## 信号的概念

信号在我们的生活中随处可见， 如：古代战争中摔杯为号；现代战争中的信号弹；体育比赛中使用的信号枪......他们都有共性：1. 简单 2. 不能携带大量信息 3. 满足某个特设条件才发送。

信号是信息的载体，Linux/UNIX 环境下，古老、经典的通信方式， 现下依然是主要的通信手段。

Unix早期版本就提供了信号机制，但不可靠，信号可能丢失。Berkeley 和 AT&T都对信号模型做了更改，增加了可靠信号机制。但彼此不兼容。POSIX.1对可靠信号例程进行了标准化。

### 信号的机制

A给B发送信号，B收到信号之前执行自己的代码，收到信号后，不管执行到程序的什么位置，都要暂停运行，去处理信号，处理完毕再继续执行。与硬件中断类似——异步模式。但信号是软件层面上实现的中断，早期常被称为“软中断”。

**每个进程收到的所有信号，都是由内核负责发送的。**

### 与信号相关的事件和状态

**产生信号**:

1. 按键产生，如：Ctrl+c、Ctrl+z、Ctrl+\

2. 系统调用产生，如：kill、raise、abort

3. 软件条件产生，如：定时器alarm

4. 硬件异常产生，如：非法访问内存(段错误)、除0(浮点数例外)、内存对齐出错(总线错误)

5. 命令产生，如：kill命令

**递达**：递送并且到达进程。

**未决**：产生和递达之间的状态。主要由于阻塞(屏蔽)导致该状态。

**信号的处理方式:**

1. 执行默认动作

2. 忽略(丢弃)

3. 捕捉(调用户处理函数)

**信号的特质**：信号的实现手段导致信号有很强的延时性，但对于用户来说，时间非常短，不易察觉。

Linux内核的进程控制块PCB是一个结构体，task\_struct, 除了包含进程id，状态，工作目录，用户id，组id，文件描述符表，还包含了信号相关的信息，主要指阻塞信号集和未决信号集。

**阻塞信号集(信号屏蔽字)**： 将某些信号加入集合，对他们设置屏蔽，当屏蔽x信号后，再收到该信号，该信号的处理将推后(解除屏蔽后)

**未决信号集**:

1. 信号产生，未决信号集中描述该信号的位立刻翻转为1，表信号处于未决状态。当信号被处理对应位翻转回为0。这一时刻往往非常短暂。

2. 信号产生后由于某些原因(主要是阻塞)不能抵达。这类信号的集合称之为未决信号集。在屏蔽解除前，信号一直处于未决状态。

### 信号的编号

可以使用kill –l命令查看当前系统可使用的信号有哪些。

1) SIGHUP 2) SIGINT 3) SIGQUIT 4) SIGILL 5) SIGTRAP

6) SIGABRT 7) SIGBUS 8) SIGFPE 9) SIGKILL 10) SIGUSR1

11) SIGSEGV 12) SIGUSR2 13) SIGPIPE 14) SIGALRM 15) SIGTERM

16) SIGSTKFLT 17) SIGCHLD 18) SIGCONT 19) SIGSTOP 20) SIGTSTP

21) SIGTTIN 22) SIGTTOU 23) SIGURG 24) SIGXCPU 25) SIGXFSZ

26) SIGVTALRM 27) SIGPROF 28) SIGWINCH 29) SIGIO 30) SIGPWR

31) SIGSYS 34) SIGRTMIN 35) SIGRTMIN+1 36) SIGRTMIN+2 37) SIGRTMIN+3

38) SIGRTMIN+4 39) SIGRTMIN+5 40) SIGRTMIN+6 41) SIGRTMIN+7 42) SIGRTMIN+8

43) SIGRTMIN+9 44) SIGRTMIN+10 45) SIGRTMIN+11 46) SIGRTMIN+12 47) SIGRTMIN+13

48) SIGRTMIN+14 49) SIGRTMIN+15 50) SIGRTMAX-14 51) SIGRTMAX-13 52) SIGRTMAX-12

53) SIGRTMAX-11 54) SIGRTMAX-10 55) SIGRTMAX-9 56) SIGRTMAX-8 57) SIGRTMAX-7

58) SIGRTMAX-6 59) SIGRTMAX-5 60) SIGRTMAX-4 61) SIGRTMAX-3 62) SIGRTMAX-2

63) SIGRTMAX-1 64) SIGRTMAX

不存在编号为0的信号。其中1-31号信号称之为常规信号（也叫普通信号或标准信号），34-64称之为实时信号，驱动编程与硬件相关。名字上区别不大。而前32个名字各不相同。

