哈爾濱工業大學

实验报告

实 验（七）

题　　目	TinyShell 微壳
专　　业	计算机专业
学　　号	1190200501
班　　级	1903002
学　　生	林燕燕
指 导 教 师	郑贵滨
实 验 地 点	G709
实 验 日 期	2021.06.04

计算机科学与技术学院

目 录

第 1 章 实验基本信息

1.1 实验目的

- 理解现代计算机系统进程与并发的基本知识
- 掌握 linux 异常控制流和信号机制的基本原理和相关系统函数
- 掌握 shell 的基本原理和实现方法
- 深入理解 Linux 信号响应可能导致的并发冲突及解决方法
- 培养 Linux 下的软件系统开发与测试能力

1.2 实验环境与工具

1.2.1 硬件环境

X64 CPU；1.6GHz；8G RAM；256G SSD Disk；1T HDD Disk

1.2.2 软件环境

Windows10 64 位；Vmware 14pro；Ubuntu 20.04.2 LTS 64 位

1.2.3 开发工具

Visual Studio Code 64 位；vim/gpedit+gcc

1.3 实验预习

- Kill 命令

  kill –l：列出信号

  kill –SIGKILL 17130： 杀死 pid 为 17130 的进程

  kill -9 17130 ：杀死 pid 为 17130 的进程，或者：

  kill -9 -17130：杀死进程组 17130 中的每个进程

  killall -9 pname： 杀死名字为 pname 的进程

- 进程状态

D 不可中断睡眠 (通常是在 IO 操作) 收到信号不唤醒和不可运行, 进程必须等待直到有中断发生

R 正在运行或可运行（在运行队列排队中）

S 可中断睡眠 (休眠中, 受阻, 在等待某个条件的形成或接受到信号)

T 已停止的 进程收到 SIGSTOP, SIGTSTP, SIGTTIN, SIGTTOU 信号后停止运行

W 正在换页(2.6.内核之前有效)

X 死进程 (未开启)

Z 僵尸进程 a defunct (”zombie”) process

< 高优先级(not nice to other users)

N 低优先级(nice to other users)

L 页面锁定在内存（实时和定制的 IO）

s 一个信息头

l 多线程（使用 CLONE_THREAD，像 NPTL 的 pthreads 的那样）

+ 在前台进程组

- ps t /ps aux /ps

t <终端机编号 n> 列终端 n 的程序的状况。

a 显示现行终端机下的所有程序，包括其他用户的程序。

u 以用户为主的格式来显示程序状况。

x 显示所有程序，不以终端来区分。

- 作业 ：jobs、 fg %n 、 bg%n

jobs 显示当前暂停的进程

bg %n 使第 n 个任务在后台运行(%前有空格)

fg %n 使第 n 个任务在前台运行

bg, fg 不带%n 表示对最后一个进程操作

ctrl+c: 终止前台作业(进程组的每个进程)

ctrl+z: 停止前台作业(进程组的每个进程)，随后可用 bg 恢复后台运行， fg 恢复前台运行。

第 2 章 实验预习

总分 20 分

2.1 进程的概念、创建和回收方法（5 分）

1. 概念：

是程序的依次运行过程，是具有独立功能的一个程序关于某个数据集合的依次运行活动，进而进程具有动态含义。同一个程序处理不同的数据就是不同的进程。

2. 创建方法：

父进程通过调用 fork 函数创建一个新的运行的子进程，子进程中，fork 返回 0；父进程中，返回子进程的 PID；新创建的子进程几乎但不完全与父进程相同，子进程得到与父进程虚拟地址空间相同的但是独立的一份副本，子进程获得与父进程任何打开文件描述符相同的副本，最大区别是子进程有不同于父进程的 PID。

3. 回收进程：

当进程终止时，它仍然消耗系统资源，被称为“僵尸 zombie”进程。父进程通过 wait 函数回收子进程，挂起当前进程的执行直到它的一个子进程终止，返回已终止子进程的 PID。

2.2 信号的机制、种类（5 分）

1. 信号的机制：

信号通知进程系统中发生了异步事件

发送信号：内核通过更新目的进程上下文中的某个状态，发送一个信号给目的进程；

接受信号：当目的进程被内核强迫以某种方式对信号的发送做出反应时，它就接收了信号。

发送信号的原因：内核检测到一个系统事件如除零错误(SIGFPE)或者子进程终止(SIGCHLD) ；一个进程调用了 kill 系统调用，显式地请求内核发送一个信号到目的进程反应的方式：

忽略这个信号(do nothing)；终止进程(with optional core dump)；通过执行一个称为信号处理程序（signal handler）的用户层函数捕获这个信号

2. 信号种类：

编号	名称	缺省动作	说明
1	SIGHUP	终止	终止控制终端或进程
2	SIGINT	终止	键盘产生的中断(Ctrl-C)
3	SIGQUIT	终止	键盘产生的退出
4	SIGILL	终止	非法指令
5	SIGTRAP	终止并转储内存	debug 中断
6	SIGABRT	终止并转储内存	异常中止
7	SIGBUS	终止	总线异常/EMT 指令
8	SIGFPE	终止并转储内存	浮点运算溢出
9	SIGKILL	终止	强制进程终止
10	SIGUSR1	终止	用户信号,进程可自定义用途
11	SIGSEGV	终止并转储内存	非法内存地址引用
12	SIGUSR2	终止	用户信号，进程可自定义用途
13	SIGPIPE	终止	向某个没有读取的管道中写入数据
14	SIGALRM	终止	时钟中断(闹钟)
15	SIGTERM	终止	进程终止
16	SIGSTKFLT	终止	协处理器栈错误
17	SIGCHLD	忽略	子进程退出或中断
18	SIGCONT	忽略	如进程停止状态则开始运行
19	SIGSTOP	停止直到下一个SIGCONT	停止进程运行
20	SIGSTP	停止直到下一个SIGCONT	键盘产生的停止

21	SIGTTIN	停止直到下一个 SIGCONT	后台进程请求输入
22	SIGTTOU	停止直到下一个 SIGCONT	后台进程请求输出
23	SIGURG	忽略	socket 发生紧急情况
24	SIGXCPU	终止	CPU 时间限制被打破
25	SIGXFSZ	终止	文件大小限制被打破
26	SIGVTALRM	终止	虚拟定时时钟
27	SIGPROF	终止	profile timer clock
28	SIGWINCH	忽略	窗口尺寸调整
29	SIGIO	终止	I/O 可用
30	SIGPWR	终止	电源异常

2.3 信号的发送方法、阻塞方法、处理程序的设置方法（5 分）

1. 发送信号

内核通过更新目的进程上下文中的某个状态，发送（递送）一个信号给目的进程.

