模式篇

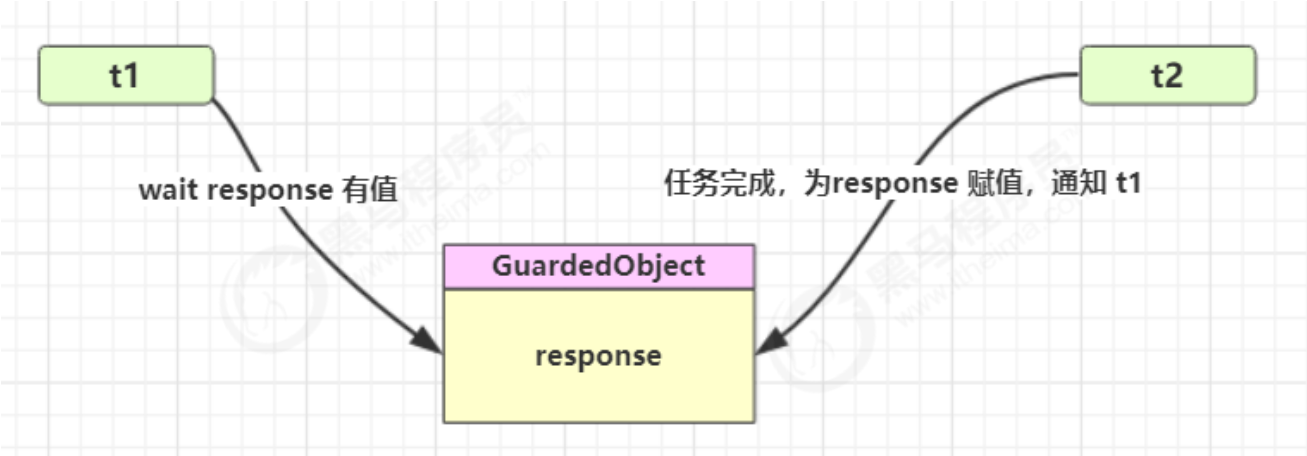
同步模式之保护性暂停

1. 定义

即 Guarded Suspension，用在一个线程等待另一个线程的执行结果

要点

- 有一个结果需要从一个线程传递到另一个线程，让他们关联同一个 GuardedObject
- 如果有结果不断从一个线程到另一个线程那么可以使用消息队列（见生产者/消费者）
- JDK 中，join 的实现、Future 的实现，采用的就是此模式
- 因为要等待另一方的结果，因此归类到同步模式



2. 实现

```
class GuardedObject {

    private Object response;
    private final Object lock = new Object();

    public Object get() {
        synchronized (lock) {
            // 条件不满足则等待
            while (response == null) {
                try {
                    lock.wait();
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
            }
            return response;

        }
```

```
    }

    public void complete(Object response) {
        synchronized (lock) {
            // 条件满足，通知等待线程
            this.response = response;
            lock.notifyAll();
        }
    }
}
```

* 应用

一个线程等待另一个线程的执行结果

```
public static void main(String[] args) {
    GuardedObject guardedObject = new GuardedObject();
    new Thread(() -> {
        try {
            // 子线程执行下载
            List<String> response = download();
            log.debug("download complete...");
            guardedObject.complete(response);
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }).start();

    log.debug("waiting...");
    // 主线程阻塞等待
    Object response = guardedObject.get();
    log.debug("get response: [{}] lines", ((List<String>) response).size());

}
```

执行结果

```
08:42:18.568 [main] c.TestGuardedObject - waiting...
08:42:23.312 [Thread-0] c.TestGuardedObject - download complete...
08:42:23.312 [main] c.TestGuardedObject - get response: [3] lines
```

3. 带超时版 GuardedObject

如果要控制超时时间呢

```
class GuardedObjectV2 {

    private Object response;
    private final Object lock = new Object();
```

```
    public Object get(long millis) {
        synchronized (lock) {
            // 1) 记录最初时间
            long begin = System.currentTimeMillis();
            // 2) 已经经历的时间
            long timePassed = 0;
            while (response == null) {
                // 4) 假设 millis 是 1000，结果在 400 时唤醒了，那么还有 600 要等
                long waitTime = millis - timePassed;
                log.debug("waitTime: {}", waitTime);
                if (waitTime <= 0) {
                    log.debug("break...");
                    break;
                }
                try {
                    lock.wait(waitTime);
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
                // 3) 如果提前被唤醒，这时已经经历的时间假设为 400
                timePassed = System.currentTimeMillis() - begin;
                log.debug("timePassed: {}, object is null {}",
                          timePassed, response == null);
            }
            return response;
        }
    }

    public void complete(Object response) {
        synchronized (lock) {
            // 条件满足，通知等待线程
            this.response = response;
            log.debug("notify...");
            lock.notifyAll();
        }
    }
}
```

测试，没有超时

```
public static void main(String[] args) {
    GuardedObjectV2 v2 = new GuardedObjectV2();
    new Thread(() -> {
        sleep(1);
        v2.complete(null);
        sleep(1);
        v2.complete(Arrays.asList("a", "b", "c"));
    }).start();

    Object response = v2.get(2500);
    if (response != null) {

        log.debug("get response: [{}] lines", ((List<String>) response).size());
```

```
    } else {
        log.debug("can't get response");
    }
}
```

输出

```
08:49:39.917 [main] c.GuardedObjectV2 - waitTime: 2500
08:49:40.917 [Thread-0] c.GuardedObjectV2 - notify...
08:49:40.917 [main] c.GuardedObjectV2 - timePassed: 1003, object is null true
08:49:40.917 [main] c.GuardedObjectV2 - waitTime: 1497
08:49:41.918 [Thread-0] c.GuardedObjectV2 - notify...
08:49:41.918 [main] c.GuardedObjectV2 - timePassed: 2004, object is null false
08:49:41.918 [main] c.TestGuardedObjectV2 - get response: [3] lines
```

