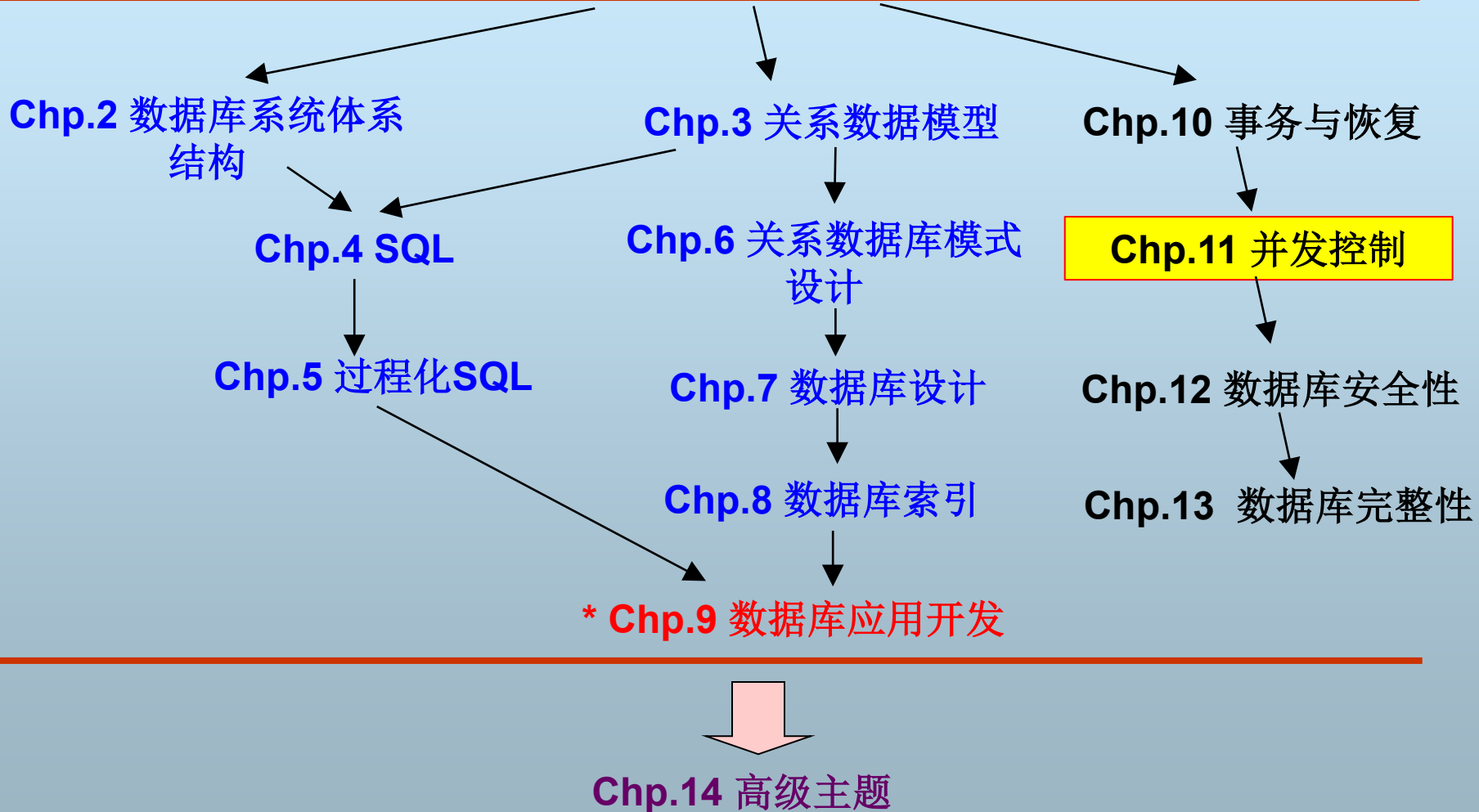


# 第11章 并发控制



# 课程知识结构

## Chp.1 数据库系统概述



# Databases Protection

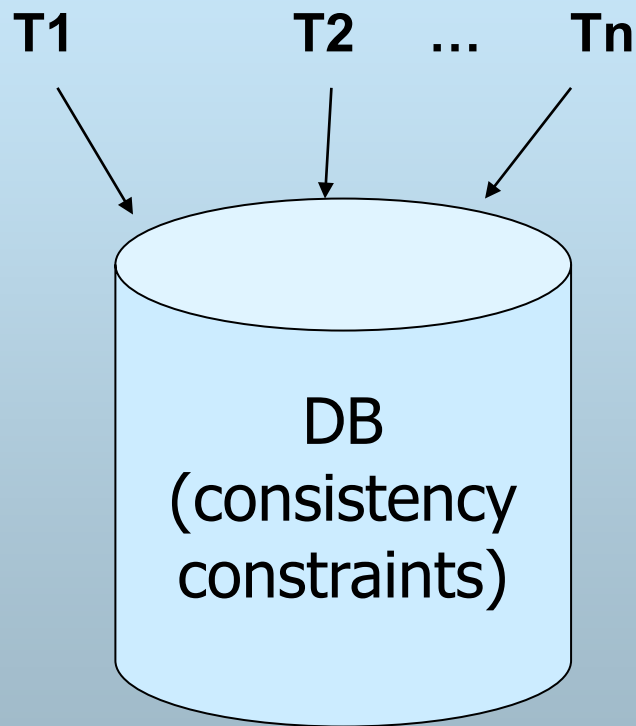
- **数据库保护**：**预防**各种对数据库的干扰破坏，确保数据安全可靠，以及在数据库遭到破坏后尽快地**恢复**

- **乐观机制**：事后恢复
- **悲观机制**：事前预防

- **数据库保护通过四个方面来实现**

- **完整性控制技术**
  - ◆ Enable constraints
- **安全性控制技术**
  - ◆ Authorization and authentication
- **数据库的恢复技术**
  - ◆ Deal with failure
- **并发控制技术**
  - ◆ Deal with data sharing

# Concurrency Control



多个事务同时存取共享的数据库时，  
如何保证数据库的一致性？

- 丢失更新 Lost update
- 脏读 Dirty read
- 不一致分析 Inconsistent analysis
  - ◆ 不可重复读 Nonrepeatable read
  - ◆ 幻像读 Phantom read

# 主要内容

- 并发操作与并发问题
- 并发事务调度与可串行性  
(Scheduling and Serializability )
- 锁与可串行性实现 (Locks)
- 事务的隔离级别
- 死锁

# 一、并发操作和并发问题

## ■ 并发操作

- 在多用户DBS中，如果多个用户同时对同一数据进行操作称为**并发操作**
- 并发操作使多个事务之间可能产生相互干扰，破坏事务的**隔离性**（Isolation）
- DBMS的并发控制子系统负责协调并发事务的执行，保证数据库的一致性

