

05-一不小心就死锁了，怎么办？

在上一篇文章中，我们用Account.class作为互斥锁，来解决银行业务里面的转账问题，虽然这个方案不存在并发问题，但是所有账户的转账操作都是串行的，例如账户A转账户B、账户C转账户D这两个转账操作现实世界里是可以并行的，但是在这个方案里却被串行化了，这样的话，性能太差。

试想互联网支付盛行的当下，8亿网民每人每天一笔交易，每天就是8亿笔交易；每笔交易都对应着一次转账操作，8亿笔交易就是8亿次转账操作，也就是说平均到每秒就是近1万次转账操作，若所有的转账操作都串行，性能完全不能接受。

那下面我们就尝试着把性能提升一下。

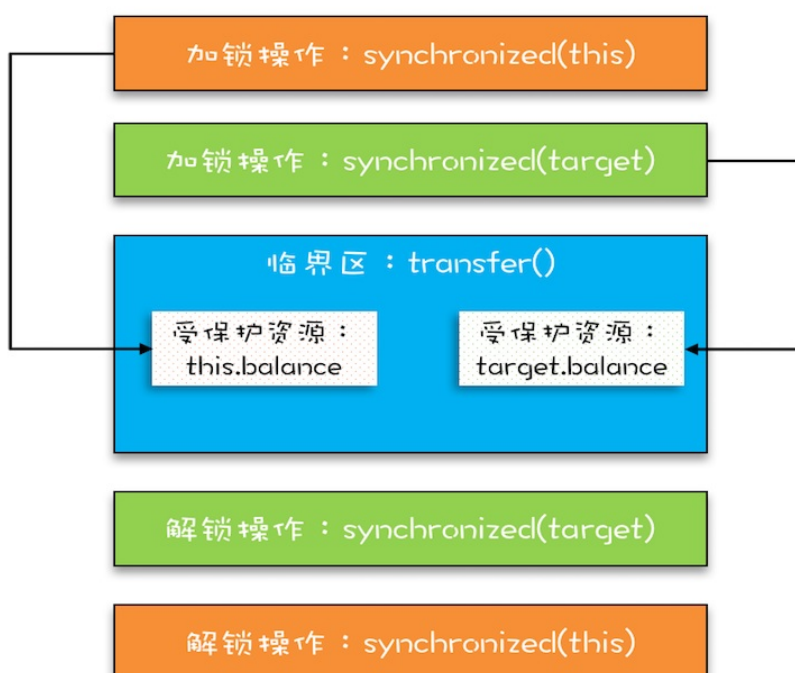
向现实世界要答案

现实世界里，账户转账操作是支持并发的，而且绝对是真正的并行，银行所有的窗口都可以做转账操作。只要我们能仿照现实世界做转账操作，串行的问题就解决了。

我们试想在古代，没有信息化，账户的存在形式真的就是一个账本，而且每个账户都有一个账本，这些账本都统一存放在文件架上。银行柜员在给我们做转账时，要去文件架上把转出账本和转入账本都拿到手，然后做转账。这个柜员在拿账本的时候可能遇到以下三种情况：

1. 文件架上恰好有转出账本和转入账本，那就同时拿走；
2. 如果文件架上只有转出账本和转入账本之一，那这个柜员就先把文件架上有的账本拿到手，同时等着其他柜员把另外一个账本送回来；
3. 转出账本和转入账本都没有，那这个柜员就等着两个账本都被送回来。

上面这个过程在编程的世界里怎么实现呢？其实用两把锁就实现了，转出账本一把，转入账本另一把。在transfer()方法内部，我们首先尝试锁定转出账户this（先把转出账本拿到手），然后尝试锁定转入账户target（再把转入账本拿到手），只有当两者都成功时，才执行转账操作。这个逻辑可以图形化为下图这个样子。



