آزمایشگاه سیستم عامل

دکتر بیگی

آزمایش ۹

الینا هژبری – ۴۰۱۱۷۰۶۶۱

ملیکا علیزاده – ۴۰۱۱۰۶۲۵۵

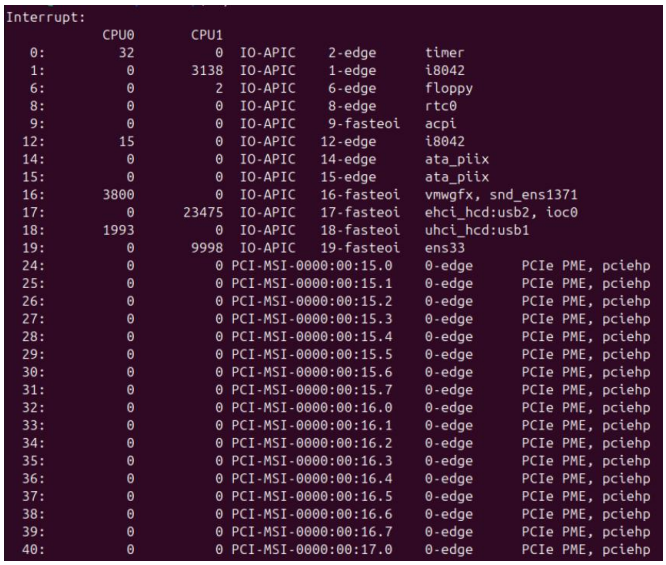
آزمایش ۹

۹-۱- آزمایش ۱

برای آنکه به اطلاعات وقفه در سیستم عامل دست پیدا کنیم، دو فایل /proc/interrupt و /proc/softirqs را باید از طریق دستور ifstream خوانده و نوشته‌های آن را چاپ کنیم. همچنین خروجی را در دو فایل int_output و sirq_output نگه می‌داریم. فایل interrupts اطلاعات مربوط به وقفه‌های سخت‌افزاری را نمایش می‌دهد. ستون‌های آن نشان‌دهنده‌ی نام وقفه، تعداد دفعات پردازش شدن هر وقفه، نوع وقفه و پردازه‌ای که handler آن را ایجاد و مقداردهی کرده، است. فایل softsirqs نیز softirq هایی که ایجاد و فراخوانی شده‌اند را نشان می‌دهد که شامل وقفه‌های نرم‌افزاری و اجرای فوری وقفه‌های سخت‌افزاری است.

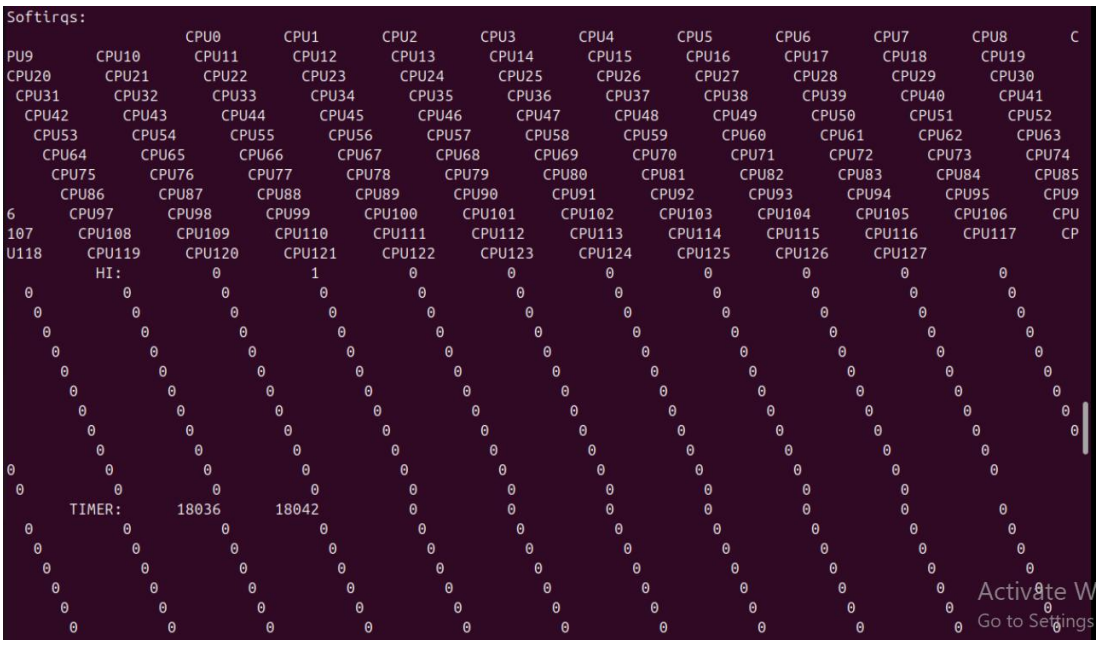
```
elina@elina-vm:~/Desktop$ nano interrupts.cpp
elina@elina-vm:~/Desktop$ cat interrupts.cpp
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>

int main(){
        std::string str;
        std::ifstream int_file("/proc/interrupts");
        std::ofstream int_txt("interrupt_output.txt");
        printf("Interrupt:\n");
        while (std::getline(int_file,str)){
                int_txt << str << std::endl;
                std::cout << str <<std::endl;
        }
        int_file.close();
        int_txt.close();

        std::ifstream sirq_file("/proc/softirqs");
        std::ofstream sirq_txt("softirqs_output.txt");
        printf("Softirqs:\n");
        while (std::getline(sirq_file,str)){
                sirq_txt << str << std::endl;
                std::cout << str << std::endl;
        }
        sirq_file.close();
        sirq_txt.close();
        return 0;
}
```

