第4天　C语言与画面显示的练习

- 用C语言实现内存写入（harib01a）
- 条纹图案（harib01b）
- 挑战指针（harib01c）
- 指针应用（1）（harib01d）
- 指针应用（2）（harib01e）
- 色号设定（harib01f）
- 绘制矩形（harib01g）
- 今天的成果（harib01h）

1　用C语言实现内存写入（harib01a）

昨天我们成功地让画面显示黑屏了，但只做到这一步没什么意思，还是往画面上画点儿什么东西比较有趣。想要画东西的话，只要往VRAM里写点什么就可以了。但是在C语言中又没有直接写入指定内存地址的语句[1]。嗯，真是不方便。所以，我们干脆就创建一个有这种功能的函数。下面就来修改一下naskfunc.nas。

[1] “怎么会？分明有啊！”如果你有这样的疑问，那么作为本书的读者，你已经知道得相当多了。

naskfunc.nas里添加的部分

```
_write_mem8:    ; void write_mem8(int addr, int data);
        MOV     ECX,[ESP+4]     ; [ESP + 4]中存放的是地址，将其读入ECX
        MOV     AL,[ESP+8]      ; [ESP + 8]中存放的是数据，将其读入AL
        MOV     [ECX],AL
        RET
```

这个函数类似于C语言中的“write_mem8（0x1234,0x56）;”语句，动作上相当于“MOV　BYTE[0x1234],0x56”。顺便说一下，addr是address的缩写，在这里用它来表示地址。

■■■■■

在C语言中如果用到了write_mem8函数，就会跳转到_write_mem8。此时参数指定的数字就存放在内存里，分别是：

第一个数字的存放地址：**[ESP + 4]**

第二个数字的存放地址：**[ESP + 8]**

第三个数字的存放地址：**[ESP + 12]**

第四个数字的存放地址：**[ESP + 16]**

(以下略）

我们想取得用参数指定的数字0x1234或0x56的内容，就用MOV指令读入寄存器。因为CPU已经是32位模式，所以我们积极使用32位寄存器。16位寄存器也不是不能用，但如果用了的话，不只机器语言的字节数会增加，而且执行速度也会变慢，没什么好处。

在指定内存地址的地方，如果使用16位寄存器指定[CX]或[SP]之类的就会出错，但使用32位寄存器，连[ECX]、[ESP]等都OK，基本上没有不能使用的寄存器。真方便。另外，在指定地址时，不光可以指定寄存器，还可以使用往寄存器加一个常数，或者减一个常数的方式。另外说一下，在16位模式下，也能使用这种方式指定，但那时候没有什么地方用得上，所以没有使用。

如果与C语言联合使用的话，有的寄存器能自由使用，有的寄存器不能自由使用，能自由使用的只有EAX、ECX、EDX这3个。至于其他寄存器，只能使用其值，而不能改变其值。因为这些寄存器在C语言编译后生成的机器语言中，用于记忆非常重要的值。因此这次我们只用EAX和ECX。

■■■■■

这次还给naskfunc.nas增加了一行，那就是INSTRSET指令。它是用来告诉nask“这个程序是给486用的哦”，nask见了这一行之后就知道“哦，那见了EAX这个词，就解释成寄存器名”。如果什么都不指定，它就会认为那是为8086这种非常古老的、而且只有16位寄存器的CPU而写的程序，见了EAX这个词，会误解成标签（Label），或是常数。8086那时候写的程序中，曾偶尔使用EAX来做标签，当时也没想到这个单词后来会成为寄存器名而不能再随便使用。

上面虽然写着486用，但并不是说会出现仅能在486中执行的机器语言，这只是单纯的词语解释的问题。所以486用的模式下，如果只使用16位寄存器，也能成为在8086中亦可执行的机器语言。“纸娃娃操作系统”也支持386，所以虽然这里指定的是486，但并不是386中就不能用。可能会有人问，这里的386，486都是什么意思啊？我们来简单介绍一下电脑的CPU（英特尔系列）家谱。

8086→80186→286→386→486→Pentium→PentiumPro→PentiumII→PentiumIII→Pent

从上面的家谱来看，386已经是非常古老的CPU了。到286为止CPU是16位，而386以后CPU是32位。

■■■■■

现在，汇编这部分已经准备好了，下面来修改C语言吧。这次我们导入了变量。

本次的**bootpack.c**内容

```
void io_hlt(void);
void write_mem8(int addr, int data);

void HariMain(void)
{
    int i; /*变量声明：i是一个32位整数*/

    for (i = 0xa0000; i <= 0xaffff; i++) {
        write_mem8(i, 15); /* MOV BYTE [i],15 */
    }

    for (;;) {
        io_hlt();
    }
}
```

for　语句是初次登场它是循环语句，会循环执行花括号（{}）括起来的部分。圆括号（()）中写的是循环执行的条件。共有3个条件，各个条件之间以分号（;）隔开，最初一个条件是初始值。所以上文第一个for语句中，把0xa0000赋值给i。任何for语句的初始值设定语句总是要执行，这是C语言的规定。

下一个部分“i <= 0xaffff”是循环条件。for语句会判断是否满足这个条件，如果不满足，就跳出“{}”括起来的循环体部分。另外，这个部分在第一次执行时就要判断，所以，有时候循环体部分有可能一次都得不到执行。不过这次的for语句中，最初的i值是0xa0000，满足条件，所以循环体部分能够被执行。

最后一个部分是“i++”，这是“i = i+1”的省略形式，也就是i的值增加1。这个语句在循环体执行完以后肯定要执行一次，然后判断循环条件。

只看文字说明不易于理解，我们写成代码形式来辅助说明。

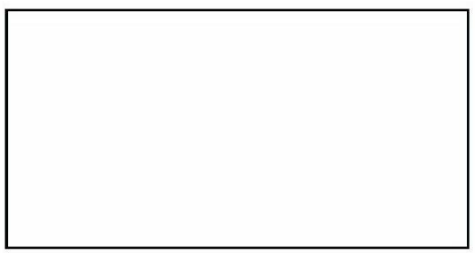
for (A ; B ; C){D; } 与以下程序等价

```
    A;
label:
    if (B) {
        D;
        C;
        goto label;
    }
```

for语句的3个条件，全都可以省略。这种情况下，不做任何初值设定，循环条件永远成立，“{}”内的循环体部分执行完以后，不做任何处理。也就是单纯的无限循环。我们在“io_hlt(); ”处使用了这种循环。

