Zynq-7000 Driver Pack

3.2

Generato da Doxygen 1.8.8

Mer 5 Lug 2017 11:48:31

Indice

Capitolo 1

Indice dei moduli

1.1 Moduli

Questo è l'elenco di tutti i moduli:

Capitolo 2

Indice delle strutture dati

2.1 Strutture dati

Queste sono le strutture dati con una loro breve descrizione:

Capitolo 3

Indice dei file

3.1 Elenco dei file

Questo è un elenco di tutti i file con una loro breve descrizione:

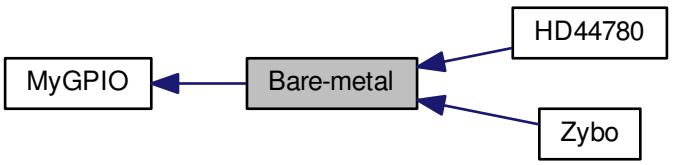
Capitolo 4

Documentazione dei moduli

4.1 Bare-metal

device-driver OO-like bare-metal per device myGPIO

Diagramma di collaborazione per Bare-metal:



Moduli

- HD44780

  driver per display Hitachi hd44780 basato su driver myGPIO bare-metal
- Zybo

Strutture dati

- struct myGPIO_t

  Struttura che astrae un device myGPIO.

Definizioni

- #define myGPIO_MODE_OFFSET 0x00U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "mode" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_WRITE_OFFSET 0x04U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "write" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_READ_OFFSET 0x08U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "read" per il device myGPIO.

- #define myGPIO_GIES_OFFSET 0x0CU

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "gies" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_PIE_OFFSET 0x10U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "pie" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_IRQ_OFFSET 0x14U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "irq" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_IACK_OFFSET 0x18U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "iack" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_pin(i) ((uint32_t)(1<<(i)))

  Metodo alternativo per la specifica di uno dei pin di un device myGPIO.

Tipi enumerati (enum)

- enum myGPIO_mask {
  myGPIO_pin0 = 0x1U, myGPIO_pin1 = 0x2U, myGPIO_pin2 = 0x4U, myGPIO_pin3 = 0x8U,
  myGPIO_pin4 = 0x10U, myGPIO_pin5 = 0x20U, myGPIO_pin6 = 0x40U, myGPIO_pin7 = 0x80U,
  myGPIO_pin8 = 0x100U, myGPIO_pin9 = 0x200U, myGPIO_pin10 = 0x400U, myGPIO_pin11 = 0x800U,
  myGPIO_pin12 = 0x1000U, myGPIO_pin13 = 0x2000U, myGPIO_pin14 = 0x4000U, myGPIO_pin15 = 0x8000U,
  myGPIO_pin16 = 0x10000U, myGPIO_pin17 = 0x20000U, myGPIO_pin18 = 0x40000U, myGPIO_pin19 = 0x80000U,
  myGPIO_pin20 = 0x100000U, myGPIO_pin21 = 0x200000U, myGPIO_pin22 = 0x400000U, myGPIO_pin23 = 0x800000U,
  myGPIO_pin24 = 0x1000000U, myGPIO_pin25 = 0x2000000U, myGPIO_pin26 = 0x4000000U, myGPIO_↩
  pin27 = 0x8000000U,
  myGPIO_pin28 = 0x10000000U, myGPIO_pin29 = 0x20000000U, myGPIO_pin30 = 0x40000000U, myGP↩
  IO_pin31 = 0x80000000U,
  myGPIO_byte0 = 0x000000ffU, myGPIO_byte1 = 0x0000ff00U, myGPIO_byte2 = 0x00ff0000U, myGPIO_↩
  byte3 = 0xff000000U }

  Maschere di selezione dei pin di un device myGPIO.
- enum myGPIO_mode { myGPIO_read, myGPIO_write }

  myGPIO_mode, modalità di funzionamento (lettura/scrittura) di un device myGPIO
- enum myGPIO_value { myGPIO_reset, myGPIO_set }

  myGPIO_value, valore di un myGPIO

Funzioni

- void myGPIO_Init (myGPIO_t *gpio, uint32_t base_address)

  Inizializza un device myGPIO.
- void myGPIO_SetMode (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask, myGPIO_mode mode)

  Permette di settare la modalità lettura/scrittura dei pin di un device myGPIO;.
- void myGPIO_SetValue (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask, myGPIO_value value)

  Permette di settare il valore dei pin di un device myGPIO, se configurati come output.
- void myGPIO_Toggle (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Permette di invertire il valore dei pin di un device myGPIO, se configurati come output.
- myGPIO_value myGPIO_GetValue (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Permette di leggere il valore dei pin di un device myGPIO;.
- myGPIO_mask myGPIO_GetRead (myGPIO_t *gpio)

  Restituisce la maschera dei pin settati di un device myGPIO.
- void myGPIO_GlobalInterruptEnable (myGPIO_t *gpio)

  Abilita gli interrupt globali;.

- void myGPIO_GlobalInterruptDisable (myGPIO_t *gpio)

  Disabilita gli interrupt globali;.
- myGPIO_value myGPIO_IsGlobalInterruptEnabled (myGPIO_t *gpio)

  Consente di verificare se gli interrupt globali siano abilitati.
- myGPIO_value myGPIO_PendingInterrupt (myGPIO_t *gpio)

  Consente di verificare se esistano interrupt non ancora serviti.
- void myGPIO_PinInterruptEnable (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- void myGPIO_PinInterruptDisable (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- myGPIO_mask myGPIO_EnabledPinInterrupt (myGPIO_t *gpio)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali pin abbiano interrupt abilitati.
- myGPIO_mask myGPIO_PendingPinInterrupt (myGPIO_t *gpio)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.
- void myGPIO_PinInterruptAck (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

4.1.1 Descrizione dettagliata

device-driver OO-like bare-metal per device myGPIO

4.1.2 Documentazione delle definizioni

4.1.2.1 #define myGPIO_GIES_OFFSET 0x0CU

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "gies" per il device myGPIO.

4.1.2.2 #define myGPIO_IACK_OFFSET 0x18U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "iack" per il device myGPIO.

4.1.2.3 #define myGPIO_IRQ_OFFSET 0x14U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "irq" per il device myGPIO.

4.1.2.4 #define myGPIO_MODE_OFFSET 0x00U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "mode" per il device myGPIO.

4.1.2.5 #define myGPIO_PIE_OFFSET 0x10U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "pie" per il device myGPIO.

4.1.2.6 #define myGPIO_pin(*i*) ((uint32_t)(1<<(i)))

Metodo alternativo per la specifica di uno dei pin di un device myGPIO.

Parametri

in	*i*	indice del bit da selezionare, da 0 (bit meno significativo) a 31 (bit più significativo)

Restituisce

maschera di selezione del pin i-esimo

Esempi:

interrupt_bare.c.

4.1.2.7 #define myGPIO_READ_OFFSET 0x08U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "read" per il device myGPIO.

4.1.2.8 #define myGPIO_WRITE_OFFSET 0x04U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "write" per il device myGPIO.

4.1.3 Documentazione dei tipi enumerati

4.1.3.1 enum myGPIO_mask

Maschere di selezione dei pin di un device myGPIO.

Valori del tipo enumerato

myGPIO_pin0 myGPIO pin0 maschera di selezione del pin 0 di un device myGPIO
myGPIO_pin1 myGPIO pin1 maschera di selezione del pin 1 di un device myGPIO
myGPIO_pin2 myGPIO pin2 maschera di selezione del pin 2 di un device myGPIO
myGPIO_pin3 myGPIO pin3 maschera di selezione del pin 3 di un device myGPIO
myGPIO_pin4 myGPIO pin4 maschera di selezione del pin 4 di un device myGPIO
myGPIO_pin5 myGPIO pin5 maschera di selezione del pin 5 di un device myGPIO
myGPIO_pin6 myGPIO pin6 maschera di selezione del pin 6 di un device myGPIO
myGPIO_pin7 myGPIO pin7 maschera di selezione del pin 7 di un device myGPIO
myGPIO_pin8 myGPIO pin8 maschera di selezione del pin 8 di un device myGPIO
myGPIO_pin9 myGPIO pin9 maschera di selezione del pin 9 di un device myGPIO
myGPIO_pin10 myGPIO pin10 maschera di selezione del pin 10 di un device myGPIO
myGPIO_pin11 myGPIO pin11 maschera di selezione del pin 11 di un device myGPIO
myGPIO_pin12 myGPIO pin12 maschera di selezione del pin 12 di un device myGPIO
myGPIO_pin13 myGPIO pin13 maschera di selezione del pin 13 di un device myGPIO
myGPIO_pin14 myGPIO pin14 maschera di selezione del pin 14 di un device myGPIO
myGPIO_pin15 myGPIO pin15 maschera di selezione del pin 15 di un device myGPIO
myGPIO_pin16 myGPIO pin16 maschera di selezione del pin 16 di un device myGPIO
myGPIO_pin17 myGPIO pin17 maschera di selezione del pin 17 di un device myGPIO
myGPIO_pin18 myGPIO pin18 maschera di selezione del pin 18 di un device myGPIO
myGPIO_pin19 myGPIO pin19 maschera di selezione del pin 19 di un device myGPIO
myGPIO_pin20 myGPIO pin20 maschera di selezione del pin 20 di un device myGPIO

myGPIO_pin21 myGPIO pin21 maschera di selezione del pin 21 di un device myGPIO
myGPIO_pin22 myGPIO pin22 maschera di selezione del pin 22 di un device myGPIO
myGPIO_pin23 myGPIO pin23 maschera di selezione del pin 23 di un device myGPIO
myGPIO_pin24 myGPIO pin24 maschera di selezione del pin 24 di un device myGPIO
myGPIO_pin25 myGPIO pin25 maschera di selezione del pin 25 di un device myGPIO
myGPIO_pin26 myGPIO pin26 maschera di selezione del pin 26 di un device myGPIO
myGPIO_pin27 myGPIO pin27 maschera di selezione del pin 27 di un device myGPIO
myGPIO_pin28 myGPIO pin28 maschera di selezione del pin 28 di un device myGPIO
myGPIO_pin29 myGPIO pin29 maschera di selezione del pin 29 di un device myGPIO
myGPIO_pin30 myGPIO pin30 maschera di selezione del pin 30 di un device myGPIO
myGPIO_pin31 myGPIO pin31 maschera di selezione del pin 31 di un device myGPIO
myGPIO_byte0 myGPIO byte0 maschera di selezione del pin 0-7 di un device myGPIO
myGPIO_byte1 myGPIO byte1 maschera di selezione del pin 8-15 di un device myGPIO
myGPIO_byte2 myGPIO byte2 maschera di selezione del pin 16-23 di un device myGPIO
myGPIO_byte3 myGPIO byte3 maschera di selezione del pin 24-31 di un device myGPIO

4.1.3.2 enum myGPIO_mode

myGPIO_mode, modalità di funzionamento (lettura/scrittura) di un device myGPIO

Valori del tipo enumerato

myGPIO_read myGPIO_read modalità lettura
myGPIO_write myGPIO_write modalità scrittura

4.1.3.3 enum myGPIO_value

myGPIO_value, valore di un myGPIO

Valori del tipo enumerato

myGPIO_reset myGPIO_reset, corrisponde al valore logico '0'
myGPIO_set myGPIO_set, corrisponde al valore logico '1'

4.1.4 Documentazione delle funzioni

4.1.4.1 myGPIO_mask myGPIO_EnabledPinInterrupt (myGPIO_t * *gpio*)

Consente di ottenere una maschera che indichi quali pin abbiano interrupt abilitati.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;

Restituisce

maschera che riporta i pin per i quali gli interrupt sono stati abilitati;

4.1.4.2 myGPIO_mask myGPIO_GetRead (myGPIO_t * *gpio*)

Restituisce la maschera dei pin settati di un device myGPIO.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;

Restituisce

maschera dei pin settati di un device myGPIO

```
1 myGPIO_mask mask = myGPIO_read(&gpio);
2 if (mask & myGPIO_pin3) {
3         ...
4 }
5 else {
6         ...
7 }
```

4.1.4.3 myGPIO_value myGPIO_GetValue (myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *mask*)

Permette di leggere il valore dei pin di un device myGPIO;.

```
1 // legge il valore del pin 0 di un device myGPIO.
2 myGPIO_value value = gpio_getValue(gpio, myGPIO_pin0);
3
4 // legge il valore del pin 0, 3 e 5 di un device myGPIO.
5 // Verrà restituita la OR tra i valori dei pin
6 myGPIO_value value = gpio_getValue(gpio, myGPIO_pin0 | myGPIO_pin3 | myGPIO_pin5);
```

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;
in	*mask*	maschera dei pin su cui agire;

Restituisce

restituisce la OR dei pin letti

Valori di ritorno

myGPIO_set	se uno dei pin letti è myGPIO_set,
myGPIO_reset	se TUTTI i pin sono myGPIO_reset

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che gpio non sia un puntatore nullo

4.1.4.4 void myGPIO_GlobalInterruptDisable (myGPIO_t * *gpio*)

Disabilita gli interrupt globali;.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;

4.1.4.5 void myGPIO_GlobalInterruptEnable (myGPIO_t * *gpio*)

Abilita gli interrupt globali;.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;

4.1.4.6 void myGPIO_Init (myGPIO_t * *gpio*, uint32_t *base_address*)

Inizializza un device myGPIO.

Inizializza una struttura di tipo myGPIO_t, che astrae u device myGPIO, controllando che l'inizializzazione vada a buon fine, effettuando diversi test sui parametri di inizializzazione e restituendo un codice di errore.

Parametri

in,out	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;

in	*base_address*	indirizzo di memoria a cui è mappato il device myGPIO;
		`1 myGPIO_t gpio;`
		`2 myGPIO_init(&gpio, BASE_ADDRESS);`

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che gpio e base_address non siano nulli.

4.1.4.7 myGPIO_value myGPIO_IsGlobalInterruptEnabled (myGPIO_t * *gpio*)

Consente di verificare se gli interrupt globali siano abilitati.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;

Valori di ritorno

myGPIO_set	se il bit 0 del registro GIES è settato, ad indicare che gli interrupt sono abilitati
myGPIO_reset	se il bit 0 del registro GIES è resettato, ad indicare che gli interrupt non sono abilitati

4.1.4.8 myGPIO_value myGPIO_PendingInterrupt (myGPIO_t * *gpio*)

Consente di verificare se esistano interrupt non ancora serviti.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;

Valori di ritorno

myGPIO_set	se il bit 1 del registro GIES è settato, ad indicare che esistono interrupt pending
myGPIO_reset	se il bit 1 del registro GIES è resettato, ad indicare che non esistono interrupt pending

4.1.4.9 myGPIO_mask myGPIO_PendingPinInterrupt (myGPIO_t * *gpio*)

Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;

Restituisce

maschera che riporta i pin per i quali gli interrupt non sono stati ancora serviti;

4.1.4.10 void myGPIO_PinInterruptAck (myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *mask*)

Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;
in	*mask*	maschera di selezione dei bit;

4.1.4.11 void myGPIO_PinInterruptDisable (myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *mask*)

Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;
in	*mask*	maschera di selezione degli interrupt da disabilitare, quelli non selezionati non vengono disabilitati;

4.1.4.12 void myGPIO_PinInterruptEnable (myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *mask*)

Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;
in	*mask*	maschera di selezione degli interrupt da abilitare;quelli non selezionati non vengono abilitati;

4.1.4.13 void myGPIO_SetMode (myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *mask*, myGPIO_mode *mode*)

Permette di settare la modalità lettura/scrittura dei pin di un device myGPIO;.

```
1 // setta i pin 0 ed 1 di un device myGPIO come pin di uscita, gli altri restano invariati
2 myGPIO_setMode(gpio, myGPIO_pin0 | myGPIO_pin1, myGPIO_write);
3
4 // setta i pin 19, 20 e 21 di un device myGPIO come pin di ingresso, gli altri restano invariati
5 myGPIO_setMode(gpio, myGPIO_pin19 | myGPIO_pin20 | myGPIO_pin21, myGPIO_read);
```

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;
in	*mask*	maschera dei pin su cui agire;
in	*mode*	modalità di funzionamento dei pin;

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che gpio non sia un puntatore nullo

4.1.4.14 void myGPIO_SetValue (myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *mask*, myGPIO_value *value*)

Permette di settare il valore dei pin di un device myGPIO, se configurati come output.

```
1 // setta i pin 0 ed 1 di un device myGPIO a livello logico '1', gli altri restano invariati
2 myGPIO_setValue(gpio, myGPIO_pin0 | myGPIO_pin1, myGPIO_set);
3
4 // setta i pin 19, 20 e 21 di un device myGPIO a livello logico '0', gli altri restano invariati
5 myGPIO_setValue(gpio, myGPIO_pin19 | myGPIO_pin20 | myGPIO_pin21, myGPIO_reset);
```

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;
in	*mask*	maschera dei pin su cui agire;
in	*value*	valore dei pin

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che gpio non sia un puntatore nullo

4.1.4.15 void myGPIO_Toggle (myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *mask*)

Permette di invertire il valore dei pin di un device myGPIO, se configurati come output.

```
1 // inverte i pin 0 ed 1 di un device myGPIO a livello logico '1', gli altri restano invariati
2 myGPIO_toggle(gpio, myGPIO_pin0 | myGPIO_pin1);
```

Parametri

in	*gpio*	puntatore a myGPIO_t, che astrae un device myGPIO;
in	*mask*	maschera dei pin su cui agire;

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che gpio non sia un puntatore nullo

4.2 HD44780

driver per display Hitachi hd44780 basato su driver myGPIO bare-metal

Diagramma di collaborazione per HD44780:

Strutture dati

- struct HD44780_LCD_t

  Struttura opaca che astrae un device Display LCD con cntroller Hitachi HD44780, o compatibile. Un oggetto di tipo HD44780_LCD_t rappresenta un device lcd HD44780. Il modulo è pensato per permettere la gestione di più display da parte dello stesso processore, agendo su oggetti HD44780_LCD_t diversi. Il modulo permette di utilizzare sia l'interfacciamento ad otto bit che quello a quattro bit, inizializzando il device opportunamente, attraverso l'uso delle funzioni HD44780_Init8 eHD44780_Init4. Il modulo fornisce anche semplici funzioni per la stampa di un carattere o di una stringa null-terminated di caratteri. Si veda la documentazione delle funzioni HD44780_Printc() e HD44780_Print(). Inoltre sono presenti diverse funzioni di utilità generica, come quelle per la pulizia del display, per lo spostamento del cursore di un posto in avanti o indietro, alla riga in basso o in alto.

Tipi enumerati (enum)

- enum HD44780_InterfaceMode_t { HD44780_INTERFACE_4bit, HD44780_INTERFACE_8bit }

  Modalità di interfacciamento. Il modulo supporta sia interfacciamento a 4 bit che ad 8 bit.
- enum HD44780_Direction_t { HD44780_CursorLeft, HD44780_CursorRight }

  Direzioni di spostamento del cursore, usata dalla funzione HD44780_MoveCursor()

Funzioni

- void HD44780_Init8 (HD44780_LCD_t *lcd, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask RS, myGPIO_mask RW, myGPIO_mask E, myGPIO_mask Data7, myGPIO_mask Data6, myGPIO_mask Data5, myGPIO_mask Data4, myGPIO_mask Data3, myGPIO_mask Data2, myGPIO_mask Data1, myGPIO_mask Data0)

  Inizializza un display lcd HD44780 con interfacciamento ad 8 bit.
- void HD44780_Init4 (HD44780_LCD_t *lcd, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask RS, myGPIO_mask RW, myGPIO_mask E, myGPIO_mask Data7, myGPIO_mask Data6, myGPIO_mask Data5, myGPIO_mask Data4)

  Inizializza un oggetto display lcd HD44780 affinché si utilizzi l'interfaccia a 4 bit.
- void HD44780_Printc (HD44780_LCD_t *lcd, char c)

  Stampa un carattere.
- void HD44780_Print (HD44780_LCD_t *lcd, const char *s)

  Stampa una stringa null-terminated di caratteri.
- void HD44780_printBinary8 (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t b)

  Stampa un byte in binario. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printBinary32 (HD44780_LCD_t *lcd, uint32_t w)

  Stampa una word di 32 bit in binario. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printBinary64 (HD44780_LCD_t *lcd, uint64_t b)

Stampa un blocco di 64 bit in binario. (bit più significativo a sinistra)

- void HD44780_printHex8 (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t b)

  Stampa un byte in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printHex32 (HD44780_LCD_t *lcd, uint32_t w)

  Stampa una word di 32 bit in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printHex64 (HD44780_LCD_t *lcd, uint64_t b)

  Stampa un blocco di 64 bit in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_Clear (HD44780_LCD_t *lcd)

  Pulisce il display e sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_Home (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_MoveToRow1 (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_MoveToRow2 (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della seconda riga.
- void HD44780_MoveCursor (HD44780_LCD_t *lcd, HD44780_Direction_t dir)

  Sposta il cursore di una posizione a destra o sinistra.
- void HD44780_DisplayOff (HD44780_LCD_t *lcd)

  Disattiva il display.
- void HD44780_CursorOff (HD44780_LCD_t *lcd)

  Disattiva la visualizzazione del cursore.
- void HD44780_CursorOn (HD44780_LCD_t *lcd)

  Attiva la visualizzazione del cursore.
- void HD44780_CursorBlink (HD44780_LCD_t *lcd)

  Attiva il cursore lampeggiante.

4.2.1 Descrizione dettagliata

driver per display Hitachi hd44780 basato su driver myGPIO bare-metal

Un oggetto di tipo HD44780_LCD_t rappresenta un device lcd HD44780. Il modulo è pensato per permettere la gestione di più display da parte dello stesso processore, agendo su oggetti HD44780_LCD_t diversi.
La struttura HD44780_LCD_t specifica quali siano i pin del microcontrollore che pilotano un determinato segnale del device. L'assegnazione segnale-coppia, quindi l' inizializzazione della struttura HD44780_LCD_t relativa ad un device lcd, DEVE essere effettuata tassativamente utilizzando le funzioni

- HD44780_Init4()
- HD44780_Init8()

le quali provvedono anche ad effettuare un test di connessione volto ad individuare eventuali segnali erroneamente associati.

Oltre alle funzioni di inizializzazione, il modulo fornisce anche funzioni basilari per la stampa su display lcd di

- caratteri, con la funzione HD44780_Printc()
- stringhe null-terminated di caratteri, con la funzione HD44780_Print()

Sono disponibili, inoltre, anche funzioni specifiche per inviare comandi al device:

- HD44780_Clear()
- HD44780_Home()
- HD44780_MoveToRow1()
- HD44780_MoveToRow2()
- HD44780_MoveCursor()
- HD44780_DisplayOff()
- HD44780_CursorOff()
- HD44780_CursorOn()
- HD44780_CursorBlink()

4.2.2 Documentazione dei tipi enumerati

4.2.2.1 enum HD44780_Direction_t

Direzioni di spostamento del cursore, usata dalla funzione HD44780_MoveCursor()

Valori del tipo enumerato

HD44780_CursorLeft left sposta il cursore a sinistra

HD44780_CursorRight right sposta il cursore a destra

4.2.2.2 enum HD44780_InterfaceMode_t

Modalità di interfacciamento. Il modulo supporta sia interfacciamento a 4 bit che ad 8 bit.

Valori del tipo enumerato

HD44780_INTERFACE_4bit Interfacciamento a quattro bit

HD44780_INTERFACE_8bit Interfacciamento ad otto bit

4.2.3 Documentazione delle funzioni

4.2.3.1 void HD44780_Clear (HD44780_LCD_t * *lcd*)

Pulisce il display e sposta il cursore all'inizio della prima riga.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

4.2.3.2 void HD44780_CursorBlink (HD44780_LCD_t * *lcd*)

Attiva il cursore lampeggiante.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

4.2.3.3 void HD44780_CursorOff (HD44780_LCD_t * *lcd*)

Disattiva la visualizzazione del cursore.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

4.2.3.4 void HD44780_CursorOn (HD44780_LCD_t * *lcd*)

Attiva la visualizzazione del cursore.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

4.2.3.5 void HD44780_DisplayOff (HD44780_LCD_t * *lcd*)

Disattiva il display.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

4.2.3.6 void HD44780_Home (HD44780_LCD_t * *lcd*)

Sposta il cursore all'inizio della prima riga.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

4.2.3.7 void HD44780_Init4 (HD44780_LCD_t * *lcd*, myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *RS*, myGPIO_mask *RW*, myGPIO_mask *E*, myGPIO_mask *Data7*, myGPIO_mask *Data6*, myGPIO_mask *Data5*, myGPIO_mask *Data4*)

Inizializza un oggetto display lcd HD44780 affinché si utilizzi l'interfaccia a 4 bit.

Inizializza un oggetto HD44780_LCD_t verificando la validità delle coppie porta-pin per l' interfacciamento, configurando i pin myGPIO e inizializzando il device.

Avvertimento

Se i pin associati ai segnali di pilotaggio del device non sono correttamente configurati come pin di output, il dispositivo non funzionerà correttamente.
Non modificare i campi della struttura HD44780_LCD_t dopo che essa sia stata inizializzata.
La struttura myGPIO_t, a cui fa riferimento il parametro gpio, va inizializzata a parte.

Parametri

in,out	*lcd*	puntatore a struttura di tipo HD44780_LCD_t che descrive un display HD44780 da inizializzare;
in	*gpio*	puntatore alla struttura myGPIO_t che astrae il device myGPIO a cui il display è connesso. Non viene inizializzato dalla funziona, sarà necessario inizializzarlo preventivamente;
in	*RS*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale RS (data/command) del display LCD;
in	*RW*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale RW (read/write) del display LCD;
in	*E*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale E (Enable) del display LCD;
in	*Data7*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data7 del display LCD;
in	*Data6*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data6 del display LCD;
in	*Data5*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data5 del display LCD;
in	*Data4*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data4 del display LCD;

```
1 myGPIO_t gpioDisplay;
2 GPIO_init(&gpioDisplay, XPAR_MYGPIO_3_S00_AXI_BASEADDR, 11, 0, 4, 8);
3 HD44780_LCD_t lcd;
4 HD44780_Init4(&lcd, &gpioDisplay,   GPIO_pin10, GPIO_pin9, GPIO_pin8,
5                                       GPIO_pin0, GPIO_pin1, GPIO_pin2, GPIO_pin3);
6 HD44780_Print(&lcd, "Ciao! Come va");
7 HD44780_MoveToRow2(&lcd);
8 HD44780_Print(&lcd, "lo studio?");
```

4.2.3.8 void HD44780_Init8 (HD44780_LCD_t * *lcd*, myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *RS*, myGPIO_mask *RW*, myGPIO_mask *E*, myGPIO_mask *Data7*, myGPIO_mask *Data6*, myGPIO_mask *Data5*, myGPIO_mask *Data4*, myGPIO_mask *Data3*, myGPIO_mask *Data2*, myGPIO_mask *Data1*, myGPIO_mask *Data0*)

Inizializza un display lcd HD44780 con interfacciamento ad 8 bit.

Avvertimento

Se i pin associati ai segnali di pilotaggio del device non sono correttamente configurati come pin di output, il dispositivo non funzionerà correttamente.
Non modificare i campi della struttura dopo che essa sia stata inizializzata.
La struttura myGPIO_t, a cui fa riferimento il parametro gpio, va inizializzata a parte.

Parametri

in,out	*lcd*	puntatore a struttura di tipo HD44780_LCD_t che descrive un display HD44780 da inizializzare;
in	*gpio*	puntatore alla struttura myGPIO_t che astrae il device myGPIO a cui il display è connesso. Non viene inizializzato dalla funziona, sarà necessario inizializzarlo preventivamente;
in	*RS*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale RS (data/command) del display LCD;
in	*RW*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale RW (read/write) del display LCD;
in	*E*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale E (Enable) del display LCD;
in	*Data7*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data7 del display LCD;
in	*Data6*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data6 del display LCD;
in	*Data5*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data5 del display LCD;

in	*Data4*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data4 del display LCD;
in	*Data3*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data3 del display LCD;
in	*Data2*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data2 del display LCD;
in	*Data1*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data1 del display LCD;
in	*Data0*	pin del device myGPIO a cui è associato il segnale Data0 del display LCD;

```
1 myGPIO_t gpioDisplay;
2 myGPIO_Init(&gpioDisplay, XPAR_MYGPIO_3_S00_AXI_BASEADDR);
3 HD44780_LCD_t lcd;
4 HD44780_Init8(&lcd, &gpioDisplay,   GPIO_pin10, GPIO_pin9, GPIO_pin8,
5                                         GPIO_pin0, GPIO_pin1, GPIO_pin2, GPIO_pin3,
6                                     GPIO_pin4, GPIO_pin5, GPIO_pin6, GPIO_pin7);
7 HD44780_Print(&lcd, "Ciao! Come va");
8 HD44780_MoveToRow2(&lcd);
9 HD44780_Print(&lcd, "lo studio?");
```

4.2.3.9 void HD44780_MoveCursor (HD44780_LCD_t ∗ *lcd,* HD44780_Direction_t *dir*)

Sposta il cursore di una posizione a destra o sinistra.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;
in	*dir*	direzione in cui spostare il cursore,

Si veda anche

direction_t;

4.2.3.10 void HD44780_MoveToRow1 (HD44780_LCD_t ∗ *lcd*)

Sposta il cursore all'inizio della prima riga.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

4.2.3.11 void HD44780_MoveToRow2 (HD44780_LCD_t ∗ *lcd*)

Sposta il cursore all'inizio della seconda riga.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

4.2.3.12 void HD44780_Print (HD44780_LCD_t ∗ *lcd,* const char ∗ *s*)

Stampa una stringa null-terminated di caratteri.

La funzione può essere utilizzata per stampare anche numeri interi e floating point. Si veda gli esempi di cui sotto.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;

in	*s*	puntatore alla stringa null-terminated da stampare sul display;

```
1 // stampa di un intero
2 #include <stdlib.h>
3     ...
4 char str[10];   // assicurarsi di allocare sufficiente spazio per la stampa del numero
5 sprintf(str,"%d", integer_number);
6 error = HD44780_Print(lcd, str);
```

```
1 // stampa di un intero
2 #include <stdlib.h>
3 ...
4 char str[10];
5 snprintf(str, 10,"%d", integer_number);
6 error = HD44780_Print(lcd, str);
```

```
1 // stampa di un float
2 #include <stdlib.h>
3 ...
4 char str[20];   // assicurarsi di allocare sufficiente spazio per la stampa del numero
5 sprintf(str,"%f", float_number);
6 error = HD44780_Print(lcd, str);
```

```
1 // stampa di un float, nel caso in cui la soluzione precedente dovesse non funzionare
2 #include <stdlib.h>
3 ...
4 char str[20];
5 int parte_intera, parte_decimale, moltiplicatore = 1000;
6 // se si desiderano più di tre cifre decimali basta aumentare la potenza del
7 // moltiplicatore
8 // es. cinque cifre decimali ==> moltiplicatore = 100000
9 // si sconsiglia di stampare più di quattro cifre decimali per non causare overflow
10 // nelle istruzioni che seguono
11 parte_intera = (int) float_number;
12 parte_decimale = (int)(float_number * moltiplicatore) - (parte_intera * moltiplicatore);
13 snprintf(str, 20,"%d.%d", parte_intera, parte_decimale);
14 error = HD44780_Print(lcd, str);
```

4.2.3.13 void HD44780_printBinary32 (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint32_t *w*)

Stampa una word di 32 bit in binario. (bit più significativo a sinistra)

Parametri

in	*lcd*	
in	*w*	word da stampare

4.2.3.14 void HD44780_printBinary64 (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint64_t *b*)

Stampa un blocco di 64 bit in binario. (bit più significativo a sinistra)

Parametri

in	*lcd*	
in	*b*	blocco da stampare

4.2.3.15 void HD44780_printBinary8 (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint8_t *b*)

Stampa un byte in binario. (bit più significativo a sinistra)

Parametri

in	*lcd*	
in	*b*	byte da stampare

4.2.3.16 void HD44780_Printc (HD44780_LCD_t * *lcd*, char *c*)

Stampa un carattere.

Parametri

in	*lcd*	display da pilotare;
in	*c*	carattere da stampare sul display;

4.2.3.17 void HD44780_printHex32 (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint32_t *w*)

Stampa una word di 32 bit in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)

Parametri

in	*lcd*	
in	*w*	word da stampare

4.2.3.18 void HD44780_printHex64 (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint64_t *b*)

Stampa un blocco di 64 bit in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)

Parametri

in	*lcd*	
in	*b*	blocco da stampare

4.2.3.19 void HD44780_printHex8 (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint8_t *b*)

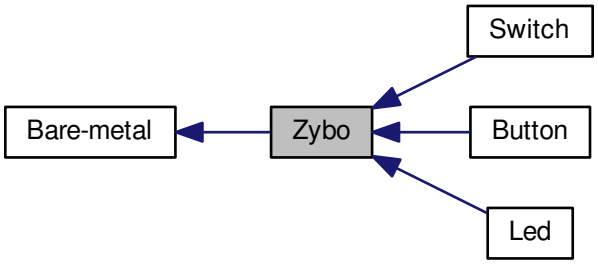
Stampa un byte in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)

Parametri

in	*lcd*	
in	*b*	byte da stampare

4.3 Zybo

Diagramma di collaborazione per Zybo:



Moduli

- Button

  supporto per gestione dei button su board Digilent Zybo
- Led

  supporto per gestione dei LED su board Digilent Zybo
- Switch

  supporto per gestione degli switch su board Digilent Zybo

4.3.1 Descrizione dettagliata

4.4 Button

supporto per gestione dei button su board Digilent Zybo

Diagramma di collaborazione per Button:

Strutture dati

- struct ZyboButton_t

  Struttura opaca che astrae l'insieme dei button presenti sulla board Digilent Zybo;.

Definizioni

- #define ZyboButton(i) ((uint32_t)(1<<(i)))

  Metodo alternativo per la specifica di uno dei button presenti sulla board Digilent Zybo.
- #define ZyboButton_DebounceWait 50

  Tempo di attesa (in millisecondi) usato per prevenire il fenomeno del bouncing. Il valore di default è 50, determinato empiricamente. Può essere modificato a piacimento cambiando il valore alla macro seguente.

Tipi enumerati (enum)

- enum ZyboButton_mask_t { ZyboButton3 = 0x8U, ZyboButton2 = 0x4U, ZyboButton1 = 0x2U, ZyboButton0 = 0x1U }

  Maschere di selezione dei PushButton.
- enum ZyboButton_status_t { ZyboButton_off, ZyboButton_on }

  Status di attivo/inattivo dei PushButton.

Funzioni

- void ZyboButton_init (ZyboButton_t *buttons, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask Button3_pin, myGPIO_mask Button2_pin, myGPIO_mask Button1_pin, myGPIO_mask Button0_pin)

  Inizializza un oggetto di tipo ZyboButton_t.
- void ZyboButton_waitWhileIdle (ZyboButton_t *buttons)

  Permettere di mettere il programma in attesa attiva finché i button restano inattivi;.
- void ZyboButton_waitWhileBusy (ZyboButton_t *buttons)

  Permettere di mettere il programma in attesa attiva finché i button restano attivi;.
- ZyboButton_status_t ZyboButton_getStatus (ZyboButton_t *buttons, ZyboButton_mask_t mask)

  Permette la lettura dello stato dei button presenti sulla board.

4.4.1 Descrizione dettagliata

supporto per gestione dei button su board Digilent Zybo

4.4.2 Documentazione delle definizioni

4.4.2.1 #define ZyboButton(*i*) ((uint32_t)(1<<(i)))

Metodo alternativo per la specifica di uno dei button presenti sulla board Digilent Zybo.

Parametri

i	indice del button da selezionare, da 0 a 3

Restituisce

maschera di selezione del button i-esimo

4.4.2.2 #define ZyboButton_DebounceWait 50

Tempo di attesa (in millisecondi) usato per prevenire il fenomeno del bouncing. Il valore di default è 50, determinato empiricamente. Può essere modificato a piacimento cambiando il valore alla macro seguente.

4.4.3 Documentazione dei tipi enumerati

4.4.3.1 enum ZyboButton_mask_t

Maschere di selezione dei PushButton.

Valori del tipo enumerato

ZyboButton3 ZyboButton3, seleziona il button 3 sulla board Digilent Zybo;.

ZyboButton2 ZyboButton2, seleziona il button 2 sulla board Digilent Zybo;.

ZyboButton1 ZyboButton1, seleziona il button 1 sulla board Digilent Zybo;.

ZyboButton0 ZyboButton0, seleziona il button 0 sulla board Digilent Zybo;.

4.4.3.2 enum ZyboButton_status_t

Status di attivo/inattivo dei PushButton.

Valori del tipo enumerato

ZyboButton_off ZyboButton_off, corrisponde al valore logico '0', indica che un pushbutton è inattivo;.

ZyboButton_on ZyboButton_on, corrisponde al valore logico '1', indica che un pushbutton è attivo;.

4.4.4 Documentazione delle funzioni

4.4.4.1 ZyboButton_status_t ZyboButton_getStatus (ZyboButton_t * *buttons*, ZyboButton_mask_t *mask*)

Permette la lettura dello stato dei button presenti sulla board.

Parametri

in	*buttons*	puntatore a struttura ZyboButton_t, che astrae l'insieme dei button presenti sulla board Digilent Zybo;

in	*mask*	maschera di selezione dei button, quelli non selezionati non vengono tenuti in considerazione

Restituisce

status status dei button

Valori di ritorno

ZyboButton_on	se uno dei button selezionati è attivo;
ZyboButton_off	altrimenti

```
1 ZyboButton_status_t button_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton3);                // leggo lo
      stato ddi button 3
2 ZyboLed_status_t led_status = (button_status == ZyboButton_on ? ZyboLed_on : ZyboLed_off);  // se lo stato
      è attivo accendo il led 3
3 ZyboLed_setStatus(&leds, ZyboLed3, led_status);                                             //
      accendo/spengo led 3
```

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- buttons non sia un puntatore nullo;
- buttons->gpio non sia un puntatore nullo

4.4.4.2 void ZyboButton_init (ZyboButton_t * *buttons,* myGPIO_t * *gpio,* myGPIO_mask *Button3_pin,* myGPIO_mask *Button2_pin,* myGPIO_mask *Button1_pin,* myGPIO_mask *Button0_pin*)

Inizializza un oggetto di tipo ZyboButton_t.

