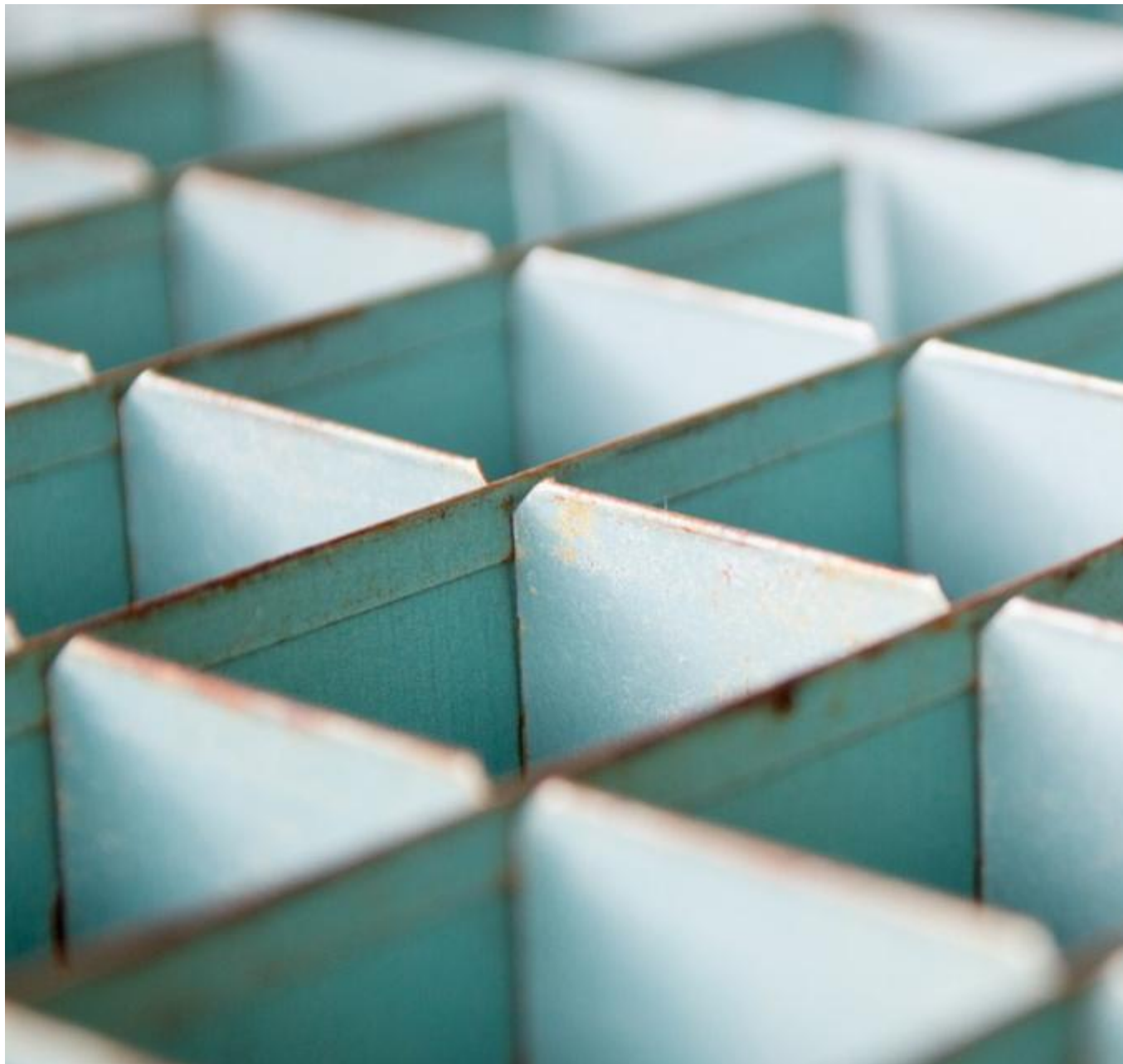


讲堂 趣谈网络协议 文章详情

第 13 讲 | 套接字 Socket: Talk is cheap, show me the code

2018-06-15 刘超



第 13 讲 | 套接字 Socket: Talk is cheap, show me the code

朗读人: 刘超 19'42'' | 7.95M

前面讲完了 TCP 和 UDP 协议，还没有上手过，这一节咱们讲讲基于 TCP 和 UDP 协议的 Socket 编程。

在讲 **TCP** 和 **UDP** 协议的时候，我们分客户端和服务端，在写程序的时候，我们也同样这样分。

Socket 这个名字很有意思，可以作插口或者插槽讲。虽然我们是写软件程序，但是你可以想象为弄一根网线，一头插在客户端，一头插在服务端，然后进行通信。所以在通信之前，双方都要建立一个 **Socket**。

在建立 **Socket** 的时候，应该设置什么参数呢？**Socket** 编程进行的是端到端的通信，往往意识不到中间经过多少局域网，多少路由器，因而能够设置的参数，也只能是端到端协议之上网络层和传输层的。

在网络层，**Socket** 函数需要指定到底是 **IPv4** 还是 **IPv6**，分别对应设置为 **AF_INET** 和 **AF_INET6**。另外，还要指定到底是 **TCP** 还是 **UDP**。还记得咱们前面讲过的，**TCP** 协议是基于数据流的，所以设置为 **SOCK_STREAM**，而 **UDP** 是基于数据报的，因而设置为 **SOCK_DGRAM**。

