ניהול תנועות

Transaction Management

1

הקדמה

2

תוכנית הפועלת על מסד נתונים

- תוכנית (אפליקציה):
  - קוראת נתונים ממסד הנתונים
  - מבצעת חישובים בזיכרון הפנימי המוקצה לה
  - כותבת נתונים חדשים למסד הנתונים
- תוכנית נכתבת כך שתהיה נכונה בהנחה ש-
  - התוכנית מסיימת את פעולתה בצורה תקינה (כלומר, בלי לעוף באמצע)
  - התוכנית פועלת לבדה

3

דוגמה: תוכנית להזמנת מקום בטיסה

- נניח שיש במסד הנתונים פריט A, ששומר את מספר המקומות הפנויים
- התוכנית קוראת את הערך של A ממסד הנתונים
  - אם הערך גדול מאפס, התוכנית מקטינה את הערך של A באחד ומודיעה שההזמנה התבצעה
  - אם הערך של A שווה לאפס, התוכנית מודיעה שאי אפשר לבצע הזמנה

4

דוגמה לסידרת הפעולות של תוכנית המבצעת הזמנה

- Read A (from the DB)
- Is A>0 ?
- A := A –1
- Write A (into the DB)
- Print “Reservation made”

- בצד שמאל מופיעות הפעולות של התוכנית שהתבצעו למעשה
- מכיוון שתוצאת הבדיקה הייתה ש- A גדול מאפס, התבצעו הפעולות של הקטנת ערכו של A והדפסת הודעה על ביצוע הזמנה

5

זוהי סידרת הפעולות המתבצעות כשאין מקום פנוי

- Read A (from the DB)
- Is A>0 ?
- Print “No available seat”

- כשאין מקום פנוי (קרי, ערכו של A הוא אפס), אז אין צורך לשנות את הערך של A במסד

6

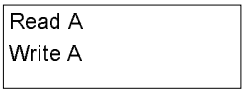
פעולות מול מסד הנתונים לעומת פעולות בזיכרון הפנימי של התוכנית

- Read A
- Is A>0 ?
- A := A –1
- Write A
- Print “Reservation made”

- פעולות ה- Read וה- Write מתבצעות מול המסד
- שאר הפעולות מתבצעות בזיכרון הפרטי של התוכנית

7

ההפשטה (אבסטרקציה) של התוכנית כוללת רק פעולות מול מסד הנתונים



- זוהי ההפשטה כשמתבצעת הזמנה

- זוהי ההפשטה כשאין מקום פנוי

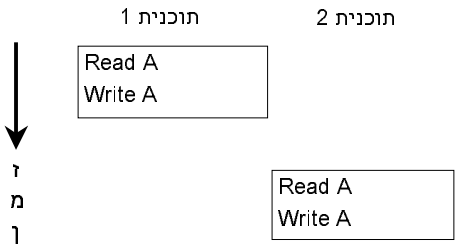
8

ביצוע סידרתי לעומת ביצוע מקבילי

- למעשה יש תוכניות רבות שרצות בו זמנית מאתרים שונים ומנסות לבצע הזמנות
- ביצוע סדרתי פירושו שהתוכניות רצות אחת אחרי השניה – כל פעם מתבצעת תוכנית אחת בלבד מתחילתה ועד סופה
- ביצוע מקבילי פירושו שהתוכניות משולבות זו בזו, כלומר בכל נקודת זמן מתבצעת פעולה בודדת של אחת התוכניות