而至于详细的代码实现，如下所示。经过这样的优化后，账户A 转账户B和账户C 转账户D这两个转账操作就可以并行了。

```
class Account {
    private int balance;
    // 转账
    void transfer(Account target, int amt){
        // 锁定转出账户
        synchronized(this) {
            // 锁定转入账户
            synchronized(target) {
                if (this.balance > amt) {
                    this.balance -= amt;
                    target.balance += amt;
                }
            }
        }
    }
}
```

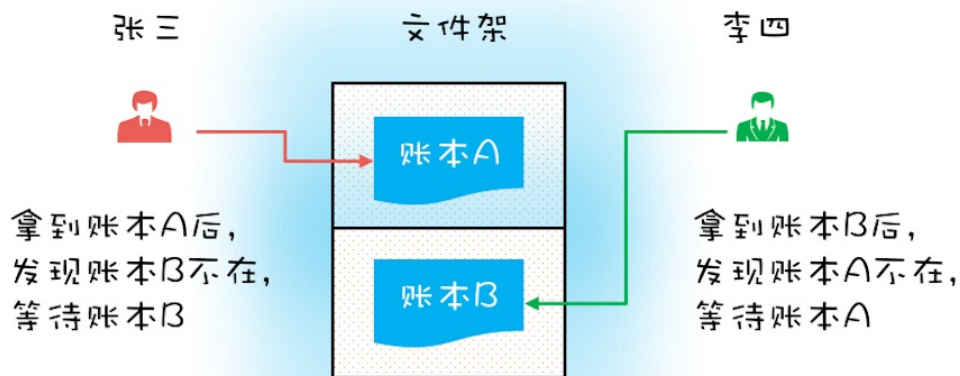
没有免费的午餐

上面的实现看上去很完美，并且也算是将锁用得出神入化了。相对于用Account.class作为互斥锁，锁定的范围太大，而我们锁定两个账户范围就小多了，这样的锁，上一章我们介绍过，叫**细粒度锁**。使用细粒度锁可以提高并行度，是性能优化的一个重要手段。

这个时候可能你已经开始警觉了，使用细粒度锁这么简单，有这样的好事，是不是也要付出点什么代价啊？编写并发程序就需要这样时时刻刻保持谨慎。

的确，使用细粒度锁是有代价的，这个代价就是可能会导致死锁。

在详细介绍死锁之前，我们先看看现实世界里的一种特殊场景。如果有客户找柜员张三做个转账业务：账户A 转账户B 100元，此时另一个客户找柜员李四也做个转账业务：账户B 转账户A 100 元，于是张三和李四同时都去文件架上拿账本，这时候有可能凑巧张三拿到了账本A，李四拿到了账本B。张三拿到账本A后就等着账本B（账本B已经被李四拿走），而李四拿到账本B后就等着账本A（账本A已经被张三拿走），他们要等多久呢？他们会永远等待下去…因为张三不会把账本A送回去，李四也不会把账本B送回去。我们姑且称为死等吧。



转账业务中的“死等”

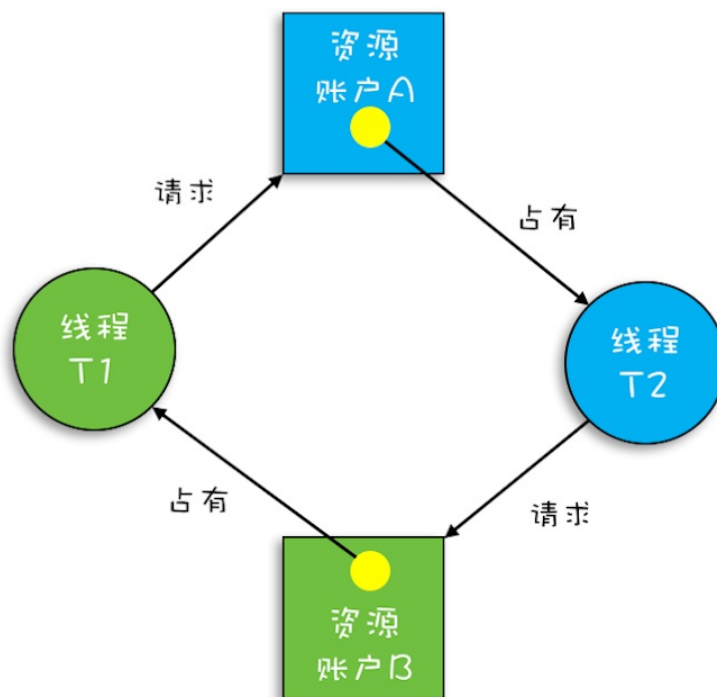
现实世界里的死等，就是编程领域的死锁了。**死锁**的一个比较专业的定义是：一组互相竞争资源的线程因互相等待，导致“永久”阻塞的现象。

