Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»________________________________

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»__________

Лабораторная работа № 9
По курсу «Операционные системы»

Тема Обработчики прерываний

Студент Неклепаева А. Н.

Группа ИУ7-63б

Преподаватель Рязанова Н. Ю.

Москва.
2020 г.

Задание №1

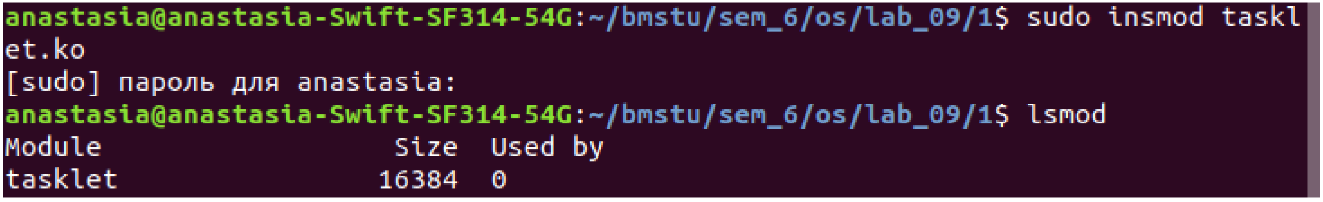
- Написать загружаемый модуль ядра, в котором зарегистрировать обработчик аппаратного прерывания с флагом IRQF_SHARED.
- Инициализировать тасклет.
- В обработчике прерывания запланировать тасклет на выполнение.
- Вывести информацию о тасклете используя, или printk(), или seq_file interface - <linux/seq_file.h> (Jonathan Corber: http://lwn.net//Articales//driver-porting/).

Листинг кода

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/interrupt.h>
#include <linux/sched.h>

MODULE_LICENSE( "GPL" );
MODULE_AUTHOR( "Anastasia␣Neklepaeva" );

static int irq = 1;
static int dev_id;
void tasklet_func( unsigned long data );
char tasklet_data[] = "tasklet_func␣was␣called";

// keyboard controller
#define DFN_IRQ 1

// статическое создание тасклета
DECLARE_TASKLET( tasklet, tasklet_func, (unsigned long) &tasklet_data );

// обработчик прерывания
static irqreturn_t irq_handler( int irq, void *dev_id )
{
  if (irq == DFN_IRQ)
  {
    // запланирование тасклета на выполнение
    tasklet_schedule( &tasklet );
    return IRQ_HANDLED; // прерывание обработано
  }
  else return IRQ_NONE; // прерывание не обработано
}

void tasklet_func(unsigned long data)
{
  // получение кода нажатой клавиши клавиатуры
  int code = inb(0x60);
  char * ascii[84] =
  {"␣", "Esc", "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "0", "-", "+", "Backspace",
   "Tab", "Q", "W", "E", "R", "T", "Y", "U", "I", "O", "P", "[", "]", "Enter", "Ctrl",
   "A", "S", "D", "F", "G", "H", "J", "K", "L", ";", "\"", "'", "Shift␣(left)", "|",
   "Z", "X", "C", "V", "B", "N", "M", "<", ">", "?", "Shift␣(right)",
   "*", "Alt", "Space", "CapsLock",
   "F1", "F2", "F3", "F4", "F5", "F6", "F7", "F8", "F9", "F10",
   "NumLock", "ScrollLock", "Home", "Up", "Page-Up", "-", "Left",
   "␣", "Right", "+", "End", "Down", "Page-Down", "Insert", "Delete"};
  if (code < 84)
  {
    printk("+␣tasklet:␣keyboard␣%s\n", ascii[code]);
  }
}

static int __init md_init( void )
{
  // регистрация обработчика аппаратного прерывания
  int rc = request_irq(irq, irq_handler, IRQF_SHARED, "my_irq_handler", &dev_id);
  if (rc)
  {
    printk("+␣tasklet:␣register␣interrupt␣handler␣error!\n" );
    return rc;
  }
  printk("+␣tasklet:␣module␣loaded!\n" );
  return 0;
}

static void __exit md_exit( void )
{
  tasklet_kill( &tasklet );
  free_irq( irq, &dev_id );
  printk("+␣tasklet:␣module␣unloaded!\n" );
}

