理论课实验

- 数据科学与计算机学院
- 软件工程3班
- 米家龙
- 18342075

目录

实验题目

1. 进程的创建实验
2. 进程间通信
3. 命令解释器
4. 线程实验——用线程生成 Fibonacci 数列
5. 同步互斥问题
    - 生产者消费者问题

- 读者写者问题

实验环境

使用老师提供的 `mooc-os-2015.vdi`，在虚拟机中创建 64 位的 Ubuntu 虚拟机并加载该 vdi，获得了版本为：

```
Linux moocos-VirtualBox 3.13.0-24-generic #46-Ubuntu SMP Thu Apr 10 19:11:08 UTC 2014 x86_64 x86_64 x86_64 GNU/Linux
```

的虚拟机操作系统

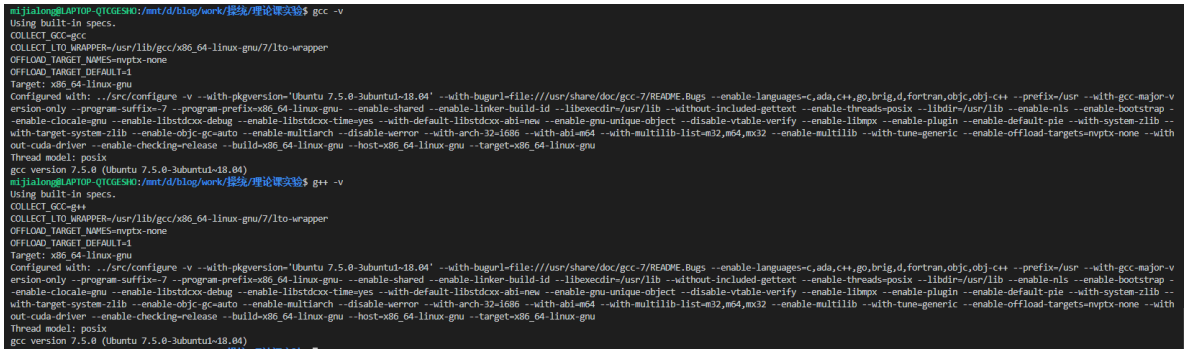
并且使用 vscode 配合 Remote SSH 插件，实现通过远程终端在 windows 环境的对文件的编辑和运行

2. WSL

WSL 配置如下：

```
Linux LAPTOP-QTCGESHO 4.4.0-19041-Microsoft #1-Microsoft Fri Dec 06 14:06:00 PST 2019 x86_64 x86_64 x86_64 GNU/Linux
```

其中 gcc 和 g++ 版本如下图



1. 进程的创建实验

实验目的

1. 加深对进程概念的理解，明确进程和程序的区别。进一步认识并发执行的实质。
2. 认识进程生成的过程，学会使用fork生成子进程，并知道如何使子进程完成与父进程不同的工作。

实验内容

1. 编译运行程序，解释现象（对应代码1.1.cpp）

代码如下

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

int main()
{
```

```
    int pid1 = fork();
    printf("**1**\n");
    int pid2 = fork();
    printf("**2**\n");
    if (pid1 == 0)
    {
      int pid3 = fork();
      printf("**3**\n");
    }
    else
      printf("**4**\n");
    return 0;
}
```

分别在 WSL 和虚拟机中编译运行，运行结果如下

根据 `fork()` 函数的定义，了解到当执行fork()函数后，会生成一个子进程，子进程的执行从 `fork()` 的返回值开始且代码继续往下执行。 `fork()` 执行一次后会有两次返回值：第一次为原来的进程，即父进程会有一次返回值，表示新生成的子进程的进程ID；第二次为子进程的起始执行，返回值为0。

查看 WSL 输出顺序，推导出代码执行过程如下：

1. *主进程* 创建 *子进程1*
2. *主进程* 和 *子进程1* 输出 `**1**\n`
3. *主进程* 创建 *子进程2* ， *子进程1* 创建 *子进程12*
4. *主进程* 和 *子进程1* 和 *子进程2* 和 *子进程12* 输出 `**2**\n`
5. 各个进程判断自己的 **pid1** 是否为0，其中 *主进程* 和 *子进程2* 的 **pid1** 存在且相同
6. *主进程* 和 *子进程2* 输出 `**4**\n` ， *子进程1* 和 *子进程12* 创建 *子进程13* 和 *子进程123*
7. *子进程1* 和 *子进程12* 和 *子进程13* 和 *子进程123* 输出 `**3**\n`

发现 WSL 和虚拟机中编译运行的结果不同，在虚拟机上多次运行，输出结果也不完全相同，是因为线程的执行的顺序不同导致的，但对于单个线程来说，执行的步骤没有区别

代码	主进程	子进程1	子进程2	子进程12	子进程13	子进程123
`int pid1 = fork()`	创建*子进程1*，pid1 != 0	创建成功，pid1 = 0	\	\	\	\
`printf("**1**\n")`	输出 `**1**\n`	输出 `**1**\n`	\	\	\	\
`int pid2 = fork()`	创建*子进程2*，pid2 != 0	创建*子进程12*，pid2 != 0	创建成功 pid1 != 0，pid2 = 0	创建成功，pid1 = 0，pid2 = 0	\	\
`printf("**2**\n")`	输出 `**2**\n`	输出 `**2**\n`	输出 `**2**\n`	输出 `**2**\n`	\	\
`if (pid1 == 0)`	判断 -> 不进入	判断 -> 进入	判断 -> 不进入	判断 -> 进入	\	\
`int pid3 = fork()`	\	创建*子进程13*，pid3 != 0	\	创建*子进程123*，pid3 != 0	创建成功，pid1 = 0，pid2 != 0，pid3 = 0	创建成功，pid1 = pid2 = pid3 = 0
`printf("**3**\n")`	\	输出 `**3**\n`	\	输出 `**3**\n`	输出 `**3**\n`	输出 `**3**\n`
`printf("**4**\n")`	输出 `**4**\n`	\	输出 `**4**\n`	\	\	

2. 通过实验完成习题3.4 （对应代码1.2.c）

习题3.4的代码如下

