Technology Tarena 达内科技

Unix系统高级编程

Signal 1

DAY10

内容

上午	09:00 ~ 09:30	作业讲解和回顾
	09:30 ~ 10:20	信号的基本概念
	10:30 ~ 11:20	
	11:30 ~ 12:20	捕获信号
下午	14:00 ~ 14:50	发送信号
	15:00 ~ 15:50	暂停、睡眠与闹钟
	16:00 ~ 16:50	
	17:00 ~ 17:30	总结和答疑

信号的基本概念


信号的基本概念
信号
信号处理
信号名称与编号
可靠信号与不可靠信号
常用信号
信号
信号处理
信号名称与编号
可靠信号与不可靠信号
常用信号

Technology Tarena 达内科技

信号

信号

- 信号是提供异步事件处理机制的软件中断。这些异步事件可能来自硬件设备，如用户同时按下了Ctrl键和C键，也可能来自系统内核，如试图访问尚未映射的虚拟内存，又或者来自用户进程，如尝试计算整数除以0的表达式
- 进程之间可以相互发送信号，这使信号成为一种进程间通信(Inter-Process Communication, IPC)的基本手段
- 信号的异步特性不仅表现为它的产生是异步的，对它的处理同样也是异步的。程序的设计者不可能也不需要精确地预见什么时候触发什么信号，也同样无法预见该信号究竟在什么时候会被处理。一切都在内核的操控下，异步地运行。信号是在软件层面对中断机制的一种模拟

知识讲解

Technology Tarena 达内科技

信号处理

信号处理

- 信号有一个非常明确的生命周期
  - 首先，信号被生成，并被发送至系统内核
  - 其次，系统内核存储信号，直到可以处理它
  - 最后，一旦有空闲，内核即按以下三种方式之一处理信号
    - 忽略信号：什么也不做。SIGKILL和SIGSTOP信号不能忽略
    - 捕获信号：内核暂停收到信号的进程正在执行的代码，跳转到事先注册的信号处理函数，执行该函数并返回，跳回到捕获信号的地方继续执行。SIGKILL和SIGSTOP信号不能捕获
    - 默认操作：不同信号有不同的默认操作，通常是终止收到信号的进程，但也有一些信号的默认操作是视而不见，即忽略
- 早期的信号处理函数除了知道来了一个信号之外，对究竟发生了什么可以说是一无所知。现代Unix系统的内核为程序员提供了大量的上下文，甚至用户自定义的数据

知识讲解

Technology Tarena 达内科技

信号名称与编号

信号名称与编号

- 每个信号都有唯一的名称和编号
  - 信号的名称是以SIG开头的文本，如SIGHUP、SIGINT等
  - 信号的编号是从1开始连续增加的整数，如1、2、3等
  - 信号的名称与编号之间的对应关系，依赖于具体实现
  - 在<signum.h>头文件中，已经通过宏定义，把每个信号的名称和编号建立了一一映射。无论是程序员还是系统管理员，在任何涉及信号的场合，都应该尽量使用信号的名称(宏)，而不要用它们的编号(字面值)

```
#define SIGHUP      1
#define SIGINT      2
#define SIGQUIT     3
```

知识讲解

信号名称与编号（续1）

- 执行“kill -l”命令，可以查看系统支持的信号列表

```
$ kill -l
```

```
 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    ........................        64) SIGRTMAX
```

  - 位于[1, 31]区间的31个信号为非实时信号
  - 位于[34, 64]区间的31个信号为实时信号
  - 总共62个信号，注意没有32和33信号

Technology Tarena 达内科技

可靠信号与不可靠信号

可靠信号与不可靠信号

- 正如前面所述，信号的产生和信号的处理完全是两个异步的操作过程，也就是说这两个动作在时间上并没有确定的先后顺序，甚至可能是同时发生的
- 如果信号的处理速度慢于信号的产生速度，那么就会出现，一个信号正在被处理，多个相同的信号又发送过来
  - 当多个相同的信号被发送到正在处理该信号的进程时，那些还来不及处理的信号会按先后顺序排成队列。等进程处理完手里的信号以后，再依次处理队列中的信号。整个过程中，所有发送给进程的信号一个也不会丢，都能得到处理。这样的信号就叫做可靠信号。实时信号都是可靠信号
  - 反之，不可靠信号不支持排队，可能丢失，在多个相同的信号里进程可能只收到一个。非实时信号都是不可靠信号