## ■ 并发操作通常会引起三类问题（**三大并发问题**）

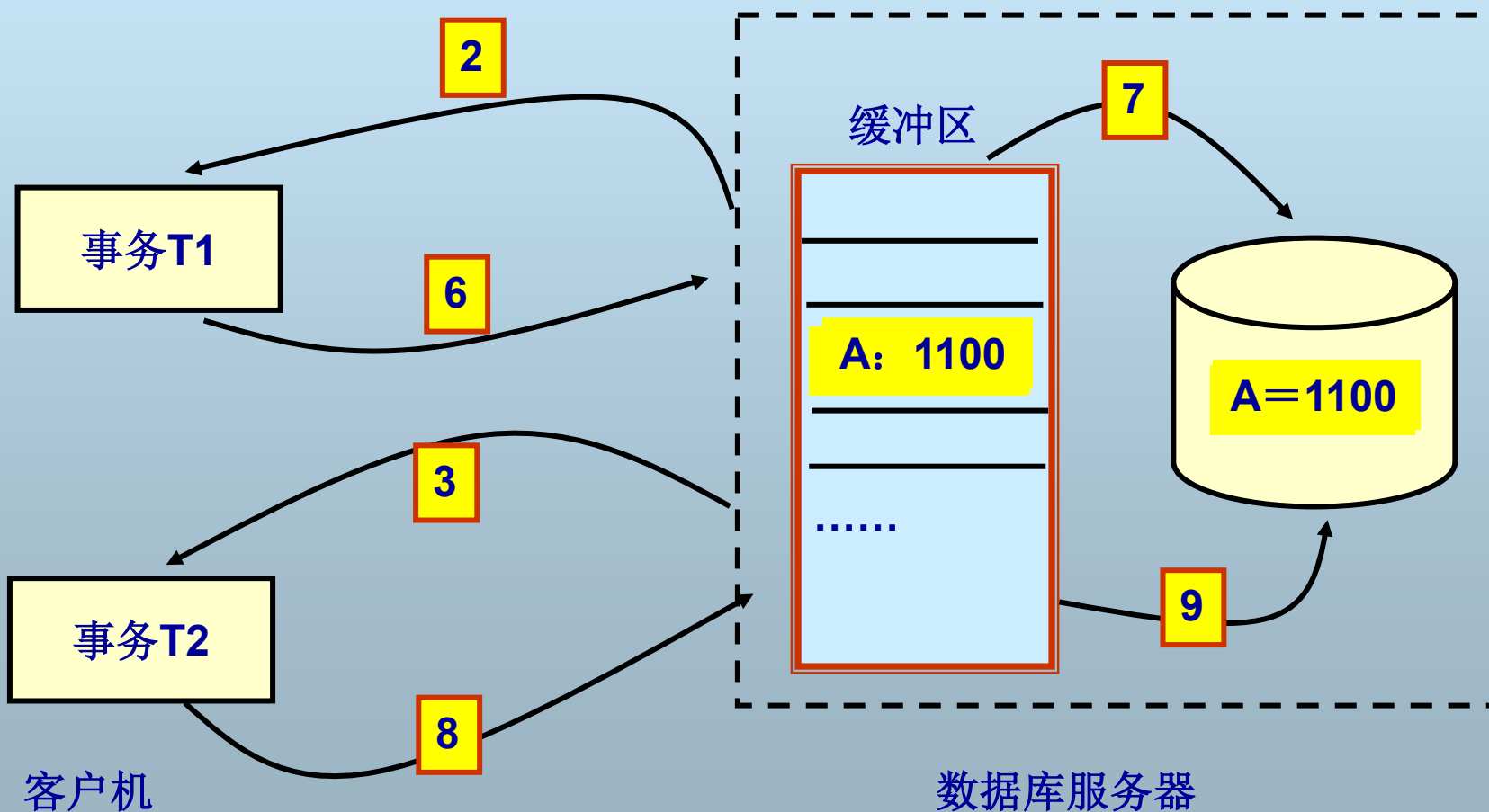
- 丢失更新（Lost update）
- 脏读（Dirty read / Uncommitted update）
- 不一致分析（Inconsistent analysis）

# 1、丢失更新问题

时间	事务T1	事务T2	数据库中A的值
1			1000
2	Read(A,t)		
3		Read(A,t)	
4	t=t-100		
5		t=t+100	
6	Write(A,t)		
7	Commit		900
8		Write(A,t)	
9		Commit	1100

# 并发执行造成丢失更新示例

时间	事务T1	事务T2	数据库中A的值
1			1000
2	Read(A,t)		
3		Read(A,t)	
4	t=t-100		
5		t=t+100	
6	Write(A,t)		
7	Commit		900
8		Write(A,t)	
9		Commit	1100





## 2、脏读问题

时间	事务T1	事务T2	数据库中A的值
1			1000
2	Read(A,t)		
3	t=t-100		
4	Write(A,t)		
5		Read(A,t)	
6	Rollback	t=t+100	900
7		Write(A,t)	
8		Commit	1000

**脏数据：事务在内存中更新了但还未最终提交的数据**

### 3、不一致分析问题

时间	事务T1	事务T2
1		
2	Read(A,t)	Read(B,t)
3	t=t-100	
4		Read(A,v)
5	Write(A,t)	
6	Commit	
7		Sum=t+v
8		Commit

**不可重复读**  
**Nonrepeatable read**

事务内读的数据被其它事务update或者delete了

←..... **Read(A,v)=?**

←..... **Sum不是数据库  
实际汇总值**

**不一致分析问题：事务读了过时的数据，不是数据库的当前状态**

### 3、不一致分析问题

时间	事务T1	事务T2	幻像读 Phantom read
1			
2		Read(B,t)	事务内读到的数据 内容被其它事务的 insert操作改变了
3			
4	t=100	Read(A,v)	
5	Write(C,t)		
6	Commit		
7		Sum=t+v	Sum不是数据 库实际汇总值
8		Commit	

Insert a new C  
.....→

←.....

