

Kapitel 10

Mehrbenutzersynchronisation

Mehrbenutzersynchronisation

- Alle TAs strikt seriell (also nacheinander) auszuführen ist sicher, aber langsam
- Oft werden Systemressourcen nicht voll ausgenutzt, da eine TA auf Plattenzugriff oder Benutzereingabe wartet
- Diese TA blockiert dann alle anderen TAs
- Um Systemressourcen auszunutzen bietet sich Nebenläufigkeit an

Mehrbenutzersynchronisation(2)

- Nicht abgesicherte Nebenläufigkeit kann aber zu folgenden Problemen führen:
 - ▶ lost update
 - ▶ dirty read
 - ▶ non-repeatable read
 - ▶ phantom problem

Lost Update

T_1	T_2
bot	
$r_1(x)$	
\leftrightarrow	bot
	$r_2(x)$
$w_1(x)$	\leftrightarrow
\leftrightarrow	$w_2(x)$
commit	\leftrightarrow
\leftrightarrow	commit

Das Ergebnis der Transaktion T_1 ist verlorengegangen!

Dirty Read

T_1	T_2
bot	
\hookrightarrow	bot
	$r_2(x)$
	$w_2(x)$
$r_1(x)$	\leftarrow
$w_1(y)$	
commit	
\hookrightarrow	abort

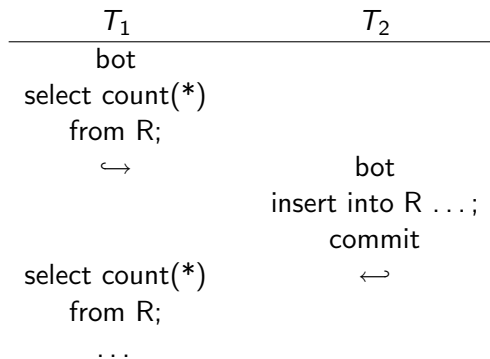
T_1 liest einen Wert für x der so nicht gültig ist!

Non-Repeatable Read

T_1	T_2
bot	
$r_1(x)$	
\hookrightarrow	bot
	$w_2(x)$
	commit
$r_1(x)$	\leftarrow
...	

T_1 liest x zweimal mit verschiedenem Ergebnis!

Phantom Problem



T_1 findet ein weiteres Tupel beim Abarbeiten der zweiten Anfrage!

Vermeidung der Probleme

- Im Idealfall sollten alle diese Probleme vermieden werden
- Man muß dabei allerdings einen Kompromiß zwischen Performanz und Genauigkeit schließen
- Je mehr Sicherheit, desto langsamer wird die Ausführung
- Über die *Isolation Levels* kann man DBMS mitteilen, welche Sicherheit erwünscht ist

Transaktionen und SQL

- Festsetzen von Eigenschaften einer TA:

set transaction *Stufe, Zugriffsmodus*

- Folgende Stufen für den Isolation Level sind möglich:
 - ▶ read uncommitted
 - ▶ read committed
 - ▶ repeatable read
 - ▶ serializable
- Mögliche Zugriffsmodi:
 - ▶ read only
 - ▶ read write

Transaktionen und SQL(2)

	lost update	dirty read	nonrep. read	phant. probl.
read uncommit.	✓			
read committed	✓	✓		
repeat. read	✓	✓	✓	
serializable	✓	✓	✓	✓

Transaktionen und SQL(3)

- “read only” sagt dem DBMS, daß eine TA nur Leseoperationen enthält
- Das hat Auswirkungen auf die Performanz
- Nebenläufiges Ausführen von TAs die nur lesen ist unkritisch, d.h. beliebig vieler solcher TAs können völlig uneingeschränkt parallel laufen
- Erst wenn eine TA dazukommt, die auch schreibt müssen Vorkehrungen getroffen werden

Transaktionen und SQL(4)

- Befehl zum Markieren eines Transaktionsbeginns

start transaction;

- Befehl zur erfolgreichen Beendigung

commit [work];

- Befehl zum Abbruch

rollback [work];

Was macht ein DBMS?

