15 网络编程

网络编程是Java最擅长的方向之一，使用Java进行网络编程时，由虚拟机实现了底层复杂的网络协议，Java程序只需要调用Java标准库提供的接口，就可以简单高效地编写网络程序。

本章我们详细介绍如何使用Java进行网络编程。

网络编程基础

在学习Java网络编程之前，我们先来了解什么是计算机网络。

计算机网络是指两台或更多的计算机组成的网络，在同一个网络中，任意两台计算机都可以直接通信，因为所有计算机都需要遵循同一种网络协议。

那什么是互联网呢？互联网是网络的网络（internet），即把很多计算机网络连接起来，形成一个全球统一的互联网。

对某个特定的计算机网络来说，它可能使用网络协议ABC，而另一个计算机网络可能使用网络协议XYZ。如果计算机网络各自的通讯协议不统一，就没法把不同的网络连接起来形成互联网。因此，为了把计算机网络接入互联网，就必须使用TCP/IP协议。

TCP/IP协议泛指互联网协议，其中最重要的两个协议是TCP协议和IP协议。只有使用TCP/IP协议的计算机才能够联入互联网，使用其他网络协议（例如NetBIOS、AppleTalk协议等）是无法联入互联网的。

IP地址

在互联网中，一个IP地址用于唯一标识一个网络接口（Network Interface）。一台联入互联网的计算机肯定有一个IP地址，但也可能有多个IP地址。

IP地址分为IPv4和IPv6两种。IPv4采用32位地址，类似`101.202.99.12`，而IPv6采用128位地址，类似`2001:0DA8:100A:0000:0000:1020:F2F3:1428`。IPv4地址总共有232个（大约42亿），而IPv6地址则总共有2128个（大约340万亿亿亿亿），IPv4的地址目前已耗尽，而IPv6的地址是根本用不完的。

IP地址又分为公网IP地址和内网IP地址。公网IP地址可以直接被访问，内网IP地址只能在内网访问。内网IP地址类似于：

- 192.168.x.x
- 10.x.x.x

有一个特殊的IP地址，称之为本机地址，它总是`127.0.0.1`。

IPv4地址实际上是一个32位整数。例如：

```
106717964 = 0x65ca630c
          = 65  ca  63 0c
          = 101.202.99.12
```

如果一台计算机只有一个网卡，并且接入了网络，那么，它有一个本机地址`127.0.0.1`，还有一个IP地址，例如`101.202.99.12`，可以通过这个IP地址接入网络。

如果一台计算机有两块网卡，那么除了本机地址，它可以有两个IP地址，可以分别接入两个网络。通常连接两个网络的设备是路由器或者交换机，它至少有两个IP地址，分别接入不同的网络，让网络之间连接起来。

如果两台计算机位于同一个网络，那么他们之间可以直接通信，因为他们的IP地址前段是相同的，也就是网络号是相同的。网络号是IP地址通过子网掩码过滤后得到的。例如：

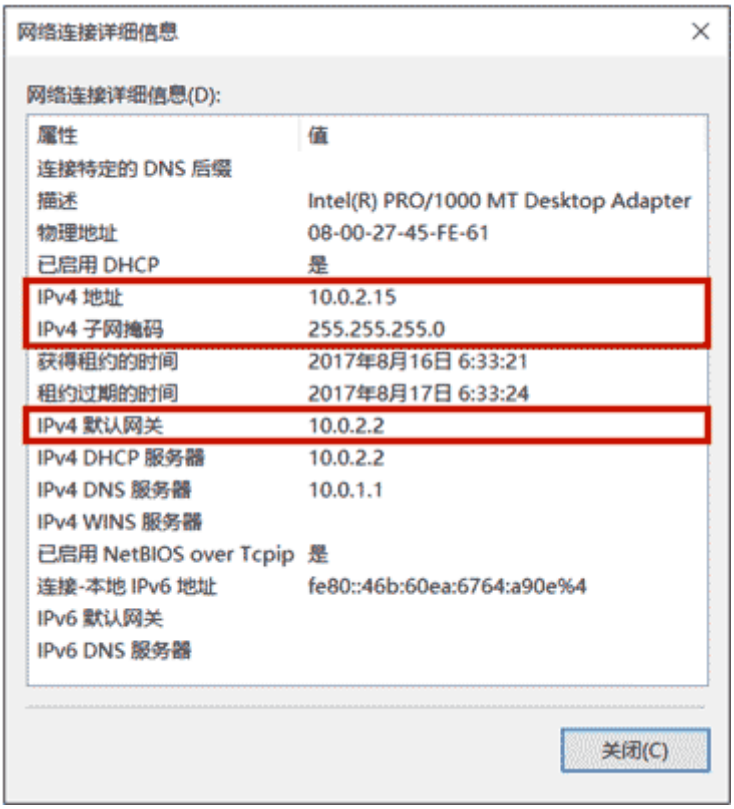
某台计算机的IP是`101.202.99.2`，子网掩码是`255.255.255.0`，那么计算该计算机的网络号是：

```
IP = 101.202.99.2
Mask = 255.255.255.0
Network = IP & Mask = 101.202.99.0
```

每台计算机都需要正确配置IP地址和子网掩码，根据这两个就可以计算网络号，如果两台计算机计算出的网络号相同，说明两台计算机在同一个网络，可以直接通信。如果两台计算机计算出的网络号不同，那么两台计算机不在同一个网络，不能直接通信，它们之间必须通过路由器或者交换机这样的网络设备间接通信，我们把这种设备称为网关。

网关的作用就是连接多个网络，负责把来自一个网络的数据包发到另一个网络，这个过程叫路由。

所以，一台计算机的一个网卡会有3个关键配置：



- IP地址，例如：`10.0.2.15`
- 子网掩码，例如：`255.255.255.0`
- 网关的IP地址，例如：`10.0.2.2`

域名

因为直接记忆IP地址非常困难，所以我们通常使用域名访问某个特定的服务。域名解析服务器DNS负责把域名翻译成对应的IP，客户端再根据IP地址访问服务器。

用`nslookup`可以查看域名对应的IP地址：

```
$ nslookup www.liaoxuefeng.com
Server:  xxx.xxx.xxx.xxx
Address: xxx.xxx.xxx.xxx#53

Non-authoritative answer:
Name:    www.liaoxuefeng.com
Address: 47.98.33.223
```

有一个特殊的本机域名`localhost`，它对应的IP地址总是本机地址`127.0.0.1`。

网络模型

由于计算机网络从底层的传输到高层的软件设计十分复杂，要合理地设计计算机网络模型，必须采用分层模型，每一层负责处理自己的操作。OSI（Open System Interconnect）网络模型是ISO组织定义的一个计算机互联的标准模型，注意它只是一个定义，目的是为了简化网络各层的操作，提供标准接口便于实现和维护。这个模型从上到下依次是：

- 应用层，提供应用程序之间的通信；
- 表示层：处理数据格式，加解密等等；
- 会话层：负责建立和维护会话；
- 传输层：负责提供端到端的可靠传输；
- 网络层：负责根据目标地址选择路由来传输数据；
- 链路层和物理层负责把数据进行分片并且真正通过物理网络传输，例如，无线网、光纤等。

互联网实际使用的TCP/IP模型并不是对应到OSI的7层模型，而是大致对应OSI的5层模型：

OSI	TCP/IP
应用层	应用层
表示层	
会话层	
传输层	传输层
网络层	IP层
链路层	网络接口层
物理层	

常用协议

IP协议是一个分组交换，它不保证可靠传输。而TCP协议是传输控制协议，它是面向连接的协议，支持可靠传输和双向通信。TCP协议是建立在IP协议之上的，简单地说，IP协议只负责发数据包，不保证顺序和正确性，而TCP协议负责控制数据包传输，它在传输数据之前需要先建立连接，建立连接后才能传输数据，传输完后还需要断开连接。TCP协议之所以能保证数据的可靠传输，是通过接收确认、超时重传这些机制实现的。并且，TCP协议允许双向通信，即通信双方可以同时发送和接收数据。

TCP协议也是应用最广泛的协议，许多高级协议都是建立在TCP协议之上的，例如HTTP、SMTP等。

UDP协议（User Datagram Protocol）是一种数据报文协议，它是无连接协议，不保证可靠传输。因为UDP协议在通信前不需要建立连接，因此它的传输效率比TCP高，而且UDP协议比TCP协议要简单得多。