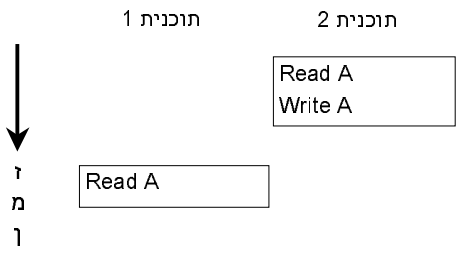
9

ביצוע סידרתי של שתי תוכניות להזמנת מקום



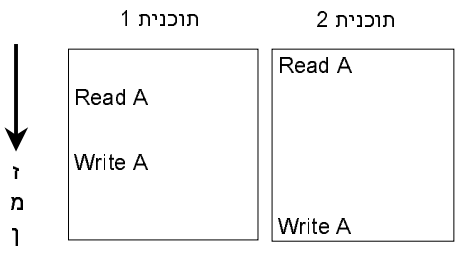
10

אפשרות נוספת של ביצוע סידרתי של שתי תוכניות להזמנת מקום



11

ביצוע מקבילי של שתי תוכניות להזמנת מקום



12

ביצוע של מספר תוכניות במקביל

13

יתרונות של ביצוע מקבילי

- סיבות לביצוע מספר תוכניות במקביל:
  - אין סיבה להתעכב בגלל שתוכנית אחת מתעכבת (למשל, תוכנית מחכה לקלט מהמשתמש)
  - ניצול מקסימלי של משאבי המחשוב, במטרה לסיים את ביצוע התוכניות מהר ככל האפשר
    - ← משיכת כסף מבנקומט – מי רוצה לחכות?

14

הבעיה שמעורר ביצוע מקבילי

- תוכנית המתבצעת ע"י מערכת מסד נתונים אינה מודעת לכך שהיא מתבצעת במקביל לתוכניות אחרות
  - התוכנית נכתבה בהנחה שהיא מתבצעת לבדה
- מערכת מסד הנתונים חייבת לוודא שהביצוע המקבילי אינו גורם לשגיאות

15

דוגמה: העברת כסף משני חשבונות לחשבון שלישי

- חשבונות בנק A, B, C
- נעביר:
  - 100 ₪ מ- A ל- B
  - 100 ₪ מ- C ל- B
- מדובר למעשה בשתי תוכניות שמתבצעות במקביל (ראה דוגמה של ביצוע בשקף הבא)
  - הביצוע בדוגמה אינו נכון, כי בסיום מוסיפים 100 ₪ ל- B רק פעם אחת

למען הבהירות, הדוגמה בשקף הבא אינה הפשטה, אלא כוללת את כל הפעולות המתבצעות

16

ערכים התחלתיים במסד: A=900, B=500, C=100

Read(A)		A=900	
A:=A-100		A=800	
	Read(C)		C=100
Write(A)		A=800	
	C:=C-100		C=0
Read(B)		B=500	
	Write(C)		C=0
B:=B+100		B=600	
	Read(B)		B=500
	B:=B+100		B=600
	Write(B)		B=600
Write(B)		B=600	

ערכים מודגשים בקו נכתבים למסד

17

האם כל ביצוע מקבילי שגוי?

- כמובן שלא
- השקף הבא מראה ביצוע מקבילי של שתי התוכניות שרושם למסד את הנתונים הנכונים

18

ערכים התחלתיים במסד: A=900, B=500, C=100

Read(A)		A=900	
A:=A-100		A=800	
	Read(C)		C=100
Write(A)		A=800	
	C:=C-100		C=0
Read(B)		B=500	
	Write(C)		C=0
B:=B+100		B=600	
Write(B)		B=600	
	Read(B)		B=600
	B:=B+100		B=700
	Write(B)		B=700

ערכים מודגשים בקו נכתבים למסד

19

מתי ביצוע מקבילי הוא נכון?

- אם הוא שקול לביצוע סידרתי
- שימו לב שמספיק שהביצוע המקבילי יהיה שקול לביצוע סדרתי אחד
- בדוגמה שנתנו, לכל הביצועים הסדרתיים אותה תוצאה, לכן
  - אם ביצוע מקבילי שקול לביצוע סדרתי אחד, אז הוא שקול לכל הביצועים הסדרתיים
- אבל לא תמיד הדבר כך (דוגמה בשקף הבא)

20

נחזור לדוגמה של הזמנת מקום

- כשנשאר רק מקום אחד ורצות שתי תוכניות שמנסות לבצע הזמנה, אז התוכנית שרצה ראשונה תזכה במקום האחרון שנותר
- מבחינתנו אין זה משנה איזה תוכנית רצה ראשונה – שתי האפשרויות נכונות כל עוד שתי התוכניות רצות באופן סדרתי
- כאמור, ביצוע מקבילי הנו נכון אם הוא שקול לאחד הביצועים הסדרתיים

21

הגדרת המודל והמושגים הפורמליים

22

המודל

- כיצד נבדוק האם ביצוע מקבילי הנו נכון?
  - התשובה עשויה להיות תלויה בחישוב המדויק שכל תוכנית מבצעת
- מסובך מדי (למעשה בלתי אפשרי) לנתח את החישוב המדויק שמבצעת כל תוכנית
- לכן, מתייחסים רק להפשטה של התוכניות, כלומר מתייחסים רק לדברים הבאים:
  - פעולות הקריאה מהמסד והכתיבה לתוך המסד
  - הסדר, על ציר הזמן, שבו מתבצעות פעולות אלה

