ImportNew



# Java I/O 模型的演进

2016/09/01 | 分类： 基础技术, 技术架构 | 0 条评论 | 标签： io

 原文出处： waylau

什么是同步？什么是异步？阻塞和非阻塞又有什么区别？本文先从 Unix 的 I/O 模型讲起，介绍了5种常见的 I/O 模型。而后再引出 Java 的 I/O 模型的演进过程，并用实例说明如何选择合适的 Java I/O 模型来提高系统的并发量和可用性。

由于，Java 的 I/O 依赖于操作系统的实现，所以先了解 Unix 的 I/O 模型有助于理解 Java 的 I/O。

## 相关概念

### 同步和异步

描述的是用户线程与内核的交互方式：

- 同步是指用户线程发起 I/O 请求后需要等待或者轮询内核 I/O 操作完成后才能继续执行；
- 异步是指用户线程发起 I/O 请求后仍继续执行，当内核 I/O 操作完成后会通知用户线程，或者调用用户线程注册的回调函数。

### 阻塞和非阻塞

描述的是用户线程调用内核 I/O 操作的方式：

- 阻塞是指 I/O 操作需要彻底完成后才返回到用户空间；
- 非阻塞是指 I/O 操作被调用后立即返回给用户一个状态值，无需等到 I/O 操作彻底完成。

一个 I/O 操作其实分成了两个步骤：发起 I/O 请求和实际的 I/O 操作。 阻塞 I/O 和非阻塞 I/O 的区别在于第一步，发起 I/O 请求是否会被阻塞，如果阻塞直到完成那么就是传统的阻塞 I/O ，如果不阻塞，那么就是非阻塞 I/O 。 同步 I/O 和异步 I/O 的区别就在于第二个步骤是否阻塞，如果实际的 I/O 读写阻塞请求进程，那么就是同步 I/O 。

# Unix I/O 模型

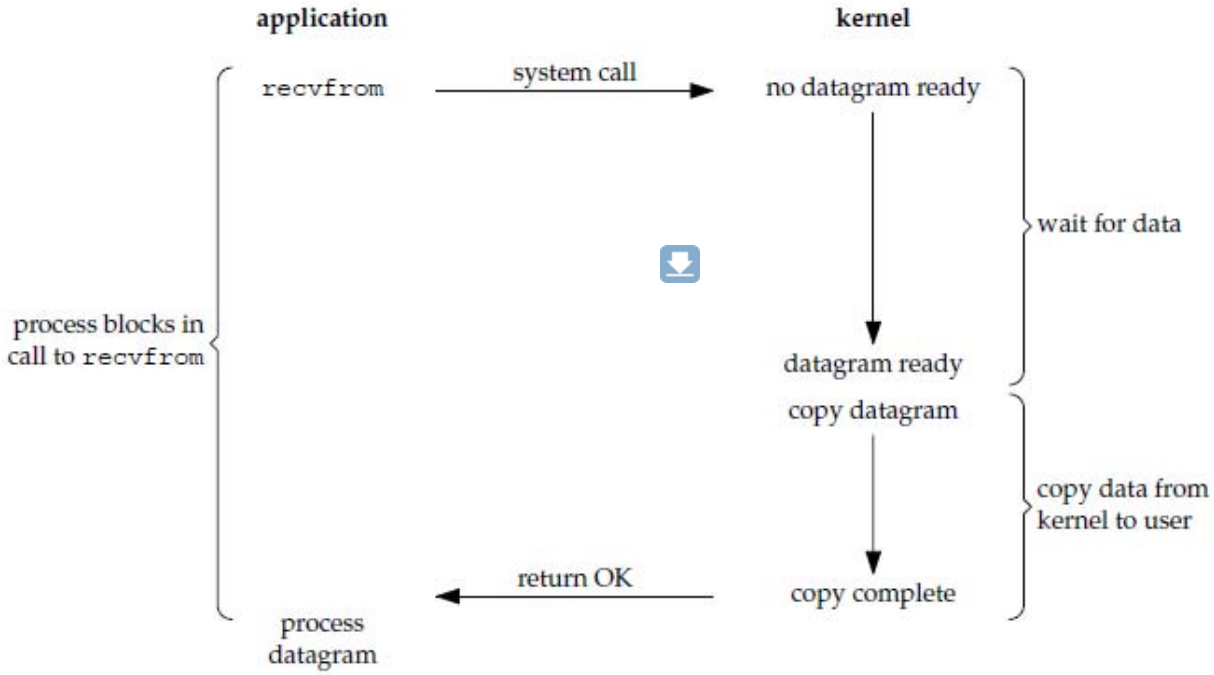
Unix 下共有五种 I/O 模型：

1. 阻塞 I/O
2. 非阻塞 I/O
3. I/O 复用（select 和 poll）
4. 信号驱动 I/O（SIGIO）
5. 异步 I/O（POSIX 的 aio_系列函数）

