



Ειδικά Θέματα Βάσεων Δεδομένων

Ενότητα 6: Ανάκαμψη και συναλλαγές

Δρ. Τιμπίρης Αλκιβιάδης
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ενότητα 6

Ανάκαμψη και συναλλαγές

Δρ. Τιμπίρης Αλκιβιάδης

Περιεχόμενα ενότητας

- Συναλλαγές
- Ταυτοχρονισμός σε ΣΔΒΔ
- Πράξεις μιας συναλλαγής
- Ημερολόγιο συστήματος (log)
- Οι ιδιότητες μιας ACID συναλλαγής
- Ορισμός συναλλαγής
- Ορισμός χρονοπρογράμματος
- Σύγκρουση πράξεων σε χρονοπρογραμματισμό
- Σειριοποιησιμότητα
- Ισοδυναμία Χρονοπρογραμμάτων βάσει Συγκρούσεων
- Σειριοποιησιμότητα βάσει Συγκρούσεων
- Ανάκαμψη από Αποτυχίες
- Ανάκαμψη μέσων
- Επικύρωση δύο φάσεων

Σκοποί ενότητας

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι συναλλαγές, δηλαδή η εκτέλεση ενός ή περισσότερων προγραμμάτων που προσπελούν ή τροποποιούν το περιεχόμενο της βάσης δεδομένων. Εξηγούνται οι ιδιότητες ACID μιας συναλλαγής καθώς και τις πράξεις στα χρονοπρογράμματα. Παρουσιάζονται τα είδη των αποτυχιών καθώς και τρόπους ανάκαμψης ενός ΣΔΒΔ από πιθανή αστοχία συστήματος ή μέσων .

Συναλλαγές

- Η ταυτόχρονη εκτέλεση προγραμμάτων χρηστών είναι απαραίτητη για την καλή απόδοση ενός ΣΔΒΔ.
- Επειδή οι προσπελάσεις στο δίσκο είναι συχνές και σχετικά αργές, είναι σημαντικό να κρατείται η CPU απασχολημένη με πολλά προγράμματα χρηστών.

⇒ Πολυχρηστικά ΣΔΒΔ

**Διαπλεγμένο μοντέλο
ταυτόχρονης εκτέλεσης**



Συναλλαγές

Συναλλαγή (transaction) :

- η εκτέλεση ενός προγράμματος που προσπελαύνει ή τροποποιεί το περιεχόμενο της βάσης δεδομένων.
- το πώς βλέπει το **ΣΔΒΔ** τα προγράμματα των χρηστών

Συναλλαγές

Συναλλαγή (transaction) :

Ένα πρόγραμμα χρήστη μπορεί να εκτελεί πολλές λειτουργίες στα δεδομένα που ανακτά από τη ΒΔ, αλλά το ΣΔΒΔ ενδιαφέρεται μόνο για τα δεδομένα που διαβάζονται/γράφονται στη ΒΔ.

- Ανάγνωση (X) - R(X)
- Εγγραφή (X) - W(X)

Ταυτοχρονισμός σε ΣΔΒΔ

- Οι χρήστες υποβάλουν συναλλαγές, πρέπει να μπορούν να θεωρούν ότι κάθε συναλλαγή εκτελείται **μόνη της**.
- Ο **Ταυτοχρονισμός** ή **συνδρομικότητα (concurrency)** επιτυγχάνεται από το ΣΔΒΔ που διαπλέκει τις πράξεις (αναγνώσεις/εγγραφές) των συναλλαγών αυτών.

Συναλλαγές

- Κάθε Συναλλαγή πρέπει να αφήνει τη ΒΔ στην κατάσταση που ήταν όταν άρχισε η Συναλλαγή.
- Το ΣΔΒΔ επιβάλλει κάποιους ΠΑ (Περιορισμούς Ακεραιότητας) με βάση τους ΠΑ που έχουν δηλωθεί στις εντολές CREATE TABLE.
- Πέρα από αυτό, το ΣΔΒΔ δεν καταλαβαίνει τη σημασιολογία των δεδομένων (π.χ., δεν καταλαβαίνει πώς να υπολογίσει το επιτόκιο) .