### 信号4要素

与变量三要素类似的，每个信号也有其必备4要素，分别是：

1. 编号 2. 名称 3. 事件 4. 默认处理动作

可通过man 7 signal查看帮助文档获取。也可查看/usr/src/linux-headers-3.16.0-30/arch/s390/include/uapi/asm/signal.h

Signal Value Action Comment

────────────────────────────────────────────

SIGHUP 1 Term Hangup detected on controlling terminal or death of controlling process

SIGINT 2 Term Interrupt from keyboard

SIGQUIT 3 Core Quit from keyboard

SIGILL 4 Core Illegal Instruction

SIGFPE 8 Core Floating point exception

SIGKILL 9 Term Kill signal

SIGSEGV 11 Core Invalid memory reference

SIGPIPE 13 Term Broken pipe: write to pipe with no readers

SIGALRM 14 Term Timer signal from alarm(2)

SIGTERM 15 Term Termination signal

SIGUSR1 30,10,16 Term User-defined signal 1

SIGUSR2 31,12,17 Term User-defined signal 2

SIGCHLD 20,17,18 Ign Child stopped or terminated

SIGCONT 19,18,25 Cont Continue if stopped

SIGSTOP 17,19,23 Stop Stop process

SIGTSTP 18,20,24 Stop Stop typed at terminal

SIGTTIN 21,21,26 Stop Terminal input for background process

SIGTTOU 22,22,27 Stop Terminal output for background process

The signals SIGKILL and SIGSTOP cannot be caught, blocked, or ignored.

在标准信号中，有一些信号是有三个“Value”，第一个值通常对alpha和sparc架构有效，中间值针对x86、arm和其他架构，最后一个应用于mips架构。一个‘-’表示在对应架构上尚未定义该信号。

不同的操作系统定义了不同的系统信号。因此有些信号出现在Unix系统内，也出现在Linux中，而有的信号出现在FreeBSD或Mac OS中却没有出现在Linux下。这里我们只研究Linux系统中的信号。

默认动作：

Term：终止进程

Ign： 忽略信号 (默认即时对该种信号忽略操作)

Core：终止进程，生成Core文件。(查验进程死亡原因， 用于gdb调试)

Stop：停止（暂停）进程

Cont：继续运行进程

注意从man 7 signal帮助文档中可看到 : The signals SIGKILL and SIGSTOP cannot be caught, blocked, or ignored.