Parametri

in,out	*buttons*	puntatore a struttura ZyboButton_t, che astrae l'insieme dei button presenti sulla board Digilent Zybo;
in	*gpio*	puntatore a struttura myGPIO_t, che astrae un device myGPIO; non viene inizializzato dalla funziona, sarà necessario inizializzarlo preventivamente; si faccia riferimento all'esempio riportato di seguito
in	*Button3_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato il button 3 della board Digilent Zybo;
in	*Button2_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato il button 2 della board Digilent Zybo;
in	*Button1_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato il button 1 della board Digilent Zybo;
in	*Button0_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato il button 0 della board Digilent Zybo;

```
1 myGPIO_t gpioButton;
2 GPIO_init(&gpioButton, XPAR_MYGPIO_1_S00_AXI_BASEADDR, 4, 0, 4, 8);
3 ZyboButton_t buttons;
4 ZyboButton_init(&buttons, &gpioButton, GPIO_pin3, GPIO_pin2, GPIO_pin1, GPIO_pin0);
```

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- buttons non sia un puntatore nullo;
- gpio non sia un puntatore nullo
- ButtonN_pin siano tutti pin differenti

4.4.4.3 void ZyboButton_waitWhileBusy (ZyboButton_t * *buttons*)

Permettere di mettere il programma in attesa attiva finché i button restano attivi;.

Avvertimento

La funzione integra le funzionalità di debouncing. Il tempo di attesa è determinato sulla base del valore della macro ZyboButton_DebounceWait. Per l'attesa viene usata la funzione usleep() di stdlib.

Parametri

in	*buttons*	puntatore a struttura ZyboButton_t, che astrae l'insieme dei button presenti sulla board Digilent Zybo;

```
1 ZyboButton_waitWhileIdle(&buttons);
2 ZyboButton_status_t button3_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton3);              // leggo lo
      stato ddi button 3
3 ZyboButton_status_t button2_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton2);              // leggo lo
      stato ddi button 2
4 ZyboButton_status_t button1_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton1);              // leggo lo
      stato ddi button 1
5 ZyboButton_status_t button0_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton0);              // leggo lo
      stato ddi button 0
6 ZyboButton_waitWhileBusy(&buttons);
```

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- buttons non sia un puntatore nullo;
- buttons->gpio non sia un puntatore nullo

4.4.4.4 void ZyboButton_waitWhileIdle (ZyboButton_t * *buttons*)

Permettere di mettere il programma in attesa attiva finché i button restano inattivi;.

Avvertimento

La funzione integra le funzionalità di debouncing. Il tempo di attesa è determinato sulla base del valore della macro ZyboButton_DebounceWait. Per l'attesa viene usata la funzione usleep() di stdlib.

Parametri

in	*buttons*	puntatore a struttura ZyboButton_t, che astrae l'insieme dei button presenti sulla board Digilent Zybo;

```
1 ZyboButton_waitWhileIdle(&buttons);
2 ZyboButton_status_t button3_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton3);              // leggo lo
      stato ddi button 3
3 ZyboButton_status_t button2_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton2);              // leggo lo
      stato ddi button 2
4 ZyboButton_status_t button1_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton1);              // leggo lo
      stato ddi button 1
5 ZyboButton_status_t button0_status = ZyboButton_getStatus(&buttons, ZyboButton0);              // leggo lo
      stato ddi button 0
6 ZyboButton_waitWhileBusy(&buttons);
```

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- buttons non sia un puntatore nullo;
- buttons->gpio non sia un puntatore nullo

4.5 Led

supporto per gestione dei LED su board Digilent Zybo

Diagramma di collaborazione per Led:

Strutture dati

- struct ZyboLed_t

  Struttura opaca che astrae l'insieme dei Led presenti sulla board Digilent Zybo;.

Definizioni

- #define ZyboLed(i) ((uint32_t)(1<<(i)))

  Metodo alternativo per la specifica di uno dei led presenti sulla board Digilent Zybo.

Tipi enumerati (enum)

- enum ZyboLed_mask_t { ZyboLed3 = 0x8U, ZyboLed2 = 0x4U, ZyboLed1 = 0x2U, ZyboLed0 = 0x1U }

  Maschere di selezione dei led.
- enum ZyboLed_status_t { ZyboLed_off, ZyboLed_on }

  Status di accensione/spegnimento dei led.

Funzioni

- void ZyboLed_init (ZyboLed_t *leds, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask Led3_pin, myGPIO_mask Led2_pin, myGPIO_mask Led1_pin, myGPIO_mask Led0_pin)

  Inizializza un oggetto di tipo ZyboLed_t.
- void ZyboLed_setStatus (ZyboLed_t *leds, ZyboLed_mask_t mask, ZyboLed_status_t status)

  Permette di accendere/spegnere i Led sulla board.
- void ZyboLed_toggle (ZyboLed_t *leds, ZyboLed_mask_t mask)

  Permette di accendere/spegnere i Led sulla board, invertendone il valore.

4.5.1 Descrizione dettagliata

supporto per gestione dei LED su board Digilent Zybo

4.5.2 Documentazione delle definizioni

4.5.2.1 #define ZyboLed(*i*) ((uint32_t)(1<<(i)))

Metodo alternativo per la specifica di uno dei led presenti sulla board Digilent Zybo.

Parametri

in	*i*	indice del led da selezionare, da 0 a 3

Restituisce

maschera di selezione del led i-esimo

4.5.3 Documentazione dei tipi enumerati

4.5.3.1 enum ZyboLed_mask_t

Maschere di selezione dei led.

Valori del tipo enumerato

ZyboLed3 ZyboLed3, seleziona il led 3 sulla board Digilent Zybo;.

ZyboLed2 ZyboLed2, seleziona il led 2 sulla board Digilent Zybo;.

ZyboLed1 ZyboLed1, seleziona il led 1 sulla board Digilent Zybo;.

ZyboLed0 ZyboLed0, seleziona il led 0 sulla board Digilent Zybo;.

4.5.3.2 enum ZyboLed_status_t

Status di accensione/spegnimento dei led.

Valori del tipo enumerato

ZyboLed_off ZyboLed_off, corrisponde al valore logico '0', per lo spegnimento dei Led.

ZyboLed_on ZyboLed_on, corrisponde al valore logico '1', per l'accensione dei Led.

4.5.4 Documentazione delle funzioni

4.5.4.1 void ZyboLed_init (ZyboLed_t * *leds*, myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *Led3_pin*, myGPIO_mask *Led2_pin*, myGPIO_mask *Led1_pin*, myGPIO_mask *Led0_pin*)

Inizializza un oggetto di tipo ZyboLed_t.

Inizializza un oggetto di tipo ZyboLed_t, che astrae e consente di pilotare i led presenti sulla board Digilent Zybo. Per il pilotaggio viene usato il modulo myGPIO ed un puntatore ad una struttura myGPIO_t che lo astrae. Tale struttura non viene inizializzata dalla funzione ZyboLed_init, per cui sarà necessario inizializzarlo preventivamente. La funzione, però, si assume l'onere di configurare i pin del device myGPIO a cui i led sono connessi.

Parametri

in,out	*leds*	puntatore a struttura ZyboLed_t, che astrae l'insieme dei Led presenti sulla board Digilent Zybo;
in	*gpio*	puntatore a struttura myGPIO_t, che astrae un device myGPIO; la struttura myGPIO_t non viene inizializzata dalla funzione, per cui sarà necessario farlo preventivamente; si faccia riferimento all'esempio riportato di seguito.

in	*Led3_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato il Led3 della board Digilent Zybo;
in	*Led2_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato il Led2 della board Digilent Zybo;
in	*Led1_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato il Led1 della board Digilent Zybo;
in	*Led0_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato il Led0 della board Digilent Zybo;

```
1 myGPIO_t gpioLed;
2 GPIO_init(&gpioLed, XPAR_MYGPIO_0_S00_AXI_BASEADDR, 4, 0, 4, 8);                // inizializzazione del
      device myGPIO
3 ZyboLed_t leds;
4 ZyboLed_init(&leds, &gpioLed, GPIO_pin3, GPIO_pin2, GPIO_pin1, GPIO_pin0);  // inzializzazione della
      struttura ZyboLed_t
```

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- leds non sia un puntatore nullo;
- gpio non sia un puntatore nullo
- LedN_pin siano tutti pin differenti

4.5.4.2 void ZyboLed_setStatus (ZyboLed_t * *leds,* ZyboLed_mask_t *mask,* ZyboLed_status_t *status*)

Permette di accendere/spegnere i Led sulla board.

Parametri

in	*leds*	puntatore a struttura ZyboLed_t, che astrae l'insieme dei Led presenti sulla board Digilent Zybo;
in	*mask*	maschera di selezione dei led, quelli non selezionati vengono lasciati inalterati
in	*status*	status dei led, ZyboLed_on per accendere, ZyboLed_off per spegnere

```
1 ZyboLed_setStatus(&leds, ZyboLed3 | ZyboLed1, ZyboLed_on);  // accensione dei Led 3 ed 1
2 ZyboLed_setStatus(&leds, ZyboLed3 | ZyboLed1, ZyboLed_off); // spegnimento dei Led 3 ed 1
3 ZyboLed_setStatus(&leds, ZyboLed2 | ZyboLed0, ZyboLed_on);  // accendsione dei Led 2 ed 0
4 ZyboLed_setStatus(&leds, ZyboLed2 | ZyboLed0, ZyboLed_off); // spegnimento dei Led 2 ed 0
5 ZyboLed_setStatus(&leds, ZyboLed3 | ZyboLed1 | ZyboLed2 | ZyboLed0, ZyboLed_on);        // accensone di
      tutti i led
6 ZyboLed_setStatus(&leds, ZyboLed3 | ZyboLed1 | ZyboLed2 | ZyboLed0, ZyboLed_off);   // spegnimento di tutti
      i led
```

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- leds non sia un puntatore nullo;
- leds->gpio non sia un puntatore nullo

4.5.4.3 void ZyboLed_toggle (ZyboLed_t * *leds,* ZyboLed_mask_t *mask*)

Permette di accendere/spegnere i Led sulla board, invertendone il valore.

Parametri

in	*leds*	puntatore a struttura ZyboLed_t, che astrae l'insieme dei Led presenti sulla board Digilent Zybo;

in	*mask*	maschera di selezione dei led, quelli non selezionati vengono lasciati inalterati

```
1 ZyboLed_toggle(&leds, ZyboLed3 | ZyboLed1); // accensione/spegnimento dei Led 3 ed 1
```

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- leds non sia un puntatore nullo;
- leds->gpio non sia un puntatore nullo

4.6 Switch

supporto per gestione degli switch su board Digilent Zybo

Diagramma di collaborazione per Switch:

Strutture dati

- struct ZyboSwitch_t

  Struttura opaca che astrae l'insieme degli switch presenti sulla board Digilent Zybo;.

Definizioni

- #define ZyboSwitch(i) ((uint32_t)(1<<(i)))

  Metodo alternativo per la specifica di uno degli switch presenti sulla board Digilent Zybo.

Tipi enumerati (enum)

- enum ZyboSwitch_mask_t { ZyboSwitch3 = 0x8U, ZyboSwitch2 = 0x4U, ZyboSwitch1 = 0x2U, ZyboSwitch0 = 0x1U }

  Maschere di selezione degli switch.
- enum ZyboSwitch_status_t { ZyboSwitch_off, ZyboSwitch_on }

  Status di attivo/inattivo degli switch.

Funzioni

- void ZyboSwitch_init (ZyboSwitch_t *switches, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask Switch3_pin, myGPIO_mask Switch2_pin, myGPIO_mask Switch1_pin, myGPIO_mask Switch0_pin)

  Inizializza un oggetto di tipo ZyboSwitch_t.
- ZyboSwitch_status_t ZyboSwitch_getStatus (ZyboSwitch_t *switches, ZyboSwitch_mask_t mask)

  Permette la lettura dello stato degli switch presenti sulla board.

4.6.1 Descrizione dettagliata

supporto per gestione degli switch su board Digilent Zybo

4.6.2 Documentazione delle definizioni

4.6.2.1 #define ZyboSwitch(*i*) ((uint32_t)(1<<(i)))

Metodo alternativo per la specifica di uno degli switch presenti sulla board Digilent Zybo.

Parametri

in	*i*	indice dello switch da selezionare, da 0 a 3

Restituisce

maschera di selezione dello switch i-esimo

4.6.3 Documentazione dei tipi enumerati

4.6.3.1 enum ZyboSwitch_mask_t

Maschere di selezione degli switch.

Valori del tipo enumerato

ZyboSwitch3 ZyboSwitch3, seleziona lo switch 3 sulla board Digilent Zybo;.
ZyboSwitch2 ZyboSwitch2, seleziona lo switch 2 sulla board Digilent Zybo;.
ZyboSwitch1 ZyboSwitch1, seleziona lo switch 1 sulla board Digilent Zybo;.
ZyboSwitch0 ZyboSwitch0, seleziona lo switch 0 sulla board Digilent Zybo;.

4.6.3.2 enum ZyboSwitch_status_t

Status di attivo/inattivo degli switch.

Valori del tipo enumerato

ZyboSwitch_off ZyboSwitch_off, corrisponde al valore logico '0', indica che lo switch è inattivo;.
ZyboSwitch_on ZyboSwitch_on, corrisponde al valore logico '1', indica che lo switch è attivo;.

4.6.4 Documentazione delle funzioni

4.6.4.1 ZyboSwitch_status_t ZyboSwitch_getStatus (ZyboSwitch_t * *switches*, ZyboSwitch_mask_t *mask*)

Permette la lettura dello stato degli switch presenti sulla board.

Parametri

in	*switches*	puntatore a struttura ZyboSwitch_t, che astrae l'insieme degli switch presenti sulla board Digilent Zybo;
in	*mask*	maschera di selezione degli switch, quelli non selezionati non vengono tenuti in considerazione

Restituisce

status status degli switch

Valori di ritorno

ZyboSwitch_on	se uno degli switch selezionati è attivo;
ZyboSwitch_off	altrimenti

```
1 ZyboSwitch_status_t switch_status = ZyboSwitch_getStatus(&switches, ZyboSwitch3);          // leggo lo
      stato dello switch 3
2 ZyboLed_status_t led_status = (switch_status == ZyboSwitch_on ? ZyboLed_on : ZyboLed_off); // se lo switch
      3 è attivo accendo il led 3
3 ZyboLed_setStatus(&leds, ZyboLed3, led_status);                                           //
      accendo/spengo led 3
```

Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- switches non sia un puntatore nullo;
- switches->gpio non sia un puntatore nullo

4.6.4.2 void ZyboSwitch_init (ZyboSwitch_t * *switches*, myGPIO_t * *gpio*, myGPIO_mask *Switch3_pin*, myGPIO_mask *Switch2_pin*, myGPIO_mask *Switch1_pin*, myGPIO_mask *Switch0_pin*)

Inizializza un oggetto di tipo ZyboSwitch_t.

Parametri

in,out	*switches*	puntatore a struttura ZyboSwitch_t, che astrae l'insieme degli switch presenti sulla board Digilent Zybo;
in	*gpio*	puntatore a struttura myGPIO_t, che astrae un device myGPIO; non viene inizializzato dalla funziona, sarà necessario inizializzarlo preventivamente; si faccia riferimento all'esempio riportato di seguito
in	*Switch3_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato lo switch 3 della board Digilent Zybo;
in	*Switch2_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato lo switch 2 della board Digilent Zybo;
in	*Switch1_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato lo switch 1 della board Digilent Zybo;
in	*Switch0_pin*	pin del device myGPIO a cui è associato lo switch 0 della board Digilent Zybo;

```
1 myGPIO_t gpioSwitch;
2 GPIO_init(&gpioSwitch, XPAR_MYGPIO_1_S00_AXI_BASEADDR, 4, 0, 4, 8);
3 ZyboSwitch_t switches;
4 ZyboSwitch_init(&switches, &gpioSwitch, GPIO_pin3, GPIO_pin2, GPIO_pin1, GPIO_pin0);
```

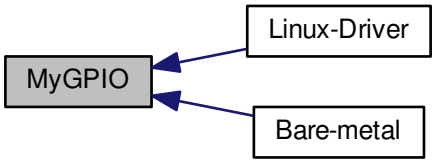
Avvertimento

Usa la macro assert per verificare che:

- switches non sia un puntatore nullo;
- gpio non sia un puntatore nullo
- SwitchN_pin siano tutti pin differenti

4.7 MyGPIO

Diagramma di collaborazione per MyGPIO:



Moduli

- Bare-metal

  device-driver OO-like bare-metal per device myGPIO
- Linux-Driver

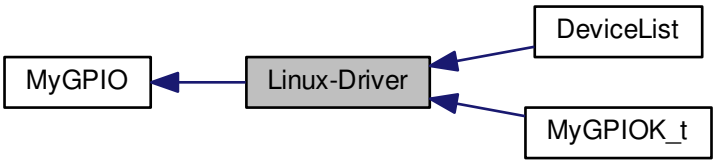
  Device-driver in kernel-mode per myGPIO.

4.7.1 Descrizione dettagliata

4.8 Linux-Driver

Device-driver in kernel-mode per myGPIO.

Diagramma di collaborazione per Linux-Driver:



Moduli

- DeviceList

  Definisce la struttura dati myGPIOK_list_t, la quale mantiene un riferimento agli oggetti myGPIOK_t gestiti dal driver.
- MyGPIOK_t

  Definisce l'oggetto myGPIOK_t, che rappresenta un device myGPIO a livello kernel.

Definizioni

- #define DRIVER_NAME "myGPIOK"

  Nome identificativo del device-driver. DEVE corrispondere al valore del campo "compatible" nel device tree source.
- #define DRIVER_FNAME "myGPIOK%d"

  Nome del file creato in /dev/ per ciascuno dei device.
- #define MAX_NUM_OF_DEVICES 15

  Numero massimo di device gestibili.
- #define myGPIOK_USED_INT 0xFFFFFFFFU

  Maschea di abilitazione degli interrupt per i singoli pin.

Funzioni

- MODULE_LICENSE ("GPL")
- MODULE_AUTHOR ("Salvatore Barone <salvator.barone@gmail.com>")
- MODULE_DESCRIPTION ("myGPIO device-driver in kernel mode")
- MODULE_VERSION ("3.2")
- MODULE_ALIAS (DRIVER_NAME)
- static int myGPIOK_probe (struct platform_device *op)

  Viene chiamata quando il modulo viene inserito.
- static int myGPIOK_remove (struct platform_device *op)
- static int myGPIOK_open (struct inode *inode, struct file *file_ptr)

  Invocata all'apertura del file corrispondente al device.
- static int myGPIOK_release (struct inode *inode, struct file *file_ptr)

  Invocata alla chiusura del file corrispondente al device.
- static loff_t myGPIOK_llseek (struct file *file_ptr, loff_t off, int whence)

Implementa le system-call lseek() e llseek().

- static unsigned int myGPIOK_poll (struct file *file_ptr, struct poll_table_struct *wait)

  Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.
- static ssize_t myGPIOK_read (struct file *file_ptr, char *buf, size_t count, loff_t *off)

  Legge dati dal device.
- static ssize_t myGPIOK_write (struct file *file_ptr, const char *buf, size_t size, loff_t *off)

  Invia dati al device.
- static irqreturn_t myGPIOK_irq_handler (int irq, struct pt_regs *regs)

  Interrupt-handler.
- MODULE_DEVICE_TABLE (of, myGPIOK_match)

  Inserisce una nuova entry nella tabella delle corrispondenze device - driver.
- module_platform_driver (myGPIOK_driver)

  la macro module_platform_driver() prende in input la struttura platform_driver ed implementa le funzioni module_init() e module_close() standard, chiamate quando il modulo viene caricato o rimosso dal kernel.
- int myGPIOK_Init (myGPIOK_t *myGPIOK_device, struct module *owner, struct platform_device *op, struct class *class, const char *driver_name, const char *device_name, uint32_t serial, struct file_operations *f_↩ ops, irq_handler_t irq_handler, uint32_t irq_mask)

  Inizializza una struttura myGPIOK_t e configura il device corrispondente.
- void myGPIOK_Destroy (myGPIOK_t *device)

  Deinizializza un device, rimuovendo le strutture kernel allocate per il suo funzionamento.
- void myGPIOK_SetCanRead (myGPIOK_t *device)

  Set del flag "interrupt occurred" (canRead)
- void myGPIOK_ResetCanRead (myGPIOK_t *device)

  Reset del flag "interrupt occurred" (canRead)
- void myGPIOK_TestCanReadAndSleep (myGPIOK_t *device)

  Testa la condizione "interrupt occurred", mettendo in attesa il processo, se necessario.
- unsigned myGPIOK_GetPollMask (myGPIOK_t *device, struct file *file_ptr, struct poll_table_struct *wait)

  Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.
- void myGPIOK_IncrementTotal (myGPIOK_t *device)

  Incrementa il contatore degli interrupt per un particolare device.
- void myGPIOK_WakeUp (myGPIOK_t *device)

  Risveglia i process in attesa sulle code di read e poll.
- void * myGPIOK_GetDeviceAddress (myGPIOK_t *device)

  Restituisce l'indirizzo virtuale di memoria cui è mappato un device.
- void myGPIOK_GlobalInterruptEnable (myGPIOK_t *device)

  Abilita gli interrupt globali;.
- void myGPIOK_GlobalInterruptDisable (myGPIOK_t *device)

  Disabilita gli interrupt globali;.
- void myGPIOK_PinInterruptEnable (myGPIOK_t *device, unsigned mask)

  Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- void myGPIOK_PinInterruptDisable (myGPIOK_t *device, unsigned mask)

  Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- unsigned myGPIOK_PendingPinInterrupt (myGPIOK_t *device)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.
- void myGPIOK_PinInterruptAck (myGPIOK_t *device, unsigned mask)

  Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

Variabili

- static myGPIOK_list_t * device_list = NULL

  Array di puntatori a struttura myGPIOK_t, contenente tutti i dati necessari al device driver.
- static struct class * myGPIOK_class = NULL

  Classe del device Ai device-drivers viene associata una classe ed un device-name. Per creare ed associare una classe ad un device driver si può usare la seguente.
- static struct of_device_id myGPIOK_match []

  Identifica il device all'interno del device tree.
- static struct platform_driver myGPIOK_driver

  Definisce quali funzioni probe() e remove() chiamare quando viene caricato un driver.
- static struct file_operations myGPIOK_fops

  mantiene puntatori a funzioni che definiscono il gli operatori che agiscono su un file/device.

4.8.1 Descrizione dettagliata

Device-driver in kernel-mode per myGPIO.

Avvertimento

Se nel device tree source non viene indicato

compatible = "myGPIOK";

tra i driver compatibili con il device, il driver myGPIOK non viene correttamente istanziato ed il programma userspace non funzionerà.

Descrizione generale del driver

Il modulo driver implementa definisce il tipo myGPIOK_t ed implementa le seguenti funzioni:

- myGPIOK_probe(): richiamata quando il modulo, o un device compatibile col modulo, viene inserito:
- myGPIOK_remove(): richiamata quando il modulo, o un device compatibile, viene rimosso;
- myGPIOK_open(): implementa la system call open();
- myGPIOK_llseek(): implementa la system call seek();
- myGPIOK_write(): implementa la system call seek();
- myGPIOK_irq_handler(): implementa la ISR dedicata alla gestione delle interruzioni provenienti dal device;
- myGPIOK_poll() : implementa il back-end di tre diverse system-calls (poll, epoll e select)
- myGPIOK_read() : implementa la system call read.

Nel seguito viene presentato un breve escursus su tutto ciò che c'è da sapere per comprendere come funziona un device-driver e come poterne scrivere uno. Dopo aver letto il seguito, si consiglia, in ordine, di leggere, in ordine, la documentazione della struttura myGPIOK-t, poi quella delle funzioni

- myGPIOK_probe();
- myGPIOK_open();
- myGPIOK_llseek();
- myGPIOK_write();
- myGPIOK_read();
- myGPIOK_irq_handler();

Platform-device

I device driver, anche se sono moduli kernel, non si scrivono come normali moduli Kernel. I "platform-device" sono device che non possono annunciarsi al software (non possono dire "Hey, sono quì!" al sistema operativo), quindi sono intrinsecamente "non-scopribili", nel senso che il sistema, al boot, deve sapere che ci sono, ma non è in grado di scoprirli. A differenza dei device PCI o USB, che non sono platform-device, un device I²C non viene enumerato a livello hardware, per cui è necessario che il sistema operativo sappia, a tempo di "compilazione", cioè prima del boot - quale device sia connesso al bus I²C. I non-discoverable devices stanno proliferando molto velocemente nel mondo embedded, per cui il Kernel Linux offre ancora la possibilità di specificare quale hardware sia presente nel sistema. Bisogna distinguere in:

- Platform Driver
- Platform Device

Per quanto riguarda la parte driver, il kernel Linux kernel definisce un insieme di operazioni standard che possono essere effettuate su un platform-device. Un riferimento puè essere http://lxr.free-electrons.↩com/source/include/linux/platform_device.h#L173. Le callbacks probe() e remove() costituiscono l'insieme minimo di operazioni che devono essere implementate. Tali funzioni devono avere gli stessi parametri delle due seguenti, ma possono avere nome qualsiasi.

```
static int sample_drv_probe(struct platform_device *pdev) {
        //Empty Probe function.
}

static int sample_drv_remove(struct platform_device *pdev) {
        //Empty remove function.
}
```

La definizione di quali funzioni probe() e remove() chiamare quando viene caricato un driver viene effettuato attraverso la seguente struttura e la chiamata alla macro module_platform_driver(), la quale prende in input la struttura seguente ed implementa, al posto nostro, le funzioni module_init() e module_close() standard, chiamate quando il modulo viene caricato o rimosso dal kernel.

```
static struct platform_driver sample_pldriver = {
    .probe  = sample_drv_probe,
    .remove = sample_drv_remove,
    .driver = {
        .name  = DRIVER_NAME,
    },
};

module_platform_driver(sample_pldriver);
```

Si noti DRIVER_NAME: deve essere identica alla stringa indicata, nel device-tree, al campo "compatible".

Affinché il driver possa essere caricato a caldo, è necessario aggiungere alla struttura di cui sopra qualche informazione in più. Tutti i device-driver devono esporre un ID. A tempo di compilazione, il processo di build estrae queste informazioni dai driver per la preparazione di una tabella. Quando si "inserisce" il device, la tabella viene riferita dal kernel e, se viene trovata una entry corrispondente al driver per quel device, il driver viene caricato ed inizializzato.

Usando la struttura

```
static struct of_device_id device_match[] = {
        {.compatible = DRIVER_NAME},
        {},
};

MODULE_DEVICE_TABLE(of, device_match);
```

si identifica un particolare device. La macro MODULE_DEVICE_TABLE() viene usata per inserire una nuova entry nella tabella accennata precedentemente. Alla struttura platform_driver possono essere aggiunte anche queste informazioni, per cui essa si presenterà come riportato di seguito.

```
static struct platform_driver sample_pldriver = {
    .probe  = sample_drv_probe,
```

```
    .remove = sample_drv_remove,
    .driver = {
        .name  = DRIVER_NAME,
        .owner = THIS_MODULE,
        .of_match_table = device_match,
    },
};
```

4.8.2 Documentazione delle definizioni

4.8.2.1 #define DRIVER_FNAME "myGPIOK%d"

Nome del file creato in /dev/ per ciascuno dei device.

4.8.2.2 #define DRIVER_NAME "myGPIOK"

Nome identificativo del device-driver. DEVE corrispondere al valore del campo "compatible" nel device tree source.

4.8.2.3 #define MAX_NUM_OF_DEVICES 15

Numero massimo di device gestibili.

In realtà, il numero di device gestibili è virtualmente illimitato. Il fattore limitante è la memoria disponibile ed in numero di Major-minor number disponibili. MAX_NUM_OF_DEVICES incide sulla dimensione della struttura dati myGPIOk_list_t che mantiene i riferimenti alle strutture di controllo dei diversi device.

4.8.2.4 #define myGPIOK_USED_INT 0xFFFFFFFFU

Maschea di abilitazione degli interrupt per i singoli pin.

4.8.3 Documentazione delle funzioni

4.8.3.1 MODULE_ALIAS (DRIVER_NAME)

4.8.3.2 MODULE_AUTHOR ("Salvatore Barone <salvator.barone@gmail.com>")

4.8.3.3 MODULE_DESCRIPTION ("myGPIO device-driver in kernel mode")

4.8.3.4 MODULE_DEVICE_TABLE (of , myGPIOK_match)

Inserisce una nuova entry nella tabella delle corrispondenze device - driver.

Parametri

in,out	*of*	riferimento alla tabella
in	*myGPIOK_match*	struttura of_device_id

4.8.3.5 MODULE_LICENSE ("GPL")

4.8.3.6 module_platform_driver (myGPIOK_driver)

la macro module_platform_driver() prende in input la struttura platform_driver ed implementa le funzioni module_init() e module_close() standard, chiamate quando il modulo viene caricato o rimosso dal kernel.

Parametri

in	*myGPIOK_driver*	struttura platform_driver associata al driver

4.8.3.7 MODULE_VERSION ("3.2")

4.8.3.8 void myGPIOK_Destroy (myGPIOK_t * *device*)

Deinizializza un device, rimuovendo le strutture kernel allocate per il suo funzionamento.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, specifica il particolare device su cui agire

4.8.3.9 void* myGPIOK_GetDeviceAddress (myGPIOK_t * *device*)

Restituisce l'indirizzo virtuale di memoria cui è mappato un device.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

4.8.3.10 unsigned myGPIOK_GetPollMask (myGPIOK_t * *device*, struct file * *file_ptr*, struct poll_table_struct * *wait*)

Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in,out	*file*	
in,out	*wait*	

Restituisce

restituisce una maschera di bit che indica se sia possibile effettuare operazioni di lettura/scrittura non bloccanti, in modo che il kernel possa bloccare il processo e risvegliarlo solo quando tali operazioni diventino possibili.

Questo metodo è il back-end di tre diverse system-calls: poll, epoll e select, le quali sono usate per capire se una operazione di lettura/scrittura du un device possano risultare bloccanti o meno.

4.8.3.11 void myGPIOK_GlobalInterruptDisable (myGPIOK_t * *device*)

Disabilita gli interrupt globali;.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

4.8.3.12 void myGPIOK_GlobalInterruptEnable (myGPIOK_t * *device*)

Abilita gli interrupt globali;.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

4.8.3.13 void myGPIOK_IncrementTotal (myGPIOK_t * *device*)

Incrementa il contatore degli interrupt per un particolare device.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Incremento del numero totale di interrupt

Dopo aver settato il flag, viene incrementato il valore degli interrupt totali. Anche questa operazione viene effettuata in mutua esclusione.

4.8.3.14 int myGPIOK_Init (myGPIOK_t * *myGPIOK_device,* struct module * *owner,* struct platform_device * *op,* struct class * *class,* const char * *driver_name,* const char * *device_name,* uint32_t *serial,* struct file_operations * *f_ops,* irq_handler_t *irq_handler,* uint32_t *irq_mask*)

Inizializza una struttura myGPIOK_t e configura il device corrispondente.

Parametri

in	*myGPIOK_device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in	*owner*	puntatore a struttura struct module, proprietario del device (THIS_MODULE)
in	*op*	puntatore a struct platform_device, costituito dal parametro "op" con cui viene invocata probe() o la remove()
in	*class*	puntatore a struct class, classe del device, deve essere stata precedentemente creata con class_create()
in	*driver_name*	nome del driver
in	*device_name*	nome del device
in	*serial*	numero seriale del device
in	*f_ops*	puntatore a struttura struct file_operations, specifica le funzioni che agiscono sul device
in	*irq_handler*	puntatore irq_handler_t alla funzione che gestirà gli interrupt generati dal device
in	*irq_mask*	maschera delle interruzioni del device

Valori di ritorno

0	se non si è verificato nessun errore

Major-number e Minor-number

Ai device drivers sono associati un major-number ed un minor-number. Il major-number viene usato dal kernel per identificare il driver corretto corrispondente ad uno specifico device, quando si effettuano operazioni su di esso. Il ruolo del minor number dipende dal device e viene gestito internamente dal driver. Questo driver, così come molti altri, usa il Major ed il minor number per distinguere le diverse istanze di device myGPIO che usano il device-driver myGPIOK. La registrazione di un device driver può essere effettuata chiamando **alloc_chrdev_region()**, la quale alloca un char-device numbers. Il major number viene scelto dinamicamente e restituito dalla funzione attraverso il parametro dev. La funzione restituisce un valore negativo nel caso in cui si verifichino errori, 0 altrimenti.

```
1 int alloc_chrdev_region (dev_t * dev, unsigned baseminor, unsigned count, const char *name);
```

- dev: major e minor number

- baseminor: primo dei minor number richiesti
- count: numero di minornumber richiesti
- name: nome del device

Operatori

Essendo un device "visto" come un file, ogni device driver deve implementare tutte le system-call previste per l'interfacciamento con un file. La corrispondenza tra la system-call e la funzione fornita dal driver viene stabilita attraverso la struttura file_operations. La struttura dati file_operations, definita in <linux/fs.h> mantiene puntatori a funzioni definite dal driver che consentono di definire il comportamento degli operatori che agiscono su un file.

```
1 static struct file_operations myGPIO_fops = {
2     .owner      = THIS_MODULE,
3     .llseek     = driver_seek,
4     .read       = driver_read,
5     .write      = driver_write,
6     .poll       = driver_poll,
7     .open       = driver_open,
8     .release    = driver_release
9 };
```

Ogni campo della struttura deve puntare ad una funzione del driver che implementa uno specifico "operatore" su file, oppure impostata a NULL se l'operatore non è supportato. L'esatto comportamento del kernel, quando uno dei puntatori è NULL, varia da funzione a funzione. La lista seguente introduce tutti gli operatori che un'applicazione può invocare su un device. La lista è stata mantenuta snella, includendo solo i campi strettamente necessari.

- *struct module ∗owner* :
  il primo campo della struttura non è un operatore, ma un puntatore al modulo che "possiede" la struttura. Il campo ha lo scopo di evitare che il modulo venga rimosso dal kernel quando uno degli operatori è in uso. Viene inizializzato usando la macro THIS_MODULE, definita in <linux/module.h>.
- *loff_t (∗llseek) (struct file ∗, loff_t, int)* : il campo llseek è usato per cambiare la posizione della "testina" di lettura/ scrittura in un file. La funzione restituisce la nuova posizione della testina. loff_t è un intero a 64 bit (anche su architetture a 32 bit). Eventuali errori vengono segnalati con un valore di ritorno negativo. Se questo campo è posto a NULL, eventuali chiamate a seek modifigheranno la posizione della testina in un modo impredicibile.
- *ssize_t (∗read) (struct file ∗, char _ _user ∗, size_t, loff_t ∗)* :
  usata per leggere dati dal device. Se lasciato a NULL, ogni chiamata a read fallirà e non sarà possibile leggere dal device. La funzione restituisce il numero di byte letti con successo ma, nel caso si verifichi un errore, restituisce un numero intero negativo.
- *ssize_t (∗write) (struct file ∗, const char _ _user ∗, size_t, loff_t ∗)* :
  invia dati al device. Se NULL ogni chiamata alla system-call write causerà un errore. Il valore di ritorno, se non negativo, rappresenta il numero di byte correttamente scritti.
- *unsigned int (∗poll) (struct file ∗, struct poll_table_struct ∗)* :
  questo metodo è il back-end di tre diverse system-calls: poll, epoll e select, le quali sono usate per capire se una operazione di lettura/scrittura du un device possano risultare bloccanti o meno. La funzione dovrebbe restituire una maschera che indichi se sia possibile effettuare operazioni di lettura/scrittura non bloccanti, in modo che il kernel possa bloccare il processo e risvegliarlo solo quando tali operazioni diventino possibili. Se viene lasciata NULL si intende che le operazioni di lettura/scrittura sul device siano sempre non-bloccanti.
- *int (∗open) (struct inode ∗, struct file ∗)* :
  Anche se, di solito, è la prima operazione che si effettua su un file, non è strettamente necessaria la sua implementazione. Se lasciata NULL, l'apertura del device andrà comunque a buon fine, ma al driver non verrà inviata alcuna notifica.
- *int (∗release) (struct inode ∗, struct file ∗)* :
  questo operatore viene invocato quando il file viene rilasciato. Come open, può essere lasciato NULL.

L'inizializzazione di un device a caratteri passa anche attraverso la definizione di questo tipo di operatori. Essi possono essere impostati attraverso l'uso della funzione

```
1 void cdev_init (struct cdev *cdev, const struct file_operations *fops);
```

la quale prende, come parametri

- cdev: puntatore a struttura cdev da inizializzare;
- fops: puntatore a struttura file_operation con cui inizializzare il device.

Creazione del device

Il passo successivo è la registrazione del device e la sua aggiunta al filesystem. Tale operazione può essere effettuata chiamando

```
1 struct device * device_create( struct class *class, struct device *parent, dev_t devt, const char *fmt,
       ...)
```

- class: puntatore alla struttura class alla quale il device deve essere registrato
- parent: puntatore ad eventuale device parent
- devt: tmajor number
- fmt: nome del device.

La funzione pù essere usata solo sulla classe dei device a caratteri. Crea un device all'interno del filesystem, associandogli il major number preventivamente inizializzato. La funzione restituisce il puntatore alla struttura device creata all'interno del filesystem. Si noti che il puntatre alla struttura classes DEVE essere stato precedentemente creato attraverso una chiamata alla funzione *class_create()*.

Aggiunta del device

Il driver, a questo punto, è pronto per essere aggiunto. è possibile aggiungere il driver usando

```
1 int cdev_add (struct cdev *p, dev_t dev, unsigned count);
```

La quale accetta come parametri

- p: puntatore a struttura cdev structure per il device
- dev: device number (precedentemente inizializzato usando la funzione *alloc_chrdev_region()*)
- count: numero di minor-numbers richiesti per il device

La funzione restituisce un numero negativo in caso di errore.