Πράξεις μιας συναλλαγής

Πράξεις συναλλαγών

- BEGIN

R(X)

W(X)

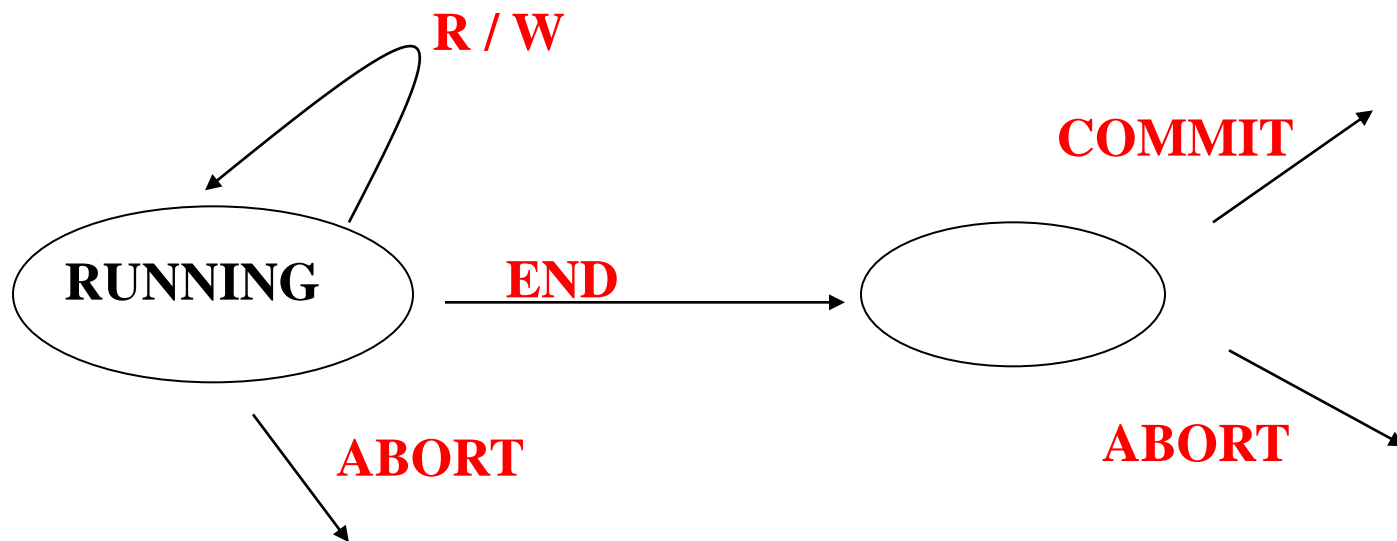
END

- **COMMIT (επικύρωση)** - επιτυχία - όλες οι τροποποιήσεις επικυρώνονται και **δεν** μπορούν να αναιρεθούν.
- **ABORT ή ROLLBACK (ακύρωση ή ανάκληση)** - αποτυχία - όλες οι τροποποιήσεις **πρέπει** να αναιρεθούν.

Πράξεις μιας συναλλαγής

- Μια Συναλλαγή μπορεί να επικυρωθεί (commit) αφού ολοκληρώσει όλες τις πράξεις της. Μπορεί να ακυρωθεί (abort- **ROLLBACK**) όμως, αφού εκτελέσει κάποιες από τις πράξεις της.
- Το ΣΔΒΔ καταγράφει (logs) όλες τις πράξεις έτσι ώστε να μπορεί να αναιρέσει (undo) τις πράξεις μιας ακυρωμένης (aborted) Συναλλαγής.

Πράξεις μιας συναλλαγής



Ημερολόγιο Συστήματος (log)

- Για να είναι δυνατή η ανάκαμψη από αποτυχίες, καταχωρούνται πληροφορίες για τις πράξεις των Συναλλαγών.
- Αποθηκεύονται στο δίσκο.
- Τύποι πληροφορίας: έναρξη Συναλλαγής
εγγραφή στοιχείου (παλιά, νέα)
ανάγνωση στοιχείου
επικύρωση/ακύρωση
- Είναι δυνατή η αναίρεση (undo) ή η επανάληψη (redo) μιας Συναλλαγής.

Οι ιδιότητες μιας ACID συναλλαγής

- **Atomicity (ατομικότητα)** - είτε όλες οι πράξεις εκτελούνται, είτε καμία.
- **Consistency (συνέπεια)** - διατήρηση συνέπειας της ΒΔ δηλαδή μετασχηματίζει μια συνεπή κατάσταση της βάσης δεδομένων σε μια άλλη συνεπή κατάσταση, χωρίς κατανάγκη να διατηρεί τη συνέπεια σε όλα τα ενδιάμεσα σημεία.
- **Isolation (απομόνωση)** - δεν αποκαλύπτει ενδιάμεσα αποτελέσματα.
- **Durability (μονιμότητα ή διάρκεια)** - μετά την επικύρωση μιας Συναλλαγής οι αλλαγές δεν είναι δυνατόν να χαθούν.