上面转账的代码是怎么发生死锁的呢？我们假设线程T1执行账户A转账账户B的操作，账户A.transfer(账户B)；同时线程T2执行账户B转账账户A的操作，账户B.transfer(账户A)。当T1和T2同时执行完①处的代码时，T1获得了账户A的锁（对于T1，this是账户A），而T2获得了账户B的锁（对于T2，this是账户B）。之后T1和T2在执行②处的代码时，T1试图获取账户B的锁时，发现账户B已经被锁定（被T2锁定），所以T1开始等待；T2则试图获取账户A的锁时，发现账户A已经被锁定（被T1锁定），所以T2也开始等待。于是T1和T2会无限地等待下去，也就是我们所说的死锁了。

```
class Account {
    private int balance;
    // 转账
    void transfer(Account target, int amt){
        // 锁定转出账户
        synchronized(this){    ①
            // 锁定转入账户
            synchronized(target){ ②
                if (this.balance > amt) {
                    this.balance -= amt;
                    target.balance += amt;
                }
            }
        }
    }
}
```

关于这种现象，我们还可以借助资源分配图来可视化锁的占用情况（资源分配图是个有向图，它可以描述资源和线程的状态）。其中，资源用方形节点表示，线程用圆形节点表示；资源中的点指向线程的边表示线程已经获得该资源，线程指向资源的边则表示线程请求资源，但尚未得到。转账发生死锁时的资源分配图就如

下图所示，一个“各据山头死等”的尴尬局面。



转账发生死锁时的资源分配图

如何预防死锁

并发程序一旦死锁，一般没有特别好的方法，很多时候我们只能重启应用。因此，解决死锁问题最好的办法还是规避死锁。

那如何避免死锁呢？要避免死锁就需要分析死锁发生的条件，有个叫Coffman的牛人早就总结过了，只有以下这四个条件都发生时才会出现死锁：

1. 互斥，共享资源X和Y只能被一个线程占用；
2. 占有且等待，线程T1已经取得共享资源X，在等待共享资源Y的时候，不释放共享资源X；
3. 不可抢占，其他线程不能强行抢占线程T1占有的资源；
4. 循环等待，线程T1等待线程T2占有的资源，线程T2等待线程T1占有的资源，就是循环等待。

反过来分析，也就是说只要我们破坏其中一个，就可以成功避免死锁的发生。

其中，互斥这个条件我们没有办法破坏，因为我们用锁为的就是互斥。不过其他三个条件都是有办法破坏掉的，到底如何做呢？

1. 对于“占有且等待”这个条件，我们可以一次性申请所有的资源，这样就不存在等待了。
2. 对于“不可抢占”这个条件，占用部分资源的线程进一步申请其他资源时，如果申请不到，可以主动释放它占有的资源，这样不可抢占这个条件就破坏掉了。
3. 对于“循环等待”这个条件，可以靠按序申请资源来预防。所谓按序申请，是指资源是有线性顺序的，申请的时候可以先生申请资源序号小的，再申请资源序号大的，这样线性化后自然就不存在循环了。