Accedere al segmento di memoria a cui la periferica è mappata

Un driver, tipicamente, prende possesso del segmento di memoria cui è mappato il device con la funzione di probe. Il problema è che il device è mappato ad un indirizzo di memoria fisico ed il Kernel, così come qualsiasi altro programma, lavora su indirizzi di memoria virtuali. La funzione

```
1 int of_address_to_resource(struct device_node *node, int index, struct resource *r);
```

popola una struttura resource con l'indirizzo di memoria cui è mapato il device usando le informazioni contenute all'interno del device tree. Ad esempio, se il device tree contiene

```
1 reg = <0x41200000 0x10000>;
```

signidifa che l'indirizzo fisico associato al device è l'indirizzo 0x41200000, che al device sono riservati 0x10000 bytes. of_address_to_resource() setterà res.start = 0x41200000 e res.end = 0x4120ffff.

Allocazione della memoria del device

Le regioni di memoria per di I/O vanno allocate prima di poter essere usate.

```
1 struct resource *request_mem_region(unsigned long start, unsigned long len, char *name);
```

Questa funzione alloca una regione di memoria di len byte a partire da start restituendone l'indirizzo, mentre nel caso in cui si verifichi un errore viene restituito NULL. La funzione viene chiamata per ottenere l'accesso esclusivo della regione di memoria, per evitare che driver diversi tentino di accedere allo stesso spazio di memoria.

Remapping

L'allocazione dello spazio di memoria non è l'unico step da eseguire prima che tale memoria possa essere usata. è necessario fare in modo che sia resa accessibile al kernel attraverso un mapping, usando la funzione.

```
1 void *ioremap(unsigned long phys_addr, unsigned long size);
```

Registrazione di un interrupt-handler

Il modulo deve registrare un handler per gli interrupt. L'handler deve essere compatibile con il tipo puntatore a funzione irq_handler_t, così definito.

```
1 struct irqreturn_t (*irq_handler_t)(int irq, struct pt_regs * regs);
```

Il modulo definisce la funzione myGPIOK_irq_handler(). L'handler può essere registrato usando

```
1 int request_irq(    unsigned int irqNumber,
2                     irqreturn_t (*handler)(int, void *, struct pt_regs *),
3                     unsigned long irqflags,
4                     const char *devname,
5                     void *dev_id);
```

IL parametro irqNumber può essere determinato automaticamente usando la funzione

```
1 unsigned int irq_of_parse_and_map(struct device_node *node, int index);
```

La funzione irq_of_parse_and_map() effettua un looks-up nella specifica degli interrupt all'interno del device tree e restituisce un irq number così come de lo aspetta request_irq() (cioè compaci con l'enumerazione in /proc/interrupts). Il secondo argomento della funzione è, tipicamente, zero, ad indicare che, all'interno del device tree, verrà preso in considerazione soltanto il primo degli interrupt specificate. Il device tree, nella sezione dedicata al gpio,reca

```
1 interrupts = <0 29 4>;
```

Il primo numero (0) è un flag che indica se l'interrupt sia connesso ad una line SPI (shared peripheral interrupt). Un valore diverso da zero indica che la linea è SPI. Il secondo numero si riferisce all'interrupt number. Per farla breve, quando si definisce la parte hardware, in questo specifico esempio il device GPIO è connesso alla linea 61 del GIC. Sottraendo 32 si orriene 29. Il terzo numero si riferisce alla tipologia dell'interrupt. Sono possibili tre valori:

- 0 : power-up default
- 1 : rising-edge
- 4 : a livelli, active alto

Inizializzazione della wait-queue per la system-call read() e poll()

In linux una wait queue viene implementata da una struttura dati wait_queue_head_t, definita in <linux/wait.h>. Il driver in questione prevede due wait-queue differenti: una per la system-call read() ed una per la system-call poll(). Entrambe le code vengono inizializzate dalla funzione myGPIOK_probe().

```
1 init_waitqueue_head(&my_queue);
```

Si veda la documentazione della funzione myGPIOK_read() per dettagli ulteriori.

Inizializzazione degli spinlock

I semafori sono uno strumento potentissimo per per l'implementazione di sezioni critiche, ma non possono essere usati in codice non interrompibile. Gli spilock sono come i semafori, ma possono essere usati anche in codice non interrompibile, come può esserlo un modulo kernel. Sostanzialmente se uno spinlock è già stato acquisito da qualcun altro, si entra in un hot-loop dal quale si esce solo quando chi possiede lo spinlock lo rilascia. Trattandosi di moduli kernel, è di vitale importanza che la sezione critica sia quanto più piccola possibile. Ovviamente l'implementazione è "un pò" più complessa di come è stata descritta, ma il concetto è questo. Gli spinlock sono definiti in <linux/spinlock.h>. L'inizializzazione di uno spinlock avviene usando la funzione

```
1 void spin_lock_init(spinlock_t *lock);
```

Abilitazione degli interrupt del device

A seconda del valore CFLAGS_myGPIOK.o (si veda il Makefile a corredo), vengono abilitati gli interrupt della periferica. Se si tratta del GPIO Xilinx vengono abilitati gli interrupt globali e gli interrupt sul canale due. Se si tratta del device GPIO custom, essendo esso parecchio più semplice, è necessario abilitare solo gli interrupt globali.

4.8.3.15 static irqreturn_t myGPIOK_irq_handler (int *irq*, struct pt_regs * *regs*) [static]

Interrupt-handler.

Parametri

irq	
regs	

Valori di ritorno

IRQ_HANDLED	dopo aver servito l'interruzione

Gestisce il manifestarsi di un evento interrompente proveniente dalla periferica. Viene registrata dalla funzione myGPIOK_probe() affinché venga richiamata al manifestarsi di un interrupt sulla linea cui è connesso il device

Disabilitazione delle interruzioni della periferica

Prima di servire l'interruzione, gli interrupt della periferica vengono disabilitati. Se si tratta di un GPIO Xilinx, vengono disabilitati sia gli interrupt globali che quelli generati dal secondo canale. Se, invece, si tratta di un device GPIO custom myGPIO, vengono disabilitati solo gli interrupt globali.

Setting del valore del flag "interrupt occurred"

Dopo aver disabilitato gli interrupt della periferica, occorre settare in modo appropriato il flag "interrupt occurred", in modo che i processi in attesa possano essere risvegliati in modo sicuro. Per prevenire race condition, tale operazione viene effettuata mutua esclusione.

Incremento del numero totale di interrupt

Dopo aver settato il flag, viene incrementato il valore degli interrupt totali. Anche questa operazione viene effettuata in mutua esclusione.

Wakeup dei processi sleeping

La ISR deve chiamare esplicitamente wakeup() per risvegliare i processi messi in sleeping in attesa che un particolare evento si manifestasse. Se due processi vengono risvegliati contemporaneamente potrebbero originarsi race-condition.

4.8.3.16 static loff_t myGPIOK_llseek (struct file * *file_ptr*, loff_t *off*, int *whence*) [static]

Implementa le system-call lseek() e llseek().

Avvertimento

L'implementazione di read() e write() non sposta la testina di lettura/scrittura!

Parametri

in,out	*file_ptr*	
in	*off*	
in	*whence*	

Restituisce

Nuova posizione della "testina" di lettura/scrittura

4.8.3.17 static int myGPIOK_open (struct inode * *inode*, struct file * *file_ptr*) [static]

Invocata all'apertura del file corrispondente al device.

Parametri

in	*inode*	
in,out	*file*	

Valori di ritorno

0	se non si verifica nessun errore

Il metodo open()

Il metodo open di un device driver viene fornito per effettuare ogni inizializzazione necessaria ad operazioni successive. Effettua le seguenti operazioni:

- verifica che non si siano manifestati errori;
- inizializza il device
- aggiorna il puntatore f_op, se necessario;
- alloca e popola ogni struttura dati necessaria, ponendola successivamente nel campo private_data della struttura dati file.

In primo luogo è necessario identificare il device che sta per essere aperto. Tenendo presente che il prototipo di qualunque metodo open è

```
1 int (*open)(struct inode *inode, struct file *filp);
```

Identificare il particolare device associato al file

Il parametro inode contiene tutte le informazioni necessarie all'interno del campo i_cdev, il quale contiene la struttura cdev inizializzata precedentemente dalla funzione di probe(). Il problema è che non abbiamo bisogno della sola struttura cdev, ma della struttura che la contiene, in questo caso della struttura myGPIOK_t. Fortunatamente i programmatori del kernel hanno reso la vita semplice agli altri, predisponendo la macro container_if() definita in <linux/kernel.h>.

```
1 container_of(pointer, container_type, container_field);
```

La macro prende in ingresso un puntatore ad un campo di tipo container_field, di una struttura container_type, restituendo il puntatore alla struttura che la contiene.
Disponendo, in questo caso, della struttura myGPIOK_list_t, si fa uso di quest'ultima, e delle sue funzioni membro, per risalire al device a partire dal suo major e minor number. Il puntatore al particolare device myGPIOK_t sarà conservato all'interno del campo private_data della struttura file.

4.8.3.18 unsigned myGPIOK_PendingPinInterrupt (myGPIOK_t * *device*)

Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Restituisce

maschera che riporta i pin per i quali gli interrupt non sono stati ancora serviti;

4.8.3.19 void myGPIOK_PinInterruptAck (myGPIOK_t * *device*, unsigned *mask*)

Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in	*mask*	mask maschera di selezione degli interrupt da notificare; quelli non selezionati non vengono notificati;

4.8.3.20 void myGPIOK_PinInterruptDisable (myGPIOK_t * *device*, unsigned *mask*)

Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in	*mask*	maschera di selezione degli interrupt da disabilitare; quelli non selezionati non vengono disabilitati;

4.8.3.21 void myGPIOK_PinInterruptEnable (myGPIOK_t * *device*, unsigned *mask*)

Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in	*mask*	maschera di selezione degli interrupt da abilitare; quelli non selezionati non vengono abilitati;

4.8.3.22 static unsigned int myGPIOK_poll (struct file * *file_ptr*, struct poll_table_struct * *wait*) [static]

Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.

Parametri

in,out	*file*	
in,out	*wait*	

Restituisce

restituisce una maschera di bit che indica se sia possibile effettuare operazioni di lettura/scrittura non bloccanti, in modo che il kernel possa bloccare il processo e risvegliarlo solo quando tali operazioni diventino possibili.

Questo metodo è il back-end di tre diverse system-calls: poll, epoll e select, le quali sono usate per capire se una operazione di lettura/scrittura du un device possano risultare bloccanti o meno.

4.8.3.23 static int myGPIOK_probe (struct platform_device * *op*) [static]

Viene chiamata quando il modulo viene inserito.

Parametri

in,out	*op*	

Valori di ritorno

0	nel caso in cui non si sia verificato nessun errore;
-ENOMEM	nel caso in cui non sia possibile allocare memoria;
<0	per altri errori

Inizializzazione del driver

Il device myGPIO viene gestito come un character-device, ossia un device su cui è possibile leggere e/o scrivere byte. Il kernel usa, internamente, una struttura cdev per rappresentare i device a caratteri. Prima che il kernel invochi le funzioni definite dal driver per il device, bisogna allocare e registrare uno, o più, oggetti cdev. Per farlo è necessario includere <linux/cdev.h>, che definisce tale struttura e le relative funzioni.

Device Class

Ai device-drivers viene associata una classe ed un device-name. Per creare ed associare una classe ad un device driver si può usare la seguente.

```
1 struct class * class_create(struct module * owner, const char * name);
```

- owner: puntatore al modulo che "possiede" la classe, THIS_MODULE
- name: puntatore alla stringa identificativa (il nome) del device driver, DRIVER_NAME

4.8.3.24 static ssize_t myGPIOK_read (struct file * *file_ptr*, char * *buf*, size_t *count*, loff_t * *off*) [static]

Legge dati dal device.

Parametri

in	*file*	
out	*buf*	
in	*count*	
in	*off*	

Avvertimento

L'offset viene diviso per quattro prima di essere aggiunto all'indirizzo base del device.

Restituisce

restituisce un valore negativo nel caso in cui si sia verificato un errore. Un valore maggiore o uguale a zero indica il numero di byte scritti con successo.

Operazioni di lettura e scrittura

I metodi read() e write() effettuano operazioni simili, ossia copiare dati da/verso il device. Il loro prototipo è molto simile.

```
1 ssize_t read(struct file *filp, char __user *buff, size_t count, loff_t *offp);
2 ssize_t write(struct file *filp, const char __user *buff, size_t count, loff_t *offp);
```

Per entrambi i metodi filep è il puntatore al file che rapresenta il device, count è la dimensione dei dati da trasferire, buff è il puntatore al buffer contenente i dati (da scrivere per la write() o letti per la read()). Infine offp è il puntatore ad un oggetto "long offset type" che indica la posizione alla quale si sta effettuando l'accesso.

I/O bloccante

Nel paragrafo precedente è stato ignorato un problema importante: come comportarsi quando il driver non è in grado di servire immegiatamente una richiesta? Una chiamata a read() potrebbe arrivare quando i dati non sono disponibili, ma potrebbero esserlo in futuro, oppure, una chiamata a write() potrebbe avvenire quando il device non è in grado di accettare altri dati (perché il suo buffer di ingresso potrebbe essere pieno). Il processo chiamante è totalmente all'oscuro di queste dinamiche, anzi potrebbe non avere la minima conoscenza delle dinamiche interne del device: chiama le funzioni read() o write() e si aspetta che facciano ciò che devono fare, per cui, nell'impossibilità di servire la richiesta, il driver bloccare il processo e metterlo tra i processi "sleeping", fin quando la richiesta non può essere servita. Il codice (la ISR) che dovrà risvegliare il processo quado potrà servire la sua richiesta, deve essere a conoscenza dell'evento "risvegliante" e deve essere in grado di "trovare" i processi in attesa per quel particolare evento. Per questo motivo, tutti i processi in attesa di un particolare evento vengono posti all'interno della stessa wait queue. Il codice della ISR deve effettuare una chiamata a wakeup() per risvegliare i processi in attesa di un evento quando questo si è manifestato. Si veda la documentazione della funzione myGPIOK_irq_handler() per dettagli ulteriori.

I/O non-bloccante

Esistono casi in cui il processo chiamante non vuole essere bloccato in attesa di un evento. Questa evenienza viene esplicitamente indicata attraverso il flag O_NONBLOCK flag in filp->f_flags. Il flag viene definito in <linux/fcntl.h> il quale è incluso in<linux/fs.h>.

Porre un processo nello stato sleeping

Quando un processo viene messo nello stato sleep, lo si fa aspettandosi che una condizione diventi vera in futuro. Al risveglio, però, non c'è nessuna garanzia che quella particolare condizione sia ancora vera, per cui essa va nuovamente testata. Il modo più semplice per potte un processo nello stato sleeping è chiamare la macro wait_↩ event(), o una delle sue varianti: essa combina la gestione della messa in sleeping del processo ed il check della condizione che il processo si aspetta diventi vera.

```
1 wait_event_interruptible(queue, condition);
```

Il parametro queue è la coda di attesa mentre condition è la condizione che, valutata true, causa la messa in sleep del processo. La condizione viene valutata sia prima che il processo sia messo in sleeping che al suo risveglio. Lo sleep in cui il processo viene messo chiamando wait_event_interruptible() può essere interrotto anche da un segnale, per cui la macro restituisce un intero che, se diverso da zero, indica che il processo è stato risvegliato da un segnale.

La condizione sulla quale i processi vengono bloccati riguarda il flag "interrupt occurred". Fin quando questo flag, posto in and con la maschera MYGPIOK_SREAD, è zero, il processo deve restare bloccato, per cui i processi che effettuano read() bloccante restano bloccati finché int_occurred & MYGPIO_SREAD == 0. Quando tale uguaglianza non sarà più valida, perché il valore di int_occurred viene settato dalla funzione myGPIOK_irq_handler(), allora il processo verrà risvegliato.

Reset del flag "interrupt occurred" per read() bloccanti

Nel momento in cui il processo viene risvegliato e la condizione della quale era in attesa è tale che esso può continuare la sua esecuzione, è necessario resettare tale flag. Questa operazione va effettuata per prevenire race-condition dovute al risveglio di più processi in attesa del manifestarsi dello stesso evento. Il reset del flag va, pertanto, effettuato in mutua esclusione.

Accesso ai registri del device

Si potrebbe senrire la tentazione di usare il puntatore restituito da ioremap() dereferenziandolo per accedere alla memoria. Questo modo di procedere non è portabile ed è prono ad errori. Il modo corretto di accedere alla memoria è attraverso l'uso delle funzioni per il memory-mapped I/O, definite in <asm/io.h>. Per leggere dalla memoria vengono usate le seguenti:

```
1 unsigned int ioread8(void *addr);
2 unsigned int ioread16(void *addr);
3 unsigned int ioread32(void *addr);
```

addr è l'indirizzo di memoria virtuale del device, ottenuto mediante chiamata a ioremap(), a cui viene, eventualmente, aggiunto un offset. Il valore restituito dalle funzioni è quello letto dalla particolare locazione di memoria a cui viene effettuato accesso. Per scrivere nella memoria vengono usate le seguenti:

```
1 void iowrite8(u8 value, void *addr);
2 void iowrite16(u16 value, void *addr);
3 void iowrite32(u32 value, void *addr);
```

Accesso alla memoria userspace

Buff è un puntatore appartenente allo spazio di indirizzamento del programma user-space che utilizza il modulo kernel. Il modulo, quindi, non può accedere direttamente ad esso, dereferenziandolo, per diverse ragioni, tra le quali:

- a seconda dell'architettura sulla quale il driver è in esecuzione e di come il kernel è stato configurato, il puntatore userspace potrebbe non essere valido mentre il modulo kernel viene eseguito;
- la memoria user-space è paginata e potrebbe non essere presente in RAM quando la system-call viene effettuata, per cui dereferenziando il puntatore potrebbe originarsi un page-fault con conseguente terminazione del processo che ha effettuato la system-call;
- il puntatore in questione potrebbe essere stato fornito da un programma user-space buggato o malizioso, motivo per cui dereferenziandolo verrebbe a crearsi un punto di accesso attraverso il quale il programma userspace può modificare la memoria senza costrizioni.

Ovviamente il driver deve essere in grado di poter accedere al buffer userspace, per cui tale accesso va fatto solo ed esclusivamente attraverso delle funzioni fornite dal kernel stesso, e definite in <asm/uaccess.h>

```
1 unsigned long copy_to_user(void __user *to, const void *from, unsigned long count);
2 unsigned long copy_from_user(void *to, const void __user *from, unsigned long count);
```

Queste due funzioni non si limitano a copiare dati da/verso userspacem: verificano, infatti, anche che il puntatore al buffer userspace sia valido. Se il puntatore non risultasse valido la copia non viene effettuata. Sia il metodo read() che il metodo write() restituiscono un valore negativo nel caso in cui si sia verificato un errore. Un valore maggiore o uguale a zero indica il numero di byte trasferiti con successo.

Piccola nota sull'endianess

Il processore Zynq è little endian. Per questo motivo è possibile convertire char* in uint32_t* mediante un semplice casting, senza invertire manualmente l'ordine dei byte.

Debouncing

Sebbene normalmente non necessario, in questo caso si è preferito inserire un hot-loop, in modo da attendere che il device di input venga riportato allo stato di riposo prima di continuare l'esecuzione della funzione. Questo piccolo espediente serve a fare in modo che, nel nostro caso, non vengano generate interruzioni spurie. Il ciclo va rimosso in qualsiasi applicazione che non riguardi la pressione di un tasto.

Ack degli interrupt della periferica

Viene inviato l'Ack alla periferica, per segnalargli che l'interrupt è stato servito, solo dopo che la lettura sia stata effettuata.

Abilitazione degli interrupt della periferica

Dopo aver inviato notifica di servizio dell'interruzione al device, vengono nuovamente abilitati gli interrupt.

4.8.3.25 static int myGPIOK_release (struct inode * *inode,* struct file * *file_ptr*) [static]

Invocata alla chiusura del file corrispondente al device.

Parametri

in	*inode*	
in	*file*	

Valori di ritorno

0	se non si verifica nessun errore

4.8.3.26 static int myGPIOK_remove (struct platform_device * *op*) [static]

Viene chiamata automaticamente alla rimozione del mosulo.

Parametri

in,out	*op*	

Valori di ritorno

0	se non si verifica nessun errore

Dealloca tutta la memoria utilizzata dal driver, de-inizializzando il device e disattivando gli interrupt per il device, effettuando tutte le operazioni inverse della funzione myGPIOK_probe().

4.8.3.27 void myGPIOK_ResetCanRead (myGPIOK_t * *device*)

Reset del flag "interrupt occurred" (canRead)

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Reset del flag "interrupt occurred" per read() bloccanti

Nel momento in cui il processo viene risvegliato e la condizione della quale era in attesa è tale che esso può continuare la sua esecuzione, è necessario resettare tale flag. Questa operazione va effettuata per prevenire race-condition dovute al risveglio di più processi in attesa del manifestarsi dello stesso evento. Il reset del flag va, pertanto, effettuato in mutua esclusione.

I semafori sono uno strumento potentissimo per per l'implementazione di sezioni critiche, ma non possono essere usati in codice non interrompibile. Gli spilock sono come i semafori, ma possono essere usati anche in codice non interrompibile, come può esserlo un modulo kernel. Sostanzialmente se uno spinlock è già stato acquisito da qualcun altro, si entra in un hot-loop dal quale si esce solo quando chi possiede lo spinlock lo rilascia. Trattandosi di moduli kernel, è di vitale importanza che la sezione critica sia quanto più piccola possibile. Ovviamente l'implementazione è "un pò" più complessa di come è stata descritta, ma il concetto è questo. Gli spinlock sono definiti in <linux/spinlock.h>. Esistono diversi modi per acquisire uno spinlock. Nel seguito viene usata la funzione

```
1 void spin_lock(spinlock_t *lock);
```

per rilasciare uno spinlock, invece, verrà usata

```
1 void spin_unlock(spinlock_t *lock);
```

4.8.3.28 void myGPIOK_SetCanRead (myGPIOK_t * *device*)

Set del flag "interrupt occurred" (canRead)

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Setting del valore del flag "interrupt occurred"

Dopo aver disabilitato gli interrupt della periferica, occorre settare in modo appropriato il flag "interrupt occurred", in modo che i processi in attesa possano essere risvegliati in modo sicuro. Per prevenire race condition, tale operazione viene effettuata mutua esclusione. I semafori sono uno strumento potentissimo per per l'implementazione di sezioni critiche, ma non possono essere usati in codice non interrompibile. Gli spilock sono come i semafori, ma possono essere usati anche in codice non interrompibile, come può esserlo un modulo kernel. Sostanzialmente se uno spinlock è già stato acquisito da qualcun altro, si entra in un hot-loop dal quale si esce solo quando chi possiede lo spinlock lo rilascia. Trattandosi di moduli kernel, è di vitale importanza che la sezione critica sia quanto più piccola possibile. Ovviamente l'implementazione è "un pò" più complessa di come è stata descritta, ma il concetto è questo. Gli spinlock sono definiti in <linux/spinlock.h>. Esistono diversi modi per acquisire uno spinlock. Nel seguito viene usata la funzione

```
1 void spin_lock_irqsave(spinlock_t *lock, unsigned long flags);
```

la quale disabilita gli interrupt sul processore locale prima di acquisire lo spinlock, per poi ripristinarlo quando lo spinlock viene rilasciato, usando

```
1 void spin_unlock_irqrestore(spinlock_t *lock, unsigned long flags);
```

4.8.3.29 void myGPIOK_TestCanReadAndSleep (myGPIOK_t * *device*)

Testa la condizione "interrupt occurred", mettendo in attesa il processo, se necessario.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Porre un processo nello stato sleeping

Quando un processo viene messo nello stato sleep, lo si fa aspettandosi che una condizione diventi vera in futuro. Al risveglio, però, non c'è nessuna garanzia che quella particolare condizione sia ancora vera, per cui essa va nuovamente testata. Il modo più semplice per potte un processo nello stato sleeping è chiamare la macro wait_↩ event(), o una delle sue varianti: essa combina la gestione della messa in sleeping del processo ed il check della condizione che il processo si aspetta diventi vera.

```
1 wait_event_interruptible(queue, condition);
```

Il parametro queue è la coda di attesa mentre condition è la condizione che, valutata true, causa la messa in sleep del processo. La condizione viene valutata sia prima che il processo sia messo in sleeping che al suo risveglio. Lo sleep in cui il processo viene messo chiamando wait_event_interruptible() può essere interrotto anche da un segnale, per cui la macro restituisce un intero che, se diverso da zero, indica che il processo è stato risvegliato da un segnale.

La condizione sulla quale i processi vengono bloccati riguarda il flag "interrupt occurred". Fin quando questo flag, posto in and con la maschera MYGPIOK_SREAD, è zero, il processo deve restare bloccato, per cui i processi che effettuano read() bloccante restano bloccati finché int_occurred & MYGPIO_SREAD == 0. Quando tale uguaglianza non sarà più valida, perché il valore di int_occurred viene settato dalla funzione myGPIOK_irq_handler(), allora il processo verrà risvegliato.

4.8.3.30 void myGPIOK_WakeUp (myGPIOK_t * *device*)

Risveglia i process in attesa sulle code di read e poll.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Wakeup dei processi sleeping

La ISR deve chiamare esplicitamente wakeup() per risvegliare i processi messi in sleeping in attesa che un particolare evento si manifestasse. La funzione

```
1 void wake_up_interruptible(wait_queue_head_t *queue);
```

risveglia tutti i processi posti in una determinata coda (risvegliando solo quelli che, in precedenza, hanno effettuato una chiamata a wait_event_interruptible()). Se due processi vengono risvegliati contemporaneamente potrebbero originarsi race-condition.

4.8.3.31 static ssize_t myGPIOK_write (struct file * *file_ptr*, const char * *buf*, size_t *size*, loff_t * *off*) [static]

Invia dati al device.

Parametri

in	*file*	
in	*buf*	
in	*size*	
in	*off*	

Avvertimento

L'offset viene diviso per quattro prima di essere aggiunto all'indirizzo base del device.

Restituisce

restituisce un valore negativo nel caso in cui si sia verificato un errore. Un valore maggiore o uguale a zero indica il numero di byte scritti con successo.

Operazioni di lettura e scrittura

I metodi read() e write() effettuano operazioni simili, ossia copiare dati da/verso il device. Il loro prototipo è molto simile.

```
1 ssize_t read(struct file *filp, char __user *buff, size_t count, loff_t *offp);
2 ssize_t write(struct file *filp, const char __user *buff, size_t count, loff_t *offp);
```

Per entrambi i metodi filep è il puntatore al file che rapresenta il device, count è la dimensione dei dati da trasferire, buff è il puntatore al buffer contenente i dati (da scrivere per la write() o letti per la read()). Infine offp è il puntatore ad un oggetto "long offset type" che indica la posizione alla quale si sta effettuando l'accesso.

Accesso alla memoria userspace

Buff è un puntatore appartenente allo spazio di indirizzamento del programma user-space che utilizza il modulo kernel. Il modulo, quindi, non può accedere direttamente ad esso, dereferenziandolo, per diverse ragioni, tra le quali:

- a seconda dell'architettura sulla quale il driver è in esecuzione e di come il kernel è stato configurato, il puntatore userspace potrebbe non essere valido mentre il modulo kernel viene eseguito;
- la memoria user-space è paginata e potrebbe non essere presente in RAM quando la system-call viene effettuata, per cui dereferenziando il puntatore potrebbe originarsi un page-fault con conseguente terminazione del processo che ha effettuato la system-call;

- il puntatore in questione potrebbe essere stato fornito da un programma user-space buggato o malizioso, motivo per cui dereferenziandolo verrebbe a crearsi un punto di accesso attraverso il quale il programma userspace può modificare la memoria senza costrizioni.

Ovviamente il driver deve essere in grado di poter accedere al buffer userspace, per cui tale accesso va fatto solo ed esclusivamente attraverso delle funzioni fornite dal kernel stesso, e definite in <asm/uaccess.h>

```
1 unsigned long copy_to_user(void __user *to, const void *from, unsigned long count);
2 unsigned long copy_from_user(void *to, const void __user *from, unsigned long count);
```

Queste due funzioni non si limitano a copiare dati da/verso userspacem: verificano, infatti, anche che il puntatore al buffer userspace sia valido. Se il puntatore non risultasse valido la copia non viene effettuata. Sia il metodo read() che il metodo write() restituiscono un valore negativo nel caso in cui si sia verificato un errore. Un valore maggiore o uguale a zero indica il numero di byte trasferiti con successo.

Piccola nota sull'endianess

Il processore Zynq è little endian. Per questo motivo è possibile convertire char∗ in uint32_t∗ mediante un semplice casting, senza invertire manualmente l'ordine dei byte.

Accesso ai registri del device

Si potrebbe senrire la tentazione di usare il puntatore restituito da ioremap() dereferenziandolo per accedere alla memoria. Questo modo di procedere non è portabile ed è prono ad errori. Il modo corretto di accedere alla memoria è attraverso l'uso delle funzioni per il memory-mapped I/O, definite in <asm/io.h>.

Per leggere dalla memoria vengono usate le seguenti:

```
1 unsigned int ioread8(void *addr);
2 unsigned int ioread16(void *addr);
3 unsigned int ioread32(void *addr);
```

addr è l'indirizzo di memoria virtuale del device, ottenuto mediante chiamata a ioremap(), a cui viene, eventualmente, aggiunto un offset. Il valore restituito dalle funzioni è quello letto dalla particolare locazione di memoria a cui viene effettuato accesso.

Per scrivere nella memoria vengono usate le seguenti:

```
1 void iowrite8(u8 value, void *addr);
2 void iowrite16(u16 value, void *addr);
3 void iowrite32(u32 value, void *addr);
```

4.8.4 Documentazione delle variabili

4.8.4.1 myGPIOK_list_t∗ device_list = NULL [static]

Array di puntatori a struttura myGPIOK_t, contenente tutti i dati necessari al device driver.

4.8.4.2 struct class∗ myGPIOK_class = NULL [static]

Classe del device Ai device-drivers viene associata una classe ed un device-name. Per creare ed associare una classe ad un device driver si può usare la seguente.

```
1 struct class * class_create(struct module * owner, const char * name);
```

Parametri:

- owner: puntatore al modulo che "possiede" la classe, THIS_MODULE
- name: puntatore alla stringa identificativa (il nome) del device driver, DRIVER_NAME

4.8.4.3 struct platform_driver myGPIOK_driver [static]

Valore iniziale:

```
= {
        .probe = myGPIOK_probe,
        .remove = myGPIOK_remove,
        .driver = {
                .name = DRIVER_NAME,
                .owner = THIS_MODULE,
                .of_match_table = myGPIOK_match,
        },
}
```

Definisce quali funzioni probe() e remove() chiamare quando viene caricato un driver.

4.8.4.4 struct file_operations myGPIOK_fops [static]

Valore iniziale:

```
= {
        .owner      = THIS_MODULE,
        .llseek     = myGPIOK_llseek,
        .read       = myGPIOK_read,
        .write      = myGPIOK_write,
        .poll       = myGPIOK_poll,
        .open       = myGPIOK_open,
        .release    = myGPIOK_release
}
```

mantiene puntatori a funzioni che definiscono il gli operatori che agiscono su un file/device.

Essendo un device "visto" come un file, ogni device driver deve implementare tutte le system-call previste per l'interfacciamento con un file. La corrispondenza tra la system-call e la funzione fornita dal driver viene stabilita attraverso tale struttura. La struttura dati file_operations, definita in <linux/fs.h> mantiene puntatori a funzioni definite dal driver che consentono di definire il comportamento degli operatori che agiscono su un file.

La struttura dati file_operations, definita in <linux/fs.h> mantiene puntatori a funzioni definite dal driver che consentono di definire il comportamento degli operatori che agiscono su un file.

```
1 static struct file_operations myGPIO_fops = {
2     .owner      = THIS_MODULE,
3     .llseek     = driver_seek,
4     .read       = driver_read,
5     .write      = driver_write,
6     .poll       = driver_poll,
7     .open       = driver_open,
8     .release    = driver_release
9 };
```

Ogni campo della struttura deve puntare ad una funzione del driver che implementa uno specifico "operatore" su file, oppure impostata a NULL se l'operatore non è supportato. L'esatto comportamento del kernel, quando uno dei puntatori è NULL, varia da funzione a funzione. La lista seguente introduce tutti gli operatori che un'applicazione può invocare su un device. La lista è stata mantenuta snella, includendo solo i campi strettamente necessari.

- *struct module ∗owner* :
  il primo campo della struttura non è un operatore, ma un puntatore al modulo che "possiede" la struttura. Il campo ha lo scopo di evitare che il modulo venga rimosso dal kernel quando uno degli operatori è in uso. Viene inizializzato usando la macro THIS_MODULE, definita in <linux/module.h>.

- *loff_t (∗llseek) (struct file ∗, loff_t, int)* : il campo llseek è usato per cambiare la posizione della "testina" di lettura/ scrittura in un file. La funzione restituisce la nuova posizione della testina. loff_t è un intero a 64 bit (anche su architetture a 32 bit). Eventuali errori vengono segnalati con un valore di ritorno negativo. Se questo campo è posto a NULL, eventuali chiamate a seek modifigheranno la posizione della testina in un modo impredicibile.

- *ssize_t (∗read) (struct file ∗, char _ _user ∗, size_t, loff_t ∗)* :
  usata per leggere dati dal device. Se lasciato a NULL, ogni chiamata a read fallirà e non sarà possibile leggere dal device. La funzione restituisce il numero di byte letti con successo ma, nel caso si verifichi un errore, restituisce un numero intero negativo.
- *ssize_t (∗write) (struct file ∗, const char _ _user ∗, size_t, loff_t ∗)* :
  invia dati al device. Se NULL ogni chiamata alla system-call write causerà un errore. Il valore di ritorno, se non negativo, rappresenta il numero di byte correttamente scritti.
- *unsigned int (∗poll) (struct file ∗, struct poll_table_struct ∗)* :
  questo metodo è il back-end di tre diverse system-calls: poll, epoll e select, le quali sono usate per capire se una operazione di lettura/scrittura du un device possano risultare bloccanti o meno. La funzione dovrebbe restituire una maschera che indichi se sia possibile effettuare operazioni di lettura/scrittura non bloccanti, in modo che il kernel possa bloccare il processo e risvegliarlo solo quando tali operazioni diventino possibili. Se viene lasciata NULL si intende che le operazioni di lettura/scrittura sul device siano sempre non-bloccanti.
- *int (∗open) (struct inode ∗, struct file ∗)* :
  Anche se, di solito, è la prima operazione che si effettua su un file, non è strettamente necessaria la sua implementazione. Se lasciata NULL, l'apertura del device andrà comunque a buon fine, ma al driver non verrà inviata alcuna notifica.
- *int (∗release) (struct inode ∗, struct file ∗)* :
  questo operatore viene invocato quando il file viene rilasciato. Come open, può essere lasciato NULL.

4.8.4.5 struct of_device_id myGPIOK_match[ ] [static]

Valore iniziale:

```
= {
        {.compatible = DRIVER_NAME},
        {},
}
```

Identifica il device all'interno del device tree.

Tutti i device-driver devono esporre un ID. A tempo di compilazione, il processo di build estrae queste informazioni dai driver per la preparazione di una tabella. Quando si "inserisce" il device, la tabella viene riferita dal kernel e, se viene trovata una entry corrispondente al driver per quel device, il driver viene caricato ed inizializzato.

4.9 DeviceList

Definisce la struttura dati myGPIOK_list_t, la quale mantiene un riferimento agli oggetti myGPIOK_t gestiti dal driver.

Diagramma di collaborazione per DeviceList:

Strutture dati

- struct myGPIOK_list_t

  Struttura dati per la gestione degli oggetti myGPIOK_t gestiti dal driver.

Funzioni

- int myGPIOK_list_Init (myGPIOK_list_t *list, uint32_t list_size)

  Inizializza una struttura dati myGPIOK_list_t.
- void myGPIOK_list_Destroy (myGPIOK_list_t *list)

  Dealloca gli oggetti internamente gestiti da un oggetto myGPIOK_list_t, liberando la memoria.
- int myGPIOK_list_add (myGPIOK_list_t *list, myGPIOK_t *device)

  Aggiunge un riferimento ad un oggetto myGPIOK_t alla lista.
- myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_by_op (myGPIOK_list_t *list, struct platform_device *op)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_by_minor (myGPIOK_list_t *list, dev_t dev)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_irq_line (myGPIOK_list_t *list, int irq_line)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- uint32_t myGPIOK_list_device_count (myGPIOK_list_t *list)

  Restituisce il numero di device correntemente inseriti nella lista.

4.9.1 Descrizione dettagliata

Definisce la struttura dati myGPIOK_list_t, la quale mantiene un riferimento agli oggetti myGPIOK_t gestiti dal driver.

4.9.2 Documentazione delle funzioni

4.9.2.1 int myGPIOK_list_add (myGPIOK_list_t * *list*, myGPIOK_t * *device*)

Aggiunge un riferimento ad un oggetto myGPIOK_t alla lista.

Parametri

in	*list*	puntatore a myGPIOK_list_t, lista a cui aggiungere l'oggetto
in	*device*	puntatore a myGPIOK_t, oggetto da aggiungere alla lista

Valori di ritorno

-1	se lo spazio si è esaurito
0	se non si manifesta nessun errore

Avvertimento

La funzione si limita ad aggiungere l'oggetto myGPIOK_t alla lista, senza effettuare alcun tipo di controllo su di esso. Non viene verificato, ad esempio, se il device che si intende aggiungere sia effettivamente già presente in lista o se si tratti di un puntatore nullo.

4.9.2.2 void myGPIOK_list_Destroy (myGPIOK_list_t * *list*)

Dealloca gli oggetti internamente gestiti da un oggetto myGPIOK_list_t, liberando la memoria.

Parametri

in	*list*	puntatore a myGPIOK_list_t, lista da distruggere

4.9.2.3 uint32_t myGPIOK_list_device_count (myGPIOK_list_t * *list*)

Restituisce il numero di device correntemente inseriti nella lista.