选择UDP协议时，传输的数据通常是能容忍丢失的，例如，一些语音视频通信的应用会选择UDP协议。

小结

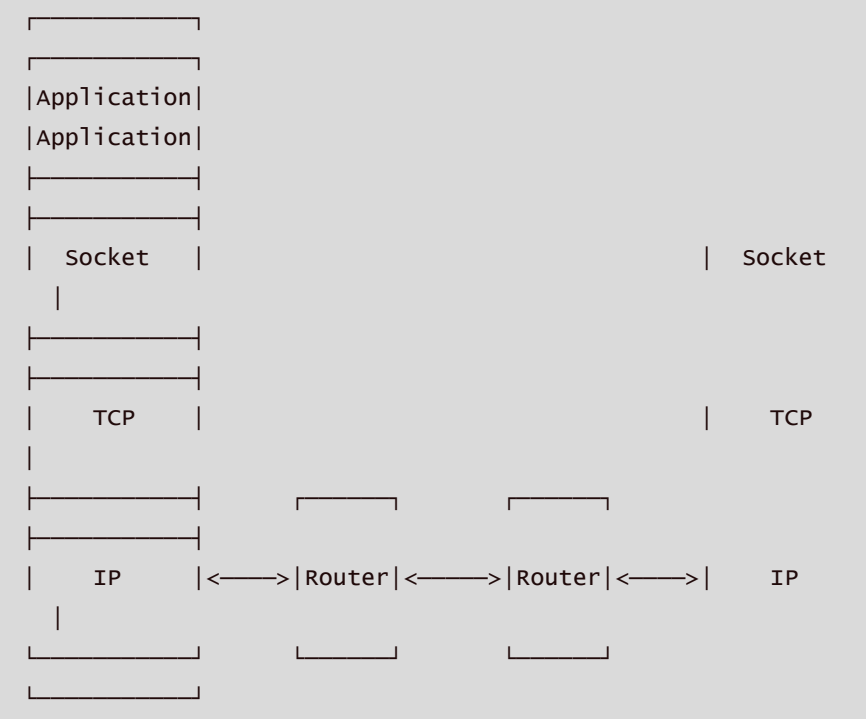
计算机网络的基本概念主要有：

- 计算机网络：由两台或更多计算机组成的网络；
- 互联网：连接网络的网络；
- IP地址：计算机的网络接口（通常是网卡）在网络中的唯一标识；
- 网关：负责连接多个网络，并在多个网络之间转发数据的计算机，通常是路由器或交换机；
- 网络协议：互联网使用TCP/IP协议，它泛指互联网协议簇；

- IP协议：一种分组交换传输协议；
- TCP协议：一种面向连接，可靠传输的协议；
- UDP协议：一种无连接，不可靠传输的协议。

TCP编程

在开发网络应用程序的时候，我们又会遇到Socket这个概念。Socket是一个抽象概念，一个应用程序通过一个Socket来建立一个远程连接，而Socket内部通过TCP/IP协议把数据传输到网络：



Socket、TCP和部分IP的功能都是由操作系统提供的，不同的编程语言只是提供了对操作系统调用的简单的封装。例如，Java提供的几个Socket相关的类就封装了操作系统提供的接口。

为什么需要Socket进行网络通信？因为仅仅通过IP地址进行通信是不够的，同一台计算机同一时间会运行多个网络应用程序，例如浏览器、QQ、邮件客户端等。当操作系统接收到一个数据包的时候，如果只有IP地址，它没法判断应该发给哪个应用程序，所以，操作系统抽象出Socket接口，每个应用程序需要各自对应到不同的Socket，数据包才能根据Socket正确地发到对应的应用程序。

一个Socket就是由IP地址和端口号（范围是0～65535）组成，可以把Socket简单理解为IP地址加端口号。端口号总是由操作系统分配，它是一个0～65535之间的数字，其中，小于1024的端口属于*特权端口*，需要管理员权限，大于1024的端口可以由任意用户的应用程序打开。

- 101.202.99.2:1201
- 101.202.99.2:1304
- 101.202.99.2:15000

使用Socket进行网络编程时，本质上就是两个进程之间的网络通信。其中一个进程必须充当服务器端，它会主动监听某个指定的端口，另一个进程必须充当客户端，它必须主动连接服务器的IP地址和指定端口，如果连接成功，服务器端和客户端就成功地建立了一个TCP连接，双方后续就可以随时发送和接收数据。

因此，当Socket连接成功地在服务器端和客户端之间建立后：

- 对服务器端来说，它的Socket是指定的IP地址和指定的端口号；
- 对客户端来说，它的Socket是它所在计算机的IP地址和一个由操作系统分配的随机端口号。

服务器端

要使用Socket编程，我们首先要编写服务器端程序。Java标准库提供了`ServerSocket`来实现对指定IP和指定端口的监听。`ServerSocket`的典型实现代码如下：

```
public class Server {
    public static void main(String[] args) throws
IOException {
        ServerSocket ss = new ServerSocket(6666); // 监听指
定端口
        System.out.println("server is running...");
        for (;;) {
            Socket sock = ss.accept();
            System.out.println("connected from " +
sock.getRemoteSocketAddress());
            Thread t = new Handler(sock);
            t.start();
        }
    }
}

class Handler extends Thread {
    Socket sock;

    public Handler(Socket sock) {
        this.sock = sock;
    }

    @Override
    public void run() {
        try (InputStream input =
this.sock.getInputStream()) {
            try (OutputStream output =
this.sock.getOutputStream()) {
                handle(input, output);
            }
        } catch (Exception e) {
            try {
                this.sock.close();
            } catch (IOException ioe) {
            }
            System.out.println("client disconnected.");
        }
    }
```

```
    private void handle(InputStream input, OutputStream
output) throws IOException {
        var writer = new BufferedWriter(new
OutputStreamWriter(output, StandardCharsets.UTF_8));
        var reader = new BufferedReader(new
InputStreamReader(input, StandardCharsets.UTF_8));
        writer.write("hello\n");
        writer.flush();
        for (;;) {
            String s = reader.readLine();
            if (s.equals("bye")) {
                writer.write("bye\n");
                writer.flush();
                break;
            }
            writer.write("ok: " + s + "\n");
            writer.flush();
        }
    }
}
```

服务器端通过代码：

```
ServerSocket ss = new ServerSocket(6666);
```

在指定端口`6666`监听。这里我们没有指定IP地址，表示在计算机的所有网络接口上进行监听。

如果`ServerSocket`监听成功，我们就使用一个无限循环来处理客户端的连接：

```
for (;;) {
    Socket sock = ss.accept();
    Thread t = new Handler(sock);
    t.start();
}
```

注意到代码`ss.accept()`表示每当有新的客户端连接进来后，就返回一个`Socket`实例，这个`Socket`实例就是用来和刚连接的客户端进行通信的。由于客户端很多，要实现并发处理，我们就必须为每个新的`Socket`创建一个新线程来处理，这样，主线程的作用就是接收新的连接，每当收到新连接后，就创建一个新线程进行处理。

我们在多线程编程的章节中介绍过线程池，这里也完全可以利用线程池来处理客户端连接，能大大提高运行效率。

如果没有客户端连接进来，`accept()`方法会阻塞并一直等待。如果有多个客户端同时连接进来，`ServerSocket`会把连接扔到队列里，然后一个一个处理。对于Java程序而言，只需要通过循环不断调用`accept()`就可以获取新的连接。

客户端

相比服务器端，客户端程序就要简单很多。一个典型的客户端程序如下：

```
public class Client {
    public static void main(String[] args) throws
IOException {
        Socket sock = new Socket("localhost", 6666); // 连
接指定服务器和端口
        try (InputStream input = sock.getInputStream()) {
            try (OutputStream output =
sock.getOutputStream()) {
                handle(input, output);
            }
        }
        sock.close();
        System.out.println("disconnected.");
    }

    private static void handle(InputStream input,
OutputStream output) throws IOException {
        var writer = new BufferedWriter(new
OutputStreamWriter(output, StandardCharsets.UTF_8));
        var reader = new BufferedReader(new
InputStreamReader(input, StandardCharsets.UTF_8));
        Scanner scanner = new Scanner(System.in);
        System.out.println("[server] " +
reader.readLine());
        for (;;) {
            System.out.print(">>> "); // 打印提示
            String s = scanner.nextLine(); // 读取一行输入
            writer.write(s);
            writer.newLine();
            writer.flush();
            String resp = reader.readLine();
            System.out.println("<<< " + resp);
            if (resp.equals("bye")) {
                break;
            }
        }
    }
}
```

客户端程序通过：

```
Socket sock = new Socket("localhost", 6666);
```

连接到服务器端，注意上述代码的服务器地址是`"localhost"`，表示本机地址，端口号是`6666`。如果连接成功，将返回一个`Socket`实例，用于后续通信。

