

Java并发程序设计教程

温绍锦（昵称：温少）

/jobs/

旧时王谢堂前燕，飞入寻常百姓家。

内容列表

- 1、使用线程的经验：设置名称、响应中断、使用ThreadLocal
- 2、Executor：ExecutorService和Future ☆ ☆ ☆
- 3、阻塞队列：put和take、offer和poll、drainTo
- 4、线程间的协调手段：lock、condition、wait、notify、notifyAll ☆ ☆ ☆
- 5、Lock-free: atomic、concurrentMap.putIfAbsent、CopyOnWriteArrayList ☆ ☆ ☆
- 6、关于锁使用的经验介绍
- 7、并发流程控制手段：CountDownLatch、Barrier
- 8、定时器: ScheduledExecutorService、大规模定时器TimerWheel
- 9、并发三大定律：Amdahl、Gustafson、Sun-Ni
- 10、神人和图书
- 11、业界发展情况: GPGPU、OpenCL
- 12、复习题

学习的过程，着重注意红星标识☆的内容，学完之后，要求能够回答复习题。

启动线程的注意事项

```
Thread thread = new Thread("thread name") {  
    public void run() {  
        // do xxx  
    }  
};  
thread.start();
```

1

```
Thread thread = new Thread() {  
    public void run() {  
        // do xxx  
    }  
};  
thread.setName("thread name");  
thread.start();
```

3

```
public class MyThread extends Thread {  
    public MyThread() {  
        super("thread name");  
    }  
    public void run() {  
        // do xxx  
    }  
}  
MyThread thread = new MyThread ();  
thread.start();
```

2

```
Thread thread = new Thread(task); // 传入任务  
thread.setName("thread name");  
thread.start();
```

4

```
Thread thread = new Thread(task, "thread name");  
thread.start();
```

5

无论何种方式，启动一个线程，就要给它一个名字！这对排错诊断系统监控有帮助。否则诊断问题时，无法直观知道某个线程的用途。

thread.interrupt();

```
Thread thread = new Thread("interrupt test") {
    public void run() {
        for (;;) {
            doXXX();
            if (Thread.interrupted()) {
                break;
            }
        }
    }
};
thread.start();
```

1

```
Thread thread = new Thread("interrupt test") {
    public void run() {
        for (;;) {
            try {
                doXXX();
            } catch (InterruptedException e) {
                break;
            } catch (Exception e) {
                // handle Exception
            }
        }
    }
};
thread.start();
```

3

```
public void foo() throws InterruptedException {
    if (Thread.interrupted()) {
        throw new InterruptedException();
    }
}
```

2

程序应该对线程中断作出恰当的响应。

ThreadLocal

ThreadLocal<T>
<code>initialValue() : T</code> <code>get() : T</code> <code>set(T value)</code> <code>remove()</code>

顾名思义它是**local variable**（线程局部变量）。它的功用非常简单，就是为每一个使用该变量的线程都提供一个变量值的副本，是每一个线程都可以独立地改变自己的副本，而不会和其它线程的副本冲突。从线程的角度看，就好像每一个线程都完全拥有该变量。

使用场景

To keep state with a thread (user-id, transaction-id, logging-id)

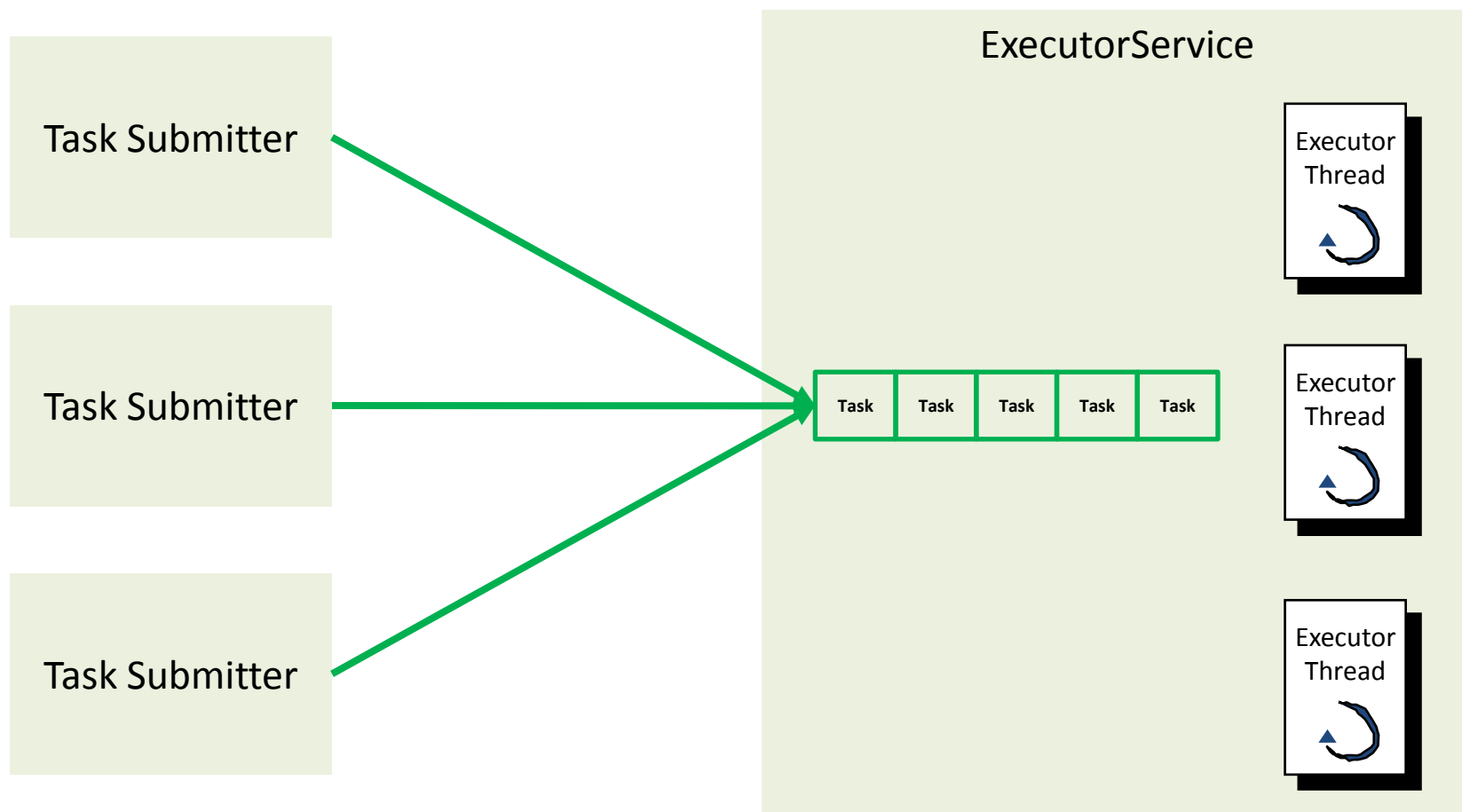
To cache objects which you need frequently

隐式传参

注意：使用ThreadLocal，一般都是声明在静态变量中，如果不断的创建ThreadLocal而且没有调用其remove方法，将会导致**内存泄露**。

任务的提交者和执行者

为了方便并发执行任务，出现了一种专门用来执行任务的实现，也就是Executor。由此，任务提交者不需要再创建管理线程，使用更方便，也减少了开销。



`java.util.concurrent.Executors`是Executor的工厂类，通过Executors可以创建你所需要的Executor。

任务的提交者和执行者之间的通讯手段

```
ExecutorService executor = Executors.newSingleThreadExecutor();
```

```
Callable<Object> task = new Callable<Object>() {  
    public Object call() throws Exception {  
        Object result = "...";  
        return result;  
    }  
};
```

```
Future<Object> future = executor.submit(task);  
future.get();
```