Parametri

in	*list*	puntatore a myGPIOK_list_t, lista di cui si intende conoscere il numero di oggetti myGPIOK_t contenuti

Restituisce

numero di device correntemente inseriti nella lista

4.9.2.4 myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_by_minor (myGPIOK_list_t * *list*, dev_t *dev*)

Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.

Parametri

in	*list*	puntatore a myGPIOK_list_t, lista in cui effettuare la ricerca
in	*dev*	major/minor number associato al device, parametro con cui viene invocata la open() o la release()

Restituisce

indirizzo dell'oggetto myGPIOK_t, se è presente nella lista, NULL altrimenti

4.9.2.5 myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_by_op (myGPIOK_list_t * *list*, struct platform_device * *op*)

Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.

Parametri

in	*list*	puntatore a myGPIOK_list_t, lista in cui effettuare la ricerca
in	*op*	puntatore a struct platform_device, argomento con cui viene invocata probe() o remove(), associato ad un oggetto myGPIOK_t

Restituisce

indirizzo dell'oggetto myGPIOK_t, se è presente nella lista, NULL altrimenti

4.9.2.6 myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_irq_line (myGPIOK_list_t * *list*, int *irq_line*)

Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.

Parametri

in	*list*	puntatore a myGPIOK_list_t, lista in cui effettuare la ricerca
	[in[	irq_line linea di interruzione alla quale il device è connesso, parametro di invocazione della ISR

Restituisce

indirizzo dell'oggetto myGPIOK_t, se è presente nella lista, NULL altrimenti

4.9.2.7 int myGPIOK_list_Init (myGPIOK_list_t * *list*, uint32_t *list_size*)

Inizializza una struttura dati myGPIOK_list_t.

Parametri

in	*list*	puntatore a myGPIOK_list_t, lista da inizializzare
in	*list_size*	numero massimo di device che la struttra dati potrà gestire

Valori di ritorno

-ENOMEM	nel caso in cui la struttura non possa essere allocata in memoria
0	se non si manifestano errori

4.10 MyGPIOK_t

Definisce l'oggetto myGPIOK_t, che rappresenta un device myGPIO a livello kernel.

Diagramma di collaborazione per MyGPIOK_t:

Strutture dati

- struct myGPIOK_t

  Stuttura per l'astrazione di un device myGPIO in kernel-mode.

Definizioni

- #define myGPIOK_GIES_OFFSET 0x0CU

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "GIES".
- #define myGPIOK_PIE_OFFSET 0x10U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "PIE".
- #define myGPIOK_IRQ_OFFSET 0x14U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "IRQ".
- #define myGPIOK_IACK_OFFSET 0x18U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "IACK".

Funzioni

- int myGPIOK_Init (myGPIOK_t ∗myGPIOK_device, struct module ∗owner, struct platform_device ∗op, struct class ∗class, const char ∗driver_name, const char ∗device_name, uint32_t serial, struct file_operations ∗f_↩ ops, irq_handler_t irq_handler, uint32_t irq_mask)

  Inizializza una struttura myGPIOK_t e configura il device corrispondente.
- void myGPIOK_Destroy (myGPIOK_t ∗device)

  Deinizializza un device, rimuovendo le strutture kernel allocate per il suo funzionamento.
- void myGPIOK_SetCanRead (myGPIOK_t ∗device)

  Set del flag "interrupt occurred" (canRead)
- void myGPIOK_ResetCanRead (myGPIOK_t ∗device)

  Reset del flag "interrupt occurred" (canRead)
- void myGPIOK_TestCanReadAndSleep (myGPIOK_t ∗device)

  Testa la condizione "interrupt occurred", mettendo in attesa il processo, se necessario.
- unsigned myGPIOK_GetPollMask (myGPIOK_t ∗device, struct file ∗file_ptr, struct poll_table_struct ∗wait)

  Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.
- void myGPIOK_IncrementTotal (myGPIOK_t ∗device)

  Incrementa il contatore degli interrupt per un particolare device.
- void myGPIOK_WakeUp (myGPIOK_t ∗device)

  Risveglia i process in attesa sulle code di read e poll.

- void * myGPIOK_GetDeviceAddress (myGPIOK_t *device)

  Restituisce l'indirizzo virtuale di memoria cui è mappato un device.
- void myGPIOK_GlobalInterruptEnable (myGPIOK_t *myGPIOK_device)

  Abilita gli interrupt globali;.
- void myGPIOK_GlobalInterruptDisable (myGPIOK_t *myGPIOK_device)

  Disabilita gli interrupt globali;.
- void myGPIOK_PinInterruptEnable (myGPIOK_t *myGPIOK_device, unsigned mask)

  Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- void myGPIOK_PinInterruptDisable (myGPIOK_t *myGPIOK_device, unsigned mask)

  Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- unsigned myGPIOK_PendingPinInterrupt (myGPIOK_t *myGPIOK_device)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.
- void myGPIOK_PinInterruptAck (myGPIOK_t *myGPIOK_device, unsigned mask)

  Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

4.10.1 Descrizione dettagliata

Definisce l'oggetto myGPIOK_t, che rappresenta un device myGPIO a livello kernel.

4.10.2 Documentazione delle definizioni

4.10.2.1 #define myGPIOK_GIES_OFFSET 0x0CU

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "GIES".

4.10.2.2 #define myGPIOK_IACK_OFFSET 0x18U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "IACK".

4.10.2.3 #define myGPIOK_IRQ_OFFSET 0x14U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "IRQ".

4.10.2.4 #define myGPIOK_PIE_OFFSET 0x10U

Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "PIE".

4.10.3 Documentazione delle funzioni

4.10.3.1 void myGPIOK_Destroy (myGPIOK_t * *device*)

Deinizializza un device, rimuovendo le strutture kernel allocate per il suo funzionamento.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, specifica il particolare device su cui agire

4.10.3.2 void* myGPIOK_GetDeviceAddress (myGPIOK_t * *device*)

Restituisce l'indirizzo virtuale di memoria cui è mappato un device.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

4.10.3.3 unsigned myGPIOK_GetPollMask (myGPIOK_t * *device*, struct file * *file_ptr*, struct poll_table_struct * *wait*)

Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in,out	*file*	
in,out	*wait*	

Restituisce

restituisce una maschera di bit che indica se sia possibile effettuare operazioni di lettura/scrittura non bloccanti, in modo che il kernel possa bloccare il processo e risvegliarlo solo quando tali operazioni diventino possibili.

Questo metodo è il back-end di tre diverse system-calls: poll, epoll e select, le quali sono usate per capire se una operazione di lettura/scrittura du un device possano risultare bloccanti o meno.

4.10.3.4 void myGPIOK_GlobalInterruptDisable (myGPIOK_t * *device*)

Disabilita gli interrupt globali;.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

4.10.3.5 void myGPIOK_GlobalInterruptEnable (myGPIOK_t * *device*)

Abilita gli interrupt globali;.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

4.10.3.6 void myGPIOK_IncrementTotal (myGPIOK_t * *device*)

Incrementa il contatore degli interrupt per un particolare device.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Incremento del numero totale di interrupt

Dopo aver settato il flag, viene incrementato il valore degli interrupt totali. Anche questa operazione viene effettuata in mutua esclusione.

4.10.3.7 int myGPIOK_Init (myGPIOK_t * *myGPIOK_device*, struct module * *owner*, struct platform_device * *op*, struct class * *class*, const char * *driver_name*, const char * *device_name*, uint32_t *serial*, struct file_operations * *f_ops*, irq_handler_t *irq_handler*, uint32_t *irq_mask*)

Inizializza una struttura myGPIOK_t e configura il device corrispondente.

Parametri

in	*myGPIOK_device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in	*owner*	puntatore a struttura struct module, proprietario del device (THIS_MODULE)
in	*op*	puntatore a struct platform_device, costituito dal parametro "op" con cui viene invocata probe() o la remove()
in	*class*	puntatore a struct class, classe del device, deve essere stata precedentemente creata con class_create()
in	*driver_name*	nome del driver
in	*device_name*	nome del device
in	*serial*	numero seriale del device
in	*f_ops*	puntatore a struttura struct file_operations, specifica le funzioni che agiscono sul device
in	*irq_handler*	puntatore irq_handler_t alla funzione che gestirà gli interrupt generati dal device
in	*irq_mask*	maschera delle interruzioni del device

Valori di ritorno

0	se non si è verificato nessun errore

Major-number e Minor-number

Ai device drivers sono associati un major-number ed un minor-number. Il major-number viene usato dal kernel per identificare il driver corretto corrispondente ad uno specifico device, quando si effettuano operazioni su di esso. Il ruolo del minor number dipende dal device e viene gestito internamente dal driver. Questo driver, così come molti altri, usa il Major ed il minor number per distinguere le diverse istanze di device myGPIO che usano il device-driver myGPIOK. La registrazione di un device driver può essere effettuata chiamando **alloc_chrdev_region()**, la quale alloca un char-device numbers. Il major number viene scelto dinamicamente e restituito dalla funzione attraverso il parametro dev. La funzione restituisce un valore negativo nel caso in cui si verifichino errori, 0 altrimenti.

```
1 int alloc_chrdev_region (dev_t * dev, unsigned baseminor, unsigned count, const char *name);
```

- dev: major e minor number
- baseminor: primo dei minor number richiesti
- count: numero di minornumber richiesti
- name: nome del device

Operatori

Essendo un device "visto" come un file, ogni device driver deve implementare tutte le system-call previste per l'interfacciamento con un file. La corrispondenza tra la system-call e la funzione fornita dal driver viene stabilita attraverso la struttura file_operations. La struttura dati file_operations, definita in <linux/fs.h> mantiene puntatori a funzioni definite dal driver che consentono di definire il comportamento degli operatori che agiscono su un file.

```
1 static struct file_operations myGPIO_fops = {
2     .owner      = THIS_MODULE,
3     .llseek     = driver_seek,
4     .read       = driver_read,
5     .write      = driver_write,
6     .poll       = driver_poll,
7     .open       = driver_open,
8     .release    = driver_release
9 };
```

Ogni campo della struttura deve puntare ad una funzione del driver che implementa uno specifico "operatore" su file, oppure impostata a NULL se l'operatore non è supportato. L'esatto comportamento del kernel, quando uno dei puntatori è NULL, varia da funzione a funzione. La lista seguente introduce tutti gli operatori che un'applicazione può invocare su un device. La lista è stata mantenuta snella, includendo solo i campi strettamente necessari.

- *struct module ∗owner* :
  il primo campo della struttura non è un operatore, ma un puntatore al modulo che "possiede" la struttura. Il campo ha lo scopo di evitare che il modulo venga rimosso dal kernel quando uno degli operatori è in uso. Viene inizializzato usando la macro THIS_MODULE, definita in <linux/module.h>.

- *loff_t (∗llseek) (struct file ∗, loff_t, int)* : il campo llseek è usato per cambiare la posizione della "testina" di lettura/ scrittura in un file. La funzione restituisce la nuova posizione della testina. loff_t è un intero a 64 bit (anche su architetture a 32 bit). Eventuali errori vengono segnalati con un valore di ritorno negativo. Se questo campo è posto a NULL, eventuali chiamate a seek modifigheranno la posizione della testina in un modo impredicibile.

- *ssize_t (∗read) (struct file ∗, char _ _user ∗, size_t, loff_t ∗)* :
  usata per leggere dati dal device. Se lasciato a NULL, ogni chiamata a read fallirà e non sarà possibile leggere dal device. La funzione restituisce il numero di byte letti con successo ma, nel caso si verifichi un errore, restituisce un numero intero negativo.

- *ssize_t (∗write) (struct file ∗, const char _ _user ∗, size_t, loff_t ∗)* :
  invia dati al device. Se NULL ogni chiamata alla system-call write causerà un errore. Il valore di ritorno, se non negativo, rappresenta il numero di byte correttamente scritti.

- *unsigned int (∗poll) (struct file ∗, struct poll_table_struct ∗)* :
  questo metodo è il back-end di tre diverse system-calls: poll, epoll e select, le quali sono usate per capire se una operazione di lettura/scrittura du un device possano risultare bloccanti o meno. La funzione dovrebbe restituire una maschera che indichi se sia possibile effettuare operazioni di lettura/scrittura non bloccanti, in modo che il kernel possa bloccare il processo e risvegliarlo solo quando tali operazioni diventino possibili. Se viene lasciata NULL si intende che le operazioni di lettura/scrittura sul device siano sempre non-bloccanti.

- *int (∗open) (struct inode ∗, struct file ∗)* :
  Anche se, di solito, è la prima operazione che si effettua su un file, non è strettamente necessaria la sua implementazione. Se lasciata NULL, l'apertura del device andrà comunque a buon fine, ma al driver non verrà inviata alcuna notifica.

- *int (∗release) (struct inode ∗, struct file ∗)* :
  questo operatore viene invocato quando il file viene rilasciato. Come open, può essere lasciato NULL.

L'inizializzazione di un device a caratteri passa anche attraverso la definizione di questo tipo di operatori. Essi possono essere impostati attraverso l'uso della funzione

```
1 void cdev_init (struct cdev *cdev, const struct file_operations *fops);
```

la quale prende, come parametri

- cdev: puntatore a struttura cdev da inizializzare;

- fops: puntatore a struttura file_operation con cui inizializzare il device.

Creazione del device

Il passo successivo è la registrazione del device e la sua aggiunta al filesystem. Tale operazione può essere effettuata chiamando

```
1 struct device * device_create( struct class *class, struct device *parent, dev_t devt, const char *fmt,
       ...)
```

- class: puntatore alla struttura class alla quale il device deve essere registrato

- parent: puntatore ad eventuale device parent

- devt: tmajor number

- fmt: nome del device.

La funzione pù essere usata solo sulla classe dei device a caratteri. Crea un device all'interno del filesystem, associandogli il major number preventivamente inizializzato. La funzione restituisce il puntatore alla struttura device creata all'interno del filesystem. Si noti che il puntatre alla struttura classes DEVE essere stato precedentemente creato attraverso una chiamata alla funzione *class_create()*.

Aggiunta del device

Il driver, a questo punto, è pronto per essere aggiunto. è possibile aggiungere il driver usando

```
1 int cdev_add (struct cdev *p, dev_t dev, unsigned count);
```

La quale accetta come parametri

- p: puntatore a struttura cdev structure per il device
- dev: device number (precedentemente inizializzato usando la funzione *alloc_chrdev_region()*)
- count: numero di minor-numbers richiesti per il device

La funzione restituisce un numero negativo in caso di errore.

Accedere al segmento di memoria a cui la periferica è mappata

Un driver, tipicamente, prende possesso del segmento di memoria cui è mappato il device con la funzione di probe. Il problema è che il device è mappato ad un indirizzo di memoria fisico ed il Kernel, così come qualsiasi altro programma, lavora su indirizzi di memoria virtuali. La funzione

```
1 int of_address_to_resource(struct device_node *node, int index, struct resource *r);
```

popola una struttura resource con l'indirizzo di memoria cui è mapato il device usando le informazioni contenute all'interno del device tree. Ad esempio, se il device tree contiene

```
1 reg = <0x41200000 0x10000>;
```

signidifa che l'indirizzo fisico associato al device è l'indirizzo 0x41200000, che al device sono riservati 0x10000 bytes. of_address_to_resource() setterà res.start = 0x41200000 e res.end = 0x4120ffff.

Allocazione della memoria del device

Le regioni di memoria per di I/O vanno allocate prima di poter essere usate.

```
1 struct resource *request_mem_region(unsigned long start, unsigned long len, char *name);
```

Questa funzione alloca una regione di memoria di len byte a partire da start restituendone l'indirizzo, mentre nel caso in cui si verifichi un errore viene restituito NULL. La funzione viene chiamata per ottenere l'accesso esclusivo della regione di memoria, per evitare che driver diversi tentino di accedere allo stesso spazio di memoria.

Remapping

L'allocazione dello spazio di memoria non è l'unico step da eseguire prima che tale memoria possa essere usata. è necessario fare in modo che sia resa accessibile al kernel attraverso un mapping, usando la funzione.

```
1 void *ioremap(unsigned long phys_addr, unsigned long size);
```

Registrazione di un interrupt-handler

Il modulo deve registrare un handler per gli interrupt. L'handler deve essere compatibile con il tipo puntatore a funzione irq_handler_t, così definito.

```
1 struct irqreturn_t (*irq_handler_t)(int irq, struct pt_regs * regs);
```

Il modulo definisce la funzione myGPIOK_irq_handler(). L'handler può essere registrato usando

```
1 int request_irq(    unsigned int irqNumber,
2                     irqreturn_t (*handler)(int, void *, struct pt_regs *),
3                     unsigned long irqflags,
4                     const char *devname,
5                     void *dev_id);
```

IL parametro irqNumber può essere determinato automaticamente usando la funzione

```
1 unsigned int irq_of_parse_and_map(struct device_node *node, int index);
```

La funzione irq_of_parse_and_map() effettua un looks-up nella specifica degli interrupt all'interno del device tree e restituisce un irq number così come de lo aspetta request_irq() (cioè compaci con l'enumerazione in /proc/interrupts). Il secondo argomento della funzione è, tipicamente, zero, ad indicare che, all'interno del device tree, verrà preso in considerazione soltanto il primo degli interrupt specificate. Il device tree, nella sezione dedicata al gpio,reca

```
1 interrupts = <0 29 4>;
```

Il primo numero (0) è un flag che indica se l'interrupt sia connesso ad una line SPI (shared peripheral interrupt). Un valore diverso da zero indica che la linea è SPI. Il secondo numero si riferisce all'interrupt number. Per farla breve, quando si definisce la parte hardware, in questo specifico esempio il device GPIO è connesso alla linea 61 del GIC. Sottraendo 32 si orriene 29. Il terzo numero si riferisce alla tipologia dell'interrupt. Sono possibili tre valori:

- 0 : power-up default
- 1 : rising-edge
- 4 : a livelli, active alto

Inizializzazione della wait-queue per la system-call read() e poll()

In linux una wait queue viene implementata da una struttura dati wait_queue_head_t, definita in <linux/wait.h>. Il driver in questione prevede due wait-queue differenti: una per la system-call read() ed una per la system-call poll(). Entrambe le code vengono inizializzate dalla funzione myGPIOK_probe().

```
1 init_waitqueue_head(&my_queue);
```

Si veda la documentazione della funzione myGPIOK_read() per dettagli ulteriori.

Inizializzazione degli spinlock

I semafori sono uno strumento potentissimo per per l'implementazione di sezioni critiche, ma non possono essere usati in codice non interrompibile. Gli spilock sono come i semafori, ma possono essere usati anche in codice non interrompibile, come può esserlo un modulo kernel. Sostanzialmente se uno spinlock è già stato acquisito da qualcun altro, si entra in un hot-loop dal quale si esce solo quando chi possiede lo spinlock lo rilascia. Trattandosi di moduli kernel, è di vitale importanza che la sezione critica sia quanto più piccola possibile. Ovviamente l'implementazione è "un pò" più complessa di come è stata descritta, ma il concetto è questo. Gli spinlock sono definiti in <linux/spinlock.h>. L'inizializzazione di uno spinlock avviene usando la funzione

```
1 void spin_lock_init(spinlock_t *lock);
```

Abilitazione degli interrupt del device

A seconda del valore CFLAGS_myGPIOK.o (si veda il Makefile a corredo), vengono abilitati gli interrupt della periferica. Se si tratta del GPIO Xilinx vengono abilitati gli interrupt globali e gli interrupt sul canale due. Se si tratta del device GPIO custom, essendo esso parecchio più semplice, è necessario abilitare solo gli interrupt globali.

4.10.3.8 unsigned myGPIOK_PendingPinInterrupt (myGPIOK_t * *device*)

Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Restituisce

maschera che riporta i pin per i quali gli interrupt non sono stati ancora serviti;

4.10.3.9 void myGPIOK_PinInterruptAck (myGPIOK_t * *device,* unsigned *mask*)

Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in	*mask*	mask maschera di selezione degli interrupt da notificare; quelli non selezionati non vengono notificati;

4.10.3.10 void myGPIOK_PinInterruptDisable (myGPIOK_t * *device,* unsigned *mask*)

Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in	*mask*	maschera di selezione degli interrupt da disabilitare; quelli non selezionati non vengono disabilitati;

4.10.3.11 void myGPIOK_PinInterruptEnable (myGPIOK_t * *device,* unsigned *mask*)

Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare
in	*mask*	maschera di selezione degli interrupt da abilitare; quelli non selezionati non vengono abilitati;

4.10.3.12 void myGPIOK_ResetCanRead (myGPIOK_t * *device*)

Reset del flag "interrupt occurred" (canRead)

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Reset del flag "interrupt occurred" per read() bloccanti

Nel momento in cui il processo viene risvegliato e la condizione della quale era in attesa è tale che esso può continuare la sua esecuzione, è necessario resettare tale flag. Questa operazione va effettuata per prevenire race-condition dovute al risveglio di più processi in attesa del manifestarsi dello stesso evento. Il reset del flag va, pertanto, effettuato in mutua esclusione.

I semafori sono uno strumento potentissimo per per l'implementazione di sezioni critiche, ma non possono essere usati in codice non interrompibile. Gli spilock sono come i semafori, ma possono essere usati anche in codice non interrompibile, come può esserlo un modulo kernel. Sostanzialmente se uno spinlock è già stato acquisito da qualcun altro, si entra in un hot-loop dal quale si esce solo quando chi possiede lo spinlock lo rilascia. Trattandosi

di moduli kernel, è di vitale importanza che la sezione critica sia quanto più piccola possibile. Ovviamente l'implementazione è "un pò" più complessa di come è stata descritta, ma il concetto è questo. Gli spinlock sono definiti in <linux/spinlock.h>. Esistono diversi modi per acquisire uno spinlock. Nel seguito viene usata la funzione

```
1 void spin_lock(spinlock_t *lock);
```

per rilasciare uno spinlock, invece, verrà usata

```
1 void spin_unlock(spinlock_t *lock);
```

4.10.3.13 void myGPIOK_SetCanRead (myGPIOK_t * *device*)

Set del flag "interrupt occurred" (canRead)

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Setting del valore del flag "interrupt occurred"

Dopo aver disabilitato gli interrupt della periferica, occorre settare in modo appropriato il flag "interrupt occurred", in modo che i processi in attesa possano essere risvegliati in modo sicuro. Per prevenire race condition, tale operazione viene effettuata mutua esclusione. I semafori sono uno strumento potentissimo per per l'implementazione di sezioni critiche, ma non possono essere usati in codice non interrompibile. Gli spilock sono come i semafori, ma possono essere usati anche in codice non interrompibile, come può esserlo un modulo kernel. Sostanzialmente se uno spinlock è già stato acquisito da qualcun altro, si entra in un hot-loop dal quale si esce solo quando chi possiede lo spinlock lo rilascia. Trattandosi di moduli kernel, è di vitale importanza che la sezione critica sia quanto più piccola possibile. Ovviamente l'implementazione è "un pò" più complessa di come è stata descritta, ma il concetto è questo. Gli spinlock sono definiti in <linux/spinlock.h>. Esistono diversi modi per acquisire uno spinlock. Nel seguito viene usata la funzione

```
1 void spin_lock_irqsave(spinlock_t *lock, unsigned long flags);
```

la quale disabilita gli interrupt sul processore locale prima di acquisire lo spinlock, per poi ripristinarlo quando lo spinlock viene rilasciato, usando

```
1 void spin_unlock_irqrestore(spinlock_t *lock, unsigned long flags);
```

4.10.3.14 void myGPIOK_TestCanReadAndSleep (myGPIOK_t * *device*)

Testa la condizione "interrupt occurred", mettendo in attesa il processo, se necessario.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Porre un processo nello stato sleeping

Quando un processo viene messo nello stato sleep, lo si fa aspettandosi che una condizione diventi vera in futuro. Al risveglio, però, non c'è nessuna garanzia che quella particolare condizione sia ancora vera, per cui essa va nuovamente testata. Il modo più semplice per potte un processo nello stato sleeping è chiamare la macro wait_↩ event(), o una delle sue varianti: essa combina la gestione della messa in sleeping del processo ed il check della condizione che il processo si aspetta diventi vera.

```
1 wait_event_interruptible(queue, condition);
```

Il parametro queue è la coda di attesa mentre condition è la condizione che, valutata true, causa la messa in sleep del processo. La condizione viene valutata sia prima che il processo sia messo in sleeping che al suo risveglio. Lo sleep in cui il processo viene messo chiamando wait_event_interruptible() può essere interrotto anche da un segnale, per cui la macro restituisce un intero che, se diverso da zero, indica che il processo è stato risvegliato da un segnale.

La condizione sulla quale i processi vengono bloccati riguarda il flag "interrupt occurred". Fin quando questo flag, posto in and con la maschera MYGPIOK_SREAD, è zero, il processo deve restare bloccato, per cui i processi che effettuano read() bloccante restano bloccati finché int_occurred & MYGPIO_SREAD == 0. Quando tale uguaglianza non sarà più valida, perché il valore di int_occurred viene settato dalla funzione myGPIOK_irq_handler(), allora il processo verrà risvegliato.

4.10.3.15 void myGPIOK_WakeUp (myGPIOK_t * *device*)

Risveglia i process in attesa sulle code di read e poll.

Parametri

in	*device*	puntatore a struttura myGPIOK_t, che si riferisce al device su cui operare

Wakeup dei processi sleeping

La ISR deve chiamare esplicitamente wakeup() per risvegliare i processi messi in sleeping in attesa che un particolare evento si manifestasse. La funzione

```
1 void wake_up_interruptible(wait_queue_head_t *queue);
```

risveglia tutti i processi posti in una determinata coda (risvegliando solo quelli che, in precedenza, hanno effettuato una chiamata a wait_event_interruptible()). Se due processi vengono risvegliati contemporaneamente potrebbero originarsi race-condition.

Capitolo 5

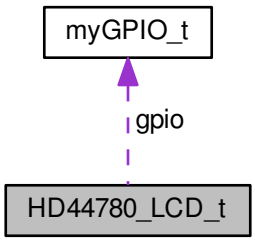
Documentazione delle classi

5.1 Riferimenti per la struct HD44780_LCD_t

Struttura opaca che astrae un device Display LCD con cntroller Hitachi HD44780, o compatibile. Un oggetto di tipo HD44780_LCD_t rappresenta un device lcd HD44780. Il modulo è pensato per permettere la gestione di più display da parte dello stesso processore, agendo su oggetti HD44780_LCD_t diversi. Il modulo permette di utilizzare sia l'interfacciamento ad otto bit che quello a quattro bit, inizializzando il device opportunamente, attraverso l'uso delle funzioni HD44780_Init8 eHD44780_Init4. Il modulo fornisce anche semplici funzioni per la stampa di un carattere o di una stringa null-terminated di caratteri. Si veda la documentazione delle funzioni HD44780_Printc() e HD44780_Print(). Inoltre sono presenti diverse funzioni di utilità generica, come quelle per la pulizia del display, per lo spostamento del cursore di un posto in avanti o indietro, alla riga in basso o in alto.

`#include <hd44780.h>`

Diagramma di collaborazione per HD44780_LCD_t:



Campi

- myGPIO_t * gpio
- myGPIO_mask RS
- myGPIO_mask RW
- myGPIO_mask E
- myGPIO_mask Data7
- myGPIO_mask Data6
- myGPIO_mask Data5
- myGPIO_mask Data4

- myGPIO_mask Data3
- myGPIO_mask Data2
- myGPIO_mask Data1
- myGPIO_mask Data0
- HD44780_InterfaceMode_t iface_mode

5.1.1 Descrizione dettagliata

Struttura opaca che astrae un device Display LCD con cntroller Hitachi HD44780, o compatibile. Un oggetto di tipo HD44780_LCD_t rappresenta un device lcd HD44780. Il modulo è pensato per permettere la gestione di più display da parte dello stesso processore, agendo su oggetti HD44780_LCD_t diversi. Il modulo permette di utilizzare sia l'interfacciamento ad otto bit che quello a quattro bit, inizializzando il device opportunamente, attraverso l'uso delle funzioni HD44780_Init8 eHD44780_Init4. Il modulo fornisce anche semplici funzioni per la stampa di un carattere o di una stringa null-terminated di caratteri. Si veda la documentazione delle funzioni HD44780_Printc() e HD44780_Print(). Inoltre sono presenti diverse funzioni di utilità generica, come quelle per la pulizia del display, per lo spostamento del cursore di un posto in avanti o indietro, alla riga in basso o in alto.

Esempi:

bsp_example.c.

5.1.2 Documentazione dei campi

5.1.2.1 myGPIO_mask Data0

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale D0

5.1.2.2 myGPIO_mask Data1

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale D1

5.1.2.3 myGPIO_mask Data2

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale D2

5.1.2.4 myGPIO_mask Data3

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale D3

5.1.2.5 myGPIO_mask Data4

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale D4

5.1.2.6 myGPIO_mask Data5

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale D5

5.1.2.7 myGPIO_mask Data6

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale D6

5.1.2.8 myGPIO_mask Data7

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale D7

5.1.2.9 myGPIO_mask E

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale E

5.1.2.10 myGPIO_t* gpio

puntatore a struttura myGPIO_t, che astrae il particolare myGPIO usato per il pilotaggio del display

5.1.2.11 HD44780_InterfaceMode_t iface_mode

modalità di funzionamento dell'interfaccia verso il displau (4 oppure 8 bit)

5.1.2.12 myGPIO_mask RS

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale RS

5.1.2.13 myGPIO_mask RW

maschera di selezione per il pin del device myGPIO usato per il pilotaggio del segnale RW

La documentazione per questa struct è stata generata a partire dal seguente file:

- Src/myGPIO/bare-metal/HD44780/hd44780.h

5.2 Riferimenti per la struct myGPIO_t

Struttura che astrae un device myGPIO.

`#include <myGPIO.h>`

Campi

- uint32_t * base_address
- uint8_t mode_offset
- uint8_t write_offset
- uint8_t read_offset
- uint8_t gies_offset
- uint8_t pie_offset
- uint8_t irq_offset
- uint8_t iack_offset

5.2.1 Descrizione dettagliata

Struttura che astrae un device myGPIO.

Comprende l'indirizzo di memoria a cui il device è mappato e gli offset dei registri attraverso i quali è possibile interagire con il device stesso. La struttura è pensata, com'è ovvio, per consentire l'uso di più device GPIO nello stesso programma, identificando ciascuno di essi attraverso l'indirizzo di memoria al quale sono mappati. La struttura di

cui sopra, nel resto dell'implementazione del driver, è totalmente trasparente a chi la utilizza, nel senso che non è strettamente necessario conoscerne i dettagli per poter utilizzare il driver.

Esempi:

bsp_example.c, interrupt_bare.c, noDriver.c, uio-int.c, e uio.c.

5.2.2 Documentazione dei campi

5.2.2.1 uint32_t* base_address

indirizzo base

5.2.2.2 uint8_t gies_offset

offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "gies"

5.2.2.3 uint8_t iack_offset

offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "iack"

5.2.2.4 uint8_t irq_offset

offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "irq"

5.2.2.5 uint8_t mode_offset

offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "mode"

5.2.2.6 uint8_t pie_offset

offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "pie"

5.2.2.7 uint8_t read_offset

offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "read"

5.2.2.8 uint8_t write_offset

offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "write"

La documentazione per questa struct è stata generata a partire dal seguente file:

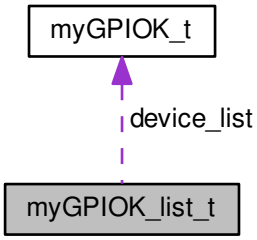
- Src/myGPIO/bare-metal/myGPIO.h

5.3 Riferimenti per la struct myGPIOK_list_t

Struttura dati per la gestione degli oggetti myGPIOK_t gestiti dal driver.

`#include <myGPIOK_list.h>`

Diagramma di collaborazione per myGPIOK_list_t:



Campi

- myGPIOK_t ** device_list
- uint32_t list_size
- uint32_t device_count

5.3.1 Descrizione dettagliata

Struttura dati per la gestione degli oggetti myGPIOK_t gestiti dal driver.

La struttura dati, sebbene non strettamente necessaria alla gestione dei diversi oggetti myGPIOK_t, ciascuno dei quali corrispondente ad un diverso device gestito dal driver myGPIOK, è pensata per semplificare l'accesso a questi ultimi, tenendo un riferimento a tutti gli oggetti e le strutture dati coinvolte nel funzionamento del modulo in un unico "posto", accessibile attraverso questa struttura dati.

5.3.2 Documentazione dei campi

5.3.2.1 uint32_t device_count

numero di device correntemente attivi e gestiti dal driver

5.3.2.2 myGPIOK_t** device_list

array di puntatori a struttura myGPIOK_t, ciascuno dei quali si riferisce ad un device differente

5.3.2.3 uint32_t list_size

dimensione dell'array, corrisponde al numero massimo di device gestibili, definito in fase di inizializzazione

La documentazione per questa struct è stata generata a partire dal seguente file:

- Src/myGPIO/linux-driver/myGPIOK_list.h

5.4 Riferimenti per la struct myGPIOK_t

Stuttura per l'astrazione di un device myGPIO in kernel-mode.

`#include <myGPIOK_t.h>`

Campi

- dev_t Mm
- struct platform_device * op
- struct cdev cdev
- struct device * dev
- struct class * class
- uint32_t irqNumber
- uint32_t irq_mask
- struct resource rsrc
- struct resource * mreg
- uint32_t rsrc_size
- void * vrtl_addr
- wait_queue_head_t read_queue
- wait_queue_head_t poll_queue
- uint32_t can_read
- spinlock_t slock_int
- uint32_t total_irq
- spinlock_t sl_total_irq

5.4.1 Descrizione dettagliata

Stuttura per l'astrazione di un device myGPIO in kernel-mode.

è buona abitudine, se non quasi indispensabile, definire una struttura dati nella quale contenere tutto ciò che è legato al device o al driver. In questo modulo viene usata la struttura myGPIOK_t per contenere tutto ciò che è necessario al funzionamento del driver.

5.4.2 Documentazione dei campi

5.4.2.1 uint32_t can_read

Flag "puoi leggere" Il valore viene settato dalla funzione myGPIOK_irq_handler() al manifestarsi di un interrupt, prima di risvegliare i processi in attesa di un interrupt. I processi che effettuano read() bloccante restano bloccati finoché int_occurred = 0

5.4.2.2 struct cdev cdev

Stuttura per l'astrazione di un device a caratteri Il kernel usa, internamente, una struttura cdev per rappresentare i device a caratteri. Prima che il kernel invochi le funzioni definite dal driver per il device, bisogna allocare e registrare uno, o più, oggetti cdev. In questo caso è sufficiente allocare uno solo di questi oggetti.

5.4.2.3 struct class* class

5.4.2.4 struct device* dev

5.4.2.5 uint32_t irq_mask

maschera delle interruzioni interne per il device

5.4.2.6 uint32_t irqNumber

interrupt-number a cui il device è connesso. Restituito dalla chiamata alla funzione irq_of_parse_and_map()

5.4.2.7 dev_t Mm

Major e minor number associati al device

5.4.2.8 struct resource* mreg

puntatre alla regione di memoria cui il device è mapapto

5.4.2.9 struct platform_device* op

Puntatore a struttura platform_device cui l'oggetto myGPIOK_t si riferisce

5.4.2.10 wait_queue_head_t poll_queue

wait queue per la system-call poll()

5.4.2.11 wait_queue_head_t read_queue

wait queue per la system-call read() Una chiamata a read() potrebbe arrivare quando i dati non sono disponibili, ma potrebbero esserlo in futuro, oppure, una chiamata a write() potrebbe avvenire quando il device non è in grado di accettare altri dati (perché il suo buffer di ingresso potrebbe essere pieno). Il processo chiamante non ha la minima conoscenza delle dinamiche interne del device, per cui, nell'impossibilità di servire la richiesta, il driver deve bloccare il processo e metterlo tra i processi "sleeping", fin quando la richiesta non può essere servita. Tutti i processi in attesa di un particolare evento vengono posti all'interno della stessa wait queue. In linux una wait queue viene implementata da una struttura dati wait_queue_head_t, definita in <linux/wait.h>.

5.4.2.12 struct resource rsrc

Struttura che astrae una risorsa device, dal punto di vista della memoria alla quale la risorsa è mappata. In particolare i campi "start" ed "end" contengono, rispettivamente, il primo e l'ultimo indirizzo fisico a cui il device è mappato.

5.4.2.13 uint32_t rsrc_size

rsrc.end - rsrc.start numero di indirizzi associati alla periferica. occorre per effettuare il mapping indirizzo fisico - indirizzo virtuale

5.4.2.14 spinlock_t sl_total_irq

Spinlock usato per garantire l'accesso in mutua esclusione alla variabile total_irq da parte delle funzioni del modulo

5.4.2.15 spinlock_t slock_int

Spinlock usato per garantire l'accesso in mutua esclusione alla variabile int_occurred da parte delle funzioni del modulo. I semafori sono uno strumento potentissimo per per l'implementazione di sezioni critiche, ma non possono

essere usati in codice non interrompibile. Gli spilock sono come i semafori, ma possono essere usati anche in codice non interrompibile, come può esserlo un modulo kernel. Sostanzialmente se uno spinlock è già stato acquisito da qualcun altro, si entra in un hot-loop dal quale si esce solo quando chi possiede lo spinlock lo rilascia. Trattandosi di moduli kernel, è di vitale importanza che la sezione critica sia quanto più piccola possibile. Ovviamente l'implementazione è "un pò" più complessa di come è stata descritta, ma il concetto è questo. Gli spinlock sono definiti in <linux/spinlock.h>.

5.4.2.16 uint32_t total_irq

numero totale di interrupt manifestatesi

5.4.2.17 void* vrtl_addr

indirizzo virtuale della periferica

La documentazione per questa struct è stata generata a partire dal seguente file:

- Src/myGPIO/linux-driver/myGPIOK_t.h

5.5 Riferimenti per la struct param_t

La struttura raccoglie tutti i parametri di esecuzione del programma.