module_init( md_init );
module_exit( md_exit );
```

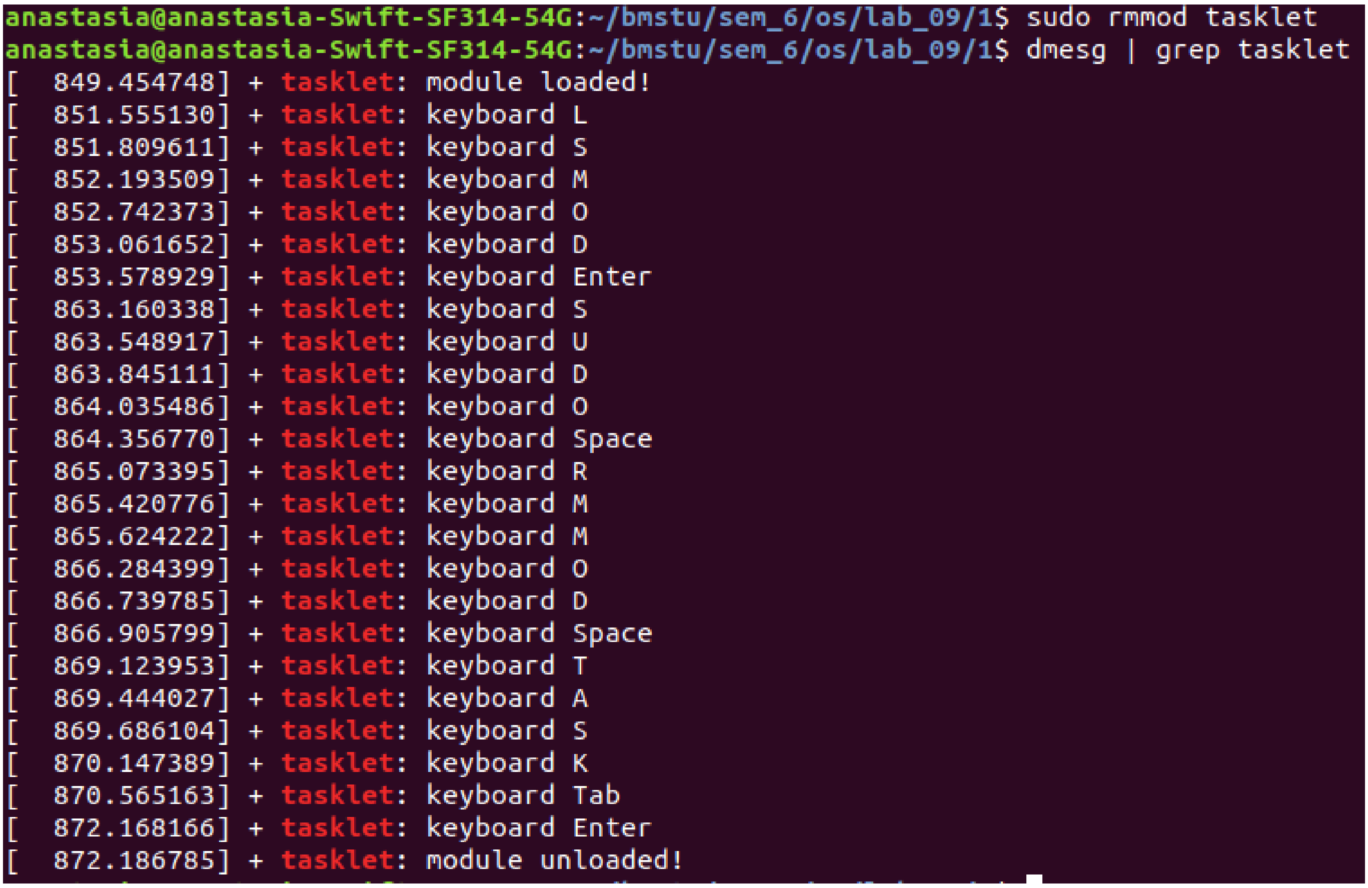
Демонстрация работы

Загрузка модуля ядра



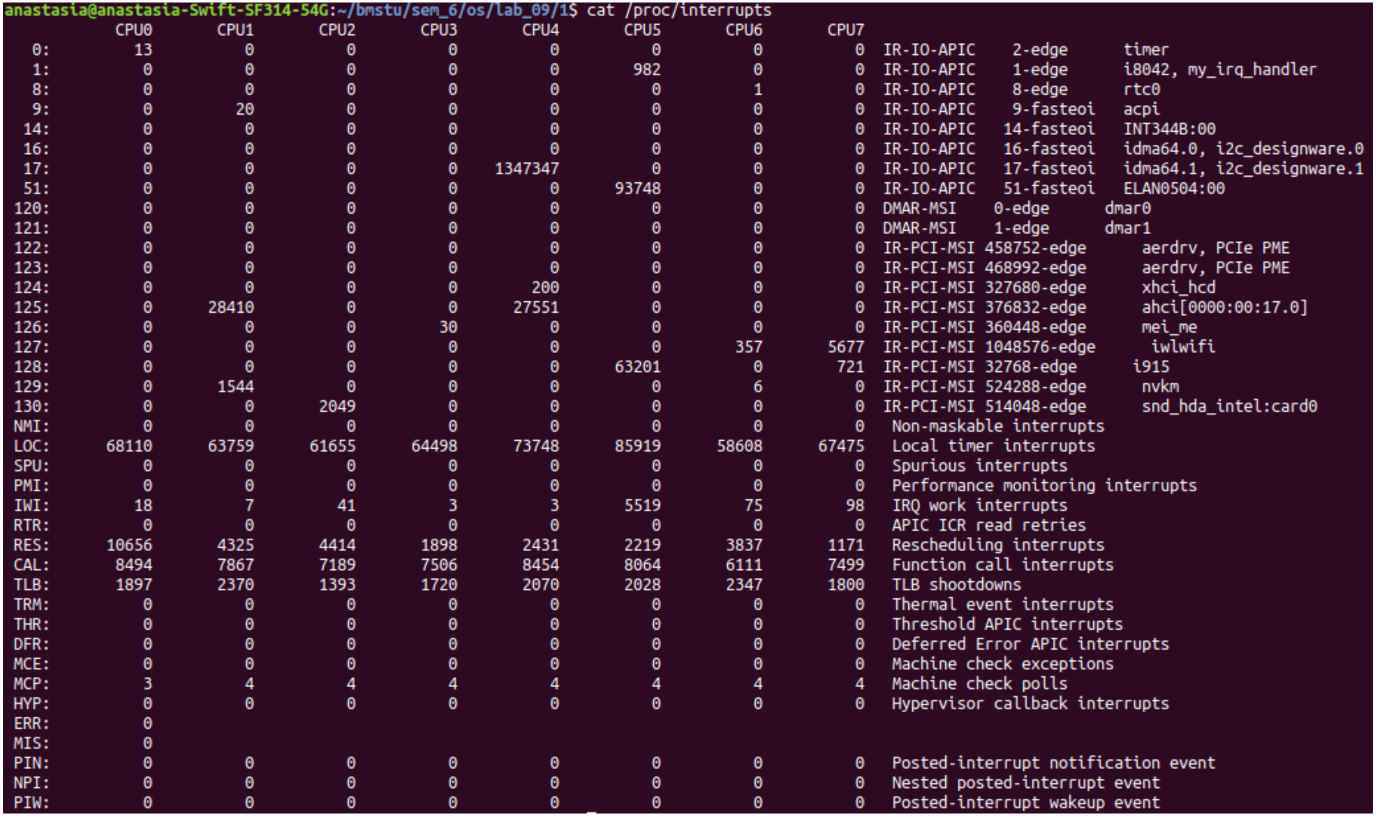
```
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/1$ sudo insmod taskl
et.ko
[sudo] пароль для anastasia:
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/1$ lsmod
Module                  Size  Used by
tasklet                16384  0
```

Выгрузка модуля, проверка системного лога



