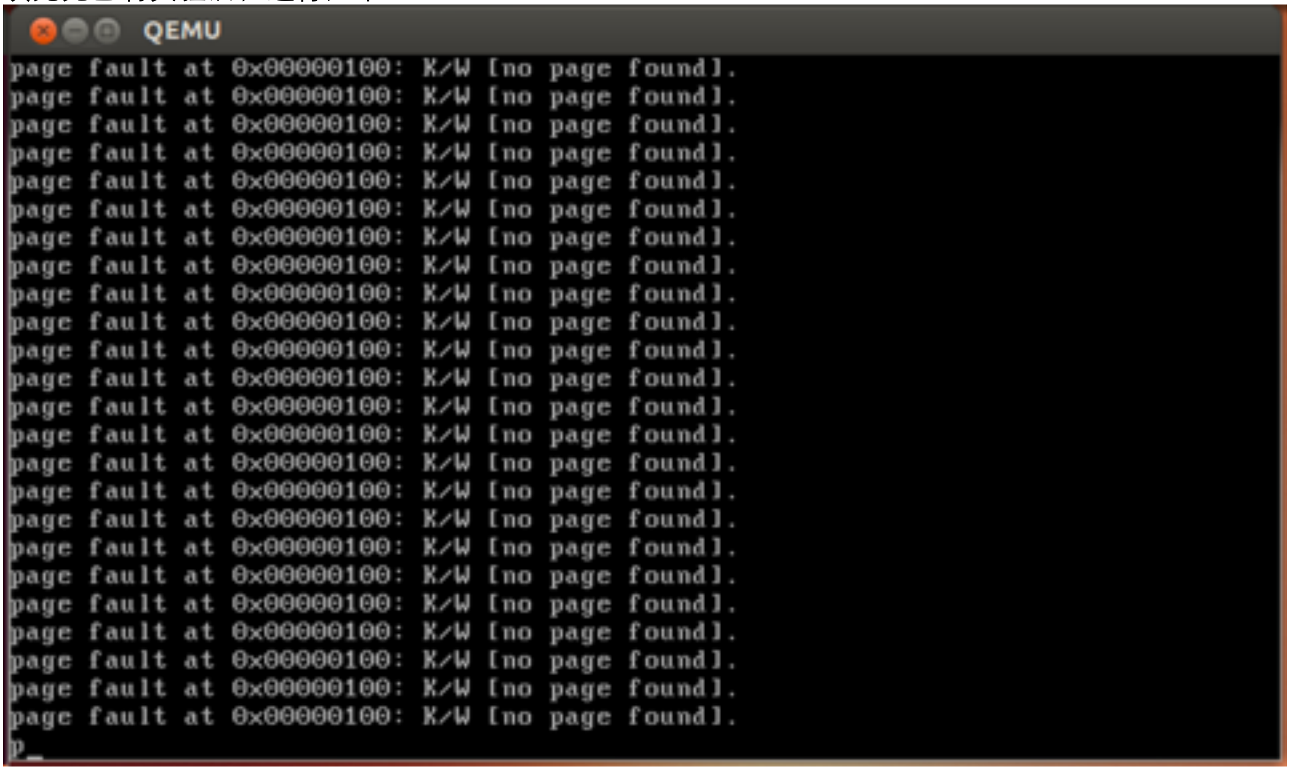
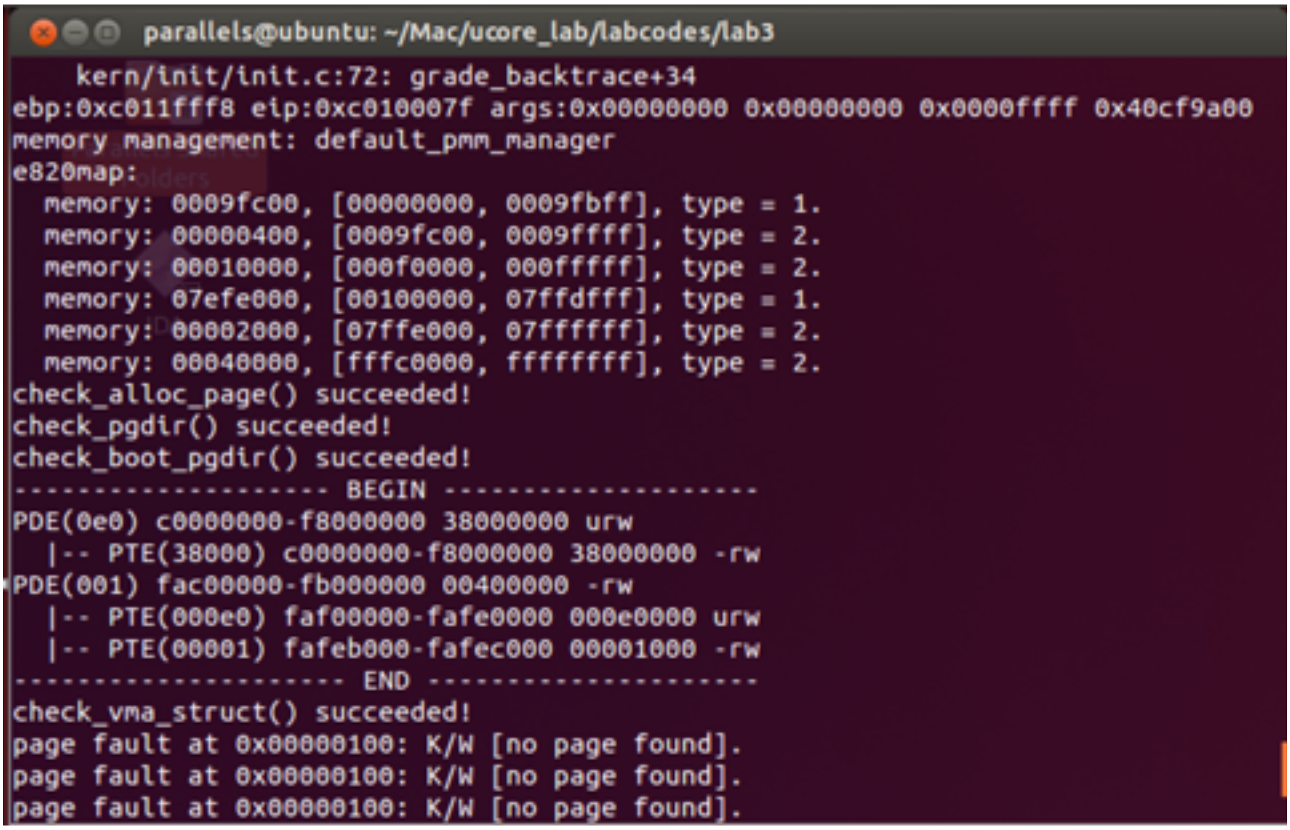
0.
填充完已有实验后，运行如下：