```c
#include <sys/types.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

int value = 5;

int main()
{
  pid_t pid;
  pid = fork();

  if (pid == 0)
    value += 15;
  else if (pid > 0)
  {
    wait(NULL);
    printf("PAREMT: value = %d", value);
    exit(0);
  }
}
```

尝试在 WSL 中运行，发现会报错，报错原因是缺少 `wait()` 和 `exit()` 函数，于是在虚拟机中运行，虽然会 Warning 提示 `exit()` 函数的问题，但是可以运行，运行结果如下

```
PAREMT: value = 5mijialong$>gcc 1.2.c
1.2.c: In function ‘main’:
1.2.c:18:5: warning: incompatible implicit declaration of built-in function ‘exit’ [enabled by
 default]
     exit(0);
     ^
mijialong$>./a.out
PAREMT: value = 5
mijialong$>
```

经过查阅资料后了解到，c++ 中缺少上述函数，而在 c 语言中则并不会，因此要求代码使用 c 语言来编写

3. 编程练习（对应代码1.3.cpp）

> 编写一段程序，使用系统调用 `fork()` 创建两个子进程。当此程 序运行时，在系统中有一个父进程和两个子进程活动。让每一 个进程在屏幕上显示一个字符；父进程显示字符“a”；子进程分别显示字符“b”和字符“c”。试观察记录屏幕上的显示结果，并分析原因

代码如下

```cpp
#include <sys/types.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <iostream>

using namespace std;

int main()
{
  cout << 'a' << endl;

  // 创建子进程b
  pid_t pid_b = fork();
  if (pid_b == 0) // 确认是子进程b
  {
    cout << 'b' << endl;
    pid_t pid_c = fork();

    if (pid_c == 0) // 确认是子进程c
    {
      cout << 'c' << endl;
    }
  }

  return 0;
}
```

运行结果如下

```
mijialong$>g++ 1.3.cpp
mijialong$>./a.out
a
b
c
mijialong$>
```

出现该现象的原因是因为：

1. *主进程* 输出“a”

2. *主进程* 创建的 *子进程b*
3. 只有 *子进程b* 才会运行接下来的代码
    1. 输出“b”
    2. 创建 *子进程c*
    3. 只有 *子进程c* 才会运行接下来的代码
        1. 输出“c”

2. 进程间的通信

实验目的

进程间共享内存实验，初步了解这种进程间通讯

实验内容

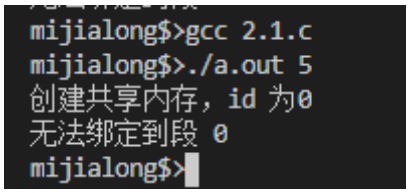
> 完成课本第三章的练习3.10的程序

代码如下

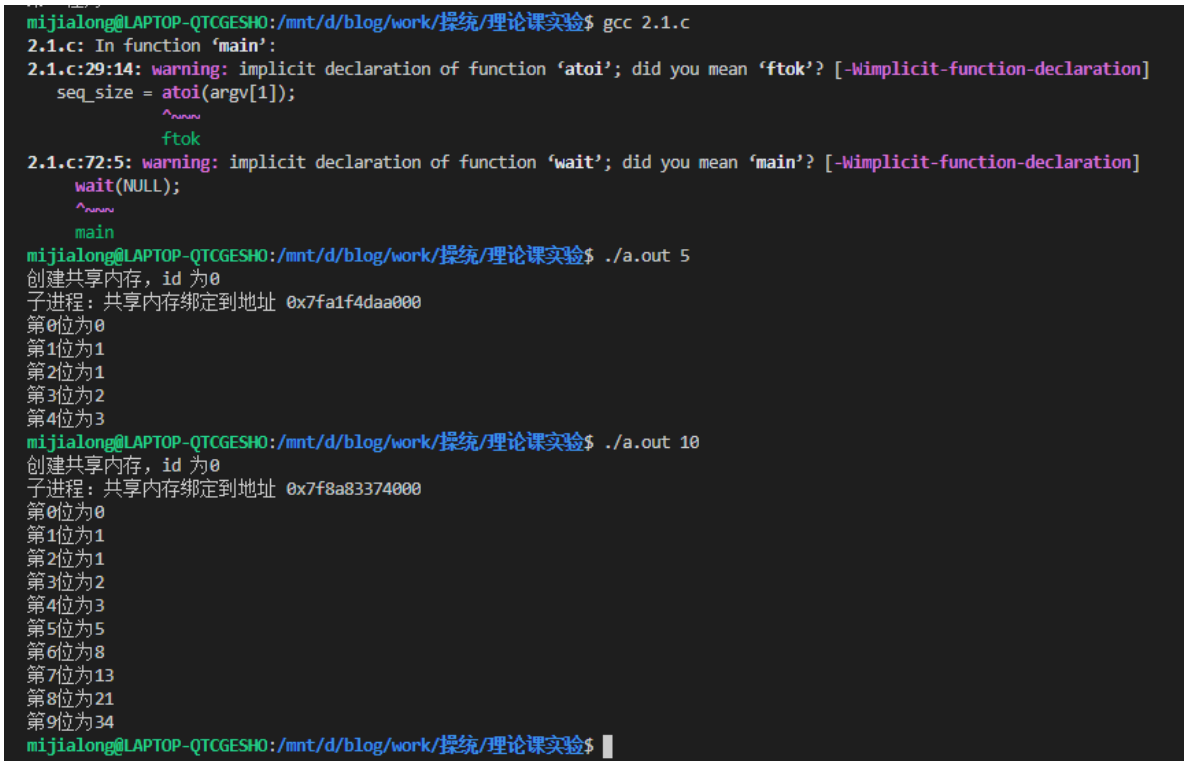
```c
#include <sys/types.h>
#include <sys/shm.h>
#include <sys/stat.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