Socket流

当Socket连接创建成功后，无论是服务器端，还是客户端，我们都使用`Socket`实例进行网络通信。因为TCP是一种基于流的协议，因此，Java标准库使用`InputStream`和`OutputStream`来封装Socket的数据流，这样我们使用Socket的流，和普通IO流类似：

```
// 用于读取网络数据:
InputStream in = sock.getInputStream();
// 用于写入网络数据:
OutputStream out = sock.getOutputStream();
```

最后我们重点来看看，为什么写入网络数据时，要调用`flush()`方法。

如果不调用`flush()`，我们很可能会发现，客户端和服务器都收不到数据，这并不是Java标准库的设计问题，而是我们以流的形式写入数据的时候，并不是一写入就立刻发送到网络，而是先写入内存缓冲区，直到缓冲区满了以后，才会一次性真正发送到网络，这样设计的目的是为了提高传输效率。如果缓冲区的数据很少，而我们又想强制把这些数据发送到网络，就必须调用`flush()`强制把缓冲区数据发送出去。

练习

下载练习：使用Socket实现服务器和客户端通信 （推荐使用IDE练习插件快速下载）

小结

使用Java进行TCP编程时，需要使用Socket模型：

- 服务器端用`ServerSocket`监听指定端口；
- 客户端使用`Socket(InetAddress, port)`连接服务器；
- 服务器端用`accept()`接收连接并返回`Socket`；
- 双方通过`Socket`打开`InputStream`/`OutputStream`读写数据；
- 服务器端通常使用多线程同时处理多个客户端连接，利用线程池可大幅提升效率；
- `flush()`用于强制输出缓冲区到网络。

UDP编程

和TCP编程相比，UDP编程就简单得多，因为UDP没有创建连接，数据包也是一次收发一个，所以没有流的概念。

在Java中使用UDP编程，仍然需要使用Socket，因为应用程序在使用UDP时必须指定网络接口（IP）和端口号。注意：UDP端口和TCP端口虽然都使用0~65535，但他们是两套独立的端口，即一个应用程序用TCP占用了端口1234，不影响另一个应用程序用UDP占用端口1234。

服务器端

在服务器端，使用UDP也需要监听指定的端口。Java提供了`DatagramSocket`来实现这个功能，代码如下：

```
DatagramSocket ds = new DatagramSocket(6666); // 监听指定端口
for (;;) { // 无限循环
    // 数据缓冲区:
    byte[] buffer = new byte[1024];
    DatagramPacket packet = new DatagramPacket(buffer, buffer.length);
    ds.receive(packet); // 收取一个UDP数据包
    // 收取到的数据存储在buffer中，由packet.getOffset(), packet.getLength()指定起始位置和长度
    // 将其按UTF-8编码转换为String:
    String s = new String(packet.getData(), packet.getOffset(), packet.getLength(), StandardCharsets.UTF_8);
    // 发送数据:
    byte[] data = "ACK".getBytes(StandardCharsets.UTF_8);
    packet.setData(data);
    ds.send(packet);
}
```

服务器端首先使用如下语句在指定的端口监听UDP数据包：

```
DatagramSocket ds = new DatagramSocket(6666);
```

如果没有其他应用程序占据这个端口，那么监听成功，我们就使用一个无限循环来处理收到的UDP数据包：

```
for (;;) {
    // ...
}
```

要接收一个UDP数据包，需要准备一个`byte[]`缓冲区，并通过`DatagramPacket`实现接收：

```
byte[] buffer = new byte[1024];
DatagramPacket packet = new DatagramPacket(buffer, buffer.length);
ds.receive(packet);
```

假设我们收取到的是一个`String`，那么，通过`DatagramPacket`返回的`packet.getOffset()`和`packet.getLength()`确定数据在缓冲区的起止位置：

```
String s = new String(packet.getData(), packet.getOffset(), packet.getLength(), StandardCharsets.UTF_8);
```

当服务器收到一个DatagramPacket后，通常必须立刻回复一个或多个UDP包，因为客户端地址在DatagramPacket中，每次收到的DatagramPacket可能是不同的客户端，如果不回复，客户端就收不到任何UDP包。

发送UDP包也是通过`DatagramPacket`实现的，发送代码非常简单：

```
byte[] data = ...
packet.setData(data);
ds.send(packet);
```

客户端

和服务器端相比，客户端使用UDP时，只需要直接向服务器端发送UDP包，然后接收返回的UDP包：

```
DatagramSocket ds = new DatagramSocket();
ds.setSoTimeout(1000);
ds.connect(InetAddress.getByName("localhost"), 6666); //
连接指定服务器和端口
// 发送:
byte[] data = "Hello".getBytes();
DatagramPacket packet = new DatagramPacket(data,
data.length);
ds.send(packet);
// 接收:
byte[] buffer = new byte[1024];
packet = new DatagramPacket(buffer, buffer.length);
ds.receive(packet);
String resp = new String(packet.getData(),
packet.getOffset(), packet.getLength());
ds.disconnect();
```

客户端打开一个`DatagramSocket`使用以下代码：

```
DatagramSocket ds = new DatagramSocket();
ds.setSoTimeout(1000);
ds.connect(InetAddress.getByName("localhost"), 6666);
```

客户端创建`DatagramSocket`实例时并不需要指定端口，而是由操作系统自动指定一个当前未使用的端口。紧接着，调用`setSoTimeout(1000)`设定超时1秒，意思是后续接收UDP包时，等待时间最多不会超过1秒，否则在没有收到UDP包时，客户端会无限等待下去。这一点和服务器端不一样，服务器端可以无限等待，因为它本来就被设计成长时间运行。

注意到客户端的`DatagramSocket`还调用了一个`connect()`方法“连接”到指定的服务器端。不是说UDP是无连接的协议吗？为啥这里需要`connect()`？

这个`connect()`方法不是真连接，它是为了在客户端的`DatagramSocket`实例中保存服务器端的IP和端口号，确保这个`DatagramSocket`实例只能往指定的地址和端口发送UDP包，不能往其他地址和端口发送。这么做不是UDP的限制，而是Java内置了安全检查。

如果客户端希望向两个不同的服务器发送UDP包，那么它必须创建两个`DatagramSocket`实例。

后续的收发数据和服务器端是一致的。通常来说，客户端必须先发UDP包，因为客户端不发UDP包，服务器端就根本不知道客户端的地址和端口号。

如果客户端认为通信结束，就可以调用`disconnect()`断开连接：

```
ds.disconnect();
```

注意到`disconnect()`也不是真正地断开连接，它只是清除了客户端`DatagramSocket`实例记录的远程服务器地址和端口号，这样，`DatagramSocket`实例就可以连接另一个服务器端。

练习

下载练习：使用UDP实现服务器和客户端通信 （推荐使用IDE练习插件快速下载）

小结

使用UDP协议通信时，服务器和客户端双方无需建立连接：

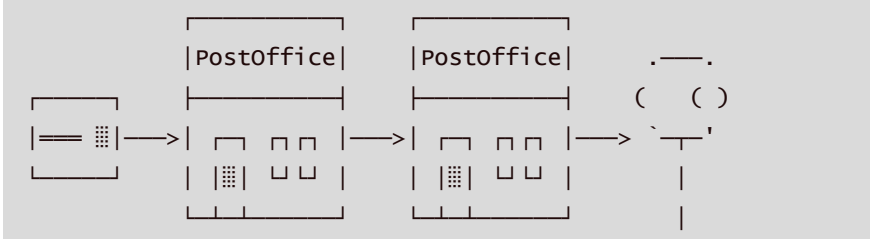
- 服务器端用`DatagramSocket(port)`监听端口；
- 客户端使用`DatagramSocket.connect()`指定远程地址和端口；
- 双方通过`receive()`和`send()`读写数据；
- `DatagramSocket`没有IO流接口，数据被直接写入`byte[]`缓冲区。