基于 **TCP** 协议的 **Socket** 程序函数调用过程

两端创建了 **Socket** 之后，接下来的过程中，**TCP** 和 **UDP** 稍有不同，我们先来看 **TCP**。

TCP 的服务端要先监听一个端口，一般是先调用 **bind** 函数，给这个 **Socket** 赋予一个 **IP** 地址和端口。为什么需要端口呢？要知道，你写的是一个应用程序，当一个网络包来的时候，内核要通过 **TCP** 头里面的这个端口，来找到你这个应用程序，把包给你。为什么要 **IP** 地址呢？有时候，一台机器会有多个网卡，也就会有多个 **IP** 地址，你可以选择监听所有的网卡，也可以选择监听一个网卡，这样，只有发给这个网卡的包，才会给你。

当服务端有了 **IP** 和端口号，就可以调用 **listen** 函数进行监听。在 **TCP** 的状态图里面，有一个 **listen** 状态，当调用这个函数之后，服务端就进入了这个状态，这个时候客户端就可以发起连接了。

在内核中，为每个 **Socket** 维护两个队列。一个是已经建立了连接的队列，这时候连接三次握手已经完毕，处于 **established** 状态；一个是还没有完全建立连接的队列，这个时候三次握手还没完成，处于 **syn_rcvd** 的状态。

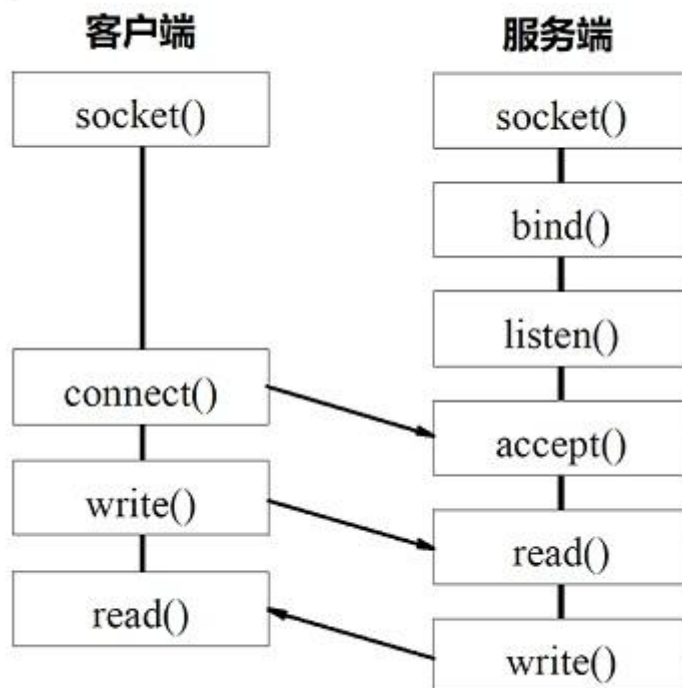
接下来，服务端调用 **accept** 函数，拿出一个已经完成的连接进行处理。如果还没有完成，就要等着。

