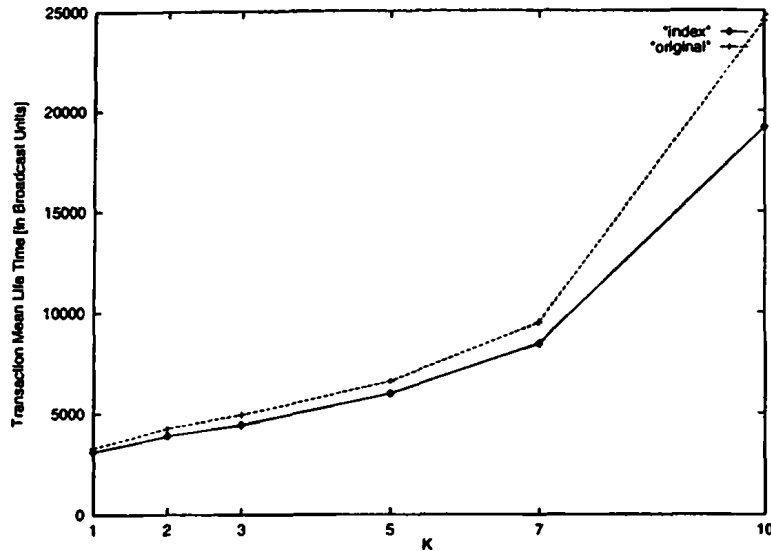
Σχήμα 7.29: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρέτη και εκπέμπονται στο κανάλι (K).

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.30 δίνεται η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς την τιμή της παραμέτρου  $K$  (οριζόντιος άξονας). Σε αυτή τη γραφική παράσταση δεν συμπεριλάβαμε την τιμή  $K = 15$  για να είναι δυνατό να τονίσουμε στο Σχήμα 7.30 τις διαφορές μεταξύ των δύο σχημάτων για μικρές τιμές του  $K$ .

Στεκόμαστε στα παρακάτω σημεία όσον αφορά στα αποτελέσματα του Σκέλους 1 του Πειράματος 3.

- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.30, βλέπουμε ότι οι δοσοληψίες ζουν περισσότερο με το απλό σχήμα, παρά με το σχήμα που χρησιμοποιεί το ευρετήριο. Η μείωση στους μέσους χρόνους ζωής των δοσοληψιών, που προκαλεί το ευρετήριο είναι περίπου 12% για όλες τις τιμές του  $K$  και οφείλεται κυρίως στο ότι οι δοσοληψίες χρησιμοποιούν αποτελεσματικότερα τον τοπικό χώρο αποθήκευσης, όπως έχουμε ήδη επισημάνει στην παράγραφο 4.1.
- Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.29, παρατηρούμε ότι ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών μειώνεται όταν χρησιμοποιείται το ευρετήριο. Το αποτέλεσμα αυτό είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη μείωση της μέσης διάρκειας ζωής των δοσοληψιών, που αναλύσαμε προηγουμένως. Όσο γρηγορότερα τελειώνουν οι δοσοληψίες τόσο μικραίνει η πιθανότητα να αναζητήσουν εκδόσεις δεδομένων που δεν είναι πλέον διαθέσιμες και κατά συνέπεια μικραίνει και η πιθανότητα να απορριφθούν.





Σχήμα 7.30: Μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρέτη και εκπέμπονται στο κανάλι ( $K$ ).

### 7.3.2 Ευρετήριο και Διακοπή Λειτουργίας με Επανεκκίνηση. Πείραμα 3, Σκέλος 2

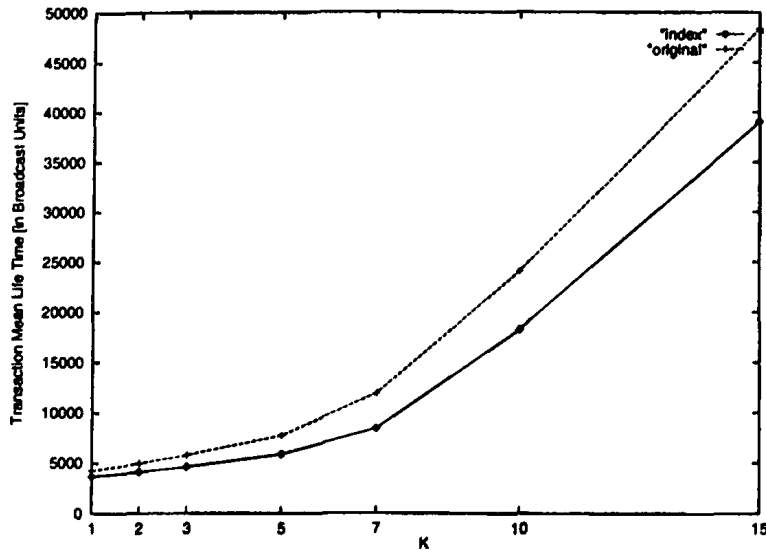
Τα αποτελέσματα που λάβαμε στο Σκέλος 2 του Πειράματος 3 δίνονται στην γραφική παράσταση του Σχήματος 7.31, όπου στον κατακόρυφο άξονα δίνεται η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών ως προς την τιμή της παραμέτρου  $K$  (οριζόντιος άξονας).

Από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.31 βλέπουμε ότι ο μέσος χρόνος διάρκειας ζωής των δοσοληψιών μειώνεται σημαντικά όταν χρησιμοποιείται το ευρετήριο σε σχέση με το σχήμα στο οποίο δεν χρησιμοποιείται. Η μείωση στους μέσους χρόνους ζωής των δοσοληψιών, που προκαλεί το ευρετήριο είναι το ελάχιστο ίση με 20% και προσεγγίζει το 30%, για κάποιες τιμές του  $K$ . Η μείωση αυτή οφείλεται στο ότι οι δοσοληψίες μαθαίνουν γρηγορότερα αν πρέπει να απορριφθούν ή όχι καθώς και στο ότι ο τοπικός χώρος αποθήκευσης χρησιμοποιείται αποτελεσματικότερα, όπως έχουμε ήδη εξηγήσει.

## 7.4 ΠΕΙΡΑΜΑ 4: Διακοπές Σύνδεσης

Σκοπός του Πειράματος 4 είναι να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης παρουσία διακοπών σύνδεσης στο μοντέλο μας. Το Πείραμα 4 αποτελείται από 4 σκέλη. Στο Σκέλος 1 μελετάμε τη συμπεριφορά των τεχνικών ακύρωσης σε διακοπές σύνδεσης μεταβλητής διάρκειας. Στο Σκέλος 2 βλέπουμε πως η τιμή του  $K$  παίζει σημαντικό ρόλο στην ανοχή και πως οι δοσοληψίες εμφανίζουν μικρότερους ρυθμούς απόρριψης όταν το  $K$  είναι μεγαλύτερο. Στο Σκέλος 3 συγκρίνουμε την απλή Invalidationing τεχνική με την πρώτη της βελτίωση και στο τέταρτο δείχνουμε ότι





Σχήμα 7.31: Μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) με επανεκκίνηση ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρετή και εκπέμπονται στο κανάλι (K).

<i>Cache.Size</i>	$30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]
<i>Currency Interval</i>	1 Κύκλος
<i>Update.Think.Time</i>	$0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]
<i>N</i>	10
<i>K</i>	5 Μόνο για τις Multiversioning τεχνικές των σκελών 1, 2 και 4 του Πειράματος
<i>Overlap</i>	100

Πίνακας 7.14: Παράμετροι σταθερές για το Πείραμα 4.

όσο περισσότερες φορές στέλνεται η Λίστα Ακύρωσης κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης, τόσο μικρότερος είναι ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών. Οι τιμές των παραμέτρων που είναι σταθερές για το Πείραμα 4 δίνονται στον Πίνακα 7.14, ενώ χρησιμοποιήθηκε το σχήμα Ομαδοποίηση όπου αναφερόμαστε σε MV ή MVI τεχνική.