#define PERMS (S_IRUSR | S_IWUSR) // 定义权限
#define MAX_SEQUEENCE 10          // 定义队列长度

typedef struct
{
  long fib_squenece[MAX_SEQUEENCE];
  int sequence_size;
} shared_data;

int main(int argc, char **argv)
{
  int seq_size;
  pid_t pid;
  int seg_id;              // 共享内存段的 id
  shared_data *shared_mem; // 共享内存段的指针

  if (argc != 2) // 参数不够
  {
    fprintf(stderr, "Usage: ./shm-fib <int sequence size>\n");
    return -1;
  }

  seq_size = atoi(argv[1]);
  if (seq_size > MAX_SEQUEENCE) // 超出长度
  {
    fprintf(stderr, "队列长度需要小于 %d\n", MAX_SEQUEENCE);
    return -1;
```

```c
    }

    // 创建内存段
    if (seg_id = shmget(IPC_PRIVATE, sizeof(shared_data), PERMS) == -1)
    {
      fprintf(stderr, "无法创建合适的内存段\n");
      return 1;
    }

    printf("创建共享内存，id 为%d\n", seg_id);

    // 创建共享内存
    if ((shared_mem = (shared_data *)shmat(seg_id, 0, 0)) == (shared_data *)-1)
    {
      fprintf(stderr, "无法绑定到段 %d\n", seg_id);
      return 0;
    }
    shared_mem->sequence_size = seq_size;

    if ((pid = fork()) == (pid_t)-1) // 创建线程失败
      return 1;

    if (pid == 0) // 如果是子进程
    {
      printf("子进程：共享内存绑定到地址 %p\n", shared_mem);

      shared_mem->fib_squenece[0] = 0;
      shared_mem->fib_squenece[1] = 1;

      for (int i = 2; i < shared_mem->sequence_size; i++)
        shared_mem->fib_squenece[i] =
            shared_mem->fib_squenece[i - 1] + shared_mem->fib_squenece[i - 2];

      // 清空
      shmdt((void *)shared_mem);
    }
    else
    {
      wait(NULL);

      for (int i = 0; i < shared_mem->sequence_size; i++)
        printf("第%d位为%ld\n", i, shared_mem->fib_squenece[i]);

      // 清空
      shmdt((void *)shared_mem);
      shmctl(seg_id, IPC_RMID, NULL);
    }

    return 0;
  }
```

尝试在虚拟机中运行代码，发现会出现如下错误



而在 WSL 运行，则可以运行，如下图



3. 命令解释器（对应代码3.1.c）

实验内容

> - 完成课本上第三章的项目：实现shell
> - 实现程序的后台运行

代码如下：

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

#define MAX_LINE 80

char operation[10][MAX_LINE];
int index = 0;

void setup(char inputBuffer[], char **args, int *background);
void History(int signal);

// 主函数
int main(int argc, char **argv)
{
  char inputBuffer[MAX_LINE];   // 存放命令
  int background = 0;           // 1代表后台运行
  char *args[MAX_LINE / 2 + 1]; // 最多40个参数
  signal(SIGINT, History);
```

```
23
24      while (1)
25      {
26        background = 0;
27        printf("COMMAND->");
28        fflush(stdout); // 需要刷新，不然无法显示
29        setup(inputBuffer, args, &background);
30
31        pid_t pid;
32        if ((pid = fork()) == (pid_t)-1) // 创建失败
33        {
34          fprintf(stderr, "\n创建线程失败，线程id为%d\n", pid);
35          fflush(stderr);
36          exit(-1);
37        }
38        if (pid == 0) // 判断是子进程
39        {
40          execvp(args[0], args);
41          exit(0);
42        }
43        else if (background == 0)
44          wait(0);
45        else if (background == 1)
46          continue;
47      }
48    }
49
50    void setup(char inputBuffer[], char *args[], int *background)
51    {
52      int length = read(STDIN_FILENO, inputBuffer, MAX_LINE); // 命令的字符数目
53      int start = -1;                                          // 命令的第一个字符位置
54      int ct = 0;                                              // 下一个参数存入 args[]
    的位置
55
56      if (length == 0)
57        exit(0);
58      if (length < 0) // 读取错误
59      {
60        perror("命令错误");
61        exit(-1);
62      }
63
64      for (int i = 0; i < length; i++) // 遍历缓冲区
65      {
66        operation[index][i] = inputBuffer[i];
67        switch (inputBuffer[i])
68        {
69        // 字符为分割参数的空格或制表符(tab)'\t'
70        case ' ':
71        case '\t':
72        {
73          if (start != -1)
74          {
75            args[ct] = &inputBuffer[start];
76            ct++;
77          }
78          inputBuffer[i] = '\0'; // 终止符
79          start = -1;
```

```
        break;
      }
      case '\n': // 命令行结束
      {
        if (start != -1)
        {
          args[ct] = &inputBuffer[start];
          ct++;
        }

        inputBuffer[i] = '\0';
        break;
      }
      default: // 其他字符
      {
        if (start == -1)
          start = i;
        if (inputBuffer[i] == '&')
        {
          *background = 1;
          inputBuffer[i] = '\0';
        }
      }
      }
    }
    args[ct] = NULL;

    operation[index][length] = '\0';
    if (inputBuffer[0] != '\0' && inputBuffer[0] != '\n' && inputBuffer[0] != ' ' && inputBuffer[0] != SIGINT)
      index = (index + 1) % 10;
  }

  void History(int signal)
  {
    printf("\n");
    fflush(stdout);
    int num = 0;
    for (int i = 0; i < 10; i++)
    {
      if (operation[(i + index) % 10][0] != '\0' && operation[(i + index) % 10][0] != '\n' && operation[(i + index) % 10][0] != ' ' && operation[(i + index) % 10][0] != SIGINT)
      {
        printf("%d: %s", (num++) + 1, operation[(i + index) % 10]);
        fflush(stdout);
        num %= 10;
      }
    }
    // printf("\ntest\n");
    // fflush(stdout);
  }
```

