

στην κατάρρευση και δεν υπάρχει κατά το πέρασμα της Ανάλυσης. Όμως, χάρις στο πρωτόκολλο WAL, δεν υπάρχει πρόβλημα – η αντίστοιχη αλλαγή της σελίδας *P700* είναι αδύνατο να έχει γραφεί στο δίσκο!

Μερικές από τις ενημερώσεις μπορεί να έχουν γραφεί στο δίσκο. Για λόγους πληρότητας, ας υποθέσουμε ότι η αλλαγή στη σελίδα *P600* (και μόνο αυτή η ενημέρωση) γράφτηκε στο δίσκο πριν την κατάρρευση. Έτσι, η *P600* δεν είναι τροποποιημένη, αλλά παρόλα αυτά συμπεριλαμβάνεται στον πίνακα τροποποιημένων σελίδων. Όμως, το πεδίο *pageLSN* της *P600* αντικατοπτρίζει το γεγονός της εγγραφής της σελίδας στο δίσκο, επειδή τώρα είναι ίσο με τον *LSN* της τρίτης εγγραφής ιστορικού τύπου ενημέρωσης που φαίνεται στην Εικόνα 20.3.

20.2.2 Φάση Επανάληψης

Κατά τη φάση της **Επανάληψης**, ο ARIES επαναεφαρμόζει τις ενημερώσεις όλων των συναλλαγών, είτε είναι ολοκληρωμένες είτε όχι. Επιπλέον, αν μια συναλλαγή εγκαταλείφθηκε πριν την κατάρρευση και οι αλλαγές της έχουν αναιρεθεί, όπως δηλώνεται από τις *CLR*, επαναεφαρμόζονται και οι ενέργειες που περιγράφονται στις *CLR*. Αυτό το παράδειγμα **επαναλαμβανόμενης ιστορίας** διακρίνει τον ARIES από άλλους προτεινόμενους αλγόριθμους επαναφοράς που βασίζονται στο WAL και έχει ως συνέπεια την επαναφορά της βάσης δεδομένων ακριβώς στην ίδια κατάσταση που αυτή βρισκόταν τη στιγμή της κατάρρευσης.

Η φάση της Επανάληψης ξεκινά με την εγγραφή ιστορικού που έχει τον μικρότερο *recLSN* από όλες τις σελίδες του πίνακα τροποποιημένων σελίδων που κατασκευάστηκε κατά το πέρασμα της Ανάλυσης. Αυτό συμβαίνει επειδή αυτή η εγγραφή ιστορικού προσδιορίζει την αρχαιότερη ενημέρωση που μπορεί να μην έχει γραφεί στο δίσκο πριν την κατάρρευση. Ξεκινώντας από αυτή την εγγραφή ιστορικού, η Επανάληψη σαρώνει το ιστορικό προς τα εμπρός έως το τέλος του. Για κάθε εγγραφή με πληροφορία επανάληψης (δηλαδή τύπου ενημέρωσης ή *CLR*) που συναντά, η Επανάληψη ελέγχει αν η καταγεγραμμένη ενέργεια πρέπει να επαναληφθεί. Η ενέργεια πρέπει να επαναληφθεί εκτός και αν ισχύει μια από τις παρακάτω συνθήκες:

- Η σελίδα που επηρεάζεται δεν υπάρχει στον πίνακα τροποποιημένων σελίδων, ή
- Η σελίδα που επηρεάζεται υπάρχει στον πίνακα τροποποιημένων σελίδων, αλλά ο *recLSN* της καταχώρισης είναι **μεγαλύτερος** από τον *LSN* της υπό έλεγχο εγγραφής ιστορικού, ή
- Ο *pageLSN* (που βρίσκεται αποθηκευμένος στη σελίδα, η οποία πρέπει να ανακτηθεί για να ελεγχθεί η συνθήκη αυτή) είναι **μεγαλύτερος ή ίσος** του *LSN* της υπό έλεγχο εγγραφής ιστορικού.