发送方法：

(1)用/bin/kill 程序可以向另外的进程或进程组发送任意的信号

(2)从键盘发送信号输入 ctrl-c (ctrl-z) 会导致内核发送一个 SIGINT (SIGTSTP)信号到前台进程组中的每个作业

(3)发送信号的函数主要有 kill(),raise(),alarm(),pause()

2. 阻塞信号

隐式阻塞机制 ：内核默认阻塞与当前正在处理信号类型相同的待处理信号 如： 一个 SIGINT 信号处理程序不能被另一个 SIGINT 信号中断 （此时另一个 SIGINT 信号被阻塞）

显示阻塞和解除阻塞机制 ：sigprocmask 函数及其辅助函数可以明确地阻塞/解除阻塞

3. 设置信号处理程序

可以使用 signal 函数修改和信号 signum 相关联的默认行为: handler_t *signal(int signum, handler_t *handler)

2.4 什么是 shell，功能和处理流程（5 分）

1 定义：

shell 是一个交互型应用级程序，代表用户运行其他程序。是系统的用户界面，提供了用户与内核进行交互操作的一种接口。它接收用户输入的命令并把它送入内核去执行。

2.功能：

其实 shell 也是一支程序，它由输入设备读取命令，再将其转为计算机可以了解的机械码，然后执行它。各种操作系统都有它自己的 shell，以 DOS 为例，它的 shell 就是 command.com 文件。如同 DOS 下有 NDOS，4DOS，DRDOS 等不同的命令解译程序可以取代标准的 command.com ，UNIX 下除了 Bourne shell（/bin/sh） 外还有 C shell（/bin/csh）、Korn shell（/bin/ksh）、Bourne again shell（/bin/bash）、Tenex C shell（tcsh）等其它的 shell。UNIX/linux 将 shell 独立于核心程序之外， 使得它就如同一般的应用程序， 可以在不影响操作系统本身的情况下进行修改、更新版本或是添加新的功能。

Shell 是一个命令解释器，它解释由用户输入的命令并且把它们送到内核。不仅如此，Shell 有自己的编程语言用于对命令的编辑，它允许用户编写由 shell 命令组成的程序。Shell 编程语言具有普通编程语言的很多特点，比如它也有循环结构和分支控制结构等，用这种编程语言编写的 Shell 程序与其他应用程序具有同样的效果

3.处理流程：

shell 首先检查命令是否是内部命令，若不是再检查是否是一个应用程序（这里的应用程序可以是 Linux 本身的实用程序，如 ls 和 rm，也可以是购买的商业程序，如 xv，或者是自由软件，如 emacs）。然后 shell 在搜索路径里寻找这些应用程序（搜索路径就是一个能找到可执行程序的目录列表）。如果键入的命令不是一个内部命令并且在路径里没有找到这个可执行文件，将会显示一条错误信息。如果能够成功找到命令，该内部命令或应用程序将被分解为系统调用并传给 Linux 内核。

第 3 章 TinyShell 的设计与实现

总分 45 分

3.1 设计

3.1.1 void eval(char *cmdline)函数（10 分）

函数功能：解析和解释命令行的主例程。

参　　数：char *cmdline

处理流程：

1. 定义 argv[MAXARGS]，bg，pid，mask 这些变量。
2. 调用 parseline()函数解析命令参数。
3. eval 调用 builtin_cmd()函数，判断命令行是否是内置命令
   a) 如果是内置命令，则在 builtin_cmd()函数处理；
   b) 如果不是内置命令，则：
      i. 将 SIGCHLD , SIGINT ,SIGTSTP 信号加入阻塞集合。
      ii. 创建一个新的进程
      iii. 将子进程添加到 jobs 里，接触阻塞信号。若该命令是前台进程，调用 waitfg 函数；若是后台进程，打印当前进程信息
      iv. 在子进程中解除阻塞信号，获取新的组 ID，调用 execve。

要点分析：

1. 所有的子进程必须有自己的唯一进程组 ID，否则我们在键盘上输入 ctrl-c(ctrl-z)时，后台的子进程就会从内核接收 SIGINGT(SIGTSTP)，为了避免这种错误，所以每个子进程必须有唯一的进程组 ID。

2. 不是内置命令时需要设置阻塞信号，让信号可以被发送但不会被接收，这样就能够避免把不存在的子进程添加到了作业列表中。

3.1.2 int builtin_cmd(char **argv)函数（5 分）

函数功能：识别并解释内置命令: quit, fg, bg, 和 jobs.

参　　数：char **argv

处理流程：

1. 构建函数判断传入的参数数组 argv 中的实参 argv[0]是否为内置命令，只需要比较实参与内置命令即可。

2. 如果为 quit 命令，调用 exit
3. 如果为 jobs 命令，调用 listjobs
4. 如果为 bg 或 fg 命令，调用 do_ bgfg
5. 如果不是内置命令返回 0。

要点分析：

如果是内置命令，在执行完成后要 return 1，返回输入的命令是内置命令。

3.1.3 void do_bgfg(char **argv) 函数（5 分）

函数功能：实现内置命令 bg 和 fg.

参　　数：char **argv

处理流程：

1. 判断 bg 或 fg 后面是否有参数，如果没有参数，忽略命令，返回。
2. 判断 bg 或 fg 后面第一位是数字还是%
   a) 若是数字，则说明可能是 PID，查找对应 jobID，查找失败则返回；
   b) 若是%，则可能是 jobID，查找 joblist 中是否有当前 jobID，查找失败则返回；
   c) 若都不是，则返回；
3. 判断命令是 bg 还是 fg
   a) 若是 bg，则执行 kill 发送 SIGCONT 给进程，并且将 job 状态设为 BG；
   b) 若是 fg，则执行 kill 发送 SIGCONT 给进程，并将 job 状态设为 FG，然后调用 waitfg 等待前台进程结束；

要点分析：

获取进程号 PID 或者工作组号 JID 的方式是通过判断 fg 和 bg 后面是数字还是%后面加数字的形式，然后根据进程号或工作组号来获取结构体 job，分别在前台和后台执行相关操作。

3.1.4 void waitfg(pid_t pid) 函数（5 分）

函数功能：等待一个前台作业结束.

参　　数：pid_t pid

处理流程：

进行 while 循环，每次循环调用 sleep 函数，while 的终止条件是前台程序的

PID 不再是 pid

要点分析：调用 fgpid 函数获取前台进程的 PID

3.1.5 void sigchld_handler(int sig) 函数（10 分）

函数功能：捕获 SIGCHILD 信号.

