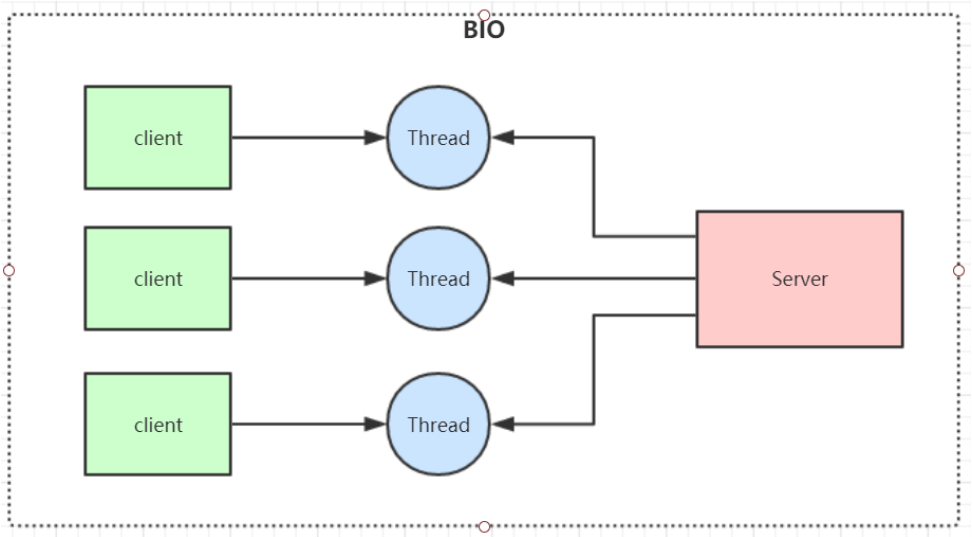
IO模型

IO模型就是说用什么样的通道进行数据的发送和接收，Java共支持3种网络编程IO模式：**BIO，NIO，AIO**

BIO(Blocking IO)

同步阻塞模型，一个客户端连接对应一个处理线程



BIO代码示例：

telnet ip port连接到服务器
send xxx发送数据到服务器

1、如果处理连接不再开子线程，并发为1，一次只能处理一个连接
2、如果处理连接再开子线程，则受线程数影响，并发量也不大，达到最大线程数后也就挂了
3、用线程池处理，达到最大线程数也就接收不了新的连接了

```
1  package com.tuling.bio;
2
3  import java.io.IOException;
4  import java.net.ServerSocket;
5  import java.net.Socket;
6
7  public class SocketServer {
8   public static void main(String[] args) throws IOException {
9   ServerSocket serverSocket = new ServerSocket(9000);
10   while (true) {
11   System.out.println("等待连接。。");
12   //阻塞方法
13   Socket clientSocket = serverSocket.accept();
14   System.out.println("有客户端连接了。。");
15   handler(clientSocket);
16
17   /*new Thread(new Runnable() {
18   @Override
19   public void run() {
20   try {
21   handler(clientSocket);
22   } catch (IOException e) {
23   e.printStackTrace();
24   }
25   }
26   }).start();*/
27   }
28   }
29
30   private static void handler(Socket clientSocket) throws IOException {
31   byte[] bytes = new byte[1024];
32   System.out.println("准备read。。");
33   //接收客户端的数据，阻塞方法，没有数据可读时就阻塞
34   int read = clientSocket.getInputStream().read(bytes);
35   System.out.println("read完毕。。");
36   if (read != -1) {
```

```
 System.out.println("接收到客户端的数据：" + new String(bytes, 0, read));
 }
 clientSocket.getOutputStream().write("HelloClient".getBytes());
 clientSocket.getOutputStream().flush();
 }
}

```

```
//客户端代码
public class SocketClient {
 public static void main(String[] args) throws IOException {
 Socket socket = new Socket("localhost", 9000);
 //向服务端发送数据
 socket.getOutputStream().write("HelloServer".getBytes());
 socket.getOutputStream().flush();
 System.out.println("向服务端发送数据结束");
 byte[] bytes = new byte[1024];
 //接收服务端回传的数据
 socket.getInputStream().read(bytes);
 System.out.println("接收到服务端的数据：" + new String(bytes));
 socket.close();
 }
}
```