■■■■■

下一步是运行“make run ”还是“make install”呢？两个都可以，但不管执行哪个，画面都不是黑屏，而是白屏。哦?这是怎么回事呢？因为VRAM全部都写入了15，意思是全部像素的颜色都是第15种颜色，而第15种颜色碰巧是纯白，所以画面就成了白色。还是画面上有点什么变化才好。



太好了，成功了！但看不出来……

最初做成的时候，还挺高兴的，但在写这本书的时候，才发觉这是一次失败。纯白的截图放到书里还是一片白，什么都看不出来。

2　条纹图案（**harib01b**）

所以，为了在印成书后能看出效果，我们就显示成有条纹的图案吧。修改也很简单，只要稍微改动一下bootpack.c就可以了。

```
for (i = 0xa0000; i <= 0xaffff; i++) {
    write_mem8(i, i & 0x0f);
}
```

哪儿变了呢？是write_mem8那里。地址部分虽然和之前一样，但写入的值由15变成了 i & 0x0f 。

在这里&是“与”运算，是数学中没有的一种运算。很久以前，CPU就不仅能处理数值数据，还能处理图形数据。在处理图形数据的时候，加减乘除这种数学上的计算功能几乎没什么用。因为所处理的数据虽然是二进制数，但它们并不是作为数字来使用的，重点是0和1的排列方式，对于图形来说，这种排列方式本身更重要。

那么对于图形数据应该进行什么样的运算呢？可以将某些特定的位变为1，某些特定的位变为0，或者是反转[1]特定的位等，做这样的运算。

[1] 反转指让0变为1、1变为0的操作，形象地来说就好比照片的底片一样。

■■■■■

先来看看让特定位变成1的功能。这可以通过“或”（OR）运算来实现。

```
0100 OR 0010 → 0110

1010 OR 0010 → 1010
```

计算“A OR B”的时候，每一位分别计算，对于某一位，A和B的该位只要有一个是1，“或”运算的结果，该位就是1。否则（A和B的该位都是0）结果就是0。也就是说，如果某个图像数据放在变量i里，让i与0010进行或运算，1所在的那一位（从右往左第2位）就一定会变为1。对于其他的位则没有任何影响。如果i的该位（从右往左第2位）原本就是1，则i不变。

下面说说让特定位变成0的功能。这可以通过“与”（AND）运算来实现。

```
0100 AND 1101 → 0100

1010 AND 1101 → 1000
```

计算“A AND B”的时候，也是每一位分别计算，对于某一位，A和B的该位都是1的时候，“与”运算的结果，该位才是1，否则结果就是0。也就是说，如果某个图像数据放在变量i里，让i与1101进行“与”运算，则0所在的那一位（从右往左第2位）就一定会变为0。如果i的该位（从右往左第2位）原本就是0，则i不变。跟“或”运算不同，“与”运算中不想改变的部分要设为1，想改为0的部分要设为0（也就是说，一个是i与0010进行“或”运算，一个是i与1101进行“与”运算）。这一点需要我们注

意。

最后我们来看让特定位反转的功能。这可以通过“异或”（XOR）运算来实现。

```
0100 XOR 0010 → 0110

1010 AND 0010 → 1000
```

计算“A XOR B”的时候，同样也是每一位分别计算，对于某一位，A和B该位的值如果不相同，“异或”运算的结果，该位是1，否则就是0。也就是说，如果某个图像数据放在变量i里，让i与0010进行“异或”运算，就可以对该位进行反转，而别的位不受影响。如果i与所有位都是1（即0xffffffff）的数进行“异或”，则全部位都反转。

■■■■■

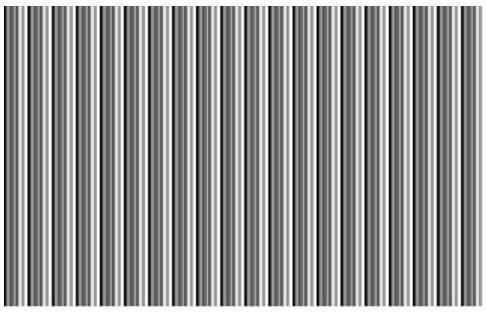
这次我们用的是“与”（AND）运算。将地址值与0x0f进行“与”运算会怎么样呢？低4位原封保留，而高4位全部都变成0。所以，写入的值是：

```
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F 00 01 02 03 04 05 06 …
```

就像这样，每隔16个像素，色号就反复一次。会出现什么效果呢？运行一下“make run”就知道了。

出现了下面这种条纹图案。

印成书之后也能看得很清楚，成功啦！



执行后的结果

3　挑战指针（**harib01c**）

前面说过“C语言中没有直接写入指定内存地址的语句”，实际上这不是C语言的缺陷，因为有替代这种命令的语句。一般大多数程序员主要使用那种替代语句，像这次这样，做一个函数write_mem8的，也就只有笔者了。如果有替代方案的话，大家肯定想用一下，笔者也想试试看。

```
write_mem3(i, i & 0x0f**);
```

替代以上语句的是：

```
i = i & 0x0f;
```

两个语句有点像，但又不尽相同。不管那么多了，先换成后面一种写法看看吧。好了，改完了，用“make run”命令运行一下。唉？奇怪，怎么会出错呢？

```
invalid type argument of 'unary *'
```