运行代码情况如下：

4. 线程实验（对应代码4.1.c）

> 用 pthread 线程库，按照第四章习题4.11的 要求生成并输出 *Fibonacci* 数列

代码如下

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>

#define MAX_SIZE 256

int fib[MAX_SIZE]; // 储存用的数组

void *run(void *arg)
{
  int upper = atoi(arg); // 上限

  if (upper == 0)
    pthread_exit(0);
  else
  {
    fib[0] = 0;
    fib[1] = 1;

    for (int i = 2; i < upper; i++)
      fib[i] = fib[i - 1] + fib[i - 2];
  }

  pthread_exit(0);
}

int main(int argc, char **argv[])
{
  pthread_t tid;        // 线程 id
  pthread_attr_t tattr; // 线程属性

  if (argc != 2) // 参数不够
  {
    fprintf(stderr, "Usage: ./a.out <int value>\n");
    return -1;
  }

  int parem = atoi(argv[1]);
  if (parem < 0)
  {
    fprintf(stderr, "参数为%d，需要大于0", parem);
    return -1;
  }

  pthread_attr_init(&tattr);                  // 初始化属性
  pthread_create(&tid, &tattr, run, argv[1]); // 创建线程

  pthread_join(tid, NULL); // 等待结束

  for (int i = 0; i < parem; i++)
```

```
        printf("第%d位为%d\n", i, fib[i]);
        // printf("%d is %d\n", i, fib[i]);

    return 0;
}
```

尝试编译，结果出现如下报错

```
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验$ gcc 4.1.c
4.1.c: In function ‘main’:
4.1.c:38:20: warning: passing argument 1 of ‘atoi’ from incompatible pointer type [-Wincompatible-pointer-types]
   int parem = atoi(argv[1]);
                    ^~~~
In file included from 4.1.c:2:0:
/usr/include/stdlib.h:104:12: note: expected ‘const char *’ but argument is of type ‘char **’
 extern int atoi (const char *__nptr)
            ^~~~
/tmp/ccmn6TZY.o: In function `main':
4.1.c:(.text+0x16b): undefined reference to `pthread_create'
4.1.c:(.text+0x17c): undefined reference to `pthread_join'
collect2: error: ld returned 1 exit status
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验$
```

查阅资料后了解到，如果需要使用 pthread 库，不仅需要在环境中安装 *manpages-posix* 软件包，还需要在编译时加入参数 `-lpthread` 链接到对应的库

使用命令 `sudo apt install manpages-posix` 安装了对应的软件包后，对代码进行编译运行，结果如下

```
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验$ gcc 4.1.c -lpthread
4.1.c: In function ‘main’:
4.1.c:38:20: warning: passing argument 1 of ‘atoi’ from incompatible pointer type [-Wincompatible-pointer-types]
   int parem = atoi(argv[1]);
                    ^~~~
In file included from 4.1.c:2:0:
/usr/include/stdlib.h:104:12: note: expected ‘const char *’ but argument is of type ‘char **’
 extern int atoi (const char *__nptr)
            ^~~~
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验$ ./a.out 10
第0位为0
第1位为1
第2位为1
第3位为2
第4位为3
第5位为5
第6位为8
第7位为13
第8位为21
第9位为34
```

但是在将参数加大后，发现会出现溢出的情况，于是将对应的数组类型从 `int` 改为 `long` ，优化后代码如下