参　　数：int sig

处理流程：

1. 设置 ermo 并处理所有执行程序和中已经停止或终止的子进程；
2. 如果子进程通过调用 exit 或者一个返回正常终止，则阻塞信号，删除 job，恢复信号。
3. 如果该子进程当前已停止，向屏幕打印信息。
4. 如果该子进程是因为一个未被捕获的信号终止的，则向屏幕打印信息，阻塞信号，删除 job，恢复信号。
5. 恢复 ermo

要点分析：

由于 deletejob()函数会对全局变量 jobs 的值进行更改，所以需要在 deletejob 之前阻塞信号。

3.2 程序实现（tsh.c 的全部内容）（10 分）

重点检查代码风格：

（1）用较好的代码注释说明——5 分

（2）检查每个系统调用的返回值——5 分

```
/*
 * tsh - A tiny shell program with job control
 *
 * <Put your name and login ID here>
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <ctype.h>
#include <signal.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
#include <errno.h>
```

```c
/* Misc manifest constants */
#define MAXLINE    1024   /* max line size */
#define MAXARGS     128   /* max args on a command line */
#define MAXJOBS      16   /* max jobs at any point in time */
#define MAXJID    1<<16   /* max job ID */

/* Job states */
#define UNDEF 0 /* undefined */
#define FG 1    /* running in foreground */
#define BG 2    /* running in background */
#define ST 3    /* stopped */

/*
 * Jobs states: FG (foreground), BG (background), ST (stopped)
 * Job state transitions and enabling actions:
 *     FG -> ST  : ctrl-z
 *     ST -> FG  : fg command
 *     ST -> BG  : bg command
 *     BG -> FG  : fg command
 * At most 1 job can be in the FG state.
 */

/* Global variables */
extern char **environ;      /* defined in libc */
char prompt[] = "tsh> ";    /* command line prompt (DO NOT CHANGE) */
int verbose = 0;            /* if true, print additional output */
int nextjid = 1;            /* next job ID to allocate */
char sbuf[MAXLINE];         /* for composing sprintf messages */

struct job_t {              /* The job struct */
    pid_t pid;              /* job PID */
    int jid;                /* job ID [1, 2, ...] */
    int state;              /* UNDEF, BG, FG, or ST */
    char cmdline[MAXLINE];  /* command line */
};
struct job_t jobs[MAXJOBS]; /* The job list */
/* End global variables */


/* Function prototypes */

/* Here are the functions that you will implement */
void eval(char *cmdline);
int builtin_cmd(char **argv);
void do_bgfg(char **argv);
```

```
void waitfg(pid_t pid);

void sigchld_handler(int sig);
void sigtstp_handler(int sig);
void sigint_handler(int sig);

/* Here are helper routines that we've provided for you */
int parseline(const char *cmdline, char **argv);
void sigquit_handler(int sig);

void clearjob(struct job_t *job);
void initjobs(struct job_t *jobs);
int maxjid(struct job_t *jobs);
int addjob(struct job_t *jobs, pid_t pid, int state, char *cmdline);
int deletejob(struct job_t *jobs, pid_t pid);
pid_t fgpid(struct job_t *jobs);
struct job_t *getjobpid(struct job_t *jobs, pid_t pid);
struct job_t *getjobjid(struct job_t *jobs, int jid);
int pid2jid(pid_t pid);
void listjobs(struct job_t *jobs);

void usage(void);
void unix_error(char *msg);
void app_error(char *msg);
typedef void handler_t(int);
handler_t *Signal(int signum, handler_t *handler);

/*
 * main - The shell's main routine
 */
int main(int argc, char **argv)
{
    char c;
    char cmdline[MAXLINE];
    int emit_prompt = 1; /* emit prompt (default) */

    /* Redirect stderr to stdout (so that driver will get all output
     * on the pipe connected to stdout) */
    dup2(1, 2);

    /* Parse the command line */
    while ((c = getopt(argc, argv, "hvp")) != EOF) {
        switch (c) {
        case 'h':             /* print help message */
            usage();
```

```
        break;
        case 'v':             /* emit additional diagnostic info */
            verbose = 1;
        break;
        case 'p':             /* don't print a prompt */
            emit_prompt = 0;  /* handy for automatic testing */
        break;
    default:
            usage();
    }
    }

    /* Install the signal handlers */

    /* These are the ones you will need to implement */
    Signal(SIGINT,  sigint_handler);   /* ctrl-c */
    Signal(SIGTSTP, sigtstp_handler);  /* ctrl-z */
    Signal(SIGCHLD, sigchld_handler);  /* Terminated or stopped child */

    /* This one provides a clean way to kill the shell */
    Signal(SIGQUIT, sigquit_handler);

    /* Initialize the job list */
    initjobs(jobs);

    /* Execute the shell's read/eval loop */
    while (1) {

    /* Read command line */
    if (emit_prompt) {
        printf("%s", prompt);
        fflush(stdout);
    }
    if ((fgets(cmdline, MAXLINE, stdin) == NULL) && ferror(stdin))
        app_error("fgets error");
    if (feof(stdin)) { /* End of file (ctrl-d) */
        fflush(stdout);
        exit(0);
    }

    /* Evaluate the command line */
    eval(cmdline);
    fflush(stdout);
    fflush(stdout);
    }
```

```
    exit(0); /* control never reaches here */
}

/*
 * eval - Evaluate the command line that the user has just typed in
 *
 * If the user has requested a built-in command (quit, jobs, bg or fg)
 * then execute it immediately. Otherwise, fork a child process and
 * run the job in the context of the child. If the job is running in
 * the foreground, wait for it to terminate and then return.  Note:
 * each child process must have a unique process group ID so that our
 * background children don't receive SIGINT (SIGTSTP) from the kernel
 * when we type ctrl-c (ctrl-z) at the keyboard.
*/
void eval(char *cmdline)
{
    /* $begin handout */
    char *argv[MAXARGS]; /* argv for execve() */
    int bg;              /* should the job run in bg or fg? */
    pid_t pid;           /* process id */
    sigset_t mask;       /* signal mask */

    /* Parse command line */
    bg = parseline(cmdline, argv);
    if (argv[0] == NULL)
    return;   /* ignore empty lines */

    if (!builtin_cmd(argv)) {

        /*
     * This is a little tricky. Block SIGCHLD, SIGINT, and SIGTSTP
     * signals until we can add the job to the job list. This
     * eliminates some nasty races between adding a job to the job
     * list and the arrival of SIGCHLD, SIGINT, and SIGTSTP signals.
     */

    if (sigemptyset(&mask) < 0)
        unix_error("sigemptyset error");
    if (sigaddset(&mask, SIGCHLD))
        unix_error("sigaddset error");
    if (sigaddset(&mask, SIGINT))
        unix_error("sigaddset error");
    if (sigaddset(&mask, SIGTSTP))
        unix_error("sigaddset error");
```

```
    if (sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, NULL) < 0)
        unix_error("sigprocmask error");

    /* Create a child process */
    if ((pid = fork()) < 0)
        unix_error("fork error");

    /*
     * Child  process
     */

    if (pid == 0) {
        /* Child unblocks signals */
        sigprocmask(SIG_UNBLOCK, &mask, NULL);

        /* Each new job must get a new process group ID
           so that the kernel doesn't send ctrl-c and ctrl-z
           signals to all of the shell's jobs */
        if (setpgid(0, 0) < 0)
        unix_error("setpgid error");

        /* Now load and run the program in the new job */
        if (execve(argv[0], argv, environ) < 0) {
        printf("%s: Command not found\n", argv[0]);
        exit(0);
        }
    }

    /*
     * Parent process
     */

    /* Parent adds the job, and then unblocks signals so that
       the signals handlers can run again */
    addjob(jobs, pid, (bg == 1 ? BG : FG), cmdline);
    sigprocmask(SIG_UNBLOCK, &mask, NULL);

    if (!bg)
        waitfg(pid);
    else
        printf("[%d] (%d) %s", pid2jid(pid), pid, cmdline);
    }
    /* $end handout */
    return;
}
```

```
/*
 * parseline - Parse the command line and build the argv array.
 *
 * Characters enclosed in single quotes are treated as a single
 * argument.  Return true if the user has requested a BG job, false if
 * the user has requested a FG job.
 */
int parseline(const char *cmdline, char **argv)
{
    static char array[MAXLINE]; /* holds local copy of command line */
    char *buf = array;          /* ptr that traverses command line */
    char *delim;                /* points to first space delimiter */
    int argc;                   /* number of args */
    int bg;                     /* background job? */

    strcpy(buf, cmdline);
    buf[strlen(buf)-1] = ' ';  /* replace trailing '\n' with space */
    while (*buf && (*buf == ' ')) /* ignore leading spaces */
    buf++;

    /* Build the argv list */
    argc = 0;
    if (*buf == '\'') {
    buf++;
    delim = strchr(buf, '\'');
    }
    else {
    delim = strchr(buf, ' ');
    }

    while (delim) {
    argv[argc++] = buf;
    *delim = '\0';
    buf = delim + 1;
    while (*buf && (*buf == ' ')) /* ignore spaces */
           buf++;

    if (*buf == '\'') {
        buf++;
        delim = strchr(buf, '\'');
    }
    else {
        delim = strchr(buf, ' ');
    }
```

```
    }
    argv[argc] = NULL;

    if (argc == 0)  /* ignore blank line */
    return 1;

    /* should the job run in the background? */
    if ((bg = (*argv[argc-1] == '&')) != 0) {
    argv[--argc] = NULL;
    }
    return bg;
}

/*
 * builtin_cmd - If the user has typed a built-in command then execute
 *    it immediately.
 */
int builtin_cmd(char **argv)
{
    /*command is "quit" ,exit */
    if (!strcmp(argv[0], "quit")){
        exit(0);
    }
    /*command is "jobs" ,listjobs*/
    else if (!strcmp(argv[0], "jobs")){
        listjobs(jobs);
        return 1;
    }
    /*command is "fg" or "bg", do_bgfg */
    else if (!strcmp(argv[0], "bg") || !strcmp(argv[0], "fg")){
