

Socket

原作者github: <https://github.com/CyC2018/CS-Notes>

PDF制作github: <https://github.com/sjsdfg/CS-Notes-PDF>

一、I/O 模型

一个输入操作通常包括两个阶段：

- 等待数据准备好
- 从内核向进程复制数据

对于一个套接字上的输入操作，第一步通常涉及等待数据从网络中到达。当所等待数据到达时，它被复制到内核中的某个缓冲区。第二步就是把数据从内核缓冲区复制到应用进程缓冲区。

Unix 有五种 I/O 模型：

- 阻塞式 I/O
- 非阻塞式 I/O
- I/O 复用 (select 和 poll)
- 信号驱动式 I/O (SIGIO)
- 异步 I/O (AIO)

阻塞式 I/O

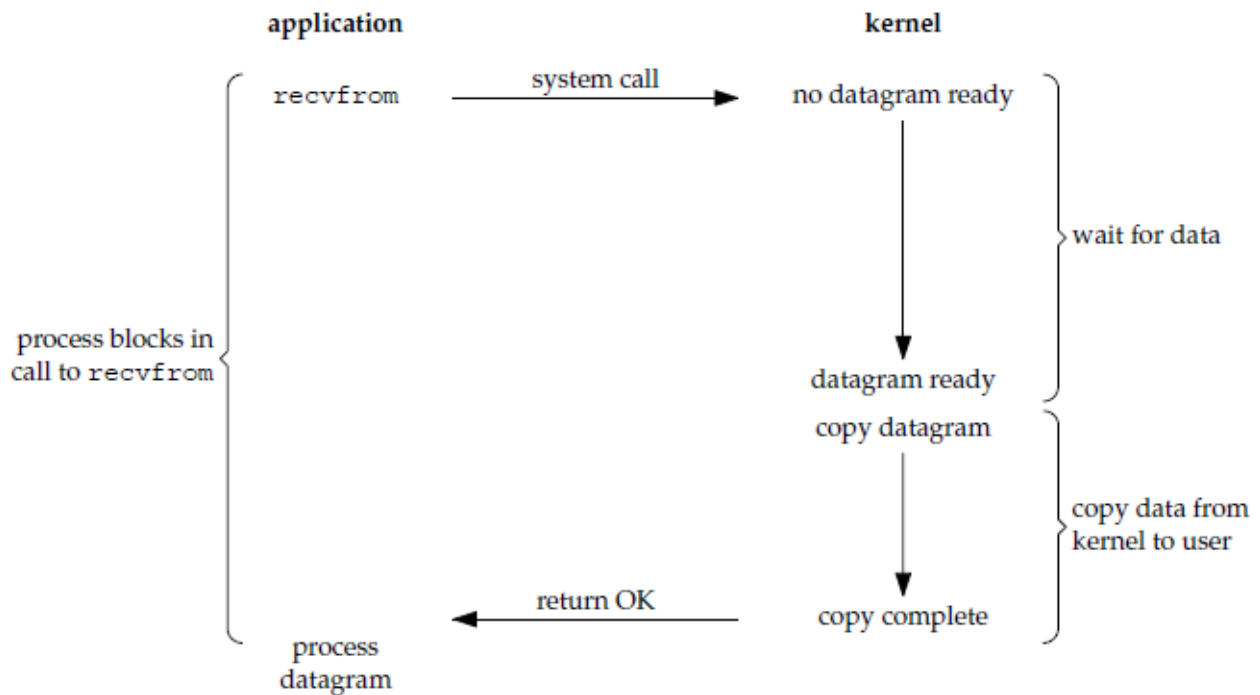
应用进程被阻塞，直到数据复制到应用进程缓冲区中才返回。

应该注意到，在阻塞的过程中，其它程序还可以执行，因此阻塞不意味着整个操作系统都被阻塞。因为其他程序还可以执行，所以不消耗 CPU 时间，这种模型的 CPU 利用率效率会比较高。

