华中农业大学　　学生实验报告

专业：计科 2102　　姓名：高星杰　　学号：2021307220712

日期：2024 年 3 月 25 日　　成绩：

实验课程	嵌入式系统 A 实验	实验名称	嵌入式编程基础实验	实验类型	验证	设计
					综合	基础

实验目的：

1. 了解开发板 Tiny4412 的功能、资源、开发环境及其基本使用；
2. 掌握 Ubuntu 上 arm-linux-gcc 交叉编译环境的配置和使用；
3. 掌握通过 minicom 实现主机和开发板间串口通信；
4. 掌握 ARM 架构 Linux 嵌入式多线程开发步骤
5. 掌握 ptread 多线程支持库的使用，设计多线程程序应用
6. 掌握 Linux 嵌入式系统的串口程序设计，设计串行端口程序
7. 掌握 Linux 环境下 I/O 操作 tcgetattr(), tcsetattr(),tcflush()等

实验要求：

1. C 语言编程基础。
2. 掌握在 Linux 下常用编辑器 gedit,vi 的使用。
3. 掌握 Makefile 的编写和使用。
4. 掌握 Linux 下的程序编译与交叉编译过程
5. 掌握 minicom 使用
6. 熟悉 Tiny4412 开发环境

实验原理：

1. Pthread 库

pthread 库是 POSIX 线程库(POSIX Threads Library)的简称,是一个为应用程序提供多线程编程接口的标准化线程库。它定义了创建和操作线程的一套 API。使用 pthread 库可以让程序并发执行多个任务,从而提高应用程序的性能和响应能力。

pthread 库主要提供以下功能:

a) 线程管理
   创建线程(pthread_create)
   等待线程结束(pthread_join)
   线程分离(pthread_detach)
b) 互斥量(mutex)
   创建互斥量(pthread_mutex_init)
   锁定互斥量(pthread_mutex_lock)
   解锁互斥量(pthread_mutex_unlock)
c) 条件变量
   创建条件变量(pthread_cond_init)
   等待条件变量(pthread_cond_wait)

通知条件变量(pthread_cond_signal/pthread_cond_broadcast)

d) 线程同步

线程同步(pthread_barrier_wait)

自旋锁(pthread_spin_init/pthread_spin_lock)

e) 线程属性管理

设置分离状态(pthread_attr_setdetachstate)

设置堆栈大小(pthread_attr_setstacksize)

设置优先级(pthread_attr_setschedparam)

pthread 库是符合 POSIX 标准的,可在多种 UNIX 系统和类 UNIX 系统上运行,如 Linux、macOS 等。许多编程语言都提供了使用 pthread 库的接口,如 C、C++等。通过 pthread 库,开发者可以充分利用多核 CPU 的优势,编写高效的多线程应用程序。

2. **什么是串行端口程序设计?**

串行端口程序设计就像是你与一个只会说一种语言的外国人交流,你们之间需要一个翻译。

计算机是你,串行设备就是那个外国人。你们虽然都有自己的"语言",但是彼此无法直接沟通。于是,串行端口就扮演了"翻译"的角色。它规定了一套"通信规则",比如用什么样的语速(波特率)、用什么样的文字(数据位)、用什么样的停顿(停止位)、用什么样的发音(奇偶校验)等等。

只有计算机和串行设备都遵循同一套规则,才能相互理解对方的"语言",顺利地进行数据交换和指令传递。

串行端口程序设计就是编写这份"翻译手册",让计算机和串行设备按照统一的通信协议进行对话,完成所需的工作,就像外国人和你借助翻译在交流一样。

串行端口就是一个"桥梁",串行端口程序就是搭建这座桥梁的"工程师",负责制定交流的规范,实现设备与计算机的无缝对接。

实验内容:

1. 准备工作

(1) 连接好开发板，将开发板串口与主机串口相连

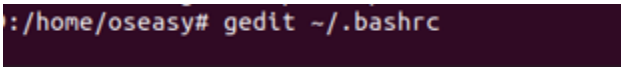
(2) 打开终端，激活 sudo 权限

2. 在主机上完成交叉编译环境的配置

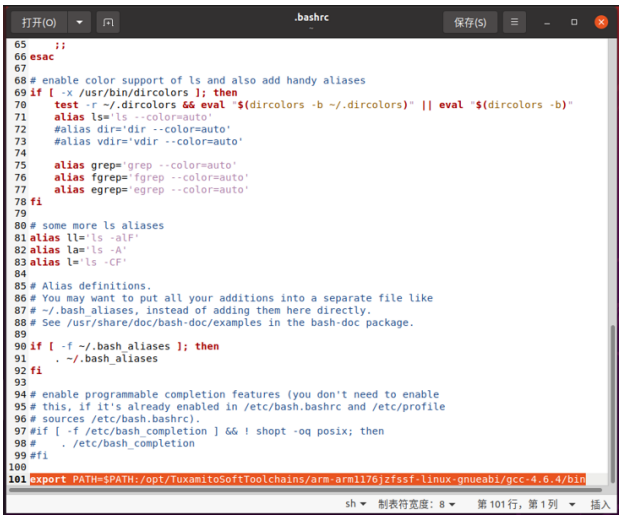
(1) 将 arm-linux-gcc-4.6.4- 下载到主机上;

(2) 使用 tar arm-linux-gcc-4.6.4-v6-vfp-20120301.tar -C /命令将其解压到/opt 路径下;

(3) 将 arm-linux-gcc 加入环境变量中，使用命令 gedit ~/.bashrc，打开编辑模型;