- Um Lösungsansätze besser verstehen zu können, wird das Problem zunächst etwas formaler betrachtet
- Danach werden Lösungen vorgestellt, die in DBMS eingesetzt werden

Formale Definition einer TA

- Operationen einer TA T_i
 - ▶ $r_i(A)$: Lesen des Datenobjekts A
 - ▶ $w_i(A)$: Schreiben des Datenobjekts A
 - ▶ a_i : Abbruch
 - ▶ c_i : erfolgreiche Beendigung

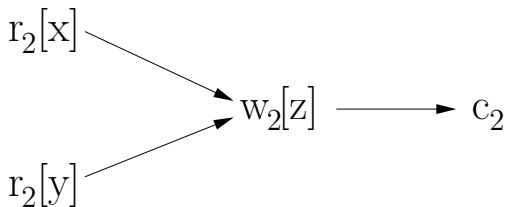
- ▶ bot : begin of transaction (implizit)

Formale Definition einer TA(2)

- Eine TA T_i ist eine partielle Ordnung von Operationen mit der Ordnungsrelation $<_i$ so daß:
 - ▶ $T_i \subseteq \{r_i[x], w_i[x] \mid x \text{ ist ein Datenobjekt}\} \cup \{a_i, c_i\}$
 - ▶ $a_i \in T_i$, gdw. $c_i \notin T_i$
 - ▶ Sei t gleich a_i oder c_i , dann gilt für jede andere Operation p_i : $p_i <_i t_i$
 - ▶ Falls $r_i[x]$ und $w_i[x] \in T_i$, dann gilt entweder $r_i[x] <_i w_i[x]$ oder $w_i[x] <_i r_i[x]$

Darstellung

- Transaktionen werden oft als gerichtete azyklische Graphen (DAGs) dargestellt:



- $r_2[x] <_2 w_2[z]$, $w_2[z] <_2 c_2$, $r_2[x] <_2 c_2$, $r_2[y] <_2 w_2[z]$, $r_2[y] <_2 c_2$
- Transitive Beziehungen sind im Graph implizit enthalten

Historien (Schedules)

- Mehrere TAs können nebenläufig ausgeführt werden
- Dies wird durch eine *Historie* (Schedule) beschrieben
- Eine Historie gibt an, wie Operationen aus verschiedenen TAs relativ zueinander ausgeführt werden
- Da verschiedene Operationen parallel ausgeführt werden können, ist eine Historie eine partielle Ordnung
-

Konfliktoperationen

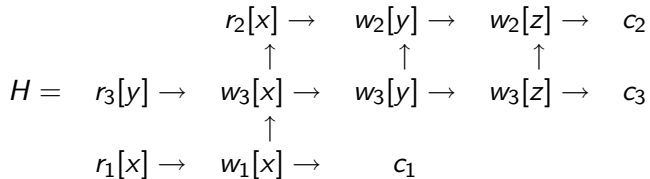
- Operationen die in Konflikt miteinander stehen dürfen nicht parallel ausgeführt werden
- Zwei Operationen stehen in Konflikt miteinander, wenn beide auf dem gleichen Datenobjekt arbeiten und mindestens eine davon eine Schreiboperation ist

	T_i	
T_j	$r_i[x]$	$w_i[x]$
$r_j[x]$		\neg
$w_j[x]$	\neg	\neg

Definition von Historien

- Sei $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ eine Menge von Transaktionen
- Eine Historie H über T ist eine partielle Ordnung mit der Ordnungsrelation $<_H$, so daß
 - ▶ $H = \bigcup_{i=1}^n T_i$
 - ▶ $<_H \supseteq \bigcup_{i=1}^n <_i$
 - ▶ Für zwei beliebige Operationen $p, q \in H$ die in Konflikt miteinander stehen gilt: entweder $p <_H q$ oder $q <_H p$

Beispiel einer Historie



(Konflikt-)Äquivalenz

- Zwei Historien H und H' sind (*konflikt-äquivalent*) ($H \equiv H'$), wenn:
 - ▶ Sie enthalten die gleichen Mengen von TAs (samt allen dazugehörigen Operationen)
 - ▶ Sie ordnen die Konfliktoperationen der nicht abgebrochenen TAs in der gleichen Art und Weise an
- Die Idee dabei ist, das berechnete Endergebnis nicht zu verändern

Beispiel

$$\begin{aligned} & r_1[x] \rightarrow w_1[y] \rightarrow r_2[z] \rightarrow c_1 \rightarrow w_2[y] \rightarrow c_2 \\ \equiv & r_1[x] \rightarrow r_2[z] \rightarrow w_1[y] \rightarrow c_1 \rightarrow w_2[y] \rightarrow c_2 \\ \equiv & r_2[z] \rightarrow r_1[x] \rightarrow w_1[y] \rightarrow w_2[y] \rightarrow c_2 \rightarrow c_1 \\ \neq & r_2[z] \rightarrow r_1[x] \rightarrow w_2[y] \rightarrow w_1[y] \rightarrow c_2 \rightarrow c_1 \end{aligned}$$