不一致分析问题：事务读了过时的数据，不是数据库的当前状态

# 再论丢失更新问题

Step	T1	T2
1	read(A, t), t = t+1	
2		read(A, t), t = t+1
3	write(A, t)	
3		write(A, t)
4		Commit
6	Commit	

## Lost update

两次提交写导致的写覆盖

Step	T1	T2
1	read(A, t), t = t+1	
2		read(A, t), t = t+1
3	write(A, t)	
4		write(A, t)
5		read(B, u), u = u+1
6		write(B, u)
7		Commit
8	Abort	

## Dirty write

由于Rollback导致的提交事务的写失效  
破坏了T2的原子性

DBMS中不允许出现Dirty write  
在任何情况下都要求X锁保留到事务结束



[Hal Berenson](#), [Philip A. Bernstein](#), [Jim Gray](#), [Jim Melton](#), [Elizabeth J. O'Neil](#), [Patrick E. O'Neil](#):  
A Critique of ANSI SQL Isolation Levels. [SIGMOD 1995](#): 1-10

# 4、并发控制的问题该如何解决？

## ■ 一种方法

- 让所有事务一个一个地串行执行
  - ◆ 一个事务在执行时其它事务只能等待
  - ◆ 不能充分利用系统资源，效率低下

## ■ 另一种方法

- 为了充分发挥DBMS共享数据的特点，应允许事务内部的读写操作并发执行
- 挑战
  - ◆ 必须保证事务并发执行的正确性；必须用正确的方法调度执行事务的并发操作

## 二、调度(Schedule)

### Example

T1:    Read(A, t)  
       $t \leftarrow t+100$   
      Write(A, t)  
      Read(B, t)  
       $t \leftarrow t+100$   
      Write(B, t)

T2:    Read(A, s)  
       $s \leftarrow s \times 2$   
      Write(A, s)  
      Read(B, s)  
       $s \leftarrow s \times 2$   
      Write(B, s)

Constraint:  $A=B$

## 二、调度(Schedule)

### Schedule A

T1	T2	A	B
Read(A, t); $t \leftarrow t+100$		25	25
Write(A, t);		125	25
Read(B, t); $t \leftarrow t+100$ ;			
Write(B, t);		125	125
	Read(A, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(A, s);	250	125
	Read(B, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(B, s);	250	250

## 二、调度(Schedule)

### Schedule B

T1	T2	A	B
	Read(A, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;	25	25
	Write(A, s);	50	25
	Read(B, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(B, s);	50	50
Read(A, t); $t \leftarrow t + 100$			
Write(A, t);		150	50
Read(B, t); $t \leftarrow t + 100$ ;			
Write(B, t);		150	150



## 二、调度(Schedule)

### Schedule C

T1	T2	A	B
Read(A, t); $t \leftarrow t+100$		25	25
Write(A, t);		125	25
	Read(A, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(A, s);	250	25
Read(B, t);			
$t \leftarrow t+100$ ;			
Write(B, t);		250	125
	Read(B, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(B, s);	250	250

## 二、调度(Schedule)

### Schedule D

T1	T2	A	B
Read(A, t); $t \leftarrow t+100$		25	25
Write(A, t);		125	25
	Read(A, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(A, s);	250	25
	Read(B, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(B, s);	250	50
Read(B, t);			
$t \leftarrow t+100$ ;			
Write(B, t);		250	150

## 二、调度(Schedule)

### Schedule D

T1	T2'	A	B
Read(A, t); $t \leftarrow t+100$		25	25
Write(A, t);		125	25
	Read(A, s); $s \leftarrow s \times 1$ ;		
	Write(A, s);	125	25
	Read(B, s); $s \leftarrow s \times 1$ ;		
	Write(B, s);	125	25
Read(B, t);			
$t \leftarrow t+100$ ;			
Write(B, t);		125	125

