



事务管理（事务基本知识）

单 位：重庆大学计算机学院

一条抖音

- 我卡里面有1000元，在ATM取钱，当钱取出来前一瞬间，我在手机上将钱转走了，我是不是就多出来了1000元呢？

主要学习目标

- 事务的概念
- 事务的特性
- 事务的状态
- 事务的隔离级别



前测问题

- JAVA编程序：如何实现存取钱、转账？

一 事务

1.事务概念

讨论1. 什么是事务?

- 转账、取钱

```
1. read(A)
2. A := A - 50
3. write(A)
-----
4. read(B)
5. B := B + 50
6. write(B)
```

案例1

1)为什么使用事务?

- Update 更新数据库多条记录

一 事务

事务执行的前后都是合法的数据状态，不会违背任何的数据完整性，这就是“一致”的意思。

1. 事务概念

事务：构成单一逻辑工作单元的操作集合。

作用：DBMS通过保证要么执行整个事务，要么一个操作也不执行，达到使数据始终处于一个一致状态。

(事务是访问并可能更新各种数据项的一个程序执行单元)

2) 什么是事务，有何作用？

3) 事务必须具备什么特性？

事务的ACID特性

C-特性
Consistency

- **一致性**：在这里，一致性要求事务的执行不改变 A 、 B 之和。如果没有一致性要求，金额可能会被事务凭空创造或销毁！容易验证，如果数据库在事务执行前是一致的，那么事务执行后数据库仍将保持一致。

A-特性
Atomicity

- **原子性**：假设事务 T_i 执行前账户 A 和账户 B 分别有 \$1000 和 \$2000。现在假设在事务 T_i 执行时系统出现故障，导致 T_i 的执行没有成功完成。我们进一步假设故障发生在 $\text{write}(A)$ 操作执行之后 $\text{write}(B)$ 操作执行之前。在这种情况下，数据库中反映出来的是账户 A 有 \$950，而账户 B 有 \$2000。这次故障导致系统丢失了 \$50。特别地，我们注意到 $A + B$ 的和不再维持原状。这样，由于故障，系统的状态不再反映数据库本应描述的现实世界的真实状态。我们把这种状态称为**不一致状态** (inconsistent state)。我们必须保证这种不一致性在数据库系统中是不可见的。

D-特性
Durability

- **持久性**：一旦事务成功地完成执行，并且发起事务的用户已经被告知资金转账已经发生，系统就必须保证任何系统故障都不会引起与这次转账相关的数据丢失。持久性保证一旦事务成功完成，该事务对数据库所做的所有更新就都是持久的，即使事务执行完成后出现系统故障。

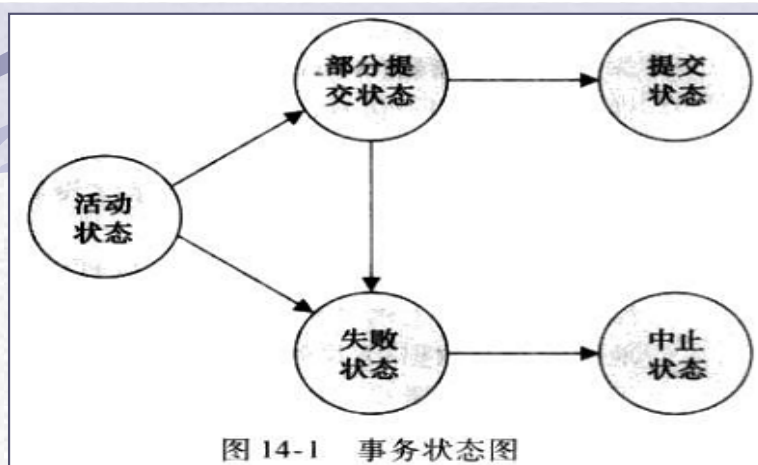
I-特性
Isolation

- **隔离性**：如果几个事务并发地执行，即使每个事务都能确保一致性和原子性，它们的操作会以人们所不希望的某种方式交叉执行，这也会导致不一致的状态。

正如我们先前看到的，例如，在 A 至 B 转账事务执行过程中，当 A 中总金额已减去转账额并已写回 A ，而 B 中总金额加上转账额后还未写回 B 时，数据库暂时是不一致的。如果另一个并发运行的事务在这个中间时刻读取 A 和 B 的值并计算 $A + B$ ，它将会得到不一致的值。尽管多个事务可能并发执行，但系统保证，每个事务都感觉不到系统中有其他事务在并发地执行。