## 阻塞 I/O

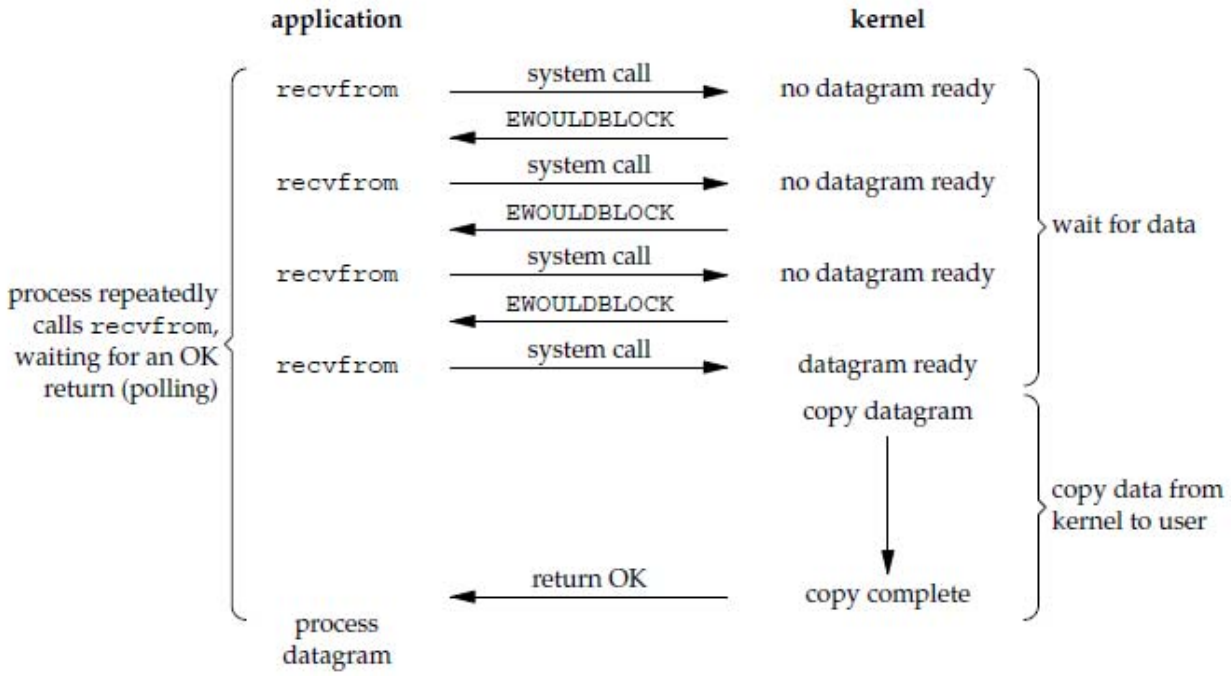
请求无法立即完成则保持阻塞。

- 阶段1：等待数据就绪。网络 I/O 的情况就是等待远端数据陆续抵达；磁盘I/O的情况就是等待磁盘数据从磁盘上读取到内核态内存中。
- 阶段2：数据从内核拷贝到进程。出于系统安全,用户态的程序没有权限直接读取内核态内存,因此内核负责把内核态内存中的数据拷贝一份到用户态内存中。