缺点：

1、IO代码里read操作是阻塞操作，如果连接不做数据读写操作会导致线程阻塞，浪费资源

2、如果线程很多，会导致服务器线程太多，压力太大，比如C10K问题

应用场景：

BIO 方式适用于连接数目比较小且固定的架构， 这种方式对服务器资源要求比较高， 但程序简单易理解。

NIO(Non Blocking IO)

同步非阻塞，服务器实现模式为**一个线程可以处理多个请求(连接)**，客户端发送的连接请求都会注册到**多路复用器selector**上，多路复用器轮询到连接有IO请求就进行处理，JDK1.4开始引入。

应用场景：

NIO方式适用于连接数目多且连接比较短（轻操作） 的架构， 比如聊天服务器， 弹幕系统， 服务器间通讯，编程比较复杂

NIO非阻塞代码示例：

```
package com.tuling.nio;

import java.io.IOException;
import java.net.InetSocketAddress;
import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.channels.ServerSocketChannel;
import java.nio.channels.SocketChannel;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Iterator;
import java.util.List;

public class NioServer {

 // 保存客户端连接
 static List<SocketChannel> channelList = new ArrayList<>();

 public static void main(String[] args) throws IOException, InterruptedException {

 // 创建NIO ServerSocketChannel,与BIO的serverSocket类似
 ServerSocketChannel serverSocket = ServerSocketChannel.open();
 serverSocket.socket().bind(new InetSocketAddress(9000));
 // 设置ServerSocketChannel为非阻塞
```

```
serverSocket.configureBlocking(false);
System.out.println("服务启动成功");

while (true) {
// 非阻塞模式accept方法不会阻塞，否则会阻塞
// NIO的非阻塞是由操作系统内部实现的，底层调用了linux内核的accept函数
SocketChannel socketChannel = serverSocket.accept();
if (socketChannel != null) { // 如果有客户端进行连接
System.out.println("连接成功");
// 设置SocketChannel为非阻塞
socketChannel.configureBlocking(false);
// 保存客户端连接在List中
channelList.add(socketChannel);
}
// 遍历连接进行数据读取
Iterator<SocketChannel> iterator = channelList.iterator();
while (iterator.hasNext()) {
SocketChannel sc = iterator.next();
ByteBuffer byteBuffer = ByteBuffer.allocate(128);
// 非阻塞模式read方法不会阻塞，否则会阻塞
int len = sc.read(byteBuffer);
// 如果有数据，把数据打印出来
if (len > 0) {
System.out.println("接收到消息：" + new String(byteBuffer.array()));
} else if (len == -1) { // 如果客户端断开，把socket从集合中去掉
iterator.remove();
System.out.println("客户端断开连接");
}
}
}
}
```

非阻塞，所以我服务端一个线程一直在循环遍历处理所有请求和连接，并不会象BIO那样假如一个连接卡着不发数据，就处理不了下一个连接

问题：
1、空转或者无效遍历
2、假如有一个连接处理时间长，则下一个将处理不了

总结：如果连接数太多的话，会有大量的无效遍历，假如有10000个连接，其中只有1000个连接有写数据，但是由于其他9000个连接并没有断开，我们还是要每次轮询遍历一万次，其中有十分之九的遍历都是无效的，这显然不是一个让人很满意的状态。

NIO引入**多路复用器**代码示例：

```
package com.tuling.nio;

import java.io.IOException;
import java.net.InetSocketAddress;
import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.channels.SelectionKey;
import java.nio.channels.Selector;
import java.nio.channels.ServerSocketChannel;
import java.nio.channels.SocketChannel;
import java.util.Iterator;
import java.util.Set;

public class NioSelectorServer {

public static void main(String[] args) throws IOException, InterruptedException {

// 创建NIO ServerSocketChannel
ServerSocketChannel serverSocket = ServerSocketChannel.open();
serverSocket.socket().bind(new InetSocketAddress(9000));
// 设置ServerSocketChannel为非阻塞
serverSocket.configureBlocking(false);
// 打开Selector处理Channel，即创建epoll
Selector selector = Selector.open();
// 把ServerSocketChannel注册到selector上，并且selector对客户端accept连接操作感兴趣
```