Future<T>

```
cancel(boolean) : boolean  
isCancelled() : boolean  
isDone() : boolean  
get() : T  
get(long, TimeUnit) : T
```

有两种任务:

Runnable
Callable

Callable是需要返回值的任务

Task Submitter

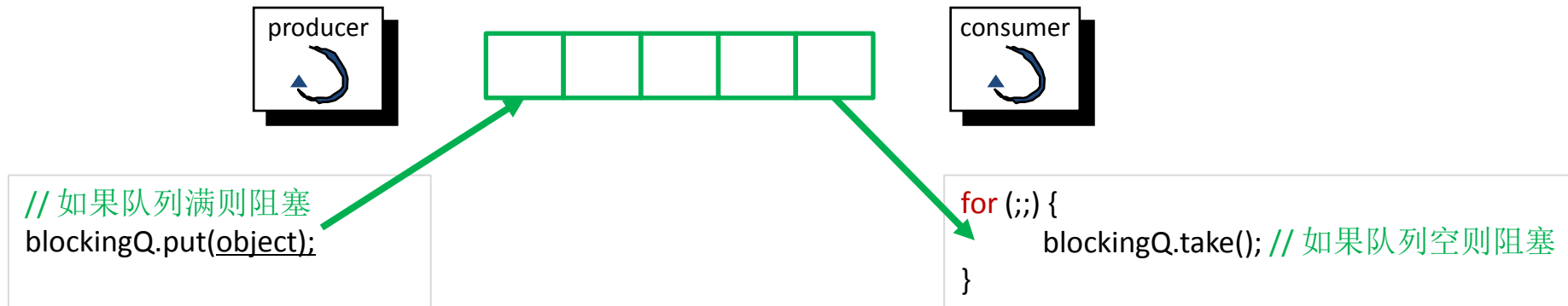
```
Future<Object> future = executor.submit(task);  
  
// 等待到任务被执行完毕返回结果  
// 如果任务执行出错，这里会抛ExecutionException  
future.get();  
  
//等待3秒，超时后会抛TimeoutException  
future.get(3, TimeUnit.SECONDS);
```

Task Executor

```
Callable<Object> task = new Callable<Object>() {  
    public Object call() throws Exception {  
        Object result = ...;  
        return result;  
    }  
};
```

Task Submitter把任务提交给Executor执行，他们之间需要一种通讯手段，这种手段的具体实现，通常叫做Future。Future通常包括get（阻塞至任务完成），cancel，get(timeout）（等待一段时间）等等。Future也用于异步变同步的场景。

阻塞队列



阻塞队列，是一种常用的并发数据结构，常用于生产者-消费者模式。

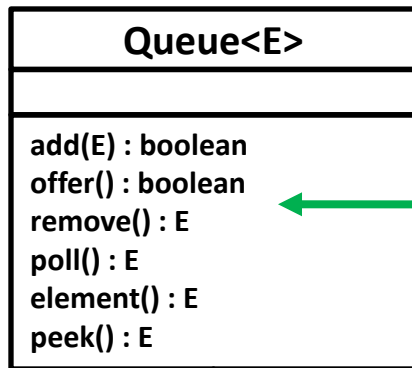
在Java中，有三种常用的阻塞队列：

ArrayBlockingQueue

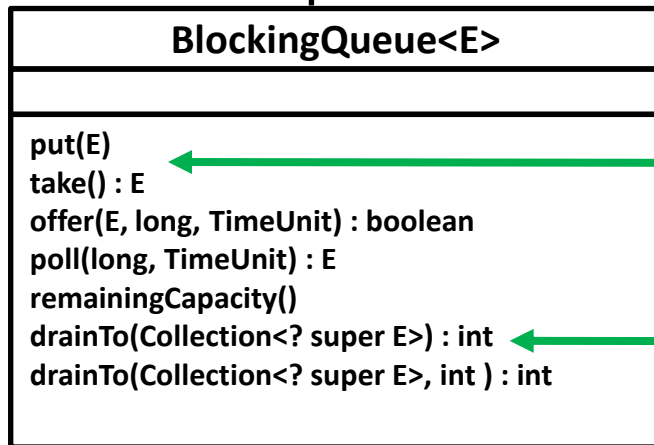
LinkedBlockingQueue

SynchronousQueue

使用阻塞队列



使用BlockingQueue的时候，尽量不要使用从Queue继承下来的方法，否则就失去了Blocking的特性了。



在BlockingQueue中，要使用put和take，而非offer和poll。如果要使用offer和poll，也是要使用带等待时间参数的offer和poll。

使用drainTo批量获得其中的内容，能够减少锁的次数。

使用阻塞队列

```
final BlockingQueue<Object> blockingQ = new ArrayBlockingQueue<Object>(10);
Thread thread = new Thread("consumer thread") {
    public void run() {
        for (;;) {
            Object object = blockingQ.poll(); // 杯具，不等待就会直接返回
            handle(object);
        }
    }
};
```

1



```
final BlockingQueue<Object> blockingQ = new ArrayBlockingQueue<Object>(10);
Thread thread = new Thread("consumer thread") {
    public void run() {
        for (;;) {
            try {
                Object object = blockingQ.take(); // 等到有数据才继续
                handle(object);
            } catch (InterruptedException e) {
                break;
            } catch (Exception e) {
                // handle exception
            }
        }
    }
};
```

2



使用阻塞队列

```
final BlockingQueue<Object> blockingQ = new ArrayBlockingQueue<Object>(10);
Thread thread = new Thread("consumer thread") {
    public void run() {
        for (;;) {
            try {
                Object object = blockingQ.poll(1, TimeUnit.SECONDS); //防止死等
                if (object == null) {
                    continue; // 或者做其他处理
                }
            } catch (InterruptedException e) {
                break;
            } catch (Exception e) {
                // handle exception
            }
        }
    }
};
```



实现一个简单的阻塞队列(1)

```
class BlockingQ {  
    private Object notEmpty = new Object();  
    private Queue<Object> linkedList = new LinkedList<Object>();  
  
    public Object take() throws InterruptedException {  
        synchronized (notEmpty) {  
            if (linkedList.size() == 0) {  
                notEmpty.wait();  
            }  
            return linkedList.poll();  
        }  
    }  
  
    public void offer(Object object) {  
        synchronized (notEmpty) {  
            if (linkedList.size() == 0) {  
                notEmpty.notifyAll();  
            }  
            linkedList.add(object);  
        }  
    }  
}
```

要执行wait操作，必须先取得该对象的锁。

执行wait操作之后，锁会释放。

被唤醒之前，需要先获得锁。

要执行notify和notifyAll操作，都必须先取得该对象的锁。

未取得锁就直接执行wait、notfiy、notifyAll会抛异常

实现一个简单的阻塞队列 (2)

```
class BlockingQ {  
    private Object notEmpty = new Object();  
    private Object notFull = new Object();  
    private Queue<Object> linkedList = new LinkedList<Object>();  
    private int maxLength = 10;  
  
    public Object take() throws InterruptedException {  
        synchronized (notEmpty) {  
            if (linkedList.size() == 0) {  
                notEmpty.wait();  
            }  
            synchronized (notFull) {  
                if (linkedList.size() == maxLength) {  
                    notFull.notifyAll();  
                }  
                return linkedList.poll();  
            }  
        }  
    }  
  
    public void offer(Object object) throws InterruptedException {  
        synchronized (notEmpty) {  
            if (linkedList.size() == 0) {  
                notEmpty.notifyAll();  
            }  
            synchronized (notFull) {  
                if (linkedList.size() == maxLength) {  
                    notFull.wait();  
                }  
                linkedList.add(object);  
            }  
        }  
    }  
}
```