(4) 在文件末尾追加 PATH=$PATH:/opt/FriendlyARM/toolschain/4.6.4/bin,即加入 PATH 环境中;

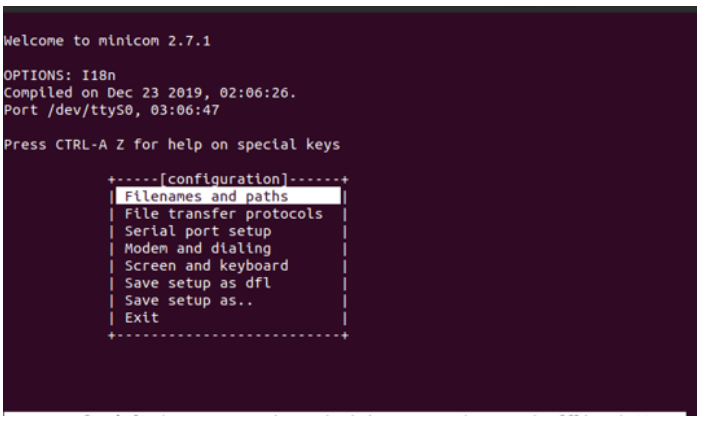


(5) 使用 source ~/.bashrc 更新环境变量，echo $PATH 显示编译器逻辑则正确；

(6) 使用 arm-linux-gcc -V 显示交叉编译器版本则说明配置正确。

3. 修改 minicom 模式，为后续文件传送做准备

(1) 进入 minicom 的设置里



(2) 修改 serial device 和波特率，关闭硬件控制流；

```
Welcome to minicom 2.7.1

OPTI+-----------------------------------------------------------------------+
Comp| A -    Serial Device      : /dev/ttyS0                                |
Port| B - Lockfile Location     : /var/lock                                 |
    | C -   Callin Program      :                                           |
Pres| D -  Callout Program      :                                           |
    | E -    Bps/Par/Bits       : 115200 8N1                                |
    | F - Hardware Flow Control : No                                        |
    | G - Software Flow Control : No                                        |
    |                                                                       |
    |    Change which setting?                                              |
    +-----------------------------------------------------------------------+
            | Screen and keyboard      |
            | Save setup as dfl        |
            | Save setup as..          |
            | Exit                     |
            +--------------------------+

CTRL-A Z for help | 115200 8N1 | NOR | Minicom 2.7.1 | VT102 | Offline | ttyS0
```

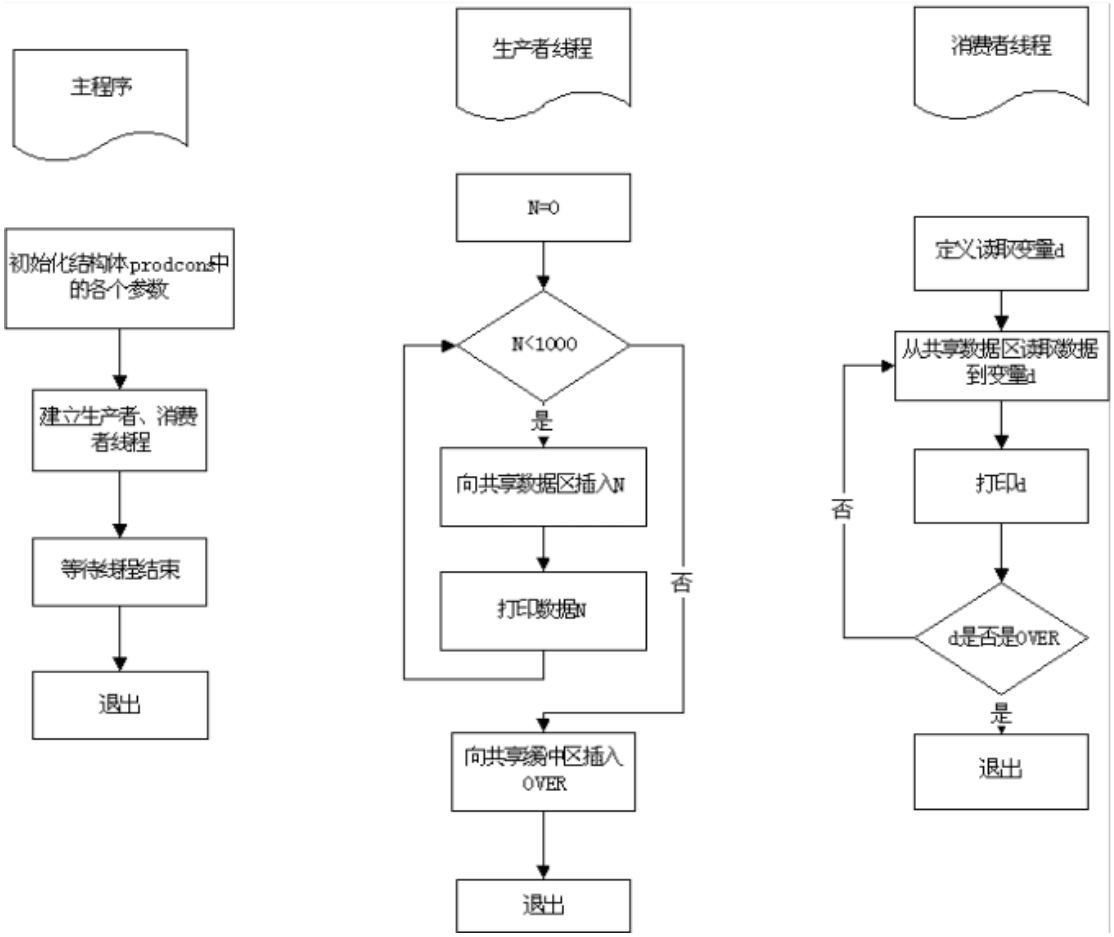
(3) 配置同步文件夹

```
Welcome to minicom 2.7.1

OPTIONS: I18n
Comp+-----------------------------------------------------------------------+
Port| A - Download directory : /home/oseasy                                 |
    | B - Upload directory   : /home/oseasy                                 |
Pres| C - Script directory   :                                              |
    | D - Script program     : /bin/bash                                    |
    | E - Kermit program     :                                              |
    | F - Logging options                                                   |
    |                                                                       |
    |    Change which setting?                                              |
    +-----------------------------------------------------------------------+
            | Screen and keyboard      |
            | Save setup as dfl        |
            | Save setup as..          |
            | Exit                     |
            +--------------------------+

CTRL-A Z for help | 115200 8N1 | NOR | Minicom 2.7.1 | VT102 | Offline | ttyS0
```