在服务端等待的时候，客户端可以通过 **connect** 函数发起连接。先在参数中指明要连接的 **IP** 地址和端口号，然后开始发起三次握手。内核会给客户端分配一个临时的端口。一旦握手成功，服务端的 **accept** 就会返回另一个 **Socket**。

这是一个经常考的知识点，就是监听的 **Socket** 和真正用来传数据的 **Socket** 是两个，一个叫作**监听 Socket**，一个叫作**已连接 Socket**。

连接建立成功之后，双方开始通过 `read` 和 `write` 函数来读写数据，就像往一个文件流里面写东西一样。

这个图就是基于 **TCP** 协议的 **Socket** 程序函数调用过程。



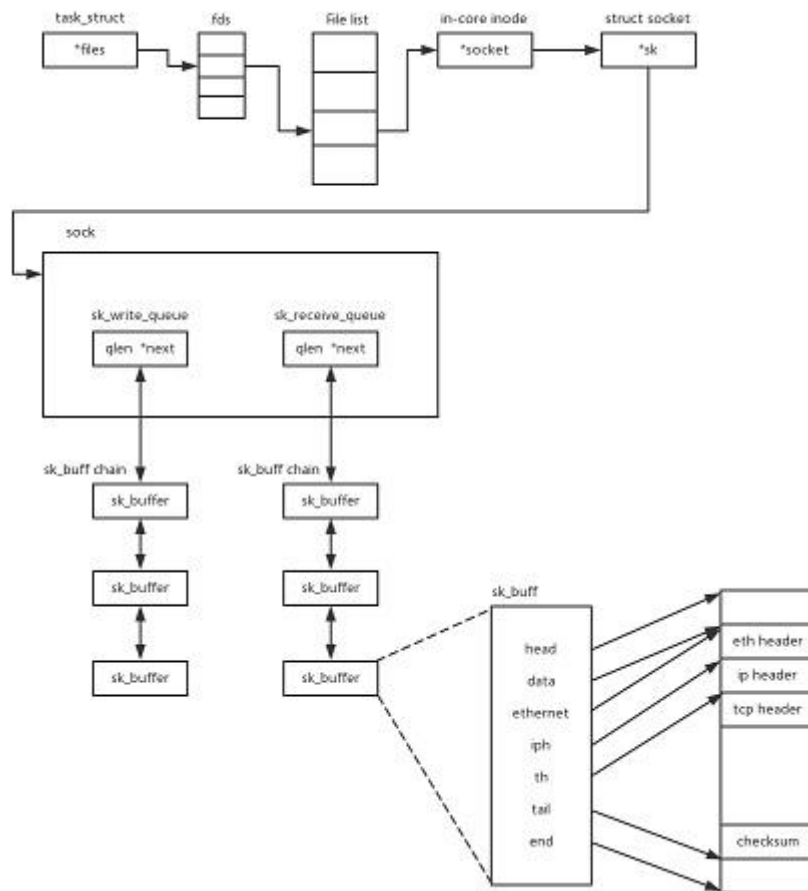
说 **TCP** 的 **Socket** 就是一个文件流，是非常准确的。因为，**Socket** 在 **Linux** 中就是以文件的形式存在的。除此之外，还存在文件描述符。写入和读出，也是通过文件描述符。