类型错误？

■■■■■

没错，就是类型错误。这种写法，从本质上讲没问题，但这样就是无法顺利运行。我们从编译器的角度稍微想想就能明白为什么会出错了。回想一下，如果写以下汇编语句，会发生什么情况呢？

```
MOV [ 0x1234], 0x56
```

是的，会出错。这是因为指定内存时，不知道到底是BYTE，还是WORD，还是DWORD。只有在另一方也是寄存器的时候才能省略，其他情况都不能省略。

其实C编译器也面临着同样的问题。这次，我们费劲写了一条C语句，它的编译结果相当于下面的汇编语句所生成的机器语言，

```
MOV [i], (i & 0x0f)
```

但却不知道[i]到底是BYTE，　还是WORD，还是DWORD。刚才就是出现了这种错误。

那怎么才能告诉计算机这是BYTE呢？

```
char *p; /*，变量p是用于内存地址的专用变量*/
```

声明一个上面这样变量p，p里放入与i相同的值，然后执行以下语句。

```
p = i & 0x0f;
```

这样，C编译器就会认为“p　是地址专用变量，而且是用于存放字符（char）的，所以就是BYTE.”。顺便解释一下类似语句：

char *p; /*用于**BYTE**类地址***/**

short *p; /*用于**WORD**类地址***/**

int *p; /*用于**DWORD**类地址***/**

这次我们是一个字节一个字节地写入，所以使用了char。

> 既然说到这里，那我们再介绍点相关知识，“char i;”是类似AL的1字节变量，“short i;”是类似AX的2字节变量，“int i;”是类似EAX的4字节变量。
>
> 而不管是“char *p”，还是“short *p”，还是“int *p”，变量p都是4字节。这是因为p是用于记录地址的变量。在汇编语言中，地址也像ECX一样，用4字节的寄存器来指定，所以也是4字节。

■■■■■

这样准备工作就OK了。再用“make run”运行一遍以下内容。

```
void HariMain(void)
{
    int i; /*变量声明。变量i是32位整数*/
    char *p; /*变量p，用于BYTE型地址*/

    for (i = 0xa0000; i <= 0xaffff; i++) {

        p = i; /*代入地址*/
        *p = i & 0x0f;
        /*这可以替代write_mem8(i, i & 0x0f);*/
    }

    for (;;) {
        io_hlt();
    }
}
```

哇，居然不使用write_mem8就能显示出条纹图案，真是太好了。

嗯？且慢！仔细看看画面，发现有一行警告。

warning: assignment makes pointer from integer without a cast

这个警告的意思是说，“赋值语句没有经过类型转换，由整数生成了指针”。其中有两个单词的意思不太明白。类型转换是什么？指针又是什么？

类型转换是改变数值类型的命令。一般不必每次都注意类型转换，但像这次的语句中，如果不明确进行类型转换，C编译器就会每次都发出警告：“喂，是不是写错了？”顺便说一下，cast在英文中的原意是压入模具，让材料成为某种特定的形状。

指针是表示内存地址的数值。C语言中不用“内存地址”这个词，而是用“指针”。在C语言中，普通数值和表示内存地址的数值被认为是两种不同的东西，虽然笔者也觉得它们没什么不同，但也只能接受这种设计思想了。基于这种设计思想，如果将普通整数值赋给内存地址变量，就会有警告。为了避免这种情况的发生，可以这样

写：

```
p = (char *） i;
```

这就对i进行了类型转换，使之成为表示内存地址的整数。（其实这样转换以后，数值一点都没变，但对于C编译器来说，类型的不同有着很大的差别。）以后再进行这样的赋值时，就不会出现这种讨厌的警告了。于是我们这样修改一下。

再运行一次“make run”吧。好了，不再出现那种烦人的警告了。write_mem8已经没用了，所以可以将它从naskfunc.nas中删除。

这样的写法虽然有点绕圈子了，但我们实现了只用C语言写入内存的功能。

COLUMN-2 只要使用类型转换，就可以不用指针之类的方法吗？

好不容易介绍完了类型转换，我们来看一个应用实例吧。如果定义：

```
p = (char *) i;
```

那么将上式代入下面语句中。

```
*p = i & 0x0f;
```

这样就能得到下式：

```
*((char *) i) = i & 0x0f;
```

这个语句执行起来毫无问题。虽然读起来不是很容易理解，但这样可以不特意声明p变量，所以笔者偶尔还是会使用的。

有没有觉得这种写法与“BYTE[i] = i & 0x0f;”有些相像吗？在特别喜欢汇编语言的笔者看来，会有这种感觉呢。（笑）

COLUMN-3 还是不能理解指针

能有这种想法，说明你很诚实。那好，我们再尽量详细地讲解一下。

如果你曾经使用过C语言，并且听说过“指针”这个词，那么刚才的说明肯定让你觉得混乱，摸不着头脑。倒是那些从未接触过C语言的人更能理解一些。

这里，特别重要的一点是，必须想点办法让C语言完成以下功能：

```
MOV BYTE [i], (i & 0x0f)
```

也就是，向内存的第 i 号地址写入 i & 0x0f 的计算结果。而程序只是偶然地写成了：

```
int i;
char *p;
```

```
p = (char *)  i;
*p = i & 0x0f;
```

必须要先理解以上程序。这可能与你所知道的指针的使用方法完全不同，不过暂时先不要想这个。总之上面 4 行，是MOV语句的替代物，这一点是最重要的。

从没听说过C语言指针的人，仅仅会想“哦，原来C语言中是这么写的，没那么复杂么。”的确如此，没什么不懂的嘛。

■■■■■

下面再稍微深入说明一下。我们常见的两个语句是：

```
p = (char *)  i;
*p = i & 0x0f;
```

这两个语句有什么区别呢？这是不懂汇编的人常有的疑问。将以上语句按汇编的习惯写一下吧。假设p相当于ECX，那么写出来就是：

```
MOV ECX, i
MOV BYTE [ECX], (i & 0x0f)
```