发送Email

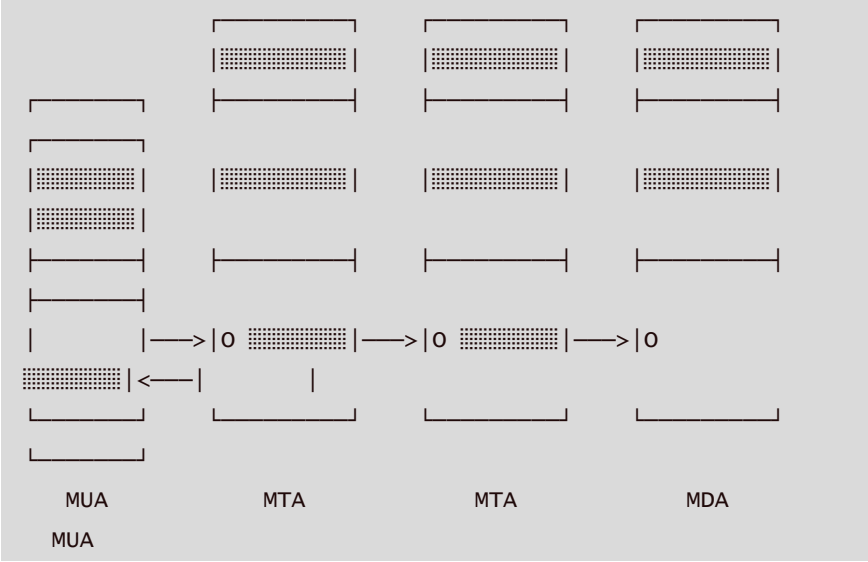
Email就是电子邮件。电子邮件的应用已经有几十年的历史了，我们熟悉的邮箱地址比如`abc@example.com`，邮件软件比如Outlook都是用来收发邮件的。

使用Java程序也可以收发电子邮件。我们先来看一下传统的邮件是如何发送的。

传统的邮件是通过邮局投递，然后从一个邮局到另一个邮局，最终到达用户的邮箱：



电子邮件的发送过程也是类似的，只不过是电子邮件是从用户电脑的邮件软件，例如Outlook，发送到邮件服务器上，可能经过若干个邮件服务器的中转，最终到达对方邮件服务器上，收件方就可以用软件接收邮件：



我们把类似Outlook这样的邮件软件称为MUA：Mail User Agent，意思是给用户服务的邮件代理；邮件服务器则称为MTA：Mail Transfer Agent，意思是邮件中转的代理；最终到达的邮件服务器称为MDA：Mail Delivery Agent，意思是邮件到达的代理。电子邮件一旦到达MDA，就不再动了。实际上，电子邮件通常就存储在MDA服务器的硬盘上，然后等收件人通过软件或者登陆浏览器查看邮件。

MTA和MDA这样的服务器软件通常是现成的，我们不关心这些服务器内部是如何运行的。要发送邮件，我们关心的是如何编写一个MUA的软件，把邮件发送到MTA上。

MUA到MTA发送邮件的协议就是SMTP协议，它是Simple Mail Transport Protocol的缩写，使用标准端口25，也可以使用加密端口465或587。

SMTP协议是一个建立在TCP之上的协议，任何程序发送邮件都必须遵守SMTP协议。使用Java程序发送邮件时，我们无需关心SMTP协议的底层原理，只需要使用JavaMail这个标准API就可以直接发送邮件。

准备SMTP登录信息

假设我们准备使用自己的邮件地址`me@example.com`给小明发送邮件，已知小明的邮件地址是`xiaoming@somewhere.com`，发送邮件前，我们首先要确定作为MTA的邮件服务器地址和端口号。邮件服务器地址通常是`smtp.example.com`，端口号由邮件服务商确定使用25、465还是587。以下是一些常用邮件服务商的SMTP信息：

- QQ邮箱：SMTP服务器是smtp.qq.com，端口是465/587；
- 163邮箱：SMTP服务器是smtp.163.com，端口是465；
- Gmail邮箱：SMTP服务器是smtp.gmail.com，端口是465/587。

有了SMTP服务器的域名和端口号，我们还需要SMTP服务器的登录信息，通常是使用自己的邮件地址作为用户名，登录口令是用户口令或者一个独立设置的SMTP口令。

我们来看看如何使用JavaMail发送邮件。

首先，我们需要创建一个Maven工程，并把JavaMail相关的两个依赖加入进来：

```
<dependencies>
    <dependency>
        <groupId>javax.mail</groupId>
        <artifactId>javax.mail-api</artifactId>
        <version>1.6.2</version>
    </dependency>
    <dependency>
        <groupId>com.sun.mail</groupId>
        <artifactId>javax.mail</artifactId>
        <version>1.6.2</version>
    </dependency>
    ...
```

然后，我们通过JavaMail API连接到SMTP服务器上：

```
// 服务器地址:
String smtp = "smtp.office365.com";
// 登录用户名:
String username = "jxsmtp101@outlook.com";
// 登录口令:
String password = "********";
// 连接到SMTP服务器587端口:
Properties props = new Properties();
props.put("mail.smtp.host", smtp); // SMTP主机名
props.put("mail.smtp.port", "587"); // 主机端口号
props.put("mail.smtp.auth", "true"); // 是否需要用户认证
props.put("mail.smtp.starttls.enable", "true"); // 启用TLS
加密
// 获取Session实例:
Session session = Session.getInstance(props, new
Authenticator() {
    protected PasswordAuthentication
getPasswordAuthentication() {
        return new PasswordAuthentication(username,
password);
    }
});
// 设置debug模式便于调试:
session.setDebug(true);
```

以587端口为例，连接SMTP服务器时，需要准备一个Properties对象，填入相关信息。最后获取Session实例时，如果服务器需要认证，还需要传入一个Authenticator对象，并返回指定的用户名和口令。

当我们获取到Session实例后，打开调试模式可以看到SMTP通信的详细内容，便于调试。

发送邮件

发送邮件时，我们需要构造一个`Message`对象，然后调用`Transport.send(Message)`即可完成发送：

```
MimeMessage message = new MimeMessage(session);
// 设置发送方地址:
message.setFrom(new InternetAddress("me@example.com"));
// 设置接收方地址:
message.setRecipient(Message.RecipientType.TO, new
InternetAddress("xiaoming@somewhere.com"));
// 设置邮件主题:
message.setSubject("Hello", "UTF-8");
// 设置邮件正文:
message.setText("Hi Xiaoming...", "UTF-8");
// 发送:
Transport.send(message);
```

绝大多数邮件服务器要求发送方地址和登录用户名必须一致，否则发送将失败。

填入真实的地址，运行上述代码，我们可以在控制台看到JavaMail打印的调试信息：

```
这是JavaMail打印的调试信息:
DEBUG: setDebug: JavaMail version 1.6.2
DEBUG: getProvider() returning
javax.mail.Provider[TRANSPORT,smtp,com.sun.mail.smtp.SMTPT
ransport,Oracle]
DEBUG SMTP: need username and password for authentication
DEBUG SMTP: protocolConnect returning false,
host=smtp.office365.com, ...
DEBUG SMTP: useEhlo true, useAuth true
开始尝试连接smtp.office365.com:
DEBUG SMTP: trying to connect to host
"smtp.office365.com", port 587, ...
DEBUG SMTP: connected to host "smtp.office365.com", port:
587
发送命令EHLO:
EHLO localhost
SMTP服务器响应250:
250-SG3P274CA0024.outlook.office365.com Hello
250-SIZE 157286400
...
DEBUG SMTP: Found extension "SIZE", arg "157286400"
发送命令STARTTLS:
STARTTLS
SMTP服务器响应220:
220 2.0.0 SMTP server ready
EHLO localhost
250-SG3P274CA0024.outlook.office365.com Hello
[111.196.164.63]
250-SIZE 157286400
```

```
250-PIPELINING
250-...
DEBUG SMTP: Found extension "SIZE", arg "157286400"
...
尝试登录:
DEBUG SMTP: protocolConnect login,
host=smtp.office365.com, user=********, password=********
DEBUG SMTP: Attempt to authenticate using mechanisms:
LOGIN PLAIN DIGEST-MD5 NTLM XOAUTH2
DEBUG SMTP: Using mechanism LOGIN
DEBUG SMTP: AUTH LOGIN command trace suppressed
登录成功:
DEBUG SMTP: AUTH LOGIN succeeded
DEBUG SMTP: use8bit false
开发发送邮件，设置FROM:
MAIL FROM:<********@outlook.com>
250 2.1.0 Sender OK
设置TO:
RCPT TO:<********@sina.com>
250 2.1.5 Recipient OK
发送邮件数据:
DATA
服务器响应354:
354 Start mail input; end with <CRLF>.<CRLF>
真正的邮件数据:
Date: Mon, 2 Dec 2019 09:37:52 +0800 (CST)
From: ********@outlook.com
To: ********001@sina.com
Message-ID: <1617791695.0.1575250672483@localhost>
邮件主题是编码后的文本:
Subject: =?UTF-8?Q?JavaMail=E9=82=AE=E4=BB=B6?=
MIME-Version: 1.0
Content-Type: text/plain; charset=UTF-8
Content-Transfer-Encoding: base64

邮件正文是Base64编码的文本:
SGVsbG8sIOi/meaYr+S4gOWwgeadpeiHqmphdmFtYWls55qE6YKu5Lu277
yB
.
邮件数据发送完成后，以\r\n.\r\n结束，服务器响应250表示发送成功:
250 2.0.0 OK <HK0PR03MB4961.apcprd03.prod.outlook.com>
[Hostname=HK0PR03MB4961.apcprd03.prod.outlook.com]
DEBUG SMTP: message successfully delivered to mail server
发送QUIT命令:
QUIT
服务器响应221结束TCP连接:
221 2.0.0 Service closing transmission channel
```