Serialisierbarkeit

- Da serielle Historien sicher sind, ist es wünschenswert Historien mit ähnlichen Eigenschaften zu haben
- Insbesondere möchte man eine Historie haben die äquivalent zu einer seriellen Historie ist
- Eine solche Historie nennt man *serialisierbar*

Serialisierbarkeit(2)

- Präzise Definition:
 - ▶ Die *abgeschlossene Projektion* $C(H)$ einer Historie H enthält nur die erfolgreich abgeschlossenen TAs
 - ▶ Eine Historie H ist serialisierbar, wenn $C(H)$ äquivalent zu einer seriellen Historie H_s ist

Serialisierbarkeitstheorem

- Wie überprüft man die Serialisierbarkeit?
- Eine Historie ist genau dann serialisierbar, wenn ihr *Serialisierbarkeitsgraph* $SG(H)$ azyklisch ist

Serialisierbarkeitsgraph

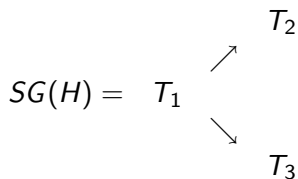
- Der Serialisierbarkeitsgraph $SG(H)$ einer Historie $H = \{T_1, \dots, T_n\}$ ist ein gerichteter Graph mit folgenden Eigenschaften:
 - ▶ Die Knoten sind die erfolgreich abgeschlossenen TAs aus H
 - ▶ Eine Kante zwischen zwei TAs T_i und T_j wird eingetragen, wenn es zwei Konfliktoperationen p_i und q_j gibt und $p_i <_H q_j$

Beispiel

- Historie H

$H = w_1[x] \rightarrow w_1[y] \rightarrow c_1 \rightarrow r_2[x] \rightarrow r_3[y] \rightarrow w_2[x] \rightarrow c_2 \rightarrow w_3[y] \rightarrow c_3$

- $SG(H)$



Beispiel(2)

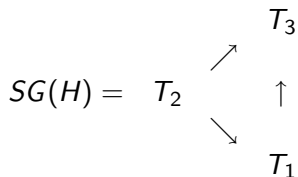
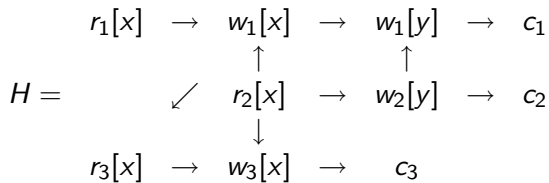
- H ist serialisierbar
- Mögliche Ordnungen

$$H_s^1 = T_1 \mid T_2 \mid T_3$$

$$H_s^2 = T_1 \mid T_3 \mid T_2$$

$$H \equiv H_s^1 \equiv H_s^2$$

Beispiel(3)



Beispiel(4)

- H ist serialisierbar
- Mögliche Ordnung

$$H_s^1 = T_2 \mid T_1 \mid T_3$$
$$H \equiv H_s^1$$

Beispiel(5)

$$H = \begin{array}{ccccc} w_1[x] & \rightarrow & w_1[y] & \rightarrow & c_1 \\ \uparrow & & \downarrow & & \\ r_2[x] & \rightarrow & w_2[y] & \rightarrow & c_2 \end{array}$$

$$SG(H) = T_1 \not\leftrightarrow T_2$$

- H ist nicht serialisierbar

Weitere Eigenschaften

- Für TAs sind weitere Eigenschaften wünschenswert:
 - ▶ Rücksetzbarkeit (Recoverability)
 - ▶ Vermeidung kaskadierenden Rücksetzens (avoiding cascading aborts: ACA)
 - ▶ Striktheit (strictness)

Weitere Eigenschaften(2)

- Zuerst müssen wir Schreib-/Leseabhängigkeiten (reads-from relationship) definieren
- Eine TA T_i liest (Datenobjekt x) von TA T_j , wenn
 - ▶ $w_j[x] < r_i[x]$
 - ▶ $a_j \not\prec r_i[x]$
 - ▶ Falls ein $w_k[x]$ existiert mit $w_j[x] < w_k[x] < r_i[x]$, dann $a_k < r_i[x]$
- Eine TA kann auch von sich selbst lesen

Rücksetzbarkeit

- Eine Historie ist *rücksetzbar*, wenn folgendes gilt
 - ▶ Immer wenn eine TA T_i von einer anderen TA T_j liest ($i \neq j$) und $c_i \in H$, dann $c_j < c_i$
- Die TAs müssen eine bestimmte Commit-Reihenfolge einhalten
- Bei nicht rücksetzbaren Historien können Probleme mit dem C und D der ACID-Eigenschaften auftreten

