התאוששות

Crash Recovery

1

תכונות ה- ACID
The ACID Properties

- Atomicity: עסקה מתבצעת כפעולה אטומית – העסקה מתבצעת בשלמותה או בכלל לא
- Consistency: אם כל עסקה הנה עקבית (נכונה) ובתחילה המסד עקבי, אז גם בסוף המסד עקבי
- Isolation: ביצוע של עסקה מבודד מהשפעות של עסקאות אחרות
- Durability: אם עסקה מתחייבת אז ההשפעה שלה נשמרת

2

תכונות ה- ACID (המשך)
The ACID Properties

- Atomicity: עסקה
  העסקה מתבצעת
- Consistency: אם
  ובתחילה המסד ע
- Isolation: ביצוע ע
  עסקאות אחרות
- Durability: אם עס
  נשמרת

- עקביות ובידוד הנן תכונות המובטחות ע"י המנגנון לבקרת מקבילות (למשל Strict 2PL)
- אטומיות ועמידות הנן תכונות המובטחות ע"י המנגנון להתאוששות

3

הבעיות שיש להתמודד איתן

- עסקאות יכולות להתבטל (או ליפול – abort)
  - המערכת מבטלת עסקה (למשל בגלל קיפאון)
  - המשתמש מבטל את העסקה תוך כדי ריצתה
  - שגיאת חישוב (למשל חלוקה באפס)
- המחשב יכול ליפול
  - תקלת תוכנה או חומרה
  - הפסקת חשמל
  - הדיסק נהרס

4

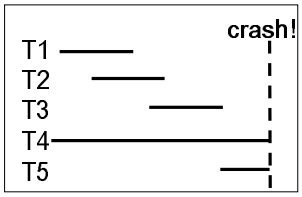
ביטול עסקה

- כאשר עסקה מתבטלת, אבל המחשב ממשיך לפעול, צריך לבטל את השינויים שהעסקה ביצעה במסד הנתונים ("Rollback")
- אם משתמשים ב- 2PL מחמיר (Strict 2PL), אז אין צורך לבטל שינויים של עסקאות אחרות (קרי, אין מפל הפלות)

5

התאוששות מנפילה

- אם יש נפילה כמתואר בציור, אז כשהמחשב חוזר לפעול, צריך לשמר את השינויים שעשו T1, T2 ו- T3, ולבטל את השינויים שעשו T4 ו- T5



6

הדיסק נהרס
Disk Crash

- אם הדיסק נהרס באופן מלא או חלקי, צריך לשחזר אותו – וזו בעיה בפני עצמה
- *אנו מניחים שכתיבה של בלוק בודד לדיסק היא אטומית – מתבצעת בשלמותה או לא מתבצעת בכלל*
  - זו הנחה נכונה כל זמן שהדיסק לא נהרס
  - אבל יתכן שאינה מתקיימת לגבי הבלוק האחרון שנכתב, אם המחשב נפל תוך כדי כתיבה זו
  - יש לשחזר את הבלוק האחרון שנכתב במקרה הצורך

אטומיות של עסקה

- עסקה כותבת לדיסק את השינויים שביצעה
- איך נדע האם העסקה התחייבה?
  - נכתוב לדיסק (במקום מתאים) שהעסקה התחייבה
  - *העסקה חייבת לכתוב לדיסק את כל השינויים שביצעה לפני שהיא כותבת לדיסק שהיא התחייבה*
- אם המחשב נפל ולא כתוב בדיסק שהעסקה התחייבה, איך נבטל את השינויים שביצעה?
  - *חייבים לכתוב את כל השינויים לדיסק פעמיים*

כתיבה מקדימה ל- LOG
Write-Ahead Log (WAL)

- הלוג (LOG) הוא מקום מיוחד בדיסק שבו עסקה רושמת את
  - כל השינויים שהיא מבצעת במסד
  - מידע חיוני נוסף, כגון העובדה שהעסקה התחייבה
- *שינויים נכתבים למסד על הדיסק רק אחרי שהם נכתבו ללוג על הדיסק*
- *עסקה חייבת לכתוב את כל השינויים שעשתה ללוג על הדיסק לפני שהיא מתחייבת*