测试，超时

```
// 等待时间不足
List<String> lines = v2.get(1500);
```

输出

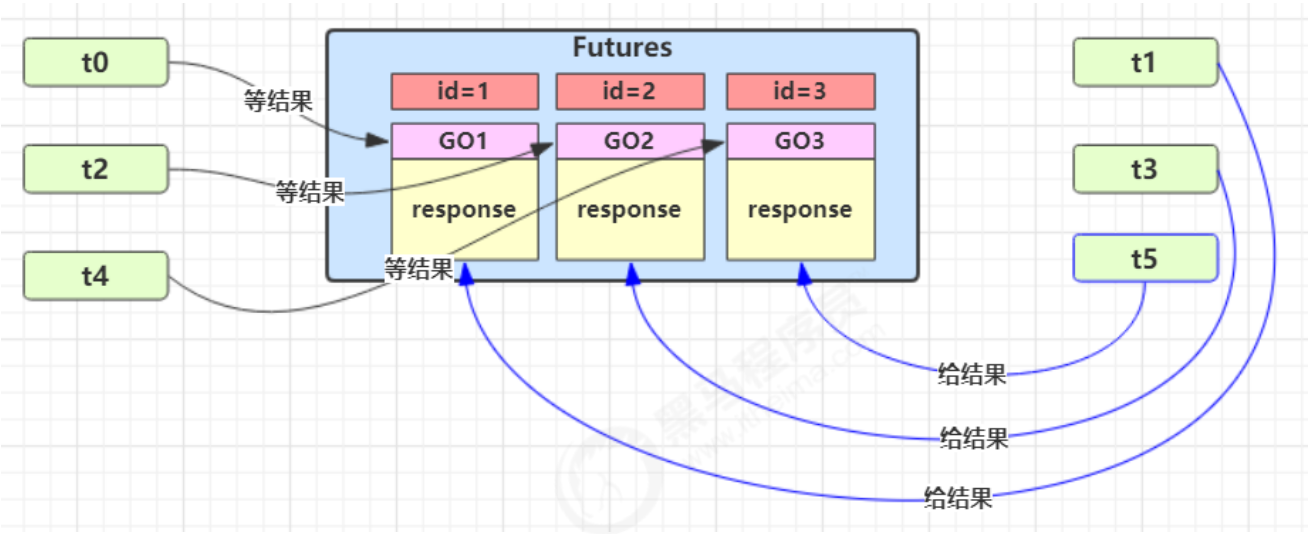
```
08:47:54.963 [main] c.GuardedObjectV2 - waitTime: 1500
08:47:55.963 [Thread-0] c.GuardedObjectV2 - notify...
08:47:55.963 [main] c.GuardedObjectV2 - timePassed: 1002, object is null true
08:47:55.963 [main] c.GuardedObjectV2 - waitTime: 498
08:47:56.461 [main] c.GuardedObjectV2 - timePassed: 1500, object is null true
08:47:56.461 [main] c.GuardedObjectV2 - waitTime: 0
08:47:56.461 [main] c.GuardedObjectV2 - break...
08:47:56.461 [main] c.TestGuardedObjectV2 - can't get response
08:47:56.963 [Thread-0] c.GuardedObjectV2 - notify...
```

* 原理之 join

4. 多任务版 GuardedObject

图中 Futures 就好比居民楼一层的信箱（每个信箱有房间编号），左侧的 t0，t2，t4 就好比等待邮件的居民，右侧的 t1，t3，t5 就好比邮递员

如果需要在多个类之间使用 GuardedObject 对象，作为参数传递不是很方便，因此设计一个用来解耦的中间类，这样不仅能够解耦【结果等待者】和【结果生产者】，还能够同时支持多个任务的管理



新增 id 用来标识 Guarded Object

```
class GuardedObject {

    // 标识 Guarded Object
    private int id;

    public GuardedObject(int id) {
        this.id = id;
    }

    public int getId() {
        return id;
    }

    // 结果
    private Object response;

    // 获取结果
    // timeout 表示要等待多久 2000
    public Object get(long timeout) {
        synchronized (this) {
            // 开始时间 15:00:00
            long begin = System.currentTimeMillis();
            // 经历的时间
            long passedTime = 0;
            while (response == null) {
                // 这一轮循环应该等待的时间
                long waitTime = timeout - passedTime;
                // 经历的时间超过了最大等待时间时，退出循环
                if (timeout - passedTime <= 0) {
                    break;
                }
                try {
                    this.wait(waitTime); // 虚假唤醒 15:00:01
                } catch (InterruptedException e) {

                    e.printStackTrace();
```

```
                }
                // 求得经历时间
                passedTime = System.currentTimeMillis() - begin; // 15:00:02  1s
            }
            return response;
        }
    }

    // 产生结果
    public void complete(Object response) {
        synchronized (this) {
            // 给结果成员变量赋值
            this.response = response;
            this.notifyAll();
        }
    }
}
```

中间解耦类

```
class Mailboxes {
    private static Map<Integer, GuardedObject> boxes = new Hashtable<>();

    private static int id = 1;
    // 产生唯一 id
    private static synchronized int generateId() {
        return id++;
    }

    public static GuardedObject getGuardedObject(int id) {
        return boxes.remove(id);
    }

    public static GuardedObject createGuardedObject() {
        GuardedObject go = new GuardedObject(generateId());
        boxes.put(go.getId(), go);
        return go;
    }

    public static Set<Integer> getIds() {
        return boxes.keySet();
    }
}
```

业务相关类

```
class People extends Thread{
    @Override
    public void run() {
        // 收信
        GuardedObject guardedObject = Mailboxes.createGuardedObject();
        log.debug("开始收信 id:{}", guardedObject.getId());
        Object mail = guardedObject.get(5000);
        log.debug("收到信 id:{}, 内容:{}", guardedObject.getId(), mail);
    }
}
```

```
class Postman extends Thread {
    private int id;
    private String mail;

    public Postman(int id, String mail) {
        this.id = id;
        this.mail = mail;
    }

    @Override
    public void run() {
        GuardedObject guardedObject = Mailboxes.getGuardedObject(id);
        log.debug("送信 id:{}, 内容:{}", id, mail);
        guardedObject.complete(mail);
    }
}
```

测试

```
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        new People().start();
    }
    Sleeper.sleep(1);
    for (Integer id : Mailboxes.getIds()) {
        new Postman(id, "内容" + id).start();
    }
}
```

某次运行结果

```
10:35:05.689 c.People [Thread-1] - 开始收信 id:3
10:35:05.689 c.People [Thread-2] - 开始收信 id:1
10:35:05.689 c.People [Thread-0] - 开始收信 id:2
10:35:06.688 c.Postman [Thread-4] - 送信 id:2, 内容:内容2
10:35:06.688 c.Postman [Thread-5] - 送信 id:1, 内容:内容1
10:35:06.688 c.People [Thread-0] - 收到信 id:2, 内容:内容2
10:35:06.688 c.People [Thread-2] - 收到信 id:1, 内容:内容1
10:35:06.688 c.Postman [Thread-3] - 送信 id:3, 内容:内容3
10:35:06.689 c.People [Thread-1] - 收到信 id:3, 内容:内容3
```