Rücksetzbarkeit(2)

$$H = w_1[x] \ r_2[x] \ w_2[y] \ c_2 \ a_1$$

- H ist nicht rücksetzbar
- Die Konsequenzen sind:
 - ▶ Wenn Ergebnis von T_2 so stehen bleibt, dann haben wir inkonsistente Daten (T_2 hat Daten von einer abgebrochenen TA gelesen)
 - ▶ Wenn wir T_2 zurücksetzen, dann nehmen wir Änderungen einer fest zugesicherten TA zurück

Kaskadierendes Rücksetzen

Schritt	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
0.	...				
1.	$w_1[x]$				
2.		$r_2[x]$			
3.		$w_2[y]$			
4.			$r_3[y]$		
5.			$w_3[z]$		
6.				$r_4[z]$	
7.				$w_4[v]$	
8.					$r_5[v]$
9.	a_1 (abort)				

Kaskadierendes Rücksetzen(2)

- Eine Historie *vermeidet kaskadierendes Rücksetzen*, wenn folgendes gilt
 - ▶ Immer wenn eine TA T_i von einer anderen TA T_j liest ($i \neq j$), dann $c_j < r_i[x]$
- Es darf nur von bereits erfolgreich abgeschlossenen TAs gelesen werden

Striktheit

- Eine Historie ist *strikt*, wenn folgendes gilt
 - ▶ Bei zwei Operationen $w_j[x] < o_i[x]$ (mit $o_i[x] = r_i[x]$ oder $w_i[x]$) gilt entweder $a_j < o_i[x]$ oder $c_j < o_i[x]$
- Nur von bereits erfolgreich abgeschlossenen TAs darf gelesen oder dürfen Datenobjekte überschrieben werden

Striktheit(2)

- Nur bei strikten Historien darf physische Protokollierung beim Recovery angewendet werden

$x = 0$

$w_1[x, 1]$ before image von $T_1: 0$

$x = 1$

$w_2[x, 2]$ before image von $T_2: 1$

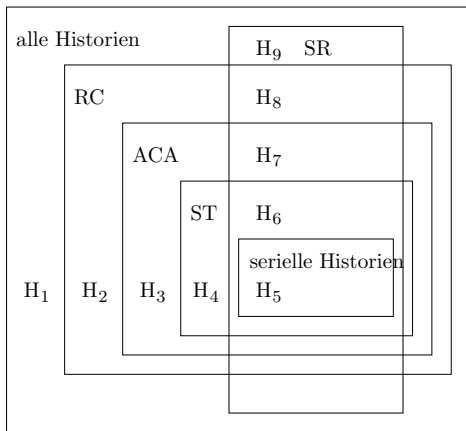
$x = 2$

a_1

c_2

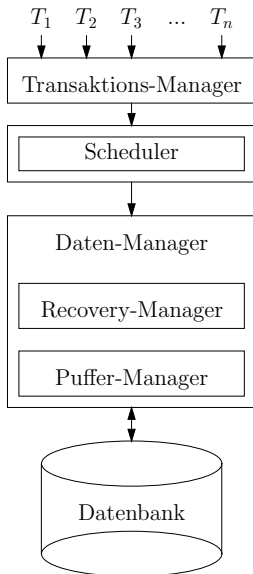
Bei Abbruch von T_1 wird x fälschlicherweise auf 0 gesetzt

Einordnung



SR: serialisierbar, RC: rücksetzbar, ACA: vermeidet kaskadierendes Rücksetzen, ST: strikt

Datenbank-Scheduler



Datenbank-Scheduler(2)

- Ein *Scheduler* ist ein Programm, das die eingehenden Operationen ordnet und für eine serialisierbare und rücksetzbare Historie sorgt
- Mehrere Möglichkeiten nach Entgegennahme einer Operation:
 - ▶ (Sofort) ausführen
 - ▶ Zurückweisen
 - ▶ Verzögern

Datenbank-Scheduler(3)

- Es existieren zwei grobe Strategien:
 - ▶ Pessimistisch
 - ▶ Optimistisch

Pessimistische Scheduler

- Scheduler verzögert entgegengenommene Operationen
- Wenn mehrere Operationen da sind, legt Scheduler möglichst geschickte Reihenfolge fest
- Wichtigster Vertreter: Sperrbasierter Scheduler (in der Praxis weit verbreitet)