ביצוע עסקה כפעולה אטומית

- עם סיומה, עסקה כותבת "commit" ללוג
  - כתיבה זו מצריכה, למעשה, כתיבה של בלוק אחד לדיסק ולכן מתבצעת כפעולה אטומית
- אם בלוג כתוב "commit" אז ניתן לשחזר את השינויים שהעסקה ביצעה לפי המידע בלוג
- אם בלוג לא כתוב "commit" אז ניתן לבטל את השינויים שהעסקה ביצעה לפי המידע בלוג

הכתיבה הכפולה – ללוג ואח"כ למסד – מייעלת

- הלוג נמצא על דיסק מיוחד
- הכתיבה בלוג היא סדרתית – תמיד מוסיפים רשומות חדשות לסוף הלוג
- כל המידע שיש לרשום בלוג עבור עסקה נתונה מצריך בלוק אחד או (מספר קטן של בלוקים), לפיכך:
  - הלוג מצריך, עבור כל עסקה, כתיבה של מספר קטן של בלוקים
  - הלוג מאפשר *אי-כפייה וגניבה* ולכן מייעל

מאגר חוצצים
Buffer Pool

- בלוקים (דפים) נקראים מהדיסקים לחוצצים בזיכרון הפנימי
- עסקה קוראת מהחוצצים וכותבות לחוצצים
- בעקרון, עם סיומה, העסקה צריכה לכתוב לדיסקים את הבלוקים ששינתה בחוצצים
- אבל למעשה עדיף להשאיר בלוקים אלה בזיכרון, כי אולי עסקה אחרת תזדקק להם

אי-כפיה No-Force

- לא כופים על עסקה שביצעה commit לכתוב לדיסק את הבלוקים של המסד שהיא שינתה
  - ניתן לשחזר את השינויים מהלוג (כזכור, כל השינויים נכתבים ללוג על הדיסק לפני ההתחייבות)
- עסקה יכולה לשנות מספר רב של בלוקים של המסד, אבל למעשה אין צורך לכתוב אותם לדיסק, תודות למספר הקטן של בלוקים שהעסקה חייבת לכתוב ללוג

13

מה עושים אם החוצצים מלאים?

- בחוצצים ניתן לאחסן בו-זמנית מספר מוגבל של בלוקים
- אם עסקה צריכה לקרוא מהדיסק בלוק נוסף של המסד ואין מקום בזיכרון הפנימי, אז
  - אם יש בזיכרון הפנימי בלוק של המסד שכרגע אינו נעול ע"י אף עסקה, אפשר לפנות בלוק זה, אבל תחילה יש לכתוב אותו לדיסק (כדי לשקף במסד את השינויים שבוצעו בבלוק זה)

14

גניבה Steal

- אם כל הבלוקים שבזיכרון הפנימי נעולים, אז
  - אפשר "לגנוב" מקום של בלוק שנמצא כרגע בזיכרון הפנימי, אבל תחילה צריך לכתוב אותו לדיסק, כדי לשקף את השינויים שבוצעו בו
    - ← יתכן שחלק מהשינויים בוצעו ע"י עסקאות שהתחייבו וסיימו, בעוד ששינויים אחרים בוצעו ע"י עסקאות שכרגע נועלות רשומות שנמצאות בבלוק ואולי לא יסיימו
  - בעזרת הלוג, תמיד ניתן לבטל את השינויים שבוצעו בבלוק זה ע"י עסקאות שלא יסיימו

15

הדברים שהלוג מאפשר – סיכום

- הלוג מאפשר לשחזר במסד שינויים שבוצעו ע"י עסקאות שהתחייבו
- הלוג מאפשר לבטל במסד שינויים שבוצעו ע"י עסקאות שלא התחייבו
- הלוג מאפשר אי-כפיה וגניבה ולכן מקצר את זמן התגובה של המערכת