下图中，recvfrom 用于接收 Socket 传来的数据，并复制到应用进程的缓冲区 buf 中。这里

把 `recvfrom()` 当成系统调用。

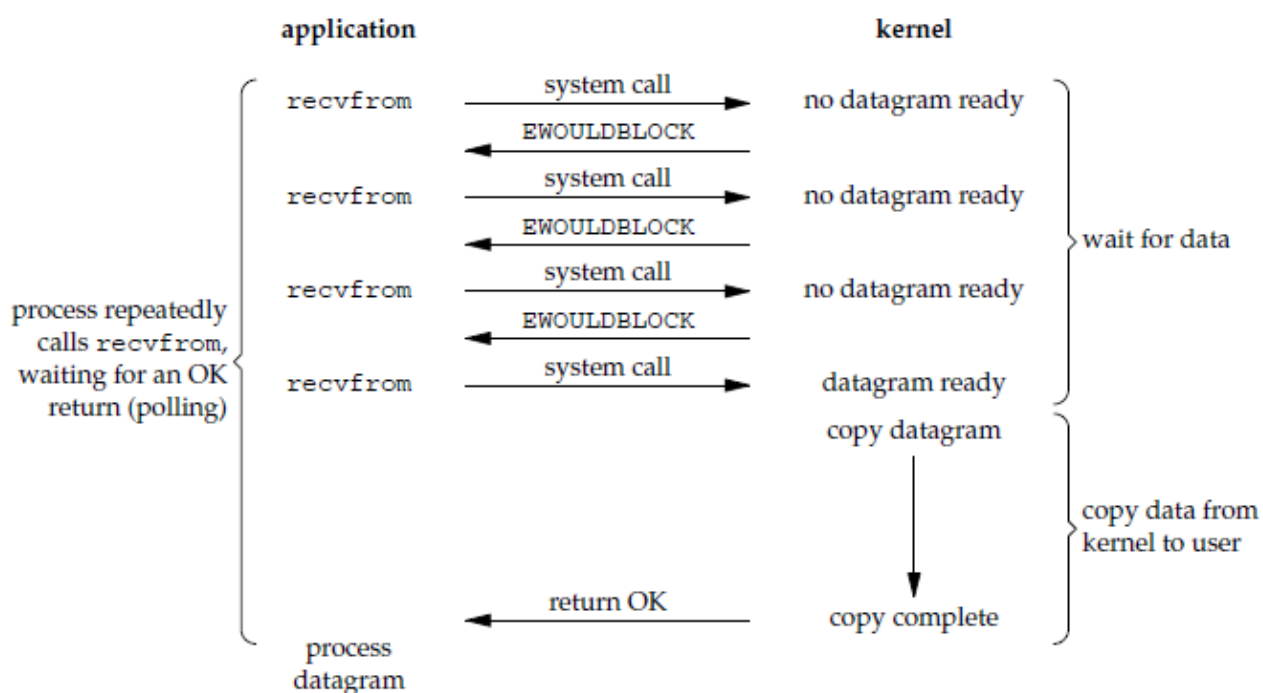
```
1.  ssize_t recvfrom(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags, struct sockaddr *src_addr, socklen_t *addrlen);
```