知识讲解

Technology Tarena 达内科技

常用信号

常用信号

编号	名称	说明	默认操作
1	SIGHUP	进程的控制终端关闭(用户登出)	终止
2	SIGINT	用户产生中断符(Ctrl+C)	终止
3	SIGQUIT	用户产生退出符(Ctrl+\)	终止+转储
4	SIGILL	进程试图执行非法指令	终止+转储
5	SIGTRAP	进入断点	终止+转储
6	SIGABRT	abort函数产生	终止+转储
7	SIGBUS	硬件或对齐错误	终止+转储
8	SIGFPE	算术异常	终止+转储
9	SIGKILL	不能被捕获或忽略的进程终止信号	终止
10	SIGUSR1	进程自定义的信号	终止
11	SIGSEGV	无效内存访问	终止+转储
12	SIGUSR2	进程自定义的信号	终止

知识讲解

常用信号（续1）

编号	名称	说明	默认操作
13	SIGPIPE	向读端已关闭的管道写入	终止
14	SIGALRM	alarm函数产生/真实定时器到期	终止
15	SIGTERM	可以被捕获或忽略的进程终止信号	终止
16	SIGSTKFLT	协处理器栈错误	终止
17	SIGCHLD	子进程终止	忽略
18	SIGCONT	进程由停止状态恢复运行	忽略
19	SIGSTOP	不能被捕获或忽略的进程停止信号	停止
20	SIGTSTP	用户产生停止符(Ctrl+Z)	停止
21	SIGTTIN	后台进程读控制终端	停止
22	SIGTTOU	后台进程写控制终端	停止
23	SIGURG	紧急I/O未处理	忽略
24	SIGXCPU	进程资源超限	终止+转储

常用信号（续2）

编号	名称	说明	默认操作
25	SIGXFSZ	文件资源超限	终止+转储
26	SIGVTALRM	虚拟定时器到期	终止
27	SIGPROF	实用定时器到期	终止
28	SIGWINCH	控制终端窗口大小改变	忽略
29	SIGIO	异步I/O事件	终止
30	SIGPWR	断电	终止
31	SIGSYS	进程试图执行无效系统调用	终止+转储