```
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/1$ sudo rmmod tasklet
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/1$ dmesg | grep tasklet
[  849.454748] + tasklet: module loaded!
[  851.555130] + tasklet: keyboard L
[  851.809611] + tasklet: keyboard S
[  852.193509] + tasklet: keyboard M
[  852.742373] + tasklet: keyboard O
[  853.061652] + tasklet: keyboard D
[  853.578929] + tasklet: keyboard Enter
[  863.160338] + tasklet: keyboard S
[  863.548917] + tasklet: keyboard U
[  863.845111] + tasklet: keyboard D
[  864.035486] + tasklet: keyboard O
[  864.356770] + tasklet: keyboard Space
[  865.073395] + tasklet: keyboard R
[  865.420776] + tasklet: keyboard M
[  865.624222] + tasklet: keyboard M
[  866.284399] + tasklet: keyboard O
[  866.739785] + tasklet: keyboard D
[  866.905799] + tasklet: keyboard Space
[  869.123953] + tasklet: keyboard T
[  869.444027] + tasklet: keyboard A
[  869.686104] + tasklet: keyboard S
[  870.147389] + tasklet: keyboard K
[  870.565163] + tasklet: keyboard Tab
[  872.168166] + tasklet: keyboard Enter
[  872.186785] + tasklet: module unloaded!
```

Вывод содержимого файла /proc/interrupts