Ορισμός συναλλαγής

Μια **Συναλλαγή** είναι μια ακολουθία από πράξεις εγγραφής και ανάγνωσης που τελειώνει με μια πράξη επικύρωσης (commit) ή με μια πράξη ακύρωσης (abort -rollback).

Θεωρείστε τις δύο συναλλαγές (Xacts) του παραδείγματος:

T1: BEGIN R(X), X=X-N, W(X), R(Y), Y=Y+N, W(Y) END

T2: BEGIN R(X) X=X+M, W(X) END

T1: R(X) W(X) R(Y) W(Y) C

T2: R(X) W(X) C

Ορισμός χρονοπρογράμματος

- Ένα **χρονοπρόγραμμα (schedule)** S των Συναλλαγών T_1, T_2, \dots, T_n είναι μια διάταξη των πράξεων τους με τον περιορισμό ότι για κάθε Συναλλαγή T_i που συμμετέχει στο S οι πράξεις της T_i στο S πρέπει να εμφανίζονται με την ίδια σειρά που εμφανίζονται στην T_i .
- Οι πράξεις των Συναλλαγών εμφανίζονται στο χρονοπρόγραμμα με τη σειρά που εκτελούνται.

Ορισμός χρονοπρογράμματος

Θα χρησιμοποιούμε δείκτη στις πράξεις που να δείχνει σε ποια συναλλαγή.

T1	T2
R1(X) W1(X) R1(Y) W1(Y) C1	R2(X) W2(X) C2

S: R₁(X) W₁(X) R₁(Y) W₁(Y) C₁ R₂(X) W₂(X) C₂

Ορισμός χρονοπρογράμματος

T1	T2
R1(X)	R2(X)
W1(X) R1(Y)	W2(X) C2
W1(Y) C1	

S: R₁(X) R₂(X) W₁(X) R₁(Y) W₂(X) C₂ W₁(Y) C₁

Σύγκρουση πράξεων σε χρονοπρογραμματισμό

Δύο πράξεις σε ένα χρονοπρόγραμμα συγκρούονται αν:

(α) ανήκουν σε διαφορετικές Συναλλαγές

(β) προσπελαίνουν το ίδιο στοιχείο

(γ) μια από αυτές είναι πράξη εγγραφής (W)

Ερώτηση:

Ποια είναι η σχέση των χρονοπρογραμμάτων S1 και S2;

S1: R₁(X) R₂(X) W₁(X) R₁(Y) W₂(X) C₂ W₁(Y) C₁

S2: R₂(X) R₁(X) W₁(X) R₁(Y) W₂(X) C₂ W₁(Y) C₁

Τα **S1** και **S2** είναι ισοδύναμα, διαφέρουν μόνο στη διάταξη πράξεων που δε συγκρούονται άρα έχουμε μερική διάταξη.

Ορισμός χρονοπρογραμματισμού

Ένα πλήρες χρονοπρόγραμμα (schedule) S των Συναλλαγών T_1, T_2, \dots, T_n είναι ένα σύνολο από πράξεις και μια μερική διάταξη των πράξεων αυτών με τους ακόλουθους περιορισμούς:

(α) οι πράξεις του S είναι ακριβώς οι πράξεις των T_1, T_2, \dots, T_n συμπεριλαμβανομένης μιας πράξης ακύρωσης ή επικύρωσης ως τελευταίας πράξης σε κάθε Συναλλαγή στο χρονοπρόγραμμα.

(β) για κάθε Συναλλαγή T_i που συμμετέχει στο S οι πράξεις της T_i στο S πρέπει να εμφανίζονται με την ίδια σειρά που εμφανίζονται στην T_i

(γ) Για κάθε ζεύγος συγκρουόμενων πράξεων, μια από τις δύο πρέπει να προηγείται της άλλης στο χρονοπρόγραμμα.

Σειριοποιησιμότητα

Σειριακά Χρονοπρογράμματα:

Χρονοπρογράμματα που δεν διαπλέκουν πράξεις διαφορετικών Συναλλαγών δηλαδή οι πράξεις κάθε Συναλλαγής εκτελούνται διαδοχικά, χωρίς παρεμβολή πράξεων από άλλη Συναλλαγή.

Παρατήρηση: Αν κάθε Συναλλαγή διατηρεί τη συνέπεια, τότε κάθε σειριακό χρονοπρόγραμμα διατηρεί τη συνέπεια.