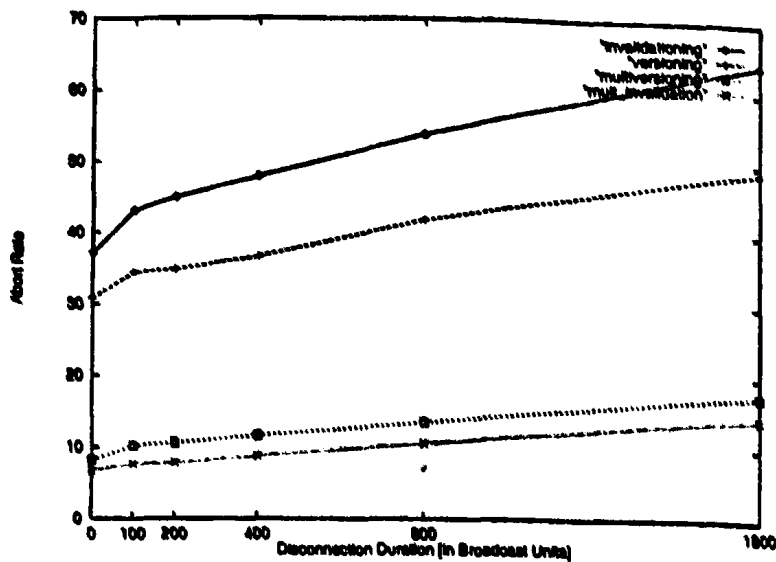
#### 7.4.1 Τεχνικές Ακύρωσης και Διακοπές Σύνδεσης. Πείραμα 4, Σκέλος 1

Στο Σκέλος 1 του Πειράματος 4 θεωρούμε ότι μία διακοπή σύνδεσης συμβαίνει κάθε 5000 Μονάδες Εκπομπής και η διάρκειά της κυμαίνεται από 1 μέχρι 1600 Μονάδες Εκπομπής. Επιλέγουμε να μοντελοποιήσουμε κατ' αυτόν τον τρόπο τις διακοπές σύνδεσης για να διασφαλίσουμε ότι συγκρίνουμε όλες τις τεχνικές ακύρωσης αντικειμενικά.

Στον κατακόρυφο άξονα της γραφικής παράστασης του Σχήματος 7.32 δίνεται ο μέσος ρυθμός

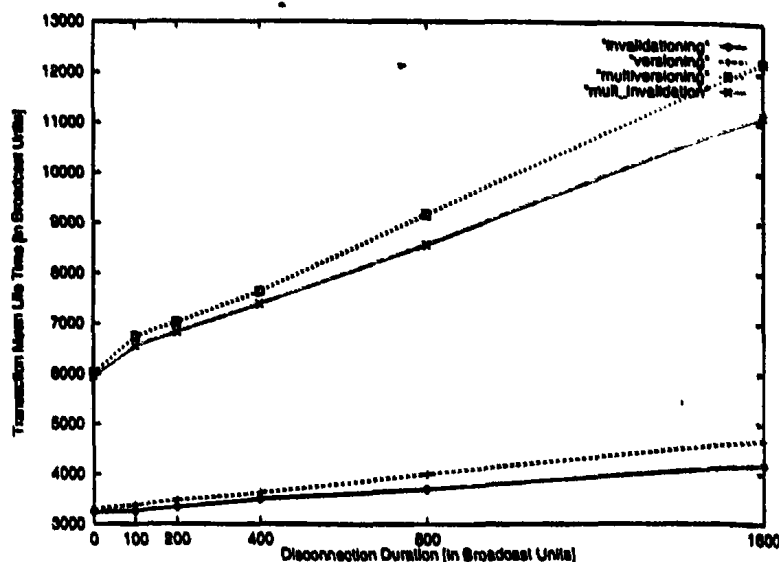


απόρριψης των δοσοληψιών ως προς τη διάρκεια των διακοπών σύνδεσης (οριζόντιος άξονας).



Σχήμα 7.32: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τη διάρκεια των διακοπών σύνδεσης σε Μονάδες Εκπομπής (Disconnection Duration).

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.33 δίνεται η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών (κατακόρυφος άξονας) ως προς τη διάρκεια των διακοπών σύνδεσης (οριζόντιος άξονας).



Σχήμα 7.33: Μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) ως προς τη διάρκεια των διακοπών σύνδεσης σε Μονάδες Εκπομπής (Disconnection Duration).

Τα σημεία στα οποία πρέπει να σταθούμε όσον αφορά στα αποτελέσματα του Σκέλους 1 του Πειράματος 4 συνοψίζονται στα παρακάτω.



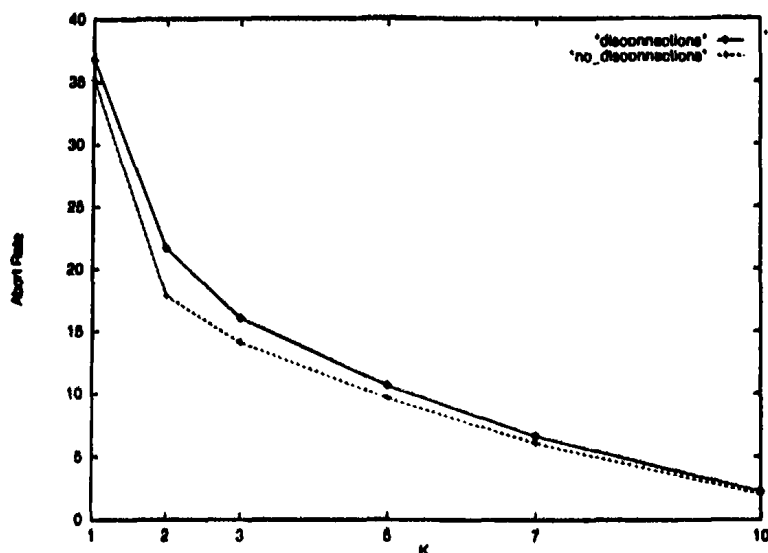
- Παρατηρώντας τις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.32 και 7.33 διαπιστώνουμε ότι όλες οι τεχνικές ακύρωσης υποφέρουν από την παρουσία διακοπών σύνδεσης. Όσο μεγαλύτερη η διάρκεια των διακοπών σύνδεσης, τόσο μεγαλύτεροι οι ρυθμοί απόρριψης των δοσοληψιών για όλες τις τεχνικές. Τους μεγαλύτερους ρυθμούς απόρριψης εμφανίζει η Invalidationing τεχνική, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο γιατί η ανοχή<sup>2</sup> αυτής της μεθόδου είναι 0. Μία μόνο διακοπή σύνδεσης είναι αρκετή για να απορριφθούν όλες οι δοσοληψίες που είναι ενεργές στον πελάτη (αν συμβεί στην αρχή του διαστήματος εμπιστοσύνης, οπότε και χάνεται η Λίστα Ακύρωσης από τον πελάτη). Οι Multiversioning τεχνικές εμφανίζουν και πάλι τους μικρότερους ρυθμούς απόρριψης, αλλά και αυτά επηρεάζονται αρνητικά από το μέγεθος των διακοπών σύνδεσης.
- Άλλο ένα σημείο στο οποίο πρέπει να σταθούμε είναι ότι παράλληλα με την αύξηση της διάρκειας των διακοπών σύνδεσης, αυξάνεται και ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών. Αυτό οφείλεται στο ότι οι δοσοληψίες χάνουν κάποια από τα δεδομένα που εκπέμπονται εξαιτίας των διακοπών σύνδεσης. Όσο μεγαλύτερη η Διακοπή Σύνδεση, τόσο περισσότερα τα δεδομένα που χάνονται και τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα τα δεδομένα που χάνονται να είναι δεδομένα που οι δοσοληψίες επιθυμούν να διαβάσουν. Αν συμβεί αυτό, οι δοσοληψίες αναγκάζονται να περιμένουν για να τα διαβάσουν την επόμενη φορά που θα εκπεμφθούν και έτσι επιμηκύνεται η ζωή τους.

#### 7.4.2 Μέθοδος Πολλαπλών Χρονοσήμων και Διακοπές Σύνδεσης. Πείραμα 4, Σκέλος 2

Στο Σκέλος 2 του Πειράματος 4 θεωρούμε ότι μία διακοπή σύνδεσης, διάρκειας 200 Μονάδων Εκπομπής, συμβαίνει ανά 5000 Μονάδες Εκπομπής. Η MV τεχνική με το σχήμα Ομαδοποίηση χρησιμοποιείται και το  $K$  κυμαίνεται από 1 μέχρι 10. Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.34, στον κατακόρυφο άξονα δίνεται ο μέσος ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών των δοσοληψιών ως προς την τιμή της παραμέτρου  $K$  (οριζόντιος άξονας). Η καμπύλη *disconnections* αντιστοιχεί στην MV τεχνική παρουσία διακοπών σύνδεσης. Η καμπύλη *no\_disconnections* αντιστοιχεί στην MV τεχνική απουσία διακοπών σύνδεσης.