这里特别强调了**9) SIGKILL 和19) SIGSTOP信号，不允许忽略和捕捉，只能执行默认动作。甚至不能将其设置为阻塞。**

**另外需清楚，只有每个信号所对应的事件发生了，该信号才会被递送(但不一定递达)，不应乱发信号！！**

### Linux常规信号一览表

1) SIGHUP: 当用户退出shell时，由该shell启动的所有进程将收到这个信号，默认动作为终止进程

2) SIGINT：当用户按下了<Ctrl+C>组合键时，用户终端向正在运行中的由该终端启动的程序发出此信号。默认动

作为终止进程。

3) SIGQUIT：当用户按下<ctrl+\>组合键时产生该信号，用户终端向正在运行中的由该终端启动的程序发出些信

号。默认动作为终止进程。

4) SIGILL：CPU检测到某进程执行了非法指令。默认动作为终止进程并产生core文件

5) SIGTRAP：该信号由断点指令或其他 trap指令产生。默认动作为终止里程 并产生core文件。

6) IGABRT: 调用abort函数时产生该信号。默认动作为终止进程并产生core文件。

7) SIGBUS：非法访问内存地址，包括内存对齐出错，默认动作为终止进程并产生core文件。

8) SIGFPE：在发生致命的运算错误时发出。不仅包括浮点运算错误，还包括溢出及除数为0等所有的算法错误。默认动作为终止进程并产生core文件。

9) SIGKILL：无条件终止进程。本信号不能被忽略，处理和阻塞。默认动作为终止进程。它向系统管理员提供了可以杀死任何进程的方法。

10) SIGUSE1：用户定义 的信号。即程序员可以在程序中定义并使用该信号。默认动作为终止进程。

11) SIGSEGV：指示进程进行了无效内存访问。默认动作为终止进程并产生core文件。

12) SIGUSR2：另外一个用户自定义信号，程序员可以在程序中定义并使用该信号。默认动作为终止进程。

13) SIGPIPE：Broken pipe向一个没有读端的管道写数据。默认动作为终止进程。

14) SIGALRM: 定时器超时，超时的时间 由系统调用alarm设置。默认动作为终止进程。

15) SIGTERM：程序结束信号，与SIGKILL不同的是，该信号可以被阻塞和终止。通常用来要示程序正常退出。执行shell命令Kill时，缺省产生这个信号。默认动作为终止进程。

16) SIGSTKFLT：Linux早期版本出现的信号，现仍保留向后兼容。默认动作为终止进程。

17) SIGCHLD：子进程结束时，父进程会收到这个信号。默认动作为忽略这个信号。

18) SIGCONT：如果进程已停止，则使其继续运行。默认动作为继续/忽略。

19) SIGSTOP：停止进程的执行。信号不能被忽略，处理和阻塞。默认动作为终止进程。

20) SIGTSTP：停止终端交互进程的运行。按下<ctrl+z>组合键时发出这个信号。默认动作为暂停进程。

21) SIGTTIN：后台进程读终端控制台。默认动作为暂停进程。

22) SIGTTOU: 该信号类似于SIGTTIN，在后台进程要向终端输出数据时发生。默认动作为暂停进程。

23) SIGURG：套接字上有紧急数据时，向当前正在运行的进程发出些信号，报告有紧急数据到达。如网络带外数据到达，默认动作为忽略该信号。

24) SIGXCPU：进程执行时间超过了分配给该进程的CPU时间 ，系统产生该信号并发送给该进程。默认动作为终止进程。

25) SIGXFSZ：超过文件的最大长度设置。默认动作为终止进程。

26) SIGVTALRM：虚拟时钟超时时产生该信号。类似于SIGALRM，但是该信号只计算该进程占用CPU的使用时间。默认动作为终止进程。

27) SGIPROF：类似于SIGVTALRM，它不公包括该进程占用CPU时间还包括执行系统调用时间。默认动作为终止进程。

28) SIGWINCH：窗口变化大小时发出。默认动作为忽略该信号。

29) SIGIO：此信号向进程指示发出了一个异步IO事件。默认动作为忽略。

30) SIGPWR：关机。默认动作为终止进程。

31) SIGSYS：无效的系统调用。默认动作为终止进程并产生core文件。

34) SIGRTMIN ～ (64) SIGRTMAX：LINUX的实时信号，它们没有固定的含义（可以由用户自定义）。所有的实时信号的默认动作都为终止进程。

## 信号的产生

### 终端按键产生信号

Ctrl + c → 2) SIGINT（终止/中断） "INT" ----Interrupt

Ctrl + z → 20) SIGTSTP（暂停/停止） "T" ----Terminal 终端。

Ctrl + \ → 3) SIGQUIT（退出）

### 硬件异常产生信号

除0操作 → 8) SIGFPE (浮点数例外) "F" -----float 浮点数。

非法访问内存 → 11) SIGSEGV (段错误)

总线错误 → 7) SIGBUS

### kill函数/命令产生信号

kill命令产生信号：kill -SIGKILL 进程ID

kill函数：给指定进程发送指定信号(不一定杀死)

int kill(pid\_t pid, int sig); 成功：0；失败：-1 (ID非法，信号非法，普通用户杀init进程等权级问题)，设置errno

sig：不推荐直接使用数字，应使用宏名，因为不同操作系统信号编号可能不同，但名称一致。

pid > 0: 发送信号给指定的进程。

pid = 0: 发送信号给 与调用kill函数进程属于同一进程组的所有进程。

pid < -1: 取|pid|发给对应进程组。

pid = -1：发送给进程有权限发送的系统中所有进程。

进程组：每个进程都属于一个进程组，进程组是一个或多个进程集合，他们相互关联，共同完成一个实体任务，每个进程组都有一个进程组长，默认进程组ID与进程组长ID相同。

权限保护：super用户(root)可以发送信号给任意用户，普通用户是不能向系统用户发送信号的。 kill -9 (root用户的pid) 是不可以的。同样，普通用户也不能向其他普通用户发送信号，终止其进程。 只能向自己创建的进程发送信号。普通用户基本规则是：**发送者实际或有效用户ID == 接收者实际或有效用户ID**