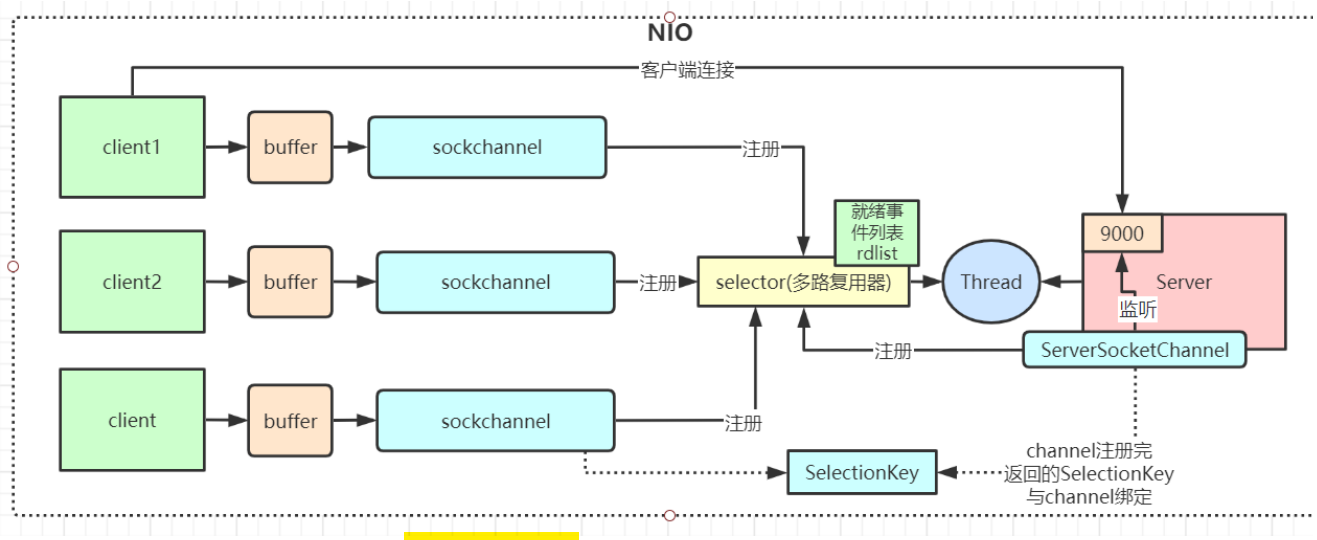
```
serverSocket.register(selector, SelectionKey.OP_ACCEPT);
System.out.println("服务启动成功");

while (true) {
// 阻塞等待需要处理的事件发生
selector.select(); //解决了上面空转问题

// 获取selector中注册的全部事件的 SelectionKey 实例
Set<SelectionKey> selectionKeys = selector.selectedKeys(); //解决了上面无效遍历问题，只遍历有事件的通道
Iterator<SelectionKey> iterator = selectionKeys.iterator();

// 遍历SelectionKey对事件进行处理
while (iterator.hasNext()) {
SelectionKey key = iterator.next();
// 如果是OP_ACCEPT事件，则进行连接获取和事件注册
if (key.isAcceptable()) {
ServerSocketChannel server = (ServerSocketChannel) key.channel();
SocketChannel socketChannel = server.accept();
socketChannel.configureBlocking(false);
// 这里只注册了读事件，如果需要给客户端发送数据可以注册写事件
socketChannel.register(selector, SelectionKey.OP_READ);
System.out.println("客户端连接成功");
} else if (key.isReadable()) { // 如果是OP_READ事件，则进行读取和打印
SocketChannel socketChannel = (SocketChannel) key.channel();
ByteBuffer byteBuffer = ByteBuffer.allocate(128);
int len = socketChannel.read(byteBuffer);
// 如果有数据，把数据打印出来
if (len > 0) {
System.out.println("接收到消息：" + new String(byteBuffer.array()));
} else if (len == -1) { // 如果客户端断开连接，关闭Socket
System.out.println("客户端断开连接");
socketChannel.close();
}
}
//从事件集合里删除本次处理的key，防止下次select重复处理
iterator.remove();
}
}
}
```