Η πρώτη συνθήκη προφανώς σημαίνει ότι όλες οι αλλαγές που έγιναν στη σελίδα

αυτή έχουν γραφεί στο δίσκο. Επειδή ο recLSN είναι η πρώτη ενημέρωση της σελίδας που μπορεί να μην έχει γραφεί στο δίσκο, η δεύτερη συνθήκη σημαίνει ότι η υπό έλεγχο ενημέρωση έχει σίγουρα γραφεί στο δίσκο. Η τρίτη συνθήκη, που ελέγχεται τελευταία επειδή απαιτεί την ανάκτηση της σελίδας, επίσης εξασφαλίζει ότι η υπό έλεγχο ενημέρωση έχει γραφεί στο δίσκο, επειδή είτε αυτή είτε κάποια μεταγενέστερη ενημέρωση έχει γραφεί στο δίσκο. (Θυμηθείτε την, σημαντική στην περίπτωση μας, υπόθεση ότι μια εγγραφή σελίδας είναι ατομική!)

Στην περίπτωση που η καταγεγραμμένη ενέργεια πρέπει να επαναληφθεί:

1. Επαναεφαρμόζεται η καταγεγραμμένη ενέργεια.
2. Ο pageLSN της σελίδας παίρνει την τιμή του LSN της επαναληφθείσας εγγραφής ιστορικού.

Ας συνεχίσουμε με το παράδειγμα της Ενότητας 20.2.1. Από τον πίνακα τροποποιημένων σελίδων, προκύπτει ότι ο μικρότερος recLSN είναι ο LSN της πρώτης εγγραφής ιστορικού που φαίνεται στην Εικόνα 20.3. Προφανώς, οι αλλαγές που καταγράφονται από προηγούμενες εγγραφές ιστορικού (στο παράδειγμα αυτό συμβαίνει να μην υπάρχουν τέτοιες εγγραφές) έχουν ήδη γραφεί στο δίσκο. Τώρα, η Επανάληψη ανακτά την σελίδα P500 που επηρεάζεται και συγκρίνει τον LSN της πρώτης εγγραφής ιστορικού με τον pageLSN της σελίδας και, επειδή υποθέσαμε πως η σελίδα αυτή δεν είχε γραφεί στο δίσκο πριν την κατάρρευση, βρίσκει ότι ο pageLSN είναι μικρότερος. Έτσι η ενημέρωση επαναεφαρμόζεται – τα byte 21 ως 23 αλλάζονται σε ‘DEF’ και ο pageLSN παίρνει την τιμή του LSN αυτής της εγγραφής ιστορικού τύπου ενημέρωσης.

Μετά, η Επανάληψη εξετάζει την δεύτερη εγγραφή ιστορικού. Ξανά, ανακτάται η σελίδα P600 που επηρεάζεται, και συγκρίνεται ο pageLSN με τον LSN της εγγραφής ιστορικού τύπου ενημέρωσης. Στην περίπτωση αυτή, επειδή υποθέσαμε ότι η P600 είχε γραφεί στο δίσκο πριν την κατάρρευση, οι αριθμοί είναι ίσοι και η ενημέρωση δε χρειάζεται να επαναληφθεί.

Με παρόμοιο τρόπο γίνεται η επεξεργασία και των υπόλοιπων εγγραφών ιστορικού και το σύστημα επαναφέρεται στην ακριβή κατάσταση που βρισκόταν τη στιγμή της κατάρρευσης. Παρατηρείστε ότι στο παράδειγμα αυτό δεν ισχύουν καθόλου οι δυο πρώτες συνθήκες που υποδεικνύουν αν μια επανάληψη είναι μη αναγκαία. Διαισθητικά, οι συνθήκες αυτές έχουν νόημα όταν ο πίνακας τροποποιημένων σελίδων περιέχει έναν πολύ παλιό recLSN, αρχαιότερο και από το πιο πρόσφατο σημείο ελέγχου. Στην περίπτωση αυτή, καθώς η Επανάληψη σαρώνει το ιστορικό προς τα εμπρός από την εγγραφή ιστορικού με αυτόν τον LSN, θα συναντήσει εγγραφές ιστορικού για σελίδες που γράφτηκαν στο δίσκο πριν από το σημείο ελέγχου και έτσι δεν βρισκόταν στον πίνακα τροποποιημένων σελίδων τη στιγμή της λήψης του σημείου ελέγχου. Μερικές από τις σελίδες αυτές μπορεί να τροποποιήθηκαν ξανά μετά το σημείο ελέγχου. Σε κάθε περίπτωση, δε χρειάζεται να επαναληφθούν οι