同步模式之 Balking

1. 定义

Balking （犹豫）模式用在一个线程发现另一个线程或本线程已经做了某一件相同的事，那么本线程就无需再做了，直接结束返回

2. 实现

例如：

```
public class MonitorService {

    // 用来表示是否已经有线程已经在执行启动了
    private volatile boolean starting;

    public void start() {
        log.info("尝试启动监控线程...");
        synchronized (this) {
            if (starting) {
                return;
            }
            starting = true;
        }

        // 真正启动监控线程...
    }
}
```

当前端页面多次点击按钮调用 start 时

输出

```
[http-nio-8080-exec-1] cn.itcast.monitor.service.MonitorService - 该监控线程已启动?(false)
[http-nio-8080-exec-1] cn.itcast.monitor.service.MonitorService - 监控线程已启动...
[http-nio-8080-exec-2] cn.itcast.monitor.service.MonitorService - 该监控线程已启动?(true)
[http-nio-8080-exec-3] cn.itcast.monitor.service.MonitorService - 该监控线程已启动?(true)
[http-nio-8080-exec-4] cn.itcast.monitor.service.MonitorService - 该监控线程已启动?(true)
```

它还经常用来实现线程安全的单例

```
public final class Singleton {
    private Singleton() {
    }

    private static Singleton INSTANCE = null;

    public static synchronized Singleton getInstance() {
        if (INSTANCE != null) {
            return INSTANCE;
        }

        INSTANCE = new Singleton();
        return INSTANCE;
    }
}
```

对比一下保护性暂停模式：保护性暂停模式用在一个线程等待另一个线程的执行结果，当条件不满足时线程等待。

同步模式之顺序控制

1. 固定运行顺序

比如，必须先 2 后 1 打印

1.1 wait notify 版

```
// 用来同步的对象
static Object obj = new Object();
// t2 运行标记， 代表 t2 是否执行过
static boolean t2runed = false;

public static void main(String[] args) {

    Thread t1 = new Thread(() -> {
        synchronized (obj) {
            // 如果 t2 没有执行过
            while (!t2runed) {
                try {
                    // t1 先等一会
                    obj.wait();
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
```

```
                }
            }
        }
        System.out.println(1);
    });

    Thread t2 = new Thread(() -> {
        System.out.println(2);
        synchronized (obj) {
            // 修改运行标记
            t2runed = true;
            // 通知 obj 上等待的线程（可能有多个，因此需要用 notifyAll）
            obj.notifyAll();
        }
    });

    t1.start();
    t2.start();
}
```

1.2 Park Unpark 版

可以看到，实现上很麻烦：

- 首先，需要保证先 wait 再 notify，否则 wait 线程永远得不到唤醒。因此使用了『运行标记』来判断该不该 wait
- 第二，如果有些干扰线程错误地 notify 了 wait 线程，条件不满足时还要重新等待，使用了 while 循环来解决此问题
- 最后，唤醒对象上的 wait 线程需要使用 notifyAll，因为『同步对象』上的等待线程可能不止一个

可以使用 LockSupport 类的 park 和 unpark 来简化上面的题目：

```
Thread t1 = new Thread(() -> {
    try { Thread.sleep(1000); } catch (InterruptedException e) { }
    // 当没有『许可』时，当前线程暂停运行；有『许可』时，用掉这个『许可』，当前线程恢复运行
    LockSupport.park();
    System.out.println("1");
});

Thread t2 = new Thread(() -> {
    System.out.println("2");
    // 给线程 t1 发放『许可』（多次连续调用 unpark 只会发放一个『许可』）
    LockSupport.unpark(t1);
});

t1.start();
t2.start();
```

park 和 unpark 方法比较灵活，他俩谁先调用，谁后调用无所谓。并且是以线程为单位进行『暂停』和『恢复』，不需要『同步对象』和『运行标记』

2. 交替输出

线程 1 输出 a 5 次，线程 2 输出 b 5 次，线程 3 输出 c 5 次。现在要求输出 abcabcabcabcabc 怎么实现

2.1 wait notify 版

```
class SyncWaitNotify {
    private int flag;
    private int loopNumber;

    public SyncWaitNotify(int flag, int loopNumber) {
        this.flag = flag;
        this.loopNumber = loopNumber;
    }

    public void print(int waitFlag, int nextFlag, String str) {
        for (int i = 0; i < loopNumber; i++) {
            synchronized (this) {
                while (this.flag != waitFlag) {
                    try {
                        this.wait();
                    } catch (InterruptedException e) {
                        e.printStackTrace();
                    }
                }
                System.out.print(str);
                flag = nextFlag;
                this.notifyAll();
            }
        }
    }
}
```

```
SyncWaitNotify syncWaitNotify = new SyncWaitNotify(1, 5);
new Thread(() -> {
    syncWaitNotify.print(1, 2, "a");
}).start();
new Thread(() -> {
    syncWaitNotify.print(2, 3, "b");
}).start();
new Thread(() -> {
    syncWaitNotify.print(3, 1, "c");
}).start();
```

2.2 Lock 条件变量版

```
class AwaitSignal extends ReentrantLock {
    public void start(Condition first) {
        this.lock();
```

```
        try {
            log.debug("start");
            first.signal();
        } finally {
            this.unlock();
        }
    }
    public void print(String str, Condition current, Condition next) {
        for (int i = 0; i < loopNumber; i++) {
            this.lock();
            try {
                current.await();
                log.debug(str);
                next.signal();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            } finally {
                this.unlock();
            }
        }
    }

    // 循环次数
    private int loopNumber;

    public AwaitSignal(int loopNumber) {
        this.loopNumber = loopNumber;
    }
}
```

```
AwaitSignal as = new AwaitSignal(5);
Condition aWaitSet = as.newCondition();
Condition bWaitSet = as.newCondition();
Condition cWaitSet = as.newCondition();


new Thread(() -> {
    as.print("a", aWaitSet, bWaitSet);
}).start();
new Thread(() -> {
    as.print("b", bWaitSet, cWaitSet);
}).start();
new Thread(() -> {
    as.print("c", cWaitSet, aWaitSet);
}).start();

as.start(aWaitSet);
```