        do_bgfg(argv);
        return 1;
    }
    return 0;     /* not a builtin command */
}

/*
 * do_bgfg - Execute the builtin bg and fg commands
 */
void do_bgfg(char **argv)
{
    /* $begin handout */
    struct job_t *jobp=NULL;

    /* Ignore command if no argument */
```

```
    if (argv[1] == NULL) {
    printf("%s command requires PID or %%jobid argument\n", argv[0]);
    return;
    }

    /* Parse the required PID or %JID arg */
    if (isdigit(argv[1][0])) {
    pid_t pid = atoi(argv[1]);
    if (!(jobp = getjobpid(jobs, pid))) {
        printf("(%d): No such process\n", pid);
        return;
    }
    }
    else if (argv[1][0] == '%') {
    int jid = atoi(&argv[1][1]);
    if (!(jobp = getjobjid(jobs, jid))) {
        printf("%s: No such job\n", argv[1]);
        return;
    }
    }
    else {
    printf("%s: argument must be a PID or %%jobid\n", argv[0]);
    return;
    }

    /* bg command */
    if (!strcmp(argv[0], "bg")) {
    if (kill(-(jobp->pid), SIGCONT) < 0)
        unix_error("kill (bg) error");
    jobp->state = BG;
    printf("[%d] (%d) %s", jobp->jid, jobp->pid, jobp->cmdline);
    }

    /* fg command */
    else if (!strcmp(argv[0], "fg")) {
    if (kill(-(jobp->pid), SIGCONT) < 0)
        unix_error("kill (fg) error");
    jobp->state = FG;
    waitfg(jobp->pid);
    }
    else {
    printf("do_bgfg: Internal error\n");
    exit(0);
    }
    /* $end handout */
```

```
    return;
}

/*
 * waitfg - Block until process pid is no longer the foreground process
 */
void waitfg(pid_t pid)
{
    while (fgpid(jobs) == pid){
        sleep(1);
    }
    return;
}

/*****************
 * Signal handlers
 *****************/

/*
 * sigchld_handler - The kernel sends a SIGCHLD to the shell whenever
 *     a child job terminates (becomes a zombie), or stops because it
 *     received a SIGSTOP or SIGTSTP signal. The handler reaps all
 *     available zombie children, but doesn't wait for any other
 *     currently running children to terminate.
 */
void sigchld_handler(int sig)
{
    sigset_t mask, prev_mask;
    int olderrno = errno;
    int status;
    pid_t pid;
    sigfillset(&mask);
    while((pid = waitpid(-1, &status, WNOHANG | WUNTRACED)) > 0){
        if (WIFEXITED(status)){
            sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, &prev_mask);   //block all sign
als
            deletejob(jobs, pid);           //delete from joblist
            sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_mask, NULL);   //unbock
        }
        else if (WIFSTOPPED(status)){
            struct job_t *job = getjobpid(jobs, pid);
            job->state = ST;
            printf("Job [%d] (%d) stopped by signal %d\n", job->jid, job-
>pid, WSTOPSIG(status));
        }
```

```
        else if (WIFSIGNALED(status)){
            struct job_t *job = getjobpid(jobs, pid);
            printf("Job [%d] (%d) terminated by signal %d\n", job->jid, j
ob->pid, WTERMSIG(status));
            sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, &prev_mask);
            deletejob(jobs, pid);
            sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_mask, NULL);
        }
    }
    errno = olderrno;
    return;
}

/*
 * sigint_handler - The kernel sends a SIGINT to the shell whenver the
 *    user types ctrl-c at the keyboard.  Catch it and send it along
 *    to the foreground job.
 */
void sigint_handler(int sig)
{
    int olderrno = errno;
    pid_t pid = fgpid(jobs);
    sigset_t mask, prev_mask;
    sigfillset(&mask);
    sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, &prev_mask);
    sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_mask, NULL);
    if(pid != 0){
        kill(-pid,SIGINT);  //sent SIGINT
    }
    errno = olderrno;
    return;
}
/*
 * sigtstp_handler - The kernel sends a SIGTSTP to the shell whenever
 *     the user types ctrl-z at the keyboard. Catch it and suspend the
 *     foreground job by sending it a SIGTSTP.
 */
void sigtstp_handler(int sig)
{
    int olderrno = errno;
    pid_t pid = fgpid(jobs);
    sigset_t mask, prev_mask;
    sigfillset(&mask);
    sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, &prev_mask);
    sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_mask, NULL);
```

```
    if (pid != 0){
        kill(-pid, SIGTSTP); //sent SIGINT
    }
    errno = olderrno;
    return;
}

/*********************
 * End signal handlers
 *********************/

/***********************************************
 * Helper routines that manipulate the job list
 **********************************************/

/* clearjob - Clear the entries in a job struct */
void clearjob(struct job_t *job) {
    job->pid = 0;
    job->jid = 0;
    job->state = UNDEF;
    job->cmdline[0] = '\0';
}

/* initjobs - Initialize the job list */
void initjobs(struct job_t *jobs) {
    int i;

    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++)
    clearjob(&jobs[i]);
}

/* maxjid - Returns largest allocated job ID */
int maxjid(struct job_t *jobs)
{
    int i, max=0;

    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++)
    if (jobs[i].jid > max)
        max = jobs[i].jid;
    return max;
}

/* addjob - Add a job to the job list */
int addjob(struct job_t *jobs, pid_t pid, int state, char *cmdline)
{
```

```
    int i;

    if (pid < 1)
    return 0;

    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++) {
    if (jobs[i].pid == 0) {
        jobs[i].pid = pid;
        jobs[i].state = state;
        jobs[i].jid = nextjid++;
        if (nextjid > MAXJOBS)
        nextjid = 1;
        strcpy(jobs[i].cmdline, cmdline);
        if(verbose){
            printf("Added job [%d] %d %s\n", jobs[i].jid, jobs[i].pid, jo
bs[i].cmdline);
            }
            return 1;
    }
    }
    printf("Tried to create too many jobs\n");
    return 0;
}

/* deletejob - Delete a job whose PID=pid from the job list */
int deletejob(struct job_t *jobs, pid_t pid)
{
    int i;

    if (pid < 1)
    return 0;

    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++) {
    if (jobs[i].pid == pid) {
        clearjob(&jobs[i]);
        nextjid = maxjid(jobs)+1;
        return 1;
    }
    }
    return 0;
}

/* fgpid - Return PID of current foreground job, 0 if no such job */
pid_t fgpid(struct job_t *jobs) {
    int i;
```

```
    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++)
    if (jobs[i].state == FG)
        return jobs[i].pid;
    return 0;
}

/* getjobpid  - Find a job (by PID) on the job list */
struct job_t *getjobpid(struct job_t *jobs, pid_t pid) {
    int i;

    if (pid < 1)
    return NULL;
    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++)
    if (jobs[i].pid == pid)
        return &jobs[i];
    return NULL;
}

/* getjobjid  - Find a job (by JID) on the job list */
struct job_t *getjobjid(struct job_t *jobs, int jid)
{
    int i;

    if (jid < 1)
    return NULL;
    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++)
    if (jobs[i].jid == jid)
        return &jobs[i];
    return NULL;
}

/* pid2jid - Map process ID to job ID */
int pid2jid(pid_t pid)
{
    int i;

    if (pid < 1)
    return 0;
    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++)
    if (jobs[i].pid == pid) {
            return jobs[i].jid;
        }
    return 0;
}
```

```
/* listjobs - Print the job list */
void listjobs(struct job_t *jobs)
{
    int i;

    for (i = 0; i < MAXJOBS; i++) {
    if (jobs[i].pid != 0) {
        printf("[%d] (%d) ", jobs[i].jid, jobs[i].pid);
        switch (jobs[i].state) {
        case BG:
            printf("Running ");
            break;
        case FG:
            printf("Foreground ");
            break;
        case ST:
            printf("Stopped ");
            break;
        default:
            printf("listjobs: Internal error: job[%d].state=%d ",
               i, jobs[i].state);
        }
        printf("%s", jobs[i].cmdline);
    }
    }
}
/******************************
 * end job list helper routines
 ******************************/


/***********************
 * Other helper routines
 ***********************/

/*
 * usage - print a help message
 */
void usage(void)
{
    printf("Usage: shell [-hvp]\n");
    printf("   -h   print this message\n");
    printf("   -v   print additional diagnostic information\n");
    printf("   -p   do not emit a command prompt\n");
```

```
    exit(1);
}

/*
 * unix_error - unix-style error routine
 */
void unix_error(char *msg)
{
    fprintf(stdout, "%s: %s\n", msg, strerror(errno));
    exit(1);
}

/*
 * app_error - application-style error routine
 */
void app_error(char *msg)
{
    fprintf(stdout, "%s\n", msg);
    exit(1);
}
/*
 * Signal - wrapper for the sigaction function
 */
handler_t *Signal(int signum, handler_t *handler)
{
    struct sigaction action, old_action;

    action.sa_handler = handler;
    sigemptyset(&action.sa_mask); /* block sigs of type being handled */
    action.sa_flags = SA_RESTART; /* restart syscalls if possible */

    if (sigaction(signum, &action, &old_action) < 0)
    unix_error("Signal error");
    return (old_action.sa_handler);
}
/*
 * sigquit_handler - The driver program can gracefully terminate the
 *    child shell by sending it a SIGQUIT signal.
 */
void sigquit_handler(int sig)
{
    printf("Terminating after receipt of SIGQUIT signal\n");
    exit(1);
}
```