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το  $K$  μειώνεται ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.34. Το συμπέρασμα λοιπόν ότι η εκπομπή παλιών εκδόσεων μειώνει τους ρυθμούς απόρριψης των δοσοληψιών ισχύει και στην περίπτωση που υπάρχουν διακοπές σύνδεσης. Αν μια δοσοληψία δεν τα καταφέρει να διαβάσει την έκδοση του δεδομένου που επιθυμεί λόγω Διακοπής Σύνδεσης, μπορεί να την αναζητήσει σε κάποιο επόμενο διάστημα εμπιστοσύνης. Ασφαλώς όσο μεγάλο και αν είναι το  $K$  η διαφορά στους ρυθμούς απόρριψης μεταξύ των δύο καμπυλών στο Σχήμα 7.34 θα είναι υπαρκτή και θα μεγαλώνει παράλληλα με την αύξηση της διάρκειας της Διακοπής Σύνδεσης. Προφανώς όσο μεγαλώνει το  $K$  η τιμή της διαφοράς αυτής θα τείνει στο 0.





Σχήμα 7.34: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τον αριθμό των παλαιότερων εκδόσεων που διατηρούνται από τον εξυπηρέτη και εκπέμπονται στο κανάλι (K).

### 7.4.3 Μέθοδος Ακύρωσης, Βελτιώσεις της και Διακοπές Σύνδεσης. Πείραμα 4, Σκέλος 3

Στο Σκέλος 3 του Πειράματος 4 συγκρίνουμε την Invalidationing τεχνική με την πρώτη βελτίωσή της (παράγραφος 5.3.2). Εδώ θεωρούμε ότι μία διακοπή σύνδεσης λαμβάνει χώρα κάθε 200 Μονάδες Εκπομπής και η διάρκειά της κυμαίνεται από 1 μέχρι 80 Μονάδες Εκπομπής. Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν, η καμπύλη *invalidationing* αντιστοιχεί στην Invalidationing τεχνική, ενώ η καμπύλη *enhancement* στην πρώτη της βελτίωση για την οποία θεωρούμε ότι η Λίστα Ακύρωσης εκπέμπεται 4 φορές κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης ( $P = 4$ ).

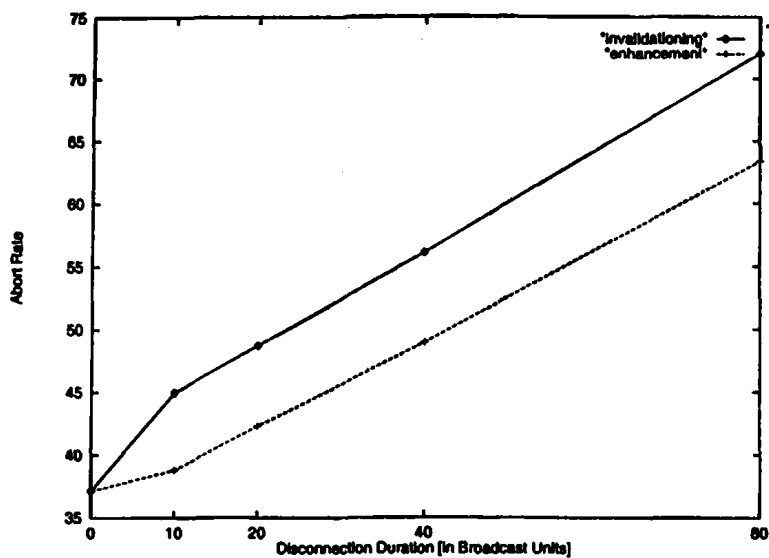
Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.35, στον κατακόρυφο άξονα δίνεται ο μέσος ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών ως προς τη διάρκεια της Διακοπής Σύνδεσης (οριζόντιος άξονας).

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.36, στον κατακόρυφο άξονα δίνεται η μέση Έκταση των δοσοληψιών ως προς τη διάρκεια της Διακοπής Σύνδεσης (οριζόντιος άξονας).

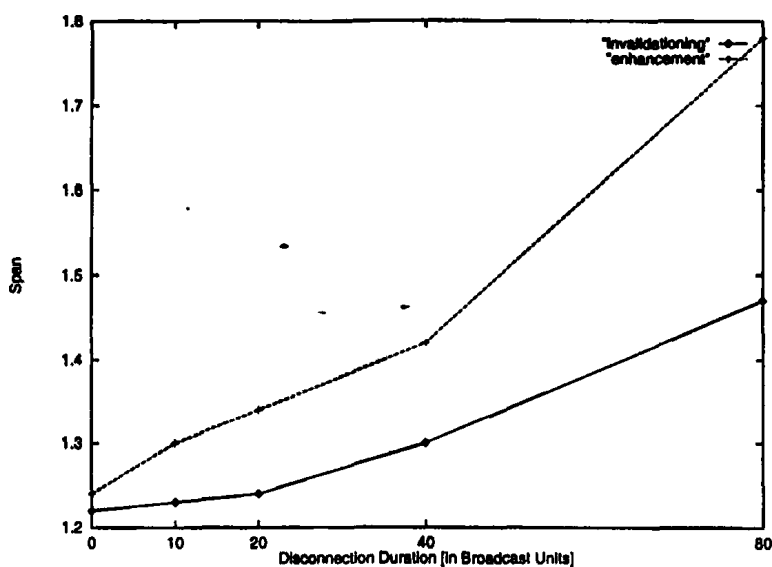
Στεκόμαστε στα εξής σημεία.

- Ο ρυθμός με τον οποίο απορρίπτονται οι δοσοληψίες με την πρώτη βελτίωση που προτείνουμε για την Invalidationing τεχνική ακύρωσης σε αυτή την εργασία, είναι πολύ μικρότερος από τον αντίστοιχο ρυθμό χωρίς τη βελτίωση αυτή. Το γεγονός ότι ο πελάτης μπορεί να βρει τη Λίστα Ακύρωσης στα ενδιάμεσα του διαστήματος εμπιστοσύνης, του επιτρέπει να μην επιβάλλει διακοπή στη λειτουργία όλων των τοπικά εκτελούμενων δοσοληψιών που έχουν ήδη πραγματοποιήσει ή για λειτουργία ανάγνωσης στην περίπτωση που μία διακοπή σύνδεσης στην αρχή του διαστήματος εμπιστοσύνης λάβει χώρα. Σε αυτή την περίπτωση, διαβάζοντας τη Λίστα Ακύρωσης στα ενδιάμεσα του διαστήματος εμπιστοσύνης, ο πελάτης είναι σε





Σχήμα 7.35: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τη διάρκεια των διακοπών σύνδεσης (Disconnection Duration).



Σχήμα 7.36: Έκταση (Span) των δοσοληψιών ως προς τη διάρκεια των διακοπών σύνδεσης (Disconnection Duration).

θέση να επιτρέψει σε σημαντικό αριθμό δοσοληψιών να συνεχίσουν ομαλά τη λειτουργία τους.

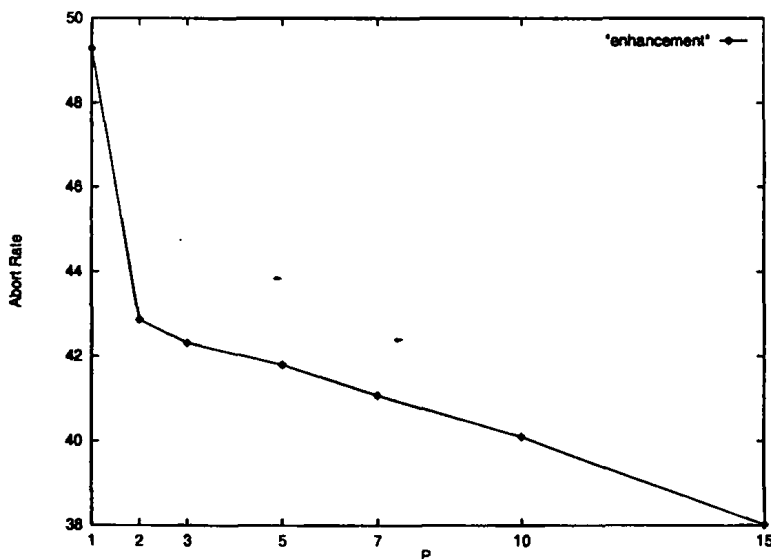
- Το παραπάνω επαληθεύεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.36, από όπου παρατηρούμε ότι η Έκταση των δοσοληψιών στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η πρώτη βελτίωση είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι όταν δεν χρησιμοποιείται αυτή.



