Επεξεργασία Δοσοληψιών (συνέχεια)

Πρόβλημα

«Σωστή» εκτέλεση προγραμμάτων όταν επιτρέπουμε *ταυτοχρονισμό* και ακόμα και αν υπάρχουν *αποτυχίες*

Δοσοληψία (transaction)

Η εκτέλεση ενός προγράμματος σε μια βάση δεδομένων. Μια ακολουθία από πράξεις R, W που τελειώνει ή με Commit ή με Abort

- BEGIN
- R(X) W(X)
- END
- COMMIT (επικύρωση) – επιτυχία – όλες οι τροποποιήσεις επικυρώνονται και δεν μπορούν να αναιρεθούν
- ABORT (ακύρωση ή ανάκληση) – αποτυχία – όλες οι τροποποιήσεις πρέπει να αναιρεθούν

Ιδιότητες Δοσοληψιών

- Atomicity (ατομικότητα) – είτε όλες οι πράξεις είτε καμία
- Consistency (συνέπεια) – διατήρηση συνέπειας της ΒΔ
- Isolation (απομόνωση) – δεν αποκαλύπτει ενδιάμεσα αποτελέσματα
- Durability (μονιμότητα ή διάρκεια) – μετά την επικύρωση μιας δοσοληψίας οι αλλαγές δεν είναι δυνατόν να χαθούν

- Atomicity (ατομικότητα) → ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΑΜΨΕΙΣ
- Consistency (συνέπεια) → ΥΠΕΥΘΥΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΗ
- Isolation (απομόνωση) → ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΔΡΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ
- Durability (μονιμότητα ή διάρκεια) → ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΑΜΨΕΙΣ

Ισοδύναμα Χρονοπρογράμματα βάσει Συγκρούσεων:

Δυο χρονοπρογράμματα είναι ισοδύναμα βάσει συγκρούσεων αν η διάταξη κάθε ζεύγους συγκρουόμενων πράξεων είναι ίδια και στα δυο χρονοπρογράμματα.

Ένα χρονοπρόγραμμα είναι σειριοποιήσιμο (βάσει συγκρούσεων) αν και μόνο αν ο γράφος προήγησής του είναι ακυκλικός.

Επανάληψη: Χρονοπρογράμματα και Δυνατότητα Ανάκαμψης

- Χρονοπρογράμματα με δυνατότητα ανάκαμψης (recoverable)

αν καμιά δοσοληψία T στο S δεν επικυρώνεται έως ότου επικυρωθούν όλες οι δοσοληψίες οι οποίες τροποποίησαν ένα δεδομένο που διαβάζει η T

- Χρονοπρογράμματα χωρίς διάδοση ανακλήσεων (avoids cascading aborts)

αν κάθε δοσοληψία T στο S διαβάζει μόνο στοιχεία που έχουν γραφεί από επικυρωμένες δοσοληψίες

- Αυστηρά Χρονοπρογράμματα (strict)

οι δοσοληψίες δεν μπορούν ούτε να διαβάσουν ούτε να γράψουν ένα στοιχείο X έως ότου επικυρωθεί η δοσοληψία που έγραψε το X

Τεχνικές Ελέγχου Συνδρομικότητας

- Ο χρήστης δεν ασχολείται με τη συνδρομικότητα
- Το ΣΔΒΔ εξασφαλίζει «σωστή συνδρομικότητα»: *δρομολογεί* τις πράξεις των δοσοληψιών ώστε να προκύπτουν χρονοπρογράμματα σειριοποιήσιμα βάσει συγκρούσεων
- Μέσω τεχνικών ελέγχου συνδρομικότητας

Τεχνικές Ελέγχου Συνδρομικότητας

Τεχνικές

1. Κλειδώματος (locking) για να αποτρέψουν τη συνδρομική (ταυτόχρονη) προσπέλαση των δεδομένων από πολλές δοσοληψίες

2. Διάταξης χρονοσημάτων (timestamps)

3. Πιστοποίησης (validation) μιας δοσοληψίας (αισιόδοξα πρωτόκολλα)

Τεχνικές Κλειδώματος

Δύο ειδών κλειδιά:

- διαμοιραζόμενο (shared) κλειδί ή κλειδί ανάγνωσης
- αποκλειστικό (exclusive) κλειδί ή κλειδί εγγραφής

	S-Lock(X)	X-Lock(X)
S-Lock(X)	√	
X-Lock(X)		

Πρωτόκολλο κλειδώματος δυο φάσεων (Two-Phase Locking 2PL)

Όλες οι πράξεις (αιτήσεις) κλειδώματος μιας δοσοληψίας προηγούνται της πρώτης πράξης (αίτησης) άρσης κλειδώματος της διαδικασίας

- Δυνατή η «αναβάθμιση» κλειδιών

Τεχνικές Κλειδώματος

- Κάθε δοσοληψία δυο φάσεις
  - μια φάση επέκτασης ή εξάπλωσης
  - μια φάση συρρίκνωσης

- Αποδεικνύεται ότι είναι σωστό: παράγει χρονοπρογράμματα σειριοποιήσιμα με συγκρούσεις. Υπάρχουν σειριοποιήσιμα με συγκρούσεις χρονοπρογράμματα που δεν παράγονται με κλείδωμα δύο φάσεων;
- Παράγεται αυστηρό χρονοπρόγραμμα; Όχι.

Παραλλαγές:

Αυστηρό Κλείδωμα Δύο Φάσεων: μια δοσοληψία δεν απελευθερώνει κανένα αποκλειστικό κλειδί πριν επικυρωθεί ή ακυρωθεί

Υπερ-αυστηρό Κλείδωμα Δύο Φάσεων: μια δοσοληψία δεν απελευθερώνει κανένα (αποκλειστικό και διαμοιραζόμενο) κλειδί πριν επικυρωθεί ή ακυρωθεί

Τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα – ευρεία χρήση σε εμπορικά συστήματα

Τεχνικές Κλειδώματος

- Πρόβλημα με τη δημιουργία αδιεξόδων
- Κόστος διαχείρισης κλειδιών

Δυο τεχνικές:

- Πρωτόκολλα Πρόληψης Αδιεξόδων (Deadlock Prevention): Αποφυγή δημιουργίας αδιεξόδου
  - όλα τα κλειδιά δίνονται μαζί
  - διάταξη των δοσοληψιών (με χρήση χρονοσημών)

- Πρωτόκολλα Ανίχνευσης Αδιεξόδου (Deadlock Detection): Ελέγχουμε περιοδικά αν το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση αδιεξόδου (π.χ με χρήση γράφου αναμονής)

Διάταξη Χρονοσημάτων

Το χρονόσημα δημιουργείται από το ΣΔΒΔ και προσδιορίζει μοναδικά μια δοσοληψία

Ιδέα: *διάταξη των δοσοληψιών με βάση το χρονόσημα τους* (δηλαδή, χρονοπρόγραμμα ισοδύναμο με σειριακό στο οποίο οι δοσοληψίες εμφανίζονται διατεταγμένες με βάση τις τιμές των χρονοσημάτων)

⇒ άρα η σειρά προσπέλασης στα δεδομένα πρέπει να μη παραβιάζει τη σειριοποιησιμότητα

Δηλαδή: αν μια πράξη a_i μιας δοσοληψίας T_i συγκρούεται με μια πράξη a_j μιας δοσοληψίας T_j και $TS(T_i) < TS(T_j)$, τότε η a_i πρέπει να προηγείται της a_j. Αλλιώς, restart τη δοσοληψία.

Διάταξη Χρονοσημάτων

Κάθε δεδομένο X έχει δύο τιμές χρονοσημάτων:

ΧΣΑ(X) (χρονόσημα ανάγνωσης) το μεγαλύτερο μεταξύ όλων των χρονοσημάτων των δοσοληψιών που διάβασαν το X (δικαιοθητικά, η πιο πρόσφατη που το διάβασε)

ΧΣΕ(X) (χρονόσημα εγγραφής) το μεγαλύτερο μεταξύ όλων των χρονοσημάτων των δοσοληψιών που έγραψαν το X

Κάθε πράξη ανάγνωσης και εγγραφής μιας δοσοληψίας συνοδεύεται από κατάλληλους ελέγχους του χρονοσήματός της και των χρονοσημάτων του αντίστοιχου δεδομένου.