第 4 章 TinyShell 测试

总分 15 分

4.1 测试方法

针对 tsh 和参考 shell 程序 tshref，完成测试项目 4.1-4.15 的对比测试，并将测试结果截图或者通过重定向保存到文本文件(例如：./sdriver.pl -t trace01.txt -s ./tsh -a "-p" > tshresult01.txt)，并填写完成 4.3 节的相应表格。

4.2 测试结果评价

tsh 与 tshref 的输出在以下两个方面可以不同：

（1）pid

（2）测试文件 trace11.txt, trace12.txt 和 trace13.txt 中的/bin/ps 命令，每次运行的输出都会不同，但每个 mysplit 进程的运行状态应该相同。

除了上述两方面允许的差异，tsh 与 tshref 的输出相同则判为正确，如不同则给出原因分析。

4.3 自测试结果

填写以下各个测试用例的测试结果，每个测试用例 1 分。

4.3.1 测试用例 trace01.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/s ./sdriver.pl -t trace01.txt -s ./tshref -a "-p" # # trace01.txt - Properly terminate on EOF. #	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/s ./sdriver.pl -t trace01.txt -s ./tshref -a "-p" # # trace01.txt - Properly terminate on EOF. #
测试结论	相同

4.3.2 测试用例 trace02.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/ /sdriver.pl -t trace02.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace02.txt - Process builtin quit command. #	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/ /sdriver.pl -t trace02.txt -s ./tshref -a "-p" # # trace02.txt - Process builtin quit command. #
测试结论	相同

