



数据库系统概论

An Introduction to Database System

第十一章 并发控制

中国人民大学信息学院

陈红

第十一章 并发控制



11.1 并发控制概述

11.2 封锁

11.3 活锁和死锁

11.4 并发调度的可串行性

11.5 两段锁协议

11.6 封锁的粒度

11.7 小结

11.4 并发调度的可串行性



- ❖ **DBMS 对并发事务不同的调度可能会产生不同的结果**
- ❖ **串行调度是正确的**
- ❖ **执行结果等价于串行调度的调度也是正确的，称为可串行化调度**

11.4.1 可串行化调度



❖ 可串行化 (Serializable) 调度

- 多个事务的并发执行是正确的，当且仅当其结果与按某一次序串行地执行这些事务时的结果相同

❖ 可串行性 (Serializability)

- 是并发事务正确调度的准则
- 一个给定的并发调度，当且仅当它是可串行化的，才认为是正确调度

可串行化调度（续）



[例] 现在有两个事务，分别包含下列操作：

- **事务 T1：读 B； $A=B+1$ ；写回 A**
- **事务 T2：读 A； $B=A+1$ ；写回 B**

现给出对这两个事务不同的调度策略

串行化调度，正确的调度



T_1	T_2
Slock B	
Y=R(B)=2	
Unlock B	
Xlock A	
A=Y+1=3	
W(A)	
Unlock A	
	Slock A
	X=R(A)=3
	Unlock A
	Xlock B
	B=X+1=4
	W(B)
	Unlock B

串行调度 (a)

- 假设 A、B 的初值均为 2。
- 按 $T_1 \rightarrow T_2$ 次序执行结果为 $A=3$ ， $B=4$
- 串行调度策略，正确的调度

串行化调度，正确的调度



T_1	T_2
	Slock A
	$X=R(A)=2$
	Unlock A
	Xlock B
	$B=X+1=3$
	$W(B)$
	Unlock B
Slock B	
$Y=R(B)=3$	
Unlock B	
Xlock A	
$A=Y+1=4$	
$W(A)$	
Unlock A	

串行调度 (b)

- 假设 A、B 的初值均为 2。
- $T_2 \rightarrow T_1$ 次序执行结果为 $B=3, A=4$
- 串行调度策略，正确的调度

不可串行化调度，错误的调度



T_1	T_2
Slock B	
$Y=R(B)=2$	
	Slock A
	$X=R(A)=2$
Unlock B	
	Unlock A
Xlock A	
$A=Y+1=3$	
$W(A)$	
	Xlock B
	$B=X+1=3$
	$W(B)$
Unlock A	
	Unlock B

- 执行结果与 (a)、(b) 的结果都不同
- 是错误的调度

不可串行化的调度

可串行化调度，正确的调度



T_1	T_2
Slock B	
$Y=R(B)=2$	
Unlock B	
Xlock A	
$A=Y+1=3$	
$W(A)$	
Unlock A	
	Slock A
	□□
	□□
	□□
	X=R(A)=3
	Unlock A
	Xlock B
	$B=X+1=4$
	$W(B)$
	Unlock B

- 执行结果与串行调度
(a) 的执行结果相同
- 是正确的调度



可串行化的调度

11.4.2 冲突可串行化调度



❖ 冲突可串行化

- 一个比可串行化更严格的条件
- 商用系统中的调度器采用

❖ 冲突

- 调度中一对连续的动作，它们满足：如果它们的顺序交换，那么涉及的事务中至少有一个的行为会改变

冲突



❖ 不会冲突：

- $r_i(X); r_j(Y)$ 读
- $r_i(X); w_j(Y)$, X 不等于 Y
- $w_i(X); r_j(Y)$, X 不等于 Y
- $w_i(X); w_j(Y)$, X 不等于 Y

冲突



❖ 不能交换（Swap）的动作：

- 同一事务的两个 actions
- 不同事务对同一数据库元素的写冲突
- 不同事务对同一数据库元素的读写冲突

❖ 结论：

- 涉及同一个数据库元素
 - 并且至少有一个是写操作的动作
- 不能交换

冲突可串行化



❖ conflict- equivalent schedules:

如果 S_1 能通过一系列的非冲突交换变成 S_2 ，则 S_1 和 S_2 是冲突等价的调度。

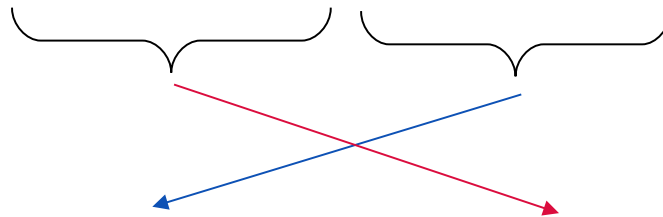
❖ conflict serializable schedules:

一个调度是冲突可串行化的，如果它和某些串行调度是冲突等价的。

Example 1



$Sc = r_1(A)w_1(A)r_2(A)w_2(A)r_1(B)w_1(B)r_2(B)w_2(B)$



$Sc' = r_1(A)w_1(A)r_1(B)w_1(B)r_2(A)w_2(A)r_2(B)w_2(B)$

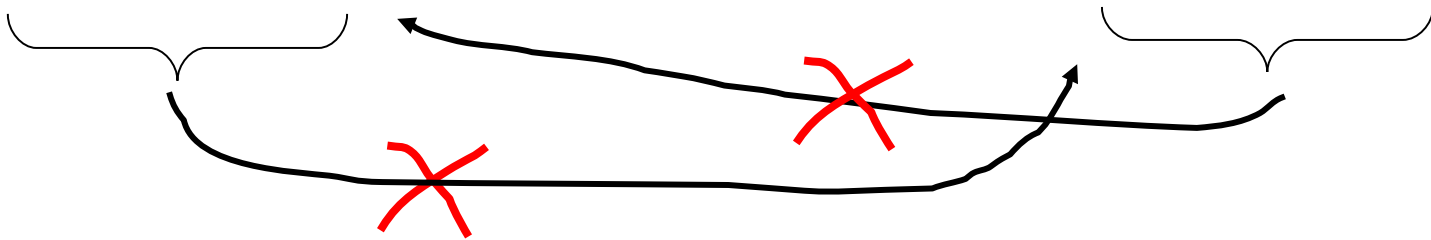
T_1 T_2

Sc is "equivalent" to a serial schedule
(in this case T_1, T_2)

Example 2



$S_d = r_1(A)w_1(A)r_2(A)w_2(A) r_2(B)w_2(B)r_1(B)w_1(B)$



S_d cannot be rearranged into a serial schedule

S_d is not "equivalent" to any serial schedule

S_d is "bad"

冲突可串行性的判定：优先图



S 是一个调度， S 的优先图 $P(S)$

结点：S 中的事务

弧： $T_i \rightarrow T_j$ ($T_i < T_j$) T_i 优先于 T_j

whenever

- $p_i(A), q_j(A)$ are actions in S
- $p_i(A) <_S q_j(A)$
- at least one of p_i, q_j is a write

Example



调度 S 涉及三个事务： T1 , T2 , T3

S: r2(A);r1(B);w2(A);r3(A);w1(B);w3(A);r2(B);w2(B);

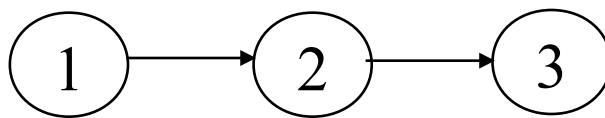
从 A 可以看出： $T2 \prec_s T3$

因此 $T2 \rightarrow T3$

从 B 可以看出： $T1 \prec_s T2$

因此 $T1 \rightarrow T2$

S 的调度优先图：



冲突可串行的判断



❖ 构造 S 的优先图

❖ 判断其中是否有环：

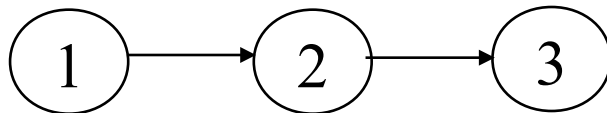
- 有， S 不是冲突可串行化。
- 无， S 冲突可串行化，而且任意一个拓扑顺序就是一个冲突等价串行顺序

Example



S: r2(A);r1(B);w2(A);r3(A);w1(B);w3(A);r2(B);w2(B);

S 的调度优先图：



调度优先图无环， S 是冲突可串行化的。

S': r1(B);w1(B);r2(A);w2(A);r2(B);w2(B);r3(A);w3(A);

Example



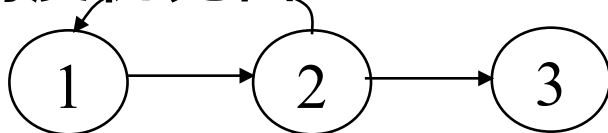
S1: r2(A);r1(B);w2(A);r2(B);r3(A);w1(B);w3(A);w2(B);

从 w2(A);r3(A) 可以看出: $T2 \leq_s T3$, 因此 $T2 \rightarrow T3$

从 r1(B);w2(B) 可以看出: $T1 \leq_s T2$, 因此 $T1 \rightarrow T2$

从 r2(B);w1(B) 可以看出: $T2 \leq_s T1$, 因此 $T2 \rightarrow T1$

S1 的调度优先图:



调度优先图有环, S1 不是冲突可串行化的。

冲突可串行化调度



- ❖ 冲突可串行化调度是可串行化调度的充分条件，不是必要条件。还有不满足冲突可串行化条件的可串行化调度。

[例] 有 3 个事务

$T1=W1(Y)W1(X)$, $T2=W2(Y)W2(X)$, $T3=W3(X)$

- 调度 $L1=W1(Y)W1(X)W2(Y)W2(X)W3(X)$ 是一个串行调度。
- 调度 $L2=W1(Y)W2(Y)W2(X)W1(X)W3(X)$ 不满足冲突可串行化。但是调度 $L2$ 是可串行化的，因为 $L2$ 执行的结果与调度 $L1$ 相同， Y 的值都等于 $T1$ 的值， X 的值都等于