在内核中，**Socket** 是一个文件，那对应就有文件描述符。每一个进程都有一个数据结构 `task_struct`，里面指向一个文件描述符数组，来列出这个进程打开的所有文件的文件描述符。文件描述符是一个整数，是这个数组的下标。

这个数组中的内容是一个指针，指向内核中所有打开的文件的列表。既然是一个文件，就会有一个 `inode`，只不过 **Socket** 对应的 `inode` 不像真正的文件系统一样，保存在硬盘上的，而是在内存中的。在这个 `inode` 中，指向了 **Socket** 在内核中的 **Socket** 结构。

在这个结构里面，主要的是两个队列，一个是**发送队列**，一个是**接收队列**。在这两个队列里面保存的是一个缓存 `sk_buff`。这个缓存里面能够看到完整的包的结构。看到这个，是不是能和前面讲过的收发包的场景联系起来了？

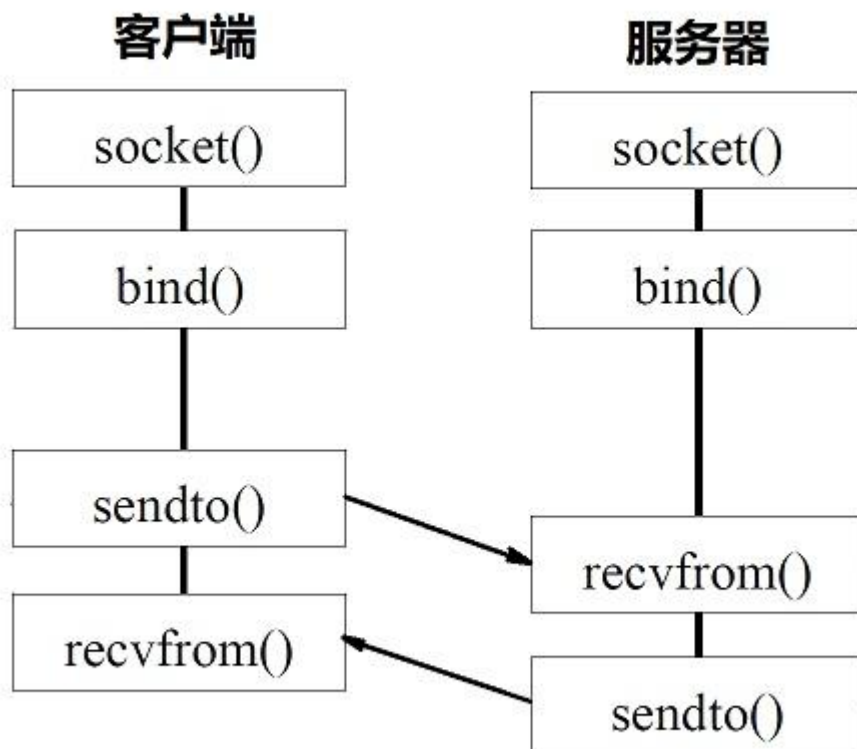
整个数据结构我也画了一张图。



基于 UDP 协议的 Socket 程序函数调用过程

对于 UDP 来讲，过程有些不一样。UDP 是没有连接的，所以不需要三次握手，也就不需要调用 `listen` 和 `connect`，但是，UDP 的交互仍然需要 IP 和端口号，因而也需要 `bind`。UDP 是没有维护连接状态的，因而不需要每对连接建立一组 Socket，而是只要有一个 Socket，就能够和多个客户端通信。也正是因为没有连接状态，每次通信的时候，都调用 `sendto` 和 `recvfrom`，都可以传入 IP 地址和端口。

这个图的内容就是基于 UDP 协议的 Socket 程序函数调用过程。



服务器如何接更多的项目？

会了这几个基本的 **Socket** 函数之后，你就可以轻松地写一个网络交互的程序了。就像上面的过程一样，在建立连接后，进行一个 **while** 循环。客户端发了收，服务端收了发。