```
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验$ ./a.out 50
第0位为0
第1位为1
第2位为1
第3位为2
第4位为3
第5位为5
第6位为8
第7位为13
第8位为21
第9位为34
第10位为55
第11位为89
第12位为144
第13位为233
第14位为377
第15位为610
第16位为987
第17位为1597
第18位为2584
第19位为4181
第20位为6765
第21位为10946
第22位为17711
第23位为28657
第24位为46368
第25位为75025
第26位为121393
第27位为196418
第28位为317811
第29位为514229
第30位为832040
第31位为1346269
第32位为2178309
第33位为3524578
第34位为5702887
第35位为9227465
第36位为14930352
第37位为24157817
第38位为39088169
第39位为63245986
第40位为102334155
第41位为165580141
第42位为267914296
第43位为433494437
第44位为701408733
第45位为1134903170
第46位为1836311903
第47位为2971215073
第48位为4807526976
第49位为7778742049
```

但对于更大的数据，`long` 数据类型依然有其局限性

5. 同步互斥问题

生产者消费者问题（对应代码5.1.1.c）

> 利用线程同步机制，实现消费者-生产者问题

1. 互斥锁/互斥量（mutex）

互斥锁的属性：

1. 原子性。对mutex的加锁和解锁操作是原子的，一个线程进行 mutex 操作的过程中，其他线程不能对同一个 mutex 进行其他操作。
2. 单一性。拥有 mutex 的线程除非释放 mutex ，否则其他线程不能拥有此 mutex 。
3. 非忙等待。等待 mutex 的线程处于等待状态，直到要等待的 mutex 处于未加锁状态，这时操作系统负责唤醒等待此 mutex 的线程。

2. 信号量

- POSIX 信号量在多线程编程中可以起到同步或互斥的作用。 用 POSIX 信号量可以实现传统操作系统 P、V操作(即对应课本 的wait、signal)。
- 由于 POSIX 信号量不是内核负责维护，所以当进程退出后，POSIX 信号量自动消亡。

具体实现

> 由于项目要求是对 `full` 和 `empty` 采用标准计数信号量，而 `mutex` 采用二进制信号量，因此可以分别使用信号量和互斥锁进行实现

代码实现如下：

```c
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <stdlib.h>
#include <semaphore.h>

typedef int buffer_item;
#define BUFFER_SIZE 5
#define MAX_THREAD 10

buffer_item buffer[BUFFER_SIZE];

typedef struct
{
  int thread_id; // 线程 id
  char role;     // P 生产者， C 消费者
  int startTime; // 线程创建后开始行动的时间
  int lastTime;  // 生产/消费持续时间
  int products;  // 产品（只有生产者才有）
} ThreadArgs;    // 线程的参数

pthread_mutex_t mutex;
sem_t full, empty;

int pBufferIndex = 0, cBufferIndex = 0; // 分别作为生产者/消费者在缓冲区上面的索引

int insertItem(buffer_item item);
int removeItem(int threadId);
void *producer(void *param);
void *consumer(void *param);

int main(int argc, char *argv[])
```

```
{
  // 1. 运行可执行文件时需要三个参数
  printf("step 1： 获取参数\n");
  ThreadArgs cmds[MAX_THREAD + 1];
  int threadId, threadNum = 0;
  char role;
  while (scanf("%d %c", &threadId, &role) != EOF)
  {
    // 默认角色是 C
    // printf("%c", role);
    if (role == 'P' || role == 'C')
    {
      cmds[threadNum].thread_id = threadId;
      cmds[threadNum].role = role;
      int startTime, lastTime;
      scanf("%d %d", &startTime, &lastTime);
      cmds[threadNum].startTime = startTime;
      cmds[threadNum].lastTime = lastTime;
    }
    if (role == 'P') // 生产者多一个参数
    {
      int products;
      scanf("%d", &products);
      cmds[threadNum].products = products;
    }
    threadNum++;
  }

  for (int i = 0; i < threadNum; i++)
  {
    if (cmds[i].role == 'P')
      printf("命令：%d %c %d %d %d\n",
             cmds[i].thread_id, cmds[i].role,
             cmds[i].startTime, cmds[i].lastTime, cmds[i].products);
    else
      printf("命令：%d %c %d %d\n",
             cmds[i].thread_id, cmds[i].role,
             cmds[i].startTime, cmds[i].lastTime);
  }

  // 2. 初始化缓冲区 buffer
  printf("\nstep 2：初始化\n");
  pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
  sem_init(&full, 0, 0);
  sem_init(&empty, 0, BUFFER_SIZE);
  pthread_t threads[MAX_THREAD + 1];
  for (int i = 0; i < 5; i++)
    buffer[i] = 0;

  // 3. 创建线程

  printf("\nstep 3：创建线程\n");
  for (int i = 0; i < threadNum; i++)
  {
    if (cmds[i].role == 'P')
    {
      pthread_create(&threads[i], NULL, producer, &cmds[i]);
      printf("创建进程 %d ，是生产者\n", cmds[i].thread_id);
```

```
      }
      else if (cmds[i].role == 'C')
      {
        pthread_create(&threads[i], NULL, consumer, &cmds[i]);
        printf("创建进程 %d ，是消费者\n", cmds[i].thread_id);
      }
    }

    // 4. 等待结束
    printf("\nstep 4：等待线程结束\n");

    for (int i = 0; i < threadNum; i++)
    {
      pthread_join(threads[i], NULL);
    }

    // 6. 退出
    printf("\nstep 6：销毁信号量\n");
    pthread_mutex_destroy(&mutex);
    sem_destroy(&full);
    sem_destroy(&empty);
    return 0;
  }

  /**
   * 插入对象到缓冲区中
   * @param item buffer_item（本质上是 int）
   * @return 0成功，1失败
  */
  int insertItem(buffer_item item)
  {
    // printf("尝试插入元素\n");

    if (buffer[pBufferIndex] == 0)
    {
      buffer[pBufferIndex] = item;
      pBufferIndex = (pBufferIndex + 1) % BUFFER_SIZE;
      return 0;
    }
    return 1;
  }

  /**
   * @todo
   * 从缓冲区中删除对应的对象
   * @param threadId int ，代表线程 id
   * @return 0成功，1失败
  */
  int removeItem(int threadId)
  {
    if (buffer[cBufferIndex] != 0)
    {
      printf("线程 %d （消费者）：消耗 %d\n", threadId, buffer[cBufferIndex]);
      buffer[cBufferIndex] = 0;
      cBufferIndex = (cBufferIndex + 1) % BUFFER_SIZE;
      return 0;
    }
    return 1;
```

