

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Sistemas Elétricos de Automação e Energia  
ENG10032 Microcontroladores

## **Roteiro de Laboratório 05**

### **Interrupções**

Prof. Walter Fetter Lages

17 de setembro de 2019

## **1 Objetivo**

O objetivo deste laboratório é entender o funcionamento das interrupções na Galileo Gen2 e o seu processamento no espaço do usuário.

## **2 Fundamentação Teórica**

A maioria dos pinos de I/O disponíveis no *shield* da Galileo Gen2 pode gerar interrupções<sup>1</sup>. A tabela com o mapeamento dos pino de I/O indica quais pinos podem gerar interrupção.

As interrupções podem ser geradas nas bordas de subida, de descida ou ambas bordas do sinal. Note que os pinos IO2 e IO3 possuem dois sinais de GPIO conectados a eles. Isso é feito para possibilitar a geração de interrupções em ambas bordas do sinal.

Para que um pino de I/O seja usado como fonte de interrupção ele deve ser exportado e configurado como entrada através do diretório `/sys/class/gpio`.

### **2.1 Biblioteca para Acessar o `sysfs`**

As portas GPIO são acessadas no Linux através da leitura e escrita de pseudo-arquivos em `/sys/class/gpio`. Para simplificar o processo de acessar estes pseudo-arquivos em programas em C e C++ será construída ao longo do curso uma biblioteca denominada `libgalileo2`. Inicialmente, esta biblioteca terá apenas a função `pputs()`, mostrada na Listagem 1, que será usada para escrever uma *string* em um arquivo especificado por seu *path*.

---

<sup>1</sup>Na primeira geração da Galileo, apenas os pinos IO2 e IO3 podiam gerar interrupções

Listagem 1: Arquivo `pputs.c`.

---

```
1 #include <fcntl.h>
2 #include <string.h>
3 #include <unistd.h>
4
5 #include <galileo2io.h>
6
7 int pputs(const char path[],const char s[])
8 {
9     int fd;;
10    int n;
11
12    if((fd=open(path,O_WRONLY)) == -1) return -1;
13    n=write(fd,s,strlen(s));
14    close(fd);
15    return n;
16 }
```

---

Note que o uso de funções como `system()`, `popen()` ou similares para acesso aos pseudo-arquivo em `/sys` no lugar das funções usuais de I/O de C/C++ não é recomendado, pois cada execução daquelas funções implica a execução de um `fork()` e a invocação de uma nova instância do *shell*, o que é extremamente ineficiente.

## 2.2 Habilitação da Interrupção

As interrupções são configuradas através do arquivo `/sys/class/gpio/gpioXX/edge`, onde `XX` é o número do `gpio` associado ao pino no *shield* da Galileo. As seguintes *strings* podem ser escritas no arquivo para configurar a interrupção:

**"rising"**: interrupção ativa na borda de subida do sinal

**"falling"**: interrupção ativa na borda de descida do sinal

**"both"**: interrupção ativa em ambas bordas do sinal

**"none"**: interrupção desabilitada

Uma vez habilitada, a interrupção pode ser recebida por um programa no espaço do usuário através de um *polling* no arquivo `/sys/class/gpio/gpioXX/value` com o uso da função `poll()` para esperar por um evento `POLLPRI`, como mostra a listagem 2.

Listagem 2: Programa para receber interrupções através da função `poll()`.

---

```
1 #include <fcntl.h>
2 #include <poll.h>
3 #include <stdio.h>
4 #include <unistd.h>
5
6 #include <galileo2io.h>
7
8 int main(int argc, char * argv[])
9 {
10     unsigned char c;
11     struct pollfd pfd;
12
13     if((pfd.fd=open("/sys/class/gpio/gpio6/value",O_RDONLY)) < 0)
14     {
15         perror("Opening_gpio6:");
16         return -1;
17     }
18
19     /* Clear old values */
20     read(pfd.fd, &c, 1);
21
22     pfd.events=POLLPRI;
23
24     puts("Waiting_for_interrupt...");
25
26     pputs("/sys/class/gpio/gpio6/edge", "both");
27
28     poll(&pfd, 1, -1);
29
30     lseek(pfd.fd, 0, SEEK_SET);
31     read(pfd.fd, &c, 1);
32
33     pputs("/sys/class/gpio/gpio6/edge", "none");
34
35     close(pfd.fd);
36     return 0;
37 }
```