分别需要对notEmpty和notFull加锁

分别需要对notEmpty和notFull加锁



实现一个简单的阻塞队列 (3)

```
class BlockingQ {
    private Lock lock = new ReentrantLock();
    private Condition notEmpty = lock.newCondition();
    private Condition notFull = lock.newCondition();
    private Queue<Object> linkedList = new LinkedList<Object>();
    private int maxLength = 10;
    public Object take() throws InterruptedException {
        lock.lock();
        try {
            if (linkedList.size() == 0) {
                notEmpty.await();
            }
            if (linkedList.size() == maxLength) {
                notFull.signalAll();
            }
            return linkedList.poll();
        } finally {
            lock.unlock();
        }
    }
    public void offer(Object object) throws InterruptedException {
        lock.lock();
        try {
            if (linkedList.size() == 0) {
                notEmpty.signalAll();
            }
            if (linkedList.size() == maxLength) {
                notFull.await();
            }
            linkedList.add(object);
        } finally {
            lock.unlock();
        }
    }
}
```

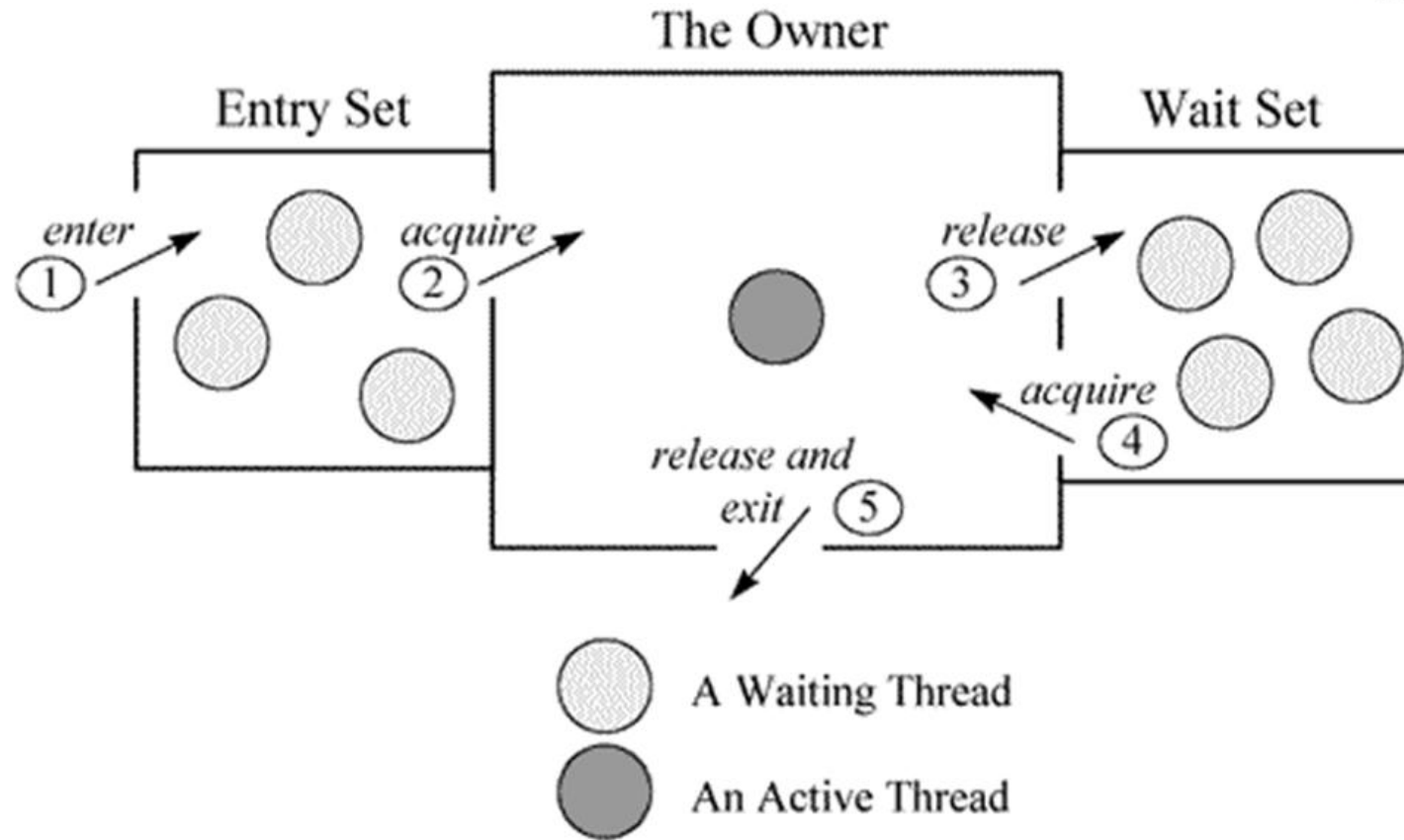
一个锁可以创建多个Condition

要执行await操作，必须先取得该Condition的锁。
执行await操作之后，锁会释放。
被唤醒之前，需要先获得锁。

要执行signal和signalAll操作，都必须先取得该对象的锁。

注意：未锁就直接执行await、signal、signalAll会抛异常

Monitor的理论模型



[http://en.wikipedia.org/wiki/Monitor_\(synchronization\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Monitor_(synchronization))

In concurrent programming, a monitor is an object intended to be used safely by more than one thread. The defining characteristic of a monitor is that its methods are executed with mutual exclusion. That is, at each point in time, at most one thread may be executing any of its methods. This mutual exclusion greatly simplifies reasoning about the implementation of monitors compared with code that may be executed in parallel.

Monitors also provide a mechanism for threads to temporarily give up exclusive access, in order to wait for some condition to be met, before regaining exclusive access and resuming their task. Monitors also have a mechanism for signaling other threads that such conditions have been met.

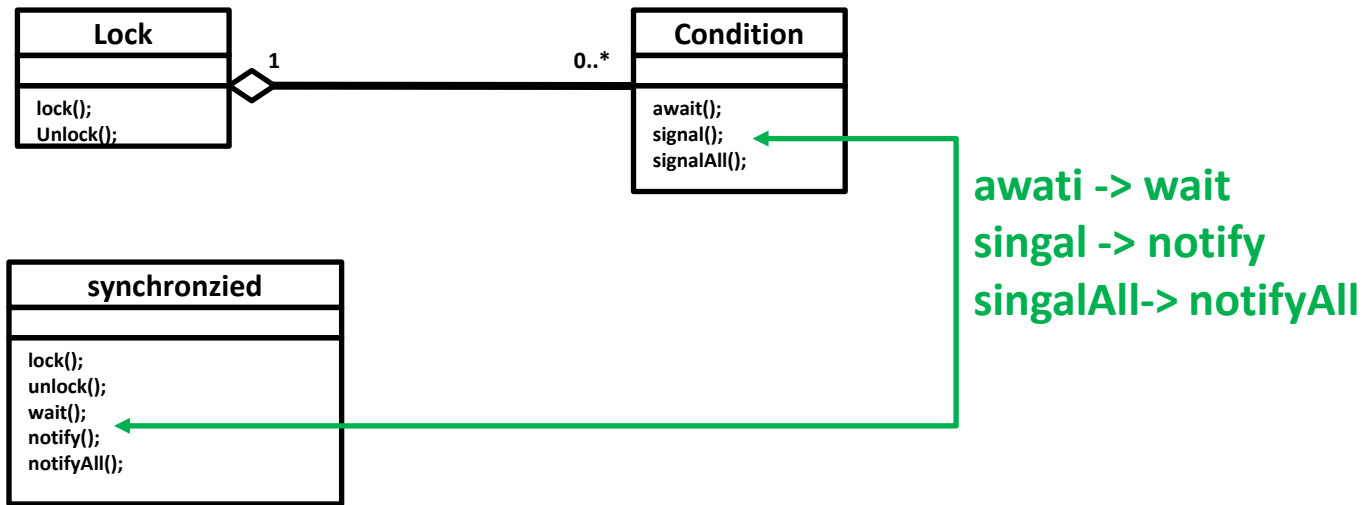
Monitors were invented by **C.A.R. Hoare** [1] and **Per Brinch Hansen**, [2] and were first implemented in Brinch Hansen's Concurrent Pascal language.