练习：循环创建5个子进程，任一子进程用kill函数终止其父进程。 【kill.c】

### raise和abort系统函数

raise 函数：给当前进程发送指定信号(自己给自己发) raise(signo) == kill(getpid(), signo);

int raise(int sig); 成功：0，失败非0值

abort 函数：给自己发送异常终止信号 6) SIGABRT 信号，终止并产生core文件

void abort(void); 该函数无返回

### 软件条件产生信号

#### alarm函数

设置定时器(闹钟)。在指定seconds后，内核会给当前进程发送14）SIGALARM信号。进程收到该信号，默认动作终止。

**每个进程都有且只有唯一的一个定时器。**

unsigned int alarm(unsigned int seconds); 返回0或剩余的秒数，无失败。

常用：取消定时器alarm(0)，返回旧闹钟余下秒数。

例：alarm(5) → 3sec → alarm(4) → 5sec → alarm(5) → alarm(0)

定时，与进程状态无关(自然定时法)！就绪、运行、挂起(阻塞、暂停)、终止、僵尸...无论进程处于何种状态，alarm都计时。

练习：编写程序，测试你使用的计算机1秒钟能数多少个数。 【alarm .c】

使用time命令查看程序执行的时间。程序运行的瓶颈在于IO，优化程序，首选优化IO。

实际执行时间 = 系统时间 + 用户时间 + 等待时间

#### setitimer函数

设置定时器(闹钟)。 可代替alarm函数。精度微秒us，可以实现周期定时。

int setitimer(int which, const struct itimerval \*new\_value, struct itimerval \*old\_value); 成功：0；失败：-1，设置errno