23

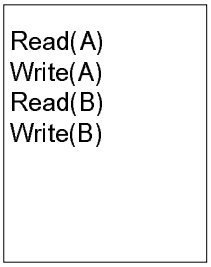
צד ימין הוא ההפשטה (אבסטרקציה) של הביצוע

Read(A)	Read(A)
A:=A-100	
Read(C)	Read(C)
Write(A)	Write(A)
C:=C-100	
Read(B)	Read(B)
Write(C)	Write(C)
B:=B+100	
Read(B)	Read(B)
B:=B+100	
Write(B)	Write(B)
Write(B)	Write(B)

24

תנועה Transaction

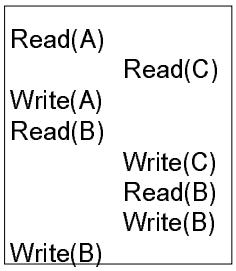
- תנועה (טרנסקציה) היא סדרה של פעולות קריאה וכתיבה שמתבצעות על *פריטים* (items) מהמסד
- תנועה היא הפשטה של תוכנית
- הפריטים יכולים להיות רשומות, שדות של רשומות, בלוקים וכד'



25

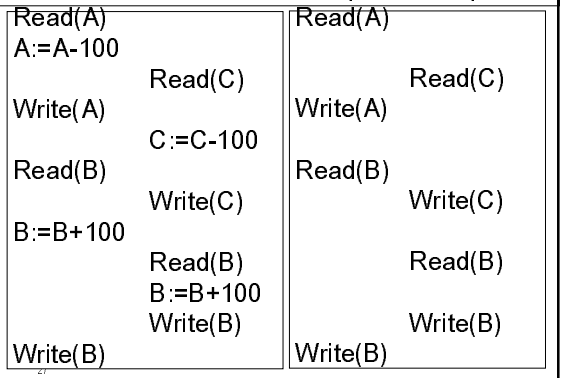
תזמון Schedule

- תזמון הוא ביצוע של מספר תנועות במקביל
- בכל נקודת זמן מתבצעת פעולה אחת בלבד
- פעולת קריאה/כתיבה מתבצעת בצורה אטומית
- התזמון מייצג את הסדר על ציר הזמן (הציר האנכי) בו מתבצעות הפעולות



26

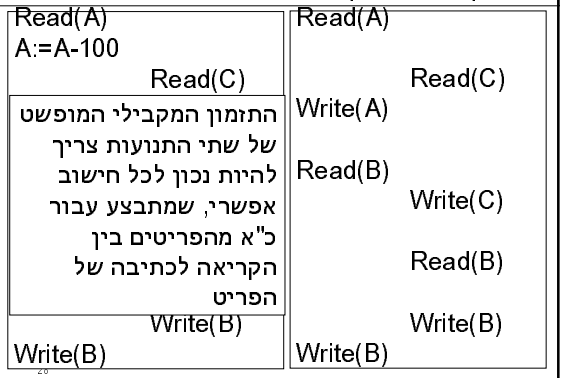
צד ימין הוא התזמון המופשט עבור הביצוע בצד שמאל



27

צד ימין הוא התזמון המופשט עבור הביצוע בצד שמאל

התזמון המקבילי המופשט של שתי התנועות צריך להיות נכון לכל חישוב אפשרי, שמתבצע עבור כ"א מהפריטים בין הקריאה לכתיבה של הפריט



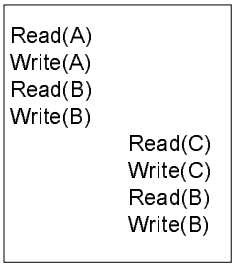
28

שקילות של תזמונים

30

תזמון סדרתי
Serial Schedule

- תזמון סדרתי הוא תזמון שבו התנועות מתבצעות זו אחר זו באופן סדרתי
- כל תזמון סדרתי הוא נכון



29

תזמונים שקולים
Equivalent Schedules

- שני תזמונים הנם *שקולים* אם
  - הם מורכבים מאותן תנועות
  - לשני התזמונים אותה השפעה על המסד, כלומר למסד יש אותם ערכים עם סיומו של כ"א מהתזמונים
  - שני התזמונים מייצרים אותו פלט למשתמש, כלומר מציגים בפני המשתמש אותם ערכים לכל פריט שהם קוראים
- בהמשך ניתן הגדרה יותר פורמלית