4) 如何理解事务状态图，有何用途？

2. 事务的原子性和持久性



正如我们先前所注意到的，事务并非总能成功地执行完成。这种事务称为中止 (aborted)了。我们如果要确保原子性，中止事务必须对数据库的状态不造成影响。因此，中止事务对数据库所做过的任何改变必须撤销。一旦中止事务造成的变更被撤销，我们就说事务已回滚 (rolled back)。恢复机成功完成执行的事务称为已提交 (committed)。一个对数据库进行过更新的已提交事务使数据库进入一个新的一致状态，即使出现系统故障，这个状态也必须保持。

我们需要更准确地定义一个事务成功完成的含义。为此我们建立了一个简单的抽象事务模型。事务必须处于以下状态之一。

- **活动的 (active)**：初始状态，事务执行时处于这个状态。
- **部分提交的 (partially committed)**：最后一条语句执行后。
- **失败的 (failed)**：发现正常的执行不能继续后。
- **中止的 (aborted)**：事务回滚并且数据库已恢复到事务开始执行前的状态后。
- **提交的 (committed)**：成功完成后。

事务状态图作用：

便于系统跟踪各事务执行情况
保证事务原子性和持久性特点

事务相应的状态图如图 14-1 所示。只有在事务已进入提交状态后，我们才说事务已提交。类似地，仅当事务已进入中止状态，我们才说事务已中止。如果事务是提交的或中止的，它称为已经结束的 (terminated)。

二 可串行化调度

讨论2. 什么是可串行化调度？

1.调度基本概念

1)什么是调度, 串行调度和并行调度?

调度：一组指令包括指令在系统中执行的特定时间顺序。
(指令可能来自多个事务)
包括commit, abort指令

串行调度：

调度中凡属于同一个事务的指令都**紧挨着**一起。
即一个事务的指令都**执行完成后**在执行下一事务

并行调度：
调度中多个事务的指令在
时间上相互交叉地在执行

可串行化调度：
虽然可能是一个并行调度
但在执行的效果上等同于
某一个串行调度执行结果

虽保证执行结果正确
但应用并发执行度差

虽应用并发执行度高
但执行结果可能错误

应用并发执行度较高
且执行结果依然正确

图14-5是可串行化调度?

Figure 14-5 illustrates a parallel scheduling example. It shows two processes, T_1 and T_2 , executing concurrently. The operations for T_1 are: $\text{read}(A)$, $A := A - 50$, $\text{write}(A)$, $\text{read}(B)$, $B := B + 50$, $\text{write}(B)$, and commit . The operations for T_2 are: $\text{read}(A)$, $\text{temp} := A * 0.1$, $A := A - \text{temp}$, $\text{write}(A)$, $\text{read}(B)$, $B := B + \text{temp}$, $\text{write}(B)$, and commit . A vertical dashed line represents the timeline. Red annotations highlight a race condition where T_1 's $\text{read}(A)$ and $\text{write}(A)$ are executed before T_2 's $\text{read}(A)$, leading to an incorrect result for T_2 's calculation of temp . A blue cloud contains the text "2) 什么是可串行化调度?".

2)什么是可串行化调度?

图14-5调度不是一个可串行调度
结果与串行调度
 $T1 \rightarrow T2$ 和
 $T2 \rightarrow T1$
的结果都不相同

3) 串行调度、并行调度和可串行化调度各自的特点?

2.冲突可串行化

如果调度 S 可以经过一系列非冲突指令交换转换成 S' ，我们称 S 与 S' 是冲突等价 (conflict equivalent) 的。

由冲突等价的概念引出了冲突可串行化的概念：若一个调度 S 与一个串行调度冲突等价，则称调度 S 是冲突可串行化 (conflict serializable) 的。

4)什么是冲突指令和冲突可串行化调度?

图14-4和14-5都是冲突可串行化调度?