```
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/1$ cat /proc/interrupts
            CPU0       CPU1       CPU2       CPU3       CPU4       CPU5       CPU6       CPU7       
   0:         13          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC    2-edge      timer
   1:          0          0          0          0          0        982          0          0  IR-IO-APIC    1-edge      i8042, my_irq_handler
   8:          0          0          0          0          0          0          1          0  IR-IO-APIC    8-edge      rtc0
   9:          0         20          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC    9-fasteoi   acpi
  14:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC   14-fasteoi   INT344B:00
  16:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC   16-fasteoi   idma64.0, i2c_designware.0
  17:          0          0          0          0    1347347          0          0          0  IR-IO-APIC   17-fasteoi   idma64.1, i2c_designware.1
  51:          0          0          0          0          0      93748          0          0  IR-IO-APIC   51-fasteoi   ELAN0504:00
 120:          0          0          0          0          0          0          0          0  DMAR-MSI    0-edge      dmar0
 121:          0          0          0          0          0          0          0          0  DMAR-MSI    1-edge      dmar1
 122:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-PCI-MSI 458752-edge      aerdrv, PCIe PME
 123:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-PCI-MSI 468992-edge      aerdrv, PCIe PME
 124:          0          0          0          0        200          0          0          0  IR-PCI-MSI 327680-edge      xhci_hcd
 125:          0      28410          0          0      27551          0          0          0  IR-PCI-MSI 376832-edge      ahci[0000:00:17.0]
 126:          0          0          0         30          0          0          0          0  IR-PCI-MSI 360448-edge      mei_me
 127:          0          0          0          0          0          0        357       5677  IR-PCI-MSI 1048576-edge      iwlwifi
 128:          0          0          0          0          0      63201          0        721  IR-PCI-MSI 32768-edge      i915
 129:          0       1544          0          0          0          0          6          0  IR-PCI-MSI 524288-edge      nvkm
 130:          0          0       2049          0          0          0          0          0  IR-PCI-MSI 514048-edge      snd_hda_intel:card0
 NMI:          0          0          0          0          0          0          0          0   Non-maskable interrupts
 LOC:      68110      63759      61655      64498      73748      85919      58608      67475   Local timer interrupts
 SPU:          0          0          0          0          0          0          0          0   Spurious interrupts
 PMI:          0          0          0          0          0          0          0          0   Performance monitoring interrupts
 IWI:         18          7         41          3          3       5519         75         98   IRQ work interrupts
 RTR:          0          0          0          0          0          0          0          0   APIC ICR read retries
 RES:      10656       4325       4414       1898       2431       2219       3837       1171   Rescheduling interrupts
 CAL:       8494       7867       7189       7506       8454       8064       6111       7499   Function call interrupts
 TLB:       1897       2370       1393       1720       2070       2028       2347       1800   TLB shootdowns
 TRM:          0          0          0          0          0          0          0          0   Thermal event interrupts
 THR:          0          0          0          0          0          0          0          0   Threshold APIC interrupts
 DFR:          0          0          0          0          0          0          0          0   Deferred Error APIC interrupts
 MCE:          0          0          0          0          0          0          0          0   Machine check exceptions
 MCP:          3          4          4          4          4          4          4          4   Machine check polls
 HYP:          0          0          0          0          0          0          0          0   Hypervisor callback interrupts
 ERR:          0
 MIS:          0
 PIN:          0          0          0          0          0          0          0          0   Posted-interrupt notification event
 NPI:          0          0          0          0          0          0          0          0   Nested posted-interrupt event
 PIW:          0          0          0          0          0          0          0          0   Posted-interrupt wakeup event
```

Видим разделение линии IRQ

Задание №2

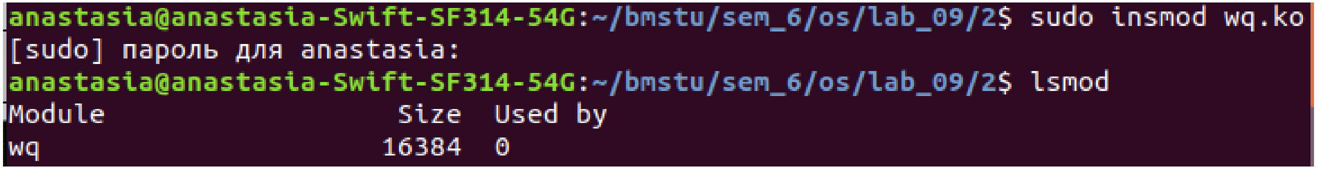
- Написать загружаемый модуль ядра, в котором зарегистрировать обработчик аппаратного прерывания с флагом IRQF_SHARED.
- Инициализировать очередь работ.
- В обработчике прерывания запланировать очередь работ на выполнение.
- Вывести информацию об очереди работ используя, или printk(), или seq_file interface - <linux/seq_file.h> (Jonathan Corber: http://lwn.net//Articales//driver-porting/).

Листинг кода

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/interrupt.h>
#include <linux/sched.h>
#include <linux/workqueue.h>

MODULE_LICENSE( "GPL" );
MODULE_AUTHOR( "Anastasia␣Neklepaeva" );

static int irq = 1;
static int dev_id;
struct workqueue_struct *workqueue;
void work_func(struct work_struct *w);

// keyboard controller
#define DFN_IRQ 1

// поместить задачу в очередь работ
DECLARE_WORK(work, work_func);

// обработчик прерывания
static irqreturn_t irq_handler( int irq, void *dev_id )
{
   if (irq == DFN_IRQ)
   {
      // добавление задачи в очередь работ
      queue_work(workqueue, &work);
      return IRQ_HANDLED; // прерывание обработано
   }
   else return IRQ_NONE; // прерывание не обработано
}

void work_func(struct work_struct *w)
{
   // получение кода нажатой клавиши клавиатуры
   int code = inb(0x60);
   char * ascii[84] =
   {"␣", "Esc", "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "0", "-", "+", "Backspace",
    "Tab", "Q", "W", "E", "R", "T", "Y", "U", "I", "O", "P", "[", "]", "Enter", "Ctrl",
    "A", "S", "D", "F", "G", "H", "J", "K", "L", ";", "\"", "'", "Shift␣(left)", "|",
      "Z", "X", "C", "V", "B", "N", "M", "<", ">", "?", "Shift␣(right)",
      "*", "Alt", "Space", "CapsLock",
      "F1", "F2", "F3", "F4", "F5", "F6", "F7", "F8", "F9", "F10",
      "NumLock", "ScrollLock", "Home", "Up", "Page-Up", "-", "Left",
      "␣", "Right", "+", "End", "Down", "Page-Down", "Insert", "Delete"};
    if (code < 84)
    {
        printk("+␣workqueue:␣keyboard␣%s\n", ascii[code]);
    }
}

static int __init md_init( void )
{
    // регистрация обработчика аппаратного прерывания
    int rc = request_irq(irq, irq_handler, IRQF_SHARED, "my_irq_handler", &dev_id);
    if (rc)
    {
        printk("+␣workqueue:␣register␣interrupt␣handler␣error!\n" );
        return rc;
    }

    //создание очереди работ
    workqueue = create_workqueue( "workqueue" );

    if (!workqueue)
    {
        printk("+␣workqueue:␣create_workqueue␣error!\n" );
        return -1;
    }

    printk("+␣workqueue:␣module␣loaded!\n" );
    return 0;
}

static void __exit md_exit( void )
{
    flush_workqueue(workqueue);
    destroy_workqueue(workqueue);
    free_irq( irq, &dev_id );
    printk("+␣workqueue:␣module␣unloaded!\n" );
}

module_init( md_init );
module_exit( md_exit );
```