非阻塞式 I/O

应用进程执行系统调用之后，内核返回一个错误码。应用进程可以继续执行，但是需要不断的执行系统调用来获知 I/O 是否完成，这种方式称为轮询（polling）。

由于 CPU 要处理更多的系统调用，因此这种模型的 CPU 利用率是比较低的。

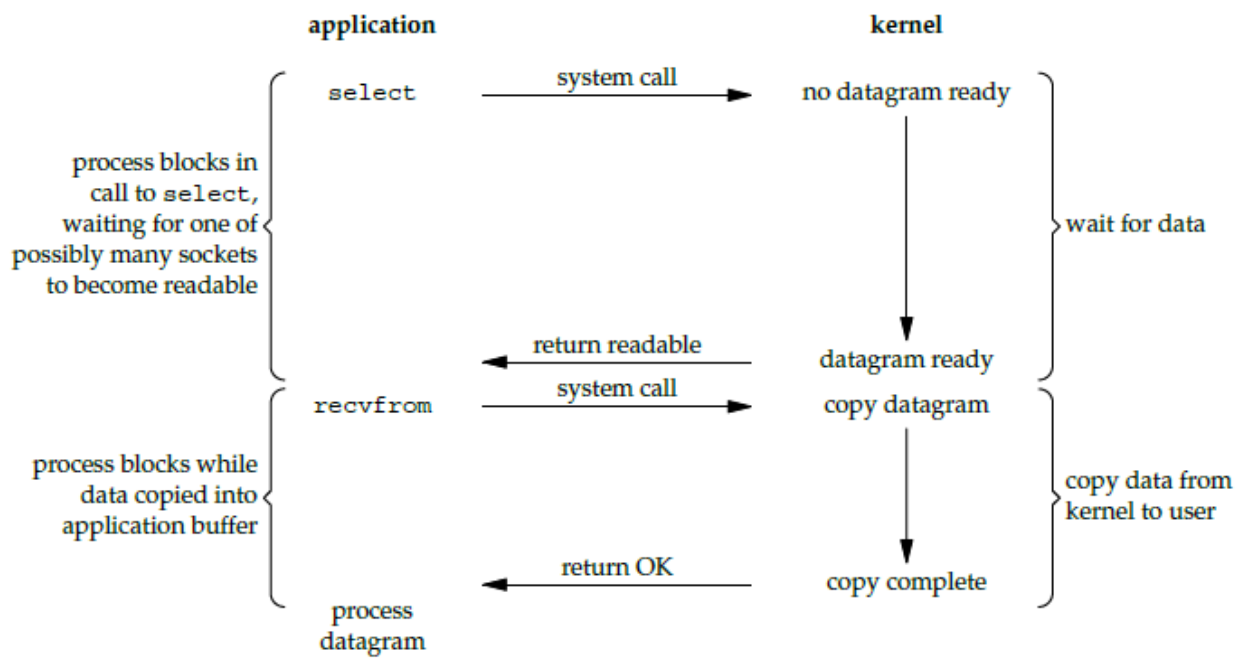


I/O 复用

使用 `select` 或者 `poll` 等待数据，并且可以等待多个套接字中的任何一个变为可读。这一过程会被阻塞，当某一个套接字可读时返回，之后再使用 `recvfrom` 把数据从内核复制到进程中。

它可以让单个进程具有处理多个 I/O 事件的能力。又被称为 Event Driven I/O，即事件驱动 I/O。

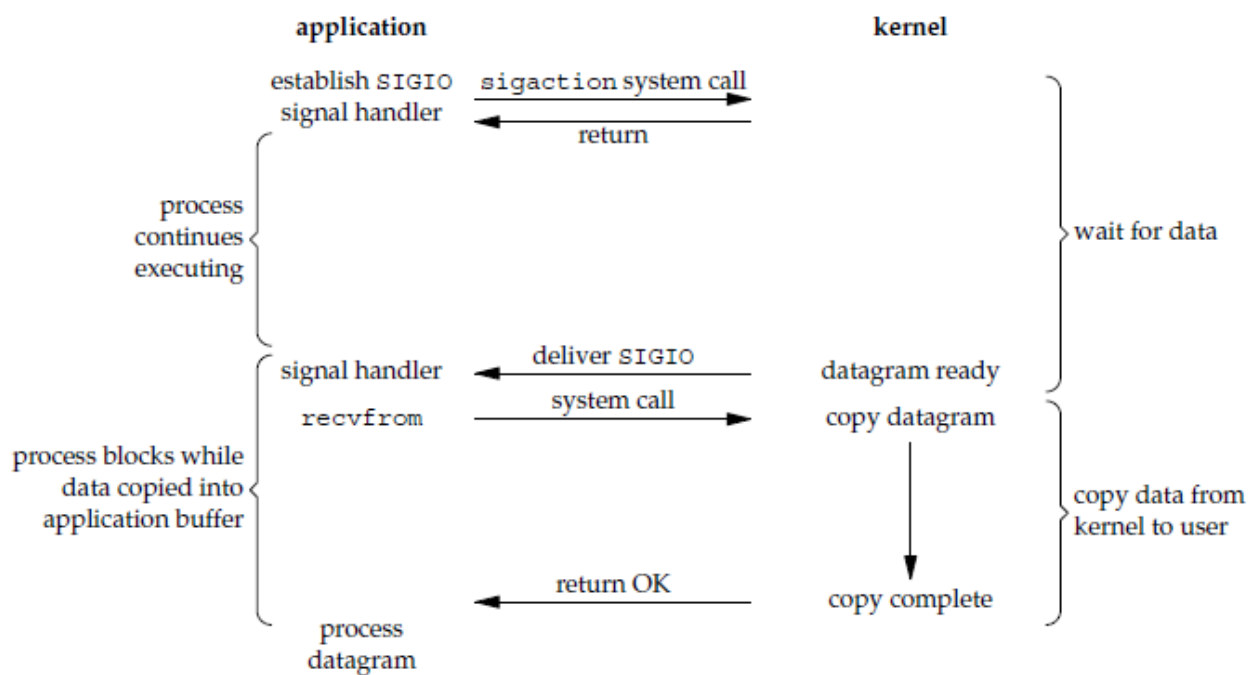
如果一个 Web 服务器没有 I/O 复用，那么每一个 Socket 连接都需要创建一个线程去处理。如果同时有几万个连接，那么就需要创建相同数量的线程。相比于多进程和多线程技术，I/O 复用不需要进程线程创建和切换的开销，系统开销更小。