Ένα σειριακό χρονοπρόγραμμα, όπως το παρακάτω, είναι σωστό

S: $R_1(X) W_1(X) R_1(Y) W_1(Y) C_1 R_2(X) W_2(X) C_2$

Σειριοποιησιμότητα

Ισοδύναμα Χρονοπρογράμματα :

- Για κάθε κατάσταση της ΒΔ, το αποτέλεσμα της εκτέλεσης του πρώτου χρονοπρογράμματος είναι το ίδιο με το αποτέλεσμα του δεύτερου χρονοπρογράμματος. Ένα χρονοπρόγραμμα ισοδύναμο με ένα σειριακό.

Σειριοποιησιμότητα

Σειριοποιήσιμο Χρονοπρόγραμμα :

Ένα χρονοπρόγραμμα που είναι *ισοδύναμο* με κάποιο σειριακό

Τι σημαίνει ισοδύναμο;

- Ισοδυναμία βάσει συγκρούσεων
- Ισοδυναμία όψεων

Ισοδυναμία Χρονοπρογραμμάτων βάσει Συγκρούσεων

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

Παραδείγματα:

S1: $R_1(X) R_2(X) W_1(X) R_1(Y) W_2(X) C_2 W_1(Y) C_1$

S2: $R_2(X) R_1(X) W_1(X) R_1(Y) W_2(X) C_2 W_1(Y) C_1$

S3: $R_2(X) W_2(X) C_2 R_1(X) W_1(X) R_1(Y) W_1(Y) C_1$

S4: $R_2(X) R_1(X) W_1(X) R_1(Y) W_1(Y) C_1 W_2(X) C_2$

Σειριοποιησιμότητα βάσει Συγκρούσεων

- Σειριοποιησιμότητα βάσει Συγκρούσεων:

Ένα χρονοπρόγραμμα S είναι σειριοποιήσιμο βάσει συγκρούσεων αν είναι ισοδύναμο βάσει συγκρούσεων με κάποιο σειριακό χρονοπρόγραμμα S' .

Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να αναδιατάξουμε τις μη συγκρουόμενες πράξεις στο S μέχρι να σχηματίσουμε ένα ισοδύναμο σειριακό χρονοπρόγραμμα.

Σειριοποιησιμότητα βάσει Συγκρούσεων

S1: $R_1(X) R_2(X) W_1(X) R_1(Y) W_2(X) C_2 W_1(Y) C_1$

S2: $R_2(X) R_1(X) W_1(X) R_1(Y) W_2(X) C_2 W_1(Y) C_1$

Σειριοποίησιμα;

Sα: $R_1(X) W_1(X) R_1(Y) W_1(Y) C_1 R_2(X) W_2(X) C_2$

Sβ: $R_2(X) W_2(X) C_2 R_1(X) W_1(X) R_1(Y) W_1(Y) C_1$

Ανάκαμψη από Αποτυχίες

- Όταν μια Συναλλαγή υποβάλλεται στο **ΣΔΒΔ** το σύστημα πρέπει να εξασφαλίσει ότι :
 - (α) είτε όλες οι πράξεις της θα ολοκληρωθούν είτε .
 - (β) καμία δε θα εκτελεστεί- δηλαδή δε θα έχει καμία επίδραση στη **ΒΔ** -- ακόμα και αν συμβούν αποτυχίες.
- Αυτή είναι μια σημαντική ιδιότητα που πρέπει να εξασφαλίσει το ΣΔΒΔ - Ο χρήστης πρέπει να μπορεί να θεωρεί ότι όλο το πρόγραμμα (πράξεις) εκτελούνται σε ένα βήμα είτε καμία πράξη δεν εκτελείται (ατομικότητα των Συναλλαγών)

Ανάκαμψη από Αποτυχίες

Είδη Αποτυχιών :

Δυο κατηγορίες: καταστροφή ή όχι της μόνιμης αποθήκευσης (δίσκου).

Παραδείγματα αποτυχιών:

Αστοχίες συστήματος (διακοπή ρεύματος).

Αστοχίες μέσωσων (καταστροφή δίσκου).

Ανάκαμψη από Αποτυχίες

Ερώτηση:

Πώς θα ξέρει το σύστημα κατά την επανεκκίνηση ποιες συναλλαγές πρέπει να αναιρέσει και ποιες να επανεκτελέσει;

Απάντηση:

Σε κάποια προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα — κατά κανόνα, όποτε έχει γραφεί ένας προκαθορισμένος αριθμός καταχωρίσεων στο αρχείο πεπραγμένων log— το σύστημα αυτόματα θέτει ένα σημείο ελέγχου (checkpoint).