> **注意**

> 该实现没有考虑 a，b，c 线程都就绪再开始

2.3 Park Unpark 版

```
class SyncPark {
    private int loopNumber;
    private Thread[] threads;

    public SyncPark(int loopNumber) {
        this.loopNumber = loopNumber;
    }

    public void setThreads(Thread... threads) {
        this.threads = threads;
    }

    public void print(String str) {
        for (int i = 0; i < loopNumber; i++) {
            LockSupport.park();
            System.out.print(str);
            LockSupport.unpark(nextThread());
        }
    }

    private Thread nextThread() {
        Thread current = Thread.currentThread();
        int index = 0;
        for (int i = 0; i < threads.length; i++) {
            if(threads[i] == current) {
                index = i;
                break;
            }
        }
        if(index < threads.length - 1) {
            return threads[index+1];
        } else {
            return threads[0];
        }
    }

    public void start() {
        for (Thread thread : threads) {
            thread.start();
        }
        LockSupport.unpark(threads[0]);
    }
}
```

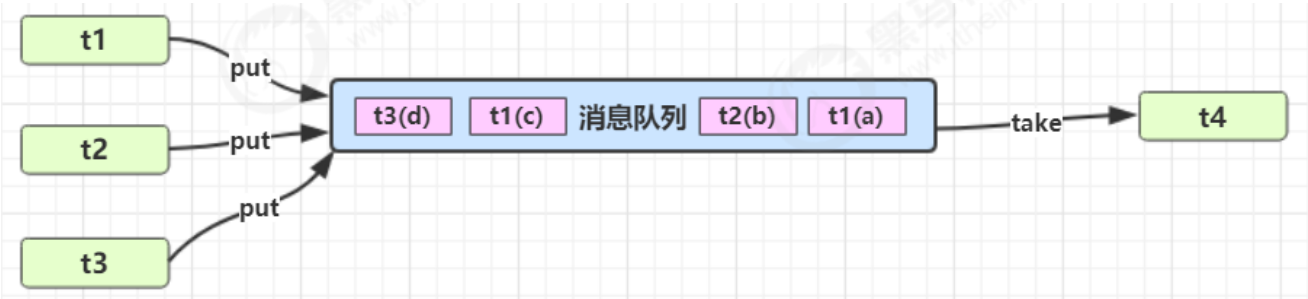
```
SyncPark syncPark = new SyncPark(5);
Thread t1 = new Thread(() -> {
    syncPark.print("a");
});
Thread t2 = new Thread(() -> {
    syncPark.print("b");
});
Thread t3 = new Thread(() -> {
    syncPark.print("c\n");
});
syncPark.setThreads(t1, t2, t3);
syncPark.start();
```

异步模式之生产者/消费者

1. 定义

要点

- 与前面的保护性暂停中的 GuardObject 不同，不需要产生结果和消费结果的线程一一对应
- 消费队列可以用来平衡生产和消费的线程资源
- 生产者仅负责产生结果数据，不关心数据该如何处理，而消费者专心处理结果数据
- 消息队列是有容量限制的，满时不会再加入数据，空时不会再消耗数据
- JDK 中各种阻塞队列，采用的就是这种模式



2. 实现

```
class Message {
    private int id;
    private Object message;

    public Message(int id, Object message) {
        this.id = id;
        this.message = message;
    }

    public int getId() {
        return id;
    }

    public Object getMessage() {
        return message;
```

```
    }
}

class MessageQueue {
    private LinkedList<Message> queue;
    private int capacity;

    public MessageQueue(int capacity) {
        this.capacity = capacity;
        queue = new LinkedList<>();
    }

    public Message take() {
        synchronized (queue) {
            while (queue.isEmpty()) {
                log.debug("没货了，wait");
                try {
                    queue.wait();
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
            }
            Message message = queue.removeFirst();
            queue.notifyAll();
            return message;
        }
    }

    public void put(Message message) {
        synchronized (queue) {
            while (queue.size() == capacity) {
                log.debug("库存已达上限，wait");
                try {
                    queue.wait();
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
            }
            queue.addLast(message);
            queue.notifyAll();
        }
    }
}
```

* 应用

```
MessageQueue messageQueue = new MessageQueue(2);
// 4 个生产者线程，下载任务
for (int i = 0; i < 4; i++) {
    int id = i;
    new Thread(() -> {
        try {
```

```
                log.debug("download...");
                List<String> response = Downloader.download();
                log.debug("try put message({})", id);
                messageQueue.put(new Message(id, response));
            } catch (IOException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }, "生产者" + i).start();
    }

    // 1 个消费者线程, 处理结果
    new Thread(() -> {
        while (true) {
            Message message = messageQueue.take();
            List<String> response = (List<String>) message.getMessage();
            log.debug("take message({}): [{}] lines", message.getId(), response.size());
        }

    }, "消费者").start();
```

某次运行结果

```
10:48:38.070 [生产者3] c.TestProducerConsumer - download...
10:48:38.070 [生产者0] c.TestProducerConsumer - download...
10:48:38.070 [消费者] c.MessageQueue - 没货了, wait
10:48:38.070 [生产者1] c.TestProducerConsumer - download...
10:48:38.070 [生产者2] c.TestProducerConsumer - download...
10:48:41.236 [生产者1] c.TestProducerConsumer - try put message(1)
10:48:41.237 [生产者2] c.TestProducerConsumer - try put message(2)
10:48:41.236 [生产者0] c.TestProducerConsumer - try put message(0)
10:48:41.237 [生产者3] c.TestProducerConsumer - try put message(3)
10:48:41.239 [生产者2] c.MessageQueue - 库存已达上限, wait
10:48:41.240 [生产者1] c.MessageQueue - 库存已达上限, wait
10:48:41.240 [消费者] c.TestProducerConsumer - take message(0): [3] lines
10:48:41.240 [生产者2] c.MessageQueue - 库存已达上限, wait
10:48:41.240 [消费者] c.TestProducerConsumer - take message(3): [3] lines
10:48:41.240 [消费者] c.TestProducerConsumer - take message(1): [3] lines
10:48:41.240 [消费者] c.TestProducerConsumer - take message(2): [3] lines
10:48:41.240 [消费者] c.MessageQueue - 没货了, wait
```

结果解读

异步模式之工作线程

1. 定义

让有限的工作线程（Worker Thread）来轮流异步处理无限多的任务。也可以将其归类为分工模式，它的典型实现就是线程池，也体现了经典设计模式中的享元模式。

例如，海底捞的服务员（线程），轮流处理每位客人的点餐（任务），如果为每位客人都配一名专属的服务员，那么成本就太高了（对比另一种多线程设计模式：Thread-Per-Message）

注意，不同任务类型应该使用不同的线程池，这样能够避免饥饿，并能提升效率

例如，如果一个餐馆的工人既要招呼客人（任务类型A），又要到后厨做菜（任务类型B）显然效率不咋地，分成服务员（线程池A）与厨师（线程池B）更为合理，当然你能想到更细致的分工