它们的区别很清楚，即一个是给ECX寄存器赋值，一个给ECX号内存地址赋值。这完全是两回事。存储它们的半导体也不一样，一个在CPU里，一个在内存芯片里。在C语言中，虽然p与*p只有一字之差，但意思上的差别却如此之大。

如果执行顺序调过来会怎么样呢？也就是像这样：

```
*p = i & 0x0f;
p = (char *)  i;
```

不是很熟悉指针的人可能认为这样也行。但是，这相当于：

```
MOV BYTE [ECX], (i & 0x0f)
MOV ECX, i
```

如果这么做，第一个MOV的时候，ECX的值不确定，是个随机数，这会导致i & 0x0f 的结果写入内存的某个不可知的地址中。这样的后果很严重。

■■■■■

另一个比较常见的疑问，是关于声明的。在C语言中，如果不声明变量就不能使用。所谓声明，就是类似“int i;”这种语句。有了这句话，变量 i 就可以使用了（与此不同的是汇编语言中，EAX，DL等，不声明也可以自由使用）。在C语言中，声明了10个变量，就可以用10个变量，这是理所当然的事。

既然如此，那为什么只声明了“char　*p;”却不仅能使用p，还可以使用*p呢？这让人搞不懂……确实，这个程序中，给p和*p赋值了。看上去，能够使用的变量数比实际声明的变量数要多。

遇到这种情况时，我们先回到汇编语言中看看。

```
MOV ECX, i
MOV BYTE [ECX], (i & 0x0f)
```

看着这个程序，就不会再有人认为其中有2个变量了。其中只有一个ECX。而且，同样是“MOV　AL，　[ECX]”，ECX是123的时候，和ECX是124的时候，放入AL的值也是不同的（只要这两处地址存放的不是同样的值）。这是因为地址不同，代表的内存区域不同。就好比不同的住址，住的人也不一样。

所以，同样是*p，因为p值的不同，记录的值也不同。

```
*p = 3;
p = p + 3;
i  = *p;
```

也就是说如果执行以上片段，i不一定是3，因为地址已经变了。

费了半天劲，其实笔者想说的就是，*p并不是什么变量。确实，我们可以给*p赋值，也可以引用*p的值，这看起来就像变量一样。但即便如此，*p也不是一个变量，变量只有p。所谓*p，就相当于汇编中BYTE [p]这种语句的代替。

如果你还执拗地说*p是一个变量，那照这种逻辑，变量可远不止2个，还有很多很多。因为只要给p赋上不同的值，*p就代表完全不同区域的内存内容。

■■■■■

下一个问题也是关于声明的：“char *p；”声明的是*p，还是p呢？

这也是一个常见的问题。 先给出结论吧，声明的是p。“既然如此，那为什么不写成char*p；呢？”有这种想法，说明你这方面的直觉很好。笔者也认为这样写对于初学者来说更简单易懂。事实上，在C语言中写成“char*　p；”也可以，既不出错，也不出警告，运行也没问题。

但这种写法有点小问题。如果写成“char*　p,q;”，我们看上去会觉得p和q都表示地址的变量，但C编译器却不那样认为，q会被看作是一般的1字节的变量。也就是被解释成“char　*p,q”。为了避免这样的误解，一般的程序员不写成“char* p;”，所以笔者也按照这个习惯编写程序。另外，如果想要声明两个地址变量，就写成“char *q,*p;”。

■■■■■

今天的专栏写得好长呀，我们来整理总结一下吧。首先，本书中出现的“char *p;”不必看作指针，这是最重要的决窍。p不是指针，而是地址变量。不要使

用“p是指针”这种模棱两可的说法，“p是地址变量”这种说法比较好。

将地址值赋给地址变量是理所当然的。并且，既然地址代表的是内存的地址，可以让该地址存放自己想放的任何值。虽然也可以将地址变量说成是指针，但笔者听到指针这个说法也很茫然，所以除了跟别人讨论时以外，笔者也不说指针什么的。

C语言中地址变量的声明，以及给内存地址赋值的，写法不是很习惯，但终究这只是写法的不同，思考问题的方法与汇编语言差不多。在C语言开发人员看来，“C语言的*p比汇编语言BYTE　　[p]，更短小精悍”，确实，简洁是一个长处，但就是因为简洁，才让初学者不好理解。

C语言的很多初学者都在学习指针时受挫，以至于会想“如果没有指针就好了”。而事实上，没有指针的语言也确实是存在的。但这种语言很不好用，因为没有指针就无法往指定内存的地址存入数据，那怎么往VRAM上绘制图像呢？这种语言只能让写操作系统变得更加困难。

笔者也认为，C语言指针的语法很难理解，所以希望能改善。但它像汇编语言一样，能直接访问地址，这一点非常好。所以希望大家能这样想：“不是要废除指针，而是把指针改善得更直观易懂。”

4　指针的应用（1）（harib01d）

绘制条纹图案的部分，也可以写成以下这样：

```
p = (char *) 0xa0000; /*给地址变量赋值*/

for (i = 0; i <= 0xffff; i++) {
    *(p + i) = i & 0x0f;
}
```

本质上讲，所做的事跟之前一样。这里只是想说明，C语言还能用这种方法书写。

5　指针的应用（2）（harib01e）

C语言中，*（p + i ）还可以改写成p[i]这种形式，所以以上片段也可以写成这样：

```
p = (char *) 0xa0000; /*将地址赋值进去*/

for (i = 0; i <= 0xffff; i++) {
    p[i] = i & 0x0f;
}
```

其实要做的事还是没有什么变化，这里想要告诉大家各种写法，今后可以根据自己的喜好区别使用。

COLUMN-4　p[i]是数组吗？

写得不好的C语言教科书里，往往会说p[i]是数组p的第i个元素。这虽然也不算错，但终究有些敷衍。如果读者不懂汇编语言，这种敷衍的说法是最省事的。

p[i]与*(p + i)意思完全相同。要是嫌后者太长太麻烦，或者是为了看起来好看就会使用这种写法。在这个例子里，*(p + i)是6个字符，而p[i]只有4个字符。区别只有这一点，所以大家可以根据喜好使用。p[i]不过是一个看起来像数列的使用了地址变量的省略写法而已。