(4) 重启开发板，更新配置

```
[    3.670000] Failed to init busfreq.
[    3.670000] s3c-rtc s3c64xx-rtc: setting system clock to 2016-01-01 12:00:01 UTC (1451649601)
[    3.670000] hotplug_policy_init: intialised with policy : DVFS_NR_BASED_HOTPLUG
[    3.670000] ALSA device list:
[    3.670000]   No soundcards found.
[    3.670000] Freeing init memory: 216K
[    3.685000] EXT4-fs (mmcblk0p1): INFO: recovery required on readonly filesystem
[    3.685000] EXT4-fs (mmcblk0p1): write access will be enabled during recovery
[    3.695000] usb 1-2.1: new high-speed USB device number 3 using s5p-ehci
[    3.720000] EXT4-fs (mmcblk0p1): recovery complete
[    3.725000] EXT4-fs (mmcblk0p1): mounted filesystem with ordered data mode. Opts: (null)
[    3.730000] EXT4-fs (mmcblk0p1): re-mounted. Opts: data=ordered
[    3.805000] usb 1-2.1: New USB device found, idVendor=0424, idProduct=4040
[    3.805000] usb 1-2.1: New USB device strings: Mfr=1, Product=2, SerialNumber=3
[    3.805000] usb 1-2.1: Product: Ultra Fast Media Reader
[    3.805000] usb 1-2.1: Manufacturer: Generic
[    3.805000] usb 1-2.1: SerialNumber: 000000264001
[    3.815000] scsi0 : usb-storage 1-2.1:1.0
[    3.900000] usb 1-2.2: new full-speed USB device number 4 using s5p-ehci
[    4.005000] usb 1-2.2: not running at top speed; connect to a high speed hub
[    4.075000] usb 1-2.2: New USB device found, idVendor=0a46, idProduct=9621
[    4.075000] usb 1-2.2: New USB device strings: Mfr=1, Product=2, SerialNumber=3
[    4.080000] dm962x: dm_read_reg() 0x29 0x0a
[    4.080000] dm962x: dm_read_reg() 0x28 0x46
[    4.080000] dm962x: dm_read_reg() 0x2b 0x96
[    4.080000] dm962x: dm_read_reg() 0x2a 0x21
[    4.085000] dm962x: dm_read_reg() 0xF2 0x00
[    4.090000] dm962x:  [Analysis.2] 0xF2, D[7] 0 OK
[    4.095000] dm962x:  [Analysis.2] 0xF2, D[6] 0 OK
[    4.100000] dm962x:  [Analysis.2] 0xF2, D[5] 0 EP1: Empty
[    4.105000] dm962x:  [Analysis.2] 0xF2, D[3] 0 OK
[    4.110000] dm962x:  [Analysis.2] 0xF2, D[2] 0 OK
[    4.115000] dm962x:  [Analysis.2] 0xF2, D[1] 0 OK
[    4.120000] dm962x:  [Analysis.2] 0xF2, D[0] 0 Status: TX buffer 0 pkts
[    4.130000] dm962x: ethernet MAC address 1c:6f:65:34:51:7e (param data)
[    4.135000] dm962x: 9620 Mode = 128
[    4.155000] dm9620 1-2.2:1.0: eth0: register 'dm9620' at usb-s5p-ehci-2.2, Davicom DM9620 USB Ethernet, 1c:6f:65:34:51:7e
[    4.815000] scsi 0:0:0:0: Direct-Access     Generic  Ultra HS-COMBO   2.01 PQ: 0 ANSI: 0
[    4.820000] sd 0:0:0:0: Attached scsi generic sg0 type 0
[    4.825000] sd 0:0:0:0: [sda] Attached SCSI removable disk
[01/Jan/2016:04:00:04 +0000] boa: server version Boa/0.94.13
[01/Jan/2016:04:00:04 +0000] boa: server built Dec 30 2010 at 11:18:35.
[01/Jan/2016:04:00:04 +0000] boa: starting server pid=162, port 80
```

4. 实验 2.2——多线程应用程序设计



上图为多线程应用程序的程序流程图，实验为著名的生产者－消费者问题模型的实现，主程序中分别启动生产者线程和消费者线程。生产者线程不断顺序地将 0 到 1000 的数字写入共享的循环缓冲区，同时消费者线程不断地从共享的循环缓冲区读取数据。