NIO 有三大核心组件： **Channel(通道)， Buffer(缓冲区)，Selector(多路复用器)**

1、channel 类似于流，每个 channel 对应一个 buffer缓冲区，buffer 底层就是个数组

2、channel 会注册到 selector 上，由 selector 根据 channel 读写事件的发生将其交由某个空闲的线程处理

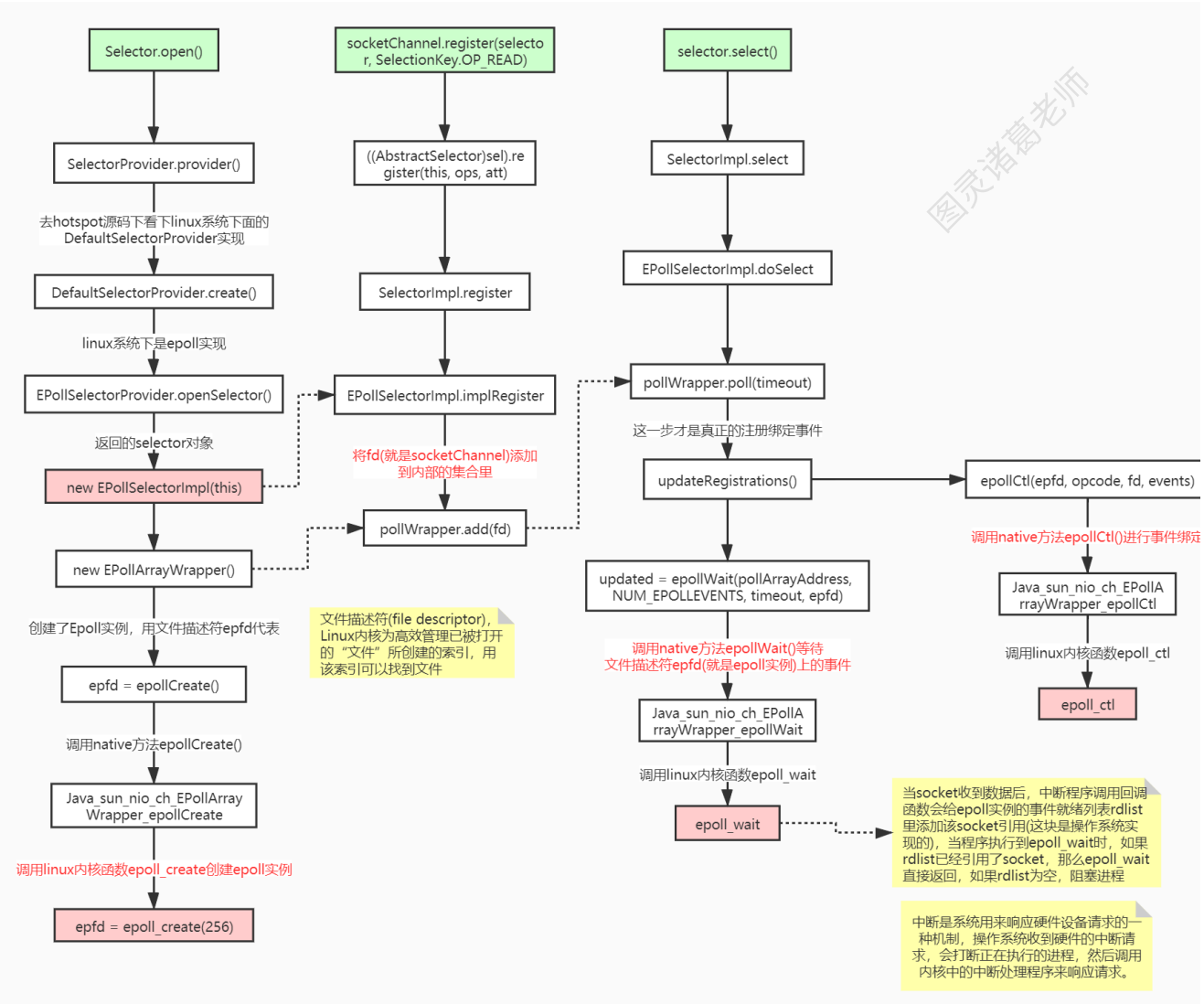
3、NIO 的 Buffer 和 channel 都是既可以读也可以写



NIO底层在JDK1.4版本是用linux的内核函数select()或poll()来实现，跟上面的NioServer代码类似，selector每次都会轮询所有的sockchannel看下哪个channel有读写事件，有的话就处理，没有就继续遍历，JDK1.5开始引入了epoll基于事件响应机制来优化NIO。

