实验二 添加 Linux 系统调用

一、实验目的

学习如何添加 Linux 系统调用：实现一个简单的 ps
学习如何使用 Linux 系统调用：实现一个简单的 shell

二、实验环境

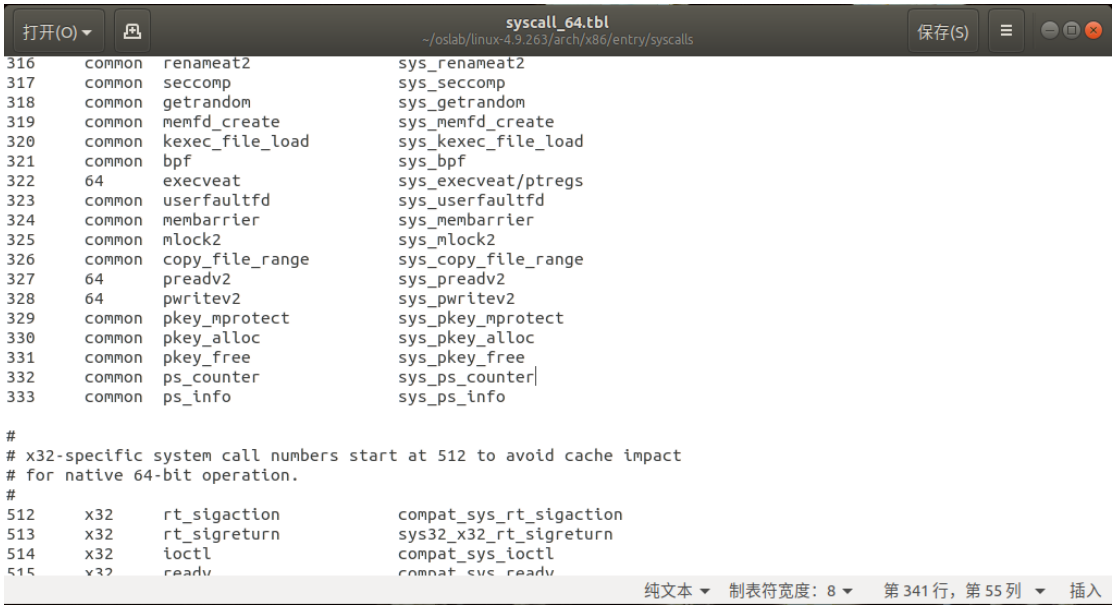
OS: Ubuntu 18.04
Linux 内核版本: 4.9.263

三、实验步骤

3.1 编写系统调用实现一个 Linux ps

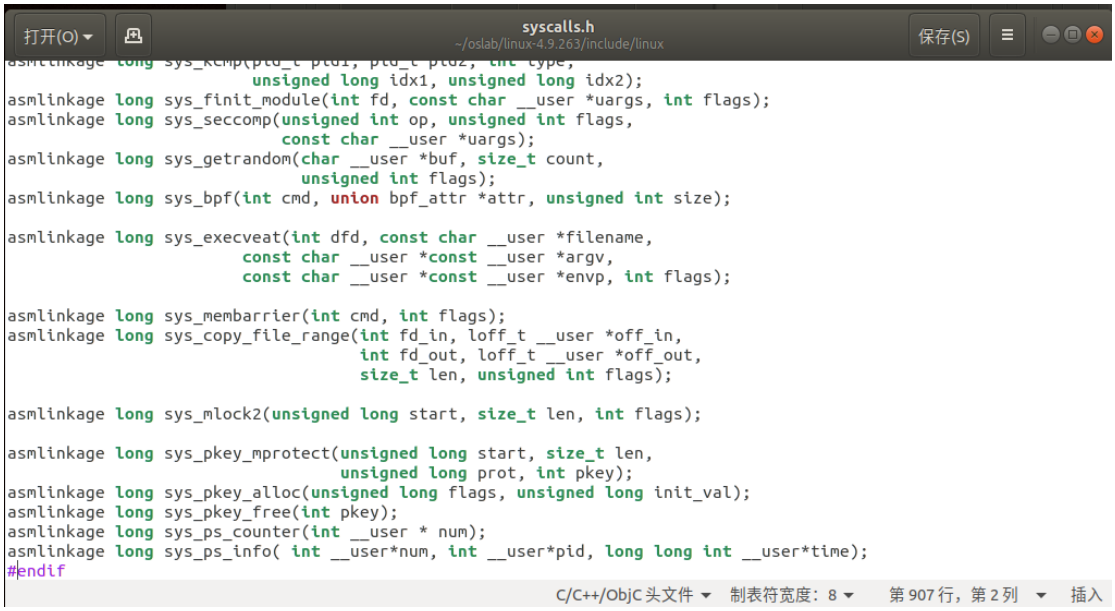
3.1.1 注册系统调用

打开 linux-4.9.263/arch/x86/entry/syscalls/syscall_64.tbl，在文件中添加系统调用注册



3.1.2 定义函数原型

打开 linux-4.9.263/include/linux/syscalls.h ， 里面是对于系统调用函数原型的定义，在最后面加上我们要创建的新系统调用函数原型，格式为 asmlinkage long sys_xxx(...) ，注意如果传入了用户空间的地址，需要加入 __user 宏来说明。



3.1.3 实现函数

linux-4.9.264/kernel/sys.c 代码的最后添加你自己的函数

在获取进程运行的时间信息时，会遇到两个变量，分别是结构体中的 utime 和 stime。查阅资料得知，stime 是系统时间,即进程在内核模式下花费的时间,而 utime 是在用户模式下花费的时间.这些值取决于该特定过程的安排.没有为其更新定义此类间隔.随着各个模式中的时间花费的变化,它们会快速更新。所以进程运行的总时间应该是 stime+utime.

需要注意的是，通过系统调用获取的信息需要使用 copy_to_user()函数复制到用户空间的变量中，才可以在用户空间访问其内容。在具体实现的过程中，我使用一个整型变量存储进程数量，分别使用一个数组储存 PID 和进程运行时间，需要注意不同数据类型指针的正确使用，这在实际的编程实现中给我带来了不小的麻烦和困扰。

3.1.4 编写测试程序

编写程序 ps_info.c 用以测试

打开(O) ps_info.c ~/oslab 保存(S)

```c
#include<unistd.h>
#include<sys/syscall.h>
#include<stdio.h>
int main(void)
{
        int num;
        int i=0;
        int pid[100];
        long long int time[100];
        syscall(333, &num,pid,time);