16

מודל פשטני ללוג ולהתאוששות

- לכל רשומה בלוג יש שדה עם מספר סידורי, הקרוי LSN (Log Sequence Number)
  - הרשומות נכתבות ללוג בסדר עולה, לפי ה- LSN
- כמו כן יש שדות עבור:
  - מספר העסקה שאליה מתייחסת הרשומה
  - סוג הרשומה
  - ה- LSN הקודם עבור אותה עסקה (רשומות הלוג עבור עסקה נתונה משורשרות לאחור)
- יש שדות נוספים לפי סוג העסקה

17

סוגי רשומות בלוג

- רשומה עבור ביצוע פעולת עדכון (update)
  - מחיקה והוספה הם מקרים מיוחדים של עדכון
- רשומה עבור ביצוע commit
- רשומה עבור ביצוע abort
- רשומה המציינת שהעסקה הסתיימה (end)
- סוגים נוספים יפורטו בהמשך

18

רשומת לוג עבור עדכון

- לכל פריט A שמעדכנים, יש בלוג רשומה עם:
  - מספר סידורי (LSN)
  - מספר סידורי של הרשומה הקודמת עבור אותה עסקה
  - מספר סידורי של העסקה
  - סוג הרשומה (בשקף הנוכחי הסוג הוא עדכון)
  - ערך של הפריט A לפני העדכון (before-image)
  - ערך של A אחרי העדכון (after-image)

19

ביטול (abort) של עסקה בודדת (המערכת ממשיכה לרוץ)

- רוצים לבטל עסקה שטרם התחייבה
  - העסקה עדיין מחזיקה מנעולים על כל הפריטים ששינתה
- כותבים רשומת abort ללוג עבור העסקה
- מבצעים Undo לעסקה

20

ביצוע Undo של עסקה בודדת

- עוברים על רשומות הלוג של העסקה מהסוף להתחלה
  - לכל רשומת עדכון עבור העסקה, כותבים למסד את הערך של הפריט לפני העדכון
- בסיום המעבר על כל רשומות הלוג של העסקה, כל הפריטים ששונו ע"י העסקה חזרו לערכם המקורי
- משחררים את כל המנעולים שהעסקה החזיקה

21

התאוששות מנפילה

- כאשר המערכת נופלת, צריך לעבור על הלוג (מתחילתו) ולבצע שלושה שלבים
  - שלב האנליזה (Analysis Phase)
  - שלב העשייה מחדש (Redo Phase)
  - שלב ביטול העשייה (Undo Phase)

22

שלב האנליזה
Analysis Phase

- בשלב זה עוברים על הלוג (מתחילתו) ובודקים עבור איזה עסקאות יש בלוג רשומות commit ועבור איזה – אין
- צריך לדאוג שכל השינויים שבוצעו ע"י עסקאות שהתחייבו אומנם יכתבו על הדיסק של המסד
- צריך לבטל את כל השינויים שנכתבו על הדיסק של המסד ע"י עסקאות שלא התחייבו

23

שלב העשייה מחדש
Redo Phase

- בשלב זה מבצעים מחדש את כל העסקאות (כולל אלה שלא התחייבו)
- עוברים על הלוג מתחילתו, לפי הסדר של הרשומות
  - לכל רשומת עדכון, כותבים למסד את הערך של הפריט אחרי העדכון

24

שלב ביטול העשייה (Undo Phase)

- בשלב זה מבטלים את כל הכתיבות של עסקאות שלא התחייבו
- עוברים על הלוג מהסוף להתחלה
  - עבור כל רשומת עדכון של עסקה שלא התחייבה, רושמים למסד את הערך של הפריט לפני העדכון
- בסיום שלושת השלבים, השינויים למסד משקפים בדיוק את הכתיבות שבוצעו ע"י עסקאות שהתחייבו

25

נקודות חשובות

- אין זה משנה האם פעולות עדכון שמופיעות בלוג אומנם בוצעו בפועל על הדיסקים של המסד לפני הנפילה
  - התוצאה הסופית של שלושת השלבים תלויה רק במה שכתוב בלוג ולא במה שכתוב במסד
- פעולות עדכון שטרם נרשמו על הדיסק של הלוג (ולכן נעלמו) גם לא נרשמו על הדיסק של המסד – לכן אפשר להתעלם מהן