Campi

- int dev_descr
  device descriptor
- uint8_t op_mode
  impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
- uint32_t mode_value
  valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
- uint8_t op_write
  impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
- uint32_t write_value
  valore che l'utente intende scrivere nel registro write
- uint8_t op_read
  impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

5.5.1 Descrizione dettagliata

La struttura raccoglie tutti i parametri di esecuzione del programma.

Esempi:

mygpiok.c.

5.5.2 Documentazione dei campi

5.5.2.1 int dev_descr

device descriptor

Esempi:

mygpiok.c.

5.5.2.2 uint32_t mode_value

valore che l'utente intende scrivere nel registro mode

Esempi:

mygpiok.c.

5.5.2.3 uint8_t op_mode

impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode

Esempi:

mygpiok.c.

5.5.2.4 uint8_t op_read

impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

Esempi:

mygpiok.c.

5.5.2.5 uint8_t op_write

impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write

Esempi:

mygpiok.c.

5.5.2.6 uint32_t write_value

valore che l'utente intende scrivere nel registro write

Esempi:

mygpiok.c.

La documentazione per questa struct è stata generata a partire dal seguente file:

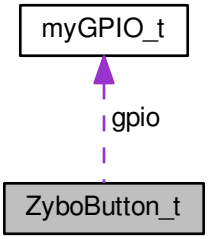
- Src/Examples/mygpiok.c

5.6 Riferimenti per la struct ZyboButton_t

Struttura opaca che astrae l'insieme dei button presenti sulla board Digilent Zybo;.

`#include <ZyboButton.h>`

Diagramma di collaborazione per ZyboButton_t:



Campi

- myGPIO_t * gpio
- myGPIO_mask Button3_pin
- myGPIO_mask Button2_pin
- myGPIO_mask Button1_pin
- myGPIO_mask Button0_pin

5.6.1 Descrizione dettagliata

Struttura opaca che astrae l'insieme dei button presenti sulla board Digilent Zybo;.

Esempi:

bsp_example.c.

5.6.2 Documentazione dei campi

5.6.2.1 myGPIO_mask Button0_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO connesso al button numero 0 della board Zybo

5.6.2.2 myGPIO_mask Button1_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO connesso al button numero 1 della board Zybo

5.6.2.3 myGPIO_mask Button2_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO connesso al button numero 2 della board Zybo

5.6.2.4 myGPIO_mask Button3_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO connesso al button numero 3 della board Zybo

5.6.2.5 myGPIO_t* gpio

puntatore a struttura myGPIO_t, che astrae il particolare myGPIO usato per la lettura dello stato dei button presenti sulla board

La documentazione per questa struct è stata generata a partire dal seguente file:

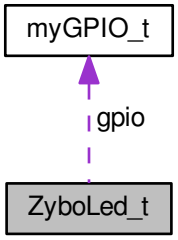
- Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboButton.h

5.7 Riferimenti per la struct ZyboLed_t

Struttura opaca che astrae l'insieme dei Led presenti sulla board Digilent Zybo;.

`#include <ZyboLed.h>`

Diagramma di collaborazione per ZyboLed_t:



Campi

- myGPIO_t * gpio
- myGPIO_mask Led3_pin
- myGPIO_mask Led2_pin
- myGPIO_mask Led1_pin
- myGPIO_mask Led0_pin

5.7.1 Descrizione dettagliata

Struttura opaca che astrae l'insieme dei Led presenti sulla board Digilent Zybo;.

Esempi:

bsp_example.c.

5.7.2 Documentazione dei campi

5.7.2.1 myGPIO_t* gpio

puntatore a struttura myGPIO_t, che astrae il particolare myGPIO usato per il pilotaggio dei led presenti sulla board

5.7.2.2 myGPIO_mask Led0_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO usato per il pilotaggio del led numero 0 della board Zybo

5.7.2.3 myGPIO_mask Led1_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO usato per il pilotaggio del led numero 1 della board Zybo

5.7.2.4 myGPIO_mask Led2_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO usato per il pilotaggio del led numero 2 della board Zybo

5.7.2.5 myGPIO_mask Led3_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO usato per il pilotaggio del led numero 3 della board Zybo

La documentazione per questa struct è stata generata a partire dal seguente file:

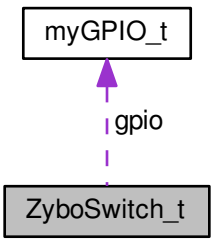
- Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboLed.h

5.8 Riferimenti per la struct ZyboSwitch_t

Struttura opaca che astrae l'insieme degli switch presenti sulla board Digilent Zybo;.

`#include <ZyboSwitch.h>`

Diagramma di collaborazione per ZyboSwitch_t:



Campi

- myGPIO_t * gpio
- myGPIO_mask Switch3_pin
- myGPIO_mask Switch2_pin
- myGPIO_mask Switch1_pin
- myGPIO_mask Switch0_pin

5.8.1 Descrizione dettagliata

Struttura opaca che astrae l'insieme degli switch presenti sulla board Digilent Zybo;.

Esempi:

bsp_example.c.

5.8.2 Documentazione dei campi

5.8.2.1 myGPIO_t* gpio

puntatore a struttura myGPIO_t, che astrae il particolare myGPIO usato per la lettura dello stato degli switch presenti sulla board

5.8.2.2 myGPIO_mask Switch0_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO connesso allo switch numero 0 della board Zybo

5.8.2.3 myGPIO_mask Switch1_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO connesso allo switch numero 1 della board Zybo

5.8.2.4 myGPIO_mask Switch2_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO connesso allo switch numero 2 della board Zybo

5.8.2.5 myGPIO_mask Switch3_pin

maschera di selezione per il particolare bit del device myGPIO connesso allo switch numero 3 della board Zybo

La documentazione per questa struct è stata generata a partire dal seguente file:

- Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboSwitch.h

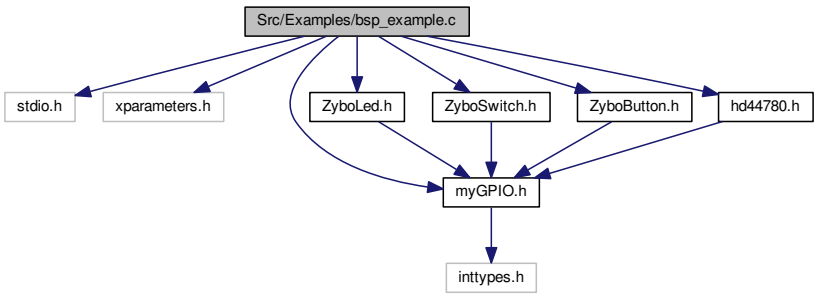
Capitolo 6

Documentazione dei file

6.1 Riferimenti per il file Src/Examples/bsp_example.c

```
#include <stdio.h>
#include "xparameters.h"
#include "myGPIO.h"
#include "ZyboLed.h"
#include "ZyboSwitch.h"
#include "ZyboButton.h"
#include "hd44780.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per bsp_example.c:



Funzioni

- int main ()

6.1.1 Documentazione delle funzioni

6.1.1.1 int main ( )

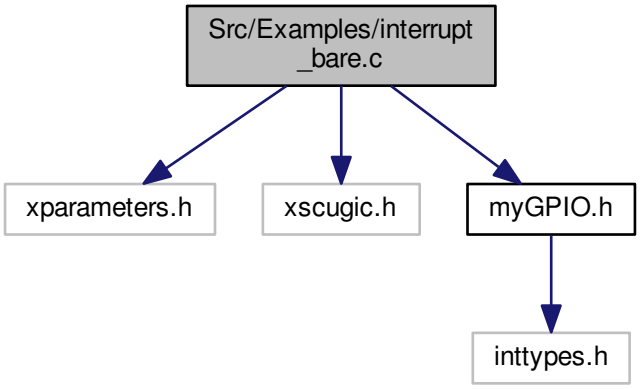
Esempi:

bsp_example.c.

6.2 Riferimenti per il file Src/Examples/interrupt_bare.c

```
#include "xparameters.h"
#include "xscugic.h"
#include "myGPIO.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per interrupt_bare.c:



Definizioni

- #define led_base_addr XPAR_MYGPIO_0_S00_AXI_BASEADDR
- #define btn_base_addr XPAR_MYGPIO_1_S00_AXI_BASEADDR
- #define swc_base_addr XPAR_MYGPIO_2_S00_AXI_BASEADDR
- #define led_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_0_INTERRUPT_INTR
- #define btn_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_1_INTERRUPT_INTR
- #define swc_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_2_INTERRUPT_INTR
- #define gic_id XPAR_SCUGIC_0_DEVICE_ID

Funzioni

- void gpio_init (void)
- void btn_isr (void ∗)
- void swc_isr (void ∗)
- int int_config (void)
- int main ()

Variabili

- myGPIO_t led_gpio
- myGPIO_t btn_gpio
- myGPIO_t swc_gpio
- XScuGic GIC

6.2.1 Documentazione delle definizioni

6.2.1.1 #define btn_base_addr XPAR_MYGPIO_1_S00_AXI_BASEADDR

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.1.2 #define btn_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_1_INTERRUPT_INTR

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.1.3 #define gic_id XPAR_SCUGIC_0_DEVICE_ID

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.1.4 #define led_base_addr XPAR_MYGPIO_0_S00_AXI_BASEADDR

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.1.5 #define led_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_0_INTERRUPT_INTR

6.2.1.6 #define swc_base_addr XPAR_MYGPIO_2_S00_AXI_BASEADDR

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.1.7 #define swc_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_2_INTERRUPT_INTR

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.2 Documentazione delle funzioni

6.2.2.1 void btn_isr (void * *data*)

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.2.2 void gpio_init (void)

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.2.3 int int_config (void)

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.2.4 int main ( )

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.2.5 void swc_isr (void * *data*)

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.3 Documentazione delle variabili

6.2.3.1 myGPIO_t btn_gpio

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.3.2 XScuGic GIC

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.3.3 myGPIO_t led_gpio

Esempi:

interrupt_bare.c.

6.2.3.4 myGPIO_t swc_gpio

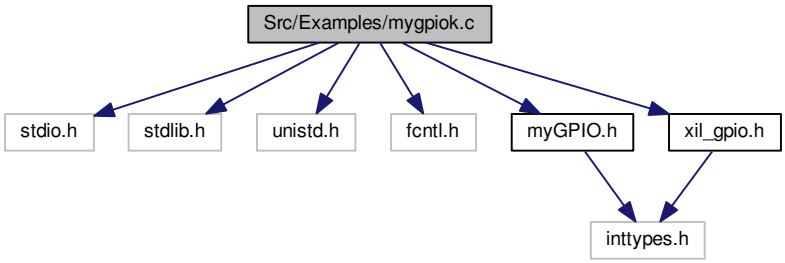
Esempi:

interrupt_bare.c.

6.3 Riferimenti per il file Src/Examples/mygpiok.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include "myGPIO.h"
#include "xil_gpio.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per mygpiok.c:



Strutture dati

- struct param_t

  La struttura raccoglie tutti i parametri di esecuzione del programma.

Definizioni

- #define MODE_OFFSET myGPIO_MODE_OFFSET
- #define WRITE_OFFSET myGPIO_WRITE_OFFSET
- #define READ_OFFSET myGPIO_READ_OFFSET

Funzioni

- void howto (void)

  Stampa un messaggio che fornisce indicazioni sull'utilizzo del programma.
- int parse_args (int argc, char ∗∗argv, param_t ∗param)

  Effettua il parsing dei parametri passati al programma.
- void gpio_op (param_t ∗param)

  Effettua operazioni su un device.
- int main (int argc, char ∗∗argv)

6.3.1 Documentazione delle definizioni

6.3.1.1 #define MODE_OFFSET myGPIO_MODE_OFFSET

Esempi:

mygpiok.c, noDriver.c, e uio.c.

6.3.1.2 #define READ_OFFSET myGPIO_READ_OFFSET

Esempi:

mygpiok.c, noDriver.c, e uio.c.

6.3.1.3 #define WRITE_OFFSET myGPIO_WRITE_OFFSET

Esempi:

mygpiok.c, noDriver.c, e uio.c.

6.3.2 Documentazione delle funzioni

6.3.2.1 void gpio_op (param_t * *param*)

Effettua operazioni su un device.

Parametri

in	*param*	puntatore a struttura param_t, contiene i vari parametri di esecuzione del programma.

La funzione viene invocata dopo che sia stato eseguito il parsing dei parametri passati al programma quando esso viene invocato. è stata scritta per funzionare sia con il GPIO Xilinx che con il GPIO custom myGPIO. è possibile utilizzare il primo definendo la macro **XIL_GPIO**. Effettua, sul device, le operazioni impostate, in accordo con i parametri passati al programma alla sua invocazione.
Nel caso un cui si usi un driver ad-hoc, è possibile usare le funzioni read() e write() per interagire con il device, leggendo il valore dei registri o scrivendolo. Il driver myGPIOK mette a disposizione anche la funzione seek() che permette di scegliere quale registro leggere o scrivere.

Impostazione della modalità di funzionamento

Per impostare la modalità di funzionamento è necessario scrivere sul registro MODE. L'offset di tale registro è determinato in base al particolare device che si stà utilizzando. Dopo aver spostato la "testina di scrittura" sul registro MODE usando la funzione seek(), viene effettuata la scrittura su di esso usando la funzione write(). è possibile, definendo la macro **USE_PWRITE**, usare la funzione pwrite(), che combina le due operazioni.

Operazione di scrittura

Per impostare il valore dei pin del device è necessario scrivere sul registro WRITE. L'offset di tale registro è determinato in base al particolare device che si stà utilizzando. Dopo aver spostato la "testina di scrittura" sul registro WRITE usando la funzione seek(), viene effettuata la scrittura su di esso usando la funzione write(). è possibile, definendo la macro **USE_PWRITE**, usare la funzione pwrite(), che combina le due operazioni.

Operazione di lettura con interrupt

La lettura dei pin del device avviene mediante la chiamata alla funzione read(), dopo aver spostato la "testina di lettura" sul registro READ. L'offset di tale registro, come nei due casi precedenti, viene determinato in base al particolare device che si sta usando. è possibile, definendo la macro **USE_PREAD**, usare la funzione pread(), che combina le operazioni di seek() e read(). Il driver myGPIOK implementa un meccanismo di lettura bloccante: qualora non ci siano dati disponibili, il processo che chiama read() viene sospeso e messo in attesa che i dati siano disponibili. Quando arriva una interruzione dal device, il driver myGPIOK lo gestisce e risveglia i processi che erano stati messi precedentemente in attesa. Si legga la documentazione del driver myGPIOK per i dettagli.

Esempi:

mygpiok.c.

6.3.2.2 void howto (void)

Stampa un messaggio che fornisce indicazioni sull'utilizzo del programma.

Esempi:

mygpiok.c.

6.3.2.3 int main (int *argc,* char ** *argv*)

Esempi:

mygpiok.c.

6.3.2.4 int parse_args (int *argc,* char ** *argv,* param_t * *param*)

Effettua il parsing dei parametri passati al programma.

Parametri

in	*argc*	
in	*argv*	
out	*param*	puntatore a struttura param_t, conterrà i vari parametri di esecuzione del programma.

Valori di ritorno

0	se il parsing ha successo
-1	se si verifica un errore

Parsing dei parametri del programma.

Il parsing viene effettuato usando la funzione getopt().

```
1 #include <unistd.h>
2 int getopt(int argc, char * const argv[], const char *optstring);
```

Essa prende in input i parametri argc ed argv passati alla funzione main() quando il programma viene invocato. Quando una delle stringhe che compongono argv comincia con il carattere '-', getopt() la considera una opzione. Il carattere immediatamente successivo il '-' identifica la particolare opzione. La funzione può essere chiamata ripetutamente, fino a quando non restituisce -1, ad indicare che sono stati analizzati tutti i parametri passati al programma. Quando getopt() trova un'opzione, restituisce quel carattere ed aggiorna la variabile globale optind, che punta al prossimo parametro contenuto in argv. La stringa optstring indica quali sono le opzioni considerate. Se una opzione è seguita da ':' vuol dire che essa è seguita da un argomento. Tale argomento può essere ottenuto mediante la variabile globale optarg.

Parametri riconosciuti

La funzione riconosce i parametri:

- 'd' : seguito dal percorso del device /dev/myGPIOK col quale interagire
- 'w' : operazione di scrittura, seguito dal valore che si intende scrivere, in esadecimale; la scrittura verrà effettuata sul registro WRITE;
- 'm' : impostazione modalità, seguito dalla modalità col quale impostare il device; la scrittura verrà effettuata sul registro MODE;

- 'r' : operazione di lettura, primo di argomento; la lettura viene effettuata dal registro READ ed è non bloccante, nel senso che viene semplicemente letto il contenuto del registro.

Se non viene specificato il device myGPIOK col quale interagire è impossibile continuare. Per questo motivo, in questo caso, la funzione restituisce -1, per cui il programma viene terminato.

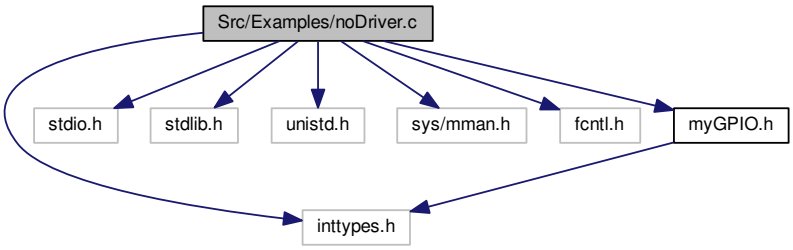
Esempi:

mygpiok.c.

6.4 Riferimenti per il file Src/Examples/noDriver.c

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#include <fcntl.h>
#include "myGPIO.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per noDriver.c:



Funzioni

- void howto (void)

  Stampa un messaggio che fornisce indicazioni sull'utilizzo del programma.
- int parse_args (int argc, char **argv, uint32_t *gpio_address, uint8_t *op_mode, uint32_t *mode_value, uint8_t *op_write, uint32_t *write_value, uint8_t *op_read)

  Effettua il parsing dei parametri passati al programma.
- void gpio_op (void *vrt_gpio_addr, uint8_t op_mode, uint32_t mode_value, uint8_t op_write, uint32_t write_value, uint8_t op_read)

  Effettua operazioni su un device.
- int main (int argc, char **argv)

  funzione main().

6.4.1 Documentazione delle funzioni

6.4.1.1 void gpio_op (void * *vrt_gpio_addr,* uint8_t *op_mode,* uint32_t *mode_value,* uint8_t *op_write,* uint32_t *write_value,* uint8_t *op_read*)

Effettua operazioni su un device.

Parametri

in	*vrt_gpio_addr*	indirizzo di memoria del device gpio
in	*op_mode*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
in	*mode_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
in	*op_write*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
in	*write_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro write
in	*op_read*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

La funzione viene invocata dopo che sia stato eseguito il parsing dei parametri passati al programma quando esso viene invocato. è stata scritta per funzionare sia con il GPIO Xilinx che con il GPIO custom myGPIO. è possibile utilizzare il primo definendo la macro **XIL_GPIO**. Effettua, sul device, le operazioni impostate, in accordo con i parametri passati al programma alla sua invocazione.

Impostazione della modalità di funzionamento

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di impostazione della modalità di funzionamento del GPIO vengono effettuate scrivendo direttamente sul registro MODE del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_setMode() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza.

Operazione di scrittura

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di scrittura del valore dei pin del device GPIO vengono effettuate scrivendo direttamente sul registro WRITE del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_setValue() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza.

Operazione di lettura

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di lettura del valore dei pin del device GPIO vengono effettuate leggendo direttamente dal registro READ del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_getRead() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza. La lettura è non bloccante: viene semplicemente letto il valore contenuto nel registro perché tale modalità di interazione non permette l'implementazione di un meccanismo di lettura basato su interruzioni.

Esempi:

noDriver.c.

6.4.1.2 void howto (void)

Stampa un messaggio che fornisce indicazioni sull'utilizzo del programma.

Esempi:

noDriver.c.

6.4.1.3 int main (int *argc,* char ∗∗ *argv*)

funzione main().

Parsing dei parametri di invocazione

Il parsing dei parametri passati al programma all'atto della sua invocazione viene effettuato dalla funzione parse_↩ args(). Si rimanda alla sua documentazione per i dettagli sui parametri riconosciuti.

Se non viene specificato l'indirizzo fisico del device al quale accedere è impossibile continuare. Per questo motivo, in questo caso, il programma viene terminato.

Apertura di /dev/mem

In questo specifico esempio l'interfacciamento avviene da user-space, agendo direttamente sui registri di memoria, senza mediazione di altri driver, usando il device /dev/mem. Questo presuppone che si sia nelle condizioni di poter calcolare dell'indirizzo di memoria virtuale del device.
L'accesso al device /dev/mem viene ottenuto mediante la system-call open():

```
1 #include <sys/stat.h>
2 #include <fcntl.h>
3 int open(const char *path, int oflag, ...  );
```

la quale restituisce il descrittore del file /dev/mem, usato nel seguito per effettuare le operazioni di I/O. I valori del parametro oflag specificano il modo in cui il file /dev/mem viene aperto. In questo caso viene usato O_RDWR, il quale garantisce accesso in lettura ed in scrittura. Altri valori sono O_RDONLY, il quale garantisce accesso in sola lettura, ed O_WRONLY, che, invece, garantisce accesso in sola scrittura.

Calcolo dell'indirizzo virtuale del device.

Linux implementa la segregazione della memoria. Vale a dire che un processo può accedere solo agli indirizzo di memoria (virtuali) appartenenti al suo address-space. Se è necessario effettuare un accesso ad un indirizzo specifico, bisogna effettuare il mapping di quell'indirizzo nell'address space del processo. Linux implementa la paginazione della memoria, quindi l'indirizzo del quale si desidera effettuare il mapping, apparterrà ad una specifica pagina di memoria. Per sapere a quale pagina appartenga l'idirizzo, è necessario conoscere quale sia la dimensione delle pagine di memoria. Tipicamente la dimensione delle pagine è una potenza del due. Si supponga che l'indirizzo di cui si vuole fare il mapping è **0x43C002F0** e che la dimensione delle pagine sia 16KB. Scrivendo la dimensione delle pagine in esadecimale

0x00002000

sottraendo 1

0x00001FFF

negando

0xFFFFE000

si ottiene una maschera che, posta in and con un indirizzo, restituisce l'indirizzo della pagina di memoria a cui l'indirizzo appartiene. In questo caso

0x43C002F0 & 0xFFFFE000 = 0x43C00000

L'indirizzo della pagina potrà essere usato per il mapping, ma per accedere allo specifico indirizzo è necessario calcolarne l'offset, sottraengogli l'indirizzo della pagina. In questo modo, dopo aver effettuato il mapping, si potrà accedere allo stesso a partire dall'indirizzo virtuale della pagina stessa.

Conversione dell'indirizzo fisico in indirizzo virtuale

La "conversione" dell'indirizzo fisico del device in indirizzo virtuale appartenente allo spazio di indirizzamento del processo viene effettuato tramite la chiamata alla funzione mmap(), la quale stabilisce un mapping tra lo spazio di indirizzamento di un processo ed un file, una porzione di memoria condivisa o un qualsiasi altro memory-object, restituendo un indirizzo virtuale valido, attraverso il quale è possibile accedere al blocco di memoria fisico.

```
1 #include <sys/mman.h>
2 void *mmap(void *addr, size_t len, int prot, int flags, int fildes, off_t off);
```

Per semplicità supponiamo che la chiamata alla funzione sia la seguente:

pa=mmap(addr, len, prot, flags, fildes, off);

la semantica dei diversi parametri è:

- pa: indirizzo virtuale dell'address-space locale del processo, a cui viene eseguito il map; se il mapping ha successo viene restituito qualcosa di diverso da MAP_FAILED;
- addr:
- len: lunghezza, in byte, del blocco mappato; in questo caso viene usato il valore restituito da sysconf(_SC↩_PAGESIZE);
- prot: specifica i permessi di accesso al blocco di memoria del quale si sta facendo il mapping;
  - PROT_READ indica che il blocco può essere letto;
  - PROT_WRITE indica che il blocco può essere scritto;
  - PROT_NONE sta ad indicare che il blocco non può essere acceduto;
- flags:fornisce informazioni aggiuntive circa la gestione del blocco di dati di cui si sta facendo il mapping; il valore del flag può essere uno dei seguenti:
  - MAP_SHARED: modifiche al blocco sono condivise con chiunque altri lo stia usando;
  - MAP_PRIVATE: le modifiche sono primate;
- filedes: descrittore del file /dev/mem
- off: indirizzo fisico del blocco che si intente mappare; è necessario che sia allineato alla dimensione della pagina di memoria, così come restituito dalla funzione sysconf(_SC_PAGESIZE);

In questo caso la chiamata a mmap avviene con i seguenti parametri:

```
1 uint32_t page_size = sysconf(_SC_PAGESIZE);     // dimensione della pagina
2 uint32_t page_mask = ~(page_size-1);            // maschera di conversione indirizzo -> indirizzo pagina
3 uint32_t page_addr = gpio_addr & page_mask;     // indirizzo della "pagina fisica" a cui è mappato il
      device
4 uint32_t offset = gpio_addr - page_addr;        // offset del device rispetto all'indirizzo della pagina
5 void* vrt_page_addr = mmap(NULL, page_size, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, descriptor, page_addr) +
      offset;
```

Operazioni sul device

Una volta effettuato il mapping, le operazioni preventivate con l'invocazione del programma vengono effettuate dalla funzione gpio_op(). Si rimanda alla sua documentazione per i dettagli sulle operazioni effettuate().

Esempi:

noDriver.c.

6.4.1.4 int parse_args (int *argc,* char ∗∗ *argv,* uint32_t ∗ *gpio_address,* uint8_t ∗ *op_mode,* uint32_t ∗ *mode_value,* uint8_t ∗ *op_write,* uint32_t ∗ *write_value,* uint8_t ∗ *op_read*)

Effettua il parsing dei parametri passati al programma.

Parametri

in	*argc*	
in	*argv*	
out	*gpio_address*	conterrà l'indirizzo di memoria del device gpio
out	*op_mode*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
out	*mode_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
out	*op_write*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
out	*write_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro write
out	*op_read*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

Valori di ritorno

0	se il parsing ha successo
-1	se si verifica un errore

Parsing dei parametri del programma.

Il parsing viene effettuato usando la funzione getopt().

```
1 #include <unistd.h>
2 int getopt(int argc, char * const argv[], const char *optstring);
```

Essa prende in input i parametri argc ed argv passati alla funzione main() quando il programma viene invocato. Quando una delle stringhe che compongono argv comincia con il carattere '-', getopt() la considera una opzione. Il carattere immediatamente successivo il '-' identifica la particolare opzione. La funzione può essere chiamata ripetutamente, fino a quando non restituisce -1, ad indicare che sono stati analizzati tutti i parametri passati al programma. Quando getopt() trova un'opzione, restituisce quel carattere ed aggiorna la variabile globale optind, che punta al prossimo parametro contenuto in argv. La stringa optstring indica quali sono le opzioni considerate. Se una opzione è seguita da ':' vuol dire che essa è seguita da un argomento. Tale argomento può essere ottenuto mediante la variabile globale optarg.

Parametri riconosciuti

La funzione riconosce i parametri:

- 'à : seguito dall'indirizzo fisico della periferica con la quale interagire, il quale può essere indicato in esadecimale;
- 'w' : operazione di scrittura, seguito dal valore che si intende scrivere, in esadecimale; la scrittura verrà effettuata sul registro WRITE;
- 'm' : impostazione modalità, seguito dalla modalità col quale impostare il device; la scrittura verrà effettuata sul registro MODE;
- 'r' : operazione di lettura, primo di argomento; la lettura viene effettuata dal registro READ ed è non bloccante, nel senso che viene semplicemente letto il contenuto del registro.

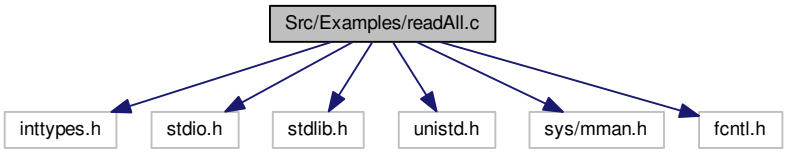
Esempi:

noDriver.c.

6.5 Riferimenti per il file Src/Examples/readAll.c

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#include <fcntl.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per readAll.c:



Funzioni

- void howto (void)
- int parse_args (int argc, char **argv, uint32_t *gpio_address, uint32_t *max_offset)
- int main (int argc, char **argv)

6.5.1 Documentazione delle funzioni

6.5.1.1 void howto (void)

Esempi:

readAll.c.

6.5.1.2 int main (int *argc,* char ** *argv*)

Esempi:

readAll.c.

6.5.1.3 int parse_args (int *argc,* char ** *argv,* uint32_t * *gpio_address,* uint32_t * *max_offset*)

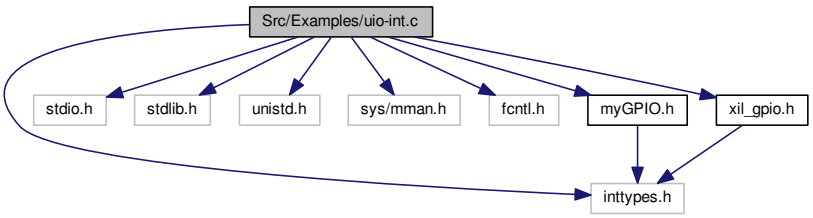
Esempi:

readAll.c.

6.6 Riferimenti per il file Src/Examples/uio-int.c

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#include <fcntl.h>
#include "myGPIO.h"
#include "xil_gpio.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per uio-int.c:



Funzioni

- void howto (void)

  Stampa un messaggio che fornisce indicazioni sull'utilizzo del programma.

- int parse_args (int argc, char **argv, char **uio, uint8_t *op_mode, uint32_t *mode_value, uint8_t *op_write, uint32_t *write_value, uint8_t *op_read)

  Effettua il parsing dei parametri passati al programma.

- void gpio_op (void *vrt_gpio_addr, int uio_descriptor, uint8_t op_mode, uint32_t mode_value, uint8_t op_write, uint32_t write_value, uint8_t op_read)

  Effettua operazioni su un device.

- int main (int argc, char **argv)

  funzione main().

6.6.1 Documentazione delle funzioni

6.6.1.1 void gpio_op (void * *vrt_gpio_addr*, int *uio_descriptor*, uint8_t *op_mode*, uint32_t *mode_value*, uint8_t *op_write*, uint32_t *write_value*, uint8_t *op_read*)

Effettua operazioni su un device.

Parametri

in	*vrt_gpio_addr*	indirizzo di memoria del device gpio
in	*uio_descriptor*	descrittore del file /dev/uioX usato
in	*op_mode*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
in	*mode_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
in	*op_write*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
in	*write_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro write
in	*op_read*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

La funzione viene invocata dopo che sia stato eseguito il parsing dei parametri passati al programma quando esso viene invocato. è stata scritta per funzionare sia con il GPIO Xilinx che con il GPIO custom myGPIO. è possibile utilizzare il primo definendo la macro **XIL_GPIO**. Effettua, sul device, le operazioni impostate, in accordo con i parametri passati al programma alla sua invocazione.

Impostazione della modalità di funzionamento

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di impostazione della modalità di funzionamento del GPIO vengono effettuate scrivendo direttamente sul registro MODE del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_setMode() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza.

Operazione di scrittura

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di scrittura del valore dei pin del device GPIO vengono effettuate scrivendo direttamente sul registro WRITE del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_setValue() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza.

Operazione di lettura con interrupt

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di lettura del valore dei pin del device GPIO vengono effettuate leggendo direttamente dal registro READ del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_getRead() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza. **La lettura avviene usando il meccanismo delle interruzioni**

NOTA: la parte di codice per il GPIO Xilinx è stata scritta per hardware configurato in modo che il channel 1 del gpio fosse connessi esclusivamente ai led,mentre switch e button fossero connessi al channel 2 dello stesso GPIO. Il channel 1 ha dimensione 4 bit, mentre il channel 2 è da 8 bit.

Attesa dell'arrivo di una interruzione

Gli interrupt sono gestiti effettuando una lettura bloccante su /dev/uioX. Una read() su /dev/uioX fa in modo che il processo venga sospeso ed inserito nella cosa dei processi in attesa di un evento su quel file. Appena l'interrupt si manifesta, il processo viene posto nella cosa dei processi pronti. La funzione read() consente di ottenere anche il numero totale di interrupt manifestatisi su quella particolare periferica. La read() restituisce il numero di interrupt che si sono manifestati. Quando un device possiede più di una sorgente di interrupt interna, ma non possiede maschere IRQ differenti o registri di stato differenti, potrebbe essere impossibile, per un programma in userspace, determinare quale sia la sorgente di interrupt se l'handler implementato nel kernel le disabilita scrivendo nei registri.

In questo caso è stato ritenuto opportuno, a titolo di esempio, mostrare come sia possibile bloccare il programma, dopo aver "servito" l'interruzione scatenata alla pressione di un tasto, fino a quando il tasto (o i tasti) premuti non siano riportati alla posizione di riposo. Lo stato del registro READ della periferica viene ripetutamente letto all'interno di un hot-loop, fino a quando non assume valore nullo. In tal caso si ha la certezza che i button o gli switch, in questo caso, siano stati riportati alla posizione di riposo. Si tenga presente che il device GPIO Xilinx generata una interruzione sia alla pressione che al rilascio di uno dei button o di uno degli switch

Dopo che button e switch siano stati riportati alla posizione di riposo, viene inviato l'ack al device, per segnalargli che l'interrupt è stato servito.

Riabilitare gli interrupt UIO

Per lasciare inalterati i registri della periferica il kernel deve disabilitare completamente le interruzioni per la linea di interrupt cui la periferica è connessa, in modo che il programma userspace possa determinare la causa scatenante l'interruzione. Una volta terminate le operazioni, però, il programma userspace non può riabilitare le interruzioni, motivo per cui il driver implementa anche una funzione write(). La funzione write(), chiamata su /dev/uioX, consente di riabilitare le interruzioni per quella specifica periferica, scrivendo 1.

Esempi:

uio-int.c.

6.6.1.2 void howto (void)

Stampa un messaggio che fornisce indicazioni sull'utilizzo del programma.

Esempi:

uio-int.c.

6.6.1.3 int main (int *argc,* char ** *argv*)

funzione main().

Parsing dei parametri di invocazione

Il parsing dei parametri passati al programma all'atto della sua invocazione viene effettuato dalla funzione parse_↩ args(). Si rimanda alla sua documentazione per i dettagli sui parametri riconosciuti.

Se non viene specificato il device UIO col quale interagire è impossibile continuare. Per questo motivo, in questo caso, il programma viene terminato.

Accesso ad un device /dev/uioX

Il driver generic-UIO è il driver generico per eccellenza. Ad ogni periferica compatibile con UIO è associato un file diverso in /dev/uioX attraverso il quale è possibile raggiungere il device. Tale file sarà /dev/uio0 per il primo device, /dev/uio1 per il secondo, /dev/uio2 per il terzo e così via. on for subsequent devices. Tale file può essere usato per accedere allo spazio degli indirizzi del device usando mmap().

In questo caso, rispetto all'esempio noDriver, accedere al device è estremamente più semplice. Se il device è compatibile con il driver UIO, è possibile "aprire" un file in /dev/uioX, effettuare il mapping, connettendo il device allo spazio di indirizzamento del processo, senza la necessità di conoscere l'indirizzo fisico della periferica col quale di intende comunicare.

L'accesso al device /dev/uioX viene ottenuto mediante la system-call open():

```
1 #include <sys/stat.h>
2 #include <fcntl.h>
3 int open(const char *path, int oflag, ...  );
```

la quale restituisce il descrittore del file /dev/uioX, usato nel seguito per effettuare le operazioni di I/O. I valori del parametro oflag specificano il modo in cui il file /dev/uioX viene aperto. In questo caso viene usato O_RDWR, il quale garantisce accesso in lettura ed in scrittura. Altri valori sono O_RDONLY, il quale garantisce accesso in sola lettura, ed O_WRONLY, che, invece, garantisce accesso in sola scrittura.

Mapping un device /dev/uioX

La "conversione" dell'indirizzo fisico del device in indirizzo virtuale appartenente allo spazio di indirizzamento del processo viene effettuato tramite la chiamata alla funzione mmap(), la quale stabilisce un mapping tra lo spazio di indirizzamento di un processo ed un file, una porzione di memoria condivisa o un qualsiasi altro memory-object, restituendo un indirizzo virtuale valido, attraverso il quale è possibile accedere al blocco di memoria fisico.

```
1 #include <sys/mman.h>
2 void *mmap(void *addr, size_t len, int prot, int flags, int fildes, off_t off);
```

Per semplicità supponiamo che la chiamata alla funzione sia la seguente:

pa=mmap(addr, len, prot, flags, fildes, off);

la semantica dei diversi parametri è:

- pa: indirizzo virtuale dell'address-space locale del processo, a cui viene eseguito il map; se il mapping ha successo viene restituito qualcosa di diverso da MAP_FAILED;
- addr:
- len: lunghezza, in byte, del blocco mappato; in questo caso viene usato il valore restituito da sysconf(_SC↩ _PAGESIZE);
- prot: specifica i permessi di accesso al blocco di memoria del quale si sta facendo il mapping;
  - PROT_READ indica che il blocco può essere letto;

  - PROT_WRITE indica che il blocco può essere scritto;
  - PROT_NONE sta ad indicare che il blocco non può essere acceduto;

- flags:fornisce informazioni aggiuntive circa la gestione del blocco di dati di cui si sta facendo il mapping; il valore del flag può essere uno dei seguenti:
  - MAP_SHARED: modifiche al blocco sono condivise con chiunque altri lo stia usando;
  - MAP_PRIVATE: le modifiche sono primate;

- filedes: descrittore del file /dev/mem
- off: indirizzo fisico del blocco che si intente mappare; è necessario che sia allineato alla dimensione della pagina di memoria, così come restituito dalla funzione sysconf(_SC_PAGESIZE);

In questo caso la chiamata a mmap avviene con i seguenti parametri:

```
1 uint32_t page_size = sysconf(_SC_PAGESIZE);     // dimensione della pagina
2 void* vrt_gpio_addr = mmap(NULL, page_size, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, descriptor, 0);
```

Rispetto al "driver" nodriver, la chiamata differisce per un solo perticolare: essendo descriptor il descrittore di uioX, e l'offset specificato nullo, la funzione restituisce direttamente l'indirizzo virtuale del device nello spazio di indirizzamento del processo.

