

# Lab2 实验报告

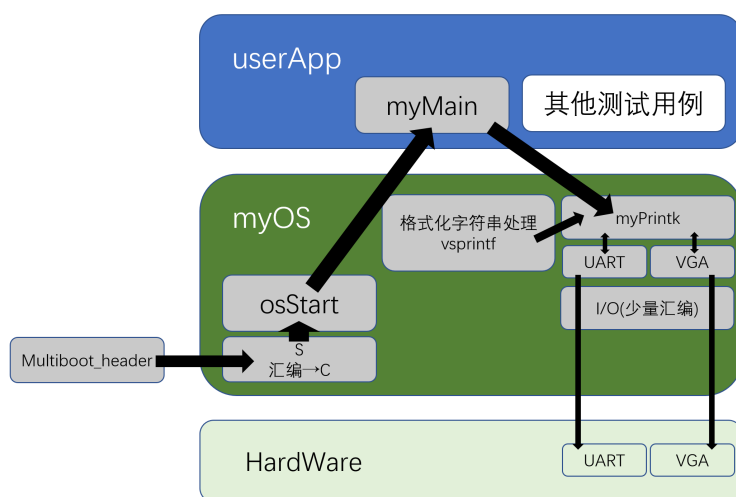
PB21000033 赵奕

## 一、实验目标

- 从汇编语言到 C 语言的衔接
- 功能上，实现输出管理（清屏，滚屏等等）、格式化输入输出
- 设备包括 VGA 和串口
- 在软件层次和结构上，完成 multiboot\_header、myOS 和 userApp 的划分，并分别实现，在文件目录组织和 Makefile 组织上体现
- 采用自定义测试用例和用户（助教）测试用例相结合的方式进行验收，并提供编译执行的脚本

## 二、实验内容

### 一、软件框图



软件层次分为 multiboot\_header、myOS 和 userApp 三部分。

- multiboot\_header 为系统启动部分，系统启动后进入 myOS
- myOS 部分，首先执行 osStart 调用 myMain 进入 userApp 部分。在该部分中，myMain 调用 myPrintk 以实现字符串输出的程序，而 myPrintk 程序实现依赖 vsprintf 的格式化字符串处理
- 硬件部分：UART 与 VGA 输出。

### 二、主流程

multiboot\_header.S → start32.S → osStart.c → myMain.c

1. 运行 multibootHeader.S, 启动操作系统
2. 在 start32.S 中调用 osStart.c, 转入执行 osStart.c 文件
3. 在 osStart.c 中完成操作系统初始化, 进入 userApp
4. 执行用户程序 userApp - myMain.c

### 三、主要功能模块及其实现

#### I/O

该模块为端口输出以及光标控制, 采用嵌入式汇编, 将 inb、outb 两条汇编指令写成 C 语言的函数, 在后续输出中调用。inb 函数读取并返回指定端口的值, outb 函数将指定值输出到指定端口。

```
typedef unsigned char uint8;
typedef unsigned short uint16;

uint8 inb(uint16 port_from) {
    uint8 _value;
    __asm__ __volatile__ ("inb %w1,%0":"=a"(_value):"Nd"(port_from));
    return _value;
}

void outb(uint16 port_to, uint8 value) {
    __asm__ __volatile__ ("outb %b0,%w1"::"a"(value),"Nd"(port_to));
}
```

#### 串口 uart 输出

通过串口输出/获取单个字符, 输出一个字符串。

```
typedef unsigned char uint8;
typedef unsigned short uint16;

extern void outb(uint16 port_to, uint8 value);
extern uint8 inb(uint16 port_from);

#define uart_base 0x3F8

void uart_put_char(unsigned char c) {
    outb(uart_base, c);
}

unsigned char uart_get_char(void) {
    return inb(uart_base);
}

void uart_put_chars(char *str) {
    while (*str) outb(uart_base, *str++);
}
```