从上面的调试信息可以看出，SMTP协议是一个请求-响应协议，客户端总是发送命令，然后等待服务器响应。服务器响应总是以数字开头，后面的信息才是用于调试的文本。这些响应码已经被定义在SMTP协议中了，查看具体的响应码就可以知道出错原因。

如果一切顺利，对方将收到一封文本格式的电子邮件：

发送HTML邮件

发送HTML邮件和文本邮件是类似的，只需要把：

```
message.setText(body, "UTF-8");
```

改为：

```
message.setText(body, "UTF-8", "html");
```

传入的`body`是类似`Hello<br>Hi, xxx`这样的HTML字符串即可。

HTML邮件可以在邮件客户端直接显示为网页格式：

发送附件

要在电子邮件中携带附件，我们就不能直接调用`message.setText()`方法，而是要构造一个`Multipart`对象：

```
Multipart multipart = new MimeMultipart();
// 添加text:
BodyPart textpart = new MimeBodyPart();
textpart.setContent(body, "text/html;charset=utf-8");
multipart.addBodyPart(textpart);
// 添加image:
BodyPart imagepart = new MimeBodyPart();
imagepart.setFileName(fileName);
imagepart.setDataHandler(new DataHandler(new
ByteArrayDataSource(input, "application/octet-stream")));
multipart.addBodyPart(imagepart);
// 设置邮件内容为multipart:
message.setContent(multipart);
```

一个`Multipart`对象可以添加若干个`BodyPart`，其中第一个`BodyPart`是文本，即邮件正文，后面的BodyPart是附件。`BodyPart`依靠`setContent()`决定添加的内容，如果添加文本，用`setContent("...", "text/plain;charset=utf-8")`添加纯文本，或者用`setContent("...", "text/html;charset=utf-8")`添加HTML文本。如果添加附件，需要设置文件名（不一定和真实文件名一致），并且添加一个`DataHandler()`，传入文件的MIME类型。二进制文件可以用`application/octet-stream`，Word文档则是`application/msword`。

最后，通过`setContent()`把`Multipart`添加到`Message`中，即可发送。

带附件的邮件在客户端会被提示下载：

发送内嵌图片的HTML邮件

有些童鞋可能注意到，HTML邮件中可以内嵌图片，这是怎么做到的？

如果给一个``，这样的外部图片链接通常会被邮件客户端过滤，并提示用户显示图片并不安全。只有内嵌的图片才能正常在邮件中显示。

内嵌图片实际上也是一个附件，即邮件本身也是`Multipart`，但需要做一点额外的处理：

```
Multipart multipart = new MimeMultipart();
// 添加text:
BodyPart textpart = new MimeBodyPart();
textpart.setContent("<h1>Hello</h1><p><img
src=\"cid:img01\"></p>", "text/html;charset=utf-8");
multipart.addBodyPart(textpart);
// 添加image:
BodyPart imagepart = new MimeBodyPart();
imagepart.setFileName(fileName);
imagepart.setDataHandler(new DataHandler(new
ByteArrayDataSource(input, "image/jpeg")));
// 与HTML的<img src="cid:img01">关联:
imagepart.setHeader("Content-ID", "<img01>");
multipart.addBodyPart(imagepart);
```

在HTML邮件中引用图片时，需要设定一个ID，用类似`引用，然后，在添加图片作为BodyPart时，除了要正确设置MIME类型（根据图片类型使用image/jpeg或image/png`），还需要设置一个Header：

```
imagepart.setHeader("Content-ID", "<img01>");
```

这个ID和HTML中引用的ID对应起来，邮件客户端就可以正常显示内嵌图片：

常见问题

如果用户名或口令错误，会导致`535`登录失败：

```
DEBUG SMTP: AUTH LOGIN failed
Exception in thread "main"
javax.mail.AuthenticationFailedException: 535 5.7.3
Authentication unsuccessful
[HK0PR03CA0105.apcprd03.prod.outlook.com]
```

如果登录用户和发件人不一致，会导致`554`拒绝发送错误：

```
DEBUG SMTP: MessagingException while sending, THROW:
com.sun.mail.smtp.SMTPSendFailedException: 554 5.2.0
STOREDRV.Submission.Exception:SendAsDeniedException.MapiEx
ceptionSendAsDenied;
```

有些时候，如果邮件主题和正文过于简单，会导致`554`被识别为垃圾邮件的错误：

```
DEBUG SMTP: MessagingException while sending, THROW:
com.sun.mail.smtp.SMTPSendFailedException: 554 DT:SPM
```

练习

下载练习：使用SMTP发送邮件 （推荐使用IDE练习插件快速下载）

小结

- 使用JavaMail API发送邮件本质上是一个MUA软件通过SMTP协议发送邮件至MTA服务器；
- 打开调试模式可以看到详细的SMTP交互信息；
- 某些邮件服务商需要开启SMTP，并需要独立的SMTP登录密码。

接收Email

发送Email的过程我们在上一节已经讲过了，客户端总是通过SMTP协议把邮件发送给MTA。

接收Email则相反，因为邮件最终到达收件人的MDA服务器，所以，接收邮件是收件人用自己的客户端把邮件从MDA服务器上抓取到本地的过程。

接收邮件使用最广泛的协议是POP3：Post Office Protocol version 3，它也是一个建立在TCP连接之上的协议。POP3服务器的标准端口是110，如果整个会话需要加密，那么使用加密端口995。

另一种接收邮件的协议是IMAP：Internet Mail Access Protocol，它使用标准端口143和加密端口993。IMAP和POP3的主要区别是，IMAP协议在本地的所有操作都会自动同步到服务器上，并且，IMAP可以允许用户在邮件服务器的收件箱中创建文件夹。

JavaMail也提供了IMAP协议的支持。因为POP3和IMAP的使用方式非常类似，因此我们只介绍POP3的用法。

使用POP3收取Email时，我们无需关心POP3协议底层，因为JavaMail提供了高层接口。首先需要连接到Store对象：

```
// 准备登录信息:
String host = "pop3.example.com";
int port = 995;
String username = "bob@example.com";
String password = "password";

Properties props = new Properties();
props.setProperty("mail.store.protocol", "pop3"); // 协议名称
props.setProperty("mail.pop3.host", host);// POP3主机名
props.setProperty("mail.pop3.port", String.valueOf(port));
// 端口号
// 启动SSL:
```

```
props.put("mail.smtp.socketFactory.class",
"javax.net.ssl.SSLSocketFactory");
props.put("mail.smtp.socketFactory.port",
String.valueOf(port));

// 连接到Store:
URLName url = new URLName("pop3", host, post, "",
username, password);
Session session = Session.getInstance(props, null);
session.setDebug(true); // 显示调试信息
Store store = new POP3SSLStore(session, url);
store.connect();
```

一个`Store`对象表示整个邮箱的存储，要收取邮件，我们需要通过`Store`访问指定的`Folder`（文件夹），通常是`INBOX`表示收件箱：

```
// 获取收件箱:
Folder folder = store.getFolder("INBOX");
// 以读写方式打开:
folder.open(Folder.READ_WRITE);
// 打印邮件总数/新邮件数量/未读数量/已删除数量:
System.out.println("Total messages: " +
folder.getMessageCount());
System.out.println("New messages: " +
folder.getNewMessageCount());
System.out.println("Unread messages: " +
folder.getUnreadMessageCount());
System.out.println("Deleted messages: " +
folder.getDeletedMessageCount());
// 获取每一封邮件:
Message[] messages = folder.getMessages();
for (Message message : messages) {
    // 打印每一封邮件:
    printMessage((MimeMessage) message);
}
```