Operazioni sul device

Una volta effettuato il mapping, le operazioni preventivate con l'invocazione del programma vengono effettuate dalla funzione gpio_op(). Si rimanda alla sua documentazione per i dettagli sulle operazioni effettuate().

Esempi:

uio-int.c.

6.6.1.4 int parse_args (int *argc,* char ∗∗ *argv,* char ∗∗ *uio,* uint8_t ∗ *op_mode,* uint32_t ∗ *mode_value,* uint8_t ∗ *op_write,* uint32_t ∗ *write_value,* uint8_t ∗ *op_read*)

Effettua il parsing dei parametri passati al programma.

Parametri

in	*argc*	
in	*argv*	
out	*uio_file*	file uio da usare
out	*op_mode*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
out	*mode_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
out	*op_write*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
out	*write_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro write
out	*op_read*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

Valori di ritorno

0	se il parsing ha successo
-1	se si verifica un errore

Parsing dei parametri del programma.

Il parsing viene effettuato usando la funzione getopt().

```
1 #include <unistd.h>
2 int getopt(int argc, char * const argv[], const char *optstring);
```

Essa prende in input i parametri argc ed argv passati alla funzione main() quando il programma viene invocato. Quando una delle stringhe che compongono argv comincia con il carattere '-', getopt() la considera una opzione. Il carattere immediatamente successivo il '-' identifica la particolare opzione. La funzione può essere chiamata ripetutamente, fino a quando non restituisce -1, ad indicare che sono stati analizzati tutti i parametri passati al programma. Quando getopt() trova un'opzione, restituisce quel carattere ed aggiorna la variabile globale optind, che punta al prossimo parametro contenuto in argv. La stringa optstring indica quali sono le opzioni considerate. Se una opzione è seguita da ':' vuol dire che essa è seguita da un argomento. Tale argomento può essere ottenuto mediante la variabile globale optarg.

Parametri riconosciuti

La funzione riconosce i parametri:

- 'd' : seguito dal percordo del device /dev/uioX col quale interagire
- 'w' : operazione di scrittura, seguito dal valore che si intende scrivere, in esadecimale; la scrittura verrà effettuata sul registro WRITE;
- 'm' : impostazione modalità, seguito dalla modalità col quale impostare il device; la scrittura verrà effettuata sul registro MODE;
- 'r' : operazione di lettura, primo di argomento; la lettura viene effettuata dal registro READ ed è non bloccante, nel senso che viene semplicemente letto il contenuto del registro.

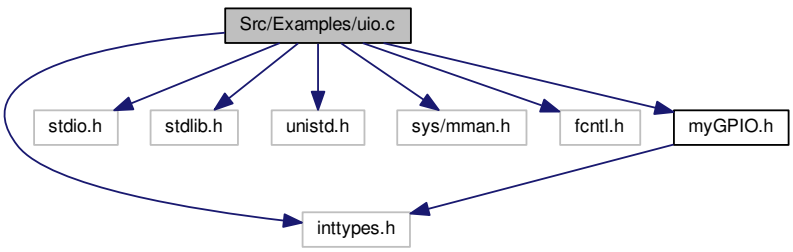
Esempi:

uio-int.c.

6.7 Riferimenti per il file Src/Examples/uio.c

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#include <fcntl.h>
#include "myGPIO.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per uio.c:



Funzioni

- void howto (void)

  Stampa un messaggio che fornisce indicazioni sull'utilizzo del programma.

- int parse_args (int argc, char **argv, char **uio, uint8_t *op_mode, uint32_t *mode_value, uint8_t *op_write, uint32_t *write_value, uint8_t *op_read)

  Effettua il parsing dei parametri passati al programma.
- void gpio_op (void *vrt_gpio_addr, uint8_t op_mode, uint32_t mode_value, uint8_t op_write, uint32_t write_value, uint8_t op_read)

  Effettua operazioni su un device.
- int main (int argc, char **argv)

  funzione main().

6.7.1 Documentazione delle funzioni

6.7.1.1 void gpio_op (void * *vrt_gpio_addr,* uint8_t *op_mode,* uint32_t *mode_value,* uint8_t *op_write,* uint32_t *write_value,* uint8_t *op_read*)

Effettua operazioni su un device.

Parametri

in	*vrt_gpio_addr*	indirizzo di memoria del device gpio
in	*op_mode*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
in	*mode_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
in	*op_write*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
in	*write_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro write
in	*op_read*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

La funzione viene invocata dopo che sia stato eseguito il parsing dei parametri passati al programma quando esso viene invocato. è stata scritta per funzionare sia con il GPIO Xilinx che con il GPIO custom myGPIO. è possibile utilizzare il primo definendo la macro **XIL_GPIO**. Effettua, sul device, le operazioni impostate, in accordo con i parametri passati al programma alla sua invocazione.

Impostazione della modalità di funzionamento

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di impostazione della modalità di funzionamento del GPIO vengono effettuate scrivendo direttamente sul registro MODE del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_setMode() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza.

Operazione di scrittura

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di scrittura del valore dei pin del device GPIO vengono effettuate scrivendo direttamente sul registro WRITE del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_setValue() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza.

Operazione di lettura

Nel caso in cui si stia operando su un device GPIO Xilinx, le operazioni di lettura del valore dei pin del device GPIO vengono effettuate leggendo direttamente dal registro READ del device. In caso contrario si è preferito utilizzare la funzioni myGPIO_getRead() (Si veda il modulo myGPIO). Funzionalmente non c'è differenza. La lettura è non bloccante: viene semplicemente letto il valore contenuto nel registro. UIO permette l'implementazione di meccanismi di lettura basati su interruzione, ma in questo caso, per semplicità, tale meccanismo è stato omesso. Si veda il modulo UIO-interrupt.

Esempi:

uio.c.

6.7.1.2 void howto (void)

Stampa un messaggio che fornisce indicazioni sull'utilizzo del programma.

Esempi:

uio.c.

6.7.1.3 int main (int *argc,* char ∗∗ *argv*)

funzione main().

Parsing dei parametri di invocazione

Il parsing dei parametri passati al programma all'atto della sua invocazione viene effettuato dalla funzione parse_↩ args(). Si rimanda alla sua documentazione per i dettagli sui parametri riconosciuti.

Se non viene specificato il device UIO col quale interagire è impossibile continuare. Per questo motivo, in questo caso, il programma viene terminato.

Accesso ad un device /dev/uioX

Il driver generic-UIO è il driver generico per eccellenza. Ad ogni periferica compatibile con UIO è associato un file diverso in /dev/uioX attraverso il quale è possibile raggiungere il device. Tale file sarà /dev/uio0 per il primo device, /dev/uio1 per il secondo, /dev/uio2 per il terzo e così via. on for subsequent devices. Tale file può essere usato per accedere allo spazio degli indirizzi del device usando mmap().

In questo caso, rispetto all'esempio noDriver, accedere al device è estremamente più semplice. Se il device è compatibile con il driver UIO, è possibile "aprire" un file in /dev/uioX, effettuare il mapping, connettendo il device allo spazio di indirizzamento del processo, senza la necessità di conoscere l'indirizzo fisico della periferica col quale di intende comunicare.

L'accesso al device /dev/uioX viene ottenuto mediante la system-call open():

```
1 #include <sys/stat.h>
2 #include <fcntl.h>
3 int open(const char *path, int oflag, ...  );
```

la quale restituisce il descrittore del file /dev/uioX, usato nel seguito per effettuare le operazioni di I/O. I valori del parametro oflag specificano il modo in cui il file /dev/uioX viene aperto. In questo caso viene usato O_RDWR, il quale garantisce accesso in lettura ed in scrittura. Altri valori sono O_RDONLY, il quale garantisce accesso in sola lettura, ed O_WRONLY, che, invece, garantisce accesso in sola scrittura.

Mapping un device /dev/uioX

La "conversione" dell'indirizzo fisico del device in indirizzo virtuale appartenente allo spazio di indirizzamento del processo viene effettuato tramite la chiamata alla funzione mmap(), la quale stabilisce un mapping tra lo spazio di indirizzamento di un processo ed un file, una porzione di memoria condivisa o un qualsiasi altro memory-object, restituendo un indirizzo virtuale valido, attraverso il quale è possibile accedere al blocco di memoria fisico.

```
1 #include <sys/mman.h>
2 void *mmap(void *addr, size_t len, int prot, int flags, int fildes, off_t off);
```

Per semplicità supponiamo che la chiamata alla funzione sia la seguente:

pa=mmap(addr, len, prot, flags, fildes, off);

la semantica dei diversi parametri è:

- pa: indirizzo virtuale dell'address-space locale del processo, a cui viene eseguito il map; se il mapping ha successo viene restituito qualcosa di diverso da MAP_FAILED;
- addr:
- len: lunghezza, in byte, del blocco mappato; in questo caso viene usato il valore restituito da sysconf(_SC↩ _PAGESIZE);

- prot: specifica i permessi di accesso al blocco di memoria del quale si sta facendo il mapping;
  - PROT_READ indica che il blocco può essere letto;
  - PROT_WRITE indica che il blocco può essere scritto;
  - PROT_NONE sta ad indicare che il blocco non può essere acceduto;
- flags:fornisce informazioni aggiuntive circa la gestione del blocco di dati di cui si sta facendo il mapping; il valore del flag può essere uno dei seguenti:
  - MAP_SHARED: modifiche al blocco sono condivise con chiunque altri lo stia usando;
  - MAP_PRIVATE: le modifiche sono primate;
- filedes: descrittore del file /dev/mem
- off: indirizzo fisico del blocco che si intente mappare; è necessario che sia allineato alla dimensione della pagina di memoria, così come restituito dalla funzione sysconf(_SC_PAGESIZE);

In questo caso la chiamata a mmap avviene con i seguenti parametri:

```
1 uint32_t page_size = sysconf(_SC_PAGESIZE);     // dimensione della pagina
2 void* vrt_gpio_addr = mmap(NULL, page_size, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, descriptor, 0);
```

Rispetto al "driver" nodriver, la chiamata differisce per un solo perticolare: essendo descriptor il descrittore di uioX, e l'offset specificato nullo, la funzione restituisce direttamente l'indirizzo virtuale del device nello spazio di indirizzamento del processo.

Operazioni sul device

Una volta effettuato il mapping, le operazioni preventivate con l'invocazione del programma vengono effettuate dalla funzione gpio_op(). Si rimanda alla sua documentazione per i dettagli sulle operazioni effettuate().

Esempi:

uio.c.

6.7.1.4 int parse_args (int *argc*, char ** *argv*, char ** *uio*, uint8_t * *op_mode*, uint32_t * *mode_value*, uint8_t * *op_write*, uint32_t * *write_value*, uint8_t * *op_read*)

Effettua il parsing dei parametri passati al programma.

Parametri

in	*argc*	
in	*argv*	
out	*uio_file*	file uio da usare
out	*op_mode*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
out	*mode_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
out	*op_write*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
out	*write_value*	conterrà il valore che l'utente intende scrivere nel registro write
out	*op_read*	sarà impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

Valori di ritorno

0	se il parsing ha successo

-1	se si verifica un errore

Parsing dei parametri del programma.

Il parsing viene effettuato usando la funzione getopt().

```
1 #include <unistd.h>
2 int getopt(int argc, char * const argv[], const char *optstring);
```

Essa prende in input i parametri argc ed argv passati alla funzione main() quando il programma viene invocato. Quando una delle stringhe che compongono argv comincia con il carattere '-', getopt() la considera una opzione. Il carattere immediatamente successivo il '-' identifica la particolare opzione. La funzione può essere chiamata ripetutamente, fino a quando non restituisce -1, ad indicare che sono stati analizzati tutti i parametri passati al programma. Quando getopt() trova un'opzione, restituisce quel carattere ed aggiorna la variabile globale optind, che punta al prossimo parametro contenuto in argv. La stringa optstring indica quali sono le opzioni considerate. Se una opzione è seguita da ':' vuol dire che essa è seguita da un argomento. Tale argomento può essere ottenuto mediante la variabile globale optarg.

Parametri riconosciuti

La funzione riconosce i parametri:

- 'd' : seguito dal percordo del device /dev/uioX col quale interagire
- 'w' : operazione di scrittura, seguito dal valore che si intende scrivere, in esadecimale; la scrittura verrà effettuata sul registro WRITE;
- 'm' : impostazione modalità, seguito dalla modalità col quale impostare il device; la scrittura verrà effettuata sul registro MODE;
- 'r' : operazione di lettura, primo di argomento; la lettura viene effettuata dal registro READ ed è non bloccante, nel senso che viene semplicemente letto il contenuto del registro.

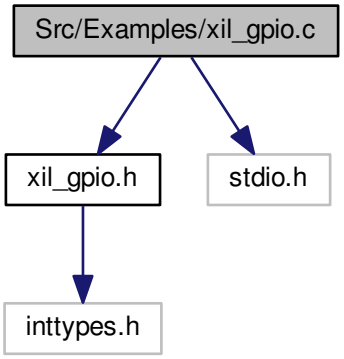
Esempi:

uio.c.

6.8 Riferimenti per il file Src/Examples/xil_gpio.c

```
#include "xil_gpio.h"
#include <stdio.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per xil_gpio.c:



Funzioni

- int XilGpio_Global_Interrupt (uint32_t ∗baseAddress, uint32_t mask)
- int XilGpio_Channel_Interrupt (uint32_t ∗baseAddress, uint32_t mask)
- int XilGpio_Ack_Interrupt (uint32_t ∗baseAddress, uint32_t channel)

6.8.1 Documentazione delle funzioni

6.8.1.1 int XilGpio_Ack_Interrupt (uint32_t ∗ *baseAddress*, uint32_t *channel*)

Esempi:

uio-int.c.

6.8.1.2 int XilGpio_Channel_Interrupt (uint32_t ∗ *baseAddress*, uint32_t *mask*)

Esempi:

uio-int.c.

6.8.1.3 int XilGpio_Global_Interrupt (uint32_t ∗ *baseAddress*, uint32_t *mask*)

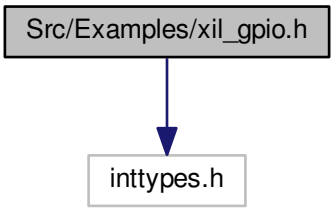
Esempi:

uio-int.c.

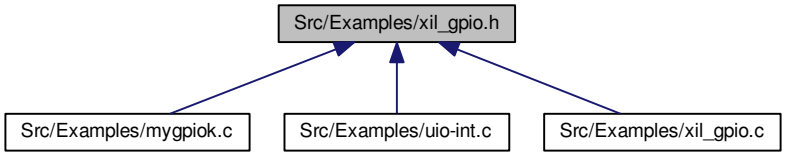
6.9 Riferimenti per il file Src/Examples/xil_gpio.h

```
#include <inttypes.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per xil_gpio.h:



Questo grafo mostra quali altri file includono direttamente o indirettamente questo file:



Definizioni

- #define XGPIO_GIE_GINTR_ENABLE_MASK 0x80000000
- #define GPIO_DATA_OFFSET 0x00
- #define GPIO_TRI_OFFSET 0x04
- #define GPIO_READ_OFFSET 0x08
- #define XGPIO_GIE_OFFSET 0x11C
- #define XGPIO_ISR_OFFSET 0x120
- #define XGPIO_IER_OFFSET 0x128
- #define GLOBAL_INTR_ENABLE XGPIO_GIE_GINTR_ENABLE_MASK
- #define CHANNEL1_INTR_ENABLE 0x00000001
- #define CHANNEL2_INTR_ENABLE 0x00000002
- #define GLOBAL_INTR_DISABLE 0x00000000
- #define CHANNEL1_INTR_DISABLE 0x00000000
- #define CHANNEL2_INTR_DISABLE 0x00000000
- #define CHANNEL1_ACK 0x01
- #define CHANNEL2_ACK 0x02
- #define GPIO_MAP_SIZE 0x10000

Funzioni

- int XilGpio_Global_Interrupt (uint32_t *baseAddress, uint32_t mask)
- int XilGpio_Channel_Interrupt (uint32_t *baseAddress, uint32_t mask)
- int XilGpio_Ack_Interrupt (uint32_t *baseAddress, uint32_t channel)

6.9.1 Documentazione delle definizioni

6.9.1.1 #define CHANNEL1_ACK 0x01

6.9.1.2 #define CHANNEL1_INTR_DISABLE 0x00000000

6.9.1.3 #define CHANNEL1_INTR_ENABLE 0x00000001

6.9.1.4 #define CHANNEL2_ACK 0x02

Esempi:

uio-int.c.

6.9.1.5 #define CHANNEL2_INTR_DISABLE 0x00000000

Esempi:

uio-int.c.

6.9.1.6 #define CHANNEL2_INTR_ENABLE 0x00000002

Esempi:

uio-int.c.

6.9.1.7 #define GLOBAL_INTR_DISABLE 0x00000000

Esempi:

uio-int.c.

6.9.1.8 #define GLOBAL_INTR_ENABLE XGPIO_GIE_GINTR_ENABLE_MASK

Esempi:

uio-int.c.

6.9.1.9 #define GPIO_DATA_OFFSET 0x00

Esempi:

uio-int.c.

6.9.1.10 #define GPIO_MAP_SIZE 0x10000

6.9.1.11 #define GPIO_READ_OFFSET 0x08

Esempi:

uio-int.c.

6.9.1.12 #define GPIO_TRI_OFFSET 0x04

Esempi:

uio-int.c.

6.9.1.13 #define XGPIO_GIE_GINTR_ENABLE_MASK 0x80000000

6.9.1.14 #define XGPIO_GIE_OFFSET 0x11C

Glogal interrupt enable register

6.9.1.15 #define XGPIO_IER_OFFSET 0x128

Interrupt enable register

6.9.1.16 #define XGPIO_ISR_OFFSET 0x120

Interrupt status register

6.9.2 Documentazione delle funzioni

6.9.2.1 int XilGpio_Ack_Interrupt (uint32_t * *baseAddress*, uint32_t *channel*)

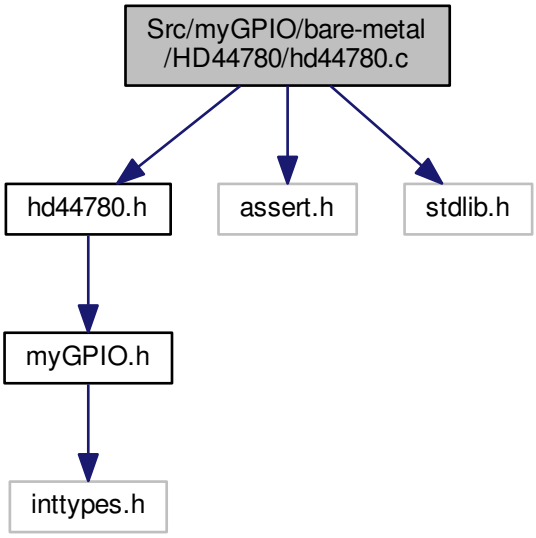
6.9.2.2 int XilGpio_Channel_Interrupt (uint32_t * *baseAddress*, uint32_t *mask*)

6.9.2.3 int XilGpio_Global_Interrupt (uint32_t * *baseAddress*, uint32_t *mask*)

6.10 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/HD44780/hd44780.c

```
#include "hd44780.h"
#include <assert.h>
#include <stdlib.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per hd44780.c:



Definizioni

- #define HD44780_clear 0x01
- #define HD44780_home 0x02
- #define HD44780_row1 0x80
- #define HD44780_row2 0xC0
- #define HD44780_cursor_r 0x14
- #define HD44780_cursor_l 0x10
- #define HD44780_display_off 0x08
- #define HD44780_cursor_off 0x0C
- #define HD44780_cursor_on 0x0E
- #define HD44780_cursor_blink 0x0F
- #define HD44780_clear 0x01
- #define HD44780_dec_no_shift 0x04
- #define HD44780_dec_shift 0x05
- #define HD44780_inc_no_shift 0x06
- #define HD44780_inc_shift 0x07
- #define timer_wait_ms(ms) usleep(ms<<10)
- #define timer_wait_us(us) usleep(us)
- #define lcd_command(lcd) myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->RS, myGPIO_reset)
- #define lcd_data(lcd) myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->RS, myGPIO_set)
- #define lcd_write(lcd) myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->RW, myGPIO_reset)
- #define lcd_read(lcd) myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->RW, myGPIO_set)
- #define lcd_enable(lcd)

Funzioni

- void HD44780_SetByte (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t byte)
- void HD44780_WriteCommand (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t command)
- void HD44780_WriteData (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t data)
- int HD44780_ValidatePair (HD44780_LCD_t *lcd)
- void HD44780_ConfigurePin (HD44780_LCD_t *lcd)
- void HD44780_Init8 (HD44780_LCD_t *lcd, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask RS, myGPIO_mask RW, myGPIO_mask E, myGPIO_mask Data7, myGPIO_mask Data6, myGPIO_mask Data5, myGPIO_mask Data4, myGPIO_mask Data3, myGPIO_mask Data2, myGPIO_mask Data1, myGPIO_mask Data0)

  Inizializza un display lcd HD44780 con interfacciamento ad 8 bit.
- void HD44780_Init4 (HD44780_LCD_t *lcd, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask RS, myGPIO_mask RW, myGPIO_mask E, myGPIO_mask Data7, myGPIO_mask Data6, myGPIO_mask Data5, myGPIO_mask Data4)

  Inizializza un oggetto display lcd HD44780 affinché si utilizzi l'interfaccia a 4 bit.
- void HD44780_Printc (HD44780_LCD_t *lcd, char c)

  Stampa un carattere.
- void HD44780_Print (HD44780_LCD_t *lcd, const char *s)

  Stampa una stringa null-terminated di caratteri.
- void HD44780_printBinary8 (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t b)

  Stampa un byte in binario. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printBinary32 (HD44780_LCD_t *lcd, uint32_t w)

  Stampa una word di 32 bit in binario. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printBinary64 (HD44780_LCD_t *lcd, uint64_t b)

  Stampa un blocco di 64 bit in binario. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printHex8 (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t b)

  Stampa un byte in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printHex32 (HD44780_LCD_t *lcd, uint32_t w)

  Stampa una word di 32 bit in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printHex64 (HD44780_LCD_t *lcd, uint64_t b)

  Stampa un blocco di 64 bit in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_Clear (HD44780_LCD_t *lcd)

  Pulisce il display e sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_Home (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_MoveToRow1 (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_MoveToRow2 (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della seconda riga.
- void HD44780_MoveCursor (HD44780_LCD_t *lcd, HD44780_Direction_t dir)

  Sposta il cursore di una posizione a destra o sinistra.
- void HD44780_DisplayOff (HD44780_LCD_t *lcd)

  Disattiva il display.
- void HD44780_CursorOff (HD44780_LCD_t *lcd)

  Disattiva la visualizzazione del cursore.
- void HD44780_CursorOn (HD44780_LCD_t *lcd)

  Attiva la visualizzazione del cursore.
- void HD44780_CursorBlink (HD44780_LCD_t *lcd)

  Attiva il cursore lampeggiante.

6.10.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Copyright

6.10.2 Documentazione delle definizioni

6.10.2.1 #define HD44780_clear 0x01

6.10.2.2 #define HD44780_clear 0x01

6.10.2.3 #define HD44780_cursor_blink 0x0F

6.10.2.4 #define HD44780_cursor_l 0x10

6.10.2.5 #define HD44780_cursor_off 0x0C

6.10.2.6 #define HD44780_cursor_on 0x0E

6.10.2.7 #define HD44780_cursor_r 0x14

6.10.2.8 #define HD44780_dec_no_shift 0x04

6.10.2.9 #define HD44780_dec_shift 0x05

6.10.2.10 #define HD44780_display_off 0x08

6.10.2.11 #define HD44780_home 0x02

6.10.2.12 #define HD44780_inc_no_shift 0x06

6.10.2.13 #define HD44780_inc_shift 0x07

6.10.2.14 #define HD44780_row1 0x80

6.10.2.15 #define HD44780_row2 0xC0

6.10.2.16 #define lcd_command(*lcd*) myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->RS, myGPIO_reset)

6.10.2.17 #define lcd_data(*lcd*) myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->RS, myGPIO_set)

6.10.2.18 #define lcd_enable(*lcd*)

Valore:

```
myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->E, myGPIO_set); \
                            timer_wait_us(100); \
                            myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->E, myGPIO_reset)
```

6.10.2.19 #define lcd_read(*lcd*) myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->RW, myGPIO_set)

6.10.2.20 #define lcd_write(*lcd*) myGPIO_setValue(lcd->gpio, lcd->RW, myGPIO_reset)

6.10.2.21 #define timer_wait_ms(*ms*) usleep(ms<<10)

6.10.2.22 #define timer_wait_us(*us*) usleep(us)

6.10.3 Documentazione delle funzioni

6.10.3.1 void HD44780_ConfigurePin (HD44780_LCD_t * *lcd*)

6.10.3.2 void HD44780_SetByte (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint8_t *byte*)

6.10.3.3 int HD44780_ValidatePair (HD44780_LCD_t * *lcd*)

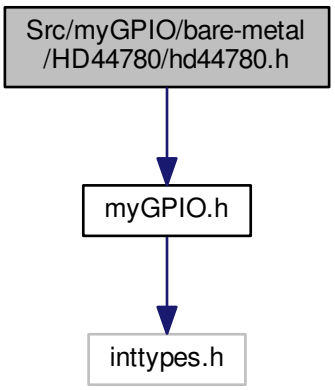
6.10.3.4 void HD44780_WriteCommand (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint8_t *command*)

6.10.3.5 void HD44780_WriteData (HD44780_LCD_t * *lcd*, uint8_t *data*)

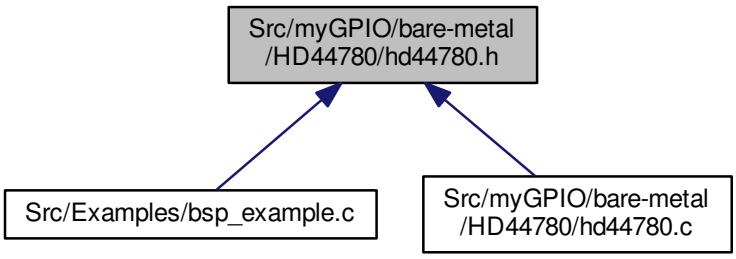
6.11 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/HD44780/hd44780.h

```
#include "myGPIO.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per hd44780.h:



Questo grafo mostra quali altri file includono direttamente o indirettamente questo file:



Strutture dati

- struct HD44780_LCD_t

  Struttura opaca che astrae un device Display LCD con cntroller Hitachi HD44780, o compatibile. Un oggetto di tipo HD44780_LCD_t rappresenta un device lcd HD44780. Il modulo è pensato per permettere la gestione di più display da parte dello stesso processore, agendo su oggetti HD44780_LCD_t diversi. Il modulo permette di utilizzare sia l'interfacciamento ad otto bit che quello a quattro bit, inizializzando il device opportunamente, attraverso l'uso delle funzioni HD44780_Init8 eHD44780_Init4. Il modulo fornisce anche semplici funzioni per la stampa di un carattere o di una stringa null-terminated di caratteri. Si veda la documentazione delle funzioni HD44780_Printc() e HD44780_Print(). Inoltre sono presenti diverse funzioni di utilità generica, come quelle per la pulizia del display, per lo spostamento del cursore di un posto in avanti o indietro, alla riga in basso o in alto.

Tipi enumerati (enum)

- enum HD44780_InterfaceMode_t { HD44780_INTERFACE_4bit, HD44780_INTERFACE_8bit }

  Modalità di interfacciamento. Il modulo supporta sia interfacciamento a 4 bit che ad 8 bit.
- enum HD44780_Direction_t { HD44780_CursorLeft, HD44780_CursorRight }

  Direzioni di spostamento del cursore, usata dalla funzione HD44780_MoveCursor()

Funzioni

- void HD44780_Init8 (HD44780_LCD_t *lcd, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask RS, myGPIO_mask RW, myGPIO_mask E, myGPIO_mask Data7, myGPIO_mask Data6, myGPIO_mask Data5, myGPIO_mask Data4, myGPIO_mask Data3, myGPIO_mask Data2, myGPIO_mask Data1, myGPIO_mask Data0)

  Inizializza un display lcd HD44780 con interfacciamento ad 8 bit.
- void HD44780_Init4 (HD44780_LCD_t *lcd, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask RS, myGPIO_mask RW, myGPIO_mask E, myGPIO_mask Data7, myGPIO_mask Data6, myGPIO_mask Data5, myGPIO_mask Data4)

  Inizializza un oggetto display lcd HD44780 affinché si utilizzi l'interfaccia a 4 bit.
- void HD44780_Printc (HD44780_LCD_t *lcd, char c)

  Stampa un carattere.
- void HD44780_Print (HD44780_LCD_t *lcd, const char *s)

  Stampa una stringa null-terminated di caratteri.
- void HD44780_printBinary8 (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t b)

  Stampa un byte in binario. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printBinary32 (HD44780_LCD_t *lcd, uint32_t w)

  Stampa una word di 32 bit in binario. (bit più significativo a sinistra)

- void HD44780_printBinary64 (HD44780_LCD_t *lcd, uint64_t b)

  Stampa un blocco di 64 bit in binario. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printHex8 (HD44780_LCD_t *lcd, uint8_t b)

  Stampa un byte in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printHex32 (HD44780_LCD_t *lcd, uint32_t w)

  Stampa una word di 32 bit in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_printHex64 (HD44780_LCD_t *lcd, uint64_t b)

  Stampa un blocco di 64 bit in esadecimale. (bit più significativo a sinistra)
- void HD44780_Clear (HD44780_LCD_t *lcd)

  Pulisce il display e sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_Home (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_MoveToRow1 (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della prima riga.
- void HD44780_MoveToRow2 (HD44780_LCD_t *lcd)

  Sposta il cursore all'inizio della seconda riga.
- void HD44780_MoveCursor (HD44780_LCD_t *lcd, HD44780_Direction_t dir)

  Sposta il cursore di una posizione a destra o sinistra.
- void HD44780_DisplayOff (HD44780_LCD_t *lcd)

  Disattiva il display.
- void HD44780_CursorOff (HD44780_LCD_t *lcd)

  Disattiva la visualizzazione del cursore.
- void HD44780_CursorOn (HD44780_LCD_t *lcd)

  Attiva la visualizzazione del cursore.
- void HD44780_CursorBlink (HD44780_LCD_t *lcd)

  Attiva il cursore lampeggiante.

6.11.1 Descrizione dettagliata

Autore

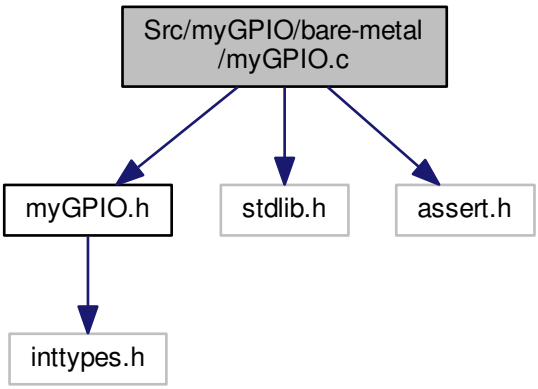
Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Copyright

6.12 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/myGPIO.c

```
#include "myGPIO.h"
#include <stdlib.h>
#include <assert.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per myGPIO.c:



Funzioni

- void myGPIO_Init (myGPIO_t ∗gpio, uint32_t base_address)

  Inizializza un device myGPIO.
- void myGPIO_SetMode (myGPIO_t ∗gpio, myGPIO_mask mask, myGPIO_mode mode)

  Permette di settare la modalità lettura/scrittura dei pin di un device myGPIO;.
- void myGPIO_SetValue (myGPIO_t ∗gpio, myGPIO_mask mask, myGPIO_value value)

  Permette di settare il valore dei pin di un device myGPIO, se configurati come output.
- void myGPIO_Toggle (myGPIO_t ∗gpio, myGPIO_mask mask)

  Permette di invertire il valore dei pin di un device myGPIO, se configurati come output.
- myGPIO_value myGPIO_GetValue (myGPIO_t ∗gpio, myGPIO_mask mask)

  Permette di leggere il valore dei pin di un device myGPIO;.
- myGPIO_mask myGPIO_GetRead (myGPIO_t ∗gpio)

  Restituisce la maschera dei pin settati di un device myGPIO.
- void myGPIO_GlobalInterruptEnable (myGPIO_t ∗gpio)

  Abilita gli interrupt globali;.
- void myGPIO_GlobalInterruptDisable (myGPIO_t ∗gpio)

  Disabilita gli interrupt globali;.
- myGPIO_value myGPIO_IsGlobalInterruptEnabled (myGPIO_t ∗gpio)

  Consente di verificare se gli interrupt globali siano abilitati.
- myGPIO_value myGPIO_PendingInterrupt (myGPIO_t ∗gpio)

  Consente di verificare se esistano interrupt non ancora serviti.
- void myGPIO_PinInterruptEnable (myGPIO_t ∗gpio, myGPIO_mask mask)

  Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- void myGPIO_PinInterruptDisable (myGPIO_t ∗gpio, myGPIO_mask mask)

  Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.

- myGPIO_mask myGPIO_EnabledPinInterrupt (myGPIO_t ∗gpio)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali pin abbiano interrupt abilitati.
- myGPIO_mask myGPIO_PendingPinInterrupt (myGPIO_t ∗gpio)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.
- void myGPIO_PinInterruptAck (myGPIO_t ∗gpio, myGPIO_mask mask)

  Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

6.12.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

12 05 2017

Copyright

Copyright 2017 Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

This file is part of Zynq7000DriverPack

Zynq7000DriverPack is free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 3 of the License, or any later version.

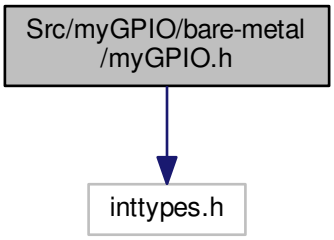
Zynq7000DriverPack is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301, USA.

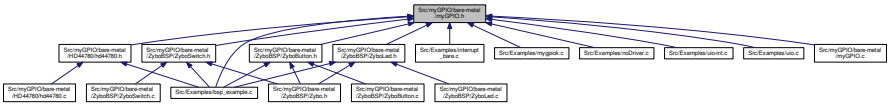
6.13 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/myGPIO.h

```
#include <inttypes.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per myGPIO.h:



Questo grafo mostra quali altri file includono direttamente o indirettamente questo file:



Strutture dati

- struct myGPIO_t

  Struttura che astrae un device myGPIO.

Definizioni

- #define myGPIO_MODE_OFFSET 0x00U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "mode" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_WRITE_OFFSET 0x04U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "write" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_READ_OFFSET 0x08U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "read" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_GIES_OFFSET 0x0CU

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "gies" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_PIE_OFFSET 0x10U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "pie" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_IRQ_OFFSET 0x14U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "irq" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_IACK_OFFSET 0x18U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "iack" per il device myGPIO.
- #define myGPIO_pin(i) ((uint32_t)(1<<(i)))

  Metodo alternativo per la specifica di uno dei pin di un device myGPIO.