## VGA 输出

该模块用于在 QEMU 窗口中实现清屏、屏幕输出功能，包括光标显示、光标控制、屏幕滚动等。

```
#define VGA_BASE (char *)0xB8000    // VGA 初始地址
#define VGA_WIDTH 80                // VGA 屏幕每行的宽度
#define VGA_HEIGHT 25               // VGA 屏幕每列的高度
#define CURSOR_PORT_INDEX 0x3D4     // 光标-索引串口
#define CURSOR_PORT_DATA 0x3D5      // 光标-数据串口

typedef unsigned char uint8;
typedef unsigned short uint16;

extern void outb(uint16 port_to, uint8 value);
extern uint8 inb(uint16 port_from);

// 调试用
extern void uart_put_char(uint8 c);
extern void uart_put_chars(char *str);

//VGA 字符界面规格: 25 行 80 列
//VGA 显存初始地址为 0xB8000

short cur_line = 0, cur_column = 0;    //当前光标位置
char *vga_screen = VGA_BASE;

// 通过当前行值 cur_line 与列值 cur_column 回写光标
void update_cursor(void){
    uint16 pos = cur_line * VGA_WIDTH + cur_column;
    outb(CURSOR_PORT_INDEX, 0x0E);
    outb(CURSOR_PORT_DATA, pos >> 8);    // 写高 8bit
    outb(CURSOR_PORT_INDEX, 0x0F);
    outb(CURSOR_PORT_DATA, pos & 0xff); // 写低 8bit
}

// 获得当前光标, 计算出 cur_line 和 cur_column 的值
void get_cursor_position(void){
    uint16 pos = 0;
    outb(CURSOR_PORT_INDEX, 0x0E);
    pos |= inb(CURSOR_PORT_DATA) << 8;    // 读高 8bit
    outb(CURSOR_PORT_INDEX, 0x0F);
    pos |= inb(CURSOR_PORT_DATA);          // 读低 8bit
    cur_line = pos / 80;
    cur_column = pos % 80;
}
```

```

// 清屏
void clear_screen(void) {
    for (int i = 0; i < VGA_HEIGHT; ++i)
        for (int j = 0; j < VGA_WIDTH * 2; j += 2) {
            vga_screen[i * VGA_WIDTH * 2 + j] = 0x00;
            vga_screen[i * VGA_WIDTH * 2 + j + 1] = 0x07;
        }
    cur_column = cur_line = 0;
    update_cursor();
}

// 向上滚屏一行
void scroll_up() {
    uart_put_chars("[+] scroll_up called\n");
    for (int i = 1; i < VGA_HEIGHT; ++i)
        for (int j = 0; j < VGA_WIDTH * 2; ++j)
            vga_screen[(i - 1) * VGA_WIDTH * 2 + j] = vga_screen[i * VGA_WIDTH * 2 + j];
    for (int i = 0; i < VGA_WIDTH * 2; i += 2) {
        vga_screen[(VGA_HEIGHT - 1) * VGA_WIDTH * 2 + i] = 0x00;
        vga_screen[(VGA_HEIGHT - 1) * VGA_WIDTH * 2 + i + 1] = 0x07;
    }
    cur_line = 24;
}

// 输出字符及其颜色
void color_putchar(uint8 ch, uint8 color) {
    get_cursor_position();
    switch (ch) {
        case '\r':
        case '\n':
            cur_column = 80;
            break;
        case '\t':
            cur_column = ((cur_column >> 2) + 1) << 2;
            break;
        default:
            vga_screen[(cur_line * VGA_WIDTH + cur_column) * 2] = ch;
            vga_screen[(cur_line * VGA_WIDTH + cur_column) * 2 + 1] = color;
            ++cur_column;
            break;
    }
    if (cur_column == VGA_WIDTH) {
        cur_column = 0;
        ++cur_line;
    }
}

```

```

    if (cur_line == VGA_HEIGHT) scroll_up();
    update_cursor();
    // 以下: 串口输出调试信息
    uart_put_chars("[+] putchar: {");
    switch (ch) {
        case '\r': uart_put_char('\\'); uart_put_char('r'); break;
        case '\n': uart_put_char('\\'); uart_put_char('n'); break;
        case '\t': uart_put_char('\\'); uart_put_char('t'); break;
        default: uart_put_char(ch); break;
    }
    uart_put_chars("} ==> x=");
    uart_put_char('0' | (cur_line / 10));
    uart_put_char('0' | (cur_line % 10));
    uart_put_chars(", y=");
    uart_put_char('0' | (cur_column / 10));
    uart_put_char('0' | (cur_column % 10));
    uart_put_chars("\n");
}

void append2screen(const char *str, int color) {
    while (*str) color_putchar(*str++, color);
}

```

## myPrint[kf]

该模块将字符串格式化输出 (uart 和 vga 输出)。

```

char kBuf[400];
int myPrintk(int color, const char *format, ...){
    va_list argptr;

    va_start(argptr, format); //初始化 argptr
    int count=vsprintf(kBuf, format, argptr);
    va_end(argptr);

    uart_put_chars(kBuf); //uart 输出
    append2screen(kBuf, color); //VGA 输出

    return count;
}

char uBuf[400];
int myPrintf(int color, const char *format, ...){
    va_list argptr;

    va_start(argptr, format); //初始化 argptr

```

```

    int count=vsprintf(uBuf,format,argptr);
    va_end(argptr);

    uart_put_chars(uBuf);//uart 输出
    append2screen(uBuf,color);//VGA 输出

    return count;
}