## 非阻塞 I/O

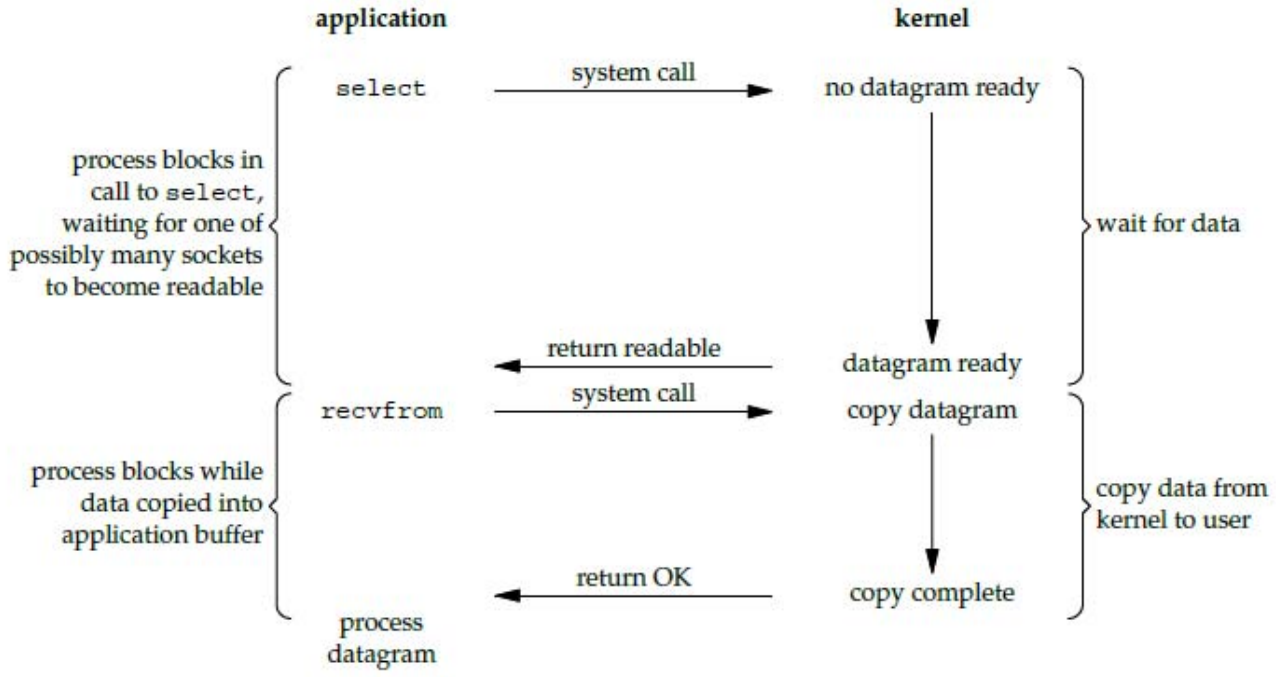
- socket 设置为 NONBLOCK（非阻塞）就是告诉内核，当所请求的 I/O 操作无法完成时，不要将进程睡眠，而是返回一个错误码(EWOULDBLOCK) ，这样请求就不会阻塞
- I/O 操作函数将不断的测试数据是否已经准备好，如果没有准备好，继续测试，直到数据准备好为止。整个 I/O 请求的过程中，虽然用户线程每次发起 I/O 请求后可以立即返回，但是为了等到数据，仍需要不断地轮询、重复请求，消耗了大量的 CPU 的资源
- 数据准备好了，从内核拷贝到用户空间。




一般很少直接使用这种模型，而是在其他 I/O 模型中使用非阻塞 I/O 这一特性。这种方式对单个 I/O 请求意义不大,但给 I/O 多路复用铺平了道路.

## I/O 复用（异步阻塞 I/O）

I/O 多路复用会用到 select 或者 poll 函数，这两个函数也会使进程阻塞，但是和阻塞 I/O 所不同的的，这两个函数可以同时阻塞多个 I/O 操作。而且可以同时对多个读操作，多个写操作的 I/O 函数进行检测，直到有数据可读或可写时，才真正调用 I/O 操作函数。




从流程上来看，使用 select 函数进行 I/O 请求和同步阻塞模型没有太大的区别，甚至还多了添加监视 socket，以及调用 select 函数的额外操作，效率更差。但是，使用 select 以后最大的优势是用户可以在一个线程内同时处理多个 socket 的 I/O 请求。用户可以注册多个 socket，然后不断地调用 select 读取被激

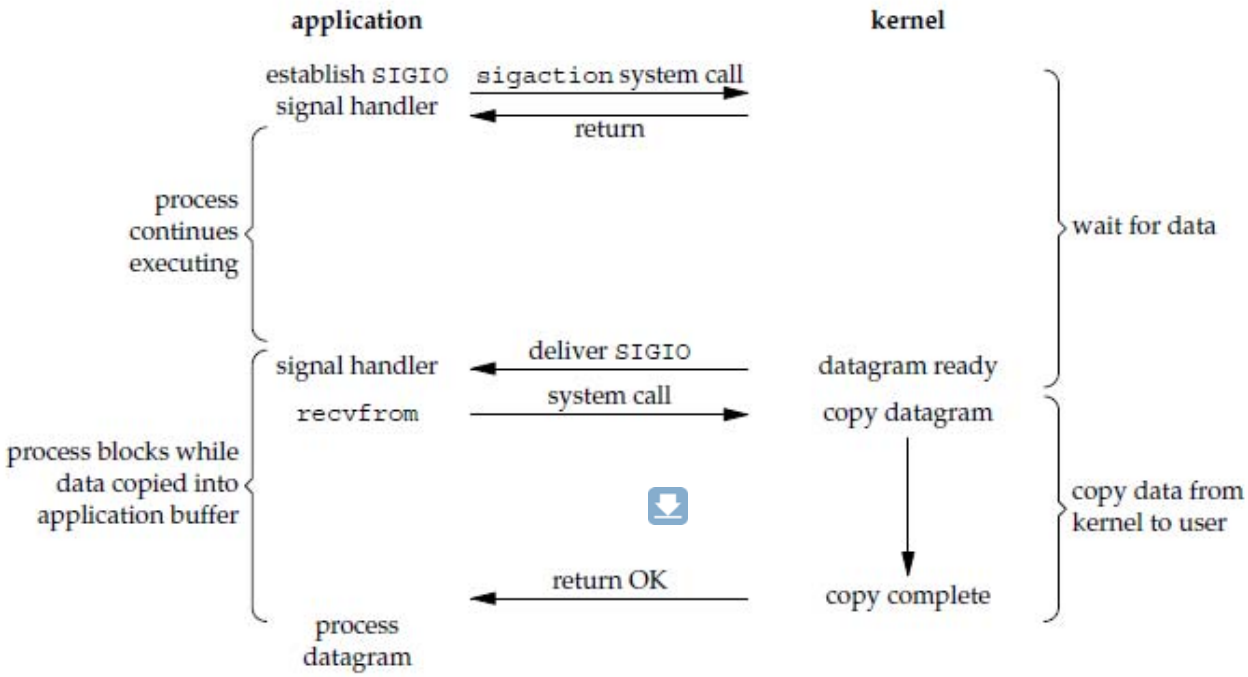
活的 socket，即可达到在同一个线程内同时处理多个 I/O 请求的目的。而在同步阻塞模型中，必须通过多线程的方式才能达到这个目的。