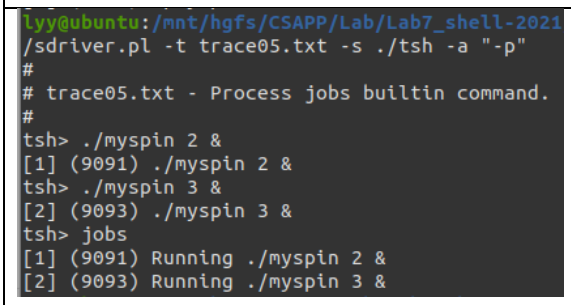
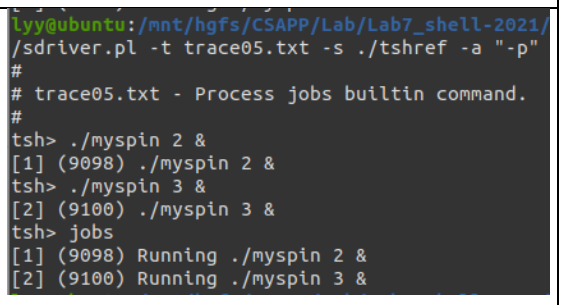
4.3.3 测试用例 trace03.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/ /sdriver.pl -t trace03.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace03.txt - Run a foreground job. # tsh> quit	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/ /sdriver.pl -t trace03.txt -s ./tshref -a "-p" # # trace03.txt - Run a foreground job. # tsh> quit
测试结论	相同

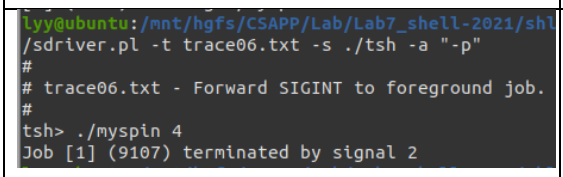
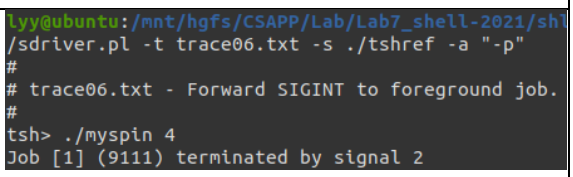
4.3.4 测试用例 trace04.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/ /sdriver.pl -t trace04.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace04.txt - Run a background job. # tsh> ./myspin 1 & [1] (9058) ./myspin 1 &	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/ /sdriver.pl -t trace04.txt -s ./tshref -a "-p" # # trace04.txt - Run a background job. # tsh> ./myspin 1 & [1] (9062) ./myspin 1 &
测试结论	相同

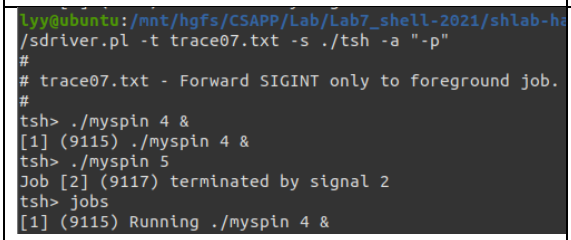
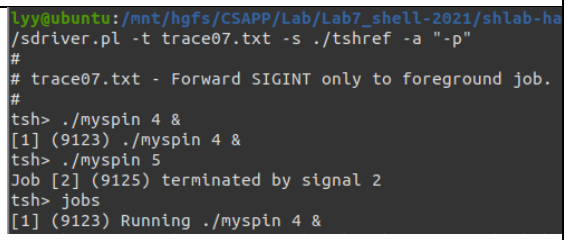
4.3.5 测试用例 trace05.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
	
测试结论	相同

4.3.6 测试用例 trace06.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
	
测试结论	相同

4.3.7 测试用例 trace07.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
	
测试结论	相同

4.3.8 测试用例 trace08.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/shlab-han /sdriver.pl -t trace08.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace08.txt - Forward SIGTSTP only to foreground job. # tsh> ./myspin 4 & [1] (9251) ./myspin 4 & tsh> ./myspin 5 Job [2] (9253) stopped by signal 20 tsh> jobs [1] (9251) Running ./myspin 4 & [2] (9253) Stopped ./myspin 5	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/shlab-hand /sdriver.pl -t trace08.txt -s ./tshref -a "-p" # # trace08.txt - Forward SIGTSTP only to foreground job. # tsh> ./myspin 4 & [1] (9217) ./myspin 4 & tsh> ./myspin 5 Job [2] (9219) stopped by signal 20 tsh> jobs [1] (9217) Running ./myspin 4 & [2] (9219) Stopped ./myspin 5
测试结论	相同

4.3.9 测试用例 trace09.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-202 /sdriver.pl -t trace09.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace09.txt - Process bg builtin command # tsh> ./myspin 4 & [1] (9260) ./myspin 4 & tsh> ./myspin 5 Job [2] (9262) stopped by signal 20 tsh> jobs [1] (9260) Running ./myspin 4 & [2] (9262) Stopped ./myspin 5 tsh> bg %2 [2] (9262) ./myspin 5 tsh> jobs [1] (9260) Running ./myspin 4 & [2] (9262) Running ./myspin 5	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/ /sdriver.pl -t trace09.txt -s ./tshref -a "-p" # # trace09.txt - Process bg builtin command # tsh> ./myspin 4 & [1] (9224) ./myspin 4 & tsh> ./myspin 5 Job [2] (9226) stopped by signal 20 tsh> jobs [1] (9224) Running ./myspin 4 & [2] (9226) Stopped ./myspin 5 tsh> bg %2 [2] (9226) ./myspin 5 tsh> jobs [1] (9224) Running ./myspin 4 & [2] (9226) Running ./myspin 5
测试结论	相同

4.3.10 测试用例 trace10.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2 /sdriver.pl -t trace10.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace10.txt - Process fg builtin command. # tsh> ./myspin 4 & [1] (9269) ./myspin 4 & tsh> fg %1 Job [1] (9269) stopped by signal 20 tsh> jobs [1] (9269) Stopped ./myspin 4 & tsh> fg %1 tsh> jobs	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021 /sdriver.pl -t trace10.txt -s ./tshref -a "-p" # # trace10.txt - Process fg builtin command. # tsh> ./myspin 4 & [1] (9277) ./myspin 4 & tsh> fg %1 Job [1] (9277) stopped by signal 20 tsh> jobs [1] (9277) Stopped ./myspin 4 & tsh> fg %1 tsh> jobs
测试结论	相同