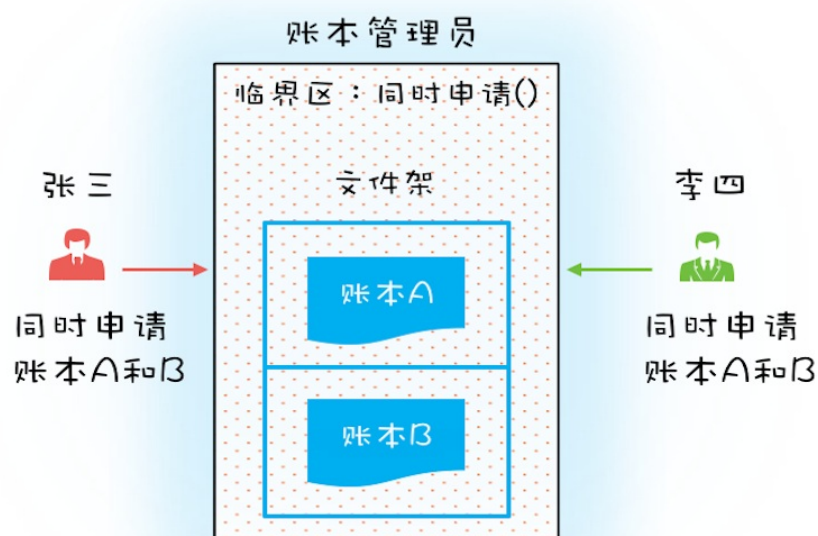
我们已经从理论上解决了如何预防死锁，那具体如何体现在代码上呢？下面我们就来尝试用代码实践一下这

些理论。

1. 破坏占用且等待条件

从理论上讲，要破坏这个条件，可以一次性申请所有资源。在现实世界里，就拿前面我们提到的转账操作来讲，它需要的资源有两个，一个是转出账户，另一个是转入账户，当这两个账户同时被申请时，我们该怎么解决这个问题呢？

可以增加一个账本管理员，然后只允许账本管理员从文件架上拿账本，也就是说柜员不能直接在文件架上拿账本，必须通过账本管理员才能拿到想要的账本。例如，张三同时申请账本A和B，账本管理员如果发现文件架上只有账本A，这个时候账本管理员是不会把账本A拿出来给张三的，只有账本A和B都在的时候才会给张三。这样就保证了“一次性申请所有资源”。



通过账本管理员拿账本

对应到编程领域，“同时申请”这个操作是一个临界区，我们也需要一个角色（Java里面的类）来管理这个临界区，我们就把这个角色定为Allocator。它有两个重要功能，分别是：同时申请资源apply()和同时释放资源free()。账户Account类里面持有一个Allocator的单例（必须是单例，只能由一个人来分配资源）。当账户Account在执行转账操作的时候，首先向Allocator同时申请转出账户和转入账户这两个资源，成功后再锁定这两个资源；当转账操作执行完，释放锁之后，我们需通知Allocator同时释放转出账户和转入账户这两个资源。具体的代码实现如下。

```
class Allocator {
    private List<Object> als =
        new ArrayList<>();
    // 一次性申请所有资源
    synchronized boolean apply(
        Object from, Object to){
        if(als.contains(from) ||
            als.contains(to)){
            return false;
        } else {
```

```

        als.add(from);
        als.add(to);
    }
    return true;
}
// 归还资源
synchronized void free(
    Object from, Object to){
    als.remove(from);
    als.remove(to);
}
}

class Account {
    // acctr应该为单例
    private Allocator acctr;
    private int balance;
    // 转账
    void transfer(Account target, int amt){
        // 一次性申请转出账户和转入账户，直到成功
        while(!acctr.apply(this, target))
            ;
        try{
            // 锁定转出账户
            synchronized(this){
                // 锁定转入账户
                synchronized(target){
                    if (this.balance > amt){
                        this.balance -= amt;
                        target.balance += amt;
                    }
                }
            }
        } finally {
            acctr.free(this, target)
        }
    }
}
}

```

2. 破坏不可抢占条件

破坏不可抢占条件看上去很简单，核心是要能够主动释放它占有的资源，这一点synchronized是做不到的。原因是synchronized申请资源的时候，如果申请不到，线程直接进入阻塞状态了，而线程进入阻塞状态，啥都干不了，也释放不了线程已经占有的资源。