Αν ο έλεγχος αποτύχει, η δοσοληψία απορρίπτεται και αρχίζει πάλι

Διάταξη Χρονοσημάτων

- Παράγει σωστά χρονοπρογράμματα
- Δε δημιουργούνται αδιέξοδα (αφού καμιά δοσοληψία δεν περιμένει)
- Μπορεί να παραχθούν χρονοπρογράμματα που δεν έχουν δυνατότητα ανάκαμψης (not recoverable)

Παραλλαγή για χρονοπρόγραμμα χωρίς διάδοση ανακλήσεων (ιδέα: commit bit με κάθε δεδομένο - καθυστέρηση αναγνώσεων)

Παραλλαγή για αυστηρά (αναμονή αναγνώσεων και εγγραφών)

Άλλη ιδέα (R(X) ή W(X) από T με ΧΣ(T) > ΧΣΕ(X) (αν μικρότερο ακυρώνεται) περιμένει μέχρι να επικυρωθεί ή να ακυρωθεί η δοσοληψία που έγραψε το X (όχι αδιέξοδα)

Επιβάρυνση διαχείρισης χρονοσημάτων

Απόρριψη και επανεκκίνηση δοσοληψιών

Αισιόδοξες Τεχνικές

Οι τεχνικές κλειδώματος είναι συντηρητικές (αποφεύγονται οι συγκρούσεις)

Μειονεκτήματα

- επιβάρυνση (overhead) χειρισμού κλειδώματος
- αποφυγή/ανίχνευση αδιεξόδων
- lock contention για τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται συχνά

Αν οι συγκρούσεις είναι σπάνιες, μεγαλύτερη συγχρονικότητα, αν αντί για κλείδωμα, έλεγχος για συγκρούσεις όταν μια δοσοληψία επικυρώνεται (commits)

Αισιόδοξες Τεχνικές

Κάθε δοσοληψία έχει τρεις φάσεις

- ΑΝΑΓΝΩΣΗ: η δοσοληψία διαβάζει από τη βδ, αλλά τροποποιεί προσωπικά αντίγραφα των δεδομένων
- ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ: έλεγχος για συγκρούσεις
- ΕΓΓΡΑΦΗ: γράφει τα τοπικά αντίγραφα στη βδ

Κατά την πιστοποίηση μιας δοσοληψίας ελέγχουμε τα σύνολα

ReadSet(T): το σύνολο των δεδομένων που διάβασε η T

WriteSet(T): το σύνολο των δεδομένων που διάβασε η T

με τα αντίστοιχα σύνολα όλων των ταυτόχρονα εκτελούμενων δοσοληψιών του συστήματος

Πιστοποίηση

Έλεγχος συνθηκών που είναι **ικανές** για να εξασφαλίσουν ότι δεν υπήρχαν συγκρούσεις

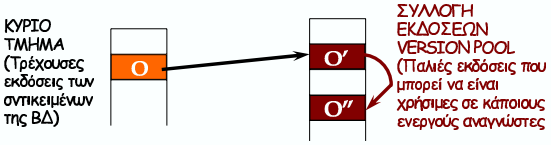
- Κάθε δοσοληψία T έχει ένα μοναδικό αριθμό TID (χρονόσημα)
- Το TID ανατίθεται στο τέλος της φάσης ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ (ακριβώς πριν αρχίσει η πιστοποίηση)
- Με κάθε δοσοληψία

ReadSet(T): το σύνολο των δεδομένων που διάβασε η T

WriteSet(T): το σύνολο των δεδομένων που διάβασε η T

Πολλαπλές Εκδόσεις

Κάθε εγγραφή παράγει ένα καινούργιο αντίγραφο ενώ οι αναγνώσεις διαβάζουν ένα κατάλληλο παλιό



Οι αναγνώστες μπορούν πάντα να προχωρήσουν -- αλλά μπορεί να χρειαστεί να περιμένουν μέχρι την επικύρωση των εγγραφών