程序中主要使用的 pthread 多线程 API 如下所示：

(1) pthread_create() 线程创建函数
(2) pthread_self() 获取父进程 ID 号
(3) pthread_exit() 推出指定线程
(4) pthread_equal() 测试两个线程是否相等
(5) pthread_join() 等待指定的线程结束
(6) pthread_mutex_init() 互斥量初始化
(7) pthread_mutex_destroy() 销毁互斥量
(8) pthread_mutex_trylock() 再试一次获得对互斥量的锁定(非阻塞)
(9) pthread_mutex_lock() 锁定互斥量
(10) pthread_mutex_unlock() 解锁互斥量
(11) pthread_cond_init() 条件变量的初始化
(12) pthread_cond_destroy() 销毁条件变量
(13) pthread_cond_signal() 唤醒线程等待条件变量
(14) pthread_cond_wait() 等待条件变量(阻塞)
(15) pthread_cond_timewait() 在指定时间到达前等待条件变量

实验代码具体如下

```c
// 引入所需的头文件
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include "pthread.h"

// 定义缓冲区大小
#define BUFFER_SIZE 16

// 定义一个结构体，用于表示生产者和消费者共享的缓冲区
struct prodcons
{
 int buffer[BUFFER_SIZE]; // 实际的数据缓冲区
 pthread_mutex_t lock;  // 互斥锁，确保对缓冲区的独占访问
 int readpos, writepos;  // 读写位置
 pthread_cond_t notempty; // 条件变量，当缓冲区不为空时发出信号
 pthread_cond_t notfull;  // 条件变量，当缓冲区不满时发出信号
};

// 初始化缓冲区
void init(struct prodcons *b)
{
 pthread_mutex_init(&b->lock, NULL);    // 初始化互斥锁
 pthread_cond_init(&b->notempty, NULL); // 初始化条件变量
 pthread_cond_init(&b->notfull, NULL);  // 初始化条件变量
 b->readpos = 0;          // 初始化读位置
 b->writepos = 0;         // 初始化写位置
}

// 向缓冲区中添加数据
void put(struct prodcons *b, int data)
{
 pthread_mutex_lock(&b->lock); // 加锁
 // 当缓冲区满时，等待
 while ((b->writepos + 1) % BUFFER_SIZE == b->readpos)
 {
  printf("wait for not full\n");
  pthread_cond_wait(&b->notfull, &b->lock); // 等待“notfull”条件成立
 }
 // 写入数据并更新写位置
 b->buffer[b->writepos] = data;
```

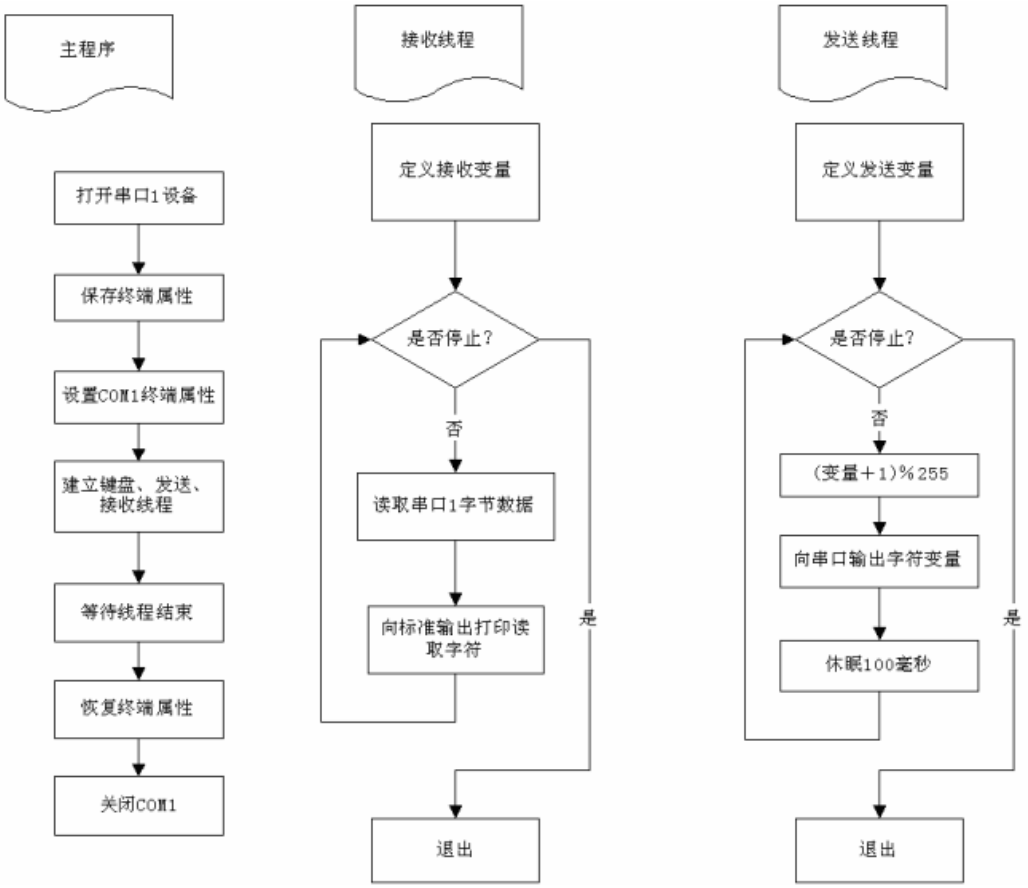
```
    b->writepos++;
    if (b->writepos >= BUFFER_SIZE)
      b->writepos = 0;
    // 发出“notempty”信号
    pthread_cond_signal(&b->notempty);
    pthread_mutex_unlock(&b->lock); // 解锁
}

// 从缓冲区中获取数据
int get(struct prodcons *b)
{
    int data;
    pthread_mutex_lock(&b->lock); // 加锁
    // 当缓冲区空时，等待
    while (b->writepos == b->readpos)
    {
      printf("wait for not empty\n");
      pthread_cond_wait(&b->notempty, &b->lock); // 等待“notempty”条件成立
    }
    // 读取数据并更新读位置
    data = b->buffer[b->readpos];
    b->readpos++;
    if (b->readpos >= BUFFER_SIZE)
      b->readpos = 0;
    // 发出“notfull”信号
    pthread_cond_signal(&b->notfull);
    pthread_mutex_unlock(&b->lock); // 解锁
    return data;      // 返回读取的数据
}

// 主函数
int main(void)
{
    pthread_t th_a, th_b; // 定义线程
    void *retval;
    init(&buffer);          // 初始化缓冲区
    pthread_create(&th_a, NULL, producer, 0); // 创建生产者线程
    pthread_create(&th_b, NULL, consumer, 0); // 创建消费者线程
    // 等待生产者和消费者线程结束
    pthread_join(th_a, &retval);
    pthread_join(th_b, &retval);
    return 0;
```

```
84.}
```