#### 7.4.4 Επανεκπομπές της Λίστας Ακύρωσης και Διακοπές Σύνδεσης. Πείραμα 4, Σχέλος 4

Στο Σχέλος 4 του Πειράματος 4 μελετούμε τη συμπεριφορά της πρώτης βελτίωσης της Invalidationing τεχνικής καθώς ο αριθμός ( $P$ ) των εκπομπών της Λίστας Ακύρωσης κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης αυξάνεται. Εδώ το  $P$  λαμβάνει τιμές από 1 μέχρι 15. Οι Διακοπές Σύνδεσης που θεωρήσαμε για το Σχέλος 4 του Πειράματος 4 είχαν διάρκεια ίση με 10 Μονάδες Εκπομπής και συνέβαιναν μία κάθε 100 Μονάδες Εκπομπής. Επίσης το επιπλέον εύρος ζώνης που απαιτείται για την εκπομπή των Λιστών Ακύρωσης περισσότερων από μία φορά είναι ίσο με το εύρος ζώνης που απαιτούν για να εκπεμφθούν 5 δεδομένα, αν θεωρήσουμε ότι μία εγγραφή στη Λίστα Ακύρωσης είναι ίση σε μέγεθος με  $1/100$  του μεγέθους ενός δεδομένου. Προφανώς όταν η επιμήκυνση του διαστήματος εμπιστοσύνης (που εδώ έχουμε ορίσει ίσο με έναν Κύκλο) είναι ίση με  $5 * P$  Μονάδες Εκπομπής.

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.37, στον κατακόρυφο άξονα δίνεται ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών ως προς τον αριθμό των επανεκπομπών της Λίστας Ακύρωσης (οριζόντιος άξονας).

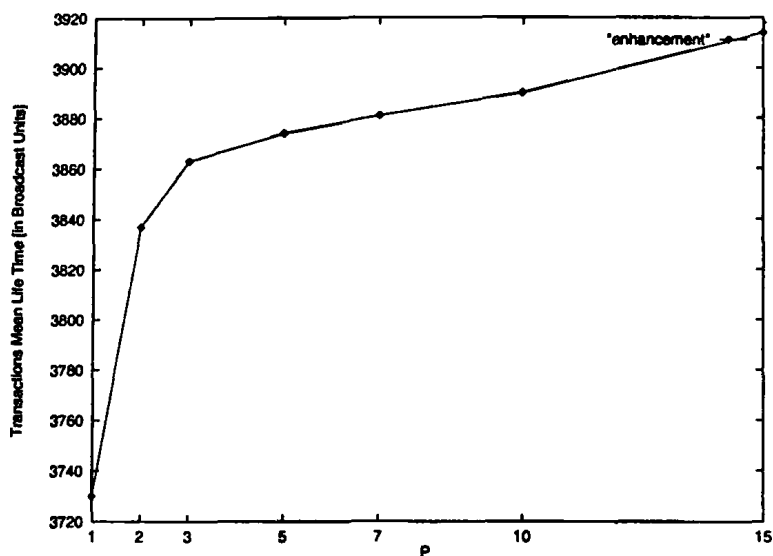


Σχήμα 7.37: Ρυθμός Απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τον αριθμό ( $P$ ) των επανεκπομπών της Λίστας Ακύρωσης κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης (οριζόντιος άξονας).

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.38, στον κατακόρυφο άξονα δίνεται η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών ως προς τον αριθμό ( $P$ ) των επανεκπομπών της Λίστας Ακύρωσης κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης (οριζόντιος άξονας).

Παρατηρώντας τις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 7.37 και 7.38 βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται το  $P$ , μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο απορρίπτονται οι δοσοληψίες, κάτι που ήταν αναμενόμενο. Όσο περισσότερες φορές στέλνεται η Λίστα Ακύρωσης κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος εμπιστοσύνης τόσο μεγαλώνει η πιθανότητα ο πελάτης να καταφέρει να τη διαβάσει στην περίπτωση που





Σχήμα 7.38: Μέση διάρκεια ζωής δοσοληψιών (Transaction Mean Life Time) ως προς τον αριθμό ( $P$ ) των επανεκπομπών της Λίστας Ακύρωσης κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης (οριζόντιος άξονας).

τη χάνει λόγω Διακοπής Σύνδεσης στην αρχή του διαστήματος εμπιστοσύνης (το οποίο αυξάνει την ανοχή της τεχνικής). Όλο και λιγότερες δοσοληψίες απορρίπτονται εξαιτίας απώλειας Λίστας Ακύρωσης στον πελάτη. Παράλληλα αυξάνεται η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών γιατί καταφέρνουν να ζήσουν περισσότερο στην περίπτωση που χαθεί η Λίστα Ακύρωσης στην αρχή κάποιου διαστήματος εμπιστοσύνης, όπως αναλύσαμε στο Σκέλος 3 του Πειράματος 4.

Ανάλογες βελτιώσεις λαμβάνουμε και στην περίπτωση που η δεύτερη βελτίωση που προτείναμε για την Invalidating τεχνική, χρησιμοποιείται. Επίσης ανάλογα αποτελέσματα λαμβάνουμε και στην περίπτωση που οι βελτιώσεις μας χρησιμοποιούνται στην MVI τεχνική.

Να επαναλάβουμε σε αυτό το σημείο ότι η δεύτερη βελτίωση είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται όταν οι διακοπές σύνδεσης είναι αραιές και μεγάλες σε διάρκεια, ενώ η πρώτη βελτίωση όταν οι διακοπές σύνδεσης είναι μικρές και συχνές. Σε ένα πραγματικό μοντέλο θα προτείναμε ένα συνδυασμό των δύο βελτιώσεων, όπου στην αρχή κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης θα εκπέμπονται οι Λίστες Ακύρωσης των προηγούμενων  $Z$  διαστημάτων εμπιστοσύνης, ενώ στα ενδιάμεσα κάθε διαστήματος εμπιστοσύνης θα εκπέμπεται η Λίστα Ακύρωσης που αφορά στο παρόν διάστημα εμπιστοσύνης.

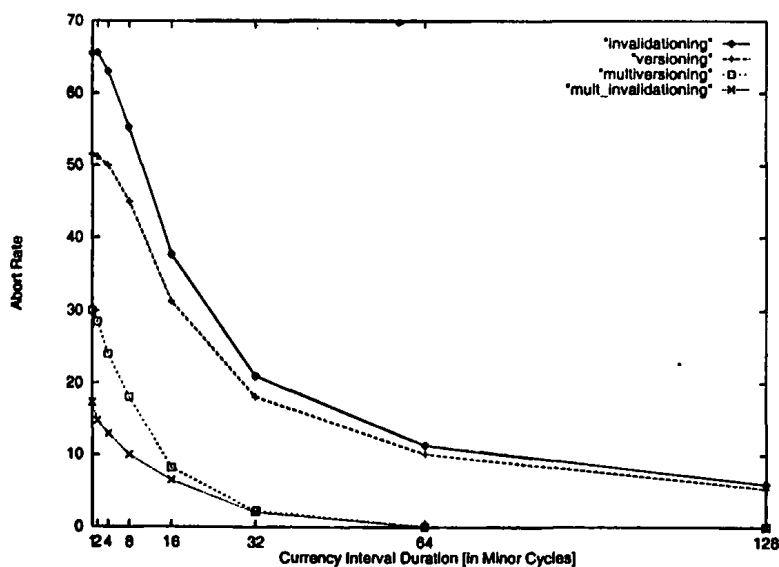
Cache.Size	$30\% * Access.Range = 300$ [Δεδομένα]
Update.Think.Time	$0.5\% * Server.DB.Size = 15$ [Μονάδες Εκπομπής]
N	10
K	5 Μόνο για τις Multiversioning τεχνικές του Πειράματος 5
Overlap	100

Πίνακας 7.15: Παράμετροι σταθερές για το Πείραμα 5.