# 1、调度的定义

## ■ 调度

- 多个事务的读写操作按时间排序的执行序列

T1: r1(A) w1(A) r1(B) w1(B)

T2: r2(A) w2(A) r2(B) w2(B)

Sc = r1(A) w1(A) r2(A) w2(A) r1(B) w1(B) r2(B) w2(B)

## Note

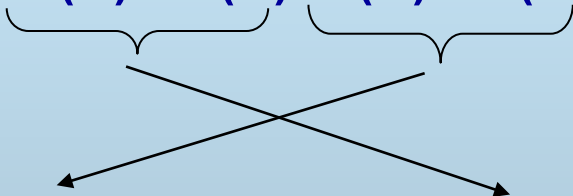
- 调度中每个事务的读写操作保持原来顺序
- 事务调度时不考虑
  - ◆ 数据库的初始状态 (Initial state)
  - ◆ 事务的语义 (Transaction semantics)

# 1、调度的定义

## ■ 多个事务的并发执行存在多种调度方式

Example:

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



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

T1

T2

What is a correct schedule?

And how to get a correct schedule?

## 2、可串化调度 (Serializable Schedule)

### ■ What is a correct schedule?

- Answer: a serializable schedule!

### ■ 串行调度 (Serial schedule)

- 各个事务之间没有任何操作交错执行，事务一个  
一个执行
- $S = T1 T2 T3 \dots Tn$

### ■ Serializable Schedule

- 如果一个调度的结果与某一串行调度执行的结果  
等价，则称该调度是可串化调度，否则是不可串  
调度

## 2、可串行化调度

### ■ 可串行化调度的正确性

- **Consistence of transaction:** 单个事务的执行保证DB从一个一致状态变化到另一个一致状态
- **N个事务串行调度执行仍保证 Consistence of DB**

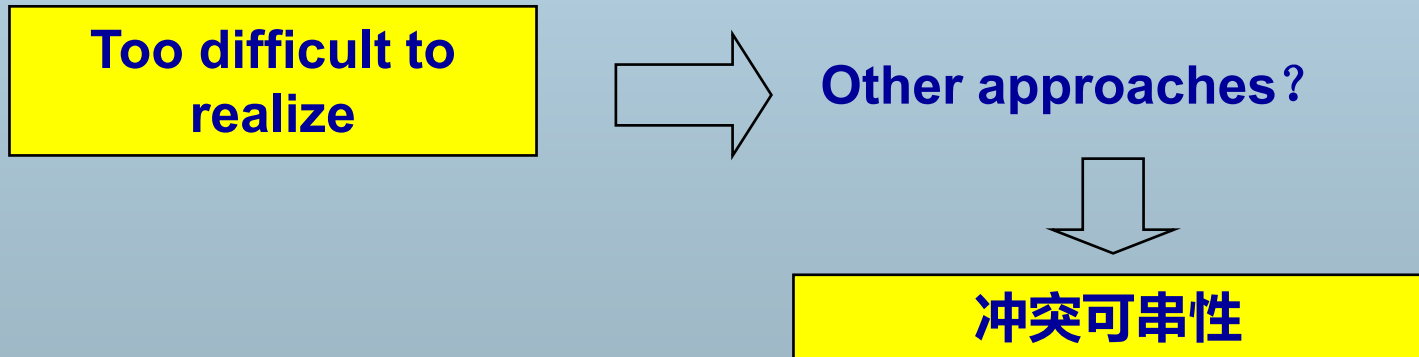


## 2、可串化调度

### ■ Is a schedule a serializable one?

#### ● We MUST

- ◆ Get all results of serial schedules,  **$n!$**
- ◆ See if the schedule is equivalent to some serial schedule





# 3、冲突可串性 (conflict serializable)

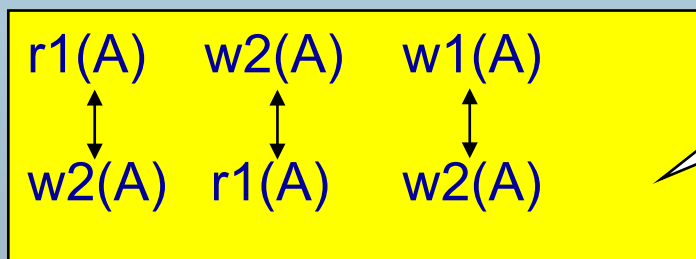
## ■ Conflicting actions

### ● Say

◆  $r_i(X)$  : 事务  $T_i$  的读  $X$  操作 (Read( $X$ ,  $t$ ))