Tipi enumerati (enum)

- enum myGPIO_mask {
  myGPIO_pin0 = 0x1U, myGPIO_pin1 = 0x2U, myGPIO_pin2 = 0x4U, myGPIO_pin3 = 0x8U,
  myGPIO_pin4 = 0x10U, myGPIO_pin5 = 0x20U, myGPIO_pin6 = 0x40U, myGPIO_pin7 = 0x80U,
  myGPIO_pin8 = 0x100U, myGPIO_pin9 = 0x200U, myGPIO_pin10 = 0x400U, myGPIO_pin11 = 0x800U,
  myGPIO_pin12 = 0x1000U, myGPIO_pin13 = 0x2000U, myGPIO_pin14 = 0x4000U, myGPIO_pin15 = 0x8000U,
  myGPIO_pin16 = 0x10000U, myGPIO_pin17 = 0x20000U, myGPIO_pin18 = 0x40000U, myGPIO_pin19 = 0x80000U,
  myGPIO_pin20 = 0x100000U, myGPIO_pin21 = 0x200000U, myGPIO_pin22 = 0x400000U, myGPIO_pin23 = 0x800000U,
  myGPIO_pin24 = 0x1000000U, myGPIO_pin25 = 0x2000000U, myGPIO_pin26 = 0x4000000U, myGPIO_↩
  pin27 = 0x8000000U,
  myGPIO_pin28 = 0x10000000U, myGPIO_pin29 = 0x20000000U, myGPIO_pin30 = 0x40000000U, myGP↩
  IO_pin31 = 0x80000000U,
  myGPIO_byte0 = 0x000000ffU, myGPIO_byte1 = 0x0000ff00U, myGPIO_byte2 = 0x00ff0000U, myGPIO_↩
  byte3 = 0xff000000U }

  Maschere di selezione dei pin di un device myGPIO.
- enum myGPIO_mode { myGPIO_read, myGPIO_write }

myGPIO_mode, modalità di funzionamento (lettura/scrittura) di un device myGPIO

- enum myGPIO_value { myGPIO_reset, myGPIO_set }

  myGPIO_value, valore di un myGPIO

Funzioni

- void myGPIO_Init (myGPIO_t *gpio, uint32_t base_address)

  Inizializza un device myGPIO.
- void myGPIO_SetMode (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask, myGPIO_mode mode)

  Permette di settare la modalità lettura/scrittura dei pin di un device myGPIO;.
- void myGPIO_SetValue (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask, myGPIO_value value)

  Permette di settare il valore dei pin di un device myGPIO, se configurati come output.
- void myGPIO_Toggle (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Permette di invertire il valore dei pin di un device myGPIO, se configurati come output.
- myGPIO_value myGPIO_GetValue (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Permette di leggere il valore dei pin di un device myGPIO;.
- myGPIO_mask myGPIO_GetRead (myGPIO_t *gpio)

  Restituisce la maschera dei pin settati di un device myGPIO.
- void myGPIO_GlobalInterruptEnable (myGPIO_t *gpio)

  Abilita gli interrupt globali;.
- void myGPIO_GlobalInterruptDisable (myGPIO_t *gpio)

  Disabilita gli interrupt globali;.
- myGPIO_value myGPIO_IsGlobalInterruptEnabled (myGPIO_t *gpio)

  Consente di verificare se gli interrupt globali siano abilitati.
- myGPIO_value myGPIO_PendingInterrupt (myGPIO_t *gpio)

  Consente di verificare se esistano interrupt non ancora serviti.
- void myGPIO_PinInterruptEnable (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- void myGPIO_PinInterruptDisable (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- myGPIO_mask myGPIO_EnabledPinInterrupt (myGPIO_t *gpio)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali pin abbiano interrupt abilitati.
- myGPIO_mask myGPIO_PendingPinInterrupt (myGPIO_t *gpio)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.
- void myGPIO_PinInterruptAck (myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask mask)

  Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

6.13.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

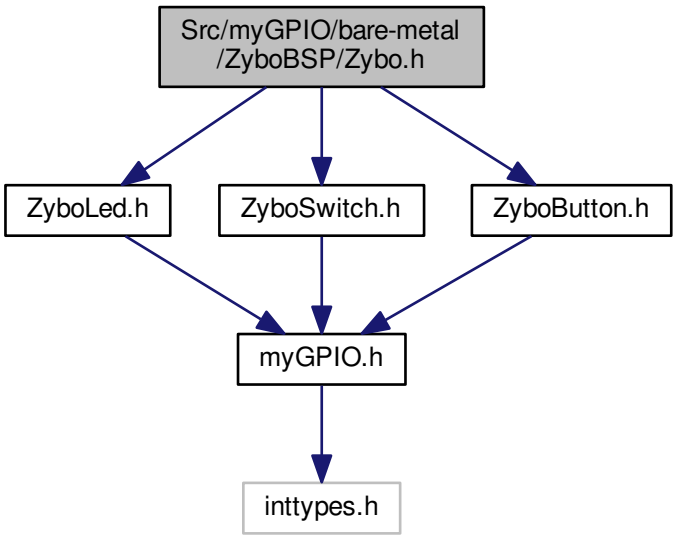
12 05 2017

Copyright

6.14 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/Zybo.h

```
#include "ZyboLed.h"
#include "ZyboSwitch.h"
#include "ZyboButton.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per Zybo.h:



6.14.1 Descrizione dettagliata

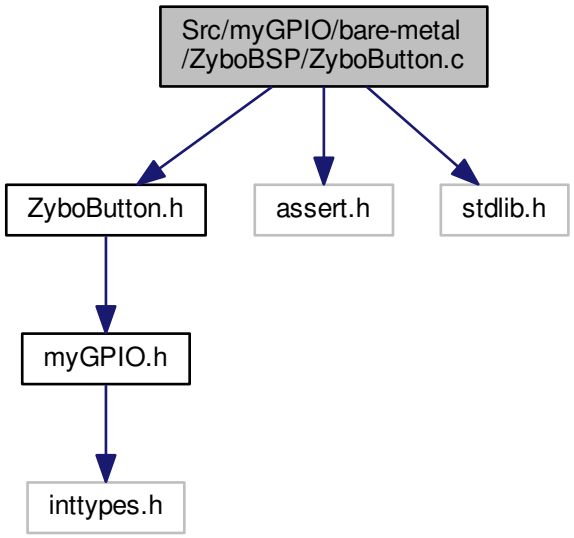
Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

6.15 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboButton.c

```
#include "ZyboButton.h"
#include <assert.h>
#include <stdlib.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per ZyboButton.c:



Definizioni

- #define timer_wait_ms(ms) usleep(ms<<10)

Funzioni

- static int validatePair (ZyboButton_t *buttons)
- void ZyboButton_init (ZyboButton_t *buttons, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask Button3_pin, myGPIO_mask Button2_pin, myGPIO_mask Button1_pin, myGPIO_mask Button0_pin)

Inizializza un oggetto di tipo ZyboButton_t.

- void ZyboButton_waitWhileIdle (ZyboButton_t *buttons)

  Permettere di mettere il programma in attesa attiva finché i button restano inattivi;.

- void ZyboButton_waitWhileBusy (ZyboButton_t *buttons)

  Permettere di mettere il programma in attesa attiva finché i button restano attivi;.

- ZyboButton_status_t ZyboButton_getStatus (ZyboButton_t *buttons, ZyboButton_mask_t mask)

  Permette la lettura dello stato dei button presenti sulla board.

6.15.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Copyright

6.15.2 Documentazione delle definizioni

6.15.2.1 #define timer_wait_ms(*ms*) usleep(ms<<10)

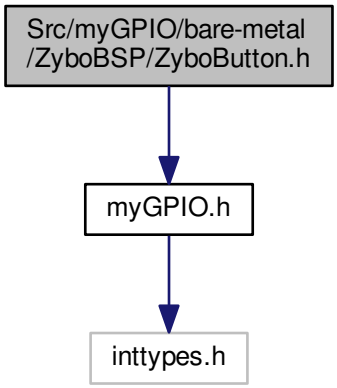
6.15.3 Documentazione delle funzioni

6.15.3.1 static int validatePair (ZyboButton_t * *buttons*) [static]

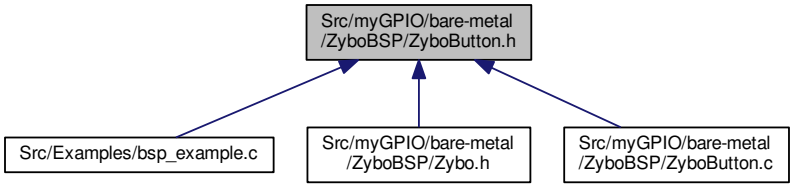
6.16 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboButton.h

```
#include "myGPIO.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per ZyboButton.h:



Questo grafo mostra quali altri file includono direttamente o indirettamente questo file:



Strutture dati

- struct ZyboButton_t

  Struttura opaca che astrae l'insieme dei button presenti sulla board Digilent Zybo;.

Definizioni

- #define ZyboButton(i) ((uint32_t)(1<<(i)))

  Metodo alternativo per la specifica di uno dei button presenti sulla board Digilent Zybo.
- #define ZyboButton_DebounceWait 50

  Tempo di attesa (in millisecondi) usato per prevenire il fenomeno del bouncing. Il valore di default è 50, determinato empiricamente. Può essere modificato a piacimento cambiando il valore alla macro seguente.

Tipi enumerati (enum)

- enum ZyboButton_mask_t { ZyboButton3 = 0x8U, ZyboButton2 = 0x4U, ZyboButton1 = 0x2U, ZyboButton0 = 0x1U }

  Maschere di selezione dei PushButton.

- enum ZyboButton_status_t { ZyboButton_off, ZyboButton_on }

  Status di attivo/inattivo dei PushButton.

Funzioni

- void ZyboButton_init (ZyboButton_t *buttons, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask Button3_pin, myGPIO_mask Button2_pin, myGPIO_mask Button1_pin, myGPIO_mask Button0_pin)

  Inizializza un oggetto di tipo ZyboButton_t.

- void ZyboButton_waitWhileIdle (ZyboButton_t *buttons)

  Permettere di mettere il programma in attesa attiva finché i button restano inattivi;.

- void ZyboButton_waitWhileBusy (ZyboButton_t *buttons)

  Permettere di mettere il programma in attesa attiva finché i button restano attivi;.

- ZyboButton_status_t ZyboButton_getStatus (ZyboButton_t *buttons, ZyboButton_mask_t mask)

  Permette la lettura dello stato dei button presenti sulla board.

6.16.1 Descrizione dettagliata

Autore

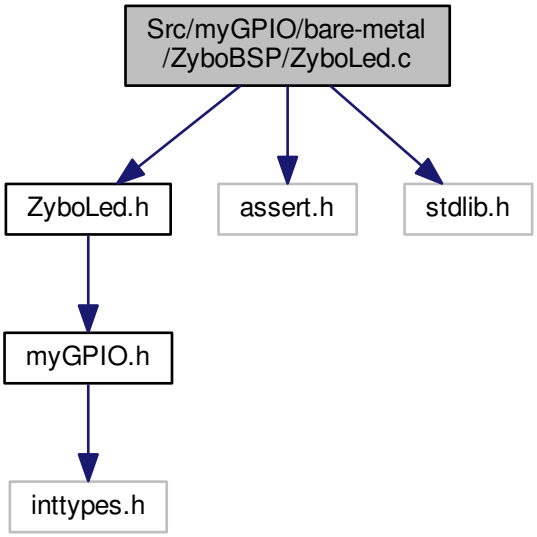
Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Copyright

6.17 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboLed.c

```
#include "ZyboLed.h"
#include <assert.h>
#include <stdlib.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per ZyboLed.c:



Funzioni

- static int validatePair (ZyboLed_t ∗leds)
- void ZyboLed_init (ZyboLed_t ∗leds, myGPIO_t ∗gpio, myGPIO_mask Led3_pin, myGPIO_mask Led2_pin, myGPIO_mask Led1_pin, myGPIO_mask Led0_pin)

  Inizializza un oggetto di tipo ZyboLed_t.
- void ZyboLed_setStatus (ZyboLed_t ∗leds, ZyboLed_mask_t mask, ZyboLed_status_t status)

  Permette di accendere/spegnere i Led sulla board.
- void ZyboLed_toggle (ZyboLed_t ∗leds, ZyboLed_mask_t mask)

  Permette di accendere/spegnere i Led sulla board, invertendone il valore.

6.17.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Copyright

Copyright 2017 Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

This file is part of Zynq7000DriverPack

Zynq7000DriverPack is free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 3 of the License, or any later version.

Zynq7000DriverPack is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301, USA.

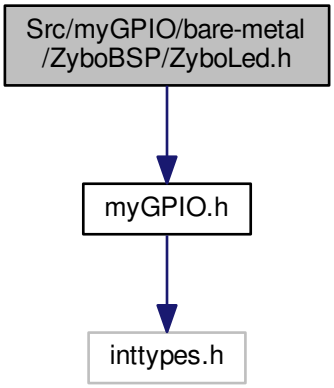
6.17.2 Documentazione delle funzioni

6.17.2.1 static int validatePair (ZyboLed_t * *leds*) [static]

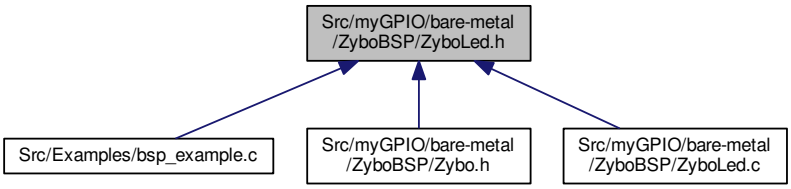
6.18 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboLed.h

```
#include "myGPIO.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per ZyboLed.h:



Questo grafo mostra quali altri file includono direttamente o indirettamente questo file:



Strutture dati

- struct ZyboLed_t

  Struttura opaca che astrae l'insieme dei Led presenti sulla board Digilent Zybo;.

Definizioni

- #define ZyboLed(i) ((uint32_t)(1<<(i)))

  Metodo alternativo per la specifica di uno dei led presenti sulla board Digilent Zybo.

Tipi enumerati (enum)

- enum ZyboLed_mask_t { ZyboLed3 = 0x8U, ZyboLed2 = 0x4U, ZyboLed1 = 0x2U, ZyboLed0 = 0x1U }

  Maschere di selezione dei led.

- enum ZyboLed_status_t { ZyboLed_off, ZyboLed_on }

  Status di accensione/spegnimento dei led.

Funzioni

- void ZyboLed_init (ZyboLed_t *leds, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask Led3_pin, myGPIO_mask Led2_pin, myGPIO_mask Led1_pin, myGPIO_mask Led0_pin)

  Inizializza un oggetto di tipo ZyboLed_t.

- void ZyboLed_setStatus (ZyboLed_t *leds, ZyboLed_mask_t mask, ZyboLed_status_t status)

  Permette di accendere/spegnere i Led sulla board.

- void ZyboLed_toggle (ZyboLed_t *leds, ZyboLed_mask_t mask)

  Permette di accendere/spegnere i Led sulla board, invertendone il valore.

6.18.1 Descrizione dettagliata

Autore

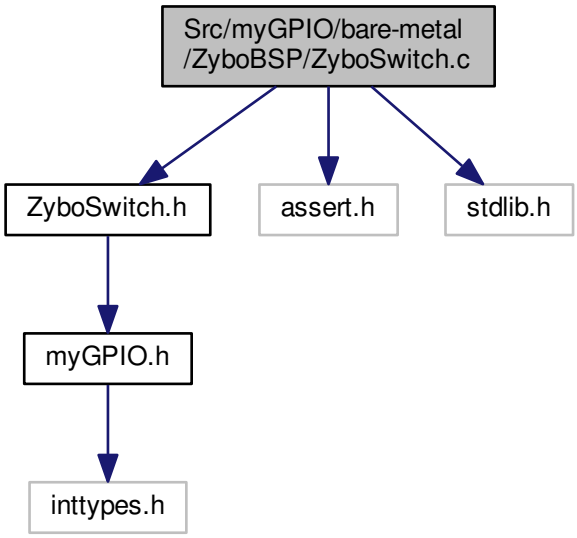
Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Copyright

6.19 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboSwitch.c

```
#include "ZyboSwitch.h"
#include <assert.h>
#include <stdlib.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per ZyboSwitch.c:



Funzioni

- static int validatePair (ZyboSwitch_t *switches)
- void ZyboSwitch_init (ZyboSwitch_t *switches, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask Switch3_pin, myGPIO_↩ mask Switch2_pin, myGPIO_mask Switch1_pin, myGPIO_mask Switch0_pin)

  Inizializza un oggetto di tipo ZyboSwitch_t.
- ZyboSwitch_status_t ZyboSwitch_getStatus (ZyboSwitch_t *switches, ZyboSwitch_mask_t mask)

  Permette la lettura dello stato degli switch presenti sulla board.

6.19.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Copyright

Copyright 2017 Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

This file is part of Zynq7000DriverPack

Zynq7000DriverPack is free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 3 of the License, or any later version.

Zynq7000DriverPack is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301, USA.

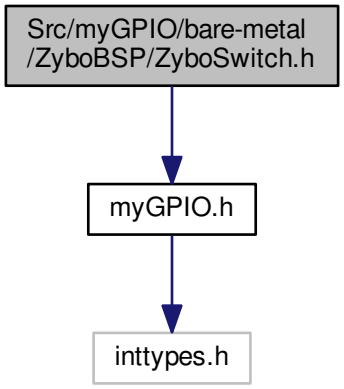
6.19.2 Documentazione delle funzioni

6.19.2.1 static int validatePair (ZyboSwitch_t * *switches*) [static]

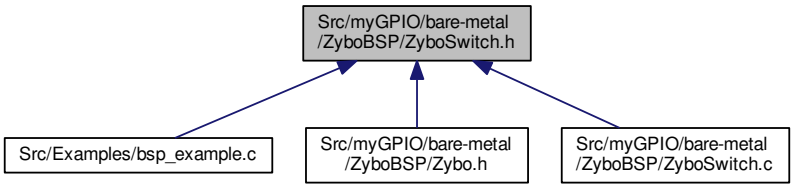
6.20 Riferimenti per il file Src/myGPIO/bare-metal/ZyboBSP/ZyboSwitch.h

```
#include "myGPIO.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per ZyboSwitch.h:



Questo grafo mostra quali altri file includono direttamente o indirettamente questo file:



Strutture dati

- struct ZyboSwitch_t

  Struttura opaca che astrae l'insieme degli switch presenti sulla board Digilent Zybo;.

Definizioni

- #define ZyboSwitch(i) ((uint32_t)(1<<(i)))

  Metodo alternativo per la specifica di uno degli switch presenti sulla board Digilent Zybo.

Tipi enumerati (enum)

- enum ZyboSwitch_mask_t { ZyboSwitch3 = 0x8U, ZyboSwitch2 = 0x4U, ZyboSwitch1 = 0x2U, ZyboSwitch0 = 0x1U }

  Maschere di selezione degli switch.
- enum ZyboSwitch_status_t { ZyboSwitch_off, ZyboSwitch_on }

  Status di attivo/inattivo degli switch.

Funzioni

- void ZyboSwitch_init (ZyboSwitch_t *switches, myGPIO_t *gpio, myGPIO_mask Switch3_pin, myGPIO_mask Switch2_pin, myGPIO_mask Switch1_pin, myGPIO_mask Switch0_pin)

  Inizializza un oggetto di tipo ZyboSwitch_t.
- ZyboSwitch_status_t ZyboSwitch_getStatus (ZyboSwitch_t *switches, ZyboSwitch_mask_t mask)

  Permette la lettura dello stato degli switch presenti sulla board.

6.20.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Copyright

Copyright 2017 Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

This file is part of Zynq7000DriverPack

Zynq7000DriverPack is free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 3 of the License, or any later version.

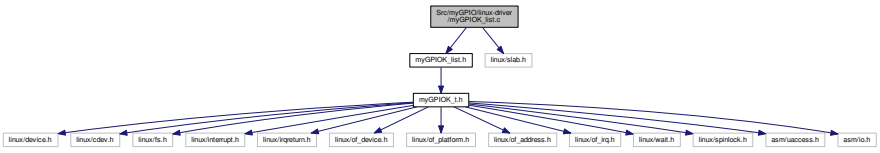
Zynq7000DriverPack is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301, USA.

6.21 Riferimenti per il file Src/myGPIO/linux-driver/myGPIOK_list.c

```
#include "myGPIOK_list.h"
#include <linux/slab.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per myGPIOK_list.c:



Funzioni

- int myGPIOK_list_Init (myGPIOK_list_t *list, uint32_t list_size)

  Inizializza una struttura dati myGPIOK_list_t.
- void myGPIOK_list_Destroy (myGPIOK_list_t *list)

  Dealloca gli oggetti internamente gestiti da un oggetto myGPIOK_list_t, liberando la memoria.
- int myGPIOK_list_add (myGPIOK_list_t *list, myGPIOK_t *device)

  Aggiunge un riferimento ad un oggetto myGPIOK_t alla lista.
- myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_by_op (myGPIOK_list_t *list, struct platform_device *op)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_by_minor (myGPIOK_list_t *list, dev_t dev)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- myGPIOK_t * myGPIOK_list_find_irq_line (myGPIOK_list_t *list, int irq_line)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- uint32_t myGPIOK_list_device_count (myGPIOK_list_t *list)

  Restituisce il numero di device correntemente inseriti nella lista.

6.21.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

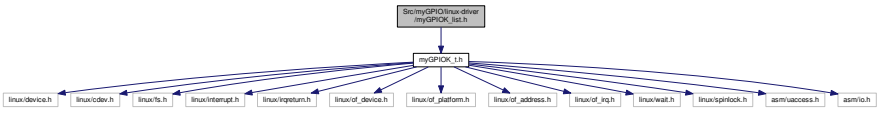
24 06 2017

Copyright

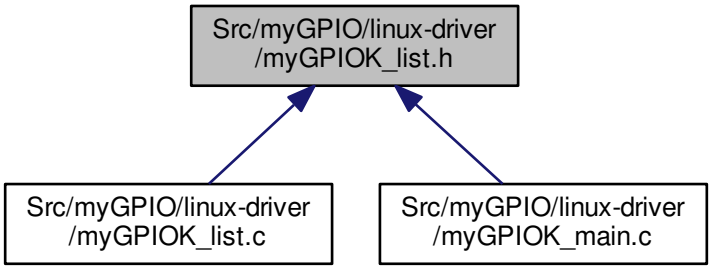
6.22 Riferimenti per il file Src/myGPIO/linux-driver/myGPIOK_list.h

```
#include "myGPIOK_t.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per myGPIOK_list.h:



Questo grafo mostra quali altri file includono direttamente o indirettamente questo file:



Strutture dati

- struct myGPIOK_list_t

  Struttura dati per la gestione degli oggetti myGPIOK_t gestiti dal driver.

Funzioni

- int myGPIOK_list_Init (myGPIOK_list_t ∗list, uint32_t list_size)

  Inizializza una struttura dati myGPIOK_list_t.
- void myGPIOK_list_Destroy (myGPIOK_list_t ∗list)

  Dealloca gli oggetti internamente gestiti da un oggetto myGPIOK_list_t, liberando la memoria.
- int myGPIOK_list_add (myGPIOK_list_t ∗list, myGPIOK_t ∗device)

  Aggiunge un riferimento ad un oggetto myGPIOK_t alla lista.
- myGPIOK_t ∗ myGPIOK_list_find_by_op (myGPIOK_list_t ∗list, struct platform_device ∗op)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- myGPIOK_t ∗ myGPIOK_list_find_by_minor (myGPIOK_list_t ∗list, dev_t dev)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- myGPIOK_t ∗ myGPIOK_list_find_irq_line (myGPIOK_list_t ∗list, int irq_line)

  Ricerca un oggetto myGPIOK_t all'interno della lista.
- uint32_t myGPIOK_list_device_count (myGPIOK_list_t ∗list)

  Restituisce il numero di device correntemente inseriti nella lista.

6.22.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

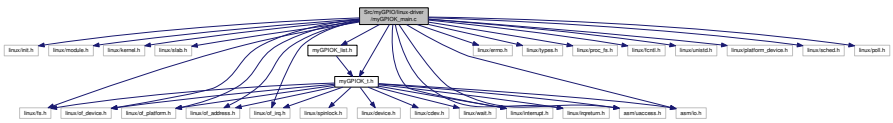
24 06 2017

Copyright

6.23 Riferimenti per il file Src/myGPIO/linux-driver/myGPIOK_main.c

```
#include <linux/init.h>
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/slab.h>
#include <linux/fs.h>
#include <linux/errno.h>
#include <linux/types.h>
#include <linux/proc_fs.h>
#include <linux/fcntl.h>
#include <linux/unistd.h>
#include <linux/platform_device.h>
#include <linux/of_device.h>
#include <linux/of_platform.h>
#include <linux/of_address.h>
#include <linux/of_irq.h>
#include <linux/interrupt.h>
#include <linux/irqreturn.h>
#include <asm/uaccess.h>
#include <asm/io.h>
#include <linux/sched.h>
#include <linux/poll.h>
#include "myGPIOK_t.h"
#include "myGPIOK_list.h"
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per myGPIOK_main.c:



Definizioni

- #define DRIVER_NAME "myGPIOK"

  Nome identificativo del device-driver. DEVE corrispondere al valore del campo "compatible" nel device tree source.
- #define DRIVER_FNAME "myGPIOK%d"

  Nome del file creato in /dev/ per ciascuno dei device.
- #define MAX_NUM_OF_DEVICES 15

Numero massimo di device gestibili.

- #define myGPIOK_USED_INT 0xFFFFFFFFU

  Maschea di abilitazione degli interrupt per i singoli pin.

Funzioni

- MODULE_LICENSE ("GPL")
- MODULE_AUTHOR ("Salvatore Barone <salvator.barone@gmail.com>")
- MODULE_DESCRIPTION ("myGPIO device-driver in kernel mode")
- MODULE_VERSION ("3.2")
- MODULE_ALIAS (DRIVER_NAME)
- static int myGPIOK_probe (struct platform_device *op)

  Viene chiamata quando il modulo viene inserito.
- static int myGPIOK_remove (struct platform_device *op)
- static int myGPIOK_open (struct inode *inode, struct file *file_ptr)

  Invocata all'apertura del file corrispondente al device.
- static int myGPIOK_release (struct inode *inode, struct file *file_ptr)

  Invocata alla chiusura del file corrispondente al device.
- static loff_t myGPIOK_llseek (struct file *file_ptr, loff_t off, int whence)

  Implementa le system-call lseek() e llseek().
- static unsigned int myGPIOK_poll (struct file *file_ptr, struct poll_table_struct *wait)

  Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.
- static ssize_t myGPIOK_read (struct file *file_ptr, char *buf, size_t count, loff_t *off)

  Legge dati dal device.
- static ssize_t myGPIOK_write (struct file *file_ptr, const char *buf, size_t size, loff_t *off)

  Invia dati al device.
- static irqreturn_t myGPIOK_irq_handler (int irq, struct pt_regs *regs)

  Interrupt-handler.
- MODULE_DEVICE_TABLE (of, myGPIOK_match)

  Inserisce una nuova entry nella tabella delle corrispondenze device - driver.
- module_platform_driver (myGPIOK_driver)

  la macro module_platform_driver() prende in input la struttura platform_driver ed implementa le funzioni module_init() e module_close() standard, chiamate quando il modulo viene caricato o rimosso dal kernel.

Variabili

- static myGPIOK_list_t * device_list = NULL

  Array di puntatori a struttura myGPIOK_t, contenente tutti i dati necessari al device driver.
- static struct class * myGPIOK_class = NULL

  Classe del device Ai device-drivers viene associata una classe ed un device-name. Per creare ed associare una classe ad un device driver si può usare la seguente.
- static struct of_device_id myGPIOK_match []

  Identifica il device all'interno del device tree.
- static struct platform_driver myGPIOK_driver

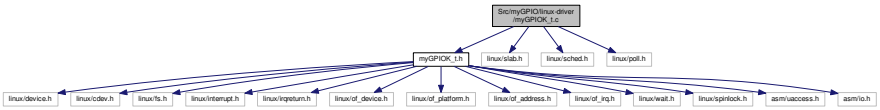
  Definisce quali funzioni probe() e remove() chiamare quando viene caricato un driver.
- static struct file_operations myGPIOK_fops

  mantiene puntatori a funzioni che definiscono il gli operatori che agiscono su un file/device.

6.24 Riferimenti per il file Src/myGPIO/linux-driver/myGPIOK_t.c

```
#include "myGPIOK_t.h"
#include <linux/slab.h>
#include <linux/sched.h>
#include <linux/poll.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per myGPIOK_t.c:



Funzioni

- int myGPIOK_Init (myGPIOK_t ∗myGPIOK_device, struct module ∗owner, struct platform_device ∗op, struct class ∗class, const char ∗driver_name, const char ∗device_name, uint32_t serial, struct file_operations ∗f_↩ ops, irq_handler_t irq_handler, uint32_t irq_mask)

  Inizializza una struttura myGPIOK_t e configura il device corrispondente.
- void myGPIOK_Destroy (myGPIOK_t ∗device)

  Deinizializza un device, rimuovendo le strutture kernel allocate per il suo funzionamento.
- void myGPIOK_SetCanRead (myGPIOK_t ∗device)

  Set del flag "interrupt occurred" (canRead)
- void myGPIOK_ResetCanRead (myGPIOK_t ∗device)

  Reset del flag "interrupt occurred" (canRead)
- void myGPIOK_TestCanReadAndSleep (myGPIOK_t ∗device)

  Testa la condizione "interrupt occurred", mettendo in attesa il processo, se necessario.
- unsigned myGPIOK_GetPollMask (myGPIOK_t ∗device, struct file ∗file_ptr, struct poll_table_struct ∗wait)

  Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.
- void myGPIOK_IncrementTotal (myGPIOK_t ∗device)

  Incrementa il contatore degli interrupt per un particolare device.
- void myGPIOK_WakeUp (myGPIOK_t ∗device)

  Risveglia i process in attesa sulle code di read e poll.
- void ∗ myGPIOK_GetDeviceAddress (myGPIOK_t ∗device)

  Restituisce l'indirizzo virtuale di memoria cui è mappato un device.
- void myGPIOK_GlobalInterruptEnable (myGPIOK_t ∗device)

  Abilita gli interrupt globali;.
- void myGPIOK_GlobalInterruptDisable (myGPIOK_t ∗device)

  Disabilita gli interrupt globali;.
- void myGPIOK_PinInterruptEnable (myGPIOK_t ∗device, unsigned mask)

  Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- void myGPIOK_PinInterruptDisable (myGPIOK_t ∗device, unsigned mask)

  Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- unsigned myGPIOK_PendingPinInterrupt (myGPIOK_t ∗device)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.
- void myGPIOK_PinInterruptAck (myGPIOK_t ∗device, unsigned mask)

  Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

6.24.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

24 06 2017

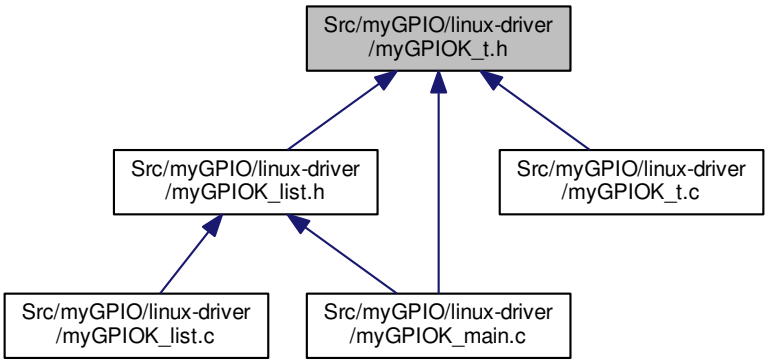
Copyright

6.25 Riferimenti per il file Src/myGPIO/linux-driver/myGPIOK_t.h

```
#include <linux/device.h>
#include <linux/cdev.h>
#include <linux/fs.h>
#include <linux/interrupt.h>
#include <linux/irqreturn.h>
#include <linux/of_device.h>
#include <linux/of_platform.h>
#include <linux/of_address.h>
#include <linux/of_irq.h>
#include <linux/wait.h>
#include <linux/spinlock.h>
#include <asm/uaccess.h>
#include <asm/io.h>
```

Grafo delle dipendenze di inclusione per myGPIOK_t.h:

Questo grafo mostra quali altri file includono direttamente o indirettamente questo file:



Strutture dati

- struct myGPIOK_t

  Stuttura per l'astrazione di un device myGPIO in kernel-mode.

Definizioni

- #define myGPIOK_GIES_OFFSET 0x0CU

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "GIES".
- #define myGPIOK_PIE_OFFSET 0x10U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "PIE".
- #define myGPIOK_IRQ_OFFSET 0x14U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "IRQ".
- #define myGPIOK_IACK_OFFSET 0x18U

  Offset, rispetto all'indirizzo base, del registro "IACK".

Funzioni

- int myGPIOK_Init (myGPIOK_t ∗myGPIOK_device, struct module ∗owner, struct platform_device ∗op, struct class ∗class, const char ∗driver_name, const char ∗device_name, uint32_t serial, struct file_operations ∗f_↩ ops, irq_handler_t irq_handler, uint32_t irq_mask)

  Inizializza una struttura myGPIOK_t e configura il device corrispondente.
- void myGPIOK_Destroy (myGPIOK_t ∗device)

  Deinizializza un device, rimuovendo le strutture kernel allocate per il suo funzionamento.
- void myGPIOK_SetCanRead (myGPIOK_t ∗device)

  Set del flag "interrupt occurred" (canRead)
- void myGPIOK_ResetCanRead (myGPIOK_t ∗device)

  Reset del flag "interrupt occurred" (canRead)
- void myGPIOK_TestCanReadAndSleep (myGPIOK_t ∗device)

  Testa la condizione "interrupt occurred", mettendo in attesa il processo, se necessario.
- unsigned myGPIOK_GetPollMask (myGPIOK_t ∗device, struct file ∗file_ptr, struct poll_table_struct ∗wait)

  Verifica che le operazioni di lettura/scrittura risultino non-bloccanti.

- void myGPIOK_IncrementTotal (myGPIOK_t *device)

  Incrementa il contatore degli interrupt per un particolare device.
- void myGPIOK_WakeUp (myGPIOK_t *device)

  Risveglia i process in attesa sulle code di read e poll.
- void * myGPIOK_GetDeviceAddress (myGPIOK_t *device)

  Restituisce l'indirizzo virtuale di memoria cui è mappato un device.
- void myGPIOK_GlobalInterruptEnable (myGPIOK_t *myGPIOK_device)

  Abilita gli interrupt globali;.
- void myGPIOK_GlobalInterruptDisable (myGPIOK_t *myGPIOK_device)

  Disabilita gli interrupt globali;.
- void myGPIOK_PinInterruptEnable (myGPIOK_t *myGPIOK_device, unsigned mask)

  Abilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- void myGPIOK_PinInterruptDisable (myGPIOK_t *myGPIOK_device, unsigned mask)

  Disabilita gli interrupt per i singoli pin del device.
- unsigned myGPIOK_PendingPinInterrupt (myGPIOK_t *myGPIOK_device)

  Consente di ottenere una maschera che indichi quali interrupt non siano stati ancora serviti;.
- void myGPIOK_PinInterruptAck (myGPIOK_t *myGPIOK_device, unsigned mask)

  Invia al device notifica di servizio di un interrupt;.

6.25.1 Descrizione dettagliata

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

24 06 2017

Copyright

Capitolo 7

Documentazione degli esempi

7.1 bsp_example.c

Uso del driver myGPIO bare-metal per il pilotaggio dei Led, lettura di switch e button, pilotaggio di un display Hitachihd44780.

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

12 05 2017

Copyright


```
#include <stdio.h>
#include "xparameters.h"
#include "myGPIO.h"
#include "ZyboLed.h"
#include "ZyboSwitch.h"
#include "ZyboButton.h"
#include "hd44780.h"

int main()
{
    myGPIO_t gpioLed;
    myGPIO_Init(&gpioLed, XPAR_MYGPIO_0_S00_AXI_BASEADDR);
    ZyboLed_t boardLed;
    ZyboLed_init(&boardLed, &gpioLed, myGPIO_pin3,
      myGPIO_pin2, myGPIO_pin1, myGPIO_pin0);

    myGPIO_t gpioSwitch;
    myGPIO_Init(&gpioSwitch, XPAR_MYGPIO_1_S00_AXI_BASEADDR);
    ZyboSwitch_t boardSwitch;
```

```
    ZyboSwitch_init(&boardSwitch, &gpioSwitch, myGPIO_pin3,
      myGPIO_pin2, myGPIO_pin1, myGPIO_pin0);

    myGPIO_t gpioButton;
    myGPIO_Init(&gpioButton, XPAR_MYGPIO_2_S00_AXI_BASEADDR);
    ZyboButton_t boardButton;
    ZyboButton_init(&boardButton, &gpioButton, myGPIO_pin3,
      myGPIO_pin2, myGPIO_pin1, myGPIO_pin0);

    myGPIO_t gpioDisplay;
    myGPIO_Init(&gpioDisplay, XPAR_MYGPIO_3_S00_AXI_BASEADDR);

    HD44780_LCD_t lcd;
// Si decommenti le seguenti linee se si desidera interfacciarsi in modalità 8-bit
//    HD44780_Init8(&lcd, &gpioDisplay,     myGPIO_pin10, myGPIO_pin9, myGPIO_pin8
//                                       myGPIO_pin0, myGPIO_pin1, myGPIO_pin2, myGPIO_pin3,
//                                       myGPIO_pin4, myGPIO_pin5, myGPIO_pin6, myGPIO_pin7);

    HD44780_Init4(&lcd, &gpioDisplay,  myGPIO_pin10,
      myGPIO_pin9, myGPIO_pin8,
                                       myGPIO_pin0, myGPIO_pin1,
      myGPIO_pin2, myGPIO_pin3);
    HD44780_Clear(&lcd);
    HD44780_Print(&lcd, "Hello world!");

    ZyboLed_mask_t led_mask[] = {ZyboLed0, ZyboLed1,
      ZyboLed2, ZyboLed3};
    ZyboSwitch_mask_t switch_mask[] = {ZyboSwitch0,
      ZyboSwitch1, ZyboSwitch2, ZyboSwitch3};
    ZyboButton_mask_t button_mask[] = {ZyboButton0,
      ZyboButton1, ZyboButton2, ZyboButton3};
    for (;;) {
        int i;
        for (i=0; i<4; i++) {
            ZyboButton_status_t button_status =
      ZyboButton_getStatus(&boardButton, button_mask[i]);
            ZyboSwitch_status_t switch_status =
      ZyboSwitch_getStatus(&boardSwitch, switch_mask[i]);
            ZyboLed_status_t led_status = (button_status ==
      ZyboButton_on || switch_status == ZyboSwitch_on ?
      ZyboLed_on : ZyboLed_off);
            ZyboLed_setStatus(&boardLed, led_mask[i], led_status);
        }
    }

    return 0;
}
```

7.2 interrupt_bare.c

Uso del driver myGPIO con interruzioni bare-metal su Zynq-7000

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

23 06 2017

Copyright

Configurazione hardware

L'esempio fa riferimento ad una configurazione hardware in cui, oltre alla ip-core Zynq7000 processing sysyem, sono presenti tre diversi device myGPIO, uno connesso ai led (base address 0x43c00000), uno connesso ai button (base address 0x43c10000) ed uno connesso agli switch (base address 0x43c20000). Lo schema viene riportato di seguito:

ISR per la gestione di interrupt provenienti dal gpio connesso agli switch

```
void swc_isr(void* data) {
    myGPIO_GlobalInterruptDisable(&swc_gpio);
    myGPIO_mask enabledInterrut = myGPIO_EnabledPinInterrupt(&swc_gpio
      );
    myGPIO_PinInterruptDisable(&swc_gpio, enabledInterrut);

    myGPIO_mask pendingInterrupt = myGPIO_PendingPinInterrupt(&
      swc_gpio);
    myGPIO_PinInterruptAck(&swc_gpio, pendingInterrupt);

    myGPIO_mask value = myGPIO_GetRead(&swc_gpio);
    myGPIO_SetValue(&led_gpio, myGPIO_pin0 |
      myGPIO_pin1 | myGPIO_pin2 | myGPIO_pin3,
      myGPIO_reset);
    myGPIO_SetValue(&led_gpio, value, myGPIO_set);

    myGPIO_PinInterruptEnable(&swc_gpio, enabledInterrut);
    myGPIO_GlobalInterruptEnable(&swc_gpio);
}
```

La funzione di cui sopra non fa altro che disabilitare momentaneamente le interruzioni della periferica, leggere lo stato del registro "read", resettare i led, per poi accendere solo quello corrispondente allo switch arrivo e riabilitare l'interrupt della periferica.

ISR per la gestione di interrupt provenienti dal gpio connesso ai button

```
void btn_isr(void* data) {
    myGPIO_GlobalInterruptDisable(&btn_gpio);
    myGPIO_mask enabledInterrut = myGPIO_EnabledPinInterrupt(&btn_gpio
      );
    myGPIO_PinInterruptDisable(&btn_gpio, enabledInterrut);

    myGPIO_mask pendingInterrupt = myGPIO_PendingPinInterrupt(&
      btn_gpio);
    myGPIO_PinInterruptAck(&btn_gpio, pendingInterrupt);

    myGPIO_mask value = myGPIO_GetRead(&btn_gpio);
    myGPIO_SetValue(&led_gpio, myGPIO_pin0 |
      myGPIO_pin1 | myGPIO_pin2 | myGPIO_pin3,
      myGPIO_reset);
    myGPIO_SetValue(&led_gpio, value, myGPIO_set);

    myGPIO_PinInterruptEnable(&btn_gpio, enabledInterrut);
    myGPIO_GlobalInterruptEnable(&btn_gpio);
}
```

La funzione di cui sopra non fa altro che disabilitare momentaneamente le interruzioni della periferica, leggere lo stato del registro "read", resettare i led, per poi accendere solo quello corrispondente al button premuto e riabilitare l'interrupt della periferica.

Configurazione del GIC e registrazione degli interrupt handler

```
int int_config(void) {
    // inizializza il driver del GIC
    Xil_ExceptionInit();

    // ottiene i parametri di configurazione del GIC, lo configura ed inizializza
    // sintassi : XScuGic_LookupConfig(GIC_id)
    // sintassi : XScuGic_CfgInitialize(GIC_ptr, config, cpu_address)
    XScuGic_Config *IntcConfig = XScuGic_LookupConfig(gic_id);
    if (IntcConfig == NULL)
        return -1;
    if (XScuGic_CfgInitialize(&GIC, IntcConfig, IntcConfig->CpuBaseAddress) != XST_SUCCESS)
        return -1;

    // registra l'interrupt handler del GIC alla logica di gestione del processing-system
    // sintassi : Xil_ExceptionRegisterHandler(XIL_EXCEPTION_ID_INT, handler, gic_ptr)
    Xil_ExceptionRegisterHandler(XIL_EXCEPTION_ID_INT,(Xil_ExceptionHandler)XScuGic_InterruptHandler, &
```

```
    GIC);

  // registrazione degli handler
  // le righe seguenti stabiliscono quale sia l'handler da chiamare e quali dati bisogna passargli
  // qualora si manifesti una interruzione su una line di irq.
  // sintassi : XScuGic_Connect(GIC, irq_line, handler, data)
  if (XScuGic_Connect(&GIC, btn_irq_line, (Xil_InterruptHandler)btn_isr, (void*)NULL) !=
    XST_SUCCESS)
      return -1;
  if (XScuGic_Connect(&GIC, swc_irq_line, (Xil_InterruptHandler)swc_isr, (void*)NULL) !=
    XST_SUCCESS)
        return -1;

  // abilitazione degli interrupt sulle linee connesse alle periferiche
  // sintassi: XScuGic_Enable(GIC,irq_line);
  XScuGic_Enable(&GIC, btn_irq_line);
  XScuGic_Enable(&GIC, swc_irq_line);

  // abilitazione degli interrupt delle periferiche
  myGPIO_GlobalInterruptEnable(&btn_gpio);
  myGPIO_PinInterruptEnable(&btn_gpio, myGPIO_pin0 |
    myGPIO_pin1 | myGPIO_pin2 | myGPIO_pin3);
  myGPIO_GlobalInterruptEnable(&swc_gpio);
  myGPIO_PinInterruptEnable(&swc_gpio, myGPIO_pin0 |
    myGPIO_pin1 | myGPIO_pin2 | myGPIO_pin3);

  // abilitazione degli interrupt del processing-system
  Xil_ExceptionEnable();
  return 0;
}
```

La funzione di configurazione delle interrupt e del GIC fa uso di alcune funzioni di libreria definite nell'header file "xscugic.h", il quale implementa il driver della periferica GIC, e di alcune macro definite nel file "xparameters.h". Solo per comodità le macro definite in xparameters.h sono state ridefinite come segue.