反过来说，也可以将p[0]写成*p，写成指针的形式反倒是节省了2个字符。总之，根据情况，按自己喜欢的方式写就行了。

不是说改变一下写法，地址变量就变成数组了。大家不要被那些劣质的教科书骗了。编译器生成的机器语言也完全一样。这比什么都更能证明，意思没有变化，只是写法不同。

说个题外话，加法运算可以交换顺序，所以将*(p + i)写成*(i + p) 也是可以的。同理，将p[i]写成i[p]也是可以的（可能你会不相信，但这样写既不会出错，也能正常运行）。a[2]也可以写成2[a]（这当然是真的）。难道还能说这是名为2的数组的第a个元素吗？当然不能。所以，p[i]也好，i[p]也好，仅仅是一种省略写法，本质上讲，与数组没有关系。

6　色号设定（harib01f）

好了，到现在为止我们的话题都是以C语言为中心的，但我们的目的不是为了掌握C语言，而是为了制作操作系统，操作系统中是不需要条纹图案之类的。我们继续来做操作系统吧。

可能大家马上就想描绘一个操作系统模样的画面，但在此之前要先做一件事，那就是处理颜色问题。这次使用的是320× 200的8位颜色模式，色号使用8位（二进制）数，也就是只能使用0～255的数。我想熟悉电脑颜色的人都会知道，这是非常少的。一般说起指定颜色，都是用#ffffff一类的数。这就是RGB（红绿蓝）方式，用6位十六进制数，也就是24位（二进制）来指定颜色。8位数完全不够。那么，该怎么指定#ffffff方式的颜色呢？

这个8位彩色模式，是由程序员随意指定0～255的数字所对应的颜色的。比如说25号颜色对应#ffffff，26号颜色对应#123456等。这种方式就叫做调色板（palette）。

如果像现在这样，程序员不做任何设定，0号颜色就是#000000，15号颜色就是#ffffff。其他号码的颜色，笔者也不是很清楚，所以可以按照自己的喜好来设定并使用。

笔者通过制作OSAKA知道：要想描绘一个操作系统模样的画面，只要有以下这16种颜色就足够了。所以这次我们也使用这16种颜色，并给它们编上号码0-15。

#000000:黑	**#00ffff:**浅亮蓝	**#000084:**暗蓝
#ff0000:亮红	**#ffffff:**白	**#840084:**暗紫
#00ff00:亮绿	**#c6c6c6:**亮灰	**#008484:**浅暗蓝
#ffff00:亮黄	**#840000:**暗红	**#848484:**暗灰
#0000ff:亮蓝	**#008400:**暗绿	
#ff00ff:亮紫	**#848400:**暗黄	

所以我们要给bootpack.c添加很多代码。

■■■■■

本次的**bootpack.c**

```
void io_hlt(void);
void io_cli(void);
void io_out8(int port, int data);
int io_load_eflags(void);
void io_store_eflags(int eflags);

/*就算写在同一个源文件里，如果想在定义前使用，还是必须事先声明一下。*/

void init_palette(void);
void set_palette(int start, int end, unsigned char *rgb);
```

```
void HariMain(void)
{
    int i; /* 声明变量。变量i是32位整数型 */
    char *p; /* 变量p是BYTE [...]用的地址 */

    init_palette(); /* 设定调色板 */

    p = (char *) 0xa0000; /* 指定地址 */

    for (i = 0; i <= 0xffff; i++) {
        p[i] = i & 0x0f;
    }

    for (;;) {
        io_hlt();
    }
}

void init_palette(void)
{
    static unsigned char table_rgb[16 * 3] = {
        0x00, 0x00, 0x00,   /*  0:黑 */
        0xff, 0x00, 0x00,   /*  1:亮红 */
        0x00, 0xff, 0x00,   /*  2:亮绿 */
        0xff, 0xff, 0x00,   /*  3:亮黄 */
        0x00, 0x00, 0xff,   /*  4:亮蓝 */
        0xff, 0x00, 0xff,   /*  5:亮紫 */
        0x00, 0xff, 0xff,   /*  6:浅亮蓝 */
        0xff, 0xff, 0xff,   /*  7:白 */
        0xc6, 0xc6, 0xc6,   /*  8:亮灰 */
        0x84, 0x00, 0x00,   /*  9:暗红 */
        0x00, 0x84, 0x00,   /* 10:暗绿 */
        0x84, 0x84, 0x00,   /* 11:暗黄 */
        0x00, 0x00, 0x84,   /* 12:暗青 */
        0x84, 0x00, 0x84,   /* 13:暗紫 */
        0x00, 0x84, 0x84,   /* 14:浅暗蓝 */
        0x84, 0x84, 0x84    /* 15:暗灰 */
    };
    set_palette(0, 15, table_rgb);
    return;

    /* C语言中的static char语句只能用于数据，相当于汇编中的DB指令 */
}

void set_palette(int start, int end, unsigned char *rgb)
{
    int i, eflags;
    eflags = io_load_eflags();  /* 记录中断许可标志的值*/
    io_cli();                   /* 将中断许可标志置为0，禁止中断 */
    io_out8(0x03c8, start);
    for (i = start; i <= end; i++) {
        io_out8(0x03c9, rgb[0] / 4);
        io_out8(0x03c9, rgb[1] / 4);
        io_out8(0x03c9, rgb[2] / 4);
        rgb += 3;
    }
    io_store_eflags(eflags);    /* 复原中断许可标志 */
    return;
}
```

程序的头部罗列了很多的外部函数名，这些函数必须在naskfunc.nas中写。这有点麻烦，但也没办法。先跳过这一部分，我们来看看主函数HariMain。函数里只是增加了一行调用调色板置置的函数，变更并不是太大。我们接着往下看。