你可能会质疑，“Java作为排行榜第一的语言，这都解决不了？”你的怀疑很有道理，Java在语言层次确实没有解决这个问题，不过在SDK层面还是解决了的，java.util.concurrent这个包下面提供的Lock是可以轻松解决这个问题的。关于这个话题，咱们后面会详细讲。

3. 破坏循环等待条件

破坏这个条件，需要对资源进行排序，然后按序申请资源。这个实现非常简单，我们假设每个账户都有不同的属性 id，这个 id 可以作为排序字段，申请的时候，我们可以按照从小到大的顺序来申请。比如下面代码中，①~⑥处的代码对转出账户（this）和转入账户（target）排序，然后按照序号从小到大的顺序锁定账户。这样就不存在“循环”等待了。


```
class Account {
    private int id;
    private int balance;
    // 转账
    void transfer(Account target, int amt){
        Account left = this           ①
        Account right = target;       ②
        if (this.id > target.id) {    ③
            left = target;            ④
            right = this;              ⑤
        }                             ⑥
        // 锁定序号小的账户
        synchronized(left){
            // 锁定序号大的账户
            synchronized(right){
                if (this.balance > amt){
                    this.balance -= amt;
                    target.balance += amt;
                }
            }
        }
    }
}
```

总结

当我们在编程世界里遇到问题时，应不局限于当下，可以换个思路，向现实世界要答案，**利用现实世界的模型来构思解决方案**，这样往往能够让我们的方案更容易理解，也更能够看清楚问题的本质。

但是现实世界的模型有些细节往往会被我们忽视。因为在现实世界里，人太智能了，以致有些细节实在是显得太不重要了。在转账的模型中，我们为什么会忽视死锁问题呢？原因主要是在现实世界，我们会交流，并且会很智能地交流。而编程世界里，两个线程是不会智能地交流的。所以在利用现实模型建模的时候，我们还要仔细对比现实世界和编程世界里的各角色之间的差异。

我们今天这一篇文章主要讲了**用细粒度锁来锁定多个资源时，要注意死锁的问题**。这个就需要你能把它强化为一个思维定势，遇到这种场景，马上想到可能存在死锁问题。当你知道风险之后，才有机会谈如何预防和避免，因此，**识别出风险很重要**。

预防死锁主要是破坏三个条件中的一个，有了这个思路后，实现就简单了。但仍需注意的是，有时候预防死锁成本也是很高的。例如上面转账那个例子，我们破坏占用且等待条件的成本就比破坏循环等待条件的成本高，破坏占用且等待条件，我们也是锁了所有的账户，而且还是用了死循环 `while(!actr.apply(this, target));` 方法，不过好在 `apply()` 这个方法基本不耗时。在转账这个例子中，破坏循环等待条件就是成本最低的一个方案。

所以我们在选择具体方案的时候，还需要评估一下**操作成本**，从中选择一个**成本最低的方案**。

课后思考

我们上面提到：破坏占用且等待条件，我们也是锁了所有的账户，而且还是用了死循环 `while(!actr.apply(this, target));` 这个方法，那它比 `synchronized(Account.class)` 有没有性能优势呢？

欢迎在留言区与我分享你的想法，也欢迎你在留言区记录你的思考过程。感谢阅读，如果你觉得这篇文章对你有帮助的话，也欢迎把它分享给更多的朋友。

猜你喜欢



精选留言：

- 捞鱼的搬砖奇 2019-03-09 01:18:37
synchronized(Account.class) 锁了Account类相关的所有操作。相当于文中说的包场了，只要与Account有关联，通通需要等待当前线程操作完成。while死循环的方式只锁定了当前操作的两个相关的对象。两种影响到的范围不同。 [18赞]

作者回复2019-03-09 08:36:44
还真是这样啊！

- Tony Du 2019-03-09 11:27:38
while循环是不是应该有个timeout，避免一直阻塞下去？ [15赞]