思考题 1 加入新的线程用于处理键盘输入，并在按键为 ESC 时终止所有线程,将下列代码放入 getChar 函数中，getChar()函数在 mian 函数中创建线程。

```
1. void *input(void *data)
2. {
3.  char ch;
4.  ch = getchar();
5.  if (ch == 0x1b)
6.  {
7.   exit(0);
8.  }
9.  return;
10.}
11.int main(void)
12.{
13. pthread_t a, b, c;
14. void *retval;
15. pthread_create(&a, NULL, producer, 0);
16. pthread_create(&b, NULL, consumer, 0);
17. pthread_create(&c, NULL, input, 0);
18. pthread_join(&a, retval);
19. pthread_join(&b, retval);
20. pthread_join(&c, retval);
21. return 0;
22.}
```

5. 实验 2.3——串口通信应用程序设计



上图为串行端口应用程序的控制流程图，设备运行程序后，主函数打开串口，创建接收线程和发送线程，用于收发信息；两个设备运行同样的程序实现串口通讯。程序详细代码如下：

```
1. // 包含了一些必要的头文件，这些头文件提供了串行通信和多线程所需的函数和
   数据类型
2. #include <termios.h>
3. #include <stdio.h>
4. #include <unistd.h>
5. #include <fcntl.h>
6. #include <sys/signal.h>
7. #include <pthread.h>
8.
9. // 定义了一些常量，包括波特率、串口设备文件路径、退出程序的键盘输入等
10.#define BAUDRATE B115200
11.#define COM1 "/dev/ttyS0"
12.#define COM2 "/dev/ttyS1"
13.#define ENDMINITERM 27 /* ESC to quit miniterm */
14.#define FALSE 0
15.#define TRUE 1
16.
```

```
17.// 定义了两个全局变量，用于控制程序的运行和串口的文件描述符
18.volatile int STOP = FALSE;
19.volatile int fd;
20.
21.// 定义了一个信号处理函数，当接收到SIGCHLD 信号时，会打印一条消息并设置
   STOP 为TRUE，使程序停止运行
22.void child_handler(int s)
23.{
24. printf("stop!!!\n");
25. STOP = TRUE;
26.}
27.
28.// 定义了一个线程函数，这个线程会不断地从键盘读取输入，当读取到定义的退
   出字符时，会设置STOP 为TRUE，使程序停止运行
29.void *keyboard(void *data)
30.{
31. int c;
32. for (;;)
33. {
34.  c = getchar();
35.  if (c == ENDMINITERM)
36.  {
37.   STOP = TRUE;
38.   break;
39.  }
40. }
41. return NULL;
42.}
43.
44.// 定义了一个线程函数，这个线程会不断地从串口读取数据，并将读取到的数据
   写入到标准输出
45.void *receive(void *data)
46.{
47. int c;
48. printf("read modem\n");
49. while (STOP == FALSE)
50. {
51.  read(fd, &c, 1); /* com port */
52.  write(1, &c, 1); /* stdout */
53. }
54. printf("exit from reading modem\n");
55. return NULL;
56.}
57.
```

```
58.// 定义了一个线程函数，这个线程会不断地向串口写入数据，数据是一个不断增加的字符
59.void *send(void *data)
60.{
61. int c = '0';
62. printf("send data\n");
63. while (STOP == FALSE) /* modem input handler */
64. {
65.  c++;
66.  c %= 255;
67.  write(fd, &c, 1); /* stdout */
68.  usleep(100000);
69. }
70. return NULL; /* wait for child to die or it will become a zombie */
71.}
72.
73.// 主函数，程序的入口点
74.int main(int argc, char **argv)
75.{
76. // 定义了一些变量，包括 termios 结构体用于设置串口，sigaction 结构体用于设置信号处理函数，pthread_t 用于创建线程
77. struct termios oldtio, newtio, oldstdtio, newstdtio;
78. struct sigaction sa;
79. int ok;
80. pthread_t th_a, th_b, th_c;
81. void *retval;
82.
83. // 根据命令行参数来打开不同的串口设备文件
84. if (argc > 1)
85.  fd = open(COM2, O_RDWR);
86. else
87.  fd = open(COM1, O_RDWR); //| O_NOCTTY |O_NONBLOCK);
88.
89. // 如果打开文件失败，则打印错误信息并退出程序
90. if (fd < 0)
91. {
92.  error(COM1);
93.  exit(-1);
94. }
95.
96. // 获取并保存当前的串口和标准输入的设置
97. tcgetattr(0, &oldstdtio);
98. tcgetattr(fd, &oldtio); /* save current modem settings */
```

```
99.
100. // 获取新的串口和标准输入的设置
101. tcgetattr(fd, &newstdtio); /* get working stdtio */
102.
103. // 设置新的串口的各项参数
104. newtio.c_cflag = BAUDRATE | CRTSCTS | CS8 | CLOCAL | CREAD; /*c
     trol flag*/
105. newtio.c_iflag = IGNPAR;         /*input flag*/
106. newtio.c_oflag = 0;           /*output flag*/
107. newtio.c_lflag = 0;
108. newtio.c_cc[VMIN] = 1;
109. newtio.c_cc[VTIME] = 0;
110.
111. // 清空串口的输入和输出缓冲区，并设置新的串口参数
112. tcflush(fd, TCIFLUSH);
113. tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio); /*set attrib*/
114.
115. // 设置信号处理函数
116. sa.sa_handler = child_handler;
117. sa.sa_flags = 0;
118. sigaction(SIGCHLD, &sa, NULL); /* handle dying child */
119.
120. // 创建三个线程，分别用于处理键盘输入、串口接收和串口发送
121. pthread_create(&th_a, NULL, keyboard, 0);
122. pthread_create(&th_b, NULL, receive, 0);
123. pthread_create(&th_c, NULL, send, 0);
124.
125. // 等待三个线程结束
126. pthread_join(th_a, &retval);
127. pthread_join(th_b, &retval);
128. pthread_join(th_c, &retval);
129.
130. // 恢复原来的串口和标准输入的设置
131. tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtio);   /* restore old modem setings
     */
132. tcsetattr(0, TCSANOW, &oldstdtio); /* restore old tty setings *
     /
133.
134. // 关闭串口设备文件
135. close(fd);
136.
137. // 退出程序
138. exit(0);
```

```
139.}
```