Optimistische Scheduler

- Scheduler schickt entgegengenommene Operationen möglichst schnell zur Ausführung,
- Muß später eventuell "Schaden" reparieren
- Wichtigster Vertreter: Zeitstempelbasierter Scheduler

Sperrbasierte Synchronisation

- Hauptidee relativ einfach:
 - ▶ Jedes Datenobjekt hat eine zugehörige Sperre
 - ▶ Bevor eine TA T_i zugreifen darf, muß sie Sperre anfordern
 - ▶ Falls eine andere TA T_j Sperre hält, bekommt T_i die Sperre nicht und muß warten, bis T_j die Sperre freigegeben hat
 - ▶ Nur eine TA kann Sperre halten und auf Datenobjekt zugreifen
- Wie garantiert man Serialisierbarkeit?

Zwei-Phasen-Sperrprotokoll

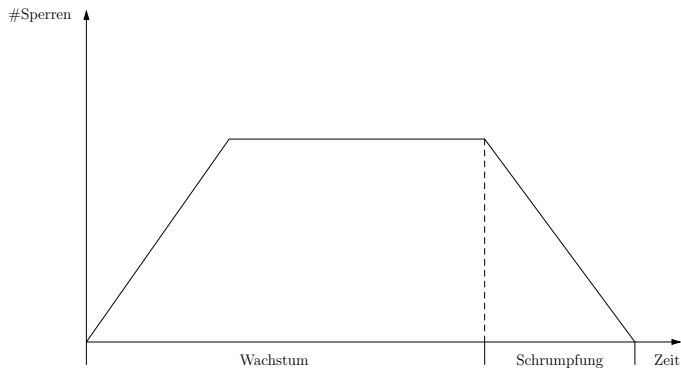
- Abgekürzt durch 2PL
- Zwei Sperrmodi:
 - ▶ S (shared, read lock, Lesesperre)
 - ▶ X (exclusive, write lock, Schreibsperre)
 - ▶ Verträglichkeitsmatrix (auch Kompatibilitätsmatrix genannt):

angeford. Sp.	gehaltene Sperre		
	keine	S	X
S	✓	✓	–
X	✓	–	–

Definition

- Jedes Objekt, das von einer TA benutzt werden soll, muß vorher entsprechend gesperrt werden
- Eine TA kann eine Sperre die sie hält nicht noch einmal anfordern
- Wenn eine Sperre nicht gewährt werden kann (nach Matrix), wird TA in Warteschlange eingereiht
- Eine TA darf nach der ersten Freigabe einer Sperre keine weitere anfordern (es gibt zwei Phasen)
- Bei Transaktionsende muß eine TA alle Sperrungen zurückgeben

Zwei Phasen



- Wachstumsphase: es werden Sperren angefordert, aber keine freigegeben
- Schrumpfungsphase: es werden Sperren freigegeben, aber keine angefordert

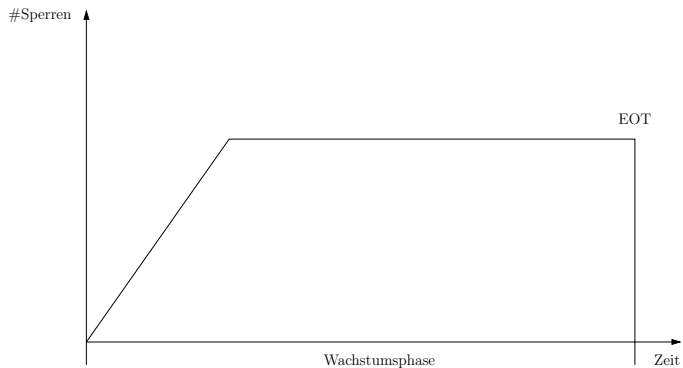
Verzahnung nach 2PL

Schritt	T_1	T_2	Bemerkung
1.	BOT		
2.	lockX [x]		
3.	$r[x]$		
4.	$w[x]$		
5.		BOT	
6.		lockS [x]	T_2 muss warten
7.	lockX [y]		
8.	$r[y]$		
9.	unlockX [x]		T_2 wecken
10.		$r[x]$	
11.		lockS [y]	T_2 muss warten
12.	$w[y]$		
13.	unlockX [y]		T_2 wecken
14.		$r[y]$	
15.	commit		
16.		unlockS [x]	
17.		unlockS [y]	
18.		commit	