当我们获取到一个`Message`对象时，可以强制转型为MimeMessage，然后打印出邮件主题、发件人、收件人等信息：

```
void printMessage(MimeMessage msg) throws IOException,
MessagingException {
    // 邮件主题:
    System.out.println("Subject: " +
MimeUtility.decodeText(msg.getSubject()));
    // 发件人:
    Address[] froms = msg.getFrom();
    InternetAddress address = (InternetAddress) froms[0];
    String personal = address.getPersonal();
    String from = personal == null ? address.getAddress()
: (MimeUtility.decodeText(personal) + " <" +
address.getAddress() + ">");
    System.out.println("From: " + from);
    // 继续打印收件人:
    ...
}
```

比较麻烦的是获取邮件的正文。一个`MimeMessage`对象也是一个`Part`对象，它可能只包含一个文本，也可能是一个`Multipart`对象，即由几个`Part`构成，因此，需要递归地解析出完整的正文：

```
String getBody(Part part) throws MessagingException,
IOException {
    if (part.isMimeType("text/*")) {
        // Part是文本:
        return part.getContent().toString();
    }
    if (part.isMimeType("multipart/*")) {
        // Part是一个Multipart对象:
        Multipart multipart = (Multipart)
part.getContent();
        // 循环解析每个子Part:
        for (int i = 0; i < multipart.getCount(); i++) {
            BodyPart bodyPart = multipart.getBodyPart(i);
            String body = getBody(bodyPart);
            if (!body.isEmpty()) {
                return body;
            }
        }
    }
    return "";
}
```

最后记得关闭`Folder`和`Store`：

```
folder.close(true); // 传入true表示删除操作会同步到服务器上（即删除服务器收件箱的邮件）
store.close();
```

练习

下载练习：使用POP3接收邮件 （推荐使用IDE练习插件快速下载）

小结

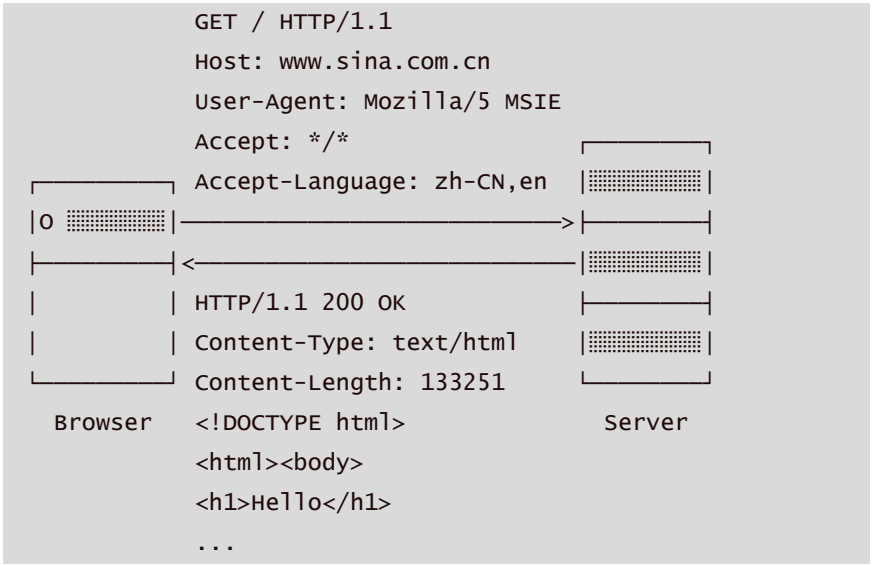
- 使用Java接收Email时，可以用POP3协议或IMAP协议。
- 使用POP3协议时，需要用Maven引入JavaMail依赖，并确定POP3服务器的域名 / 端口 / 是否使用SSL等，然后，调用相关API接收Email。
- 设置debug模式可以查看通信详细内容，便于排查错误。

HTTP编程

什么是HTTP？HTTP就是目前使用最广泛的Web应用程序使用的基础协议，例如，浏览器访问网站，手机App访问后台服务器，都是通过HTTP协议实现的。

HTTP是HyperText Transfer Protocol的缩写，翻译为超文本传输协议，它是基于TCP协议之上的一种请求-响应协议。

我们来看一下浏览器请求访问某个网站时发送的HTTP请求-响应。当浏览器希望访问某个网站时，浏览器和网站服务器之间首先建立TCP连接，且服务器总是使用`80`端口和加密端口`443`，然后，浏览器向服务器发送一个HTTP请求，服务器收到后，返回一个HTTP响应，并且在响应中包含了HTML的网页内容，这样，浏览器解析HTML后就可以给用户显示网页了。一个完整的HTTP请求-响应如下：



HTTP请求的格式是固定的，它由HTTP Header和HTTP Body两部分构成。第一行总是`请求方法 路径 HTTP版本`，例如，`GET / HTTP/1.1`表示使用`GET`请求，路径是`/`，版本是`HTTP/1.1`。

后续的每一行都是固定的`Header: Value`格式，我们称为HTTP Header，服务器依靠某些特定的Header来识别客户端请求，例如：

- Host：表示请求的域名，因为一台服务器上可能有多个网站，因此有必要依靠Host来识别用于请求；

- User-Agent：表示客户端自身标识信息，不同的浏览器有不同的标识，服务器依靠User-Agent判断客户端类型；
- Accept：表示客户端能处理的HTTP响应格式，`*/*`表示任意格式，`text/*`表示任意文本，`image/png`表示PNG格式的图片；
- Accept-Language：表示客户端接收的语言，多种语言按优先级排序，服务器依靠该字段给用户返回特定语言的网页版本。

如果是`GET`请求，那么该HTTP请求只有HTTP Header，没有HTTP Body。如果是`POST`请求，那么该HTTP请求带有Body，以一个空行分隔。一个典型的带Body的HTTP请求如下：

```
POST /login HTTP/1.1
Host: www.example.com
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
Content-Length: 30

username=hello&password=123456
```

`POST`请求通常要设置`Content-Type`表示Body的类型，`Content-Length`表示Body的长度，这样服务器就可以根据请求的Header和Body做出正确的响应。

此外，`GET`请求的参数必须附加在URL上，并以URLEncode方式编码，例如：`http://www.example.com/?a=1&b=K%26R`，参数分别是`a=1`和`b=K&R`。因为URL的长度限制，`GET`请求的参数不能太多，而`POST`请求的参数就没有长度限制，因为`POST`请求的参数必须放到Body中。并且，`POST`请求的参数不一定是URL编码，可以按任意格式编码，只需要在`Content-Type`中正确设置即可。常见的发送JSON的`POST`请求如下：

```
POST /login HTTP/1.1
Content-Type: application/json
Content-Length: 38

{"username":"bob","password":"123456"}
```

HTTP响应也是由Header和Body两部分组成，一个典型的HTTP响应如下：

```
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/html
Content-Length: 133251

<!DOCTYPE html>
<html><body>
<h1>Hello</h1>
...
```

响应的第一行总是`HTTP版本 响应代码 响应说明`，例如，`HTTP/1.1 200 OK`表示版本是`HTTP/1.1`，响应代码是`200`，响应说明是`OK`。客户端只依赖响应代码判断HTTP响应是否成功。HTTP有固定的响应代码：

- 1xx：表示一个提示性响应，例如101表示将切换协议，常见于WebSocket连接；
- 2xx：表示一个成功的响应，例如200表示成功，206表示只发送了部分内容；
- 3xx：表示一个重定向的响应，例如301表示永久重定向，303表示客户端应该按指定路径重新发送请求；
- 4xx：表示一个因为客户端问题导致的错误响应，例如400表示因为Content-Type等各种原因导致的无效请求，404表示指定的路径不存在；
- 5xx：表示一个因为服务器问题导致的错误响应，例如500表示服务器内部故障，503表示服务器暂时无法响应。