ReentrantLock和Synchronized

Synchronized是Lock的一种简化实现，一个Lock可以对应多个Condition，而synchronized把Lock和Condition合并了，一个synchronized Lock只对应一个Condition，可以说Synchronized是Lock的简化版本。

在JDK 5, Synchronized要比Lock慢很多，但是在JDK 6中，它们的效率差不多。

不要在Lock和Condition上使用wait、notify、notifyAll方法！



使用AtomicInteger

```
class Counter {  
    private volatile int count = 0;  
  
    public synchronized void increment() {  
        count++;  
    }  
  
    public int getCount() {  
        return count;  
    }  
}
```

若要线程安全执行执行count++，需要加锁

1

```
class Counter {  
    private AtomicInteger count = new AtomicInteger();  
  
    public void increment() {  
        count.incrementAndGet();  
    }  
  
    public int getCount() {  
        return count.get();  
    }  
}
```

使用AtomicInteger之后，不需要加锁，也可以实现线程安全。

2

这是由硬件提供原子操作指令实现的。在非激烈竞争的情况下，开销更小，速度更快。Java.util.concurrent中实现的原子操作类包括：

AtomicBoolean、AtomicInteger、AtomicLong、AtomicReference

使用Lock-Free算法

```
class Counter {  
    private volatile int max = 0;  
    public synchronized void set(int value) {  
        if (value > max) {  
            max = value;  
        }  
    }  
    public int getMax() {  
        return max;  
    }  
}
```

若要线程安全，需要加锁

1

```
class Counter {  
    private AtomicInteger max = new AtomicInteger();  
  
    public void set(int value) {  
        for (;;) {  
            int current = max.get();  
            if (value > current) {  
                if (max.compareAndSet(current, value)) {  
                    break;  
                } else {  
                    continue;  
                }  
            } else { break; }  
        }  
    }  
    public int getMax() {  
        return max.get();  
    }  
}
```

LockFree算法，不需要加锁。

通常都是三个部分组成：

- ① 循环
- ② CAS (CompareAndSet)
- ③ 回退

2

循环

CAS

回退

进一步使用Lock-Free数据结构

```
class BeanManager {
    private Map<String, Object> map = new HashMap<String, Object>();

    public Object getBean(String key) {
        synchronized (map) {
            Object bean = map.get(key);
            if (bean == null) {
                map.put(key, createBean());
                bean = map.get(key);
            }
            return bean;
        }
    }
}
```

```
class BeanManager {
    private ConcurrentMap<String, Object> map = new ConcurrentHashMap<String, Object>();

    public Object getBean(String key) {
        Object bean = map.get(key);
        if (bean == null) {
            map.putIfAbsent(key, createBean());
            bean = map.get(key);
        }
        return bean;
    }
}
```

使用ConcurrentMap，避免直接使用锁，锁由数据结构来管理。

ConcurrentHashMap并没有实现Lock-Free，只是使用了分离锁的办法使得能够支持多个Writer并发。ConcurrentHashMap需要使用更多的内存。

同样的思路用于更新数据库-乐观锁

```
public class SequenceDao extends SqlMapClientDaoSupport {  
    public boolean compareAndSet(String name, int value, int expect) {  
        Map<String, Object> parameters = new HashMap<String, Object>();  
        parameters.put("name", name);  
        parameters.put("value", value);  
        parameters.put("expect", expect);  
  
        // UPDATE t_sequence SET value = #value# WHERE name = #name# AND value = #expect#  
        int updateCount = getSqlMapClientTemplate().update("Sequence.compareAndSet", parameters);  
  
        return updateCount == 1;  
    }  
}
```

通过UpdateCount来实现
CompareAndSet

```
public class SequenceService {  
    @Transactional(propagation = Propagation.NOT_SUPPORTED)  
    public synchronized void increment(String sequenceName) {  
        for (;;) {  
            int value = dao.getValue(sequenceName);  
            if (dao.compareAndSet(sequenceName, value + 1, value)) {  
                break;  
            }  
        }  
    }  
}
```

三个部分：
① 循环
② CAS (CompareAndSet)
③ 回退

注意，乐观锁时必须使用：`@Transactional(propagation = Propagation.NOT_SUPPORTED)`

对比，使用悲观锁版本

```
public class SequenceDao extends SqlMapClientDaoSupport {
    public int getValueForUpdate(String name) {
        // SELECT value FROM t_sequence WHERE name = #name# FOR UPDATE
        return (Integer) getSqlMapClientTemplate().queryForObject("Sequence.getValueForUpdate", name);
    }

    public void set(String name, int value) {
        Map<String, Object> parameters = new HashMap<String, Object>();
        parameters.put("name", name);
        parameters.put("value", value);

        // UPDATE t_sequence SET value = #value# WHERE name = #name#
        getSqlMapClientTemplate().update("Sequence.set", parameters);
    }
}
```

```
public class SequenceService {
    @Transactional(propagation = Propagation.REQUIRED)
    public synchronized void increment2(String sequenceName) {
        int value = dao.getValueForUpdate(sequenceName);
        dao.set(sequenceName, value + 1);
    }
}
```

读取时，就开始加锁。

Lock-Free 算法，可以说是乐观锁，如果非激烈竞争的时候，不需要使用锁，从而开销更小，速度更快。

使用CopyOnWriteArrayList

```
class Engine {  
    private List<Listener> listeners = new ArrayList<Listener>();  
  
    public boolean addListener(Listener listener) {  
        synchronized (listeners) {  
            return listeners.add(listener);  
        }  
    }  
  
    public void doXXX() {  
        synchronized (listeners) {  
            for (Listener listener : listeners) {  
                listener.handle();  
            }  
        }  
    }  
}
```

1



```
class Engine {  
    private List<Listener> listeners = new CopyOnWriteArrayList<Listener>();  
  
    public boolean addListener(Listener listener) {  
        return listeners.add(listener);  
    }  
  
    public void doXXX() {  
        for (Listener listener : listeners) {  
            listener.handle();  
        }  
    }  
}
```

2

适当使用CopyOnWriteArrayList，能够提高读操作时的效率。

① 使用支持CAS的数据结构，避免使用锁，如：
AtomicXXX、ConcurrentMap、CopyOnWriteList、ConcurrentLinkedListQueue

② 一定要使用锁的时候，注意获得锁的顺序，相反顺序获得锁，就容易产生死锁。

③ 死锁经常是无法完全避免的，鸵鸟策略被很多基础框架所采用。

④ 通过Dump线程的StackTrace，例如linux下执行命令 `kill -3 <pid>`，或者 `jstack -l <pid>`，或者使用Jconsole连接上去查看线程的StackTrace，由此来诊断死锁问题。

⑤ 外部锁常被忽视而导致死锁，例如数据库的锁

并发流程控制-使用CountDownLatch

```
final int COUNT = 10;
final CountDownLatch completeLatch = new CountDownLatch(COUNT);

for (int i = 0; i < COUNT; ++i) {
    Thread thread = new Thread("worker thread " + i) {
        public void run() {
            // do xxxx
            completeLatch.countDown();
        }
    };
    thread.start();
}

completeLatch.await();
```