31

תזמון בר-סדרתיות
Serializable Schedule

- תזמון הנו *בר-סדרתיות* אם הוא שקול לתזמון סדרתי כלשהו
- תזמון בר-סדרתיות הוא תזמון נכון
- צריך דרך לקבוע שתזמון הוא בר-סדרתיות מבלי לדעת מהם החישובים שמתבצעים
- כלומר, לכל חישוב אפשרי, התזמון צריך להיות שקול לתזמון סידרתי

32

תזמון בר-סדרתיות והתזמון הסדרתי השקול לו

Read(A)	
	Read(C)
Write(A)	
Read(B)	
	Write(C)
Write(B)	
	Read(B)
	Write(B)

Read(A)	
Write(A)	
Read(B)	
Write(B)	
	Read(C)
	Write(C)
	Read(B)
	Write(B)

33

תזמון שאינו בר-סדרתיות

- אין תזמון סדרתי שקול
- שתי התנועות קוראות עבור B את הערך המקורי שנמצא במסד לפני שהן מתחילות לפעול – דבר בלתי אפשרי בתזמון סדרתי

Read(A)	
	Read(C)
Write(A)	
Read(B)	
	Write(C)
	Read(B)
Write(B)	
	Write(B)

34

עוד תזמון בר-סדרתיות והתזמון הסדרתי השקול לו

T_1	T_2
	Read(C)
	Write(C)
Read(A)	
Write(A)	
Read(B)	
Write(B)	
	Read(B)
	Write(B)

T_1	T_2
Read(A)	
Write(A)	
Read(B)	
Write(B)	
	Read(C)
	Write(C)
	Read(B)
	Write(B)

35

בדוגמה מהשקף הקודם

- התזמון המקורי שקול לתזמון הסדרתי למרות
  - שבתזמון המקורי T_2 קוראת וכותבת את C לפני ש- T_1 קוראת וכותבת את A
  - ובתזמון הסדרתי T_2 קוראת וכותבת את C אחרי ש- T_1 קוראת וכותבת את A
- אבל בשני התזמונים
  - T_1 קוראת וכותבת את B לפני ש- T_2 קוראת וכותבת את B

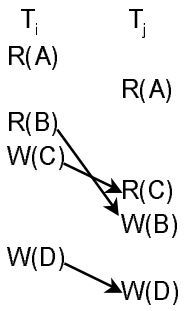
36

קונפליקטים בין תנועות

37

קונפליקטים בין תנועות

- בין שתי פעולות של תנועות שונות על אותו פריט קיים קונפליקט, אלא אם מדובר בשתי פעולות קריאה
- בדוגמה מימין יש 3 קונפליקטים



38

הרעיון הבסיסי

- קונפליקט קובע סדר בין שתי פעולות
- הסדר הזה חייב להישמר בכל תזמון שקול
  - "חייב להישמר" זה לא לגמרי מדויק
  - ליתר דיוק, הסדר הזה חייב להישמר אם אין *כתיבות עיוורות* (blind writes)
    - הנושא של כתיבות עיוורות יוסבר מאוחר יותר
    - עקרונית, כתיבה עיוורת פירושה כתיבה שלא מתחשבת בערך הקודם, למשל כותבים אפס ללא קשר מה היה הערך הקודם של הפריט

39

קונפליקט בין כתיבה לקריאה

T_i	T_j
W(C)	
	R(C)

- אם T_j קוראת ערך של פריט C, שנכתב ע"י T_i, אז
  - בכל תזמון שקול חייב להתקיים ש- T_i מבצעת W(C) לפני ש- T_j מבצעת R(C)

הסבר: תמיד אפשר למצוא חישוב של T_i שנותן ל- C ערך ייחודי, שאינו יכול להינתן ע"י אף תנועה אחרת

40

הסבר יותר מפורט

- בכל תזמון שקול פעולת ה- R(C) של T_j חייבת לקרוא אותו ערך כמו בתזמון המקורי
- לכן, פעולה זו חייבת להתבצע אחרי פעולת ה- W(C) של T_i
  - אחרת T_j לא תקרא את הערך הנכון, כי רק T_i יודעת לחשב אותו (כלומר, תמיד אפשר למצוא חישוב שפציפי שרק T_i ואף לא עסקה אחרת יודעת לבצע)