```
}

/**
 * 生产者函数
 * @param threadArg ThreadArg , 代表命令
*/
void *producer(void *param)
{
  ThreadArgs *cmd = (ThreadArgs *)param;
  sleep(cmd->startTime); // 创建后的延迟

  while (1)
  {
    sem_wait(&empty);
    pthread_mutex_lock(&mutex); // 锁了

    if (insertItem(cmd->products))
      printf("线程 %d （生产者）：插入失败\n", cmd->thread_id);
    else
    {
      printf("线程 %d （生产者）：生产 %d\n", cmd->thread_id, cmd->products);
      sleep(cmd->lastTime);
    }
    pthread_mutex_unlock(&mutex);
    sem_post(&full);
    pthread_exit(0);
  }
}

/**
 * 消费者函数
 * @param threadArg ThreadArg , 代表命令
*/
void *consumer(void *param)
{
  ThreadArgs *cmd = (ThreadArgs *)param;
  sleep(cmd->startTime);

  while (1)
  {
    sem_wait(&full);
    pthread_mutex_lock(&mutex); // 锁了

    if (removeItem(cmd->thread_id))
      printf("线程 %d （消费者）：消耗失败\n", cmd->thread_id);
    else
      sleep(cmd->lastTime);

    pthread_mutex_unlock(&mutex); // 解锁
    sem_post(&empty);
    pthread_exit(0);
  }
}
```

运行结果如下：

```
^C
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验/code$ gcc 5.1.1.c -l pthread
5.1.1.c: In function ‘producer’:
5.1.1.c:157:3: warning: implicit declaration of function ‘sleep’ [-Wimplicit-function-declaration]
   sleep(cmd->startTime); // 创建后的延迟
   ^~~~~
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验/code$ ./a.out < test.txt
step 1:  获取参数
命令: 1 C 3 5
命令: 2 P 4 5 1
命令: 3 C 5 2
命令: 4 C 6 5
命令: 5 P 7 3 2
命令: 6 P 8 4 3

step 2: 初始化

step 3: 创建线程
创建进程 1 , 是消费者
创建进程 2 , 是生产者
创建进程 3 , 是消费者
创建进程 4 , 是消费者
创建进程 5 , 是生产者
创建进程 6 , 是生产者

step 4: 等待线程结束
线程 2 （生产者）: 生产 1
线程 5 （生产者）: 生产 2
线程 6 （生产者）: 生产 3
线程 4 （消费者）: 消耗 1
线程 3 （消费者）: 消耗 2
线程 1 （消费者）: 消耗 3

step 6: 销毁信号量
```

读者写者问题

1. 读者优先（对应代码5.2.1.c）

> 读者优先指的是除非有写者在写文件，否则读者不需要等待。（读者队列为空时才会写）

代码如下：

```c
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
#include <sys/types.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

/**
 * 职能
 * @param Reader 代表读者
 * @param Writer 代表写者
*/
typedef enum
{
  Reader,
  Writer
} Role;

/**
 * 线程命令
```

```c
 * @param threadId int 代表线程 id
 * @param role Role 代表职能
 * @param startTime int 创建线程之后的延迟
 * @param lastTime int 读/写操作持续时间
*/
typedef struct
{
  int threadId;
  Role role;
  int startTime;
  int lastTime;
} ThreadArgs;

#define MAX_THREAD 15

sem_t writing;      // 正在写，写-写互斥
sem_t reading;      // 正在读
sem_t readingCount; // 阅读队列
sem_t writingCount; // 写队列

int writerCount = 0; // 读者数量
int readerCount = 0; // 写者数量
int buffer = 0;

/**
 * 读者函数
 * @param threadArg ThreadArg
*/
void *reader(void *param);

/**
 * 写者函数
 * @param threadArg ThreadArg
*/
void *writer(void *param);

int main(int argc, char *argv[])
{
  // 1. 获取命令
  printf("step 1: 获取命令\n");
  int threadNum = 0;
  int threadId, startTime, lastTime;
  char role;
  ThreadArgs cmds[MAX_THREAD + 1];
  while (scanf("%d %c %d %d", &threadId, &role, &startTime, &lastTime) != EOF)
  {
    cmds[threadNum].threadId = threadId;
    cmds[threadNum].startTime = startTime;
    cmds[threadNum].lastTime = lastTime;
    cmds[threadNum].role = role == 'W' ? Writer : (role == 'R' ? Reader : ' ');
    threadNum++;
  }

  for (int i = 0; i < threadNum; i++)
    printf("命令: %d %c %d %d\n",
           cmds[i].threadId,
           cmds[i].role == Writer ? 'W' : (cmds[i].role == Reader ? 'R' : 'E'),
           cmds[i].startTime, cmds[i].lastTime);
```