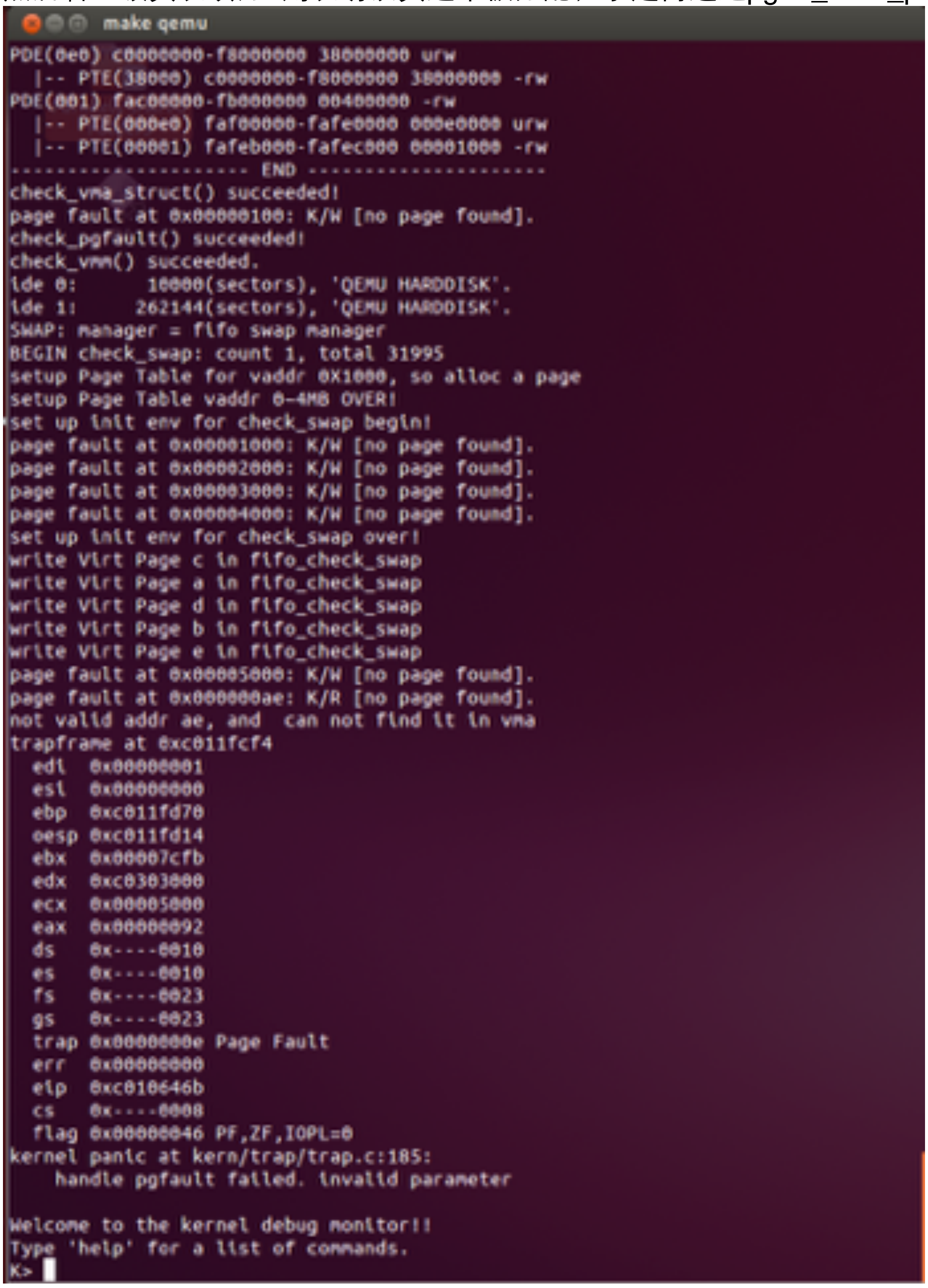
发现被page fault刷屏，仔细检查输出，会发现，在lab2的基础上多了个check_vma_struct() succeeded!：