知识讲解

- SIGSTKFLT(16)信号，Linux系统内核已不再产生，保留该信号仅为向下兼容
- SIGIO(29)信号，非Linux操纵系统的默认操作为忽略

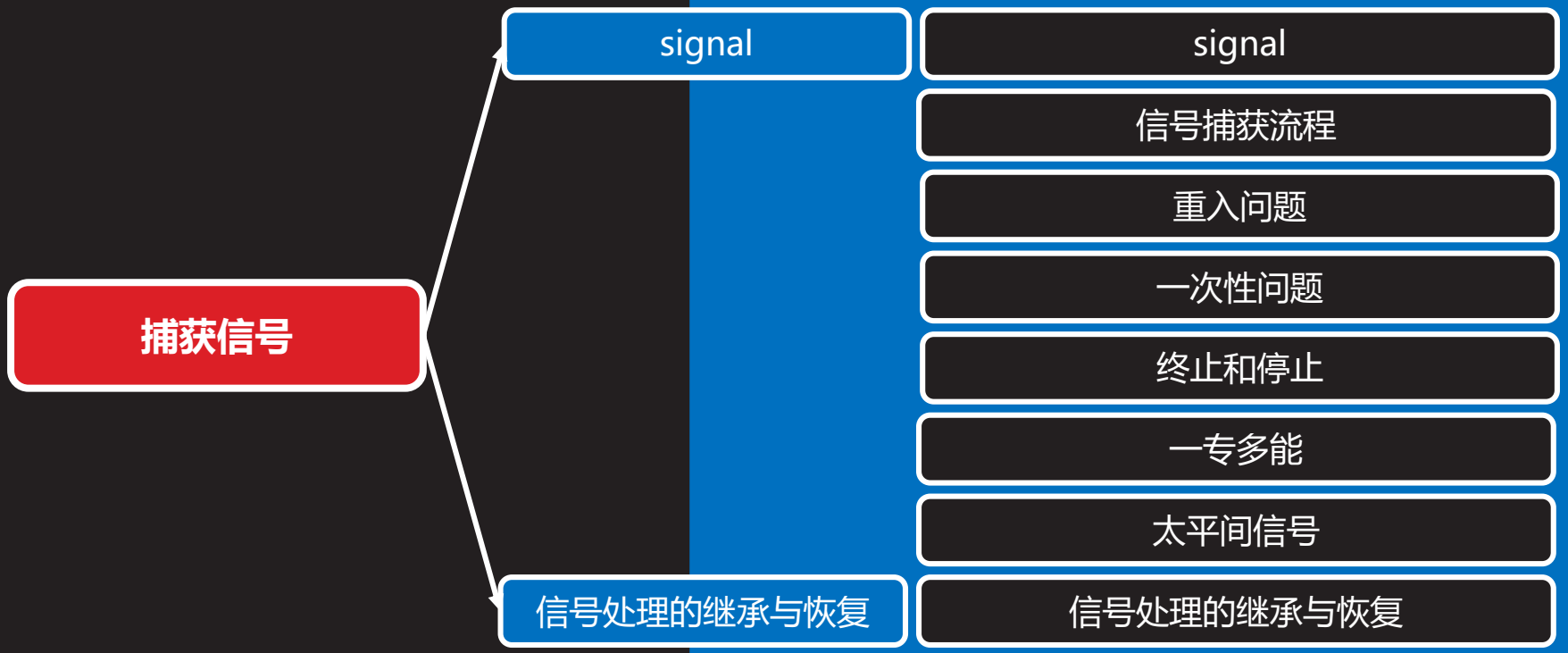
中断符和退出符

【参见：loop.c】

课堂练习

- 中断符和退出符

捕获信号


捕获信号
signal
signal
信号捕获流程
重入问题
一次性问题
终止和停止
一专多能
太平间信号
信号处理的继承与恢复
信号处理的继承与恢复

Technology Tarena 达内科技

signal

signal

- 设置针对特定信号的处理方式

```
#include <signal.h>

typedef void (*sighandler_t) (int);

sighandler_t signal (int signum, sighandler_t handler);
```

成功返回原信号处理方式，失败返回SIG_ERR

- ***signum***：信号编号
- ***handler***：信号处理方式，可取以下值

  SIG_IGN　　- 忽略信号
  SIG_DFL　　- 默认操作
  信号处理函数指针 - 捕获信号

signal（续1）

- 信号处理函数
  - void sighandler (int ***signum***) { 信号处理代码 }
  - ***signum***：信号编号
- 例如
  - void sigint (int signum) {
    printf ("%d进程：收到%d信号\n", getpid (), signum);
    }
  - int main (void) {
    if (signal (SIGINT, sigint) == SIG_ERR) {
    perror ("signal"); exit (EXIT_FAILURE); }
    ...
    return 0; }