■■■■■

函数init_palette开头一段以static开始的语句，虽然很长，但结果无非就是声明了一

个常数table_rgb。它太长了，有些晦涩难懂，所以我们来简化一下。

```
void init_palette(void)
{
    table_rgb的声明;
    set_palette(0, 15, table_rgb);
    return;
}
```

简而言之，就是这些内容。除了声明之外没什么难点，所以我们仅仅解说声明部分。

char a[3];

C语言中，如果这样写，那么a就成为了常数，以汇编的语言来讲就是标志符。标志符的值当然就意味着地址。并且还准备了“RESB 3”。总结一下，上面的叙述就相当于汇编里的这个语句：

```
a:
    RESB 3
```

nask中RESB的内容能够保证是0，但C语言中不能保证所以里面说不定含有某种垃圾数据。

■■■■■

另外，在这个声明的后面加上 “= { … }”，还可以写上数据的初始值。比如：

char a[3]= { 1,2,3 };

这与下面的内容基本等价。

```
char a[3];
a[0] = 1;
a[1] = 2;
a[2] = 3;
```

这里，a是表示最初地址的数字，也就是说它被认为是指针。

那么这次，应该代入的值共有16× 3=48个。笔者不希望大家做如此多的赋值语句。每次赋值都至少要消耗3个字节，这样算下来光这些赋值语句就要花费将近150字节，这太不值了。

其实写成下面这样一般的DB形式，不就挺好吗。

```
table_rgb:
    DB 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0x00, …
```

只要48字节就够了。所以说，就像在汇编语言中用DB指令代替RESB指令那样，在C语言中也有类似的指示方法，那就是在声明时加上static。这次我们也加上它。

下面来看unsigned。它的意思是：这里所处理的数据是BYTE（char）型，但它是没有符号（sign）的数（0或者正整数）。

char型的变量有3种模式，分别是signed型、unsigned型和未指定型。signed型用于处理-128～127的整数。它虽然也能处理负数，扩大了处理范围，很方便，但能够处理的最大值却减小了一半。unsigned型能够处理0～255的整数。未指定型是指没有特别指定时，可由编译器决定是unsigned还是signed。

在这个程序里，多次出现了0xff这个数值，也就是255，我们想用它来表示最大亮度，如果它被误解成负数（0xff会被误解成-1）就麻烦了。虽然我们不清楚亮度比0还弱会是什么概念，但无论如何不能产生这种误解。所以我们决定将这个数设定为unsigned。顺便提一句，int和short也分signed和unsigned。……好了，关于init_palette的说明就到此为止。

■■■■■

下面要讲的是C语言说明部分最后的函数set_palette。这个函数虽然很短，干的事儿可不少。首先让我们仔细看看以下精简之后的记述吧。

```
void set_palette(int start, int end, unsigned char *rgb)
{
    int i;
    io_out8(0x03c8, start);
    for (i = start; i <= end; i++) {
        io_out8(0x03c9, rgb[0] / 4);
        io_out8(0x03c9, rgb[1] / 4);
        io_out8(0x03c9, rgb[2] / 4);
        rgb += 3;
    }
    return;
}
```

程序被如此精简后还可以正确运行。其实可以在一开始就介绍这个程序，但由于想给大家介绍精简之前的正确方法，所以才写了那么长。这个先放一边，我们来说说精简的程序吧。

这个程序所做的事情，仅仅是多次调用io_out8。函数io_out8是干什么的呢？以后在naskfunc.nas中还要详细说明，现在大家只要知道它是往指定装置里传送数据的函数就行了。

■■■■■

我们前面已经说过，CPU的管脚与内存相连。如果仅仅是与内存相连，CPU就只能完成计算和存储的功能。但实际上，CPU还要对键盘的输入有响应，要通过网卡从网络取得信息，通过声卡发送音乐数据，向软盘写入信息等。这些都是设备（device），它们当然也都要连接到CPU上。

既然CPU与设备相连，那么就有向这些设备发送电信号，或者从这些设备取得信息的指令。向设备发送电信号的是OUT指令；从设备取得电气信号的是IN指令。正如为了区别不同的内存要使用内存地址一样，在OUT指令和IN指令中，为了区别不同的设备，也要使用设备号码。设备号码在英文中称为port（端口）。port原意为“港

口”，这里形象地将CPU与各个设备交换电信号的行为比作了船舶的出港和进港。

所以，我们执行OUT指令时，出港信号就要挥泪告别CPU了。这就好像它在说：“妈妈，我要走了。我在显卡中，会很好的，不用担心。”我想不用说大家也会感觉得到，在C语言中，没有与IN或OUT指令相当的语句，所以我们只好拿汇编语言来做了。唉，汇编真是关键时刻显身手的语言呀。

■■■■■

如果我们读一读程序的话，就会发现突然蹦出了0x03c8、0x03c9之类的设备号码，这些设备号码到底是如何获得的呢？随意写几个数字行不行呢？这些号码当然不是能随便乱写的。否则，别的什么设备胡乱动作一下，会带来很严重的问题。所以事先必须仔细调查。笔者的参考网页如下：

http://community.osdev.info/?VGA

网页的叙述太长了，不好意思（注：这一页也是笔者写的）。网页正中间那里，有一个项目，叫做“video DA converter”，其中有以下记述。

- 调色板的访问步骤。
- 首先在一连串的访问中屏蔽中断（比如CLI）。
- 将想要设定的调色板号码写入0x03c8，紧接着，按R，G，B的顺序写入0x03c9。如果还想继续设定下一个调色板，则省略调色板号码，再按照RGB的顺序写入0x03c9就行了。
- 如果想要读出当前调色板的状态，首先要将调色板的号码写入0x03c7，再从0x03c9读取3次。读出的顺序就是R，G，B。如果要继续读出下一个调色板，同样也是省略调色板号码的设定，按RGB的顺序读出。
- 如果最初执行了CLI，那么最后要执行STI。