这明明是号称练习1基本正确之后才会出现的东西，简直了！！！

1.
练习1简直不能更简单，就按照注释要求，先get_pte获取二级页表中得页入口项，get_pte在lab2中已经完成了二级页表不存在时自动创建（第三个参数要设置为1），所以不用担心不存在的问题。

然后若二级页表项为0则表明该页还未被分配，于是再通过pgdir_alloc_page分配一下即可。



完成后，便会发现，此时不会再被刷屏，当然那个check_vma_struct() succeeded!仍旧还在那里没变。

2.
首先还是继续完成do_pgfault，当ptep不为0时，那么此时意味着该页被换到了硬盘上，ptep中存着的是硬盘上对应的位置，那么，首先检查内存交换系统是否初始化好了，如果发现初始化失败了显然此时程序就是已经出问题了，只有初始化完成了程序才能继续。
那么首先就调用swap_in将硬盘上得页换入到一个新分配的物理内存页中，接着用page_insert将这个物理内存页加入页表中，和需要访问的虚拟地址建立映射关系。注意由于注释中没有讲解page_insert的参数，故查看其注释已确定参数：

```
//page_insert - build the map of phy addr of an Page with the linear addr la
// paramemters:
//  pgdir: the kernel virtual base address of PDT
//  page:  the Page which need to map
//  la:    the linear address need to map
//  perm:  the permission of this Page which is setted in related pte
// return value: always 0
//note: PT is changed, so the TLB need to be invalidate
```

接着，注释要我们调用swap_map_swappable，按照文档，该函数是用来查询页的访问情况并间接调用相关函数, 换出“不常用”的页到磁盘上。是专门为了lab3才在此处进行调用的，既然要调用，那么就先研究这个函数。