2. 饥饿

固定大小线程池会有饥饿现象

- 两个工人是同一个线程池中的两个线程
- 他们要做的事情是：为客人点餐和到后厨做菜，这是两个阶段的工作
  - 客人点餐：必须先点完餐，等菜做好，上菜，在此期间处理点餐的工人必须等待
  - 后厨做菜：没啥说的，做就是了
- 比如工人A 处理了点餐任务，接下来它要等着 工人B 把菜做好，然后上菜，他俩也配合的蛮好
- 但现在同时来了两个客人，这个时候工人A 和工人B 都去处理点餐了，这时没人做饭了，饥饿

```
public class TestDeadLock {

    static final List<String> MENU = Arrays.asList("地三鲜", "宫保鸡丁", "辣子鸡丁", "烤鸡翅");
    static Random RANDOM = new Random();
    static String cooking() {
        return MENU.get(RANDOM.nextInt(MENU.size()));
    }
    public static void main(String[] args) {
        ExecutorService executorService = Executors.newFixedThreadPool(2);

        executorService.execute(() -> {
            log.debug("处理点餐...");
            Future<String> f = executorService.submit(() -> {
                log.debug("做菜");
                return cooking();
            });
            try {
                log.debug("上菜: {}", f.get());
            } catch (InterruptedException | ExecutionException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        });
        /*executorService.execute(() -> {
            log.debug("处理点餐...");
            Future<String> f = executorService.submit(() -> {
                log.debug("做菜");
                return cooking();
            });
            try {
                log.debug("上菜: {}", f.get());
            } catch (InterruptedException | ExecutionException e) {
```

```
                e.printStackTrace();
            }
        });*/

    }
}
```

输出

```
17:21:27.883 c.TestDeadLock [pool-1-thread-1] - 处理点餐...
17:21:27.891 c.TestDeadLock [pool-1-thread-2] - 做菜
17:21:27.891 c.TestDeadLock [pool-1-thread-1] - 上菜: 烤鸡翅
```

当注释取消后，可能的输出

```
17:08:41.339 c.TestDeadLock [pool-1-thread-2] - 处理点餐...
17:08:41.339 c.TestDeadLock [pool-1-thread-1] - 处理点餐...
```

这不是死锁，用Jconsole也检测不出死锁，这是线程数不足导致的饥饿问题。解决方法可以增加线程池的大小，不过不是根本解决方案，还是前面提到的，**不同的任务类型，采用不同的线程池**，
例如：

```
public class TestDeadLock {

    static final List<String> MENU = Arrays.asList("地三鲜", "宫保鸡丁", "辣子鸡丁", "烤鸡翅");
    static Random RANDOM = new Random();
    static String cooking() {
        return MENU.get(RANDOM.nextInt(MENU.size()));
    }
    public static void main(String[] args) {
        ExecutorService waiterPool = Executors.newFixedThreadPool(1);
        ExecutorService cookPool = Executors.newFixedThreadPool(1);

        waiterPool.execute(() -> {
            log.debug("处理点餐...");
            Future<String> f = cookPool.submit(() -> {
                log.debug("做菜");
                return cooking();
            });
            try {
                log.debug("上菜: {}", f.get());
            } catch (InterruptedException | ExecutionException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        });
        waiterPool.execute(() -> {
            log.debug("处理点餐...");
            Future<String> f = cookPool.submit(() -> {
                log.debug("做菜");
                return cooking();
            });
            try {
```

```
                log.debug("上菜: {}", f.get());
            } catch (InterruptedException | ExecutionException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        });


    }
}
```

输出

```
17:25:14.626 c.TestDeadLock [pool-1-thread-1] - 处理点餐...
17:25:14.630 c.TestDeadLock [pool-2-thread-1] - 做菜
17:25:14.631 c.TestDeadLock [pool-1-thread-1] - 上菜: 地三鲜
17:25:14.632 c.TestDeadLock [pool-1-thread-1] - 处理点餐...
17:25:14.632 c.TestDeadLock [pool-2-thread-1] - 做菜
17:25:14.632 c.TestDeadLock [pool-1-thread-1] - 上菜: 辣子鸡丁
```

3. 创建多少线程池合适

- 过小会导致程序不能充分地利用系统资源、容易导致饥饿
- 过大会导致更多的线程上下文切换，占用更多内存，如8核但创建了200线程的线程池，则不是每个线程都能立马抢到CPU

3.1 CPU 密集型运算

通常采用 `cpu 核数 + 1` 能够实现最优的 CPU 利用率，+1 是保证当线程由于页缺失故障（操作系统）或其它原因导致暂停时，额外的这个线程就能顶上去，保证 CPU 时钟周期不被浪费

3.2 I/O 密集型运算

CPU 不总是处于繁忙状态，例如，当你执行业务计算时，这时候会使用 CPU 资源，但当你执行 I/O 操作时、远程 RPC 调用时，包括进行数据库操作时，这时候 CPU 就闲下来了，你可以利用多线程提高它的利用率。

经验公式如下

`线程数 = 核数 * 期望 CPU 利用率 * 总时间(CPU计算时间+等待时间) / CPU 计算时间`

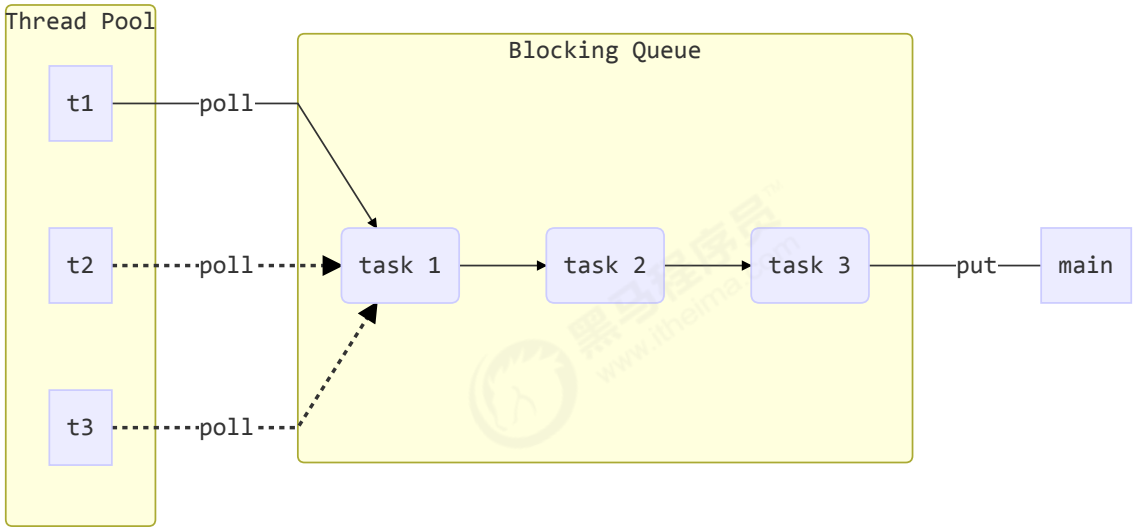
例如 4 核 CPU 计算时间是 50% ，其它等待时间是 50%，期望 cpu 被 100% 利用，套用公式