知识讲解

捕获信号

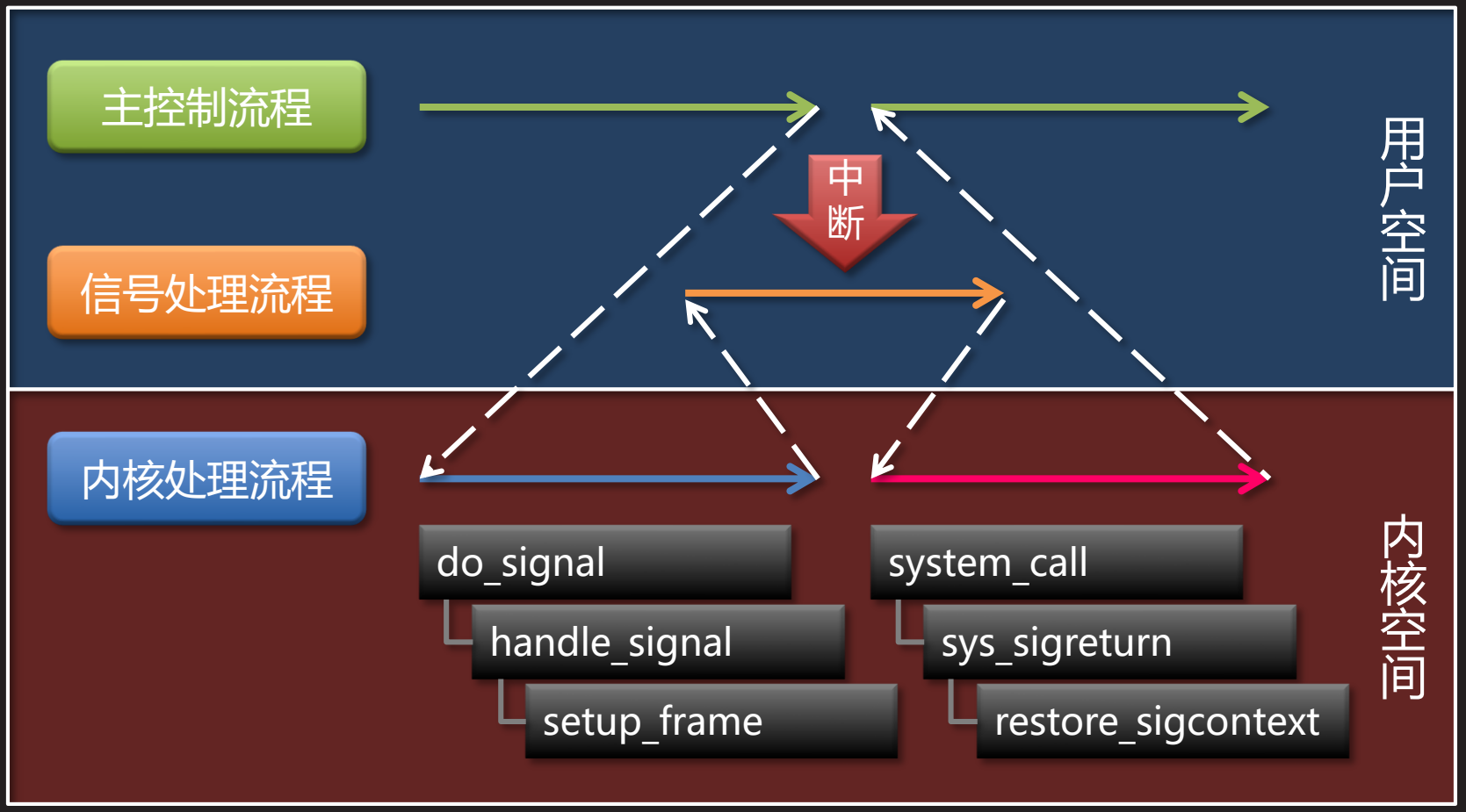
【参见：signal.c】

课堂练习

- 捕获信号

信号捕获流程

- 主控制流程、信号处理流程和内核处理流程



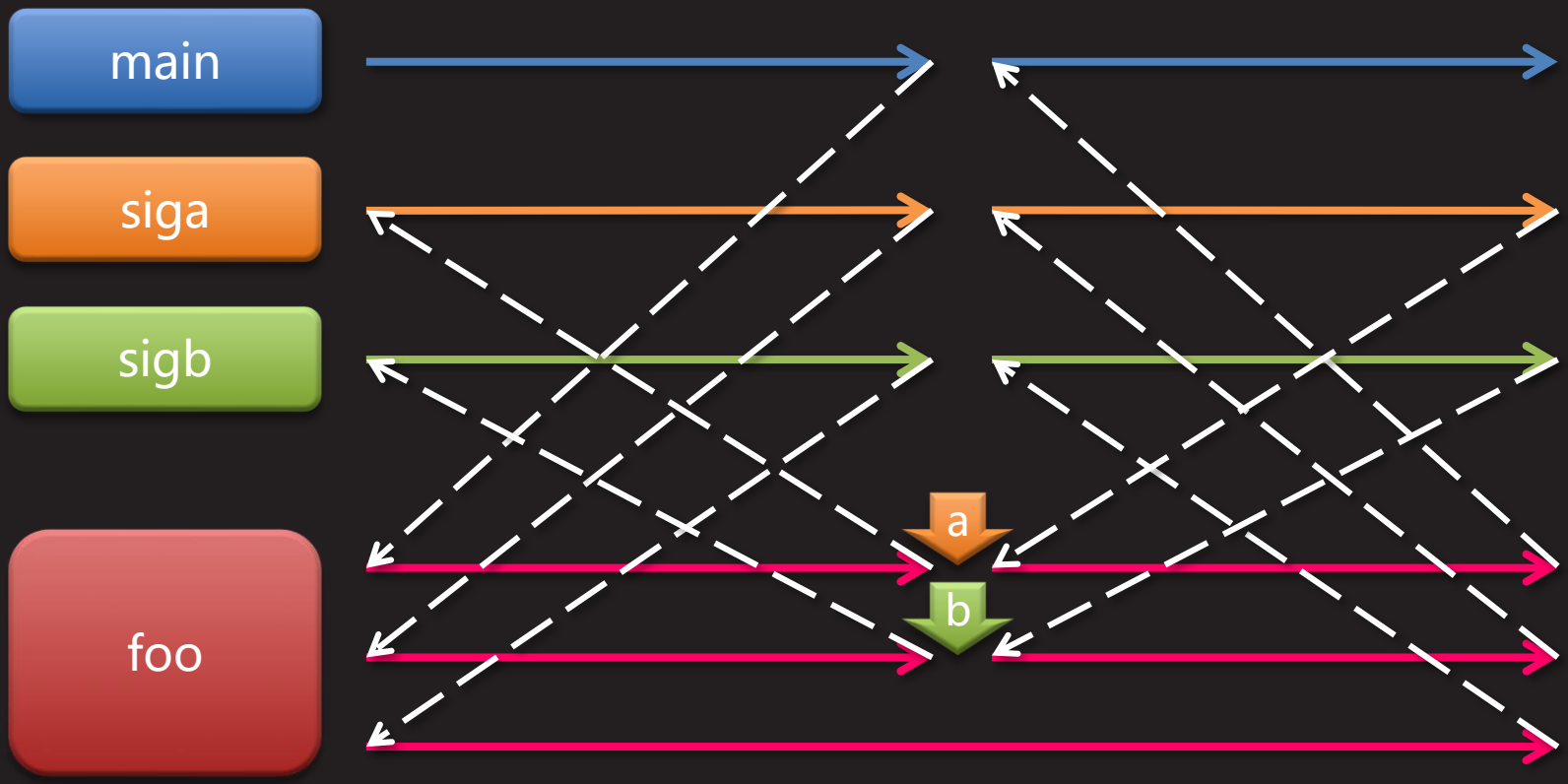
重入问题

- 参与信号处理的函数必须是可重入函数
  - 何为重入
    - 假设进程的主控制流程此刻正在调用foo函数 ……
    - 就在foo函数刚执行到一半的时候，内核向进程递送了信号a ……
    - 假设进程对信号a做了捕获，那么此时流程将转入信号a的处理函数siga，而siga函数在执行过程中也调用了foo函数 ……
    - 于是foo函数中的代码又被执行，刚执行到一半，内核又递送了信号b ……
    - 假设进程对信号b也做了捕获，并用sigb函数来处理，而在sigb函数中同样调用了foo函数 ……
    - 注意此时的foo函数已被重入3次，假设该函数中包含了对全局变量、静态变量、磁盘文件等共享型资源的访问，其结果将会如何？数据的一致性和安全性如何得到保证？

重入问题（续1）

- 参与信号处理的函数必须是可重入函数
  - 何为重入
    - 重入绝非多线程应用的专利，包含类似信号这样的异步操作的应用，即便是单线程的，同样会有重入问题

知识讲解



重入问题（续2）

- 参与信号处理的函数必须是可重入函数
  - 编写可重入函数
    - 编写参与信号处理的函数(比如前例中的foo函数)时必须要注意，不要对进程在中断时所做的事情做任何假设。尤其是在对全局变量、静态局部变量、磁盘文件这些带有共享特性的对象做写操作的时候，必须要谨慎。当然，如果能够不碰或者只读这些全局对象，那当然再好也没有
    - 可重入函数是指可以安全地调用自身(从信号处理中或从其它线程中)的函数。为了使函数可重入，函数绝不能操作静态数据，只访问在栈里分配的数据和调用者提供的数据，同时也不得调用任何不可重入的函数
  - 调用可重入函数
    - 在参与信号处理的函数中只调用那些在POSIX.1-2003和Unix信号规范中明确为信号安全的函数，不失为明智之举。例如：abort()、accept()、access()、bind()，等等