作者回复2019-03-09 14:00:03
你考虑的很周到！👍
加超时在实际项目中非常重要！

- DemonLee 2019-03-09 12:08:04
while(actr.apply(this, target)); --> while(!actr.apply(this, target));
我感觉应该是这样，老师，我理解错了？ [11赞]

作者回复2019-03-09 12:58:21
你发现了个大bug!感谢感谢！！我这就修改一下啊

- 邈邈的流浪剑客 2019-03-09 09:14:28
思考题的话希望老师能够过后给出一个比较标准的答案，毕竟大家的留言中说法各不相同很难去判断答案的对错 [9赞]

作者回复2019-03-09 10:21:31
这一部分的最后一章，要不就给答案吧

- Howie 2019-03-09 17:19:32
while 循环就是一个自旋锁机制吧，自旋锁的话要关注它的循环时间，不能一直循环下去，不然会浪费 cpu 资源。 [6赞]

作者回复2019-03-09 21:28:27

自旋锁在JVM里是一种特殊的锁机制，自诩不会阻塞线程的。咱们这个其实还是会阻塞线程的。不过原理都一样，你这样理解也没问题。

- 别皱眉 2019-03-14 11:00:39
@阿官 我来回答下你的问题

以下是阿官的问题

老师，在破坏占用且等待的案例中，为何申请完两个账户的资源后还需要再分别锁定this和target账户呢？

因为还存在其他业务啊 比如客户取款
这个时候也是对全局变量balance做操作
如果不加锁 并发情况下会出问题

老师你看我说的对吗😊😊 [4赞]

作者回复2019-03-14 12:23:23
你说到我心里了😊😊😊

- 几字凉了秋、 2019-03-10 00:34:26
老师，请问一下，在实际的开发中，account对象应该是从数据库中查询出来的吧，假如A转B，C转B一起执行，那B的account对象如何保证是同一个对象，不太理解。。。 [4赞]

作者回复2019-03-10 11:48:44
实际开发中都是用数据库事务+乐观锁的方式解决的。这个就是个例子，为了说明死锁是怎么回事，以及死锁问题怎么解决。

- 轻歌赋 2019-03-09 15:00:53
存在性能差距，虽然申请的时候加锁导致单线程访问，但是hash判断和赋值时间复杂度低，而在锁中执行业务代码时间长很多。
申请的时候单线程，但是执行的时候就可以多线程了，这里性能提升比较明显

想问问老师，如何判断多线程的阻塞导致的问题呢？有什么工具吗 [4赞]

作者回复2019-03-09 21:37:01
可以用top命令查看Java线程的cpu利用率，用jstack来dump线程。开发环境可以用 java visualvm查看线程执行情况

- winter 2019-03-09 12:58:50
我的想法是，如果Account对象中只有转账业务的话，while(ctr.apply(this, target))和对象锁synchronized(Account.class)的性能优势几乎看不出来，synchronized(Account.class)的性能甚至更差；但是如果Account对象中如果还有其它业务，比如查看余额等功能也加了synchronized(Account.class)修饰，那么把单独的转账业务剥离出来，性能的提升可能就比较明显了。
[4赞]

作者回复2019-03-09 15:01:45
是的，有时候性能更差，毕竟要synchronized三次。但是有些场景会更好，例如转账操作很慢，而apply很快，这个时候允许a->b,c->d并行就有优势了。

- 张立华 2019-03-12 19:54:32

之前遇到死锁，我就是用资源id的从小到大的顺序去申请锁解决的 [3赞]

作者回复2019-03-12 20:28:38

这个方案最简单

- gogo 2019-03-10 11:55:22

看了老师的讲解学到了很多，联想了下实际转账业务，应该是数据库来实现的，假如有账户表account，利用mysql的悲观锁select ...for update对a, b两条数据锁定，这时也有可能发生死锁，按照您讲到的第三种破坏循环等待的方式，按照id的大小顺序依次锁定。我这样理解的对吗？ [3赞]