```
79
80      // 2. 初始化
81      printf("\nstep 2: 初始化\n");
82      sem_init(&reading, 0, 1);
83      sem_init(&writing, 0, 1);
84      sem_init(&writingCount, 0, 1);
85      sem_init(&readingCount, 0, 1);
86
87      // 3. 创建线程
88      printf("\nstep 3: 创建线程\n");
89      pthread_t threads[MAX_THREAD + 1];
90      for (int i = 0; i < threadNum; i++)
91      {
92        if (cmds[i].role == Reader)
93        {
94          pthread_create(&threads[i], NULL, reader, &cmds[i]);
95          printf("创建进程 %d ，是读者\n", cmds[i].threadId);
96        }
97        else if (cmds[i].role == Writer)
98        {
99          pthread_create(&threads[i], NULL, writer, &cmds[i]);
100         printf("创建进程 %d ，是写者\n", cmds[i].threadId);
101       }
102     }
103
104     // 4. 等待线程结束
105     printf("\nstep 4: 等待线程结束\n");
106     for (int i = 0; i < threadNum; i++)
107       pthread_join(threads[i], NULL);
108
109     // 5. 销毁信号量
110     printf("\nstep 5: 销毁信号量\n");
111
112     sem_destroy(&reading);
113     sem_destroy(&writing);
114     sem_destroy(&writingCount);
115     sem_destroy(&readingCount);
116
117     exit(1);
118     return 1;
119   }
120
121   void *writer(void *param)
122   {
123     ThreadArgs *cmd = (ThreadArgs *)param;
124     sleep(cmd->startTime);
125     while (1)
126     {
127       // 申请资源
128       printf("线程 %d （写者）：申请资源\n", cmd->threadId);
129       sem_wait(&writingCount);
130       writerCount++;        // 写者数量增加
131       if (writerCount == 1) // 避免死锁
132         sem_wait(&reading); // 读写互斥
133       sem_post(&writingCount);
134       sem_wait(&writing);
135
136       // 正式开始写
```

```
137       buffer = rand() % 65535; // 写入的数据
138       printf("线程 %d （写者）：写数据 %d\n", cmd->threadId, buffer);
139       sleep(cmd->lastTime);
140       printf("线程 %d （写者）：写数据完成\n", cmd->threadId);
141
142       // 释放资源
143       sem_post(&writing);
144       sem_wait(&writingCount);
145       writerCount--;
146       if (writerCount == 0)
147         sem_post(&reading);
148       sem_post(&writingCount);
149
150       pthread_exit(0);
151     }
152   }
153
154   void *reader(void *param)
155   {
156     ThreadArgs *cmd = (ThreadArgs *)param;
157     sleep(cmd->startTime);
158     while (1)
159     {
160       // 申请资源
161       printf("线程 %d （读者）：申请资源\n", cmd->threadId);
162       sem_wait(&reading);
163       sem_wait(&readingCount);
164       readerCount++;
165       if (readerCount == 1) // 如果只有一位则需要等，如果已经有读者正在阅读，那么可以直接读
166         sem_wait(&writing);
167       sem_post(&readingCount);
168       sem_post(&reading); // 由于必然会占用 writing ，那么读写互斥达成，释放 reading 给
    别的读者
169
170       // 正式开读
171       printf("线程 %d （读者）：读数据 %d\n", cmd->threadId, buffer);
172       sleep(cmd->lastTime);
173       printf("线程 %d （读者）：读数据完成\n", cmd->threadId);
174
175       // 回收资源
176       sem_wait(&readingCount);
177       readerCount--;
178       if (readerCount == 0)
179         sem_post(&writing); // 没有读者时，释放可写信号
180       sem_post(&readingCount);
181
182       pthread_exit(0);
183     }
184   }
```

运行结果如下：

```
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验/code$ gcc 5.2.1.c -l pthread
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验/code$ ./a.out < rw.txt
step 1: 获取命令
命令: 1 R 3 5
命令: 2 W 4 5
命令: 3 R 5 2
命令: 4 R 6 5
命令: 5 W 7 3

step 2: 初始化

step 3: 创建线程
创建进程 1 , 是读者
创建进程 2 , 是写者
创建进程 3 , 是读者
创建进程 4 , 是读者
创建进程 5 , 是写者

step 4: 等待线程结束
线程 1 （读者）: 申请资源
线程 1 （读者）: 读数据 0
线程 2 （写者）: 申请资源
线程 3 （读者）: 申请资源
线程 4 （读者）: 申请资源
线程 5 （写者）: 申请资源
线程 1 （读者）: 读数据完成
线程 2 （写者）: 写数据 45298
线程 2 （写者）: 写数据完成
线程 5 （写者）: 写数据 22081
线程 5 （写者）: 写数据完成
线程 3 （读者）: 读数据 22081
线程 4 （读者）: 读数据 22081
线程 3 （读者）: 读数据完成
线程 4 （读者）: 读数据完成

step 5: 销毁信号量
```

2. 写者优先（对应代码5.2.3.c）

代码如下：

```c
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
#include <sys/types.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

/**
 * 职能
 * @param Reader 代表读者
 * @param Writer 代表写者
*/
typedef enum
{
  Reader,
  Writer
} Role;

/**
 * 线程命令
 * @param threadId int 代表线程 id
 * @param role Role 代表职能
```

```
 * @param startTime int 创建线程之后的延迟
 * @param lastTime int 读/写操作持续时间
*/
typedef struct
{
  int threadId;
  Role role;
  int startTime;
  int lastTime;
} ThreadArgs;

#define MAX_THREAD 15

sem_t writing;      // 正在写，写-写互斥
sem_t reading;      // 正在读
sem_t readingCount; // 阅读队列
sem_t writingCount; // 写队列

int writerCount = 0; // 读者数量
int readerCount = 0; // 写者数量
int buffer = 0;

/**
 * 读者函数
 * @param threadArg ThreadArg
*/
void *reader(void *param);