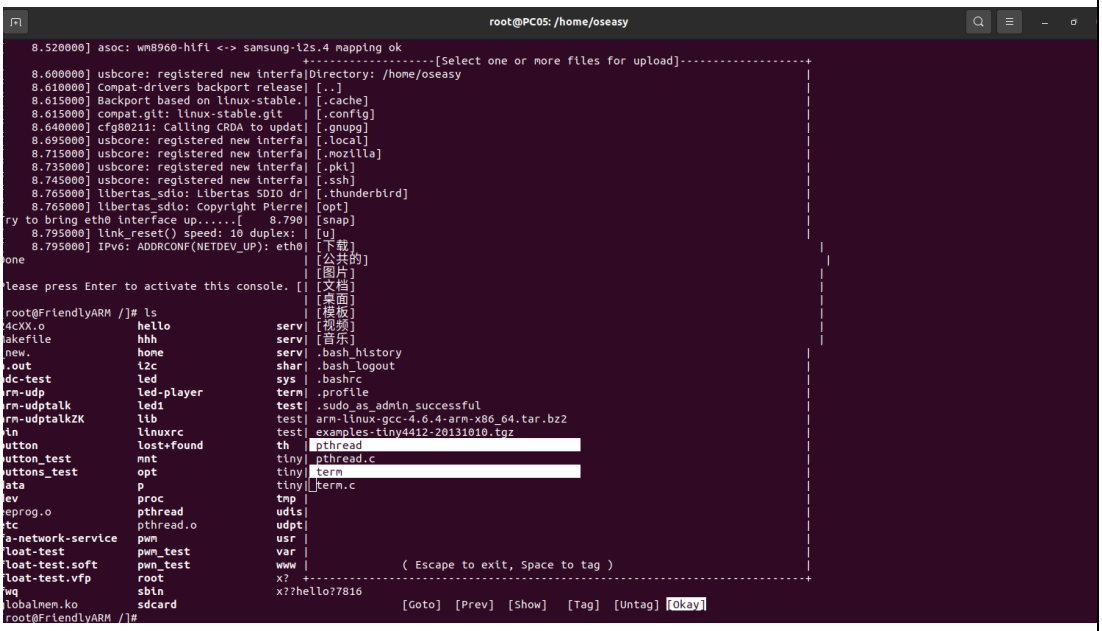
6. 编译文件，将目标文件使用 minicom 传输至开发板

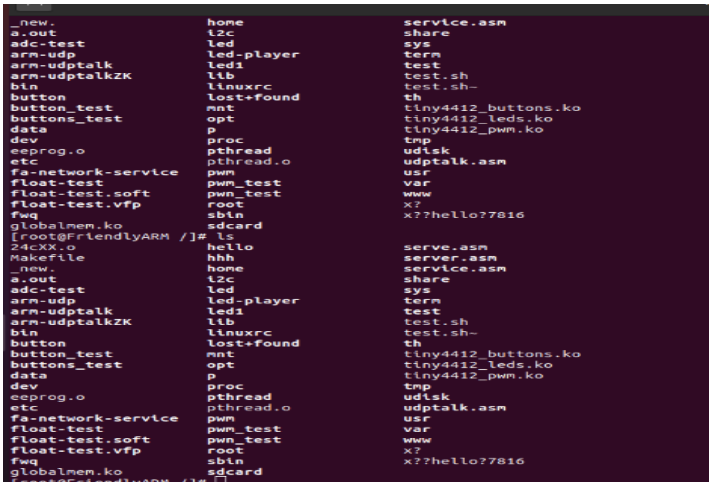
使用交叉编译环境编译程序

```
# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread -lpthread
# arm-linux-gcc term.c -o term -lpthread
```

```
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread -lpthread
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc term.c -o term -lpthread
arm-linux-gcc: error: -lpthread: No such file or directory
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc term.c -o term -lpthread
term.c: In function 'main':
term.c:83:2: warning: incompatible implicit declaration of built-in function 'ex
it' [enabled by default]
term.c:111:5: warning: incompatible implicit declaration of built-in function 'e
xit' [enabled by default]
root@PC05:/home/oseasy#
```