注意：针对同一数据对象

T1的指令 T2的指令

- | | |
|--|--------|
| 1. $l_i = \text{read}(Q)$, $l_j = \text{read}(Q)$ | 非冲突指令 |
| 2. $l_i = \text{read}(Q)$, $l_j = \text{write}(Q)$ | 冲突指令 |
| 3. $l_i = \text{write}(Q)$, $l_j = \text{read}(Q)$ | 冲突操作指令 |
| 4. $l_i = \text{write}(Q)$, $l_j = \text{write}(Q)$ | 冲突操作指令 |

图14-4是冲突可串行化调度
因① ②两组指令可依次交换

图14-5不是冲突可串行化调度
因如图中标出的两对冲突指令
即不能转换为串行调度 $T1 \rightarrow T2$
也不能转换为串行调度 $T2 \rightarrow T1$

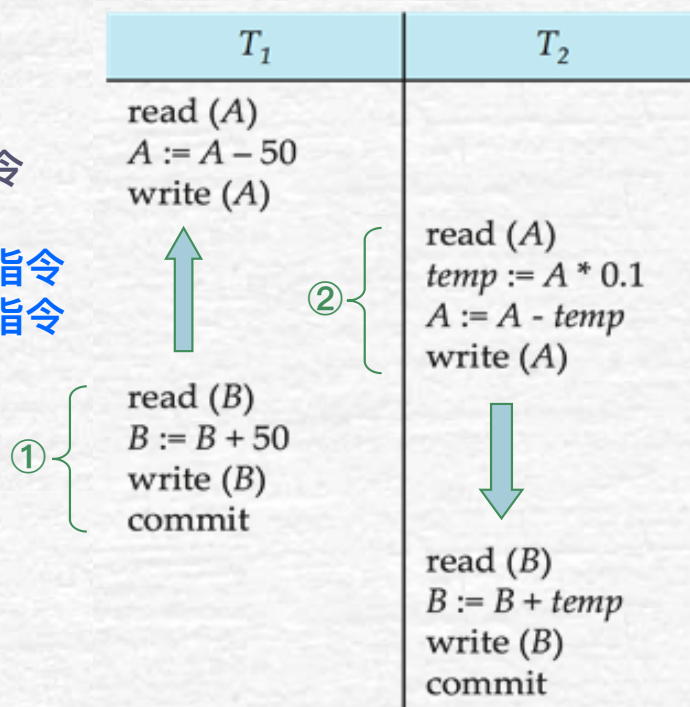


图14-4：并行调度示例

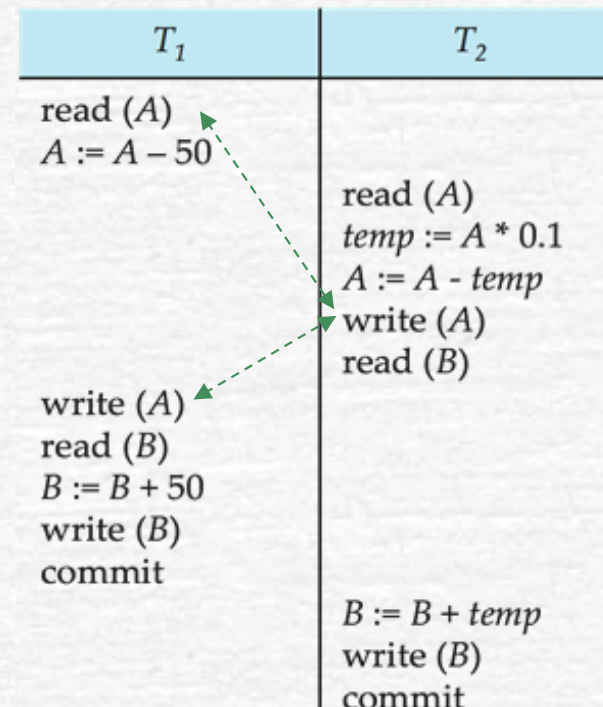


图14-5：并行调度示例

5) 调度优先图的作用?

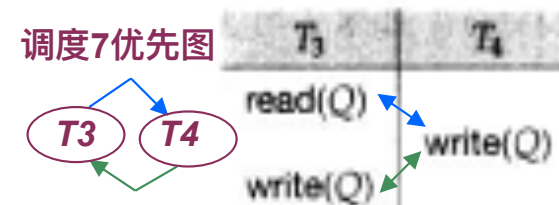
3.调度优先图

什么是调度优先图, 如何绘制?