参数：which：指定定时方式

① 自然定时：ITIMER\_REAL → 14）SIGLARM 计算自然时间

② 虚拟空间计时(用户空间)：ITIMER\_VIRTUAL → 26）SIGVTALRM 只计算进程占用cpu的时间

③ 运行时计时(用户+内核)：ITIMER\_PROF → 27）SIGPROF 计算占用cpu及执行系统调用的时间

练习: 使用setitimer函数实现alarm函数，重复计算机1秒数数程序。 【setitimer.c】

拓展练习，结合man page编写程序，测试it\_interval、it\_value这两个参数的作用。 【setitimer1.c】

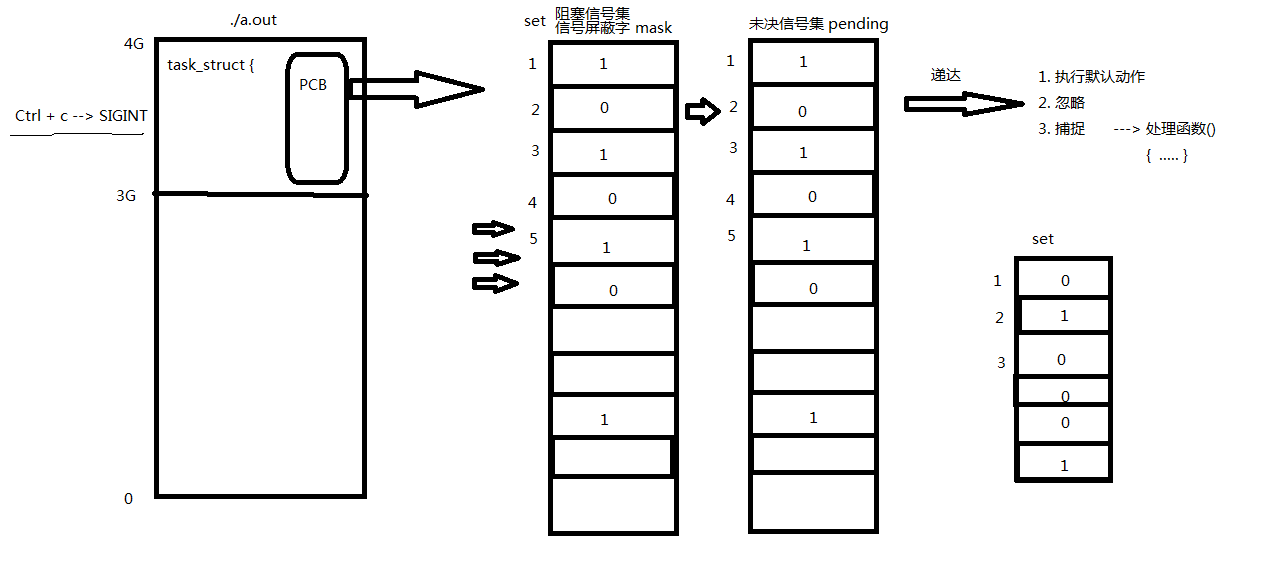
提示： it\_interval：用来设定两次定时任务之间间隔的时间。

it\_value：定时的时长

两个参数都设置为0，即清0操作。

## 信号集操作函数

在PCB中有两个非常重要的信号集。一个称之为“阻塞信号集”，另一个称之为“未决信号集”。这两个信号集都是内核使用位图机制来实现的。但操作系统不允许我们直接对其进行位操作。而需自定义另外一个集合，借助信号集操作函数来对PCB中的这两个信号集进行修改。



### 自定义信号集设定

int sigemptyset(sigset\_t \*set); 将某个信号集清0 成功：0；失败：-1，设置errno

int sigfillset(sigset\_t \*set); 将某个信号集置1 成功：0；失败：-1，设置errno

int sigaddset(sigset\_t \*set, int signum); 将某个信号加入信号集合中 成功：0；失败：-1，设置errno

int sigdelset(sigset\_t \*set, int signum); 将某信号从信号清出信号集 成功：0；失败：-1，设置errno

int sigismember(const sigset\_t \*set, int signum);

判断某个信号是否在信号集中：在：1；不在：0；出错：-1，设置errno

除sigismember外，其余操作函数中的set均为传出参数。sigset\_t类型的本质是位图。但不应该直接使用位操作，而应该使用上述函数，保证跨系统操作有效。

对比认知select 函数。

### sigprocmask函数

用来屏蔽信号、解除屏蔽也使用该函数。其本质，读取或修改进程控制块中的信号屏蔽字。

**严格注意，屏蔽信号：只是将信号处理延后执行(延至解除屏蔽)；而忽略表示将信号丢弃处理。**

int sigprocmask(int how, const sigset\_t \*set, sigset\_t \*oldset); 成功：0；失败：-1，设置errno

参数：

set：传入参数，是一个自定义信号集合。由参数how来指示如何修改当前信号屏蔽字。

oldset：传出参数，保存旧的信号屏蔽字。

how参数取值：假设当前的信号屏蔽字为mask

1. SIG\_BLOCK: 当how设置为此值，set表示需要屏蔽的信号。相当于 mask = mask|set
2. SIG\_UNBLOCK: 当how设置为此，set表示需要解除屏蔽的信号。相当于 mask = mask & ~set
3. SIG\_SETMASK: 当how设置为此，set表示用于替代原始屏蔽及的新屏蔽集。相当于mask = set若，调用sigprocmask解除了对当前若干个信号的阻塞，则在sigprocmask返回前，至少将其中一个信号递达。

### sigpending函数

读取当前进程的未决信号集

int sigpending(sigset\_t \*set); set传出参数。 返回值：成功：0；失败：-1，设置errno

练习：编写程序。把所有常规信号的未决状态打印至屏幕。 【sigpending.c】

## 信号捕捉

### signal函数

注册一个信号捕捉函数：

typedef void (\*sighandler\_t)(int);

sighandler\_t signal(int signum, sighandler\_t handler); 成功：返回函数指针；失败：返回SIG\_ERR，设置errno