当你启动了一个线程，你需要等它执行结束，此时，CountDownLatch也许是一个很好的选择。

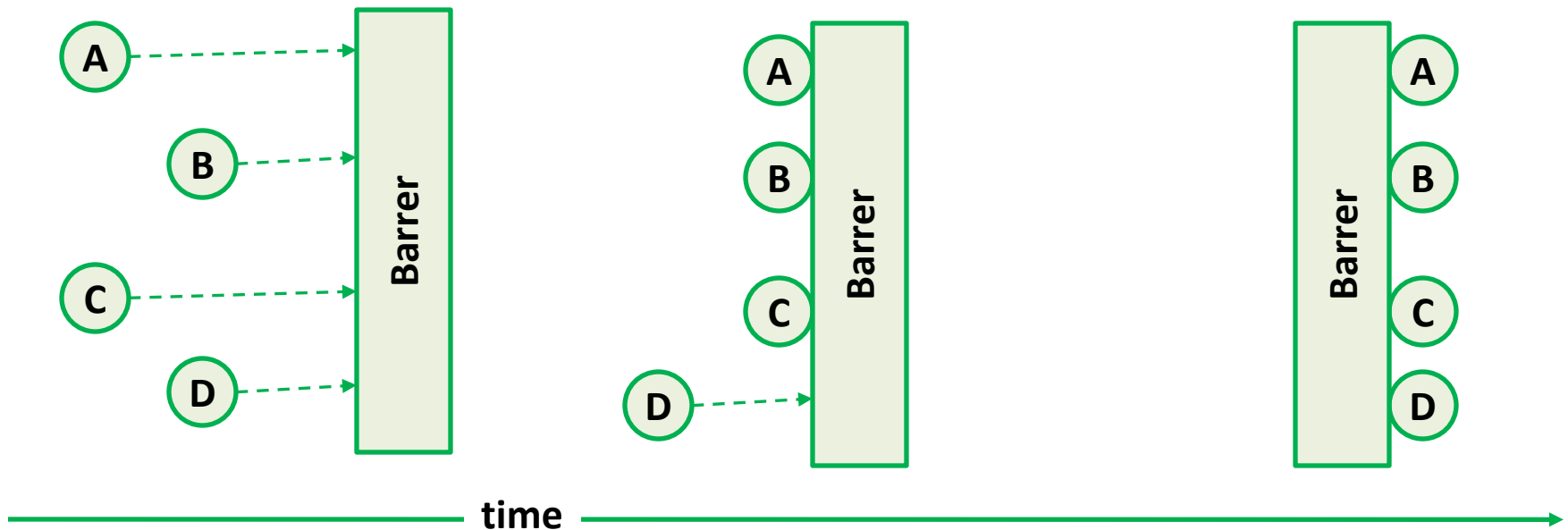
```
final CountDownLatch startLatch = new CountDownLatch(1);

for (int i = 0; i < 10; ++i) {
    Thread thread = new Thread("worker thread " + i) {
        public void run() {
            try {
                startLatch.await();
            } catch (InterruptedException e) {
                return;
            }
            // do xxxx
        }
    };
    thread.start();
}

// do xxx
startLatch.countDown();
```

当你启动很多线程，你需要这些线程等到通知后才真正开始，CountDownLatch也许是一个很好的选择。

Barrier



A barrier: A barrier is a coordination mechanism (an algorithm) that forces processes which participate in a concurrent (or distributed) algorithm to wait until each one of them has reached a certain point in its program. The collection of these coordination points is called the barrier. Once all the processes have reached the barrier, they are all permitted to continue past the barrier.

并发流程控制-使用CyclicBarrier

```
class PerformaceTest {
    private int threadCount;
    private CyclicBarrier barrier;
    private int loopCount = 10;

    public PerformaceTest(int threadCount) {
        this.threadCount = threadCount;
        barrier = new CyclicBarrier(threadCount, new Runnable() {
            public void run() {
                collectTestResult();
            }
        });
        for (int i = 0; i < threadCount; ++i) {
            Thread thread = new Thread("test-thread " + i) {
                public void run() {
                    for (int j = 0; j < loopCount; ++j) {
                        doTest();
                        try {
                            barrier.await();
                        } catch (InterruptedException e) {
                            return;
                        } catch (BrokenBarrierException e) {
                            return;
                        }
                    }
                }
            };
            thread.start();
        }
    }

    private void doTest() { /* do xxx */ }
    private void collectTestResult() { /* do xxx */ }
}
```

使用Barrier来实现并发性能测试的聚合点。

ScheduledExecutorService

```
schedule(Runnable command, long delay, TimeUnit unit) : ScheduledFuture  
schedule(Callable<V> callable, long delay, TimeUnit unit) : ScheduledFuture  
scheduleAtFixedRate(Runnable comand, long initDelay, long period, TimeUnit unit) : ScheduledFuture  
scheduleWithFixedDelay(Runnable command, long initDelay, long delay, TimeUnit unit) : ScheduledFuture
```

ScheduledTask Submitter

```
ScheduleFuture<Object> future = scheduler.schedule(task, 1, TimeUnit.SECONDS);
```

```
// 等待到任务被执行完毕返回结果  
// 如果任务执行出错，这里会抛ExecutionException  
future.get();
```

```
//取消调度任务  
future.cancel();
```

ScheduledExecutorService

DelayedWorkQueue

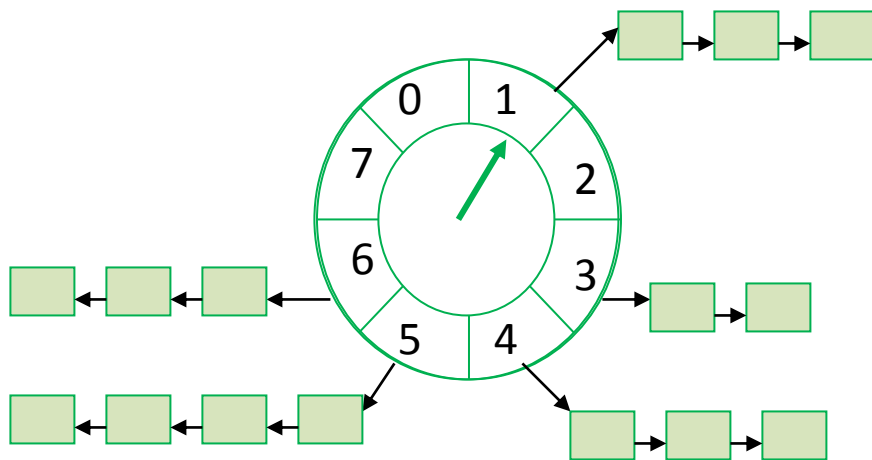


`java.util.concurrent.Executors`是`ScheduledExecutorService`的工厂类，通过`Executors`，你可以创建你所需要的`ScheduledExecutorService`。

JDK 1.5之后有了`ScheduledExecutorService`，不建议你再使用`java.util.Timer`，因为它无论功能性能都不如`ScheduledExecutorService`。

大规模定时器TimerWheel

存在一种算法 **TimerWheel**，适用于大规模的定时器实现。这个算法最早是被设计用来实现 **BSD** 内核中定时器的，后来被广泛移植到诸如 **ACE** 等框架中，堪称 **BSD** 中经典算法之一，能针对定时器的各类常见操作提供接近常数时间的响应，且能根据需要很容易进行扩展。



• Amdahl 定律

- Gene Amdahl 发现在计算机体系架构设计过程中，某个部件的优化对整个架构的优化和改善是有上限的。这个发现后来成为知名的 Amdahl 定律。

即使你有10个老婆，也不能一个月把孩子生下来。

• Gustafson 定律

- Gustafson 假设随着处理器个数的增加，并行与串行的计算总量也是可以增加的。Gustafson 定律认为加速系数几乎跟处理器个数成正比，如果现实情况符合 Gustafson 定律的假设前提的话，那么软件的性能将可以随着处理个数的增加而增加。