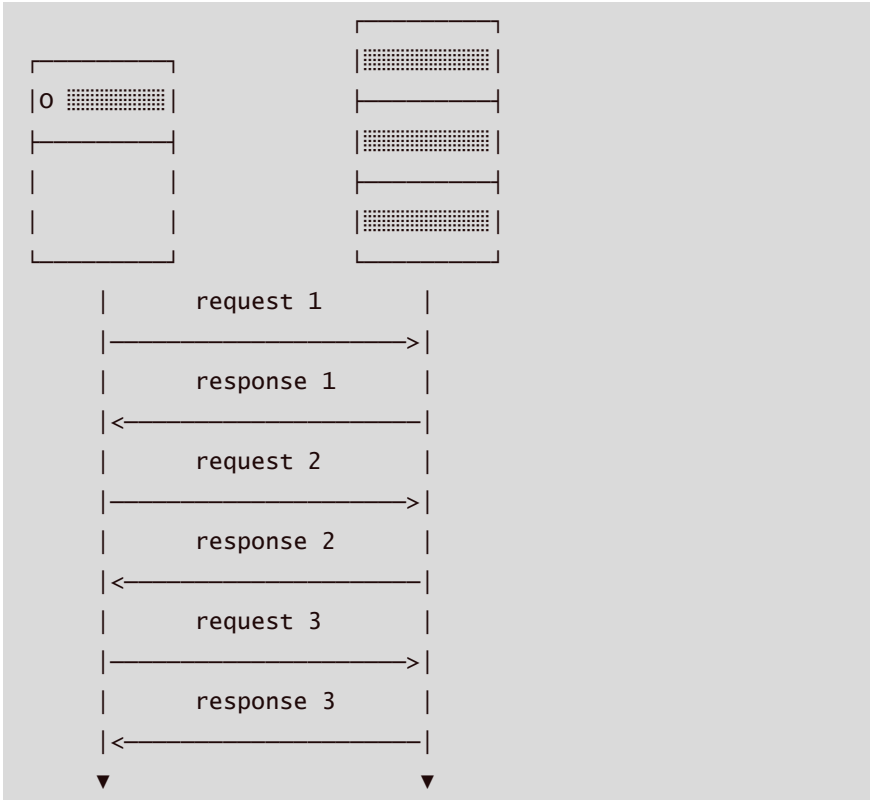
当浏览器收到第一个HTTP响应后，它解析HTML后，又会发送一系列HTTP请求，例如，`GET /logo.jpg HTTP/1.1`请求一个图片，服务器响应图片请求后，会直接把二进制内容的图片发送给浏览器：

```
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: image/jpeg
Content-Length: 18391

????JFIFHH??XExifMM?i&??X?...(二进制的JPEG图片)
```

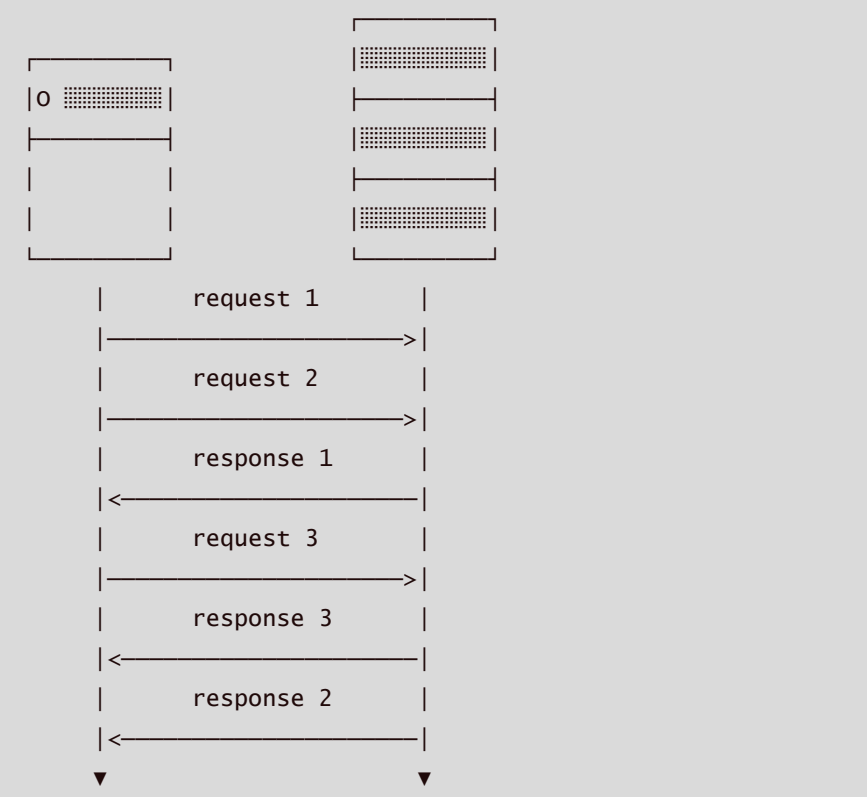
因此，服务器总是被动地接收客户端的一个HTTP请求，然后响应它。客户端则根据需要发送若干个HTTP请求。

对于最早期的HTTP/1.0协议，每次发送一个HTTP请求，客户端都需要先创建一个新的TCP连接，然后，收到服务器响应后，关闭这个TCP连接。由于建立TCP连接就比较耗时，因此，为了提高效率，HTTP/1.1协议允许在一个TCP连接中反复发送-响应，这样就能大大提高效率：



因为HTTP协议是一个请求-响应协议，客户端在发送了一个HTTP请求后，必须等待服务器响应后，才能发送下一个请求，这样一来，如果某个响应太慢，它就会堵住后面的请求。

所以，为了进一步提速，HTTP/2.0允许客户端在没有收到响应的时候，发送多个HTTP请求，服务器返回响应的时候，不一定按顺序返回，只要双方能识别出哪个响应对应哪个请求，就可以做到并行发送和接收：



可见，HTTP/2.0进一步提高了效率。

HTTP编程

既然HTTP涉及到客户端和服务器端，和TCP类似，我们也需要针对客户端编程和针对服务器端编程。

本节我们不讨论服务器端的HTTP编程，因为服务器端的HTTP编程本质上就是编写Web服务器，这是一个非常复杂的体系，也是JavaEE开发的核心内容，我们在后面的章节再仔细研究。

本节我们只讨论作为客户端的HTTP编程。

因为浏览器也是一种HTTP客户端，所以，客户端的HTTP编程，它的行为本质上和浏览器是一样的，即发送一个HTTP请求，接收服务器响应后，获得响应内容。只不过浏览器进一步把响应内容解析后渲染并展示给了用户，而我们使用Java进行HTTP客户端编程仅限于获得响应内容。

我们来看一下Java如果使用HTTP客户端编程。

Java标准库提供了基于HTTP的包，但是要注意，早期的JDK版本是通过`HttpURLConnection`访问HTTP，典型代码如下：

```
URL url = new URL("http://www.example.com/path/to/target?
a=1&b=2");
HttpURLConnection conn = (HttpURLConnection)
url.openConnection();
conn.setRequestMethod("GET");
conn.setUseCaches(false);
conn.setConnectTimeout(5000); // 请求超时5秒
// 设置HTTP头:
conn.setRequestProperty("Accept", "*/*");
conn.setRequestProperty("User-Agent", "Mozilla/5.0
(compatible; MSIE 11; Windows NT 5.1)");
// 连接并发送HTTP请求:
conn.connect();
// 判断HTTP响应是否200:
if (conn.getResponseCode() != 200) {
    throw new RuntimeException("bad response");
}
// 获取所有响应Header:
Map<String, List<String>> map = conn.getHeaderFields();
for (String key : map.keySet()) {
    System.out.println(key + ": " + map.get(key));
}
// 获取响应内容:
InputStream input = conn.getInputStream();
// ...
```

上述代码编写比较繁琐，并且需要手动处理`InputStream`，所以用起来很麻烦。

从Java 11开始，引入了新的`HttpClient`，它使用链式调用的API，能大大简化HTTP的处理。

我们来看一下如何使用新版的`HttpClient`。首先需要创建一个全局`HttpClient`实例，因为`HttpClient`内部使用线程池优化多个HTTP连接，可以复用：

```
static HttpClient httpClient =
HttpClient.newBuilder().build();
```

使用`GET`请求获取文本内容代码如下：

```
import java.net.URI;
import java.net.http.*;
import java.net.http.HttpClient.Version;
import java.time.Duration;
import java.util.*;
public class Main {
    // 全局HttpClient:
    static HttpClient httpClient =
HttpClient.newBuilder().build();
```

```
    public static void main(String[] args) throws
Exception {
        String url = "https://www.sina.com.cn/";
        HttpRequest request = HttpRequest.newBuilder(new
URI(url))
            // 设置Header:
            .header("User-Agent", "Java
HttpClient").header("Accept", "*/*")
            // 设置超时:
            .timeout(Duration.ofSeconds(5))
            // 设置版本:
            .version(Version.HTTP_2).build();
        HttpResponse<String> response =
httpClient.send(request,
HttpResponse.BodyHandlers.ofString());
        // HTTP允许重复的Header，因此一个Header可对应多个Value:
        Map<String, List<String>> headers =
response.headers().map();
        for (String header : headers.keySet()) {
            System.out.println(header + ": " +
headers.get(header).get(0));
        }
        System.out.println(response.body().substring(0,
1024) + "...");
    }
}
```