        printf("process number is %d\n",num);
        printf("PID             TIME\n");
        for(i=0;i<num;i++)
        {
                printf("%-8d%lld\n",pid[i],time[i]);
        }
        return 0;
}
```

3.1.4 编译运行程序

按照文档步骤依次执行，得到运行结果

QEMU

```
[    2.325023] input: ImExPS/2 Generic Explorer Mouse as /devices/platform/i8042
/serio1/input/input3
[    3.027895] clocksource: Switched to clocksource tsc

/ # ./ps_info
[   11.578355] [Syscall] ps_info
process number is 50
PID     TIME
1       1141
2       5
3       3
4       1
5       0
6       29
7       11
8       0
9       1
10      0
11      0
12      15
13      0
14      66
310     2
403     0
404     0
```

3.2 熟悉 Linux 下系统调用

根据提供的文档和代码框架，可以初步实现单条命令的运行，并支持提示符输出当前路径；支持两条命令之间的管道，以及 cd 和 exit 内置指令；支持多条命令间的管道。

3.2.1 思路分析

3.2.1.1 单条命令

内置命令：shell 主进程中执行
外部命令：fork 一个新进程，并使用 exec 系函数完成

3.2.1.2 单管道的实现

内置命令：fork 一个新进程并处理
标记 a|b，流程为：

1. 父进程创建管道，这个管道父进程和所有子进程共享；

2. Fork 进程 a，并把 a 的标准输出改为输出到管道的写端，执行（含内置命令）
3. Fork 进程 b，并把 b 的标准输入改为从管道的读端读取，执行（含内置命令）
4. 等待所有子进程执行结束

3.2.1.3 多条命令间管道的实现

1. 创建管道，n 条命令只需要 n-1 条管道，所以有一次循环是不需要创建管道的
2. 除了最后一条命令外，都将标准输出重定向到当前管道写端
3. 除了第一条命令外，都将标准输入重定向到上一个管道的读端
4. 等待所有子进程执行结束