Διατήρηση παλαιότερων εκδοχών, χρήσιμη ως ιστορικό εξέλιξης των τιμών (χρονικές (temporal) βάσεις δεδομένων)

Πολλαπλές Εκδόσεις

Βασική ιδέα:

οι αναγνώσεις διαβάζουν κατάλληλες εκδόσεις ώστε να διατηρήσουν τη σειριποιησιμότητα

Παραλλαγές των τεχνικών ελέγχου συνδρομικότητας

Θα δούμε με χρονοσήματα

Πολλαπλές Εκδόσεις και Χρονοσήματα

- Κάθε έκδοση ενός αντικειμένου έχει ως ΧΣΕ το ΧΣ της T που την έγραψε και ως ΧΣΑ το ΧΣ της T που διάβασε αυτήν την έκδοση πιο πρόσφατα

  Μια πράξη εγγραφής μια δοσοληψίας T δημιουργεί μια καινούργια έκδοση του δεδομένου, με ΧΣ.Α και ΧΣΕ ίσο με ΧΣ(T)

- Οι εκδόσεις συνδέονται (chained backward) μπορούμε να σβήσουμε εκδόσεις που είναι πολύ «παλιές για να έχουν ενδιαφέρον»

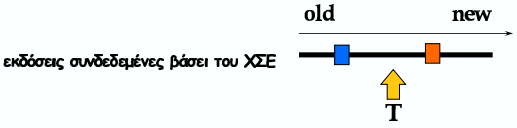
- Κάθε δοσοληψία: Reader ή Writer.
  - Writer *μπορεί* να γράψει κάποιο αντικείμενο; Reader μόνο διαβάσει.
  - Κάθε δοσοληψία δηλώνει αν είναι Reader όταν ξεκινά.

  Στόχος είναι η Readers να μην αποτυγχάνουν

Πολλαπλές Εκδόσεις και Χρονοσήματα

Reader T

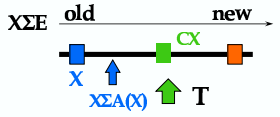
- Για την ανάγνωση ενός αντικειμένου:
  - Βρες την πιο νεώτερη έκδοση με ΧΣΕ < ΧΣ(T) (Η αναζήτηση ξεκινά από την πιο πρόσφατη - κοίτα σχήμα)
  - Αν υποθέσουμε ότι όλες οι εκδόσεις υπάρχουν, μια Reader T δε χρειάζεται να επανικηθεί.



Πολλαπλές Εκδόσεις και Χρονοσήματα

Writer T

- Για την ανάγνωση, ακολούθησε το πρωτόκολλο του Reader
- Για να γράψεις ένα αντικείμενο X:
  - Βρες τη νεώτερη έκδοση με ΧΣΕ(X) < ΧΣΕ(T)
  - Αν ΧΣ.Α(X) < ΧΣ(T), η T δημιουργεί ένα αντίγραφο CX του X, με ένα δείκτη στο X, και ΧΣΕ(CX) = ΧΣ(T), ΧΣ.Α(CX) = ΧΣ(T). (Οι εγγραφές γίνονται buffered μέχρι την επικύρωση της T, οι άλλες δοσοληψίες μπορούν να δουν τις τιμές των ΧΣ αλλά δεν μπορούν να διαβάσουν την έκδοση CX μέχρι η T να επικυρωθεί.)
  - Αλλιώς, απόρριψη.



Δυναμικές Βάσεις Δεδομένων

Αν επιτρέψουμε εγγραφές και διαγραφές στοιχείων, τα πρωτόκολλα δε δουλεύουν σωστά (ούτε το αυστηρό 2PL)

Sailors(sid, sname, rating, age)

Boats(bid, bname, color)

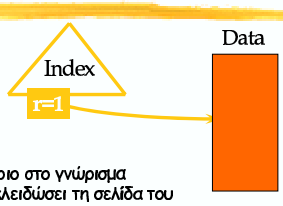
Reserves(sid, bid, day)

- T1 κλειδώνει όλες τις σελίδες που περιέχουν εγγραφές sailor με *rating* = 1, και βρίσκει τον πιο ηλικιωμένο (έστω, *age* = 71).
- Μετά, η T2 εισάγει ένα νέο sailor: *rating* = 1, *age* = 96.
- T2 επίσης διαγράφει τον πιο ηλικιωμένο ναυτικό με rating = 2 (έστω, *age* = 80), και επικυρώνεται.
- T1 τώρα κλειδώνει όλες τις σελίδες που περιέχουν εγγραφές sailor με *rating* = 2, βρίσκει τον πιο ηλικιωμένο (έστω, *age* = 63).