I/O 多路复用模型使用了 Reactor 设计模式实现了这一机制。

调用 select / poll 该方法由一个用户态线程负责轮询多个 socket,直到某个阶段1的数据就绪,再通知实际的用户线程执行阶段2的拷贝。 通过一个专职的用户态线程执行非阻塞I/O轮询,模拟实现了阶段一的异步化

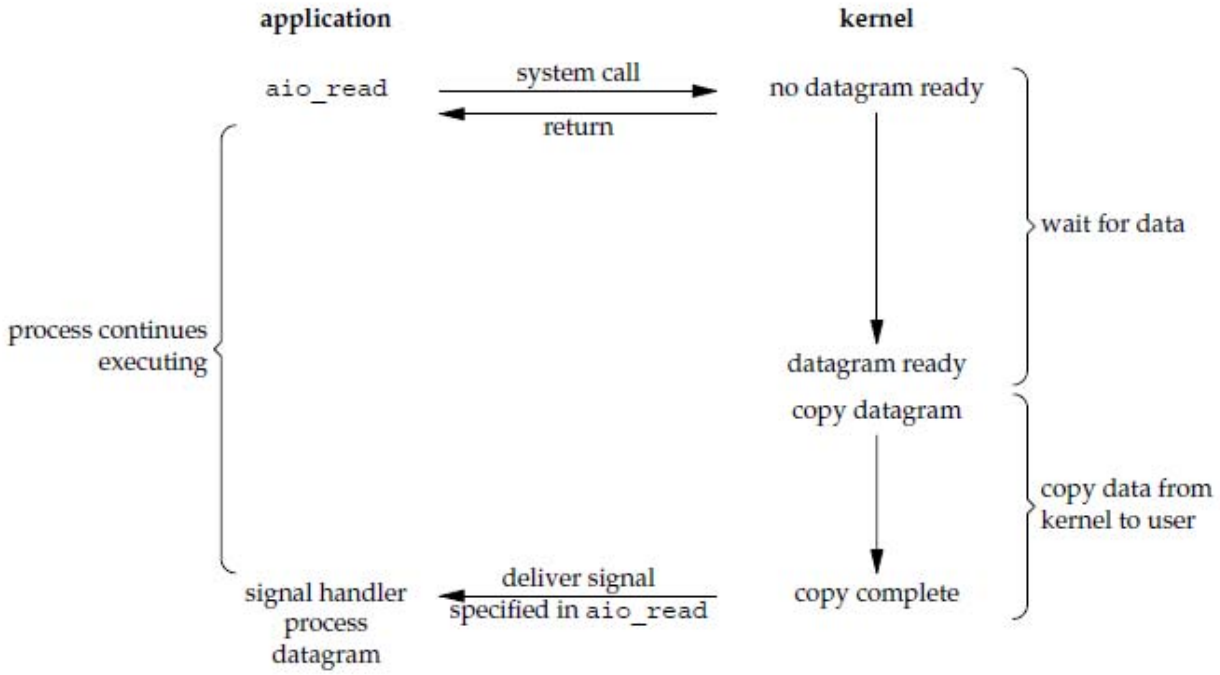
## 信号驱动 I/O（SIGIO）

首先我们允许 socket 进行信号驱动 I/O,并安装一个信号处理函数，进程继续运行并不阻塞。当数据准备好时，进程会收到一个 SIGIO 信号，可以在信号处理函数中调用 I/O 操作函数处理数据。