3.2.2 使用的系统调用 API

在编写的过程中使用了如下 API:

```
int chdir(const char *path);
```

chdir 是 C 语言中的一个系统调用函数（同 cd），用于改变当前工作目录，其参数为 Path 目标目录，可以是绝对目录或相对目录。返回值：成功返回 0 ，失败返回-1

```
int execvp(const char* file, const char* argv[]);
```

(1) 第一个参数是要运行的文件，会在环境变量 PATH 中查找 file，并执行.
(2) 第二个参数，是一个参数列表，如同在 shell 中调用程序一样，参数列表为 0，1，2，3……
(3) argv 列表最后一个必须是 NULL.
(4) 失败会返回－1， 成功无返回值，但是，失败会在当前进程运行，执行成功后，直接结束当前进程，可以在子进程中运行.

```
char *getcwd( char *buffer, int maxlen );
```

功能：获取当前工作目录

参数说明：getcwd()会将当前工作目录的绝对路径复制到参数 buffer 所指的内存空间中,参数 maxlen 为 buffer 的空间大小。

返回值：成功则返回当前工作目录，失败返回 **FALSE**。

```
int pipe(int fd[2]);
```

pipe 函数定义中的 fd 参数是一个大小为 2 的一个数组类型的指针。该函数成功时返回 0，并将一对打开的文件描述符值填入 fd 参数指向的数组。失败时返回 -1 并设置 errno。

通过 pipe 函数创建的这两个文件描述符 fd[0] 和 fd[1] 分别构成管道的两端，往 fd[1] 写入的数据可以从 fd[0] 读出。并且 fd[1] 一端只能进行写操作，fd[0] 一端只能进行读操作，不能反过来使用。要实现双向数据传输，可以使用两个管道。

```
int dup2(int oldfd, int newfd);
```

若参数 newfd 已经被程序使用，则系统就会将 newfd 所指的文件关闭，若 newfd 等于 oldfd，则返回 newfd,而不关闭 newfd 所指的文件。dup2 所复制的文件描述符与原来的文件描述符共享各种文件状态。共享所有的锁定，读写位置和各项权限或 flags 等.

返回值：

若 dup2 调用成功则返回新的文件描述符，出错则返回-1.

3.2.3shell 实现

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <sys/wait.h>
#include <sys/types.h>

#define MAX_CMDLINE_LENGTH  1024    /* max cmdline length in a line*/
#define MAX_BUF_SIZE        4096    /* max buffer size */
#define MAX_CMD_ARG_NUM     32      /* max number of single command args */
#define WRITE_END 1     // pipe write end
#define READ_END 0      // pipe read end

int split_string(char* string, char *sep, char** string_clips) {

    char string_dup[MAX_BUF_SIZE];
    string_clips[0] = strtok(string, sep);
    int clip_num=0;

    do {
        char *head, *tail;
        head = string_clips[clip_num];
        tail = head + strlen(string_clips[clip_num]) - 1;
        while(*head == ' ' && head != tail)
            head ++;
        while(*tail == ' ' && tail != head)
            tail --;
        *(tail + 1) = '\0';
        string_clips[clip_num] = head;
        clip_num ++;
    }while(string_clips[clip_num]=strtok(NULL, sep));
    return clip_num;
}

/*
    执行内置命令
    arguments:
        argc: 命令的参数个数
        argv: 依次代表每个参数，注意第一个参数就是要执行的命令，
        若执行"ls a b c"命令，则 argc=4, argv={"ls", "a", "b", "c"}
    return:
```