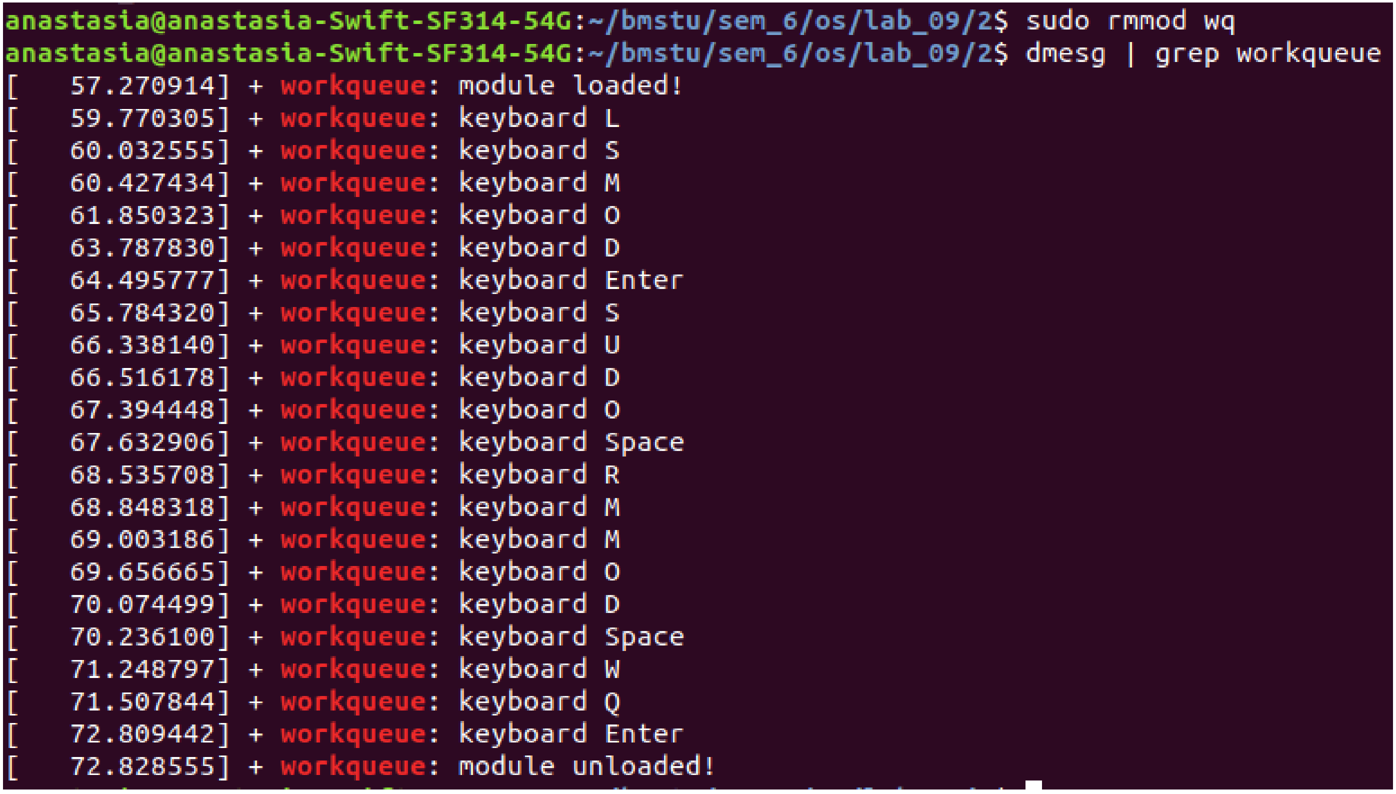
Демонстрация работы

Загрузка модуля ядра



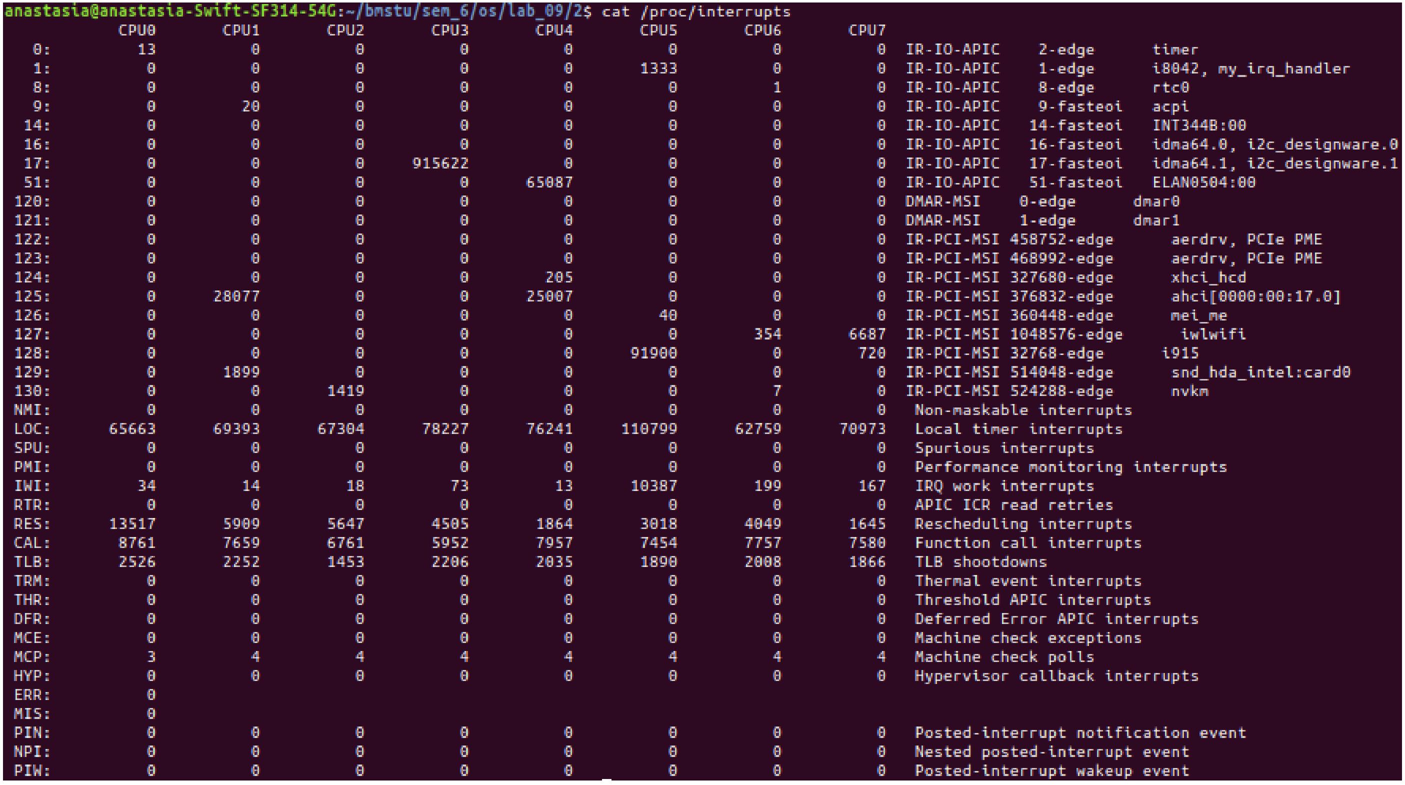
```
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/2$ sudo insmod wq.ko
[sudo] пароль для anastasia:
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/2$ lsmod
Module                  Size  Used by
wq                     16384  0
```

Выгрузка модуля, проверка системного лога



```
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/2$ sudo rmmod wq
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/2$ dmesg | grep workqueue
[   57.270914] + workqueue: module loaded!
[   59.770305] + workqueue: keyboard L
[   60.032555] + workqueue: keyboard S
[   60.427434] + workqueue: keyboard M
[   61.850323] + workqueue: keyboard O
[   63.787830] + workqueue: keyboard D
[   64.495777] + workqueue: keyboard Enter
[   65.784320] + workqueue: keyboard S
[   66.338140] + workqueue: keyboard U
[   66.516178] + workqueue: keyboard D
[   67.394448] + workqueue: keyboard O
[   67.632906] + workqueue: keyboard Space
[   68.535708] + workqueue: keyboard R
[   68.848318] + workqueue: keyboard M
[   69.003186] + workqueue: keyboard M
[   69.656665] + workqueue: keyboard O
[   70.074499] + workqueue: keyboard D
[   70.236100] + workqueue: keyboard Space
[   71.248797] + workqueue: keyboard W
[   71.507844] + workqueue: keyboard Q
[   72.809442] + workqueue: keyboard Enter
[   72.828555] + workqueue: module unloaded!
```