## 异步 I/O

调用 aio_read 函数，告诉内核描述字，缓冲区指针，缓冲区大小，文件偏移以及通知的方式，然后立即返回。当内核将数据拷贝到缓冲区后，再通知应用程序。



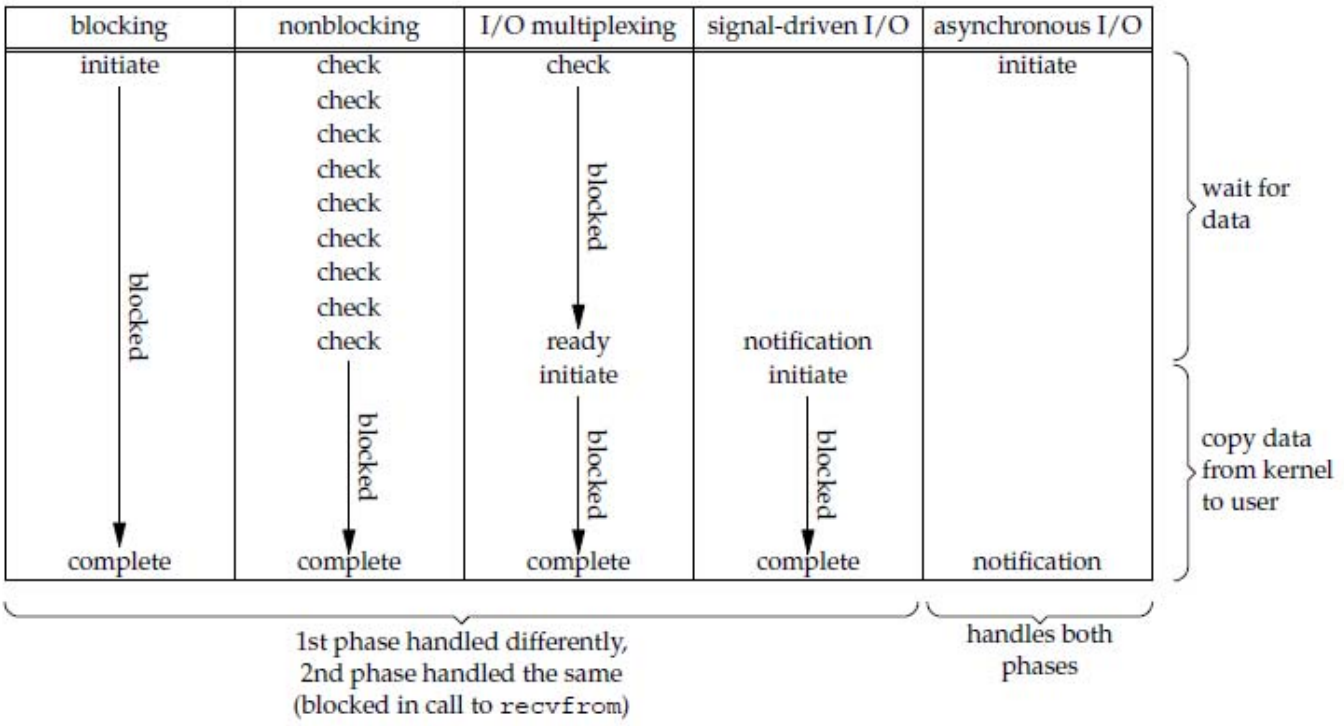

异步 I/O 模型使用了 Proactor 设计模式实现了这一机制。

告知内核,当整个过程(包括阶段1和阶段2)全部完成时,通知应用程序来读数据.

# 几种 I/O 模型的比较

前四种模型的区别是阶段1不相同，阶段2基本相同，都是将数据从内核拷贝到调用者的缓冲区。而异步 I/O 的两个阶段都不同于前四个模型。

同步 I/O 操作引起请求进程阻塞，直到 I/O 操作完成。异步 I/O 操作不引起请求进程阻塞。



# 常见 Java I/O 模型

在了解了 UNIX 的 I/O 模型之后，其实 Java 的 I/O 模型也是类似。

## “阻塞I/O”模式

在上一节 Socket 章节中的 EchoServer 就是一个简单的阻塞 I/O 例子，服务器启动后，等待客户端连接。在客户端连接服务器后，服务器就阻塞读写取数据流。

