# Τεχνικές Ανάκαμψης





Ιδιότητες Δοσοληψιών

- **A**tomicity (ατομικότητα) - είτε όλες οι πράξεις είτε καμία
- **C**onsistency (συνέπεια) - διατήρηση συνέπειας της ΒΔ
- **I**solation (απομόνωση) - δεν αποκαλύπτει ενδιάμεσα αποτελέσματα
- **D**urability (μονιμότητα ή διάρκεια) - μετά την επικύρωση μιας δοσοληψίας οι αλλαγές δεν είναι δυνατόν να χαθούν





- **A**tomicity (ατομικότητα) → ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΑΜΨΕΙΣ
- **C**onsistency (συνέπεια) → ΥΠΕΥΘΥΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΗ
- **I**solation (απομόνωση) → ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΔΡΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ
- **D**urability (μονιμότητα ή διάρκεια) → ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΑΜΨΕΙΣ





Είδη Αποτυχιών

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

Παραδείγματα αποτυχιών ...





Είδη Αποτυχιών

1. Αποτυχία του υπολογιστή (system crash)
2. Σφάλμα δοσοληψίας ή συστήματος (π.χ., προγραμματιστικό λάθος)
3. Εφαρμογή ελέγχου συνδρομικότητας
4. Πρόβλημα δίσκου
5. Φυσικά προβλήματα και καταστροφές

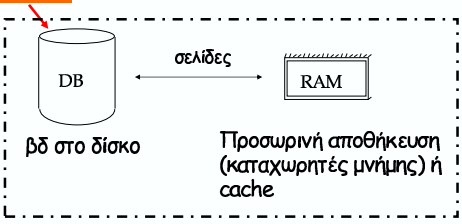
Στόχος της ανάκαμψης: επαναφορά στην πιο πρόσφατη συνεπή κατάσταση ακριβώς πριν τη στιγμή της αποτυχίας





Ημερολόγιο Συστήματος (system log)
*Πληροφορίες για κάθε δοσοληψία*

το μοντέλο του συστήματος



## Ημερολόγιο Συστήματος (Log)

- Για να είναι δυνατή η ανάκαμψη από αποτυχίες, καταχωρούνται πληροφορίες για τις πράξεις των δοσοληψιών
- Αποθηκεύονται στο δίσκο
- Τύποι πληροφορίας: έναρξη δοσοληψίας
  εγγραφή στοιχείου (παλιά, νέα τιμή)
  ανάγνωση στοιχείου
  επικύρωση/ακύρωση



## Ανάκαμψη από Αποτυχίες

Περιπτώσεις αποτυχίας

1. Καταστροφική αποτυχία (δίσκου)
   Backup + (backuped) log
2. Μη καταστροφική αποτυχία
   Χρήση μόνο του disk log



## Επιθυμητές Ιδιότητες μιας Δοσοληψίας

Ιδιότητες Δοσοληψιών

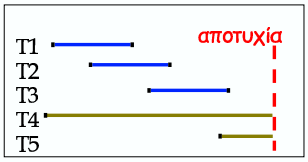
- **Atomicity** (ατομικότητα) - είτε όλες οι πράξεις είτε καμία
- **Durability** (μονιμότητα ή διάρκεια) - μετά την επικύρωση μιας δοσοληψίας οι αλλαγές δεν είναι δυνατόν να χαθούν



## Έννοιες Ανάκαμψης

- Ατομικότητα:
  - Οι δοσοληψίες μπορεί να αναιρεθούν ("Rollback").
- Διάρκεια:
  - Τι θα συμβεί αν το ΣΔΒΔ καταρρεύσει?