/**
 * 写者函数
 * @param threadArg ThreadArg
*/
void *writer(void *param);

int main(int argc, char *argv[])
{
  // 1. 获取命令
  printf("step 1: 获取命令\n");
  int threadNum = 0;
  int threadId, startTime, lastTime;
  char role;
  ThreadArgs cmds[MAX_THREAD + 1];
  while (scanf("%d %c %d %d", &threadId, &role, &startTime, &lastTime) != EOF)
  {
    cmds[threadNum].threadId = threadId;
    cmds[threadNum].startTime = startTime;
    cmds[threadNum].lastTime = lastTime;
    cmds[threadNum].role = role == 'W' ? Writer : (role == 'R' ? Reader : ' ');
    threadNum++;
  }

  for (int i = 0; i < threadNum; i++)
    printf("命令: %d %c %d %d\n",
           cmds[i].threadId,
           cmds[i].role == Writer ? 'W' : (cmds[i].role == Reader ? 'R' : 'E'),
           cmds[i].startTime, cmds[i].lastTime);

  // 2. 初始化
```

```
81      printf("\nstep 2: 初始化\n");
82      sem_init(&reading, 0, 1);
83      sem_init(&writing, 0, 1);
84      sem_init(&writingCount, 0, 1);
85      sem_init(&readingCount, 0, 1);
86
87      // 3. 创建线程
88      printf("\nstep 3: 创建线程\n");
89      pthread_t threads[MAX_THREAD + 1];
90      for (int i = 0; i < threadNum; i++)
91      {
92        if (cmds[i].role == Reader)
93        {
94          pthread_create(&threads[i], NULL, reader, &cmds[i]);
95          printf("创建进程 %d ，是读者\n", cmds[i].threadId);
96        }
97        else if (cmds[i].role == Writer)
98        {
99          pthread_create(&threads[i], NULL, writer, &cmds[i]);
100         printf("创建进程 %d ，是写者\n", cmds[i].threadId);
101       }
102     }
103
104     // 4. 等待线程结束
105     printf("\nstep 4: 等待线程结束\n");
106     for (int i = 0; i < threadNum; i++)
107       pthread_join(threads[i], NULL);
108
109     // 5. 销毁信号量
110     printf("\nstep 5: 销毁信号量\n");
111
112     sem_destroy(&reading);
113     sem_destroy(&writing);
114     sem_destroy(&writingCount);
115     sem_destroy(&readingCount);
116
117     exit(1);
118     return 1;
119   }
120
121   void *writer(void *param)
122   {
123     ThreadArgs *cmd = (ThreadArgs *)param;
124     sleep(cmd->startTime);
125     while (1)
126     {
127       // 申请资源
128       printf("线程 %d （写者）：申请资源\n", cmd->threadId);
129       sem_wait(&writingCount);
130       writerCount++;
131       if (writerCount == 1)
132         sem_wait(&reading);
133       sem_post(&writingCount);
134       sem_wait(&writing); // 写者优先
135
136       // 正式开始写
137       buffer = rand() % 65535; // 写入的数据
138       printf("线程 %d （写者）：写数据 %d\n", cmd->threadId, buffer);
```

```
      sleep(cmd->lastTime);
      printf("线程 %d （写者）：写数据完成\n", cmd->threadId);

      // 释放资源
      sem_wait(&writingCount);
      writerCount--;
      if (writerCount == 0)
        sem_post(&reading);
      sem_post(&writing);
      sem_post(&writingCount);
      pthread_exit(0);
    }
  }

  void *reader(void *param)
  {
    ThreadArgs *cmd = (ThreadArgs *)param;
    sleep(cmd->startTime);
    while (1)
    {
      // 申请资源
      printf("线程 %d （读者）：申请资源\n", cmd->threadId);
      sem_wait(&readingCount);
      readerCount++;
      if (readerCount == 1)
        sem_wait(&writing);
      sem_post(&readingCount);
      sem_wait(&reading);

      // 正式开读
      printf("线程 %d （读者）：读数据 %d\n", cmd->threadId, buffer);
      sleep(cmd->lastTime);
      printf("线程 %d （读者）：读数据完成\n", cmd->threadId);

      // 回收资源
      sem_post(&reading);
      sem_wait(&readingCount);
      readerCount--;
      // if (readerCount == 0)
      sem_post(&writing); // 没有读者时，释放可写信号
      sem_post(&readingCount);

      pthread_exit(0);
    }
  }
```

运行结果如下：

```
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验/code$ gcc 5.2.3.c -l pthread
mijialong@LAPTOP-QTCGESHO:/mnt/d/blog/work/操统/理论课实验/code$ ./a.out < rw.txt
step 1: 获取命令
命令: 1 R 3 5
命令: 2 W 4 5
命令: 3 R 5 2
命令: 4 R 6 5
命令: 5 W 7 3

step 2: 初始化

step 3: 创建线程
创建进程 1 , 是读者
创建进程 2 , 是写者
创建进程 3 , 是读者
创建进程 4 , 是读者
创建进程 5 , 是写者

step 4: 等待线程结束
线程 1 （读者）: 申请资源
线程 1 （读者）: 读数据 0
线程 2 （写者）: 申请资源
线程 3 （读者）: 申请资源
线程 4 （读者）: 申请资源
线程 5 （写者）: 申请资源
线程 1 （读者）: 读数据完成
线程 2 （写者）: 写数据 45298
线程 2 （写者）: 写数据完成
线程 5 （写者）: 写数据 22081
线程 5 （写者）: 写数据完成
线程 3 （读者）: 读数据 22081
线程 3 （读者）: 读数据完成
线程 4 （读者）: 读数据 22081
线程 4 （读者）: 读数据完成

step 5: 销毁信号量
```