```
42.                 int, 若执行成功返回 0，否则返回值非零
43.         */
44.         int exec_builtin(int argc, char**argv) {
45.             if(argc == 0) {
46.                 return 0;
47.             }
48.             /* TODO: 添加和实现内置指令 */
49.
50.             if (strcmp(argv[0], "cd") == 0)
51.             {
52.                 if(argc > 2)
53.                 {
54.                     printf("ERROR!\n");
55.                     return 0;
56.                 }
57.                 if(chdir(argv[1]) == -1)    //更改当前工作目录。 参数：Path 目标目录，
    可以是绝对目录或相对目录。 返回值：成功返回 0 ，失败返回-1
58.                 {
59.                     printf("Destination directory does not exist\n");
60.                     return 0;
61.                 }
62.             }
63.             else
64.             {
65.                 if (strcmp(argv[0], "pwd") == 0)
66.                 {
67.                     return 0;
68.                 }
69.                 else
70.                 {
71.                     if (strcmp(argv[0], "exit") == 0)
72.                     {
73.                         exit(0);
74.                     }
75.                     else
76.                     {// 不是内置指令时
77.                         return -1;
78.                     }
79.                 }
80.             }
81.         }
82.
83.         /*
84.             在本进程中执行，且执行完毕后结束进程。
```

```
85.             arguments:
86.                 argc: 命令的参数个数
87.                 argv: 依次代表每个参数，注意第一个参数就是要执行的命令，
88.                 若执行"ls a b c"命令，则 argc=4, argv={"ls", "a", "b", "c"}
89.             return:
90.                 int, 若执行成功则不会返回（进程直接结束），否则返回非零
91.         */
92.         int execute(int argc, char** argv) {
93.             if(exec_builtin(argc, argv) == 0) {
94.                 exit(0);
95.             }
96.             /* TODO:运行命令 */
97.             pid_t pid;
98.             pid = fork();
99.             if(pid == 0)
100.             {
101.                 if(execvp(argv[0], argv) == -1)
102.                 {  //execvp 有两个参数：要运行的程序名和那个程序的命令行参数。
103.                     exit(-1);
104.                 }
105.                 exit(0);
106.             }
107.             else
108.             {
109.                 if(pid > 0)
110.                 {
111.                     wait(NULL);
112.                     return 0;
113.                 }
114.             }
115.             return -1;
116.         }
117.
118.         int main() {
119.             /* 输入的命令行 */
120.             char cmdline[MAX_CMDLINE_LENGTH];
121.
122.             /* 由管道操作符'|'分割的命令行各个部分，每个部分是一条命令 */
123.             char *commands[128];
124.             int cmd_count;
125.             while (1) {
126.                 /* TODO:增加打印当前目录，格式类似"shell:/home/oslab ->"，你需要改下面
                的 printf */
127.                 char current_working_directory[256];
```

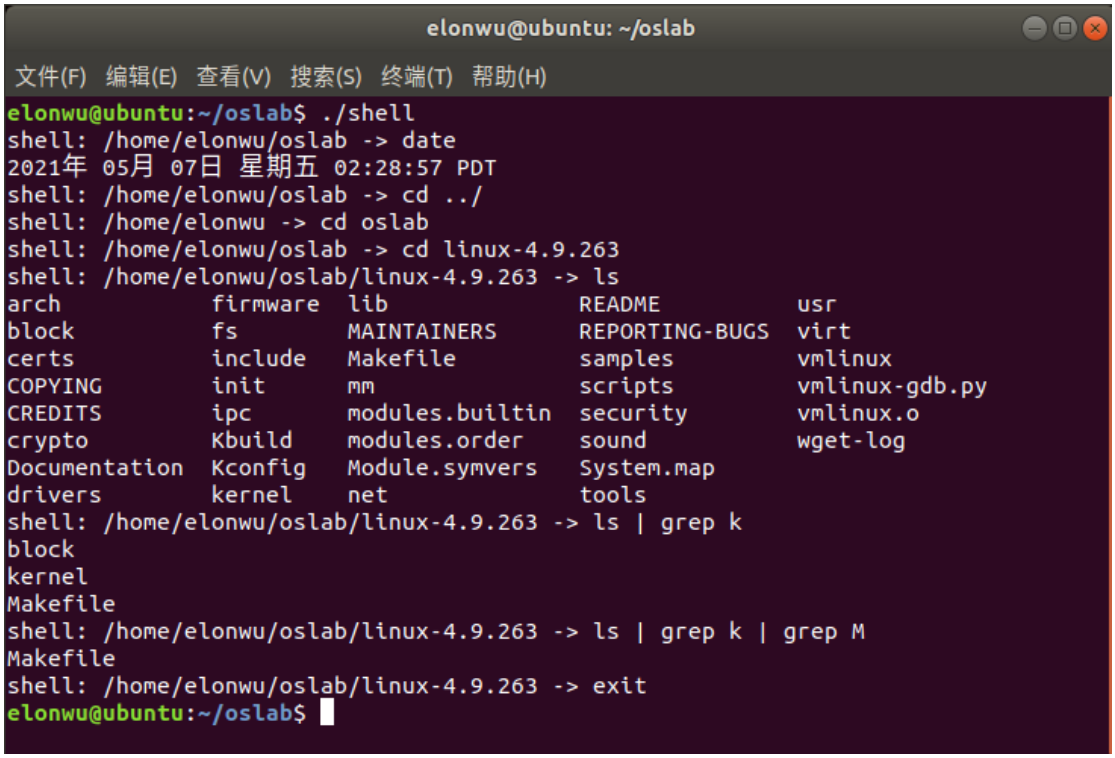
```
128.                getcwd(current_working_directory, 256);
129.                printf("shell: %s -> ", current_working_directory);
130.                fflush(stdout);
131.
132.                fgets(cmdline, 256, stdin);
133.                strtok(cmdline, "\n");
134.
135.                /* 拆解命令行 */
136.                cmd_count = split_string(cmdline, "|", commands);
137.
138.                if(cmd_count == 0) {
139.                    continue;
140.                } else if(cmd_count == 1) {     // 没有管道的单一命令
141.                    char *argv[MAX_CMD_ARG_NUM];
142.                    /* TODO:处理参数，分出命令名和参数 */
143.                    int argc = split_string(commands[0], " ", argv);
144.
145.                    /* 在没有管道时，内建命令直接在主进程中完成，外部命令通过创建子进程完
            成 */
146.                    if(exec_builtin(argc, argv) == 0) {
147.                        continue;
148.                    }
149.                    /* TODO:创建子进程，运行命令，等待命令运行结束 */
150.                    pid_t pid;
151.                    pid = fork();
152.                    if(pid == 0)
153.                    {
154.                        if(execute(argc, argv) != 0)
155.                        {
156.                            exit(-1);
157.                        }
158.                    }
159.                    else
160.                    {
161.                        if(pid > 0)
162.                        {
163.                            wait(NULL);
164.                            exit(0);
165.                        }
166.                    }
167.
168.                } else if(cmd_count == 2) {     // 两个命令间的管道
169.                    int pipefd[2];
170.                    int ret = pipe(pipefd);
```