当然这只是万里长征的第一步，因为如果使用这种方法，基本上只能一对一沟通。如果你是一个服务器，同时只能服务一个客户，肯定是不行的。这就相当于老板成立一个公司，只有自己一个人，自己亲自上来服务客户，只能干完了一家再干下一家，这样赚不来多少钱。

那作为老板你就要想了，我最多能接多少项目呢？当然是越多越好。

我们先来算一下理论值，也就是**最大连接数**，系统会用一个四元组来标识一个 **TCP** 连接。

{本机 IP，本机端口，对端 IP，对端端口}

复制代码

服务器通常固定在某个本地端口上监听，等待客户端的连接请求。因此，服务端 TCP 连接四元组中只有对端 IP，也就是客户端的 IP 和对端的端口，也即客户端的端口是可变的，因此，最大 TCP 连接数 = 客户端 IP 数 × 客户端端口数。对 IPv4，客户端的 IP 数最多为 2 的 32 次方，客户端的端口数最多为 2 的 16 次方，也就是服务端单机最大 TCP 连接数，约为 2 的 48 次方。

当然，服务端最大并发 TCP 连接数远不能达到理论上限。首先主要是**文件描述符限制**，按照上面的原理，Socket 都是文件，所以首先要通过 `ulimit` 配置文件描述符的数目；另一个限制是**内存**，按上面的数据结构，每个 TCP 连接都要占用一定内存，操作系统是有限的。