ενημερώσεις σε αυτές τις σελίδες, που έγιναν πριν από το σημείο ελέγχου. Παρόλο που η τρίτη συνθήκη είναι από μόνη της αρκετή για την αναγνώριση του γεγονότος ότι οι ενημερώσεις αυτές δε χρειάζεται να επαναληφθούν, απαιτεί την ανάκτηση της σελίδας που επηρεάζεται. Οι δυο πρώτες συνθήκες μας επιτρέπουν να αναγνωρίζουμε αυτό το γεγονός χωρίς να ανακτούμε την σελίδα. (Προτείνεται στον αναγνώστη να κατασκευάσει παραδείγματα που περιγράφουν τη χρήση της κάθε μιας συνθήκης. Δείτε την Άσκηση 20.8.)

Στο τέλος της φάσης Επανάληψης, γράφονται εγγραφές ιστορικού τύπου τερματισμού για όλες τις συναλλαγές με τιμή στο πεδίο status C, και οι συναλλαγές αυτές αφαιρούνται από τον πίνακα συναλλαγών.

20.2.3 Φάση Αναίρεσης

Η φάση Αναίρεσης, αντίθετα με τις άλλες δυο φάσεις, ξεκινά από το τέλος του ιστορικού και το σαρώνει σε αντίθετη κατεύθυνση. Ο στόχος της φάσης αυτής είναι η αναίρεση όλων των ενεργειών των συναλλαγών που ήταν ενεργές τη στιγμή της κατάρρευσης, δηλαδή, στην ουσία η εγκατάλειψή τους. Το σύνολο των συναλλαγών αυτών προσδιορίζεται από τον πίνακα συναλλαγών που κατασκευάζεται στη φάση της Ανάλυσης.

Ο Αλγόριθμος Αναίρεσης

Η Αναίρεση ξεκινά χρησιμοποιώντας τον πίνακα συναλλαγών που δημιουργήθηκε κατά τη φάση της Ανάλυσης. Ο πίνακας αυτός προσδιορίζει όλες τις συναλλαγές που ήταν ενεργές τη στιγμή της κατάρρευσης και για κάθε μια τέτοια συναλλαγή περιέχει τον LSN της πιο πρόσφατης εγγραφής ιστορικού της (το πεδίο lastLSN). Οι συναλλαγές αυτές ονομάζονται **χαμένες συναλλαγές**. Όλες οι ενέργειες των χαμένων συναλλαγών πρέπει να αναιρεθούν, και επιπλέον, οι ενέργειες αυτές πρέπει να αναιρεθούν με την αντίθετη σειρά από αυτή που εμφανίζονται στο ιστορικό.

Θεωρείστε το σύνολο των τιμών lastLSN όλων των χαμένων συναλλαγών. Ας ονομάσουμε το σύνολο αυτό **ToUndo**. Η Αναίρεση επιλέγει κάθε φορά τη μεγαλύτερη τιμή LSN (δηλαδή την πιο πρόσφατη) του συνόλου αυτού και την επεξεργάζεται έως ότου το σύνολο ToUndo γίνει το κενό σύνολο. Η επεξεργασία μιας εγγραφής του ιστορικού γίνεται ως εξής:

1. Αν είναι τύπου CLR και η τιμή του πεδίου undoNextLSN δεν είναι *null*, προστίθεται στο ToUndo η τιμή undoNextLSN. Αν το undoNextLSN είναι *null*, έχει ολοκληρωθεί η αναίρεση της συναλλαγής, οπότε γράφεται μια εγγραφή ιστορικού τύπου τερματισμού για αυτήν και η CLR απορρίπτεται.
2. Αν είναι τύπου ενημέρωσης, γράφεται μια εγγραφή τύπου CLR και η αντίστοιχη ενέργεια αναιρείται όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 20.1.1. Επίσης, προστίθεται στο σύνολο ToUndo η τιμή prevLSN της εγγραφής ιστορικού τύπου ενημέρωσης.