该函数由ANSI定义，由于历史原因在不同版本的Unix和不同版本的Linux中可能有不同的行为。因此应该尽量避免使用它，取而代之使用sigaction函数。

void (\*signal(int signum, void (\*sighandler\_t)(int))) (int);

能看出这个函数代表什么意思吗？ 注意多在复杂结构中使用typedef。

### sigaction函数

修改信号处理动作（通常在Linux用其来注册一个信号的捕捉函数）

int sigaction(int signum, const struct sigaction \*act, struct sigaction \*oldact); 成功：0；失败：-1，设置errno

参数：

act：传入参数，新的处理方式。

oldact：传出参数，旧的处理方式。 【signal.c】

#### struct sigaction结构体

struct sigaction {

void (\*sa\_handler)(int);

void (\*sa\_sigaction)(int, siginfo\_t \*, void \*);

sigset\_t sa\_mask;

int sa\_flags;

void (\*sa\_restorer)(void);

};

sa\_restorer：该元素是过时的，不应该使用，POSIX.1标准将不指定该元素。(弃用)

sa\_sigaction：当sa\_flags被指定为SA\_SIGINFO标志时，使用该信号处理程序。(很少使用)

重点掌握：

① sa\_handler：指定信号捕捉后的处理函数名(即注册函数)。也可赋值为SIG\_IGN表忽略 或 SIG\_DFL表执行默认动作

② sa\_mask: 调用信号处理函数时，所要屏蔽的信号集合(信号屏蔽字)。注意：仅在处理函数被调用期间屏蔽生效，是临时性设置。

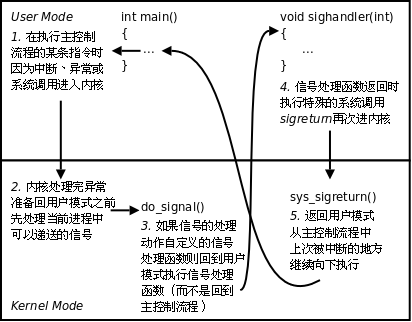
③ sa\_flags：通常设置为0，表使用默认属性。

#### 信号捕捉特性

1. 进程正常运行时，默认PCB中有一个信号屏蔽字，假定为☆，它决定了进程自动屏蔽哪些信号。当注册了某个信号捕捉函数，捕捉到该信号以后，要调用该函数。而该函数有可能执行很长时间，在这期间所屏蔽的信号不由☆来指定。而是用sa\_mask来指定。调用完信号处理函数，再恢复为☆。
2. XXX信号捕捉函数执行期间，XXX信号自动被屏蔽。
3. 阻塞的常规信号不支持排队，产生多次只记录一次。（后32个实时信号支持排队）

练习1：为某个信号设置捕捉函数 【sigaction1.c】练习2： 验证在信号处理函数执行期间，该信号多次递送，那么只在处理函数之行结束后，处理一次。 【sigaction2.c】练习3：验证sa\_mask在捕捉函数执行期间的屏蔽作用。 【sigaction3.c】

### 内核实现信号捕捉过程：



## 信号引起的时序竞态

### pause函数

操作系统内唯一一个主动造成进程挂起的系统调用。调用该系统调用的进程将处于阻塞状态(主动放弃cpu) 直到有信号递达将其唤醒。

int pause(void); 返回值：-1 并设置errno为EINTR

返回值：

① 如果信号的默认处理动作是终止进程，则进程终止，pause函数么有机会返回。

② 如果信号的默认处理动作是忽略，进程继续处于挂起状态，pause函数不返回。

③ 如果信号的处理动作是捕捉，则【**调用完信号处理函数之后，pause返回-1**】

errno设置为EINTR，表示“被信号中断”。想想我们还有哪个函数只有出错返回值。

④ pause收到的信号不能被屏蔽，如果被屏蔽，那么pause就不能被唤醒。

练习：使用pause和alarm来实现sleep函数。 【pause\_sleep.c】

注意，unslept = alarm(0)的用法。

例如：睡觉，alarm(10)闹铃。

正常： 10后闹铃将我唤醒，这时额外设置alarm(0)取消闹铃，不会出错。

异常： 5分钟，被其他事物吵醒，alarm(0)取消闹铃防止打扰。

### 时序竞态(竞态条件)