所以，作为老板，在资源有限的情况下，要想接更多的项目，就需要降低每个项目消耗的资源数目。

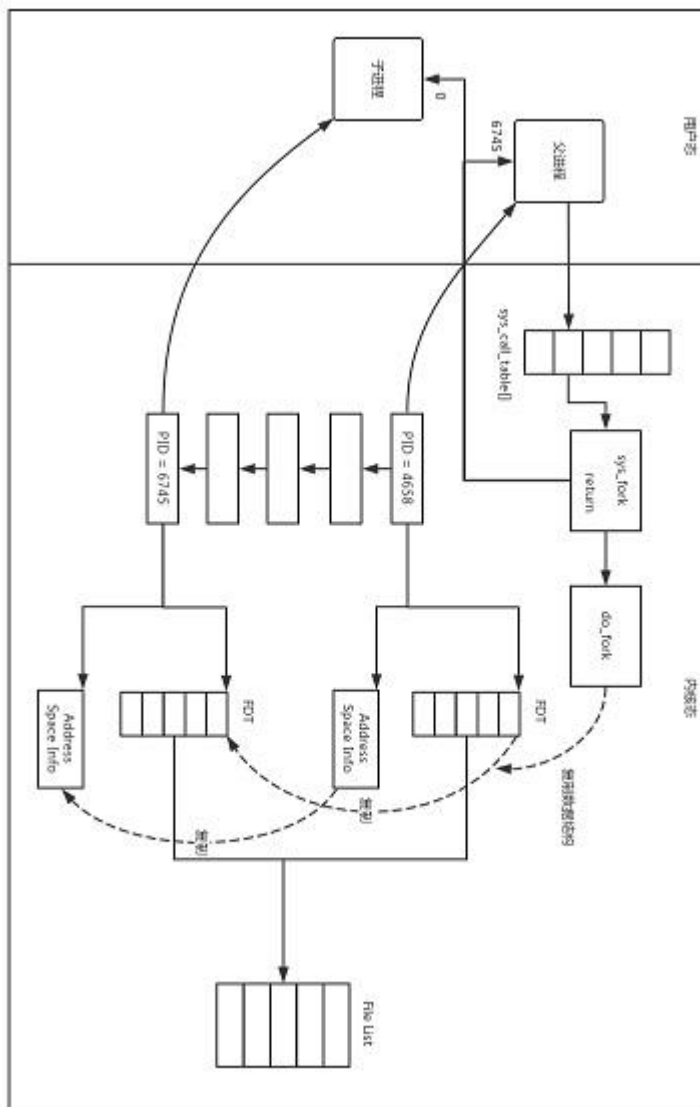
方式一：将项目外包给其他公司（多进程方式）

这就相当于你是一个代理，在那里监听来的请求。一旦建立了一个连接，就会有一个已连接 Socket，这时候你可以创建一个子进程，然后将基于已连接 Socket 的交互交给这个新的子进程来做。就像来了一个新的项目，但是项目不一定是你自己做，可以再注册一家子公司，招点人，然后把项目转包给这家子公司做，以后对接就交给这家子公司了，你又可以去接新的项目了。

这里有一个问题是，如何创建子公司，并如何将项目移交给子公司呢？

在 Linux 下，创建子进程使用 `fork` 函数。通过名字可以看出，这是在父进程的基础上完全拷贝一个子进程。在 Linux 内核中，会复制文件描述符的列表，也会复制内存空间，还会复制一条记录当前执行到了哪一行程序的进程。显然，复制的时候在调用 `fork`，复制完毕之后，父进程和子进程都会记录当前刚刚执行完 `fork`。这两个进程刚复制完的时候，几乎一模一样，只是根据 `fork` 的返回值来区分到底是父进程，还是子进程。如果返回值是 0，则是子进程；如果返回值是其他的整数，就是父进程。

进程复制过程我画在这里。



因为复制了文件描述符列表，而文件描述符都是指向整个内核统一的打开文件列表的，因而父进程刚才因为 **accept** 创建的已连接 **Socket** 也是一个文件描述符，同样也会被子进程获得。

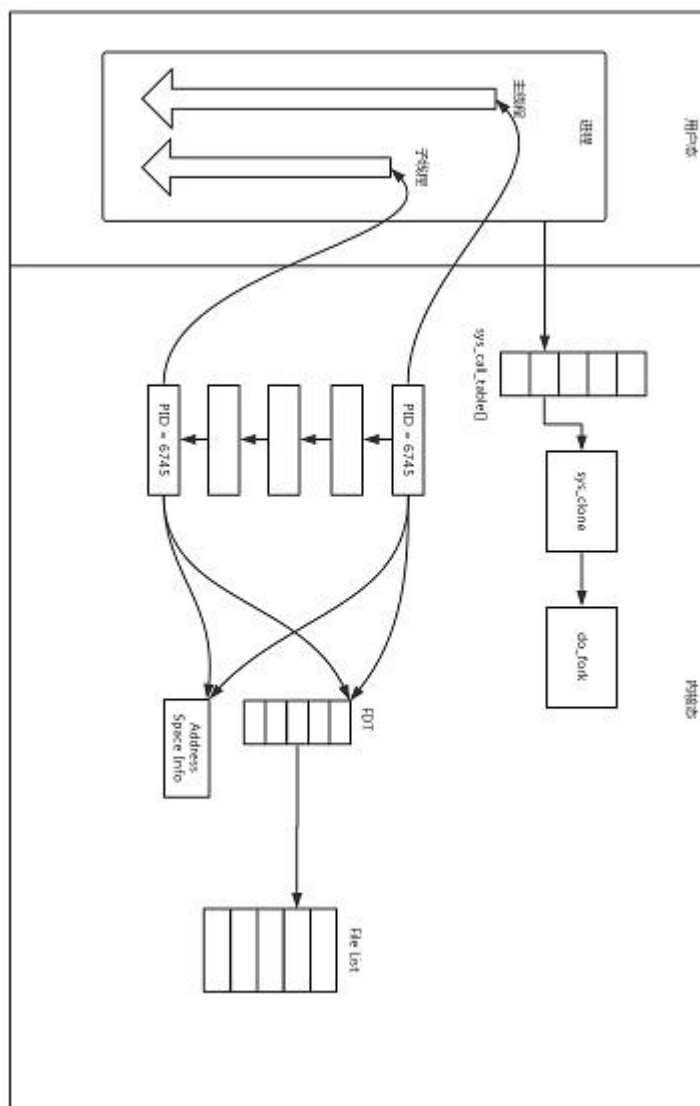
接下来，子进程就可以通过这个已连接 **Socket** 和客户端进行互通了，当通信完毕之后，就可以退出进程，那父进程如何知道子进程干完了项目，要退出呢？还记得 **fork** 返回的时候，如果是整数就是父进程吗？这个整数就是子进程的 **ID**，父进程可以通过这个 **ID** 查看子进程是否完成项目，是否需要退出。