Ανάκαμψη από Αποτυχίες

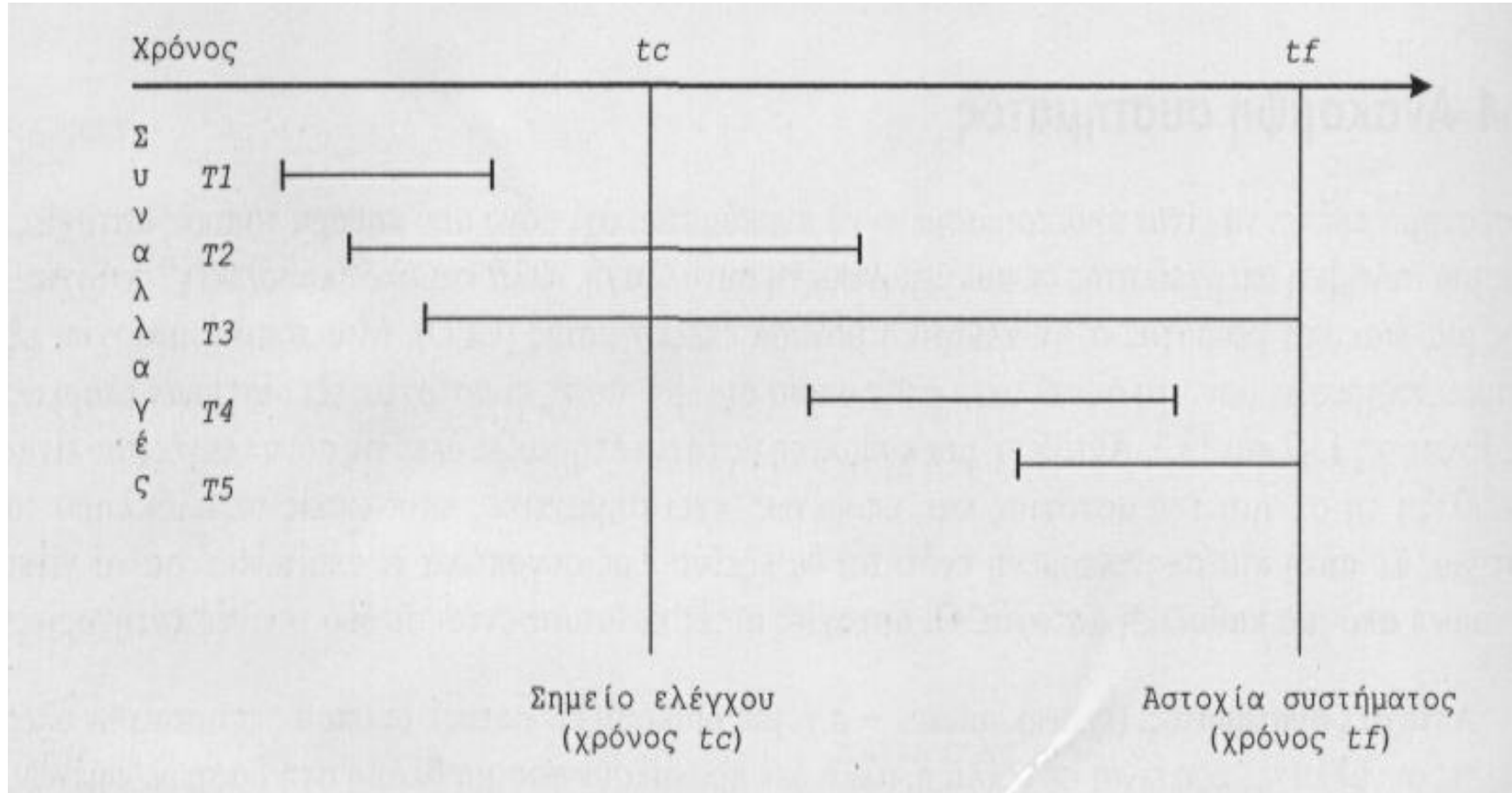
Η τοποθέτηση ενός σημείου ελέγχου σημαίνει:

(α) φυσική καταγραφή "καταναγκαστική καταγραφή" των περιεχομένων των περιοχών προσωρινής αποθήκευσης στη φυσική βάση δεδομένων, και

(β) φυσική καταγραφή μιας ειδικής εγγραφής σημείου ελέγχου (checkpoint record) στο φυσικό αρχείο πεπραγμένων.