使用 minicom 在 zmodern 传输至开发板上



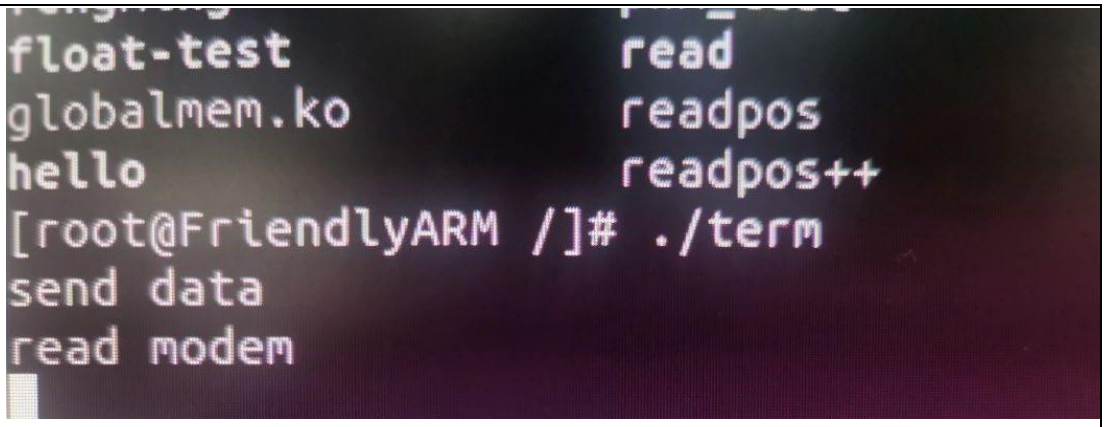


运行可执行文件

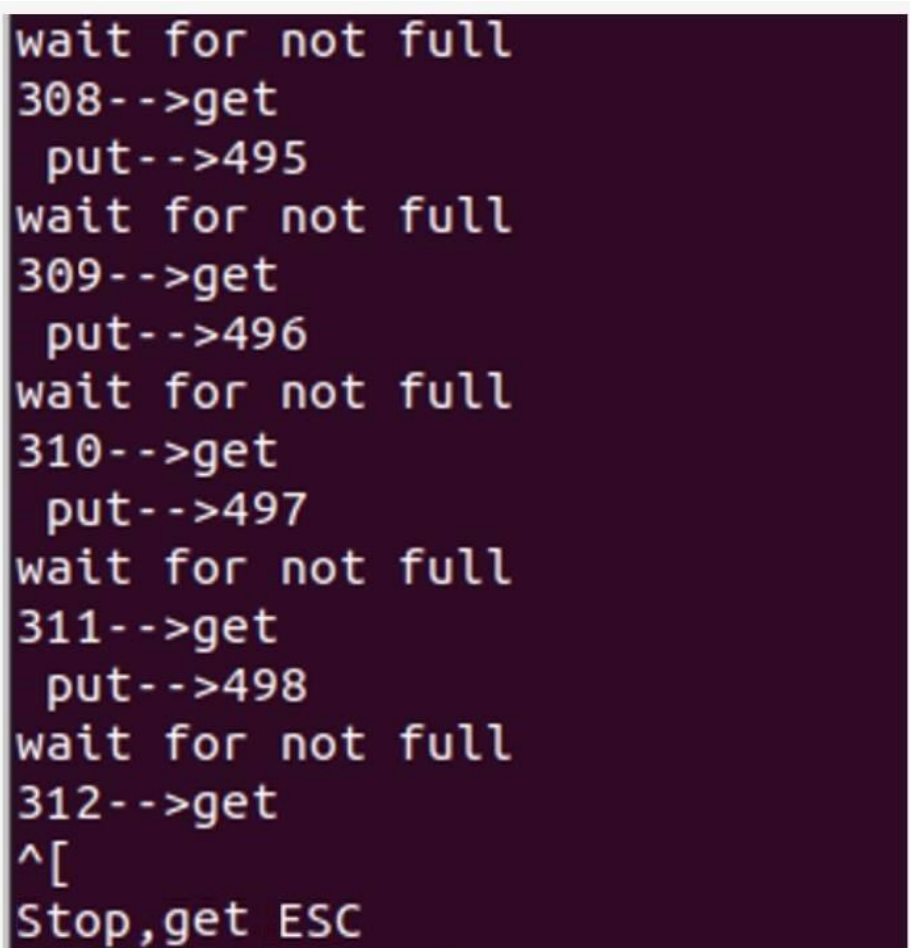
```
[root@FriendlyARM /]# ./pthread
wait for not empty
 put-->0
 put-->1
 put-->2
 put-->3
 put-->4
 put-->5
 put-->6
 put-->7
 put-->8
 put-->9
 put-->10
 put-->11
 put-->12
 put-->13
 put-->14
 put-->15
wait for not full
0-->get
1-->get
2-->get
3-->get
4-->get
5-->get
6-->get
7-->get
8-->get
```

```
wait for not empty
 put-->16
 put-->17
 put-->18
 put-->19
 put-->20
 put-->21
 put-->22
 put-->23
 put-->24
 put-->25
 put-->26
 put-->27
 put-->28
 put-->29
 put-->30
wait for not full
15-->get
16-->get
17-->get
18-->get
19-->get
20-->get
21-->get
22-->get
23-->get
24-->get
25-->get
26-->get
27-->get
28-->get
 put-->31
 put-->32
 put-->33
 put-->34
 put-->35
 put-->36
 put-->37
```

```
wait for not full
976-->get
 put-->993
wait for not full
977-->get
 put-->994
wait for not full
978-->get
 put-->995
wait for not full
979-->get
 put-->996
wait for not full
980-->get
 put-->997
wait for not full
981-->get
 put-->998
wait for not full
982-->get
 put-->999
wait for not full
983-->get
wait for not full
984-->get
producer stopped!
985-->get
986-->get
987-->get
988-->get
989-->get
990-->get
991-->get
992-->get
993-->get
994-->get
995-->get
996-->get
997-->get
998-->get
999-->get
consumer stopped!
```