我们的程序在很大程度上参考了以上内容。

■■■■■

到这里，该说明的部分都说明得差不多了。总结一下就是：

```
void set_palette(int start, int end, unsigned char *rgb)
{
    int i, eflags;
    eflags = io_load_eflags();  /* 记录中断许可标志的值 */
    io_cli();                   /* 将许可标志置为0，禁止中断 */
    已经说明的部分
    io_store_eflags(eflags);    /* 恢复许可标志的值 */
    return;
}
```

在“调色板的访问步骤”的记述中，还写着CLI、STI什么的。下面来看看它们可以做

些什么。

首先是CLI和STI。所谓CLI，是将中断标志（interrupt flag）置为0的指令（clear interrupt flag）。STI是要将这个中断标志置为1的指令（set interrupt flag）。而标志，是指像以前曾出现过的进位标志一样的各种标志，也就是说在CPU中有多种多样的标志。更改中断标志有什么好处呢？正如其名所示，它与CPU的中断处理有关系。当CPU遇到中断请求时，是立即处理中断请求（中断标志为1），还是忽略中断请求（中断标志为0），就由这个中断标志位来设定。

那到底什么是中断呢？大家可能会有这种疑问，可如果现在来讲这个问题的话，就与我们“描绘一个操作系统模样的画面”这个主题渐行渐远了，所以等以后有机会再讲吧。

■■■■■

下面再来介绍一下EFLAGS这一特别的寄存器。这是由名为FLAGS的16位寄存器扩展而来的32位寄存器。FLAGS是存储进位标志和中断标志等标志的寄存器。进位标志可以通过JC或JNC等跳转指令来简单地判断到底是0还是1。但对于中断标志，没有类似的JI或JNI命令，所以只能读入EFLAGS，再检查第9位是0还是1。顺便说一下，进位标志是EFLAGS的第0位。

※1　IOPL将第13，第12位这两位放在一起处理

空白位没有特殊意义（或许留给将来的**CPU**用？）

set_palette中想要做的事情是在设定调色板之前首先执行CLI，但处理结束以后一定要恢复中断标志，因此需要记住最开始的中断标志是什么。所以我们制作了一个函数io_load_eflags，读取最初的eflags值。处理结束以后，可以先看看eflags的内容，再决定是否执行STI，但仔细想一想，也没必要搞得那么复杂，干脆将eflags的值代入EFLAGS，中断标志位就恢复为原来的值了。函数o_store_eflags就是完成这个处理的。

估计不说大家也知道了，CLI也好，STI也好，EFLAGS的读取也好，EFLAGS的写入也好，都不能用C语言来完成。所以我们就努力一下，用汇编语言来写吧。

■■■■■

我们已经解释了bootpack.c程序，那么现在就来说说naskfunc.nas。

```
; naskfunc
; TAB=4

[FORMAT "WCOFF"]                ; 制作目标文件的模式
[INSTRSET "i486p"]              ; 使用到486为止的指令
[BITS 32]                       ; 制作32位模式用的机器语言
[FILE "naskfunc.nas"]           ; 源程序文件名

        GLOBAL  _io_hlt, _io_cli, _io_sti, io_stihlt
        GLOBAL  _io_in8,  _io_in16,  _io_in32
        GLOBAL  _io_out8, _io_out16, _io_out32
        GLOBAL  _io_load_eflags, _io_store_eflags
```

```
[SECTION .text]

_io_hlt:    ; void io_hlt(void);
        HLT
        RET

_io_cli:    ; void io_cli(void);
        CLI
        RET

_io_sti:    ; void io_sti(void);
        STI
        RET

_io_stihlt: ; void io_stihlt(void);
        STI
        HLT
        RET

_io_in8:    ; int io_in8(int port);
        MOV     EDX,[ESP+4]     ; port
        MOV     EAX,0
        IN      AL,DX
        RET

_io_in16:   ; int io_in16(int port);

        MOV     EDX,[ESP+4]     ; port
        MOV     EAX,0
        IN      AX,DX
        RET

_io_in32:   ; int io_in32(int port);
        MOV     EDX,[ESP+4]     ; port
        IN      EAX,DX
        RET
```

```
_io_out8:   ; void io_out8(int port, int data);
        MOV     EDX,[ESP+4]     ; port
        MOV     AL,[ESP+8]      ; data
        OUT     DX,AL
        RET

_io_out16:  ; void io_out16(int port, int data);
        MOV     EDX,[ESP+4]     ; port
        MOV     EAX,[ESP+8]     ; data
        OUT     DX,AX
        RET

_io_out32:  ; void io_out32(int port, int data);
        MOV     EDX,[ESP+4]     ; port
        MOV     EAX,[ESP+8]     ; data
        OUT     DX,EAX
        RET

_io_load_eflags:    ; int io_load_eflags(void);
        PUSHFD      ; 指 PUSH EFLAGS
        POP     EAX
        RET

_io_store_eflags:   ; void io_store_eflags(int eflags);
        MOV     EAX,[ESP+4]
        PUSH    EAX
        POPFD       ; 指 POP EFLAGS
        RET
```

到现在为止的说明，想必大家都已经懂了，尚且需要说明的只有与EFLAGS相关的部分了。如果有“MOV　　EAX,EFLAGS”之类的指令就简单了，但CPU没有这种指令。能够用来读写EFLAGS的，只有PUSHFD和POPFD指令。

■■■■■

PUSHFD是“push flags double-word”的缩写，意思是将标志位的值按双字长压入栈。其实它所做的，无非就是“PUSH EFLAGS”。POPFD是“pop flags double-word”的缩写，意思是按双字长将标志位从栈弹出。它所做的，就是“POP EFLAGS”。

栈是数据结构的一种，大家暂时只要理解到这个程度就够了。往栈登录数据的动作称为push（推），请想象一下往烤箱里放面包的情景。从栈里取出数据的动作称为pop（弹出）。