- Επιθυμητή συμπεριφορά μετά από μια αποτυχία:
  - T1, T2 & T3 πρέπει να έχουν διάρκεια (redo-επανάληψη)
  - T4 & T5 πρέπει να αναιρεθούν (undo-αναίρεση)






## Έννοιες Ανάκαμψης

- Ατομικότητα:
  - όχι επικυρωμένες -- undo -- αναίρεση
- Διάρκεια:
  - επικυρωμένες -- redo -- επανάληψη



## Έννοιες Ανάκαμψης

Στην πιο εύκολη περίπτωση

- όλες οι ενημερώσεις μιας δοσοληψίας γράφονται στον τοπικό χώρο εργασίας της δοσοληψίας
- η βδ ενημερώνεται *μόνον* αφού μια δοσοληψία φτάσει στο σημείο επικύρωσής της

Στην πραγματικότητα --Steal (flush) ::

- κάποιες ενημερώσεις μιας δοσοληψίας γράφονται στον δίσκο (βδ) πριν η δοσοληψία επικυρωθεί
- Γιατί; βελτίωση throughput
- Πρόβλημα: Ατομικότητα (αναίρεση (undo) στην περίπτωση που η δοσοληψία αποτύχει)



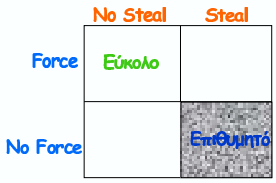


Στην πραγματικότητα -- No Force ::

- κάποιες ενημερώσεις μιας δοσοληψίας δε γράφονται στον δίσκο (βδ) ακόμα και αφού η δοσοληψία επικυρωθεί
- Γιατί; βελτίωση χρόνου απόκρισης
- Πρόβλημα: Διάρκεια (επανάληψη (redo) στην περίπτωση που το σύστημα αποτύχει)












*Κάποια ορολογία:*

όλες οι ενημερώσεις μιας δοσοληψίας γράφονται στον τοπικό χώρο εργασίας της δοσοληψίας -- η βδ ενημερώνεται *μόνον* αφού μια δοσοληψία φτάσει στο σημείο επικύρωσης της

ετεροχρονισμός των ενημερώσεων -- deferred updates

- χωρίς αναίρεση/ με επανάληψη (no undo/redo)

κάποιες ενημερώσεις μιας δοσοληψίας γράφονται στη βδ πριν μια δοσοληψία φτάσει στο σημείο επικύρωσης της

άμεση ενημέρωση -- immediate updates

- με αναίρεση/ με επανάληψη (undo/no redo)





- Κατάλογος σελίδων που είναι στη μνήμη (cache)
- Δυαδικό ψηφίο τροποποίησης (dirty bit)





- Καταχώρηση τύπου ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ (REDO)

Περιέχει την νέα τιμή (AFter IMage)

- Καταχώρηση τύπου ΑΝΑΙΡΕΣΗ (UNDO)

Περιέχει την παλιά τιμή (BeFore IMage)

## Προεγγραφή Ημερολογίου

Το πρωτόκολλο προεγγραφής ημερολογίου (Write Ahead Log)

(1) Η καταχώρηση στο log για μια εγγραφή γράφεται στο δίσκο *πριν* οι αντίστοιχες σελίδες να γραφούν στο δίσκο

(2) Πριν την επικύρωση (commit) μιας δοσοληψίας όλες οι καταχωρήσεις του log που την αφορούν γράφονται στο δίσκο

Το (1) δίνει ατομικότητα

Το (2) δίνει διάρκεια



## Προεγγραφή Ημερολογίου

Θα δούμε μια συγκεκριμένη υλοποίηση (ARIES)

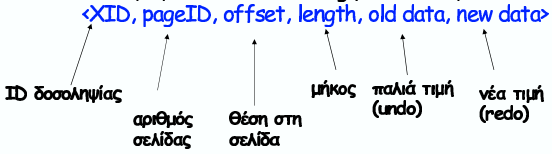


## Ημερολόγιο Συστήματος (Log)

Σειριακή εγγραφή στο log

Για κάθε εγγραφή στοιχείου, στο log μια καταχώρηση:

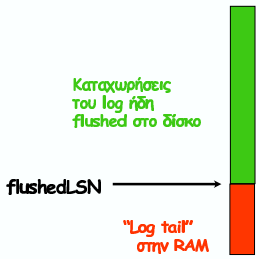
<XID, pageID, offset, length, old data, new data>