查看此函数会发现其作用就是将刚被访问的页添加到FIFO记录最近被访问页的链表中。那么首先补全这个函数，list_add即可。但是查看这个函数的参数，会发现，前三个参数很明显，但是最后一个参数swap_in就有点不知道是做什么的的，猜测的话可能是类似于那个get_pte中得create参数的作用，但是这里暂时没用到吧。既然暂时没用，于是，就按照pgdir_alloc_page中对其的调用，将最后一个参数填0了。

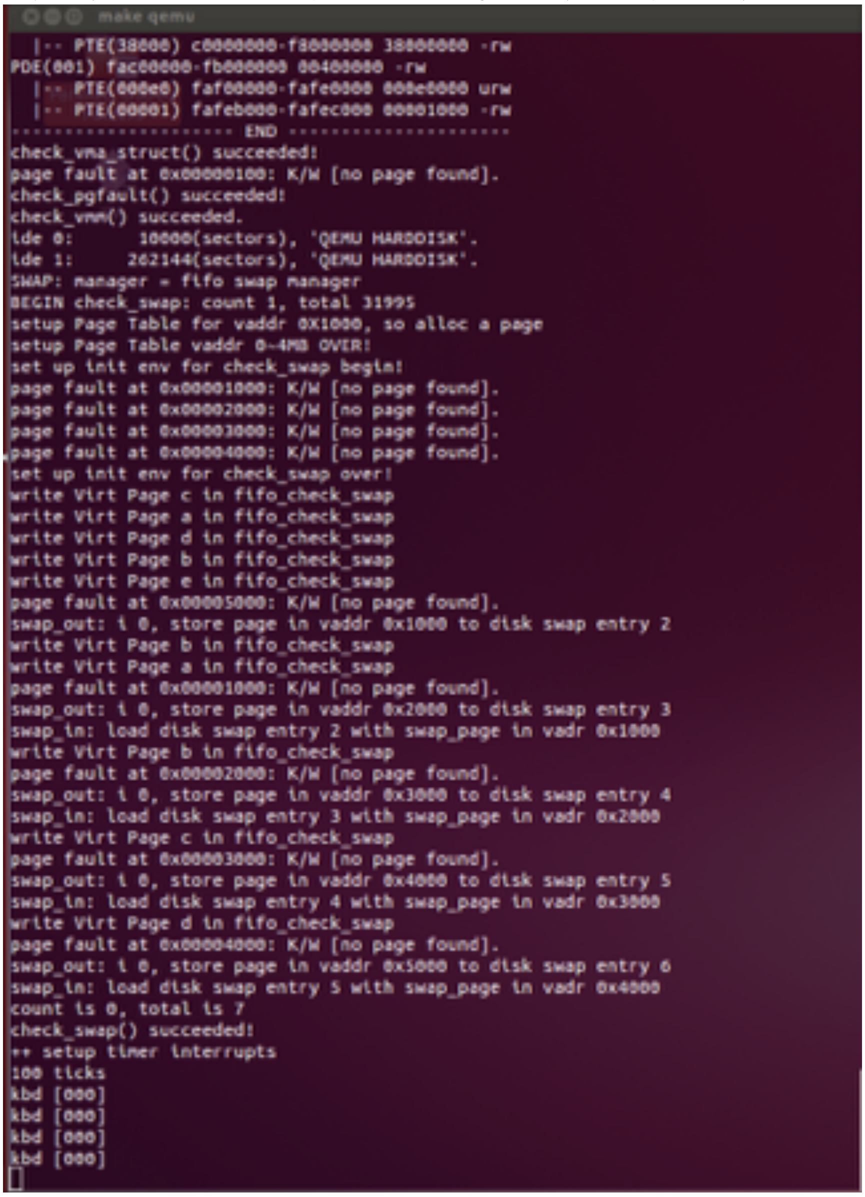
最后就还剩下_fifo_swap_out_victim函数了，通过list_prev(head)我们可以得到FIFO需要换出的页，然后将其删除，最后将ptr_page指向该页，这里涉及到又list_entry_t *找到其对应的Page，于是可以通过to_struct来实现，但这里可以更简单地使用le2page：

```
// convert list entry to page
#define le2page(le, member)                 \
    to_struct((le), struct Page, member)
```

