

网络编程

自从互联网诞生以来，现在基本上所有的程序都是网络程序，很少有单机版的程序了。

计算机网络就是把各个计算机连接到一起，让网络中的计算机可以互相通信。网络编程就是如何在程序中实现两台计算机的通信。

举个例子，当你使用浏览器访问新浪网时，你的计算机就和新浪的某台服务器通过互联网连接起来了，然后，新浪的服务器把网页内容作为数据通过互联网传输到你的电脑上。

由于你的电脑上可能不止浏览器，还有QQ、Skype、Dropbox、邮件客户端等，不同的程序连接的别的计算机也会不同，所以，更确切地说，网络通信是两台计算机上的两个进程之间的通信。比如，浏览器进程和新浪服务器上的某个Web服务进程在通信，而QQ进程是和腾讯的某个服务器上的某个进程在通信。

原来网络通信就是两个进程之间在通信



网络编程对所有开发语言都是一样的，Python也不例外。用Python进行网络编程，就是在Python程序本身这个进程内，连接别的服务器进程的通信端口进行通信。

本章我们将详细介绍Python网络编程的概念和最主要的两种网络类型的编程。

TCP/IP简介

虽然大家现在对互联网很熟悉，但是计算机网络的出现比互联网要早很多。

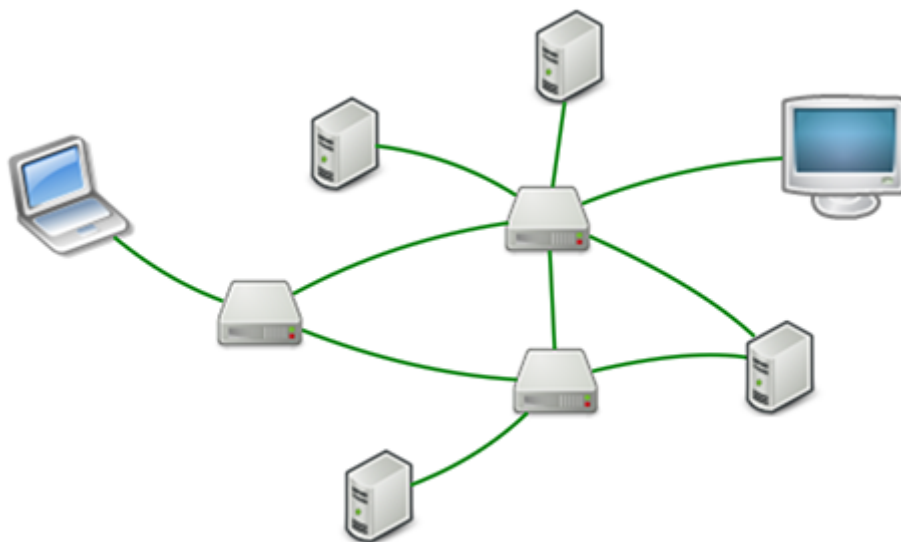
计算机为了联网，就必须规定通信协议，早期的计算机网络，都是由各厂商自己规定一套协议，IBM、Apple和Microsoft都有各自的网络协议，互不兼容，这就好比一群人有的说英语，有的说中文，有的说德语，说同一种语言的人可以交流，不同的语言之间就不行了。

为了把全世界的所有不同类型的计算机都连接起来，就必须规定一套全球通用的协议，为了实现互联网这个目标，互联网协议簇（Internet Protocol Suite）就是通用协议标准。Internet是由inter和net两个单词组合起来的，原意就是连接“网络”的网络，有了Internet，任何私有网络，只要支持这个协议，就可以联入互联网。

因为互联网协议包含了上百种协议标准，但是最重要的两个协议是TCP和IP协议，所以，大家把互联网的协议简称TCP/IP协议。

通信的时候，双方必须知道对方的标识，好比发邮件必须知道对方的邮件地址。互联网上每个计算机的唯一标识就是IP地址，类似 123.123.123.123。如果一台计算机同时接入到两个或更多的网络，比如路由器，它就会有多个或多个IP地址，所以，IP地址对应的实际上是计算机的网络接口，通常是网卡。

IP协议负责把数据从一台计算机通过网络发送到另一台计算机。数据被分割成一小块一小块，然后通过IP包发送出去。由于互联网链路复杂，两台计算机之间经常有多条线路，因此，路由器就负责决定如何把一个IP包转发出去。IP包的特点是按块发送，途径多个路由，但不保证能到达，也不保证顺序到达。



IP地址实际上是一个32位整数（称为IPv4），以字符串表示的IP地址如 `192.168.0.1` 实际上是把32位整数按8位分组后的数字表示，目的是便于阅读。