Η εγγραφή του σημείου ελέγχου δίνει μια λίστα όλων των συναλλαγών που ήταν σε εξέλιξη τη στιγμή που τέθηκε το σημείο ελέγχου.

Ανάκαμψη από Αποτυχίες



Ανάκαμψη από Αποτυχίες

Κατά την επανεκκίνηση λοιπόν, το σύστημα πρώτα ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία, για να αναγνωρίσει όλες τις συναλλαγές των τύπων T2-T5:

- 1.** Η διαδικασία ξεκινάει με δύο λίστες συναλλαγών, τη λίστα αναιρέσεων (UNDO) και τη λίστα επανεκτελέσεων (REDO). Αρχικά, η λίστα UNDO είναι εξ ορισμού ίση με τη λίστα όλων των συναλλαγών στην πιο πρόσφατη εγγραφή σημείου ελέγχου' η λίστα REDO είναι εξ ορισμού κενή.
- 2.** Γίνεται αναζήτηση προς τα εμπρός μέσα στο αρχείο πεπραγμένων, ξεκινώντας από την εγγραφή του σημείου ελέγχου.

Ανάκαμψη από Αποτυχίες

3. Αν βρεθεί στο log μια καταχώριση BEGIN TRANSACTION για τη συναλλαγή T, προστίθεται η T στη λίστα UNDO.
4. Αν βρεθεί στο αρχείο πεπραγμένων μια καταχώριση COMMIT για τη συναλλαγή T, μεταφέρεται η T από τη λίστα UNDO στη λίστα REDO.
5. Όταν η αναζήτηση φτάσει στο τέλος του αρχείου πεπραγμένων, οι λίστες UNDO και REDO προσδιορίζουν, αντίστοιχα, τις συναλλαγές των τύπων T3 και T5 και τις συναλλαγές των τύπων T2 και T4.

Ανάκαμψη μέσω

Για την ανάκαμψη από μια τέτοια αστοχία, απαιτείται να γίνει επαναφόρτωση (ή επαναφορά - restore) της βάσης δεδομένων από ένα εφεδρικό αντίγραφο (database backup).

Έπειτα χρησιμοποιείτε το αρχείο πεπραγμένων - τόσο το ενεργό όσο και το αρχειακό μέρος του, για να επανεκτελεστούν - όλες οι συναλλαγές που ολοκληρώθηκαν μετά από τη στιγμή που πάρθηκε το εφεδρικό αντίγραφο.

Οι συναλλαγές που ήταν ακόμα σε εξέλιξη τη στιγμή της αστοχίας, έχουν "αναιρεθεί" (για την ακρίβεια, έχουν χαθεί), έτσι και αλλιώς.

Ανάκαμψη μέσω

Προκύπτει η ανάγκη να έχουμε ένα βοηθητικό πρόγραμμα :

- αποτύπωσης/επαναφοράς (**dump/restore**),
ή εκφόρτωσης/επαναφόρτωσης (**unload/reload**),
 - **εφεδρικών αντιγράφων.**
- ✓ Το μέρος αυτού του βοηθητικού προγράμματος που ασχολείται με την αποτύπωση (dump) χρησιμοποιείται για τη δημιουργία εφεδρικών αντιγράφων της βάσης δεδομένων
- ✓ Αντίγραφα μπορεί να τηρούνται σε ταινία ή σε κάποιο άλλο αρχειακό μέσο αποθήκευσης, δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται σε ένα μέσο άμεσης προσπέλασης)
- ✓ Μετά από μια αστοχία μέσου, γίνεται επαναφορά (restore) και ξανα-δημιουργείται η βάση δεδομένων από ένα καθορισμένο εφεδρικό αντίγραφο.

Επικύρωση δύο φάσεων

A.

Καταναγκαστική καταγραφή όλων των καταχωρίσεων πεπραγμένων της συναλλαγής σε μόνιμο μέσο αποθήκευσης.

ότι και αν συμβεί μετά, ο διαχειριστής πόρων θα έχει μια μόνιμη Εγγραφή της εργασίας που έκανε για λογαριασμό της συναλλαγής, και έτσι θα μπορεί να επικυρώσει τις ενημερώσεις της ή να τις ανασκευάσει, ανάλογα με την περίπτωση.

B.

Επικύρωση ή ανασκευή τη συναλλαγής τοπικά, ανάλογα με την τελική υπόδειξη (commit, rollback).