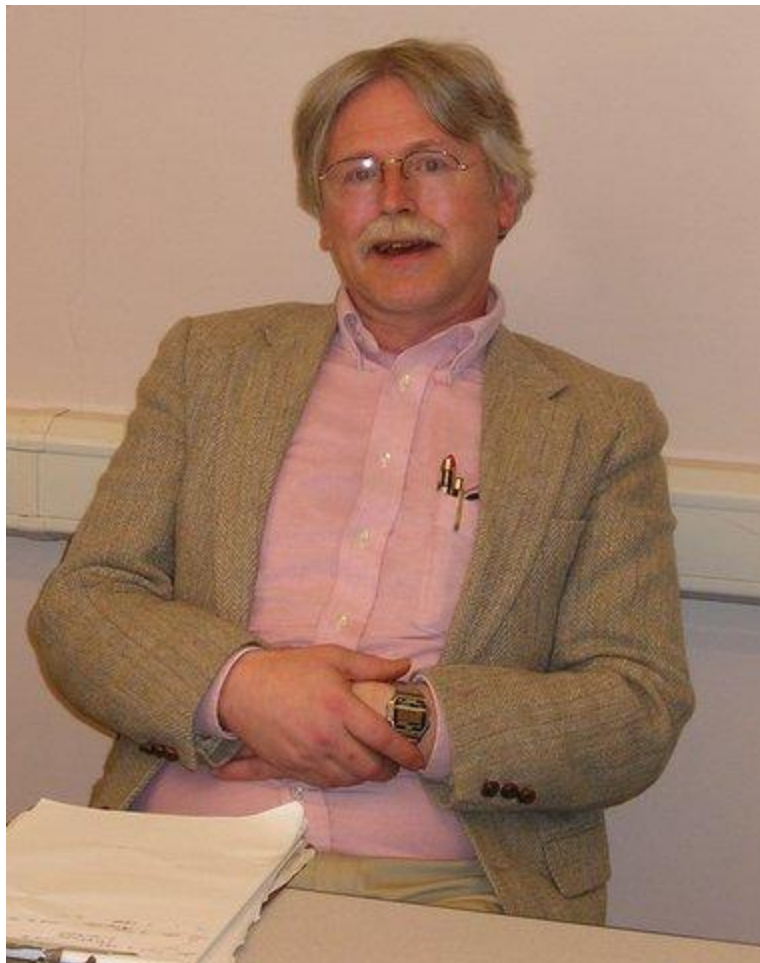
当你有10个老婆，就会要生更多的孩子。

• Sun-Ni 定律

- 充分利用存储空间等计算资源，尽量增大问题规模以产生更好/更精确的解。

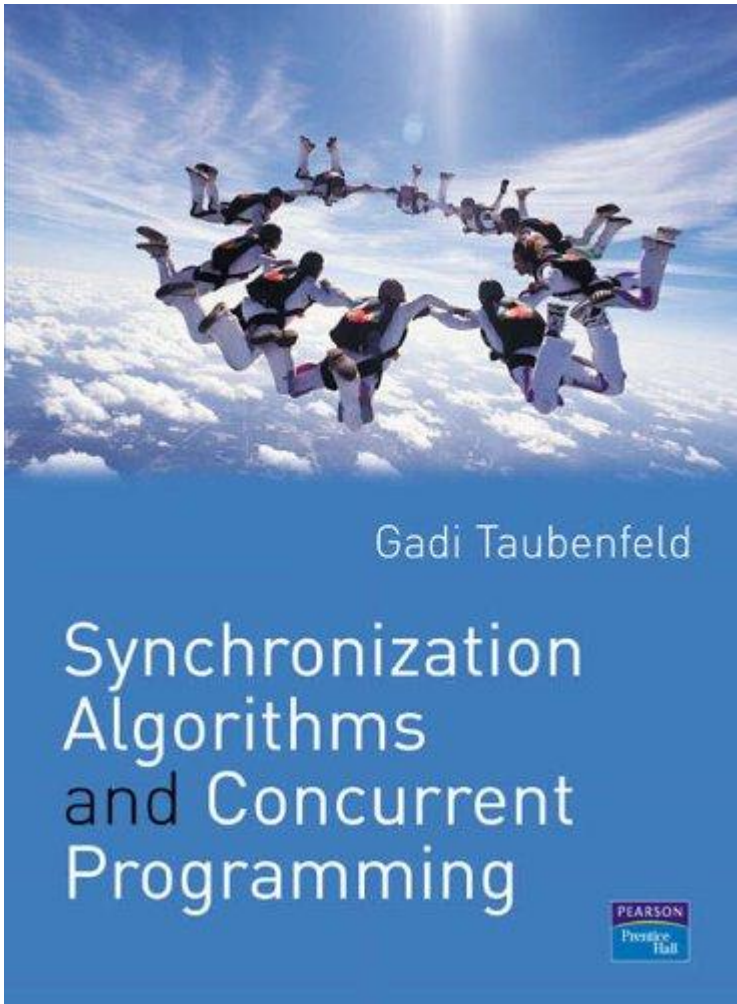
你要设法让每个老婆都在干活，别让她们闲着。

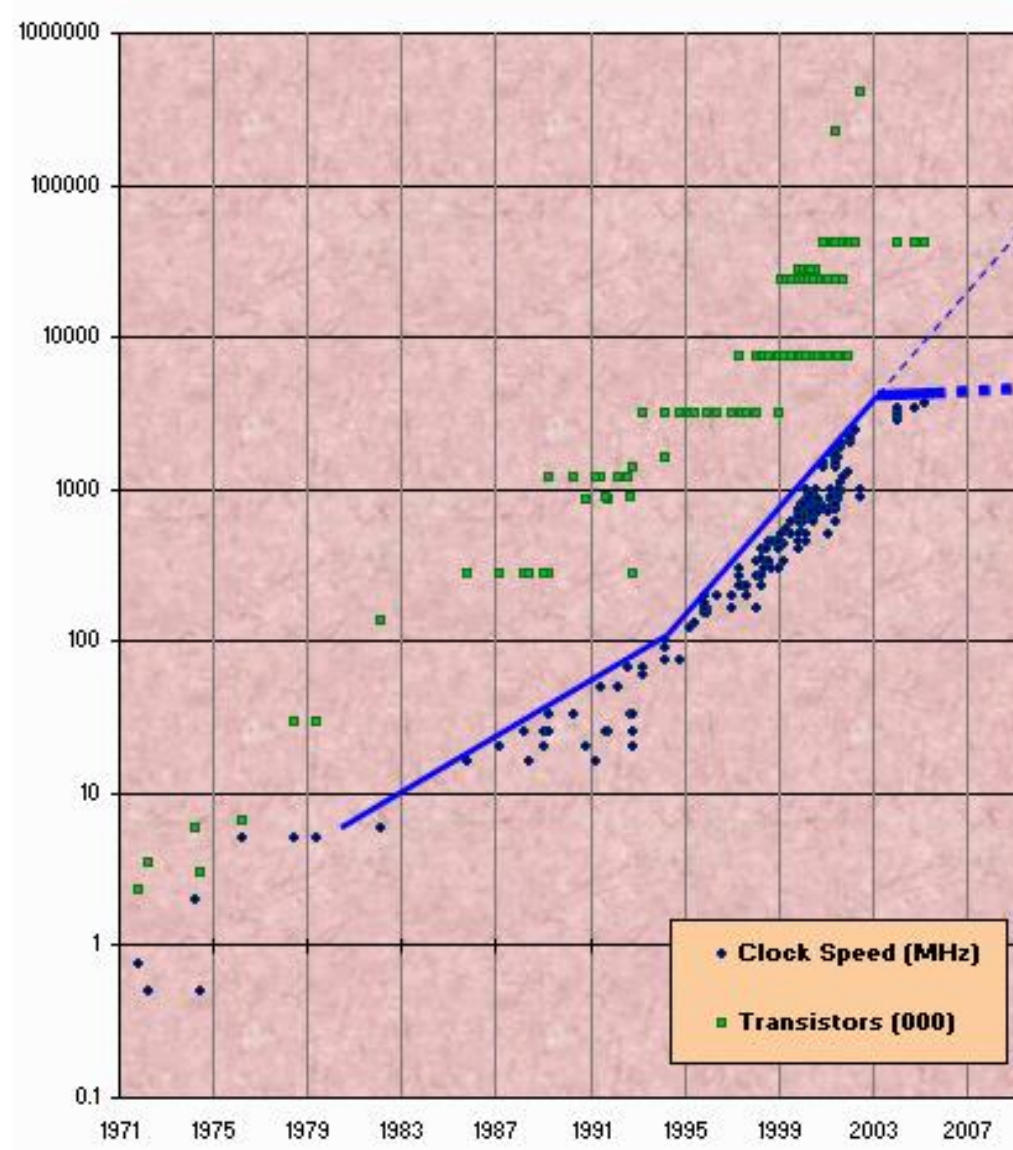
拜神



Doug Lea - Mr. concurrency，当今世界上并发程序设计领域的先驱，著名学者。他是util.concurrent包的作者，JSR166规范的制定。图书著作《Concurrent Programming in Java: Design Principles and Patterns》。其” A Scalable Elimination-based Exchange Channel”和” Scalable Synchronous Queues”两篇论文列为非阻塞同步算法的经典文章

推荐图书





我们今天没有10GHz芯片!