## ARIES

- Κάθε καταχώρηση στο log έχει ένα μοναδικό αριθμό Log Sequence Number (LSN).
  - LSNs πάντα αυξάνουν.
- Το log γράφεται στο δίσκο. Το σύστημα κρατά τη μεταβλητή flushedLSN: το μέγιστο LSN που γράφτηκε στο δίσκο μέχρι τώρα

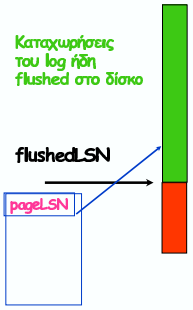





## ARIES

- Κάθε σελίδα δεδομένων περιέχει έναν pageLSN: το πιο πρόσφατο LSN για εγγραφή σε αυτή τη σελίδα
- WAL: Πριν γραφτεί μια σελίδα, pageLSN ≤ flushedLSN

*WAL(1) Η καταχώρηση στο log για μια εγγραφή γράφεται στο δίσκο πριν οι αντίστοιχες σελίδες να γραφούν στο δίσκο*






## ARIES: Καταχωρήσεις Log

**Πεδία LogRecord:**

Προηγούμενο LSN για τη δοσοληψία

- prevLSN
- XID
- type

Μόνο για εγγραφές

- pageID
- length
- offset
- before-image
- after-image

Τύποι καταχωρήσεων

- Update
- Commit
- Abort
- End
- Compensation Log Records (CLRs)
  - για πράξεις UNDO

## Πίνακας Δοσοληψιών:

- Μια εγγραφή για κάθε ενεργή δοσοληψία
- Πεδία εγγραφής:
  - **XID**,
  - **status**, (running/commited/aborted),
  - **lastLSN** (τελευταίο LSN που αφορά τη δοσοληψία).

| XID | status | lastLSN |
|---|---|---|





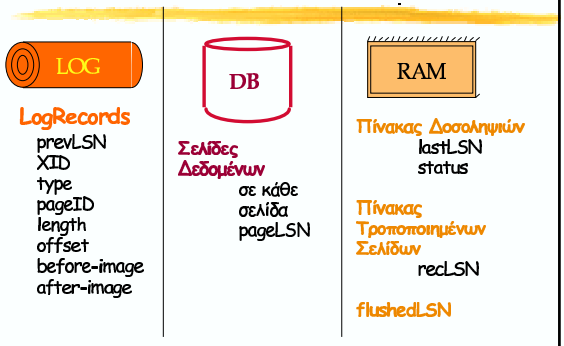
## Πίνακας Τροποποιημένων Σελίδων:

- Μια εγγραφή για κάθε τροποποιημένη σελίδα στη μνήμη.
- Πεδία εγγραφής
  - **recLSN** -- LSN της καταχώρησης του log της πρώτης αλλαγής στη σελίδα

| PID | recLSN |
|---|---|

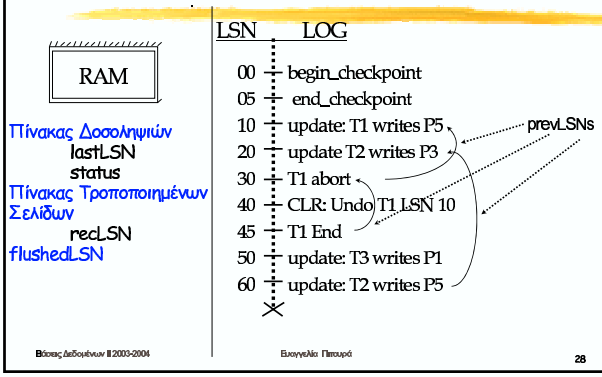















- Μια ακολουθία από reads & writes, που τελειώνουν με commit ή abort.
  - Υποθέτουμε ότι οι εγγραφές στο δίσκο είναι ατομικές
- Αυστηρό 2PL ⇒ αυστηρά χρονοπρογράμματα
- STEAL, NO-FORCE, με προεγγραφή log (Write-Ahead Logging)