IPv6地址实际上是一个128位整数，它是目前使用的IPv4的升级版，以字符串表示类似于 `2001:0db8:85a3:0042:1000:8a2e:0370:7334`。

TCP协议则是建立在IP协议之上的。TCP协议负责在两台计算机之间建立可靠连接，保证数据包按顺序到达。TCP协议会通过握手建立连接，然后，对每个IP包编号，确保对方按顺序收到，如果包丢掉了，就自动重发。

许多常用的更高级的协议都是建立在TCP协议基础上的，比如用于浏览器的HTTP协议、发送邮件的SMTP协议等。

一个TCP报文除了包含要传输的数据外，还包含源IP地址和目标IP地址，源端口和目标端口。

端口有什么作用？在两台计算机通信时，只发IP地址是不够的，因为同一台计算机上跑着多个网络程序。一个TCP报文来了之后，到底是交给浏览器还是QQ，就需要端口号来区分。每个网络程序都向操作系统申请唯一的端口号，这样，两个进程在两台计算机之间建立网络连接就需要各自的IP地址和各自的端口号。

一个进程也可能同时与多个计算机建立链接，因此它会申请很多端口。

了解了TCP/IP协议的基本概念，IP地址和端口的概念，我们就可以开始进行网络编程了。

TCP编程

Socket是网络编程的一个抽象概念。通常我们用一个Socket表示“打开了一个网络连接”，而打开一个Socket需要知道目标计算机的IP地址和端口号，再指定协议类型即可。

客户端

大多数连接都是可靠的TCP连接。创建TCP连接时，主动发起连接的叫客户端，被动响应连接的叫服务器。

举个例子，当我们在浏览器中访问新浪时，我们自己的计算机就是客户端，浏览器会主动向新浪的服务器发起连接。如果一切顺利，新浪的服务器接受了我们的连接，一个TCP连接就建立起来的，后面的通信就是发送网页内容了。

所以，我们要创建一个基于TCP连接的Socket，可以这样做：

```
# 导入socket库：
import socket

# 创建一个socket：
s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
# 建立连接：
s.connect(('www.sina.com.cn', 80))
```

创建 Socket 时，`AF_INET` 指定使用IPv4协议，如果要用更先进的IPv6，就指定为 `AF_INET6`。
`SOCK_STREAM` 指定使用面向流的TCP协议，这样，一个 `Socket` 对象就创建成功，但是还没有建立连接。

客户端要主动发起TCP连接，必须知道服务器的IP地址和端口号。新浪网站的IP地址可以用域名 `www.sina.com.cn` 自动转换到IP地址，但是怎么知道新浪服务器的端口号呢？

答案是作为服务器，提供什么样的服务，端口号就必须固定下来。由于我们想要访问网页，因此新浪提供网页服务的服务器必须把端口号固定在 80 端口，因为 80 端口是Web服务的标准端口。其他服务都有对应的标准端口号，例如SMTP服务是 25 端口，FTP服务是 21 端口，等等。端口号小于1024的是 Internet标准服务的端口，端口号大于1024的，可以任意使用。

因此，我们连接新浪服务器的代码如下：

```
s.connect(('www.sina.com.cn', 80))
```

注意参数是一个 `tuple`，包含地址和端口号。

建立TCP连接后，我们就可以向新浪服务器发送请求，要求返回首页的内容：

```
# 发送数据：
s.send(b'GET / HTTP/1.1\r\nHost: www.sina.com.cn\r\nConnection: close\r\n\r\n')
```

TCP连接创建的是双向通道，双方都可以同时给对方发数据。但是谁先发谁后发，怎么协调，要根据具体的协议来决定。例如，HTTP协议规定客户端必须先发请求给服务器，服务器收到后才发数据给客户端。

发送的文本格式必须符合HTTP标准，如果格式没问题，接下来就可以接收新浪服务器返回的数据了：

```
# 接收数据：
buffer = []
while True:
    # 每次最多接收1k字节：
    d = s.recv(1024)
    if d:
        buffer.append(d)
    else:
        break
data = b''.join(buffer)
```

接收数据时，调用 `recv(max)` 方法，一次最多接收指定的字节数，因此，在一个while循环中反复接收，直到 `recv()` 返回空数据，表示接收完毕，退出循环。

当我们接收完数据后，调用 `close()` 方法关闭Socket，这样，一次完整的网络通信就结束了：

```
# 关闭连接：
s.close()
```

接收到的数据包括HTTP头和网页本身，我们只需要把HTTP头和网页分离一下，把HTTP头打印出来，网页内容保存到文件：

```
header, html = data.split(b'\r\n\r\n', 1)
print(header.decode('utf-8'))
# 把接收的数据写入文件：
with open('sina.html', 'wb') as f:
    f.write(html)
```