在IDF05（Intel Developer Forum 2005）上，Intel首席执行官Craig Barrett就取消4GHz芯片计划一事，半开玩笑当众单膝下跪致歉。

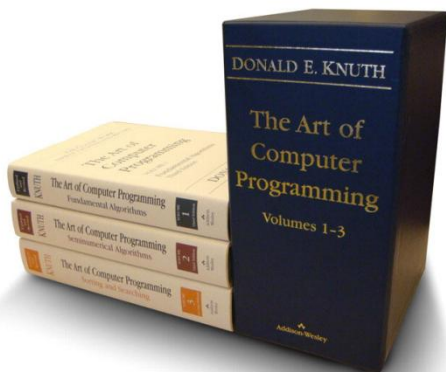


Donald Knuth

世界顶级计算机科学家

在我看来，这种现象(并发)或多或少是由于硬件设计者已经无计可施了导致的，他们将Moore定律失效的责任推脱给软件开发者。

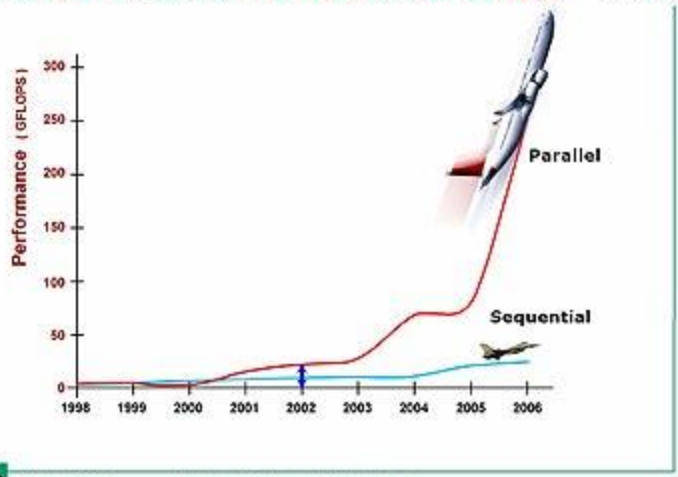
Donald Knuth 2008年7月接受Andrew Binstock访谈



A Brief History of Time

	Introduced	Adopted in mainstream
GUIs	1973 (Xerox Alto)	~1984-89 (Mac) ~1990-95 (Win3.x)
Objects	1967 (Simular)	~1993-98 (C++, Java)
Garbage Collection	1958 (Lisp)	~1995-2000 (Java)
Generic Types	1967 (Strachey)	~198x (US DoD, Ada) ~1995-2000 (C++)
Internet	1967+ (ARPAnet)	~1995-2000
Concurrency	1964 (CDC 6600)	~2007-2012

GPU Performance = End of the CPU? NO!



12 October 2006 Unleashing the Processing Powerhouse

For Enterprise IT: Petascale Processing for the Masses

TOP 500
SUPERCOMPUTER SITES

Over half of the top 500 supercomputers today use over 1000 processors*

48 GPU Pipes
x 8 Flops/cycle
x 3 GHz
= 1.152 PetaFLOP

Power and bandwidth unconstrained

Ask.com Google

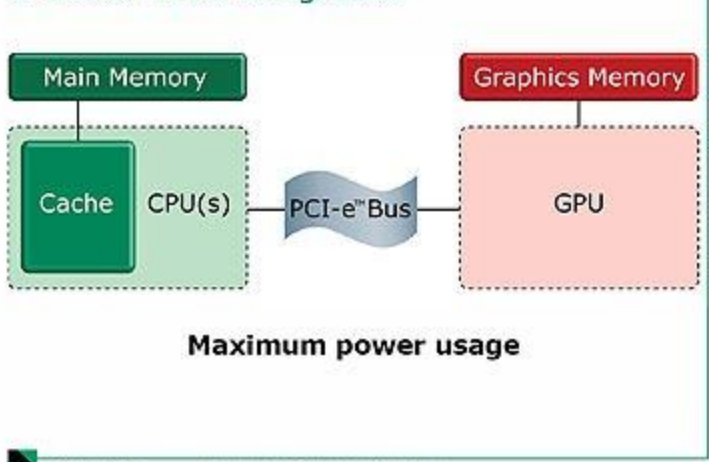
Today 2010 ?

gigaFLOP TeraFLOP PetaFLOP ExaFLOP ZetaFLOP YottaFLOP

* Source: top500.org

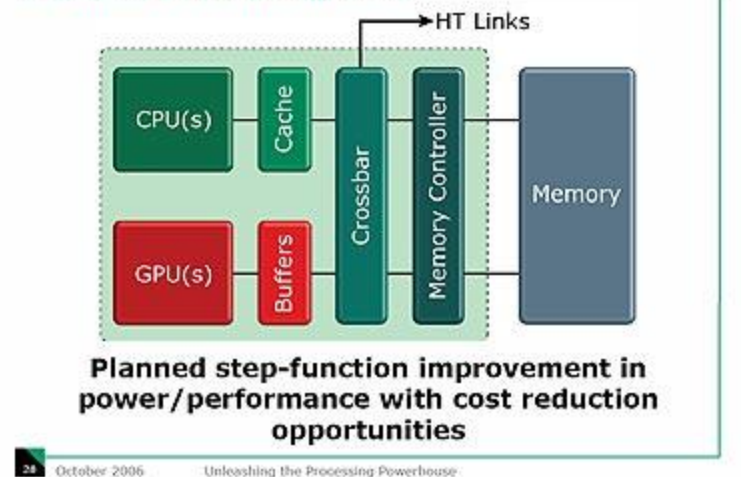
13 October 2006 Unleashing the Processing Powerhouse