◆  $w_i(X)$  : 事务  $T_i$  的写  $X$  操作 (Write( $X$ ,  $t$ ))

### ● 冲突操作



涉及同一个数据库元素，  
并且至少有一个是写操作

# 3、冲突可串性 (conflict serializable)

## ■ Conflicting actions

- 如果调度中一对连续操作是冲突的，则意味着如果它们的执行顺序交换，则至少会改变其中一个事务的最终执行结果
- 如果两个连续操作不冲突，则可以在调度中交换顺序

# 3、冲突可串行性

## Schedule C

T1	T2	A	B
Read(A, t); $t \leftarrow t+100$		25	25
Write(A, t);		125	25
	Read(A, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(A, s);	250	25
Read(B, t);			
$t \leftarrow t+100$ ;			
Write(B, t);		250	125
	Read(B, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(B, s);	250	250

$$Sc = r1(A) w1(A) r2(A) w2(A) r1(B) w1(B) r2(B) w2(B)$$

### 3、冲突可串行性

$Sc = r1(A) w1(A) r2(A) w2(A) r1(B) w1(B) r2(B) w2(B)$

$Sc' = r1(A) w1(A) r2(A) r1(B) w2(A) w1(B) r2(B) w2(B)$

$Sc' = r1(A) w1(A) r1(B) r2(A) w2(A) w1(B) r2(B) w2(B)$

$Sc' = r1(A) w1(A) r1(B) r2(A) w1(B) w2(A) r2(B) w2(B)$

$Sc' = r1(A) w1(A) r1(B) w1(B) r2(A) w2(A) r2(B) w2(B)$

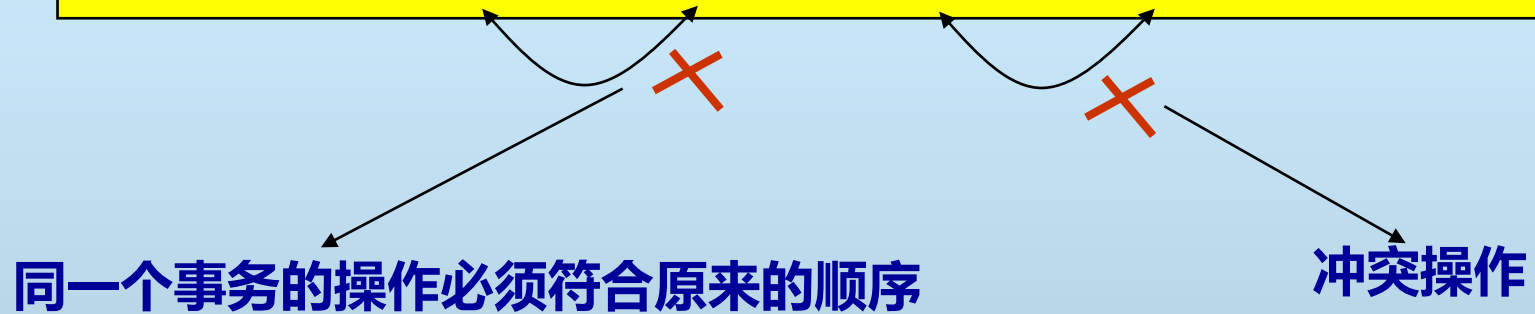
T1

T2

Schedule A

### 3、冲突可串行性

$Sc = r1(A) w1(A) r2(A) w2(A) r1(B) w1(B) r2(B) w2(B)$



### 3、冲突可串行性

Schedule C

此步读入的B为25

T1	T2	A	B
Read(A, t); $t \leftarrow t+100$		25	25
Write(A, t);		125	25
	Read(A, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
	Write(A, s);	250	25
Read(B, t);			
$t \leftarrow t+100$ ;			
	Read(B, s); $s \leftarrow s \times 2$ ;		
Write(B, t);		250	125
	Write(B, s);	250	50