26

נפילה תוך כדי ביצוע התאוששות

- אם יש נפילה תוך כדי ביצוע התאוששות, אז מתחילים את תהליך ההתאוששות מחדש
- מכיוון שהתוצאה של תהליך ההתאוששות תלויה רק במה שכתוב בדיסק של הלוג (ואינה תלויה במה שכתוב בדיסק של המסד), התוצאה הסופית היא נכונה

27

נקודת ביקורת Checkpoint

- זה לא יעיל לבצע התאוששות מתחילת הלוג
- לפיכך מפעם לפעם מבצעים checkpoint
  - מפסיקים לקבל עסקאות חדשות ומסיימים את כל העסקאות שעדיין רצות
  - כותבים את כל השינויים לדיסקים של המסד
  - כותבים רשומת checkpoint ללוג
  - מתחילים שוב לקבל עסקאות לביצוע
- צריך לבצע התאוששות מה- checkpoint האחרון

28

גיבוי

- מפעם לפעם צריך לגבות את הדיסקים של המסד, כדי שניתן יהיה לשחזר את המסד במקרה של הרס הדיסקים
- רושמים ללוג שבוצע גיבוי
- אם הדיסקים נהרסו, צריך להעתיק למסד את העותק שנשמר בגיבוי ולבצע התאוששות (בעזרת הלוג) מרשומת הגיבוי האחרונה (הכי מאוחרת) שמופיעה בלוג

29

כמה הערות לגבי אלגוריתם אמיתי להתאוששות

- פריטים לוגיים לעומת פיזיים
- Fuzzy checkpoint
- Fuzzy backup
- הקטנת מספר הכתיבות לדיסקים של המסד בשלבים של redo ו- undo

30

פריטים לוגיים לעומת פיזיים

- הפריטים (שאת השינויים שלהם כותבים ללוג) יכולים להיות לוגיים, למשל רשומות
  - לכן, צריך לזהותם לפי מפתח לוגי (למשל, מספר עובד)
- מקומם הפיזי (על הדיסק) של פריטים לוגיים עשוי להשתנות כשמבצעים עדכונים על המסד
  - אי אפשר לשחזר בלוק בודד של דיסק וצריך לשחזר את הדיסק כולו (יקר לביצוע)

31

פריטים פיזיים

- לפיכך, בדר"כ שומרים בלוג שינויים שבוצעו על פריטים פיזיים
  - הכתובת (על הדיסק) של הבלוק ששונה
  - הכתובת (מרחק מראשית הבלוק) של ה- byte הראשון ששונה
  - אורך הקטע (מספר ה- bytes) ששונה
  - הערך של הקטע לפני השינוי (before-image)
  - הערך של הקטע אחרי השינוי (after-image)

32

יחד עם זאת...

- יש מקרים שבהם עדיף לשמור שינויים לפריטים לוגיים
  - למשל, שינויים באינדקס של B-tree
- הסיבה: הביטול של שינוי איננו בדיוק הפעולה ההפוכה של השינוי עצמו

33

Fuzzy Checkpoint and Fuzzy Backup

- רצוי לעשות checkpoint מבלי להפסיק את פעולתן של עסקאות
  - אפשרי, אבל מסובך יותר
- באופן דומה, לגבי גיבוי

34

הקטנת מספר הכתיבות

- בעזרת מידע פשוט ששומרים ניתן להקטין את מספר הכתיבות לדיסקים של המסד בזמן התאוששות

35

אלגוריתם ההתאוששות אריס The Aries Recovery Algorithm

- אלגוריתם ההתאוששות אריס מאפשר
  - Fuzzy checkpoint and backup
  - לשמור שינויים של פריטים פיזיים או לוגיים
  - להקטין את מספר הכתיבות לדיסקים של המסד ע"י שמירת מידע פשוט
  - קל (יחסית) להבנה ולמימוש
- האלגוריתם מתואר בפרק 20 בספר

36