信号驱动 I/O

应用进程使用 `sigaction` 系统调用，内核立即返回，应用进程可以继续执行，也就是说等待数据阶段应用进程是非阻塞的。内核在数据到达时向应用进程发送 `SIGIO` 信号，应用进程收到之后在信号处理程序中调用 `recvfrom` 将数据从内核复制到应用进程中。

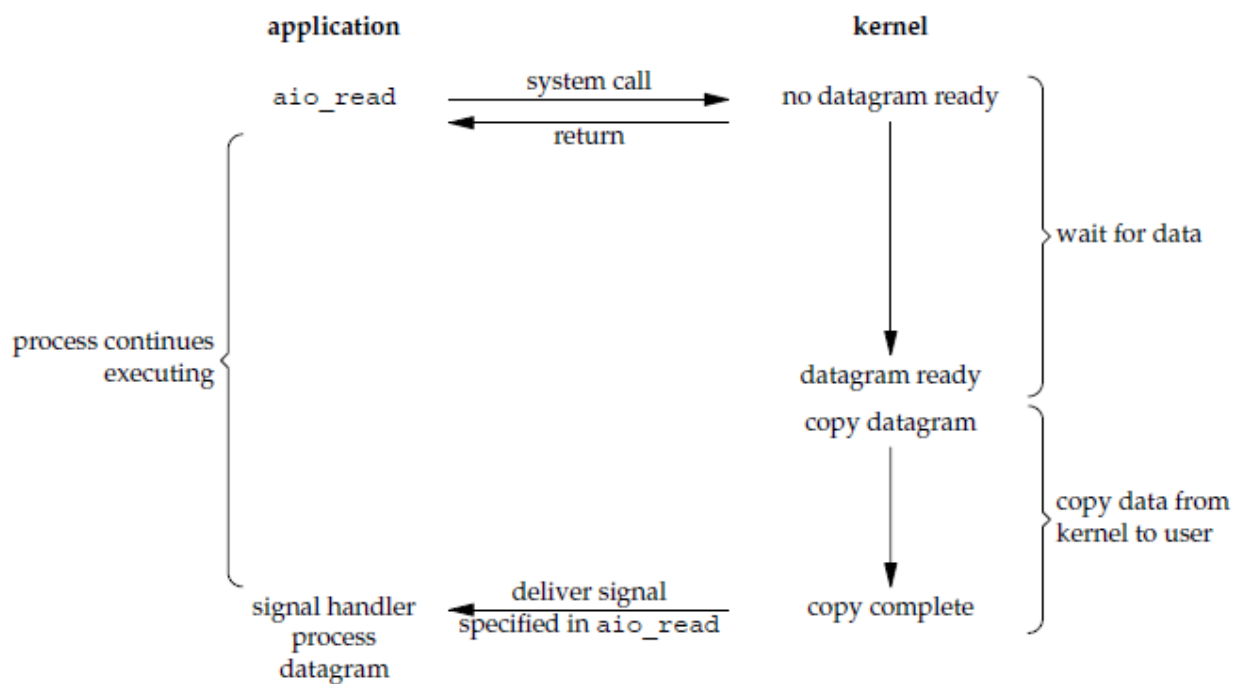
相比于非阻塞式 I/O 的轮询方式，信号驱动 I/O 的 CPU 利用率更高。



异步 I/O

应用进程执行 `aio_read` 系统调用会立即返回，应用进程可以继续执行，不会被阻塞，内核会在所有操作完成之后向应用进程发送信号。

异步 I/O 与信号驱动 I/O 的区别在于，异步 I/O 的信号是通知应用进程 I/O 完成，而信号驱动 I/O 的信号是通知应用进程可以开始 I/O。

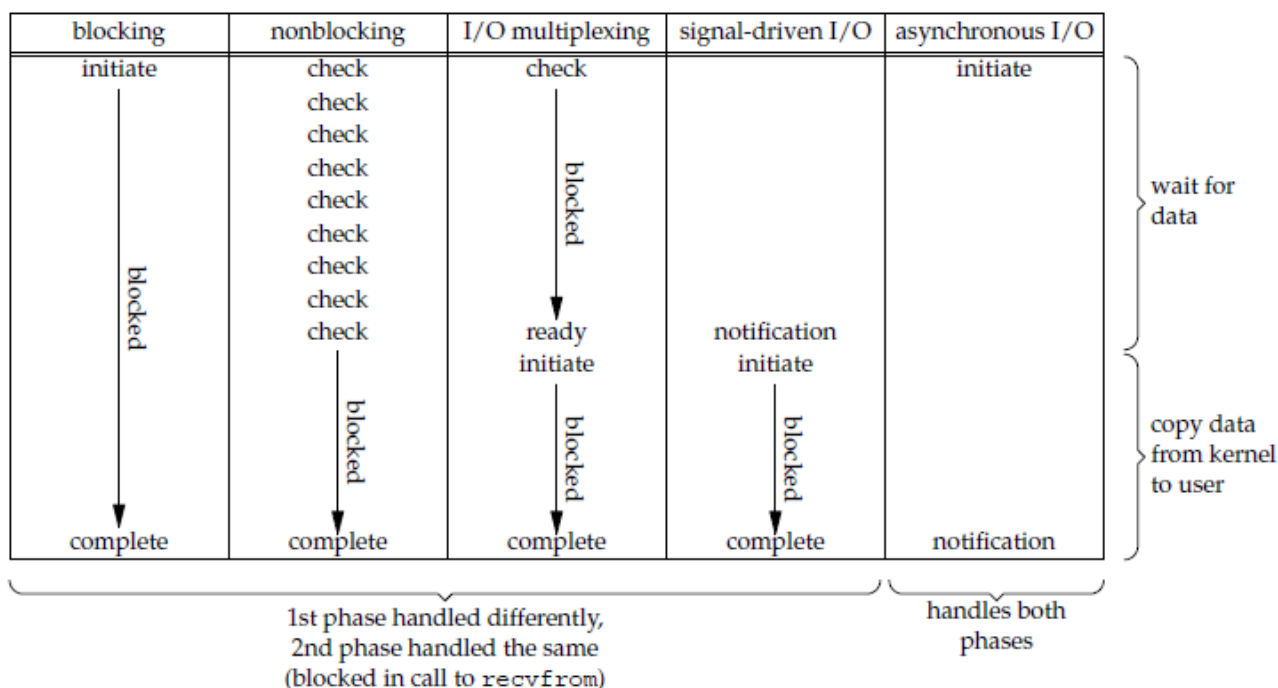


五大 I/O 模型比较

- 同步 I/O：将数据从内核缓冲区复制到应用进程缓冲区的阶段，应用进程会阻塞。
- 异步 I/O：不会阻塞。

阻塞式 I/O、非阻塞式 I/O、I/O 复用和信号驱动 I/O 都是同步 I/O，它们的主要区别在第一个阶段。

非阻塞式 I/O、信号驱动 I/O 和异步 I/O 在第一阶段不会阻塞。



二、I/O 复用

select/poll/epoll 都是 I/O 多路复用的具体实现，select 出现的最早，之后是 poll，再是 epoll。

select

```
1. int select(int n, fd_set *readfds, fd_set *writefds, fd_set *exceptfds, struct timeval *timeout);
```

有三种类型的描述符类型：readset、writeset、exceptset，分别对应读、写、异常条件的描述符集合。fd_set 使用数组实现，数组大小使用 FD_SETSIZE 定义。