知识讲解

一次性问题

- 在某些Unix系统上，通过signal函数注册的信号处理函数只能一次性有效
  - 系统内核在每次调用信号处理函数之前，会先将对该信号的处理恢复为默认操作
  - 为了获得持久有效的信号处理，可以在信号处理函数中调用signal函数重新注册
  - void sigint (int signum) {

    ...

    signal (SIGINT, sigint); }
  - int main (void) {

    signal (SIGINT, sigint);

    ... }

知识讲解

终止和停止

- SIGKILL(9)和SIGSTOP(19)信号即不能被忽略，也不能被捕获，只能按缺省方式终止或停止接收到信号的进程
  - if (signal (SIGKILL, SIG_IGN) == SIG_ERR) {
    perror ("signal"); exit (EXIT_FAILURE); }
  - if (signal (SIGKILL, SIG_DFL) == SIG_ERR) {
    perror ("signal"); exit (EXIT_FAILURE); }
  - if (signal (SIGSTOP, sigstop) == SIG_ERR) {
    perror ("signal"); exit (EXIT_FAILURE); }
  - 以上三个对signal函数的调用都会失败，错误信息都是“Invalid argument (无效参数)”，这说明signal函数会检查传给它的第一个参数，如果是这两个消息则直接返回失败，并置errno为EINVAL

一专多能

- 信号处理函数带有一个信号编号参数***signum***是有意义的，这意味着可以让一个信号处理函数处理多个不同的信号
  - void sighandler (int signum) {
    switch (signum) {
    case SIGINT:
    处理SIGINT信号; break;
    case SIGQUIT:
    处理SIGQUIT信号; break;
    case ...
    }
    }
  - 但一般情况下，还是更倾向于为每个需要处理的信号定义专门的信号处理函数，毕竟这更符合分而治之的设计理念

太平间信号

- 如前所述，无论一个进程是正常终止还是异常终止，都会通过系统内核向其父进程发送SIGCHLD(17)信号。父进程完全可以在针对SIGCHLD(17)信号的信号处理函数中，异步地回收子进程的僵尸，简洁而又高效
  - void sigchld (int signum) {
    pid_t pid = wait (NULL);
    if (pid == -1) {
    perror ("wait");
    exit (EXIT_FAILURE); }
    printf ("%d子进程终止\n", pid);
    }
  - if (signal (SIGCHLD, sigchld) == SIG_ERR) {
    perror ("signal"); exit (EXIT_FAILURE); }

太平间信号（续1）

- 但这样处理存在一个潜在的风险，就是在sigchld信号处理函数执行过程中，又有多个子进程终止，由于SIGCHLD(17)信号不可靠，可能会丢失，形成漏网僵尸，因此有必要在一个循环过程中回收尽可能多的僵尸
  - void sigchld (int signum) {

```
    for (;;) {
        pid_t pid = wait (NULL);
        if (pid == -1) {
            if (errno != ECHILD) {
                perror ("wait"); exit (EXIT_FAILURE); }
            printf ("子进程都死光了\n"); break; }
        printf ("%d子进程终止\n", pid); }
}
```

知识讲解

太平间信号（续2）

- 但上面的代码同样存在问题，因为当所有的子进程都处于运行状态时wait函数会阻塞，这时sigchld信号处理函数就不会返回，被信号中断的操作也就无法继续。为此，可以考虑用具有非阻塞特性的waitpid函数取代wait函数
  - void sigchld (int signum) {
    for (;;) {
    pid_t pid = waitpid (-1, NULL, WNOHANG);
    if (pid == -1) {
    if (errno != ECHILD) {
    perror ("wait"); exit (EXIT_FAILURE); }
    printf ("子进程都死光了\n"); break; }
    if (! pid) break;
    printf ("%d子进程终止\n", pid); } }