Вывод содержимого файла /proc/interrupts



```
anastasia@anastasia-Swift-SF314-54G:~/bmstu/sem_6/os/lab_09/2$ cat /proc/interrupts
           CPU0       CPU1       CPU2       CPU3       CPU4       CPU5       CPU6       CPU7
  0:         13          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC    2-edge      timer
  1:          0          0          0          0          0       1333          0          0  IR-IO-APIC    1-edge      i8042, my_irq_handler
  8:          0          0          0          0          0          0          1          0  IR-IO-APIC    8-edge      rtc0
  9:          0         20          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC    9-fasteoi   acpi
 14:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC   14-fasteoi   INT344B:00
 16:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-IO-APIC   16-fasteoi   idma64.0, i2c_designware.0
 17:          0          0          0     915622          0          0          0          0  IR-IO-APIC   17-fasteoi   idma64.1, i2c_designware.1
 51:          0          0          0          0      65087          0          0          0  IR-IO-APIC   51-fasteoi   ELAN0504:00
120:          0          0          0          0          0          0          0          0  DMAR-MSI    0-edge      dmar0
121:          0          0          0          0          0          0          0          0  DMAR-MSI    1-edge      dmar1
122:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-PCI-MSI 458752-edge      aerdrv, PCIe PME
123:          0          0          0          0          0          0          0          0  IR-PCI-MSI 468992-edge      aerdrv, PCIe PME
124:          0          0          0          0        205          0          0          0  IR-PCI-MSI 327680-edge      xhci_hcd
125:          0      28077          0          0      25007          0          0          0  IR-PCI-MSI 376832-edge      ahci[0000:00:17.0]
126:          0          0          0          0          0         40          0          0  IR-PCI-MSI 360448-edge      mei_me
127:          0          0          0          0          0          0        354       6687  IR-PCI-MSI 1048576-edge      iwlwifi
128:          0          0          0          0          0      91900          0        720  IR-PCI-MSI 32768-edge      i915
129:          0       1899          0          0          0          0          0          0  IR-PCI-MSI 514048-edge      snd_hda_intel:card0
130:          0          0       1419          0          0          0          7          0  IR-PCI-MSI 524288-edge      nvkm
NMI:          0          0          0          0          0          0          0          0   Non-maskable interrupts
LOC:      65663      69393      67304      78227      76241     110799      62759      70973   Local timer interrupts
SPU:          0          0          0          0          0          0          0          0   Spurious interrupts
PMI:          0          0          0          0          0          0          0          0   Performance monitoring interrupts
IWI:         34         14         18         73         13      10387        199        167   IRQ work interrupts
RTR:          0          0          0          0          0          0          0          0   APIC ICR read retries
RES:      13517       5909       5647       4505       1864       3018       4049       1645   Rescheduling interrupts
CAL:       8761       7659       6761       5952       7957       7454       7757       7580   Function call interrupts
TLB:       2526       2252       1453       2206       2035       1890       2008       1866   TLB shootdowns
TRM:          0          0          0          0          0          0          0          0   Thermal event interrupts
THR:          0          0          0          0          0          0          0          0   Threshold APIC interrupts
DFR:          0          0          0          0          0          0          0          0   Deferred Error APIC interrupts
MCE:          0          0          0          0          0          0          0          0   Machine check exceptions
MCP:          3          4          4          4          4          4          4          4   Machine check polls
HYP:          0          0          0          0          0          0          0          0   Hypervisor callback interrupts
ERR:          0
MIS:          0
PIN:          0          0          0          0          0          0          0          0   Posted-interrupt notification event
NPI:          0          0          0          0          0          0          0          0   Nested posted-interrupt event
PIW:          0          0          0          0          0          0          0          0   Posted-interrupt wakeup event
```

Видим разделение линии IRQ