41

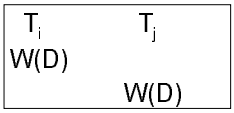
המסקנה מקונפליקט בין כתיבה לקריאה

T_i	T_j
W(C)	
	R(C)

- אם T_j קוראת ערך של פריט C, שנכתב ע"י T_i, אז
  - בכל תזמון שקול חייב להתקיים ש- T_i מבצעת W(C) לפני ש- T_j מבצעת R(C)
- מסקנה: בכל תזמון סדרתי שקול T_i מופיעה לפני T_j

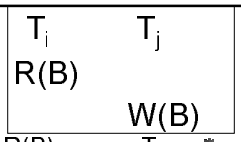
42

קונפליקט בין כתיבה לכתיבה



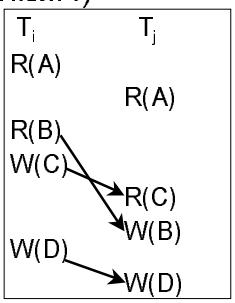
- נניח ש- T_i מבצעת W(D) לפני ש- T_j מבצעת W(D)
  - האם T_i חייבת להופיע לפני T_j בכל תזמון שקול?
- רק אם הכתיבה של T_j אינה *עיוורת*, כלומר
  - הערך ש- T_j כותבת תלוי בערך ש- T_i כתבה קודם לכן
- מסקנה: בכל תזמון סדרתי שקול T_i מופיעה לפני T_j אם הכתיבה אינה עיוורת

קונפליקט בין קריאה לכתיבה



- אם T_i מבצעת R(B) לפני ש- T_j מבצעת W(B), אז הערך ש- T_i קוראת אינו תלוי בערך ש- T_j כותבת
  - בכל תזמון שקול חייב להתקיים ש- T_i מבצעת R(B) לפני ש- T_j מבצעת W(B) (בהנחה שאין כתיבות עיוורות)
- מסקנה: בכל תזמון סדרתי שקול T_i מופיעה לפני T_j (אם אין כתיבות עיוורות)

קונפליקטים בין תנועות (דוגמה קודמת)



- בדוגמה מימין יש 3 קונפליקטים, ולפי כל אחד מהם T_i חייבת להופיע לפני T_j בכל תזמון שקול
- לכן, התזמון הסדרתי שבו T_i מתבצעת ראשונה ו- T_j שניה הנו שקול לתזמון הנתון (אם אין תנועות נוספות)

שקילות קונפליקטים

הגדרה של שקילות קונפליקטים Conflict Equivalence

- שני תזמונים הנם *שקולי קונפליקטים* אם
  - הם מורכבים מאותן תנועות
  - כל צמד של פעולות שיש ביניהן קונפליקט מופיע בשני התזמונים באותו סדר
- *הערה:* הקונפליקטים הם
  - קריאה ולאחריה כתיבה על אותו פריט
  - כתיבה ולאחריה קריאה על אותו פריט
  - כתיבה ולאחריה כתיבה נוספת על אותו פריט

תזמון בר-סדרתיות קונפליקטית Conflict Serializable Schedule

- תזמון S_1 הנו *בר-סדרתיות קונפליקטית* אם קיים תזמון סדרתי S_2 כך ששני התזמונים הנם שקולי קונפליקטים

גרף הקדימויות
Precedence Graph

- גרף הקדימויות עבור תזמון נתון מכיל
  - צומת לכל תנועה
  - צלע מכוונת מ- T_i ל- T_j אם יש קונפליקט בין T_i לבין T_j שקובע ש- T_i צריכה להופיע לפני T_j
- *משפט:* תזמון הנו בר-סדרתיות קונפליקטית אם ורק אם גרף הקדימויות שלו הנו חסר מעגלים

הוכחת המשפט

- אם אין מעגל, נבצע מיון טופולוגי
- תזמון סדרתי, שבו העסקאות מבוצעות בזו אחר זו לפי הסדר של המיון הטופולוגי, שקול (לפי ההגדרה של שקילות קונפליקטים) לתזמון המקורי
  - כי הסדר בין כל הקונפליקטים נשמר בשני התזמונים
- כדי להוכיח את הכיוון ההפוך נניח שיש מעגל