Strenges 2PL

- 2PL schließt kaskadierendes Rücksetzen nicht aus
- Erweiterung zum *strengen* 2PL:
 - ▶ alle Sperren werden bis zum Ende der Transaktion gehalten
 - ▶ damit ist kaskadierendes Rücksetzen ausgeschlossen (die erzeugten Schedules sind sogar strikt)

Strenges 2PL(2)



Verklemmungen (Deadlocks)

- Beispiel für ein Deadlock:

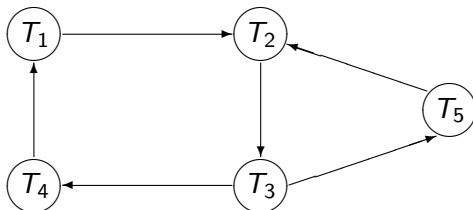
T_1	T_2
bot	
lockX ₁ (a)	
w ₁ (a)	
↔	
lockX ₁ (b)	
↔	
	bot
	lockS ₂ (b)
	r ₂ (b)
	↔
	lockS ₂ (a)

Deadlocks erkennen

- Keine TA soll "ewig" auf eine Sperre warten
- Eine Strategie zum Erkennen von Deadlocks ist Time-Out
 - ▶ Richtige Zeitdauer zu finden ist problematisch
- Präzise Methode benutzt Wartegraphen
 - ▶ Knoten sind TAs, Kanten sind Wartet-auf-Beziehungen
 - ▶ Wenn Graph Zyklen aufweist, liegt ein Deadlock vor

Wartegraph

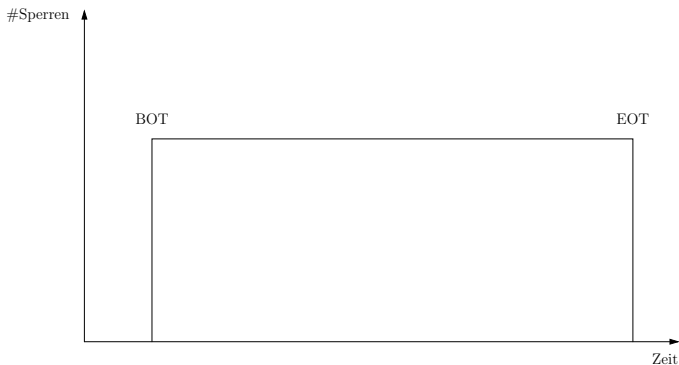
- Beispiel



- Wartegraph hat Zyklen, d.h. Deadlock liegt vor
- Zyklen können hier durch Zurücksetzen von T_2 oder T_3 aufgelöst werden

Deadlock-Vermeidung

- Deadlocks können durch *Preclaiming* vermieden werden
- Preclaiming bedeutet, daß alle Sperren zu Beginn einer TA angefordert werden
- In der Praxis unrealistisch



Deadlock-Vermeidung(2)

- Time-Out-Verfahren ist oft zu vorsichtig, z.T. werden TAs abgebrochen, wenn nur der Verdacht auf ein Deadlock besteht
- Eine andere Methode besteht darin zum Zeitpunkt wenn T_i eine Sperre anfordert, die von T_j gehalten wird, zu entscheiden
 - ▶ TAs bekommen Prioritäten zugewiesen
 - ▶ Wenn Priorität von T_i höher ist, darf T_i warten
 - ▶ Wenn Priorität von T_i kleiner ist, wird T_i abgebrochen

Deadlock-Vermeidung(3)

- Durch Prioritäten wird vermieden, daß durch ein Warten ein Deadlock entstehen kann
- Prioritätenvergabe muß umsichtig erfolgen
 - ▶ Wenn eine abgebrochene TA T_i beim Neustart ständig niedrige Prioritäten erhält, können sich immer TAs mit höheren Prioritäten "vordrängeln"
 - ▶ T_i kommt nie zum Zug, wir haben kein Deadlock, aber ein *Livelock*

Deadlock-Vermeidung(4)

- Vermeidung von Deadlocks und Livelocks: Verwendung von Zeitstempeln als Prioritäten
- Zeitstempel sind eindeutig und wachsen monoton mit der Zeit
- Eine TA bekommt beim ersten Aufruf einen Zeitstempel ts zugewiesen, beim Neustart behält sie den alten Zeitstempel
- Je älter der Zeitstempel, desto höher die Priorität
- Irgendwann hat eine immer wieder abgebrochene TA den ältesten Zeitstempel, Livelocks werden verhindert

Deadlock-Vermeidung(5)