思考题运行结果



实验环境（含主要设计设备，器材，软件等）

硬件：Ubuntu 主机(硬盘 40G 以上,内存大于 128M)、Tiny4412 开发板

软件：minicom、gedit

遇到的问题

1. 编译问题

```
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread -lpthread
arm-linux-gcc: error: -lpthread: No such file or directory
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread
/tmp/ccOpb11b.o: In function `main':
pthread.c:(.text+0x348): undefined reference to `pthread_create'
pthread.c:(.text+0x360): undefined reference to `pthread_create'
pthread.c:(.text+0x374): undefined reference to `pthread_join'
pthread.c:(.text+0x388): undefined reference to `pthread_join'
collect2: ld returned 1 exit status
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread -lpthread
arm-linux-gcc: error: -lpthread: No such file or directory
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread -l pthread
arm-linux-gcc: error: -l: No such file or directory
arm-linux-gcc: error: pthread: No such file or directory
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread -lpthread
arm-linux-gcc: error: -lpthread: No such file or directory
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread -lpthread
arm-linux-gcc: error: -lpthread: No such file or directory
root@PC05:/home/oseasy#
```

这次是第一次使用指令编译 cpp 文件，并且带有库的编译，所以学习了一下相关指令。

GCC 在编译时如果需要链接外部库文件,可以在命令行中使用-l 选项指定要链接的库名。一般的命令格式为:

```
1. gcc source_file.c -l[library_name]
```

其中:

- source_file.c 是要编译的 C 源文件名
- -l 表示链接库文件
- library_name 是需要链接的库名,不需要带"lib"前缀和库文件扩展名(如.a、.so)

如果一次需要链接多个库,只需要将库名用空格隔开:

```
1. gcc mycode.c -lpthread -lm -lmylib
```

需要注意的是,有些库之间存在依赖关系,链接顺序可能会影响最终编译结果,一般先链接主要依赖库,再链接其他库更为安全。

此外,-l 选项只是简化了链接库的命令,完整的命令格式是使用-L 和-l 两个选项,如:

```
1. gcc mycode.c -L/path/to/libs -lmylib
```

其中-L 指定了库文件的路径。

了解了这些后发现是指令格式错误，改正后编译成功

```
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc pthread.c -o pthread -lpthread
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc term.c -o term -lpthread
arm-linux-gcc: error: -lpthread: No such file or directory
root@PC05:/home/oseasy# arm-linux-gcc term.c -o term -lpthread
term.c: In function 'main':
term.c:83:2: warning: incompatible implicit declaration of built-in function 'ex
it' [enabled by default]
term.c:111:5: warning: incompatible implicit declaration of built-in function 'e
xit' [enabled by default]
root@PC05:/home/oseasy#
```

实验结果与总结：

实验结果：

- 成功配置了 ARM 交叉编译环境,可以使用 arm-linux-gcc 进行交叉编译。
- 使用 pthread 库编写的多线程生产者-消费者程序能正确运行,线程之间通过共享缓冲区、互斥量和条件变量实现了同步,**并在按键为 ESC 时终止所有线程(直接使用 getchar 读取输入的字符）。**
- 串口通信程序能在两个开发板之间实现数据收发。
- 使用 minicom 工具能够便捷地在主机和开发板之间传输文件。

总结：

通过本次实验,我掌握了以下几个方面的知识和技能:

- ARM Linux 交叉编译环境的配置及使用方法。
- **使用 pthread 库进行多线程编程,理解了线程同步的概念和实现方式。**
- **串行端口程序的设计原理,学会了在 Linux 下使用 termios 库进行串口编程。**
- **读取键盘的输入的数据（读取 esc 等按键的符号使用 getchar）**
- 会使用 minicom 工具在主机和开发板之间传输文件。
- 熟悉了 Tiny4412 开发板的使用方法和开发环境。

这些技能为我后续的嵌入式 Linux 系统开发打下了基础。本实验也加深了我对并发编程以及设备驱动程序的理解。在实验过程中还遇到了一些问题,如交叉编译环境变量设置错误、串口设备权限问题等,通过查阅资料和老师的指导最终都得到了解决,锻炼了我的问题分析和解决能力。