---

## 3 Experimentos

### 3.1 Criação da Biblioteca para Acessar o `sysfs`

1. No *host*, crie um diretório denominado `lib` e coloque nele o arquivo `pputs.c` mostrado na Listagem 1 e o `Makefile` mostrado na Listagem 3. Coloque no mesmo diretório os arquivos `pgets.c`, `i2c_write_reg.c` e `i2c_read_reg.c` (disponíveis no Moodle), que serão utilizados em laboratórios futuros, mas fazem parte da mesma biblioteca e são necessários para o `Makefile` funcionar corretamente.

Listagem 3: Arquivo `Makefile` para a biblioteca `libgalileo2`.

---

```
1 TARGET=libgalileo2.a
2 SRCS=pputs.c pgets.c i2c_write_reg.c i2c_read_reg.c
3
4 FLAGS=-O2 -Wall -MMD
5 INCLUDE=-I. -I../include
6 LIBDIR=
7 LIBS=
8
9 CC=$(CROSS_COMPILE)gcc
10 CCAR=$(CROSS_COMPILE)ar
11 CFLAGS=$(FLAGS) $(INCLUDE)
12 LDFLAGS=$(LIBDIR) $(LIBS)
13 CCARFLAGS=-crvs
14
15 all: $(TARGET)
16
17 $(TARGET): $(SRCS:.c=.o)
18     $(CCAR) $(CCARFLAGS) $@ $^
19
20 %.o: %.c
21     $(CC) $(CFLAGS) -c -o $@ $<
22
23 -include $(SRCS:.c=.d)
24
25 clean:
26     rm -f *~ *.bak *.o *.d
27
28 distclean: clean
29     rm -f $(TARGET)
```

---

2. Crie um diretório denominado `include` e coloque nele o arquivo `galileo2io.h`, mostrado na Listagem 4 e os arquivos `i2cutil.h` e `jhd1cd.h` (disponíveis no Moodle), que serão utilizados em laboratórios futuros, mas fazem parte da mesma biblioteca e são necessários para o `Makefile` funcionar corretamente.

Listagem 4: Arquivo de cabeçalho `galileo2io.h`.

---

```
1 #ifndef GALILEO2IO_H
2 #define GALILEO2IO_H
3
4 #ifdef __cplusplus
5 extern "C"
6 {
7 #endif
8
9 extern char * pgets(char *s,int size,const char path[]);
10 extern int pputs(const char path[],const char s[]);
11
12 #ifdef __cplusplus
13 };
14 #endif
15
16 #endif
```

---

3. Use o `Makefile` para gerar a biblioteca.

## 3.2 Uso da Interrupção

4. Faça um `Makefile` para compilar o programa mostrado na listagem 2.
5. Identifique qual o pino de I/O gera as interrupções para o programa mostrado na listagem 2.
6. Faça um *script* de inicialização para configurar o pino identificado no item anterior como entrada. Configure permissões de leitura e escrita para o grupo `gpio` nos arquivos `value` e `edge` correspondentes ao pino em questão.
7. Coloque o *script* de inicialização no diretório `/etc/init.d` da Galileo e configure-o para ser executado na inicialização.

8. Reinicialize a Galileo.
9. Conecte o *push-button* do *Grove Starter Kit*, mostrado na Figura 1 e teste a geração de interrupção quando o interruptor é pressionado, usando o programa da listagem 2.

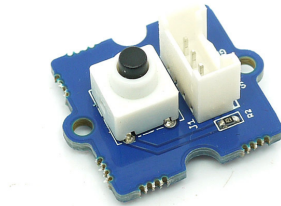


Figura 1: *Push-button*.

10. Modifique o programa para contar as interrupções geradas e verifique o seu funcionamento.
11. Modifique novamente o programa para utilizar apenas interrupções na borda de subida do sinal e verifique o seu funcionamento.
12. Modifique mais uma vez o programa para utilizar apenas interrupções na borda de descida do sinal e verifique o seu funcionamento.
13. Repita os experimentos usando o sensor de toque do *Grove Starter Kit*, mostrado na Figura 2.



Figura 2: Sensor de toque.