- Angenommen T_j hält Sperre, T_i fordert sie an
- Im Zeitstempelverfahren kann ein Scheduler nun zwei verschiedene Strategien fahren
 - ▶ Wait-Die:
Falls $ts(T_i) < ts(T_j)$,
dann wartet T_i , sonst bricht T_i ab
 - ▶ Wound-Wait:
Falls $ts(T_i) < ts(T_j)$,
dann bricht T_j ab, sonst wartet T_i

Phantom-Problem

- Mit (strengem) 2PL haben wir alle am Anfang des Kapitels angesprochenen Probleme gelöst, außer des Phantom-Problems
- Phantom-Problem läßt sich mit Sperren auf Datenobjekten nicht lösen, da keine Sperren auf nichtexistenten Datenobjekten angefordert werden können
- Lösung des Problems durch *hierarchische Sperrgranulate* (multi-granularity locking: MGL)

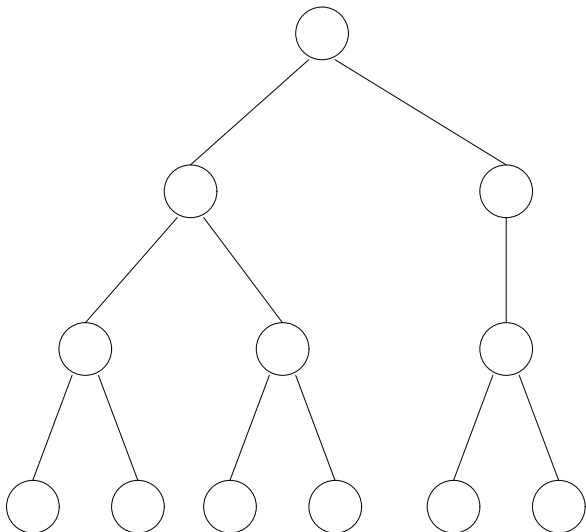
MGL

Datenbasis

Segmente

Seiten

Sätze



Erweiterte Sperrmodi für MGL

- *S* (shared): für Leser
- *X* (exclusive): für Schreiber
- *IS* (intention share): für beabsichtigtes Lesen weiter unten in der Hierarchie
- *IX* (intention exclusive): für beabsichtigtes Schreiben weiter unten in der Hierarchie

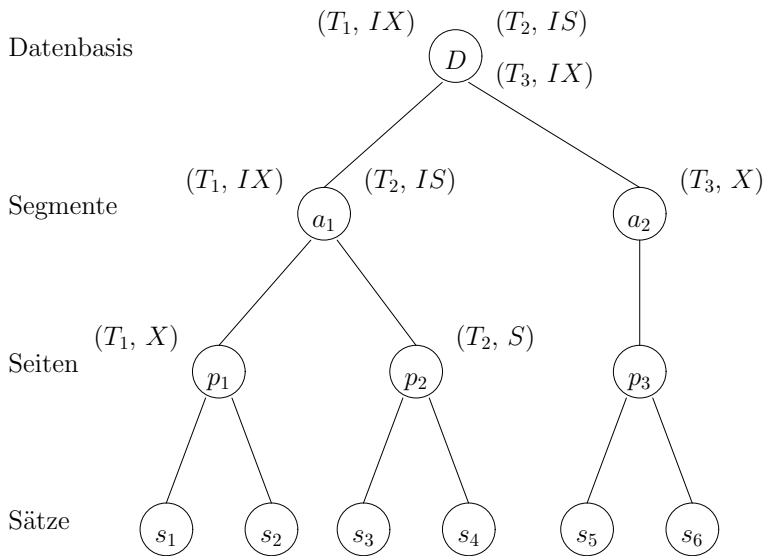
Kompatibilitätsmatrix

angef. Sp.	gehaltene Sperre				
	keine	<i>S</i>	<i>X</i>	<i>IS</i>	<i>IX</i>
<i>S</i>	✓	✓	–	✓	–
<i>X</i>	✓	–	–	–	–
<i>IS</i>	✓	✓	–	✓	✓
<i>IX</i>	✓	–	–	✓	✓