# 3、冲突可串行性

- **冲突等价 (conflict equivalent )**
  - **S1, S2 are conflict equivalent schedules if S1 can be transformed into S2 by a series of swaps on non-conflicting actions.**
- **冲突可串行性 (conflict serializable)**
  - **A schedule is conflict serializable if it is conflict equivalent to some serial schedule.**

# 3、冲突可串行性

## ■ 定理

- 如果一个调度满足冲突可串行性，则该调度是可串行化调度

## ■ Note

- 仅为充分条件



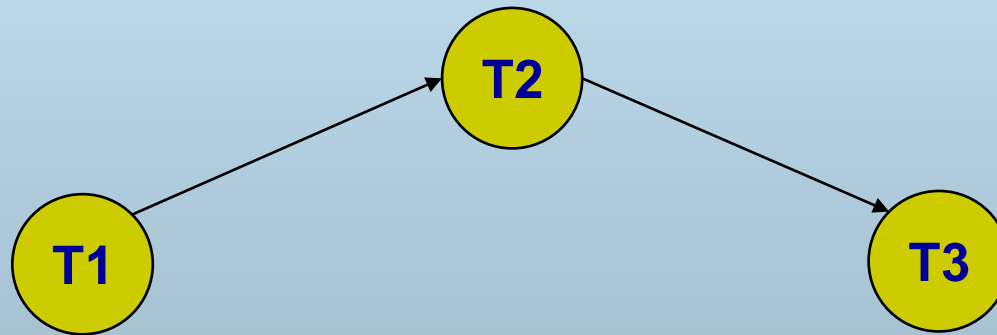
# 4、优先图 (Precedence Graph)

- 优先图用于冲突可串性的判断
- 优先图结构
  - 结点 (Node): 事务
  - 有向边 (Arc):  $T_i \rightarrow T_j$  , 满足  $T_i <_s T_j$ 
    - ◆ 存在 $T_i$ 中的操作A1和 $T_j$ 中的操作A2, 满足
      - A1在A2前, 并且
      - A1和A2是冲突操作

# 4、优先图

## Example

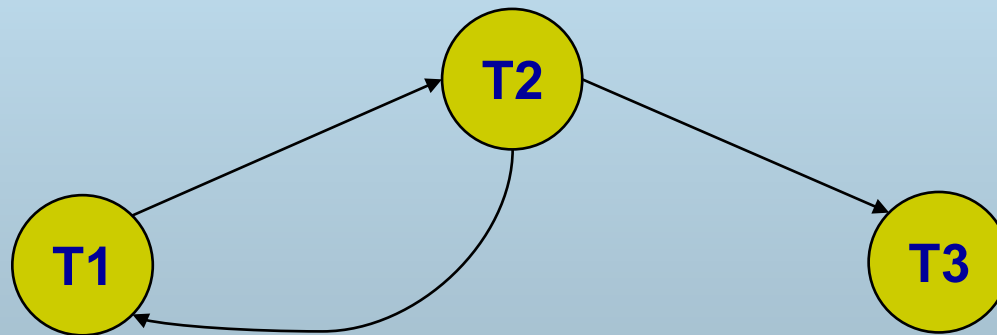
$S = r_2(A) \ r_1(B) \ w_2(A) \ r_3(A) \ w_1(B) \ w_3(A) \ r_2(B) \ w_2(B)$



# 4、优先图

## Example

$S = r_2(A) \ r_1(B) \ w_2(A) \ r_2(B) \ r_3(A) \ w_1(B) \ w_3(A) \ w_2(B)$



# 4、优先图

## ■ 优先图与冲突可串行性

- 给定一个调度 $S$ ，构造 $S$ 的优先图 $P(S)$ ，若 $P(S)$ 中无环，则 $S$ 满足冲突可串行性
- 证明：归纳法
  - ◆ see “H. Molina et al. *Database System Implementation*”

# Next

- 并发操作与并发问题
- 并发事务调度与可串行性  
(Scheduling and Serializability )
- 锁与可串行性实现 (Locks) 
- 事务的隔离级别
- 死锁