## 7.5 ΠΕΙΡΑΜΑ 5: Μελέτη της Επίδρασης του Μήκους του διαστήματος εμπιστοσύνης στις Τεχνικές Ακύρωσης

Σκοπός του Πειράματος 5 είναι να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των τεχνικών όσο η Διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης μεταβάλλεται, λαμβάνοντας τιμές από 1/16 του Κύκλου μέχρι 8 Κύκλους. Μετράμε το μήκος του διαστήματος εμπιστοσύνης ως πολλαπλάσιο του *Ελάχιστου Κύκλου (Minor Cycle)* τον οποίο εισάγαμε στην παράγραφο 2.1 που περιγράψαμε τον *Αλγόριθμο Εκπομπής Δίσκων*. Στο πειράμα μας ένας Κύκλος αποτελείται από 16 *Minor Cycles*. Έτσι, το διάστημα εμπιστοσύνης λαμβάνει για τους σκοπούς του Πειράματος 5 τιμές από 1 μέχρι 128 *Minor Cycles*. Το σχήμα *Ομαδοποίηση* χρησιμοποιήθηκε για τις τεχνικές MV και MVI. Οι τιμές των υπολοίπων παραμέτρων που είναι σταθερές για το Πείραμα 5 δίνονται στον Πίνακα 7.15.

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.39, στον κατακόρυφο άξονα δίνεται ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών ως προς τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης σε *Minor Cycles* (οριζόντιος άξονας).



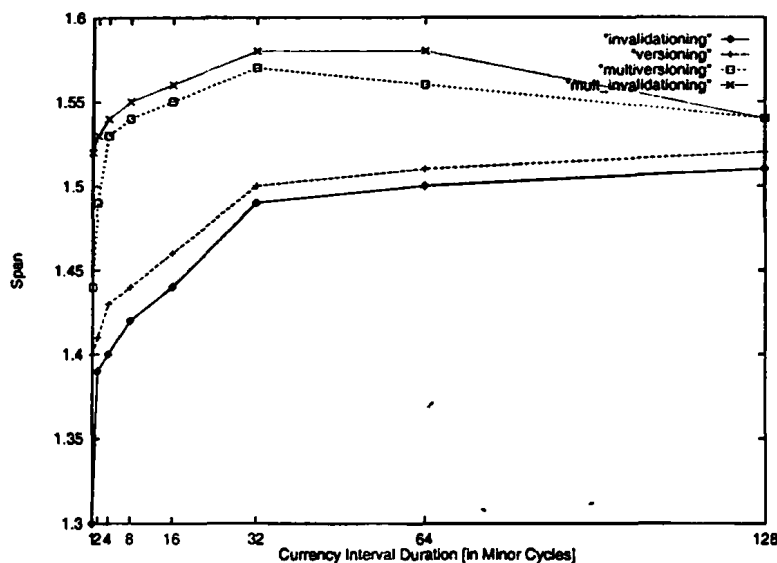
Σχήμα 7.39: Ρυθμός απόρριψης δοσοληψιών (Abort Rate) ως προς τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης σε *Minor Cycles* (Currency Interval Duration).

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.40, στον κατακόρυφο άξονα δίνεται η μέση Έκταση των





δοσοληψιών ως προς τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης σε *Minor Cycles* (οριζόντιος άξονας).



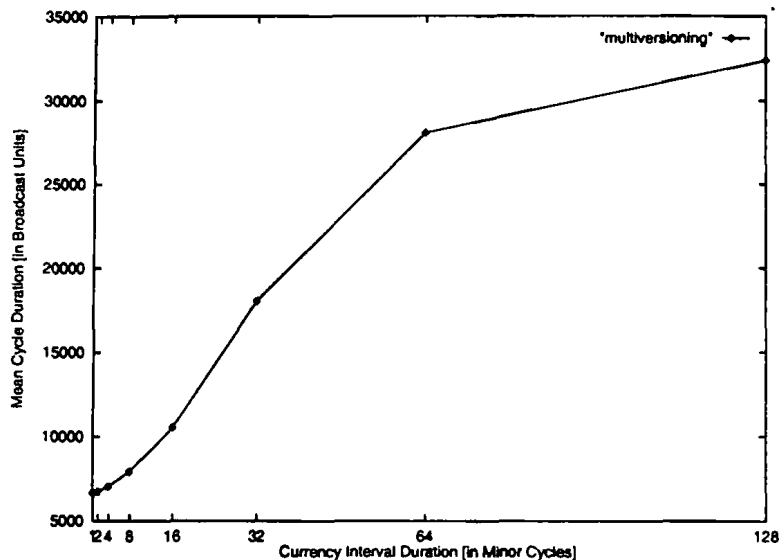
Σχήμα 7.40: Έκταση (Span) των δοσοληψιών ως προς τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης σε *Minor Cycles* (Currency Interval Duration).

Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.41, στον κατακόρυφο άξονα δίνεται η μέση διάρκεια του Κύκλου για τις Multiversioning τεχνικές σε Μονάδες Εκπομπής ως προς τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης σε *Minor Cycles* (οριζόντιος άξονας).

Παρατηρώντας τις γραφικές παραστάσεις των παραπάνω Σχημάτων συνοψίζουμε στα εξής.

- Ο ρυθμός απόρριψης των δοσοληψιών μειώνεται καθώς αυξάνεται η διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση στο Σχήμα 7.39. Η μείωση αυτή παρατηρείται σε όλες ανεξαιρέτως τις τεχνικές Ακύρωσης. Όσο μικρότερο είναι το διάστημα εμπιστοσύνης τόσο πιο γρήγορα εμφανίζονται στο κανάλι οι νέες εκδόσεις των δεδομένων που δημιουργούνται από τις ενημερώσεις των δεδομένων της Βάσης Δεδομένων στον εξυπηρέτη. Έτσι, γρηγορότερα οι νέες εκδόσεις καθιστώνται παλιές και σύντομα δεν εμφανίζονται πια στο κανάλι με αποτέλεσμα οι δοσοληψίες που τις αναζητούν να απορρίπτονται. Όσο όμως μεγαλώνει το διάστημα εμπιστοσύνης τόσο πιο αργά οι εκδόσεις αντικαθίστανται από καινούργιες εκδόσεις με αποτέλεσμα οι δοσοληψίες που τις επιθυμούν να έχουν αρκετό χρόνο στη διάθεσή τους για να τις βρουν.
- Όπως παρατηρούμε και από τη γραφική παράσταση του σχήματος 7.41, η μέση διάρκεια του Κύκλου για τις Multiversioning τεχνικές αυξάνεται παράλληλα με την αύξηση του διαστήματος εμπιστοσύνης. Όσο μειώνεται το διάστημα εμπιστοσύνης, τόσο γρηγορότερα οι παλιές εκδόσεις δεν θα εκπέμπονται στο κανάλι, αφού ήδη θα έχουν δημιουργηθεί πριν από  $K + 1$





Σχήμα 7.41: Μέση διάρκεια του Κύκλου (Mean Cycle Duration) ως προς τη διάρκεια του διαστήματος εμπιστοσύνης σε *Minor Cycles* (Currency Interval Duration).

διαστήματα εμπιστοσύνης. Έτσι, είναι ελάχιστα τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα κάθε στιγμή με περισσότερες από μία εκδόσεις. Αυτό συνεπάγεται ότι είναι πολύ λίγες και οι εκπομπές παλιών εκδόσεων στο κανάλι όταν το διάστημα εμπιστοσύνης είναι αρκετά μικρό και ως εκ τούτου η μέση διάρκεια του Κύκλου είναι μικρή.