```
171.                 if(ret < 0) {
172.                     printf("pipe error!\n");
173.                     continue;
174.                 }
175.                 // 子进程 1
176.                 //fork 进程 a,并把 a 的标准输出改为输出到管道的写端，执行
177.                 int pid = fork();
178.                 if(pid == 0) {
179.                     /*TODO:子进程 1 将标准输出重定向到管道，注意这里数组的下标被挖空了要补全*/
180.                     close(pipefd[READ_END]);
181.                     dup2(pipefd[WRITE_END], STDOUT_FILENO);
182.                     close(pipefd[WRITE_END]);
183.                     /*
184.                         在使用管道时，为了可以并发运行，所以内建命令也在子进程中运行
185.                         因此我们用了一个封装好的 execute 函数
186.                      */
187.                     char *argv[MAX_CMD_ARG_NUM];
188.                     int argc = split_string(commands[0], " ", argv);
189.                     execute(argc, argv);
190.                     exit(255);
191.
192.                 }
193.                 // 因为在 shell 的设计中，管道是并发执行的，所以我们不在每个子进程结束后才运行下一个
194.                 // 而是直接创建下一个子进程
195.                 // 子进程 2
196.                 //fork 进程 b，并把 b 的标准输入改为从管道的读端读取，执行
197.                 pid = fork();
198.                 if(pid == 0) {
199.                     /* TODO:子进程 2 将标准输入重定向到管道，注意这里数组的下标被挖空了要补全 */
200.                     close(pipefd[WRITE_END]);
201.                     dup2(pipefd[READ_END], STDIN_FILENO);
202.                     close(pipefd[READ_END]);
203.
204.                     char *argv[MAX_CMD_ARG_NUM];
205.                     /* TODO:处理参数，分出命令名和参数，并使用 execute 运行
206.                      * 在使用管道时，为了可以并发运行，所以内建命令也在子进程中运行
207.                      * 因此我们用了一个封装好的 execute 函数
208.                      */
209.                     int argc = split_string(commands[1], " ", argv);
210.                     execute(argc, argv);
211.                     exit(255);
```