EchoServer 代码：

```
public class EchoServer {
    public static int DEFAULT_PORT = 7;

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

        int port;

        try {
            port = Integer.parseInt(args[0]);
        } catch (RuntimeException ex) {
            port = DEFAULT_PORT;
        }

        try (
            ServerSocket serverSocket =
                new ServerSocket(port);
            Socket clientSocket = serverSocket.accept();
            PrintWriter out =
                new PrintWriter(clientSocket.getOutputStream(), true);
            BufferedReader in = new BufferedReader(
                new InputStreamReader(clientSocket.getInputStream()));
        ) {
            String inputLine;
            while ((inputLine = in.readLine()) != null) {
                out.println(inputLine);
            }
        } catch (IOException e) {
            System.out.println("Exception caught when trying to listen on port "
                + port + " or listening for a connection");
            System.out.println(e.getMessage());
        }
    }
}
```

# 改进为“阻塞I/O+多线程”模式

使用多线程来支持多个客户端来访问服务器。

主线程 MultiThreadEchoServer.java

```
public class MultiThreadEchoServer {
    public static int DEFAULT_PORT = 7;

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

        int port;

        try {
            port = Integer.parseInt(args[0]);
        } catch (RuntimeException ex) {
            port = DEFAULT_PORT;
        }
        Socket clientSocket = null;
        try (ServerSocket serverSocket = new ServerSocket(port);) {
            while (true) {
                clientSocket = serverSocket.accept();

                // MultiThread
                new Thread(new EchoServerHandler(clientSocket)).start();
            }
        } catch (IOException e) {
            System.out.println(
                    "Exception caught when trying to listen on port " + port + " or listening for a connect
```

```
            System.out.println(e.getMessage());
        }
    }
}
```

处理器类 EchoServerHandler.java

```
public class EchoServerHandler implements Runnable {
    private Socket clientSocket;

    public EchoServerHandler(Socket clientSocket) {
        this.clientSocket = clientSocket;
    }

    @Override
    public void run() {
        try (PrintWriter out = new PrintWriter(clientSocket.getOutputStream(), true);
                BufferedReader in = new BufferedReader(new InputStreamReader(clientSocket.getInputStream())

            String inputLine;
            while ((inputLine = in.readLine()) != null) {
                out.println(inputLine);
            }
        } catch (IOException e) {
            System.out.println(e.getMessage());
        }
    }
}
```

存在问题：每次接收到新的连接都要新建一个线程，处理完成后销毁线程，代价大。当有大量地短连接出现时，性能比较低。

# 改进为“阻塞I/O+线程池”模式

针对上面多线程的模型中，出现的线程重复创建、销毁带来的开销，可以采用线程池来优化。每次接收到新连接后从池中取一个空闲线程进行处理，处理完成后再放回池中，重用线程避免了频率地创建和销毁线程带来的开销。

主线程 ThreadPoolEchoServer.java

```
public class ThreadPoolEchoServer {
    public static int DEFAULT_PORT = 7;

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

        int port;

        try {
            port = Integer.parseInt(args[0]);
        } catch (RuntimeException ex) {
            port = DEFAULT_PORT;
        }
        ExecutorService threadPool = Executors.newFixedThreadPool(5);
        Socket clientSocket = null;
        try (ServerSocket serverSocket = new ServerSocket(port);) {
            while (true) {
                clientSocket = serverSocket.accept();

                // Thread Pool
                threadPool.submit(new Thread(new EchoServerHandler(clientSocket)));
            }
        } catch (IOException e) {
            System.out.println(
                    "Exception caught when trying to listen on port " + port + " or listening for a connect
            System.out.println(e.getMessage());
        }
    }
}
```

存在问题：在大量短连接的场景中性能会有提升，因为不用每次都创建和销毁线程，而是重用连接池中的线程。但在大量长连接的场景中，因为线程被连接长期占用，不需要频繁地创建和销毁线程，因而没有什么优势。

虽然这种方法可以适用于小到中度规模的客户端的并发数，如果连接数超过 100,000或更多，那么性能将很不理想。

# 改进为“非阻塞I/O”模式

“阻塞I/O+线程池”网络模型虽然比”阻塞I/O+多线程”网络模型在性能方面有提升，但这两种模型都存在一个共同的问题：读和写操作都是同步阻塞的,面对大并发（持续大量连接同时请求）的场景，需要消耗大量的线程来维持连接。CPU 在大量的线程之间频繁切换，性能损耗很大。一旦单机的连接超过1万，甚至达到几万的时候，服务器的性能会急剧下降。

而 NIO 的 Selector 却很好地解决了这个问题，用主线程（一个线程或者是 CPU 个数的线程）保持住所有的连接，管理和读取客户端连接的数据，将读取的数据交给后面的线程池处理，线程池处理完业务逻辑后，将结果交给主线程发送响应给客户端，少量的线程就可以处理大量连接的请求。

Java NIO 由以下几个核心部分组成：

- Channel
- Buffer
- Selector

要使用 Selector，得向 Selector 注册 Channel，然后调用它的 select()方法。这个方法会一直阻塞到某个注册的通道有事件就绪。一旦这个方法返回，线程就可以处理这些事件，事件的例子有如新连接进来，数据接收等。