于是乎le2page(victim, pra_page_link);就得到了对应的Page的指针。
然后这里的注释是：

```
    //(1)  unlink the  earliest arrival page in front of pra_list_head qeueue
    //(2)  set the addr of addr of this page to ptr_page
```

其实感觉可以把1、2的顺序对调，这样就不用在删除前还用临时变量保存这个需要换出的页了。



make grade也可以查看情况：

```
→ lab3 git:(mine) ✗ make grade
Check SWAP:                  (2.8s)
  -check pmm:                                          OK
  -check page table:                                   OK
  -check vmm:                                          OK
  -check swap page fault:                              OK
  -check ticks:                                        OK
Total Score: 45/45
```

challenge.
这次的challenge比较水，这么水的challenge不做实在可惜……
既然要实现改进的时钟算法，那么我们首先将FIFO算法的文件复制一份，在其框架上进行修改即可。
实现时钟算法的时候，需要注意的时，其页的引用位和修改位是由MMU硬件来实现的，故我们需要做的只是适时将其置为0即可。
那么在mmu.h中找出对应宏：

```
/* page table/directory entry flags */
#define PTE_P           0x001           // Present
#define PTE_W           0x002           // Writeable
#define PTE_U           0x004           // User
#define PTE_PWT         0x008           // Write-Through
#define PTE_PCD         0x010           // Cache-Disable
#define PTE_A           0x020           // Accessed
#define PTE_D           0x040           // Dirty
#define PTE_PS          0x080           // Page Size
#define PTE_MBZ         0x180           // Bits must be zero
#define PTE_AVAIL       0xE00           // Available for software use
                                        // The PTE_AVAIL bits aren't used by the kernel or interpreted by the
                                        // hardware, so user processes are allowed to set them arbitrarily.
```

其中PTE_A应该就是我们所需要的引用位，PTE_D就是我们所需要的修改位。
然后由于时钟算法每次是从上一次的位置继续开始扫描，而不是从头开始，那么我们就需要同时在mm struct中存储链表头和上一次的位置（因为链表扫描的时候需要判断链表头，所以我们必须对其进行存储），这样我们就需要修改mm struct的定义。
然而，我们在定义链表头的时候，可以也为该链表头定义一个Page，将该Page的ref设置为一个正常的页不会达到的值，比如0，这样我们就可以识别出链表头而不用在mm中存储链表头。
然后，为了方便的check，我们在每次访问结束之后，将整个链表（含每个页的引用位和修改位）都输出，这样可以清楚的看到每一步是否都和我们预想的一样。但是在实现的时候有一个问题，就是由于swap中对应的_xx_check_swap函数是无参数的，没法获取页目录表，而想要输出每个页的引用位和修改位就必须要页目录表，为了不改变外面的check函数，故最终采取在swap_xx.c中定义一个全局变量存储，然后本来想在init_mm中对其进行初始化，后来发现此时mm结构中的pgdir还没有初始化，最后，选择在页换入，也就是_xx_map_swappable中对pgdir进行设置。

本来这样我们应该很轻松的就完成了整个算法，但是，在check的时候，却发现怎么也不对劲，观察输出的链表可以很明显的发现虚拟地址就不对。

```
    outputList();
    readPage(5);
    assert(pgfault_num == 5);
    readPage(1);
    assert(pgfault_num == 6);
```

```
    readPage(2);
```

就这样的操作却直接导致：

```
set up init env for check_swap over!
0x0 -> 0x1000 1 1 -> 0x2000 1 1 -> 0x3000 1 1 -> 0x4000 1 1
read Virt Page 0x5000 in ec_check_swap
page fault at 0x00005000: K/R [no page found].
swap_out: i 0, store page in vaddr 0x1000 to disk swap entry 2
0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x2000 0 1 -> 0x3000 0 1 -> 0x4000 0 1
read Virt Page 0x1000 in ec_check_swap
page fault at 0x00001000: K/R [no page found].
swap_out: i 0, store page in vaddr 0x2000 to disk swap entry 3
swap_in: load disk swap entry 2 with swap_page in vadr 0x1000
0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x2000 0 0 -> 0x3000 0 1 -> 0x4000 0 1
read Virt Page 0x2000 in ec_check_swap
page fault at 0x00002000: K/R [no page found].
kernel panic at kern/mm/swap.c:103:
    assertion failed: (*ptep & PTE_P) != 0
Welcome to the kernel debug monitor!!
Type 'help' for a list of commands.
K>
```