`4 * 100% * 100% / 50% = 8`

例如 4 核 CPU 计算时间是 10% ，其它等待时间是 90%，期望 cpu 被 100% 利用，套用公式

`4 * 100% * 100% / 10% = 40`

4. 自定义线程池



步骤1：自定义拒绝策略接口

```
@FunctionalInterface // 拒绝策略
interface RejectPolicy<T> {
    void reject(BlockingQueue<T> queue, T task);
}
```

步骤2：自定义任务队列

```
class BlockingQueue<T> {
    // 1. 任务队列
    private Deque<T> queue = new ArrayDeque<>();

    // 2. 锁
    private ReentrantLock lock = new ReentrantLock();

    // 3. 生产者条件变量
    private Condition fullWaitSet = lock.newCondition();

    // 4. 消费者条件变量
    private Condition emptyWaitSet = lock.newCondition();

    // 5. 容量
    private int capcity;

    public BlockingQueue(int capcity) {
        this.capcity = capcity;
    }
```

```
// 带超时阻塞获取
public T poll(long timeout, TimeUnit unit) {
    lock.lock();
    try {
        // 将 timeout 统一转换为 纳秒
        long nanos = unit.toNanos(timeout);
        while (queue.isEmpty()) {
            try {
                // 返回值是剩余时间
                if (nanos <= 0) {
                    return null;
                }
                nanos = emptyWaitSet.awaitNanos(nanos);
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
        T t = queue.removeFirst();
        fullWaitSet.signal();
        return t;
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

// 阻塞获取
public T take() {
    lock.lock();
    try {
        while (queue.isEmpty()) {
            try {
                emptyWaitSet.await();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
        T t = queue.removeFirst();
        fullWaitSet.signal();
        return t;
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

// 阻塞添加
public void put(T task) {
    lock.lock();
    try {
        while (queue.size() == capcity) {
            try {
                log.debug("等待加入任务队列 {} ...", task);

                fullWaitSet.await();
```

```
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
            }
            log.debug("加入任务队列 {}", task);
            queue.addLast(task);
            emptyWaitSet.signal();
        } finally {
            lock.unlock();
        }
    }

    // 带超时时间阻塞添加
    public boolean offer(T task, long timeout, TimeUnit timeUnit) {
        lock.lock();
        try {
            long nanos = timeUnit.toNanos(timeout);
            while (queue.size() == capcity) {
                try {
                    if(nanos <= 0) {
                        return false;
                    }
                    log.debug("等待加入任务队列 {} ...", task);
                    nanos = fullWaitSet.awaitNanos(nanos);
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
            }
            log.debug("加入任务队列 {}", task);
            queue.addLast(task);
            emptyWaitSet.signal();
            return true;
        } finally {
            lock.unlock();
        }
    }

    public int size() {
        lock.lock();
        try {
            return queue.size();
        } finally {
            lock.unlock();
        }
    }

    public void tryPut(RejectPolicy<T> rejectPolicy, T task) {
        lock.lock();
        try {
            // 判断队列是否满
            if(queue.size() == capcity) {
                rejectPolicy.reject(this, task);

            } else {  // 有空闲
```

```
                log.debug("加入任务队列 {}", task);
                queue.addLast(task);
                emptyWaitSet.signal();
            }
        } finally {
            lock.unlock();
        }
    }
}
```

步骤3：自定义线程池

```
class ThreadPool {
    // 任务队列
    private BlockingQueue<Runnable> taskQueue;

    // 线程集合
    private HashSet<Worker> workers = new HashSet<>();

    // 核心线程数
    private int coreSize;

    // 获取任务时的超时时间
    private long timeout;

    private TimeUnit timeUnit;

    private RejectPolicy<Runnable> rejectPolicy;

    // 执行任务
    public void execute(Runnable task) {
        // 当任务数没有超过 coreSize 时，直接交给 worker 对象执行
        // 如果任务数超过 coreSize 时，加入任务队列暂存
        synchronized (workers) {
            if(workers.size() < coreSize) {
                Worker worker = new Worker(task);
                log.debug("新增 worker{}, {}", worker, task);
                workers.add(worker);
                worker.start();
            } else {
//                taskQueue.put(task);
                // 1) 死等
                // 2) 带超时等待
                // 3) 让调用者放弃任务执行
                // 4) 让调用者抛出异常
                // 5) 让调用者自己执行任务
                taskQueue.tryPut(rejectPolicy, task);
            }
        }
    }


    public ThreadPool(int coreSize, long timeout, TimeUnit timeUnit, int queueCapcity,
```

```
RejectPolicy<Runnable> rejectPolicy) {
        this.coreSize = coreSize;
        this.timeout = timeout;
        this.timeUnit = timeUnit;
        this.taskQueue = new BlockingQueue<>(queueCapcity);
        this.rejectPolicy = rejectPolicy;
    }

    class Worker extends Thread{
        private Runnable task;

        public Worker(Runnable task) {
            this.task = task;
        }

        @Override
        public void run() {
            // 执行任务
            // 1) 当 task 不为空，执行任务
            // 2) 当 task 执行完毕，再接着从任务队列获取任务并执行
//            while(task != null || (task = taskQueue.take()) != null) {
            while(task != null || (task = taskQueue.poll(timeout, timeUnit)) != null) {
                try {
                    log.debug("正在执行...{}", task);
                    task.run();
                } catch (Exception e) {
                    e.printStackTrace();
                } finally {
                    task = null;
                }
            }
            synchronized (workers) {
                log.debug("worker 被移除{}", this);
                workers.remove(this);
            }
        }
    }
}
```

步骤4：测试

```
    public static void main(String[] args) {
        ThreadPool threadPool = new ThreadPool(1,
                1000, TimeUnit.MILLISECONDS, 1, (queue, task)->{
            // 1. 死等
//            queue.put(task);
            // 2) 带超时等待
//            queue.offer(task, 1500, TimeUnit.MILLISECONDS);
            // 3) 让调用者放弃任务执行
//            log.debug("放弃{}", task);
            // 4) 让调用者抛出异常

//            throw new RuntimeException("任务执行失败 " + task);
```

```
            // 5) 让调用者自己执行任务
            task.run();
        });
        for (int i = 0; i < 4; i++) {
            int j = i;
            threadPool.execute(() -> {
                try {
                    Thread.sleep(1000L);
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
                log.debug("{}", j);
            });
        }
    }
```