Technology Tarena 达内科技

信号处理的继承与恢复

信号处理的继承与恢复

- fork/vfork函数创建的子进程会继承父进程的信号处理方式，直到子进程调用exec函数创建新进程替代其自身
- exec函数创建的新进程会将原进程中被设置为捕获的信号会还原为默认操作
  - 毕竟位于原进程地址空间中的信号处理函数，此时已经被新进程的地址空间完全取代了

知识讲解

信号处理的继承与恢复

【参见：fork.c、exec.c】

课堂练习

- 信号处理的继承与恢复

发送信号

键盘、错误与命令

键盘、错误与命令

- 由键盘触发的信号
  - SIGINT (2)：Ctrl+C，中断符
  - SIGQUIT (3)：Ctrl+\，退出符
  - SIGTSTP (20)：Ctrl+Z，停止符

知识讲解

键盘、错误与命令（续1）

- 由错误和异常引发的信号
  - SIGILL (4)：进程试图执行非法指令
  - SIGBUS (7)：硬件或对齐错误
  - SIGFPE (8)：算术异常
  - SIGSEGV (11)：无效内存访问
  - SIGPIPE (13)：向无读取进程的管道写入
  - SIGSTKFLT (16)：协处理器栈错误
  - SIGXFSZ (25)：文件资源超限
  - SIGPWR (30)：断电
  - SIGSYS (31)：进程试图执行无效系统调用

键盘、错误与命令（续2）

Technology Tarena 达内科技

- 用专门的系统命令发送信号

$ kill [-信号] PIDs

  - 若不指明具体信号，缺省发送SIGTERM(15)信号
    - 该信号允许用户优雅地终止进程。进程可以选择捕获该信号，并在临终之前完成必要的清理和善后工作。但如果捕获了该信号，却死赖着不走，则有流氓进程之嫌
  - 若要指明具体信号，可以使用信号编号，也可以使用信号名称，而且信号名称中的“SIG”前缀可以省略不写。例如
    - kill -9 1234
    - kill -SIGKILL 1234 5678
    - kill -KILL -1
  - 接收信号的进程可以是一个、多个或所有的(PIDs取-1)
  - 超级用户可以发给任何进程，而普通用户只能发给自己的进程

知识讲解

Technology Tarena 达内科技

调用函数发送信号

kill

- 向指定进程(组)发送信号

```
#include <signal.h>

int kill (pid_t pid, int signum);

                成功(至少发出去一个信号)返回0，失败返回-1
```

  - *pid*：可取以下值
    - <-1 - 向特定进程组(由-*pid*标识)的所有进程发送信号
    - -1 - 向系统中的所有进程发送信号
    - 0 - 向与调用进程同进程组的所有进程发送信号
    - > 0 - 向特定进程(由*pid*标识)发送信号
  - *signum*：信号编号，取0可用于检查*pid*进程是否存在，如不存在kill函数会返回-1，且errno为ESRCH

杀死进程

【参见：kill.c】

课堂练习

- 杀死进程

raise

- 向调用进程自己发送信号

```
#include <signal.h>

int raise (int signum);
```

成功返回0，失败返回非0

  - *signum*：信号编号
- raise函数实际上是给调用进程或者线程发送信号
  - 对于单线程应用来说，它相当于
    kill (getpid (), signum);
  - 对于多线程应用来说，它相当于
    pthread_kill (pthread_self (), signum);
- 若所发信号被捕获，raise函数会在信号处理函数返回后返回