主线程 NonBlokingEchoServer.java

```
1  public class NonBlokingEchoServer {
2      public static int DEFAULT_PORT = 7;
3
4      public static void main(String[] args) throws IOException {
5
6          int port;
7
8          try {
9              port = Integer.parseInt(args[0]);
10         } catch (RuntimeException ex) {
11             port = DEFAULT_PORT;
12         }
13         System.out.println("Listening for connections on port " + port);
14
15         ServerSocketChannel serverChannel;
16         Selector selector;
17         try {
18             serverChannel = ServerSocketChannel.open();
19             InetSocketAddress address = new InetSocketAddress(port);
20             serverChannel.bind(address);
21             serverChannel.configureBlocking(false);
22             selector = Selector.open();
23             serverChannel.register(selector, SelectionKey.OP_ACCEPT);
24         } catch (IOException ex) {
25             ex.printStackTrace();
26             return;
27         }
28
29         while (true) {
30             try {
31                 selector.select();
32             } catch (IOException ex) {
33                 ex.printStackTrace();
34                 break;
35             }
36             Set<SelectionKey> readyKeys = selector.selectedKeys();
37             Iterator<SelectionKey> iterator = readyKeys.iterator();
38             while (iterator.hasNext()) {
39                 SelectionKey key = iterator.next();
40                 iterator.remove();
41                 try {
42                     if (key.isAcceptable()) {
43                         ServerSocketChannel server = (ServerSocketChannel) key.channel();
44                         SocketChannel client = server.accept();
45                         System.out.println("Accepted connection from " + client);
```

```
                    client.configureBlocking(false);
                    SelectionKey clientKey = client.register(selector,
                            SelectionKey.OP_WRITE | SelectionKey.OP_READ);
                    ByteBuffer buffer = ByteBuffer.allocate(100);
                    clientKey.attach(buffer);
                }
                if (key.isReadable()) {
                    SocketChannel client = (SocketChannel) key.channel();
                    ByteBuffer output = (ByteBuffer) key.attachment();
                    client.read(output);
                }
                if (key.isWritable()) {
                    SocketChannel client = (SocketChannel) key.channel();
                    ByteBuffer output = (ByteBuffer) key.attachment();
                    output.flip();
                    client.write(output);

                    output.compact();
                }
            } catch (IOException ex) {
                key.cancel();
                try {
                    key.channel().close();
                } catch (IOException cex) {
                }
            }
        }
    }
}
```

# 改进为“异步I/O”模式

Java SE 7 版本之后，引入了异步 I/O （ NIO.2 ）的支持，为构建高性能的网络应用提供了一个利器。

主线程 AsyncEchoServer.java

```
public class AsyncEchoServer {

    public static int DEFAULT_PORT = 7;

    public static void main(String[] args) throws IOException {
        int port;

        try {
            port = Integer.parseInt(args[0]);
        } catch (RuntimeException ex) {
            port = DEFAULT_PORT;
        }

        ExecutorService taskExecutor = Executors.newCachedThreadPool(Executors.defaultThreadFactory());
        // create asynchronous server socket channel bound to the default group
        try (AsynchronousServerSocketChannel asynchronousServerSocketChannel = AsynchronousServerSocketChan
            if (asynchronousServerSocketChannel.isOpen()) {
                // set some options
                asynchronousServerSocketChannel.setOption(StandardSocketOptions.SO_RCVBUF, 4 * 1024);
                asynchronousServerSocketChannel.setOption(StandardSocketOptions.SO_REUSEADDR, true);
                // bind the server socket channel to local address
                asynchronousServerSocketChannel.bind(new InetSocketAddress(port));
                // display a waiting message while ... waiting clients
                System.out.println("Waiting for connections ...");
                while (true) {
                    Future<AsynchronousSocketChannel> asynchronousSocketChannelFuture = asynchronousServerS
                            .accept();
                    try {
                        final AsynchronousSocketChannel asynchronousSocketChannel = asynchronousSocketChann
                                .get();
                        Callable<String> worker = new Callable<String>() {
                            @Override
                            public String call() throws Exception {
                                String host = asynchronousSocketChannel.getRemoteAddress().toString();
                                System.out.println("Incoming connection from: " + host);
                                final ByteBuffer buffer = ByteBuffer.allocateDirect(1024);
                                // transmitting data
                                while (asynchronousSocketChannel.read(buffer).get() != -1) {
                                    buffer.flip();
                                    asynchronousSocketChannel.write(buffer).get();
                                    if (buffer.hasRemaining()) {
                                        buffer.compact();
                                    } else {
                                        buffer.clear();
```

```
                                    }
                                }
                                asynchronousSocketChannel.close();
                                System.out.println(host + " was successfully served!");
                                return host;
                            }
                        };
                        taskExecutor.submit(worker);
                    } catch (InterruptedException | ExecutionException ex) {
                        System.err.println(ex);
                        System.err.println("\n Server is shutting down ...");
                        // this will make the executor accept no new threads
                        // and finish all existing threads in the queue
                        taskExecutor.shutdown();
                        // wait until all threads are finished
                        while (!taskExecutor.isTerminated()) {
                        }
                        break;
                    }
                }
            } else {
                System.out.println("The asynchronous server-socket channel cannot be opened!");
            }
        } catch (IOException ex) {
            System.err.println(ex);
        }
    }
}
```