终止模式之两阶段终止模式

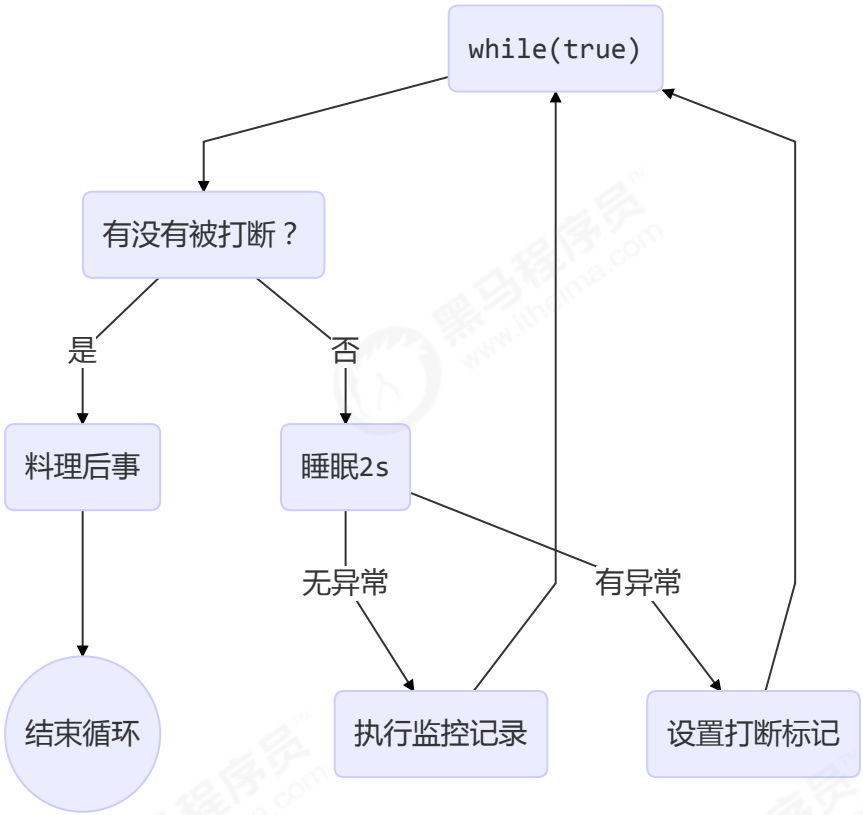
Two Phase Termination

在一个线程 T1 中如何“优雅”终止线程 T2？这里的【优雅】指的是给 T2 一个料理后事的机会。

1. 错误思路

- 使用线程对象的 stop() 方法停止线程
  - stop 方法会真正杀死线程，如果这时线程锁住了共享资源，那么当它被杀死后就再也没有机会释放锁，其它线程将永远无法获取锁
- 使用 System.exit(int) 方法停止线程
  - 目的仅是停止一个线程，但这种做法会让整个程序都停止

2. 两阶段终止模式



2.1 利用 isInterrupted

interrupt 可以打断正在执行的线程，无论这个线程是在 sleep，wait，还是正常运行

```
class TPTInterrupt {
    private Thread thread;

    public void start(){
        thread = new Thread(() -> {
            while(true) {
                Thread current = Thread.currentThread();
                if(current.isInterrupted()) {
                    log.debug("料理后事");
                    break;
                }
                try {
                    Thread.sleep(1000);
                    log.debug("将结果保存");
                } catch (InterruptedException e) {
                    current.interrupt();
```

```
                }
                // 执行监控操作
            }
        },"监控线程");
        thread.start();
    }

    public void stop() {
        thread.interrupt();
    }
}
```

调用

```
TPTInterrupt t = new TPTInterrupt();
t.start();

Thread.sleep(3500);
log.debug("stop");
t.stop();
```

结果

```
11:49:42.915 c.TwoPhaseTermination [监控线程] - 将结果保存
11:49:43.919 c.TwoPhaseTermination [监控线程] - 将结果保存
11:49:44.919 c.TwoPhaseTermination [监控线程] - 将结果保存
11:49:45.413 c.TestTwoPhaseTermination [main] - stop
11:49:45.413 c.TwoPhaseTermination [监控线程] - 料理后事
```

2.2 利用停止标记

```
// 停止标记用 volatile 是为了保证该变量在多个线程之间的可见性
// 我们的例子中，即主线程把它修改为 true 对 t1 线程可见
class TPTVolatile {
    private Thread thread;
    private volatile boolean stop = false;

    public void start(){
        thread = new Thread(() -> {
            while(true) {
                Thread current = Thread.currentThread();
                if(stop) {
                    log.debug("料理后事");
                    break;
                }
                try {
                    Thread.sleep(1000);
                    log.debug("将结果保存");
                } catch (InterruptedException e) {
```

```
                }
                // 执行监控操作
            }
        },"监控线程");
        thread.start();
    }

    public void stop() {
        stop = true;
        thread.interrupt();
    }
}
```

调用

```
TPTVolatile t = new TPTVolatile();
t.start();

Thread.sleep(3500);
log.debug("stop");
t.stop();
```

结果

```
11:54:52.003 c.TPTVolatile [监控线程] - 将结果保存
11:54:53.006 c.TPTVolatile [监控线程] - 将结果保存
11:54:54.007 c.TPTVolatile [监控线程] - 将结果保存
11:54:54.502 c.TestTwoPhaseTermination [main] - stop
11:54:54.502 c.TPTVolatile [监控线程] - 料理后事
```

案例：JVM 内存监控

线程安全单例

单例模式有很多实现方法，饿汉、懒汉、静态内部类、枚举类，试分析每种实现下获取单例对象（即调用 getInstance）时的线程安全，并思考注释中的问题

> 饿汉式：类加载就会导致该单实例对象被创建
>
> 懒汉式：类加载不会导致该单实例对象被创建，而是首次使用该对象时才会创建

1. 饿汉单例

```
// 问题1：为什么加 final
// 问题2：如果实现了序列化接口，还要做什么来防止反序列化破坏单例
public final class Singleton implements Serializable {
    // 问题3：为什么设置为私有？是否能防止反射创建新的实例？
```

```
    private Singleton() {}
    // 问题4：这样初始化是否能保证单例对象创建时的线程安全?
    private static final Singleton INSTANCE = new Singleton();
    // 问题5：为什么提供静态方法而不是直接将 INSTANCE 设置为 public，说出你知道的理由
    public static Singleton getInstance() {
        return INSTANCE;
    }
    public Object readResolve() {
        return INSTANCE;
    }
}
```