知识讲解

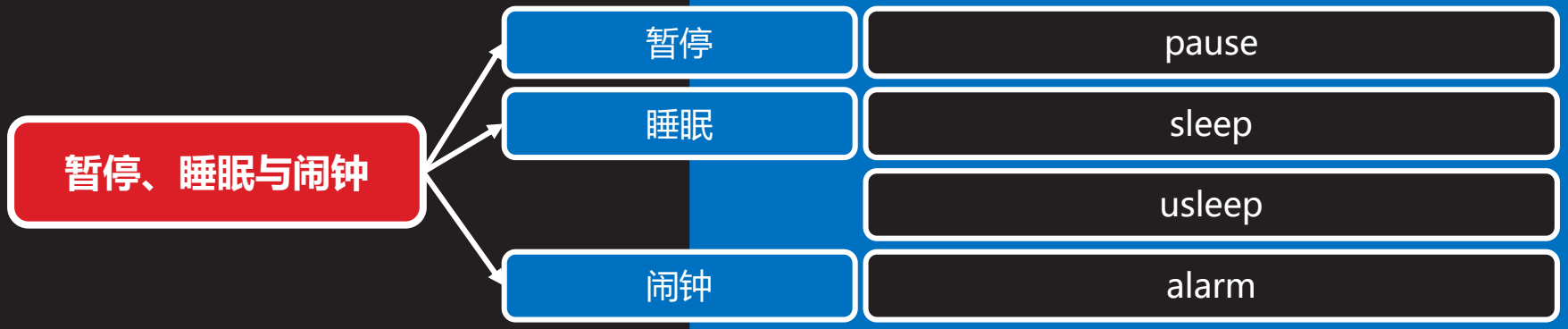
进程自杀

【参见：raise.c】

课堂练习

- 进程自杀

暂停、睡眠与闹钟



Technology Tarena 达内科技

暂停

pause

- 无限睡眠

```
#include <unistd.h>

int pause (void);
```

成功阻塞，失败返回-1

- 该函数使调用进(线)程进入无时限的睡眠状态，直到有信号终止了调用进程或被其捕获
- 如果有信号被调用进程捕获，在信号处理函数返回以后，pause函数才会返回，且返回值为-1，同时置errno为EINTR，表示阻塞的系统调用被信号中断
- pause函数要么不返回，要么返回失败，不会返回成功

知识讲解

暂停

【参见：pause.c】

课堂练习

- 暂停

Technology Tarena 达内科技

睡眠

sleep

- 有限睡眠

```
#include <unistd.h>

unsigned int sleep (unsigned int seconds);

                                    返回0或剩余秒数
```

  - ***seconds***：以秒为单位的睡眠时限
- 该函数使调用进(线)程睡眠***seconds***秒，除非有信号终止了调用进程或被其捕获
- 如果有信号被调用进程捕获，在信号处理函数返回以后，sleep函数才会返回，且返回值为剩余的秒数，否则该函数将返回0，表示睡眠充足

睡眠

【参见：sleep.c】

课堂练习

- 睡眠

usleep

- 更精确的有限睡眠

```
#include <unistd.h>

int usleep (useconds_t usec);
```

成功返回0，失败返回-1

  - ***usec***：以微秒(1微秒=10^{-6}秒)为单位的睡眠时限，必须小于1000000(即1秒)

- 该函数使调用进(线)程睡眠***usec***微秒，除非有信号终止了调用进程或被其捕获
- 如果有信号被调用进程捕获，在信号处理函数返回以后，usleep函数才会返回，且返回值为-1，同时置errno为EINTR，表示阻塞的系统调用被信号中断

知识讲解

Technology Tarena 达内科技

闹钟

alarm

- 设置闹钟

```
#include <unistd.h>

unsigned int alarm (unsigned int seconds);

                                返回0或先前所设闹钟的剩余秒数
```

  - ***seconds***：以秒为单位的闹钟时间
- alarm函数使系统内核在该函数被调用以后***seconds***秒的时候，向调用进程发送SIGALRM(14)信号
- 若在调用该函数前已设过闹钟且尚未到期，则该函数会重设闹钟，并返回先前所设闹钟的剩余秒数，否则返回0
- 若***seconds***取0，则表示取消先前设过且尚未到期的闹钟

知识讲解

alarm（续1）

- 例如
  - void sigalrm (int signum) {
    time_t t = time (NULL);
    struct tm* lt = localtime (&t);
    printf ("\r%02d:%02d:%02d",
    lt->tm_hour, lt->tm_min, lt->tm_sec);
    alarm (1); }
  - if (signal (SIGALRM, sigalrm) == SIG_ERR) {
    perror ("signal"); return -1; }
    sigalrm (SIGALRM);
- 注意，通过alarm函数所设置的闹钟只是一次性的，若要获得周期性的效果，可在SIGALRM信号处理函数中再次设定

电子时钟

【参见：alarm.c、clock.c】

课堂练习

- 电子时钟

Technology Tarena 达内科技

总结和答疑