设 S 是一个调度, 我们由 S 构造一个有向图, 称为 **优先图** (precedence graph)。该图由两部分组成 $G = (V, E)$, 其中 V 是顶点集, E 是边集, 顶点集由所有参与调度的事务组成, 边集由满足下列三个条件之一的边 $T_i \rightarrow T_j$ 组成:

- 在 T_j 执行 **read**(Q)之前, T_i 执行 **write**(Q)。
 - 在 T_j 执行 **write**(Q)之前, T_i 执行 **read**(Q)。
 - 在 T_j 执行 **write**(Q)之前, T_i 执行 **write**(Q)。
- 同一数据即有三种冲突指令

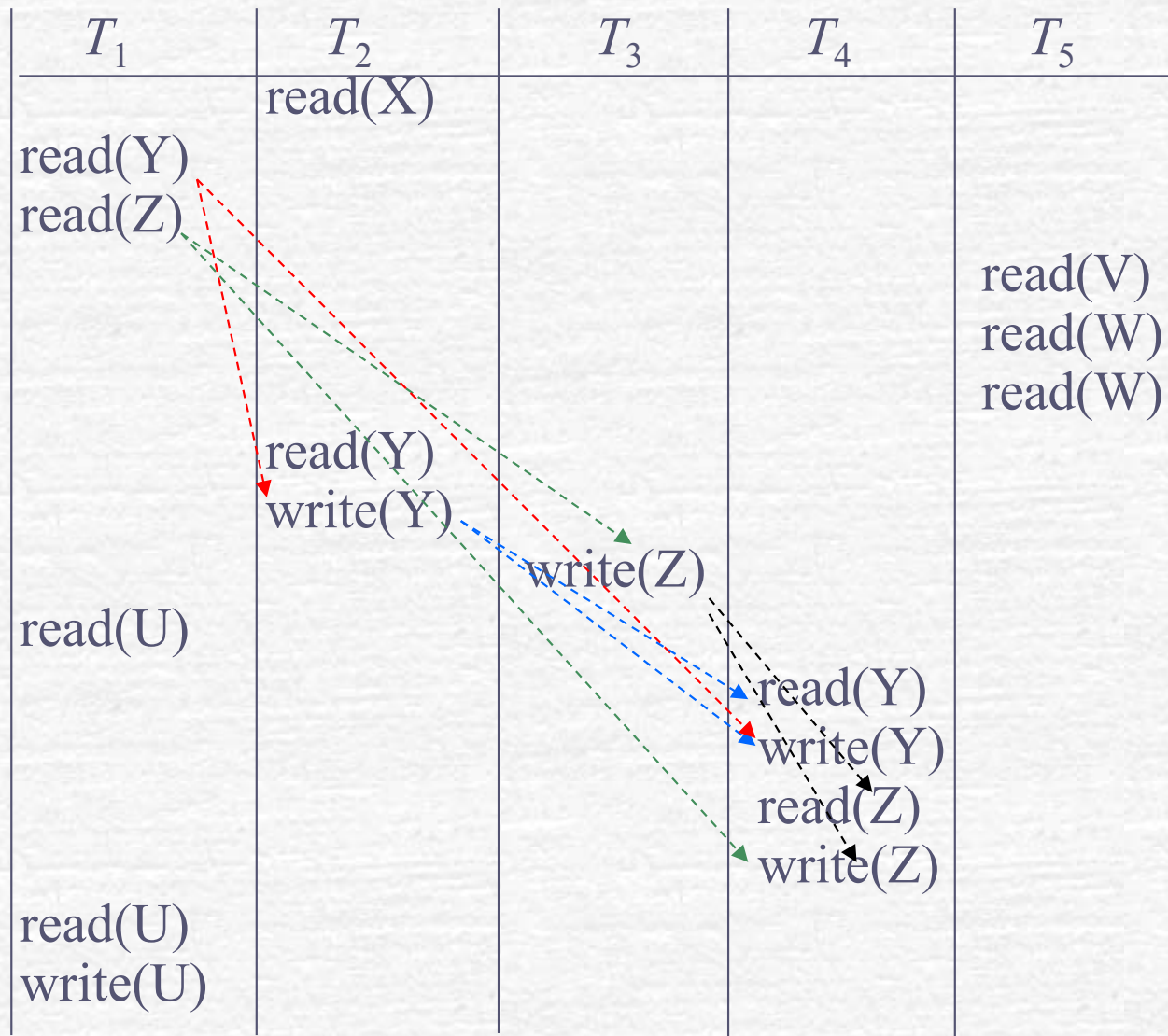
如果优先图中存在边 $T_i \rightarrow T_j$, 则在任何等价于 S 的串行调度 S' 中, T_i 必出现在 T_j 之前。