现在，只需要在浏览器中打开这个 `sina.html` 文件，就可以看到新浪的首页了。

服务器

和客户端编程相比，服务器编程就要复杂一些。

服务器进程首先要绑定一个端口并监听来自其他客户端的连接。如果某个客户端连接过来了，服务器就与该客户端建立Socket连接，随后的通信就靠这个Socket连接了。

所以，服务器会打开固定端口（比如80）监听，每来一个客户端连接，就创建该Socket连接。由于服务器会有大量来自客户端的连接，所以，服务器要能够区分一个Socket连接是和哪个客户端绑定的。一个Socket依赖4项：服务器地址、服务器端口、客户端地址、客户端端口来唯一确定一个Socket。

但是服务器还需要同时响应多个客户端的请求，所以，每个连接都需要一个新的进程或者新的线程来处理，否则，服务器一次就只能服务一个客户端了。

我们来编写一个简单的服务器程序，它接收客户端连接，把客户端发过来的字符串加上 `Hello` 再发回去。

首先，创建一个基于IPv4和TCP协议的Socket：

```
s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
```

然后，我们要绑定监听的地址和端口。服务器可能有多块网卡，可以绑定到某一块网卡的IP地址上，也可以用 `0.0.0.0` 绑定到所有的网络地址，还可以用 `127.0.0.1` 绑定到本机地址。`127.0.0.1` 是一个特殊的IP地址，表示本机地址，如果绑定到这个地址，客户端必须同时在本机运行才能连接，也就是说，外部的计算机无法连接进来。

端口号需要预先指定。因为我们写的这个服务不是标准服务，所以用 `9999` 这个端口号。请注意，小于 `1024` 的端口号必须要有管理员权限才能绑定：

```
# 监听端口：
s.bind(('127.0.0.1', 9999))
```

紧接着，调用 `listen()` 方法开始监听端口，传入的参数指定等待连接的最大数量：

```
s.listen(5)
print('waiting for connection...')
```

接下来，服务器程序通过一个永久循环来接受来自客户端的连接，`accept()` 会等待并返回一个客户端的连接：

```

while True:
    # 接受一个新连接:
    sock, addr = s.accept()
    # 创建新线程来处理TCP连接:
    t = threading.Thread(target=tcplink, args=(sock, addr))
    t.start()

```

每个连接都必须创建新线程（或进程）来处理，否则，单线程在处理连接的过程中，无法接受其他客户端的连接：

```

def tcplink(sock, addr):
    print('Accept new connection from %s:%s...' % addr)
    sock.send(b'welcome!')
    while True:
        data = sock.recv(1024)
        time.sleep(1)
        if not data or data.decode('utf-8') == 'exit':
            break
        sock.send(('Hello, %s!' % data.decode('utf-8')).encode('utf-8'))
    sock.close()
    print('Connection from %s:%s closed.' % addr)

```

连接建立后，服务器首先发一条欢迎消息，然后等待客户端数据，并加上Hello再发送给客户端。如果客户端发送了exit字符串，就直接关闭连接。

要测试这个服务器程序，我们还需要编写一个客户端程序：

```

s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
# 建立连接:
s.connect(('127.0.0.1', 9999))
# 接收欢迎消息:
print(s.recv(1024).decode('utf-8'))
for data in [b'Michael', b'Tracy', b'Sarah']:
    # 发送数据:
    s.send(data)
    print(s.recv(1024).decode('utf-8'))
s.send(b'exit')
s.close()

```

我们需要打开两个命令行窗口，一个运行服务器程序，另一个运行客户端程序，就可以看到效果了：

```

Command Prompt
$ python echo_server.py
Waiting for connection...
Accept new connection from 127.0.0.1:64398...
Connection from 127.0.0.1:64398 closed.

Command Prompt
$ python echo_client.py
welcome!
Hello, Michael!

```

```
|Hello, Tracy!|
|Hello, Sarah!|
|$|
||
||
```

需要注意的是，客户端程序运行完毕就退出了，而服务器程序会永远运行下去，必须按Ctrl+C退出程序。

小结

- 用TCP协议进行Socket编程在Python中十分简单，对于客户端，要主动连接服务器的IP和指定端口，对于服务器，要首先监听指定端口，然后，对每一个新的连接，创建一个线程或进程来处理。通常，服务器程序会无限运行下去。
- 同一个端口，被一个Socket绑定了以后，就不能被别的Socket绑定了。