NioSelectorServer 代码里如下几个方法非常重要，我们从Hotspot与Linux内核函数级别来理解下

```
1 Selector.open() //创建多路复用器
2  socketChannel.register(selector, SelectionKey.OP_READ) //将channel注册到多路复用器上
3 selector.select() //阻塞等待需要处理的事件发生
```



总结：NIO整个调用流程就是Java调用了操作系统的内核函数来创建Socket，获取到Socket的文件描述符，再创建一个Selector对象，对应操作系统的Epoll描述符，将获取到的Socket连接的文件描述符的事件绑定到Selector对应的Epoll文件描述符上，进行事件的异步通知，这样就实现了使用一条线程，并且不需要太多的无效的遍历，将事件处理交给了操作系统内核(操作系统中断程序实现)，大大提高了效率。

Epoll函数详解

```
int epoll_create(int size);
```

创建一个epoll实例，并返回一个非负数作为文件描述符，用于对epoll接口的所有后续调用。参数size代表可能会容纳size个描述符，但size不是一个最大值，只是提示操作系统它的数量级，现在这个参数基本上已经弃用了。

```
int epoll_ctl(int epfd, int op, int fd, struct epoll_event *event);
```

使用文件描述符epfd引用的epoll实例，对目标文件描述符fd执行op操作。
参数epfd表示epoll对应的文件描述符，参数fd表示socket对应的文件描述符。
参数op有以下几个值：
EPOLL_CTL_ADD：注册新的fd到epfd中，并关联事件event；
EPOLL_CTL_MOD：修改已经注册的fd的监听事件；
EPOLL_CTL_DEL：从epfd中移除fd，并且忽略掉绑定的event，这时event可以为null；
参数event是一个结构体

```
struct epoll_event {
__uint32_t events; /* Epoll events */
epoll_data_t data; /* User data variable */
};

typedef union epoll_data {
void *ptr;
int fd;
__uint32_t u32;
 __uint64_t u64;
 } epoll_data_t;
```


events有很多可选值，这里只举例最常见的几个：
EPOLLIN ： 表示对应的文件描述符是可读的；
EPOLLOUT：表示对应的文件描述符是可写的；
EPOLLERR：表示对应的文件描述符发生了错误；
成功则返回0，失败返回-1

```
int epoll_wait(int epfd, struct epoll_event *events, int maxevents, int timeout);
```

等待文件描述符epfd上的事件。
epfd是Epoll对应的文件描述符，events表示调用者所有可用事件的集合，maxevents表示最多等到多少个事件就返回，timeout是超时时间。

I/O多路复用底层主要用的Linux 内核函数（select，poll，epoll）来实现，windows不支持epoll实现，windows底层是基于winsock2的select函数实现的(不开源)

	select	poll	epoll(jdk 1.5及以上)
操作方式	遍历	遍历	回调
底层实现	数组	链表	哈希表
IO效率	每次调用都进行线性遍历，时间复杂度为O(n)	每次调用都进行线性遍历，时间复杂度为O(n)	事件通知方式，每当有IO事件就绪，系统注册的回调函数就会被调用，时间复杂度O(1)
最大连接	有上限	无上限	无上限

jdk1.4 nio底层是调用select函数，他是遍历所有channel看是否有事件发生，select上线数1024，后面用poll，则没有上线。

Redis线程模型

Redis就是典型的基于epoll的NIO线程模型(nginx也是)，epoll实例收集所有事件(连接与读写事件)，由一个服务端线程连续处理所有事件命令。

Redis底层关于epoll的源码实现在redis的src源码目录的ae_epoll.c文件里，感兴趣可以自行研究。

AIO(NIO 2.0)