4.3.11 测试用例 trace11.txt

测试中 ps 指令的输出内容较多，仅记录和本实验密切相关的 tsh、mysplit 等进程的部分信息即可。

tsh 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/shlab-handout-hit$ ./sdriver.pl -t trace11.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace11.txt - Forward SIGINT to every process in foreground process group # tsh> ./mysplit 4 Job [1] (9297) terminated by signal 2 tsh> /bin/ps a PID TTY STAT TIME COMMAND 1212 tty2 Ssl+ 0:00 /usr/lib/gdm3/gdm-x-session --run-script env GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubun tu /usr/bin/gnome-session --systemd --session=ubuntu 1214 tty2 Sl+ 0:24 /usr/lib/xorg/Xorg vt2 -displayfd 3 -auth /run/user/1000/gdm/Xauthority -b ackground none -noreset -keeptty -verbose 3 1430 tty2 Sl+ 0:00 /usr/libexec/gnome-session-binary --systemd --systemd --session=ubuntu 8955 pts/0 Ss 0:00 bash 9294 pts/0 S+ 0:00 /usr/bin/perl ./sdriver.pl -t trace11.txt -s ./tsh -a -p 9295 pts/0 S+ 0:00 ./tsh -p 9300 pts/0 R 0:01 /bin/ps a
tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/shlab-handout-hit$ ./sdriver.pl -t trace11.txt -s ./tshr ef -a "-p" # # trace11.txt - Forward SIGINT to every process in foreground process group # tsh> ./mysplit 4 Job [1] (9306) terminated by signal 2 tsh> /bin/ps a PID TTY STAT TIME COMMAND 1212 tty2 Ssl+ 0:00 /usr/lib/gdm3/gdm-x-session --run-script env GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubun tu /usr/bin/gnome-session --systemd --session=ubuntu 1214 tty2 Sl+ 0:47 /usr/lib/xorg/Xorg vt2 -displayfd 3 -auth /run/user/1000/gdm/Xauthority -b ackground none -noreset -keeptty -verbose 3 1430 tty2 Sl+ 0:00 /usr/libexec/gnome-session-binary --systemd --systemd --session=ubuntu 8955 pts/0 Ss 0:00 bash 9303 pts/0 S+ 0:00 /usr/bin/perl ./sdriver.pl -t trace11.txt -s ./tshref -a -p 9304 pts/0 S+ 0:00 ./tshref -p 9309 pts/0 R 0:00 /bin/ps a
测试结论	相同

4.3.12 测试用例 trace12.txt

测试中 ps 指令的输出内容较多，仅记录和本实验密切相关的 tsh、mysplit 等进程的部分信息即可。

tsh 测试结果

```
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/shlab-handout-hit$ ./sdriver.pl -t trace12.txt -s ./tsh
-a "-p"
#
# trace12.txt - Forward SIGTSTP to every process in foreground process group
#
tsh> ./mysplit 4
Job [1] (9314) stopped by signal 20
tsh> jobs
[1] (9314) Stopped ./mysplit 4
tsh> /bin/ps a
    PID TTY      STAT   TIME COMMAND
   1212 tty2     Ssl+   0:00 /usr/lib/gdm3/gdm-x-session --run-script env GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubun
tu /usr/bin/gnome-session --systemd --session=ubuntu
   1214 tty2     Sl+    0:47 /usr/lib/xorg/Xorg vt2 -displayfd 3 -auth /run/user/1000/gdm/Xauthority -b
ackground none -noreset -keeptty -verbose 3
   1430 tty2     Sl+    0:00 /usr/libexec/gnome-session-binary --systemd --systemd --session=ubuntu
   8955 pts/0    Ss     0:00 bash
   9311 pts/0    S+     0:00 /usr/bin/perl ./sdriver.pl -t trace12.txt -s ./tsh -a -p
   9312 pts/0    S+     0:00 ./tsh -p
   9314 pts/0    T      0:00 ./mysplit 4
   9315 pts/0    T      0:00 ./mysplit 4
   9318 pts/0    R      0:00 /bin/ps a
```

tshref 测试结果

```
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/shlab-handout-hit$ ./sdriver.pl -t trace12.txt -s ./tshr
ef -a "-p"
#
# trace12.txt - Forward SIGTSTP to every process in foreground process group
#
tsh> ./mysplit 4
Job [1] (9323) stopped by signal 20
tsh> jobs
[1] (9323) Stopped ./mysplit 4
tsh> /bin/ps a
    PID TTY      STAT   TIME COMMAND
   1212 tty2     Ssl+   0:00 /usr/lib/gdm3/gdm-x-session --run-script env GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubun
tu /usr/bin/gnome-session --systemd --session=ubuntu
   1214 tty2     Sl+    0:48 /usr/lib/xorg/Xorg vt2 -displayfd 3 -auth /run/user/1000/gdm/Xauthority -b
ackground none -noreset -keeptty -verbose 3
   1430 tty2     Sl+    0:00 /usr/libexec/gnome-session-binary --systemd --systemd --session=ubuntu
   8955 pts/0    Ss     0:00 bash
   9320 pts/0    S+     0:00 /usr/bin/perl ./sdriver.pl -t trace12.txt -s ./tshref -a -p
   9321 pts/0    S+     0:00 ./tshref -p
   9323 pts/0    T      0:00 ./mysplit 4
   9324 pts/0    T      0:00 ./mysplit 4
   9327 pts/0    R      0:00 /bin/ps a
```

测试结论	相同

4.3.13 测试用例 trace13.txt

测试中 ps 指令的输出内容较多，仅记录和本实验密切相关的 tsh、mysplit 等进程的部分信息即可。

tsh 测试结果

```
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/shlab-handout-hit$ ./sdriver.pl -t trace13.txt -s ./tsh
-a "-p"
#
# trace13.txt - Restart every stopped process in process group
#
tsh> ./mysplit 4
Job [1] (9331) stopped by signal 20
tsh> jobs
[1] (9331) Stopped ./mysplit 4
tsh> /bin/ps a
    PID TTY      STAT   TIME COMMAND
   1212 tty2     Ssl+   0:00 /usr/lib/gdm3/gdm-x-session --run-script env GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubun
tu /usr/bin/gnome-session --systemd --session=ubuntu
   1214 tty2     Sl+    0:48 /usr/lib/xorg/Xorg vt2 -displayfd 3 -auth /run/user/1000/gdm/Xauthority -b
ackground none -noreset -keeptty -verbose 3
   1430 tty2     Sl+    0:00 /usr/libexec/gnome-session-binary --systemd --systemd --session=ubuntu
   8955 pts/0    Ss     0:00 bash
   9328 pts/0    S+     0:00 /usr/bin/perl ./sdriver.pl -t trace13.txt -s ./tsh -a -p
   9329 pts/0    S+     0:00 ./tsh -p
   9331 pts/0    T      0:00 ./mysplit 4
   9332 pts/0    T      0:00 ./mysplit 4
   9335 pts/0    R      0:00 /bin/ps a
tsh> fg %1
tsh> /bin/ps a
    PID TTY      STAT   TIME COMMAND
   1212 tty2     Ssl+   0:00 /usr/lib/gdm3/gdm-x-session --run-script env GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubun
tu /usr/bin/gnome-session --systemd --session=ubuntu
   1214 tty2     Sl+    0:48 /usr/lib/xorg/Xorg vt2 -displayfd 3 -auth /run/user/1000/gdm/Xauthority -b
ackground none -noreset -keeptty -verbose 3
   1430 tty2     Sl+    0:00 /usr/libexec/gnome-session-binary --systemd --systemd --session=ubuntu
   8955 pts/0    Ss     0:00 bash
   9328 pts/0    S+     0:00 /usr/bin/perl ./sdriver.pl -t trace13.txt -s ./tsh -a -p
   9329 pts/0    S+     0:00 ./tsh -p
   9338 pts/0    R      0:00 /bin/ps a
```