1. Γράψε μια καταχώρηση τύπου **commit** στο log
2. Γράψε στο δίσκο όλες τις καταχωρήσεις του log έως το lastLSN της δοσοληψίας

   flushedLSN ≥ lastLSN (WAL)
3. Τέλος του Commit
4. Γράψε μια καταχώρηση τύπου **end** στο log

## ARIES: Ακύρωση Δοσοληψίας

• Αρχικά, ας θεωρήσουμε ότι δε συμβαίνουν αποτυχίες

ΣΤΟΧΟΣ: UNDO (αναίρεση) των εγγραφών (updates)



## ARIES: Ακύρωση Δοσοληψίας

*«Παίζουμε» το log της δοσοληψίας ανάποδα*

1. Γράφουμε στο log μια καταχώρηση τύπου **abort**
2. Παίρνουμε το **lastLSN** της δοσοληψίας από τον Πίνακα Δοσοληψιών
3. Ακολουθούμε την αλυσίδα των καταχωρήσεων στο log βάσει του πεδίου **prevLSN**



## ARIES: Ακύρωση Δοσοληψίας

• Για να το εκτελέσουμε την αναίρεση πρέπει να έχουμε *κλειδί* στα δεδομένα

• Πριν να γράψουμε την προηγούμενη τιμή σε μια σελίδα, γράφουμε στο log μια καταχώρηση τύπου **CLR**

Η καταχώρηση **CLR** έχει ένα πεδίο **undonextLSN**: επόμενο LSN προς αναίρεση

Μια καταχώρηση τύπου CLR δε χρειάζεται να αναιρεθεί (αλλά μπορεί να χρειαστεί να επαναληφθεί)

• Στο τέλος, γράψε μια καταχώρηση τύπου **end**



## ARIES: Σημεία Ελέγχου

Περιοδικά, το ΣΔΒΔ δημιουργεί ένα σημείο ελέγχου (checkpoint), με σκοπό τη μείωση του χρόνου που χρειάζεται για ανάκαμψη στην περίπτωση αποτυχίας

• Γράφει τον Πίνακα Δοσοληψιών και τον Πίνακα Τροποποιημένων Σελίδων στο log

⌘ Γράφει στο log:

μια εγγραφή **begin_checkpoint**: που δηλώνει πότε άρχισε το chkpt.

μια εγγραφή **end_checkpoint**: που δηλώνει πότε τέλειωσε το chkpt



## ARIES: Σημεία Ελέγχου

- Ασαφές (fuzzy)
  - Οι δοσοληψίες εξακολουθούν να εκτελούνται. Οι πίνακες είναι ακριβείς ως προς το begin_checkpoint
  - Δεν γράφονται τροποποιημένες σελίδες στο δίσκο

Το LSN της εγγραφής του chkpt γράφεται σε ασφαλή χώρο (**master record**)



## ARIES: Η Γενική Εικόνα

**LogRecords**
prevLSN
XID
type
pageID
length
offset
before-image
after-image

**Σελίδες Δεδομένων**
σε κάθε σελίδα
pageLSN

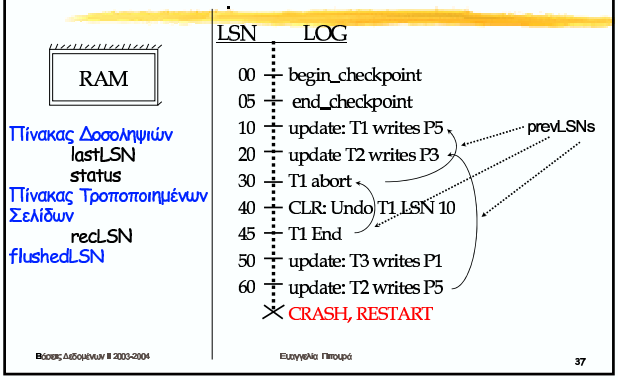
master record

**Πίνακας Δοσοληψιών**
lastLSN
status

**Πίνακας Τροποποιημένων Σελίδων**
recLSN

**flushedLSN**

## ARIES: Παράδειγμα






## ARIES: Ανάκαμψη από Αποτυχία

Τρεις Φάσεις

ΑΝΑΛΥΣΗ -- ανακατασκευή τον πινάκων του συστήματος: ποιες σελίδες είναι τροποποιημένες, ποια είναι η κατάσταση των δοσοληψιών

ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ (REDO) -- επανάληψη *όλων* των δοσοληψιών

ΑΚΥΡΩΣΗ (UNDO) -- αναίρεση των δοσοληψιών που δεν ήταν επικυρωμένες



## ARIES: Η Φάση της Ανάλυσης

ΑΝΑΛΥΣΗ -- ανακατασκευή τον πινάκων του συστήματος (ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΟΣΟΛΗΨΙΩΝ & ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΡΟΠΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΕΛΙΔΩΝ) χρησιμοποιώντας το τελευταίο *ολοκληρωμένο* checkpoint:

ποια είναι η κατάσταση των δοσοληψιών από τότε

ποιες σελίδες είναι τροποποιημένες από τότε



## ARIES: Η Φάση της Ανάλυσης

- Αρχή από το τελευταίο checkpoint
- Εύρεση του με χρήση του master record
- Βρίσκουμε το αντίστοιχο begin_chkpoint



## ARIES: Η Φάση της Ανάλυσης

Διαβάζουμε το log forward ξεκινώντας από το **begin_chkpoint.** Αν βρούμε καταχώρηση τύπου:

**end**: αφήνουμε τη δοσοληψία από τον Πίνακα Δοσοληψιών

**άλλο τύπο**: εισαγωγή δοσοληψίας (αν δεν υπάρχει ήδη)

αλλαγή **lastLSN** = **LSN**, και αλλαγή κατάστασης αν commit (αλλιώς πρέπει να αναιρεθεί)

**update** (εγγραφή):

Αν η P δεν είναι στον Πίνακα Τροποποιημένων Σελίδων

εισαγωγή του P στον πίνακα με **recLSN** = **LSN.**



## ARIES: Η Φάση της Ανάλυσης

Αποτέλεσμα οι πίνακες όπως ήταν τη στιγμή που γράψαμε το τελευταίο log στο δίσκο (τελευταία επικύρωση δοσοληψίας)

Πίνακας Δοσοληψιών: όλες οι δοσοληψίες που ήταν ενεργές τη στιγμή της αποτυχίας

Πίνακας Τροποποιημένων Σελίδων: όλες οι σελίδες που έχουν τροποποιηθεί (κάποιες μπορεί να έχουν γραφτεί ήδη στο δίσκο, μα δεν έχουμε αυτή τη πληροφορία στο log)

## ARIES: Ανάκαμψη από Αποτυχία

Τρεις Φάσεις

ΑΝΑΛΥΣΗ --

ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ (REDO) -- επανάληψη *όλων* των δοσοληψιών

ΑΚΥΡΩΣΗ (UNDO) -- αναίρεση των δοσοληψιών που δεν ήταν επικυρωμένες



## ARIES: Η Φάση της Επανάληψης

- Επαναλαμβάνουμε το log ώστε να φτάσουμε στην κατάσταση τη στιγμή της αποτυχίας
- Επαναλαμβάνουμε τις εγγραφές ακόμα και των δοσοληψιών που ακυρώθηκαν (aborted)

Προχωράμε στο log forward ξεκινώντας από το **μικρότερο recLSN** στον Πίνακα Τροποποιημένων Σελίδων

Αρχαιότερη ενημέρωση που ίσως να μην έχει γραφτεί στο δίσκο



## ARIES: Η Φάση της Επανάληψης

Για κάθε καταχώρηση τύπου **update** ή **CLR**, επανέλαβε την πράξη εκτός αν:

- η σελίδα δεν είναι στον Πίνακα Τροποποιημένων Σελίδων
- η σελίδα είναι στον Πίνακα Τροποποιημένων Σελίδων αλλά recLSN > LSN
- pageLSN (στο δίσκο) ≥ LSN

- Σημείωση: δε γνωρίζουμε ποιες σελίδες έχουν γραφτεί στο δίσκο



## ARIES: Η Φάση της Επανάληψης

Για να επαναλάβεις μια πράξη:

- επανεκτέλεση
- Θέσε pageLSN = LSN
- δε χρειάζεται log

Στο τέλος end για όσες τύπου C



## ARIES: Ανάκαμψη από Αποτυχία

Τρεις Φάσεις

ΑΝΑΛΥΣΗ --

ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ (REDO) -- επανάληψη *όλων* των δοσοληψιών

ΑΚΥΡΩΣΗ (UNDO) -- αναίρεση των δοσοληψιών που δεν ήταν επικυρωμένες



## ARIES: Η Φάση της Αναίρεσης

Κατασκευή λίστας

**ToUndo** = {lastLSN της T | T δοσοληψία προς αναίρεση}

δοσοληψίες προς αναίρεση: δοσοληψίες ενεργές κατά την αποτυχία

## ARIES: Η Φάση της Αναίρεσης

**Repeat:**
Επέλεξε το μεγαλύτερο LSN στην λίστα ToUndo.
If το LSN είναι τύπου **CLR** και undonextLSN == NULL
γράψε μια καταχώρηση τύπου end για τη δοσοληψία.
If το LSN είναι τύπου **CLR** και undonextLSN != NULL
Πρόσθεσε το undonextLSN στην λίστα ToUndo
Else if το LSN είναι τύπου **update.**
Undo το update,
Γράψε μια καταχώρηση τύπου **CLR,**
Πρόσθεσε το prevLSN στην λίστα ToUndo.
**Until ToUndo is empty.**

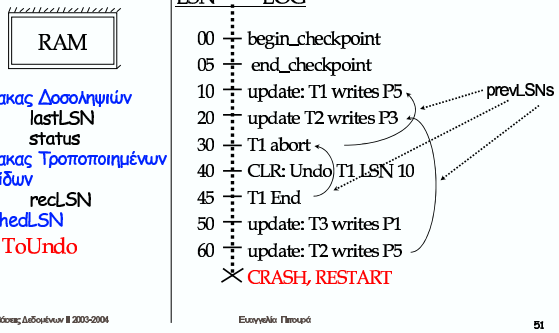


## ARIES: Ανάκαμψη από Αποτυχία

- Άρχισε από ένα σημείο ελέγχου (που βρίσκεται μέσω του **master** record).
- Τρεις Φάσεις.
  - Εύρεση ποιες δοσοληψίες μετά το σημείο ελέγχου επικυρώθηκαν, ποιες ακυρώθηκαν (ΑΝΑΛΥΣΗ).
  - REDO **όλες** τις δοσοληψίες.
    - (repeat history)
  - UNDO το αποτέλεσμα των αποτυχημένων δοσοληψιών

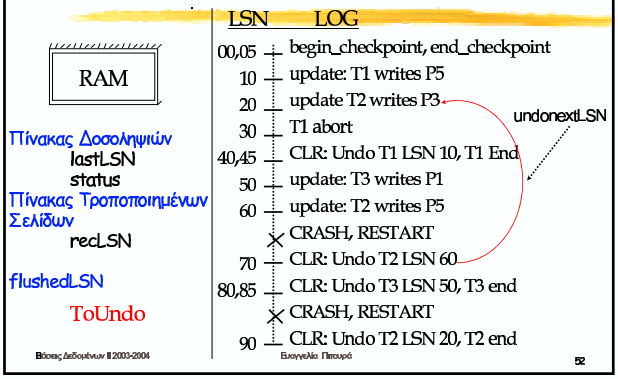


## ARIES: Παράδειγμα






## ARIES: Παράδειγμα






## Τεχνικές Ανάκαμψης

- Εφεδρικά αντίγραφα
- Σκιώδης Σελιδοποίηση