异步非阻塞， 由操作系统完成后回调通知服务端程序启动线程去处理， 一般适用于连接数较多且连接时间较长的应用

应用场景：

AIO方式适用于连接数目多且连接比较长(重操作)的架构，JDK7 开始支持

AIO代码示例：

```
package com.tuling.aio;

import java.io.IOException;
import java.net.InetSocketAddress;
import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.channels.AsynchronousServerSocketChannel;
import java.nio.channels.AsynchronousSocketChannel;
import java.nio.channels.CompletionHandler;

public class AIOServer {

 public static void main(String[] args) throws Exception {
 final AsynchronousServerSocketChannel serverChannel =
 AsynchronousServerSocketChannel.open().bind(new InetSocketAddress(9000));

 serverChannel.accept(null, new CompletionHandler<AsynchronousSocketChannel, Object>() {
 @Override
 public void completed(AsynchronousSocketChannel socketChannel, Object attachment) {
 try {
 System.out.println("2--"+Thread.currentThread().getName());
 // 再此接收客户端连接，如果不写这行代码后面的客户端连接连不上服务端
 serverChannel.accept(attachment, this);
 System.out.println(socketChannel.getRemoteAddress());
 ByteBuffer buffer = ByteBuffer.allocate(1024);
 socketChannel.read(buffer, buffer, new CompletionHandler<Integer, ByteBuffer>() {
 @Override
 public void completed(Integer result, ByteBuffer buffer) {
 System.out.println("3--"+Thread.currentThread().getName());
 buffer.flip();
 System.out.println(new String(buffer.array(), 0, result));
 socketChannel.write(ByteBuffer.wrap("HelloClient".getBytes()));
 }

 @Override
 public void failed(Throwable exc, ByteBuffer buffer) {
 exc.printStackTrace();
 }
 });
 } catch (IOException e) {
 e.printStackTrace();
 }
 }

 @Override
 public void failed(Throwable exc, Object attachment) {
 exc.printStackTrace();
 }
 });

 System.out.println("1--"+Thread.currentThread().getName());
```

```
  Thread.sleep(Integer.MAX_VALUE);
  }
 }
```

```
package com.tuling.aio;

import java.net.InetSocketAddress;
import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.channels.AsynchronousSocketChannel;

public class AIOClient {

 public static void main(String... args) throws Exception {
  AsynchronousSocketChannel socketChannel = AsynchronousSocketChannel.open();
  socketChannel.connect(new InetSocketAddress("127.0.0.1", 9000)).get();
  socketChannel.write(ByteBuffer.wrap("HelloServer".getBytes()));
  ByteBuffer buffer = ByteBuffer.allocate(512);
  Integer len = socketChannel.read(buffer).get();
  if (len != -1) {
  System.out.println("客户端收到信息：" + new String(buffer.array(), 0, len));
  }
  }
}
```

BIO、 NIO、 AIO 对比：

	BIO	NIO	AIO
IO 模型	同步阻塞	同步非阻塞（多路复用）	异步非阻塞
编程难度	简单	复杂	复杂
可靠性	差	好	好
吞吐量	低	高	高

为什么Netty使用NIO而不是AIO?

在Linux系统上，AIO的底层实现仍使用Epoll，没有很好实现AIO，因此在性能上没有明显的优势，而且被JDK封装了一层不容易深度优化，Linux上AIO还不够成熟。Netty是**异步非阻塞**框架，Netty在NIO上做了很多异步的封装。

同步异步与阻塞非阻塞(段子)

老张爱喝茶，废话不说，煮开水。

出场人物：老张，水壶两把（普通水壶，简称水壶；会响的水壶，简称响水壶）。

1 老张把水壶放到火上，立等水开。 **（同步阻塞）**

老张觉得自己有点傻

2 老张把水壶放到火上，去客厅看电视，时不时去厨房看看水开没有。 **（同步非阻塞）**

老张还是觉得自己有点傻，于是变高端了，买了把会响笛的那种水壶。水开之后，能大声发出嘀~~~~的噪音。

3 老张把响水壶放到火上，立等水开。 **（异步阻塞）**

老张觉得这样傻等意义不大

4 老张把响水壶放到火上，去客厅看电视，水壶响之前不再去看它了，响了再去拿壶。 **（异步非阻塞）**

老张觉得自己聪明了。

所谓同步异步，只是对于水壶而言。

普通水壶，同步；响水壶，异步。

虽然都能干活，但响水壶可以在自己完工之后，提示老张水开了。这是普通水壶所不能及的。

同步只能让调用者去轮询自己（情况2中），造成老张效率的低下。

所谓阻塞非阻塞，仅仅对于老张而言。

立等的老张，阻塞；看电视的老张，非阻塞。