timeout 为超时参数，调用 select 会一直阻塞直到有描述符的事件到达或者等待的时间超过 timeout。

成功调用返回结果大于 0，出错返回结果为 -1，超时返回结果为 0。

```

1.  fd_set fd_in, fd_out;
2.  struct timeval tv;
3.
4.  // Reset the sets
5.  FD_ZERO( &fd_in );
6.  FD_ZERO( &fd_out );
7.
8.  // Monitor sock1 for input events
9.  FD_SET( sock1, &fd_in );
10.
11. // Monitor sock2 for output events
12. FD_SET( sock2, &fd_out );
13.
14. // Find out which socket has the largest numeric value as select requires it
15. int largest_sock = sock1 > sock2 ? sock1 : sock2;
16.
17. // Wait up to 10 seconds
18. tv.tv_sec = 10;
19. tv.tv_usec = 0;
20.
21. // Call the select
22. int ret = select( largest_sock + 1, &fd_in, &fd_out, NULL, &tv );
23.
24. // Check if select actually succeed
25. if ( ret == -1 )
26.     // report error and abort
27. else if ( ret == 0 )
28.     // timeout; no event detected
29. else
30. {
31.     if ( FD_ISSET( sock1, &fd_in ) )
32.         // input event on sock1
33.
34.     if ( FD_ISSET( sock2, &fd_out ) )
35.         // output event on sock2
36. }

```

poll

```

1.  int poll(struct pollfd *fds, unsigned int nfds, int timeout);

```


pollfd 使用链表实现。

```
1.  // The structure for two events
2.  struct pollfd fds[2];
3.
4.  // Monitor sock1 for input
5.  fds[0].fd = sock1;
6.  fds[0].events = POLLIN;
7.
8.  // Monitor sock2 for output
9.  fds[1].fd = sock2;
10. fds[1].events = POLLOUT;
11.
12. // Wait 10 seconds
13. int ret = poll( &fds, 2, 10000 );
14. // Check if poll actually succeed
15. if ( ret == -1 )
16.     // report error and abort
17. else if ( ret == 0 )
18.     // timeout; no event detected
19. else
20. {
21.     // If we detect the event, zero it out so we can reuse the
    structure
22.     if ( pfd[0].revents & POLLIN )
23.         pfd[0].revents = 0;
24.         // input event on sock1
25.
26.     if ( pfd[1].revents & POLLOUT )
27.         pfd[1].revents = 0;
28.         // output event on sock2
29. }
```

比较

1. 功能

select 和 poll 的功能基本相同，不过在一些实现细节上有所不同。

- select 会修改描述符，而 poll 不会；

- select 的描述符类型使用数组实现，FD_SETSIZE 大小默认为 1024，因此默认只能监听 1024 个描述符。如果要监听更多描述符的话，需要修改 FD_SETSIZE 之后重新编译；而 poll 的描述符类型使用链表实现，没有描述符数量的限制；
- poll 提供了更多的事件类型，并且对描述符的重复利用上比 select 高。
- 如果一个线程对某个描述符调用了 select 或者 poll，另一个线程关闭了该描述符，会导致调用结果不确定。

2. 速度

select 和 poll 速度都比较慢。

- select 和 poll 每次调用都需要将全部描述符从应用进程缓冲区复制到内核缓冲区。
- select 和 poll 的返回结果中没有声明哪些描述符已经准备好，所以如果返回值大于 0 时，应用进程都需要使用轮询的方式来找到 I/O 完成的描述符。

3. 可移植性

几乎所有的系统都支持 select，但是只有比较新的系统支持 poll。

epoll

```
1.  int epoll_create(int size);
2.  int epoll_ctl(int epfd, int op, int fd, struct epoll_event *event);
3.  int epoll_wait(int epfd, struct epoll_event * events, int maxevents, int timeout);
```

epoll_ctl() 用于向内核注册新的描述符或者是改变某个文件描述符的状态。已注册的描述符在内核中会被维护在一棵红黑树上，通过回调函数内核会将 I/O 准备好的描述符加入到一个链表中管理，进程调用 epoll_wait() 便可以得到事件完成的描述符。