```

并且独立编写了用于输出格式化的 vsprintf 函数（在该实验的特殊要求下只处进行了 %d 的格式化处理）。

```

/*
 * 识别格式化字符串的核心代码写在本文中
 * 可以从网上移植代码
 */

#include <stdarg.h>

int vsprintf(char *buf, const char *fmt, va_list argptr) {
    static char buffer[32];
    int buf_top = 0;
    char *original_buf = buf;
    while (*fmt) {
        if (*fmt == '%') {
            if (*(fmt + 1) == '%') {
                *buf++ = '%';
                fmt += 2;
                continue;
            }
            if (*(fmt + 1) == 'd') {
                int value = va_arg(argptr, int);
                if (value < 0) {
                    *buf++ = '-';
                    value = -value;
                }
                while (value) {
                    buffer[buf_top++] = '0' | (value % 10);
                    value /= 10;
                }
                while (buf_top) *buf++ = buffer[--buf_top];
                fmt += 2;
                continue;
            }
        }
        *buf++ = *fmt++;
    }
}

```

```

    }
    *buf = '\0';
    return buf - original_buf;
}

```

#### 四、源代码组织说明

##### 目录组织

```
breallid@ubuntu:~/oslab/lab2/src$ tree --charset ASCII
```

```

.
|-- Makefile
|-- multibootheader
|   |-- multibootHeader.S
|-- myOS
|   |-- dev
|   |   |-- Makefile
|   |   |-- uart.c
|   |   |-- vga.c
|   |-- i386
|   |   |-- io.c
|   |   |-- io.h
|   |   |-- Makefile
|   |-- Makefile
|   |-- myOS.ld
|   |-- osStart.c
|   |-- printk
|   |   |-- Makefile
|   |   |-- myPrintk.c
|   |   |-- vsprintf.c
|   |-- start32.S
|-- output
|   |-- multibootheader
|   |   |-- multibootHeader.o
|   |-- myOS
|   |   |-- dev
|   |   |   |-- uart.o
|   |   |   |-- vga.o
|   |   |-- i386
|   |   |   |-- io.o
|   |   |-- osStart.o
|   |   |-- printk
|   |   |   |-- myPrintk.o
|   |   |   |-- vsprintf.o
|   |   |-- start32.o
|   |-- myOS.elf

```

```
|  `-- userApp
|      |-- main.o
|-- source2run.sh
`-- userApp
    |-- main.c
    |-- Makefile

13 directories, 28 files
```

## Makefile 组织

```
Makefile(src)
    -multibootHeader.o
    -Makefile(myOS)
        -Makefile(dev)
            -uart.o
            -vga.o
        -Makefile(i386)
            -io.o
        -osStart.o
    -Makefile(printk)
        -myPrintk.o
        -vsprintf.o
    -Makefile(userApp)
        -main.o
```

## 五、代码布局说明

代码和数据的起始内存为物理内存 1M 的位置。

- multiboot\_header 为前 12 个字节，向后对齐 8 字节，存放代码。
- 其后对齐 16 字节，用于存放数据段。
- 数据段之后，向后对齐 16 字节，存放 BSS 段。
- 最后向后对齐 16 字节，存放堆栈段。

## 六、编译过程说明

**编译所用指令：**

```
make
qemu-system-i386 -kernel output/myOS.elf -serial stdio
```

或者直接

```
./source2run.sh
```

**编译过程**



生成 multibootHeader.o、uart.o、vga.o、io.o、vsprintf.o、myPrintk.o、main.o, 链接生成 myOS.elf 文件

## 七、运行过程和运行结果说明

输入运行指令 `./source2run.sh` 后的结果如图:

```
[*] putchar: (R) ==> x=24, y=06
[*] putchar: (U) ==> x=24, y=07
[*] putchar: (N) ==> x=24, y=08
[*] putchar: (N) ==> x=24, y=09
[*] putchar: (I) ==> x=24, y=10
[*] putchar: (N) ==> x=24, y=11
[*] putchar: (G) ==> x=24, y=12
[*] putchar: (.) ==> x=24, y=13
[*] putchar: (.) ==> x=24, y=14
[*] putchar: (.) ==> x=24, y=15
[*] putchar: (.) ==> x=24, y=16
[*] putchar: (.) ==> x=24, y=17
[*] putchar: (.) ==> x=24, y=18
[*] putchar: (S) ==> x=24, y=19
[*] putchar: (h) ==> x=24, y=20
[*] putchar: (u) ==> x=24, y=21
[*] putchar: (t) ==> x=24, y=22
[*] putchar: (D) ==> x=24, y=23
[*] putchar: (o) ==> x=24, y=24
[*] putchar: (w) ==> x=24, y=25
[*] putchar: (n) ==> x=24, y=26
[*] scroll_up called
[*] putchar: (\n) ==> x=24, y=00
```