خروجی interrupts:



```
Interrupt:
           CPU0       CPU1
  0:         32          0  IO-APIC    2-edge      timer
  1:          0       3138  IO-APIC    1-edge      i8042
  6:          0          2  IO-APIC    6-edge      floppy
  8:          0          0  IO-APIC    8-edge      rtc0
  9:          0          0  IO-APIC    9-fasteoi   acpi
 12:         15          0  IO-APIC   12-edge      i8042
 14:          0          0  IO-APIC   14-edge      ata_piix
 15:          0          0  IO-APIC   15-edge      ata_piix
 16:       3800          0  IO-APIC   16-fasteoi   vmwgfx, snd_ens1371
 17:          0      23475  IO-APIC   17-fasteoi   ehci_hcd:usb2, ioc0
 18:       1993          0  IO-APIC   18-fasteoi   uhci_hcd:usb1
 19:          0       9998  IO-APIC   19-fasteoi   ens33
 24:          0          0 PCI-MSI-0000:00:15.0    0-edge      PCIe PME, pciehp
 25:          0          0 PCI-MSI-0000:00:15.1    0-edge      PCIe PME, pciehp
 26:          0          0 PCI-MSI-0000:00:15.2    0-edge      PCIe PME, pciehp
 27:          0          0 PCI-MSI-0000:00:15.3    0-edge      PCIe PME, pciehp
 28:          0          0 PCI-MSI-0000:00:15.4    0-edge      PCIe PME, pciehp
 29:          0          0 PCI-MSI-0000:00:15.5    0-edge      PCIe PME, pciehp
 30:          0          0 PCI-MSI-0000:00:15.6    0-edge      PCIe PME, pciehp
 31:          0          0 PCI-MSI-0000:00:15.7    0-edge      PCIe PME, pciehp
 32:          0          0 PCI-MSI-0000:00:16.0    0-edge      PCIe PME, pciehp
 33:          0          0 PCI-MSI-0000:00:16.1    0-edge      PCIe PME, pciehp
 34:          0          0 PCI-MSI-0000:00:16.2    0-edge      PCIe PME, pciehp
 35:          0          0 PCI-MSI-0000:00:16.3    0-edge      PCIe PME, pciehp
 36:          0          0 PCI-MSI-0000:00:16.4    0-edge      PCIe PME, pciehp
 37:          0          0 PCI-MSI-0000:00:16.5    0-edge      PCIe PME, pciehp
 38:          0          0 PCI-MSI-0000:00:16.6    0-edge      PCIe PME, pciehp
 39:          0          0 PCI-MSI-0000:00:16.7    0-edge      PCIe PME, pciehp
 40:          0          0 PCI-MSI-0000:00:17.0    0-edge      PCIe PME, pciehp
 41:          0          0 PCI-MSI-0000:00:17.1    0-edge      PCIe PME, pciehp
 42:          0          0 PCI-MSI-0000:00:17.2    0-edge      PCIe PME, pciehp
 43:          0          0 PCI-MSI-0000:00:17.3    0-edge      PCIe PME, pciehp
 44:          0          0 PCI-MSI-0000:00:17.4    0-edge      PCIe PME, pciehp
 45:          0          0 PCI-MSI-0000:00:17.5    0-edge      PCIe PME, pciehp
 46:          0          0 PCI-MSI-0000:00:17.6    0-edge      PCIe PME, pciehp
 47:          0          0 PCI-MSI-0000:00:17.7    0-edge      PCIe PME, pciehp
 48:          0          0 PCI-MSI-0000:00:18.0    0-edge      PCIe PME, pciehp
 49:          0          0 PCI-MSI-0000:00:18.1    0-edge      PCIe PME, pciehp
 50:          0          0 PCI-MSI-0000:00:18.2    0-edge      PCIe PME, pciehp
 51:          0          0 PCI-MSI-0000:00:18.3    0-edge      PCIe PME, pciehp
 52:          0          0 PCI-MSI-0000:00:18.4    0-edge      PCIe PME, pciehp
 53:          0          0 PCI-MSI-0000:00:18.5    0-edge      PCIe PME, pciehp
 54:          0          0 PCI-MSI-0000:00:18.6    0-edge      PCIe PME, pciehp
 55:          0          0 PCI-MSI-0000:00:18.7    0-edge      PCIe PME, pciehp
 56:       1553          0 PCI-MSI-0000:02:04.0    0-edge      ahci[0000:02:04.0]
 57:          0          0 PCI-MSIX-0000:00:07.7   0-edge      vmw_vmci
 58:          0          0 PCI-MSIX-0000:00:07.7   1-edge      vmw_vmci
 59:          0          0 PCI-MSIX-0000:00:07.7   2-edge      vmw_vmci
NMI:          0          0   Non-maskable interrupts
LOC:     103444      97367   Local timer interrupts
SPU:          0          0   Spurious interrupts
PMI:          0          0   Performance monitoring interrupts
IWI:          0          1   IRQ work interrupts
RTR:          0          0   APIC ICR read retries
RES:       2059       1758   Rescheduling interrupts
CAL:      62832      49480   Function call interrupts
TLB:       1684       1673   TLB shootdowns
TRM:          0          0   Thermal event interrupts
THR:          0          0   Threshold APIC interrupts
DFR:          0          0   Deferred Error APIC interrupts
MCE:          0          0   Machine check exceptions
```