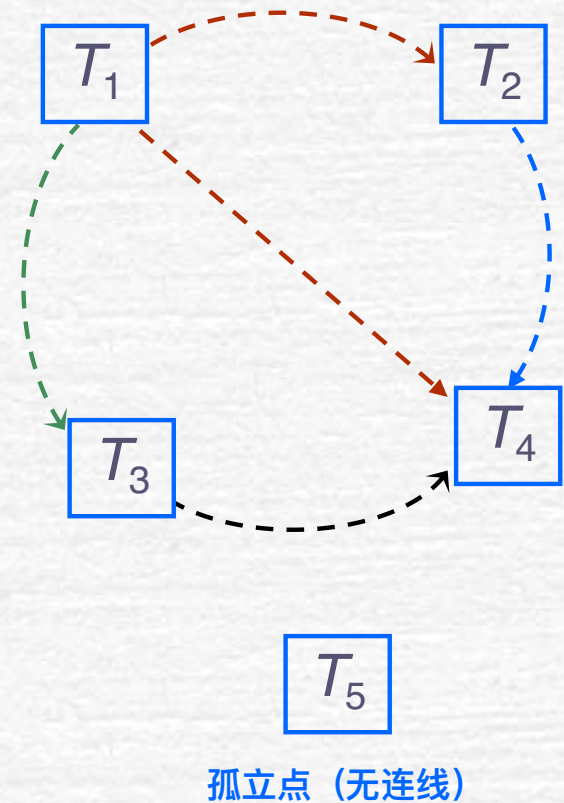
案例4

该调度的优先图什么样?

Example of Precedence Graph



无环，故为冲突可串行化调度！
其等价的串行调度可如下得到：
 $T_5 \rightarrow T_1 \rightarrow T_3 \rightarrow T_2 \rightarrow T_4$ 或
 $T_5 \rightarrow T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3 \rightarrow T_4$



4.冲突可串行化的判定方法

如果调度 S 的优先图有环，则调度 S 是非冲突可串行化的，如果优先图无环，则调度 S 是冲突可串行化的。

调度 4 的优先图如图 14-11 所示。因为 T_1 执行 $\text{read}(A)$ 先于 T_2 执行 $\text{write}(A)$ ，所以图 14-11 含有边 $T_1 \rightarrow T_2$ 。又因 T_2 执行 $\text{read}(B)$ 先于 T_1 执行 $\text{write}(B)$ ，所以图 14-11 还含有边 $T_2 \rightarrow T_1$ 。

| T_1 | T_2 |
|---|---|
| $\text{read}(A)$ $A := A - 50$ $\text{write}(A)$ $\text{read}(B)$ $B := B + 50$ $\text{write}(B)$ commit | $\text{read}(A)$ $\text{temp} := A * 0.1$ $A := A - \text{temp}$ $\text{write}(A)$ $\text{read}(B)$ $B := B + \text{temp}$ $\text{write}(B)$ commit |