方式二：将项目转包给独立的项目组（多线程方式）

上面这种方式你应该也能发现问题，如果每次接一个项目，都申请一个新公司，然后干完了，就注销掉这个公司，实在是太麻烦了。毕竟一个新公司要有新公司的资产，有新的办公家具，每次都买了再卖，不划算。

于是你应该想到了，我们可以使用**线程**。相比于进程来讲，这样要轻量级的多。如果创建进程相当于成立新公司，购买新办公家具，而创建线程，就相当于在同一个公司成立项目组。一个项目做完了，那这个项目组就可以解散，组成另外的项目组，办公家具可以共用。

在 Linux 下，通过 `pthread_create` 创建一个线程，也是调用 `do_fork`。不同的是，虽然新的线程在 `task` 列表会新创建一项，但是很多资源，例如文件描述符列表、进程空间，还是共享的，只不过多了一个引用而已。



新的线程也可以通过已

连接 **Socket** 处理请求，从而达到并发处理的目的。

上面基于进程或者线程模型的，其实还是有问题的。新到来一个 **TCP** 连接，就需要分配一个进程或者线程。一台机器无法创建很多进程或者线程。有个 **C10K**，它的意思是一台机器要维护 1 万个连接，就要创建 1 万个进程或者线程，那么操作系统是无法承受的。如果维持 1 亿用户在线需要 10 万台服务器，成本也太高了。

其实 C10K 问题就是，你接项目接的太多了，如果每个项目都成立单独的项目组，就要招聘 10 万人，你肯定养不起，那怎么办呢？

方式三：一个项目组支撑多个项目（IO 多路复用，一个线程维护多个 Socket）

当然，一个项目组可以看多个项目了。这个时候，每个项目组都应该有个项目进度墙，将自己组看的项目列在那里，然后每天通过项目墙看每个项目的进度，一旦某个项目有了进展，就派人去盯一下。

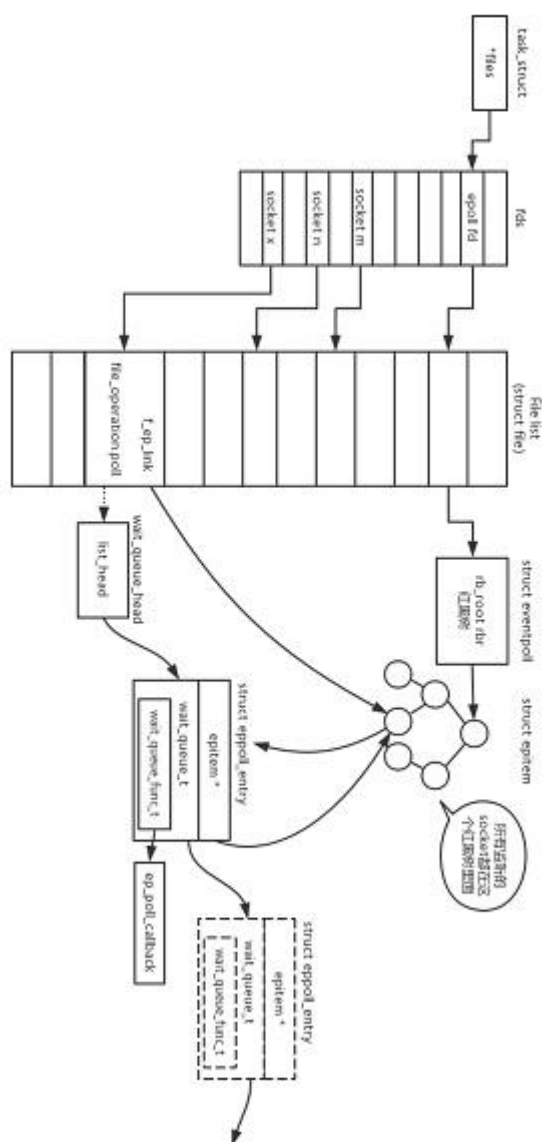
由于 Socket 是文件描述符，因而某个线程盯的所有的 Socket，都放在一个文件描述符集合 `fd_set` 中，这就是**项目进度墙**，然后调用 `select` 函数来监听文件描述符集合是否有变化。一旦有变化，就会依次查看每个文件描述符。那些发生变化的文件描述符在 `fd_set` 对应的位都设为 1，表示 Socket 可读或者可写，从而可以进行读写操作，然后再调用 `select`，接着盯着下一轮的变化。。