- Δεν υπάρχει ισοδυναμία με την παραπάνω σειριακή εκτέλεση

- Η Τ1 έμμεσα υποθέτει ότι έχει κλειδώσει το σύνολο όλων των εγγραφών με *rating* = 1.
  - Η υπόθεση ισχύει μόνο αν δεν προστεθούν εγγραφές ενώ εκτελείται η Τ1
  - Χρειάζεται κάποιος μηχανισμός για να το επιβάλει: κλείδωμα ευρετηρίου (index locking) και κλείδωμα συνθηκών (predicate locking.)

Τα παράδειγμα δείχνει ότι η σειριοποιησιμότητα βάσει συγκρούσεων δίνει σειριοποιησιμότητα μόνο όταν τα αντικείμενα στη βδ είναι σταθερά



Κλείδωμα Ευρετηρίου

- Αν υπάρχει ένα πυκνό ευρετήριο στο γνώρισμα *rating*, η Τ1 θα μπορούσε να κλειδώσει τη σελίδα του ευρετηρίου που περιέχει τις εγγραφές με *rating* = 1.
  - Αν δεν υπάρχει καμία εγγραφή με *rating* = 1

Κλείδωμα Συνθήκης

- Κλείδωσε όλες τις εγγραφές που ικανοποιούν κάποια συνθήκη λογικής, π.χ., *age > 2*salary*.
- Το κλείδωμα ευρετηρίου είναι μια ειδική μορφή κλειδώματος συνθήκης που το ευρετήριο επιτρέπει αποδοτική υλοποίηση του κλειδώματος συνθήκης

Ιεραρχική δομή

Νέα είδη κλειδιών IS (πρόθεση διαμοιραζόμενου) IX (πρόθεση αποκλειστικό)

Για να κλειδώσει με S (X) πρέπει να κλειδώσει όλους τους προγόνους με IS (IX) αρχίζοντας από τη ρίζα

Συχνά IX και S (διάβασμα όλου, τροποποίηση ενός) είδος κλειδιού SIX

	IS	IX	S	SIX	X
IS	T	T	T	T	
IX	T	T			
S	T		T		
SIX	T				
X					

Δύο φάσεις

Σειρά αποδέσμευσης κλειδιών;

Δοσοληψία αυτόματα με προτάσεις που τροποποιούν είτε τη βάση δεδομένων είτε το σχήμα

Μέθοδος πρόσβασης: READ ONLY ή READ WRITE

Επίπεδο απομόνωσης READ UNCOMMITTED, READ COMMITTED, REPEATABLE READ, SERIALIZABLE (αυστηρό 2PL)

SET TRANSACTION ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE READ ONLY

default: SERIALIZABLE, READ WRITE

Υποστήριξη δοσοληψιών στην SQL-92

Isolation Level	Dirty Read	Unrepeatable Read	Phantom Problem
Read Uncommitted	Maybe	Maybe	Maybe
Read Committed	No	Maybe	Maybe
Repeatable Reads	No	No	Maybe
Serializable	No	No	No

Αναλυτικά στο βιβλίο

Υποστήριξη δοσοληψιών

IBM DB2, Informix, Microsoft SQL server, Sybase Αυστηρό 2PL (με παραλλαγές για επίπεδα απομόνωσης λιγότερα αυστηρά του SERIALIZABLE)

Microsoft SQL server: χρονόσημα εγγραφής

Oracle 8: πολλαπλές εκδόσεις, ώστε οι αναγνώσεις δεν περιμένουν ποτέ

Κλείδωμα πολλαπλής κλιμάκωσης σε επίπεδο πίνακα, σελίδας και εγγραφής