图14-5 调度4

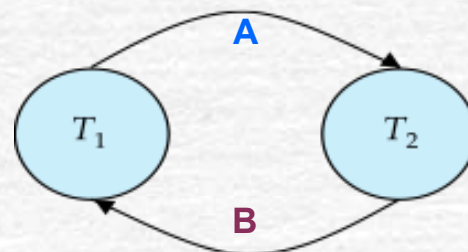


图14-11 调度4的优先图

图14-11不是冲突可串行化调度！

这两个调度是否冲突可串行化？

8)冲突可串行化调度等价的串行调度如何得到？

可串行化调度串行化(又一例)！

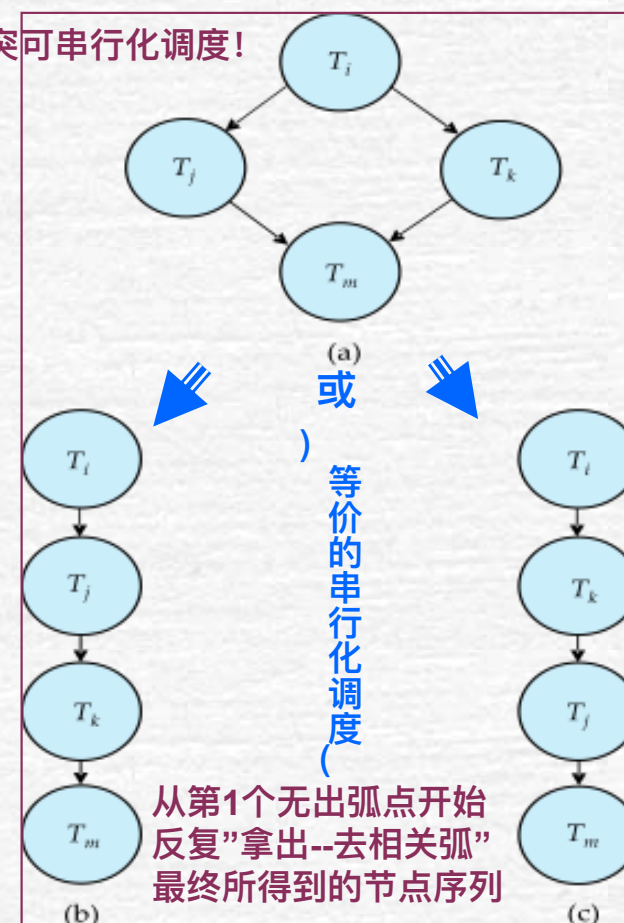
调度4的优先图什么样？

案例6

5) 调度优先图的作用？

用于判断一个并行调度是否为冲突可串行化调度

该图是冲突可串行化调度！



三 事务隔离性和原子性

讨论3.何谓事务的可恢复性,有何意义?

1.可恢复调度&无级联调度p.366

1) 如何理解可恢复调度与无级联调度?

| T_6 | T_7 |
|---------------------|-------------------|
| read(A) write(A) | read(A) commit |
| read(B) | |

图 14-14 调度 9:
一个可恢复的调度

案例7

| T_8 | T_9 | T_{10} |
|--------------------------------|---------------------|----------|
| read(A) read(B) write(A) | read(A) write(A) | read(A) |
| abort | | |

图 14-15 调度 10

案例8

调度 9 是不可恢复调度的一个例子。一个**可恢复调度**(recoverable schedule)应满足:对于每对事务 T_i 和 T_j , 如果 T_j 读取了之前由 T_i 所写的的数据项, 则 T_i 先于 T_j 提交。例如, 如果要使调度 9 是可恢复的, 则 T_7 应该推迟到 T_6 提交后再提交。

无级联调度(cascadeless schedule)应满足:对于每对事务 T_i 和 T_j , 如果 T_j 读取了先前由 T_i 所写的的数据项, 则 T_i 必须在 T_j 这一读操作前提交。容易验证每一个无级联调度也都是可恢复的调度。

2.事务隔离性级别

2)隔离性级别有哪些，为何需求分级？

SQL 标准规定的隔离性级别如下。

- 可串行化 (serializable)：通常保证可串行化调度。然而，正如我们将要解释的，一些数据库系统对该隔离性级别的实现在某些情况下允许非可串行化执行。
- 可重复读 (repeatable read)：只允许读取已提交数据，而且在一个事务两次读取一个数据项期间，其他事务不得更新该数据。但该事务不要求与其他事务可串行化。例如：当一个事务在查找满足某些条件的数据时，它可能找到一个已提交事务插入的一些数据，但可能找不到该事务插入的其他数据。
要求独占(封锁)所读数据项
- 已提交读 (read committed)：只允许读取已提交数据，但不要求可重复读。比如，在事务两次读取一个数据项期间，另一个事务更新了该数据并提交。
不独占(封锁)所读数据项
- 未提交读 (read uncommitted)：允许读取未提交数据。这是 SQL 允许的最低一致性级别。