Αντίθετα, όταν το διάστημα εμπιστοσύνης μεγαλώνει, οι εκδόσεις των δεδομένων αργούν να "παλιώσουν" και κατά συνέπεια είναι διαθέσιμες για πολύ περισσότερο χρόνο στο κανάλι. Όσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα εμπιστοσύνης τόσο περισσότερα δεδομένα ενημερώνονται κατά τη διάρκειά του και κατά συνέπεια όλο και περισσότερες εκδόσεις θα εμφανιστούν στην αρχή του επόμενου διαστήματος εμπιστοσύνης με αποτέλεσμα όλο και περισσότερες εκδόσεις να είναι διαθέσιμες στο κανάλι. Όσο περισσότερες είναι όμως οι παλιές εκδόσεις που είναι διαθέσιμες, τόσο μεγαλύτερη η διάρκεια του Κύκλου.

- Ο ίδιος λόγος που επιτρέπει σε περισσότερες δοσοληψίες να τερματίζουν ομαλά τη λειτουργία τους, αυξάνει και την Έκταση των δοσοληψιών όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση του Σχήματος 7.40. Παρατηρούμε όμως ότι οι δοσοληψίες των τεχνικών MV και MVI εμφανίζουν μείωση στην Έκτασή τους για τιμές του διαστήματος εμπιστοσύνης μεγαλύτερες από 32 *Minor Cycles*. Η μείωση αυτή οφείλεται στην αύξηση της μέσης διάρκειας του Κύκλου για αυτές τις τεχνικές, στην οποία έχουμε ήδη αναφερθεί, σε συνδυασμό με την παρατήρηση ότι σχεδόν όλες οι δοσοληψίες καταφέρνουν να τερματίσουν ομαλά τη λειτουργία τους όταν το Διάστημα είναι μεγαλύτερο από 32 *Minor Cycles*.

Η τελική επιλογή της διάρκειας του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι ένα πρόβλημα του οποίου η λύση εξαρτάται από τις απαιτήσεις που έχουμε από το μοντέλο μας. Αν μας ενδιαφέρει να τερματί-

ζουν οι περισσότερες από τις δοσοληψίες περισσότερο από όσο μας ενδιαφέρει αυτές να διαβάζουν τιμές των δεδομένων που είναι πιο κοντά (χρονικά) στις πιο πρόσφατες τιμές, τότε μπορούμε να επιλέξουμε ένα αρκετά μεγάλο διάστημα εμπιστοσύνης. Διαφορετικά η επιλογή μας θα πρέπει να προσανατολίζεται προς μικρότερα διαστήματα εμπιστοσύνης.

## 7.6 ΠΕΙΡΑΜΑ 6: Διαφορετικός Αριθμός Εκδόσεων σε Κάθε Δίσκο

Σκοπός του Πειράματος 6 είναι να τροποποιήσουμε κατάλληλα την τιμή του  $K$ , έτσι ώστε αυτό να είναι διαφορετικό για κάθε Δίσκο. Στα επόμενα προτείνουμε για κάθε ένα από τα σχήματα *Ομαδοποίηση*, *Νέος Δίσκος* και *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου* τρόπους για να εφαρμόσουμε το κατάλληλο  $K$  σε κάθε Δίσκο. Οι προτάσεις που αφορούν το σχήμα *Νέος Δίσκος* μπορούν να εφαρμοστούν ως έχουν και στο σχήμα *Παλιές εκδόσεις στο τέλος κάθε Κύκλου*. Δεν θα αναφερθούμε ξεχωριστά σε κάθε ένα από αυτά, παρά μόνο στο πρώτο.

Ένα γενικό συμπέρασμα που μπορούμε να διατυπώσουμε είναι ότι για τα δεδομένα του πιο αργού Δίσκου μπορούμε να εκπέμπουμε την πιο πρόσφατη έκδοσή τους και καμία παλιά χωρίς να επηρεάζουμε σημαντικά τους ρυθμούς απόρριψης των δοσοληψιών.

**Ομαδοποίηση.** Η αρχική γενική ιδέα είναι να αυξήσουμε το  $K$  για τον γρήγορο Δίσκο, και να το μειώσουμε για όλους τους αργούς Δίσκους. Μάλιστα για τον πιο αργό Δίσκο να το θέσουμε ίσο με 1. Πραγματοποιώντας το παραπάνω γίνεται αμέσως σαφές ότι πλέον δεν υπάρχει κάποια κοινή βάση πάνω στην οποία να μπορούμε να συγκρίνουμε το σχήμα που προτείνουμε εδώ με το σχήμα *Ομαδοποίηση*. Αυτό που κάναμε ήταν να το συγκρίνουμε με την αρχιτεκτονική του σχήματος *Ομαδοποίηση* που εμφανίζει την ίδια περίπου διάρκεια Κύκλου.

Θεωρώντας τις ίδιες παραμέτρους στο μοντέλο μας με αυτές που χρησιμοποιήσαμε στο Σχέλος 3 του Πειράματος 2 και θέτοντας  $K = 7$  για τον γρηγορότερο Δίσκο,  $K = 2$  για τον αμέσως λιγότερο γρήγορο και  $K = 1$  για τον αργότερο, καταλήξαμε σε ένα πρόγραμμα Εκπομπής του οποίου η μέση διάρκεια δεν ξεπερνούσε τις 9500 Μονάδες Εκπομπής. Πιο κοντινή μέση διάρκεια Κύκλου από το Σχέλος 3 του Πειράματος 2 είναι αυτή για  $K = 5$ , ίση με 10110 Μονάδες Εκπομπής. Οι δοσοληψίες εκεί παρουσίαζαν ρυθμό απόρριψης ίσο με 9.5% και μέση διάρκεια ζωής ίση με 6100 Μονάδες Εκπομπής. Στο Πείραμα 6, ο ρυθμός απόρριψης δεν ξεπέρασε το 7.5%, ενώ η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών και αυτή δεν ξεπέρασε τις 5800 Μονάδες Εκπομπής. Σε αυτή την περίπτωση θα επιλέγαμε να χρησιμοποιήσουμε την αρχιτεκτονική που προτείνουμε εδώ, με διαφορετική τιμή του  $K$  για κάθε Δίσκο, παρά την αρχιτεκτονική που θέτει το  $K$  ίσο για όλους τους Δίσκους.

Σε ένα δεύτερο παράδειγμα, θέτοντας  $K = 6$  για τον γρήγορο Δίσκο,  $K = 2$  για τον αμέσως λιγότερο γρήγορο και  $K = 1$  για τον αργότερο, καταλήξαμε σε ένα Πρόγραμμα Εκπομπής με μέση διάρκεια ίση με 8100 Μονάδες Εκπομπής. Πιο κοντινή μέση διάρκεια Κύκλου από



το Σχέλος 3 του Πειράματος 2 είναι αυτή για  $K = 3$ , ίση με 7900 Μονάδες Εκπομπής. Οι δοσοληψίες εκεί παρουσίαζαν ρυθμό απόρριψης ίσο με 14.10% και μέση διάρκεια ζωής ίση με 4700 Μονάδες Εκπομπής. Στο Πείραμα 6, ο ρυθμός απόρριψης δεν ξεπέρασε το 8.5%, ενώ η μέση διάρκεια ζωής των δοσοληψιών και αυτή δεν ξεπέρασε τις 5000 Μονάδες Εκπομπής. Εδώ θα έπρεπε να επιλέξουμε μικρότερο ρυθμό απόρριψης ή μικρότερους μέσους χρόνους ζωής για τις δοσοληψίες μας προκειμένου να επιλέξουμε την κατάλληλη αρχιτεκτονική. Πάντως η μείωση στο ρυθμό απόρριψης που επιτυγχάνεται είναι σημαντικότερη από την αύξηση στους μέσους χρόνους ζωής των δοσοληψιών.

**Νέος Δίσκος.** Για τα δεδομένα του Δίσκου  $i$  το  $K$  θα πάρει την τιμή  $New\_K_i$  ως εξής:

$$New\_K_i = K * \frac{Rel\_Freq(i)}{Rel\_Freq(1)},$$

όπου το  $K$  στην παραπάνω σχέση είναι η αρχική τιμή του  $K$  που θεωρούμε στο μοντέλο μας.