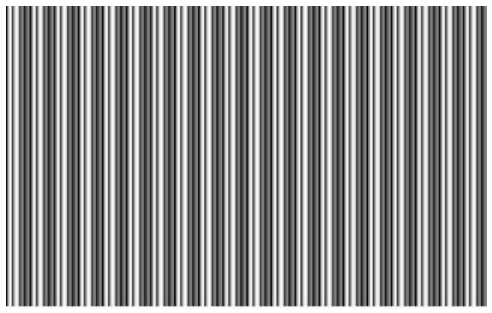
也就是说，“PUSHFD POP EAX”，是指首先将EFLAGS压入栈，再将弹出的值代入EAX。所以说它代替了“MOV EAX,EFLAGS”。另一方面，PUSH EAX POPFD正与此相反，它相当于“MOV EFLAGS,EAX”。

■■■■■

最后要讲的是io_load_eflags。它对我们而言，是第一个有返回值的函数的例子，但根据C语言的规约，执行RET语句时，EAX中的值就被看作是函数的返回值，所以这样就可以。

另外，虽然还有几个函数是不必要的，但因为将来会用到，所以这里就顺便做了。虽然不知道什么时候用，用于什么目的，但通过到目前为止的讲解也能明白其中的意义。

好了，讲解完了以后执行一下吧。运行“make　run”。条纹的图案没有变化，但颜色变了！成功了！



仔细看看，颜色可不一样哟

7　绘制矩形（**harib01g**）

颜色备齐了，下面我们来画“画”吧。首先从VRAM与画面上的“点”的关系开始说起。在当前画面模式中，画面上有320×200（=64 000）个像素。假设左上点的坐标是（0,0），右下点的坐标是（319,319），那么像素坐标（x,y）对应的VRAM地址应按下式计算。

```
0xa0000 + x + y * 320
```

其他画面模式也基本相同，只是0xa0000这个起始地址和y的系数320有些不同。

根据上式计算像素的地址，往该地址的内存里存放某种颜色的号码，那么画面上该像素的位置就出现相应的颜色。这样就画出了一个点。继续增加x的值，循环以上操作，就能画一条长长的水平直线。再向下循环这条直线，就能够画很多的直线，组成一个有填充色的长方形。

根据这种思路，我们制作了函数boxfill8。源程序就是bootpack.c。并且在程序HariMain中，我们不再画条纹图案，而是使用这个函数3次，画3个矩形。也不知能不能正常运行，我们来“make run”看看。哦，好像成功了。

本次的**bootpack.c**节选

```
#define COL8_000000     0
#define COL8_FF0000     1
#define COL8_00FF00     2
#define COL8_FFFF00     3
#define COL8_0000FF     4
#define COL8_FF00FF     5
#define COL8_00FFFF     6
#define COL8_FFFFFF     7
#define COL8_C6C6C6     8
#define COL8_840000     9
#define COL8_008400     10
#define COL8_848400     11
#define COL8_000084     12
#define COL8_840084     13
#define COL8_008484     14
#define COL8_848484     15

void HariMain(void)
{
    char *p; /* p变量的地址 */

    init_palette(); /* 设置调色板 */

    p = (char *) 0xa0000; /* 将地址赋值进去 */

    boxfill8(p, 320, COL8_FF0000,  20,  20, 120, 120);
    boxfill8(p, 320, COL8_00FF00,  70,  50, 170, 150);
    boxfill8(p, 320, COL8_0000FF, 120,  80, 220, 180);

    for (;;) {
        io_hlt();
    }
}

void boxfill8(unsigned char *vram, int xsize, unsigned char c, int x0, int y0, int x1, int y1
{
    int x, y;
    for (y = y0; y <= y1; y++) {
        for (x = x0; x <= x1; x++)
```

```
                vram[y * xsize + x] = c;
        }
        return;
}
```

画了**3**个矩形哦

这次新出现了#define声明方式，它用来表示常数声明。要记住哪种色号对应哪种颜色实在太麻烦了，所以为了便于理解，做了以上声明。

8　今天的成果（harib01h）

我们已经努力到现在了，再加最后一把劲儿。这次我们只修改HariMain程序。让我们看看执行结果会是什么样呢？

本次的**HariMain**

```
void HariMain(void)
{
    char *vram;
    int xsize, ysize;

    init_palette();
    vram = (char *) 0xa0000;
    xsize = 320;
    ysize = 200;

    boxfill8(vram, xsize, COL8_008484,  0,         0,          xsize -  1, ysize - 29);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_C6C6C6,  0,         ysize - 28, xsize -  1, ysize - 28);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_FFFFFF,  0,         ysize - 27, xsize -  1, ysize - 27);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_C6C6C6,  0,         ysize - 26, xsize -  1, ysize -  1);

    boxfill8(vram, xsize, COL8_FFFFFF,  3,         ysize - 24, 59,         ysize - 24);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_FFFFFF,  2,         ysize - 24,  2,         ysize -  4);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_848484,  3,         ysize -  4, 59,         ysize -  4);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_848484, 59,         ysize - 23, 59,         ysize -  5);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_000000,  2,         ysize -  3, 59,         ysize -  3);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_000000, 60,         ysize - 24, 60,         ysize -  3);

    boxfill8(vram, xsize, COL8_848484, xsize - 47, ysize - 24, xsize -  4, ysize - 24);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_848484, xsize - 47, ysize - 23, xsize - 47, ysize -  4);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_FFFFFF, xsize - 47, ysize -  3, xsize -  4, ysize -  3);
    boxfill8(vram, xsize, COL8_FFFFFF, xsize -  3, ysize - 24, xsize -  3, ysize -  3);

    for (;;) {
        io_hlt();
    }
}
```

怎么样？（笑）

任务条（task bar）有点大了，这是因为像素数太少的缘故吧。但很有进步，已经有点操作系统的样子了。总算到了这一步。从什么都不会开始，到现在只用了四天。嗯，干得不错嘛。现在的haribote.sys是1216字节，大概是1.2KB吧。虽然这个操作系统很小，但已经有这么多功能了。好，今天先到此为止，明天再见啦。