通常情况下，要求数据库DBMS始终保持数据的一致性。但特殊情况，可以允许放松要求，如数据字典中统计值；又如，当一些应用仅仅需要粗略（非精确）统计信息时。
(实例：房地产全国销售数量和金额实时监测/估算值)

采用可串行化级别

可选用后三种级别

隔离性降低

已提交读

- 例如：singo拿着工资卡去消费，系统读取到卡里确实有2000元，而此时她的老婆也正好在网上转账，把singo工资卡的2000元转到另一账户，并在singo之前提交了事务，当singo扣款时，系统检查到singo的工资卡已经没钱，扣款失败。
- 事务A事先读取了数据，事务B紧接了更新了数据，并提交了事务，而事务A再次读取该数据时，数据已经发生了改变。

未提交读

- 例如：公司发工资了，领导把5000元打到singo的账号上，但是该事务并未提交，而singo正好去查看账户，发现工资已经到账，是5000元整，非常高兴。可是不幸的是，领导发现发给singo的工资金额不对，是2000元，于是迅速回滚了事务，修改金额后，将事务提交，最后singo实际的工资只有2000元，singo空欢喜一场。

可重复读

- 当隔离级别设置为Repeatable read时，可以避免不可重复读。
- 当singo拿着工资卡去消费时，一旦系统开始读取工资卡信息（即事务开始），singo的老婆就不可能对该记录进行修改，也就是singo的老婆不能在此时转账。

3.**隔离性级别的实现方式(选讲,p.368)

X锁-独占

3)(略讲)隔离性
级别实现的技术
思路?

锁: 一个事务可以封锁其访问的数据项, 而不用封锁整个数据库。在这种策略下, 事务必须在足够长的时间内持有锁来保证可串行化, 但是这一周期又要足够短致使不会过度影响性能。对于我们将在14.10节中看到的数据项的访问依赖于一条 **where** 子句的 SQL 语句则情况更为复杂。第15章将介绍一个简单并且广泛用来确保可串行化的两阶段封锁协议。简单地说, 两阶段封锁要求一个事务有两个阶段, 一个阶段只获得锁但不释放锁, 第二个阶段只释放锁但是不获得锁。(实际上, 通常只有当事务完成所有操作并且提交或中止时才释放锁。)

S锁 + X锁

如果我们有两种锁, 则封锁的结果将进一步得到改进: 共享的和排他的。共享锁用于事务读的数据项, 而排他锁用于事务写的数据项。许多事务可以同时持有一个数据项上的共享锁, 但是只有当其他事务在一个数据项上不持有任何锁(无论共享锁或排他锁)时, 一个事务才允许持有该数据项上的排他锁。这两种锁模式以及两阶段封锁协议在保证可串行化的前提下允许数据的并发读。

时间戳: 另一类用来实现隔离性的技术为每个事务分配一个**时间戳**(timestamp), 通常是当它开始的时候。对于每个数据项, 系统维护两个时间戳。数据项的读时间戳记录读该数据项的事务的最大(即最近的)时间戳。数据项的写时间戳记录写入该数据项当前值的事务的时间戳。时间戳用来确保在访问冲突情况下, 事务按照事务时间戳的顺序来访问数据项。当不可能访问时, 违例事务将会中止, 并且分配一个新的时间戳重新开始。

快照隔离: 通过维护数据项的多个版本, 一个事务允许读取一个旧版本的数据项, 而不是被另一个未提交或者在串行化序列中应该排在后面的事务写入的新版本的数据项。有许多多版本并发控制技术。其中一个实际中广泛应用的称为**快照隔离**(snapshot isolation)的技术。

随堂小测试

- ▶ 事务的四个特性是什么？
- ▶ 多个事务并发执行，如何保证执行是正确的？

课程总结与作业安排

- 基本知识:
 - 事务的概念
 - 事务的特性与状态
 - 调度
 - 串行化
 - 事务的隔离级别
- 扩展学习:
 - 数据库如何保证事务顺利执行?
- 作业

第14章习题：14.12，14.14，14.15.