خروجی softsirqs:



```
Softirqs:
                    CPU0       CPU1       CPU2       CPU3       CPU4       CPU5       CPU6       CPU7       CPU8       C
PU9        CPU10      CPU11      CPU12      CPU13      CPU14      CPU15      CPU16      CPU17      CPU18      CPU19
CPU20      CPU21      CPU22      CPU23      CPU24      CPU25      CPU26      CPU27      CPU28      CPU29      CPU30
 CPU31      CPU32      CPU33      CPU34      CPU35      CPU36      CPU37      CPU38      CPU39      CPU40      CPU41
  CPU42      CPU43      CPU44      CPU45      CPU46      CPU47      CPU48      CPU49      CPU50      CPU51      CPU52
   CPU53      CPU54      CPU55      CPU56      CPU57      CPU58      CPU59      CPU60      CPU61      CPU62      CPU63
    CPU64      CPU65      CPU66      CPU67      CPU68      CPU69      CPU70      CPU71      CPU72      CPU73      CPU74
     CPU75      CPU76      CPU77      CPU78      CPU79      CPU80      CPU81      CPU82      CPU83      CPU84      CPU85
      CPU86      CPU87      CPU88      CPU89      CPU90      CPU91      CPU92      CPU93      CPU94      CPU95      CPU9
6      CPU97      CPU98      CPU99      CPU100     CPU101     CPU102     CPU103     CPU104     CPU105     CPU106     CPU
107     CPU108     CPU109     CPU110     CPU111     CPU112     CPU113     CPU114     CPU115     CPU116     CPU117     CP
U118     CPU119     CPU120     CPU121     CPU122     CPU123     CPU124     CPU125     CPU126     CPU127
          HI:          0          1          0          0          0          0          0          0          0
  0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
   0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
    0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
     0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
      0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
       0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
        0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
         0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
 0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
       TIMER:      18036      18042          0          0          0          0          0          0          0
  0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
   0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
    0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
     0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
      0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
       0          0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
```

۹-۲- آزمایش ۲

برای اینکه یک softirq جدید بسازیم ابتدا کد oslab_interrupt.c را داریم:

برای این کار از proc و tasklet استفاده کردیم. ابتدا یک tasklet می‌سازیم و در تابعی که به آن می‌دهیم پیام OSLAB SoftIRQ executed را در لاگ کرنل می‌نویسیم. سپس تابع proc_write را می‌نویسیم که برای آن است که هر وقت در فایل proc/oslab_interrupt چیزی نوشته شد tasklet_schedule صدا زده شود و tasklet ما وارد صف اجرا شود. سپس توابع init و exit را داریم که برای load و unload کرد ماژول interrupt است و کارشان ساختن و حذف کردن proc_entry است.

```
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ nano oslab_interrupt.c
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ cat oslab_interrupt.c
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/proc_fs.h>
#include <linux/uaccess.h>
#include <linux/interrupt.h>

MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_AUTHOR("Elina Hozhabri and Melika Alizadeh");
MODULE_DESCRIPTION("add new software interrupt");

static struct proc_dir_entry *proc_entry;

static void oslab_func(struct tasklet_struct *t) {
    printk(KERN_INFO "OSLAB SoftIRQ executed!\n");
}

DECLARE_TASKLET(oslab_tasklet, oslab_func);

static ssize_t proc_write(struct file *file, const char __user *buffer,
                          size_t count, loff_t *pos) {
    printk(KERN_INFO "trigger OSLAB softirq\n");
    tasklet_schedule(&oslab_tasklet);
    return count;
}

static const struct proc_ops proc_fops = {
    .proc_write = proc_write,
};
```

```
static int __init oslab_interrupt_init(void) {
    proc_entry = proc_create("oslab_interrupt", 0666, NULL, &proc_fops);
    if (!proc_entry) {
        printk(KERN_ALERT "failed to create OSLAB init\n");
        return -ENOMEM;
    }
    printk(KERN_INFO "OSLAB interrupt loaded\n");
    return 0;
}

static void __exit oslab_interrupt_exit(void) {
    proc_remove(proc_entry);
    tasklet_kill(&oslab_tasklet);
    printk(KERN_INFO "OSLAB interrupt unloaded\n");
}

module_init(oslab_interrupt_init);
module_exit(oslab_interrupt_exit);
```

حال باید فایل Makefile را درست کنیم که برای آن طبق آموخته‌هایمان از آزمایش ۲ داریم:

```
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ nano Makefile
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ cat Makefile
obj-m += oslab_interrupt.o

KDIR := /lib/modules/$(shell uname -r)/build
PWD := $(shell pwd)

all:
	$(MAKE) -C $(KDIR) M=$(PWD) modules

clean:
	$(MAKE) -C $(KDIR) M=($PWD) clean
```

سپس با دستور make، ماژول را کامپایل کرده و فایل oslab_interrupt.ko را می‌سازیم:

```
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ make
make -C /lib/modules/6.14.0-27-generic/build M=/home/elina/Desktop/part2 modules
make[1]: Entering directory '/usr/src/linux-headers-6.14.0-27-generic'
make[2]: Entering directory '/home/elina/Desktop/part2'
warning: the compiler differs from the one used to build the kernel
  The kernel was built by: x86_64-linux-gnu-gcc-13 (Ubuntu 13.3.0-6ubuntu2~24.04) 13.3.0
  You are using:           gcc-13 (Ubuntu 13.3.0-6ubuntu2~24.04) 13.3.0
  CC [M]  oslab_interrupt.o
  MODPOST Module.symvers
  CC [M]  oslab_interrupt.mod.o
  LD [M]  oslab_interrupt.ko
  BTF [M] oslab_interrupt.ko
Skipping BTF generation for oslab_interrupt.ko due to unavailability of vmlinux
make[2]: Leaving directory '/home/elina/Desktop/part2'
make[1]: Leaving directory '/usr/src/linux-headers-6.14.0-27-generic'
```

مرحله بعد باید ماژول را با دستور insmod، load کنیم که باعث ساخت فایل oslab_interrupt در پوشه proc می‌شود، سپس با استفاده از دستور echo 1 | sudo tee /proc/oslab_interrupt، softirq جدیدی که نوشتیم را trigger می‌کنیم و در آخر با استفاده از دستور rmmod، از ماژول خارج شده و آن را unload می‌کنیم. خروجی این بخش‌ها را می‌توانیم با استفاده از دستور dmesg در لاگ کرنل مشاهده کنیم.

```
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ sudo insmod oslab_interrupt.ko
[sudo] password for elina:
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ ls -l /proc/oslab_interrupt
-rw-rw-rw- 1 root root 0 Aug 24 10:46 /proc/oslab_interrupt
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ echo 1 | sudo tee /proc/oslab_interrupt
1
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ sudo rmmod oslab_interrupt
elina@elina-vm:~/Desktop/part2$ sudo dmesg | tail -n 5
[ 3968.468085] OSLAB interrupt unloaded
[ 5403.797756] OSLAB interrupt loaded
[ 5423.542383] trigger OSLAB softirq
[ 5423.542407] OSLAB SoftIRQ executed!
[ 5432.756133] OSLAB interrupt unloaded
```

* Unload ای که در خط اول وجود دارد به دلیل اجرای قبلی است.