作者回复2019-03-10 14:49:24

是的，就是id的次序。

- 陈华 2019-03-14 11:56:24

对于第三点，按资源顺序来锁就能打破循环等待有疑问。

例如：账户 1 向 账户 3 转账

同时 账户 3 向 账户 5 转账

即使按资源顺序来锁，也是起不了啥作用吧！？， [2赞]

作者回复2019-03-14 12:22:44

能起作用，这俩操作不会死锁

- aguan(^_1^_) 2019-03-14 09:44:11

老师，在破坏占用且等待的案例中，为何申请完两个账户的资源后还需要再分别锁定this和target账户呢？ [2赞]

作者回复2019-03-14 12:15:37

为了保险而已，单纯这个例子是不需要的，如果还有取款操作就需要了

- QQ怪 2019-03-09 22:11:05

死循环只是锁的是两个对象，而Account锁的是所有，串行化了 [2赞]

作者回复2019-03-09 22:57:10

死循环里其实也还锁了一个全局对象

- 新世界 2019-03-09 07:20:58

没有性能优势，alloctor的操作也是获取alloctor对象的锁，和获取account的对象锁本质没有区别 [2赞]

作者回复2019-03-09 09:28:43

锁的范围变了，所以场景不同性能也会有差异，并发量小的话，性能还会变差

- 西西弗与卡夫卡 2019-03-09 00:53:48

性能优势还是有的，毕竟后者是对这个类的所有访问都有锁的动作 [2赞]

作者回复2019-03-09 14:32:38

是的，锁的范围是个大问题。允许A->B 和 C->D可以并行还是很重要的

- 李可威 2019-03-17 14:41:07

老师为什么按序申请资源就可以破坏循环等待条件呢？这点没有看懂求解答 [1赞]

作者回复2019-03-17 17:15:02

循环等待，一定是A->B->C->...->N->A形成环状。

如果按需申请，是不允许N->A出现的，只能N->P。没有环状，也就不会死锁了。

- 嘟嘟科技研发部 2019-03-15 08:23:11

```
class Allocator {
private List<Object> als =
new ArrayList<>();
// 一次性申请所有资源
synchronized boolean apply(
Object from, Object to){
if(als.contains(from) ||
als.contains(to)){
return false;
} else {
als.add(from);
als.add(to);
}
return true;
}
// 归还资源
synchronized void free(
Object from, Object to){
als.remove(from);
als.remove(to);
}
}

class Account {
// actr 应该为单例
private Allocator actr;
private int balance;
// 转账
void transfer(Account target, int amt){
// 一次性申请转出账户和转入账户，直到成功
while(!actr.apply(this, target))
;
try{
// 锁定转出账户
synchronized(this){
// 锁定转入账户
synchronized(target){
if (this.balance > amt){
this.balance -= amt;
target.balance += amt;
}
}
}
} finally {
actr.free(this, target)
}
}
```

}

这段代码还是会发生死锁的；场景如下：线程1 A转账给B，线程2 B转账给A：线程1执行完while(!actr.apply(this, target)); 这段代码之后，释放2个资源，然后交出CPU;此时线程2也执行while(!actr.apply(this, target)); 这段代码，接着线程2 获得B资源，交出CPU，等待；此时线程1获得A资源，这样下去，两个线程还是会死锁的； ---- while(!actr.apply(this, target))这段代码和之后的代码没有关联在一起，是独立的，不是原子性的； [1赞]

作者回复2019-03-15 12:15:01

释放2个资源是在转账完成之后，而不是while执行完。线程2获得资源一定是线程1 执行完转账了

- GP 2019-03-13 19:35:48

问下，上节最后说到，不能用可变对象做锁，这里为何又synchronized (left) ？ [1赞]

作者回复2019-03-13 21:24:18

保护的是对象里面的成员，这俩对象变也只能是里面成员变，相对于里面的成员来说，这俩对象是永远不会变的。你可以这样理解。不是绝对不能用于可变对象，只是一条最佳实践。

- λ 2019-03-11 19:29:09

单例导致操作也是串行的吧 [1赞]

作者回复2019-03-11 21:18:29

是串行，但是允许A转B，C转D