如果我们要获取图片这样的二进制内容，只需要把`HttpResponse.BodyHandlers.ofString()`换成`HttpResponse.BodyHandlers.ofByteArray()`，就可以获得一个`HttpResponse`对象。如果响应的内容很大，不希望一次性全部加载到内存，可以使用`HttpResponse.BodyHandlers.ofInputStream()`获取一个`InputStream`流。

要使用`POST`请求，我们要准备好发送的Body数据并正确设置`Content-Type`：

```
String url = "http://www.example.com/login";
String body = "username=bob&password=123456";
HttpRequest request = HttpRequest.newBuilder(new URI(url))
    // 设置Header:
    .header("Accept", "*/*")
    .header("Content-Type", "application/x-www-form-
urlencoded")
    // 设置超时:
    .timeout(Duration.ofSeconds(5))
    // 设置版本:
    .version(Version.HTTP_2)
    // 使用POST并设置Body:
    .POST(BodyPublishers.ofString(body,
StandardCharsets.UTF_8)).build();
```

```
HttpResponse<String> response = httpClient.send(request,
HttpResponse.BodyHandlers.ofString());
String s = response.body();
```

可见发送`POST`数据也十分简单。

练习

下载练习：使用HttpClient （推荐使用IDE练习插件快速下载）

小结

- Java提供了`HttpClient`作为新的HTTP客户端编程接口用于取代老的`HttpURLConnection`接口；
- `HttpClient`使用链式调用并通过内置的`BodyPublishers`和`BodyHandlers`来更方便地处理数据。

RMI远程调用

Java的RMI远程调用是指，一个JVM中的代码可以通过网络实现远程调用另一个JVM的某个方法。RMI是Remote Method Invocation的缩写。

提供服务的一方我们称之为服务器，而实现远程调用的一方我们称之为客户端。

我们先来实现一个最简单的RMI：服务器会提供一个`WorldClock`服务，允许客户端获取指定时区的时间，即允许客户端调用下面的方法：

```
LocalDateTime getLocalDateTime(String zoneId);
```

要实现RMI，服务器和客户端必须共享同一个接口。我们定义一个`WorldClock`接口，代码如下：

```
public interface WorldClock extends Remote {
    LocalDateTime getLocalDateTime(String zoneId) throws
RemoteException;
}
```

Java的RMI规定此接口必须派生自`java.rmi.Remote`，并在每个方法声明抛出`RemoteException`。

下一步是编写服务器的实现类，因为客户端请求的调用方法`getLocalDateTime()`最终会通过这个实现类返回结果。实现类`WorldClockService`代码如下：

```
public class WorldClockService implements WorldClock {
    @Override
    public LocalDateTime getLocalDateTime(String zoneId)
throws RemoteException {
        return
LocalDateTime.now(ZoneId.of(zoneId)).withNano(0);
    }
}
```

现在，服务器端的服务相关代码就编写完毕。我们需要通过Java RMI提供的一系列底层支持接口，把上面编写的服务以RMI的形式暴露在网络上，客户端才能调用：

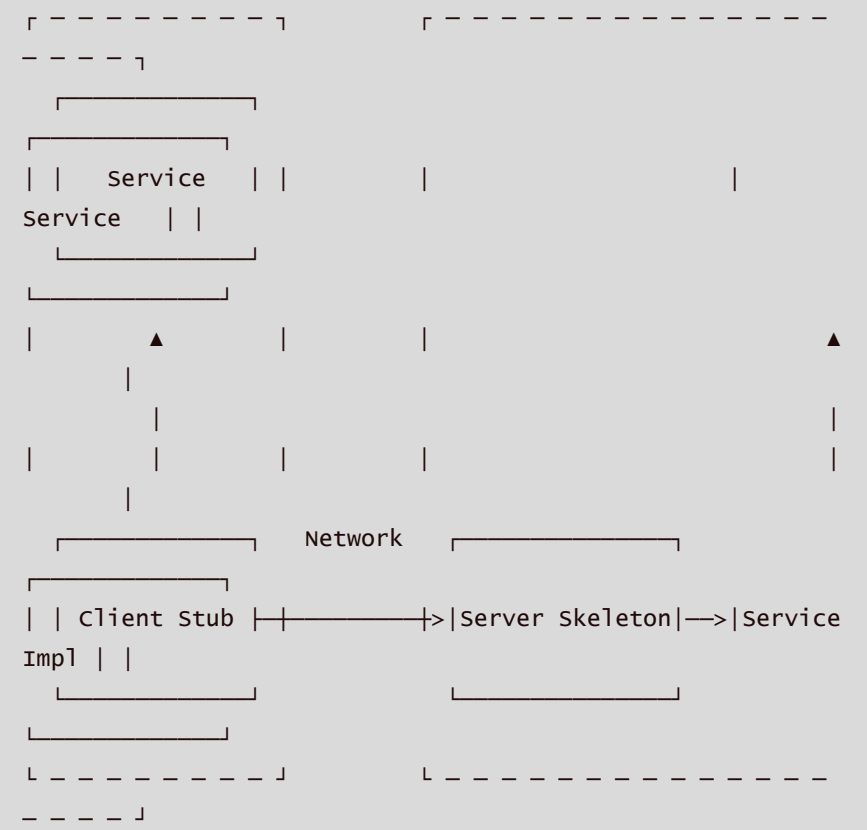
```
public class Server {
    public static void main(String[] args) throws
RemoteException {
        System.out.println("create World clock remote
service...");
        // 实例化一个WorldClock:
        WorldClock worldClock = new WorldClockService();
        // 将此服务转换为远程服务接口:
        WorldClock skeleton = (WorldClock)
UnicastRemoteObject.exportObject(worldClock, 0);
        // 将RMI服务注册到1099端口:
        Registry registry =
LocateRegistry.createRegistry(1099);
        // 注册此服务，服务名为"WorldClock":
        registry.rebind("WorldClock", skeleton);
    }
}
```

上述代码主要目的是通过RMI提供的相关类，将我们自己的`WorldClock`实例注册到RMI服务上。RMI的默认端口是`1099`，最后一步注册服务时通过`rebind()`指定服务名称为`"WorldClock"`。

下一步我们就可以编写客户端代码。RMI要求服务器和客户端共享同一个接口，因此我们要把`WorldClock.java`这个接口文件复制到客户端，然后在客户端实现RMI调用：

```
public class Client {
    public static void main(String[] args) throws
RemoteException, NotBoundException {
        // 连接到服务器localhost，端口1099:
        Registry registry =
LocateRegistry.getRegistry("localhost", 1099);
        // 查找名称为"WorldClock"的服务并强制转型为WorldClock接
口:
        WorldClock worldClock = (WorldClock)
registry.lookup("WorldClock");
        // 正常调用接口方法:
        LocalDateTime now =
worldClock.getLocalDateTime("Asia/Shanghai");
        // 打印调用结果:
        System.out.println(now);
    }
}
```

先运行服务器，再运行客户端。从运行结果可知，因为客户端只有接口，并没有实现类，因此，客户端获得的接口方法返回值实际上是通过网络从服务器端获取的。整个过程实际上非常简单，对客户端来说，客户端持有的`WorldClock`接口实际上对应了一个“实现类”，它是由`Registry`内部动态生成的，并负责把方法调用通过网络传递到服务器端。而服务器端接收网络调用的服务并不是我们自己编写的`WorldClockService`，而是`Registry`自动生成的代码。我们把客户端的“实现类”称为`stub`，而服务器端的网络服务类称为`skeleton`，它会真正调用服务器端的`WorldClockService`，获取结果，然后把结果通过网络传递给客户端。整个过程由RMI底层负责实现序列化和反序列化：



Java的RMI严重依赖序列化和反序列化，而这种情况下可能会造成严重的安全漏洞，因为Java的序列化和反序列化不但涉及到数据，还涉及到二进制的字节码，即使使用白名单机制也很难保证100%排除恶意构造的字节码。因此，使用RMI时，双方必须是内网互相信任的机器，不要把1099端口暴露在公网上作为对外服务。

此外，Java的RMI调用机制决定了双方必须是Java程序，其他语言很难调用Java的RMI。如果要使用不同语言进行RPC调用，可以选择更通用的协议，例如gRPC。

练习

下载练习：使用RMI远程调用 （推荐使用IDE练习插件快速下载）

小结

- Java提供了RMI实现远程方法调用：
- RMI通过自动生成stub和skeleton实现网络调用，客户端只需要查找服务并获得接口实例，服务器端只需要编写实现类并注册为服务；
- RMI的序列化和反序列化可能会造成安全漏洞，因此调用双方必须是内网互相信任的机器，不要把1099端口暴露在公网上作为对外服务。