2. 枚举单例

```
// 问题1：枚举单例是如何限制实例个数的
// 问题2：枚举单例在创建时是否有并发问题
// 问题3：枚举单例能否被反射破坏单例
// 问题4：枚举单例能否被反序列化破坏单例
// 问题5：枚举单例属于懒汉式还是饿汉式
// 问题6：枚举单例如果希望加入一些单例创建时的初始化逻辑该如何做
enum Singleton {
    INSTANCE;
}
```

3. 懒汉单例

```
public final class Singleton {
    private Singleton() { }
    private static Singleton INSTANCE = null;
    // 分析这里的线程安全，并说明有什么缺点
    public static synchronized Singleton getInstance() {
        if( INSTANCE != null ){
            return INSTANCE;
        }
        INSTANCE = new Singleton();
        return INSTANCE;
    }
}
```

4. DCL 懒汉单例

```
public final class Singleton {
    private Singleton() { }
    // 问题1：解释为什么要加 volatile ?
    private static volatile Singleton INSTANCE = null;

    // 问题2：对比实现3，说出这样做的意义
    public static Singleton getInstance() {

        if (INSTANCE != null) {
```

```
            return INSTANCE;
        }
        synchronized (Singleton.class) {
            // 问题3：为什么还要在这里加为空判断，之前不是判断过了吗
            if (INSTANCE != null) {        // t2
                return INSTANCE;
            }
            INSTANCE = new Singleton();
            return INSTANCE;
        }
    }
}
```

5. 静态内部类懒汉单例

```
public final class Singleton {
    private Singleton() { }
    // 问题1：属于懒汉式还是饿汉式
    private static class LazyHolder {
        static final Singleton INSTANCE = new Singleton();
    }
    // 问题2：在创建时是否有并发问题
    public static Singleton getInstance() {
        return LazyHolder.INSTANCE;
    }
}
```

享元模式

1. 简介

定义 英文名称：Flyweight pattern. 当需要重用数量有限的同一类对象时

> wikipedia： A flyweight is an object that minimizes memory usage by sharing as much data as possible with other similar objects

出自 "Gang of Four" design patterns

归类 Structual patterns

2. 体现

2.1 包装类

在JDK中 Boolean，Byte，Short，Integer，Long，Character 等包装类提供了 valueOf 方法，例如 Long 的 valueOf 会缓存 -128~127 之间的 Long 对象，在这个范围之间会重用对象，大于这个范围，才会新建 Long 对象：

```
public static Long valueOf(long l) {
    final int offset = 128;
    if (l >= -128 && l <= 127) { // will cache
        return LongCache.cache[(int)l + offset];
    }
    return new Long(l);
}
```

> **注意：**
>
> - Byte, Short, Long 缓存的范围都是 -128~127
> - Character 缓存的范围是 0~127
> - Integer的默认范围是 -128~127
>   - 最小值不能变
>   - 但最大值可以通过调整虚拟机参数 `-Djava.lang.Integer.IntegerCache.high` 来改变
> - Boolean 缓存了 TRUE 和 FALSE

2.2 String 串池机制

2.3 BigDecimal BigInteger

也有缓存体现了享元模式。它们是不可变的，底层都是保护性拷贝以返回的新对象，所以每个线程操作的对象不是同一个，单个方法线程安全，但多个方法组合一起，并发操作修改同一个对象时，就可能有并发安全问题，不能保证原子性。

3. DIY

例如：一个线上商城应用，QPS 达到数千，如果每次都重新创建和关闭数据库连接，性能会受到极大影响。 这时预先创建好一批连接，放入连接池。一次请求到达后，从连接池获取连接，使用完毕后再还回连接池，这样既节约了连接的创建和关闭时间，也实现了连接的重用，不至于让庞大的连接数压垮数据库。

```
class Pool {
    // 1. 连接池大小
    private final int poolSize;

    // 2. 连接对象数组
    private Connection[] connections;

    // 3. 连接状态数组 0 表示空闲， 1 表示繁忙
    private AtomicIntegerArray states;
    // 4. 构造方法初始化
    public Pool(int poolSize) {
        this.poolSize = poolSize;
        this.connections = new Connection[poolSize];
        this.states = new AtomicIntegerArray(new int[poolSize]);
        for (int i = 0; i < poolSize; i++) {
            connections[i] = new MockConnection("连接" + (i+1));
        }
    }
    // 5. 借连接
    public Connection borrow() {
```

```
        while(true) {
            for (int i = 0; i < poolSize; i++) {
                // 获取空闲连接时可能有多线程竞争，用CAS防止并发问题
                if(states.get(i) == 0) {
                    if (states.compareAndSet(i, 0, 1)) {
                        log.debug("borrow {}", connections[i]);
                        return connections[i];
                    }
                }
            }
            // 如果没有空闲连接，当前线程进入等待
            synchronized (this) {
                try {
                log.debug("wait...");
                //自旋消耗CPU而且已经没有连接数了，阻塞线程更合适,CAS锁适合短时间线程的运行
                this.wait ();
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
              }
        } }
    }

    // 6. 归还连接
    public void free(Connection conn) {
        for (int i = 0; i < poolSize; i++) {
            if (connections[i] == conn) {//判断是否为同一个地址的连接
            //只有持有该连接的线程才能归还，不会有多线程竞争问题，不用CAS
            states.set(i, 0);
                synchronized (this) {
                    log.debug("free {}", conn);
                    this.notifyAll();
               }break
               ;
            }
        }
    }
}

class MockConnection implements Connection {
  // 实现略
}
```

使用连接池：

```
Pool pool = new Pool(2);
for (int i = 0; i < 5; i++) {
    new Thread(() -> {
        Connection conn = pool.borrow();
        try {
            Thread.sleep(new Random().nextInt(1000));
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        pool.free(conn);
    }).start();
}
```

以上实现没有考虑：

- 连接的数量的动态增长与收缩
- 连接保活（对连接进行可用性检测）
- 等待超时处理(可参考保护性暂停)
- 分布式 hash

对于关系型数据库，有比较成熟的连接池实现，例如c3p0, druid等 对于更通用的对象池，可以考虑使用apache commons pool，例如redis连接池可以参考jedis中关于连接池的实现