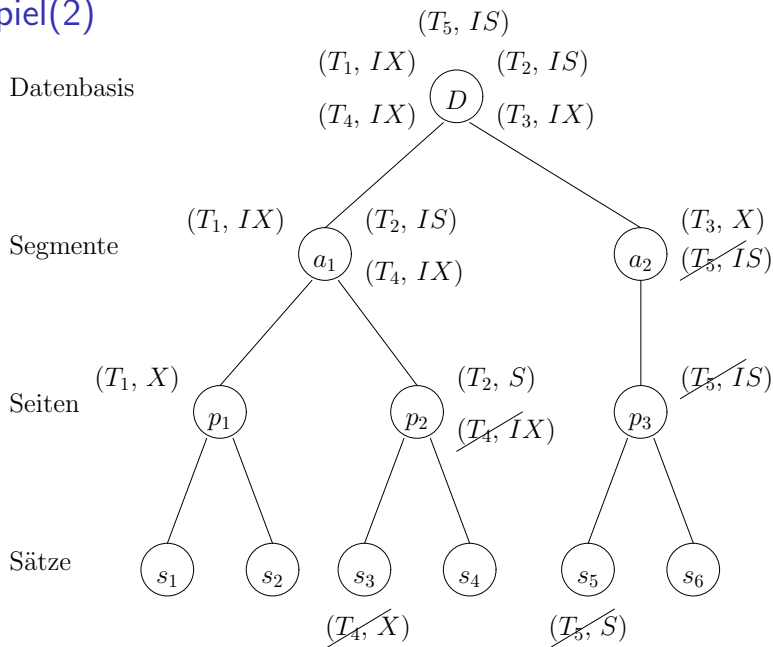
Sperrprotokoll

- Sperren werden in der Hierarchie von oben nach unten angefordert
 - ▶ Für eine *S* oder *IS* Sperre müssen alle Vorgänger in der Hierarchie im *IS* oder *IX* Modus gesperrt sein
 - ▶ Für eine *X* oder *IX* Sperre müssen alle Vorgänger in der Hierarchie im *IX* Modus gehalten werden
- Sperren werden von unten nach oben wieder freigegeben (Sperre wird nur freigegeben, wenn auf keinem Nachfolger des Knotens noch eine Sperre gehalten wird)

Beispiel



Beispiel(2)



Beispiel(3)

- TAs T_4 und T_5 sind blockiert
- Hier noch kein Deadlock, aber im einfachen MGL-Protokoll sind auch Deadlocks möglich

Zeitstempelbasierte Verfahren

- Neben den sperrbasierten Protokollen gibt es noch eine weitere große Klasse an Protokollen, die zeitstempelbasierte Synchronisation
- Transaktionsmanager weist jeder TA einen eindeutigen Zeitstempel zu
- Jede Operation der TA bekommt diesen Zeitstempel

Zeitstempel

- Ein Scheduler benutzt die Zeitstempel um in Konflikt stehende Operationen zu ordnen:
 - ▶ Angenommen $p_i[x]$ und $q_j[x]$ stehen in Konflikt miteinander
 - ▶ $p_i[x]$ wird vor $q_j[x]$ ausgeführt, gdw. der Zeitstempel von T_i älter als der Zeitstempel von T_j ist

Zeitstempel(2)

- Scheduler speichert zu jedem Datenobjekt x den Zeitstempel der letzten auf x ausgeführten Operation
- Das wird für jeden Operationstypen q gemacht: $\text{max-}q\text{-scheduled}(x)$
- Wenn Scheduler eine Operation p bekommt, wird ihr Zeitstempel mit allen $\text{max-}q\text{-scheduled}(x)$ verglichen, mit denen p in Konflikt steht
- Wenn der Zeitstempel von p älter als ein $\text{max-}q\text{-scheduled}(x)$ ist, wird p zurückgewiesen (und TA abgebrochen)
- Ansonsten wird p ausgeführt und $\text{max-}p\text{-scheduled}(x)$ aktualisiert

Weitere Eigenschaften

- Einfaches Zeitstempelverfahren erzeugt u.U. nicht rücksetzbare Schedules
- Rücksetzbarkeit kann dadurch garantiert werden, daß TAs in Zeitstempelreihenfolge committen
- Solange noch TAs laufen, von denen eine TA T_i gelesen hat, wird ein commit von T_i verzögert

Probleme von Zeitstempeln

- Zeitstempelbasierte Synchronisation wird in der Praxis kaum eingesetzt
- Phantom-Problem wird nicht gelöst
- Jede Operation wird praktisch zur Schreiboperation, da immer die $\text{max-q-scheduled}(x)$ -Felder aktualisiert werden müssen

Zusammenfassung

- Mehrbenutzersynchronisation gehört mit zu den wichtigsten Funktionen eines DBMS
- Normalerweise bleibt dies den Benutzern verborgen, aber über die Einstellung der Isolation-Levels kann in die Qualität dieser Synchronisation eingegriffen werden
- Die zwei bekanntesten Verfahren:
 - ▶ Sperrbasierte Synchronisation
 - ▶ Zeitstempelbasierte Synchronisation