Μία περαιτέρω βελτίωση που μπορούμε να κάνουμε σε αυτή την επιλογή είναι να εκπέμπουμε μία επιπλέον έκδοση για τα δεδομένα του Δίσκου  $i$ , κάθε  $R * Rel\_Freq(Num.Disks - i)$  Κύκλους (δηλαδή να αυξάνουμε κατά 1 το  $K$  που αντιστοιχεί σε κάθε έναν από τους αργούς Δίσκους κάθε  $R * Rel\_Freq(1)$  Κύκλους), όπου  $i = 1, \dots, Num.Disks$  και  $R$  θετικός ακέραιος όχι πολύ μεγάλος. Ακόμη μπορούμε μία φορά κάθε  $\lambda * R * Rel\_Freq(1)$  Κύκλους να εκπέμπουμε όλες τις παλαιότερες εκδόσεις όλων των δεδομένων της Βάσης, όπου  $\lambda$  θετικός ακέραιος όχι πολύ μεγάλος (δηλαδή να θέτουμε το  $K$  ίσο για όλους τους Δίσκους κάθε  $\lambda * R * Rel\_Freq(1)$  Κύκλους). Τιμές για το  $\lambda$  που δώσανε ικανοποιητικά αποτελέσματα ήταν στο εύρος μεταξύ 1 και 20.

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω, καταλήγουμε σε μικρότερο ποσοστό απόρριψης δοσοληψιών. Παράλληλα όμως αυξάνεται το μήκος του Κύκλου (αφού εκπέμπουμε περισσότερες παλιές εκδόσεις) και ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών που τερματίζουν (αφού οι παλαιότερες εκδόσεις των δεδομένων που αναζητούν είναι διαθέσιμες για περισσότερο χρόνο).

Μια παρατήρηση που οφείλουμε να κάνουμε εδώ είναι ότι η αύξηση στο μέσο χρόνο ζωής των δοσοληψιών που παρατηρήσαμε προηγουμένως οφείλεται κυρίως στο ότι ένα πολύ μικρό ποσοστό δοσοληψιών περιμένει πολύ και όχι στο ότι όλες οι δοσοληψίες περιμένουν περισσότερο. Αυτό φάνηκε όταν επιβάλλαμε διακοπή σε όσες δοσοληψίες εμφάνιζαν διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 15 Κύκλους, οπότε και αμέσως ο μέσος χρόνος ζωής των δοσοληψιών μειώθηκε σημαντικά.

Ανάλογα αποτελέσματα με αυτά που παρουσιάσαμε στην περίπτωση του σχήματος *Ομαδοποίηση* λάβαμε και για το σχήμα *Νέος Δίσκος*.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η επιλογή του κατάλληλου  $K$  για κάθε Δίσκο είναι ένα ενδιαφέρον πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν ασχοληθήκαμε με το πρόβλημα αυτό. Αρκεστήκαμε μόνο στο να δείξουμε ότι εφαρμόζοντας διαφορετικές τιμές για το  $K$  σε κάθε



Δίσχο είναι δυνατό να επιτύχουμε καλύτερα αποτελέσματα από ότι αν εφαρμόσουμε την ίδια τιμή για το  $K$  σε όλους τους Δίσχους.

Κατάσταση 1

Παράδειγμα 1

Εάν ο Δίσχος 1 είναι ομαλός και ο Δίσχος 2 είναι ανισόμορφος, τότε η επιτάχυνση του Δίσκου 1 είναι μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του Δίσκου 2, γιατί η ροπή αδράνειας του Δίσκου 1 είναι μικρότερη από την ροπή αδράνειας του Δίσκου 2.

Αν ο Δίσχος 1 είναι ανισόμορφος και ο Δίσχος 2 είναι ομαλός, τότε η επιτάχυνση του Δίσκου 1 είναι μικρότερη από την επιτάχυνση του Δίσκου 2, γιατί η ροπή αδράνειας του Δίσκου 1 είναι μεγαλύτερη από την ροπή αδράνειας του Δίσκου 2.

Εάν ο Δίσχος 1 είναι ομαλός και ο Δίσχος 2 είναι ανισόμορφος, τότε η επιτάχυνση του Δίσκου 1 είναι μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του Δίσκου 2, γιατί η ροπή αδράνειας του Δίσκου 1 είναι μικρότερη από την ροπή αδράνειας του Δίσκου 2.



## Κεφάλαιο 8

### Περίληψη-Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν οι Τεχνικές Επεξεργασίας Δοσοληψιών σε Περιβάλλον Μετάδοσης Προς Όλους και μελετήθηκε η απόδοσή τους. Συγκρίναμε τις τεχνικές αυτές μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους του μοντέλου μας, ενώ παράλληλα προτάθηκαν οι εξής βελτιώσεις τους: ο προσδιορισμός της πιο πρόσφατης έκδοσης, το ευρετήριο, η εφαρμογή διαφορετικού  $K$  (από τον εξυπηρέτη διατηρούνται και εκπέμπονται όσες εκδόσεις δημιουργήθηκαν εντός των  $K$  πιο πρόσφατων διαστημάτων εμπιστοσύνης). Τέλος μελετήθηκε η συμπεριφορά τους παρουσία διακοπών σύνδεσης και προτάθηκαν δύο βελτιώσεις για τις τεχνικές Invalidation και MV.

Καταλήγοντας μπορούμε να πούμε ότι η επιλογή της τεχνικής Ακύρωσης που θα χρησιμοποιήσουμε σε ένα πραγματικό μοντέλο εξαρτάται από τις απαιτήσεις που θέτουμε σ' αυτό. Αν επιθυμούμε οι δοσοληψίες μας να τελειώνουν γρήγορα τη λειτουργία τους, τότε οι Invalidation και Versioning τεχνικές ταιριάζουν περισσότερο σε αυτήν απαίτηση. Αν όμως επιθυμούμε να επιτύχουμε μικρούς ρυθμούς απόρριψής τους, τότε θα πρέπει να επιλέξουμε μία εκ των MV ή MVI. Η επιλογή της τιμής του  $K$  είναι σημαντική όταν χρησιμοποιούνται αυτές οι τεχνικές. Όσο μεγαλύτερο το  $K$  τόσο μικρότεροι οι ρυθμοί απόρριψης και παράλληλα μεγαλύτεροι οι μέσοι χρόνοι ζωής των δοσοληψιών. Αυτό που μπορούμε να πούμε είναι ότι και στην περίπτωση της επιλογής του  $K$ , δεν μπορείς να κερδίσεις εύκολα κάτι χωρίς να χάσεις κάτι άλλο. Σε αυτή την εργασία προσπαθήσαμε να προτείνουμε τρόπους για να κερδίσουμε και στο ρυθμό απόρριψης των δοσοληψιών, αλλά και στους μέσους χρόνους ζωής τους, δύο μεγέθη που όπως φάνηκε και από τα πειράματα είναι αντιστρόφως ανάλογα.

Το σχήμα *Νέος Δίσκος* για τιμές  $m = 2, 3$  φάνηκε να δουλεύει καλύτερα από την *Ομαδοποίηση*.

Το *ευρετήριο*, έδειξε να βελτιώνει αρκετά τη συμπεριφορά των τεχνικών και προς τις δύο κατευθύνσεις (μείωση του μέσου χρόνου ζωής των δοσοληψιών και μείωση του ρυθμού απόρριψής τους). Η μείωση στους μέσους χρόνους ζωής των δοσοληψιών στην περίπτωση που οι δοσοληψίες επανεκκινούνται όταν δεν μπορούν να συνεχίσουν τη λειτουργία τους, είναι σημαντική. Αν είναι να επανεκκινηθούν λίγες Μονάδες Εκπομπής πριν την αρχή του επόμενου διαστήματος εμπιστοσύνης, τότε τις συμφέρει να περιμένουν μέχρι να έρθει το νέο διάστημα εμπιστοσύνης και να ξεκινήσουν τη λειτουργία τους τότε. Χάνον λίγες Μονάδες Εκπομπής, περιμένοντας το νέο διάστημα εμπιστοσύνης, αλλά κερδίζουν στο ότι ξεκινούν τη λειτουργία τους από μεγαλύτερο διάστημα εμπιστοσύνης. Έτσι, αναζητούν πιο πρόσφατες εκδόσεις. Μία τέτοια εκδοχή αναμένουμε να αποδώσει καλύτερα



στα σχήματα *Νέος Δίσκος* και *Παλιές εκδόσεις* στο τέλος κάθε Κύκλου.