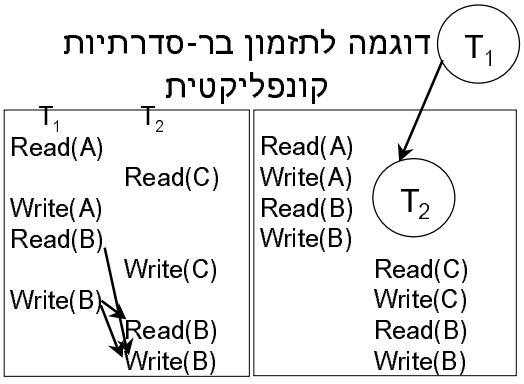
אם יש מסלול $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3 \rightarrow T_4$ אז נובע ש-

- T_1 חייבת להופיע לפני T_2 בכל תזמון סדרתי שהוא שקול קונפליקטים לתזמון המקורי
- T_2 חייבת להופיע לפני T_3 בכל תזמון סדרתי שהוא שקול קונפליקטים לתזמון המקורי
- T_3 חייבת להופיע לפני T_4 בכל תזמון סדרתי שהוא שקול קונפליקטים לתזמון המקורי
- ובאופן טרנזיטיבי:
  - T_1 חייבת להופיע לפני T_4 בכל תזמון סדרתי שהוא שקול קונפליקטים לתזמון המקורי

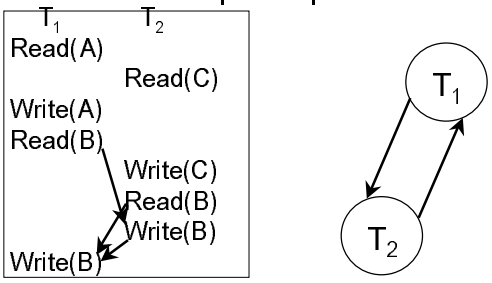
לפיכך, אם יש מעגל $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3 \rightarrow T_4 \rightarrow T_1$ אז נובע ש-

- T_1 חייבת להופיע לפני T_1 בכל תזמון סדרתי שהוא שקול קונפליקטים לתזמון המקורי
- מכיוון שהדבר בלתי אפשרי, נובע שאין תזמון סדרתי שהוא שקול קונפליקטים לתזמון המקורי
- מ.ש.ל.

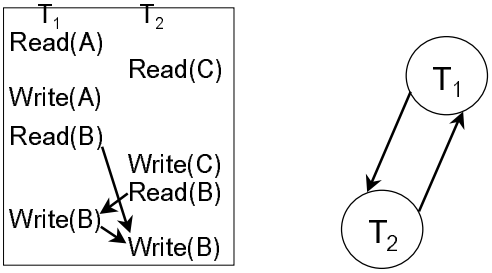
דוגמה לתזמון בר-סדרתיות קונפליקטית



דוגמה לתזמון שאינו בר-סדרתיות קונפליקטית



עוד דוגמה לתזמון שאינו בר-סדרתיות קונפליקטית



55

התאוששות מנפילות

זוהי רק הקדמה קצרה ואינטואיטיבית
של המושגים הבסיסיים

56

דוגמה: העברת כסף מחשבון לחשבון

- חשבונות בנק A, B
- נעביר 100 ₪ מ- A ל- B
- התוכנית: A:=A-100
  B:=B+100
- התוכנית נכונה, אבל מה קורה אם המחשב נופל אחרי ביצוע הפקודה הראשונה?
  - הורדנו כסף מ- A ולא הוספנו ל- B
  - התוכנית הסתיימה בצורה שגויה

57

ביצוע אטומי של תוכנית

- תוכנית הפועלת על מסד נתונים צריכה להתבצע באופן *אטומי*, כלומר
  - התוכנית מתבצעת בשלמותה, או
  - שאינה מתבצעת כלל
- תוכנית *מתחייבת* (מבצעת *commit*) לאחר שביצעה את כל פעולותיה
  - אם התוכנית התחייבה, אז כל פעולותיה נשמרות
  - אחרת, שום פעולה שביצעה לא נשמרת במסד

58

מנגנון התאוששות (Recovery)

- לכל מערכת מסד נתונים מנגנון התאוששות שאחראי על הדברים הבאים:
  - לבטל את כל הפעולות של התוכנית אם היא נפלה (abort) לפני שביצעה commit
  - לוודא שכל הפעולות של התוכנית נשמרות במסד אם התוכנית ביצעה commit
- מאוחר יותר נסביר איך פועל מנגנון ההתאוששות

59