方式四：一个项目组支撑多个项目（IO 多路复用，从“派人盯着”到“有事通知”）

上面 `select` 函数还是有问题的，因为每次 Socket 所在的文件描述符集合中有 Socket 发生变化的时候，都需要通过轮询的方式，也就是需要将全部项目都过一遍的方式来查看进度，这大大影响了一个项目组能够支撑的最大的项目数量。因而使用 `select`，能够同时盯的项目数量由 `FD_SETSIZE` 限制。

如果改成事件通知的方式，情况就会好很多，项目组不需要通过轮询挨个盯着这些项目，而是当项目进度发生变化的时候，主动通知项目组，然后项目组再根据项目进展情况做相应的操作。

能完成这件事情的函数叫 `epoll`，它在内核中的实现不是通过轮询的方式，而是通过注册 `callback` 函数的方式，当某个文件描述符发送变化的时候，就会主动通知。



如图所示，假设进程打开了 **Socket m, n, x** 等多个文件描述符，现在需要通过 **epoll** 来监听是否这些 **Socket** 都有事件发生。其中 **epoll_create** 创建一个 **epoll** 对象，也是一个文件，也对应一个文件描述符，同样也对应着打开文件列表中的一项。在这项里面有一个红黑树，在红黑树里，要保存这个 **epoll** 要监听的所有 **Socket**。

当 `epoll_ctl` 添加一个 `Socket` 的时候，其实是加入这个红黑树，同时红黑树里面的节点指向一个结构，将这个结构挂在被监听的 `Socket` 的事件列表中。当一个 `Socket` 来了一个事件的时候，可以从这个列表中得到 `epoll` 对象，并调用 `call back` 通知它。

这种通知方式使得监听的 **Socket** 数据增加的时候，效率不会大幅度降低，能够同时监听的 **Socket** 的数目也非常的多了。上限就为系统定义的、进程打开的最大文件描述符个数。因而，**epoll** 被称为解决 **C10K** 问题的利器。

小结

好了，这一节就到这里了，我们来总结一下：

- 你需要记住 TCP 和 UDP 的 Socket 的编程中，客户端和服务端都需要调用哪些函数；
- 写一个能够支撑大量连接的高并发的服务端不容易，需要多进程、多线程，而 epoll 机制能解决 C10K 问题。

最后，给你留两个思考题：

1. epoll 是 Linux 上的函数，那你知道 Windows 上对应的机制是什么吗？如果想实现一个跨平台的程序，你知道应该怎么办吗？
2. 自己写 Socket 还是挺复杂的，写个 HTTP 的应用可能简单一些。那你知道 HTTP 的工作机制吗？