Οι διαφορετικές τιμές του  $K$  για κάθε Δίσκο έδειξαν ότι μπορούμε να επιτύχουμε ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση στη συμπεριφορά των δοσοληψιών και προς τις δύο κατευθύνσεις. Βέβαια ο αυτόματος καθορισμός των βέλτιστων τιμών του  $K$  για κάθε Δίσκο είναι ένα ενδιαφέρον πρόβλημα Βελτιστοποίησης και αποτελεί στόχο μελλοντικής μας δουλειάς. Το μόνο που μπορούμε να πούμε είναι ότι γενικά προτιμούμε να διατηρούμε περισσότερες εκδόσεις για τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται πιο συχνά από τους πελάτες και διαδοχικά λιγότερες για τα υπόλοιπα. Πειραματιζόμενοι πάνω σε αυτή τη γενική ιδέα είναι βέβαιο ότι θα καταλήξουμε στην επιλογή διαφορετικών τιμών του  $K$  για κάθε Δίσκο έτσι ώστε η παραγόμενη αρχιτεκτονική να επιτρέπει στις δοσοληψίες να συμπεριφέρονται καλύτερα από ότι στην απλή αρχιτεκτονική με το ίδιο  $K$  για όλους του Δίσκους.

Οι διακοπές σύνδεσης επηρεάζουν αρνητικά όλες τις τεχνικές ανεξαιρέτως, με τις Multiversioning τεχνικές να επηρεάζονται λιγότερο. Οι βελτιώσεις που προτείναμε για την Invalidating τεχνική μειώνουν σημαντικά τους μέσους ρυθμούς απόρριψης των δοσοληψιών. Ο συνδυασμός των δύο βελτιώσεων που προτείναμε φαίνεται να είναι μια πολύ καλή άμυνα των τεχνικών που χρησιμοποιούν Λίστες Ακύρωσης απέναντι στις διακοπές σύνδεσης. Εισάγαμε τα μεγέθη *ανοχή1* και *ανοχή2* και υπολογίσαμε τις τιμές τους για όλες τις τεχνικές ακύρωσης. Με τη μελέτη του κεφαλαίου 5, προσπαθήσαμε να δώσουμε μια θεωρητική εξήγηση στα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την προσομοίωση. Όπως λοιπόν προέκυψε, οι βελτιώσεις που προτείνουμε αυξάνουν την ανοχή της τεχνικής ακύρωσης, κάτι που φάνηκε και από τα αποτελέσματα που παρουσιάσαμε στην παράγραφο 7.4.

Τέλος δείξαμε πόσο καθοριστική είναι η επιλογή του μεγέθους του διαστήματος εμπιστοσύνης στο μοντέλο μας.



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ε. Πιτουρά της οποίας οι υποδείξεις κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας ήταν καθοριστικές. Επιπλέον για τη βοήθειά του δεν θα μπορούσα να μην αναφερθώ στον κ. Π. Χρυσάνθη ο οποίος με την εμπειρία του πάνω σε περιβάλλοντα εκπομπής μου έδωσε εναύσματα να ερευνήσω διάφορες πτυχές του μοντέλου που θεώρησα. Επίσης την οικογένειά μου και την Διονυσία για την αθόρυβη, αλλά πολύτιμη συμπαράστασή τους στο πρόσωπό μου όλον αυτόν τον καιρό. Τον κ. Σ. Μελισσόβα, ο οποίος βοήθησε σημαντικά στο να λυθούν διάφορα προβλήματα που αντιμετώπισα κατά καιρούς. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους ανεξαιρέτως τους συμφοιτητές μου.

Ας μου επιτραπεί να αφιερώσω την εργασία μου στον Τάκη, που χάθηκε τόσο άδικα.





# Βιβλιογραφία

- [1] S. Acharya, R. Alonso, M. Franklin, and S. Zdonik. Broadcast Disks: Data Management for Asymmetric Environments. *Proc. of the ACM SIGMOD Conf. on Management of Data*, pages 199–210, May 1995.
- [2] A. H. Ammar and J.W. Wong. The Design of Teletext Broadcast Cycles. *Performance Evaluation*, 5(4), 1985.
- [3] M. H. Ammar and J. W. Wong. On the Optimality of Cyclic Transmission in Teletext Systems. *IEEE Transaction on Communication*, 35(1):68–73, Jan 1987.
- [4] J. Archibald and J. Baer. Cache Coherence Protocols: Evaluation Using a Multiprocessor Simulation Model. *ACM TOCS*, 4(4), Nov 1986.
- [5] D. Barbara and T. Imielinski. Sleepers and Workaholics: Caching Strategies in Mobile Environments. *ACM SIGMOD Conf. Minneapolis*, May 1994.
- [6] P. A. Bernstein, V. Hadjilacos, and N. Goodman. Concurrency Control and Recovery in Database Systems. *Addison-Wesley*, 1987.
- [7] G. Herman et al. The Datacycle Architecture for Very Large High Throughput Database Systems. *Proc. ACM SIGMOD Conf.*, pages 97–103, May 1987.
- [8] T. F. Bowen et al. The Datacycle Architecture. *Comm. ACM*, 35(12):71–81, 1992.
- [9] M. Franklin. Client Data Caching: A Foundation for High Performance Object Database Systems. *Kluwer Academic Publishers, Boston, MA*, Feb 1996.
- [10] M. Franklin, M. Carey, and M. Livny. Global Memory Management in Client-Server DBMS Architectures. *Proc. 18th VLDB Conf.*, Aug 1992.
- [11] D. Gifford. Polychannel Systems for Mass Digital Communication. *ACM*, 33(2):141–150, Feb 1990.
- [12] S. Hameed and N. H. Vaidya. Log-Time Algorithms for Scheduling Single and Multiple Channel Data Broadcast. *In MOBICOM'97 Budapest, Hungary*, Sep 1997.
- [13] T. Imielinski, S. Viswanathan, and B.R. Badrinath. Energy Efficient Indexing on Air. *Proc. ACM SIGMOD, Int'l Conf. Management of Data*, pages 25–36, May 1994.



- [14] T. Imielinski, S. Viswanathan, and B.R. Badrinath. Power Efficient Filtering of Data on Air. (*EDBT*), Cambridge, UK, pages 245–258, Mar 1994.
- [15] T. Imielinski, S. Viswanathan, and B.R. Badrinath. Data on Air: Organization and Access. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 9(3):353–372, May/June 1997.
- [16] J. Jing, O. Bukhers, A. Elmargarmid, and R. Alonso. BitSequences: A New Cache Invalidation Method in Mobile Environments. *Technical Report CSD-TR-94-074*, Computer Sciences Dept., Purdue University, May 1995.
- [17] D. Knuth. The Art of Computer Programming, Vol II. *Addison-Wesley*, 1981.
- [18] E. Levy and A. Silbershatz. Distributed File Systems: Concepts and Examples. *ACM Computing Surveys*, 22(4), Dec 1990.
- [19] B. Nitzberg and V. Lo. Distributed Share Memory: A Survey of Issues and Algorithms. *IEEE Computer*, 24(8), Aug 1991.
- [20] E. Pitoura and P. K. Chrysanthis. Exploiting Versions for Handling Updates in Broadcast Disks. *Proc. of the 25th VLDB Conf.*, 1999.
- [21] E. Pitoura and P. K. Chrysanthis. Scalable Processing of Read-Only Transactions in Broadcast Push. *In Proc of the 19th IEEE Conf. on Distributed Computing Systems*, 1999.
- [22] J. Shaunmugasundaram, A. Nithrakashyap, R. Sivasankaran, and K. Ramamrithan. Efficient Concurrency Control for Broadcast Environments. *In ACM SIGMOD Int'l Conf on Managment of Data*, 1999.
- [23] C. J. Su and L. Tassiulas. Broadcast Scheduling for Information Distribution. *In Proc. IEEE INFORM'97*, 1:109–117, Sep 1997.
- [24] J.W. Wong. Broadcast Delivery. *Proc of the IEEE*, 76(12):1566–1577, Dec 1988.
- [25] K. Wu, P.S. Yu, and M. Chen. Energy Efficient Caching for Wireless Mobile Computing. *Proc. of ICDE, New Orleans*, Feb 1996.