The Data Efficiency Benefits of Silicon-Level Integration



27 October 2006 Unleashing the Processing Powerhouse

The Data Efficiency Benefits of Silicon-Level Integration



24 October 2006 Unleashing the Processing Powerhouse

中国的超级计算机：天河1号 1.206P，星云3P，都是异构计算体系。

AMD Radeon HD 5970

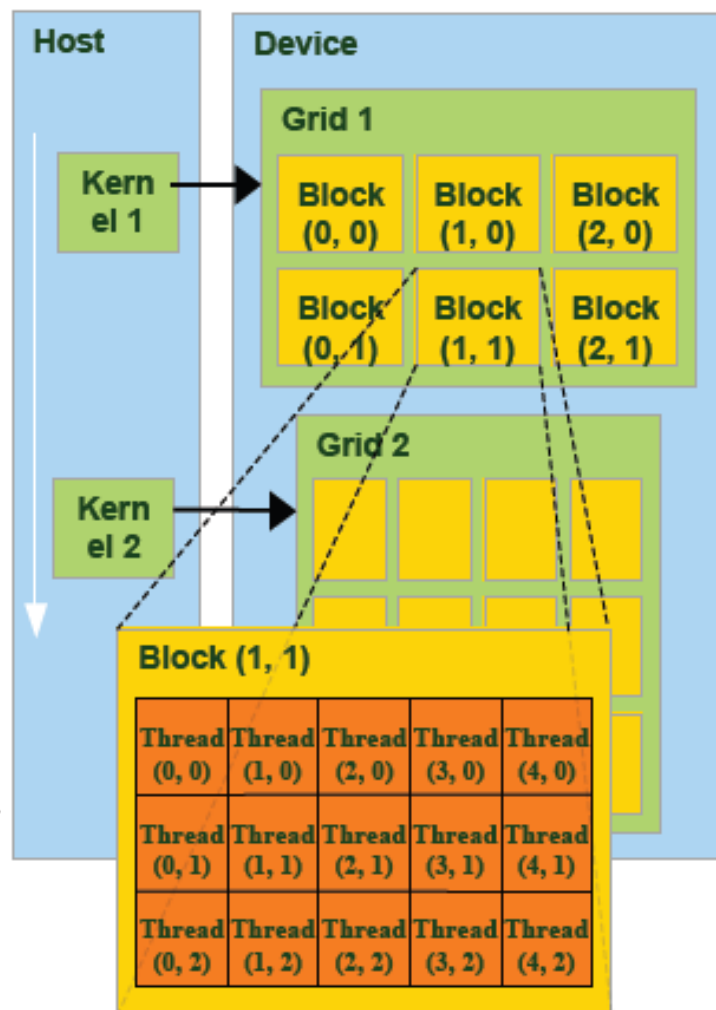
Radeon™ HD 5970



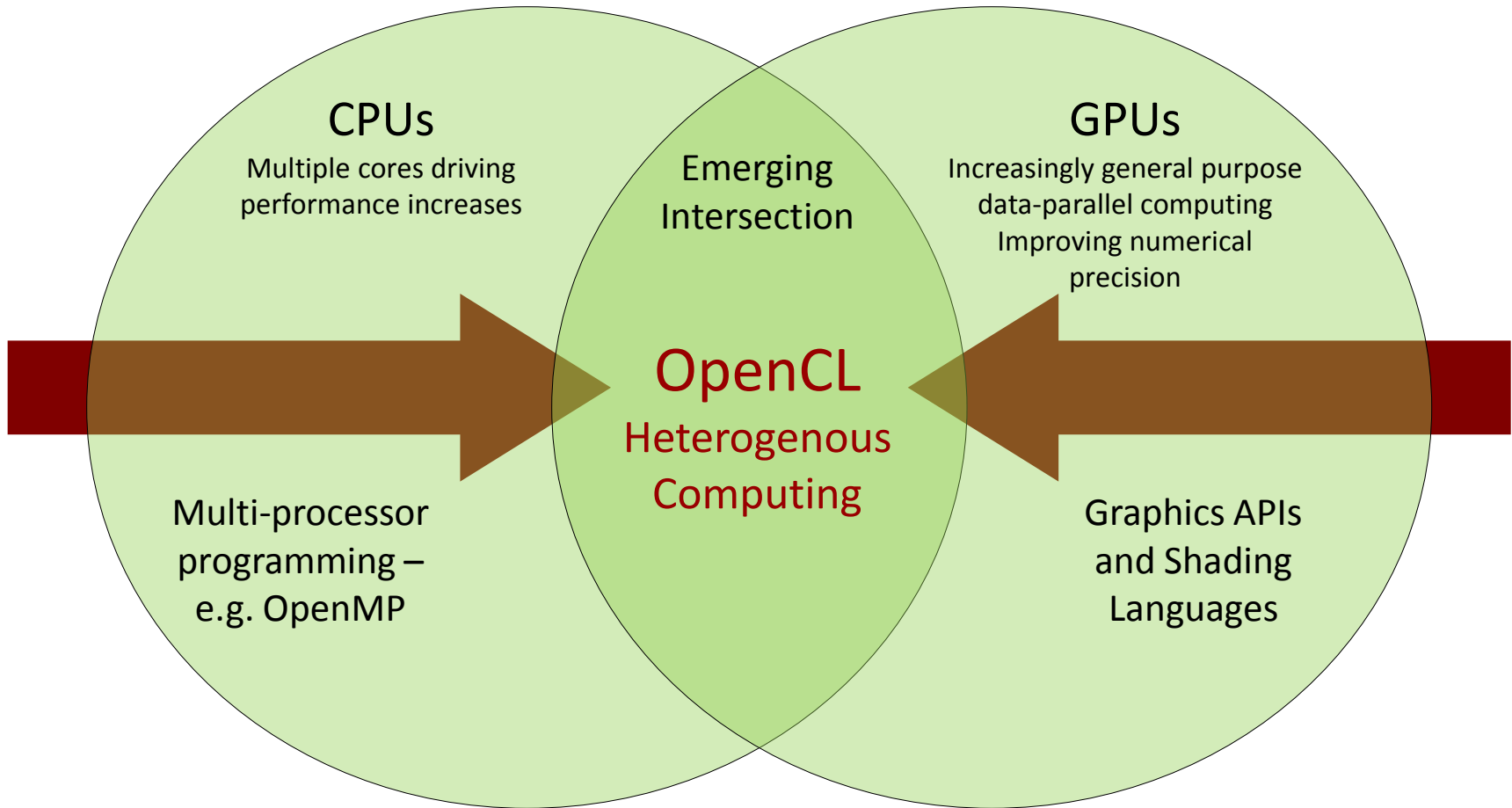
单精度浮点处理能力	4.64 TFLOPS	←
双精度浮点处理能力	928 GFLOPS	
核心频率	725 MHz	
处理器核心数量	3200	←
内存类型	GDDR5	
显存容量	4 GB	
最大功耗	294 W	
显存带宽	256 GB/sec	

并行线程组织结构

- **Thread**: 并行的基本单位
- **Thread block**: 互相合作的线程组
 - Cooperative Thread Array (CTA)
 - 允许彼此同步
 - 通过快速共享内存交换数据
 - 以1维、2维或3维组织
 - 最多包含512个线程
- **Grid**: 一组thread block
 - 以1维或2维组织
 - 共享全局内存
- **Kernel**: 在GPU上执行的核心程序
 - One kernel \leftrightarrow one grid



Processor Parallelism



OpenCL – Open Computing Language

Open, royalty-free standard for portable, parallel programming of heterogeneous parallel computing CPUs, GPUs, and other processors

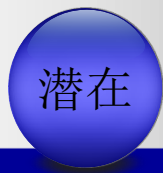
适用的应用范围



- 操作系统
- 递归算法
- 桌面应用
 例如MS Word
- 交互性应用
 例如
 Debugger
 ...



- 油气勘探
- 金融分析
- 医疗成像
- 有限元
- 基因分析
- 物理模拟
- 地理信息系统



- 搜索引擎
- 数据库、数据挖掘
- 数理统计分析
- 生物医药工程
- 导航识别
- 军事模拟
- 无线射频模拟
- 图像语音识别
- ...

- 1、使用线程的经验：设置名称、响应中断、使用ThreadLocal
- 2、Executor：ExecutorService和Future ☆ ☆ ☆
- 3、阻塞队列：put和take、offer和poll、drainTo
- 4、线程间的协调手段：lock、condition、wait、notify、notifyAll ☆ ☆ ☆
- 5、Lock-free: atomic、concurrentMap.putIfAbsent、CopyOnWriteArrayList ☆ ☆ ☆
- 6、关于锁使用的经验介绍
- 7、并发流程控制手段：CountDownLatch、Barrier
- 8、定时器: ScheduledExecutorService、大规模定时器TimerWheel
- 9、并发三大定律：Amdahl、Gustafson、Sun-Ni
- 10、神人和图书
- 11、业界发展情况: GPGPU、OpenCL

复习题

请回答以下问题：

1. Future是做什么用的？
2. Lock和synchronized的区别是什么？
3. 什么是CAS？
4. Lock-Free算法的三个组成部分是什么？

谢谢!