```
212.                 }
213.                 close(pipefd[WRITE_END]);
214.                 close(pipefd[READ_END]);
215.                 while (wait(NULL) > 0);
216.
217.             } else {    // 三个以上的命令
218.                 int read_fd;    // 上一个管道的读端口（出口）
219.                 for(int i = 0; i < cmd_count; i++) {
220.                     int pipefd[2];
221.                     /* TODO:创建管道，n 条命令只需要 n-1 个管道，所以有一次循环中是不
        用创建管道的*/
222.                     if(i < cmd_count - 1)
223.                     {
224.                         int ret = pipe(pipefd);
225.                         if(ret < 0)
226.                         {
227.                             printf("pipe error!\n");
228.                             continue;
229.                         }
230.                     }
231.                     int pid = fork();
232.                     if(pid == 0) {
233.                         /* TODO:除了最后一条命令外，都将标准输出重定向到当前管道入口
        */
234.                         if(i < cmd_count - 1)
235.                         {
236.                             dup2(pipefd[WRITE_END], STDOUT_FILENO);
237.                         }
238.
239.                         /* TODO:除了第一条命令外，都将标准输入重定向到上一个管道入
        口 */
240.                         if(i > 0)
241.                         {
242.                             dup2(read_fd, STDIN_FILENO);
243.                         }
244.
245.                         /* TODO:处理参数，分出命令名和参数，并使用 execute 运行
246.                          * 在使用管道时，为了可以并发运行，所以内建命令也在子进程中运
        行
247.                          * 因此我们用了一个封装好的 execute 函数*/
248.                         char *argv[MAX_CMD_ARG_NUM];
249.                         int argc = split_string(commands[i], " ", argv);
250.                         execute(argc, argv);
251.                         exit(255);
```

```
252.                     }
253.                     /* 父进程除了第一条命令，都需要关闭当前命令用完的上一个管道读端
        口
254.                      * 父进程除了最后一条命令，都需要保存当前命令的管道读端口
255.                      * 记得关闭父进程没用的管道写端口
256.                      */
257.                     if(pid > 0)
258.                     {
259.
260.                         if(i > 0)                   //父进程除了第一条命令，都
        需要关闭当前命令用完的上一个管道读端口
261.                         {
262.                             close(read_fd);
263.                         }
264.                         if(i < cmd_count - 1)       //父进程除了最后一条命令，
        都需要保存当前命令的管道读端口
265.                         {
266.                             read_fd=pipefd[0];
267.                         }
268.                         close(pipefd[WRITE_END]);  //记得关闭父进程没用的管道
        写端口
269.
270.                     }
271.                     // 因为在 shell 的设计中，管道是并发执行的，所以我们不在每个子进程
        结束后才运行下一个
272.                     // 而是直接创建下一个子进程
273.                 }
274.                 // TODO:等待所有子进程结束
275.                 while (wait(NULL) > 0);
276.             }
277.         }
278.     }
```

3.2.4 实现结果



四、实验步骤

通过本次实验，我初步掌握了系统调用的添加，并且熟悉了 linux 下的系统调用，对于课堂上老师教授的知识有了更深层次的理解。实验题目的难度层层递进，有基础操作的考核，也有所学知识的综合，难易结合，既有复习又有思考，让所学在实践中得以运用，加深了我对操作系统知识的理解。希望今后实验可以保持本次实验中详细实验指导描述的优点，辅助完成每项试验内容。