# 源码

本章例子的源码，可以在 https://github.com/waylau/essential-java 中 com.waylau.essentialjava.net.echo 包下找到。

# 参考引用

- Java Network Programming, 4th Edition
- Pro Java 7 NIO.2
- Unix Network Programming, Volume 1: The Sockets Networking API (3rd Edition)
- Java 编程要点





## 相关文章

- Java 标准 I/O 流编程一览笔录
- 理解Java中字符流与字节流的区别
- Java I/O 总结
- 也谈IO模型
- Java 编程要点之 I/O 流详解
- 【Java TCP/IP Socket】Java NIO Socket VS 标准IO Socket
- java中的IO整理
- Java NIO系列教程（12）：Java NIO与IO
- java中的IO整理
- Java I/O 操作及优化建议

## 发表评论

Comment form

Name*

姓名

邮箱*

请填写邮箱

网站 (请以 http://开头)

请填写网站地址

评论内容*

请填写评论内容

(*) 表示必填项

提交评论

还没有评论。

« 如何给变量取个简短且无歧义的名字
如何线程安全的使用HashMap »

Search for:

Search

Search


- 本周热门文章
- 本月热门
- 热门标签

0 记一次集群内无可用 http 服务问题...

1 Java 技术之垃圾回收机制

2 公司编程竞赛之最长路径问题

3 Java 中的十个"单行代码编程"（O...

4 Java 中 9 个处理 Exception ...

5 HttpClient 以及 Json 传递的...

6 浅析 Spring 中的事件驱动机制

7 浅析分布式下的事件驱动机制（ PubS...

8 探索各种随机函数（Java 环境...

9 Java 守护线程概述


## 最新评论

- Re: 攻破JAVA NIO技术壁垒
  Hi，请到伯乐在线的小组发帖提问，支持微信登录。 链接是： http://group.jobbole.... 唐尤华
- Re: 攻破JAVA NIO技术壁垒
  TCP服务端的NIO写法 服务端怎么发送呢。原谅小白 菜鸟
- Re: 关于 Java 中的 double check ...
  volatile 可以避免指令重排啊。所以double check还是可以用的。 hipilee
- Re: Spring4 + Spring MVC + M...
  Hi，请到伯乐在线的小组发帖提问，支持微信登录。链接是： http://group.jobbole.... 唐尤华
- Re: Spring4 + Spring MVC + M...
  我的一直不太明白，spring的bean容器和springmvc的bean容器之间的关系。 hw_绝影
- Re: Spirng+SpringMVC+Maven+Myba...
  很好，按照步骤，已经成功。 莫凡
- Re: Spring中@Transactional事务...
  声明式事务可以用aop来实现,分别是jdk代理和cglib代理,基于接口和普通类.在同一个类中一个方... chengjiliang
- Re: 关于 Java 中的 double check ...

在JDK1.5之后，用volatile关键字修饰_INSTANCE属性 就能避免因指令重排导致的对象... Byron

## 关于ImportNew

ImportNew 专注于 Java 技术分享。于2012年11月11日 11:11正式上线。是的，这是一个很特别的时刻 :)

ImportNew 由两个 Java 关键字 import 和 new 组成，意指：Java 开发者学习新知识的网站。 import 可认为是学习和吸收， new 则可认为是新知识、新技术圈子和新朋友……

- 

## 联系我们

Email：ImportNew.com@gmail.com
新浪微博：@ImportNew
推荐微信号


反馈建议：ImportNew.com@gmail.com
广告与商务合作QQ：2302462408

## 推荐关注

小组 – 好的话题、有启发的回复、值得信赖的圈子
头条 – 写了文章？看干货？去头条！
相亲 – 为IT单身男女服务的征婚传播平台
资源 – 优秀的工具资源导航
翻译 – 活跃 & 专业的翻译小组
博客 – 国内外的精选博客文章
设计 – UI,网页，交互和用户体验
前端 – JavaScript, HTML5, CSS
安卓 – 专注Android技术分享
iOS – 专注iOS技术分享
Java – 专注Java技术分享
Python – 专注Python技术分享