tshref 测试结果

```
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-2021/shlab-handout-hit$ ./sdriver.pl -t trace13.txt -s ./tshr
ef -a "-p"
#
# trace13.txt - Restart every stopped process in process group
#
tsh> ./mysplit 4
Job [1] (9349) stopped by signal 20
tsh> jobs
[1] (9349) Stopped ./mysplit 4
tsh> /bin/ps a
    PID TTY      STAT   TIME COMMAND
   1212 tty2     Ssl+   0:00 /usr/lib/gdm3/gdm-x-session --run-script env GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubun
tu /usr/bin/gnome-session --systemd --session=ubuntu
   1214 tty2     Sl+    0:50 /usr/lib/xorg/Xorg vt2 -displayfd 3 -auth /run/user/1000/gdm/Xauthority -b
ackground none -noreset -keeptty -verbose 3
   1430 tty2     Sl+    0:00 /usr/libexec/gnome-session-binary --systemd --systemd --session=ubuntu
   8955 pts/0    Ss     0:00 bash
   9346 pts/0    S+     0:00 /usr/bin/perl ./sdriver.pl -t trace13.txt -s ./tshref -a -p
   9347 pts/0    S+     0:00 ./tshref -p
   9349 pts/0    T      0:00 ./mysplit 4
   9350 pts/0    T      0:00 ./mysplit 4
   9353 pts/0    R      0:00 /bin/ps a
tsh> fg %1
tsh> /bin/ps a
    PID TTY      STAT   TIME COMMAND
   1212 tty2     Ssl+   0:00 /usr/lib/gdm3/gdm-x-session --run-script env GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubun
tu /usr/bin/gnome-session --systemd --session=ubuntu
   1214 tty2     Sl+    0:50 /usr/lib/xorg/Xorg vt2 -displayfd 3 -auth /run/user/1000/gdm/Xauthority -b
ackground none -noreset -keeptty -verbose 3
   1430 tty2     Sl+    0:00 /usr/libexec/gnome-session-binary --systemd --systemd --session=ubuntu
   8955 pts/0    Ss     0:00 bash
   9346 pts/0    S+     0:00 /usr/bin/perl ./sdriver.pl -t trace13.txt -s ./tshref -a -p
   9347 pts/0    S+     0:00 ./tshref -p
   9357 pts/0    R      0:00 /bin/ps a
```

测试结论	相同

4.3.14 测试用例 trace14.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-202 ./sdriver.pl -t trace14.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace14.txt - Simple error handling # tsh> ./bogus ./bogus: Command not found tsh> ./myspin 4 & [1] (9372) ./myspin 4 & tsh> fg fg command requires PID or %jobid argument tsh> bg bg command requires PID or %jobid argument tsh> fg a fg: argument must be a PID or %jobid tsh> bg a bg: argument must be a PID or %jobid tsh> fg 9999999 (9999999): No such process tsh> bg 9999999 (9999999): No such process tsh> fg %2 %2: No such job tsh> fg %1 Job [1] (9372) stopped by signal 20 tsh> bg %2 %2: No such job tsh> bg %1 [1] (9372) ./myspin 4 & tsh> jobs [1] (9372) Running ./myspin 4 &	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-202 ./sdriver.pl -t trace14.txt -s ./tshref -a " # # trace14.txt - Simple error handling # tsh> ./bogus ./bogus: Command not found tsh> ./myspin 4 & [1] (9391) ./myspin 4 & tsh> fg fg command requires PID or %jobid argument tsh> bg bg command requires PID or %jobid argument tsh> fg a fg: argument must be a PID or %jobid tsh> bg a bg: argument must be a PID or %jobid tsh> fg 9999999 (9999999): No such process tsh> bg 9999999 (9999999): No such process tsh> fg %2 %2: No such job tsh> fg %1 Job [1] (9391) stopped by signal 20 tsh> bg %2 %2: No such job tsh> bg %1 [1] (9391) ./myspin 4 & tsh> jobs [1] (9391) Running ./myspin 4 &
测试结论	相同

4.3.15 测试用例 trace15.txt

tsh 测试结果	tshref 测试结果
lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell-202 ./sdriver.pl -t trace15.txt -s ./tsh -a "-p" # # trace15.txt - Putting it all together # tsh> ./bogus ./bogus: Command not found tsh> ./myspin 10 Job [1] (9408) terminated by signal 2 tsh> ./myspin 3 & [1] (9410) ./myspin 3 & tsh> ./myspin 4 & [2] (9412) ./myspin 4 & tsh> jobs [1] (9410) Running ./myspin 3 & [2] (9412) Running ./myspin 4 & tsh> fg %1 Job [1] (9410) stopped by signal 20 tsh> jobs [1] (9410) Stopped ./myspin 3 & [2] (9412) Running ./myspin 4 & tsh> bg %3 %3: No such job tsh> bg %1 [1] (9410) ./myspin 3 & tsh> jobs [1] (9410) Running ./myspin 3 & [2] (9412) Running ./myspin 4 & tsh> fg %1 tsh> quit	lyy@ubuntu:/mnt/hgfs/CSAPP/Lab/Lab7_shell- ./sdriver.pl -t trace15.txt -s ./tshref -a # # trace15.txt - Putting it all together # tsh> ./bogus ./bogus: Command not found tsh> ./myspin 10 Job [1] (9426) terminated by signal 2 tsh> ./myspin 3 & [1] (9428) ./myspin 3 & tsh> ./myspin 4 & [2] (9430) ./myspin 4 & tsh> jobs [1] (9428) Running ./myspin 3 & [2] (9430) Running ./myspin 4 & tsh> fg %1 Job [1] (9428) stopped by signal 20 tsh> jobs [1] (9428) Stopped ./myspin 3 & [2] (9430) Running ./myspin 4 & tsh> bg %3 %3: No such job tsh> bg %1 [1] (9428) ./myspin 3 & tsh> jobs [1] (9428) Running ./myspin 3 & [2] (9430) Running ./myspin 4 & tsh> fg %1 tsh> quit
测试结论	相同

第 5 章 评测得分

总分 20 分

实验程序统一测试的评分（教师评价）：

（1）正确性得分：_____（满分 10）

（2）性能加权得分：_____（满分 10）

第 6 章 总结

5.1 请总结本次实验的收获

1. 理解了 shell 的工作原理。
2. 对信号的处理过程有了更深的理解。
3. 明白了信号处理相关的系统函数的作用

5.2 请给出对本次实验内容的建议

注：本章为酌情加分项。

参考文献

[1] 林来兴. 空间控制技术[M]. 北京：中国宇航出版社，1992：25-42.

[2] 辛希孟. 信息技术与信息服务国际研讨会论文集：A 集[C]. 北京：中国科学出版社，1999.

[3] 赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北：天下文化出版社，1998 [1998-09-26]. http://www.ie.nthu.edu.tw/info/ie.newie.htm（Big5）.

[4] 谌颖. 空间交会控制理论与方法研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，1992：8-13.

[5] KANAMORI H. Shaking Without Quaking[J]. Science，1998，279（5359）：2063-2064.

[6] CHRISTINE M. Plant Physiology: Plant Biology in the Genome Era[J/OL]. Science，1998，281：331-332[1998-09-23]. http://www.sciencemag.org/cgi/collection/anatmorp.