UDP编程

TCP是建立可靠连接，并且通信双方都可以以流的形式发送数据。相对TCP，UDP则是面向无连接的协议。

使用UDP协议时，不需要建立连接，只需要知道对方的IP地址和端口号，就可以直接发数据包。但是，能不能到达就不知道了。

虽然用UDP传输数据不可靠，但它的优点是和TCP比，速度快，对于不要求可靠到达的数据，就可以使用UDP协议。

我们来看看如何通过UDP协议传输数据。和TCP类似，使用UDP的通信双方也分为客户端和服务端。服务器首先需要绑定端口：

```
s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
# 绑定端口：
s.bind(('127.0.0.1', 9999))
```

创建Socket时，`SOCK_DGRAM` 指定了这个Socket的类型是UDP。绑定端口和TCP一样，但是不需要调用 `listen()` 方法，而是直接接收来自任何客户端的数据：

```
print('Bind UDP on 9999...')
while True:
    # 接收数据：
    data, addr = s.recvfrom(1024)
    print('Received from %s:%s.' % addr)
    s.sendto(b'Hello, %s!' % data, addr)
```

`recvfrom()` 方法返回数据和客户端的地址与端口，这样，服务器收到数据后，直接调用 `sendto()` 就可以把数据用UDP发给客户端。

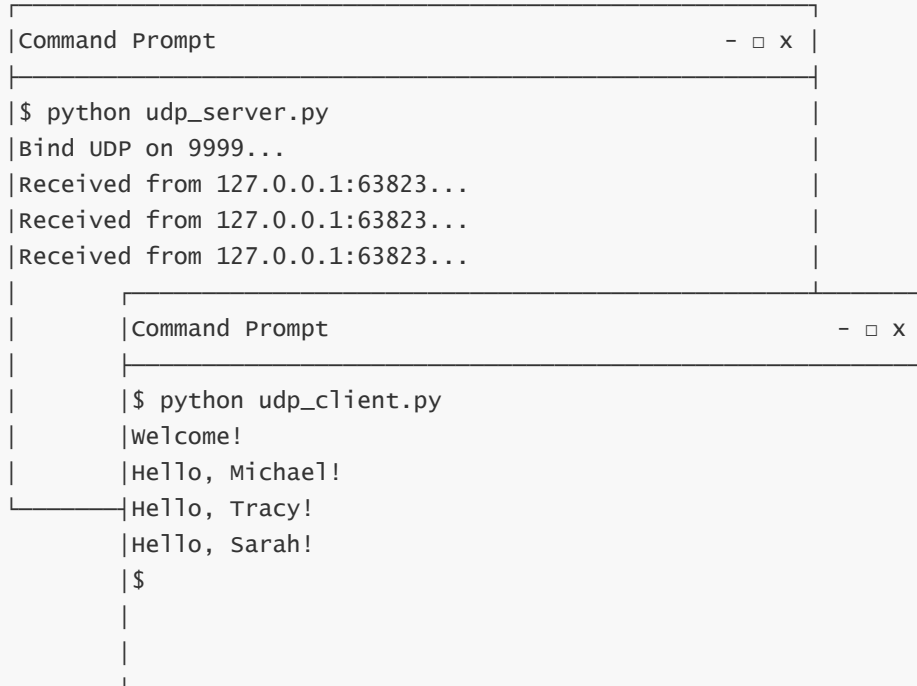
注意这里省掉了多线程，因为这个例子很简单。

客户端使用UDP时，首先仍然创建基于UDP的Socket，然后，不需要调用 `connect()`，直接通过 `sendto()` 给服务器发数据：

```
s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
for data in [b'Michael', b'Tracy', b'Sarah']:
    # 发送数据:
    s.sendto(data, ('127.0.0.1', 9999))
    # 接收数据:
    print(s.recv(1024).decode('utf-8'))
s.close()
```

从服务器接收数据仍然调用 `recv()` 方法。

仍然用两个命令行分别启动服务器和客户端测试，结果如下：



The image shows two overlapping Command Prompt windows. The background window is titled 'Command Prompt' and shows the execution of a Python script `udp_server.py`. The output indicates it binds to port 9999 and receives three messages from 127.0.0.1: 'Welcome!', 'Hello, Michael!', and 'Hello, Tracy!'. The foreground window is also titled 'Command Prompt' and shows the execution of `udp_client.py`. Its output shows it sends 'Welcome!', 'Hello, Michael!', and 'Hello, Tracy!' to the server, and then prompts for a new command with a '\$' symbol.

```
Command Prompt
$ python udp_server.py
Bind UDP on 9999...
Received from 127.0.0.1:63823...
Received from 127.0.0.1:63823...
Received from 127.0.0.1:63823...

Command Prompt
$ python udp_client.py
Welcome!
Hello, Michael!
Hello, Tracy!
Hello, Sarah!
$
```

小结

- UDP的使用与TCP类似，但是不需要建立连接。此外，服务器绑定UDP端口和TCP端口互不冲突，也就是说，UDP的9999端口与TCP的9999端口可以各自绑定。