从上面的描述可以看出，epoll 只需要将描述符从进程缓冲区向内核缓冲区拷贝一次，并且进程不需要通过轮询来获得事件完成的描述符。

epoll 仅适用于 Linux OS。

epoll 比 select 和 poll 更加灵活而且没有描述符数量限制。

epoll 对多线程编程更有友好，一个线程调用了 epoll_wait() 另一个线程关闭了同一个描述符也不会产生像 select 和 poll 的不确定情况。

```
1.  // Create the epoll descriptor. Only one is needed per app, and is use
    d to monitor all sockets.
2.  // The function argument is ignored (it was not before, but now it is)
    , so put your favorite number here
3.  int pollingfd = epoll_create( 0xCAFE );
4.
5.  if ( pollingfd < 0 )
6.      // report error
7.
8.  // Initialize the epoll structure in case more members are added in fu
    ture
9.  struct epoll_event ev = { 0 };
10.
11. // Associate the connection class instance with the event. You can ass
    ociate anything
12. // you want, epoll does not use this information. We store a
    connection class pointer, pConnection1
13. ev.data.ptr = pConnection1;
14.
15. // Monitor for input, and do not automatically rearm the descriptor af
    ter the event
16. ev.events = EPOLLIN | EPOLLONESHOT;
17. // Add the descriptor into the monitoring list. We can do it even if a
    nother thread is
18. // waiting in epoll_wait - the descriptor will be properly added
19. if ( epoll_ctl( epollfd, EPOLL_CTL_ADD, pConnection1->getSocket(), &ev
    ) != 0 )
20.     // report error
21.
22. // Wait for up to 20 events (assuming we have added maybe 200 sockets
    before that it may happen)
23. struct epoll_event pevents[ 20 ];
24.
25. // Wait for 10 seconds, and retrieve less than 20 epoll_event and stor
    e them into epoll_event array
26. int ready = epoll_wait( pollingfd, pevents, 20, 10000 );
27. // Check if epoll actually succeed
28. if ( ret == -1 )
29.     // report error and abort
```

```
30.     else if ( ret == 0 )
31.         // timeout; no event detected
32.     else
33.     {
34.         // Check if any events detected
35.         for ( int i = 0; i < ret; i++ )
36.         {
37.             if ( pevents[i].events & EPOLLIN )
38.             {
39.                 // Get back our connection pointer
40.                 Connection * c = (Connection*) pevents[i].data.ptr;
41.                 c->handleReadEvent();
42.             }
43.         }
44.     }
```

工作模式

epoll 的描述符事件有两种触发模式：LT (level trigger) 和 ET (edge trigger)。

1. LT 模式

当 `epoll_wait()` 检测到描述符事件到达时，将此事件通知进程，进程可以不立即处理该事件，下次调用 `epoll_wait()` 会再次通知进程。是默认的一种模式，并且同时支持 Blocking 和 No-Blocking。

2. ET 模式

和 LT 模式不同的是，通知之后进程必须立即处理事件，下次再调用 `epoll_wait()` 时不会再得到事件到达的通知。

很大程度上减少了 epoll 事件被重复触发的次数，因此效率要比 LT 模式高。只支持 No-Blocking，以避免由于一个文件句柄的阻塞读/阻塞写操作把处理多个文件描述符的任务饿死。

应用场景

很容易产生一种错觉认为只要用 epoll 就可以了，select 和 poll 都已经过时了，其实它们都有各自的使用场景。

1. select 应用场景

select 的 timeout 参数精度为 1ns，而 poll 和 epoll 为 1ms，因此 select 更加适用于实时性要求比较高的场景，比如核反应堆的控制。

select 可移植性更好，几乎被所有主流平台所支持。

2. poll 应用场景

poll 没有最大描述符数量的限制，如果平台支持并且对实时性要求不高，应该使用 poll 而不是 select。

3. epoll 应用场景

只需要运行在 Linux 平台上，有大量的描述符需要同时轮询，并且这些连接最好是长连接。

需要同时监控小于 1000 个描述符，就没有必要使用 epoll，因为这个应用场景下并不能体现 epoll 的优势。

需要监控的描述符状态变化多，而且都是非常短暂的，也没有必要使用 epoll。因为 epoll 中的所有描述符都存储在内核中，造成每次需要对描述符的状态改变都需要通过 epoll_ctl() 进行系统调用，频繁系统调用降低效率。并且 epoll 的描述符存储在内核，不容易调试。

参考资料

- Stevens W R, Fenner B, Rudoff A M. UNIX network programming[M]. Addison-Wesley Professional, 2004.
- [Boost application performance using asynchronous I/O](#)
- [Synchronous and Asynchronous I/O](#)
- [Linux IO 模式及 select、poll、epoll 详解](#)

- [poll vs select vs event-based](#)
 - [select / poll / epoll: practical difference for system architects](#)
 - [Browse the source code of userspace/glibc/sysdeps/unix/sysv/linux/ online](#)
-

github: <https://github.com/sjsdfg/CS-Notes-PDF>