观察输出会发现，前两次的outputList()的结果都是对的，但是第三次outputList()的时候（readPage(1)之后），这个时候结果就错了，正确的结果应该是：

0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x1000 1 0 -> 0x3000 0 1 -> 0x4000 0 1

也就是说，新换入的页的虚拟地址错了。本来应该是0x1000，却变成了0x2000，这样，在下一次readPage(2)的时候，会检测出需要换出的页正好为0x2000那一项，而此时，0x2000并不存在，是已经被换出了的，无法再换出，故而发生了错误。

最后我们会发现，ucore的实现中，pmm.c中的号称会进行物理地址与虚拟地址对应的函数page_insert（//page_insert - build the map of phy addr of an Page with the linear addr la）中，并没有将page的pra vaddr设置为线性地址la。

而在fifo算法check时，由于检测样例的特殊，并不会出现我们这里出现的将一个已经换出页再次换出这种事，故虽然程序错了，也没有被检测出来。

最后实现check：

```
    outputList();
    readPage(5);
    assert(pgfault_num == 5);
    readPage(1);
    assert(pgfault_num == 6);
    readPage(3);
    assert(pgfault_num == 6);
    readPage(2);
    assert(pgfault_num == 7);
    readPage(3);
    assert(pgfault_num == 7);
    writePage(1);
    assert(pgfault_num == 7);
    readPage(4);
    assert(pgfault_num == 8);
    writePage(3);
    assert(pgfault_num == 9);
    writePage(4);
    assert(pgfault_num == 9);
```

运行如下（和理论相同）：

```
set up init env for check_swap over!
0x0 -> 0x1000 1 1 -> 0x2000 1 1 -> 0x3000 1 1 -> 0x4000 1 1
read Virt Page 0x5000 in ec_check_swap
page fault at 0x00005000: K/R [no page found].
swap_out: i 0, store page in vaddr 0x1000 to disk swap entry 2
0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x2000 0 1 -> 0x3000 0 1 -> 0x4000 0 1
read Virt Page 0x1000 in ec_check_swap
page fault at 0x00001000: K/R [no page found].
swap_out: i 0, store page in vaddr 0x2000 to disk swap entry 3
swap_in: load disk swap entry 2 with swap_page in vadr 0x1000
0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x1000 1 0 -> 0x3000 0 1 -> 0x4000 0 1
read Virt Page 0x3000 in ec_check_swap
0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x1000 1 0 -> 0x3000 1 1 -> 0x4000 0 1
read Virt Page 0x2000 in ec_check_swap
page fault at 0x00002000: K/R [no page found].
swap_out: i 0, store page in vaddr 0x4000 to disk swap entry 5
swap_in: load disk swap entry 3 with swap_page in vadr 0x2000
0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x1000 1 0 -> 0x3000 0 1 -> 0x2000 1 0
read Virt Page 0x3000 in ec_check_swap
0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x1000 1 0 -> 0x3000 0 1 -> 0x2000 1 0
write Virt Page 0x1000 in ec_check_swap
0x0 -> 0x5000 1 0 -> 0x1000 1 1 -> 0x3000 0 1 -> 0x2000 1 0
read Virt Page 0x4000 in ec_check_swap
page fault at 0x00004000: K/R [no page found].
swap_out: i 0, store page in vaddr 0x3000 to disk swap entry 4
swap_in: load disk swap entry 5 with swap_page in vadr 0x4000
0x0 -> 0x5000 0 0 -> 0x1000 0 1 -> 0x4000 1 0 -> 0x2000 1 0
write Virt Page 0x3000 in ec_check_swap
page fault at 0x00003000: K/W [no page found].
swap_out: i 0, store page in vaddr 0x5000 to disk swap entry 6
swap_in: load disk swap entry 4 with swap_page in vadr 0x3000
0x0 -> 0x3000 1 1 -> 0x1000 0 1 -> 0x4000 1 0 -> 0x2000 1 0
write Virt Page 0x4000 in ec_check_swap
0x0 -> 0x3000 1 1 -> 0x1000 0 1 -> 0x4000 1 1 -> 0x2000 1 0
count is 0, total is 7
check_swap() succeeded!
++ setup timer interrupts
100 ticks
```