```
#define led_base_addr XPAR_MYGPIO_0_S00_AXI_BASEADDR
#define btn_base_addr XPAR_MYGPIO_1_S00_AXI_BASEADDR
#define swc_base_addr XPAR_MYGPIO_2_S00_AXI_BASEADDR
#define led_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_0_INTERRUPT_INTR
#define btn_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_1_INTERRUPT_INTR
#define swc_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_2_INTERRUPT_INTR
#define gic_id      XPAR_SCUGIC_0_DEVICE_ID
```

Le funzioni di libreria usate sono riportate di seguito, assieme ad una breve descrizione tratta dalla documentazione interna.

- Xil_ExceptionInit(): inizializza gli exception-handlers di tutti i processori. Per ARM Cortex A53, R5 ed A9 gli exception-handlers sono sono inizializzati staticamente, per cui questa funzione non fa niente. Viene mantenutaper prevenire errori in fase di compilazione e per garantire backward-compatibility.
- XScuGic_LookupConfig(): looksup della configurazione di un device, basandosi sull'identificativo univoco dello stesso, dalla tabella contenente le configurazioni di tutti i device. Prende in ingresso un parametro DeviceId e restituisce un puntatore a XScuGic, contenente la configurazione, o NULL se il device non viene trovato.
- XScuGic_CfgInitialize(): inizializza e configura un interrupt-controller instance/driver. La procedura di inizializzazione prevede:
  - l'inizializzazione dei campi di una struttura XScuGic;
  - la configurazione della Initial vector-table, con funzioni stub;
  - disabilitazione di tutte le sorgenti di interruzione

  Parametri:
  - InstancePtr: puntatore a struttura XScuGic;
  - ConfigPtr: puntatore alla configurazione del device, restituito dalla funzione XScuGic_LookupConfig();
  - EffectiveAddr: indirizzo base del device; Restituisce XST_SUCCESS se l'inizializzazione viene completata con successo.
- Xil_ExceptionRegisterHandler(): crea una connessione tra l'identificativo di una sorgente di eccezioni e l'handler associato, in modo che l'handler venga eseguito qualora si manifestasse una eccezione. Prende i seguenti parametri:

  - exception_id: ID della sorgente di eccezioni;
  - Handler: puntatore alla funzione di servizio;
  - Data: puntatore ai dati da passare all'handler;

- XScuGic_Connect(): crea una connessione tra l'identificativo di una sorgente di interruzioni e l'handler associato, in modo che l'handler venga eseguito qualora si manifestasse una interruzione. Prende i seguenti parametri:

  - InstancePtr: puntatore ad una istanza XScuGic;
  - Int_Id: ID della sorgente di interruzioni;
  - Handler: puntatore alla funzione di servizio;
  - CallBackRef: puntatore ai dati da passare alla isr;

  Restituisce XST_SUCCESS se l'handler è stato connesso correttamente.

- XScuGic_Enable(): abilita la sorgente di interruzioni Int_Id. Se ci sono pending interrupt per tale linea, scateneranno una interruzione dopo la chiamata a questa funzione. Parametri:

  - InstancePtr: puntatore ad una istanza XScuGic;
  - Int_Id: ID della sorgente di interruzioni;

- Xil_ExceptionEnable(): abilita le interruzioni.

```
#include "xparameters.h"
#include "xscugic.h"
#include "myGPIO.h"

myGPIO_t led_gpio;
myGPIO_t btn_gpio;
myGPIO_t swc_gpio;
XScuGic GIC;

#define led_base_addr XPAR_MYGPIO_0_S00_AXI_BASEADDR
#define btn_base_addr XPAR_MYGPIO_1_S00_AXI_BASEADDR
#define swc_base_addr XPAR_MYGPIO_2_S00_AXI_BASEADDR

#define led_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_0_INTERRUPT_INTR
#define btn_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_1_INTERRUPT_INTR
#define swc_irq_line XPAR_FABRIC_MYGPIO_2_INTERRUPT_INTR

#define gic_id      XPAR_SCUGIC_0_DEVICE_ID

// funzione di inizializzazione dei device gpio
void gpio_init(void);

// isr per button e switch
// devono necessariamente avere questa firma: restituire void e possedere un solo parametro puntatore
// a void. In questo caso non viene utilizzato (tutte le variabili sono globali), ma tale puntatore
// può essere usato per scambiare dati di ingresso/uscita alle isr
void btn_isr(void*); // isr per i button
void swc_isr(void*); // isr per gli switch

// funzione di configurazione del device gic e delle interruzioni
int int_config(void);

int main() {
    gpio_init();
    int_config();
    for (;;);
    return 0;
}

void gpio_init(void) {
    uint8_t i;

    myGPIO_Init(&led_gpio, led_base_addr);
    myGPIO_Init(&btn_gpio, btn_base_addr);
    myGPIO_Init(&swc_gpio, swc_base_addr);
    for (i=0; i<4; i++) {
        myGPIO_SetMode(&led_gpio, myGPIO_pin(i),
      myGPIO_write);
        myGPIO_SetValue(&led_gpio, myGPIO_pin(i),
      myGPIO_reset);
        myGPIO_SetMode(&btn_gpio, myGPIO_pin(i),
      myGPIO_read);
```

```
        myGPIO_SetValue(&btn_gpio, myGPIO_pin(i),
      myGPIO_reset);
        myGPIO_SetMode(&swc_gpio, myGPIO_pin(i),
      myGPIO_read);
        myGPIO_SetValue(&swc_gpio, myGPIO_pin(i),
      myGPIO_reset);
    }
}

void btn_isr(void* data) {
    myGPIO_GlobalInterruptDisable(&btn_gpio);
    myGPIO_mask enabledInterrut = myGPIO_EnabledPinInterrupt(&btn_gpio
      );
    myGPIO_PinInterruptDisable(&btn_gpio, enabledInterrut);

    myGPIO_mask pendingInterrupt = myGPIO_PendingPinInterrupt(&
      btn_gpio);
    myGPIO_PinInterruptAck(&btn_gpio, pendingInterrupt);

    myGPIO_mask value = myGPIO_GetRead(&btn_gpio);
    myGPIO_SetValue(&led_gpio, myGPIO_pin0 |
      myGPIO_pin1 | myGPIO_pin2 | myGPIO_pin3,
      myGPIO_reset);
    myGPIO_SetValue(&led_gpio, value, myGPIO_set);

    myGPIO_PinInterruptEnable(&btn_gpio, enabledInterrut);
    myGPIO_GlobalInterruptEnable(&btn_gpio);
}

void swc_isr(void* data) {
    myGPIO_GlobalInterruptDisable(&swc_gpio);
    myGPIO_mask enabledInterrut = myGPIO_EnabledPinInterrupt(&swc_gpio
      );
    myGPIO_PinInterruptDisable(&swc_gpio, enabledInterrut);

    myGPIO_mask pendingInterrupt = myGPIO_PendingPinInterrupt(&
      swc_gpio);
    myGPIO_PinInterruptAck(&swc_gpio, pendingInterrupt);

    myGPIO_mask value = myGPIO_GetRead(&swc_gpio);
    myGPIO_SetValue(&led_gpio, myGPIO_pin0 |
      myGPIO_pin1 | myGPIO_pin2 | myGPIO_pin3,
      myGPIO_reset);
    myGPIO_SetValue(&led_gpio, value, myGPIO_set);

    myGPIO_PinInterruptEnable(&swc_gpio, enabledInterrut);
    myGPIO_GlobalInterruptEnable(&swc_gpio);
}

int int_config(void) {
    // inizializza il driver del GIC
    Xil_ExceptionInit();

    // ottiene i parametri di configurazione del GIC, lo configura ed inizializza
    // sintassi : XScuGic_LookupConfig(GIC_id)
    // sintassi : XScuGic_CfgInitialize(GIC_ptr, config, cpu_address)
    XScuGic_Config *IntcConfig = XScuGic_LookupConfig(gic_id);
    if (IntcConfig == NULL)
        return -1;
    if (XScuGic_CfgInitialize(&GIC, IntcConfig, IntcConfig->CpuBaseAddress) != XST_SUCCESS)
        return -1;

    // registra l'interrupt handler del GIC alla logica di gestione del processing-system
    // sintassi : Xil_ExceptionRegisterHandler(XIL_EXCEPTION_ID_INT, handler, gic_ptr)
    Xil_ExceptionRegisterHandler(XIL_EXCEPTION_ID_INT,(Xil_ExceptionHandler)XScuGic_InterruptHandler, &GIC)
      ;

    // registrazione degli handler
    // le righe seguenti stabiliscono quale sia l'handler da chiamare e quali dati bisogna passargli
    // qualora si manifesti una interruzione su una line di irq.
    // sintassi : XScuGic_Connect(GIC, irq_line, handler, data)
    if (XScuGic_Connect(&GIC, btn_irq_line, (Xil_InterruptHandler)btn_isr, (void*)NULL) !=
      XST_SUCCESS)
        return -1;
    if (XScuGic_Connect(&GIC, swc_irq_line, (Xil_InterruptHandler)swc_isr, (void*)NULL) !=
      XST_SUCCESS)
          return -1;

    // abilitazione degli interrupt sulle linee connesse alle periferiche
    // sintassi: XScuGic_Enable(GIC,irq_line);
    XScuGic_Enable(&GIC, btn_irq_line);
    XScuGic_Enable(&GIC, swc_irq_line);

    // abilitazione degli interrupt delle periferiche
    myGPIO_GlobalInterruptEnable(&btn_gpio);
    myGPIO_PinInterruptEnable(&btn_gpio, myGPIO_pin0 |
      myGPIO_pin1 | myGPIO_pin2 | myGPIO_pin3);
```

```
    myGPIO_GlobalInterruptEnable(&swc_gpio);
    myGPIO_PinInterruptEnable(&swc_gpio, myGPIO_pin0 |
      myGPIO_pin1 | myGPIO_pin2 | myGPIO_pin3);

    // abilitazione degli interrupt del processing-system
    Xil_ExceptionEnable();
    return 0;
}
```

7.3 mygpiok.c

Programma di esempio per l'interfacciamento con una periferica myGPIO attraverso un driver kernel.

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

16 06 2017

Copyright

In questo specifico esempio l'interfacciamento avviene da user-space, interagendo attraverso il driver myGPIOK.

Avvertimento

Se nel device tree source non viene indicato

compatible = "myGPIOK";

tra i driver compatibili con il device, il driver myGPIOK non viene correttamente istanziato ed il programma userspace non funzionerà.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>

#include "myGPIO.h"
#include "xil_gpio.h"


#ifdef __XIL_GPIO__
#define MODE_OFFSET     GPIO_TRI_OFFSET
#define WRITE_OFFSET    GPIO_DATA_OFFSET
#define READ_OFFSET     GPIO_READ_OFFSET
#else
#define MODE_OFFSET     myGPIO_MODE_OFFSET
#define WRITE_OFFSET    myGPIO_WRITE_OFFSET
#define READ_OFFSET     myGPIO_READ_OFFSET
#endif
```

```
void howto(void) {
    printf("Uso:\n");
    printf("gpio -d /dev/device -w|m <hex-value> -r\n");
    printf("\t-m <hex-value>: scrive nel registro \"mode\"\n");
    printf("\t-w <hex-value>: scrive nel registro \"write\"\n");
    printf("\t-r: legge il valore del registro \"read\"\n");
    printf("I parametri possono anche essere usati assieme.\n");
}

typedef struct {
    int         dev_descr;
    uint8_t     op_mode;
    uint32_t    mode_value;
    uint8_t     op_write;
    uint32_t    write_value;
    uint8_t     op_read;
} param_t;

int parse_args(   int argc, char **argv, param_t   *param) {
    int par;
    char* devfile = NULL;
    while((par = getopt(argc, argv, "d:w:m:r")) != -1) {
        switch (par) {
        case 'd' :
            devfile = optarg;
            break;
        case 'w' :
            param->write_value = strtoul(optarg, NULL, 0);
            param->op_write = 1;
            break;
        case 'm' :
            param->mode_value = strtoul(optarg, NULL, 0);
            param->op_mode = 1;
            break;
        case 'r' :
            param->op_read = 1;
            break;
        default :
            printf("%c: parametro sconosciuto.\n", par);
            howto();
            return -1;
        }
    }
    if (devfile == NULL) {
        printf ("è necessario specificare il device col quale interagire!\n");
        howto();
        return -1;
    }
    param->dev_descr = open(devfile, O_RDWR);
    if (param->dev_descr < 1) {
        perror(devfile);
        return -1;
    }
    return 0;
}

void gpio_op (param_t *param) {

    if (param->op_mode == 1) {
        printf("Scrittura sul registro mode: %08x\n", param->mode_value);
#ifndef __USE_PWRITE__
        lseek(param->dev_descr, MODE_OFFSET, SEEK_SET);
        write(param->dev_descr, &(param->mode_value), sizeof(uint32_t));
#else
        pwrite(param->dev_descr, &(param->mode_value), sizeof(uint32_t),
      MODE_OFFSET);
#endif
    }
    if (param->op_write == 1) {
        printf("Scrittura sul registro write: %08x\n", param->write_value);
#ifndef __USE_PWRITE__
        lseek(param->dev_descr, WRITE_OFFSET, SEEK_SET);
        write(param->dev_descr, &(param->write_value), sizeof(uint32_t));
#else
        pwrite(param->dev_descr, &(param->mode_value), sizeof(uint32_t),
      WRITE_OFFSET);
#endif
    }
    if (param->op_read == 1) {
        uint32_t read_value = 0;
#ifndef __USE_PREAD__
        lseek(param->dev_descr, READ_OFFSET, SEEK_SET);
        read(param->dev_descr, &read_value, sizeof(uint32_t));
#else
        pread(param->dev_descr, &read_value, sizeof(uint32_t),
      READ_OFFSET);
#endif
```

```
        printf("Lettura dal registro read: %08x\n", read_value);
    }
}


int main (int argc, char **argv) {
    param_t param;

    printf("%s build %d\n", argv[0], BUILD);

    if (parse_args(argc, argv, &param) == -1)
        return -1;

    gpio_op(&param);

    close(param.dev_descr);

    return 0;
}
```

7.4 noDriver.c

Questo è un programma di esempio per l'interfacciamento con una periferica myGPIO.

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

12 06 2017

Copyright

In questo specifico esempio l'interfacciamento avviene da user-space, agendo direttamente sui registri di memoria, senza mediazione di altri driver, usando il device-file /dev/mem.

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#include <fcntl.h>

#include "myGPIO.h"

void howto(void) {
    printf("Uso:\n");
    printf("noDriver -a gpio_phisycal_address -w|m <hex-value> -r\n");
    printf("\t-m <hex-value>: scrive nel registro \"mode\"\n");
    printf("\t-w <hex-value>: scrive nel registro \"write\"\n");
    printf("\t-r: legge il valore del registro \"read\"\n");
    printf("I parametri possono anche essere usati assieme.\n");
}
```

```
int parse_args(   int          argc,
                  char         **argv,
                  uint32_t     *gpio_address,
                  uint8_t      *op_mode,
                  uint32_t     *mode_value,
                  uint8_t      *op_write,
                  uint32_t     *write_value,
                  uint8_t      *op_read)
{
    int par;
    while((par = getopt(argc, argv, "a:w:m:r")) != -1) {
        switch (par) {
        case 'a' :
            *gpio_address = strtoul(optarg, NULL, 0);
            break;
        case 'w' :
            *write_value = strtoul(optarg, NULL, 0);
            *op_write = 1;
            break;
        case 'm' :
            *mode_value = strtoul(optarg, NULL, 0);
            *op_mode = 1;
            break;
        case 'r' :
            *op_read = 1;
            break;
        default :
            printf("%c: parametro sconosciuto.\n", par);
            howto();
            return -1;
        }
    }
    return 0;
}


void gpio_op (   void*       vrt_gpio_addr,
                 uint8_t     op_mode,
                 uint32_t    mode_value,
                 uint8_t     op_write,
                 uint32_t    write_value,
                 uint8_t     op_read)
{
    printf("Indirizzo gpio: %08x\n", (uint32_t)vrt_gpio_addr);
#ifdef __XIL_GPIO__
#define MODE_OFFSET     4U
#define WRITE_OFFSET    0U
#define READ_OFFSET     8U
#else
    myGPIO_t gpio;
    myGPIO_Init(&gpio, (uint32_t)vrt_gpio_addr);
#endif

    if (op_mode == 1) {
#ifdef __XIL_GPIO__
        *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+MODE_OFFSET)) = mode_value;
        mode_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+MODE_OFFSET));
#else
        myGPIO_SetMode(&gpio, mode_value, myGPIO_write);
        myGPIO_SetMode(&gpio, ~mode_value, myGPIO_read);
#endif
        printf("Scrittura sul registro mode: %08x\n", mode_value);
    }
    if (op_write == 1) {
#ifdef __XIL_GPIO__
        *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+WRITE_OFFSET)) = write_value;
        write_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+WRITE_OFFSET));
#else
        myGPIO_SetValue(&gpio, write_value, myGPIO_set);
        myGPIO_SetValue(&gpio, ~write_value, myGPIO_reset);
#endif
        printf("Scrittura sul registro write: %08x\n", write_value);
    }
    if (op_read == 1) {
        uint32_t read_value = 0;
#ifdef __XIL_GPIO__
        read_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+READ_OFFSET));
#else
        read_value = myGPIO_GetRead(&gpio);
#endif
        printf("Lettura dat registro read: %08x\n", read_value);
    }
}
```

```
int main(int argc, char** argv) {
    uint32_t gpio_addr = 0;      // indirizzo di memoria del device gpio
    uint8_t op_mode = 0;         // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
    uint32_t mode_value;         // valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
    uint8_t op_write = 0;        // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
    uint32_t write_value;        // valore che l'utente intende scrivere nel registro write
    uint8_t op_read = 0;         // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

    printf("%s build %d\n", argv[0], BUILD); // BUILD viene definita in compilazione

    if (parse_args(argc, argv, &gpio_addr, &op_mode, &mode_value, &op_write, &write_value, &
      op_read) == -1)
        return -1;
    if (gpio_addr == 0) {
        printf("è necessario specificare l'indirizzo di memoria del device.\n");
        howto();
        return -1;
    }

    int descriptor = open ("/dev/mem", O_RDWR);
    if (descriptor < 1) {
        perror(argv[0]);
        return -1;
    }

    uint32_t page_size = sysconf(_SC_PAGESIZE);     // dimensione della pagina
    uint32_t page_mask = ~(page_size-1);            // maschera di conversione indirizzo -> indirizzo
       pagina
    uint32_t page_addr = gpio_addr & page_mask;     // indirizzo della "pagina fisica" a cui è mappato il
       device
    uint32_t offset = gpio_addr - page_addr;        // offset del device rispetto all'indirizzo della
       pagina
    void* vrt_page_addr = mmap(NULL, page_size, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, descriptor, page_addr);
    if (vrt_page_addr == MAP_FAILED) {
        printf("Mapping indirizzo fisico - indirizzo virtuale FALLITO!\n");
        return -1;
    }
    void* vrt_gpio_addr = vrt_page_addr + offset;   // indirizzo virtuale del device gpio
    gpio_op(vrt_gpio_addr, op_mode, mode_value, op_write, write_value, op_read);

    munmap(vrt_page_addr, page_size);
    close(descriptor);

    return 0;
}
```

7.5 readAll.c

Programma di test/debug. Legge tutti i registri della periferica direttamente dal file /dev/mem

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

19 06 2017

Copyright

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#include <fcntl.h>

void howto(void) {
    printf("Uso:\n");
    printf("noDriver -a <gpio_phisycal_address> -o <max-offset>\n");
    printf("-a <gpio_phisycal_address>: indirizzo fisico del device GPIO\n");
    printf("\t-o <max-offset>: offsett dell'ultimo registro letto\n");
}

int parse_args(int argc, char **argv, uint32_t    *gpio_address, uint32_t *max_offset) {
    int par;

    while((par = getopt(argc, argv, "a:o:")) != -1) {
        switch (par) {
        case 'a' :
            *gpio_address = strtoul(optarg, NULL, 0);
            break;
        case 'o' :
            *max_offset = strtoul(optarg, NULL, 0);
            break;
        default :
            printf("%c: parametro sconosciuto.\n", par);
            howto();
            return -1;
        }
    }
    return 0;
}

int main(int argc, char** argv) {
    uint32_t gpio_addr = 0;
    uint32_t max_offset = 16;

    if (parse_args(argc, argv, &gpio_addr, &max_offset) == -1)
        return -1;

    if (gpio_addr == 0) {
        printf("è necessario specificare l'indirizzo di memoria del device.\n");
        howto();
        return -1;
    }

    int descriptor = open ("/dev/mem", O_RDWR);
    if (descriptor < 1) {
        perror(argv[0]);
        return -1;
    }

    uint32_t page_size = sysconf(_SC_PAGESIZE);     // dimensione della pagina
    uint32_t page_mask = ~(page_size-1);            // maschera di conversione indirizzo -> indirizzo
       pagina
    uint32_t page_addr = gpio_addr & page_mask;     // indirizzo della "pagina fisica" a cui è mappato il
       device
    uint32_t offset = gpio_addr - page_addr;        // offset del device rispetto all'indirizzo della
       pagina
    // conversione dell'indirizzo fisico in indirizzo virtuale
    void* vrt_page_addr = mmap(NULL, page_size, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, descriptor, page_addr);

    if (vrt_page_addr == MAP_FAILED) {
        printf("Mapping indirizzo fisico - indirizzo virtuale FALLITO!\n");
        return -1;
    }

    void* vrt_gpio_addr = vrt_page_addr + offset;   // indirizzo virtuale del device gpio

    printf("base address : %08X\n", (uint32_t) vrt_gpio_addr);
    uint32_t read_value = 0;
    uint32_t i;
    for (i=0; i<=max_offset; i+=4) {
        read_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+i));
        printf("\toffset : %08X => %08X\n", i, read_value);
    }

    munmap(vrt_page_addr, page_size);
    close(descriptor);

    return 0;
}
```

7.6 uio-int.c

Questo è un programma di esempio per l'interfacciamento con una periferica myGPIO.

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

14 06 2017

Copyright

In questo specifico esempio l'interfacciamento avviene da user-space, interagendo attraverso il driver uio. **Utilizza gli interrupt per la lettura**.

Avvertimento

Se nel device tree source non viene indicato

compatible = "generic-uio";

tra i driver compatibili con il device, il driver UIO non viene correttamente istanziato ed il programma non funzionerà.

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#include <fcntl.h>
#include "myGPIO.h"
#include "xil_gpio.h"

void howto(void) {
    printf("Uso:\n");
    printf("uio -d /dev/uioX -w|m <hex-value> -r\n");
    printf("\t-m <hex-value>: scrive nel registro \"mode\"\n");
    printf("\t-w <hex-value>: scrive nel registro \"write\"\n");
    printf("\t-r: legge il valore del registro \"read\"\n");
    printf("I parametri possono anche essere usati assieme.\n");
}


int parse_args(   int         argc,
                  char        **argv,
                  char        **uio,
                  uint8_t     *op_mode,
                  uint32_t    *mode_value,
                  uint8_t     *op_write,
                  uint32_t    *write_value,
                  uint8_t     *op_read)
{
    int par;
    while((par = getopt(argc, argv, "d:w:m:r")) != -1) {
```

```
        switch (par) {
        case 'd' :
            *uio = optarg;
            break;
        case 'w' :
            *write_value = strtoul(optarg, NULL, 0);
            *op_write = 1;
            break;
        case 'm' :
            *mode_value = strtoul(optarg, NULL, 0);
            *op_mode = 1;
            break;
        case 'r' :
            *op_read = 1;
            break;
        default :
            printf("%c: parametro sconosciuto.\n", par);
            howto();
            return -1;
        }
    }
    return 0;
}


void gpio_op (   void*       vrt_gpio_addr,
                 int         uio_descriptor,
                 uint8_t     op_mode,
                 uint32_t    mode_value,
                 uint8_t     op_write,
                 uint32_t    write_value,
                 uint8_t     op_read)
{
    printf("Indirizzo gpio: %08x\n", (uint32_t)vrt_gpio_addr);
#ifndef __XIL_GPIO__
    myGPIO_t gpio;
    myGPIO_Init(&gpio, vrt_gpio_addr);
#endif

    if (op_mode == 1) {
#ifdef __XIL_GPIO__
        *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+GPIO_TRI_OFFSET)) = mode_value;
        mode_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+GPIO_TRI_OFFSET));
#else
        myGPIO_SetMode(&gpio, mode_value, myGPIO_write);
        myGPIO_SetMode(&gpio, ~mode_value, myGPIO_reset);
#endif
        printf("Scrittura sul registro mode: %08x\n", mode_value);
    }
    if (op_write == 1) {
#ifdef __XIL_GPIO__
        *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+GPIO_DATA_OFFSET)) = write_value;
        write_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+GPIO_DATA_OFFSET));
#else
        myGPIO_SetValue(&gpio, write_value, myGPIO_set);
        myGPIO_SetValue(&gpio, ~write_value, myGPIO_reset);
#endif
        printf("Scrittura sul registro write: %08x\n", write_value);
    }
    if (op_read == 1) {
        uint32_t read_value = 0;
        // interrupt enable (interni alla periferica)
        #ifdef __XIL_GPIO__
        // (globale + canale 2)
        XilGpio_Global_Interrupt((uint32_t*)vrt_gpio_addr,
      GLOBAL_INTR_ENABLE);
        XilGpio_Channel_Interrupt((uint32_t*)vrt_gpio_addr,
      CHANNEL2_INTR_ENABLE);
        #else
        myGPIO_GlobalInterruptEnable(&gpio);
        myGPIO_PinInterruptEnable(&gpio, myGPIO_pin0|
      myGPIO_pin1|myGPIO_pin2|myGPIO_pin3);
        #endif

        printf("Attesa dell'interruzione\n");
        uint32_t interrupt_count = 1;
        if (read(uio_descriptor, &interrupt_count, sizeof(uint32_t)) != sizeof(uint32_t)) {
            printf("Read error!\n");
            return;
        }
        printf("Interrupt count: %08x\n", interrupt_count);
        // disabilitazione interrupt (interni alla periferica)
        #ifdef __XIL_GPIO__
        XilGpio_Global_Interrupt((uint32_t*)vrt_gpio_addr,
      GLOBAL_INTR_DISABLE);
        XilGpio_Channel_Interrupt((uint32_t*)vrt_gpio_addr,
      CHANNEL2_INTR_DISABLE);
```

```
        #else
        myGPIO_GlobalInterruptDisable(&gpio);
        myGPIO_PinInterruptDisable(&gpio, myGPIO_pin0|
      myGPIO_pin1|myGPIO_pin2|myGPIO_pin3);
        #endif

        // "servizio" dell'interruzione.
        // lettura del registro
        #ifdef __XIL_GPIO__
        read_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+GPIO_READ_OFFSET));
        #else
        read_value = myGPIO_GetRead(&gpio);
        #endif
        printf("Lettura dat registro read: %08x\n", read_value);
        #ifdef __XIL_GPIO__
        while(*((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+GPIO_READ_OFFSET))!=0);
        #else
        while(myGPIO_GetRead(&gpio) != 0);
        #endif

        // invio dell'ack alla periferica
        #ifdef __XIL_GPIO__
        XilGpio_Ack_Interrupt((uint32_t*)vrt_gpio_addr,
      CHANNEL2_ACK);
        #else
        myGPIO_PinInterruptAck(&gpio,
      myGPIO_PendingPinInterrupt(&gpio));
        #endif

        uint32_t reenable = 1;
        if (write(uio_descriptor, (void*)&reenable, sizeof(uint32_t)) != sizeof(uint32_t)) {
            printf("Write error!\n");
            return;
        }
    }
}

int main(int argc, char** argv) {
    char* uio_file = 0;         // nome del file uio
    uint8_t op_mode = 0;        // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
    uint32_t mode_value;        // valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
    uint8_t op_write = 0;       // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
    uint32_t write_value;       // valore che l'utente intende scrivere nel registro write
    uint8_t op_read = 0;        // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

    printf("%s build %d\n", argv[0], BUILD); // BUILD viene definita in compilazione
    if (parse_args(argc, argv, &uio_file, &op_mode, &mode_value, &op_write, &write_value, &
      op_read) == -1)
        return -1;
    if (uio_file == 0) {
        printf("è necessario specificare l'indirizzo di memoria del device.\n");
        howto();
        return -1;
    }
    int descriptor = open (uio_file, O_RDWR);
    if (descriptor < 1) {
        perror(argv[0]);
        return -1;
    }
    uint32_t page_size = sysconf(_SC_PAGESIZE);     // dimensione della pagina
    void* vrt_gpio_addr = mmap(NULL, page_size, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, descriptor, 0);
    if (vrt_gpio_addr == MAP_FAILED) {
        printf("Mapping indirizzo fisico - indirizzo virtuale FALLITO!\n");
        return -1;
    }
    gpio_op(vrt_gpio_addr, descriptor, op_mode, mode_value, op_write, write_value, op_read);

    munmap(vrt_gpio_addr, page_size);
    close(descriptor);

    return 0;
}
```

7.7 uio.c

Questo è un programma di esempio per l'interfacciamento con una periferica myGPIO.

Autore

Salvatore Barone salvator.barone@gmail.com

Data

13 06 2017

Copyright

In questo specifico esempio l'interfacciamento avviene da user-space, interagendo attraverso il driver uio.

Avvertimento

Se nel device tree source non viene indicato

compatible = "generic-uio";

tra i driver compatibili con il device, il driver UIO non viene correttamente istanziato ed il programma non funzionerà.

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#include <fcntl.h>
#include "myGPIO.h"

void howto(void) {
    printf("Uso:\n");
    printf("uio -d /dev/uioX -w|m <hex-value> -r\n");
    printf("\t-m <hex-value>: scrive nel registro \"mode\"\n");
    printf("\t-w <hex-value>: scrive nel registro \"write\"\n");
    printf("\t-r: legge il valore del registro \"read\"\n");
    printf("I parametri possono anche essere usati assieme.\n");
}

int parse_args(   int         argc,
                  char        **argv,
                  char        **uio,          // file uio da usare
                  uint8_t     *op_mode,       // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su
       mode
                  uint32_t    *mode_value,    // valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
                  uint8_t     *op_write,      // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su
       write
                  uint32_t    *write_value,   // valore che l'utente intende scrivere nel registro write
                  uint8_t     *op_read)       // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da
       read
{
    int par;
    while((par = getopt(argc, argv, "d:w:m:r")) != -1) {
        switch (par) {
        case 'd' :
            *uio = optarg;
            break;
        case 'w' :
            *write_value = strtoul(optarg, NULL, 0);
            *op_write = 1;
            break;
```

```
        case 'm' :
            *mode_value = strtoul(optarg, NULL, 0);
            *op_mode = 1;
            break;
        case 'r' :
            *op_read = 1;
            break;
        default :
            printf("%c: parametro sconosciuto.\n", par);
            howto();
            return -1;
        }
    }
    return 0;
}


void gpio_op (   void*       vrt_gpio_addr,
                uint8_t     op_mode,
                uint32_t    mode_value,
                uint8_t     op_write,
                uint32_t    write_value,
                uint8_t     op_read)
{
    printf("Indirizzo gpio: %08x\n", (uint32_t)vrt_gpio_addr);

    #ifdef __XIL_GPIO__
#define MODE_OFFSET     4U
#define WRITE_OFFSET    0U
#define READ_OFFSET     8U
#else
    myGPIO_t gpio;
    myGPIO_Init(&gpio, (uint32_t)vrt_gpio_addr);
#endif

    if (op_mode == 1) {
#ifdef __XIL_GPIO__
        *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+MODE_OFFSET)) = mode_value;
        mode_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+MODE_OFFSET));
#else
        myGPIO_SetMode(&gpio, mode_value, myGPIO_write);
        myGPIO_SetMode(&gpio, ~mode_value, myGPIO_reset);
#endif
        printf("Scrittura sul registro mode: %08x\n", mode_value);
    }
    if (op_write == 1) {
#ifdef __XIL_GPIO__
        *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+WRITE_OFFSET)) = write_value;
        write_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+WRITE_OFFSET));
#else
        myGPIO_SetValue(&gpio, write_value, myGPIO_set);
        myGPIO_SetValue(&gpio, ~write_value, myGPIO_reset);
#endif
        printf("Scrittura sul registro write: %08x\n", write_value);
    }
    if (op_read == 1) {
        uint32_t read_value = 0;
#ifdef __XIL_GPIO__
        read_value = *((uint32_t*)(vrt_gpio_addr+READ_OFFSET));
#else
        read_value = myGPIO_GetRead(&gpio);
#endif
        printf("Lettura dat registro read: %08x\n", read_value);
    }
}

int main(int argc, char** argv) {
    char* uio_file = 0;         // nome del file uio
    uint8_t op_mode = 0;        // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su mode
    uint32_t mode_value;        // valore che l'utente intende scrivere nel registro mode
    uint8_t op_write = 0;       // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare scrittuara su write
    uint32_t write_value;       // valore che l'utente intende scrivere nel registro write
    uint8_t op_read = 0;        // impostato ad 1 se l'utente intende effettuare lettura da read

    printf("%s build %d\n", argv[0], BUILD); // BUILD viene definita in compilazione

    if (parse_args(argc, argv, &uio_file, &op_mode, &mode_value, &op_write, &write_value, &
      op_read) == -1)
        return -1;
    if (uio_file == 0) {
        printf("è necessario specificare il device UIO col quale interagire.\n");
        howto();
        return -1;
    }
    int descriptor = open (uio_file, O_RDWR);
    if (descriptor < 1) {
        perror(argv[0]);
```

```
        return -1;
    }
    uint32_t page_size = sysconf(_SC_PAGESIZE);     // dimensione della pagina
    void* vrt_gpio_addr = mmap(NULL, page_size, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, descriptor, 0);
    if (vrt_gpio_addr == MAP_FAILED) {
        printf("Mapping indirizzo fisico - indirizzo virtuale FALLITO!\n");
        return -1;
    }
    gpio_op(vrt_gpio_addr, op_mode, mode_value, op_write, write_value, op_read);

    munmap(vrt_gpio_addr, page_size);
    close(descriptor);

    return 0;
}
```

Indice analitico